

국민 안심이 기준입니다

청결한  세상

# 식품용 기구 및 용기·포장 공전 이행물질 분석법 해설서



2022. 1.



식품의약품안전처

식품의약품안전평가원

식품위해평가부 첨가물포장과

「기구 및 용기·포장의 기준 및 규격」은 식품위생법 제9조에 따라 식품 또는 식품첨가물에 직접 닿아 사용되는 기구 및 용기·포장에서 식품으로 이행될 수 있는 위해 우려 물질에 대한 규격 등을 정하고 있으며, 이를 책자로 엮은 것이 「식품용 기구 및 용기·포장 공전」입니다.

본 해설서는 식품용 기구 및 용기·포장의 재질 및 주요 시험법에 대한 해설서이며, 각 재질에 대한 정의, 화학구조, 이명, 제조방법, 물리·화학적 특성 및 주요 용도 등의 재질에 관한 정보와, 주요 시험법에 대하여 시험원리, 분석조건 및 주의사항 등의 내용을 담고 있습니다.

또한, 본 해설서는 「식품용 기구 및 용기·포장 공전」에 대한 이해를 돕기 위해 마련한 참고자료이므로, 참고용으로만 활용하시기 바랍니다.

# 목 차

## PART I

### 제1장 개 론

제1절 식품위생법 중 기구 및 용기·포장 .....	3
제2절 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격 .....	6
제3절 기구 및 용기·포장의 한시적 기준 및 규격 인정 기준 .....	8

### 제2장 기구 및 용기·포장 재질의 이해

제1절 합성수지재 .....	13
1. 올레핀계 .....	13
가. 에틸렌-초산비닐 공중합체(ethylene-vinylacetate copolymer : EVA) .....	13
나. 폴리메틸펜텐(polymethylpentene : PMP) .....	17
다. 폴리부텐(polybutene-1 : PB-1) .....	21
라. 폴리비닐알코올(poly(vinyl alcohol) : PVA) .....	25
마. 폴리에틸렌(polyethylene : PE) .....	29
바. 폴리프로필렌(polypropylene : PP) .....	36
2. 에스테르계 .....	42
가. 경화폴리에스테르수지(cross-linked polyester resin) .....	42
나. 부틸렌숙시네이트 공중합체(butylenesuccinate copolymer : PBS) .....	46
다. 부틸렌숙시네이트-아디페이트 공중합체(butylenesuccinate-adipate copolymer : PBSA) ...	51
라. 폴리부틸렌테레프탈레이트(poly(butylene terephthalate) : PBT) .....	54
마. 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트 .....	59
(poly(cyclohexane-1,4-dimethylene terephthalate) : PCT)	

바. 폴리아릴레이트(polyarylate : PAR) .....	64
사. 폴리에틸렌나프탈레이트(poly(ethylen naphthalate) : PEN) .....	68
아. 폴리에틸렌테레프탈레이트(poly(ethyleneterephthalate) : PET) .....	72
자. 폴리락타이드(poly lactide, poly(lactic acid) : PLA) .....	79
차. 폴리카보네이트(polycarbonate : PC) .....	87
카. 히드록시부틸폴리에스테르(hydroxybutyl polyester : HBP) .....	94
타. 히드록시안식향산폴리에스테르(hydroxybenzoic acid polyester) .....	97
<b>3. 스티렌계 .....</b>	<b>100</b>
가. 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체 .....	100
(methylmethacrylate -acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : MABS)	
나. 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체 .....	103
(acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : ABS)	
다. 아크릴로니트릴-스티렌 공중합체(acrylonitrile-styrene copolymer : AS) .....	110
라. 폴리메타크릴스티렌(polymethacrylstyrene : MS) .....	114
<b>4. 아민계 .....</b>	<b>124</b>
가. 폴리아미드(polyamide : PA) .....	124
나. 폴리우레탄(polyurethane : PU) .....	132
다. 폴리이미드(polyimide : PI) .....	137
<b>5. 아크릴계 .....</b>	<b>143</b>
가. 아크릴수지(acrylic resin) .....	143
나. 이오노머수지(ionomeric resin) .....	149
다. 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile : PAN) .....	152
<b>6. 알데히드계 .....</b>	<b>155</b>
가. 멜라민수지(melamine-formaldehyde resin : MF) .....	155
나. 요소수지(urea-formaldehyde resin : UF) .....	160
다. 페놀수지(phenol-formaldehyde resin : PF) .....	163
라. 폴리아세탈(polyacetal, polyoxymethylene(POM)) .....	168
<b>7. 에테르계 .....</b>	<b>172</b>
가. 폴리아릴설폰(polyarylsulfone : PASF) .....	172
나. 폴리에테르에테르케톤(polyetheretherketone : PEEK) .....	175
다. 폴리에테르설폰(poly(ether sulfone) : PES) .....	179
라. 폴리페닐렌설파이드(poly(phenylene sulfide) : PPS) .....	183
마. 폴리페닐렌에테르(poly(phenylene ether) : PPE) .....	186
<b>8. 염화비닐계 .....</b>	<b>189</b>
가. 폴리염화비닐(poly(vinyl chloride): PVC) .....	189
나. 폴리염화비닐리덴(poly(vinylidene chloride): PVDC) .....	195



9. 기 타 .....	199
가. 불소수지(fluorocarbon resin : FR) .....	199
나. 에폭시수지(epoxy resine) .....	204
다. 폴리케톤(polyketone : PK) .....	208
제2절 가공셀룰로스제 .....	213
제3절 고무제 .....	215
제4절 종이제 .....	221
제5절 금속제 .....	226
제6절 목재류 .....	232
제7절 유리제, 도자기, 법랑 및 옹기류 .....	234
제8절 전분제 .....	240

## PART II

### 제3장 액체크로마토그래피법

제1절 자외부흡광검출기법 .....	315
제2절 형광검출기법 .....	345
제3절 질량분석법 .....	348

## 제4장 유도결합플라즈마발광강도 측정법

제1절 직접주입법(Direct Injection) .....	315
제2절 유도체화법(Derivatization) .....	345
제3절 질량분석법(LC-MS/MS) .....	348

## 제5장 기체크로마토그래피법

제1절 자외/가시광선 분광광도 측정법(UV/VIS Spectrophotometer) .....	359
--	-----

## 제6장 자외/가시광선 분광광도 측정법

제1절 원소별 측정방법 .....	368
--------------------	-----

## 참 고

1. 표면적 계산 .....	381
2. 고분자 용해도 .....	383
3. 합성수지제 재질 확인 데이터 수록 현황 .....	389

# 제1장 개 론

제1절 식품위생법 중 기구 및 용기·포장

제2절 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격

제3절 기구 및 용기·포장의 한시적 기준 및 규격  
인정 기준



## 제1절

## 식품위생법 중 기구 및 용기·포장

## 1 기구 및 용기·포장의 정의

식품 혹은 그 원료는 채취되어 사람이 섭취할 때까지 여러 단계를 거치는데 각 단계에서 많은 물품과 접촉하게 된다. 식품위생법에서는 식품과 식품첨가물이 원료에서부터 섭취될 때까지 직접 접촉하는 물품을 「기구」 또는 「용기·포장」이라고 부르며, 법률 적용 대상으로 삼고 있다. 이 용어들은 일상생활에서도 종종 사용되고 있지만, 식품위생법에서는 제2조 제4항 및 제5항에서 아래와 같이 정의하고 있다.

**제2조(정의)** 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

4. “기구”란 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것으로서 식품 또는 식품첨가물에 직접 닿는 기계·기구나 그 밖의 물건(농업과 수산업에서 식품을 채취하는 데에 쓰는 기계·기구나 그 밖의 물건 및 「위생용품 관리법」 제2조제1호에 따른 위생용품은 제외한다)을 말한다.
  - 가. 음식을 먹을 때 사용하거나 담는 것
  - 나. 식품 또는 식품첨가물을 채취·제조·가공·조리·저장·소분(小分): 완제품을 나누어 유통을 목적으로 재포장하는 것을 말한다. 이하 같다·운반·진열할 때 사용하는 것
5. “용기·포장”이란 식품 또는 식품첨가물을 넣거나 싸는 것으로서 식품 또는 식품첨가물을 주고받을 때 함께 건네는 물품을 말한다.

즉, 「기구」란 식품 또는 식품첨가물에 직접 접촉하는 물품 중에서 「용기·포장」을 제외한 모든 것을 말한다. 예컨대, 식품 또는 식품첨가물의 보존 및 운반용 바구니, 상자, 봉지 등, 제조 가공단계에서의 제조 장치, 가공 장치, 조리기구, 컨베이어, 파이프 등, 저장 및 운반용 탱크, 병, 배트, 양동이, 골판지 상자, 컨테이너, 램프 필름, 진열 판매용의 쟁반, 소쿠리, 식품 밑에 까는 종이, 젓가락, 봉지 등, 조리용 냄비, 숟, 프라이팬, 도마, 칼, 주걱, 포트, 토스터, 믹서, 랩, 알루미늄 호일, 음식 용기, 접시, 컵, 젓가락, 숟가락, 도시락통, 양념통 등이다. 한편, 「용기·포장」이란 식품 또는 식품첨가물을 판매 등을 위해 주고받을 때 식품과 직접 접촉된 채로 넘겨주는 것을 말한다. 말하자면 식품포장, 패키지와 불리는 것 중 식품과 직접 접촉하는 것이다. 따라서, 식품 또는 식품첨가물이 양도될 때 식품과 함께 넘겨주는가의 여부가 「기구」와 「용기·포장」의 중요한 차이점이다.

또한 개별 포장된 식품의 외부 상자 등 식품과 직접 접촉하지 않는 것, 장치, 기계, 기구 중 식품이 직접 접촉하지 않는 부분, 벼 수확기계, 탈곡기 등 농기구, 어망, 활어조 등은 본 법률의 기구 및 용기·포장에 포함되지 않는다.

## 2 식품위생을 위한 기구 및 용기·포장

식품위생법 제2조에서는 앞에서 설명한 「기구」, 「용기·포장」의 정의 외에 「식품위생」에 대해 다음과 같이 정의하고 있다.

**제2조(정의)** 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

11. “식품위생”이란 식품, 식품첨가물, 기구 또는 용기·포장을 대상으로 하는 음식에 관한 위생을 말한다.

즉, 기구 및 용기·포장은 식품, 식품첨가물과 나란히 식품위생 상의 3가지 중요한 부분 중 하나로 자리매김 되어 있다. 기구 및 용기·포장은 합성수지(플라스틱), 고무, 금속, 도자기, 유리, 종이, 나무 등 다양한 재질로 만들어진다. 이 재질들 중에 미반응 원료, 첨가제, 불순물 등 여러 물질이 잔류할 수 있으며, 기구 및 용기·포장이 식품과 접촉하는 동안에 재질의 종류, 식품의 성상, 사용 조건 등에 따라 이러한 물질들이 식품으로 이행될 우려가 있다. 따라서, 기구 및 용기·포장의 위생성을 충분히 확보하는 것은 식품위생에 있어서 매우 중요하다.

식품위생법 제3조에서는 기구 및 용기·포장의 위생적인 취급의 중요성을 별도로 언급하고 있으며, 제8조에서는 유독·유해물질이 들어있거나 묻어 있어 인체의 건강을 해칠 우려가 있는 기구 및 용기·포장의 판매 또는 사용을 엄격히 금지하고 있다.

### 제3조(식품등의 취급)

② 영업에 사용하는 기구 및 용기·포장은 깨끗하고 위생적으로 다루어야 한다.

제8조(유독기구등의 판매·사용 금지) 유독·유해물질이 들어 있거나 묻어 있어 인체의 건강을 해칠 우려가 있는 기구 및 용기·포장과 식품 또는 식품첨가물에 직접 닿으면 해로운 영향을 끼쳐 인체의 건강을 해칠 우려가 있는 기구 및 용기·포장을 판매하거나 판매할 목적으로 제조·수입·저장·운반·진열하거나 영업에 사용하여서는 아니된다.

### 3 기구 및 용기·포장에 관한 기준 및 규격

식품위생법 제9조에서는 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격에 관한 사항을 식품의약품안전처장이 정하여 고시할 수 있도록 아래와 같이 규정하고 있다.

#### 제9조(기구 및 용기·포장에 관한 기준 및 규격)

- ① 식품의약품안전처장은 국민보건을 위하여 필요한 경우에는 판매하거나 영업에 사용하는 기구 및 용기·포장에 관하여 다음 각 호의 사항을 정하여 고시한다.
  1. 제조 방법에 관한 기준
  2. 기구 및 용기·포장과 그 원재료에 관한 규격
- ② 식품의약품안전처장은 제1항에 따라 기준과 규격이 고시되지 아니한 기구 및 용기·포장의 기준과 규격을 인정받으려는 자에게 제1항 각 호의 사항을 제출하게 하여 「식품·의약품분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제3항제1호에 따라 식품의약품안전처장이 지정한 식품전문 시험·검사기관 또는 같은 조 제4항 단서에 따라 총리령으로 정하는 시험·검사기관의 검토를 거쳐 제1항에 따라 기준과 규격이 고시될 때까지 해당 기구 및 용기·포장의 기준과 규격으로 인정할 수 있다.
- ③ 수출할 기구 및 용기·포장과 그 원재료에 관한 기준과 규격은 제1항 및 제2항에도 불구하고 수입자가 요구하는 기준과 규격을 따를 수 있다.
- ④ 제1항 및 제2항에 따라 기준과 규격이 정하여진 기구 및 용기·포장은 그 기준에 따라 제조하여야 하며, 그 기준과 규격에 맞지 아니한 기구 및 용기·포장은 판매하거나 판매할 목적으로 제조·수입·저장·운반·진열하거나 영업에 사용하여서는 아니 된다.

이 규정을 토대로 하여 식품의약품안전처에서는 「기구 및 용기·포장의 기준 및 규격」을 고시함으로써, 기구 및 용기·포장을 안전하게 관리하고 있다. 현행 「기구 및 용기·포장의 기준 및 규격」에는 기구 및 용기·포장의 재질별 정의, 잔류규격 및 용출규격뿐만 아니라, 각각의 항목에 대한 적·부 판정을 위한 시험법이 고시되어 있다. 이러한 「기구 및 용기·포장의 기준 및 규격」은 식품 또는 식품첨가물의 기준 및 규격과 함께 다음의 식품위생법 제14조에 따라 식품등의 공전으로 작성하여 보급되고 있다.

**제14조(식품등의 공전)** 식품의약품안전처장은 다음 각 호의 기준 등을 실은 식품등의 공전을 작성·보급하여야 한다.

1. 제7조제1항에 따라 정하여진 식품 또는 식품첨가물의 기준과 규격
2. 제9조제1항에 따라 정하여진 기구 및 용기·포장의 기준과 규격

「식품등의 표시기준」은 식품위생법 제14조제3항에서 삭제(18.3.13)되고 「식품 등의 표시·광고에 관한 법률(약칭: 식품표시광고법)」 제4조(표시의 기준)에 따라 표시기준을 정하여 고시하고 있다.

## 제2절

## 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격

현행 「기구 및 용기·포장의 기준 및 규격」은 아래와 같은 체계로 이루어져 있으며, 재질별 규격으로는 합성수지제 43종, 가공셀룰로스제, 고무제, 종이제, 금속제, 목재류, 유리제, 도자기제, 법랑 및 옹기류, 전문제 각각에 대하여 잔류 및 용출규격을 설정하고 있다.

### I. 총칙

1. 기준 및 규격의 목적
2. 기준 및 규격의 수록 범위
3. 기준 및 규격의 구성

### II. 공통기준 및 규격

1. 공통제조기준
2. 공통규격
3. 용도별 규격
4. 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격 적용
5. 기준 및 규격의 적부판정
6. 검체의 채취 및 취급방법
7. 보존 및 유통기준

### III. 재질별 규격

1. 합성수지제
  - 1-1. 올레핀계
  - 1-2. 에스테르계
  - 1-3. 스티렌계
  - 1-4. 아민계
  - 1-5. 아크릴계
  - 1-6. 알데히드계
  - 1-7. 에테르계
  - 1-8. 염화비닐계
  - 1-9. 기타



2. 가공셀룰로스제
3. 고무제
4. 종이제
5. 금속제
6. 목재류
7. 유리제, 도자기제, 법랑 및 옹기류
8. 전분제

#### IV. 기구 및 용기·포장의 시험법

1. 일반원칙
2. 항목별 시험법

#### V. 재검토기한

## 제3절

## 기구 및 용기·포장의 한시적 기준 및 규격 인정 기준

「기구 및 용기·포장의 기준 및 규격」에 수재 되어있지 않은 재질에 대한 기준 및 규격은 「식품위생법」 제9조제2항에 따른 「식품등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준」에 따라 별도의 절차를 거쳐 해당 재질에 대한 기준 및 규격을 인정받아야 한다.

## 식품위생법

## 제9조(기구 및 용기·포장에 관한 기준 및 규격)

- ① 식품의약품안전처장은 국민 보건을 위하여 필요한 경우에는 판매하거나 영업에 사용하는 기구 및 용기·포장에 관하여 다음 각호의 사항을 정하여 고시한다.
  1. 제조 방법에 관한 기준
  2. 기구 및 용기·포장과 그 원재료에 관한 규격
- ② 식품의약품안전처장은 제1항에 따라 기준과 규격이 고시되지 아니한 기구 및 용기·포장의 기준과 규격을 인정받으려는 자에게 제1항 각호의 사항을 제출하게 하여 「식품·의약품 분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제3항제1호에 따라 식품의약품안전처장이 지정한 식품 전문 시험·검사기관 또는 같은 조 제4항 단서에 따라 총리령으로 정하는 시험·검사기관의 검토를 거쳐 제1항에 따라 기준과 규격이 고시될 때까지 해당 기구 및 용기·포장의 기준과 규격으로 인정할 수 있다.
- ③ 수출할 기구 및 용기·포장과 그 원재료에 관한 기준과 규격은 제1항 및 제2항에도 불구하고 수입자가 요구하는 기준과 규격을 따를 수 있다.
- ④ 제1항 및 제2항에 따라 기준과 규격이 정하여진 기구 및 용기·포장은 그 기준에 따라 제조하여야 하며, 그 기준과 규격에 맞지 아니한 기구 및 용기·포장은 판매하거나 판매할 목적으로 제조·수입·저장·운반·진열하거나 영업에 사용하여서는 아니 된다.

식품의약품안전처장은 「식품등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준」 제3조에 따른 신청서를 접수받을 때에는 기술 검토를 하여 한시적으로 기준 및 규격을 인정할 수 있다.

#### 식품등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준(식약처 고시)

**제1조(목적)** 이 기준은 「식품위생법」 제7조제2항, 제9조제2항, 제18조제1항, 같은 법 시행령 제9조제1호 및 같은 법 시행규칙 제5조제4항과 「축산물 위생관리법」 제4조제3항 및 같은 법 시행규칙 제3조제1항에 따라 한시적 기준 및 규격의 인정대상·인정절차 및 제출자료의 범위 등을 정함을 목적으로 한다.

**제2조(인정대상)** 「식품위생법 시행규칙」 제5조제1항 및 「축산물 위생관리법 시행규칙」 제3조제1항에 따른 식품등 한시적 기준 및 규격의 인정 대상 제품의 범위는 다음 각 호와 같다.

1. 식품(원료로 사용되는 경우만 해당한다. 이하 “식품원료”라 한다)
2. 식품첨가물
3. 「식품위생법」 제7조제1항에 따라 식품의약품안전처장이 고시한 성분으로 제조한 것으로서 기구 또는 용기·포장을 살균·소독할 목적으로 사용되는 식품첨가물(이하 “기구등의 살균·소독제”라 한다)
4. 「식품위생법」 제9조제1항에 따라 개별 기준 및 규격이 고시되지 아니한 기구 및 용기·포장
5. 「축산물 위생관리법」 제4조제2항에 따라 가공기준 및 성분규격이 정하여지지 아니한 축○산물(이하 “축산물”이라 한다)

**제3조(식품등 한시적 기준 및 규격의 신청)** ① 식품등 한시적 기준 및 규격을 인정받고자 하는 경우에는 다음 각호에 따른 한시적 기준 및 규격 인정 신청서(전자문서로 된 신청서를 포함한다)를 작성하여 식품의약품안전처장에게 신청하여야 한다.

**제4조(식품등 한시적 기준 및 규격의 인정)** ① 식품의약품안전처장은 제3조에 따른 신청서를 접수받을 때에는 기술검토를 하여 한시적으로 기준 및 규격을 인정할 수 있다.

제출서류는 「기구 및 용기·포장의 한시적 기준 및 규격 인정 신청서(별지 제4호 서식)」를 작성하여 식품의약품안전처장에게 신청하여야 한다(처리기한 14일 이내). 신청서에 첨부해야 하는 제출자료의 범위는 「식품등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준 고시」의 [별표 4]에서 정하고 있다.

#### [별표 4] 기구 및 용기·포장 제출자료의 범위 및 작성요령

1. 자료개요
2. 제품명
3. 기원 또는 개발 경위, 외국에서의 인정 및 사용현황 등에 관한 자료
4. 제조방법에 관한 자료
  - 가. 재질 및 성분 배합비율(%)
  - 나. 제조방법
  - 다. 원료물질 등에 대한 정보
5. 기준·규격 및 시험방법(안)에 관한 자료
  - 가. 기준·규격
  - 나. 시험방법
  - 다. 재질확인시험
  - 라. 시험성적서
6. 용도 및 사용조건
7. 원료물질 등의 안전성에 관한 자료
  - 가. 독성에 관한 자료
  - 나. 체내 동태에 관한 자료
  - 다. 안전성에 관한 자료의 생략
  - 라. 안전성 평가에 관한 자료

신청은 식품의약품안전처 고객지원담당관실 방문신청 또는 전자민원 신청으로 가능하다.

#### 〈전자민원신청 방법〉

식품안전나라(<https://www.foodsafetykorea.go.kr>) 접속 → 기업회원가입 및 로그인 → 우리회사 안전관리 → 우리회사민원 → 우리회사 전자민원 신청 → 민원사무명(예시) : 식품첨가물의 한시적 기준·규격 인정 → 온라인 신청하기 → 신청 자료 작성 → 수수료 납부(전자결제 또는 계좌이체) → 완료

※ 제출자료(한글파일 등)의 파일도 함께 첨부하여야 하며, 제품은 아래 주소로 별도 송부

(주소 : 충북 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명2로 187 식품의약품안전처 첨가물기준과)

## 제2장 기구 및 용기·포장 재질의 이해

제1절. 합성수지제

제2절. 가공셀룰로스제

제3절. 고무제

제4절. 종이제

제5절. 금속제

제6절. 목재류

제7절. 유리제, 도자기, 법랑 및 옹기류

제8절. 전분제



## 제1절

## 합성수지제

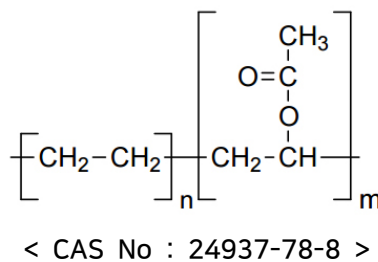
## 1 올레핀계

올레핀이란 원유나 천연가스 등 화학원료의 정제과정에서 나오는 직선 사슬형의 불포화탄화수소로 분자 내 한 개 이상의 C=C 이중결합을 가지는 화합물의 통칭이다. 폴리올레핀은 올레핀의 중합으로 생기는 고분자화합물을 말한다.

## 가. 에틸렌-초산비닐 공중합체(ethylene-vinylacetate copolymer : EVA)

## 1) 기본정보

## 가) 화학구조



## 나) 명칭

poly(ethylene-co-vinyl acetate); ethylene vinyl acetate co-polymer; acetic acid ethenyl ester, polymer with ethene; ethylene-vinyl acetate copolymer; acetic acid, ethenyl ester, copolymer with ethene; acetic acid ethenyl ester polymer with ethene; polymer, ethylene vinyl acetate; vinyl acetate ethylene polymer; vinyl acetate ethylene polymer; polymer with ethene, acetic acid ethylanyl ester; copolymer resin, ethylene-vinyl acetate

## 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

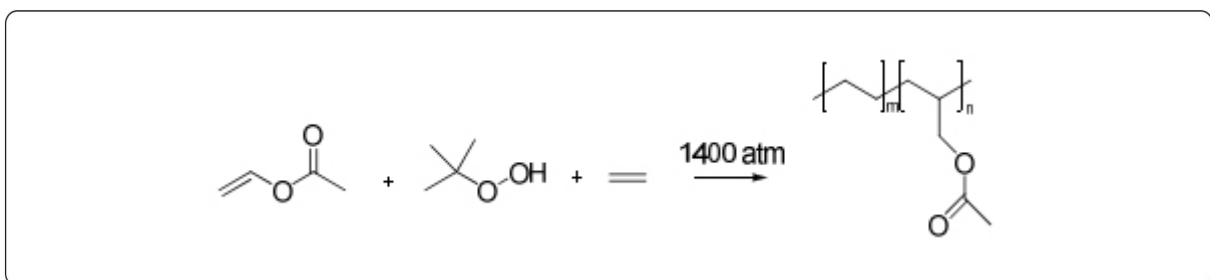
에틸렌-초산비닐 공중합체란 에틸렌과 비닐아세테이트와의 공중합으로 얻은 중합체를 말한다.

## 2) 개요

에틸렌-초산비닐 공중합체(EVA)는 공업적으로는 고압 라디칼 중합법으로 1960년 미국 Dupont사에서 엘박스라는 상품명으로 생산한 것이 최초이다. EVA는 에틸렌과 초산비닐을 공중합하여 얻는 열가소성 수지로서, 초산비닐의 중량이 10~40% 정도이고, 그 외에는 에틸렌으로 이루어진 것을 말한다.

## 3) 중합방법

EVA는 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)을 생산하는 고압반응기에서 에틸렌 단량체와 비닐아세테이트 단량체를 중합하여 생산하는 공중합체로 원하는 초산비닐 함량 만큼 비닐아세테이트 단량체를 투입하여 EVA를 생산하고 있다. 즉, 어떤 EVA의 초산비닐 함량이 15%이라면 이는 85%의 에틸렌과 15% 초산비닐 단량체를 중합한 제품임을 의미한다. EVA는 제조방법에 따라 고압 라디칼 중합법, 용액중합 및 에멀전 중합으로 나누어지며 제조방법에 따라 그들의 형상도 달라진다. 고압 라디칼 중합법을 통하여 생산되는 EVA는 고체상태의 펠릿(pellet) 형상이며 생산될 수 있는 최대 초산비닐 함량은 반응기의 조건에 따라 다르지만 대략 40% 미만이다. 용액중합 및 에멀전 중합을 통하여 초산비닐 함량이 50~100%의 EVA 수지를 생산할 수 있으며 이는 주로 접착제의 주원료로 사용되고 있다. EVA는 에틸렌과 초산비닐의 공중합에 의해 만들어진다. 순도 높은 터셔리 부틸 퍼옥사이드(tertiary butyl peroxid)를 개시제로 사용하게 되는데, 초산비닐에 용매 역할을 하기 위해 첨가해준다. 그 이외의 다른 어떤 용매도 사용되지 않는다. 여기에 에틸렌을 첨가하고 고온·고압 하에서 합성·분해·승화·추출 등의 화학처리를 하는 내열·내압성 용기인 오토클레이브(autoclave)<sup>1)</sup>에 넣고 실온에서 1400 atm의 조건으로 반응시킨다. 여기서 초산비닐은 에틸렌과 초산을 팔라듐(palladium) 촉매의 산소와 반응시켜 만든다. 위의 공중합반응을 아래의 그림에 간단하게 나타내었다.



1) 오토클레이브(autoclave): 고온·고압하에서 합성·분해·승화·추출 등의 화학처리를 하는 내열·내압성 용기



#### 4) 물리화학적 특성

EVA는 에틸렌만으로 중합된 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) 수지와 달리 초산비닐 단량체를 고압 라디칼 중합함으로써 LDPE와 다른 독특한 특성을 갖고 있다. LDPE는 현존하는 고분자 물질 중 내약품성이 가장 우수한 제품 중의 하나이나 EVA는 극성기를 가지고 있는 초산비닐 단량체의 도입으로 초산비닐 함량이 증가할수록 내약품성은 저하된다. 대부분의 산, 알칼리 및 유기/무기 약품에 대한 저항 특성은 우수하나 할로겐 및 방향족 화합물, 염소화 탄화수소 화합물 및 동식물 유지류에 약한 내약품 특성을 보이고 있다. EVA는 LDPE와 달리 극성기의 도입으로 초산비닐 함량이 증가할수록 흡습성이 증가하나, 에틸렌 대비 부피가 큰 초산비닐 단량체로 인한 결정화도 감소로 가스차단성이 떨어진다. 또한, 초산비닐 단량체 자체의 초산 냄새로 중합된 EVA에서도 냄새가 발생하여 용도 확대에 걸림돌이 되고 있다. EVA는 LDPE와 달리 융점이 낮아 포장재에 적용될 경우 저온 열 봉합 특성이 우수하다는 장점이 있으나 초산비닐 단량체 자체의 낮은 열 안정성으로 인하여 LDPE 대비 낮은 온도에서도 초산비닐 단량체가 분해되는 열세한 특성을 지니고 있다.

항목	초산비닐 함량			
	8%	19%	23%	33%
비중	0.93	0.94	0.95	0.96
인장강도 (MPa)	20	20	18	8.5
신장율 (%)	650	800	800	900

#### 5) 용도

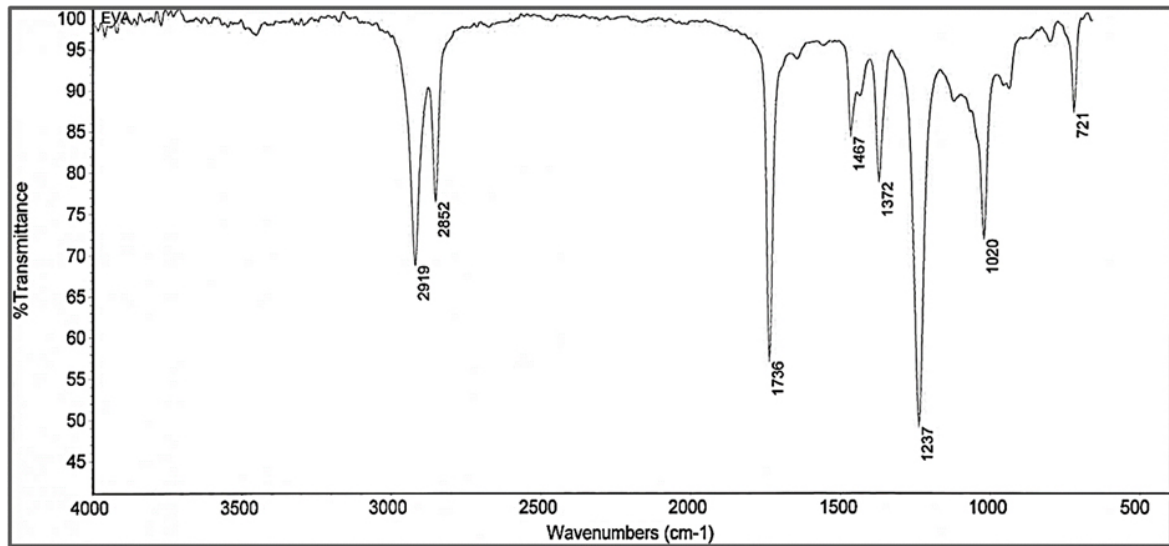
초산비닐 함량이 비교적 적은 EVA는 가스켓, 튜브, 각종용기, 필름, 라미네이트 제품, 발포제품 등에 이용되고 있다. 특히 인플레이션(inflation)법<sup>2)</sup>에 의한 중포장재, 폴리에틸렌(PE)이나 폴리프로필렌(PP)과의 다층 필름은 특이한 성능을 갖는 포장재로서 수요가 증대하고 있다. 또한 EVA는 가교 발포시키면 그 탄력성, 내마모성이 향상되므로 구두나 샌달 등의 신발류, 유모차나 삼륜차 등의 타이어의 분야에 넓게 진출되어 있고 전용 성형기도 개발되어 있다. 또한 시트(sheet)나 필름상의 발포 EVA 제품은 2차 가공되어 각종용기, 포장용 완충재 등에 이용되고 있다.

최근 종이 가공용에 EVA의 수요가 증가하고 있다. 또한 초산비닐 함량이 많은 EVA는 각종의 가소제나 천연수지와는 상용성이 좋고 핫멜트형 접착제의 주 원료로서의 용도가 있는데 제본, 합판, 제화 등의 분야에 넓게 이용되고 있다.

2) 인플레이션(inflation)법: 가열, 용융된 원료를 원형고리모양의 다이로부터 원통 형태로 압출되고 부드럽게 용융되어진 원통형의 형물내에 공기를 넣어 팽창시키면서 냉각시켜 필름을 만드는 방법

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR<sup>3)</sup> spectrum



자료: OMNIC spectra Library

### 【참고문헌】

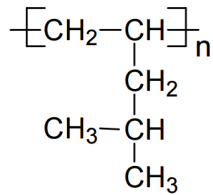
- [1] 생활환경안정정보시스템 초록누리.  
<https://ecolife.me.go.kr/ecolife/chmstryMtrr/chmstryMtrrShow/24937-78-8>
- [2] Han Y.-F., Kumar D., Sivadinarayana C., Goodman D. W. (2004) Kinetics of ethylene combustion in the synthesis of vinyl acetate over a Pd/SiO<sub>2</sub> catalyst, Journal of Catalysis, 224, 60-68

3) 푸리에 변환 적외선 분광학(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR)

## 나. 폴리메틸펜텐(polymethylpentene : PMP)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25068-26-2 >

#### 나) 명칭

Poly(4-methyl-1-pentene); PMP; Polymers with 4-methyl-1-pentene; 1-Pentene, 4-methyl-, homopolymer; 4-Methyl-1-pentene homopolymer; 1-Pentene, 4-methyl-, polymers; 4-Methyl-1-pentene polymer; 4-Methylpentene homopolymer; Poly(methylpentene)

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리메틸펜텐이란 기본 중합체(base polymer) 중 메틸펜텐의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

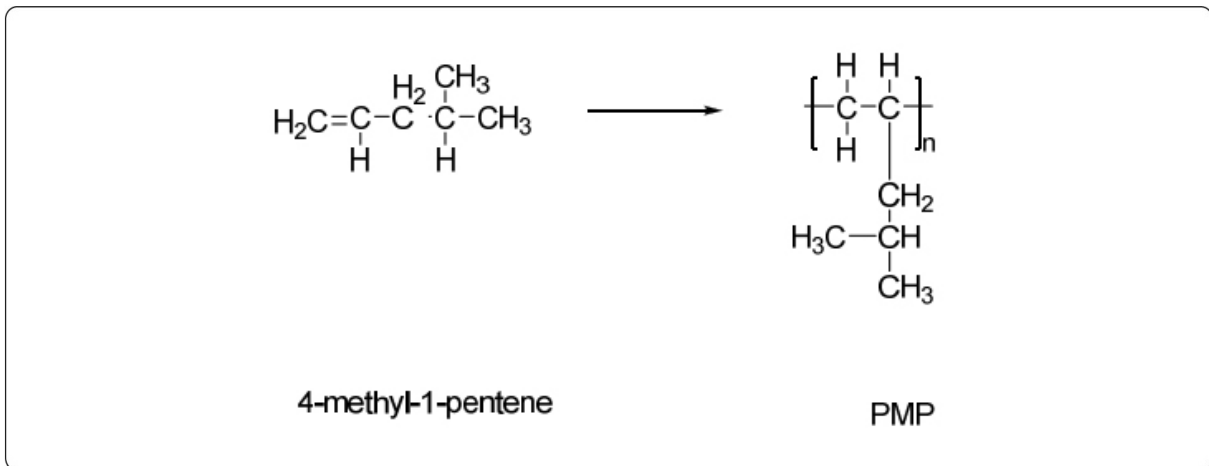
### 2) 개요

폴리메틸펜텐(PMP)은 투명한 내열성 폴리올레핀계 수지로서 의료분야, 식품포장분야, 전기·전자분야 등에 쓰이고 있다. 이 수지의 약칭 TPX는 transparent polymer X로부터 유래되었다. TPX는 영국 ICI<sup>4)</sup>사에서 개발되었지만 1973년, 미시이석유화학공주(주)에 제조판매권을 전면적으로 양도하여 현재는 동사가 세계에서 유일한 제조 메이커가 되었다.

4) ICI: Imperial Chemical Industries Ltd. 영국의 종합화학회사

### 3) 중합방법

PMP는 메틸펜텐 단위체를 중합하여 제조한 열가소성 수지이다. 단량체인 4-메틸-1-펜텐은 4-메틸-2-펜텐의 이성화반응이나 에틸렌과 트리이소부틸알루미늄의 반응으로도 합성할 수가 있으나 공업적으로는 프로필렌의 이량화(dimerization)에 의해서 비교적 염가로 얻을 수 있으며, 지글러-나타촉매를 이용하여 이소택틱 고분자를 만들 수 있다. 양이온 중합에는  $AlCl_3$ ,  $AlBr_3$ ,  $AlC_2H_5Cl_2$ 의 촉매가 사용되며 조촉매로서  $RCl$ ( $R=CH_3$ ,  $C_2H_5$ ,  $C_6H_5$  등)이 쓰인다.



### 4) 물리화학적 특성

열가소성 플라스틱 중에서 가장 가벼운 비중을 가지고 있다. 결정성 폴리머이면서 투명한 이유(가시광선 투과율 92%)는 결정 사이즈가 작고, 결정부와 비정부의 밀도차가 작기 때문이다. 폴리프로필렌(PP)과 유사한 기계적 강도를 보이고, 내추성<sup>5)</sup>, 내크림성<sup>6)</sup>은 PP보다 우수하다. 그 외 내열성, 내수성, 내스팀성<sup>7)</sup>, 내약품성(내산화성 시약 제외), 전기적 특성(플라스틱 중 가장 작은 유전율)이 뛰어나고 식품 위생에도 안전한 것으로 알려져 있다. 폴리에틸렌(PE), PP에 비하여 산소, 질소, 탄산가스의 투과성이 좋고, 산소의 투과율이 질소 투과율의 4~6배로서 산소투과막으로서 이용된다. 태양광, 고에너지 광선 조사에서는 열화하므로 연속적인 사용은 바람직하지 않다.

5) 내추성: 옷감에 구김이 잘 가지 않는 성질  
 6) 내크림성: 열이나 중량에 의해 변형하는 것  
 7) 내스팀성: 고온고압에 잘 견디는 성질

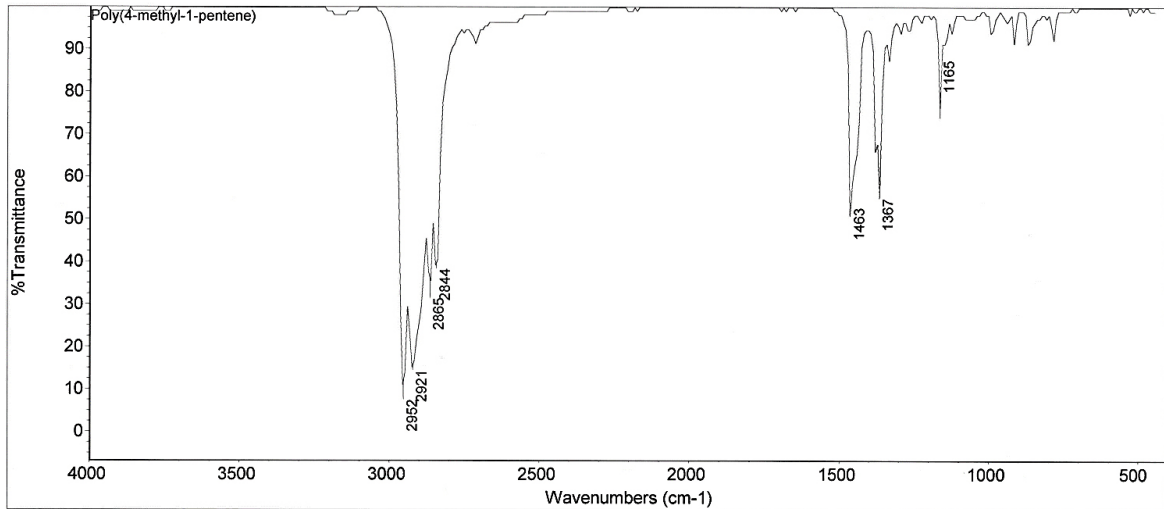
항목	PMP
$T_g$ (°C)	30~50
$T_m$ (°C)	235~245
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	0.84
비중	0.83
인장강도 (MPa)	23~28
신장율 (%)	10
마찰계수	0.42
열전도율 ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ )	0.90
용해도 ( $\text{J}/\text{mL}$ ) <sup>1/2</sup>	17.35

## 5) 용도

폴리메틸펜텐은 산, 알칼리에 대한 내약품성과 위생성, 내열성, 투명성이 우수하기 때문에 의료기기로서 주사기, 의료용 커넥터, 의약품 키트 용기, 수혈·수액 세트, 검사용 광학 셀, 초음파진단기부품, 치과용 트레이, 에니멜 케이지 등으로 사용되고, 실험기기로서 플라스크, 비이커, 메스실린더, 피펫, 분석 셀 등에 쓰인다. 그리고 저유선 손실과 내열성의 특징을 이용하여 전기·전자부품으로 전자레인지용 용기, 전자다리미 물탱크, 스피커 부품, 스팀용기 커버, 고주파 코일, 프린트 기관용 이형필름, 발광 다이오드용 수지형 등에 사용되며, 합성피혁용 공정지, 열경화성 수지용 이형필름 등으로도 사용된다. 또 식품 위생성과 내열성, 가스 투과성, 내유성의 성질을 이용해 식품포장, 식기 즉 쿠키 필름, 통기성 포장재, 베이킹 카톤 등에도 쓰인다. 그 밖에 가공품으로 각종 공업용 필름, 맨드렐 등과 특수프라이머, 핫스탬프, 스크린 인쇄, 고무호스 보호피막 등에 사용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

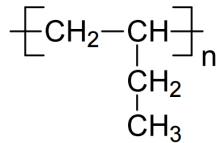
### 【참고문헌】

- [1] Krentsel B. A., Kissin Y.V., Kleiner V. I., Stotskaya S. S. (1997). Polymers and Copolymers of Higher  $\alpha$ -Olefins, Hanser Publishers: New York
- [2] 김소희 외(2009). 합성수지제 기구 및 용기·포장의 원료물질 분석법 확립 및 규격 설정 연구- PPS재질 중 1,4-디클로로벤젠, PMP재질 중 4-메틸-1-펜텐, PVC 재질 중 염화비닐, PVC재질 중 염화비닐리텐, 식품의약품안전평가원

## 다. 폴리부텐(polybutene-1 : PB-1)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9003-28-5 >

#### 나) 명칭

polybutene-1; PB-1; poly(1-butene); polybutylene; 1-butene, polymer;  $\alpha$ -butylene polymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

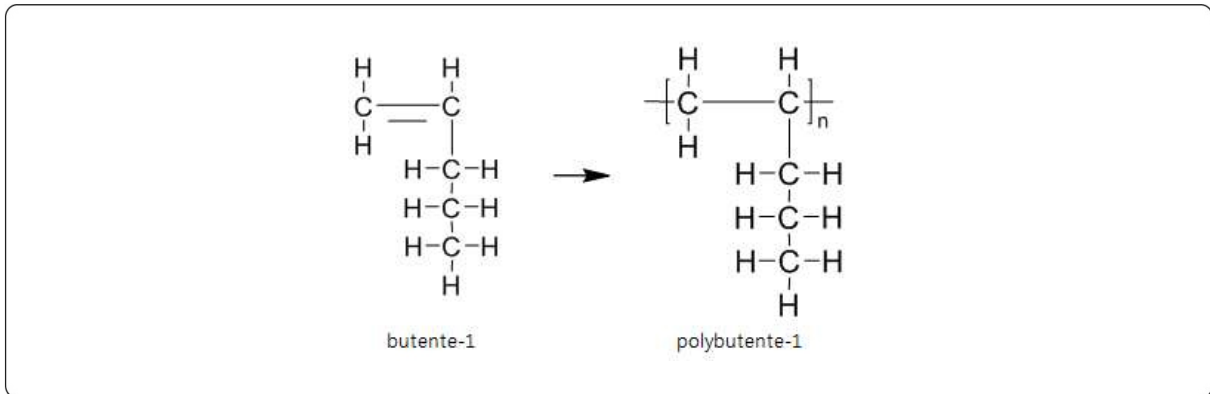
폴리부텐이란 기본 중합체(base polymer) 중 1-부텐의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

### 2) 개요

폴리부텐-1(PB-1)은 식용으로 쓰일 수 있는 물을 운반하기에 좋은 재료로 입증되어 처음에는 물을 배수하기 위한 파이프 재료로 개발되었다. 유연성을 가지고 있으며, 보통 1-부텐과 에틸렌의 공중합체로서 많이 생산된다. 폴리부텐은 1954년 처음으로 합성되었고 1964년 처음으로 대량생산할 수 있는 기틀이 마련되었다. 1968년 미국 루이지애나의 Taft사에서 작은 규모의 공장이 세워졌고, 1998년엔 Montell Polyolefins사에서 생산이 시작되었다.

### 3) 중합방법

PB-1의 중합에 사용되는 단위체는 폴리에틸렌의 탄소수 2, 폴리프로필렌의 탄소수 3에 비하여 탄소수가 4이다. 탄소수 4의 단위체에는 1-부텐, 2-부텐, 이소부텐의 3종류의 이성체가 있는데, 이들을 분리정제하지 않고 중합해서 얻는 비결정성의 저분자량의 고분자를 PB-1이라 부르고, 3종의 이성체 중에서 1-부텐 만을 추출 정제하여 지글러-나타 촉매를 사용하여 선형, 이소택틱, 결정성 특성을 지닌 고분자를 얻은 것을 말한다.



이소택틱 PB-1은 상업적으로 두 가지 타입의 지글러-나타 촉매를 사용하여 중합하게 되는데, 그 첫 번째는  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ 과 같은  $\text{TiCl}_3$ 의  $\delta$ -결정형의 고체 선촉매와, 유기 알루미늄 촉매의 용액의 두 성분을 가지는 것이다. 두 번째는 선촉매를 보완, 지지하는 타입이다. 촉매 내의 활성 성분은  $\text{TiCl}_4$ 이며, 지지체는 미세 결정인  $\text{MgCl}_2$ 이다.

#### 4) 물리화학적 특성

PB-1은 내크립성, 내충격성, 인장강도 및 내약품성이 우수하고 유연성이 뛰어나고, 용융점도가 낮기 때문에 폴리에틸렌(PE)이나 폴리프로필렌(PP)보다 분자량이 높은 것을 성형할 수 있으며, 강인성, 내마모성이 뛰어난 제품이 되는 것이 특징이다. PB-1은 고밀도폴리에틸렌(HDPE)이나 PP에 비교하여 결정화도가 낮고, 비결정부에서의 분자사슬간의 거리가 크기 때문에 다른 폴리올레핀과의 상용성이 우수하며, 무기 충전제(filler)를 대량으로 충전할 수 있다.

항목	PB-1
$T_g$ (°C)	-25
$T_m$ (°C)	130
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	0.95
비중	0.86~0.91
인장강도 (MPa)	17.6
신장율 (%)	275~320
마찰계수	0.30
열전도율 ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ )	0.20

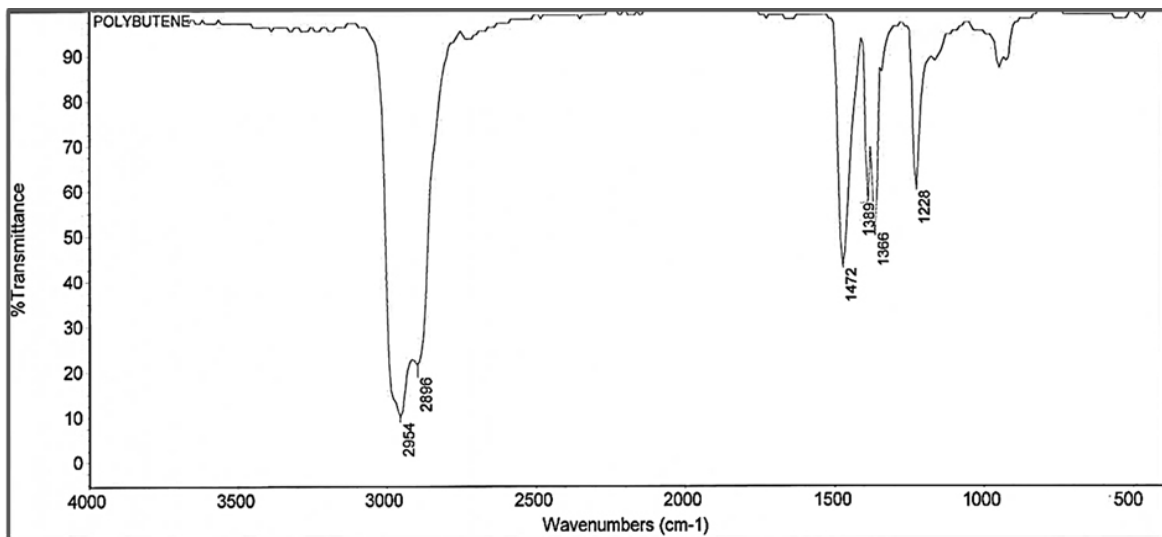


## 5) 용도

PB-1은 PE, PP와 상당히 유사한 성질을 가지며, 필름은 주로 식육포장용에 사용되기도 한다. PB-1의 가장 큰 용도는 쉽게 벗겨낼 수 있는 포장재료로서 대부분 차가운 고기를 포장하기 위한 포장 상자의 라이너 또는 팩으로 사용된다. PB-1은 온도에 상관없이 인장강도 등 포장 능력이 일정한 특성을 가지며, 필름으로 사용하기 위해 유연성을 바꿔주어도 투명도에는 변화가 거의 없고 응력완화성과 차단능력 역시 뛰어나다. 그래서 다른 특성을 가지는 재료와 적층해서 사용할 수 있고, 랩이나 테이프로도 사용이 가능하며 시트로 사용하거나 부식방지, 케이블 타이 등으로도 사용이 가능하다. 또한 PB-1은 높은 온도에서 녹을 수 있고, 여러 가지 접착 촉매와 혼합해 접착성과 변형성을 높일 수 있기 때문에 접착제로도 사용이 가능하다. 접착제로 쓰일 경우에는 부식포 섬유의 웹을 접착하기 위해 많이 사용된다. 다른 용도로는 드문 경우이긴 하지만 소화기나 수영장의 필터 하우징, 압축 공기 탱크 등에도 사용되거나, 와인 코르크를 대체할 수도 있다는 것이다. 또한 탁월한 막질 형성 능력과 우수한 소수성을 제공하여 껌을 부드럽게 안정시킬 수 있으므로 파라핀이나 천연검의 레진에 섞어 껌의 품질을 향상시킬 수 있으며, 의료용으로도 많이 쓰이는데, 인체의 피부에 직접 사용되는 압력 민감성 접착제뿐만 아니라 여러 가지 다양한 의료용 접착제들과 혼합하여 사용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

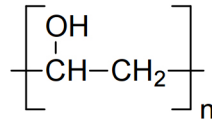
**【참고문헌】**

- [1] Grasmeyer, J.R. ed. Polybutene-1: The Fastest-Growing Polymer Material Used in Plastic Pipes?, Basell UK Ltd.
- [2] Zhang, B., Yang, D., De Rosa, C., Petermann, J. and Yan, S. eds. (2001). Single Crystal Structure of Form I Syndiotactic Poly(butene-1), *Macromolecules*, 34:5221-5223.
- [3] Azzurri, F., Flores, A., Alfonso, G.C., Sics, I., Hsiao, B.S. and Calleja, F.J.B. eds. (2003). Polymorphism of isotactic polybutene-1 as revealed by microindentation hardness. Part II: correlations to microstructure, *ELSEVIER, Polymer*, 44:1641-1645.
- [4] Ortiz, D.L. and Shambaugh R.L. eds. (2005). Melt-Spun Polybutylene Fibers and Nonwovens, INDA, ASSOCIATION OF THE NONWOVEN FABRICS INDUSTRY RORY HOLMES, INJ Winter, 36-54.

## 라. 폴리비닐알코올(poly(vinyl alcohol) : PVA)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9002-89-5, 25067-41-8, 27101-67-2 >

#### 나) 명칭

Poly(1-hydroxyethylene); Poly(hydroxyethylene); Poly(1-hydroxyethene); Poly(hydroxyethene), Poly(ethenol); PVA; PVOH; PVAL; POVAL; Ethenol, homopolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리비닐알코올이란 기본 중합체(base polymer) 중 비닐알코올의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

폴리비닐알코올(PVA)은 물에 녹는 중합체로서 비닐알코올 수지라고도 한다. 폴리비닐알코올은 1924년에 Herrmann과 Haehnel이 폴리비닐아세테이트(poly(vinyl acetate), PVAc)의 비누화 도중 처음 합성되었으며, 2차 세계대전 이후 일본에서 비닐론 섬유용 레진으로 상업화되기 시작했다.

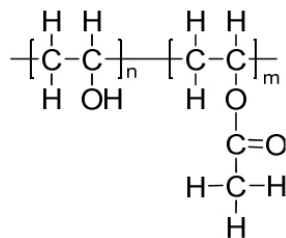
PVA는 쥐의 90일 독성 실험 및 2세대에 걸친 독성 실험 등을 통해서 이미 밝혀진 바와 같이 독성의 함량 매우 적어 안전한 물질이다. 인간에 대한 직접적인 실험은 제한적일 수밖에 없지만, 유럽, 일본, 미국에서 PVA가 약 조제 시에 캡슐이나 코팅용으로 쓰였을 때 인간에게 부정적인 역할을 한다는 어떠한 증거도 나타나지 않아 PVA는 1.8%w/w로 약물 캡슐 코팅제로 사용되고 있으며, 식품포장재로도 사용되고 있다. EVOH는 에틸렌·비닐알코올 공중합체를 의미하며, 기본 중합체 중 비닐알코올의 함유율이 50% 이상인 경우라면 PVA로 분류 가능하다.

### 3) 중합방법

PVA는 그 자체 단량체의 중합에 의해서는 얻어질 수 없으므로 비닐에스테르 계열의 전구체<sup>8)</sup>를 합성하고 이들을 알칼리나 산에 의해 가수분해하는 방법으로 제조된다. 따라서 PVA 자체는 전혀 가지를 갖지 않는 선형 고분자이며 그의 수평균 중합도<sup>9)</sup>는 전구체의 값과 큰 차이를 보인다. 결국 PVA의 분자량과 분자량 분포를 향상시키기 위해서는 전구체를 합성하는 과정에서 가능한 한 가지의 생성을 억제해야 한다. 현재까지 PVA의 전구체로서 가장 광범위하게 사용되고 있는 PVAc는 아세트산 비닐(vinyl acetate, VAc)을 중합하여 얻어진다. 국내외에서 상용화된 PVA의 경우 수평균 중합도는 500~4,000의 범위이다.

### 4) 물리화학적 특성

상업적인 PVA는 비닐아세테이트의 중합과 에스터화의 결과인 가수분해로 만들어진 합성폴리머의 혼합물이다. PVA의 화학 및 물리적인 성질들은 중합도와 가수분해 정도에 의해 결정된다. 일반적으로 가수분해 정도는 86.5~89% 사이이고 분자량의 범위는 26,000~300,000이다. 부분적으로 가수분해<sup>10)</sup>된 PVA의 화학적 구조는 다음과 같다.

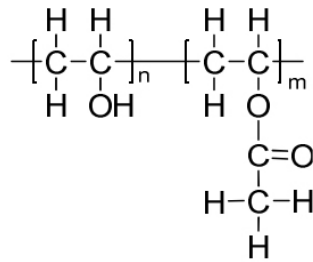


8) 전구체: 어떤 물질대사나 생합성 반응에서 최종 산물의 전단계에 해당하는 물질

9) 중합도: 고분자의 길이는 중합된 단량체의 개수

10) 가수분해: 자연계의 화학반응 중에 물분자가 작용하여 일어나는 분해반응

PVA의 물리화학적 특성은 다음과 같다.



항목	PVA
$T_g$ (°C)	58~85
$T_m$ (°C)	180~230
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.26~1.35
비중	1.27~1.31
인장강도 (MPa)	44~64
신장율 (%)	150~400
마찰계수	0.1
열전도율 ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ )	0.2
용해도 ( $\text{J}/\text{mL}$ ) <sup>1/2</sup>	7.26

## 5) 용도

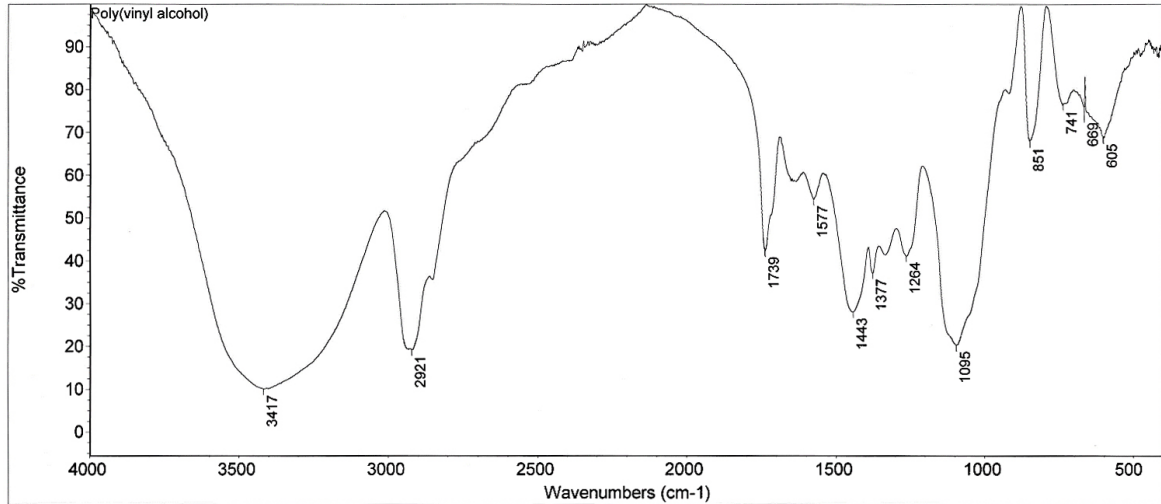
PVA는 생분해<sup>11)</sup>가 가능하고 수용성이며 토양에서 발견되는 박테리아에 의해 분해되므로 환경 보호에 민감한 용도의 재료로 각광받고 있다. 이러한 특성 때문에, PVA는 응용 범위가 매우 넓어서 가정용 제품에서 고기능성 산업용 재료로 사용되고 있다. 즉, PVA는 카드보드지, 베니어판, 사무용 접착제, 페라이트(ferrite)나 세라믹의 바인더, 고체 구충제, 발효 토양, 섬유의 경사 호제, 칼라 프린팅의 점층제, 세탁용 풀, 종이의 코팅이나 강화제, 유화중합이나 현탁중합의 유화제나 안정제, 스펀지 등으로 사용되고, 최근까지 분자량 및 입체 규칙성에 따라 발암물질인 석면섬유와 콘크리트 철근 대체용 고성능 섬유 및 환경친화성 수용성 섬유, 그리고 편광필름을 포함하는 각종 광학용 필름과 분리막에 사용되며, 인체장기 대체용 하이드로겔, 약물전달 시스템, 생체반응기(bioreactor), 생체센서(biosensor) 그리고 암 질환 및 혈관기형 치료용 색전재료<sup>12)</sup> 등의 최첨단 소재의 산업 전반적인 분야에 널리 사용되고 있다. 또한 자연분해가 가능하며 분해 시 물과 이산화탄소가 생성되어 환경오염의 발생이 없어 분리 작업이 필요하지 않고, 재활용이 가능하여 식품용 포장재로 쓰이고 있다. 식품포장용 랩으로 사용 시 분자사슬의 간략성과 분자사슬 내에 존재하는 인접한 수산기 간 수소결합으로 인해 우수한 내 산소투과성을 지니고 있어, 음식물 보관 시 장기간 신선도 유지가 가능하다.

11) 생분해: 환경 중에 방출된 유기물질이 미생물에 의해 분해되는 것

12) 색전재료: 결합하기 위하여 사용하는 재료

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

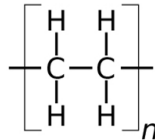
### 【참고문헌】

- [1] Carver, M.P., Monteiro-Rivier, N.A., Brown, T.T., Riviere, J.E. (1985). Dose-response studies of gentamicin nephrotoxicity in rats with experimental renal dysfunction. II. Polyvinyl alcohol glomerulopathy. *Toxicol Appl Pharmacol*, 80, 264-273.
- [2] CIR. (1998). Final report on the safety assessment of polyvinyl alcohol - Safety assessment of cosmetic ingredients (36th Report of the Cosmetic Ingredient Review Expert Panel). *Int J Toxicol* 17, 67-92.
- [3] CTFA. (1998). Six-Week Subacute Dermal Toxicity Study in Rats: Polyvinyl Alcohol. Unpublished Data Submitted June 20, 1995. By Cosmetic, Toiletry, and Fragrance Association, Inc. (CTFA), Washington, DC, 1975, (8 pages). Cited In: CIR.

## 마. 폴리에틸렌(polyethylene : PE)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9002-88-4 >

#### 나) 명칭

polyethylene; ethylene polymer; polyethene; ethene homopolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리에틸렌이란 기본 중합체(base polymer) 중 에틸렌의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

PE는 열가소성 수지로 올레핀계 고분자<sup>13)</sup>의 일종으로 에틸렌의 중합으로 생긴 사슬모양의 고분자 화합물인 폴리머가 되어 기체에서 고체로 바뀐 물질이다. 1933년 영국 ICI 실험실에서 고압의 에틸렌 가스를 통해 왁스 상태의 고분자가 생성되는 것이 발견되면서 최초로 중합되었다. 이 발견으로 1930년대 후반에 고온, 고압에서 겔사슬형 PE를 제조하는 자유라디칼 공정이 도입되었으며, 1940년대 초부터 고효율 전기 절연재가 항공 레이더 시스템 등에 사용되기 시작하였다. 최근에는 에틸렌을 중합할 때  $\alpha$ -올레핀<sup>14)</sup>을 첨가하여 공중합<sup>15)</sup>하거나, 저압법, 중압법 등 새로운 중합방법이 개발되어 구조 및 물리화학적 특성이 다양한 PE의 제조가 가능해짐에 따라 식품포장 뿐만 아니라 산업 용도로도 널리 이용되고 있다.

일반적으로 PE는 겔사슬의 정도 또는 밀도에 따라 저밀도 폴리에틸렌(low density polyethylene, LDPE), 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE) 및 선상 저밀도 폴리에틸렌(linear low density polyethylene, LLDPE)으로 분류할 수 있으며, 때로는 좀 더 세분화하여 극저밀도 폴리에틸렌(very low density polyethylene, VLDPE), 중밀도 폴리에틸렌(medium density polyethylene,

13) 올레핀계 고분자: 이중결합을 1개 가진 쇠상 탄화수소를 단위체로 중합하여 얻어지는 단독 중합체 또는 이중 올레핀과의 공중합체의 총칭

14)  $\alpha$ -올레핀: 탄소수가 4이상으로 말단에 이중결합을 포함하는 탄화수소

15) 공중합: 2가지 이상의 단량체를 혼합하고 중합 시 이들 단량체 단위를 모두 포함하는 공중합체가 얻어지는 중합반응

MDPE), 초고분자량 폴리에틸렌(ultra high molecular weight polyethylene, UHMWPE) 및 가교 폴리에틸렌 (cross-linked polyethylene)으로 분류하기도 한다.

### 3) 중합방법

PE를 제조하기 위한 주요 물질은 에틸렌 단량체이다. 여기에 고분자의 특성을 바꾸기 위해 1-부텐, 1-헥센 그리고 1-옥텐과 같은  $\alpha$ -올레핀 계열을 공단량체<sup>16)</sup>로 첨가한다. 표준 상태에서 에틸렌과 1-부텐은 가스 상태이고 나머지 두 단량체(1-헥센, 1-옥텐)는 무색의 액체 상태이다. 에틸렌과 같은  $\alpha$ -올레핀 계열의 단량체들은 석유나 다른 탄화수소 원료의 분류 과정에서 손쉽게 얻을 수 있고, 여기서 생산된 에틸렌 중 반 이상은 폴리에틸렌 플라스틱 제조에 사용된다. 에틸렌만 이용, 중합하여 단일중합체를 제조하거나 앞서 언급한  $\alpha$ -올레핀 계열의 단량체를 에틸렌과 같이 중합하여 다양한 종류의 PE 공중합체를 생산할 수 있다.

LDPE는 높은 압력(100~135 MPa)과 150~300°C의 온도 조건에서 에틸렌 가스에 소량의 산소 또는 유기 과산화물을 첨가하여 제조되는데 보통 오토클레이브와 관형 반응기 안에서 이루어진다. 이렇게 생산된 고분자의 밀도와 결정화도는 반응 온도에 따라 결정되고, 낮은 반응 온도에서 높은 밀도의 고분자를 얻을 수 있다. 고압법으로 생성되는 PE는 밀도가 0.915~0.925 g/cm<sup>3</sup>이다. 분자량이나 분자량 분포와 같은 고분자의 중요한 특성은 제조 과정 중의 압력과 사슬 이동제로 조절할 수 있다. 분자량은 대개 10,000~50,000 Da범위이다.

LLDPE는 에틸렌과 하나 이상의  $\alpha$ -올레핀 계열의 단량체를 공중합하여 기상<sup>17)</sup>이나 슬러리<sup>18)</sup> 반응 공정으로 제조되는데, 그 조건을 보면 지글러 타입의 촉매<sup>19)</sup>를 사용하고 낮은 압력(2~7.5 MPa), 최대 250°C 온도 하에서 합성이 이루어진다. 밀도는 공단량체의 양(보통 2.5~3.5 mole%)에 의해 대부분 결정되는데, 공단량체의 양이 많을수록 밀도가 낮은 고분자를 얻을 수 있다. 공단량체(1-부텐, 1-헥센, 1-옥텐)의 종류에 따라서도 고분자의 특성이 달라진다. 분자량은 50,000~2,000,000 Da범위이다.

HDPE는 단일중합체로 생산되는데 그 생산 조건은 LLDPE의 조건(온도, 압력, 촉매 등)과 비슷하다. 사용된 촉매의 종류에 따라 분자량 분포가 결정되고 분자량은 중합반응기에 반응의 종결을 위해 넣어주는 수소의 비율에 따라 결정된다. 분자량은 250,000 Da이상이다.

LLDPE와 HDPE는 메탈로센 촉매<sup>20)</sup>를 이용하여 균일한 구조로 제조할 수 있다. 이러한 조건에서 생산된 LLDPE 필름은 인성, 선명도 등의 특성이 향상된다.

16) 공단량체: 공중합체를 만들기 위한 여러 가지 단량체 중 하나

17) 기상: 용매 없이 기상의 단량체가 고상의 촉매와 반응

18) 슬러리: 고분자가 희석제(diluent)에 녹아 있지 않는 상태

19) 지글러 촉매: 제Ⅳ~Ⅷ족의 전이 금속화합물(Ti, V, Cr, Zr, Ni, Co)과 제Ⅰ~Ⅲ의 유기금속화합물(Li, Be, Mg, Zn, Al)의 착화합물이 사용되며, 공업적으로 TiCl<sub>4</sub>와 Al화합물이 대표적으로 많이 사용됨

20) 메탈로센 촉매: 사이클로펜타다이엔과 전이금속이 샌드위치 구조로 결합한 새로운 유기금속화합물인 비스(사이클로펜타다이엔일) 금속의 총칭



#### 4) 물리화학적 특성

PE는 일반적으로 좋은 인성<sup>21)</sup>, 높은 인장강도<sup>22)</sup>, 좋은 수분차단성을 가지고 있다. 또한 PE의 용융점이 낮아서 열접착이 용이하다. 산소나 유기물질에 대한 차단성은 중간 정도의 수준이다. 투명도와 강도 등의 특성들은 PE의 밀도/결정성, 분자량, 분자량분포에 의해 달라진다.

항복강도<sup>23)</sup>와 강성도<sup>24)</sup>를 포함하는 기계적 특성들은 밀도/결정성과 비례하게 증가한다. 인성과 인장강도는 분자량과 비례하게 증가한다. 이러한 PE의 물리적인 성질과 밀도/결정성 사이의 관계는 PE 종류를 쉽게 구분할 수 있게 해준다. 예를 들면, LDPE 필름은 부드럽고 상대적으로 더 투명한 경향이 있고, HDPE로부터 만들어지는 필름은 뻣뻣한 느낌이 들고 더 불투명하다.

모든 올레핀계 고분자는 산화되기 쉬운데, 특히 공정 중에 온도가 높아지면 더욱 산화되기 쉽다. PE는 산화되면 긴 결사슬<sup>25)</sup>을 형성하고 가교<sup>26)</sup>된다. 따라서 일반적인 산업에 쓰이는 PE에는 산화방지제가 포함되어 있다. LLDPE 또한 이름에서 알 수 있듯이 선형고분자이지만 결사슬을 갖고 있다. 이때, 결사슬의 길이는 제조과정에서 쓰이는 공단량체의 종류(1-부텐, 1-헥센 그리고 1-옥텐 등)에 따라 달라진다. 밀도는 공단량체의 종류와 양에 따라 2.5~3.5 mole%의 범위 안에서 조절할 수 있다.

PE의 종류에 따른 물리화학적 특성은 다음과 같다.

항목	LLDPE	LDPE	HDPE
T <sub>g</sub> (°C)	-110	-100	-130~-110
T <sub>m</sub> (°C)	105~125	105~115	~145
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	0.91~0.93	0.91~0.935	0.94~0.96
비중	0.92	0.92	0.95
인장강도 (MPa)	9~20	9~15	10~60
신장율 (%)	930	600	180~1000
마찰계수	0.7	0.3~0.5	0.25~0.3
열전도율 (W/(m·k))	1.48	0.3~0.335	0.46~0.52
용해도 (J/mL) <sup>1/2</sup>	17.35	16.1	18.01

#### 5) 용도

PE는 상대적으로 가격이 저렴하고 포장재로 쓰이기 적당하며 가공이 쉬워서, 1950년대부터 식품포장용 재료로 광범위하게 사용되고 있다. PE는 분자량에 따라 다른 특성을 보이고, 용도에 따라 두 가지 형태로 사용된다.

21) toughness: 파괴에 대한 저항도

22) tensile strength: 인장 하중에 의해서 시료편이 끊어질 때까지의 최대응력

23) yield strength: 재료가 거시적인 소성 변형을 시작할 때의 응력

24) stiffness: 재료에 외부에서 변형을 가할 때 그 재료가 주어진 변형에 저항하는 정도

25) 결사슬: 유기화합물에서 추가 되는 사슬 모양 또는 고리 모양의 골격으로부터 지나가누기가 된 부분

26) cross-linking: 다리를 걸치는 것처럼 사슬 고분자의 분자 사이에서 화학 결합을 형성시키는 것

필름 형태로 쓰이는 LDPE와 LLDPE는 내한성이 크고 내약품성과 우수한 강도를 나타내며 절연성을 가지기 때문에 냉동식품 포장에 많이 사용되고, 투명하고 유연성이 좋은 특성이 있어 연포장용 필름이나 일회용 장갑, 일회용 봉지, 마요네즈 및 케첩류의 연질성 용기, 우유나 주스용 종이팩 등에 주로 사용된다. PE 필름은 쓰임새에 따라 다른 성질을 보이는 재료들과 라미네이트<sup>27)</sup>하여 사용되는 경우가 많다. 뜨거운 음식을 포장하기 위해서는 열안정성이 좋은 나일론과 라미네이트 하고, 커피와 같이 향이 강한 음식을 포장하기 위해서는 가스투과율이 낮은 알루미늄 호일과 라미네이트하여 냄새를 차단한다. PE와 알루미늄 호일, 종이판을 라미네이트 시킨 필름은 보존 기간이 긴 우유나 주스 같은 액체류를 포장할 때 쓰이는데, 이때, PE는 투습방지, 알루미늄 호일은 가스 투과방지, 종이는 형태를 유지하는 용도로 사용된다. 또한 중공 공정<sup>28)</sup>을 통해 2축 방향으로 연신시키면 봉투나 파우치의 형태로 만들 수 있다. 최근엔 신장률과 파단저항<sup>29)</sup>이 큰 LLDPE가 기존에 쓰이던 LDPE보다 더 많이 사용되고 있다.

HDPE는 불투명하고 유연성은 떨어지지만, PP만큼 인장강도가 좋고 좋은 내화학성을 가지며 내열성이 좋아 고온가열 살균된 식품(레토르트 식품 등) 포장재와 우유와 같은 액체류 포장재에 많이 사용된다.

식품 포장재로 사용되는 PE가 사용되는 식품 및 음료류에 대한 몇 가지의 예시는 다음과 같다.

- 신선한 과일과 야채 : 봉투, 파우치, 열처리 및 연신된 필름, 대량 수송을 위한 컨테이너 라인
- 열린 과일 및 야채, 육류, 가금류, 생선 : 봉투, 파우치, 열처리 및 연신된 필름
- 곡물 : 봉투, 파우치, 보관 용기의 외부 포장재
- 빵, 제과류 : 봉투, 파우치
- 우유 및 유제품, 수프, 과일주스 및 과채음료 : HDPE 병과 폴리에틸렌/용기/폴리에틸렌이 얇게 처리된 보관용기
- 장기간 보존 과일주스 및 우유 : PE/알루미늄 뚜껑
- 요거트 및 그 외 하루 저장 제품 : PE/종이판/폴리에틸렌이 얇게 처리된 보관용기
- 커피 : PE/알루미늄/폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)가 얇게 처리된 파우치

#### < 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE) >



< 우유·주스 용기 >

< 소스 용기 >

#### < 저밀도 폴리에틸렌 (LDPE) >



< 지퍼백 >

< 포장지 >

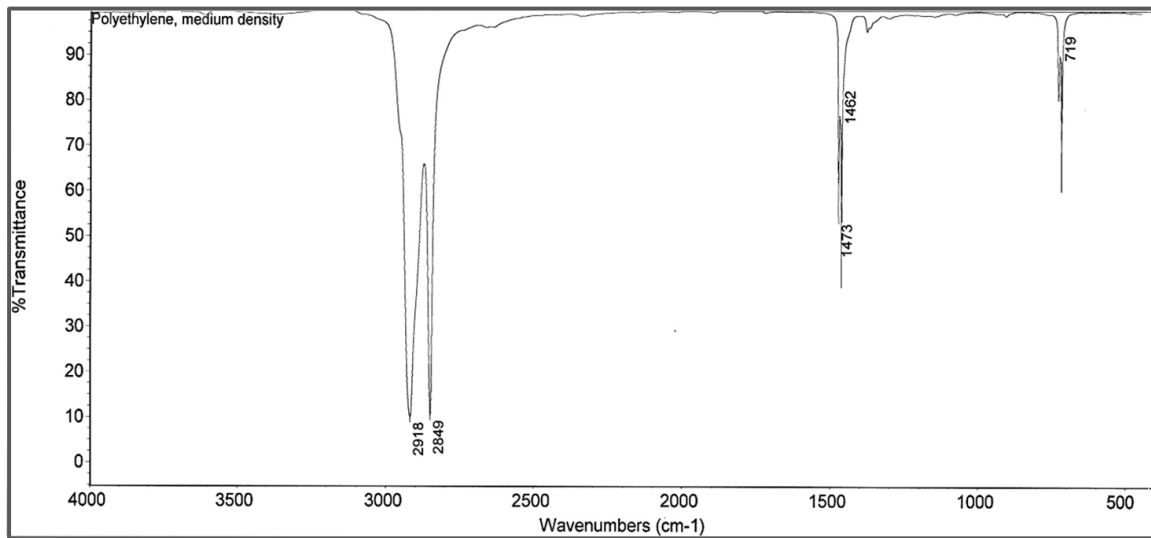
27) 라미네이트: 용도의 요구특성에 맞는 재료들을 열접착 등의 방법을 이용하여 적층시키는 것

28) 중공 공정: 고분자 응용물을 관 형태로 압출하고 압축공기를 이용하여 이를 팽창시킴으로서 필름을 제조하는 방법

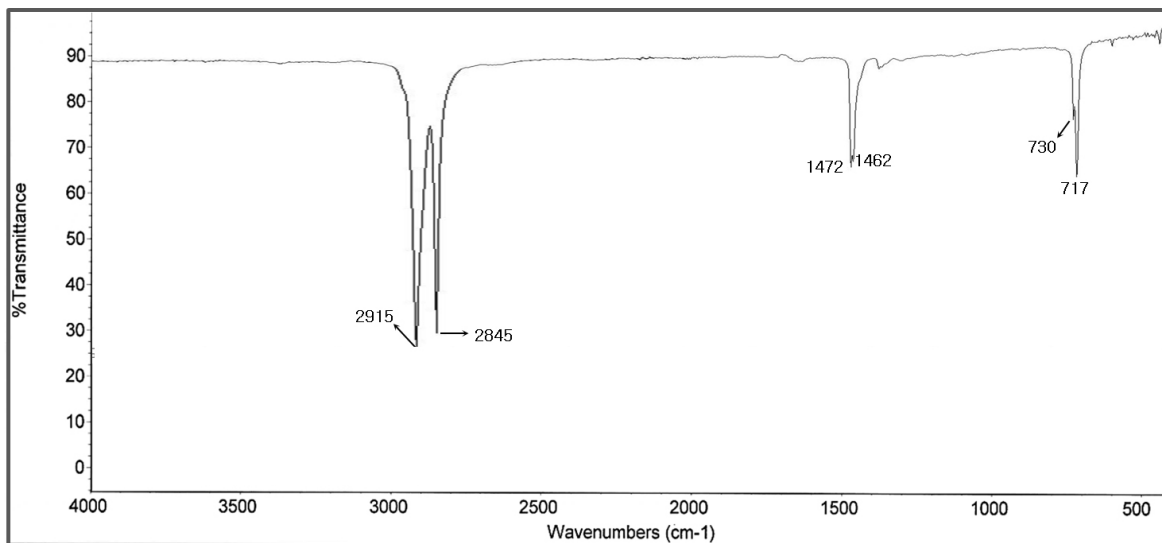
29) 인장 하중을 견디는 고무의 능력

## 6) 재질 확인 데이터

## ① FT-IR spectrum

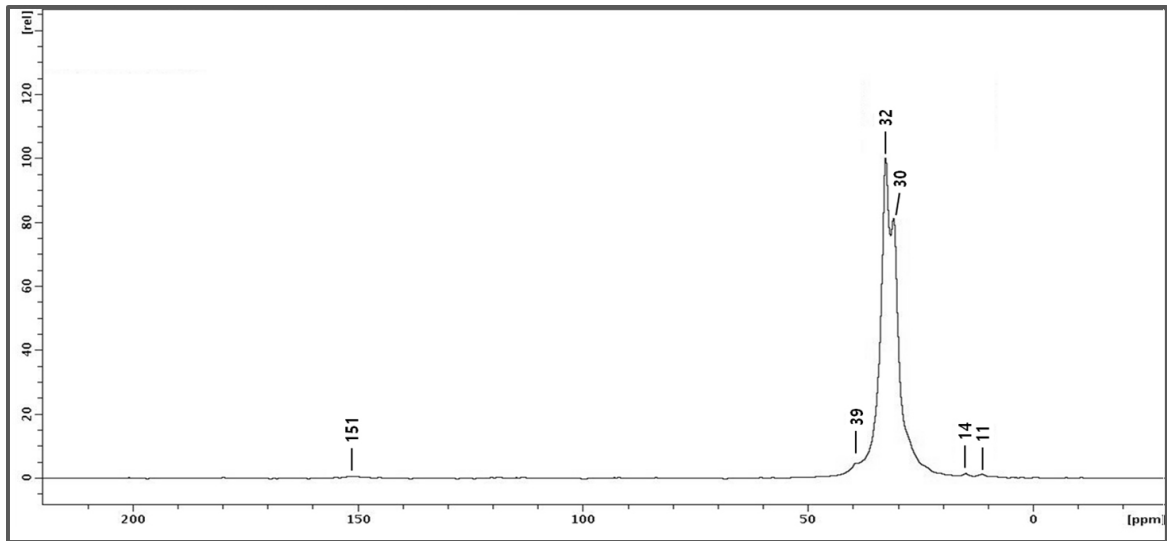


자료: OMNIC spectra Library



주: PE(포장재)

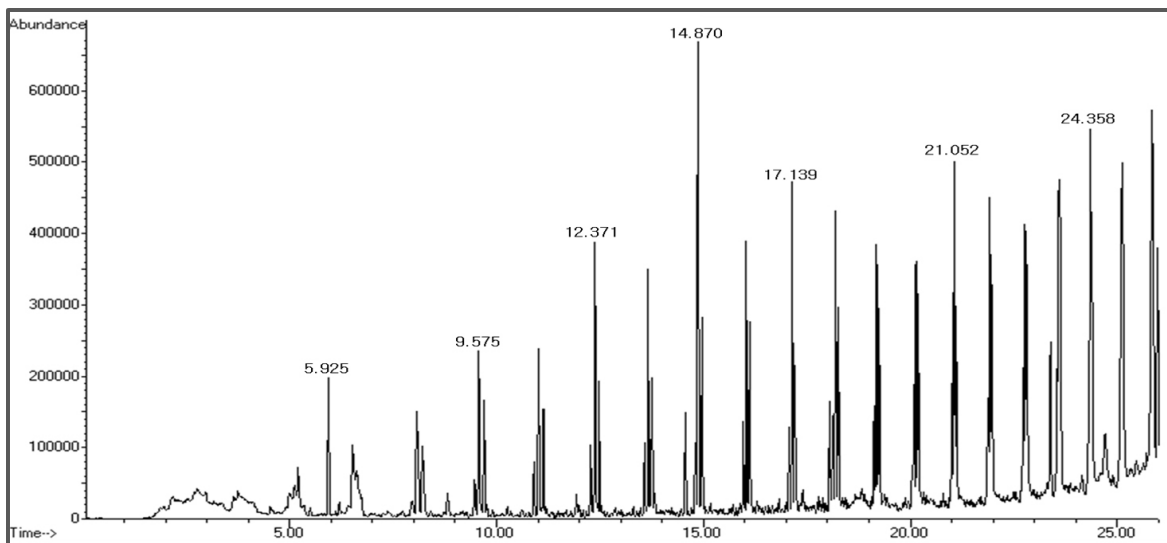
자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

② Solid NMR<sup>30)</sup>

주: PE(포장재)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PE(포장재)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

30) 핵자기공명(NMR; Nuclear Magnetic Resonance)은 유기화합물의 분석에서 탄소와 수소 사이의 framework를 분석해 유기물의 구조, map을 파악하는데 쓰이는 방법으로 자기장 속에 놓인 원자핵이 특정 주파수의 전자기파와 공명을 일으키는 현상을 이용하여 분석한다. Solid NMR은 고체시료로 분석한 NMR을 의미한다.

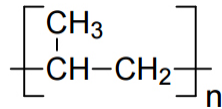
**【참고문헌】**

- [1] Ashford, R.D. ed. (1994). Ashford's Dictionary of Industrial Chemicals. Wavelength Publications, Ltd., London, UK, 148, 394, 468, 646, 734-735.
- [2] Brady, A.L. and Marsh, K.S., eds. (1997). Wiley Encyclopaedia of Packaging Technology, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 749, 754.
- [3] Kroschwitz, J.I. (1998). Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 4th edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 11: 843-845 and 17:704, 707, 723, 743.
- [4] Brown, W.E. ed. (1992). Plastics in Food Packaging: properties, design & fabrication, Marcel Dekker Inc, New York, USA, 107.
- [5] Parker, S.P. ed. (1997). McGraw-Hill Encyclopaedia of Science and Technology, 8th edition, McGraw-Hill, New York, USA, Vol. 14, pp. 197-198.
- [6] Mark, H.F., Bikales, N., et al. (1985). Encyclopaedia of Polymer Science & Engineering, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 6:384-385, 410.
- [7] Hernandez, R.J., Selke, S.E.M., and Culter, J.D. (2000). Plastics Packaging, Carl Hanser Verlag, Munich, Germany, 100-101, 199-208, 213.

## 바. 폴리프로필렌(polypropylene : PP)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9003-07-0 >

#### 나) 명칭

polypropylene; propylene polymer; propene polymers; 1-propene, homopolymer; polypropene

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리프로필렌이란 기본 중합체(base polymer) 중 프로필렌의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

PP도 PE와 마찬가지로 올레핀계 고분자이다. 이러한 고분자들은 올레핀 계열의 단량체로 만들어진다. PP 플라스틱은 1950년대부터 상업적으로 사용되기 시작했고, 2000년에 이미 3천만 톤이 넘게 생산되었고 그 사용이 꾸준히 증가하고 있다.

PE와는 다르게 PP는 이소택틱, 신디오택틱, 어택틱의 각기 다른 3가지 다른 입체규칙성을 갖는 구조가 가능하다. 이러한 서로 다른 구조는 PE의 구조 중 수소의 자리에 메틸기가 붙어서 형성된다. 이소택틱 구조는 고분자체인에서 각각의 3번째 탄소 원자에 같은 방향으로 메틸기가 달려있는 것을 말하고, 신디오택틱 구조는 위에서 말한 탄소에 붙은 메틸기의 방향이 교차로 붙어있는 것을 말하며, 마지막으로 어택틱구조는 메틸기의 방향이 불규칙하게 붙어있는 구조를 말한다.

### 3) 중합방법

PP는 프로필렌을 용액 속에서 지글러 나타(Ziegler-Natta) 촉매와 접촉시켜 상온~80°C, 3~10kg/cm<sup>2</sup>에서 중합하여 입체 규칙성의 PP(이소택틱 폴리프로필렌)로 얻을 수 있다. 폴리머 속에는 입체규칙성을 갖지 않는 연화점이 낮은 어택틱 PP도 약간 포함되어 있어서 이것을 비등 펜턴을 사용하여 추출 분리하고, 입체규칙성 폴리머 함량(Tacticity)을 90~95%정도로 한 것이 성형재료로서 시판되고 있다.

중합법에는 위에 기술한 Ziegler-Natta촉매를 사용하는 방법 이외에도 다양한 방법이 실시되고 있는데, 모두가 입체규칙성 폴리머를 얻는 것을 특징으로 하고 있다. 또한 에틸렌, 기타의 올레핀 종류나 비닐 모노머를 공중합 시킨다든지, 다른 폴리머를 블랜드한 재료가 시판되고 있다.

이러한 PP는 이축연신된 필름시트 형태로 가공되었을 때 주로 식품포장용의 투명시트로 사용된다. 1차적으로 연신된 PP 필름은 강인하고 투명성이 좋은 것이 특징이지만, 이것을 다시 가열하면서 세로와 가로로 이축연신을 가하면 강도나 여러 물성이 특별히 향상된다. 이축연신 방법으로는 우선 세로 방향으로 연신한 다음 텐터그립으로 양쪽 끝을 잡아 쥐고 가로 방향으로도 연신하는 방식과 튜브 상의 필름에 가압공기를 불어넣어 종횡의 양방향으로 동시에 연신하는 방식 등이 있다.

### 4) 물리화학적 특성

상업적인 PP 단일고분자는 대부분 이소택틱이고 높은 분자량의 반결정성 고체 형태이다. 충격강도는 중간정도이지만 인장강도와 강성도는 훌륭하다. 이것은 일반적인 반결정성의 특성으로서 식품포장용으로 쓰기에 적합한 특성이다.

충격강도를 높이기 위해서 이소택틱 PP는 에틸렌이나 부텐과 함께 공중합해서 랜덤중합체를 만든다. 이러한 공중합체는 상대적으로 투명하고 녹는점, 강성도, 인장강도가 낮다. 상업적인 폴리프로필렌은 0°C에서 딱딱하지만 프로필렌-에틸렌 공중합체는 더 낮은 온도에서도 덜 딱딱하다.

이러한 공중합체는 그 밀도가 상대적으로 낮아서 가공이 용이하고 마찰계수와 충격강도 등의 물리적인 성질을 높일 수 있다. 신디오택틱 프로필렌은 좀 더 낮은 결정성을 띠는데, 탄성체로 제한적으로 사용된다. 어택틱 프로필렌은 비결정성이고 영성해서 핫멜트(hot-melt) 점착제 같은 용도로 사용된다. 연신된 PP 필름은 낮은 수분 투과성, 중간정도의 기체 투과성, 용매에 대한 좋은 저항성, 기름과 화학물질에 대한 훌륭한 저항성, 뛰어난 마멸저항성, 높은 투명도와 같은 특성을 갖는다. 최근에는 가공기술의 발전으로 인해 배열되지 않은 두꺼운 필름에서도 높은 투명도를 갖기도 한다.

PP와 공중합체는 산화 분해되기 쉬운데 특히 가공과정에서 온도가 올라가게 되면 특히 그 정도가 심해진다. 그래서 상업적으로 PP 플라스틱을 제조할 때는 산화분해방지에 효과적인 산화방지제를 함께 사용한다. 산화는 PP를 분해시켜 낮은 분자량의 제품을 만들기도 한다.

항목	PP
T <sub>g</sub> (°C)	-10
T <sub>m</sub> (°C)	160~165
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	0.902~0.907
인장강도 (MPa)	25~30
신장율 (%)	500~800
마찰계수	0.3~0.5
열전도율 (W/(m·k))	0.22~0.22
용해도 (J/mL) <sup>1/2</sup>	8.9 (cal/ml) <sup>1/2</sup>

## 5) 용도

PP는 합리적인 가격과 다양한 용도의 특성이 있어서, 다양한 식품을 포장할 수 있는 포장재로서 선호되고 있다. 프로필렌은 PET 재질 음료용기나 HDPE 재질 우유용기를 제외한 딱딱한 타입의 식품 포장에 주로 이용된다.

필름은 캐스트나 이축연신<sup>31)</sup>된 OPP 필름<sup>32)</sup>형태로 만들어진다. OPP 필름의 가스(산소나 이산화탄소)차단 특성은 다층으로 코팅되면 더욱 향상된다. 밀봉성은 코팅이나 PE 또는 폴리프로필렌-에틸렌 공중합체와 라미네이션을 통해 얻어진다. OPP 필름의 차단 특성은 식품의 향기를 보존해준다.

OPP 필름은 종이와 다르게 곰팡이가 피지 않고 잘 찢어지지도 않으며 잘 마모되지도 않아서 차가운 물 같은 것을 담았을 때도 잘 떨어지지 않기 때문에 병 라벨로도 사용된다. PP는 일회용기로 사용되는 종이에 코팅되거나 라미네이트되어 사용되기도 한다. PP 냄비나 그릇은 사출성형<sup>33)</sup>이나 열성형과정에 의해 생산된다. 병이나 그릇, 쟁반 같은 것들은 가스차단 특성이 필요해서 에틸렌비닐알콜(EVOH) 같은 차단성 수지를 PP 층 사이에 끼워서 사용한다. EVOH와 PP을 붙이기 위해서 에틸렌-비닐아세테이트-비닐알코올 삼공중합체<sup>34)</sup>를 접착제로 사용한다.

표면에 상품 정보 등을 소비자에게 제공하기 위한 프린트를 하기 위해서 PP를 코로나 방출하거나 아크릴코팅을 하여 프린트가 접착이 잘 될 수 있게 할 수 있다. 어떤 제품은 먼지 붙는 것을 방지하고 상품의 외관 상태를 유지하기 위해 PP 플라스틱 표면에 정전기 방지 물질을 처리해야 하기도 한다.

31) 이축연신: 수지(樹脂), 용융(熔融), 압축(壓縮)하여 형틀에서 압축시킬 때 가로방향 및 세로방향으로 연신(延伸)시켜서 만든 필름

32) OPP 필름: 폴리프로필렌을 이축연신 시킨 필름

33) 사출성형: 가열에 의해 녹은 플라스틱 재료를 금형 속으로 사출시켜 고화(固化) 또는 경화(硬化)시켜 성형품을 만드는 가공방법

34) 삼공중합체: 3종의 다른 단위체를 중합함으로써 얻어지는 고분자

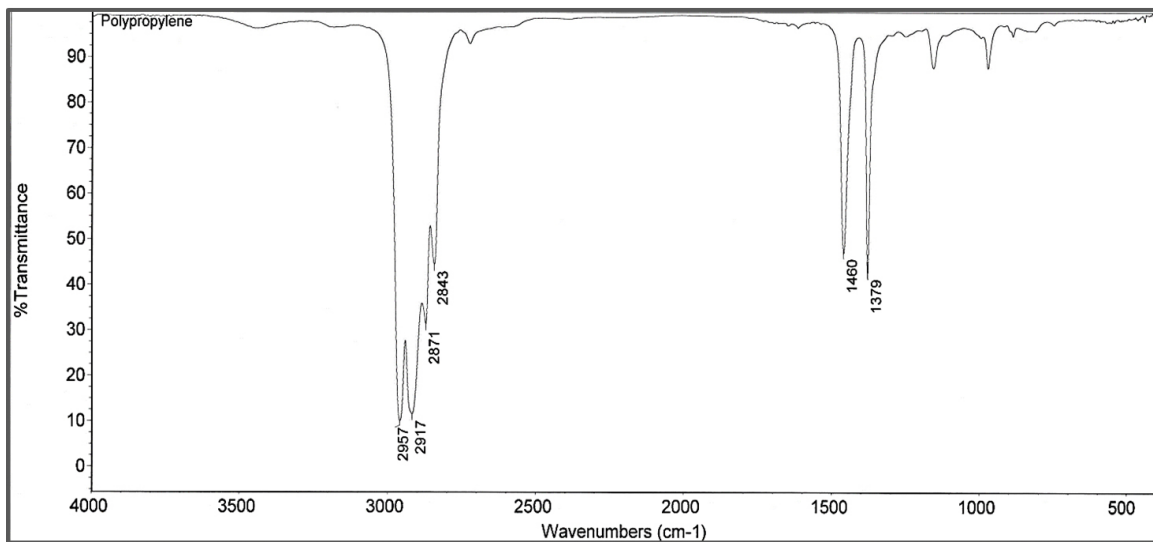


PP는 냄비나 그릇 같은 두꺼운 형태에도 투명성을 향상시키는 것이 가능하다. 고온 살균이나 저온 살균도 가능하다. 식품포장용 PP는 상업적인 식품보관용기, 일회용 컵 등으로 그 영역이 확장되었다. 또한 PP와 공중합체 플라스틱은 병이나 그릇의 뚜껑으로 사용되기도 한다. PP는 상대적으로 녹는점이 높기 때문에 가열되어 있거나 조리된 식품포장에 사용되기도 하고, 재사용 가능한 쟁반, 빵이나 과일 등을 대량으로 운반하는 상자로도 이용될 수 있다.

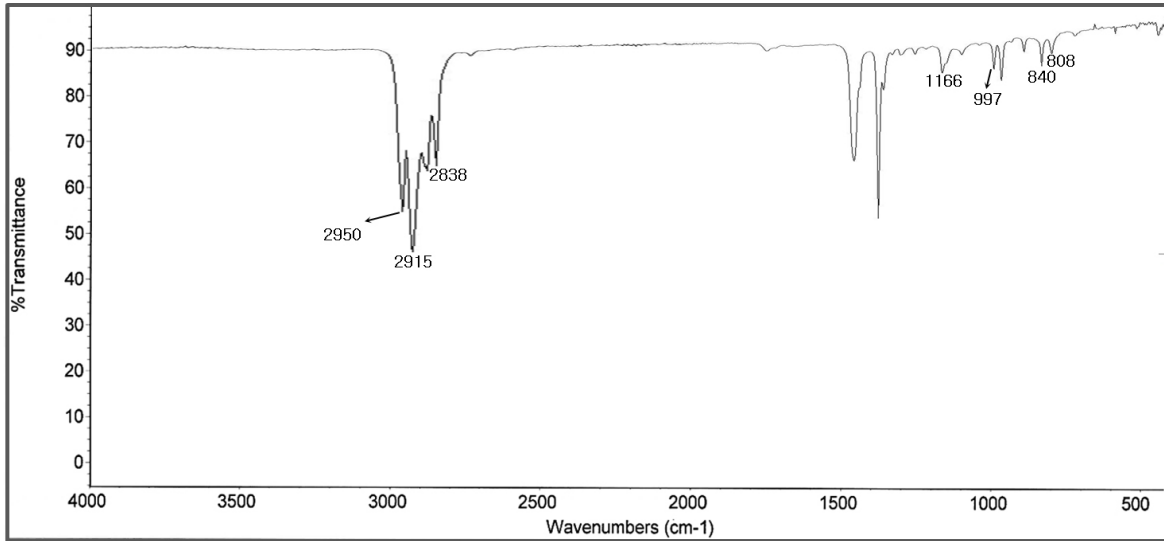


## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



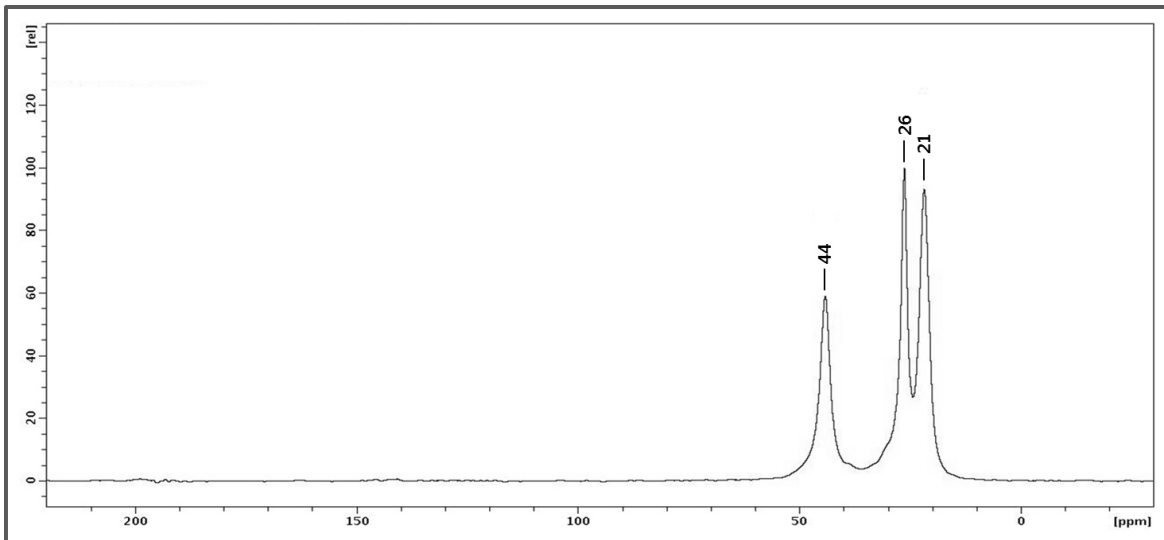
자료: OMNIC spectra Library



주: PP(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

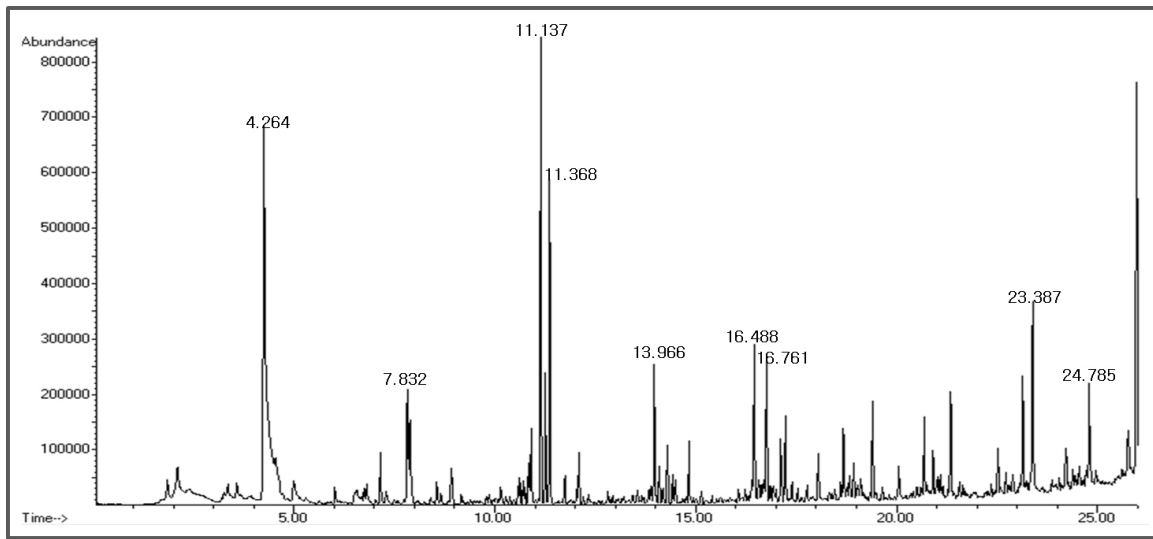
## ② Solid NMR



주: PP(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PP(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

**【참고문헌】**

- [1] Robinson, S. (2001). Breaking the Mould, Chemistry and Industry, SCI Press, London, UK, No. 12, pp. 377-378.
- [2] Kroschwitz, J.I. (1998). Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 4th edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 11: 843-845 and 17:704, 707, 723, 743.
- [3] Brown, W.E. ed. (1992). Plastics in Food Packaging: properties, design & fabrication, Marcel Dekker Inc, New York, USA, 107.
- [4] Giles, G.A. ed. (1999). Handbook of Beverage Packaging, Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, pp. 115-125.

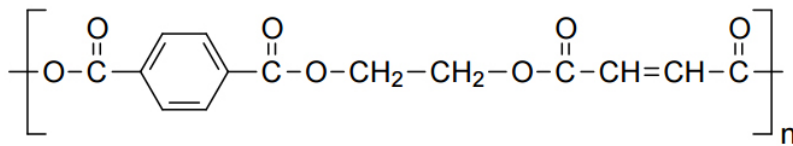
## 2 에스테르계

에스테르(ester)는 알코올 또는 페놀이 유기산 또는 무기산과 반응하여 물을 잃고 축합하여 생긴 화합물의 총칭이다. 폴리에스테르는 에스테르 작용기(RCOOR')를 주쇄에 가지는 합성수지체를 말한다. 이중 생분해효소에 의한 가수분해가 이루어지며 생기는 지방족 에스테르기를 가지는 합성수지체는 지방족 폴리에스테르계로 분류되기도 하며 히드록시부필톨리에스테르(HBP), 폴리락타이드(PLA), 부틸렌숙시네이트 공중합체(PBS) 및 부틸렌숙시네이트-아디페이트 공중합체(PBSA)등이 이에 해당한다.

### 가. 경화폴리에스테르수지(cross-linked polyester resin)

#### 1) 기본정보

##### 가) 화학구조



< CAS No.: 113669-95-7 >

##### 나) 명칭

cross-linked polyester resin; Polyester resin; Fatty acids, castor-oil, caustic-oxidized, distn. residues, esters with 1,3-butanediol, Synthetic resin

##### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

경화폴리에스테르수지란 기본 중합체(base polymer) 중 폴리올 또는 에폭사이드와 불포화 이염기산의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

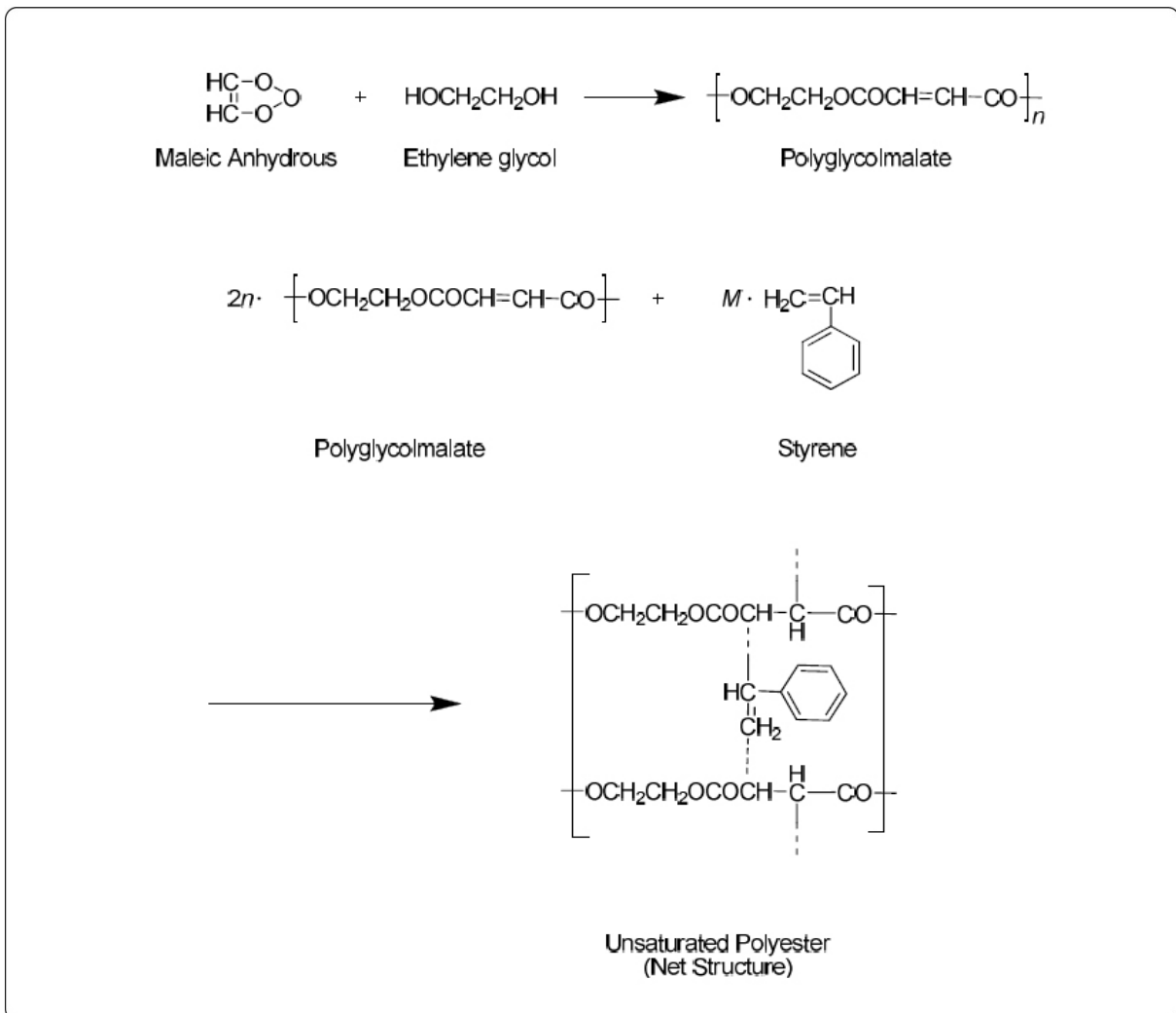
#### 2) 개요

폴리에스테르는 비교적 낮은 점도의 액상 수지이며, 촉매의 사용법에 따라서는 실내온도에서도 경화하고 또한 경화할 때 대부분의 열경화성 수지와 같이 가스를 발생시키지 않기 때문에 성형에는 거의 압력을 가할 필요가 없다는 특징이 있다. 이로 인해 유리섬유에 함침시키고 대형의 성형품을 만드는 것이 용이하여 경화폴리에스테르수지(cross-linked polyester resin)로서 발전해왔다.

이러한 경화폴리에스터수지는 일본에서도 1952~1953년경 공업화되어, 주형, 도료(가구용) 분야에서 발전했는데, 그 후 정화조, 욕조, 어선, 물탱크 등 강화 플라스틱으로서 본래의 용도는 물론 식품포장재로서의 활용도 역시 증대하고 있다.

### 3) 중합방법

경화폴리에스터수지는 다염기산과 다가 알코올(ethylene glycol 등) 또는 다염기산과 알킬렌옥사이드를 반응시켜 얻어진 불포화 에스터를 중합하고자 하는 단량체에 용해하여 열경화성 수지로 만든 것이다. 불포화 2가산<sup>35)</sup>(maleic anhydrous 등)과 다가 알코올을 주원료로 하여 이들 간의 에스터화반응(축합반응)을 일으켜 분자량 2,000~3,000 Da 정도의 올리고머를 생성한 후 불포화 폴리에스터에 용제로서 비닐계 단량체인 스티렌 등을 가하면 불포화 폴리에스터 수지가 제조된다. 이에 과산화물 촉매를 가하면 상온에서 경화반응을 일으켜 망상구조의 고분자 물질을 생성하게 된다.



35) 2개의 카복시기(-COOH)를 가지는 탄화수소 사슬의 지방산

#### 4) 물리화학적 특성

폴리에스터수지는 점도가 낮아 제조 공정이 용이하며, 보강재에 대한 함침성과 접착성이 우수하다. 상온에서 고온까지 광범위한 조건에서 경화시킬 수 있으며 경화 시 부생성물을 생성하지 않는다. 일반적으로 양호한 기계적 성질, 내수성, 내약품성을 가지며 치수안정성과 내열성 등이 뛰어나고 가격이 저렴하다. 유리섬유로 강화된 폴리에스터 수지는 가볍고, 녹슬지 않으며 비강도가 크고 폭넓은 영역에서 사용된다.

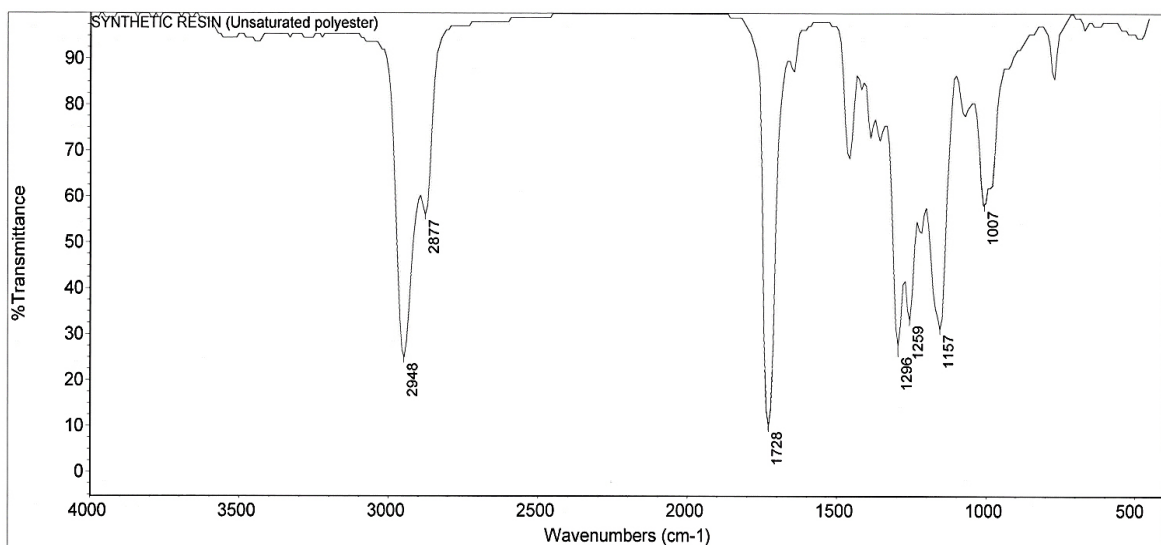
항목	Cross-linked polyester resin
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.12
인장강도 (MPa)	60
신장율 (%)	2
열전도율 ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ )	0.17

#### 5) 용도

유리섬유 보트, 건축 판넬, 환풍기 팬, 울타리, 헬멧, 압축기 하우징, 자동차 부속부품, 욕실 악세사리 등에 사용된다. 포장재용으로 사용되는 폴리에스터 필름은 우수한 가스 및 수분 차단 특성을 바탕으로 스낵용, 레토르트용 등의 식품 포장용을 비롯하여 각종 포장재의 소재로 사용되고 있다. 포장용 필름의 특징은 다양한 가공 방법과 요구 특성에 대응할 수 있는 가공적성이 우수하다는 것이다. 또한 표면처리 기술을 적용하여 인쇄성, 접착성, 주행성, 작업성, 내수성 등 고기능성을 부여하는 다양한 제품을 생산할 수 있다.

#### 6) 재질 확인 데이터

##### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

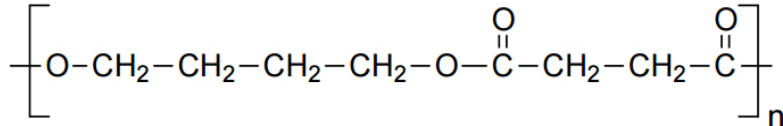
**【참고문헌】**

- [1] Grayson M. and Eckroth D., Ed., (1982). Encyclopedia of Chemical Technology 3rd ed., John Wiley & Sons, 18, 575.
- [2] Das B., Loveless H. S. and Morris S. J., (1981). Effects of Structural Resins and Chopped Fiber Lengths on the Mechanical and Surface Properties of SMC Composites, 36th Annual Conference of the Reinforced Plastics Composites Institute, The Society of the Plastics Industry.
- [3] 김정년 외(2009), 경화폴리에스터수지에 대한 개별 규격 신설을 위한 연구, 식품의약품안전평가원

## 나. 부틸렌숙시네이트 공중합체(butylensuccinate copolymer : PBS)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25777-14-4 >

#### 나) 명칭

poly(tetramethylene succinate); 1,4-butanediol, polymer with butanedioic acid; butanedioic acid, polymer with 1,4-butanediol; 1,4-butanediol-succinic acid copolymer; 1,4-butylene succinate copolymer; 1,4-butanediol-succinic acid copolymer; 1,4-butylene glycol-succinic acid copolymer; succinic acid-tetramethylene glycol copolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

부틸렌숙시네이트 공중합체란 기본 중합체(base polymer) 중 호박산 및 1,4-부탄디올의 공중합물질의 함유율이 60% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

PBS는 호박산(숙신산)과 부탄디올 축중합에 의해 합성되는 가장 중요한 생분해성 폴리에스터 중 하나이다. 반응은 두 단계로 진행된다. 먼저 diacid와 diol 사이에 먼저 에스테르화가 이루어지며, 고온에서 중축합이 일어나 고분자량의 지방족 폴리에스테르인 PBS를 형성한다. 축중합 반응법으로는 각종의 Diol과 디카본산의 조합을 선택함으로써 융점이 높은 지방족 폴리에스테르도 합성할 수 있다는 이점이 있다.

PBS의 용해점은 115℃로 폴리락트산(PLA)에 비해 낮고, 다른 지방족 폴리에스테르에 비해 생분해성, 열성, 용해가공성, 내화학성이 뛰어나다. 또한 다른 재료와의 혼합 가공 및 취급이 용이하기 때문에 시간을 단축하여 산업 가공비용을 절감할 수 있다.

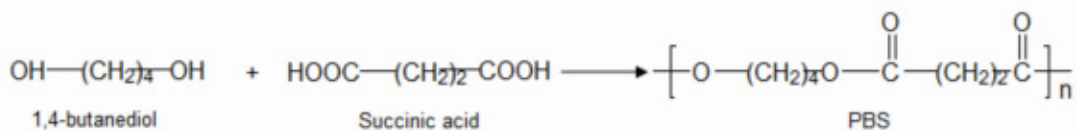
PBS의 생분해성은 단기간에 높은 비율로 분해될 수 있으며, 직접적인 식품 접촉 등급으로 이용할 수 있어서 일회용 식품포장용기로 적합하다.



PBS의 취약성은 결합 과정을 통해 강화할 수 있는데, 호환제 또는 첨가제가 있으면 혼합물의 혼합성이 증가하여 충격강도 또한 증가한다. 호환제로 우레탄 복합체를 사용할 수 있으며, 오일 야자, 아마, 주트 같은 천연섬유들과 결합되어 환경적으로 지속가능하고 재활용 가능한 생분해성 합성물을 만들 수도 있다. 그러나 결정화 속도가 느리고 용융 점성도가 낮으며 부드러움 등의 단점은 특히 사출성형 과정에서 처리 능력과 용도에 제약을 줄 수 있다.

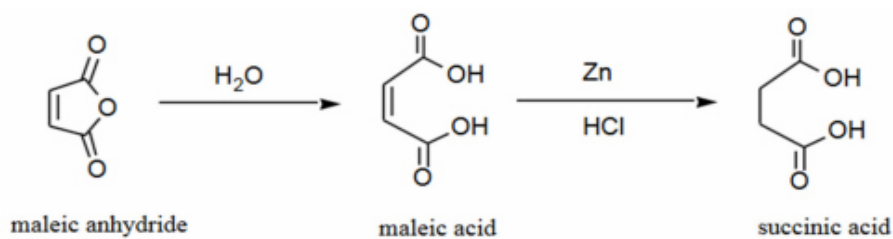
### 3) 중합방법

PBS는 호박산(또는 디메틸 호박산)의 다중축과 화석 기반 또는 재생 가능한 자원으로부터 단량체를 얻을 수 있는 1,4-부탄디올과 같은 다양한 방법으로 합성될 수 있다. 이 합성 방법의 이점은 열 및 기계적 특성과 열가소성 수지의 처리 가능성을 증가시킨다는 것이다. 석유화학 호박산을 처리하는 가장 인기 있는 방법은 말레산 또는 말레산 무수물의 축매 수소화이다.



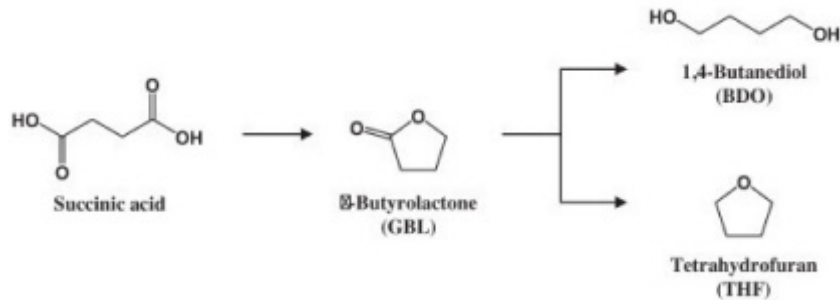
< PBS의 합성 >

아래 그림은 말레산 무수화물의 호박산으로의 가수 분해가 어떻게 시작되는지를 보여준다. 말레산은 탄소와 산소 사이의 단일 결합 중 하나가 파괴될 때 만들어진다. 또한 수소를 첨가함으로써 탄소-탄소 이중 결합을 분할하고 반응을 완료하여 호박산을 생성한다.



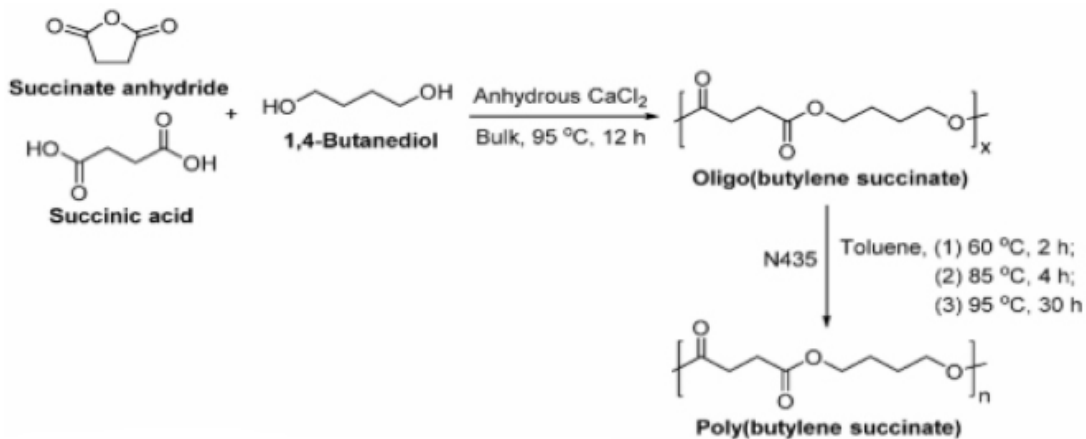
< 호박산에 대한 말레산 무수화의 반응 >

발효 과정 또한 호박산을 생산할 수 있다. 호박산을 제조하기 위해 생물공학적인 방법에 미생물이 사용되기 때문에 생물기반 PBS를 생산하기 위해 다양한 미생물을 선별·시험하였다. 아래는 PBS를 생성하기 위한 수소화 과정을 통해 호박산을 1,4-부탄디올로 변환하는 방법을 보여준다.



< PBS 생성을 위한 1,4-부탄디올로의 숙산산 반응 >

재생 가능한 자원을 사용하여 호박산을 생산함으로써, 석유기반 공정에 비해 비용이 많이 들 수 있다. 최근 연구는 호박산 생성을 위해 *Anerobiospirillum succiniproducens*, *Actinobacillus succinogenes* 및 *Manhimia succiniproducs*와 같은 다양한 유형의 미생물이 사용됨에도 불구하고, 높은 포도당 농도와 공기 노출로 인해 유기체는 불안정성과 열화가 일어나기도 한다. 그 외에도 높은 분자량을 가진 화학적으로 합성된 지방질 폴리에스테르도 PBS의 특성을 개선할 수 있었다. 이전 연구에서 직접 다음축을 통한 폴리(부틸렌 호박산-코에틸렌 호박산)의 합성은 강력한 물질이 존재할 때 다이올 및 다이옥산과 반응하는 것으로 보고되었다. 아래 그림은 N35를 촉매로 사용한 직접 다음축 공정을 통한 PBS의 반응을 보여준다. Showa High polymer Co., Ltd.(일본 도쿄)의 PBS는 높은 반응 온도(190°C)에서 유기금속 촉매로 만들어졌고, 고형 금속-에스테르 상호작용으로 인해 분자량이 증가하고 잔여 금속 또는 물질이 복잡하게 제거되었다. 실제로 고온과 유기금속성분들의 반응은 단량체/중합체 분해반응의 원인 중 하나일 수 있다. 그 결과 물질이 변색되고 분자량이 낮아진다.



< N435 촉매의 호박산 공중합과 호박산 무수화합물을 통한 폴리(부틸렌 호박산) 합성 >

또한, PBS 합성에 마이크로파 조사를 사용할 수 있다. 이 프로세스는 안전하고 경제적이며 간편한 가열 수단으로서 수율을 높이고 반응시간을 단축할 수 있다. 이전 연구에 따르면, 1,3-디클로로-1,1,3,3-테트라부틸디스탄녹산이 이 과정을 이용하여 PBS 합성의 촉매로 사용되었다.

#### 4) 물리화학적 특성

Showa High polymer(Japan)는 호박산, 아디프산, 에틸렌 글리콜, 1,4-부탄디올을 기반으로 한 다양한 지방족 코폴리에스터(PBS 및 PBSA)를 “vBionolle”이라는 상표로 합성하여 상품화하였다. 이러한 폴리에스터는 100°C 이상의 용해 온도와 300°C 이상의 열분해성 온도 및 LDPE, HDPE 및 PP와 유사한 특성을 보인다. 기존 장비를 사용하여 사출 성형, 압출 및 필름 블로잉<sup>36)</sup>으로 처리할 수 있다. 따라서, 이것들은 석유화학 폴리올레핀의 잠재적 대안으로 여겨진다.

물리적 특성	Bionolle (#1001)	Bionolle (#3001)	LDPE	HDPE	PP
T <sub>g</sub> (°C)	-32	-45	-120	-120	5
T <sub>m</sub> (°C)	114	94	110	129	163
HDT (°C)	97	69	88	110	145
인장강도 (MPa)	57	47	35	39	44
항복강도 (MPa)	32	19	12	27	31
굴곡 계수 (MPa)	656	323	176	1070	1370
파단시 변형 (%)	700	900	400	650	800
190°C에서 MFR (g/10분)	1.5	1.4	2	2	4

PBS는 다른 단량체와의 공중합, 천연섬유 혹은 생분해성 고분자와의 블렌딩에 관한 다양한 연구가 존재하지만, 특히 셀룰로스 유도체를 이용한 연구가 PBS의 물성을 효과적으로 개선시킨다고 보고되었다.

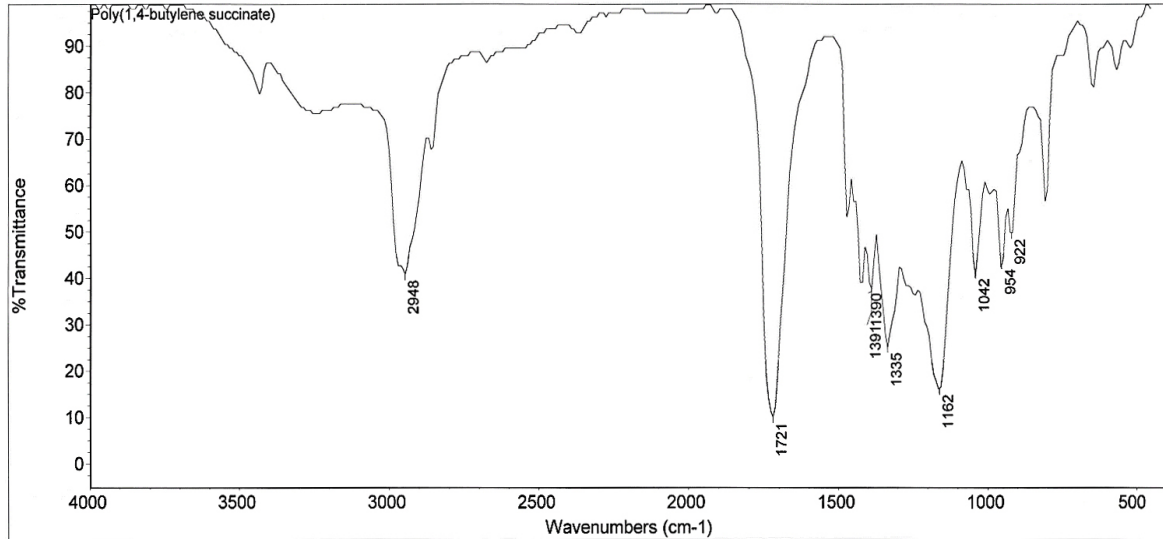
#### 5) 용도

PBS는 생분해성 수지(플라스틱)에 해당하므로 생분해성 포장재에 이용되며 폴리락타이드(PLA)와 혼합·제조되어 과자나 케이크의 포장 필름 등에도 사용된다. 그 외에도 생체의학, 제초 필름, 식기, 일회용품 등 다양한 분야에 사용되는데 멀칭 필름, 비료, 어망, 가방, 부직포 시트 및 의류, 케이터링 상품, 폼 등을 제작하는 데 사용할 수 있다.

36) 필름 블로잉(Film blowing): 플라스틱 재료를 원통 모양으로 압출하여 내부에 공기 또는 가스를 주입하여 팽창시킴으로써 두께가 얇은 필름을 성형하는 것.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

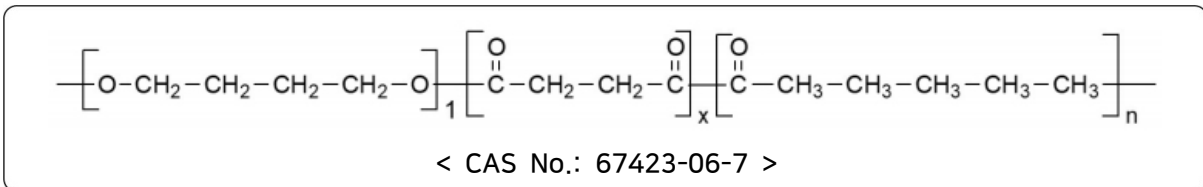
### 【참고문헌】

- [1] 식품의약품안전처. (2020). 식품용 기구 및 용기·포장의 기준·규격 해설서
- [2] S. Ayu Rafiqah, Abdan Khalina, Ahmad Saffian Harmaen, Intan Amin Tawakkal, Khairul Zaman, M. Asim, M.N. Nurrazi, Ching Hao Lee. (2021). A Review on Properties and Application of Bio-Based Poly(Butylene Succinate)
- [3] Long Jiang, Jinwen Zhang. (2017). Applied Plastics Engineering Handbook(Second Edition) Processing, Materials, and Applications Plastics Design Library 2017, pp.127-143
- [4] 산업정책분석원(2020). 친환경 플라스틱 시장 분석과 생분해성 소재 기술개발 동향. 424, 437.

## 다. 부틸렌숙시네이트-아디페이트 공중합체(butylenesuccinate-adipate copolymer : PBSA)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

butylenesuccinate-adipate copolymer; PBSA; 1,4-butanediol, polymer with butanedioic acid and hexanedioic acid; butanedioic acid, polymer with 1,4-butanediol and hexanedioic acid; 1,4-butanediol-adipic acid-succinic acid copolymer; 1,4-butanediol-hexanedioic acid-succinic acid copolymer; 1,4-butanediol-succinic acid-adipic acid copolymer; 1,4-butylene adipate-1,4-butylene succinate copolymer; adipic acid-1,4-butanediol-succinic acid copolymer; adipic acid-1,4-butylene glycol-succinic acid copolymer; adipic acid-succinic acid-tetramethylene glycol copolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

부틸렌숙시네이트-아디페이트 공중합체란 기본 중합체(base polymer) 중 호박산, 아디핀산 및 1,4-부탄디올의 공중합물질의 함유율이 60% 이상인 합성수지제를 말한다.

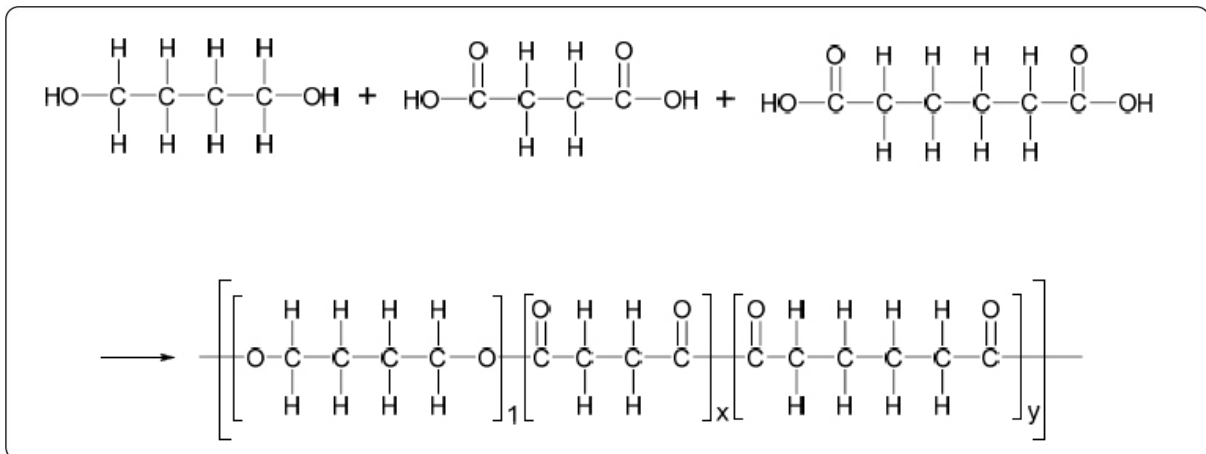
### 2) 개요

폴리부틸렌숙시네이트-아디페이트(PBSA)는 훌륭한 생분해성을 지닌 상업적인 합성 폴리에스터이다. PBSA는 저밀도 선형 폴리에틸렌과 매우 유사한 성질을 지니고 있으며, 반결정 상태이다. PBSA는 결정성이 낮고 이는 생분해성이 증가하는 결과를 가져온다.

### 3) 중합방법

현재 PBSA는 석유화학 기반의 호박산과 아디핀산, 부탄디올의 중축합에 의해 제조되는데, 이는 대개 말레산 무수물로부터 유도된 물질이다. 생물학적으로 만들어지는 호박산은 다양한 타입의 박테리아와 곰팡이에 의해 액침배양<sup>37)</sup> 혐기성 발효되어, 옥산산, 후말산, 말레산과 함께 제조할 수 있다. 고농도의 호박산은 반추위<sup>38)</sup>미생물인 *Actinobacillus succinogenes*에 의해 생성된 포도당으로부터 얻을 수 있다.

디올과 디카르복실산의 공중합에 의한 지방족 폴리에스터인 PBSA의 중합은 용융상태에서 두 단계의 에스터 교환 반응으로 이루어진다. 질소 가스의 존재 하에 호박산과 아디핀산, 부탄디올을 넣어서 20분 동안 160~200°C의 온도로 가열하게 되면 에스터 교환반응에 의해 물이 빠져나오면서 올리고머를 생성하게 되고, 다시 10°C/min의 속도로 215°C 까지 온도를 올리고 감압하여 20시간 동안 반응을 진행시키면 PBSA가 생성된다. 이때 촉매로  $Ti(IPO)_4$ 를 넣어준다.



#### 4) 물리화학적 특성

1,4-부탄디올과 호박산(숙신산)의 중축합 반응으로 합성되며, 녹는점이 110°C 부근이 유연한 수지인 폴리부틸렌숙시네이트(polybutylenesuccinate, PBS)는 상온에서 미생물에 의한 분해가 빠르게 일어나지 않는 반면, 1,4-부탄디올과 호박산에 아디핀산을 혼합하여 공중합한 PBSA는 상온에서 미생물에 의하여 비교적 빠르게 생분해된다. PBSA의 물성은 호박산/아디핀산의 비율에 따라 유연도 차이가 있고, 필름 성형성이 좋으나, 수분과 빛에 의하여 분해되므로 장시간 사용되는 용도로 개발되기 위해서는 물성의 보완이 필요하다.

항목	PBSA
$T_g$ (°C)	-45~-41
$T_m$ (°C)	39~35
밀도 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	1.23
비중	1.34
인장강도 (MPa)	34.3~47.1
신장율 (%)	48

37) 액침배양: 호기성의 미생물을 액중에 생육시키기 위해 배양액에 통기 또는 통기교반하면서 하는 배양

38) 반추위: 한번 삼킨 음식물을 다시 입 안으로 토하여 잘 씹은 후에 삼키는 것을 반추라고 하고, 이런 위를 반추위라고도 한다.

## 5) 용도

PBSA는 유연하여 생분해성 포장재료로 이용되며, 특히 폴리락타이드(PLA)와 컴파운딩되어 과자나 케익의 포장 필름으로 사용되거나, 전자레인지용 식품용기로 사용되기도 한다. 그러나 가격이 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)에 비해 3~4배 비싸기 때문에 최근에는 PET와의 공중합체로 또는 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN) 함량이 5~9%인 공중합체로 가공하기도 한다.

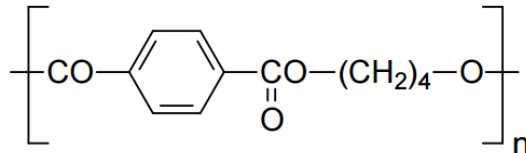
### 【참고문헌】

- [1] The Wiley InterScience, Yaming Wang, 2006, 3204-3210.
- [2] Equilburu, J. L.; Iruin, J. J.; Fernandez-Berridi, M. J.; San Roman, J. Polymer 1998, 39, 6891.
- [3] Tol, R. T.; Mathot, V. B. F.; Greninckx, G. Polymer 2005, 46, 369.
- [4] Marija S. Nikolic and Jasna Djonlagic, Synthesis and Characterization of biodegradable poly(butylene succinate-co-butylene adipate)s, Polymer Degradation and Stability 74, 263-270 (2001).
- [5] Katherine M. Dean, Steven J. Pas, Long Yu, Anne Ammala, Anita J. Hill and Dong Yang Wu, Formation of Highly Oriented Biodegradable Polybutylene Succinate Adipate Nanocomposites: Effects of Cation Structures on Morphology, Free Volume, and Properties, Journal of Applied Polymer Science, 113, 3716-3724 (2009).
- [6] Suprakas Sinha Ray and Mosto Bousmina, Crystallization Behavior of Poly[(butylene succinate)-co-adipate] Nanocomposite, Macromol. Chem. Phys. 207, 1207-1219 (2006).

## 라. 폴리부틸렌테레프탈레이트(poly(butylene terephthalate) : PBT)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 24968-12-5, 26062-94-2 >

#### 나) 명칭

Poly(butylene terephthalate); PBT; Poly(1,4-butylene terephthalate); Polybutylene-Terephthalate, Poly(tetramethylene terephthalate), Poly(1,4-benzenedicarboxylic acid-co-1,4-butanediol), Poly(oxy-1,4-butanediolyloxycarbonyl-1,4-phenylenecarbonyl), Poly(oxytetramethylenoxyterephthaloyl)

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리부틸렌테레프탈레이트란 기본 중합체(base polymer) 중 테레프탈산 또는 테레프탈산의 디메틸에스테르와 부틸렌글리콜의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT)는 폴리에스테르계의 열가소성 플라스틱으로 디메틸테레프탈레이트(DMT) 또는 테레프탈산(TPA), 1,4-부탄디올로 부터 생성되고, 염소 및 가성세제용액에 대한 내성이 우수해서 식품산업 분야에 적합하다.

### 3) 중합방법

PBT 중합법에는 테레프탈산디메틸(DMT)과 1,4-부탄디올을 출발원료로 하는 에스테르교환법과 테레프탈산(TPA)와 1,4-부탄디올을 출발원료로 하는 직접 중합법이 있다. 1단계로 테레프탈산디메틸과 1,4-부탄디올의 에스테르 교환 또는 테레프탈산과 1,4-부탄디올의 에스테르화에 의해 비스히드록시부틸테레프탈레이트(BHT)를 제조하고, 2단계에서 BHT의 축중합에 의해 고분자량의 폴리머가 얻어진다. 다음은 각종 중합법이다.



#### 가) 에스테르교환법(DMT법)

TPA 혹은 DMT와 1,4-부탄디올 에스테르 교환법에 의한 축중합으로 만들어진다.

#### 나) 직접중합법

에스테르화는 통상 압력 하에서 150~230℃, 60~120분간의 반응으로 행해진다. DMT법과 같이 반응속도는 1,4부탄디올/테레프탈산의 몰 비에 따른다. 축매도, 중합법도 DMT법과 같다.

#### 다) 고상중합법

진공 하에서 질소 가스를 충전 한 가운데 온도는 약 200℃ 정도에서 행해진다. 일반적인 용융중합법에서는 중합의 진행에 따라서 점도가 커지면서 중합도 저하가 문제가 되어 고 중합도의 폴리머를 얻는 데는 한계가 있지만 고상중합법을 통해 고 중합도의 PBT를 얻을 수 있다.

### 4) 물리화학적 특성

PBT는 가장 까다로운 엔지니어링 열가소성 재료 중 하나이고 반결정 재료이며, 화학적 안정성, 기계적 강도, 전기절연성 및 열 안정성이 매우 우수하고, 폭넓은 환경조건 하에서 매우 우수한 안정성을 가지고 있으나, 수분에는 약한 편이다. PBT는 강인하고 강성도 크며, 내열성, 내열노화성, 내후성<sup>39)</sup>, 내약품성, 내피로성, 내마모성 등이 우수하며, 넓은 온도 범위에서 전기특성이 양호한 수지이다.

폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)보다 강도와 강성이 약간 낮고 내충격성이 약간 우수하며 유리전이온도가 약간 낮으나, 성형이 쉽고 흡수도 작으며 내산성, 내유성이 양호하다.

항목	PBT
T <sub>g</sub> (°C)	22
T <sub>m</sub> (°C)	223
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.31
비중	1.32~1.66
인장강도 (MPa)	50
신장율 (%)	250
마찰계수	0.21~0.25
열전도율 (W/(m·k))	20.25
용해도 (J/mL) <sup>1/2</sup>	20.9

39) 내후성: 외부환경 변화(햇빛, 날씨 등 기후변화)에 잘 견디는 성질

PBT와 PET는 60℃ 이상의 뜨거운 물에 민감하고, 옥외에서 사용하는 경우 자외선 차단이 필요하며 대부분의 폴리에스테르는 가연성이지만 첨가제를 사용하여 자외선 및 가연성 특성을 향상시킬 수 있다.

PBT의 주요 장점은 용제에 대한 내성과 성형시 수축률이 낮다는 점이다. 또한 전기 저항이 좋고 결정화가 빠르기 때문에 성형하기 쉽다. 최대 섭씨 150℃의 내열성과 225℃에 이르는 용점을 가지고 있다. 섬유를 첨가하면 기계적 및 열적 특성이 향상되어 더 높은 온도를 견딜 수 있으며, 주목할만한 장점을 정리해보면 아래와 같다.

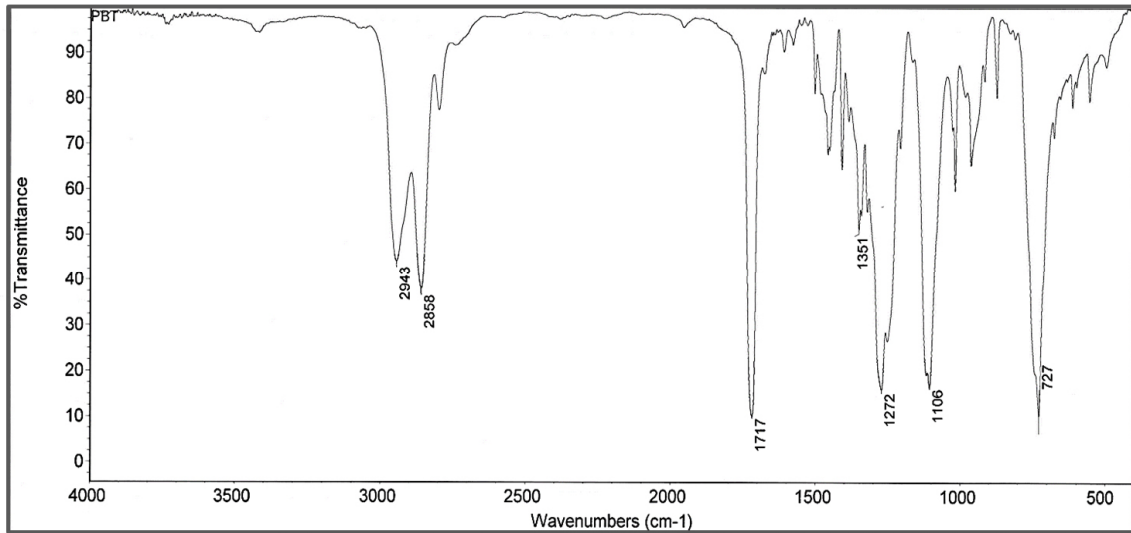
- 우수한 내오염성
- 우수한 가공 특성
- 고강도
- 인성
- 우수한 강성 대 중량비
- 환경 변화에 대한 저항
- 우수한 가공 특성
- PET 보다 우수한 내충격성
- 우수한 치수 안정성
- 블록 자외선
- 높은 전기 절연 특성
- 다양한 등급 사용 가능

## 5) 용도

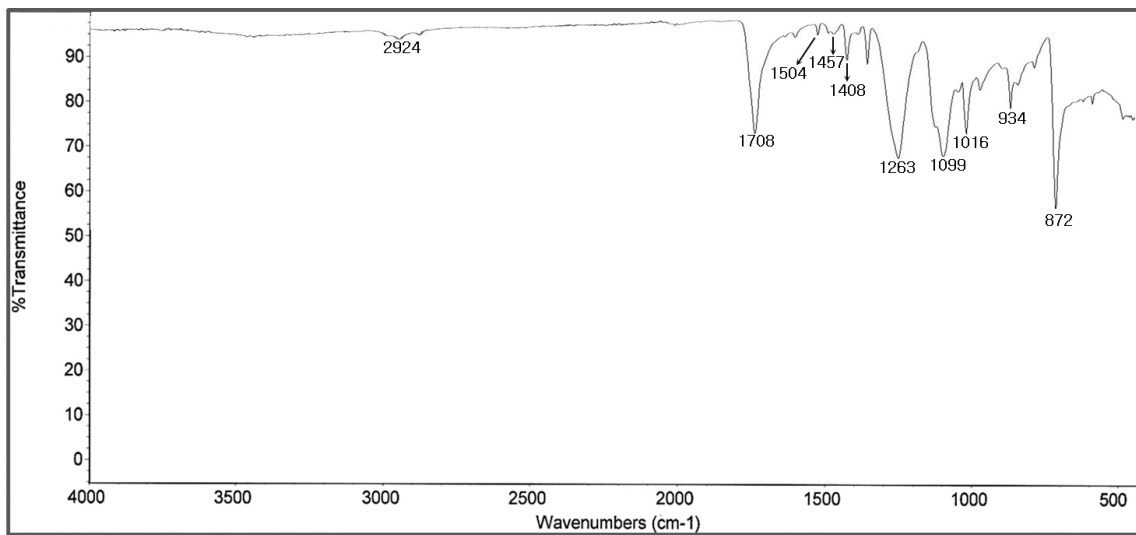
전자·전기 분야로 커넥터, 스위치 부품, 소켓류, 플러그, 모터부품, 반도체부품 등에 사용되고 수송기기 관련 부품, 카메라 부품, 시계 부품, 가스기구 부품, 스포츠 용품, 화장품 부품 등에 이용된다. 다른 엔지니어 플라스틱보다 표면광택이 우수하며, 낮은 마찰계수를 가지고 있어 기어류 등에도 적용되고 있으며, 난연화가 비교적 용이한 수지로 주로 전기·전자부품의 성형에 많이 사용되고 자동차의 Harness connector 용도 등으로 비교적 큰 시장을 갖고 있다. 식품용 포장용기로는 보향성과 가스차단성이 좋아 식품·음료 포장재로도 쓰이고 있다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



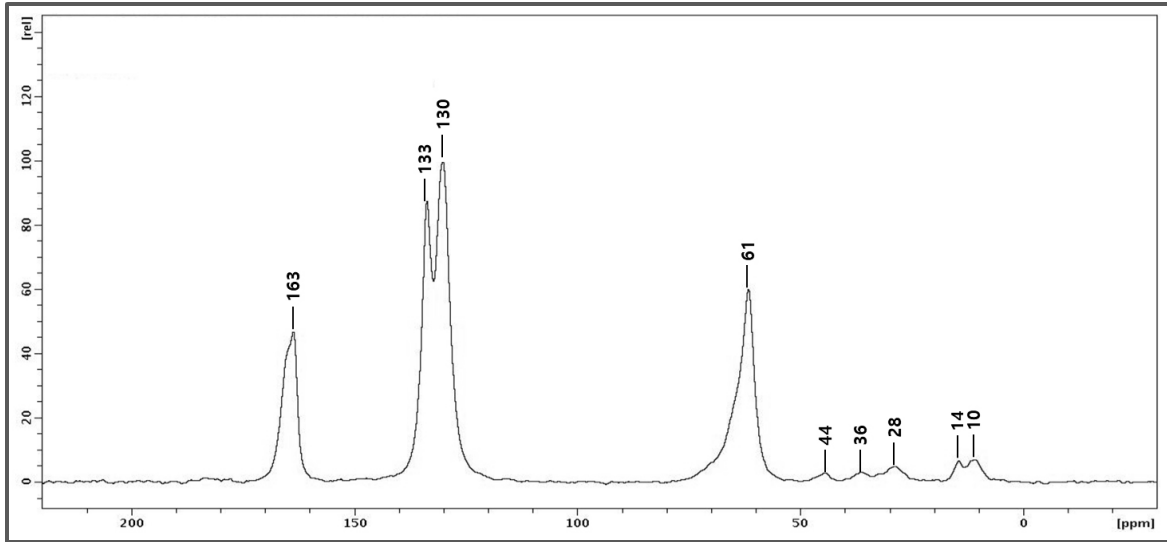
자료: OMNIC spectra Library



주: PBT 식기

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

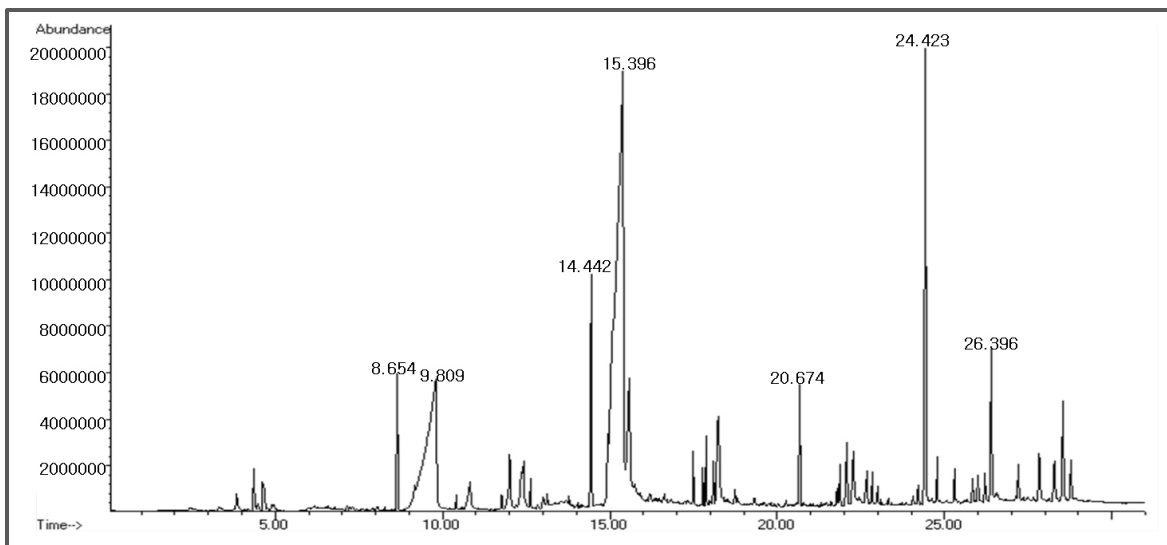
## ② Solid NMR



주: PBT(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PBT(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처).

## 【참고문헌】

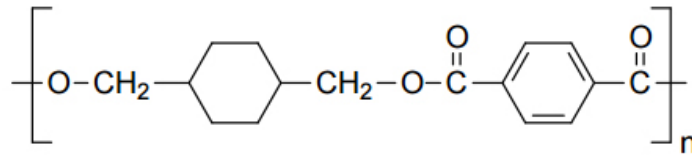
- [1] 한국과학기술정보연구원. (2007). 기능성플라스틱, 12
- [2] Malgorzata Dzieciol. (2009). Intern. J. Environ. Anal. Chem, 89:881-889
- [3] Margolis, James M. (2006). Engineering Plastics Handbook, 220

## 마. 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트

(poly(cyclohexane-1,4-dimethylene terephthalate) : PCT)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 24936-69-4 >

#### 나) 명칭

poly(cyclohexane-1,4-dimethylene terephthalate); PCT; poly(dihydroxymethyl cyclohexyl terephthalate); poly(oxyterephthaloyl-oxymethylene-1,4-cyclohexylenemethylene); 1,4-bis(hydroxymethyl) cyclohexane-terephthalic acid polymer; 1,4-cyclohexanedimethanol-dimethyl terephthalate copolymer; 1,4-cyclohexanedimethanol-terephthalic acid polymer; 1,4-dimethylolcyclohexaneterephthalic acid copolymer; 1,4-bis(hydroxymethyl) cyclohexane-terephthalic acid copolymer; poly(1,4-cyclohexanedimethanol terephthalate); poly(1,4-cyclohexanedimethylene terephthalate); poly(1,4-cyclohexylenedimethyl terephthalate); poly(1,4-cyclohexyl enedimethylene terephthalate); poly(1,4-cyclohexylenedimethylene terephthalate); poly[1,4-bis(hydroxymethyl)cyclohexane terephthalate]

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트란 기본 중합체(base polymer) 중 테레프탈산 또는 테레프탈산디메틸에스테르와 1,4-시클로헥산디메탄올의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

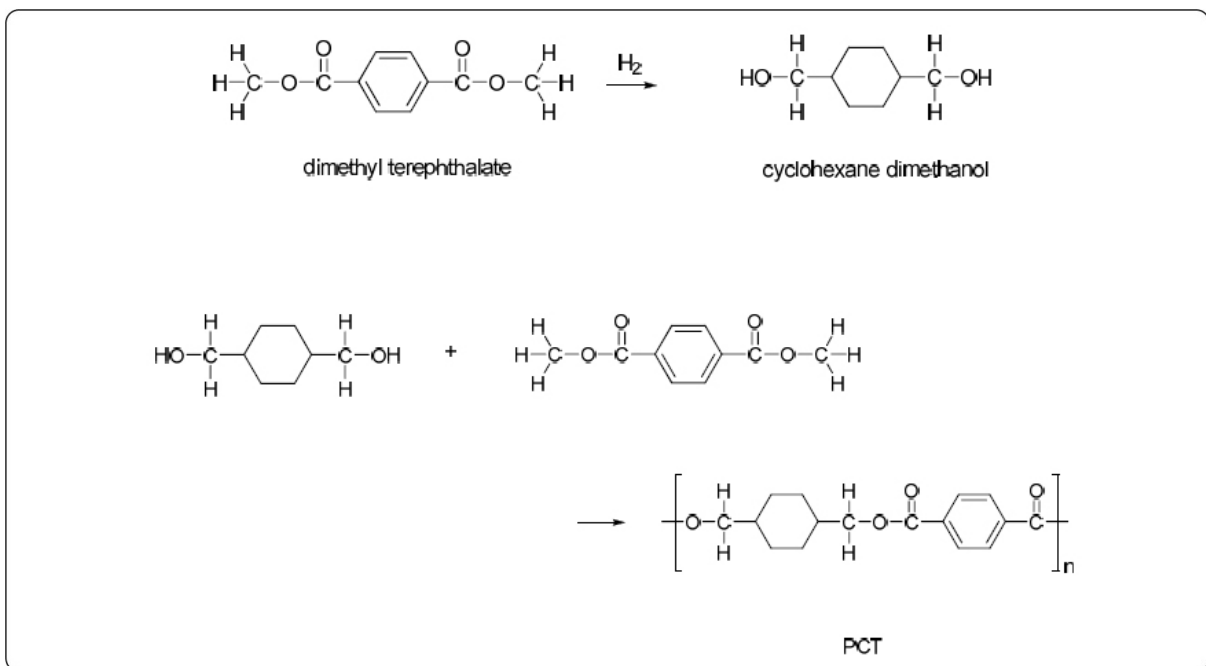
### 2) 개요

미국 이스트만사가 개발·생산하고 도오레(주)와 나가세산업(주)이 일본에서 수입판매와 기술지원을 하고 있는 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트(poly(cyclohexane-1,4-dimethyleneterephthalate), PCT)는 폴리에스테르(polyester)계 수지로서, 산 성분의 테레프탈산과 알코올 성분의 1,4-시클로헥산디메탄올을 축중합하여 얻어지며, 알코올 성분에 일부 에틸렌글리콜을 공중합한 것도 넓은 의미로는 포함된다.

### 3) 중합방법

PCT는 시클로헥산디메탄올(cyclohexanedimethanol)과 디메틸테레프탈레이트(dimethylterephthalate)를 이용하여 축중합하면 생성된다. 이 반응은 가역반응인데, 반응생성물의 물을 반응계 밖으로 꺼내면 반응은 오른쪽으로 진행해 에스테르를 생성한다.

1분자 중에 2개의 카르복시기(-COOH)를 가진 2작용성의 단위체와, 알코올성의 히드록시기(-OH)를 2개 가진 2작용성의 단위체를 같은 물로 반응시켜, 생성되는 물을 감압상태에서 제거해 가면, 축합을 되풀이해 선상의 고분자를 형성한다. 그 반응은 단계적으로 진행하는데, 이것이 연쇄적으로 반응이 진행되는 라디칼이나 이온선상 중합과 다른 점으로, 분자량은 반응시간과 함께 증대해 간다. 반응시키는 상호 작용기의 몰비가 1대 1에서 1%만 어긋나면 반응이 완결되더라도 중합도는 200쯤 이므로, 강도를 가진 고분자 재료를 제조할 때는 몰비의 조정과 단위체의 순도의 관리가 매우 중요하다.



### 4) 물리화학적 특성

PCT는 결정화 속도가 빠르고, 폴리페닐렌설파이드(PPS)와 동등한 우수한 솔더(solder) 내열성을 보인다. 또한 폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT)와 같이 흡수율이 낮고 치수 안정성이 뛰어나다. PCT 수지는 뛰어난 내약품성을 보이며, PBT와 비슷한 물성을 보이고 PPS에 비하여 높은 파단 신장률<sup>40)</sup>을 가진다. 에틸렌글리콜(EG)을 공중합한 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트(PCT)는 뛰어난 투명성, 내충격성을 가지고 있고 이 특성을 살린 용도로 사용되고 있다.

40) 파단 신장률: 재료가 파괴되거나 잘록해져 파단이 일어날 때 처음의 길이와 파단 때 길이의 비

항목	PCT
$T_g$ (°C)	130
$T_m$ (°C)	290
비중	1.39~1.42
인장강도 (MPa)	100~130
신장율 (%)	2~3

## 5) 용도

PCT의 녹는점은 290°C 정도로 PBT나 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)에 비해 높은 편이고, 내열성에 우수해서 커넥터, 계전기, 스위치 등의 표면 설치 부품에 사용된다. 또한 화장품 병, 안경 프레임 및 식기용품과 유아용 젖병에 사용된다.

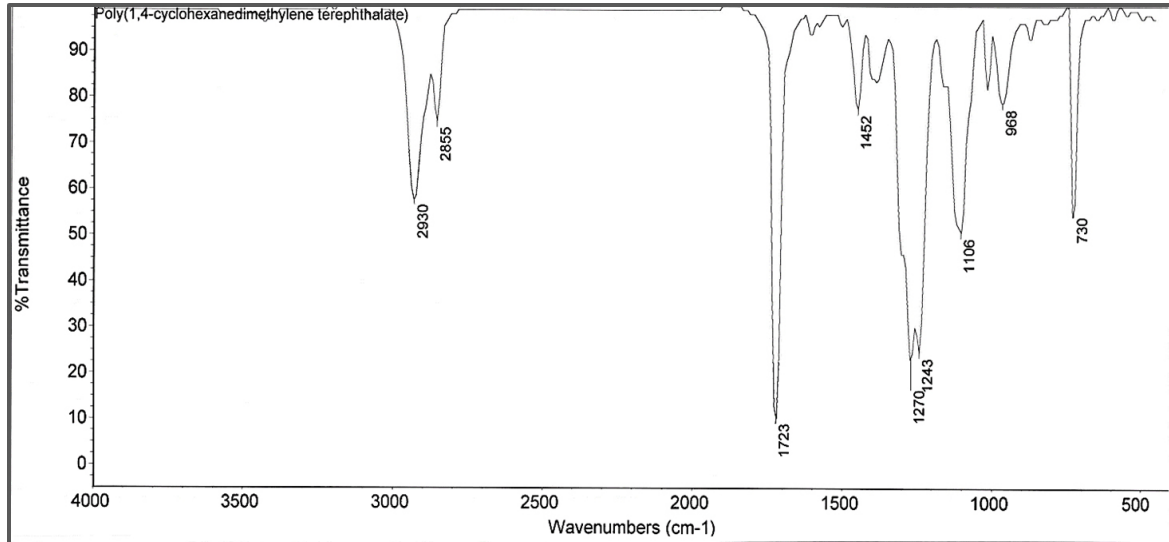


〈 물병 〉

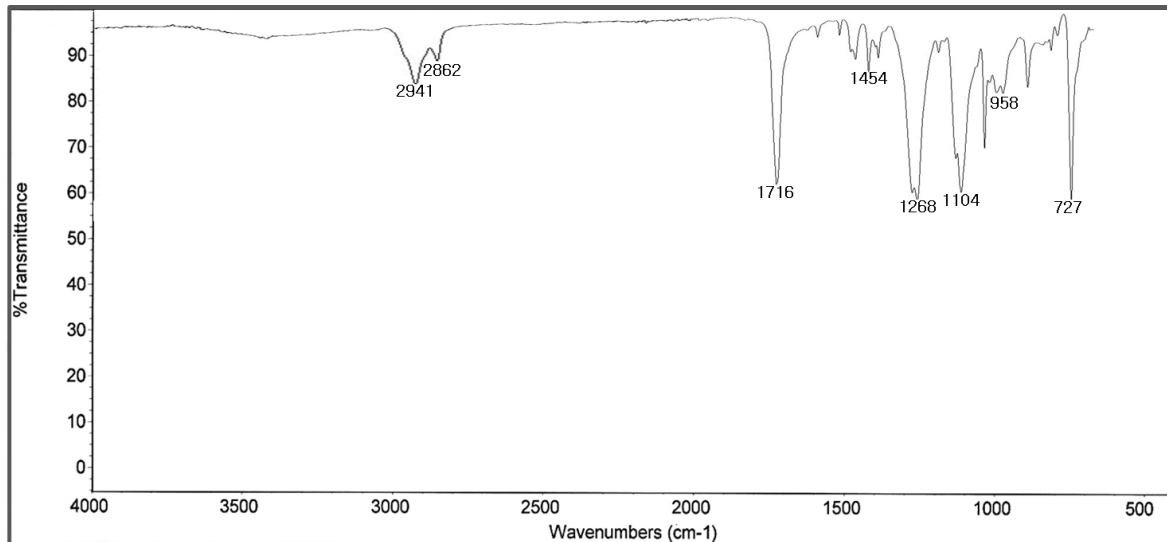
〈 밀폐용기 〉

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

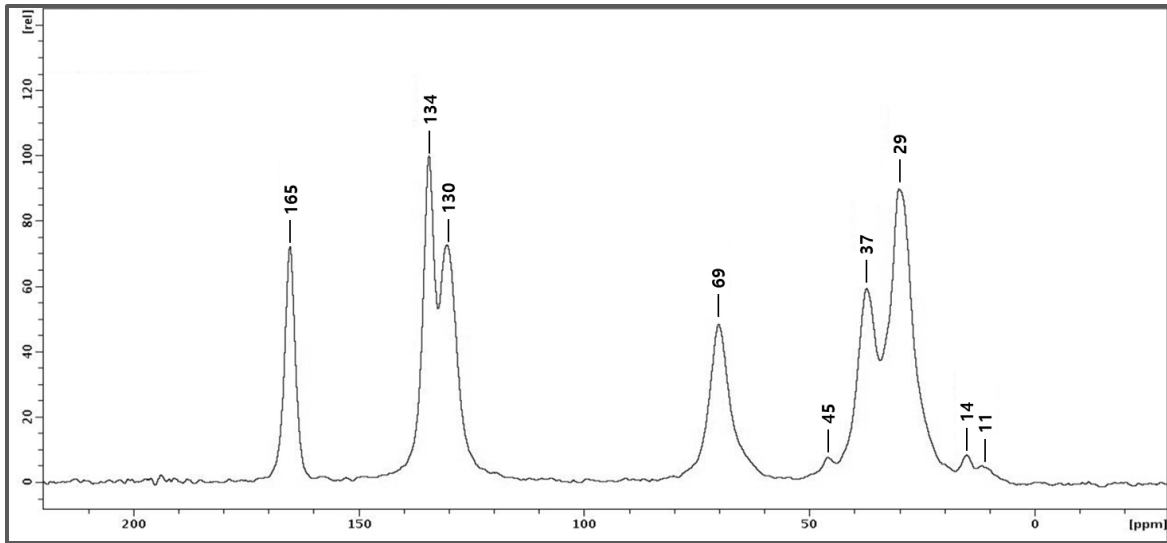


주: PCT(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)



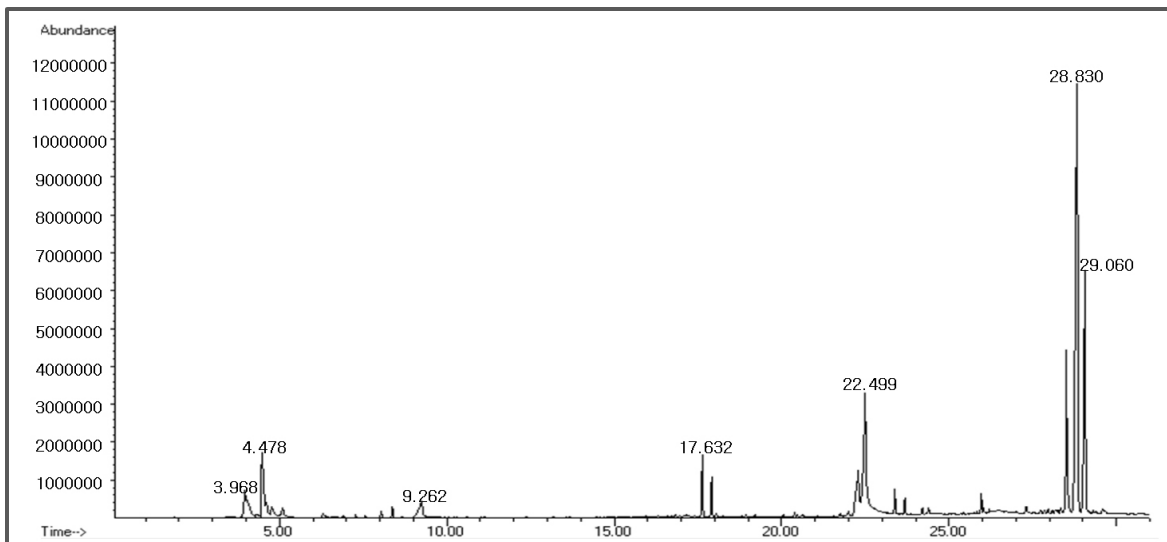
## ② Solid NMR



주: PCT(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PCT(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## 【참고문헌】

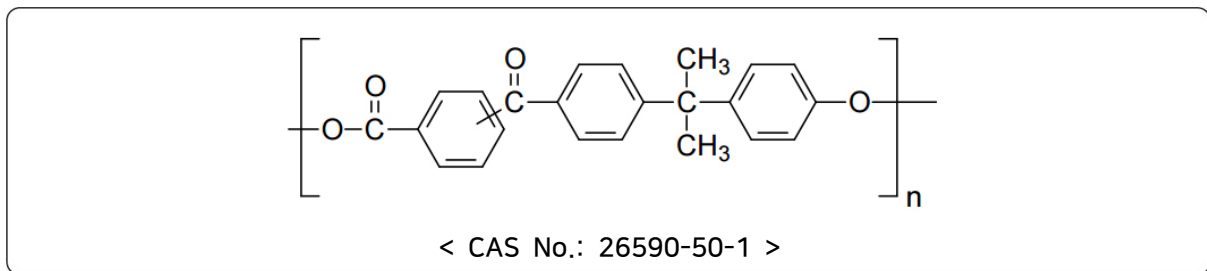
[1] Lee, M.C.H.(1984). Polym. Sci. Technol, 29, 95.

[2] Bryan Ellis and Ray Smith(2008). Polymers: A Property database, 2nd ed, CRC Press.

## 바. 폴리아릴레이트(polyarylate : PAR)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

poly(bisphenol A isophthalate terephthalate); poly(bisphenol A terephthalate isophthalate); Isophthalic acid, polyester with 4,4'-isopropylidenediphenol and terephthalic acid; isophthalic acid-4,4'-isopropylidenediphenol-terephthalic acid polymer; isophthalic acid-terephthalic acid-bisphenol A copolymer; bisphenol A-isophthalic acid-terephthalic acid copolymer; 1,3-benzenedicarboxylic acid, polymer with 1,4-benzenedicarboxylic acid and 4,4'-(1-methylethylidene) bis[phenol]; terephthalic acid-Isophthalic acid-Bisphenol A polycondensate; 2,2-bis(4-hydroxyphenyl) propane-isophthalic acid-terephthalic acid copolymer; 4,4'-dihydroxydiphenylpropane-isophthalic acid-terephthalic acid copolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리아릴레이트란 기본 중합체(base polymer) 중 테레프탈산 또는 이소프탈산과 비스페놀 A의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

## 2) 개요

폴리아릴레이트(polyarylate, PAR)는 방향족 디올<sup>41)</sup>과 방향족 카르복실산<sup>42)</sup>을 축중합<sup>43)</sup>한 방향족선형 폴리에스터 수지를 말한다.

41) 디올: 한 분자 속에 2개의 알코올성 수산기가 있는 알코올

42) 디카르복실 산: 카르복실기 2개를 갖춘 2염기산

43) 축중합: 두 분자가 반응하여 작은 분자가 빠지면서, 보다 큰 분자로 되는 반응

PAR가 특수 엔지니어링 플라스틱<sup>44)</sup>으로서 주목을 받기 시작한 것은 1974년에 일본의 Unitika사(유니치카<sup>주</sup>)에서 U-polymer란 상품명으로 개발, 시판하면서부터이다. 물성과 성형성이 탁월하기 때문에 U-polymer는 PAR의 대명사가 되었으며 종래의 범용 엔지니어링 플라스틱으로서는 만족시킬 수 없는 특수한 기능이 요구되는 전기, 전자, 자동차, 기계 분야를 중심으로 수요가 늘어나고 있다. PAR의 수요가 급증하고 제조회사도 늘어남에 따라 Unitika사도 생산능력을 1500톤/년으로 증설하였다. 뿐만 아니라 Unitika사는 타사의 추격을 피하기 위하여 유동성 개량형, 내약품성 향상형, 차광성, 고강성 타입 등 여러 가지 변형 U-polymer를 개발하여 U-polymer의 수요 확대에 주력하였다. 한편, 미국과 유럽의 일부 기업들은 PAR과 PC의 구조를 함께 갖는 폴리에스터 카보네이트(poly(ester-carbonate))의 개발을 위한 연구를 진행하여 독일의 Bayer사와 미국의 GE사가 선두주자로 부상하였다.

### 3) 중합방법

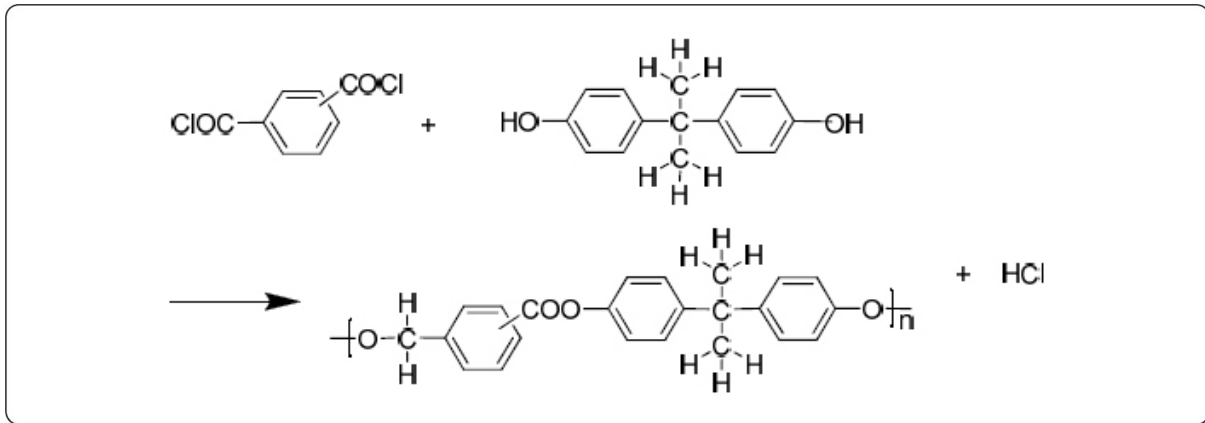
테레프탈산(TPA) 또는 이소프탈산(IPA)와 비스페놀 A의 직접 에스테르 방법은 극히 일부 문헌에서 언급하고 있지만, 비스페놀 A의 친핵성이 아주 작기 때문에 반응성이 좋지 못해서 분자량이 큰 중합체를 얻을 수가 없을 뿐만 아니라 고온에서 반응을 진행해야 하므로 중합체의 변색이 심하다. 따라서 이 방법으로 PAR을 합성하는 것은 실용성이 전혀 없다. 반면에 TPC(terephthaloylchloride) 또는 IPC(isophthaloyl chloride)와 비스페놀 A의 축중합 방법의 가장 큰 장점은 반응이 비가역<sup>45)</sup>적이란 것이며 HCl이 발생하므로 proton donor-proton acceptor를 사용해야 한다. 이 방법은 다시 용액중합법과 계면중합법으로 구분된다.

용액중합법은 TPC/IPC, 비스페놀 A를 트리클로로벤젠(TCB)에 녹인 후 200℃ 이상에서 중합하는 방법이다. 이 방법의 가장 큰 단점은 용매를 사용하기 때문에 회수 및 정제의 비용이 많이 들고 중합체로부터 용매를 완전히 제거하기 어렵다는 것이다.

계면축중합은 TPC/IPC를 물과 혼합되지 않는 디클로로메탄과 같은 유기 용매에 녹이고, 비스페놀 A를 알칼리 수용액에 녹인 두 용액을 격렬하게 교반시키면서 중합하는 방법이다. 이때 촉매로는 TPC계 화합물을 사용한다. 이 중합방법은 중합반응이 상온에서도 매우 빠르게 진행되고 원료의 순도가 그다지 문제되지 않을 뿐만 아니라 산염화물과 비스페놀 A의 당량비가 반드시 일치하지 않아도 된다는 장점이 있다. 따라서 Unitika사에서 이 방법으로 공업화하였으며 현재까지도 이 방법을 채택하고 있다고 알려져 있다.

44) 종래의 폴리아미드(PA), 폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT), 폴리아세탈(POM), 폴리카보네이트(PC), 변형폴리페닐렌옥사이드(MPPO) 등과 같은 범용 엔지니어링 플라스틱들 보다는 가격이 비싸고 시장규모가 크지 않지만 내열성 등이 훨씬 우수하고 독특한 특성을 갖는 엔지니어링 플라스틱을 의미함. 즉, 폴리설펜(PSO), PAR, 폴리페닐렌설파이드(PPS), 폴리아미드(PI), 폴리테트라에테르케톤(PEEK) 등을 뜻함.

45) 비가역: 가역이 아닌 현상. 마찰력 등이 작용하는 현실의 매크로한 현상은 모두 비가역



#### 4) 물리화학적 특성

PAR의 대표적인 U-polymer는 비결정성의 투명한 수지로서 분자사슬에 방향족기의 밀도가 높기 때문에 유리섬유로 강화시키지 않아도 내열성이 우수하고 기계적 성질, 전기적성질, 난연성, 내약품성, 내후성, UV 흡수능력이 탁월하다. 또한 조성변화에 의한 물성 변형의 폭이 넓고 대부분의 특수 엔지니어링 플라스틱들이 열경화성인데 비해 U-polymer는 연화점과 열분해 온도의 차이가 크고 용융점도가 낮은 열가소성 수지이기 때문에 사출성형, 압출성형, 블로우 성형<sup>46)</sup> 등 모든 열용융 성형<sup>47)</sup>이 가능하다. 뿐만 아니라 불소계 수지와도 혼합이 가능할 만큼 타 수지와 상용성이 우수하다.

한계 산소지수(LOI)가 37%로서 그 자체만으로도 난연성이 우수하며 자외선 흡수 능력이 크고 내후성이 양호하며 폭로시험의 경우에서도 투명성이나 역학적 성질의 저하가 극히 작다. 각종 기계적 성질, 전기특성, 내구성, 내약품성이 우수하므로 엔지니어링 플라스틱의 요구특성을 모두 만족시키고 있다. 그리고 대부분의 특수 엔지니어링 플라스틱은 성형성이 부족하거나 열경화성인데 비해 PAR은 열가소성 수지로서 모든 열용융 성형법에 의한 가공이 가능하다는 것이 최대의 장점이자 특징이다.

항목	PAR
T <sub>g</sub> (°C)	235~268
T <sub>m</sub> (°C)	310
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.21
비중	1.20~1.37
인장강도 (MPa)	53~73
신장율 (%)	2.5~82
열전도율 (W/(m·k))	0.28

46) 블로우성형: 열을 가하면 연화하는 재료를 사용하여 성형하는 방법

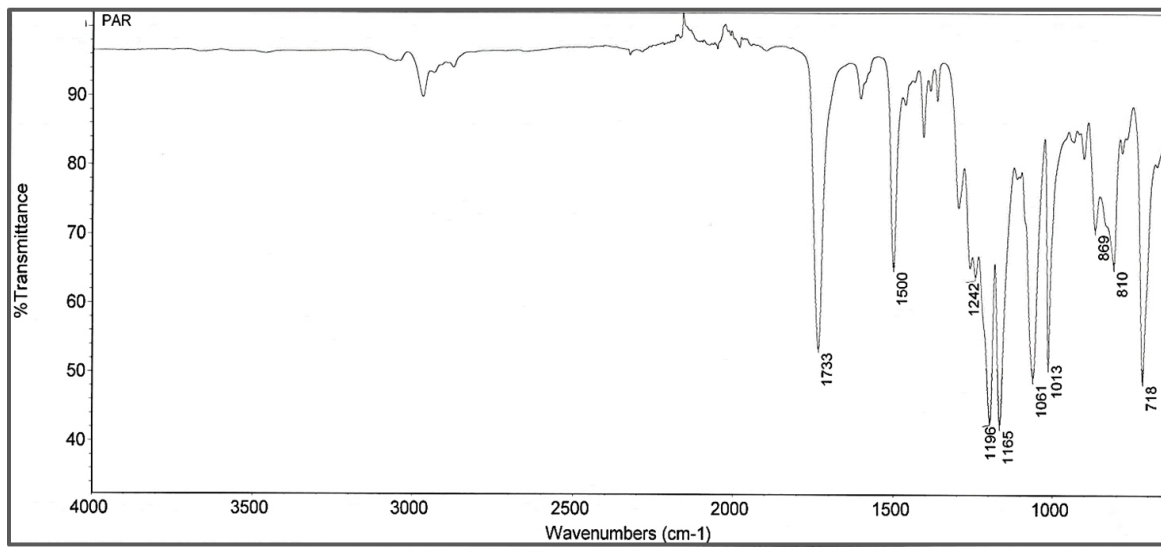
47) 열용융 성형: 열로 용해한 후 틀에서 굳히는 방법

## 5) 용도

PAR은 식품분야에서 내열성과 투명성, 위생성을 필요로 하는 내열 다층병, 내열병에 사용되며, 위생성, 가스 차단성이 필요한 술잔, 젤리 용기 등에 사용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

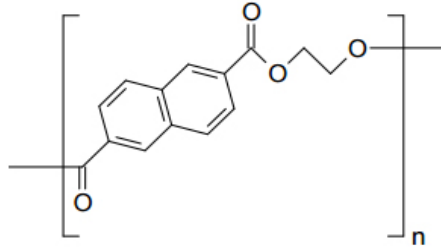
### 【참고문헌】

- [1] 한국화학연구소. (1988). 엔지니어링 프라스틱용 Polyarylate [U-Polymer] 개발에 관한 연구(1).
- [2] CFR - Code of Federal Regulations Title 21

## 사. 폴리에틸렌나프탈레이트(poly(ethylen naphthalate) : PEN)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25853-85-4, 24968-11-4 >

#### 나) 명칭

poly(ethylene-2,6-naphthalenedicarboxylate); poly(oxyethyleneoxycarbonyl-2,6-naphthalenediylcarbonyl); poly(ethylene 2,6-naphthalate); polyethylene-2,6-naphthalenedicarboxylate; dimethyl 2,6-naphthalate-ethylene glycol copolymer; dimethyl 2,6-naphthalenedicarboxylate-ethylene glycol polymer; dimethyl naphthalene-2,6-dicarboxylate-ethylene glycol copolymer; ethylene glycol-2,6-naphthalenedicarboxylic acid copolymer; ethylene glycol-2,6-naphthalic acid copolymer; ethylene glycol-dimethyl 2,6-naphthalenedicarboxylate copolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

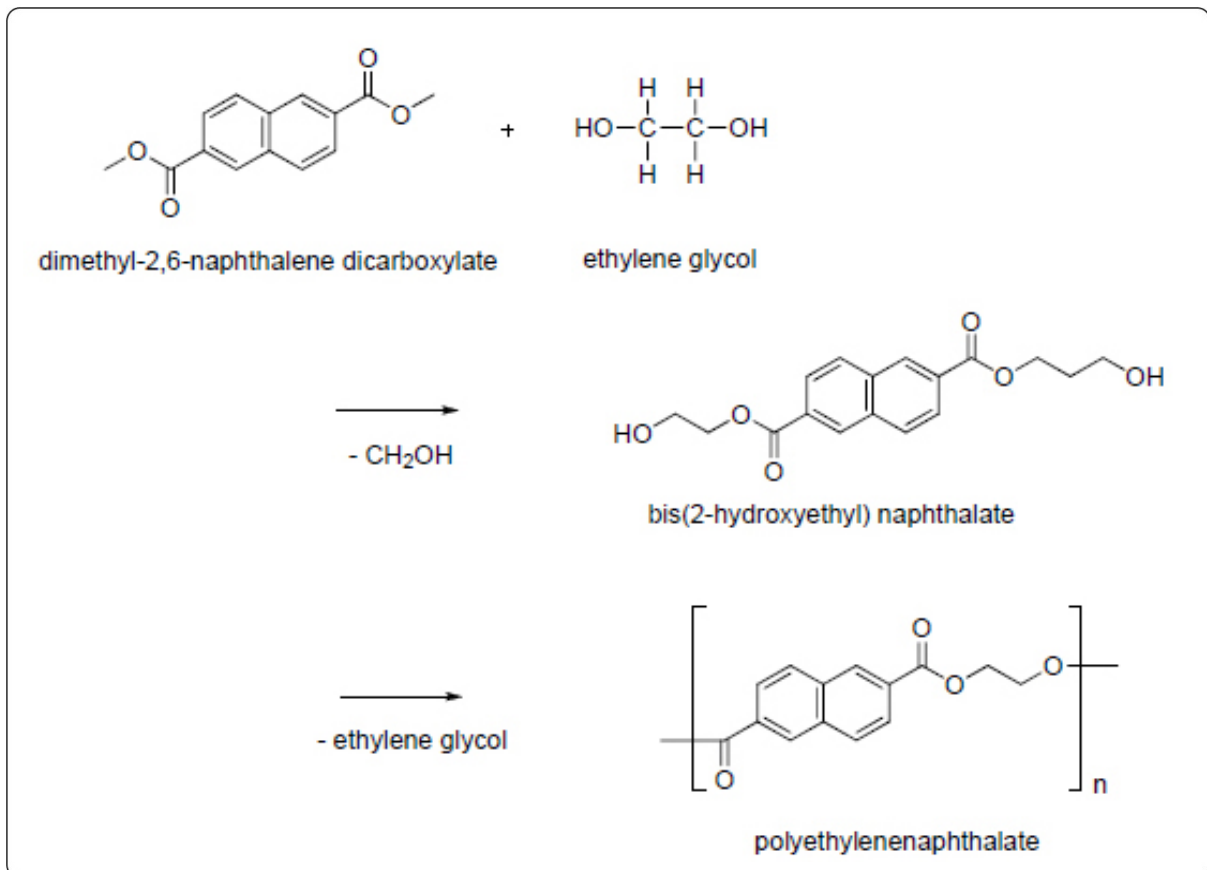
폴리에틸렌 나프탈레이트란 기본 중합체(base polymer) 중 2,6-디메틸나프탈렌디카르복실레이트와 에틸렌글리콜의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

폴리에틸렌 나프탈레이트는 나프탈렌 개체를 분자 내에 갖는 고분자로서 신세대 폴리에스테르계의 일종으로 산소 배리어, 내열성, 치수 안정성 등의 특성이 우수하여, 최근에 필름, 용기, 섬유 분야 등의 고성능 재료 분야에서 활발히 시장이 확대되고 있다. 이에 PEN의 원료 합성에서부터 각종 용도에 대한 기술개발이 활발히 진행되고 있고, 미래 소재로서의 가치가 높은 수지이다.

### 3) 중합방법

NDC를 이용하여 PEN을 합성하는 공정은 디메틸테레프탈레이트(DMT)를 이용하여 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)를 합성하는 공정과 매우 비슷하다. 1단계 에스테르교환반응으로 NDC와 에틸렌글리콜 (ethylene glycol, EG)을 반응 촉매와 함께 상압에서 약 250~260℃까지 승온 시키면서 반응을 진행시켜 히드록시에틸 나프탈레이트(bis(2-hydroxyethyl 2,6-naphthalate, BHEN) 올리고머를 합성한다. 사용되는 촉매는 PET 중합 시와 마찬가지로 Ca, Co, Mn, Zn 등의 금속염이며, 이 중에서도 Pb와 Zn의 촉매 활성이 가장 우수한 것으로 알려졌다. 2단계에서는 BHEN 올리고머를 고온 고진공 하에서 에틸렌글리콜 부산물을 계외로 방출하면서 축합하여 중합도를 높인다. PEN의 경우 일반적으로 행하여지는 용융축중합만으로는 높은 분자량을 얻기 어렵기 때문에 3단계에서 PEN 중합물의 분자량을 증가시키기 위해 용융상태가 아닌 고상 상태로 장시간 축합 반응을 수행한다. 중합 공정을 정리하면 아래와 같다.



#### 4) 물리화학적 특성

PEN은 PET와 비교 했을 때 400~500% 더 좋은 산소, 물 흡수성을 가지고 있으며, 35% 더 높은 인장강도, 더 좋은 온도 내성과 화학 저항성을 가지는 등 거의 모든 면에서 PET보다 우수한 특성 가지고 있다. 또한, 인장강도와 충격강도의 면에서 우수한 기계적 강도를 가지며 내열성, 내약품성, 내방사선 등이 상당히 우수하여 범용화가 기대된다. 또한 높은 내열성을 가지므로 고온 충전이나 살균이 가능하고, 회수하여 세척 후 재사용이 가능하다.

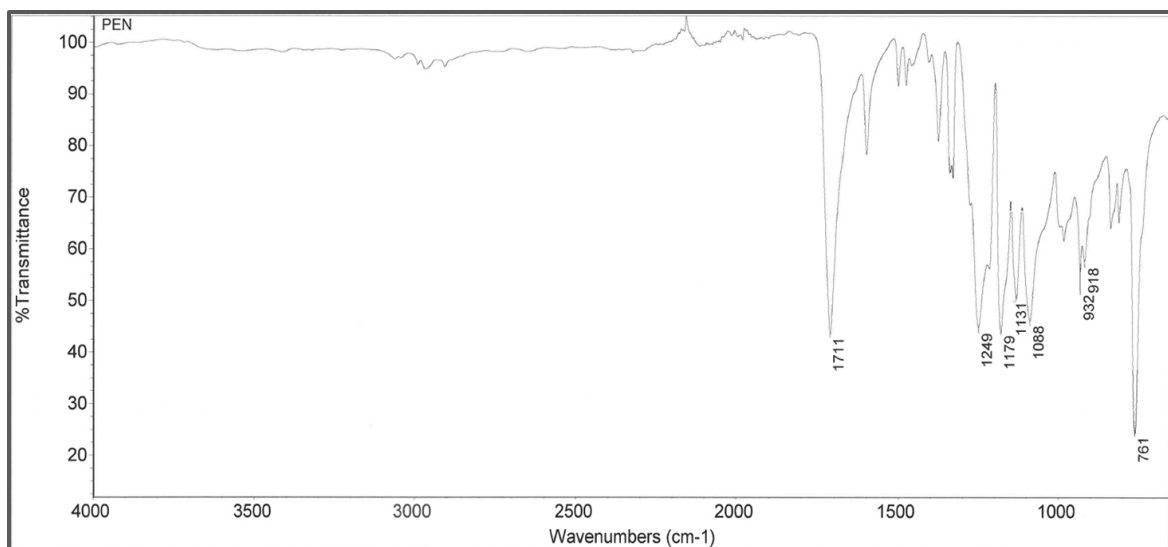
항목	PEN
T <sub>g</sub> (°C)	120
T <sub>m</sub> (°C)	265
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.34
인장강도 (MPa)	83
신장율 (%)	48

#### 5) 용도

전자렌지용 식품용기로 사용되나 가격이 PET에 비해 3~4배 비싸서 PET와의 공중합체로 사용되기도 하는데, 현재 PEN 함량이 5~9%인 공중합체가 유아용 젖병 등으로 가공되기도 한다.

#### 6) 재질 확인 데이터

##### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library



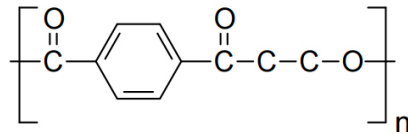
**【참고문헌】**

- [1] Peng Fang, Xunlin Qiu, Werner Wirges, Reimund Gerhard. (2010). Polyethylenephthalate(PEN) Ferroelectrets: Cellular Structure, Piezoelectricity and Thermal Stability, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Germany, 17, No. 4
- [2] Shuji Irie. (2001). Plastic Age, Japan, 94.
- [3] L. D. Lillwitz. (2001), Applied Catalysis A, General, 221, 337-358

## 아. 폴리에틸렌테레프탈레이트(poly(ethyleneterephthalate) : PET)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25038-59-9 >

#### 나) 명칭

poly(ethylene terephthalate); poly(oxyethyleneoxyterephthaloyl); 1,4-benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester, polymer with 1,2-ethanediol; 1,4-benzenedicarboxylic acid, polymer with 1,2-ethanediol; Ethylene glycol-terephthalic acid polymer; Ethylene terephthalate polymer; Poly(ethylene glycol terephthalate)

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리에틸렌테레프탈레이트란 기본 중합체(base polymer) 중 테레프탈산 또는 테레프탈산메틸 에스테르와 에틸렌글리콜의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

### 2) 개요

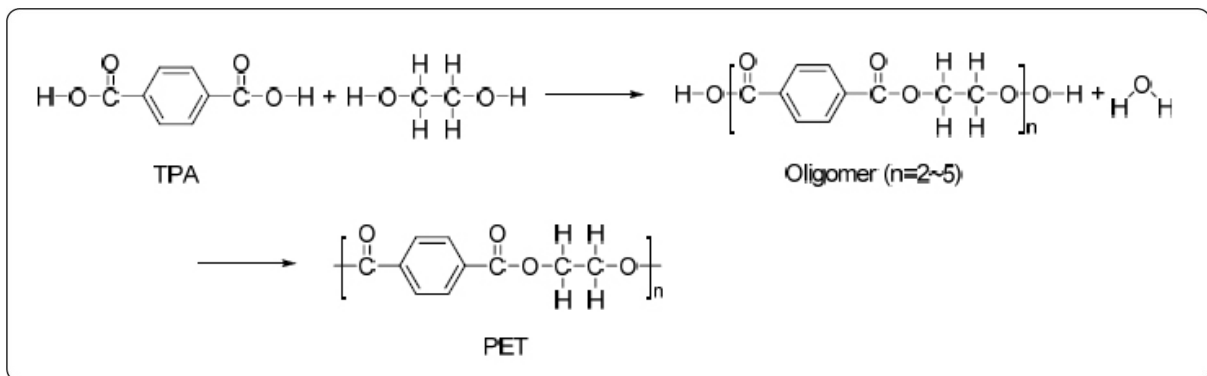
폴리에틸렌테레프탈레이트는 폴리에스터계 긴 사슬 고분자로, 테레프탈산(terephthalic acid, TPA)과 에틸렌 글리콜(ethylene glycol, EG)의 중합체이다. 비결정상태의 PET에 첨가제를 넣거나 고분자 용융체를 열처리할 경우 결정성이 증가하게 된다.

플라스틱 성형재료로 PET가 최초로 시장에 나타난 것은 1965년이다. 유리섬유로 강화한 PET는 열경화성 수지에 비할 만큼 물성이 좋아 전자부품, 자동차전장부품, 열기구 등에 사용되고 있으며, 비강화 성형재료는 블로우(blow)성형 용도로 대량으로 사용된다. PET의 독성, 무취, 투명성 등이 높게 평가되어 현재 식품용기로 많이 이용되고 있다.

### 3) 중합방법

폴리에스터는 금속 촉매제의 존재 하에 산과 알코올의 반응으로 만들어진다. 중합반응은 분자 간의 축합반응<sup>48)</sup>으로 이루어진다. 천연 원유로부터 얻어지는 순수한 테레프탈산과 에틸렌 글리콜을 함께 가열시키면 저분자량의 PET 올리고머(bis-hydroxyethyl-terephthalate, BHET)가 생성된다. 고분자량의 PET는 낮은 온도에서 고상중합으로 제조되는데 이 과정에서 아세트알데히드나 잔여 글리콜, 물 등의 불순물들을 효과적으로 제거해야 한다. 이렇게 생성된 고분자량의 물질은 좋은 물성을 제공함과 동시에 충분한 유연성을 부여하여 압력을 가해주더라도 비틀어지거나 깨지지 않게 된다. 일단 고분자가 형성되면, 이는 정제하기가 어려우므로 식품 포장재로 사용하기 위한 고분자의 질 향상을 위해 중합 초기에 정제를 마치는 것이 중요하다.

촉매제는 축합반응을 촉진시키는데, 일반적으로는 삼산화안티몬 (antimony trioxide)이 사용되지만 티타늄, 게르마늄, 코발트, 망간, 마그네슘, 아연 등의 염도 사용된다.



### 4) 물리화학적 특성

PET는 반정질 고분자라서 T<sub>g</sub>나 T<sub>m</sub> 이상의 온도에서 가공하여 1차원적 섬유나 2차원 방향의 필름, 병 등의 형태를 형성한 후 빠르게 냉각시키면 연신 상태에서 사슬들만 냉각되어 고분자 사슬들이 고정된다. 이렇게 연신 상태로 고정이 되면 극도의 강성이 생겨 전형적인 PET병에서 볼 수 있는 물성이 제공된다.

PET가 연신 상태에서 천천히 결정화되면 물질들은 불투명성을 가지게 되고 더 딱딱해지며 유연성이 감소한다. 이는 결정성 PET에서 볼 수 있는 성질로 기계적 강도가 향상되어, 폴리에스터 섬유의 주름 및 세척 저항성을 향상시키는 열 고정 기술로 적용될 수 있다.

48) 축합 반응: 유기화합물의 2분자 또는 그 이상의 분자가 반응하여 간단한 분자가 제거되면서 새로운 화합물을 만드는 반응

이축연신<sup>49)</sup>된 PET 필름은 높은 기계적 강도와 치수안정성<sup>50)</sup>, 내수성, 내화학성, 투명성, 질감성, 강성도, 기체나 수분 투과 차단성이 우수한 포장재이며 사용 온도 범위가 높다. 한편, PET 필름의 차단성을 더욱 증가시키기 위해 폴리염화비닐리덴(PVDC) 코팅이나 알루미늄 진공 증착을 하여 사용하기도 한다.

PET의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

항목	PET
T <sub>g</sub> (°C)	70~155
T <sub>m</sub> (°C)	365
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.4(20°C) 1.370(amorphose) 1.455(crystalline)
비중	1.41
인장강도 (MPa)	1700
신장율 (%)	180
마찰계수	0.19
열전도율 (W/(m·k))	0.15

## 5) 용도

일반적으로 PET 고분자는 투명성, 내화학성, 기체나 수분 투과 차단성 등의 성질을 가지고 있어서, 식품 포장용 재료로 자주 사용된다. PET 자체의 특성으로 인하여 식품 포장재로 사용되는 PET 고분자에는 산화방지제, 가소제, 열 안정제, UV 안정제 등의 첨가제를 사용하는 일이 드물다. 다만 낮은 농도의 착색제(보통 500ppm 이하)가 몇몇 상업적으로 이용되는 PET 제품에 사용된다.

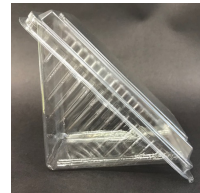
PET 식품 포장재는 용기(병, 단지, 튜브), 열성형을 위한 반강화 시트(쟁반, 발포제) 그리고 얇게 연신된 필름(봉지, 스낵 포장지) 등에 주요하게 사용된다.

PET 제품	용도
병	음료수, 과일주스, 미네랄 워터, 샐러드용 오일, 소스, 드레싱
단지, 튜브	잼, 과일, 건조 식품
쟁반	전자렌지/오븐용 용기, 파스타 접시, 고기, 야채
필름, 호일	가열식품, 스낵, 견과류, 당류, 장기보존식품, 아이스크림, 스프레드
코팅	전자렌지용 서스셉터
기체차단성 PET제품	맥주, 진공포장식품(치즈, 가공육류), 와인, 조미료, 커피, 케익, 시럽

49) 이축연신: 형틀에서 압축시킬 때 가로방향 및 세로방향으로 연신

50) 폴리머가 다양한 환경조건(온도, 습도 등)에서도 원래의 크기나 형상을 유지할 수 있는 능력

반강성 투명 PET 시트는 PET를 열처리하여 PET 용융체를 압출한 뒤 냉각시키고 압력을 가하는 방식으로 만들어지는데, 얇게 이축 연신된 PET 필름은 다양한 용도로 사용된다. 열적 성질이 우수한 PET 필름은 일반적인 포장 필름보다 더 넓은 온도 범위(-70℃~+150℃) 내에서 사용될 수 있으므로, 레토르트 식품 포장이나 가열 식품에서 사용될 수 있다. 또한 PET 필름은 다양한 의약학적 분야와 식품 포장 제품에도 사용될 수 있는데 이럴 경우, 증기 처리에 의한 살균 과정이 필요하다.

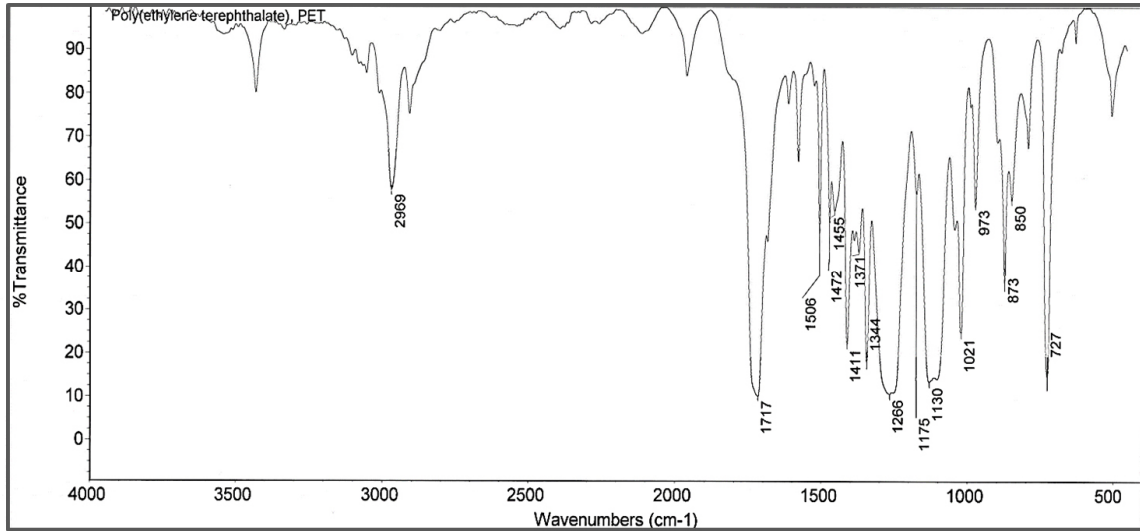


〈 보관·저장용기 〉

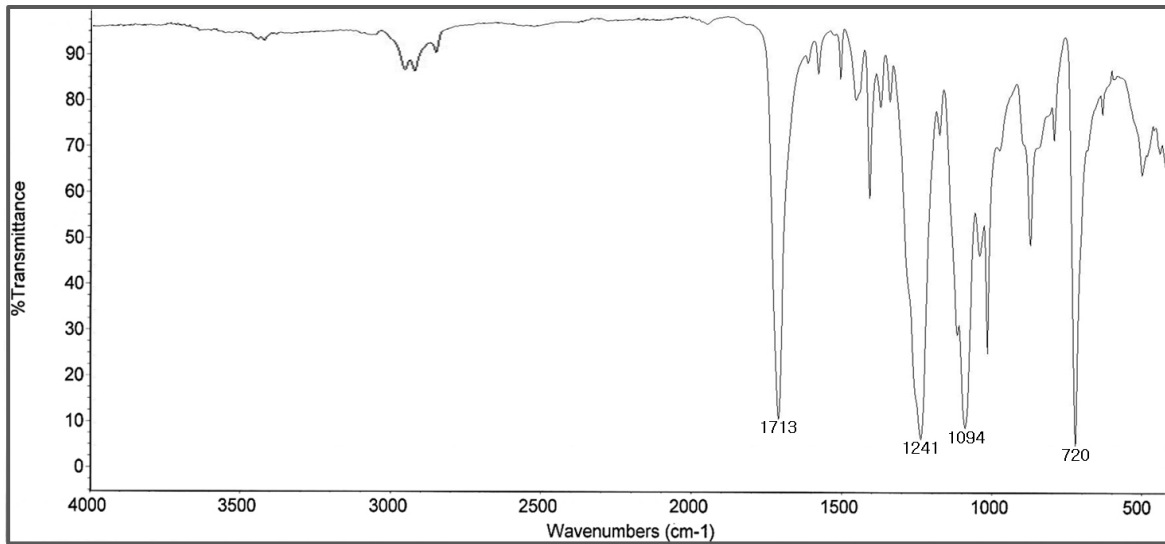
〈 샐러드 용기/샌드위치 포장재 〉

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



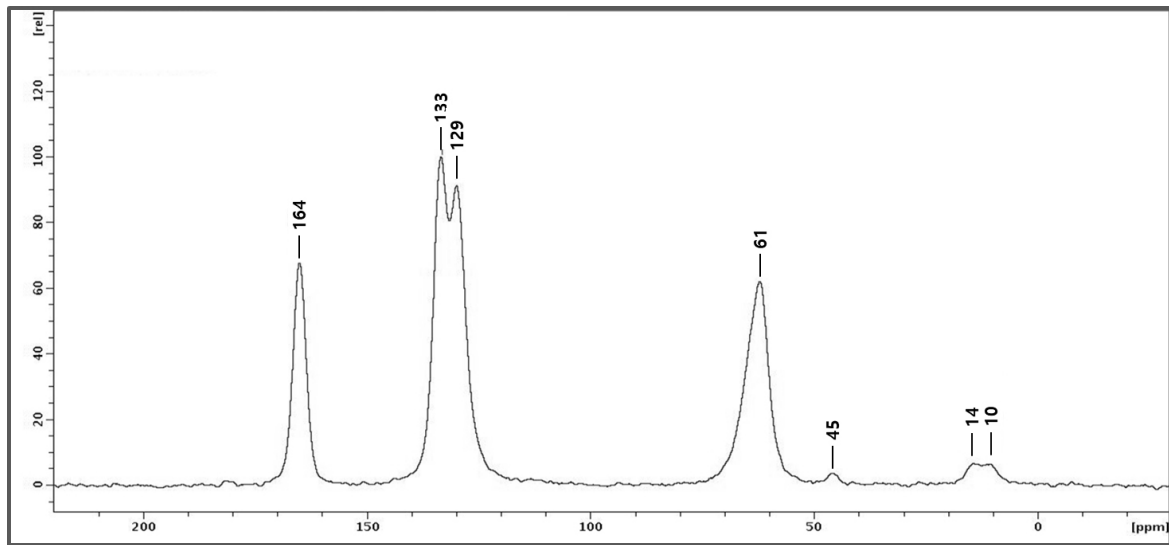
자료: OMNIC spectra Library



주: PET(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

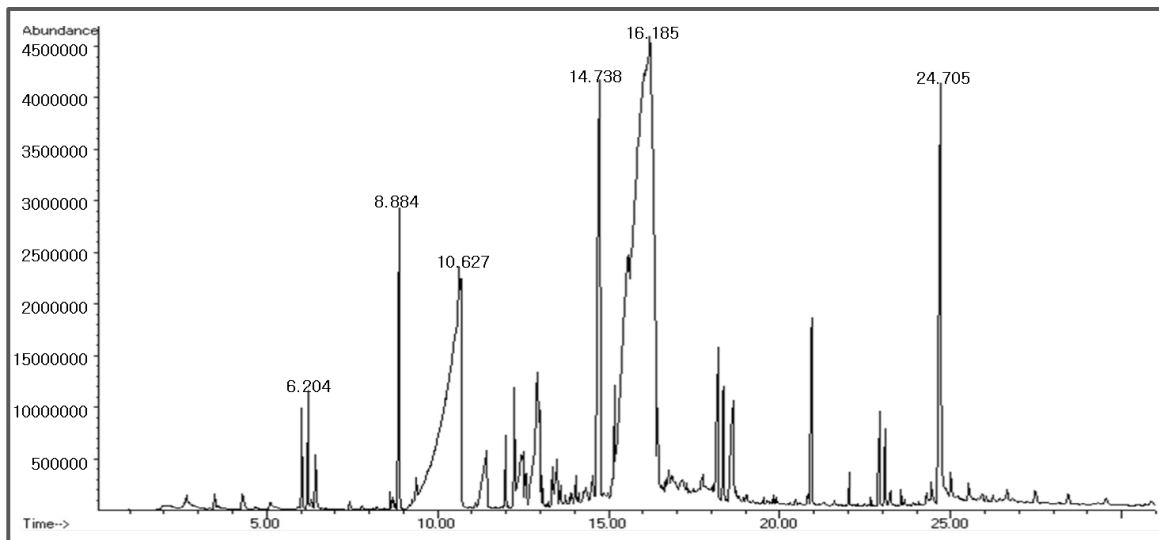
## ② Solid NMR



주: PET(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PET(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

**【참고문헌】**

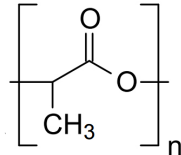
- [1] The Wiley Encyclopaedia of Packaging Technology, 2nd edition. Pubs. John Wiley & Sons, New York, 1997, pp. 742-745
- [2] DuPont Publications: Technical data sheets on Melinar PET resins, 1997.
- [3] Recycling of Plastics for Food Contact Use-Guidelines. ILSI Europe, Avenue E. Mounier 83, B-1200, Brussels, May 1998
- [4] Points to Consider for the Use of Recycled Plastics in Food Packaging: Chemistry Considerations, US Food and Drug Administration, Washington D.C. 20204. Division fo Food Chemistry and Technology, HFF-410, mARCH 1992.
- [5] NAPCOR, 3770 NationsBank Corporate Centre, 100 North Tryon, St. Charlotte, NC 28202, USA.
- [6] Chemicals Used in Food Processing, National Academy of Sciences, 1985, 65, p.1274
- [7] APME Advisory Note, G.E. Veenstra and M.G. Penman, January 1996
- [8] 김미혜 외(2012), 기구·용기포장 재질 중 멜라민수지·PET 이행우려 물질에 대한 안전성 재평가 연구 - 페놀, 포름알데히드·안티몬, 식품의약품안전평가원
- [9] CEN-Comite Europeen de Normalisation, Central Secretariat, rue de Stassart 36, B-1050 Grusseles.



## 자. 폴리락타이드(poly lactide, poly(lactic acid) : PLA)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 26100-51-6 >

#### 나) 명칭

Poly lactide; Lactide polymer; PDLLA; Poly(D,L-lactide); 3,6-Dimethyl-1,4-dioxane-2,5-dione homopolymer; Poly(DL-lactide); Poly(L-lactide); Propanoic acid, 2-hydroxy-, homopolymer; 2-Hydroxypropanoic acid homopolymer; (±)-2-Hydroxypropanoic acid homopolymer; (±)-Lactic acid homopolymer; (±)-Poly(lactic acid); DL-Lactic acid homopolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리락타이드란 기본 중합체(base polymer) 중 락트산의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

### 2) 개요

일반 합성수지들은 재생 불가능한 석유 자원을 기반으로 개발되었으나, 생물 고분자인 PLA는 옥수수 전분이나 사탕수수과 같이 재생 가능한 자원으로부터 생산된다. 일반적으로 난분해성 합성수지와 달리 일반 생분해성 PLA는 6개월에서 24개월 내 분해되는 장점이 있어서 환경 친화적인 식품 포장산업 및 섭취 가능한 식기류에 많이 사용된다. 이렇게 재생 가능한 탄수화물로부터 고분자를 생산할 경우, 화석연료의 사용을 절감할 수 있어 결과적으로 이산화탄소 배출량을 감소시키는 결과를 가지며, PLA는 생분해성 수지<sup>51)</sup>로 이산화탄소로 분해된 후 식물의 광합성을 통하여 다시 전분이 되어 PLA 섬유로 재활용 가능해서 친환경적이다.

51) 생분해성 수지: 자연환경 중에서 대단히 안정한 수지로 기존의 플라스틱과는 달리 흙이나 물에서 미생물의 활동으로 고분자 사슬이 절단되어 물과 이산화탄소로 분해되는 성질을 가진 수지

PLA는 열가소성 고분자인 PS, PE 및 PP와 유사한 성질을 가지며 산업용 플라스틱으로 설계된 장비들의 기존 제조 장비에서 생산 가능하므로 생산비용이 상대적으로 효율적이며, 생분해성 중합체 중에 가장 많이 생산되는 재질 중 하나이다. PLA는 플라스틱을 대체할 수 있는 가장 유망한 후보로 간주되어서 포장 및 생의학(의료용 생분해성 고분자)<sup>52)</sup> 분야에서 성공적으로 응용·개발되고 있는데, 아직은 ① 비교적 낮은 유리전이온도(일반적으로 43~63℃)로 인해 고온 응용분야에 제한적이고, ② 에스터 그룹의 가수분해에 의해 분해가 발생하므로 다른 생분해성 고분자들 보다는 분해속도가 매우 낮으며, ③ 취성<sup>53)</sup>이 높아 기계적 특성이 약해서 조직공학 소재로서 제한적이고, ④ 소수성기들로 인해 생체 내에서 염증 반응을 일으킬 수 있으며, ⑤ 제한된 가스 장벽 특성으로 인해 포장산업 분야에 제한적이다. 이 같은 원인 외에도 유통 중의 생분해 가능성, 생산성 개선, 가격 경쟁력 확보 등 넘어야 할 과제들이 많아서, PLA 소재 개발에 지속적인 노력이 이루어지고 있다. 최근 물성이 보완된 석유화학 기반의 생분해성 플라스틱이 보급되면서 천연물 합성계 및 석유화학 기반 생분해 플라스틱 원료를 혼합해 물성을 보완하고 경제적인 측면을 해결해 나가고 있다.

PLA 시장규모가 커짐에 따라 국내에서는 새로운 제품 개발에 관심이 집중되는 반면, 유럽국가들은 PLA 재활용 시장이 커질 것으로 예상하여 PLA 재활용을 위한 프로젝트(WRAP, COREPLA, RE-PLA Cycle, r-PLA)<sup>54)</sup>를 진행하고 있고, PLA를 분해하는 미생물을 탐색해 유기적 재활용이 가능한 효소를 발굴해 개량 연구를 진행하고 있다.

### 3) 중합방법

PLA의 구성 단량체는 D- 및 L-거울상 이성질체 형태로 존재하는 카이랄 분자<sup>55)</sup>인 락트산(lactic acid, LA)이며, 거울상 이성질체의 양을 조절해서 원하는 성질을 갖는 PLA를 얻을 수 있다. PLA는 락타이드의 직접 축중합 또는 고리형 락타이드 중간체의 개환중합에 의해 만들어지는데, 크게 화석원료(석탄, 석유, 천연가스)로부터 화학적으로 합성하는 방법과 곡물자원(옥수수 전분, 감자 전분 및 사탕수수 당즙)의 탄수화물 발효법에 의해 생산 가능하다. 1990년경 발효에 의한 락트산의 경제적인 대량 생산방법이 수립되기 전까지는 화석원료로부터 합성하는 방법이 주류를 이루었지만, 오늘날에는 옥수수 전분의 발효법이 락트산의 주 생산방법으로 가격이 저렴하여 많은 양이 사용되고 있으며, 필름이나 섬유로 2차 가공된 PLA는 내가수분해성도 뛰어나다.

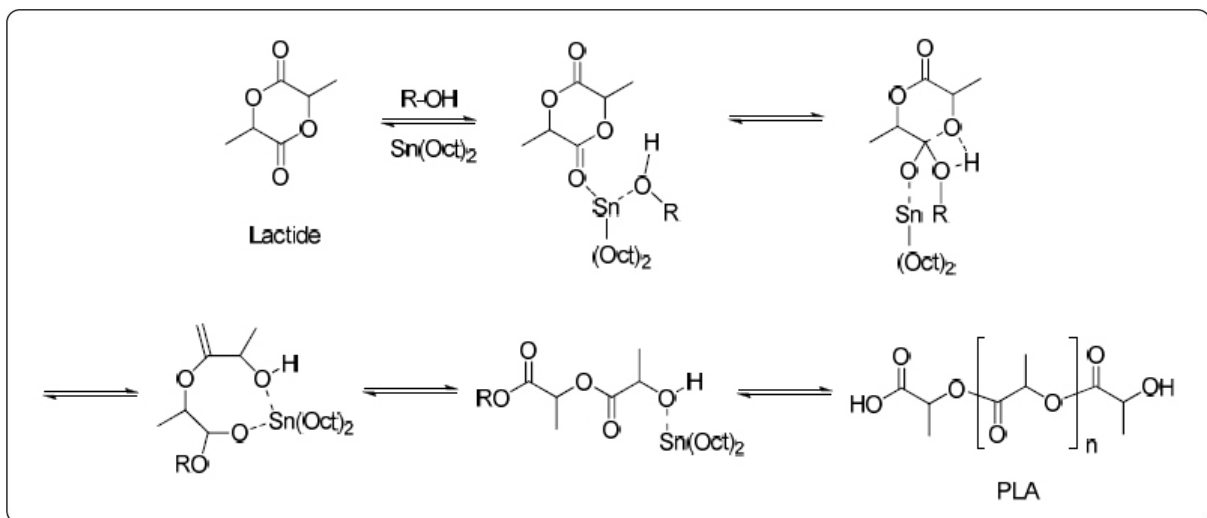
52) 의료용 생분해성 고분자: 인체 내에서 염증반응과 면역거부반응을 일으키지 않아야 하므로 여러 학문 분야들(의학, 공학, 약학)이 결합해야 하는 융합기술

53) 취성(brittleness): 물체가 연성을 갖지 않고 파괴되는(깨지는) 성질

54) The recycling of PLA after its use (so called post consumer plastics) will be feasible as soon as the commercial volumes and sales increase sufficiently to cover the investments required. Numerous research projects and tests have been accomplished or are currently underway organised e.g. by WRAP (UK), COREPLA (Italy), Re-PLA Cycle (Germany), r-PLA (Belgium).: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/recycling/>, 2021.10.22. 인출

55) 카이랄 분자: 카이랄성 또는 손대칭성, 거울상 영상에 서로 겹쳐질 수 없는 분자구조

화석원료로부터 화학적으로 합성된 락타이드는 L-타입 및 D-타입이 각각 50 wt%씩 혼합된 라세미 혼합물로 만들어지는 반면, 전분 발효에 의한 방법에서는 99.5 wt% 상의 L-타입이 얻어진다. 이러한 점 때문에 식물자원의 발효에 의한 생산방법이 선호되고 있다. 락타이드를 이용한 축중합은 진공 및 온도의 조절이 중요하며 더불어 중합과정의 부산물인 물의 제거가 필수적이다. 축중합을 하면 발생한 물과 불순물 제거의 어려움으로 인하여 분자량이 낮거나 중간 정도인 PLA가 합성된다. 또한 상대적으로 대용량의 반응기 필요, 증발의 필요, 용매의 회수, 최종 반응물의 라세미화 등은 산업적 제약 요소가 된다. 따라서 현재 대부분의 PLA 합성은 개환중합법을 이용하여 락타이드로부터 물을 제거하는 축합반응(140°C, 100mmHg, 2% 산화아연촉매, 8~10시간)을 통하여 만들어지는 고리형 락타이드 화합물을 단량체로 이용한다. 락타이드는 3가지의 이성질체, D,D-락타이드(D-락타이드), L,L-락타이드(L-락타이드), 그리고 L,D- 또는 D,L-락타이드(meso-락타이드)로 존재하게 된다. D-와 L-락타이드는 광학 활성인 반면, meso-락타이드는 광학 비활성이다. 개환중합을 통하여 다양한 조성의 PLA가 합성되는데, 높은 L-락타이드 및 D-락타이드 함량을 갖는 PLA는 반결정성 특성을 보이는 반면, 사슬 구조 L,D-락타이드가 혼재하는 경우 비결정성 PLA가 된다. 따라서, D-이성질체 함량과 연결정도를 제어함으로써 다양한 열적, 기계적 물성을 갖는 PLA를 생산할 수 있다.



#### 4) 물리화학적 특성

PLA의 활용은 섬유나 여성 위생품, 포장재 및 식품용기 등 매우 다양하지만, 결정화도가 높아서 유연성을 요구하는 제품에는 사용되기 어려운 점도 있다. PLA의 유리전이 온도는 60°C 정도이고 물리적 성질이 열등한 편으로 융점은 165~175°C 수준으로 일반 폴리에틸렌계 범용 고분자 대비 동등 이상의 온도를 갖고 있지만, 융점 대비 50~60°C의 낮은 열변형온도를 가지고 있어서 열적 안정성의 개선은 매우 시급한 물성 개선 요소이다.

항목	PLA
T <sub>g</sub> (°C)	60~65
T <sub>m</sub> (°C)	170~190
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.152
인장강도 (MPa)	50
인장 모듈러스 (MPa)	3500
결정화도 (%)	46~62
신장율 (%)	26.2
마찰계수	0.38~0.52

이러한 PLA의 단점을 보완하는 방법은 기본적으로 블렌딩을 통해 가능하다. 천연섬유(sisal, ramie, aloe vera 등)와의 블렌딩은 열적 안정성이 증가하는 결과를 보이지만, 친수성인 천연섬유는 소수성인 PLA와 상용성이 좋지 않아 표면개질이 필요하기 때문에 계면결합을 증가시켜 기계적 강도, 수분 저항성, 열적 안정성을 증가시킬 수 있다. PLA의 취성을 개선하기 위해서 PLA보다 유연성이 우수한 PBAT, PCL, PBS와 같은 생분해성 고분자를 혼합하여, 기계적 강도는 감소하더라도 신장률을 증가시켜 균형적인 물성을 갖도록 조절할 수도 있다. PCL(polycaprolactone-based polyurethane)을 PLA와 블렌딩하여 인장강도의 감소를 줄이고 신장률을 증가시켜 높은 인성<sup>56)</sup>을 나타낼 수도 있다. 또한 셀룰로스 유도체와의 블렌딩을 통해 강도와 신장률을 증가시켜 패키징분야에 적용하려는 시도가 있었고, cellulose nanocrystals(CNC)를 첨가하여 방습성, 산소차단능력이 증가되고, bacterial CNC를 첨가하여 인장강도와 신장률이 동시에 상승된다고 보고되었다.

PLA는 가수분해가 일어나며, 분해 속도는 환경온도에 따라 확연히 차이 난다. PLA는 alkyl group의 입체 장애로 인해 상대적으로 긴 가수분해 반감기를 가지며, 박테리아의 공격에 대해 저항성을 띠기 때문에 분해 속도가 느리나, 분자량 10,000 Da 정도로 내려가면 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 급격히 분해가 일어난다.

## 5) 용도

생분해성과 순환형 자원 이용의 두 가지 측면을 가진 소재인 PLA는 미생물에 의한 분해성과 생체적합성을 모두 가지고 있으므로 주로 복합사 또는 약물전달시스템에 이용되었으나, 대량 생산설비가 마련되면서 섬유, 필름, 식품 포장 등에 이용되고 있다.

PLA 플라스틱을 주로 생산하는 국내외 기업은 크게 NatureWorks, Total Corbion PLA, SK이노베이션, SK케미칼 및 SKC 등이다. NatureWorks는 연간 14만톤 규모의 PLA 제조 플랜트를 가동하여 독보적인 시장 점유율을 보유하고 있고, PLA를 이용해 포장재, 식기류 외에 농업, 건축자재, 의료용 제품, 위생품, 전자기기, 패션, 가전제품 등을 최적화된 가격 내에서 판매 중이다. Total Corbion PLA는 PLA의 단점인 온도 취약성을 보완한 새로운 PLA를 개발했는데, 락트산을 락티드 단량체로 전환해

56) 인성: 에너지를 흡수하고 파열 없이 영구 변형하는 능력, 물체가 잘 늘어나고 퍼지는 성질

고품질 락트산 기반의 PLA 열가소성 수지(Luminy® PLA)를 만들었다. 이로 인해 내열성이 우수해 100~140℃ 정도의 온도를 견딜 수 있어서 PS, PP, 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(acrylonitrile butadiene styrene, ABS) 수지를 사용해야 하는 분야에 Luminy® PLA로 대체할 수 있으며, 최근에 인기를 끌고 있는 3D 프린팅의 필라멘트도 개발하였다. SK이노베이션과 SK케미칼 등은 락트산 및 PLA 생산 원천 기술을 연구 중이고, PLA 기반 ECOPLAN FLEX®를 판매하고 있으며, SKC는 세계 최초 PLA 이축 연신 필름을 성공적으로 상용화시켜 판매 중이다. 국내 기업들은 대부분 PLA 원료를 수입해 플라스틱 제품을 생산하고 있으며 생분해성 원료 소재는 대기업을 중심으로 아직은 연구 단계에 있다.

폴리 D-락타이드와 폴리 L-락타이드를 이용한 입체 복합체는 고온의 재료를 담을 수 있는 용기나 전자레인지에도 사용 가능한 트레이, 엔지니어링 플라스틱(이 경우는 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(ABS)와 같은 고무의 성질을 지니는 물질과 혼합한 플라스틱) 제조에 사용된다. 이러한 혼합물은 안정한 구조를 형성하고 투명하며 저렴한 포장 공정에도 효과적이다. 또한 봉합, 스텐트(stent), 투석, 약물 전달 장치와 같은 생체의학 분야에 적용되고 세포 조직 공학에도 이용될 것으로 기대되며, 생분해 성질을 가지고 있어서 포장용 완충재나 퇴비 용기, 식품포장, 일회용 식기류에도 유용하다. 섬유나 부직포의 형태로 제조된 PLA는 가구류 일회용 의류, 천막, 여성위생제품, 기저귀 등에 사용되며, 이 외에도 생분해 성질을 지닌 일회용의 차가운 음료 용기, 뜨거운 음료 컵의 내벽, 육류나 치즈 용기 및 식품 포장의 뚜껑에 이용된다.



〈 일회용 트레이 〉



〈 수저·젓가락 〉



〈 컵 〉



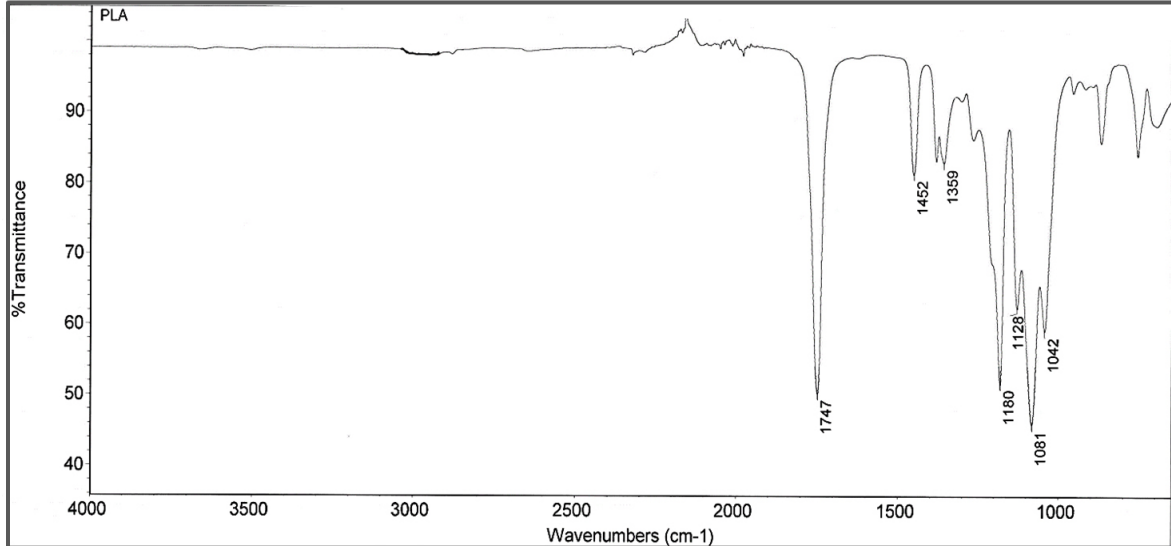
〈 식기류 〉



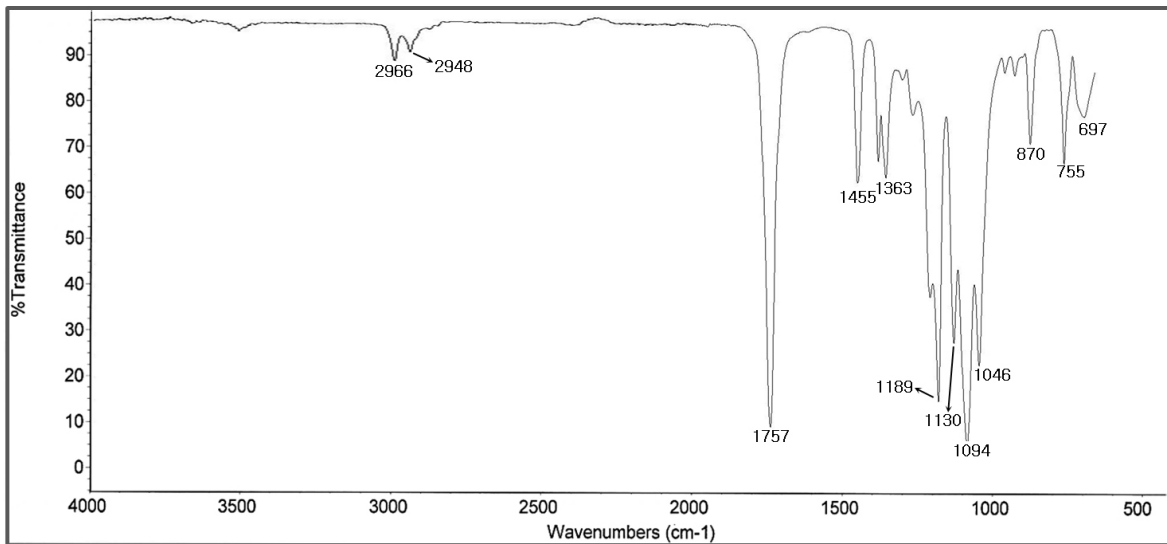
〈 영유아용 이유식 용기 〉

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



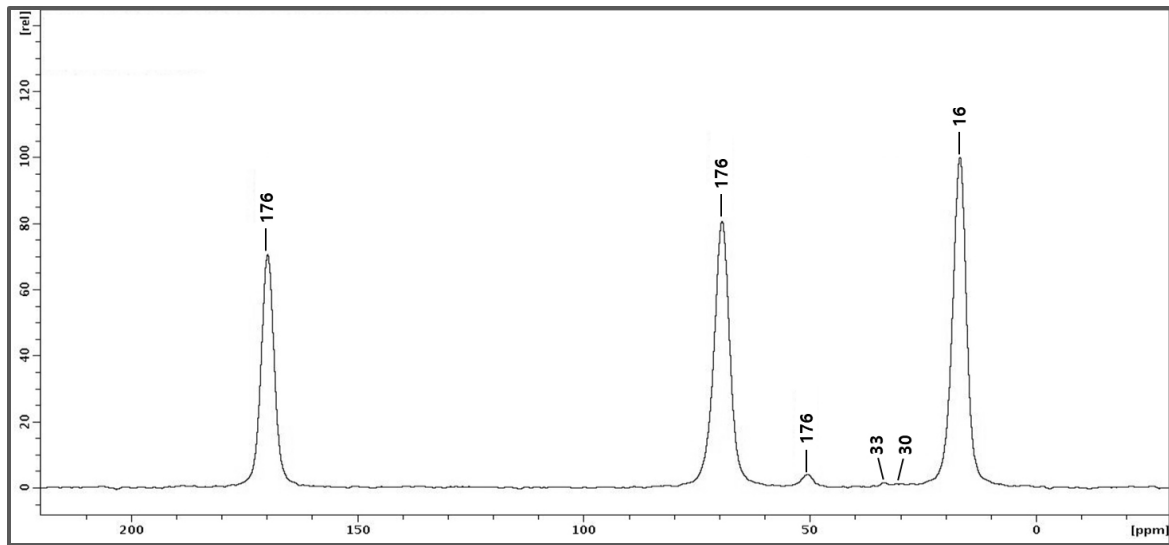
자료: OMNIC spectra Library



주: PLA(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

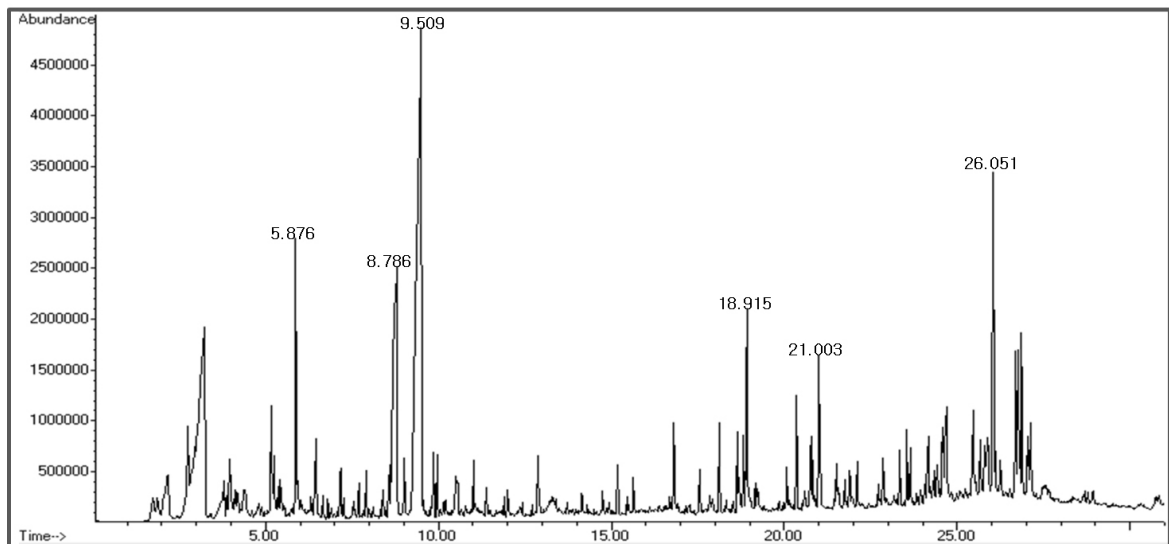
## ② Solid NMR



주: PLA(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PLA(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

**【참고문헌】**

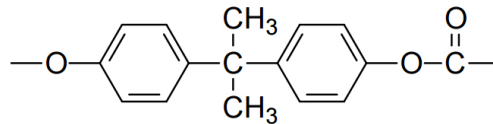
- [1] 강길선(2020). 생분해성 PLS 고분자의 국내외 연구개발 현황. The Magazine Plasticskorea: [http://www.plasticskorea.co.kr/sub.asp?maincode=521&sub\\_sequence=522&sub\\_sub\\_sequence=&exec=view&strBoardID=kui\\_522&intPage=1&intCategory=0&strSearchCategory=%7Cs\\_name%7Cs\\_subject%7C&strSearchWord=&intSeq=19604](http://www.plasticskorea.co.kr/sub.asp?maincode=521&sub_sequence=522&sub_sub_sequence=&exec=view&strBoardID=kui_522&intPage=1&intCategory=0&strSearchCategory=%7Cs_name%7Cs_subject%7C&strSearchWord=&intSeq=19604), 2021.10.22. 인출
- [2] Tsuji, H. ed. (2002). Polylactides, in Biopolymers 4 Polyesters III Applications and Commercial Products, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, chap. 5.
- [3] Garlotta, D. ed. (2002). A literature review of poly(lactic acid), J. Polym. Environ., 9:63.
- [4] 김상원(2016). 식품 기구 및 용기·포장용 생분해성 수지의 기준규격 연구. 식품의약품안전평가원
- [5] Conn, R.E., Kolstad, J.J., Borzelleca, J.F., Dixler, D.S., Filer, L.J., LaDu, B.N. and Pariza, M.W. eds. (1995). Food Chemistry and Toxicology 33:273-283.
- [6] Datta, R., Tsai, S., Bonsignore, P., Moon, S. and Frank, J. eds. (1995). FEMS Microbiology Reviews, 16:221-231.
- [7] Hartmann, M.H. ed.(1998) High molecular weight polylactic acid polymers, in Biopolymers from Renewable Resources, Springer, Berlin, Germany, 367-411.
- [8] Benninga, H. ed. (1990). A History of Lactic Acid, Making., Kluwer Academic Publishing, Boston, USA.
- [9] 산업정책분석원(2020). 친환경 플라스틱 시장 분석과 생분해성 소재 기술개발 동향. 433-435.



## 차. 폴리카보네이트(polycarbonate : PC)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25037-45-0 >

#### 나) 명칭

polycarbonate; PC; carbonic acid, polyester with 4,4'-isopropylidenediphenol; phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-, polymer with carbonic acid; phenol, 4,4'-isopropylidenedi-, polyester with carbonic acid; 2,2-Bis(4-hydroxyphenyl)propane-carbonic acid polymer; 4,4'-dihydroxydiphenyl-2,2-propane carbonate polymer; bisphenol A carbonate homopolymer; bisphenol A carbonate polymer; bisphenol A polycarbonate; bisphenol A polycarbonate, monomer-based; bisphenol A-carbonic acid polymer; carbonic acid-2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane polymer; carbonic acid-4,4'-(1-methylethylidene)bis[phenol] copolymer; carbonic acid-4,4'-dihydroxydiphenyl-2,2-propane copolymer; carbonic acid-4,4'-isopropylidenediphenol polymer; carbonic acid-bisphenol A polymer; carbonic acid-diphenylolpropane copolymer; carbonic acid-isopropylidenediphenol polymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리카보네이트란 기본 중합체(base polymer) 중 비스페놀 A와 디페닐카보네이트 또는 카보닐클로라이드의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

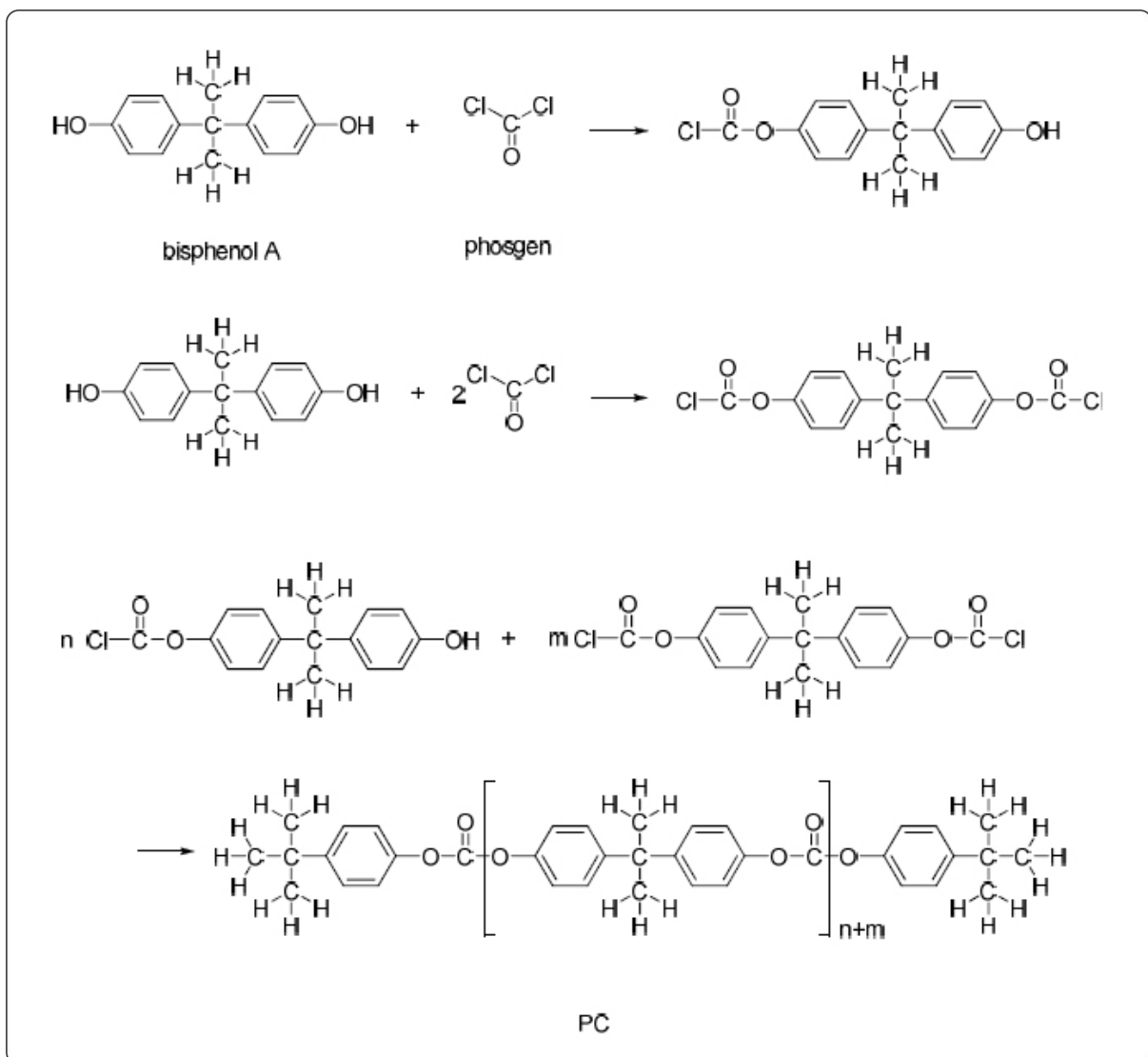
### 2) 개요

폴리카보네이트는 대표적인 엔지니어링 플라스틱의 하나로 강하고 거친 소재이며 일부 등급은 광학적으로 투명하다. 이러한 특성 때문에 현대 화학공업에서 폭넓은 응용 분야에 다양한 제품의 재료로 널리 사용된다.

1956년 독일의 슈넬이 처음 합성하였고, 1958년 바이엘(Bayer AG)로부터 필름과 성형재료가 발매되었으며, 이어 미국 제너럴일렉트릭(General Electric Company)을 비롯하여 각국에서 공업화되었다.

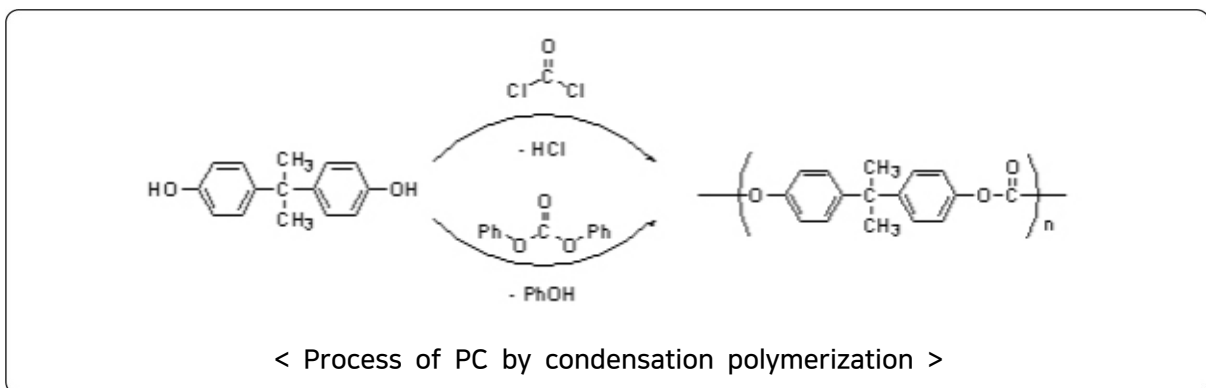
### 3) 중합방법

폴리카보네이트는 비스페놀 A(bisphenol A)와 포스젠(phosgene)을 원료로 하며, 축매로서 테트라메틸렌암모늄, 하이드록사이드, 트리메틸벤질암모늄염클로라이드 등이 사용된다. 축중합의 반응 특성을 가지며 용액중합, 계면축중합, 용융축중합의 제조공정에 의해 제조될 수 있다. 특히 용액축중합 공정은 피리딘(pyridine)을 용매로 하여 균일반응으로 중합하고, 알코올과 같은 비용매를 사용하여 생성된 고분자를 회수하며, 용매 및 비용매<sup>57)</sup>를 회수 재사용하는 특징이 있으나 완전 정제를 위한 부대설비가 요구된다. 따라서 상업적으로는 계면중합공정과 용융중합공정이 많이 이용된다. 비스페놀 A와 포스젠의 축합반응은 아래와 같다.



57) 비용매: 대상으로 하는 용제에 대하여 용해 파라미터가 크게 다른 용제

폴리카보네이트를 합성하는 또 다른 방법으로 용융중합 공정이 있다. 이 공정의 반응물인 비스페놀 A와 디페닐카보네이트를 이용하여 용융상태 하에서 에스터교환(transesterification) 반응을 진행시킨다. 비스페놀 A와 디페닐카보네이트의 에스터교환 반응은 말단기로 히드록실(hydroxyl, -OH) 그룹과 페닐 카보네이트(phenyl carbonate, -O-CO-O-Ph) 그룹 사이에 반응이 이루어져 카보네이트(carbonate, -O-CO-O-) 결합을 형성하며, 반응 부산물로서 페놀이 생성된다. 반응 초기에는 180~250°C의 온도와 20~100 mmHg의 압력으로 생성되는 반응 부산물(주로 페놀)의 80~90%가 제거될 때까지 반응을 진행하며, 그 후 반응 온도를 290~300°C로 점차 높이고 반응압력을 1 mmHg 이하로 감소시킴으로써 중합 공정을 완결한다. 중합반응 도중에 반응 혼합물의 용융 점도가 크게 증가하므로 얻을 수 있는 폴리카보네이트의 최종 분자량은 다른 중합 공정에 비해 낮으며, 높은 온도에서 반응이 진행되므로 우수한 품질의 고분자를 얻기 힘들다는 단점이 있다. 그러나 이러한 중합 공정은 포스젠 같은 독극성의 화합물을 이용하지 않는다는 이점이 있다. 그리고 최종 고분자는 용매를 사용하지 않으므로 직접 펠릿화(pelletizing)<sup>58)</sup>할 수 있어 연속공정 면에서 유리하다.



58) 펠릿화: 분체(粉體)에 약간의 액체 등을 첨가하여 지름 ~20mm의 펠릿(pellet)으로 만드는 조작

#### 4) 물리화학적 특성

가시광선 투과율이 90% 정도로 유리와 같은 투명도를 가지며, 유리의 250배, 아크릴 시트의 30배 강한 강도가 폴리카보네이트의 큰 장점이다. 또한, 전기절연성, 내충격성, 내열성, 내후성, 투명성, 내열성이 우수하고, 자외선에 강하고 알칼리성이다.

항목	PC
$T_g$ (°C)	150
$T_m$ (°C)	260~290
밀도 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	1.2~1.22
비중	1.2
인장강도 (MPa)	55~75
신장율 (%)	80~150
마찰계수	0.31
열전도율 ( $W/(m \cdot k)$ )	0.19~0.22

#### 5) 용도

폴리카보네이트는 주로 산업용인 전자기기, OA 기기, 자동차, 기계 부품 등의 용도에 사용되고 있으며, 식품용으로는 컵, 물병, 급식용 식기, 식품 보관용기, 샐러드 볼과 같은 식품용 기구류에 주로 사용된다. 한편, 전기절연성과 내열성이 좋은 장점을 이용하여 커피 추출기, 전자레인지 용품 등에도 사용된다.



〈 컵/보관용기 〉



〈 성형틀(몰드) 〉



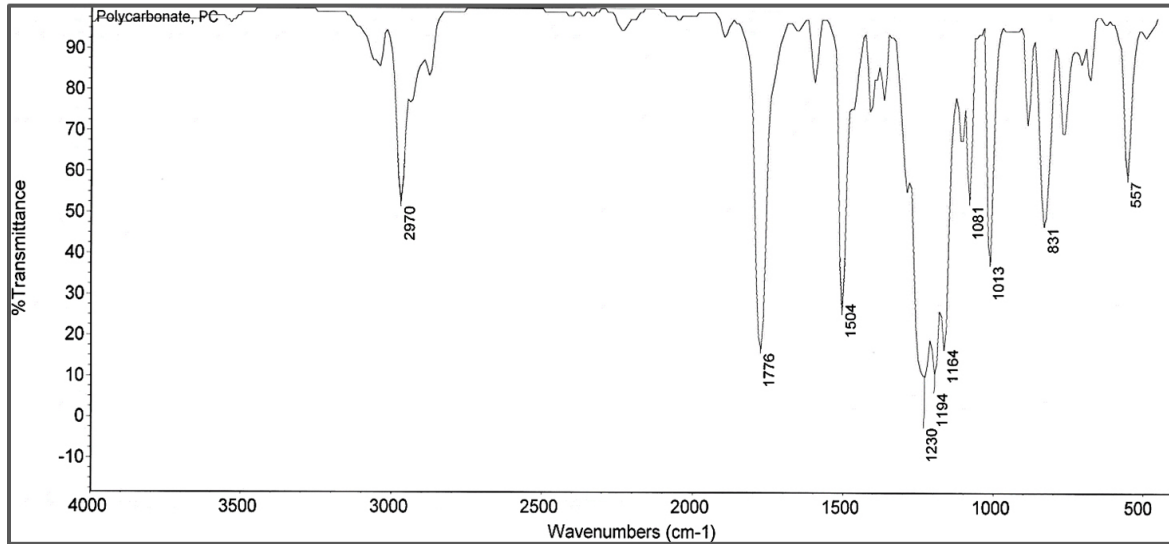
〈 조리기구 〉



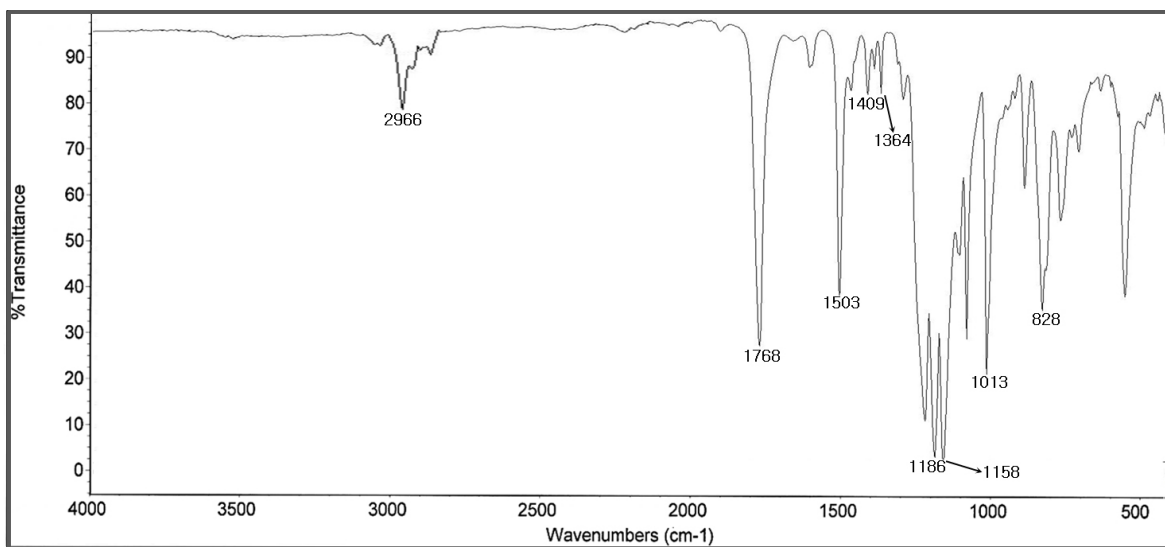
〈 식기류 〉

## 6) 재질 확인 데이터

## ① FT-IR spectrum



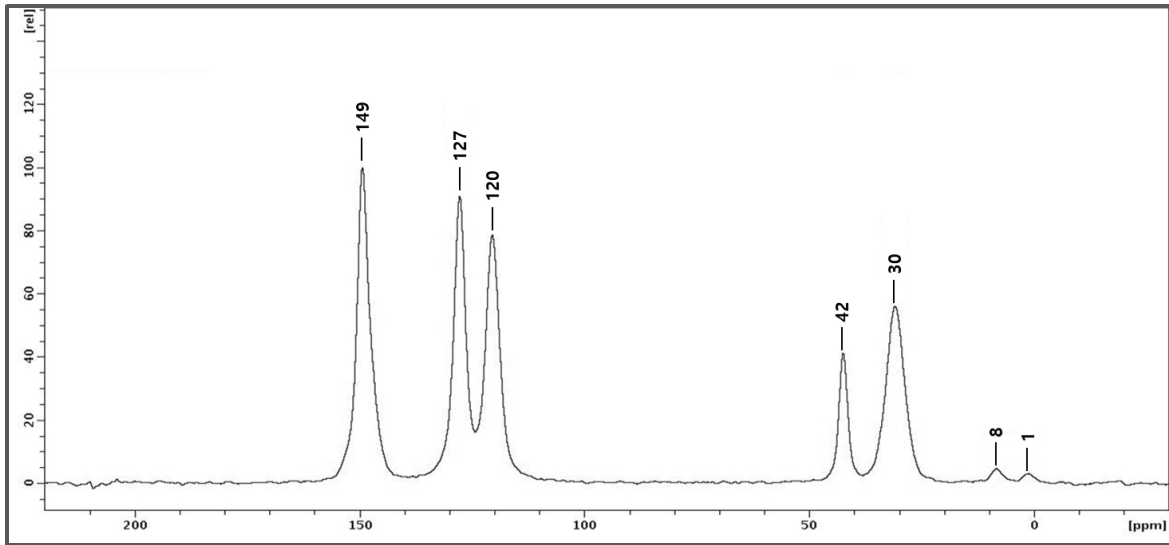
자료: OMNIC spectra Library



주: PC(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

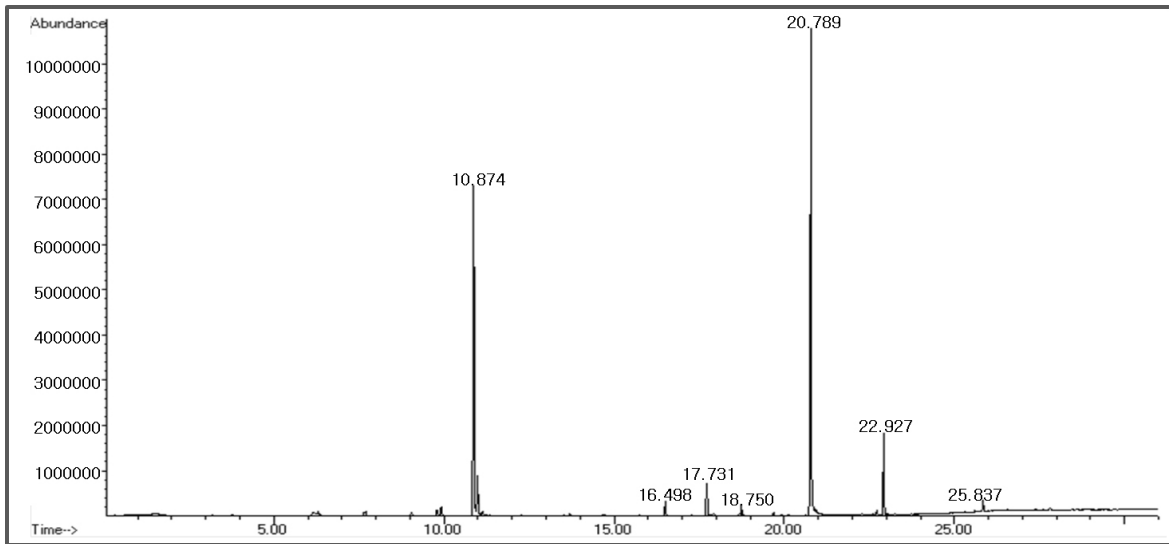
## ② Solid NMR



주: PC(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PC(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

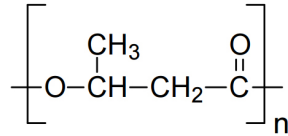
**【참고문헌】**

- [1] 윤원재(2011), 친환경 Bio Copolyester ECOZEN 포장계, 2011. 12 52-59
- [2] 김미경 외(2017), 식품용 기구 및 용기·포장 중 비스페놀류 조사 연구
- [3] Light, R.R. and Seymour (1982) R.W., Polym. Eng. Sci., 22, 857
- [4] Auerbach, A.B. and Sell, J.W. (1990) Polym. Eng. Sci. 30, 1041
- [5] Bryan Ellis and Ray Smith, Polymers: A Property database, 2nd ed, CRC Press

## 카. 히드록시부틸폴리에스테르(hydroxybutyl polyester : HBP)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 29435-48-1 >

#### 나) 명칭

Hydroxybutyl polyester; HBP; poly- $\beta$ -hydroxy butyrate(PHB); poly-((R)-3-hydroxybutric acid); butanoic acid, 3-hydroxy-(R)-, homopolymer; butyric acid, 3-hydroxy-D(-), polyesters; poly(D-hydroxybutyric acid); butanoic acid, 3-hydroxy-, (R)-, homopolymer; (R)-3-hydroxybutyric acid homopolymer; poly((R)-(-)-3-hydroxybutyrate); poly(D-(3-hydroxybutyrate)); poly(D- $\beta$ -hydroxybutyrate); poly(D-3-hydroxybutyric acid); poly[(-)-3-hydroxybutyric acid]; poly[(R)-3-hydroxybutyrate]; poly[D(-)- $\beta$ -hydroxybutyric acid]

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

히드록시부틸폴리에스테르란 기본 중합체(base polymer) 중 3-히드록시부티르산의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

히드록시부틸폴리에스테르(HBP) 또는 폴리-3-히드록시 부틸레이트(PHB)는 폴리에스테르의 일종인 폴리히드록시알카노에이트(polyhydroxyalkanoate, PHA)로 다양한 미생물들이 탄소공급이 풍부한 환경에서 에너지 저장물질로 합성되는 폴리머이다. 관련 기술은 배출가스를 변환 반응기에 투입하여 탄소와 산소를 분리하고, 긴 사슬의 분자를 재결합하여 휘발성 유기화합물과 미생물을 사용하여 PHA를 제조하는 방법이다. 대부분의 고분자는 탄화수소로부터 만들어지며 자연적으로 분해되지 않고 재활용이 되지 않거나 처리하기가 곤란하지만, HBP는 생분해 또는 재활용이 가능한 플라스틱이다. HBP는 대형 발효조에서 포도당을 출발물질로 미생물을 이용하여 대량 생산하는 방법이 있으나, 비용이 많이 든다. HBP가 발효되면 알코올과 같은 물질을 만들어낼 수 있고, 이것은 아직은 비싸지만 새로운 에너지원으로 사용될 수 있다.



### 3) 중합방법

HBP는 *Ralstonia eutrophus* 또는 *Bacillus megaterium*과 같은 미생물로부터 만들어진다. 미생물은 당류, 유기산, 알코올, 이산화탄소 등 여러 가지 탄소원으로부터 히드록시부틸폴리에스테르계 고분자를 생합성한다. 이들 탄소원은 미생물 체내에서 여러 대사경로를 거쳐 아세틸조효소로부터 만들어지는 폴리에스터이며, 아세틸조효소는 중간 대사물질로서 구연산 회로(TCA cycle)에 도입되어 에너지(ATP) 생산과 아미노산 합성에 이용된다. 일단 미생물이 다량의 탄소원을 체내에 섭취하게 되면 필요 이상의 아세틸조효소가 축적되게 되는데, 이 상황에서 미생물은 과다 생성된 아세틸조효소를 HBP로 변환하여 에너지 저장물질로서 체내에 축적한다. 아세틸조효소로부터 HBP로 전환하는 대사 경로에는 3종의 효소가 관여하는 것으로 알려져 있다. 아세틸조효소는  $\beta$ -ketothiolase의 작용에 의해 이량화되어 아세토아세틸조효소로 환원되는데, 이것이 단위체가 되며 마지막으로 폴리머라아제(polymerase)의 작용으로 고분자량의 폴리에스터가 합성된다. 미생물은 이용할 탄소원이 없으면 체내에 축적된 HBP를 분해하여 생명활동의 에너지원으로 이용한다. HBP가 에너지원으로 다시 이용되는 최초의 단계는 분해효소인 디폴리머라아제(depolymerase)에 의해서 2~20개 정도의 3-히드록시부틸레이트(3-HB) 단위체로 된 올리고머인데 디폴리머라아제는 (R)-(-)형의 3-HB로 분해된 아세토아세트산과 아세토아세틸 조효소를 경유하여 아세틸조효소로 전환되는 것이다. 이 고분자는 포도당이나 탄수화물로부터 탄소를 흡수하여 처음 만들어지고, 에너지 저장물질로서 생화학적 작용을 통해 생성되나 에너지원으로 쓰일 수는 없다. HBP의 미생물의 생합성은 아세틸조효소(acetyl-CoA)의 두 가지 분자의 합성으로부터 시작되며 아세토아세틸 조효소를 만들어내고 이것은 히드록시부틸조효소로 만들어진다. 이것이 HBP를 만드는 단량체로서 사용된다. HBP는 폴리히드록시알카노에이트(polihydroxyalkanoate)의 대표 형태이며, 유기화학적 합성을 통하여 폴리히드록시발레르산염(polyhydroxyvalerate, PHV), 폴리히드록시헥사노산(polyhydroxyhexanoate, PHH), 폴리히드록시옥시옥타논산(polyhydroxyoxyocanoate, PHO) 또는 이들의 공중합체 등의 형태가 생성된다.

### 4) 물리화학적 특성

HBP는 물에 녹지 않고 가수분해에 대한 저항이 뛰어나다. 이 점은 다른 생분해성 고분자와 차별화되는 점으로 수증기 하에서 쓰기에 용이하다. 그리고 산소투과율이 좋으며 자외선 차단능력이 뛰어나지만, 산이나 염기에 약하다. 인장강도는 폴리프로필렌(PP)과 거의 비슷하고 비중이 커서 물에 가라앉고, 혐기성 생분해가 가능하다. 이밖에 내구성이 뛰어나고 생체 무독성, 생체조직과의 친화성 등이 좋다.

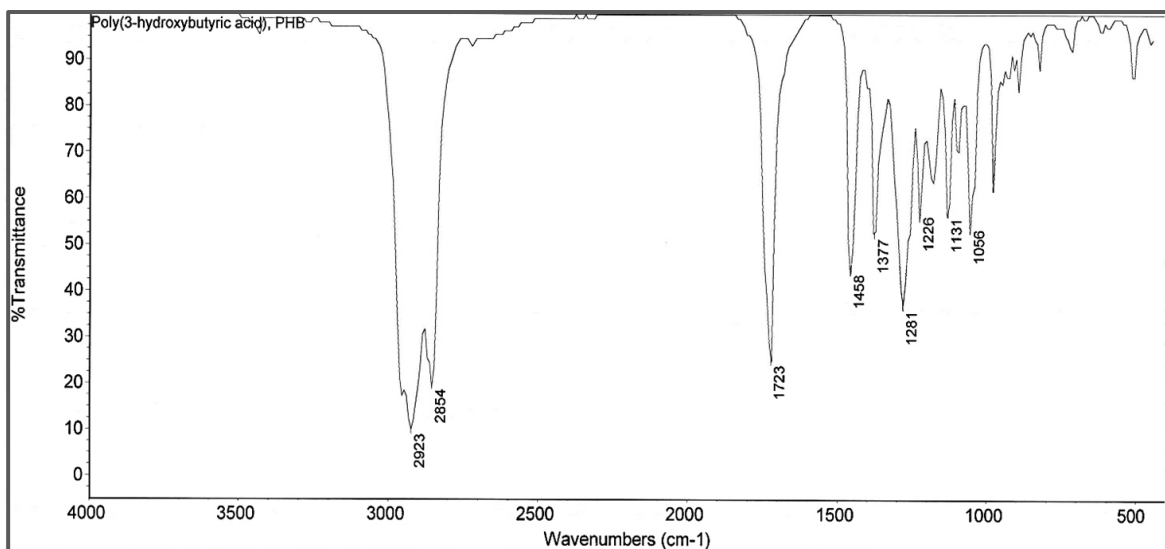
항목	HBP
$T_g$ (°C)	2
$T_m$ (°C)	175
비중	1.25
인장강도 (MPa)	40
신장율 (%)	8

## 5) 용도

HBP는 수술용 봉합사, 수술용 솜, 유화제, 인공장기, 일회용 의료기 등에 사용되며, 무독성, 기체 차단효과, 광학활성, 안전성을 이용하여 약물전달시스템(drug delivery system, DDS), 식품포장 용도 등에 사용 가능하며, 가장 큰 장점인 생분해성을 활용하여 어망 및 낚시줄, 필름으로 사용 가능하고 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)와 PP의 대체용기로 사용이 가능하나, 아직 일반적이지는 않다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

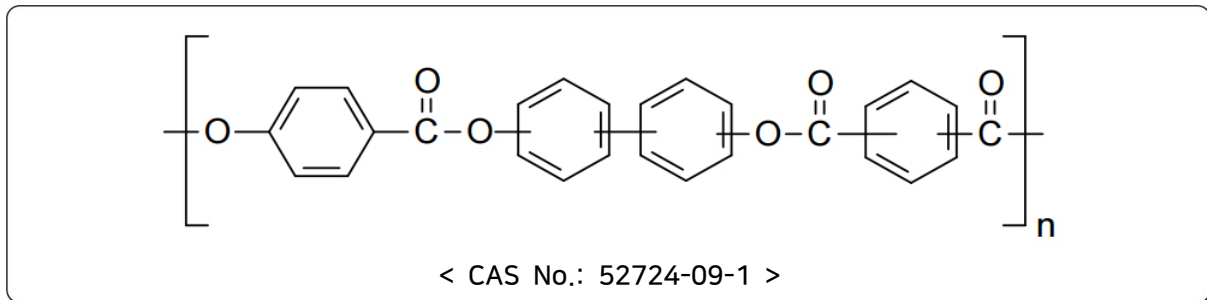
### 【참고문헌】

- [1] Steinbuchel, A. ed. (2002). Biopolymers, 10 Volumes with Index, Wiley-VCH.
- [2] Poirier, Y., Somerville, C., Schechtman, L.A., Satkowski, M.M., Noda, I. eds. (1995). Synthesis of high-molecular-weight poly([R-(-)-3-hydroxybutyrate) in transgenic Arabidopsis thaliana plant cells], Int. J. Biol. Macromol., 17:7-12.
- [3] Nishioka<sup>1</sup>, M., Nishiuma<sup>1</sup>, H., Miyake<sup>2</sup>, M., Asada<sup>3</sup>, Y., Shimizu<sup>4</sup>, K. and Tayal, Y. eds.(2002). Metabolic Flux Analysis of a Poly-b-hydroxybutyrate Producing Cyanobacterium, Synechococcus sp. MA19, Grown under Photoautotrophic Conditions, Biotechnol. Bioprocess Eng., 7:295-302
- [4] 플라스틱코리아.(2014). 뉴라이트 테크놀로지스 대기공기 플라스틱 특허, The Magazine Plasticskorea, 2014.02.04.

## 타. 히드록시안식향산폴리에스테르(hydroxybenzoic acid polyester)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

1,3-Benzenedicarboxylic acid, polymer with (1,1'-biphenyl)-4,4'-diol and 4-hydroxybenzoic acid; 4,4'-Biphenol-4-hydroxybenzoic acid-m-phthalic acid copolymer; 4,4'-Biphenol-p-hydroxybenzoic acid-m-phthalic acid copolymer; 4,4'-Biphenyldiol-p-hydroxybenzoic acid-m-phthalic acid copolymer; 4,4'-Dihydroxy biphenyl-p-hydroxybenzoic acid-m-phthalic acid copolymer; Biphenyl-4,4'-diol-4-hydroxybenzoic acid-m-phthalic acid copolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

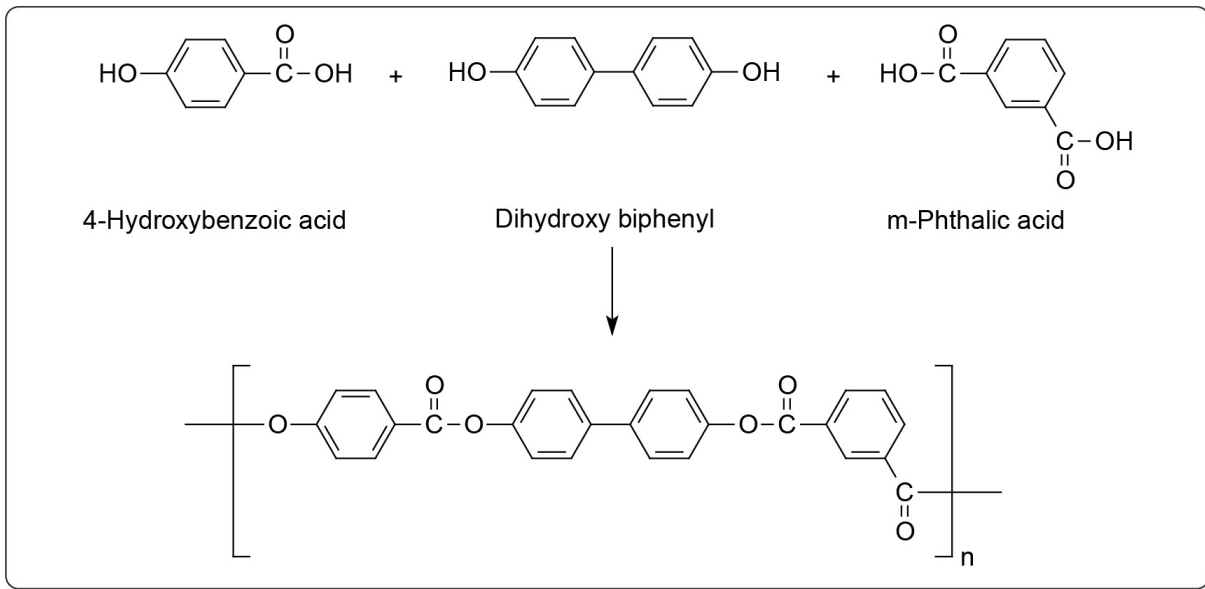
히드록시안식향산폴리에스테르란 기본 중합체(base polymer) 중 히드록시안식향산, 방향족 디카보네이트, 방향족 디올의 공중합물질 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

히드록시안식향산폴리에스테르는 파라히드록시안식향산을 주성분으로 하는 열가소성 수지의 일종이다. 방향족 및 폴리에스테르결합을 갖는 방향족폴리에스테르수지로 높은 화학 안전성 및 내열성을 가지고 있다. 히드록시안식향산폴리에스테르는 용융 시 분자의 사슬이 일정하게 나열되는 액정성을 나타내는 특이한 성질이 있어, 액정성폴리에스테르(LCP)라 부르기도 한다. 분자 사이의 뒤얽힘이 매우 낮아 점도가 낮고, 성형 시 유동성이 좋은 특성이 있다. 최근에는 분자구조가 다른 여러 종류의 액정성 폴리에스테르수지가 개발되고 있으며, 히드록시안식향산폴리에스테르는 내열성이 가장 높은 종류에 속한다.

### 3) 중합방법

히드록시안식향산폴리에스테르는 히드록시안식향산, 방향족 디카보네이트, 방향족 디올 또는 이들의 유도체를 이용하여 용액중합법, 용융중합법을 이용하여 만든다. p-히드록시안식향산을 기본으로, 테레프탈산, 이소프탈산, 히드록시나프토엔산, 비페놀 등의 성분을 공중합하여 만든다.



### 4) 물리화학적 특성

히드록시안식향산폴리에스테르는 액정과 플라스틱의 양쪽 성질을 같이 가지고 있으며, 분자 내에 강직 구조의 액정형성기를 주요 골격으로 하고 있다. 강직 구조만 있는 경우 용점(정확히는 액정화 온도)이 너무 높아 용융 성형이 어려워, 용점(액정화 온도)을 낮추기 위해 여러 성분을 공중합하여 용융 성형이 가능하도록 가공하고 있다.

일반적으로 히드록시안식향산폴리에스테르의 기본골격에 p-히드록시안식향산이 50~80 mole% 정도 함유되어 있으며, p-히드록시안식향산 만으로 이루어진 호모폴리머의 용점은 610°C 정도로, 열분해 개시 온도보다 높아 용융 성형이 불가능하며, 각종 성분을 공중합시켜 용융 성형이 가능한 고분자가 되도록 분자설계하고 있다.

항목	Hydroxy benzoic acid polyester
비중	1.40
인장강도 (MPa)	210
신장율 (%)	3

## 5) 용도

히드록시안식향산폴리에스테르는 내열성(내열온도  $-40^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ )이 좋고, 점도가 낮고, 성형 시 유동성이 좋은 특성이 있어 보빈(코일 포머), 커넥터 등의 소형 전기·전자부품에 사용되고 있으며, 식품용으로는 전자레인지용 트레이, 오븐레인지용 용기 등에 사용되고 있다.

### 【참고문헌】

- [1] <http://www.jhospa.gr.jp/plastics/variety02.html#hbp>
- [2] Satoshi Okamoto, (2008), Liquid Crystalline Polymer, Nippon Gomu Kyokaishi, 86
- [3] 식품의약품안전처. (2020). 식품용 기구 및 용기·포장의 기준·규격 해설서

### 3 스티렌계

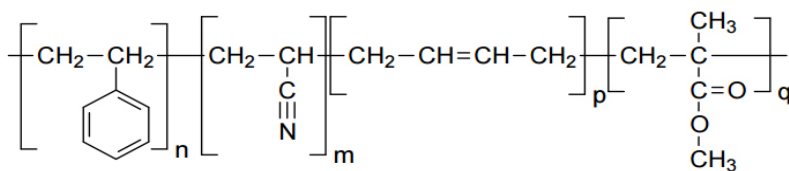
스티렌계는 벤젠에 비닐(CH<sub>2</sub>=CH-)가 결합한 불포화수소 스티렌(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH=CH<sub>2</sub>)가 2개 이상 결합한 중합체를 말한다.

#### 가. 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체

(methylmethacrylate -acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : MABS)

##### 1) 기본정보

###### 가) 화학구조



< CAS No.: 107592-06-3, 9010-94-0 >

###### 나) 명칭

acrylonitrile-butadiene-styrene-methyl methacrylate copolymer; 2-propenenitrile, polymer with 1,3-butadiene and ethylbenzene; 2-Propenoic acid, 2-methyl-, methyl ester, polymer with 1,3-butadiene, ethenylbenzene and 2-propenenitrile; 2-Methyl-2-propenoic acid methyl ester polymer with 1,3-butadiene, ethenylbenzene and 2-propenenitrile; 1,3-Butadiene-acrylonitrile-styrene-methyl methacrylate polymer; ABS-methyl methacrylate polymer; acrylonitrile-1,3-butadiene-methyl methacrylate-styrene polymer; acrylonitrile-butadiene-methyl methacrylate-styrene copolymer; butadiene-styrene-acrylonitrile-methyl methacrylate copolymer; Methyl methacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer; Styrene-butadiene-methyl methacrylate-acrylonitrile copolymer

###### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체란 기본 중합체(base polymer) 중 메타크릴산, 아크릴로니트릴, 부타디엔, 스티렌( $\alpha$ -메틸스티렌 포함)의 공중합 물질의 함유율이 60% 이상인 합성수지제를 말한다.

## 2) 개요

메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(MABS)는 BASF사에서 Terluxe라는 상품명으로 다량 생산되고 있으며, 빼어난 투명성, 높은 충격강도, 우수한 기계적 강도와 강성, 내화학성과 응력 균열 내성, 가공성 그리고 높은 열내성을 지닌 소재이다.

## 3) 중합방법

MABS는 주로 긴 사슬을 가지는 알킬이나 아릴설포네이트(arylsulfonates)를 유화제로 사용하여 유화중합으로 생산되며 pH 7 이하에서 안정한 분산을 이룬다. 칼륨 퍼옥시디황산염(Potassium peroxydisulfate)와 같은 무기과산화물과 큐멘하이드로퍼옥사이드(cumene hydroperoxide)나 소듐 하이드록시메탄-설포네이트(sodium hydroxymethane-sulfonite)와 같은 산화환원계의 개시제가 사용된다.

## 4) 물리화학적 특성

MABS는 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(ABS)와 물성이 유사하며, 투명성이 보강된 소재라 할 수 있다. 투명성, 기계 특성, 열 특성이 좋으며 특히 저온 특성이 뛰어나서  $-40^{\circ}\text{C}$ 까지 사용할 수 있다. 한편, 용제에는 쉽게 용해되지만 약산, 약알칼리, 유지에는 견딜 수 있다.

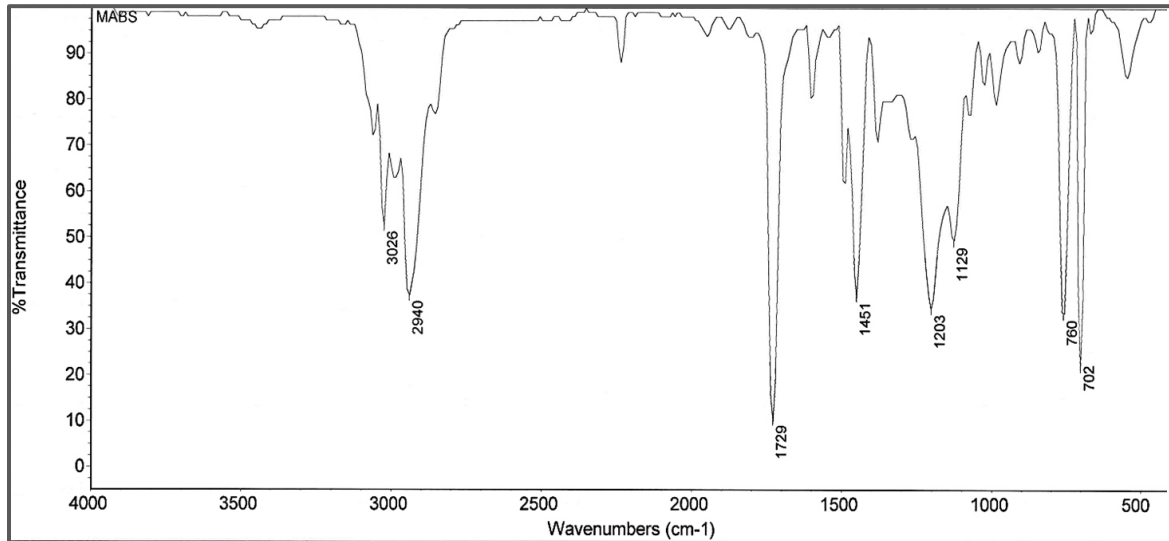
항목	MABS
$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	107
$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	229~260
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.07~1.10
비중	1.08
인장강도 (MPa)	48
신장율 (%)	12~20

## 5) 용도

MABS는 투명하고 기계적 강도와 강성, 내화학성, 내열성 등이 좋은 특성을 이용하여 전기 전자제품이나 장난감, 레저용품의 본체 부분에 사용되고, 음식용 포장지 시트로도 활용되고 있다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

### 【참고문헌】

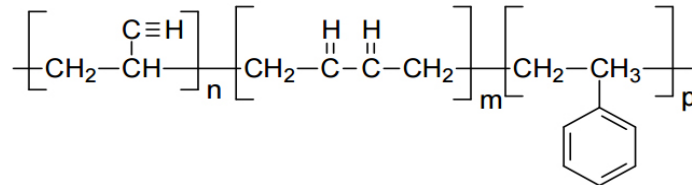
- [1] John S., Duane P. (2003). Modern styrenic polymers, 26.
- [2] Kit L. Y. (2009). The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology 3rd ed., 1055.



## 나. 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : ABS)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9003-56-9 >

#### 나) 명칭

acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers; ABS; Buta-1,3-diene, prop-2-enenitrile, styrene; styrene, acrylonitrile, butadiene polymer; acrylonitrile, polymer with 1,3-butadiene and styrene; 2-propenenitrile, polymer with 1,3-butadiene and ethenylbenzene; Poly(acrylonitrile-co-butadiene-co-styrene)

#### 다) 기구 및 용기포장 공전의 정의

아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체란 기본 중합체(base polymer) 중 스티렌( $\alpha$ -메틸스티렌 포함)과 아크릴로니트릴의 공중합체에 부타디엔계 고무가 분산된 물질의 함유율이 60% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌(ABS) 공중합체<sup>59)</sup>는 아크릴로니트릴, 부타디엔, 스티렌의 단순한 공중합으로 이루어진 것이 아니라 유리상인 아크릴로니트릴-스티렌 수지(acrylonitrile-styrene, AS)에 부타디엔, 스티렌 부타디엔, 아크릴로니트릴 부타디엔(acrylonitrile butadiene, AB) 등의 고무 상의 중합체가 미세하게 분산된 2상 불균일계의 구조이다.

1947년 미국의 루벳(Rubbet)사에서 아크릴로니트릴수지와 AB을 블렌드한 ABS인 KRALASTIC을 발표하였다. ABS는 그래프트형이 대다수이고 CYCOLAC라는 상품명으로 Morbon Chemical사에 의해 제조, 시판이 시작되었다. 이후 1963년 일본에서 ABS의 생산이 시작되었고 그 수요량은 해마다 급격히 증가하여 현재로서는 대표적인 내충격성 열가소성 수지 제조국이 되었다.

59) 공중합체: 2종류의 단위체로 된 혼성중합체(=코폴리머)

### 3) 중합방법

ABS의 중요한 제법은 1) AB와 AS를 블렌드하여 제조하는 블렌드법, 2) AS를 중합할 시 부타디엔을 그래프트 시켜 제조하는 그래프트법, 3) 앞서 언급한 두 가지 방법을 병용한 그래프트 복합법 세 가지로 분류되지만 유화중합으로 제조하는 방법이 공업적으로 널리 이용되고 있다.

#### 가) 블렌드법

내충격성 폴리스티렌(high impact polystyrene, HIPS)의 경우와 같이 AS와 AB을 가열한 후 연마기(mill)을 이용하여 기계적으로 혼합하거나 라텍스 상태로 혼합하는 방법이다. 블렌드법을 사용하여 제조한 ABS에서는 사용하는 부타디엔의 가교도가 클수록 충격강도, 저온 내충격성이 증가한다. 이 때문에 AB의 제조 시 소량의 가교제를 첨가하여 고무의 가교도를 높이는 연구가 행해지고 있다. 또한 충격강도는 부타디엔 함량이 약 15%가 넘으면 급격히 증대하지만 다른 물성 등을 고려했을 때 20~30% 범위가 적당하다.

#### 나) 그래프트법

그래프트형 ABS는 폴리부타디엔 라텍스의 공존 하에 스티렌과 아크릴로니트릴을 중합시킴으로써 만들어진다. 따라서 이 타입의 수지는 폴리부타디엔, 스티렌과 아크릴로니트릴이 그래프트 된 폴리부타디엔 및 스티렌-아크릴로니트릴 공중합체의 단순한 혼합물로 매우 약하고 연하다. 이들 두 가지 성분을 혼합할 시 스티렌과 아크릴로니트릴이 그래프트 된 폴리부타디엔이 수지의 강도를 향상시킨다. 이 그래프트형 ABS의 중요한 성질은 고무에 그래프트한 아크릴로니트릴 스티렌 공중합체와 고무와의 비율인데 이 비율은 중합 조건에 의해 결정된다. 충격강도는 고무함량의 약 30%에 달할 때까지는 향상되는데, 동일 고무함량에서도 그래프트율에 따라서 충격강도가 다르고, 고무의 입자지름에 의해서도 최적 그래프트 율이 다르다. 그래프트형 ABS의 폴리부타디엔 함량은 대체로 10~30%이다. 폴리부타디엔은 유리전이도가 매우 낮기 때문에 그래프트형 ABS 수지는 저온에서도 우수한 내충격성을 유지할 수 있다. 그래프트법에는 내충격성 폴리스티렌의 경우와 같이 고무를 아크릴로니트릴, 스티렌의 양 단량체에 용해하여 괴상 또는 현탁 상으로 중합하는 방법, 또는 괴상으로 어느 정도 예비 중합한 후 물속에서 현탁하여 중합을 진행하는 괴상 현탁법 등의 제법이 있다.

#### 다) 그래프트 블렌드법

그래프트법으로 만든 ABS와 이것과는 별도로 만든 AS를 블렌드하는 방법이다. 통상의 그래프트 블렌드법에서는 비교적 작은 입자지름의 고무 라텍스를 이용하며, 고무 함량을 70% 정도까지 높은 상태에서 그래프트 중합시킨다.

#### 4) 물리화학적 특성

ABS의 특성은 이 수지를 구성하는 세 가지 성분, 즉 스티렌의 광택, 전기적 성질, 성형성, 아크릴로니트릴의 내열성, 강성, 내유성, 내후성, 부타디엔의 내충격성에서 유래된다. 특히 인장강도나 강성에 대한 감소 없이 내충격 강도가 뛰어나고 저온에서도 충격강도를 가지며, 열변형 온도가 높다. 그 밖에 전기적 성질, 내화학,약품성, 내유성이 뛰어나고 가공 적용성이 좋아 사출성형, 압출성형, 진공성형, 취입성형, 캘린더가공 등 모든 성형법이 적용될 수 있다. 또한 치수안정성, 내크립성, 내스트레스 크래킹성이 뛰어난 광택의 좋은 성형품을 얻을 수 있으며, 플라스틱 중에서 가장 도금하기 쉬운 재료이다.

ABS는 앞서 언급한 것과 같이 성형재료로서 뛰어날 뿐만 아니라 다른 수지와와의 상용성이 좋아서 변형 보강재로 이용할 수가 있다. 특히 염화비닐 수지와 5~20%를 블렌드하면 뚜렷하게 충격강도가 향상되고 인장강도, 경도는 큰 변화가 없지만, 열변형 온도는 오히려 상승하고 가공성도 개선된다. 블렌드 시 사용한 수지의 종류, 염화비닐수지의 분자량에 따라서 그 효과에 매우 차이가 나기 때문에 사용 목적에 따라서 성분이나 등급을 적절하게 선택해야 한다.

ABS는 기계적 강도, 가공성, 가격 등 모든 점에서 균형이 잡힌 뛰어난 수지이지만 투명성, 내후성에 약간의 문제가 있다. ABS는 연속상에 고무의 미립자가 분산된 2상 불균일계의 구조를 갖는데, 그 구성 성분인 수지와 고무의 굴절률이 다르기 때문에 이 계면에서 빛의 굴절, 산란이 일어나며 그 결과 불투명이 된다. 따라서 중합체를 투명하게 하기 위해서는 수지와 고무의 굴절률을 특정 범위 내에 가깝게 하거나 고무입자의 크기를 가시광선의 산란이 일어나지 않을 정도로 작게 해야 한다.

부타디엔은 ABS에 뛰어난 내충격성을 부여하고 우수한 도금성능의 원인이지만, 부타디엔 고무 속의 잔존 2중결합이 ABS의 내후열화의 원인이라고 생각되고 있다. 따라서 이 부타디엔 고무를 2중결합을 포함하지 않는 다른 엘라스토머, 예컨대 아크릴산 에스테르계 합성고무(AAS수지), 염소화 폴리에틸렌 혹은 에틸렌-초산비닐 공중합체(EVA) 등으로 치환하여 이 문제를 해결하였고, 내후·내충격성을 갖는 ABS는 옥외용 내충격성 재료로서 주목받고 있다.

항목	ABS
$T_g$ (°C)	105
밀도 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	1.06~1.08
비중	1.02~1.08
인장강도 (MPa)	41~60
신장율 (%)	5~25
마찰계수	0.39
열전도율 ( $W/(m \cdot k)$ )	0.17~0.188

## 5) 용도

ABS는 물성이 우수하여 다방면으로 사용되고 있다. 특히 냉장고, 세탁기, 선풍기, 라디오, 텔레비전 리코더 등 소위 가전, 전기 기구의 모든 분야에 걸쳐 이용되고 있다. 차량용은 라디에이터 그릴, 패널, 도어 패널 등의 4륜차의 내외강 부분과 2륜차의 프론트 펜더 커버 등이 있다. 그밖에 문방구, 완구, 구두 힐, 가전제품, 주택부품, 스포츠용품 등의 잡화, 방직기, 사무기기, 미싱, 시계 광학기기, 약기에도 사용된다. 최근 주목받고 있는 수요 분야로는 발포체와 대형 성형품이 있다. 대형 성형품으로, ABS를 이용하여 제조한 모터보드는 초광폭 시트압출용 스크류 다이(screw die)로 폭 2.2 mm 두께 10 mm의 ABS 수지 시트를 진공성형한 것으로 강인성과 우수한 성형 가공을 나타낸다. 이와 같이 엔지니어링 플라스틱으로도 사용되는 ABS는 점점 그 용도가 다양화되고 있다. 식품용으로는 가위, 과도 등의 손잡이 부분과 식기류 등으로 사용된다.



〈 식기류 〉



〈 압착기 〉



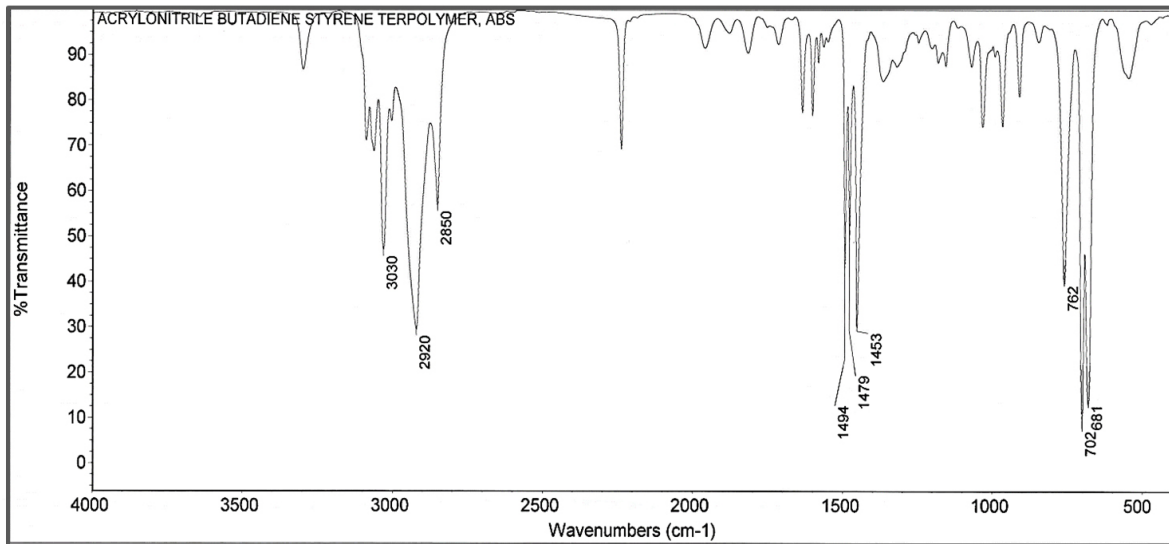
〈 수저, 포크 〉



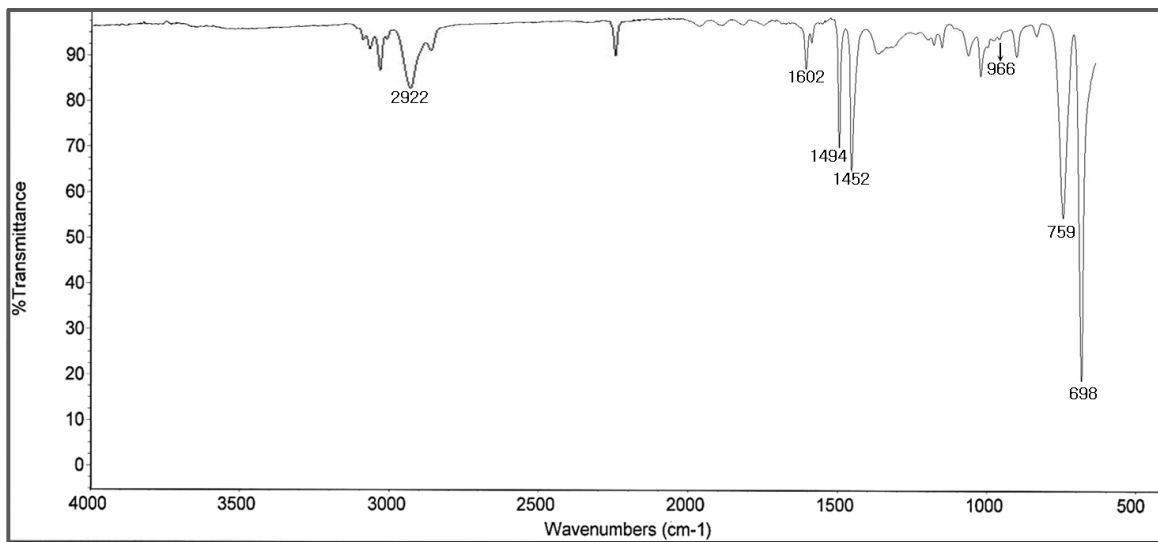
〈 슬라이서 〉

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



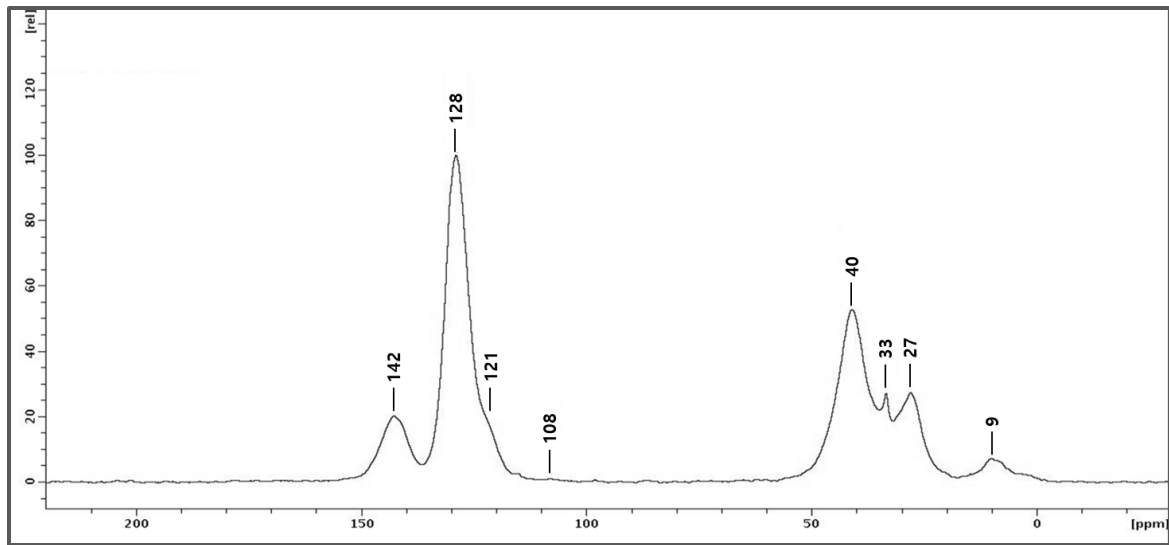
자료: OMNIC spectra Library



주: ABS(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

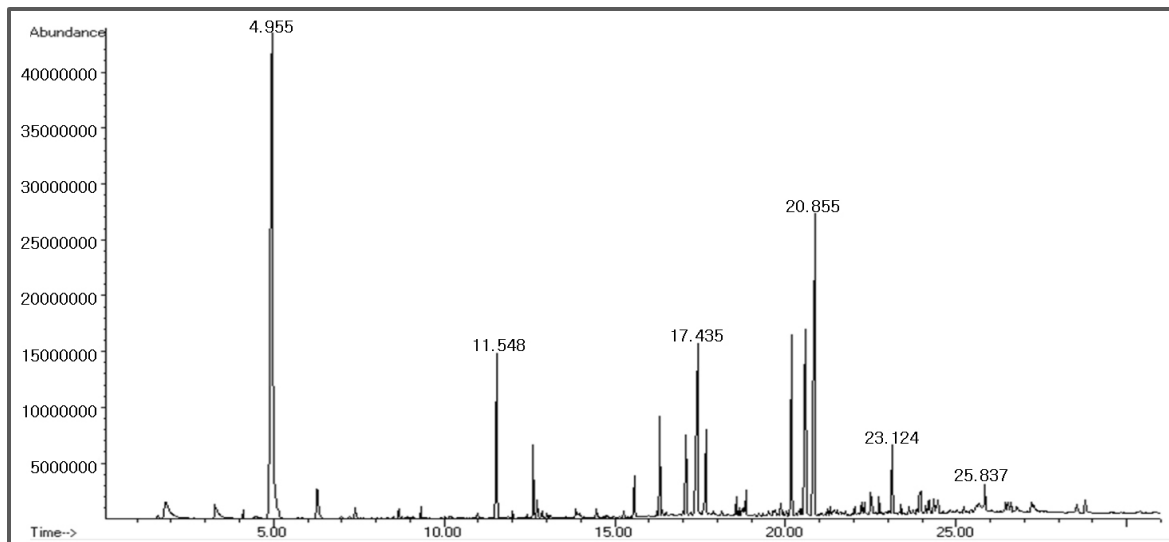
## ② Solid NMR



주: ABS(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: ABS(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

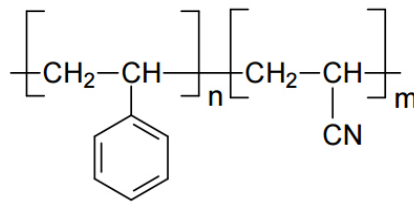
**【참고문헌】**

- [1] Adams M. E., Buckley D. J., Colborn R. E. (1993). Acrylonitrile-Butadiene-Styrene, Rapra Review Reports
- [2] Andreas C., Daniel D. (2002). Styrenic Copolymer, Rapra Review Reports, 13
- [3] 이종권 외 11인(2020). 합성수지계 식품용 기구 및 용기·포장 중 이행물질 안전성평가 연구, 식품의약품안전평가원, p.4
- [4] 최성신 외(2009). 기구 및 용기·포장재 중 1,3-부타디엔 분석법 확립 및 규격 설정 연구 - ABS 수지, MABS 수지, 부타디엔 수지 등을 중심으로, 식품의약품안전평가원

## 다. 아크릴로니트릴-스티렌 공중합체(acrylonitrile-styrene copolymer : AS)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9003-54-7 >

#### 나) 명칭

acrylonitrile-styrene copolymer; 2-propenenitrile, polymer with ethenylbenzene; copolymer, styrene-acrylonitrile; acrylonitrile, polymer with styrene; acrylonitrile-styrene resin; acrylonitrile-styrol polymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

아크릴로니트릴-스티렌 공중합체란 기본 중합체(base polymer) 중 스티렌( $\alpha$ -메틸스티렌 포함)이 50% 이상 함유된 중합체에 아크릴로니트릴이 포함된 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

아크릴로니트릴-스티렌 공중합 수지(AS)는 아크릴로니트릴과의 공중합에 의해 폴리스티렌의 물성을 개선한 공중합체로 자연색은 미황색 투명인데 보통 미청색 투명품이 널리 사용되고 있다. 투명성, 내화학성 및 기계적 성질이 우수한 성형 소재로서 각종 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 이러한 속성은 아크릴로니트릴 함량에 따라 달라지며 시판되는 등급은 다양한 아크릴로니트릴의 분자량을 제공한다. 유리섬유를 첨가하면 강성과 열 변형에 대한 내성이 향상되고 선형 열팽창 계수가 감소한다.

### 3) 중합방법

아크릴로니트릴-스티렌 공중합 수지는 아크릴로니트릴과 스타이렌의 두 성분의 혼성중합체로 이루어지는 열가소성 수지로 통상 연속공정에서 괴상 또는 용액 중합법으로 제조되는 것이 일반적이다. 아크릴로니트릴-스티렌 공중합 수지는 중합 반응의 특성상 반응하는 단량체의 조성비에 따라서 중합체의 조성비가 결정되며, 아크릴로니트릴과 스티렌 단량체의 경우에는 1:1로 반응하지는 않는다. 따라서 제조



공정에서, 반응기에 최초로 투입되는 단량체 혼합물은 반응이 진행되면서 계속 조성비가 변하게 되며, 이에 대응하는 중합체의 조성비도 변하게 된다. 수지의 제조공정 중 중합 공정에서 발생할 수 있는 또 하나의 문제점은 겔의 생성이다. 중합 공정에서 생성되는 겔은 주로 아크릴로니트릴의 함량이 매우 높은 불용성의 물질로서, 열안정성이 매우 낮은 특성이 있어서 홍점, 흑점 등의 발생 원인이 되며 제품의 외관 품질을 저해하게 된다.

중합 단계는 투입된 단량체를 일정한 온도, 압력 및 체류 시간의 반응조건으로 유지시켜 단량체를 중합시키는 공정이다. 이때 생성되는 중합체의 전환률, 분자량과 조성비는 중합조건에 따라 결정되므로, 130~160℃의 온도, 1.5~4 kg/cm<sup>2</sup>G의 압력 및 1.5~2.5시간의 각 반응기 체류 시간의 반응 조건을 유지하고, 투입된 단량체의 중합체 전환률이 80%가 되도록 중합시키는 것이 바람직하다. 중합 공정에서 발생하기 쉬운 문제점은 겔 중합체의 생성과 수분 제거의 문제이다. 이는 반응기에서 증발하는 단량체 증기 온도가 높고 액상의 단량체에 비해 아크릴로니트릴 함량이 매우 높아서, 이 증기가 액화되는 과정에서 아크릴로니트릴 함량이 많은 불용성의 중합체가 쉽게 생성되기 때문이다. 반응기에서 배출되는 중합체 용액은 회수공정을 통해 중합체는 기공 공정으로 가고, 분리된 미반응 단량체의 휘발 증기는 응축기에서 응축된 후 원료 투입 공정으로 재투입되어 다시 이용된다.

#### 4) 물리화학적 특성

AS의 특성은 이 수지를 구성하는 성분, 즉 스티렌의 광택, 전기적 성질, 성형성, 아크릴로니트릴의 내열성, 강성, 내유성, 내후성에서 유래된다. 특히 인장강도나 강성에 대한 감소 없이 내충격 강도가 뛰어나고 저온에서도 충격 강도를 가지며, 열변형 온도가 높다. 그 밖에 전기적 성질, 내화학,약품성, 내유성이 뛰어나고, 가공 적용성이 좋아서 사출성형, 압출성형, 진공성형, 취입성형, 캘린더 가공 등 모든 성형법이 적용될 수 있다. 또한 치수안정성, 내크립성, 내 스트레스 크래킹성이 뛰어난 광택의 좋은 성형품을 얻을 수 있으며, 플라스틱 중에서 가장 도금하기 쉬운 재료이다. AS는 앞서 언급한 것과 같이 성형소재로서 뛰어날 뿐만 아니라 다른 수지와와의 상용성이 좋아서 변형 보강재로서 이용될 수가 있다. AS는 기계적 강도, 가공성, 투명성, 가격 등 모든 점에서 균형이 잡힌 뛰어난 수지이다.

항목	AS
T <sub>g</sub> (°C)	102~103
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.07~1.08
인장강도 (MPa)	73~68
인장강도 (MPa)	73~68
굴곡강도 (MPa)	125~130

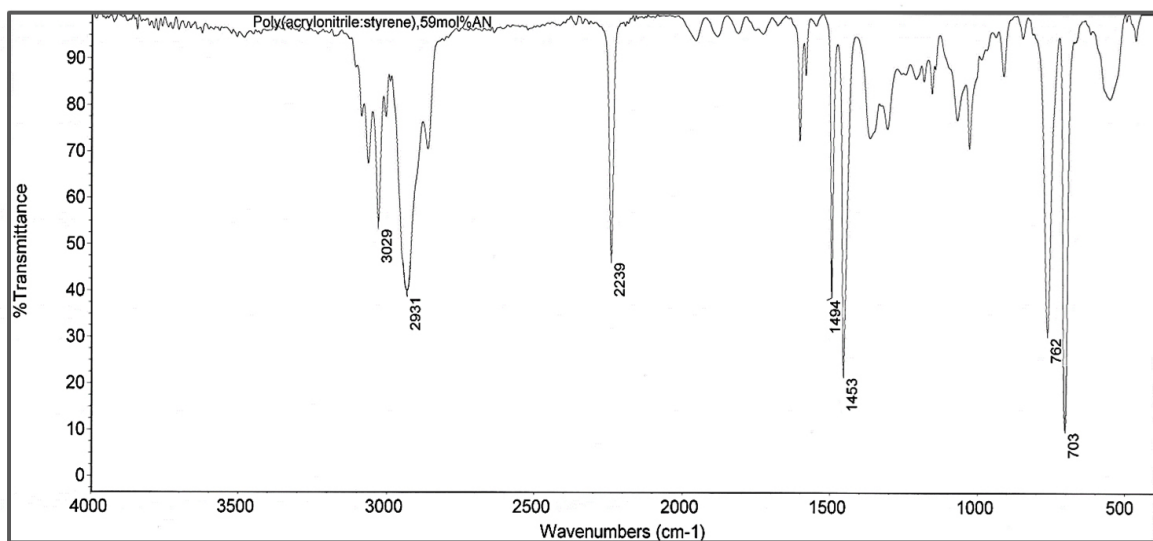
## 5) 용도

AS는 부타디엔이 혼합되어 있지 않아 투명하고 광택을 가지는 특성이 있어서 유리의 느낌을 주는 접시, 컵, 양념통과 같은 저장용기 등에 주로 사용된다.



## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

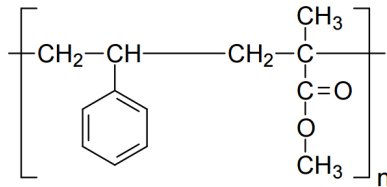
**【참고문헌】**

- [1] KR100286606B1-아크릴로니트릴-스티렌 공중합체의 제조방법,  
<https://patents.google.com/patent/KR100286606B1/ko>, 2021.10.15. 발췌
- [2] 이화소재주식회사, <http://rifaamc.co.kr/kr/thermoplastic/abs.html>, 2021.10.15. 발췌
- [3] 이종권 외 11인(2020). 합성수지제 식품용 기구 및 용기·포장 중 이행물질 안전성평가 연구,  
식품의약품안전평가원, p.4

## 라. 폴리메타크릴스티렌(polymethacrylstyrene : MS)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25034-86-0 >

#### 나) 명칭

polymethacrylstyrene; MS; SMMA; styrene-methylmethacrylate copolymer; poly(styrene-co-methyl methacrylate); methacrylic acid methyl ester, polymer with styrene; benzene, ethenyl-, polymer with methyl 2-methyl-2-propenoate; styrene, polymer with methyl methacrylate

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리메타크릴스티렌이란 기본 중합체(base polymer) 중 메타크릴산메틸 및 스티렌( $\alpha$ -메틸스티렌 포함)의 함유율이 각각 20% 이상이고 양자의 합이 60% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

폴리메타크릴스티렌(MS)은 스티렌 단량체와 메틸메타크릴 단량체가 공중합된 아크릴계 고투명 기능성 수지이다. 에스티렌<sup>®</sup>은 일본 신일철화학(Nippon Steel Chemical Co.)이 아시아에서 유일하게 생산하는 MS의 상표명이다.

### 3) 중합방법

MS는 현탁중합<sup>60)</sup>이나 유화중합<sup>61)</sup>을 통하여 제조되는 공중합체이며, 스티렌과 메틸메타크릴레이트를 단량체로 사용한다. 하지만 최근 현탁중합이나 유화중합을 이용한 중합은 감소하는 추세이고, 대신 ABS 수지의 중합법과 유사한 방법을 사용하되 단량체는 메틸메타크릴레이트와 스티렌이 사용된다.

### 4) 물리화학적 특성

MS는 폴리스티렌과 비교해서 투명성, 내후성, 경도가 뛰어나고 아크릴 수지에 비해서도 97%에 달하는 투명성을 가지며, 흡습성이 낮고 성형성, 내알코올성이 뛰어나다.

항목	MS
T <sub>g</sub> (°C)	100~105
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.127
비중	1.08~1.13
인장강도 (MPa)	56~74
신장율 (%)	3~8

### 5) 용도

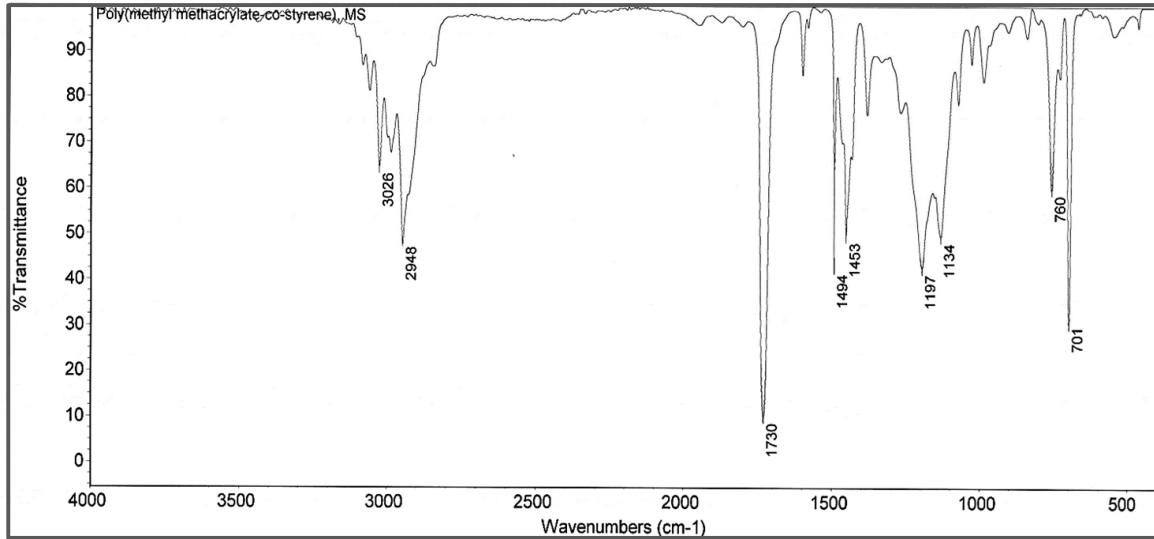
아크릴수지보다 10% 이상 저렴하다는 장점이 있다. MS는 산성식품, 유성식품 및 알코올성 식품 대부분에 사용된다. 높은 표면 경도를 가지기 때문에 컵이나 용기로 많이 사용되고 있으며, 형광등 커버, 속눈썹 미용기 등 생활용품 전반에 걸쳐 사용된다. 투명성이 요구되는 카메라 렌즈 및 프리즘, 복사기 투명 부품 등에도 아크릴수지나 폴리카보네이트(PC)를 대체하여 사용될 수 있으며, 디스플레이, 냉장고 부품 등 전자제품에도 사용되고 있다. 식품용기로는 조리, 가공이 끝난 유성식품, 산성식품, 알코올성 식품 등에 사용된다.

60) 현탁중합: 물에 녹지 않는 단량체를 지름 0.1~5 mm 정도의 기름방울로 하여 수중에 분산시켜 중합시키는 방법. 친유성의 개시제를 사용하며, 기름방울을 안정화시키기 위한 분산제가 필요

61) 유화중합: 부타디엔·비닐화합물 등의 단량체를 유화제를 이용해 물속에 유화시키고 분산시켜, 라디칼중합을 시행하여 합성수지나 합성고무를 제조하는 중합법

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

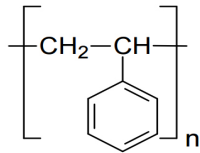
### 【참고문헌】

- [1] Hernandez, R.J., Selke, S.E.M., and Culter, J.D. (2000). *Plastics Packaging*, Carl Hanser Verlag, Munich, Germany, 100-101, 199-208, 213.
- [2] Brady, A.L. and Marsh, K.S., eds. (1997). *Wiley Encyclopaedia of Packaging Technology*, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 749., 754

## 마. 폴리스티렌(polystyrene : PS)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9003-53-6 >

#### 나) 명칭

styrene polymers; poly(1-phenylethene-1,2-diyl); polystyrol; benzene, ethenyl-, homopolymer; styrene homopolymer; ethenylbenzene homopolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리스티렌이란 기본 중합체(base polymer) 중 스티렌 또는  $\alpha$ -메틸스티렌의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말하며, 발포 폴리스티렌을 포함한다.

### 2) 개요

폴리스티렌(PS)은 1930년경 독일에서 먼저 공업화되었고 이어서 1937년경부터 미국에서도 공업생산이 개시되었지만, 본격적인 발전은 제2차 세계대전 이후이다. 스티렌계 고분자로는 일반용 스티렌(general purpose PS, GPPS), 내충격성 스티렌(high impact PS, HIPS), 폴리스티렌 발포체(expandable PS, EPS) 등이 있으며, 스티렌과 스티렌-부타디엔 공중합체 플라스틱은 용기포장 재질로 많이 사용된다. 폴리스티렌 단일 중합체는 투명도가 높고, 스티렌-부타디엔 공중합체의 경우 충격저항이 크며, 발포 폴리스티렌은 절연특성, 강도, 낮은 밀도의 특성을 가진다. 이러한 특성을 가진 PS 플라스틱을 성형하여 다양한 음식과 음료들에 사용되는 용기나 트레이 등을 제조할 수 있다.

### 3) 중합방법

스티렌 모노머의 원료는 벤젠과 에틸렌이고, 스티렌 모노머는 열, 빛, 촉매에 의해서 쉽사리 중합하여 무색투명의 수지가 된다. 시판 스티렌 모노머에는 보통 10~20ppm 정도의 파라-터 셔리-부틸 카테콜 등의 중합금지제가 첨가되어 있는데, 냉암소에 보존하는 등 그 저장, 수송에는 충분한 주의가 필요하다.

PS의 단일중합체 제조에는 주로 용액중합과 현탁중합이 사용된다. 중합반응에는 라디칼 개시제로서 주로 유기 과산화물이 사용되고 있다. 중합방법에는 다른 비닐화합물처럼 ① 모노머에 가용성의 촉매를 첨가하여 그대로 가열 중합시키는 과상중합법, ② 모노머를 적당한 불활성 용제 중에 용해하고 용제가용의 촉매를 첨가하여 용액 중에서 중합하는 용액중합법, ③ 수용성 촉매 및 유화제를 섞은 물속에 모노머를 유화시킨 상태에서 중합시키는 유화중합법, ④ 적당한 현탁 안정제를 사용하여 모노머를 물속에 현탁 분산시켜 모노머 가용성 촉매로 중합시키는 현탁 중합법 등이 있다. 이들 중합에는 어느 것이 좋은가는 한마디로 단정할 수 없다. 예컨대 과상중합은 중합열의 제거가 곤란하기 때문에 중합반응의 제어가 힘들고, 또한 점조한 중합물의 수송, 생성 폴리머의 뒤처리 등에 난점이 있지만 투명성이 가장 좋은 제품이 얻어진다. 또한 유화중합은 중합열의 제거, 이를테면 반응속도의 조절이 용이하며 중합속도가 크고 고중합도의 폴리머가 얻어지는데, 그 반면에 사용한 유화제의 완전제거가 곤란하며 그 때문에 투명성을 해치는 결점이 있다. 현탁 중합법은 이들 양자의 특징을 합쳐서 갖는 중간적 성격의 것이다. 현재 이들 중에서 현탁중합법과 연속 과상중합법이 널리 채용되고 있다.

GPPS는 하나 또는 그 이상의 용기에 벤조일 페록사이드(benzoyl peroxide)와 같은 페록사이드 자유 라디칼 촉매를 넣어 연속적인 공정으로 생산된다. 휘발성이 있는 스티렌 희석액과 반응하지 않은 스티렌은 진공 스트리핑<sup>62)</sup> 과정을 통해서 제거된다. 용융된 고분자는 냉각된 후에 펠렛 형태로 제조한다. 현탁중합 시에는 스티렌 단량체를 물에 분산시킨 후 현탁제와 페록사이드 개시제를 첨가한다. 혼합액을 달린 용기 안에서 중합이 될 때까지 가열시킨 후 고분자만 따로 분리하고, 건조되거나 반응하지 않은 단량체나 휘발성 물질들은 진공스트리핑 과정을 통해서 제거한 후 펠렛 형태로 제조된다.

EPS는 휘발성의 발포제를 첨가한다. 음식물 포장 트레이, 컨테이너, 음료수 컵으로 사용되는 발포된 스티렌을 생산하기 위해서는 용융된 고분자에 직접적으로 발포제를 주입시킨다. 과거에는 클로로플루오로히드로카본(chlorofluorohydrocarbon)을 발포제로 사용하였지만, 몬트리올 협정<sup>63)</sup>과 다른 국제적인 환경협정에 근거하여 사용이 금지되었다. 현재는 히드로카본(hydrocarbon) 펜탄이나 부탄으로 교체되었다. 최근 가연성을 줄일 수 있는 이산화탄소를 발포제로 사용하는 새로운 기술이 개발되었다.

HIPS, 즉 스티렌-부타디엔 공중합체는 연속적인 용액중합을 통해 제조하고, GPPS와 중합과정이 비슷하다. 폴리부타디엔(polybutadiene) 고무를 스티렌 단량체에 녹이면 폴리부타디엔과 스티렌이 자유 라디칼 반응을 하여 중합된다. PS 플라스틱과 HIPS를 이용하여 식품에 닿는 포장제품을 제조할 때는 착색제<sup>64)</sup>, 산화방지제, 이형제<sup>65)</sup> 등의 다양한 첨가제를 사용한다.

62) 스트리핑: 액체 속에 용해되어 있는 기체를 분리, 제거하는 공정.

63) 몬트리올 협정: 지구오존층을 보호하기 위해 CFCs(염화불화탄소)·할론 등 오존층 파괴물질의 사용을 규제한 국제환경협약

64) 착색제: 피착색물(전색제, 플라스틱, 고무, 종이, 섬유, 가죽 등)을 착색하는데 사용하는 물질의 총칭

65) 이형제: 플라스틱 성형에서 금형면에 성형품이 붙는 것을 방지하기 위하여 칠하는 물질



#### 4) 물리화학적 특성

PS는 무색투명하며 선명한 착색이 자유로우며 비중도 PP, PE에 이어서 작다. 또한 뛰어난 전기적 성질을 갖고 특히 그 고주파특성은 폴리사불화에틸렌(polytetrafluoroethylene, PTFE), 폴리페닐렌옥사이드(poly(phenylene oxide), PPO)에 버금가는 것이다. 또한 빛 안정성도 방사선에 대한 저항력은 모든 플라스틱 중에서 가장 강하다. 정유 또는 케톤, 에스테르, 방향족 탄화수소 등의 유기용제에 대해서는 연화 혹은 용해하지만 산, 알칼리, 염류, 광유, 유기산, 저급알코올 등에 대해서는 뛰어난 저항성을 갖고 있다. PS는 용해 때의 열안정성 및 유동성이 양호하기 때문에 성형 가공성에 뛰어나다. 특히 사출성형에 적합하고, 성형수축이 작은 성형품의 치수안정성도 좋고 가격도 경제적이다. 이러한 특징이 PS가 크게 신장한 주요 원인일 것이다. PS는 이상과 같이 많이 뛰어난 특징을 가지고 있는데 한편, 연화온도가 비교적 낮고 또한 굳지만 약하다는 큰 결점이 있다. 따라서 PS의 연구도 이 내열성과 내충격성의 향상을 중심으로 행해지며 현재는 이러한 결점도 상당히 개선되었다. 스티렌계 수지에는 대단히 많은 종류가 있으며 각 소재 중에서도 여러 등급이 있기 때문에 이들 중에서 특정한 용도에 최적의 재료를 선택할 수가 있다.

EPS는 PS에 발포제로서 프로판, 부탄, 펜탄 등을 배합한 것이다. 이 EPS는 그대로 또는 미리 발포한 것을 적당한 금형에 넣어서 가열하는 것만으로 20~70배로 팽창하여 가볍고 튼튼한 발포체 성형품을 얻을 수 있다. 또한 압출기에 걸어서 시트상으로 한 것은 스티렌 페이퍼라고 하며 아름다운 진주광택을 갖고 있다. 위에 기술한 방법 이외에 PS와 발포체를 직접 압출기속에서 혼련 용융하여 한꺼번에 판상 또는 관상의 발포체를 만들 수가 있다. 이 방법으로 만들어진 판상 발포체 중에는 난연 처리를 한 제품도 시판되고 있고 건재로서 사용되고 있다. 이들 PS 발포체는 독립 기포로 이루어지기 때문에 열·음향에 대한 차단작용이 매우 뛰어나며 우수한 단열재 또는 흡음재로서 냉동 공업 또는 건축 재료에 널리 응용되고 있다. 그 밖에 포장재, 부양재 등 그 용도는 다방면에 걸쳐 있다.

대표적인 비결정 수지 재료로, 일반적으로 충격 보강제의 존재 유무에 따라, 투명성이 우수하고 강성이 뛰어난 일반용 폴리스티렌(General Purpose Polystyrene, GPPS)와 GPPS에 고무를 도입하여 충격을 향상시킨 내충격성 폴리스티렌(High Impact Polystyrene, HIPS)로 분류된다. GPPS는 폴리에틸렌(polyethylene, PE), 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 염화수지(poly(vinyl chloride), PVC) 등에 비해 고강성, 고투명성, 치수 안정성, 저비중, 우수한 전기적 특성을 가지며 유리와 같은 투명성을 가지기 때문에 투명성이 요구되는 분야의 포장재질로 사용되고 있다.

HIPS는 고무 보강에 의해 매우 다양한 물성 발현이 가능하며, 다양한 물성의 차이는 보강된 고무의 양, 형태, 크기, graft 정도, matrix PS의 분자량 등 여러 조건에 의해 달라지며, 충격 및 특히 내한특성이 요구되는 식품분야의 포장재질에 단독으로 사용하거나 타 수지와 다층(multilayer)구조로 도 사용된다.

가공방법에 따라 이축연신 폴리스티렌(Oriented Polystyrene, OPS)과 발포 폴리스티렌(Expandable Polystyrene, EPS)로 크게 구분된다.

스티렌계 수지는 일반적으로 가공 적응성이 좋고 사출성형, 압출성형, 진공성형 등의 여러 가지 성형법이 적용된다. 스티렌계 수지는 다른 열가소성 수지에 비해서 용융온도 범위가 넓기 때문에 취급하기 쉬운 재료이다. 게다가 용융 때의 점도가 낮기 때문에 매우 흐르기 쉽고 얇은 성형품을 용이하게 만들 수가 있다. 또한 비열이 작기 때문에 금형 안에서의 냉각고화가 빠르고, 생산가공성을 높일 수가 있다. 게다가 성형수축률(0.4~0.7%)이 작고 치수정도가 뛰어나다.

사출성형의 일반적인 조건은 실린더온도 200~250℃, 사출압력 700~1,300 kg/cm<sup>2</sup> 금형온도 50~80℃이다. 또한 T다이를 사용하여 압출성형할 수도 있고, PS의 이축연신필름이나 내충격성 수지의 시트 등이 만들어지고 있다. 압출성형 조건의 한 예를 들면 실린더 온도 180~200℃, 다이온도 중앙 200℃, 양단220℃, 크롬롤 온도 80~95℃이다. 또한 진공성형이 가능하며 압공성형법이나 사출취입성형법도 잘 이루어진다. 스티렌계 수지의 발포제품은 저발포 사출성형이나 압출발포성형과 그밖에 발포제 첨가 스티렌비스를 형에 채우고 오토클레이브 속에서의 증기가 열에 의하여 발포 성형하는 방법 등으로 만들어진다.

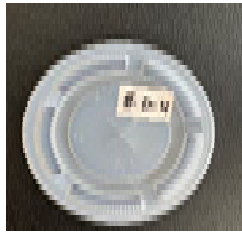
항목	GPPS	HIPS
T <sub>g</sub> (°C)	80~98	80~90
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.04~1.05	1.04~1.05
비중	1.02~1.08	1.04
인장강도 (MPa)	32~60	26~48
신장율 (%)	2.8~4	25~60
마찰계수	0.35~0.45	0.32~0.43
열전도율 (W/(m·k))	0.14~0.16	0.12~0.18
용해도 (J/mL) <sup>1/2</sup>	9.0 (cal/ml) <sup>1/2</sup>	-

## 5) 용도

PS계 수지는 단일중합체뿐만 아니라 공중합체 또는 모노머 합성이 첨가제에 따라 그 종류가 다양하고 첨가제 및 가공방법에 따라서도 물성 및 특성이 달라서 식품포장재로서의 활용도 다양해진다. 가열 이축연신으로 가공된 PS의 경우 우수한 굴곡 특성과 뛰어난 투명성 및 냄새의 전달과 맛의 변질이 적기 때문에 식품포장용 용기에 적당하고, EPS의 경우 증기가열방식으로 성형가공 되기 때문에 위생적이며 단열성이 우수하여 보온 및 신선도 유지가 중요한 농수축산물과 아이스크림 등의 포장재 분야에 널리 이용되고 있다.

요구르트, 컵라면 용기 등 식품용 용기포장재로 널리 사용되고 있는데, OPS는 고내열 고분자량 GPPS로 만들며, 우수한 굴곡 특성과 더불어 뛰어난 투명성과 냄새의 전달 및 맛의 변질이 적기 때문에 식품포장용 용기에 사용하기 적당하다. EPS는 증기가열방식으로 성형가공 하므로 세균류의 부착이 없어 위생적이며 단열성이 우수하여 보온 및 신선도 유지가 중요한 농수축산물과 아이스크림 등의 포장재 분야에 널리 이용되고 있다.

단열성, 내수성이 우수하고, 착색성, 치수 및 열안정성, 접착성, 도장성 등의 성형성 및 2차 가공성이 뛰어나 각종 일회용기, 반찬류 포장용기, 요구르트 용기, 인스턴트 라면 용기 등 식품용 용기·포장의 재료로 많이 사용된다.



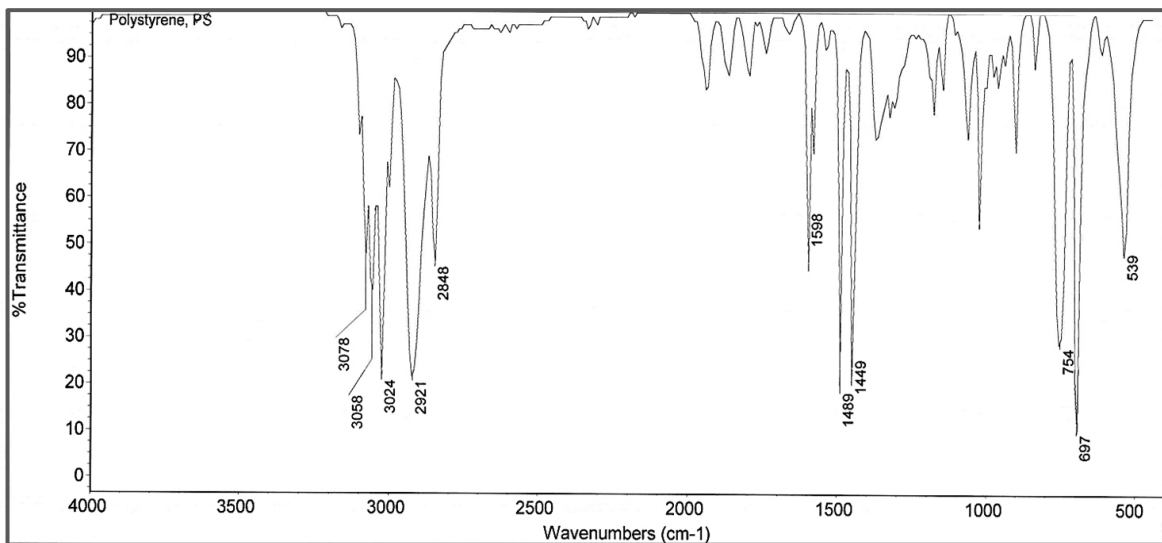
〈 일회용 컵뚜껑 〉



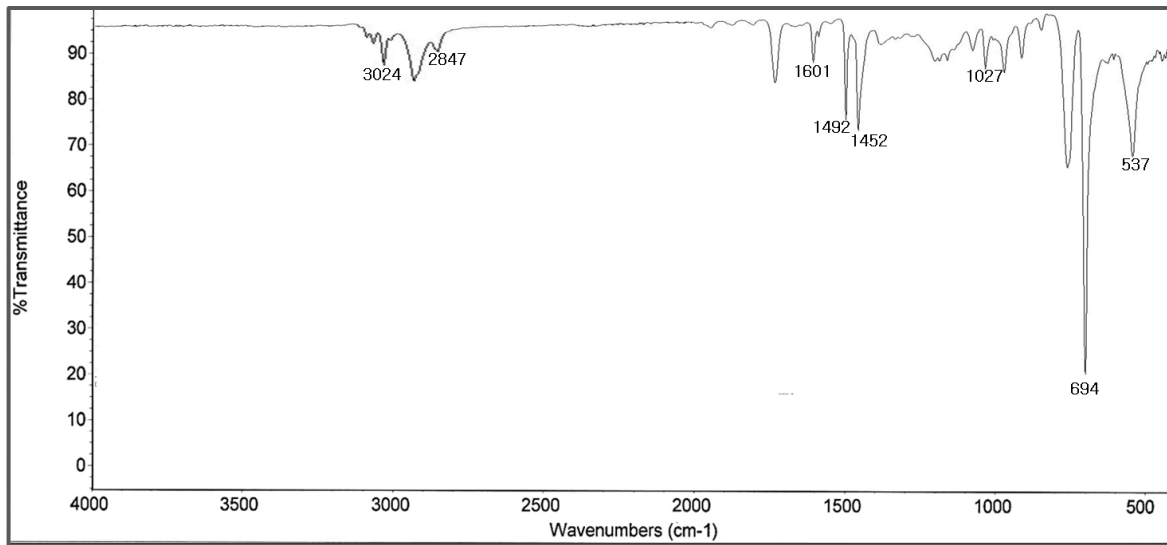
〈 일회용 컵 〉

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



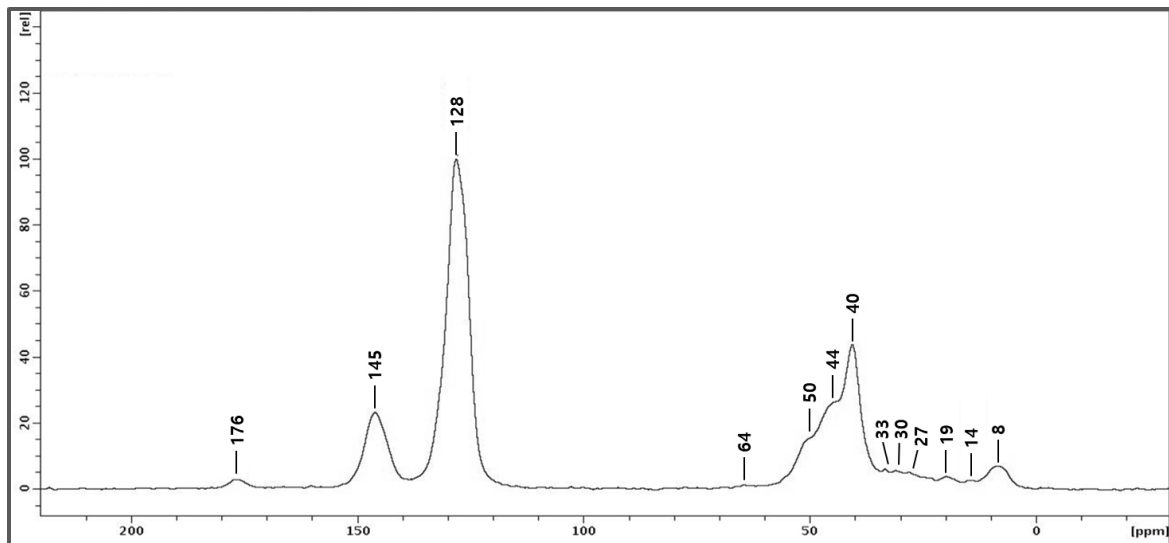
자료: OMNIC spectra Library



주: PS(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

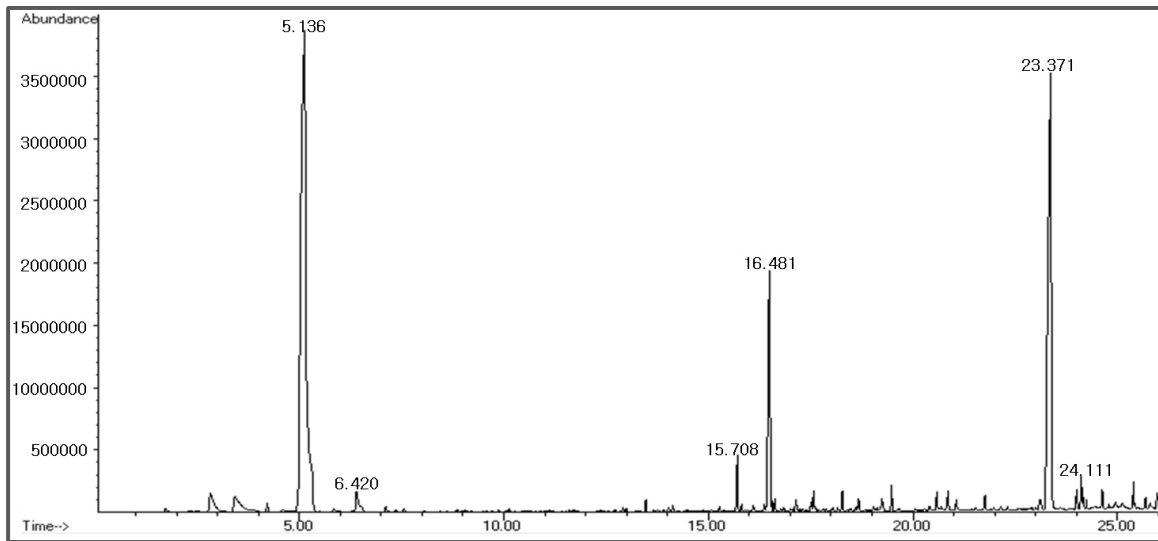
## ② Solid NMR



주: PS(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PS(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## 【참고문헌】

- [1] Anonymous (1999). Modern Plastics International, 29, No.1, 89.
- [2] Jin OK Choi ; Fumihiko Jitsunari ; Fumiyuki Asakawa ; Dong sun Lee, Food Additives and Contaminants, 2005, 22, 693-699
- [3] Greeley, T.R., ASTM Special Technical Publication, 1997, 1320, 224-239
- [4] Brigley, S.; Golby, M.; Robbe, I., Annals of the Royal College of Surgeons of England, 2004, 86, 385-387
- [5] Sahin, T.; Sinmazcelik, T.; Sahin, S., 2007, Materials and Design 28, 2303-2309
- [6] 김승현 외(2008). PS 재질 원료물질 데이터베이스구축 및 PASF 재질 안전관리 연구, 식품의약품안전평가원
- [7] Klement, E.(2004). Kunststoffe Plast Europe, 94, 80-84
- [8] 이용국 외(2012). PVC, PS 재질 등 기구 및 용기·포장 중 이행우려 모노머 등 안전성 재평가 연구, 식품의약품안전평가원

## 4 아민계

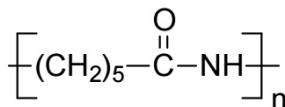
아민기(암모니아 NH<sub>3</sub>에서 하나 이상의 수소가 알킬기 또는 방향족 고리로 치환된 작용기)를 가지는 고분자 중합체를 말한다.

### 가. 폴리아미드(polyamide : PA)

#### 1) 기본정보

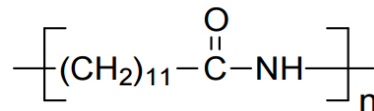
##### 가) 화학구조

PA 6



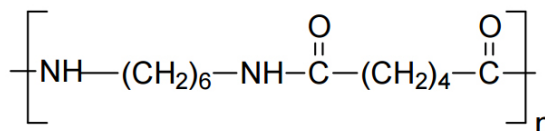
< CAS No.: 25038-54-4 >

PA 12



< CAS No.: 24937-16-4 >

PA 66



< CAS No.: 32131-17-2 >

##### 나) 명칭

PA 6: Poly[imino(1-oxo-1,6-hexanediy)]; Nylon 6; Polyamide 6; Polyamide resin 6; e-Caprolactam homopolymer; Poly(e-aminocaproic acid); Poly(e-caproamide); Poly(e-caprolactam); Poly( $\omega$ -aminocaproic acid); Poly(2H-azepine-2-one, hexahydro); Poly(6-aminocaproic acid); Poly(6-aminohexanoic acid); Poly(imino(1-oxo-1,6-hexanediy)); Poly(iminocarbonylpentamethylene); Polyamides, nylon 6; Polycaproamide

PA 12: Polyauramide; Poly[imino(1-oxo-1,12-dodecanediy)]; Poly(12-aminododecanoic acid lauro lactam); Nylon 12; Polyamide 12;  $\omega$ -Lauro lactam polymer; Poly( $\omega$ -dodecanolactam); Poly( $\omega$ -lauramide); Poly( $\omega$ -laurinamide); Poly( $\omega$ -lauro lactam); Poly(12-aminododecanoic acid lactam); Poly(12-aminododecanoic acid); Poly(12-aminolauric acid); Poly(azacyclotridecan-2-one); Poly(dodecalactam); Poly(iminocarbonylundecamethylene); Poly(lauryl lactam); Poly- $\omega$ -dodecalactam; Poly- $\omega$ -lauryllactam; Polydodecanamide; Polylauramide; Polylauro lactam

PA 66: Poly[imino(1,6-dioxo-1,6-hexanediy)imino-1,6-hexanediy]; Nylon 66; Polyamide 66; 1,6-Hexanediamine, polymer with hexanedioic acid; 1,8-Diazacyclotetradecane-2,7-dione homopolymer; Adipamide-hexamethylenediamine copolymer; Adipic acid-1,6-hexanediamine copolymer; Adipic acid-hexamethylenediamine copolymer; adipoyl chloride-1,6-hexanediamine copolymer; Adipoyl dichloride-hexamethylenediamine copolymer; Adipyl chloride-1,6-hexanediamine; hexamethylene diammonium adipate (nylon 66 polymer); Hexamethylenedipamide polymer; Hexanediamine-adipic acid polymer; Hexanedioic acid, polymer with 1,6-hexanediamine; Poly(hexamethylenedipamide); Poly(hexamethylenediamine-adipate); Poly(hexamethylenediammonium adipate)

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리아미드란 기본 중합체(base polymer) 중 락탐, 아미노카르복실레이트 또는 이 염기산과 디아민의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

## 2) 개요

나일론이라고 불리는 폴리아마이드(PA) 수지는 가장 오래된 엔지니어링 플라스틱으로 1938년 미국 Dupont사에 의해 첫 상품화 되었으며, 현재 폴리카보네이트에 이어 엔지니어링 플라스틱 가운데 두 번째로 큰 규모를 점유하고 있다. 나일론수지의 대표적인 제품은 나일론 6와 나일론 66가 있으며 이외에도 나일론 610, 나일론 11, 나일론 12 등이 있다. 나일론은 필라멘트나 섬유, 필름, 몰딩 등으로 가공이 가능한 모든 종류의 폴리아마이드 수지를 총칭하는 용어로서, 기본적으로 아미드 결합을 반복 단위로 가지고 있다.

## 3) 중합방법

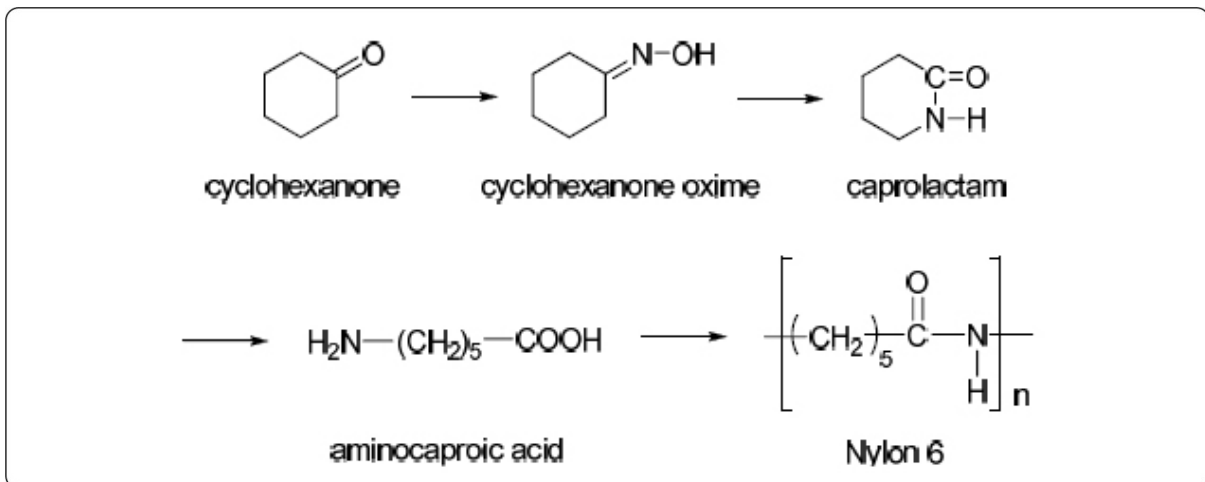
나일론 6은  $\epsilon$ -카프로락탐의 개환중합<sup>66)</sup>에 의해 카프로락탐이 물과 섞여지면서  $\epsilon$ -카프로락탐산이 형성되고 연쇄중합 과정을 거쳐 만들어진다. 카프로락탐의 제조방법은 카프로락탐과 분자식은 같으나, 구조식이 다른 사이클로헥사논옥심이 125°C에서 발연황산의 존재 하에서 벡크만 전위<sup>67)</sup>를 이루어 카프로락탐이 생성된다. 사이클로헥사논옥심은 교반기가 부착된 반응기에서 하이드록실 아민설페이트 용액을 80°C에서 사이클로헥사논과 반응시켜 만든다. 하이드록실아민 설페이트의 제조공정은 암모니아, 나프타, 유탕을 주원료로 하여 먼저 충전탑에서 암모니아수에 탄산가스를 흡수시켜 탄산암모늄을 얻는다. 그리고 암모니아를 850°C 상압, 백금 촉매 하에 공기로 산화시켜 NO와 NO<sub>2</sub> 가스의 질소산화물을 얻어 탄산암모늄용액과 질소산화물을 반응시켜 아질산암모늄을 만들고, 여기에 암모니아수를 첨가하여 혼합물을 만들어서, 아황산가스(SO<sub>2</sub>)와 반응시킨 후 가수분해<sup>68)</sup>하여 하이드록실아민 설페이트를 제조한다.

66) 개환중합: 고리모양 화합물의 고리가 열려 선 모양의 중합체가 되는 중합반응

67) 벡크만 전위: 케토옥심이 산, 산염화물 또는 5염화인과 반응할 때 아민으로 전위하는 것

사이클로헥사논은 사이클로헥산을 원료로 하여 150~160℃ 약 10기압에서 코발트염 촉매 존재 하에 공기를 주입하여 사이클로헥사논과 사이클로헥사놀로 산화시킨다. 이때 생성된 산화물은 사이클로헥사놀 60%, 사이클로헥사논 40%로 구성되어 있으며, 사이클로헥사놀은 탈수소촉매(CuSiO<sub>2</sub>)하에서 사이클로헥사논으로 전환된다. 중합온도는 260℃, 위로부터 수분 10~20%의 락탐액을 유화시키면 연속적으로 중합된다. 순수한 락탐을 중합시키려면 15시간이 필요하지만, 5~6%의 아미노카프론산을 첨가해 촉매 역할에 의해 반응시간이 단축된다. 점도 안정제로는 1/200몰의 초산을 가한다. 반응 완료 후 토출구로 나오는 중합체를 물에 채운 냉각조에서 냉각시켜서 카터로 절단하면 펠렛이 된다. 이 펠렛에는 모노머, 올리고머가 포함되어 있으므로 이것을 정제(0.1%이하)하고 건조해서 제품화한다.

나일론 12를 만들기 위한 라우로락탐의 제조방법은 카프로락탐의 제조방법과 거의 유사하나 출발원료를 사이클로도데카논옥시미를 사용한다. 사이클로도데카논옥시미는 사이클로도데칸에서 생성되며 사이클로도데카논옥시미를 황산 및 발연황산의 존재 하에, 연속적으로 벡크만 전위시켜 라우로락탐을 제조할 수 있다. 라우로락탐은 151℃의 높은 녹는점을 가지고 있으므로 공정의 모든 구간에서 충분히 높은 열용량을 필요로 한다. 라우로락탐의 중합은 두 가지 단계를 거친다. 먼저, 락탐링을 과량의 물과 함께 250℃ 이상의 높은 온도와 압력에서 가수분해 시킨다. 이때 중합 촉매와 사슬 정지제를 추가하는데 카르복실산 또는 이염기산이 정지제로 사용될 수 있다. 두 번째 단계에선 첫 번째 단계에서 생성된 올리고머를 더한다. 압력을 낮추고 질소를 첨가하여 분자량을 원하는 값까지 증가시킨다. 얻을 수 있는 수지의 평균 분자량은 15 k에서 40 k이고 질량 평균 분자량은 30 kg/mol에서 100 kg/mol이다.





#### 4) 물리화학적 특성

나일론수지는 다른 폴리에틸렌 수지보다 성형성이 좋으며, 성형 후 잘 깨어지지 않는 특징을 가지고 있다. 또한 수분 흡수율이 낮고 가스 차단성이 좋아서 필름 형태로 제조되어 육가공품의 진공포장이나 냉동식품 및 고온 살균용 포장에 주로 사용된다.

현재 공업화되어 있는 나일론은 6, 66, 610, 11, 12 등으로 최근에는 46, MXD6 등도 공업화되어 있지만, 양적으로는 나일론 6과 66이 압도적으로 많다. 여러 종류 나일론의 제일 큰 차이는 용점이다. n형 중 나일론 6의 용점은 215℃, 나일론 11은 187℃, 나일론 12는 183℃이다. mn 타입<sup>69)</sup> 중 나일론 46은 278℃, 나일론 66은 255℃, 나일론 610은 213℃이다. 나일론의 일반적인 물리화학적 성질로는 강인하며 내마모성, 내약품성, 내열·내한성, 내충격성, 접착성이 우수하다. 식품공업 용도에 관해서 모든 나일론이 식품과의 직접 접촉 용도에 사용 가능하다.

항목	PA6	PA66	PA12
T <sub>g</sub> (°C)	50	50	55
T <sub>m</sub> (°C)	220	265	180
비중	1.13	1.14	1.02
인장강도 (MPa)	70~85	77~87	64~65
신장율 (%)	15~200	60~300	27~169

#### 5) 용도

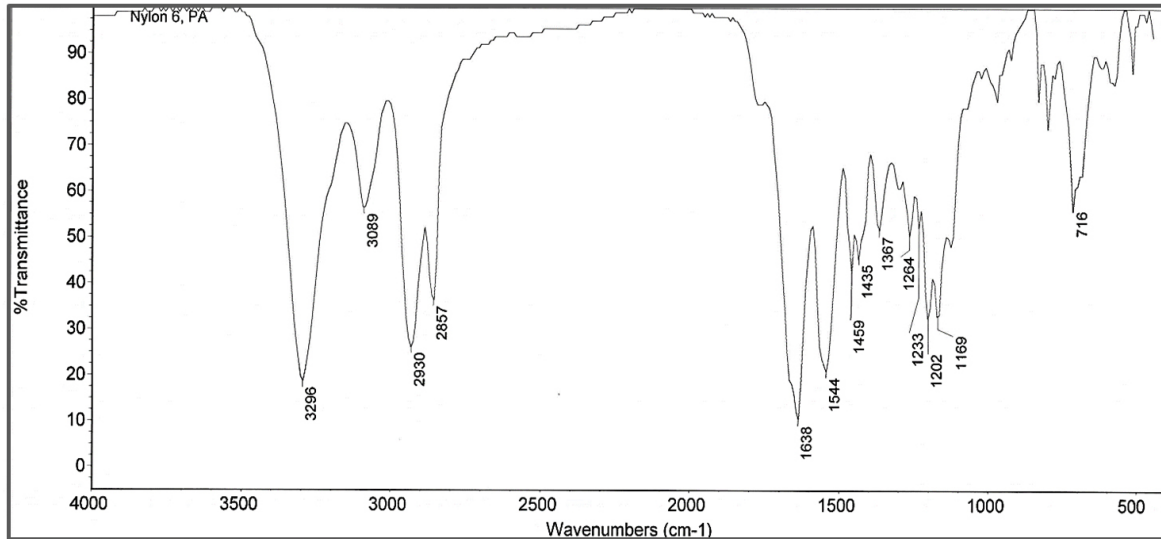
나일론수지의 접착성, 내후성, 내약품성, 무독성 등의 성질을 이용하여 나일론 11이나 12는 코팅제로의 이용이 많아지고 있다. 나일론 필름은 내유성이 요구되는 분야의 포장재로 이용되는데 질김성이 좋고 고온/저온에서의 물성이 우수하게 유지되며 수증기 이외의 기체 투과성이 낮고 내열, 내한성이 좋고 무독이므로 각종 수지와와의 적층 필름으로 육가공품의 진공포장이나 냉동식품 및 고온 살균용 포장, 레토르트 식품에 사용된다. 특히 나일론 12의 경우 수분 흡수율이 매우 낮고 고온/저온에서 물성 및 형태 안정성이 우수하여 주로 소시지, 육가공품 등의 포장에 이용된다.

69) 나일론mn(디아미드기 형성);m:디아민(diamine)에 포함된 탄소 수, n:이염기산(dicarboxylic acid)에 포함된 탄소 수

## 6) 재질 확인 데이터

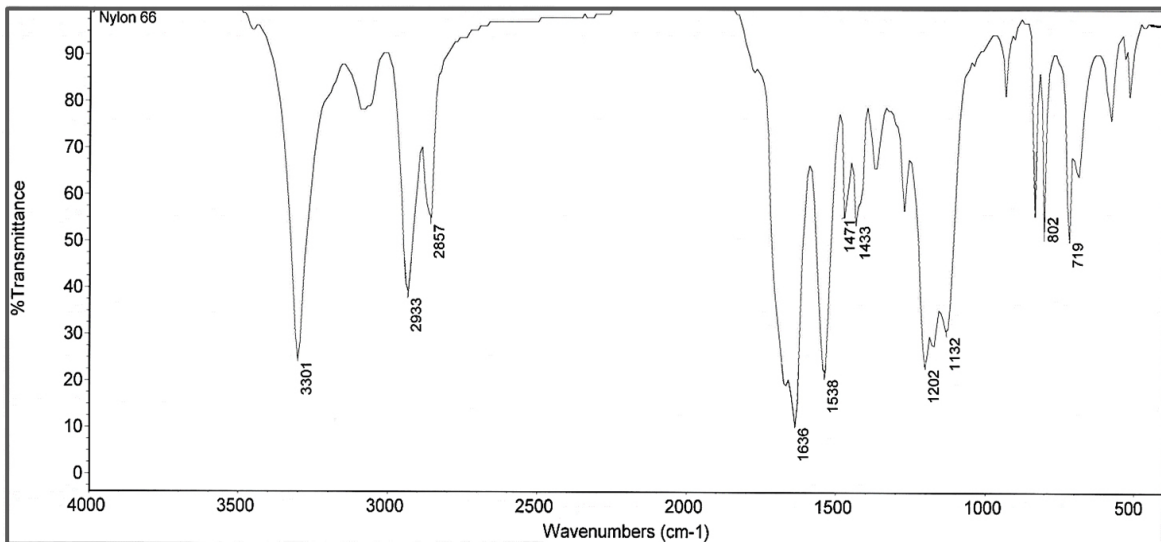
### ① FT-IR spectrum

< Nylon6 >



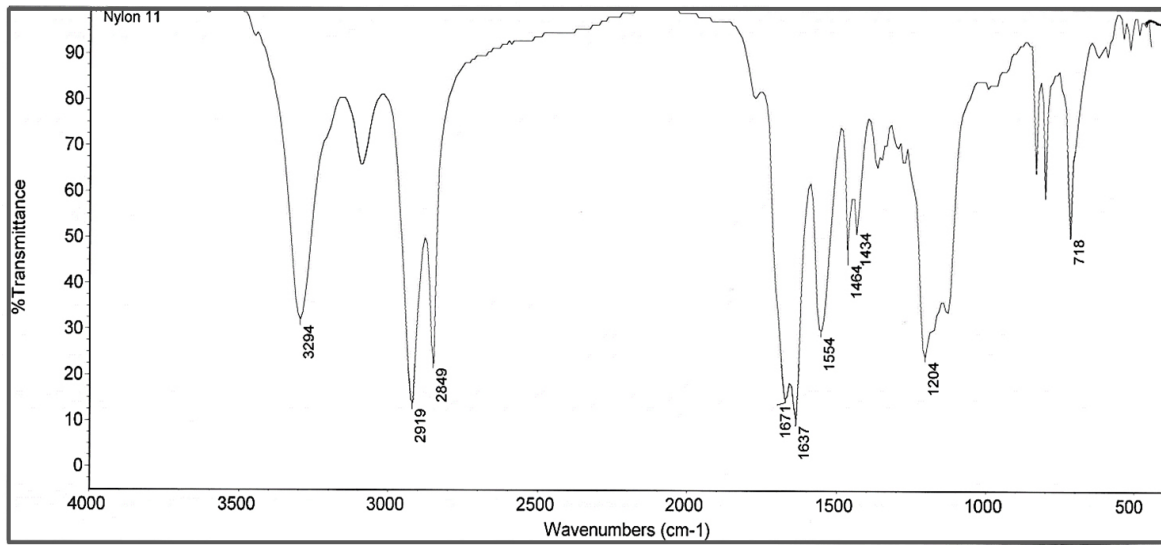
자료: OMNIC spectra Library

< Nylon66 >



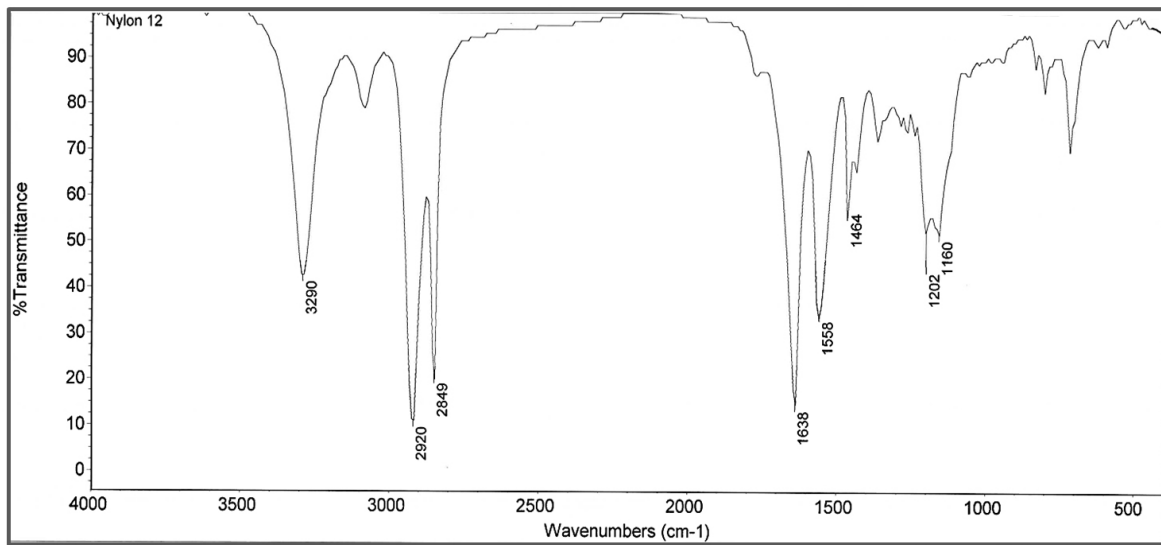
자료: OMNIC spectra Library

## 〈 Nylon11 〉



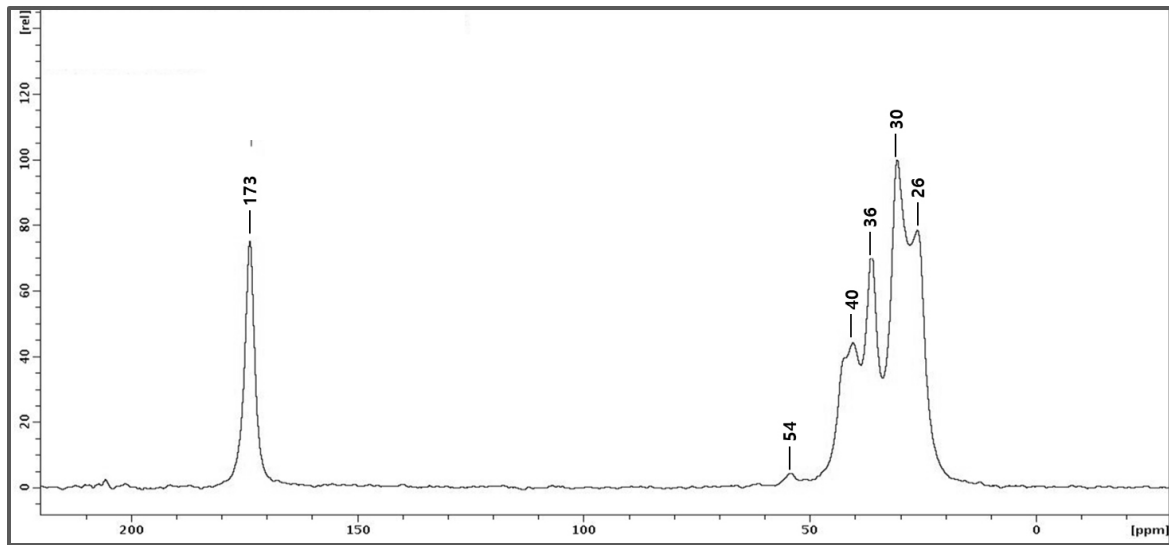
자료: OMNIC spectra Library

## 〈 Nylon12 〉



자료: OMNIC spectra Library

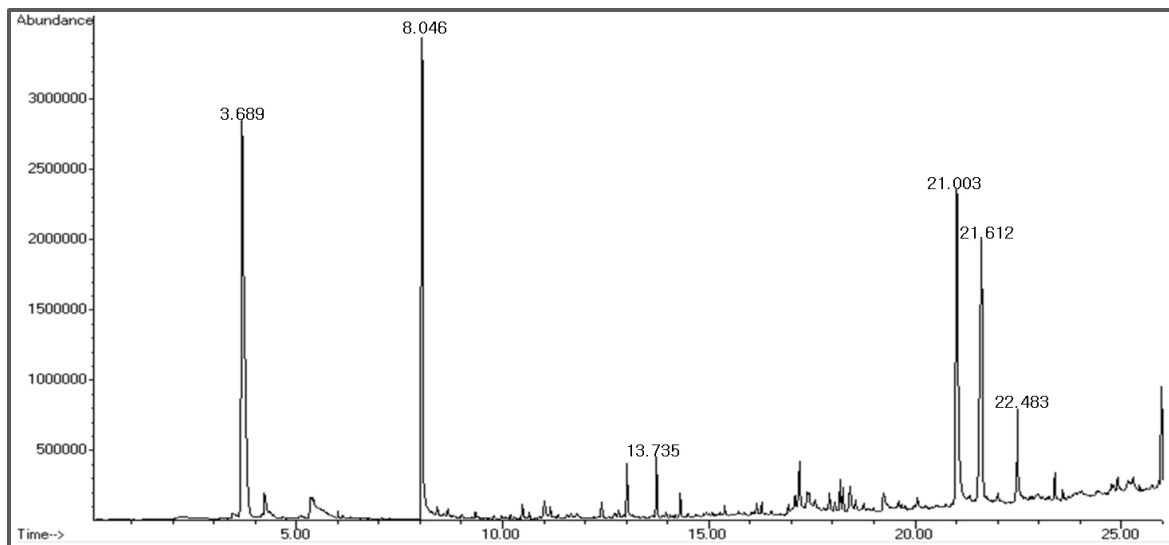
## ② Solid NMR



주: PA(조리기구)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PA(조리기구)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

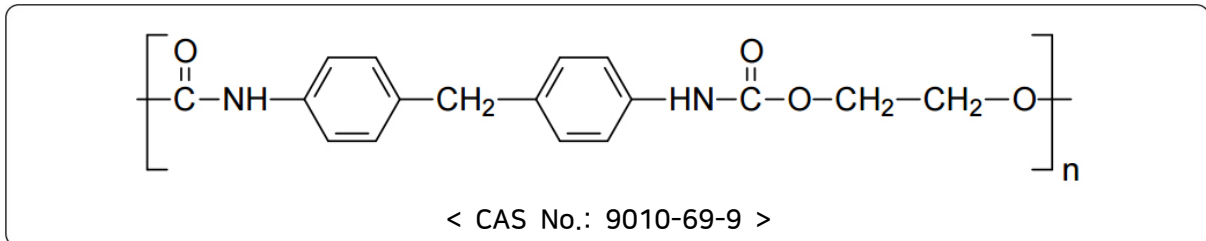
**【참고문헌】**

- [1] Aharoni, (1997). S.M. ed. N-nylons: Their Synthesis, Structure and Properties, J. Wiley & Sons, New York, USA.
- [2] Kohan, M.I. ed. (1995). Nylon plastics handbook, Hanser/Gardner Publications, New York, USA.
- [3] Sebenda, J. ed. (1991). Lactam-Based Polyamides, CRC Press, Boca Raton, USA, 29-72.
- [4] Stoffers, N.H., Dekker, M., Linssen, J.P.H, Stormer, A. and Franz, R. eds. (2003). Alternative fatty food simulants and diffusion kinetics of nylon 12 food packaging, Food Additives and Contaminants. 20:949-959.
- [5] 장영미, 엄미옥, 김양선, 김준현, 채정영, 이미선, 박은령, 남하영, 명정은, 합성수지계 재질별에 따른 원료물질 용출량 모니터링 연구, 식품의약품안전처 연구보고서, 2011
- [6] Takekoshi, T. ed. (1996). Polyimides- Fundamentals and Applications, Marcel Dekker, New York, USA, Chapter 2.
- [7] 김미혜 외(2013), 합성수지계 기구 및 용기·포장 중 이행우려 모노머 등 안전성 재평가 연구- 폴리아미드 중 4,4-MDA 등 -, 식품의약품안전평가원
- [8] Stoffers, N.H., Dekker, M., Jozef P. H., Linssen, J.P.H, Stormer, A., Franz, R. and van Boekel, M.A.J.S. eds. (2005). Modelling of simultaneous two-sided migration into water and olive oil from nylon food packaging, Eur Food Res Technol. 220:156-162.

## 나. 폴리우레탄(polyurethane : PU)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

polyurethane; PU; 1,4-Butanediol, polymer with 1,1'-methylenebis(4-isocyanatocyclohexane) and 2-oxepanone 1,4-Butanediol-caprolacton-methylenedi-1,4-cyclohexylene isocyanate copolymer 2-Oxepanone 1,4-butanediol 1,1'-methylenebis(4-isocyanatocyclohexane) polymer 2-Oxepanone, 1,4-butanediol, 1,1'-methylene bis(4-isocyanatocyclohexane) polymer 2-Oxepanone, polymer with 1,4-butanediol and 1,1'-methylenebis(4-isocyanatocyclohexane) butane-1,4-diol; 1-isocyanato-4-[(4-isocyanatocyclohexyl)methyl]cyclohexane; oxepan-2-one Cyclohexane, 1,1'-methylenebis(4-isocyanato-, polymer with 1,4-butanediol and 2-oxepanone

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리우레탄이란 기본 중합체(base polymer) 중 이소시아네이트와 폴리올의 중합 물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

## 2) 개요

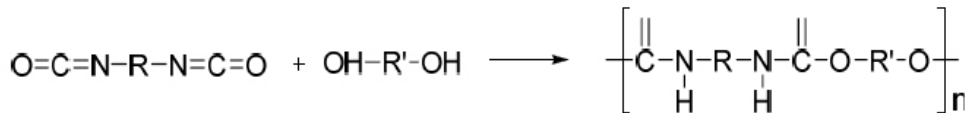
폴리우레탄(PU)은 분자 중에 우레탄(urethane)결합(-NH-COO)을 가지고 있는 고분자 화합물을 총칭하며 일반적으로 폴리이소시아네이트(polyisocyanate)와 폴리올(polyol)<sup>70)</sup>을 반응시켜 얻어진다. PU는 원료의 종류가 다양하고 풍부하여 그들의 조합 방법에 따라서 다양한 분자구조와 물성을 가진 PU 소재의 합성이 이루어진다. 대표적으로 폴리에스터(polyester) 타입과 폴리에테르(polyether) 타입으로 나누어진다.

독일에서 나일론에 경쟁할 수 있는 섬유 생산을 목적으로 1937년 Otto Bayer가 Carothers의 나일론 합성을 응용하여 다이아미소시아네이트(diisocyanate)와 다이올(diol)로부터 PU를 합성하였는데, 이것이 PU 공업의 시초가 되었다. 그 후 1940년대에 공업화되기 시작하였는데, 일본은 1954년에 외국기업과의 기술제휴로 기업화되면서 오늘날의 위치에 도달하였다.

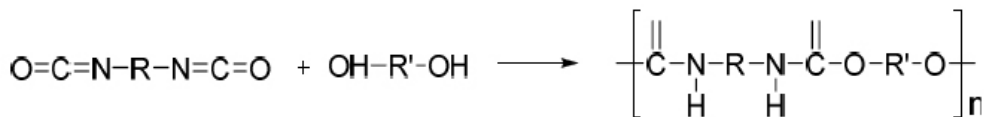
70) 폴리올: 수산기(水酸基)를 갖는 고분자 화합물의 총칭

### 3) 중합방법

활성수산기(-OH)를 가지고 있는 알코올(alcohol)과 아이소시아네이트 그룹(-NCO)을 가지고 있는 아이소시아네이트가 부가중합반응(addition polymerization reaction)에 의해 우레탄 결합을 형성한다.



보통 유기화학에서는 -NHCOO-기를 카르바산(carbamate)기로 부른다. 이 반응을 이용해서 작용기가 두 개씩 존재하는 다이아이소시아네이트와 다이올을 반응시키면 PU가 얻어진다. 다이올의 종류와 다이아이소시아네이트의 종류에 따라서, 그리고 가교결합의 정도에 따라서 매우 다양한 PU이 만들어진다. PU의 또 다른 합성방법으로는 비스클로로포메이트(bischloroformate)와 다이아민과의 반응이 있다.



### 4) 물리화학적 특성

PU은 경도가 높으면서 탄성이 좋으며, 내마모성이 탁월하고 저온 특성 및 진동 흡수성이 우수하다는 장점이 있다. 또한, 기계적 강도가 높고 성형이 자유로우며 내오존성, 금속과의 접착력이 우수하다. 하지만, 내열 노화성이 떨어지고 축열성의 경향이 있다는 단점을 갖고 있다. PU의 종류로는 에스터(ester) 타입과 에테르(ether) 타입의 두 종류가 있다.

Ester type	Ether type
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \quad \text{H} \\   \quad    \quad   \\ \text{R}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{R} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{R} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
<p>기계적 성질이 에테르 타입 보다 우수</p> <p>내마모성이 우수</p> <p>내한성이 우수</p> <p>내유성이 우수</p> <p>탄성이 우수</p>	<p>기계적 성질이 우수</p> <p>내약품성이 우수</p> <p>내수성이 우수</p> <p>내한성이 우수</p> <p>반발탄성이 에스터 타입 보다 우수</p> <p>동작피로 특성이 우수</p>

에스터 타입 PU은 주사슬에 에스터 결합(linkage)를 가지고 있는 것을 말하며, 열과 수분의 접촉으로 인한 특성 감소(degradation)에 매우 취약한 모습을 보이고, 에스터 결합한 산소의 가수분해가 쉽게 일어나 오랜 시간이 흐르면 제품의 물성이 약해지는데 이러한 손상은 통상적으로 2년 또는 그 이상 걸리지만 덥고 습한 기후에서는 더욱 가속화된다.

주사슬에 에테르 결합을 갖는 에테르 타입은 다시 폴리프로필렌 에테르 폴리올 타입 (polypropylene ether polyols, PPG type)과 폴리테트라메틸렌 에테르 글리콜 타입 (polytetramethylene ether glycol, PTMEG type)으로 나뉜다. 에테르 타입은 산소원자가 주사슬의 바깥 방향으로 달려있는 에스터 타입과 달리 주사슬 자체에만 존재하기 때문에 가수분해가 쉽게 일어나지 않는다. 또한 에테르 타입은 그 구조 때문에 에스터 타입에 비해 더욱 유동적이고, 더 낮은 온도 특성을 보인다. PPG 타입은 에스터 타입보다 낮은 기계적 특성이 갖지만 PTMEG 타입은 유사한 값을 갖는다.

항목	PU
$T_g$ (°C)	-53.9~-13.9
$T_m$ (°C)	130~235
밀도 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	1.2
비중	1.03~1.5
인장강도 (MPa)	1~69
신장율 (%)	500
마찰계수	0.7
열전도율 ( $W/(m \cdot k)$ )	0.209

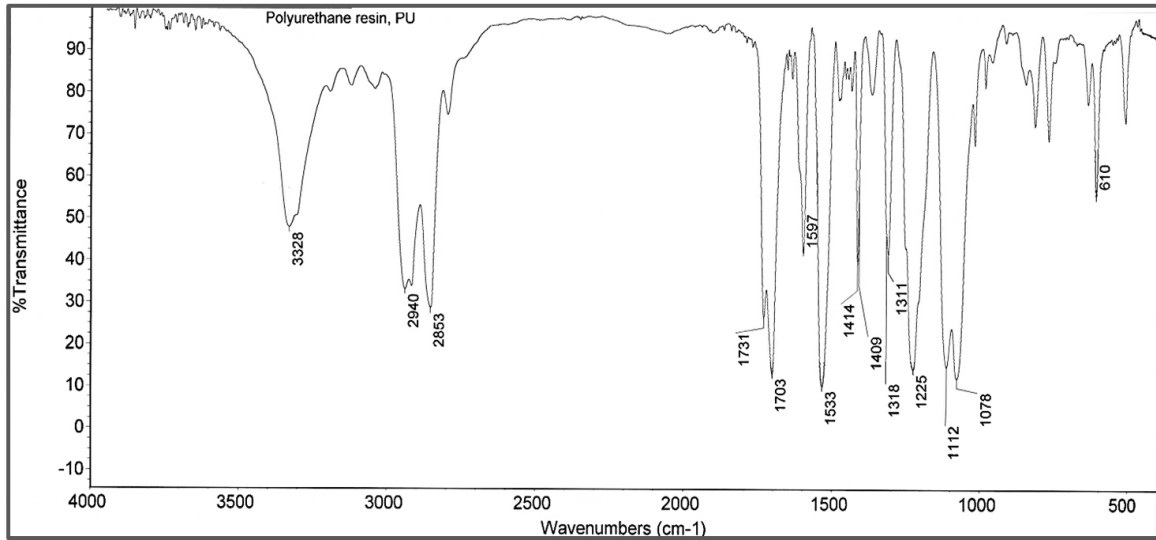
## 5) 용도

PU 발포체는 연질품, 경질품, 탄성체가 있는데, 그 중 연질품은 쿠션재, 포장원료, 흡음재, 완구, 의료제품, 에어필터 등으로, 경질품은 단열성과 구조재로서 성능이 뛰어나 방음과 장식을 겸한 건축재료, 항공기 부품 등으로, 탄성체는 벨트 및 스노모빌의 구성품에 쓰인다. 발포체 이외에도 바닥, 선박에 쓰이는 내·외장용 도료, 폼과 섬유 간의 접착이나 다층포장필름 제조에서의 필름끼리의 접합에 사용되는 접착제나 밀폐제, 내의, 수영복, 양말과 같은 섬유제품 등 다양한 용도로 사용되고 있다. 이것은 PU가 각각의 사용에 필요한 다양한 물성과 반응성을 가질 수 있기 때문이고, PU의 다양한 물성은 PU의 물리적 및 화학적 구조를 다양하게 할 수 있는 PU 원료의 성질과 그 반응성에서 기인한다.

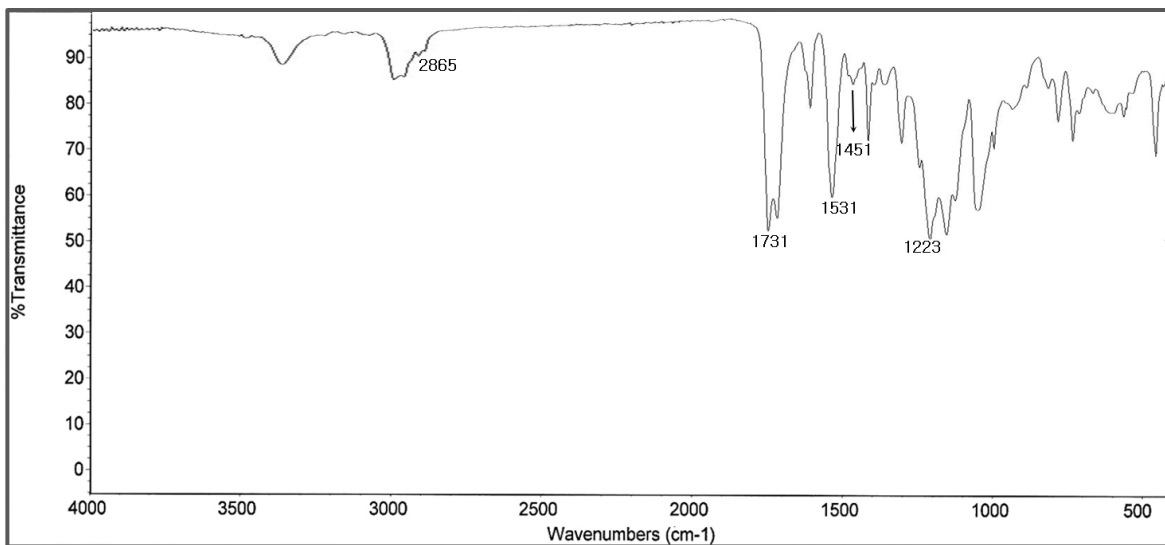


## 6) 재질 확인 데이터

## ① FT-IR spectrum



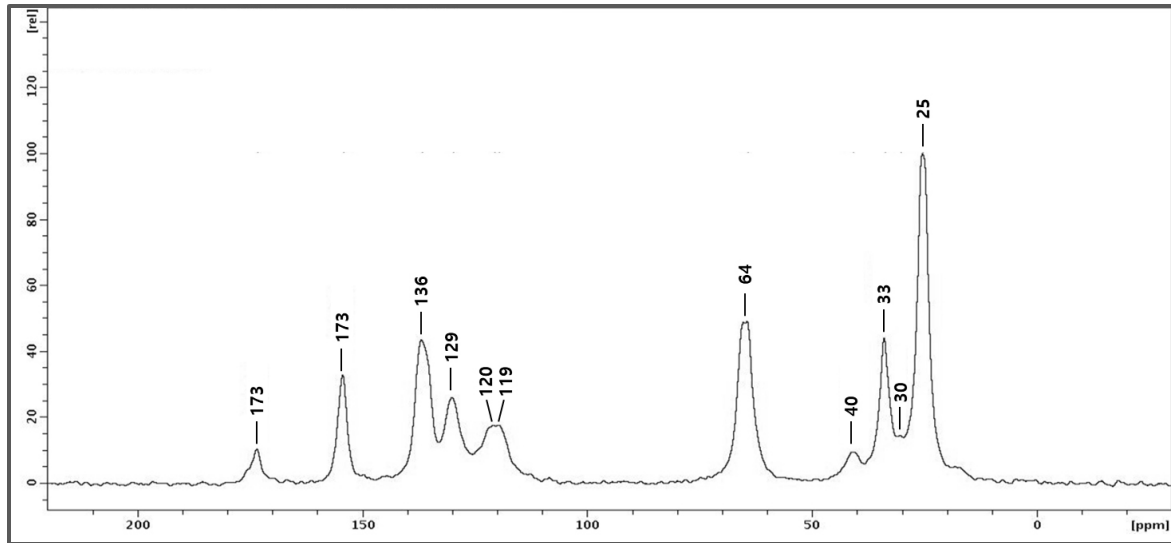
자료: OMNIC spectra Library



주: PU(도마)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

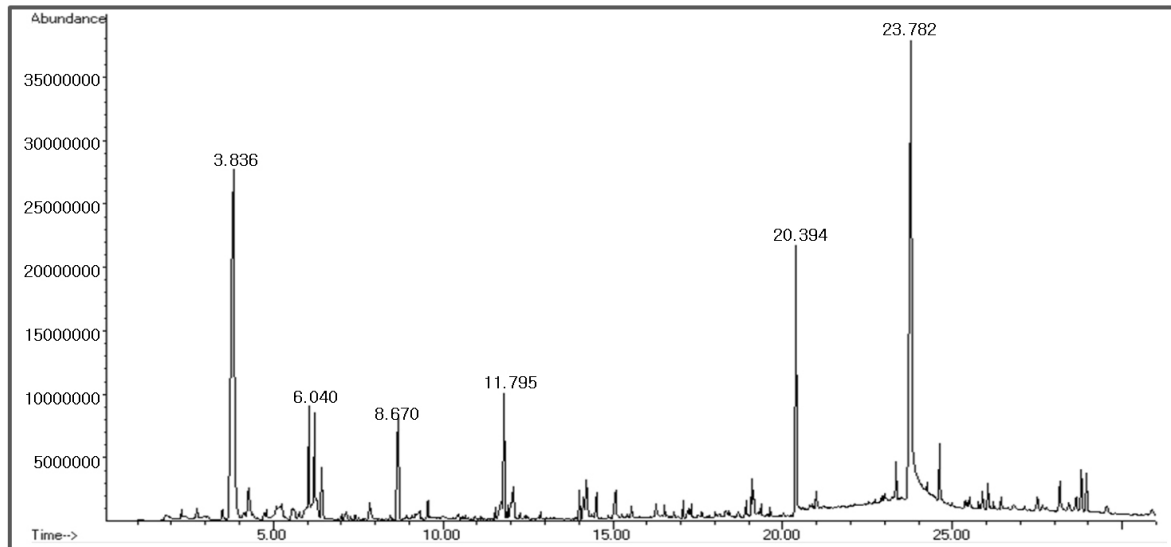
## ② Solid NMR



주: PU(도마)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PU(도마)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

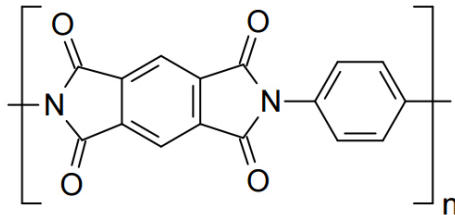
## 【참고문헌】

- [1] Lucas S., Andreas O., Robert A. (2011), Handbook of Adhesion Technology, Springer, London, UK
- [2] Raymond B., Seymour G. B., Kauffman J. (1992), Polyurethanes: A Class of Modern Versatile Materials, Chem. Ed. 69, 909

## 다. 폴리이미드(polyimide : PI)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25036-53-7 >

#### 나) 명칭

polyimide; PI; poly[(5,7-dihydro-1,3,5,7-tetraoxobenzo[1,2-c:4,5-c']dipyrrole-2,6(1H,3H)-diyl)-p-phenyleneoxy-p-phenylene]; benzo[1,2-c:4,5-c']dipyrrole, deriv., polymer; 1,2,4,5-benzenetetracarboxylic acid-4,4'-oxydianiline polymer; 1,2,4,5-benzenetetracarboxylic dianhydride-4,4'-diaminodiphenyl ether copolymer; 1,2,4,5-benzenetetracarboxylic dianhydride, p'-diaminodiphenyl ether polymer; 2,5-dicarbomethoxyterephthalic acid-4,4'-oxydianiline copolymer; 4,4'-diaminodiphenyl ether-pyromellitic acid copolymer; 4,4'-diaminodiphenyl ether-pyromellitic acid dianhydride copolymer; 4,4'-diaminodiphenyl ether-pyromellitic anhydride polymer; 4,4'-diaminodiphenyl oxide-pyromellitic acid copolymer; 4,4'-diaminodiphenyl oxide-pyromellitic anhydride polymer; 4,4'-oxybis(aniline-pyromellitic dianhydride copolymer; 4,4'-oxydianiline-pyromellitic acid polymer; 4,4'-oxydianilinepyromellitic dianhydride polymer; 4,4'-oxydianiline-pyromellitic diimide copolymer; 4,4'-diaminodiphenyl ether-pyromellitic dianhydride copolymer; 4-aminophenyl ether-pyromellitic dianhydride copolymer; bis(4-aminophenyl) ether-pyromellitic anhydride polymer; bis(4-aminophenyl) ether-pyromellitic dianhydride polymer; bis(p-aminophenyl) ether-pyromellitic dianhydride copolymer; diaminodiphenyl ether-pyromellitic acid distearyl ester diacid chloride copolymer; diaminodiphenyl ether-pyromellitic dianhydride polymer; diaminodiphenyl oxide-pyromellitic dianhydride copolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

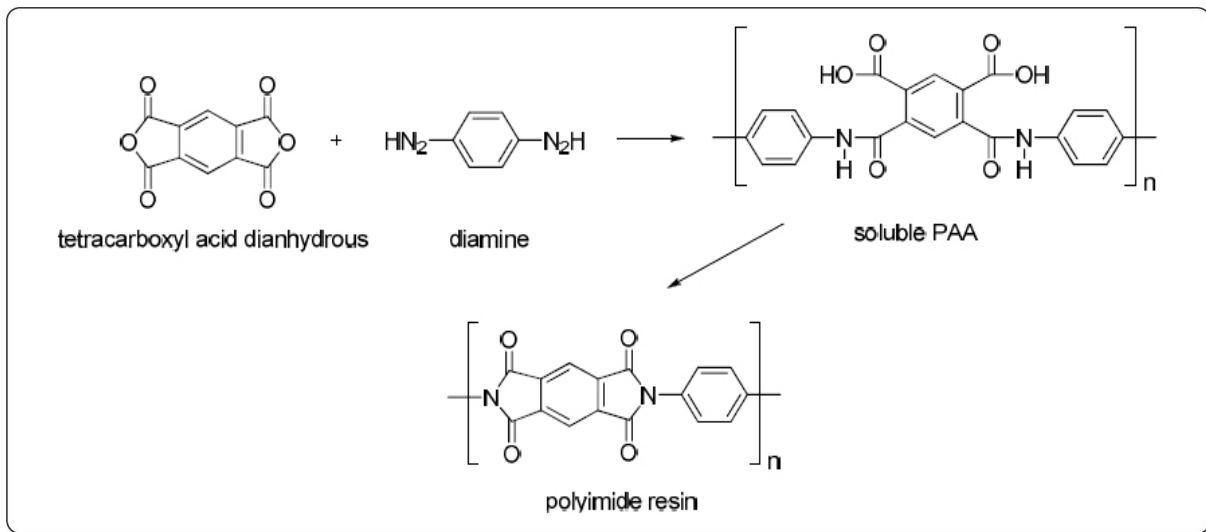
폴리이미드란 기본 중합체(base polymer) 중 방향족 또는 지방족 이무수물(aromatic or aliphatic dianhydride)과 방향족 또는 지방족 디아민(aromatic or aliphatic diamine)의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

### 2) 개요

폴리이미드(PI)는 이미드 고리를 가지는 고분자 물질로 주로 방향족의 무수물과 디아민을 이용하여 합성한다. 1960년대 미국의 우주항공 분야에 막대한 투자와 연구가 진행되고 있는 가운데 우주선의 부속품으로 사용한 플라스틱이 우주 환경을 견디지 못하고 거듭 실패하자 NASA(미 항공우주국)와 민간 기업인 Dupont사에 기술개발을 지시했고, 수많은 시행착오를 거쳐 1964년 PI가 개발되었다. 600°C에도 분해되지 않고 견디는 내열성이 우수한 특수 엔지니어링 플라스틱으로 금속을 대체할 소재로 주목받았고, 이후 개발 초기에는 우주항공 분야에 사용되다가 점차 반도체 산업, LCD 산업에 이용되었고, 미래에는 차세대 전자 산업의 주역이 될 것으로 예상된다. 1970년대 초 Amoco-chemical사는 사출성형용 변성 폴리이미드인 폴리아미드이미드(PAI)를 개발하였고, 1982년 General Electric사는 저가의 사출성형용 폴리테트라이미드(PEI)를 Ultem이라는 이름으로 상품화하였다.

### 3) 중합방법

PI는 테트라카르복시산 무수물과 디아민을 극성 유기 용매 중에 반응시켜 얻어지며, 반응은 2단계로 진행된다. 제 1단계는 폴리아미드산(poly(amic acid), PAA)의 제조단계로서 디아민이 용해된 반응 용액에 무수물을 첨가하여 진행하며, 중합도를 높이기 위하여 반응 온도, 용매의 수분 함유량, 단량체의 순도 조절이 요구된다. 반응 용매로서는 디메틸아세트아마이드(dimethylacetamide, DMAc), 디메틸포름알데히드(dimethyl formamide, DMF), N-메틸-2-피롤리돈(N-methyl-2-pyrrolidone, NMP) 등의 유기 극성 용매가 주로 사용되며, m-크레졸(m-cresol), 염화페놀(chlorophenol) 등이 1단계 중합용으로 사용된다. 제 2단계는 폴리아미드산으로부터 폴리이미드 수지를 제조하는 탈수·폐환 반응 단계로, 과량의 비용매에 폴리아미드산 용액을 투입하여 고체상의 폴리아미드산을 얻는 재침법이 있으며 열적 이미드화 방법이 있다. 재침법에서 재침용매로 대부분 물을 사용하지만 에테르 혹은 톨루엔 등을 공용매로 사용하므로 다량의 유기 용매를 사용하는 것이 이 공정의 단점이다. 열적 이미드화 방법은 폴리아미드산 용액을 150~200°C로 가열하여 열적으로 이미드화하는 방법으로 가장 간단한 공정이다. 하지만 결정화도가 높다는 점과 아미드계 용매를 사용하면 아미드 교환반응이 일어나기 때문에 고분자가 분해되는 단점이 있다.



#### 4) 물리화학적 특성

PI로 만든 제품은 극저온에서부터 260°C까지 사용 가능한 온도 범위가 폭넓고 장시간 사용해도 견딜 수 있다. PI는 이미드 고리의 화학적 안정성을 기초로 하여 우수한 내열성, 내화학적, 내마모성과 내후성 등을 보이고, 그 외에 낮은 열팽창율, 저통기성 및 뛰어난 전기적 특성 등을 나타낸다.

PI는 대표적 내열성 고분자 중 하나로 기계적 강도가 높고 충격에 강하며 치수안정성, 전기절연성, 내마모성 및 내약품성, 난연성이 우수하지만, 대부분 열경화성으로 성형성이 좋지 않다는 것이 단점이다. PI 성형물의 연속 사용 온도는 250°C로 내열성 플라스틱 중 가장 높으며, 단시간 동안에는 500°C 정도까지 견딜 수 있다. PI는 금속이 가지는 특징을 가지고 있을 뿐만 아니라 경량성, 내식성, 저마찰성, 내마모성, 저소음성 등의 특성을 가지며 또한 고온 다습한 환경에서도 전기적 특성이 뛰어나다.

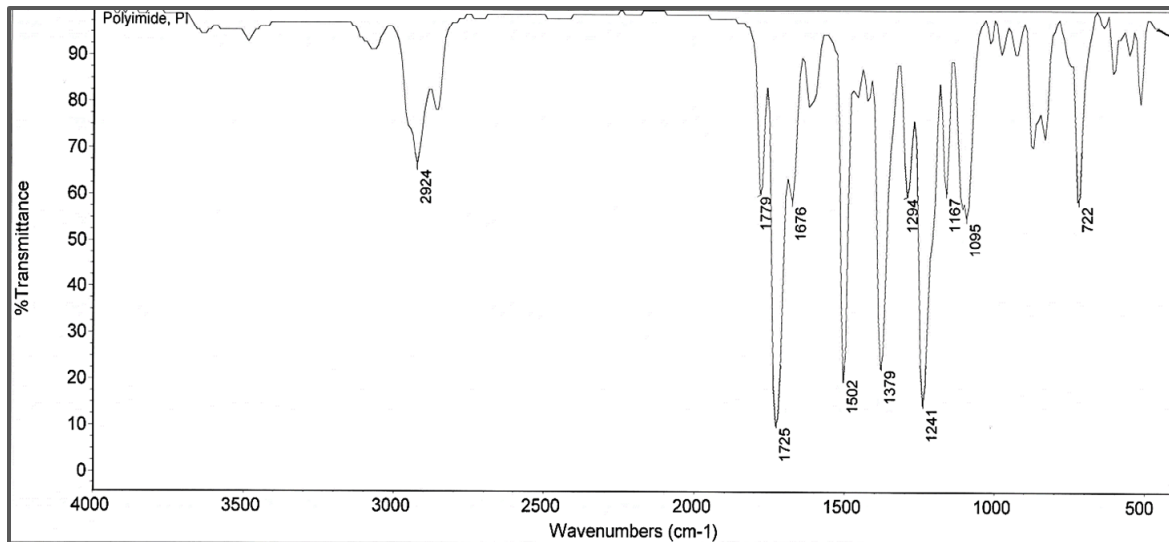
항목	PI
T <sub>g</sub> (°C)	260
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.32~1.42
비중	1.31
인장강도 (MPa)	231
신장율 (%)	3~7.5
마찰계수	0.50
열전도율 (W/(m·k))	0.12

#### 5) 용도

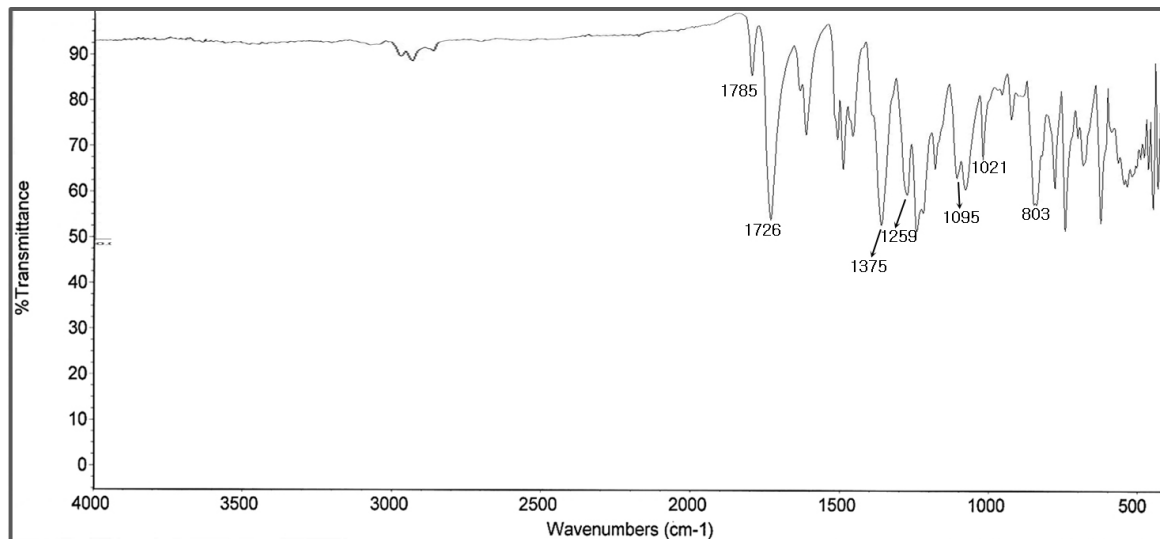
PI는 내열성과 기계적 강도를 요구하는 분야에서 많이 응용되고 있다. 예를 들면 성형품으로는 미사일, 항공기 등의 엔진 부품, 엔진 커버, 보조날개 등으로 쓰이고, 자동차 부품으로는 변속기 부품, 엔진 부품, 베어링, 피스톤링, 밸브 등에도 쓰인다. 식품용으로는 역학적 또는 열적으로 높은 부하가 요구되는 제빵기계 등의 식품기계부품에 사용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



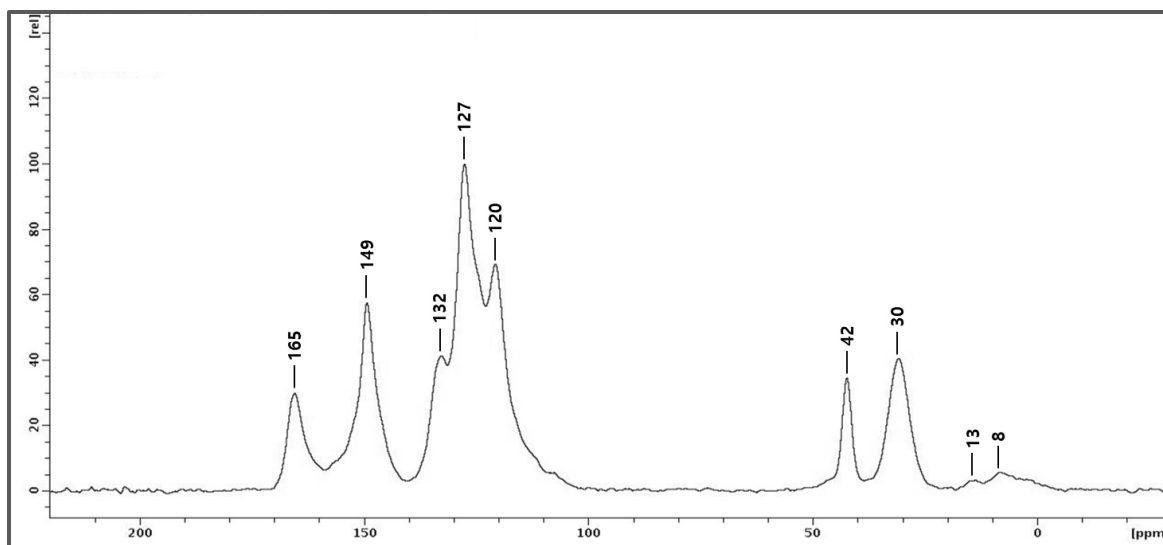
자료: OMNIC spectra Library



주: PI(조리기구)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

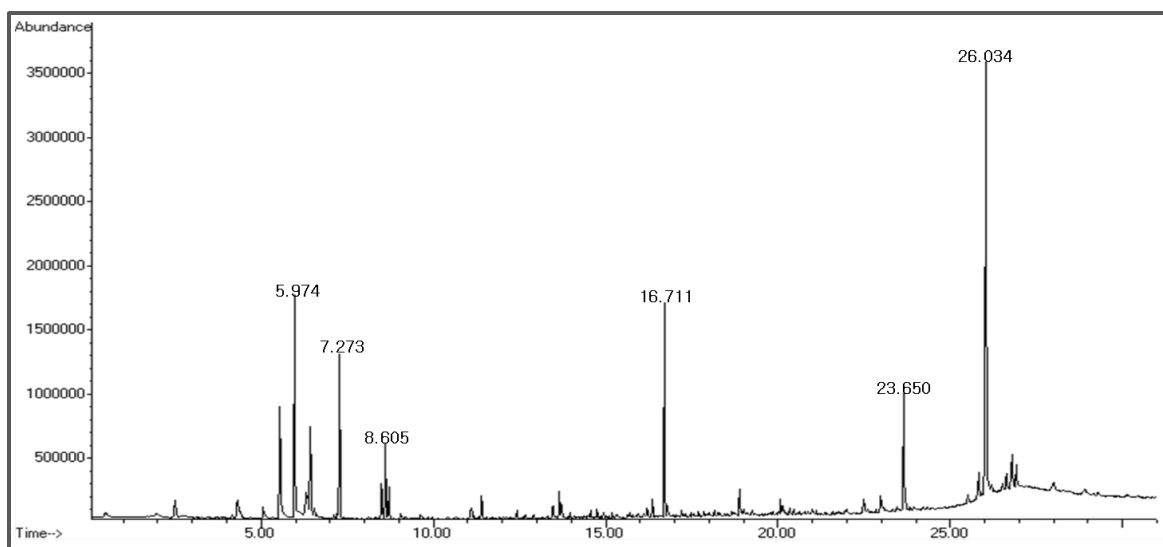
## ② Solid NMR



주: PI(조리기구)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PI(조리기구)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

**【참고문헌】**

- [1] Bessonov, M.I., Koton, M.M., Kudryavtsev, V.V. and Latus, L.A. eds. (1987). Polyimides: Thermally Stable Polymers, 2nd edition, Plenum, New York, USA.
- [2] Cotts, P.M. (1984). in Polyimides: Synthesis, Characterization and Properties, Vol. 1, Plenum, New York, USA, 223-226.
- [3] Takekoshi, T. ed. (1996). Polyimides- Fundamentals and Applications, Marcel Dekker, New York, USA, Chapter 2.



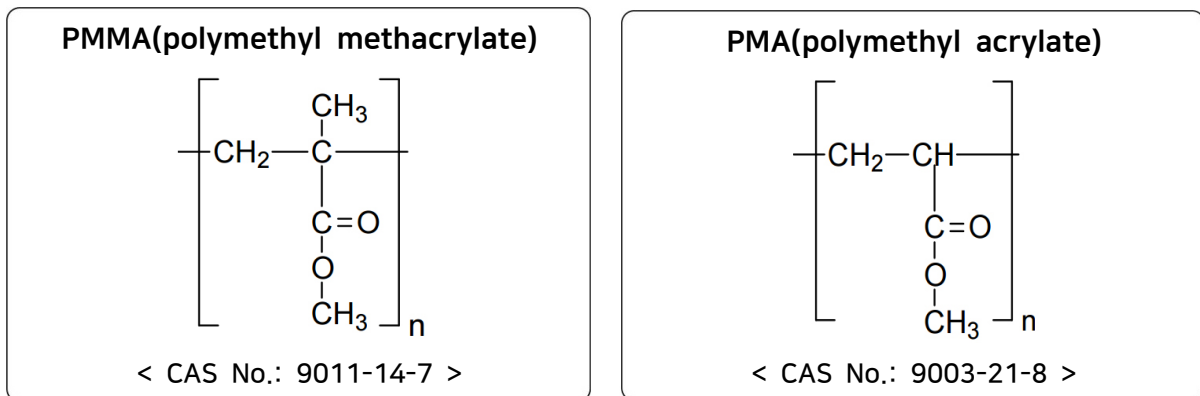
## 5 아크릴계

아크릴산(C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) 및 그 유도체를 중합 혹은 혼성중합 하여 만든 고분자 중합체를 말한다.

### 가. 아크릴수지(acrylic resin)

#### 1) 기본정보

##### 가) 화학구조



##### 나) 명칭

PMMA : poly(methyl methacrylate); methacrylic acid methyl ester, polymers; 2-Propenoic acid, 2-methyl-, methyl ester, homopolymer; 2-methyl-2-propenoic acid methyl ester homopolymer; methacrylic resin, polymer; polymethylmethacrylate; polyacrylic acid methyl ester resin; 2-propenoic acid, 2-methyl-methyl ester, homopolymer

PMA : poly(methyl acrylate); acrylic acid methyl ester, polymers; 2-propenoic acid, methyl ester, homopolymer; 2-propenoic acid methyl ester homopolymer; 2-propenoic acid, methyl ester, homopolymer; methyl acrylate polymer; poly[1-(methoxycarbonyl)ethylene]

##### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

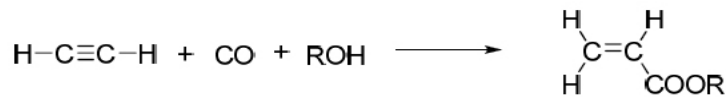
아크릴수지란 기본 중합체(base polymer) 중 아크릴산, 메타크릴산, 아크릴레이트 또는 메타크릴레이트 등의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

## 2) 개요

아크릴 수지(acrylic resin)는 아크릴산(acrylic acid), 메타크릴산(methacrylic acid) 등의 에스터 중합체로서 메타크릴산메틸에스터(메타크릴산메틸)의 중합체가 대표적이며 보통 폴리메틸메타크릴레이트(polymethyl methacrylate, PMMA) 수지로 통한다. 아크릴수지는 1843년에 만들어졌고 1865년에 상업화 되었다. PMMA는 1877년 독일의 화학자 Fittig와 Paul이 메타크릴산(methacrylic acid)과 메탄올을 반응시켜 메틸 메타크릴레이트(methyl methacrylate, MMA)를 만들었으며 MMA를 중합하여 PMMA를 합성하였다. PMMA는 광학 분야에 광범위하게 사용되는 맑은 무색 폴리머로 펠릿 및 시트 형태로 모두 상용화되어 사용할 수 있고, 내후성이 좋아 거의 30년 이상 지속되는 성질이 있어 다양한 분야에 응용되고 있다.

## 3) 중합방법

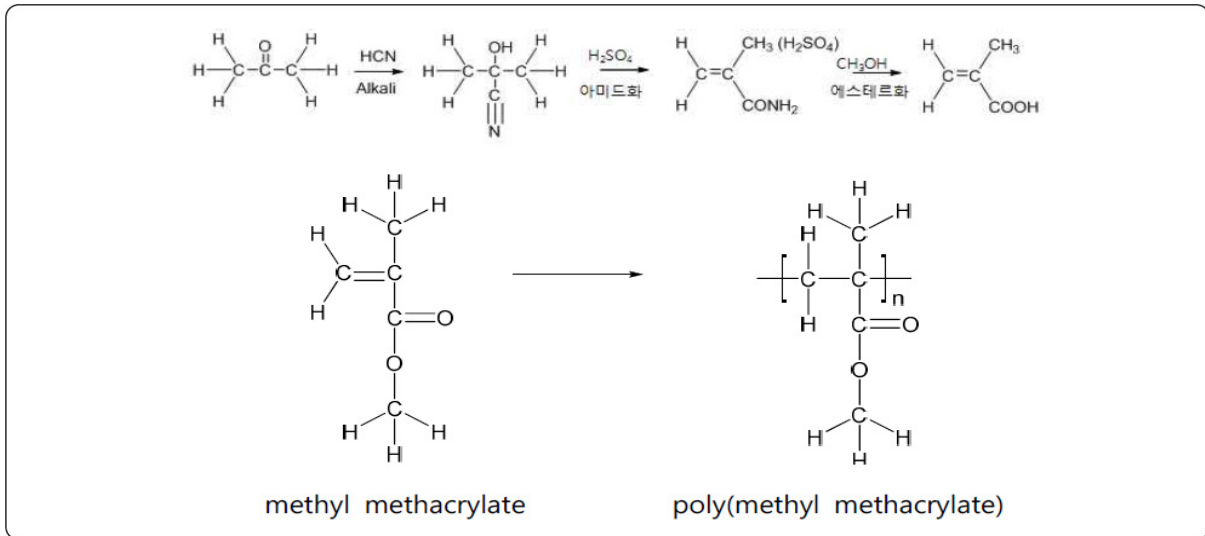
아크릴레이트(acrylate)의 원료인 메틸 아크릴레이트(methyl acrylate)의 제법 중 대표적인 것은 아세틸렌(acetylene)을 원료로 하는 레페(reppe)법<sup>71)</sup>으로 Ni(CO)<sub>4</sub>와 아세틸렌을 반응시켜 메틸 아크릴레이트를 합성한다.



아크릴(acryl)판은 메틸 메타크릴레이트를 캐스트-중합(cast-polymerization)하여 제조하는데, 중합 열을 효과적으로 제어하기 위하여 0.5~0.01% 정도의 벤조일 페록사이드(benzoyl peroxide)를 중합율 5~30% 정도로 중합한 것을 메틸 메타크릴레이트와 함께 금형<sup>72)</sup>에 주입한 후 중합을 지속하여 성형품으로 제조한다.

71) 레페법: 1930년대에 개발된 공업적 유기합성법. 촉매에 의해 아세틸렌을 가압하여 반응시키는 점이 특징이며 부가반응, 에티닐화, 고리화 중합, 카르보닐화 등을 하는 반응의 총칭

72) 금형: 금속성의 형(型)이며 금속으로 만든 주형(鑄型), 플라스틱 성형용(成型用) 형, 금속제 형 등이 있다



#### 4) 물리화학적 특성

내후성 및 광학적 성질이 우수하고, 특히 투명성이 우수한 수지이다. 내약품성은 황산, 염산, 질산 등과 같은 산에는 강한 저항성을 가지며, 가교결합을 하고 있지 않은 일반용 수지는 아세톤, 클로로포름 등과 같은 유기 용매에 잘 녹는다.

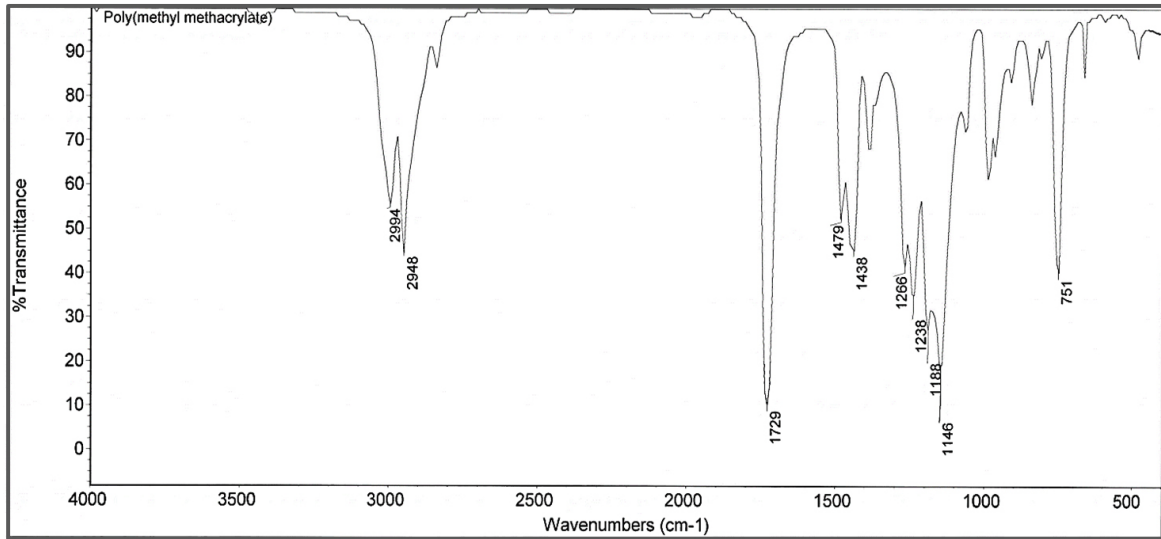
항목	PMA	PMMA
T <sub>g</sub> (°C)	10~11	85~105
T <sub>m</sub> (°C)	-	160~200
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.22	1.19
비중	1.17~1.20	-
인장강도 (MPa)	-	83
신장율 (%)	-	4~10
열전도율 (W/(m·k))	-	0.15~1.25
용해도 (J/mL) <sup>1/2</sup>	19.9~21.3	18~23.1

#### 5) 용도

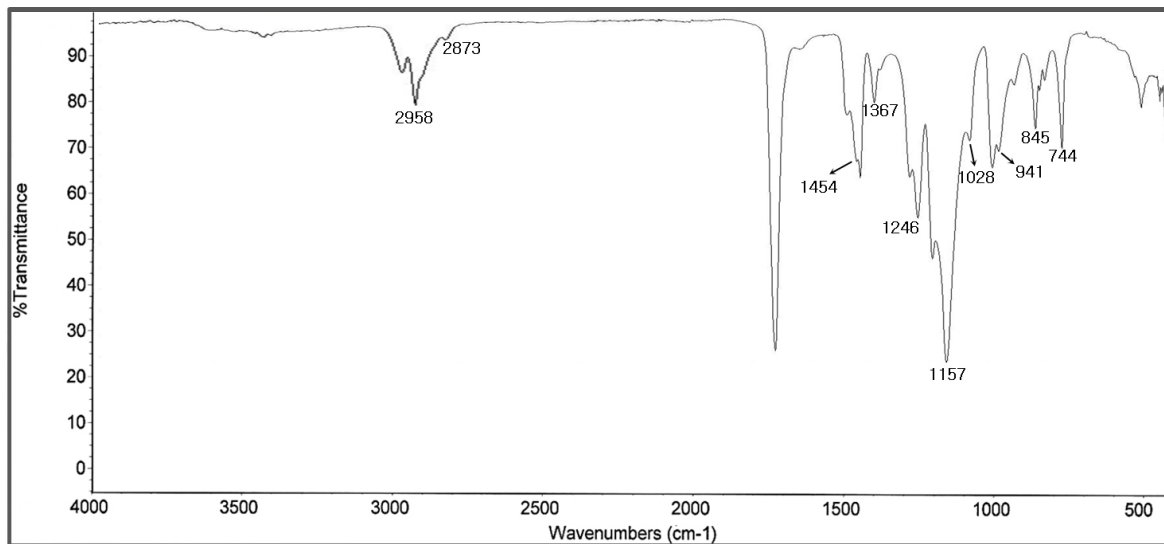
외관이 아름답고 단단하고 상처가 잘 나지 않으며 쉽게 깨지지 않는 장점을 이용하여, 간장, 후추와 같은 조미료 용기나 쟁반 등에 사용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



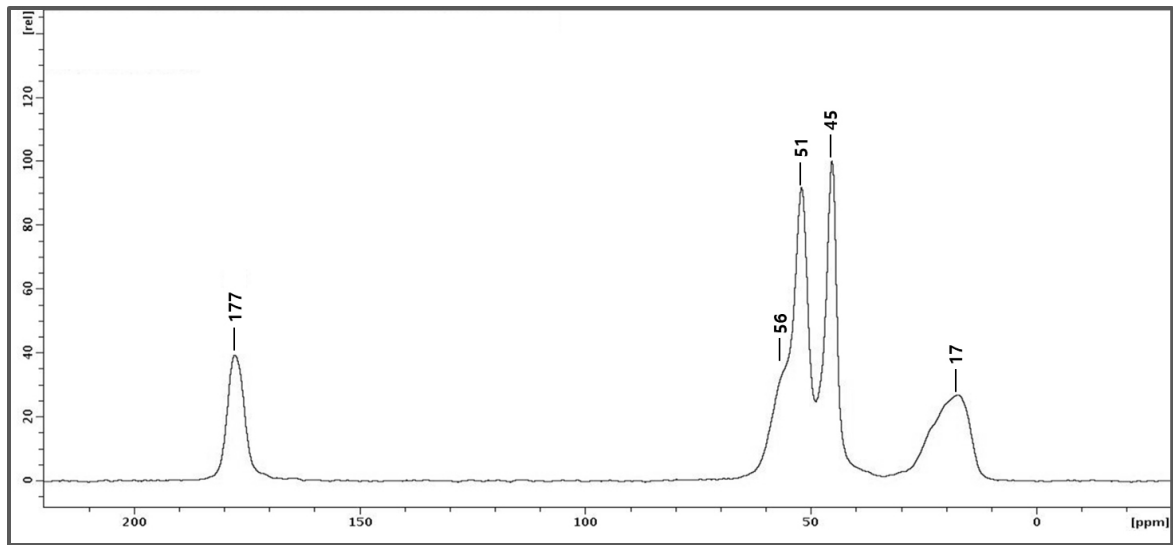
자료: OMNIC spectra Library



주: 아크릴수지(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

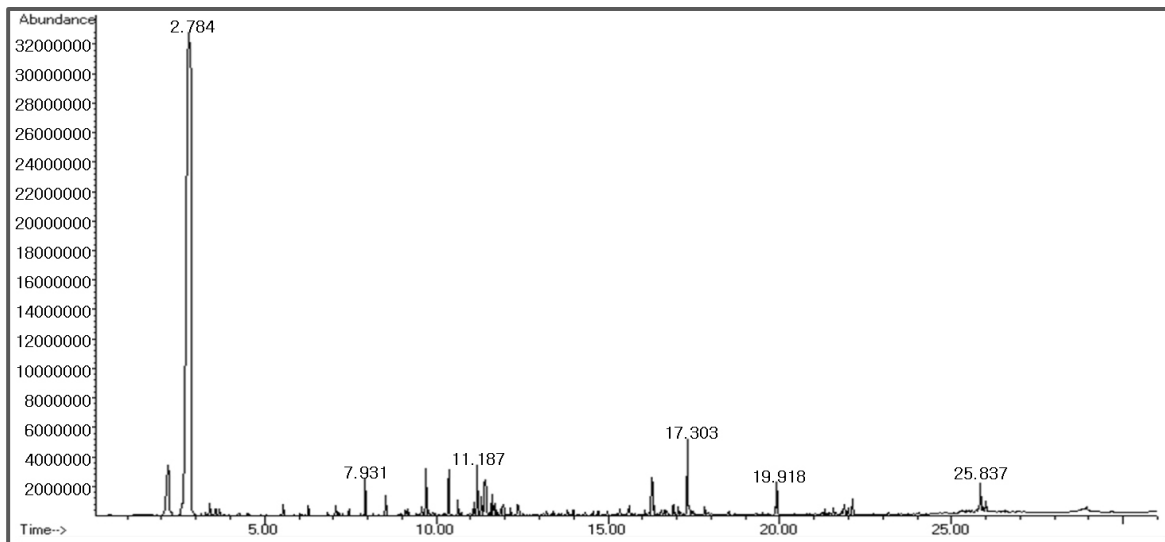
## ② Solid NMR



주: 아크릴수지(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: 아크릴수지(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처).

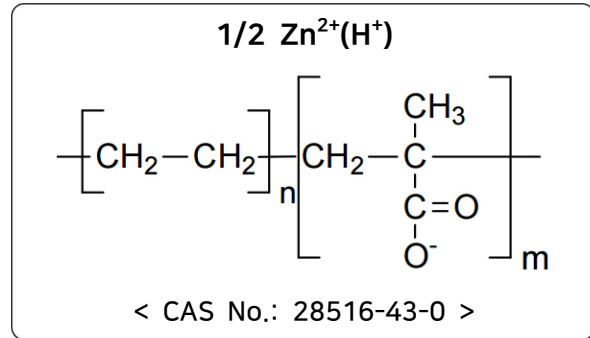
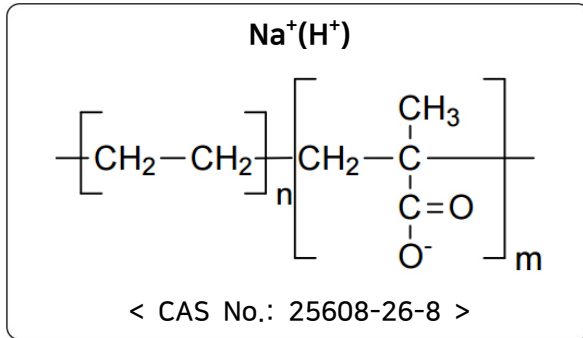
**【참고문헌】**

- [1] Acrylic Resin Definition, The Free Dictionary quoting The American Heritage Dictionary of the English Language
- [2] Methyl Methacrylate epa. gov., 2000
- [3] Points to Consider for the Use of Recycled Plastics in Food Packaging: Chemistry. Considerations, US Food and Drug Administration, Washington D.C. 20204. Division of Food Chemistry and Technology, HFF-410, March 1992

## 나. 이오노머수지(ionomeric resin)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

ethylene-methacrylic acid copolymer sodium salt; methacrylic acid, polymer with ethylene, sodium salt; poly(ethylene/methacrylic acid) sodium salt; 2-propenoic acid, 2-methyl-, polymer with ethene, sodium salt; 2-Methyl-2-propenoic acid polymer with ethene, sodium salt

ethylene-methacrylic acid copolymer zinc salt; methacrylic acid, polymer with ethylene, zinc salt; poly(ethylene/methacrylic acid) zinc salt; 2-propenoic acid, 2-methyl-, polymer with ethene, zinc salt; 2-Methyl-2-propenoic acid polymer with ethene, zinc salt

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

이오노머수지란 에틸렌과 메틸아크릴산의 공중합체로 카르복실기 그룹에 아연, 나트륨, 칼륨, 칼슘 및 암모늄 등의 이온이 가교된 중합체를 말한다.

### 2) 개요

이오노머수지(ionomeric resin)란 공유결합과 이온결합을 동시에 소유하고 있는 열가소성 플라스틱을 말한다. Dupont사에 의해 개발된 고분자화합물로 아이오노머라고도 한다. 이온결합까지의 정전기력(electrostatic forces)이 매우 강하여 이오노머 고유의 물성을 지니게 해준다. 에틸렌(ethylene)과 메타크릭산의 공중합체(methacrylic acid copolymer)로부터 만들어지기 때문에 밀도나 가공성에 있어서 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)이나 에틸렌초산비닐(EVA) 공중합체와 유사하지만, 전반적인 물성은 훨씬 우수하다. 공유결합과 이온결합을 동시에 소유하고 있는 교차이온결합은 열에 대해 안전해서 일반적인 가공 온도라 할 수 있는 175~290℃에서 가공할 수 있어서 표준 압출 장치에 간단한 부식방지 장치만 부착하면

그대로 사용할 수 있다. 모든 이오노머 수지는 나트륨 아니면 아연 이온 중 하나를 포함하고 있는데, 이에 따라 물성 및 적용 범위가 달라진다. 나트륨 이온형은 투명성, 내유성, 용융 점착성 등이 우수하고 아연 이온형은 공압출시에 접착능력이 좋고 알루미늄박에 압출 코팅이 잘된다. 수분이나 알코올의 함유량이 많은 제품을 포장할 때는 아연이온형 이오노머 필름이 들어있는 복합 포장재(composites structure)를 사용하는 것이 좋다.

### 3) 중합방법

이오노머 수지는 에틸렌과 아크릴산 또는 에틸렌과 메타크릴산을 고압 라디칼중합으로 합성한 후 금속염(나트륨 염 혹은 아연 염)으로 만든 것으로 카복실기와 금속 이온 간의 킬레이션<sup>73)</sup>을 통하여 이온결합된 고분자이다. 이오노머 수지는 고온에서는 이온결합이 이루어져 유동성이 있으므로 성형하기 쉬우며, 냉각하면 다시 이온결합이 회복되어 단단해진다.

### 4) 물리화학적 특성

이오노머수지는 강인하고 탄성이 있으며 내마모성과 내한성이 뛰어나다. 내유성 및 내 스트레스성과 히트실(hit seal)성<sup>74)</sup>이 양호하며 무독하다. 또한, 투명하고 금속과 나일론 등에 용착성이 있다.

항목	Ionomeric resin
$T_m$ (°C)	80~100
밀도 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	0.95
비중	0.97
인장강도 (MPa)	27.5
신장율 (%)	280

### 5) 용도

재질이 투명하여 유리나 크리스탈 등의 복원에도 사용 가능한 이오노머수지는 다른 투명 플라스틱 소재들보다 화학물질이나 기름에 대한 내구성이 뛰어나다. 특히 자유로운 성형과 발색이 가능하고 투명성과 부드러운 촉감, 고급스러운 이미지가 뛰어나 향수나 화장품류의 패키지에 효과적으로 사용되고 있다. 이오노머수지는 밀봉성이 뛰어나 제과류, 가공육류, 냉동 식품류의 포장에도 많이 사용되며, 충격에 강하고 내마모성이 탁월하여 내구성이 필요한 골프공이나 신발, 볼핀 등의 커버로도 쓰이고 있다.

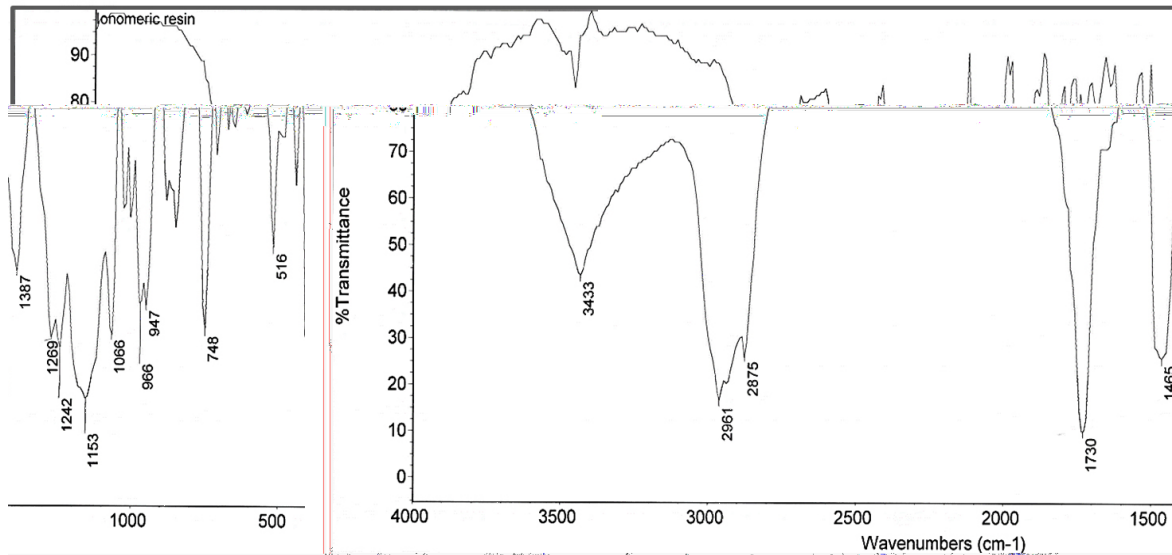
73) 킬레이션: 여러 자리 리간드가 금속이온과 결합하여 고리형의 착화합물을 형성하는 반응

74) 히트실(hit seal)성: 열을 가함으로써 서로 붙여지는 성질을 말함



## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

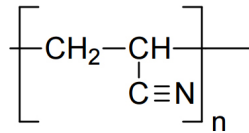
### 【참고문헌】

- [1] Otto G. P., Albert L. B. (2000) Plastic packaging materials for food: barrier function, mass transport, quality assurance, and legislation, John Wiley and Sons, New Jersey, USA, 57-58
- [2] Martin R. T., Mauritz K. A., Garth L. W. (1997) Ionomers: synthesis, structure, properties, and applications, Springer, New York, USA

## 다. 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile : PAN)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25014-41-9 >

#### 나) 명칭

PAN; 2-Propenenitrile, homopolymer; Polyacrylonitrile; Acrylonitrile homopolymer; Acrylonitrile polymer; Acrylonitrile, polymer;

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리아크릴로니트릴이란 기본 중합체(base polymer) 중 아크릴로니트릴의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

아크릴 섬유의 원료가 되는 아크릴로니트릴은 이미 1893년에 합성되었지만, 섬유화된 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile, PAN)은 1950년에 이르러 미국의 듀폰사에 의해 본격적인 상업 생산이 시작되었다. 듀폰사와 I.G사가 1937년 동시에 아크릴섬유 개발을 발표했지만, 1942년에 듀폰사가 먼저 DMF라는 유기 용제를 개발하면서 1944년에 'A 섬유'란 이름으로 출시, 이후 올론(Orlon)이란 상품명으로 거듭나게 되었다.

### 3) 중합방법

아크릴로니트릴 단위로 이루어진 고분자화합물을 PAN이라 말하고, 이 성분을 40~50중량% 이하로 함유하는 고분자로 제조된 섬유를 변형 아크릴 섬유(modified acrylic fiber)라고 분류하고, 아크릴로니트릴을 85중량% 이상 함유한 섬유를 아크릴 섬유(acrylic fiber)라고 부르고 있다. 그 이유는 아크릴로니트릴 성분 85중량%를 경계로 하여 섬유의 성질이 급격히 변화하기 때문이다. 아크릴로니트릴은 암모니아와 프로필렌(propylene)으로 합성한다. 아크릴로니트릴과 공중합될 단량체(monomer)를 물속의 현탁상태나 에멀전(emulsion) 상태, 또는 유기 용매 중의 용액 상태로 라디칼(radical) 중합시켜 고분자화하는데, 이때

생성되는 PAN은 낮은 입체규칙성임에도 불구하고 동일 분자 사슬에 속하는 측쇄의 시아노기(-CN)의 쌍극자 간의 척력<sup>75)</sup> 때문에 C-C 결합 간의 회전이 속박된다. 그 결과 분자 사슬은 비교적 강직한 편이다.

#### 4) 물리화학적 특성

PAN은 내약품성, 가스 차단성의 특징을 가지고 있고, 그 외에도 보향성<sup>76)</sup>,약품 성품의 저흡착성, 강성 등의 특징을 갖추고 있다. 하지만 순수한 PAN은 열가소성이 부족할 뿐만 아니라, 염색성도 불량하여 실용적이지 못하기 때문에 일반적으로 소량의 다른 성분(예를 들면, 메틸아크릴레이트, 비닐아세테이트, 산성 또는 염기성 단량체)과 공중합시켜 염색성과 흡습성 및 항필링성<sup>77)</sup> 등의 섬유성능을 향상시킨다. 자주 사용되는 단량체로는 부타디엔, 스티렌, 염화비닐리덴, 또는 다른 비닐화합물 등이 있다.

항목	PAN
T <sub>g</sub> (°C)	85
T <sub>m</sub> (°C)	317
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.18
인장강도 (MPa)	250~940
신장율 (%)	8~60

#### 5) 용도

PAN은 그 자체로는 큰 용도가 없으나, 탄소 섬유를 제조하기 위한 전구체로 주로 사용된다. 그 자체로 사용되는 경우는 흔하진 않으나 식품 포장, 의약품, 화장품 포장, 화학 약품 포장, 전자부품 반송 용기를 제조하는데 쓰인다. 식품 관련 용도로서는, 된장 컵, 과자 용기, 차, 커피 용기 등에 사용되고 있다.

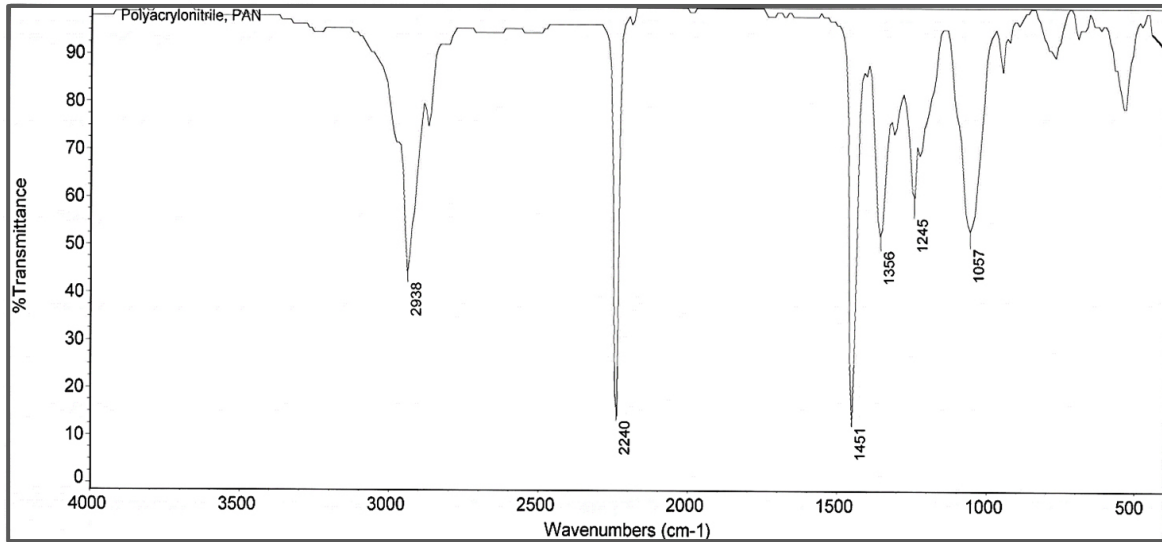
75) 같은 종류의 전구나 자기장을 가진 두 물체가 서로 밀어내는 힘

76) 보향성: 식품의 향기를 유지하기 위한 포장재료의 성질

77) 항필링성: 보푸라기가 방지되고 마찰에 강한 성질

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

### 【참고문헌】

- [1] Al-Esaimi M. M. (2007). Catalytic polymerization of Acrylonitrile by KhμLays Bentonite, 2, 6-10
- [2] Jenkins G. M., Kawamura K. (2011). Polymeric carbons: Carbon Fibre, Glass and Char, Cambridge University Press.

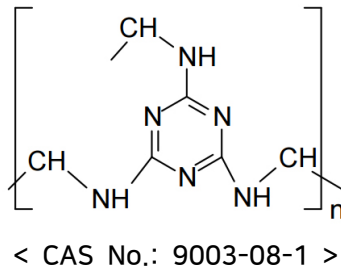
## 6 알데히드계

포름알데히드( $H_2CO$ )와 중합하여 만드는 고분자중합체를 말한다.

### 가. 멜라민수지(melamine-formaldehyde resin : MF)

#### 1) 기본정보

##### 가) 화학구조



##### 나) 명칭

Melamine/formal copolymer; Melamine/formaldehyde copolymer; Melamine, polymer with formaldehyde; Melamine resin; Polyoxymethylene melamine; 1,3,5-Triazine-2,4,6-triamine, polymer with formaldehyde

##### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

멜라민수지란 기본 중합체(base polymer) 중 멜라민과 포름알데히드의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

#### 2) 개요

멜라민 수지(MF)는 1936년 독일에서 처음 발명되었으며, 1938년 스위스의 CIBA사가 제조를 시작하였고, 1950년부터 일본에서 생산이 본격화되었다.

### 3) 중합방법

아미노수지(아미노기  $-NH_2$ 를 함유한 화합물과 알데히드와의 축합<sup>78)</sup>으로 얻어지는 수지의 총칭)의 일종으로 멜라민 및 포름알데히드의 축합물질이 주성분인 중합체를 말한다. 원료인 멜라민(결정성 백색 분말)과 포름알데히드(통상 37%포르말린 수용액으로서 사용)를 염기성 촉매하에서 반응시키면 무색투명의 액상 수지가 얻어진다. 수지액의 제조는 거의 pH 7~9에서 반응이 진행되고, 그 결과 모노에서 헥사까지의 메틸올화 멜라민이 생성되는데 메틸올화 반응은 pH 10 부근에서 가장 빠르고 그 이하에서는 메틸렌 반응이 빠르다. 이후에 열수용액 중에서 메틸올기가 해리와 재부가를 되풀이하면서 서로, 또는 미반응 멜라민과 축합하여 성장한다. 반응이 진행됨에 따라서 반응물은 서서히 소수성이 증가하여, 가만히 놓아두면 물층과 수지층이 분리하게 되고 결국에는 겔화한다. 한편 메틸올멜라민은 겔정화하기 쉬우므로 모든 반응을 마친 수지액 속에 대량의 겔정으로 석출된다. 한번 석출된 겔정의 재용해는 어렵기 때문에 수지액의 사용목적에 따라 적당한 축합도에서 반응을 멈춰야 한다. 반응의 진행 정도의 척도로서 혼합도의 수치가 사용된다. 즉 반응액을 채취하여 급히 냉각시킨 후 증류수를 부어주면 조금 후에 액이 백탁되는 것을 볼 수 있고 이 백탁에 필요한 증류수의 양과 시료량에 대한 비율을 혼합도라 한다.

- 혼합도: 시료를 백탁하는데 필요한 (증류수의 양/시료량(g)) x 100

### 4) 물리화학적 특성

MF는 표면경도가 크고 중량감이 있어 도자기와 같은 촉감이 있으며, 내수성, 내열성, 착색성, 내수성, 내약품성 및 접착력이 뛰어나다. 그리고 유기 용제에 안정하여 강산이나 강알칼리 이외에는 침해되지 않는다. 또한 흡습성이 적고 고주파 전기절연성이 좋은 특성 등을 지니며 기계적 강도도 뛰어나다. MF는 우레아수지와 함께 분자 내의 질소 함유율이 높아서 탄화되기 힘든 성질이 있다. 그 때문에 내아크성<sup>79)</sup>이 뛰어나 멜라민수지 식기는 열탕에 의한 되풀이 소독에도 충분히 견디고 가볍고 쪼개어지지 않는 장점이 있다. MF 도료는 단독으로 사용하면 단단하고 약한 도막을 형성하고 밀착성이나 광택에도 문제가 있기 때문에 알키드수지<sup>80)</sup>, 에폭시수지, 열경화성 아크릴수지 및 셀룰로스 유도체 등을 배합하여 그 약점을 개선하여 사용되고 있다. 일반적으로 에폭시수지와는 조함으로는 견고한 밀착성이, 열경화형 아크릴수지와는 조함으로는 내후성이, 알키드수지와는 조함으로는 광택과 높은 경도를 가지는 도막이 얻어진다.

항목	MF
$T_g$ (°C)	130~150
비중	1.48~1.50
인장강도 (MPa)	30
열전도율 (W/(m·k))	0.35~0.4

78) 축합: 두 분자가 반응하여 물 또는 다른 간단한 분자가 제거되면서 유기화합물을 생성하는 반응

79) 내아크성: 접점에서 스파크가 일어나는 것을 막아주는 특성

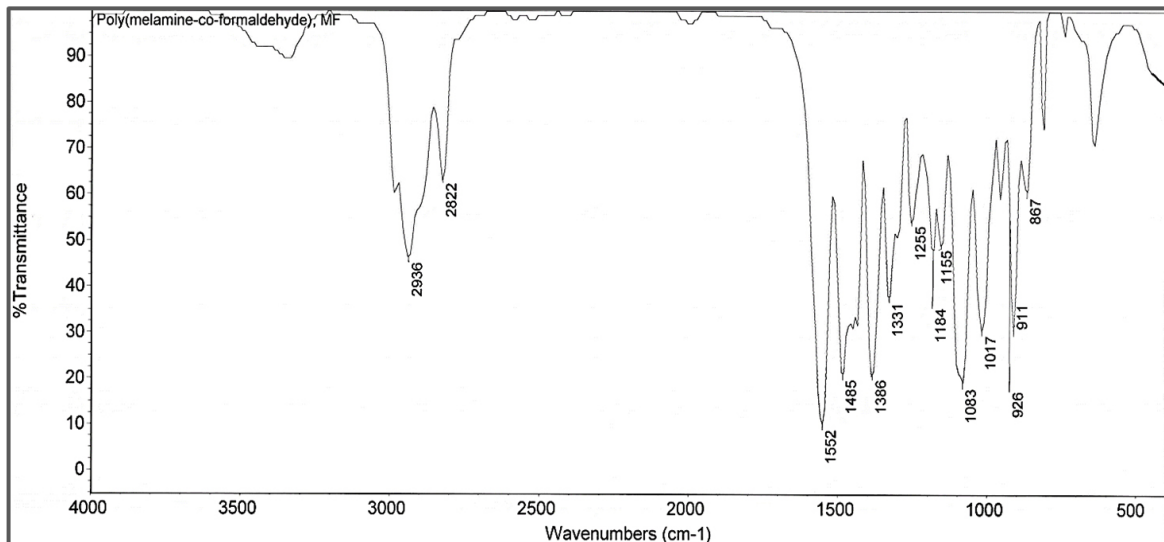
80) 알키드수지: 다염기산과 다가 알코올의 중축합 반응에 의해서 만들어지는 합성 수지

## 5) 용도

MF 최대의 용도는 금속표면 도장용 도료이다. MF 접착제는 가사시간<sup>81)</sup>이 길어서 취급하기 쉽다는 등의 이점이 있으며, 합판 접착의 분야에서 우레아수지 접착제를 대체하고 있다. 예컨대 옥외 사용의 내수성 합판, 선박용 합판, 고급 목공품의 접착 등에 사용된다. 소켓 종류, 스위치 릴레이, 휴즈 상자, 브레이커, 커넥터, 타이머 등의 전기 기기 부품에 사용되며, 외관이 도기와 비교해 손색이 없어 여관, 식당, 병원, 회사, 학교 등의 급식용 식기로서 많은 수요가 있다. 기타 재떨이나 세탁기의 회전날개 및 화장품, 약품의 병이나 뚜껑으로도 사용된다.

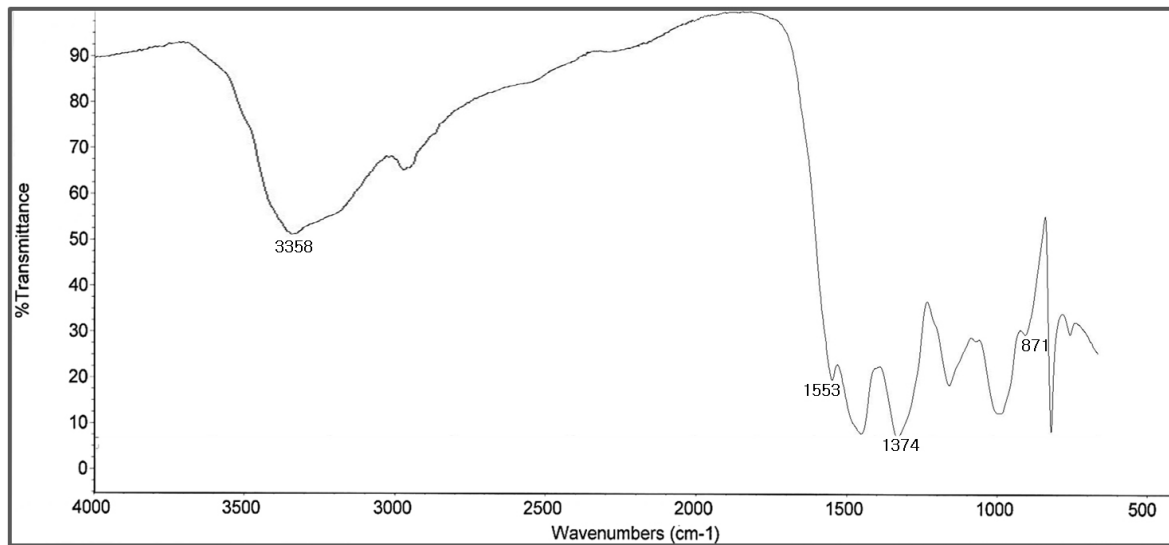
## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

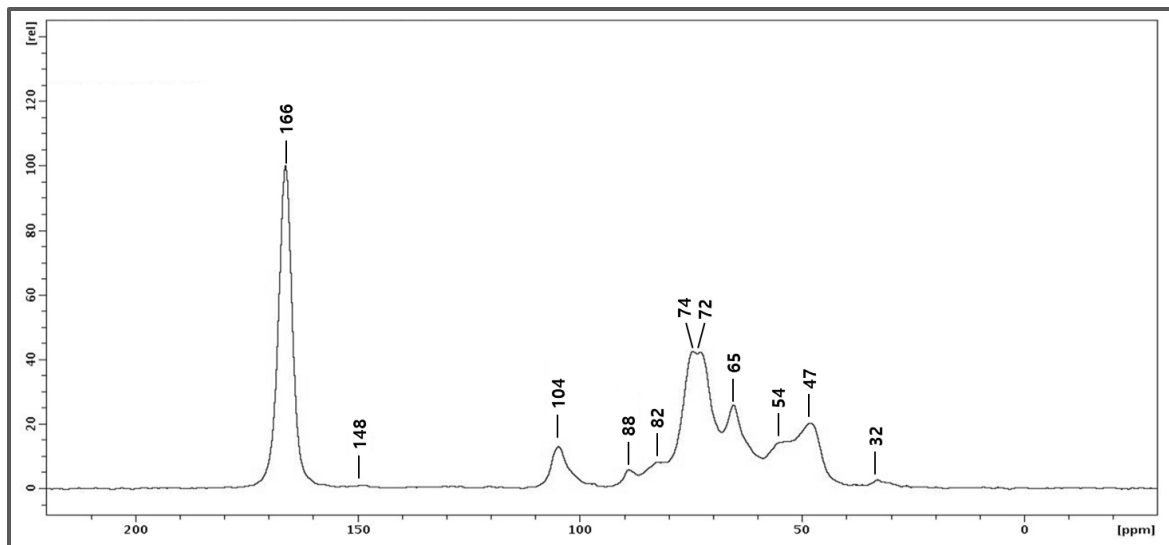
81) 가사시간: 화학반응이 일어난 시점에서 가속도가 점점 빨라지고 사용할 수 없는 상태로 변하는 양상



주: 멜라민수지(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ② Solid NMR

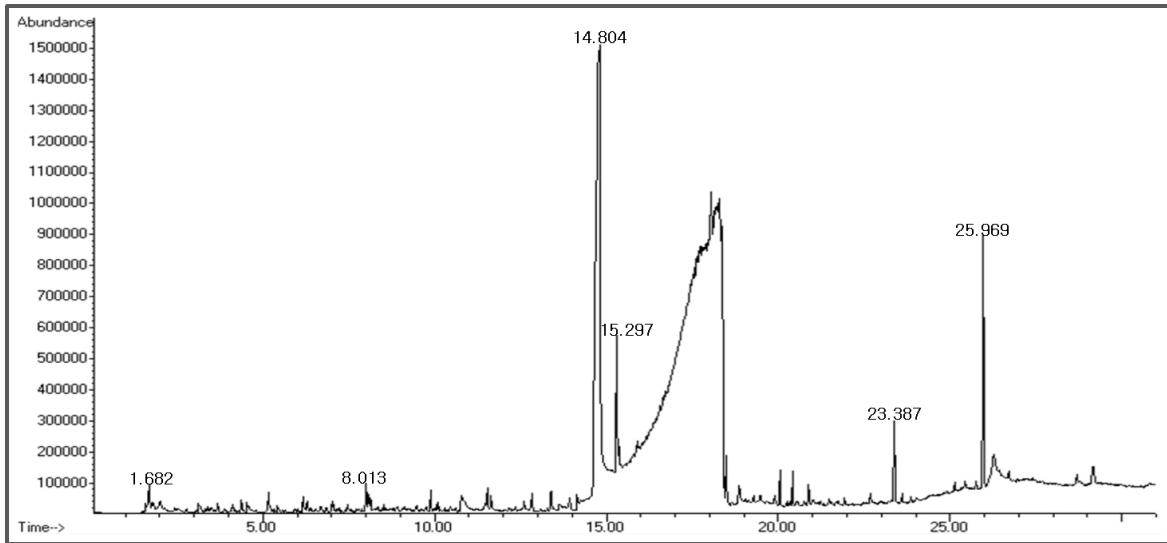


주: 멜라민수지(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)



## ③ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: 멜라민수지(식기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

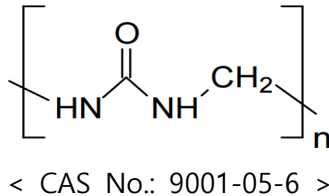
**【참고문헌】**

- [1] 이국웅, 문홍국. (1988), 플라스틱기술. 성안당.
- [2] P.-O. HAGSTRAND and C. KLASON. (1999). POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, 39(10);2019-2029
- [3] 한국산업안전공단. (2007). 화학물질 유통, 사용 실태조사 결과보고서(포름알데히드). 12-13

## 나. 요소수지(urea-formaldehyde resin : UF)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

Ureaformaldehyde; UF; poly(urea-co-formaldehyde); Urea polymer with formaldehyde; Paraformaldehyde-urea resin; Paraformaldehyde-ureal polymer; Poly(urea-formaldehyde); Urea resin; Urea-formaldehyde polymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

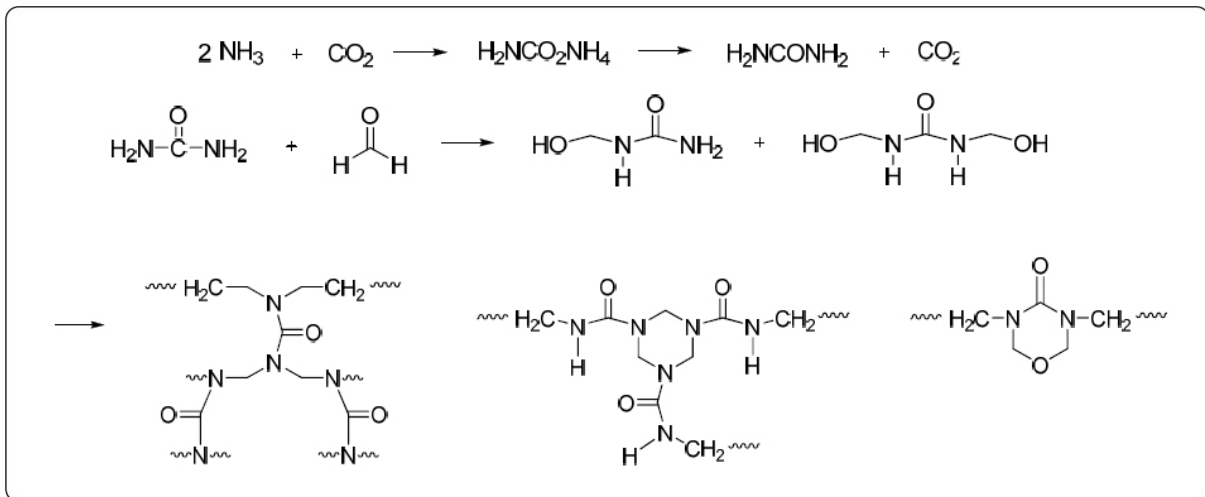
요소수지란 기본 중합체(base polymer) 중 우레아와 포름알데히드의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

요소수지(UF)는 아미노계 수지성형 소재의 대표로서 셀룰로스계 플라스틱, 페놀수지(PF) 다음으로 오랜 역사를 갖는 고분자로 열경화성 수지이며 멜라민수지(MF)를 포함하여 아미노수지라 총칭한다. 1914년 영국, 1920년에 독일에서 개발에 성공하였고, 성형재료로 개발한 요소수지를 ‘비틀(beetle)’이라는 상품명을 붙였다. 1925년 초에 이 원료를 이용하여 다양한 색을 가진 가정용품을 생산해냈고, 영국의 합성수지 가공업자들은 이 새로운 소재를 이용하여 컵, 볼, 소품용기 등 식기류를 제조하였다. 독일에서는 접착제나 도료 등 용도 개발에 주력하였다. 한편 미국에서도 1929년에 American Cyanamids사가 ‘비틀’ 제조법의 특허권을 매수하여, 제조를 시작하였다.

### 3) 중합방법

UF는 PF가 생성하는 경우와 같은 반응형태로 요소와 포름알데히드가 축합되어 생성된다. 포름알데히드의 친핵성 첨가반응<sup>82)</sup>을 통해 메틸올도체(모노메틸올우레아)를 만들고, 다시 요소와의 반응으로 용융점이 높고 물에 녹지 않는 메틸렌디우레아가 생성된다. 메틸렌디우레아는 포름알데히드와 반응하여 모노메틸올메틸렌우레아를 생성하고, 이것은 산성 조건하에서 요소와 반응하여 디메틸렌 트리우레아가 된다. 메틸올우레아를 산성 조건하에서 가열하면 불용·불용의 3차원구조의 요소수지가 형성된다.



### 4) 물리화학적 특성

UF는 열경화성 수지로서, 내용매성은 비교적 강하고 전기절연성이 우수하고 무색투명하므로 임의로 착색시킬 수가 있어 색채가 풍부하고 광택도 좋을 뿐만 아니라 사출성형도 가능하지만 수성, 내노화성 등이 좋지 못하다. 수용성인 초기 축합물에 염류를 넣어주면 상온에서도 경화되고, 펄프를 첨가함으로써 제품의 수축을 방지하여 제품의 기계적 강도를 향상시킬 수 있다. 코팅 시, 요소수지의 경도를 증가시키기 위하여 알키드(alkyd)<sup>83)</sup>에나멜<sup>84)</sup>과 함께 혼합하여 이용되고 있다.

항목	UF
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	0.7
비중	1.5
인장강도 (MPa)	65
신장율 (%)	0.8
마찰계수	0.5~0.6

82) 친핵성 첨가반응: 알데하이드와 키톤의 특유한 반응. 비공유전자쌍을 지니는 원자는 C=O기의 탄소에 결합 하고, 몇몇 다른 화학종(보통은 수소)은 산소에 결합함

83) 알키드: 다가(多價)알코올과 다가산의 축합에 의해 생기는 고분자 물질로 폴리에스터수지에 속함

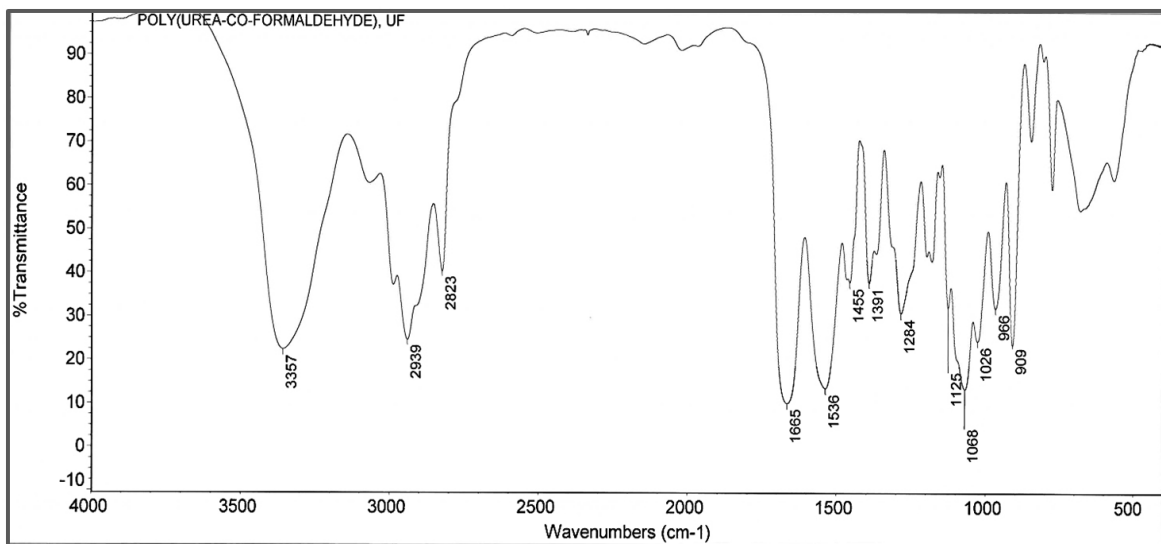
84) 에나멜: 도료의 일종. 에나멜 페인트(enamel paint)이라고도 한다. 기름와니스(수지와 건조유를 가열, 융합하여 건조제를 첨가하고 석유계 용제로 희석한 와니스)에 안료를 넣어서 섞은 것

## 5) 용도

UF는 열경화성 수지의 장점 때문에 식기류, 주방용품 등에 많이 사용된다. 또한 버튼, 화장용기, 식기류, 조명기구, 라디오의 캐비닛 등의 전기부품 및 잡화 일용품, 섬유가공제, 종이가공제, 접착제 등으로 많이 이용되고 있다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

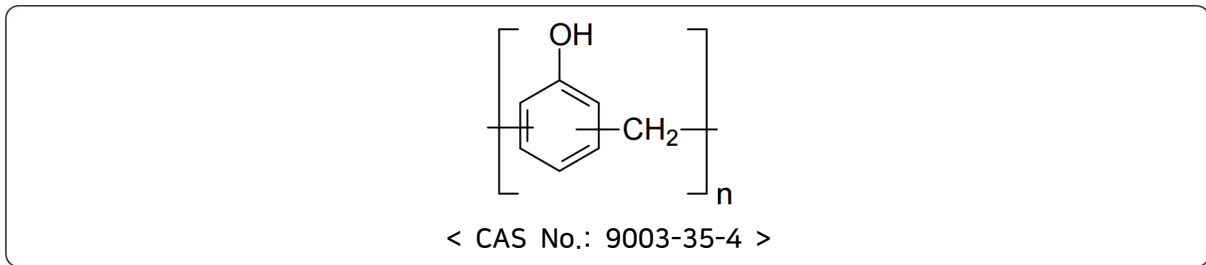
### 【참고문헌】

- [1] Osemeahon, S.A. and Barminas, J.T. eds. (2007). Study of some physical properties of urea formaldehyde and urea proparaldehyde copolymer composite for emulsion paint formulation, *International Journal of Physical Sciences*, 2:169-177.
- [2] Liu, Y.Q., Tian, Y., Zhao, G., Sun, Y., Zhu, F. and Cao, Y. eds. (2008). Synthesis of urea-formaldehyde resin by melt condensation polymerization, *J Polym Res, Springer Science*, 15:501-505.
- [3] Christjanson, P., Pehk, T. and Siimer, K. eds. (2006). Structure formation in urea-formaldehyde resin synthesis, *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 55:212-225.
- [4] Pizzi, A. ed. (2003). *Handbook of Adhesive Technology: Urea-Formaldehyde Adhesives*, 2nd Edition, Taylor & Francis Group, LLC, Florence, USA.

## 다. 페놀수지(phenol-formaldehyde resin : PF)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

Phenolic resin; Phenol, polymer with formaldehyde; Phenol polymer with formaldehyde;  
Phenol resin; Formaldehyde, phenol polymer; Formaldehyde-phenol polymer; Formaldehyde,  
polymer with phenol

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

페놀수지란 기본 중합체(base polymer) 중 페놀과 포름알데히드의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

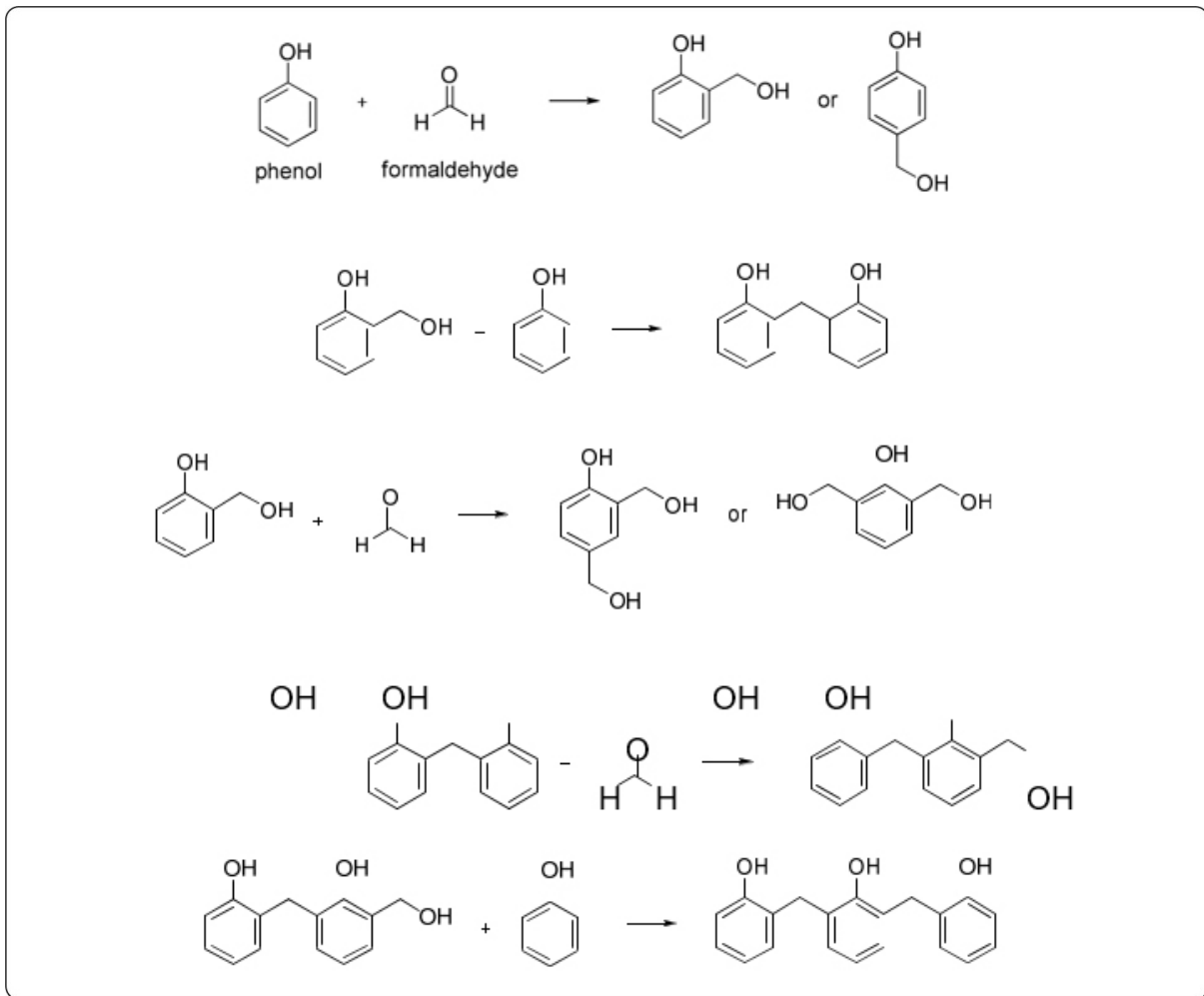
### 2) 개요

페놀수지(PF)는 가장 오랜 역사를 가진 열경화성 수지<sup>85)</sup>로, 1872년 독일의 Bayer사가 페놀과 포름알데히드를 중합하여 처음으로 만들었다. 뒤이어 1907년 미국의 L. H. Baekeland가 PF 성형품 공업화에 성공하였다. 미국에서 처음 만들어졌을 당시 신소재로 불렸으며, 만든 사람의 이름을 따서 베이클라이트라 부르기도 한다. PF는 각종 충전 재료와 용화가 좋아서 필요에 따라 물성의 개선이 가능하다. 물성 개선을 통하여 저렴하면서 동시에 우수한 성질을 갖는 엔지니어링 플라스틱으로 탈바꿈함으로써 자동차 및 각종 산업재 부품, 고부가가치 제품의 부품으로 사용 확대가 예상된다.

85) 열경화성 수지: 열을 가하여 경화 성형하면 다시 열을 가해도 형태가 변하지 않는 수지

### 3) 중합방법

페놀수지는 페놀(phenol)과 포름알데히드(formaldehyde) 등 2가지 이상의 단량체가 결합한 고분자로서, 페놀과 포름알데히드가 축합중합을 통해 생성되는 소재이다. 먼저 페놀의 오쏘(ortho)<sup>86)</sup>위치나 파라(para)<sup>87)</sup>위치에 포름알데히드가 첨가반응을 한 뒤 메틸올 단위가 탈수축합반응을 일으키면서 이웃 페닐기와 결합하게 된다. 포름알데히드는 페놀뿐 아니라 포름알데히드로 이어진 이량체 이상의 분자에도 결합될 수 있으므로 계속되는 첨가반응과 탈수축합반응으로 성장하게 된다.

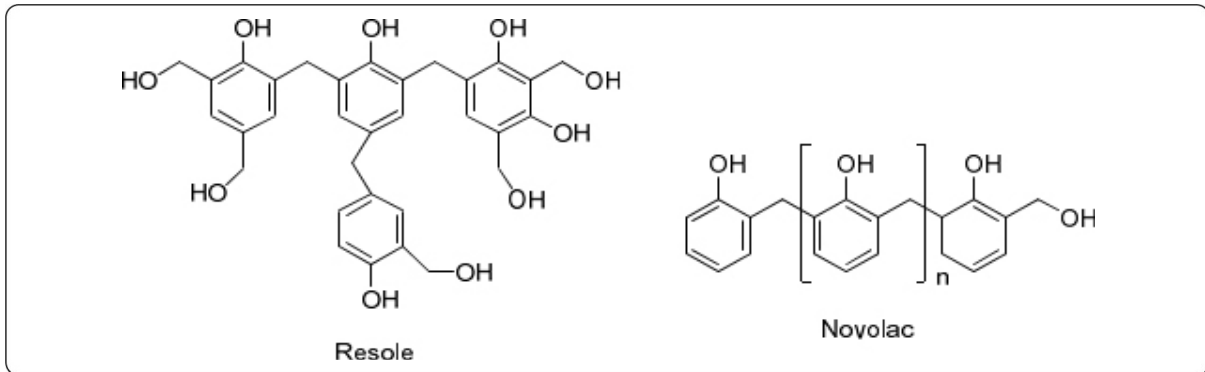


PF는 중합 시 pH 조건에 따른 첨가반응 속도 차이로 인하여 레졸(resole)과 노보락(novolac) 두 가지 다른 형태로 생성된다. 레졸은 알칼리성 촉매 하에서 반응 시 얻게 되며, 메틸올기를 많이 가지고 있는 액체상태의 수지로 130~180℃에서 축합중합이 일어나 열경화성의 특징을 지닌다. 레졸을 A-단계 수지라고 부르며, 경화된 뒤의 수지를 C-단계 수지라고 부른다. 노보락은 페놀과 포름알데히드를 1:0.8 정도의 비율로 혼합한 후 황산과 같은 산성 촉매 하에서 반응시켜서 만든다. 분자량은 1,000 Da 이하이며,

86) 오쏘(ortho): 벤젠의 치환체에서 1,2-체

87) 파라(para): 벤젠의 치환체에서 1,4-체

500~600 Da이 보통이고 고체상태로 얻어진다. 노보락은 메틸올기가 적으므로 축합중합이 잘 일어나지 않아 hexa메틸렌테트라민(hexamethylenetetramine, HMTA)과 같은 경화제를 첨가한 다음, 압축 가열하여 열경화성 수지를 만든다. hexa메틸렌테트라민을 넣은 수지를 B-단계 수지라 하고, 경화된 뒤의 수지를 C-단계 수지라 한다. 이 두 수지의 근본적인 차이점은 pH 조건에서 유발되는데 pH가 높을 경우 첨가반응이 우세하여 메틸올이 많은 구조를 지니게 되며, pH가 낮을 경우에는 축합반응이 우세하게 된다.



#### 4) 물리화학적 특성

PF는 내열성이 뛰어나 장시간 고온에서 사용해도 강도의 유지율이 높고 초고온에서는 표면에 탄화층이 발생하여, 이로 인한 단열효과로 내충을 보호해 직접 불에 접촉하는 용도로도 사용 가능하다. 특히, 고온에서도 강성을 유지하여 크립<sup>88)</sup>하기 힘든 특성을 가진다. 또한, 내열성이 우수하고 강고한 3차원 분자구조를 가지며 친유기가 없으므로 내유·내산성이 우수하다. 고도의 난연성을 가지고 있어서 연소 시 가스발생이 적은 장점이 있다. 아울러 기계적 강도, 기계 가공성, 치수안정성, 전기절연성, 내용제성 등도 우수하고 그 특성과 가격의 균형이 잡혀있기 때문에 꾸준히 사용되고 있다. 단점으로는 원래 황갈색이었던 PF가 공기 중에 장시간 접촉하면 적갈색으로 변색하는 경향이 강하기 때문에 제품의 착색범위에 제한이 있다. 그러나 이 결점은 멜라민수지(MF) 등에 의한 페놀성 수산기의 에테르화, 에스테르화 등에 의하여 상당히 개선할 수가 있다. 경화수지가 충격에 약한 것도 큰 단점이라고 할 수 있는데, 고무나 폴리비닐아세탈, 가소제, 충전재 및 보강재와의 배합을 통해서 크게 개선될 수 있다. 또한, PF는 산에는 강하지만 알칼리에는 약하고 충전재로서 목재나 펄프를 사용한 경우는 내습성이나 내열성이 떨어진다. 노보락 타입의 경우, 가열 시에는 암모니아가 발생할 수 있으므로 암모니아에 의한 불량(금속 접점의 부식, 폴리카보네이트의 깨짐) 등이 생기는 곳에서의 사용은 피해야 한다.

항목	PF
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.40
비중	1.32~1.45
인장강도 (MPa)	50
신장율 (%)	1

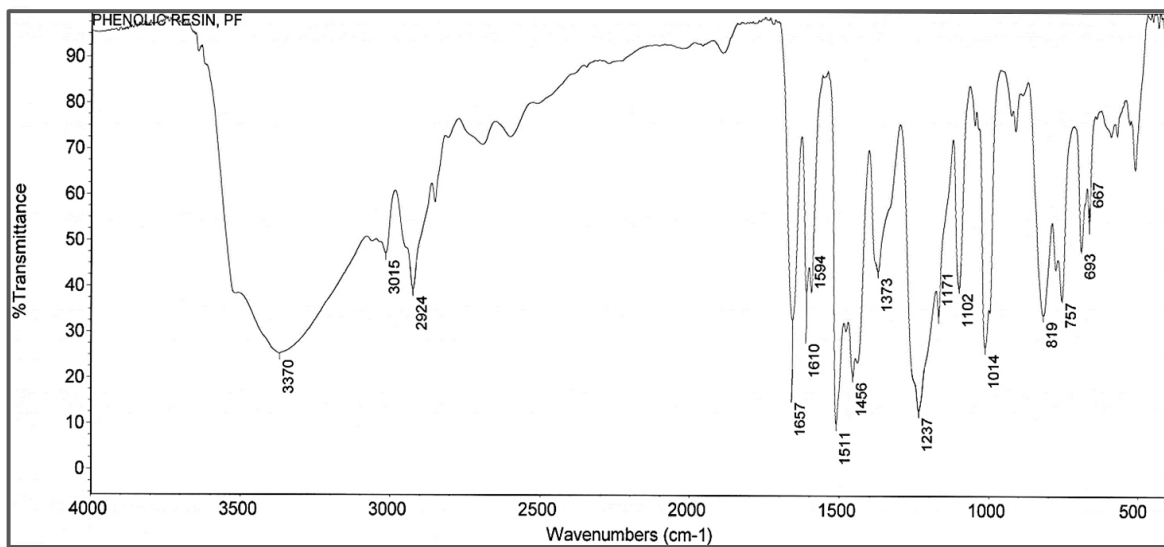
88) 크립: 일정한 크기의 힘이 가해진 때, 시간의 경과와 함께 재료의 변형이 증대하는 현상

## 5) 용도

PF는 접착제, 절연체 전기 및 전자재료, 강화재료 등 광범위하게 사용되고 있으며, 브레이크용 피스톤, 타이밍기어, 그 밖의 자동차 부품으로서의 수요가 급증하고 있다. 식품용 기구 및 포장재로는 금속캔 내면의 코팅제로 이용되고 있으며, 밥그릇, 국그릇과 같은 각종 식기류에 많이 사용된다. 그 밖에 냄비나 프라이팬 등 가열기구의 손잡이, 다리미의 손잡이 등의 가정용품으로서도 널리 이용되고 있다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library



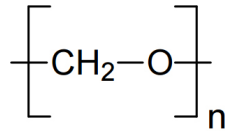
**【참고문헌】**

- [1] The Formaldehyde Council, Inc. (2005). Formaldehyde: A Brief History and Its Contributions to Society and the U.S. and Canadian Economies, <http://www.formaldehyde.org/>
- [2] Mitsunaga, T., Conner, A.H. (2000). Reaction of Formaldehyde with Phenols: A Computational Chemistry Study, Wood Adhesive, South Lake Tahoe, USA, Session 2B:General, 147-153
- [3] Bahramian, A.R., Kokabi, M. (2011). Numerical and Experimental Evaluations of Flammability and pyrolysis of a Resole-based Nanocomposite by Cone Calorimeter, Iranian Polymer Journal, Tehran, Iran, 20, 399-411
- [4] Perez, Z.M., Rodriguez, F., Alonso, M.V., Oliet, M. and Echeverria, J.M. eds. (2007). Locating and estimating air emissions from sources of formaldehyde (revised), BioResources, 2, 270-283.
- [5] Edoga, M.O., Kovo, A.S. (2006). Development and Characterization of Phenol - Formaldehyde Molding Powder, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 8, 41-46.
- [6] Bedino, J.H. (2005). Phenol versus Formaldehyde as an exposure hazard in embalming: myth and reality, the champion company, Springfield, USA, 2670-2679.

## 라. 폴리아세탈(polyacetal, polyoxymethylene(POM))

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9002-81-7 >

#### 나) 명칭

Polyformaldehyde; Poly(oxymethylene); 1,3,5-trioxane, homopolymer; Formaldehyde polymer; Poly(1,3,4-trioxane); Polymethanal; Polymethylene oxide; Polytrioxane

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리아세탈이란 기본 중합체(base polymer) 중 포름알데히드와 트리옥시메틸렌의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

폴리아세탈(POM)은 IUPAC의 명명법에 따르면 폴리 옥시메틸렌(polyoxymethylene)으로 부른다. 포름알데히드(CH<sub>2</sub>O)와 트리옥산(CH<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>을 중합(重合)하여 제조하는 유백색, 불투명한 열가소성 수지로, 1953년 미국의 듀폰사에서 처음 개발하여 1958년 공업화되었으며, 고강성이고 마찰력이 낮아서 치수안정성이 요구되는 부분에 주로 사용된다.

### 3) 중합방법

POM은 고리형 포름알데히드 화합물을 중합시켜서 얻는 열가소성 수지로, 70% 이상의 결정성을 갖는 엔지니어링 플라스틱이다. POM은 구조에 따라 크게 반복 단위가 옥시메틸렌(oxymethylene)으로 이루어진 단일중합체와 반복 단위 중에 옥시메틸렌(oxymethylene)이 소량 첨가된 공중합체 두 종류로 나누어진다. POM의 단일중합체와 공중합체는 단순히 구조적인 차이 이외에도 중합의 원료인 단량체, 중합방법, 제조단계가 다르다. POM은 음이온, 양이온 및 축중합을 통해 만들 수 있다. 실제 상업적인 공정에서는 음이온, 양이온 중합이 사용되며 POM의 형태에 따라 선택적으로 사용된다. 공중합체의 POM은 양이온 중합을 통해 제조된다. 개시제는 루이스산(Lewis acid)을 사용하며 대표적인 물질로는 보론트리플루오라이드(Borontrifluoride, BF<sub>3</sub>)가 사용된다. 양이온 중합은 개시제와 트리옥산이 반응하여 일어난 개환반응으로 진행되며 포름알데히드가 생성되면서 개시반응이 일어난다. 개시반응은 전체 중합

반응의 유도 기간에 해당하여 중합물의 생성은 아직 이루어지지 않는 단계이다. 개시반응에 이어 연쇄성장 반응이 일어나는데, 개시반응을 통해 생성된 활성화 쌍성이온(zwitter ion)<sup>89)</sup>올리고머에 트리옥산이 부가되며 진행된다. 이렇듯 부가된 트리옥산의 개환에 의해 중합의 연쇄반응이 일어나며 고분자 사슬로 성장한다. 중합반응은 매우 빠르게 벌크 중합으로 진행되기 때문에 반응과 함께 고분자의 석출이 이루어진다. 이와 비교하여 단일중합체는 포름알데히드를 사용하여 음이온 중합에 의해 제조된다. 마지막으로 중합을 종료한 뒤 첨가제, 안정제 등을 투입하여 용융 안정성을 개선한다. 포름알데히드의 중합반응 말기에 말단기의 헤미아세탈(hemiacetal,  $-CH_2OH$ )과 반응할 수 있는 아세트산 무수물 등의 말단 봉쇄제를 투입하여 에테르화 반응을 통해 안정화시킨다.

#### 4) 물리화학적 특성

POM은 내피로성<sup>90)</sup>, 휘어짐 저항성, 마찰과 마모 저항성, 우수한 화학적 저항성, 장기간 치수안정성이 우수하다. 특히 크립(Creep)<sup>91)</sup> 특성이 우수해서 고온에서 장시간 응력을 받는 부품의 재료에 사용된다. 또한 화학제품에 대한 내약품성이 우수하며, 각종 용매에 대하여 팽윤, 흡수가 작은 특성을 보유하고 있어서 자동차의 연료 계통 부품에 사용된다. 단일중합체와 공중합체의 기계적 물성을 비교하면, 분자구조의 규칙성, 고결정화도의 요인에 의해 단일중합체는 강도, 탄성률 등의 물성이 공중합체보다 높다. 반면에 공중합체는 신율이 상대적으로 크게 나타난다. 또한 용융점, 열변형온도는 단일중합체가 약 10°C 높다. 그밖에 단기적인 기계적 강도 및 열적 특성은 단일중합체가 높게 나타나고, 장기적인 특성인 휘어짐과 피로성에 대한 물성은 공중합체가 우수하다. 또한 뜨거운 물, 연료, 알칼리에 대한 내화학성도 공중합체가 우수하게 나타나며 산에 대한 내화학성은 구조와 관계없이 모두 취약하다. 가공 특성의 측면에서는 현저하게 차이가 있는데, 기본적으로 단일중합체가 열적으로 안정성이 떨어지고, 용융온도도 높아 가공 온도도의 범위도 좁은 단점을 나타낸다. 특히 각종 충전제, 첨가제에 대한 상용성이 떨어지는 단점으로 인해 물성의 개선, 소재의 다양화 측면에서 보면 단일중합체가 불리하다.

POM이 다른 고분자와 다른 특징 중의 하나는 높은 결정화도이다. 공중합체는 약 70%의 결정화도를 보유하며 단일중합체는 구조 규칙성으로 좀 더 높은 결정화도를 보인다. 고온에서 장기간 평가한 장기내열성을 조사한 결과를 보면, 공중합체가 단일중합체보다 우수한 특성을 갖는다.

89) 쌍성이온: 음전기와 양전기를 띤 이온

90) 내피로성: 재료에 반복응력을 작용시켜도 쉽게 파괴되지 않는 성질

91) 크립(Creep): 물체가 일정한 변형력 아래서 시간의 흐름에 따라 천천히 변형하여 가는 현상

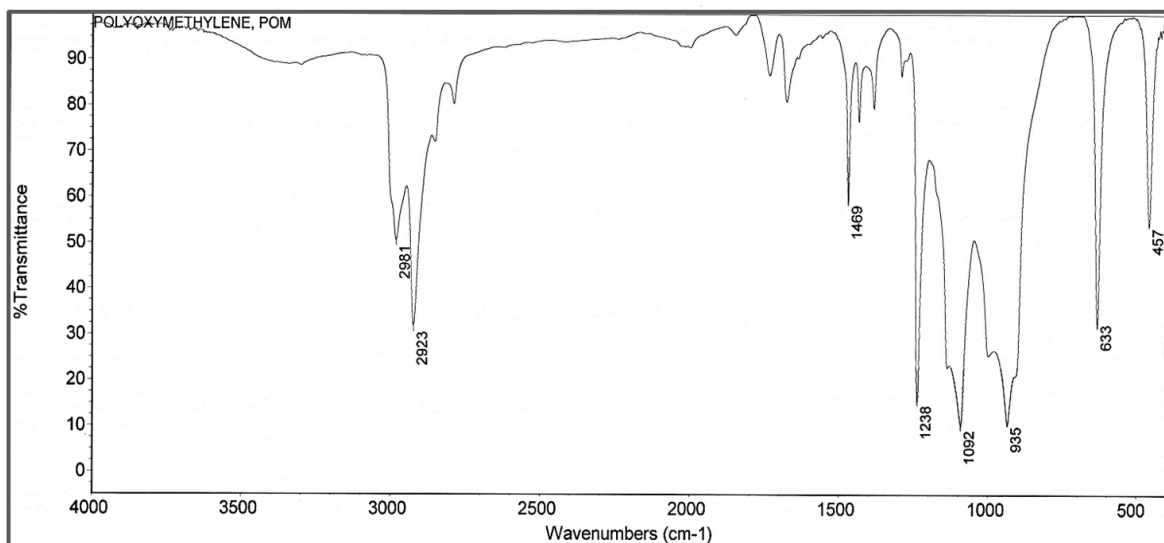
항목	POM
T <sub>g</sub> (°C)	-30
T <sub>m</sub> (°C)	183
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.41~1.42
비중	1.39
인장강도 (MPa)	60~70
신장율 (%)	25~75
마찰계수	0.11~0.46
열전도율 (W/(m·k))	0.23~0.3
용해도 (J/mL) <sup>1/2</sup>	11.1

## 5) 용도

POM의 주요 적용 분야는 자동차, 전기전자, 산업용 부품, 잡화품 등이 있으며 최근에는 자동차 산업의 확대로 자동차 분야로의 사용량이 증가하고 있다. 자동차 분야 내에서도 내연료성이 필요한 연료 계통의 부품, 내마찰마모 특성과 크립특성이 필요한 창문 조절장치 부품에 많이 이용된다. 그 외에도 자동차의 공조 분야, 도어 계통의 부품 등 다양한 용도에 사용된다. 전기전자 분야는 복사기, 레이저 프린터의 기어류 부품에 많이 사용된다. 산업용 분야의 용도로는 배관용 부품, 컨베이어 벨트 부품, 양변기 부품 등이 있으며, 에어로졸(aerosole)<sup>92)</sup> 제품이나 음료수 등의 포장재로도 사용되고 있다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

92) 에어로졸(aerosole): 기체 중에 분산되어 떠도는 고체 또는 액체의 미립자

**【참고문헌】**

- [1] Michel B. (2007). Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users, 1st, Elsevier Ltd. Burlington, UK, 452-461
- [2] Hans-Georg E. (1984). Macromolecules: Synthesis, materials, and technology, 2th, Springer, Michigan, USA, 935, 953

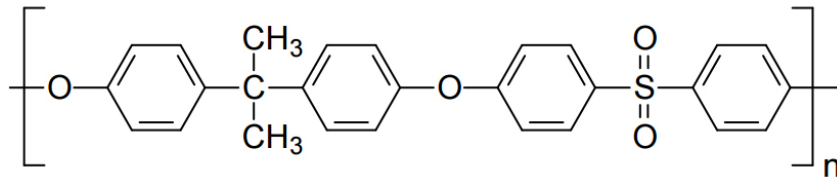
## 7 에테르계

에테르 결합(-R-O-R')을 주사슬로 하는 선상 고분자중합체를 말한다.

### 가. 폴리아릴설펜(polyarylsulfone : PASF)

#### 1) 기본정보

##### 가) 화학구조



< CAS No.: 25135-51-7, 25154-01-2 >

##### 나) 명칭

polyarylsulfone; PASF; poly(oxy-p-phenylenesulfonyl-p-phenyleneoxy-p-phenyleneisopropylidene-p-phenylene); 4,4'-bisfluorophenyl sulfone-bisphenol A copolymer; 4,4'-dichlorodiphenyl sulfone-diphenylolpropane disodium salt copolymer; 4,4'-dichlorodiphenyl sulfone-diphenylolpropane polymer; bis(4-chlorophenyl) sulfone-2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane copolymer; bis(4-chlorophenyl) sulfone-bisphenol A copolymer; bis(p-fluorophenyl) sulfone-bisphenol A polymer; bisphenol A disodium salt-4,4'-dichlorodiphenyl sulfone copolymer; bisphenol A polysulfone; bisphenol A-4,4'-dichlorodiphenyl sulfone polymer; bisphenol A-4,4'-difluorodiphenyl sulfone copolymer; bisphenol A-4,4'-dihydroxydiphenyl sulfone polymer; bisphenol A-4,4'-sulfonyldiphenol polymer; bisphenol A-bis(4-chlorophenyl) sulfone copolymer; bisphenol A-bis(p-chlorophenyl) sulfone polymer; bisphenol A-p,p'-dichlorodiphenyl sulfone copolymer; bisphenol A-p-chlorophenyl sulfone copolymer; bisphenol A-p-dichlorodiphenylsulfone copolymer

##### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

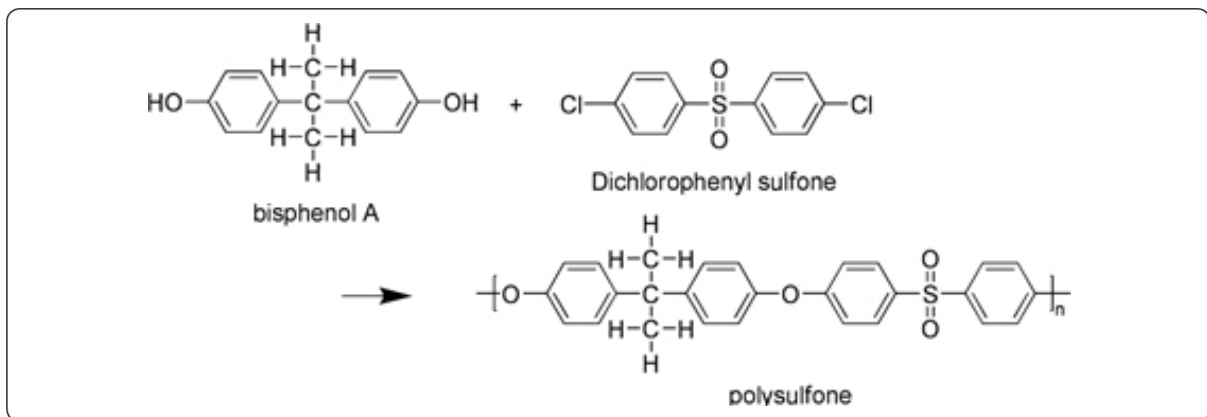
폴리아릴설펜이란 기본 중합체(base polymer) 중 4,4'-디클로로디페닐설펜과 비스페놀 A의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

## 2) 개요

합성수지제 중 폴리아릴설폰(PASF) 재질은 엔지니어링 합성수지제 중의 하나로 1960년 미국의 UCC, ICI, 3M사에서 거의 동일한 시기에 개발되어 1965년 UCC사에서 Udel이란 상품명으로 최초로 출시되었다. 최근 PASF의 전체 시장동향을 100%로 봤을 때 각 응용분야는 전기/ 전자 16%, 자동차 19%, 의학 20%, 가전/식품 16%, 엔지니어링 10%, 기타 19%를 차지한다. 또한 PASF 같은 비결정 고장력(High-tension, HT) 열가소성 소재의 세계적인 수요는 50,000톤을 상회하며 2020년에는 100,000톤을 초과할 것으로 예상된다.

## 3) 중합방법

PASF은 4,4-디클로로디페닐설폰과 비스페놀 A의 공중합체이며, 벤젠고리가  $-SO_2-$ ,  $-O-$ ,  $-C(CH_3)_2-$ 와 공유결합으로 연결된 형태의 구조를 가진 고분자로 아래의 과정을 거쳐 제조된다.



## 4) 물리화학적 특성

PASF은 유리전이온도가 210℃로 비교적 높아 내열성이 우수하다. 내열수성이 좋아 140℃의 고온 스팀에서 3분간 약 1,000회 반복 사용하여도 물성의 변화가 거의 없는 것으로 알려져 있고, 수치안정성 또한 매우 우수하다.

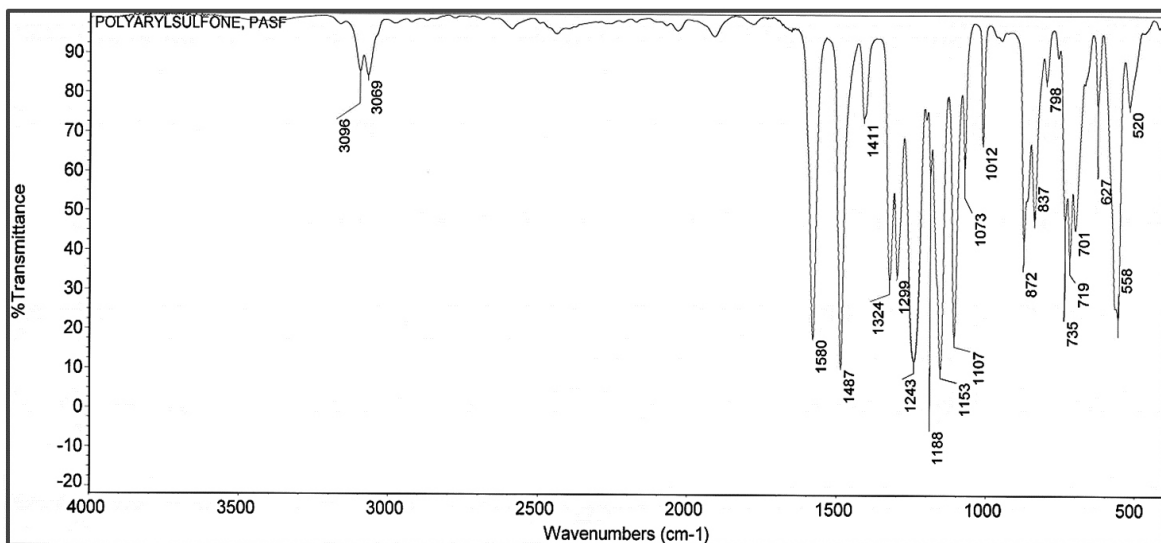
항목	PASF
$T_g$ (°C)	210
$T_m$ (°C)	330~350
비중	1.37
인장강도 (MPa)	62.1~100.6
신장율 (%)	6.500
열전도율 (W/(m·k))	0.19

## 5) 용도

PASF은 고온과 저온 안정성이 뛰어나기 때문에 이런 특성을 이용하여 높은 열처리 기구나 전기, 전자 기기부품, 자동차 부품, 항공기, 우주선 부품 등에 응용되고 있다. 또 내열수성과 위생성이 우수하므로 식품 분야와 식품산업기기 분야 등에도 사용되고 있다. 식품 용기로는 열적 성질이 우수하여 각종 막의 재료, 전자렌지용 식기나 커피메이커 등에 사용되고 유아용 젓병이나 주스컵, 식판으로 사용되고 있다. 또 자외선 살균 이외의 모든 살균법을 사용할 수 있으므로 유리나 강철대안으로 의료기기로서 사용되고 있다. 가사 도구로서 후라이팬의 코팅제로 주로 폴리테트라 플루오로에틸렌(PTFE)이 사용되는데, 이는 금속보다 PASF에 잘 부착되므로 가정용품에서 비접착층과 강철의 접착을 위해 커플링제로 폴리에테르술폰이 쓰인다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

### 【참고문헌】

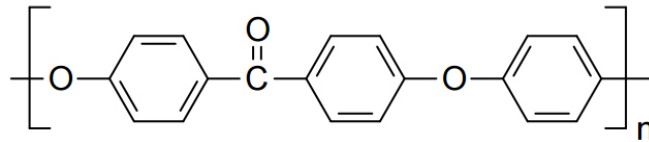
- [1] Charles A. Harper. (2006). Handbook of Plastics Technology: The Complete Guide to Propertis and Performance, Charles Harper, 51
- [2] Dominick V. Rosato, Donald V. Rosato, Matthew V. Rosato. (2004). Plastic product material and process selection handbook, Biddles Ltd, 823



## 나. 폴리에테르에테르케톤(polyetheretherketone : PEEK)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 31694-16-3 >

#### 나) 명칭

polyetheretherketone; PEEK; poly(oxy-1,4-phenyleneoxy-1,4-phenylenecarbonyl-1,4-phenylene); 1,4-diphenoxybenzene-phosgene copolymer; poly(oxy-p-phenyleneoxy-p-phenylenecarbonyl-p-phenylene); bis(4-chlorophenyl) ketone-hydroquinone copolymer; 4,4'-dichlorobenzophenone-p-dihydroxybenzene copolymer; 4,4'-difluorobenzophenone-hydroquinone copolymer; 4,4'-dichlorobenzophenone-hydroquinone copolymer;

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리에테르에테르케톤이란 기본 중합체(base polymer) 중 4,4'-디할로겐화디페닐케톤과 히드로퀴논의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지체를 말한다.

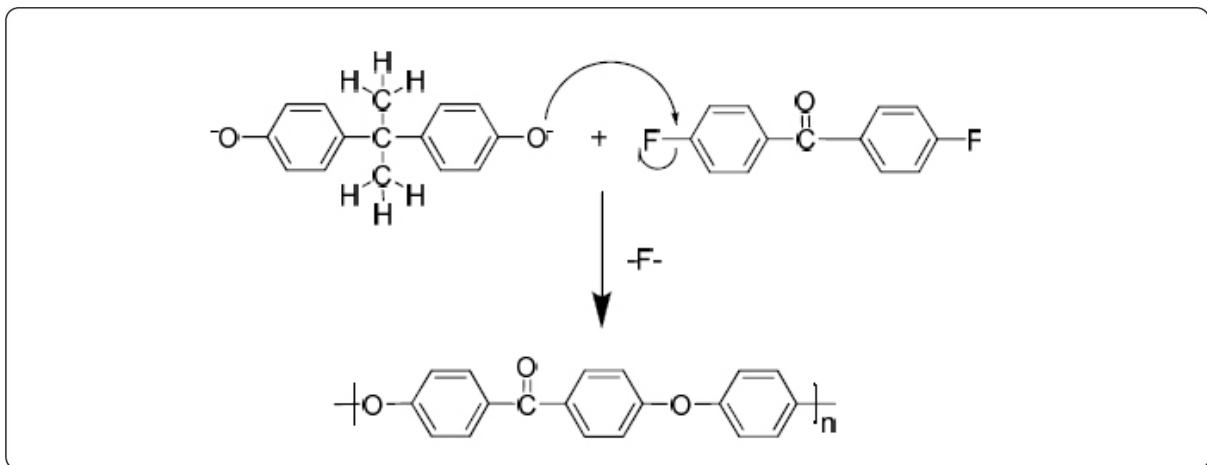
### 2) 개요

1980년 영국의 ICI사가 처음으로 판매한 PEEK는 내열성이 특히 뛰어난 반결정성 열가소성 수지로, 연속 사용온도는 240°C 정도이고 유리섬유 등으로 강화하면 300°C 정도로, 내열성은 폴리이미드(PI)에 미치지 못하지만, PI와 다르게 고온 가열하면 녹기 때문에 다른 수지와 마찬가지로 쉽게 성형 가공할 수 있어서 생산비 면에서는 PI보다 유리하다.

최근 세계 시장은 군사나 항공우주산업과 같은 대규모 용도가 존재하는 구미지역이 전체 수요의 80% 이상을 차지하고 있고, 일본 이외의 아시아 지역 시장은 아직 소규모이나, 일본에서 엔진 부품의 성능 향상과 경량화를 꾀하기 위해 엔진 부품을 대체하는 재료로서 PEEK를 이용하는 경향이 높아지고 있다.

### 3) 중합방법

PEEK는 첨가·제거 중합법으로 만들어진다. 첨가·제거 중합은 전자를 받아 음이온을 가진 그룹으로 인해 발생되며 두 단계로 진행된다. 중간체에 있는 음이온은 공명에 의해 벤젠고리 안 및 케톤으로 퍼져나간다. 산소 원자에 전자가 있는 공명 형태일 때 카보닐 첨가·제거가 일어날 수 있다. 처음 시작되는 공격이 속도를 조절하는 단계이다. 불소는 작고 전기음성도가 크기 때문에 다른 할로겐족<sup>93)</sup>원소보다 탈리기<sup>94)</sup>로서의 역할을 더 잘 할 수 있다. 이것은 하나의 단계로 진행되는 SN2 반응<sup>95)</sup>에서 나머지 더 큰 할로겐 원소(Cl, Br, I)들이 선호되는 것과 대조된다. 이러한 중합과정을 통해 PEEK를 형성하기 위해서는 비스페놀레이트가 디플루오르벤코페논과 반응하게 된다. 여기서도 역시 불소가 탈리기로 사용되지만 염소가 사용되는 합성에 비해 비싸다는 단점이 있다. 대부분의 PEEK는 비스페놀 A로부터 만들어지며, 이렇게 만들어진 PEEK는 높은 결정성을 갖고 열적 안정성을 갖게 되며 많은 화학약품에 대한 내성을 갖는다.



### 4) 물리화학적 특성

PEEK는 열가소성의 고기능 플라스틱 재료로서 모든 산업 분야에서 매우 효과적인 기능을 발휘하고 있다. PEEK는 모든 일반 용매에 녹지 않는 준 결정성 수지로 다양한 무기 및 유기화합물에 대해 탁월한 안전성을 보인다. 또한 광범위한 조건에서 유효성이 매우 뛰어나며, 특히, 기름 및 그리스의 공급이 없는 상태에서도 자기유효성이 우수하고 내마모성도 탁월하다. 250℃에서 연속으로 사용할 수 있으며 300℃에서도 높은 기계적 물성을 유지한다. 고온(200℃)에서 전기절연성 유전율 및 체적고유저항<sup>96)</sup> 등 전기적 특성이 우수하다. 따라서 사출성형, 압축성형 및 파워코딩이 가능하며 대량제품은 물론 다품종 소량 제품생산에도 매우 유리하다. 또한 탁월한 고온 내수성을 보유해서 250℃ 이상의 수증기 또는 높은 수압에서 다른 물성의 변화 없이 사용되며,  $\gamma$ -ray 방사성 영역에서도 물성 변화 없이 사용 가능하다.

93) 할로겐족: 원소 주기율표 제17족의 이름

94) 탈리기: 치환반응 또는 탈리반응에 의해 반응기질에서 떨어져나가기 쉬운 원자 또는 원자단

95) SN2 반응: 치환반응의 한 종류

96) 물질의 전기저항의 한 종류로 시료내부의 고유저항 즉, 체적저항을 단위체적 당으로 환산한 값

항목	PEEK
$T_g$ (°C)	177
$T_m$ (°C)	334
밀도 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	1.32
비중	1.32
인장강도 (MPa)	92
신장율 (%)	50
마찰계수	0.18
열전도율 ( $W/(m \cdot k)$ )	0.25

## 5) 용도

PEEK는 주요 특성과 같이 우수한 물성을 반영하여 여러 산업에서 사용되고 있다. 계측기기 부품, 각종 정밀부품, 각종 식품 가공라인, 반도체 제조 관련설비, 도금가공 기기 관련부품, 금속 표면처리 관련설비, 원자력 관련설비, 반도체 제조 관련설비, 절연재, 자동차 부품, 항공기 부품, 각종 제조라인용 부품, 열수 및 스팀용 밸브·펌프·배관 등의 부품이 그 예다. 또한 다음과 같이 성형 방법에 따라 그 용도가 분리된다.

- 압출성형<sup>97)</sup>: 전선피복, 필름, 튜브, 모노필라멘트
- 사출성형: 항공기용 커넥터, 다이빙플레이트, 자동차엔진부품, 베어링 열수미터부품, 열수 펌프
- 압축성형<sup>98)</sup>: 탄소섬유컴포지트
- 정전도장<sup>99)</sup>: 내열수코팅
- 회전성형<sup>100)</sup>: 대형성형품

또한 PEEK를 도료화 및 분말화하여 금속재료 등에 스프레이 코팅 및 일렉트로스태틱 스프레이 코팅법 등을 이용하여 전처리 과정 및 건조, 가열, 소성의 공정으로 뛰어난 내마모성, 스크래치 저항성, 내열, 내화학성 및 탁월한 내방사성의 고유 특성을 얻기도 하는데, 이러한 방법으로 식품용 포장재에 응용하기도 한다.

97) 압출성형: 원료를 압출성형기에 공급하고 금형(金型)에서 밀어내어 일정한 모양의 단면을 가진 연속체로 변환시키는 성형법

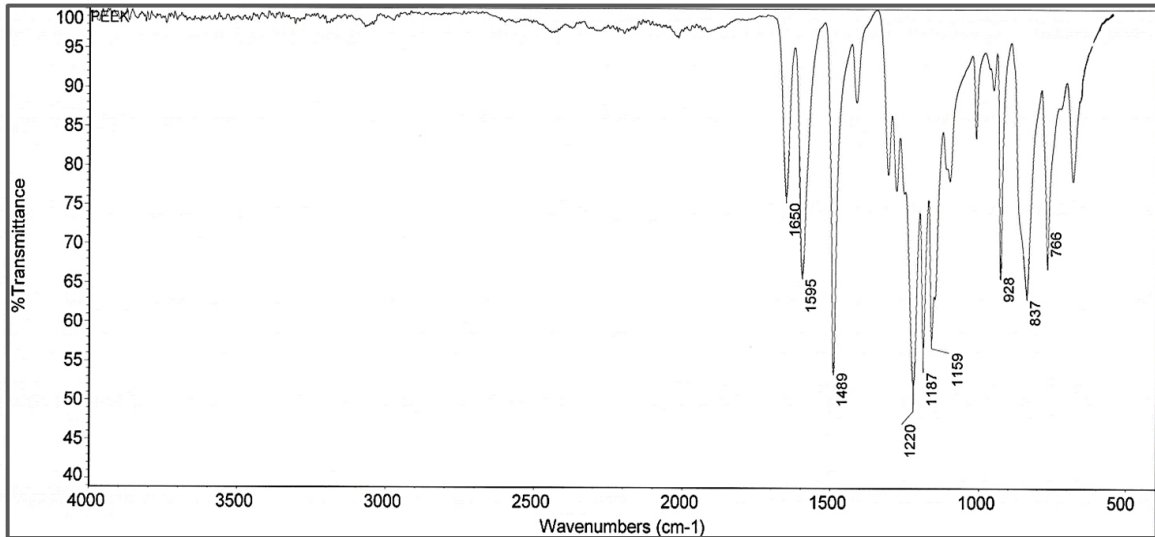
98) 압축성형: 성형 재료를 금형(mold) 의 캐비티(cavity)에 넣고 압력과 열을 가하여 자동 또는 수동 프레스로 성형하는 방법

99) 정전도장: 정전기(靜電氣)를 이용하여 모양이 복잡한 것이나 넓은 면적에 고르게 도료를 칠하는 방법

100) 회전성형: 회전할 수 있는 금형에 분말상 열가소성 플라스틱재료를 투입하는 동시에 가열로 내에 가열하며 고속 회전하는 금형의 벽을 통하여서 부열로서 용융상태로 된 열가소성 플라스틱 재료는 고속회전에 의한 원심력으로 금형내부에 압부되어 성형

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

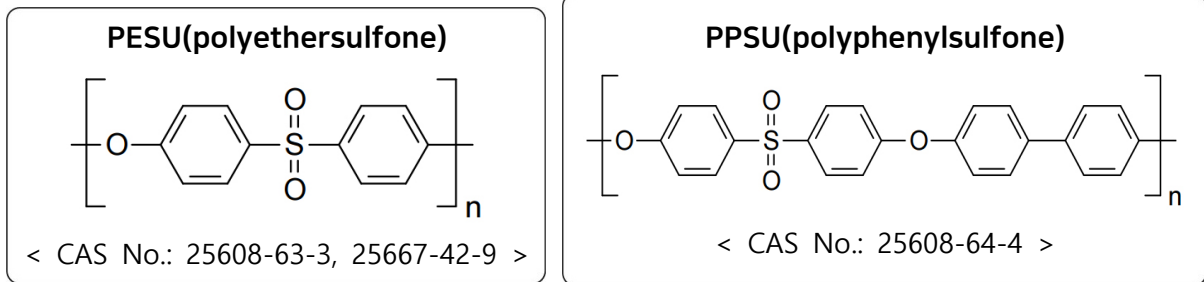
### 【참고문헌】

- [1] David Kemmish. (2010). "Update on the Technology and Applications of PolyArylEtherKetones".
- [2] David Parker, Jan Bussink, Hendrik T. van de Grampe, Gary W. Wheatley, Ernst-Ulrich Dorf, Edgar Ostlinning, Klaus Reinking. (2002). "Polymers, High-Temperature" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim.
- [3] A.K. van der Vegt & L.E. Govaert, Polymeren, van keten tot kunstof,
- [4] Anonymous. "Surgical Technologies; MedShape Solutions, Inc. Announces First FDA-cleared Shape Memory PEEK Device; Closing of \$10M Equity Offering". Medical Letter on the CDC & FDA.

## 다. 폴리에테르설폰(poly(ether sulfone) : PES)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

PESU: Phenol, 4,4'-sulfonylbis-, polymer with 1,1'-sulfonylbis[4-chlorobenzene]; 4,4'-sulfonylbisphenol polymer with 1,1'-sulfonylbis[4-chlorobenzene]; 4,4'-Dichloro diphenyl sulfone-4,4'-dihydroxydiphenyl sulfone copolymer; 4,4'-Dichlorodiphenyl sulfone-4,4'-sulfonyldiphenol copolymer; 4,4'-sulfonylbisphenol-4,4'-sulfonylbis(chlorobenzene) copolymer; Bis(4-chlorophenyl) sulfone-bis(4-hydroxyphenyl) sulfone copolymer; Bis(4-chlorophenyl)sulfone-4,4'-sulfonyldiphenol copolymer; Bis(4-hydroxyphenyl)sulfone-4,4'- dichlorodiphenyl sulfone copolymer; Bis(4-hydroxyphenyl)sulfone-bis(4-chlorophenyl) sulfone copolymer; Bis(p-chlorophenyl) sulfone-4,4'-sulfonyldiphenol polymer; Bisphenol S-4,4'-dichlorodiphenyl sulfone polymer; Phenol, 4,4'-sulfonyldi-, polymer with bis(p-chlorophenyl) sulfone; Poly(oxy-1,4-phenylenesulfonyl-1,4-phenylene)-a- hydro-w-hydroxy

PPSU: [1,1'-biphenyl]-4,4'-diol, polymer with 1,1'-sulfonylbis[4-chlorobenzene]; 4,4'-biphenol-4,4'-dichlorodiphenyl sulfone copolymer; 4,4'-biphenol-4,4'-dichlorodiphenyl sulfone polymer; 4,4'-Biphenyldiol, polymer with bis(p-chlorophenyl) sulfone; 4,4'-dihydroxy biphenyl-4,4'-dichlorodiphenyl sulfone copolymer; biphenyl-4,4'-diol-bis(4-chlorophenyl) sulfone copolymer; bis(4-chlorophenyl) sulfone-4,4'-dihydroxydiphenyl copolymer; bis(4-chlorophenyl)sulfone-4,4'-dihydroxybiphenyl copolymer; p,p'-biphenol-4,4'-dichloro diphenyl sulfone copolymer; polyphenylsulfone

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리에테르설폰이란 기본 중합체(base polymer) 중 4,4'-디히드록시디페닐설폰 또는 4,4'-디히드록시비페닐과 4,4'-디클로로디페닐설폰의 중합물질의 함유율이 50% 이상으로, 비스페놀 A의 중합물질이 사용되지 않은 합성수지제를 말한다.

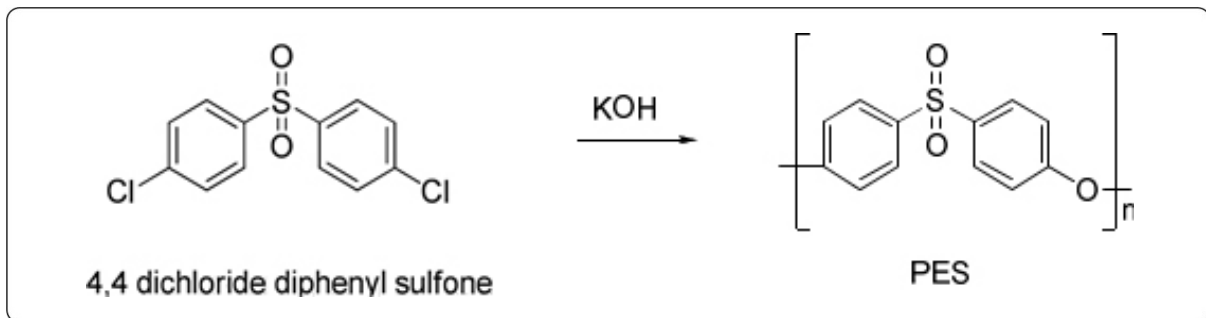
## 2) 개요

폴리에테르설펜(PES)은 옅은 호박색의 투명한 고성능 열가소성 플라스틱으로 영국 ICI사가 개발한 고내열성 엔지니어링 플라스틱이다. 플라스틱 중에서 테프론(Teflon)에 다음가는 내열성을 가지며, 비결정성 고분자로 고온에서 기계적 강도가 뛰어나다. 그러나 여러 영역에서 쓰이기는 하지만 원료가 너무 비싸서 폴리카보네이트(PC) 같은 수지를 대체하는 등의 특수한 용도에서 주로 사용된다.

PES는 폴리에테르설펜(poly(ethersulfone))의 약어로 PESU라고도 하며, PESU는 PES와 동일한 재료로 본다. 또한 PPSU는 폴리페닐설펜(poly(phenylsulfone))의 약어로 PES의 일종으로 PES 재료로 분류하고 있다.

## 3) 중합방법

PES는 친핵성 방향족 치환제와 방향족 디할라이드, 그리고 비스페놀레이트 염을 사용하여 중축합한다. 중축합이란 고분자 합성 반응의 일종으로 축합중합이라고도 하는데, 축합반응의 반복에 의한 중합체(축합중합체) 생성반응을 말한다. 고중합과는 달리 반응형식은 축차반응(축차중합)<sup>101)</sup>에 속한다. 축중합에 따라 폴리아미드(PA), 폴리이미드(PI), 페놀수지(PF), 멜라닌수지(MF) 등 대부분의 고분자 물질이 제조되고 있다. 단위체가 결합할 때 H<sub>2</sub>O와 같은 간단한 분자가 빠져나온다. 중합 원료로 4,4'-디클로로디페닐설펜이나 4,4'-디히드록시디페닐설펜, 그리고 KOH가 사용되고 이 들 반응에 의해 PES가 합성된다.



## 4) 물리화학적 특성

PES는 비정성이기 때문에 온도상승에 의한 물성 저하는 적다. 특히, 굴곡 탄성률의 온도 의존성이 대단히 작아 -100~200°C에서는 거의 변하지 않는다, 100°C 이상에서의 굴곡 탄성률은 열가소성 수지 중에서는 최고의 부류에 속한다. 하중 왜곡 온도는 200~220°C이고, 또한 연속 사용 온도는 UL 규격에서 180°C(유리섬유 강화계는 190°C)가 인정되어 있다. 또, 유리 전이점은 225°C이고, H종의 절연 재료로 널리 사용되고, 솔더(solder) 내열(260°C, 1~3초)에도 견딘다.

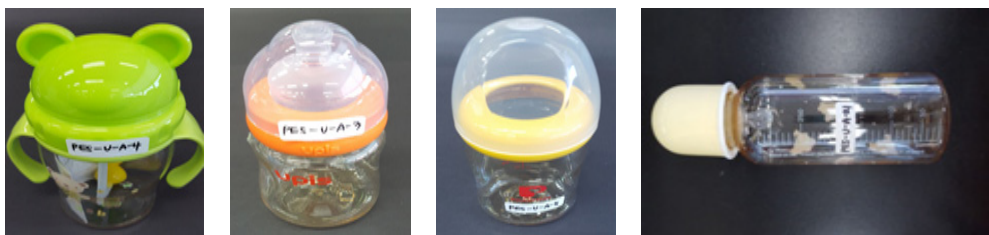
101) 둘 이상의 특성기를 지니는 단량체들이 화학반응에 의해 이합체, 삼합체, 더 긴 올리고머, 마지막으로 긴 사슬의 중합체를 차례로 만드는 중합반응

PES가 가지는 180℃까지의 내크립성은 열가소성 수지 중에 가장 우수하며, 150~160℃의 열수나 스팀에 잘 견딘다. 농류산이나 농초산을 제외한 산이나 알칼리에는 고온하에서도 침투되지 않고, 기름류, 가솔린, 그리스(grease), 알코올류, 세정제 등에 내성을 보인다. 내스트레스크래킹성은 비정성 수지 중 가장 우수하고 자기 소화성이 있으므로 난연제를 첨가하지 않고도 UL 94 V-0을 0.46mm 두께(유리섬유 강화계는 0.43mm두께)로 승인되어 있다. 또한, 연소 시의 발열량은 플라스틱 중에서 가장 적은 편이다.

항목	PES
T <sub>g</sub> (°C)	225
T <sub>m</sub> (°C)	225
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.37
비중	1.37
인장강도 (MPa)	70~95
신장율 (%)	50
열전도율 (W/(m·k))	0.13~0.18
용해도 (J/mL) <sup>1/2</sup>	24.20

## 5) 용도

PES는 자기소화성<sup>102)</sup>이 있고 내후성<sup>103)</sup>, 흡수성, 투명성, 내스팀성<sup>104)</sup>, 내크립성 등의 성질들을 보인다. 전기전자 분야에서 커넥터, 프린터 기관, 집적회로용 소켓(socket), 투명전극용 박막, 스피커용 진동판, 코일보빈 등에 사용되고, 식품·의약공업 분야에서는 외과용 컨테이너, 식품공업용 파이프, 혈액검사 장치부품 등에 사용된다. 기타분야로 분석용 셀, 기계의 팔(arm), 온수기 부품, 열수 라이프, 항공기 창틀, 베어링, 자동변속기어 등에 사용된다.



〈 유아용 젖병 〉

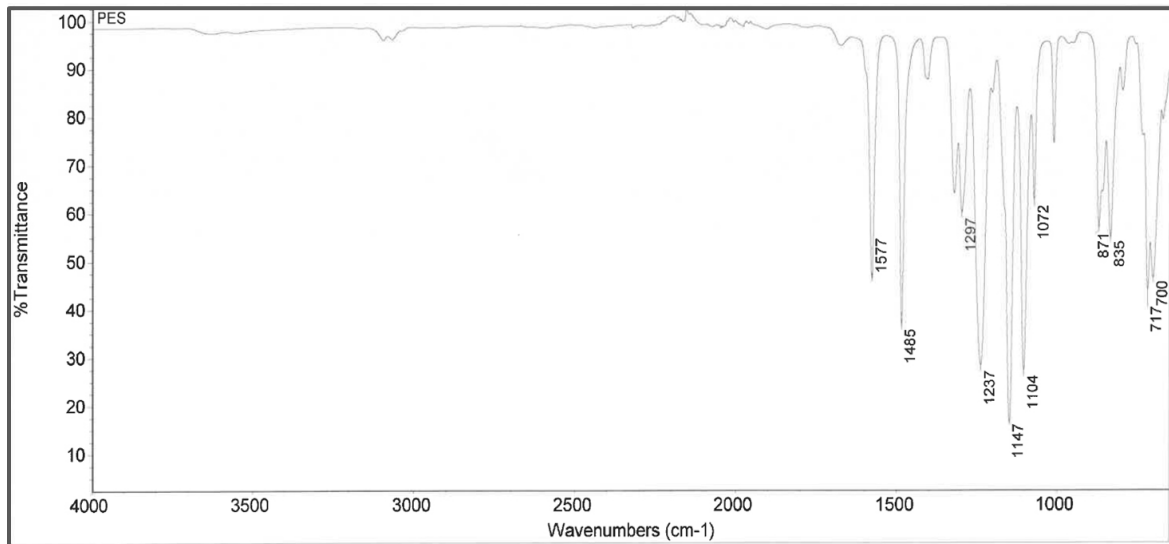
102) 자연히 불이 꺼져버리는 성질

103) 실외의 광, 비바람, 기온, 건습, 한난 등의 자연적 장애에 견디는 성질

104) 장시간 스팀에 접촉하여도 물성 변화가 거의 일어나지 않음

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

### 【참고문헌】

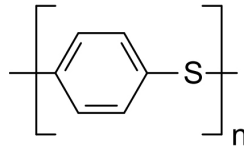
- [1] Jim Lesko. (2008). Industrial design: materials and manufacturing guide, John Wiley&Sons.Inc, New Jersey, USA, 157.
- [2] DIANE Publishing Company. (1993). New Materials Society, Challenges and Opportunities, DIANE Publishing, 8.51.



## 라. 폴리페닐렌설파이드(poly(phenylene sulfide) : PPS)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9016-75-5, 25212-74-2 >

#### 나) 명칭

polyphenylene sulfide, poly(p-phenylene sulfide); poly(p-phenylene sulfide); poly(p-phenylene thioether); poly(phenylene sulfide); poly(thio-p-phenylene); poly(thiophenylene); poly(thio-1,4-phenylene); 1,4-dichlorobenzene-4,4'-dimercaptodiphenyl sulfide copolymer; 1,4-dichlorobenzene-disodium sulfide copolymer; 1,4-dichlorobenzene-sulfur copolymer,

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리페닐렌설파이드란 기본 중합체(base polymer) 중 1,4-디클로로벤젠과 황화나트륨의 중합물질의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

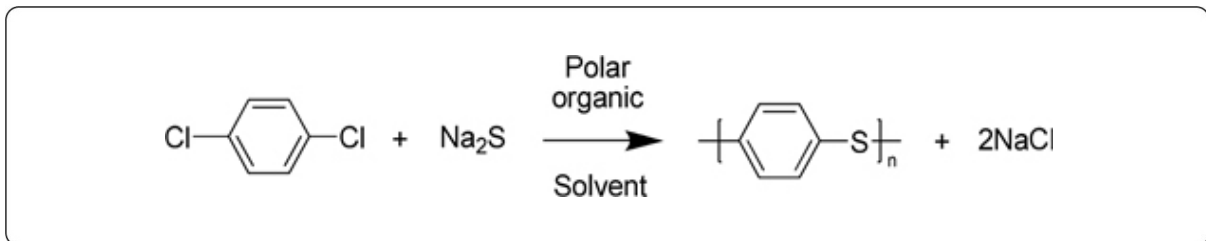
### 2) 개요

산업의 발전과 더불어 엔지니어링 플라스틱(EP)<sup>105)</sup>은 여러 분야에서 금속을 대체해왔다. 특히 경량성, 우수한 가공성, 저렴한 가격 등의 장점뿐 아니라 금속과 견줄 수 있는 뛰어난 물성 즉 내열성, 강도, 전기적 특성들에 의해 꾸준히 용도가 계속 확대되고 있다. 이러한 고성능 특수 EP수지에는 폴리페닐렌설파이드(polyphenylenesulfide), PPS), 폴리아릴레이트(PAR), 폴리에테르설폰(PES), 폴리에테르에테르케톤(PEEK) 등 여러 가지 고분자 소재가 있으나, 이 중 그 사용량 및 적용 범위가 가장 넓은 것은 PPS이다. PPS의 합성기술은 19세기 후반까지 거슬러 올라가지만, 실용화 관점에서 보면, 1967년 Philips의 Edmonds와 Hill에 의해 파라디클로로벤젠(para-dichlorobenzene, PDCB)과 Na<sub>2</sub>S 극성 용매 하에서 반응시켜 PPS를 얻는 특허 신청에서 시작되었다.

105) 엔지니어링 플라스틱: 공업재료·구조재료로 사용되는 강도 높은 플라스틱

### 3) 중합방법

황갈색 플레이크상  $\text{Na}_2\text{S}$ 의 탈수는 NMP(N-methyl pyrrolidone)용매에  $\text{Na}_2\text{S}$ 를 가한 후, 160~180°C에서 가열함으로써 진행된다. 탈수가 끝나면,  $\text{Na}_2\text{S}$ 와 1:1 mole비 만큼의 PDCB를 투입한 후 약 260°C 정도의 온도에서 중합반응을 진행한다. 반응이 끝난 PPS 슬러리는 여과 및 원심분리 등으로 용매인 NMP와 수지로 분리된다. NMP는 분별증류에 의해 정제된 후 반응 용매로 재사용되며, 폴리프로필렌(PP)은 수세정을 통하여 부산물인 NaCl, 미반응 원료 등이 제거된다. 세정이 끝난 수지를 건조함으로써 중합과정이 완료된다.



### 4) 물리화학적 특성

PPS의 일반적인 열전이온도는 용점( $T_m$ ) 277~285°C, 결정화온도( $T_c$ ) 125~135°C, 유리전이온도( $T_g$ ) 85~93°C, 용융 결정화온도( $T_{mc}$ ) 220~250°C 범위에서 나타난다. 초기 열분해온도는 질소 및 공기 중에서 500°C 이상이며, 공기 중에서 700°C에 이르러서 완전히 분해되는 고내열성을 지니고 있다. 또한 장기내열성을 나타내는 연속사용온도는 220~240°C이고, 열변형온도(HDT)는 260°C 이상이다. PPS는 불소수지(FR)와 유사한 내약품성을 갖고 있으며, 수지 자체 구조에서 기인한 특성으로서 200°C 이하에서 용해시킬 수 있는 용매가 없고, 200°C 이상에서도 클로로나프탈렌, 디페닐에테르로 한정된다. PPS의 난연성은 수지 자체가 가지고 있는 고유의 특성으로 별도 난연제를 첨가하지 않아도 UL 94 V-0<sup>106)</sup>규격의 난연특성을 나타낸다. 또한 한계산소지수(LOI)<sup>107)</sup>도 44~53으로서 용융하여 성형할 수 있는 수지 중에서 FR에 버금가는 수치를 갖는다.

항목	PPS
$T_g$ (°C)	277~285
$T_m$ (°C)	85~93
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.57
비중	1.58
인장강도 (MPa)	54.07
신장율 (%)	1
마찰계수	0.24
열전도율 ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ )	$400 \times 10^{-5}$

106) UL 94 V-0: 난연성을 평가하는 항목으로 시편을 수직으로 세워놓고 시험하는 방법(vertical burning test), 난연 정도에 따라 V-2, V-0, V-0,5로 구분

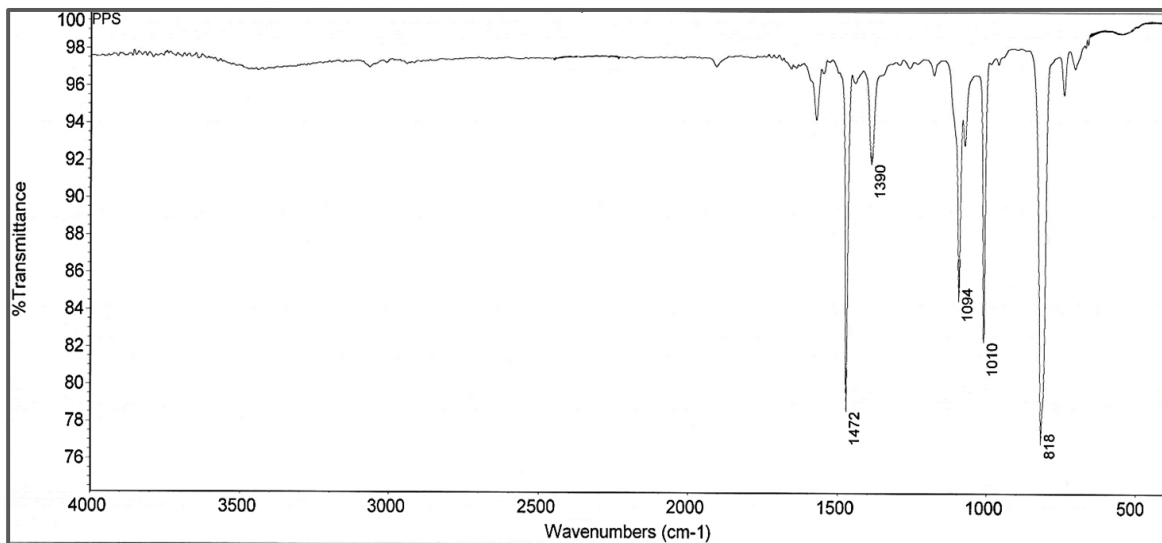
107) 한계산소지수: 방염처리를 한 고분자 재료와 그 소재의 연소성을 비교하기 위한 지표의 하나

## 5) 용도

PPS는 수지 고유의 특성과 기계적 물성이 잘 조합되어 전기전자 분야, 자동차 분야, 정밀산업 분야, 일반산업 분야 등에 폭넓게 적용되고 있고, 기존 금속 특히 비철금속이 사용되었던 제품을 경량화시키는 엔지니어링 플라스틱 수지 본래의 목적을 충족시키고 있다. 최근 환경문제가 대두되면서 기존 고분자 수지 특히 에폭시수지, 페놀수지 등의 열경화성 수지로 제조해왔던 제품을 대체할 움직임이 활발히 일어나고 있다. 또한 PPS의 사용 용도 중 코팅 분야에서는 기존 내열 코팅 수지로 대표적인 FR 대신 코팅기술의 발전과 비용적인 장점으로 인하여 점차 PPS로의 대체 또는 혼합사용이 증가하는 추세이며, 현재에는 주방 용기에 한정되어 있으나, 향후 내열성, 내열수성, 내약품성, 내부식성을 요구하는 산업용 분야에도 확산될 것이다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

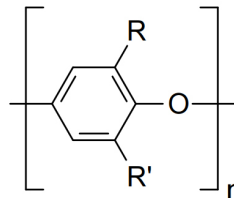
### 【참고문헌】

- [1] D. R. Fahey et. al. (1992). Polym. Materials Sci. & Eng., 67, 468.
- [2] K. Ravindranath. (1990). Polymer, 31, 2178.

## 마. 폴리페닐렌에테르(poly(phenylene ether) : PPE)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 25134-01-4 >

#### 나) 명칭

PPE; PPO; Phenol, 2,6-dimethyl-, homopolymer; poly(phenylene oxide); poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide); 2,6-dimethylphenol homopolymer; 2,6-dimethyl-1,4-phenylene ether homopolymer; 2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide homopolymer; 2,6-dimethylphenol polymer; 2,6-dimethylphenylene oxide polymer; 2,6-xylenol homopolymer; 2,6-xylenol polymer; poly(2,6-dimethylphenol); poly(2,6-dimethylphenylene oxide); poly(2,6-xylenol)

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

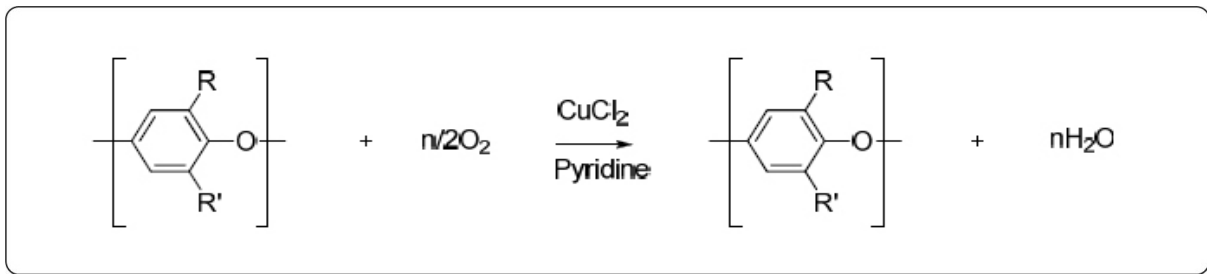
폴리페닐렌에테르란 기본 중합체(base polymer) 중 2,6-디메틸페놀의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

폴리페닐렌에테르(PPE)에 대한 연구는 1915년에 Hunter에 의해 처음 시작되었는데 당시에는 치환체가 없는 PPE를 연구하여 분자량이나 수율이 낮아 공업적인 관심을 끌지 못했다. 그 후 미국의 GE사가 산화 커플링(oxidation coupling) 방법으로 분자량이 큰 폴리페닐렌옥사이드(PPO)를 합성하여 엔지니어링 플라스틱으로 발전하였다. PPE는 유동성이나 가공성이 좋지 않아 이를 해결하기 위해 GE사에서는 PPE에 폴리스티렌을 합금(alloy)하여 변형 PPE를 “Noryl”이란 상품명으로 시판하였고, 일본의 Asahi Kasei에서는 “Xyron”이란 상품명으로 시판하였다. 상업화된 제품의 분자량은 25,000 ~ 60,000 Da 수준이다.

### 3) 중합방법

현재 공업화된 대부분의 공정은 2,6-디메틸페놀을 산화 커플링 방법으로 중합하여 PPE를 제조하는 방법이다. 그러나, 이 방법의 단점은 PPE 뿐만 아니라 다이페논퀴논(diphenoquinone)이 함께 생성되는 것으로, 다이페논퀴논의 생성 비율은 단량체의 종류와 중합반응 조건에 따라 달라지게 된다.



### 4) 물리화학적 특성

PPE는 결정성의 열가소성 수지로 넓은 온도 범위에 걸쳐 내마모성이 우수하며 기계적 성질, 내열성, 전기적 특성 및 치수안정성 등 제반 물성이 우수하고 산과 알칼리에 대한 내성이 크지만, 유리전이온도( $T_g$ )가 200°C 이상으로 높아서 유동성이나 가공성이 나쁘고 가격이 비싼 단점이 있다.

항목	PPE
$T_g$ (°C)	100~210
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.04~1.1
비중	1.16
인장강도 (MPa)	45~60
신장율 (%)	45~60
열전도율 ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ )	0.16~0.22

PPE의 기본구조는 위와 같으며, 알킬기(R, R')의 종류에 따른  $T_g$ ,  $T_m$ 의 관계는 다음과 같다.

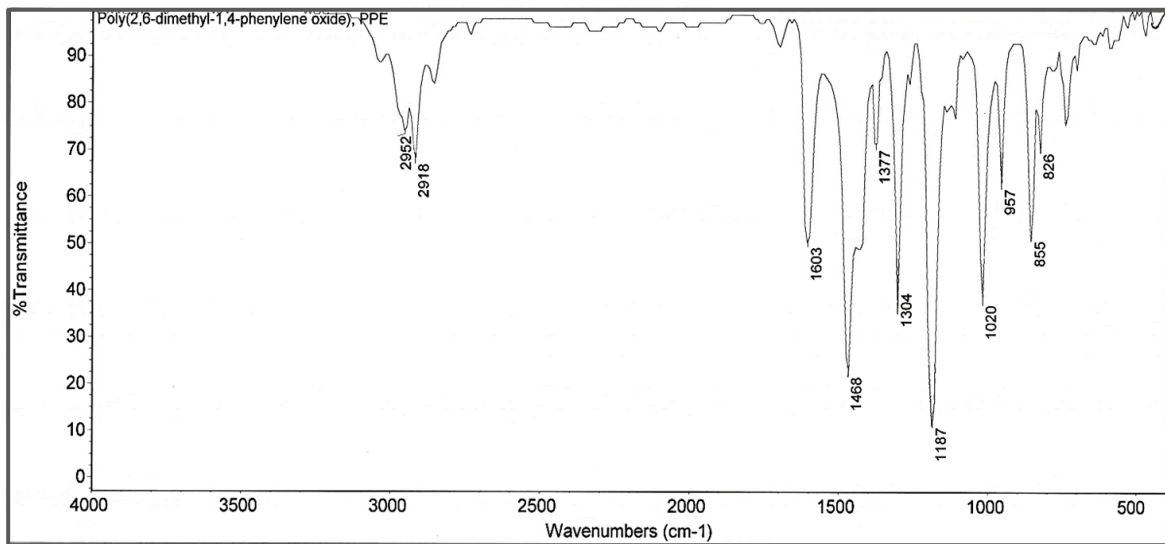
R	R'	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)
H	H	208	298
CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	211	268
CH <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	169	-
CH <sub>3</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH	144	-
CH <sub>3</sub> O	CH <sub>3</sub> O	167	-
Cl	Cl	228	269
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	230	480

## 5) 용도

PPE는 전기통신 분야에서는 커넥터, 스위치, 타이머, 어댑터, 휴즈 홀더, 터미널 블록, 라디오, 카세트 등으로 사용되고, 자동차 분야에서는 인스트루먼트 패널 부품, 크러스터 하우징, 라디에이터 그릴 등으로 쓰인다. 또한, 변성 PPE는 무해하기 때문에 의료기구나 식기로도 이용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

### 【참고문헌】

- [1] Michel B. (2007). Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users, 1st, Elsevier Ltd. Burlington, UK, 464-474
- [2] Charles A. H. (2000). Modern plastics handbook, McGraw-Hill Professional, New York, USA, 57-58

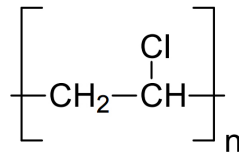
## 8 염화비닐계

비닐기(CH<sub>2</sub>=CH-)를 가지는 염화비닐 등의 고분자 중합체를 말한다.

### 가. 폴리염화비닐(poly(vinyl chloride): PVC)

#### 1) 기본정보

##### 가) 화학구조



< CAS No.: 9002-86-2 >

##### 나) 명칭

polyvinylchloride; PVC; poly(chlorovinyl); poly(chloroethene); chloroethane homopolymer; poly(chloroethylene); ethene, chloro-, homopolymer; polyvinyl chloride; poly(vinyl chloride); vinyl chloride polymer; chloroethylene polymer

##### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리염화비닐이란 기본 중합체(base polymer) 중 염화비닐의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

#### 2) 개요

폴리염화비닐(PVC)은 세계에서 널리 사용되는 고분자 중 하나이다. PVC는 다양한 첨가제를 이용한 물성 조절이 용이해서 넓은 영역의 응용 분야에 사용되고 있다. 과거에는 식품포장의 용도로도 널리 사용되었으나, 현재는 각종 규제로 그 사용이 극히 제한적이다.

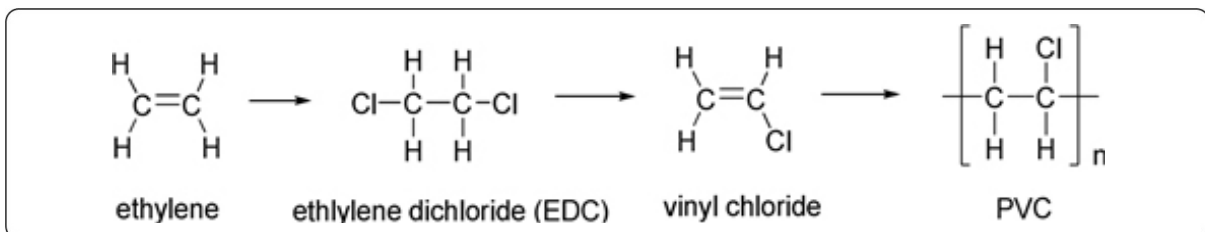
PVC는 1835년 프랑스의 Regnault가 에틸렌다이클로라이드(ethylene dichloride, EDC)와 수산화칼륨을 반응시켜 실험실에서 처음 합성하였다. 1912년에 독일의 Chemische Fabrik Griesheim-Electorn사의 Fritz Klatt가 아세틸렌과 염산을 사용하여 염화비닐단량체(VCM, vinyl chloride monomer)를 합성하고 열과 빛으로 폴리염화비닐을 만든 것이 공업화 시도의 시초이며, 1914년에는 개시제<sup>108)</sup>를 사용한 중합을

처음으로 시작하였다. 1930년대에 독일에서 부타디엔(butadiene)의 유화중합(emulsion polymerization)<sup>109)</sup> 기술로 상업화가 시도되었으며, 미국에서는 1936년에 유니온카바이드 (Union Carbide)사가 현탁중합(suspension polymerization)<sup>110)</sup> 기술로 단일중합체(homopolymer)와 공중합체(copolymer)를 제조하였는데, 이때 처음으로 에틸렌다이클로라이드 → 염화비닐단량체 → 폴리염화비닐로의 일관생산이 이루어졌고, 이후에도 독일은 유화중합기술 개발, 미국은 현탁중합기술 개발에 중점을 두고 기술을 개발하였다.

### 3) 중합방법

PVC는 염화비닐 단량체가 자유라디칼 중합<sup>111)</sup>에 의하여 형성된 긴 사슬 고분자이다. 생산량의 80%가량을 현탁중합 공정으로, 나머지를 유화중합, 과상중합<sup>112)</sup> 공정으로 제조하며, 일부 용액중합 공정으로 생산하기도 한다. 그중 현탁중합 공정을 통해 PVC의 단일중합체와 공중합체를 모두 생산할 수 있다. 반응기의 규모는 10~200 m<sup>3</sup> 정도이고, 모두 회분식(batch)<sup>113)</sup>반응기로 생산된다.

만들어진 고분자는 하얀색의 분말 형태이고 열에 민감하긴 하지만 상온에서는 비활성으로 존재한다. 분자량은 중합 공정에서 조절할 수 있고 이론적인 계산으로는 30,000~95,000 Da 정도이다. 상업적인 PVC는 대부분 무정형으로 존재하지만 10% 정도의 결정상을 포함하는 것도 있다. PVC는 낮은 열안정성을 가지고 온도에 의한 열화가 빠르기 때문에 보통 160℃ 정도에서 공정을 진행한다. PVC는 염소기(-Cl)의 비대칭성 때문에 이소택틱<sup>114)</sup>, 신디오택틱<sup>115)</sup> 및 어택틱<sup>116)</sup>의 구조를 가질 수 있으나, 현재는 모두 라디칼중합으로만 합성되고 있어 어택틱 구조의 PVC만 생산되고 있다.



108) 개시제: 단위체가 들어 있는 매질에서, 활성 라디칼을 형성하면서 중합 반응을 일으키는 물질

109) 유화중합: 수용성 단량체를 계면 활성제에 의해 수중에서 유화시켜, 수용성 개시제를 사용하여 중합시키는 방법

110) 현탁중합: 물속에서 단량체를 기름방울로서 분산시킨 상태에서 중합하는 방법

111) 라디칼 중합(free radical polymerization): 성장 중합체의 말단에 있는 원자가 유리전자 1개를 갖는 자유라디칼 상태에서 진행되는 중합반응

112) 과상중합: 용제가 없는 상태에서 단량체만을 중합시키는 방법. 벌크 중합이라고도 함

113) 회분식: 한 번 원료를 넣으면, 목적을 달성할 때까지 반응을 계속하는 방식

114) 이소택틱(isotactic): 주사슬에 대하여 곁사슬이 같은 방향으로만 배열되어 있는 고분자

115) 신디오택틱(syndiotactic): 주사슬에 대하여 곁사슬이 번갈아 반대 방향으로 배열되어 있는 고분자

116) 어택틱(atactic): 입체화학적으로 불규칙적인 구조를 가진 고분자



#### 4) 물리화학적 특성

PVC는 유리전이온도(glass transition temperature,  $T_g$ )<sup>117)</sup>가 80~82°C이며, 결정화도가 10% 이하인 무정형(amorphous) 고분자이므로 유리처럼 매우 투명한 제품을 만들 수 있다. PVC는 상당히 긴 길이의 대칭구조(Head-to-tail 구조)를 가지고 있어 결정화도가 낮으며, 결정 부분의 이론상의 용융점(melting point,  $T_m$ )<sup>118)</sup>은 225°C 정도이다. 그러나 실제로는 이 온도에 도달하기 전에 열분해가 일어나기 때문에 용융점을 관찰하기는 매우 어렵다. 수지는 비중 약 1.4의 백색 분말이며 내수성, 내산성, 내알칼리성, 무독, 난연성, 양전기 절연성과 많은 용제류에도 견디는 성질이 있다.

PVC는 가소제의 함량을 조절함으로써 유연성이 있는 연질의 필름에서 강성을 갖는 경질의 시트까지 만들 수 있다. 가소제의 함량이 10% 이하인 경질의 PVC는 내유성이 강하고 산과 알칼리에 강하며, 수분 차단성은 폴리에틸렌보다 약간 낮으나 기체 차단성이 좋다. 반면, 가소제가 20~55% 들어간 연질의 PVC는 유연하고 부드러우며 광택성과 투명성이 우수하다.

항목	PVC(hard)	PVC(soft)
$T_g$ (°C)	80~90	50
밀도 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	1.350~1.550	1.1~1.35
비중	1.3~1.6	1.20~1.70
인장강도 (MPa)	34.5~62	16~28
신장율 (%)	50~150	200~450
마찰계수	0.45~0.55	0.2~0.3
열전도율 ( $W/(m \cdot k)$ )	0.14~0.28	0.14~0.17
용해도 ( $J/mL$ ) <sup>1/2</sup>	9.75(cal/ml) <sup>1/2</sup>	-

#### 5) 용도

경질 PVC는 주로 수도관이나 공장의 배관, 탱크 등에 사용되며, 연질 PVC는 랩, 유리병 뚜껑의 가스킷, 차주전자의 주둥이, 장갑, 호스 등에 사용된다. 또한, 상온에서는 액상이나 뚜껑 등에 부어 경화시킴으로써 유리병 뚜껑 밀봉 재료로도 사용된다.



〈 병마개 가스킷 〉



〈 주방장갑 〉



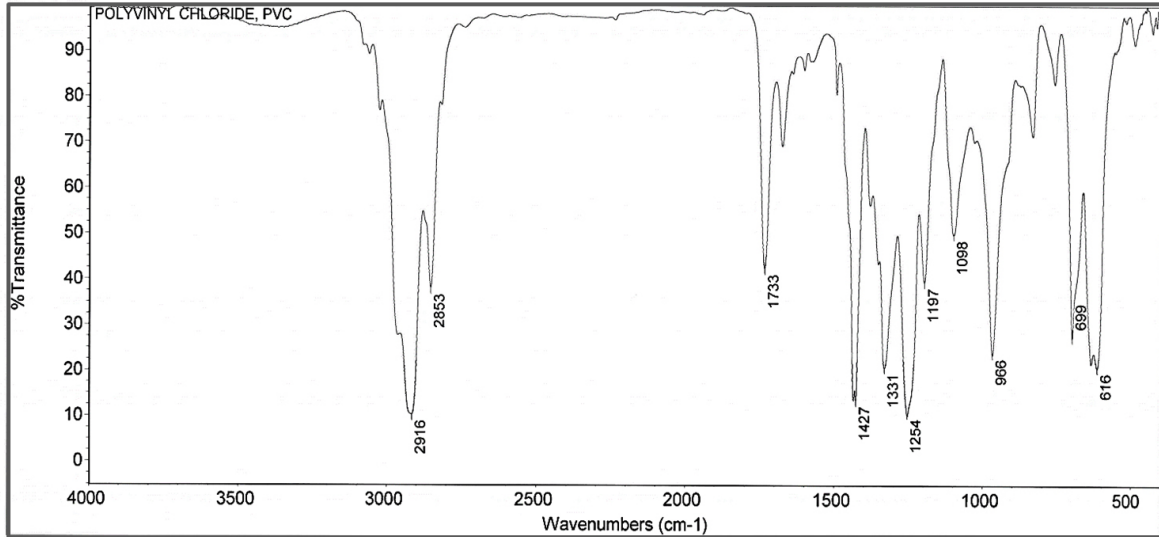
〈 보관용 백(bag)/필름 〉

117) 유리전이온도: 비정질 열가소성 고분자에서 고체와 액체 간의 두 상태를 구분해 주는 온도

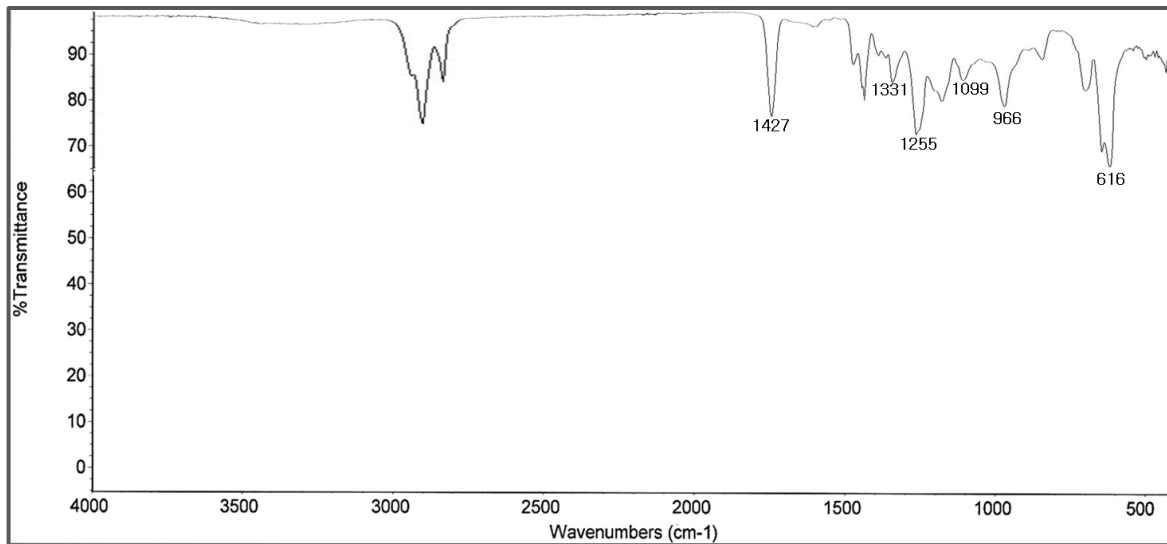
118) 용융점: 물질이 고체에서 액체로 상태변화가 일어날 때의 온도

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



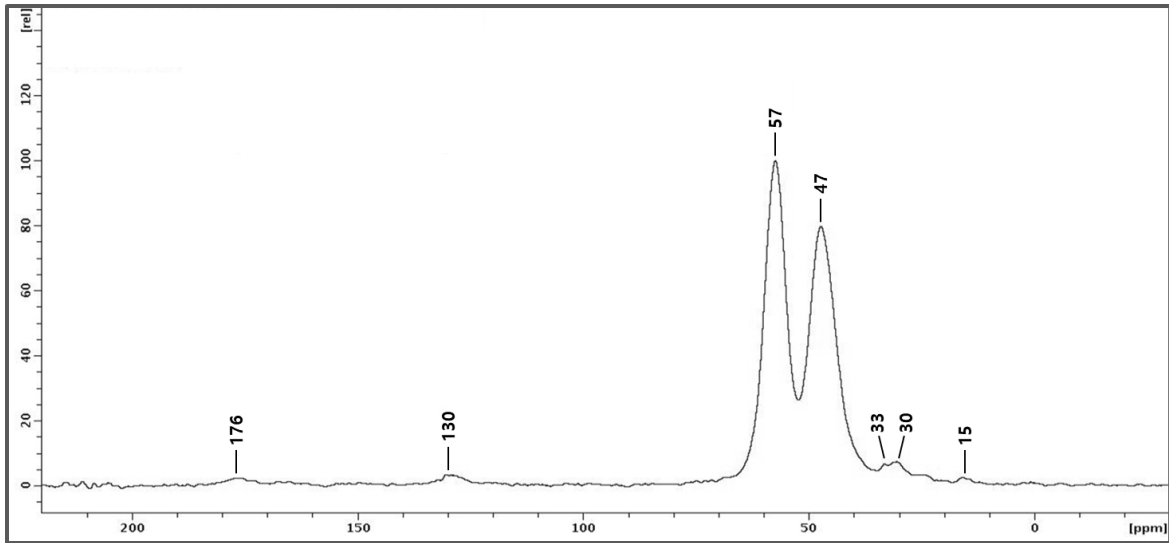
자료: OMNIC spectra Library



주: PVC(식품포장/보관저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

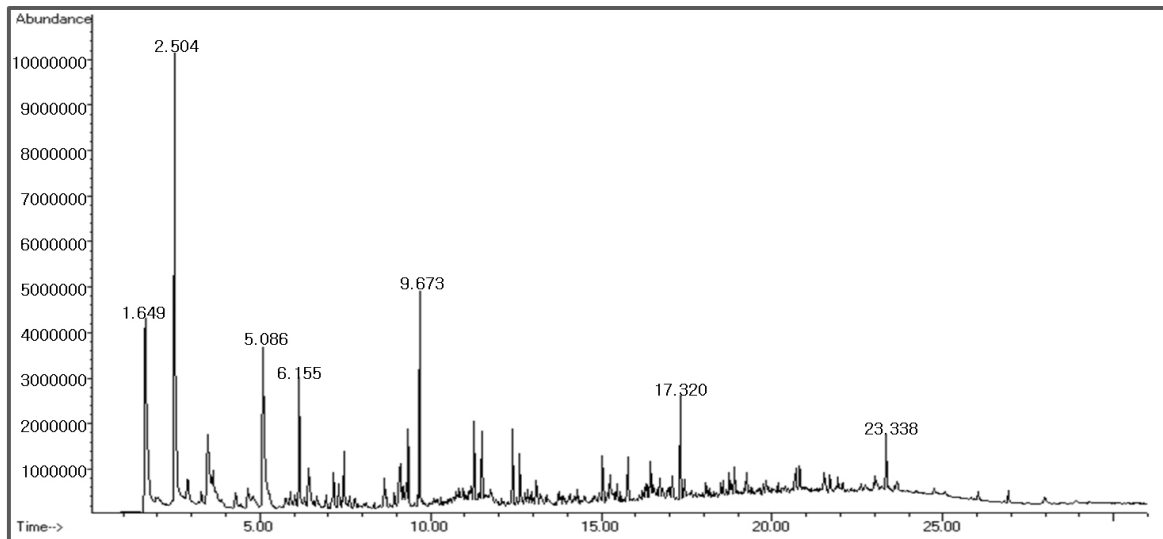
## ② Solid NMR



주: PVC(식품포장/보관저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ④ Pyrolysis GC-MS spectrum



주: PVC(보관/저장용기)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

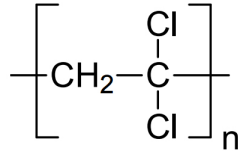
**【참고문헌】**

- [1] International Life Sciences Institute (European Branch) (1998). Recycling of Plastics For Contact Use, ILSI Press, Washington D.C., USA.
- [2] Leadbitter, J. ed. (2003). PACKAGING MATERIALS 5. POLYVINYL CHLORIDE (PVC) FOR FOOD PACKAGING APPLICATIONS, ILSI Europe, Brussels, Belgium.
- [3] 한국바이닐환경협회(KOVEC), <http://www.ikovec.or.kr/>
- [4] Vinyl 2010 Industry Voluntary Commitment, <http://vinyl2010.org/>
- [5] Mersiowsky, I. eds. (1999). Long-term behaviour of PVC products under soil landfill conditions, PVC'99 Conference Proceedings 20-22nd, Institute of Materials, London, UK.Food
- [6] 김소희 외(2009).합성수지제 기구 및 용기·포장의 원료물질 분석법 확립 및 규격 설정 연구-PPS재질 중 1,4-디클로로벤젠, PMP재질 중 4-메틸-1-펜텐, PVC재질 중 염화비닐, PVDC재질 중 염화비닐리텐, 식품의약품안전평가원

## 나. 폴리염화비닐리덴(poly(vinylidene chloride): PVDC)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



< CAS No.: 9002-85-1 >

#### 나) 명칭

poly(1,1-dichloroethene); poly(1,1-dichloroethylene); ethene, 1,1-dichloro-, homopolymer; polyvinylidene chloride; homopolymer, ethene, 1,1-dichloro; 1,1-dichloroethylene polymer; polydene; vinylidene chloride homopolymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리염화비닐리덴이란 기본 중합체(base polymer) 중 염화비닐리덴의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

### 2) 개요

폴리염화비닐리덴(PVDC) 필름은 가격이 비교적 고가여서 단독으로 사용되지 않고 염화비닐, 아크릴로니트릴, 아크릴산 에스테르 등의 필름과 라미네이트<sup>119)</sup>하여 사용한다. 대표적으로 염화비닐과 라미네이트하여 주로 사용하고 일반적으로 Dow Chemical사의 상품명 사란(Saran)으로 부르기도 한다. 또한 아크릴로니트릴과의 라미네이트 필름으로 Dow Chemical사에서 시판하고 있는 F타입이 있다. PVDC의 주요 섬유제품, 필름, 식품용 포장재로 쓰인다.

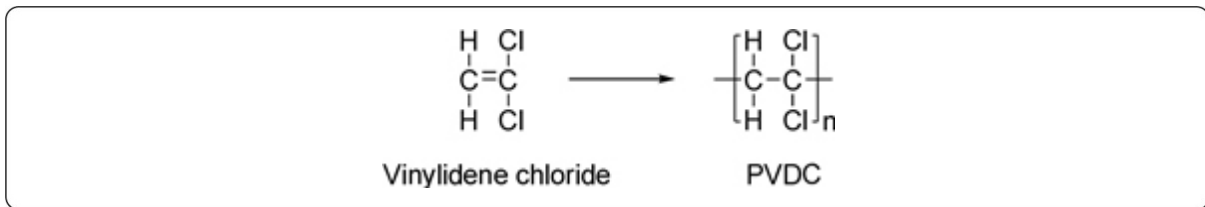
### 3) 중합방법

염화비닐리덴 단량체는 염화비닐의 염소화 혹은 염화에틸렌의 탈염소화 반응으로 얻은 트리클로로에탄(1,1,2-trichloroethane)에 소석회를 작용시켜 탈염산 반응으로 합성되는데, 독특한 냄새를 갖는 무색의 액체로 대부분의 용제에 잘 녹으며, 용해도는 온도에 거의 무관한 특성을 보인다. PVDC는 과산화물이나

119) 라미네이트(laminate): 2개 이상의 필름을 결합하는 것, 적층물

빛으로 중합하기 쉬우며 현탁중합법이나 유화중합법으로 제조할 수 있는데, 일반적으로 현탁중합 쪽이 순도가 높고 입도가 거의 균일한 수지를 만들 수 있다. 이온반응 또는 자유 라디칼 반응에 의해 중합되는 PVDC는 단량체에 녹지 않으므로 백색 분말 형태로 침전된다. 염화비닐리덴은 염화비닐, 아크릴로니트릴, 알킬아크릴레이트와 공중합하여 이용하며, 이러한 공중합체는 연화점이 낮고 가스제와의 혼합성도 좋으며 단일중합체의 결정성도 남아 있게 된다.

필름 용도로는 10~25%의 염화비닐(vinyl chloride)를 포함하는 PVDC가 가장 널리 사용된다. 염화비닐-염화비닐리덴 공중합체는 유화중합을 통해 분자량이 큰 고분자로 만들어지며, 이때 공중합체의 조성은 중합 중의 단량체 투입으로 조절된다. 한편, 현탁중합을 이용할 경우 반응시간이 길어지고, 고분자량을 만들기 어려운 단점은 있으나, 물성 저하를 일으키는 첨가제 사용량이 적어져서 열안정성, 광안정성 등이 향상되는 효과가 있다. 상업적으로는 압출 및 사출용 PVDC가 이러한 현탁중합에 의해 제조된다.



#### 4) 물리화학적 특성

무색투명하며 유연성이 풍부하고 기체 및 수분 투과 차단성이 우수한 장점이 외에도 내유성이 있고 내열온도가 140~160°C로 높다.

항목	PVDC
T <sub>g</sub> (°C)	-19~-11
T <sub>m</sub> (°C)	198~205
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	1.7
비중	1.65~1.77(비결정) 1.80~1.97(결정)
인장강도 (MPa)	29.64
신장율 (%)	250

※ PVDC 코팅에 따른 필름의 차단성 변화

	OPP(25μm) <sup>120)</sup>	
	코팅전	코팅후
수증기 투과도 (g/m <sup>2</sup> day)	4.5~6	4.5~6
산소 투과도 (cc/m <sup>2</sup> day)	1,800	10~15

120) OPP: polypropylene를 일축 또는 이축으로 연신을 하여 제조한 필름, oriented polypropylene의 약자

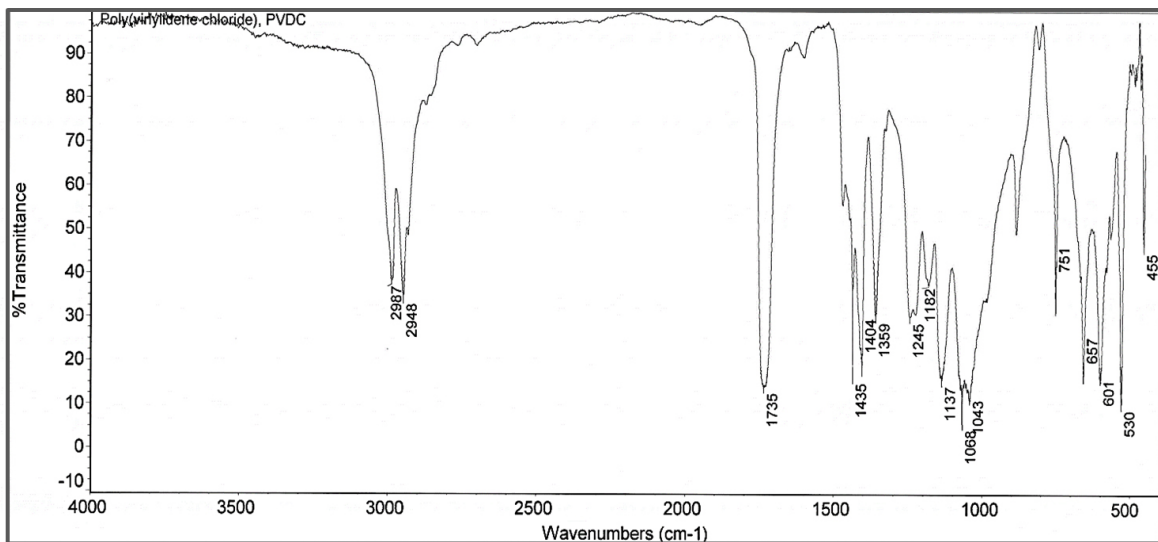
## 5) 용도

PVDC는 내열성, 풍미보호성<sup>121)</sup>이 우수하고, 투명포장과 내약품, 내유성이 좋으며, 광선차단성이 좋아서 육제품의 포장이나 진공포장 소재로 쓰인다. 또한 가스차단성이 매우 우수하여 복합플라스틱 필름의 재료로써 햄, 가열소시지 케이싱<sup>122)</sup> 필름으로 주로 사용되며, 그 외에 생육, 패스트푸드, 치즈, 두부, 떡 등의 제품 포장과 젤리, 빵 등의 과자류 포장재로도 사용된다. 또한 필름의 밀착성을 이용하여 가정용 겹씩우기(wrap) 필름으로 쓰이는데, PVDC 겹씩우기(wrap)는 폴리염화비닐(PVC) 겹씩우기(wrap) 보다 내열성과 내유성이 좋아 전자렌지를 사용에도 적합하다. PVDC 필름은 플라스틱 필름 중에서 방습효과가 가장 우수하고, 120℃ 고온살균될 수 있으며, 가열소시지 케이싱이나 증류기 파우치, 즉석식품 포장 및 통조림 대용 포장재로 사용된다.



## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

121) 풍미보호성: 음식의 고상한 맛을 보호하는 기능

122) 케이싱(casing): 소시지류의 가공 공정에서 제조한 고기를 창자류나 합성수지 필름으로 만든 주머니에 충전하여 밀봉포장하는 조작

**【참고문헌】**

- [1] APME Technical Dossier on the Toxicological Properties of Animoty Trioxide (1997). Subject of a Petition to the EU Scientific Comittee on Food (SCF). APME, Avenue E. VAN Nieuwenhuysse 4, G-1160 Brussels.
- [2] Howell B. A., Warner B. S., Rajaram C. V., Ahemed S. I., Ahmed Z. (1994). Polym. Adv. Technol., 5, 485.
- [3] Howell B. A., Jane S. M. (2006). Impact of Moisture on the Thermal Stability of Vinylidene Chloride Copolymers, Proceedings, 34th Annual Meeting of the North American Thermal Analysis Society.
- [4] 김소희 외(2009). 합성수지제 기구 및 용기·포장의 원료물질 분석법 확립 및 규격 설정 연구- PPS재질 중 1,4-디클로로벤젠, PMP재질 중 4-메틸-1-펜텐, PVC재질 중 염화비닐, PVDC재질 중 염화비닐리덴, 식품의약품안전평가원



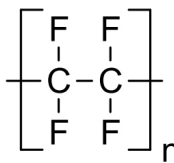
## 9 기 타

### 가. 불소수지(fluorocarbon resin : FR)

#### 1) 기본정보

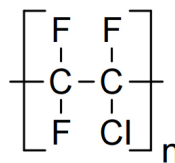
##### 가) 화학구조

##### PTFE(polytetrafluoroethylene)



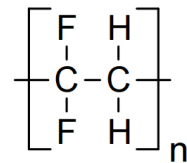
< CAS No.: 9002-84-0 >

##### PCTFE(polychlorotrifluoroethene)



< CAS No.: 9002-83-9 >

##### PVDF(polyvinylidene difluoride)



< CAS No.: 24937-79-9 >

##### 나) 명칭

PTFE: Teflon; polytetrafluoroethylene; poly(tetrafluoroethene); ethene, tetrafluoro-, homopolymer; Tetrafluoroethene homopolymer; poly(ethylene tetrafluoride); polyperfluoroethylene; polytetrafluoroethene

PCTFE: poly(chlorotrifluoroethene); poly(1-chloro-1,2,2-trifluoroethylene); poly(ethylene trifluoride chloride); poly(monochlorotrifluoroethylene); poly(trifluorochloroethylene); poly(trifluoroethylene chloride); poly(trifluoromonochloroethylene); poly(trifluorovinyl chloride); Ethene, chlorotrifluoro-, homopolymer; polychlorotrifluoroethylene; chlorotrifluoroethene homopolymer

PVDF: poly(vinylidene difluoride); poly(1,1-difluoroethylene); poly(vinylene difluoride); poly(1,1-difluoroethene); polyfluorovinylidene; Ethene, 1,1-difluoro-, homopolymer; polyvinylidene fluoride; 1,1-Difluoroethene homopolymer

##### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

불소수지란 기본 중합체(base polymer) 중 불소를 함유하는 단량체의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.

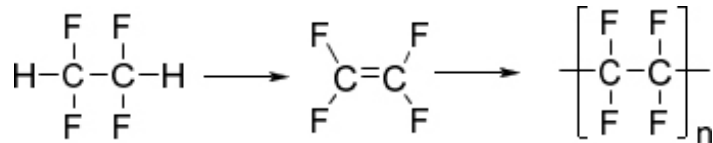
## 2) 개요

불소수지(FR)는 분자 중에 불소를 함유한 플라스틱의 총칭으로 가혹한 조건에서도 사용할 수 있는 대표적인 엔지니어링 플라스틱 중 하나이다. 폴리사불화에틸렌(polytetrafluoroethylene, PTFE), 폴리클로로삼불화에틸렌(polychlorotrifluoroethylene, PCTFE), 불화비닐리덴(polyvinylidene fluoride, PVDF) 등이 있으며, 그 중 폴리사불화에틸렌이 가장 대표적이다. 1950년 미국 듀폰사에서 테프론이라는 이름으로 생산을 시작하였다.

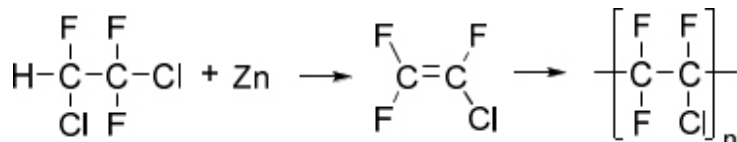
## 3) 중합방법

FR의 주 사슬은 C-C결합으로 이루어지는 폴리올레핀(polyolefin)과 같은 결합인데 폴리올레핀의 수소의 일부 또는 전부가 불소원자로 대체된 구조를 가진 합성수지이다.

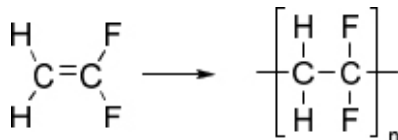
가) PTFE: 단량체는 테트라플루오로에틸렌이며, 이 단량체를 과황산암모늄(중합개시제)과 붕사<sup>123)</sup> 수용액을 넣은 가압솥에 넣어넣어 고압상태에서 온도를 가하여 중합한다.



나) PCTFE: 테프론보다 먼저 나왔으며, 제조법은 아래와 같다.



다) PVDF: 아래와 같이 제조된다.



123) 붕사(Borax): 가장 중요한 붕소의 화합물 중 하나. 무기화합물로 자연에서 쉽게 볼 수 있는 백색 견고한 고체, 성분은 붕산소다로서 진공으로는 붕산에 탄산소다를 가하여 중화시켜 만들

#### 4) 물리화학적 특성

FR는 열적, 화학적 성질이 뛰어나며 그 종류도 많다. FR의 전체 수요 중 70%를 차지하는 PTFE는 테프론이라는 상품명으로 널리 알려져 있고, 녹는점 327°C의 결정성 수지로 260°C에서의 장기 사용에 견디는 내열성이 있고, 260°C이고 저온에서 고온까지 안정적으로 사용될 수 있다. 내약품성은 유기 재료 중에서는 최고로 산·알칼리, 각종 용제에는 전혀 침해되지 않고, 난연성 등이 특이한 플라스틱이다. 기계적 특성에서의 최대 특징은 마찰계수가 작은 것이고 비접착성도 큰 특징 중 하나이다. 전기특성, 특히 유전 특성이 가장 우수하며, 넓은 주파수 범위에 걸쳐 안정적이고 낮은 유전율<sup>124)</sup> 및 유전정접<sup>125)</sup>을 나타낸다. 한편, 용착<sup>126)</sup>은 되어도 접착제를 사용할 수 없다는 결점이 있다.

PCTFE는 녹는점 250~295°C, 연속 사용온도 200°C이며 사출성형, 압출성형이 가능하다. 내열성 이외의 특성은 PTFE에 가깝고 광 투과성과 내후성이 우수하다.

PVDF은 밀도가 낮고 녹는점 170~185°C, 연속 사용온도는 120°C로서 불소수지 중에서는 최저이나, 사출성형, 압출성형 그 밖의 가공적성이 있으며, 기계적 특성이나 내후성이 뛰어나며 압전성<sup>127)</sup>이 있다.

항목	PTFE	PCTFE	PVDF
T <sub>g</sub> (°C)	127	50	-40
T <sub>m</sub> (°C)	327	250~295	170~185
밀도 (g·cm <sup>-3</sup> )	2.18	2.14	1.78
비중	2.2	2.12	-
인장강도 (MPa)	24	5000	931
신장율 (%)	230	150	1
열전도율 (W/(m·k))	0.24	1.195	0.1~0.13

#### 5) 용도

FR는 특히 코팅 방법에 따라 그 응용범위가 아주 폭넓게 발전되어 왔다. 예를 들어 일반 주방 용기에서부터 기계, 자동차, 반도체 우주·항공 산업 부품에 이르기까지 그 사용범위는 실로 무한하다고 할 수 있다. 다른 물질과는 비접착성을 가지므로 주방기구의 내부 코팅용으로 많이 사용된다. 식품용 튀김 냄비, 프라이팬 같은 주방용 조리기구 등의 표면에 음식이 달라붙지 않는 코팅제로 많이 사용된다.

PTFE는 가스킷, 패킹, 각종 실링재(sealing) 및 오일이 필요없는 슬라이딩재의 베어링(bearing) 등에 사용되며 전자기기 등의 부품으로 사용되고 있다. 불화비닐리덴은 밸브, 펌프, 파이프 외에 압전<sup>128)</sup>필름, 내후성 도료 등에 이용되고 있다.

124) 유전율: 매질이 저장할 수 있는 전하량

125) 유전정접: 진동으로 인한 힘의 손실 비율을 측정하는 단위로 전력손실의 비율을 의미한다.

126) 용착: 다양한 원리(예: 초음파)로 녹아서 부착하는 현상

127) 압전성: 물체에 스트레스를 가했을 때 힘에 비례해서 전기장이 발생하는 현상을 말한다.

128) 압전: 특수한 결정체 축에 대하여 특별한 각도로 잘라 내어 압축하거나 늘리거나 하면 대전되고 전압을 가하면 휘다.



〈 프라이팬 〉



〈 제빵기구 〉



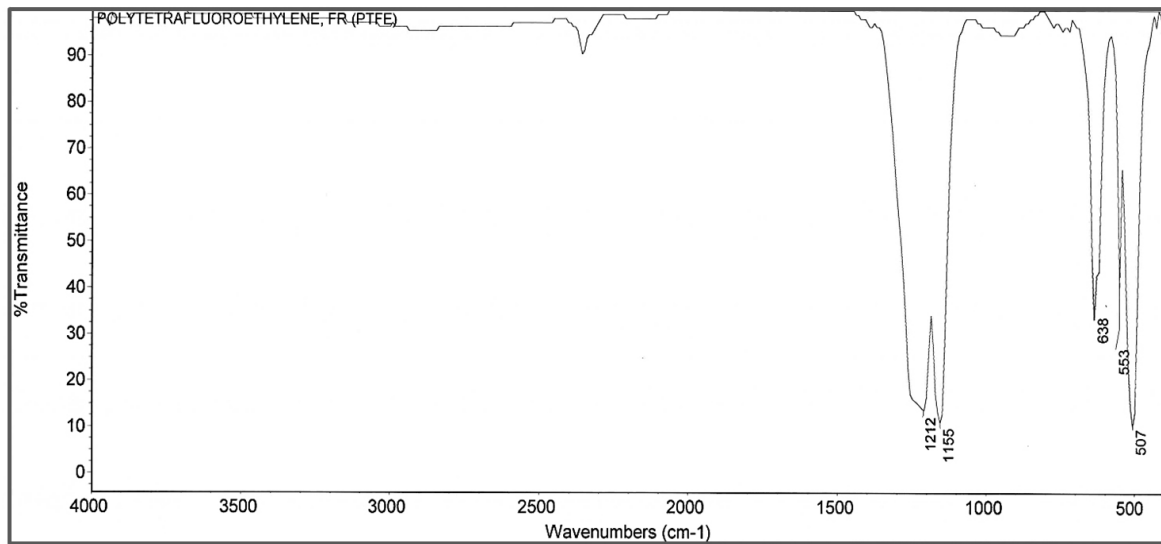
〈 냄비 〉



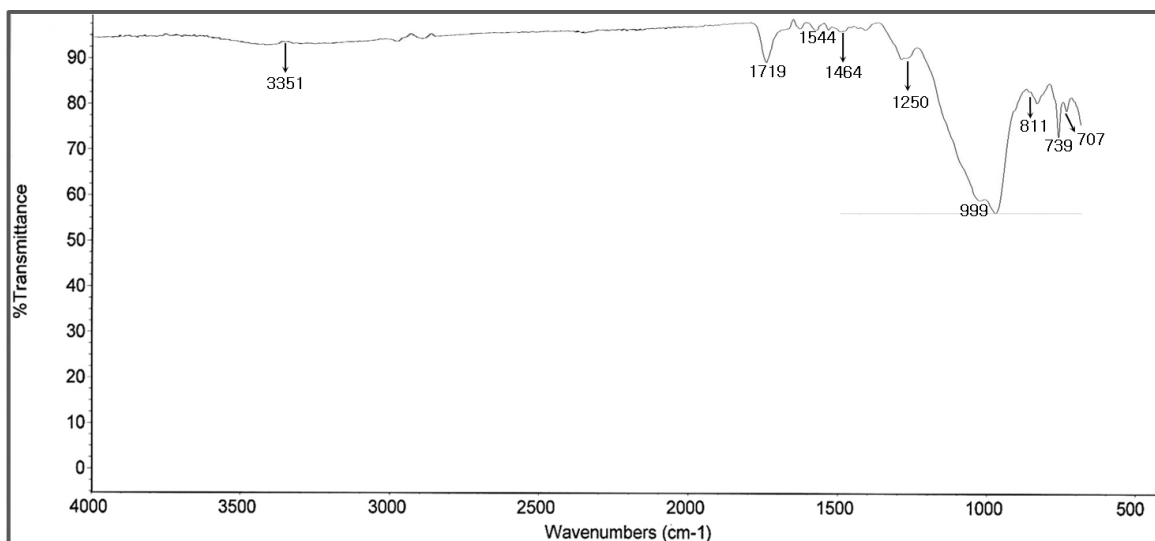
〈 보온병 〉

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



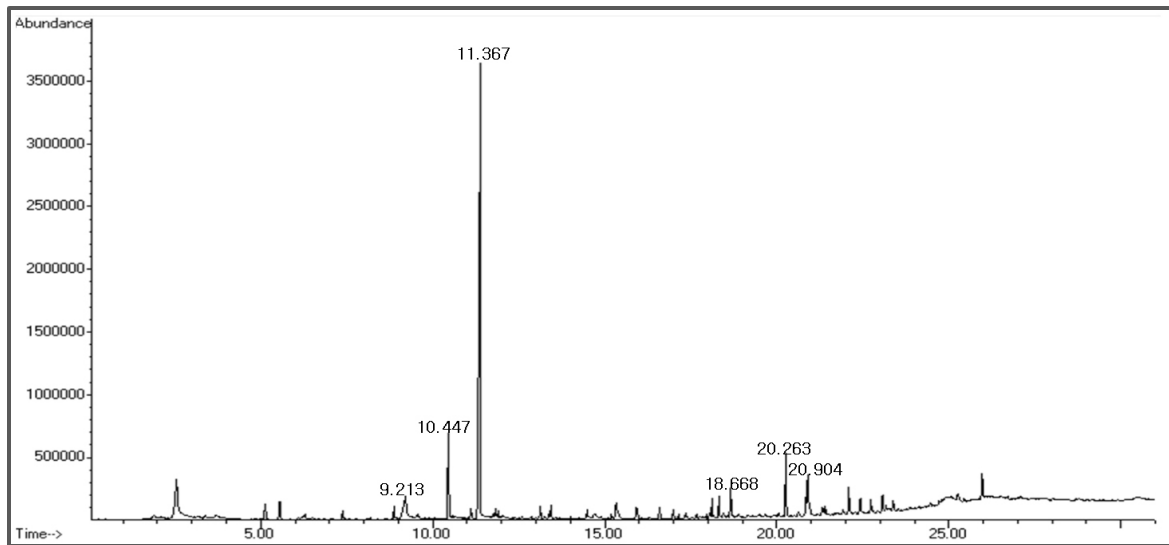
자료: OMNIC spectra Library



주: 불소수지(조리기구)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

## ② Pyrolysis GC spectrum



주: 불소수지(조리기구)

자료: 식품용 기구 및 용기·포장 중 비의도적 첨가물질(NIAS) 분석 및 저감화 연구(2020, 식약처)

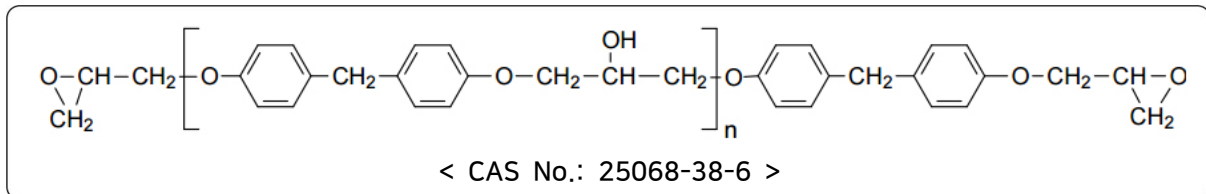
**【참고문헌】**

- [1] Points to Consider for the Use of Recycled Plastics in Food Packaging: Chemistry Considerations, US Food and Drug Administration, Washington D.C. 20204. Division of Food Chemistry and Technology, HFF-410, March 1992

## 나. 에폭시수지(epoxy resin)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조



#### 나) 명칭

epoxy resin; polyepoxide, phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-, polymer with (chloromethyl) oxirane; phenol, 4,4'-isopropylidenedi-, polymer with 1-chloro-2,3-epoxypropane; oxirane, (chloromethyl)-, polymer with 4,4'-(1-methylethylidene)bis[phenol]; propane, 1-chloro-2,3-epoxy-, polymer with 4,4'-isopropylidenediphenol; 1-chloro-2,3-epoxypropane-4,4'-isopropylidenebisphenol polymers; 1-chloro-2,3-epoxypropane-4,4'-isopropylidenediphenol polymer; 2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane-epichlorohydrin polymer; 2,2-bis(hydroxyphenyl)propane-epichlorohydrin copolymer; 2,2-bis(p-hydroxyphenyl)propane-epichlorohydrin polymer; 2,2-diphenylolpropane-epichlorohydrin polymer; 4,4'-dihydroxydiphenylpropane-epichlorohydrin polymer; 4,4'-isopropylidene-diphenol-1-chloro-2,3-epoxypropane polymer; 4,4'-Isopropylidene- diphenolepichlorohydrin polymer

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

에폭시수지란 비스페놀 A와 에피클로로히드린 등이 주성분인 중합체를 말한다.

### 2) 개요

에폭시수지(epoxy resin)라고 총칭되는 고분자 수지는 그것을 구성하고 있는 분자의 화학구조 단위로 반드시 에폭시 결합을 가지고 있다. 에폭시수지는 비스페놀 A와 에피클로로히드린(epichlorohydrin)을 중합하여 만든 것이 대표적이며, 단독으로 사용되는 경우가 없고, 경화제<sup>129)</sup>를 다시 첨가하여 열경화성(thermoset)의 물질로 변화시켜 사용되므로 보통 수지의 중간체로 볼 수 있다.

에폭시수지의 종류는 아래와 같이 대별될 수 있다.

- 일반 비스페놀 A형 에폭시(DGEBA Type Epoxy)
- 비스페놀 F형 에폭시(DGEBF Type Epoxy)

129) 경화제: 열경화성수지에 첨가하여 다리결합을 일으켜 경화시키는 약제

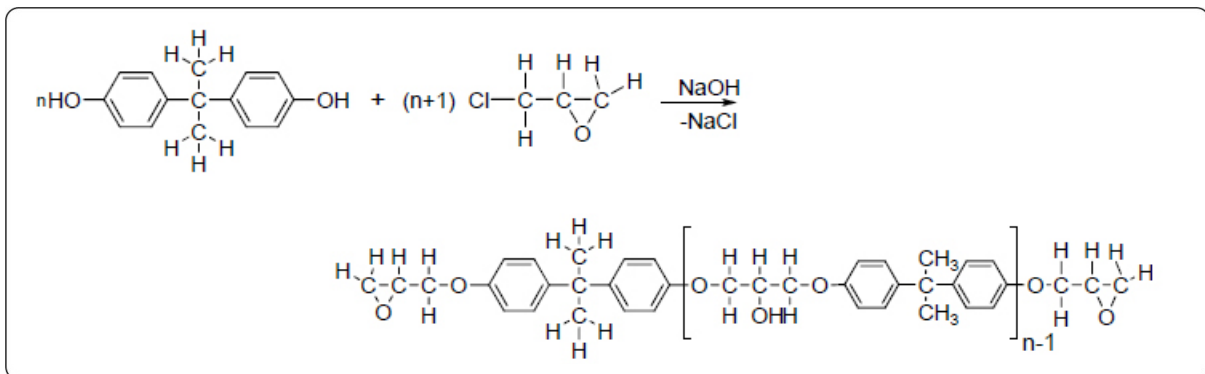
- 노볼락형 에폭시(Novolac Type Epoxy)
- 난연성 에폭시(Brominated Epoxy)
- 시클로알리파틱 에폭시(Cycloaliphatic Epoxy)

1940년 초 Shell Chemical(미국)은 Devoe and Reynolds라는 도료 회사와 도료 분야용 에폭시수지 개발 작업을 진행하였으며, 일반적으로 1947년을 에폭시수지의 상업화 개시시기로 본다. 그 초기에는 몇 종류의 수지만이 상업적으로 생산되었으며, 광범위한 종류의 수지가 산업 분야의 다양한 요구 변화에 따라 개발되어왔으며, 동시에 경화제의 종류도 엄청나게 증가하게 되었다. 1948년 Shell Chemical사는 미국 내에서 Epon과 미국 외 다른 지역에서 Epikote라는 상품명으로 에폭시수지의 상업적 생산을 시작했다.

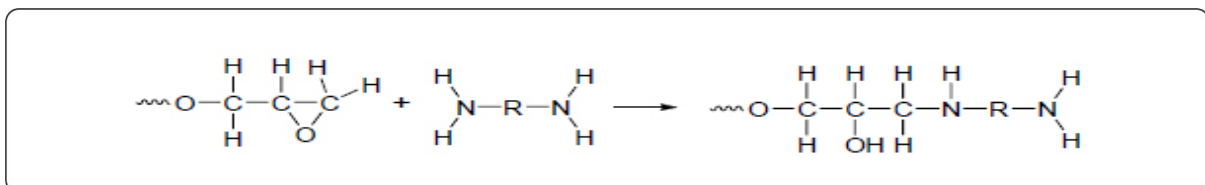
### 3) 중합방법

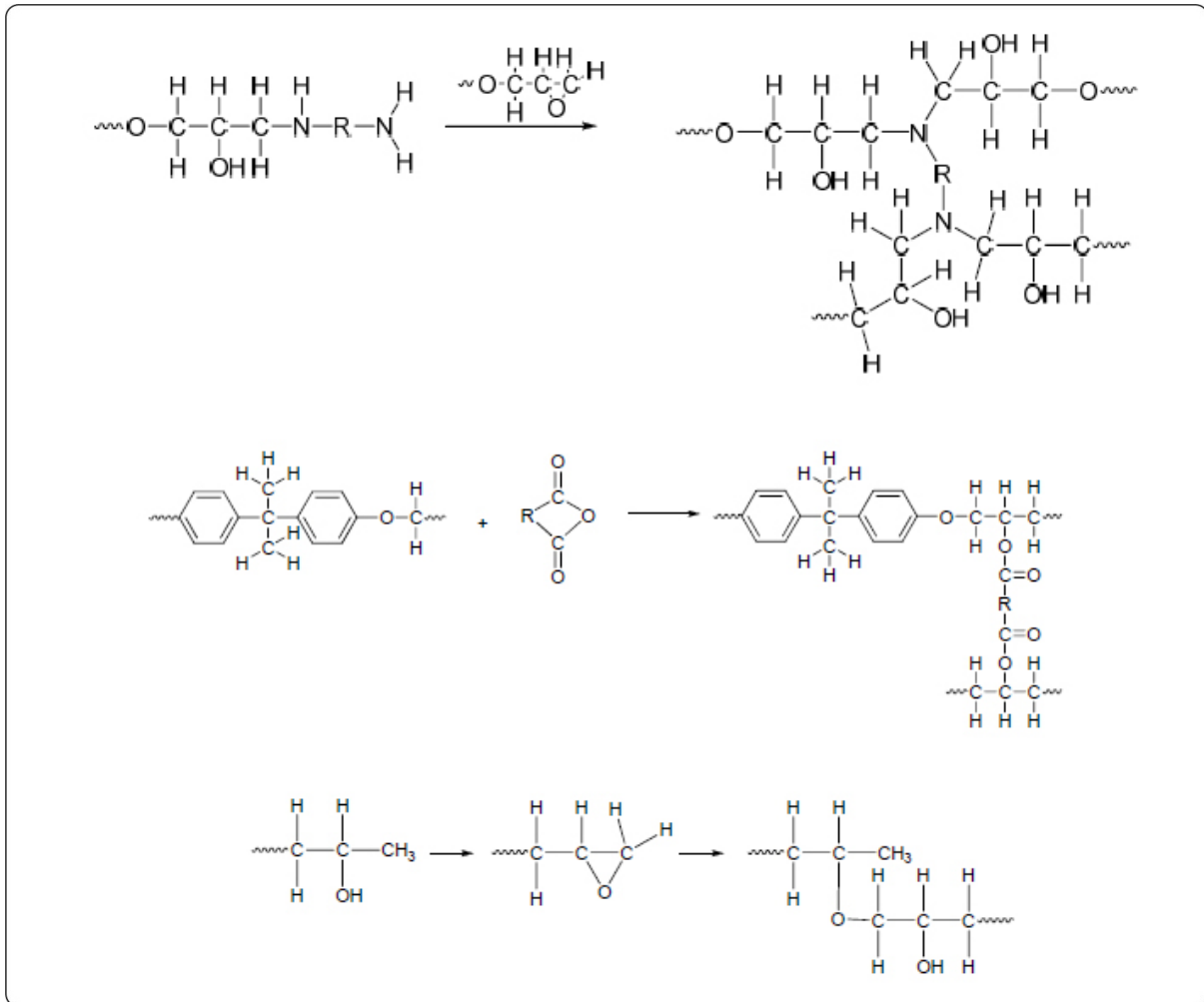
에폭시수지는 비스페놀 A와 epichlorohydrin의 축합중합에 의해서 합성된다(식 1). 비스페놀 A와 epichlorohydrin의 비를 조절하여 다양한 종류의 분자량을 가진 에폭시수지를 제조할 수 있다. 에폭시수지는 분자 내에 에폭시 기를 가지고 있으며, 이 에폭시 기는 뒤에 경화제와 반응하여서 가교 결합을 한 3차원적 고분자 구조를 만든다(식 2).

(식 1)



(식 2)





#### 4) 물리화학적 특성

에폭시수지는 경화에 있어 반응수축이 매우 작고, 휘발물을 발생시키지 않는다. 경화수지의 전기적 성질이 매우 우수하고, 기계적 성질도 우수할 뿐만 아니라 치수안정성이 매우 좋다. 기계 가공성이 좋은 것을 만들 수 있고 내수성, 내약품성이 우수하다. 가소성이 우수한 성질을 부여할 수 있으며, 내마모성이 우수한 성질을 부여할 수 있다. 저장 안정성이 높고 경화제를 혼합하지 않으면 기후, 온도에 상관없이 장기간의 보관이 가능하다.

에폭시수지는 열적, 기계적, 화학적 성질이 우수하다.

항목	epoxy resin
$T_g$ (°C)	130~170
밀도 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.18~1.2
비중	1.2~1.3
인장강도 (MPa)	28~90
신장율 (%)	1~2

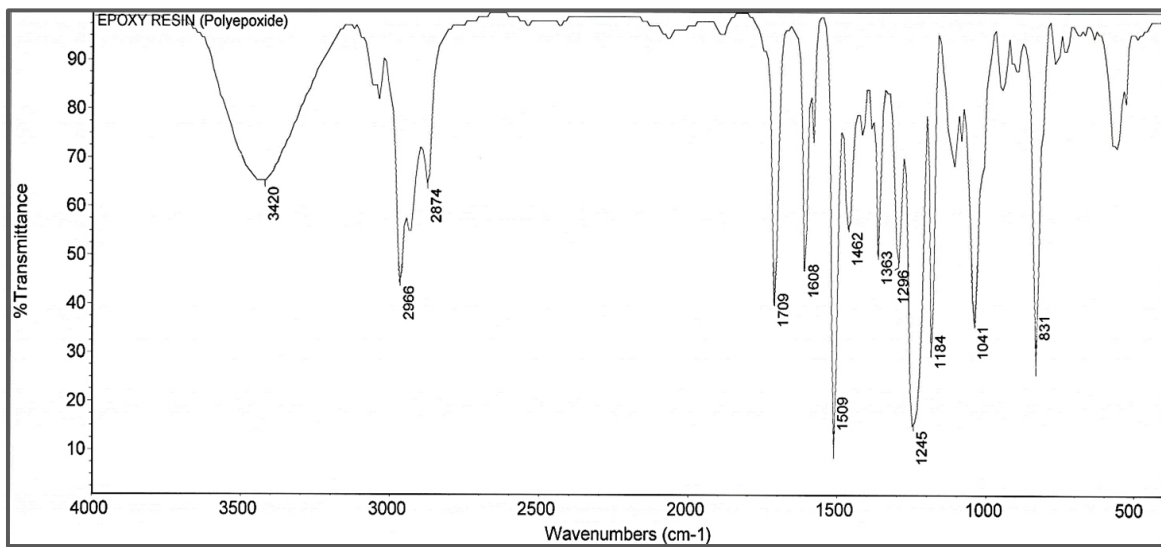


## 5) 용도

대부분 코팅용으로 많이 사용되는데, 식품포장에 쓰이는 주요 용도로는 음료용 캔이나 통조림 캔 등의 부식방지를 위한 내부코팅제로 활용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

### 【참고문헌】

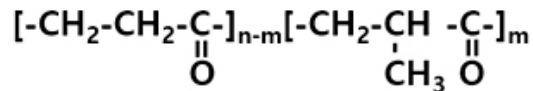
- [1] J.J. Imaz, J.L. Rodriguez, A. Rubio and I. Mondragon. J Mater Sci Lett 10 (1991), p. 662
- [2] M. Woo and M. Piggott. J Composite Technology Research 9 (1987), p. 101
- [3] T. Atkins and C. Batich. MRS Bulletin 28-29 (1993), p. 40
- [4] V. Bellenger and J. Verdu. J Mater Sci 24 (1989), p. 63
- [5] P.W. Atkins, Quanta. Oxford University Press, New York (1990)

## 다. 폴리케톤(polyketone : PK)

### 1) 기본정보

#### 가) 화학구조

1-Propene, polymer with carbon monoxide and ethene



< CAS No. : 88995-51-1 >

#### 나) 명칭

polyketone; PK; Poly(ethyleneketone); ethylene-carbon monoxide co-polymer. 1-Propene, polymer with carbon monoxide and ethene,

#### 다) 기구 및 용기·포장 공전의 정의

폴리케톤이란 기본 중합체 중 케톤(Ketone, C=O) 결합기가 전체 50%를 차지하며, 나머지 50%는 에틸렌(ethylene) 또는 프로필렌(Propylene)으로 구성된 합성수지를 말한다.

### 2) 개요

폴리케톤은 고성능의 열가소성 중합체 중 하나로, 프로필렌(Propylene), 일산화탄소(Carbon monoxide), 에틸렌(ethylene)의 저렴한 단량체들로 구성되어 고분자 전체의 50 mole%는 일산화탄소, 나머지 50mole%는 에틸렌과 프로필렌으로 이루어진 친환경 고분자 신소재이다.

이 물질의 케톤 부분은 중합체 체인들 사이의 강한 인력을 발생시켜 물질의 녹는점을 높이는데, 녹는점을 낮추기 위해서 일반적으로 에틸렌은 프로필렌으로 대체된다. 즉, 프로필렌의 함량으로 융점(melting point)을 조절할 수 있으며, 프로필렌 함량이 증가하더라도 일산화탄소의 비율은 50 mole%로 동일하고, 프로필렌과 에틸렌 비율의 총합이 50%가 된다.

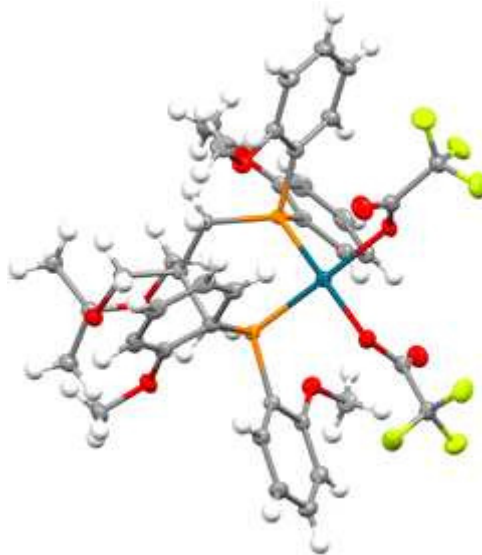
Shell Chemical사는 1996년 미국에서 Carilon 열가소성 중합체를 상업적으로 출시했으나, 2000년에 공급을 중단했고, SRI International사가 Carilon 열가소성 중합체를 공급하고 있다. 효성은 2013년 폴리케톤 개발에 성공하였고, 효성화학은 2015년 이후 현재까지 세계에서 유일하게 폴리케톤 기본폴리머(neat polymer)를 생산·공급하고 있다.

### 3) 중합방법

폴리케톤 중합촉매는 palladium-bidentate phosphine, acidic anion complex로 구성되며, 중심금속인 palladium이 2가 이온[Pd(II)] 상태일 때 활성을 가지게 된다. 중합이 시작되어 단량체가 주변에 존재하게 되면 Pd(II)에 공유결합된 acidic anion이 떨어져 나가면서 두 개의 빈자리에 폴리케톤 고분자가 성장한다.

개시반응은 팔라듐 전구체에 메톡사이드나 수소화물을 첨가하는 가메탄올 분해를 통해 일어난다. 합성되는 중합체 체인의 끝부분에 따라 그 부분이 에스터가 되거나 케톤기가 되고, 각각 팔라듐 메톡사이드나 수소화물 촉매를 재생산한다.

아래 그림과 같이 폴리케톤 중합은 촉매의 Initiation/Propagation/Termination(Chain Transfer) mechanism이 복합적으로 일어나며, Initiation/Termination에 관여하는 물질은 Hydride 또는 alkoxy source를 갖는 화합물이며, 대표적으로 가장 구하기 쉽고 저렴한 Methanol이 중합용매로 사용된다.



< 중합촉매 Pd(II)/HKC-3/TFA2 complex의 X-ray crystal structure(ORTEP Diagram) >

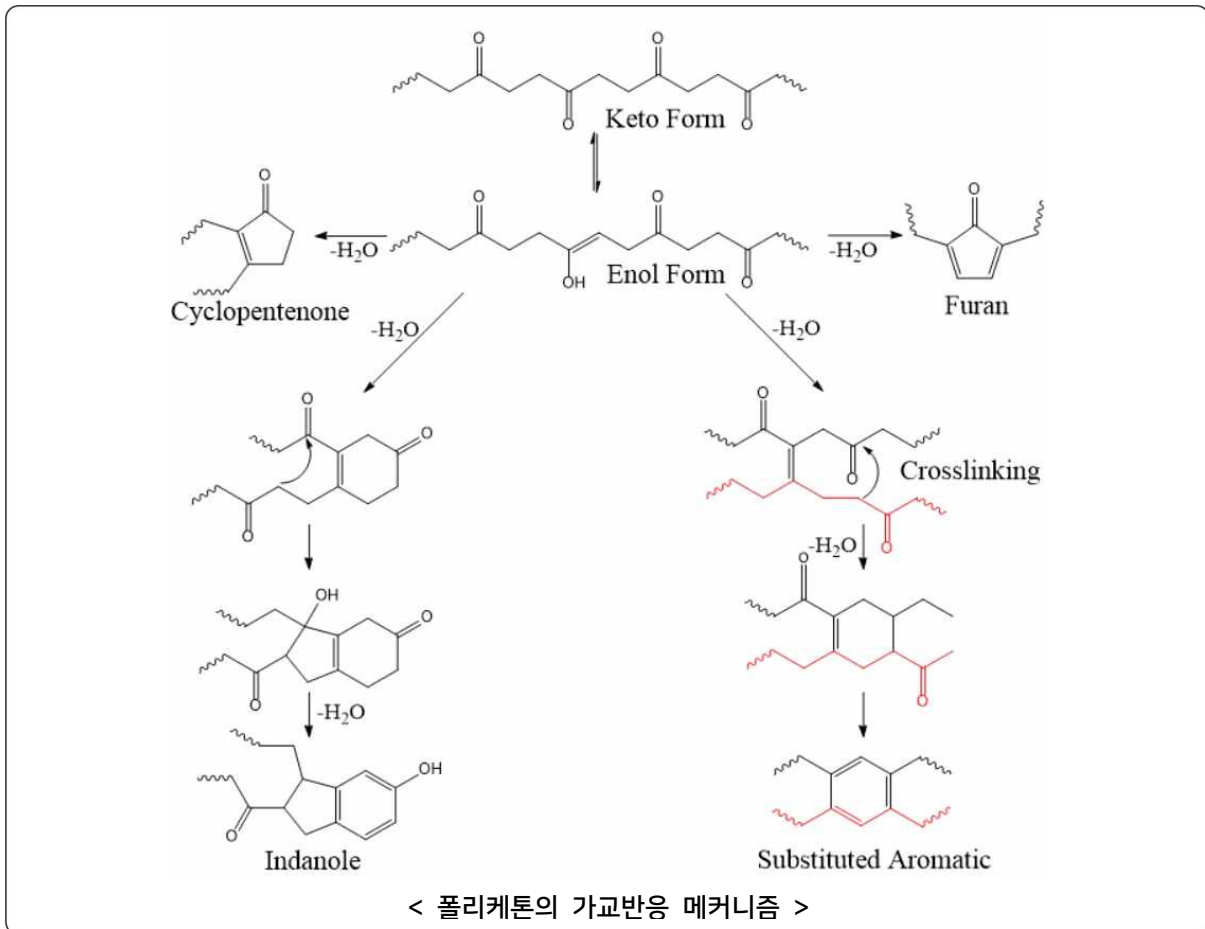
고강도 섬유용 공중합체(Copolymer)는 일산화탄소와 에틸렌만의 완전교대 공중합물로 고밀도(1.30g/ml)와 높은 용점(260℃)을 가지는 상당한 기계적 물성이 기대되는 물질이나, 압/사출가공을 위해서는 용점 대비 15~20℃ 이상의 온도 조건이 필요한데, 가공온도에서 폴리케톤 분자 중에 매우 많은 카르보닐 그룹의 알파-탄소의 활성화로 인해 알돌축합<sup>130)</sup>, 퓨란화<sup>131)</sup> 반응이 일어나 쉽게 가교반응<sup>132)</sup>을 일으킨다. 따라서

130) 알돌축합(aldol condensation): 알데히드(RCHO) 또는 케톤(R<sub>1</sub>COR<sub>2</sub>)이 2분자 반응하여 β-히드록시알데히드 또는 β-히드록시케톤 등 알돌을 생성하는 반응

131) 퓨란(furan): 4개의 탄소 원자와 1개의 산소 원자로 구성된 5원자 방향족 고리로 이루어진 헤테로고리 유기 화합물

132) 가교(bridging, cross-linking): 사슬 모양의 구조를 가진 천연 및 합성 고분자를 어떤 방법으로 결합시켜 새로운 화학 결합을 만들어 3차원 망상구조(網狀構造)를 지니게 하는 반응

공중합체의 압/사출 열가공이 불가하며, 습식방사를 통한 섬유 또는 용액 도포를 통한 Film 제품으로 적용이 한정된다. 그러나 소재 가격 대비 높은 강성 및 일정온도에서의 상전이 특성( $\alpha \rightarrow \beta$  transition, 110~115°C)으로 고무 보강용 소재로서의 장점을 지닌다.



메커니즘상 중합물의 분자량을 좌우하는 것은 정지반응(Termination) 단계로, 용매로 사용된 메탄올이 Pd(II)와 연결된 폴리케톤 고분자를 분리시키고 촉매가 새롭게 initiation된다. 결국 정지반응은 사슬이동(Chain transfer) 단계로 연결되며, 촉매는 단량체가 존재하고 중합조건이 유지되는 한 활성을 잃지 않는다. 메탄올에 의한 Chain transfer는 중합온도가 높을수록 빠르게 진행되며, 동일한 중합 조건에서 온도가 높아질수록 낮은 분자량의 폴리케톤을 얻게 된다.

#### 4) 물리화학적 특성

폴리케톤은 기존 엔지니어링플라스틱 소재인 PA, PBT 대비 2배 이상 우수한 충격강도를 보이고, 화학물질에 대한 저항성은 최고 수준이다. 특히 PA 대비 흡습이 적고 내가수분해성이 특히 우수하여 수분에 대한 물성 변화가 거의 없다. 또한 폴리아세탈(POM) 대비 내마모성이 우수하면서도 소음이 적어서 제품수명이 연장되므로 저소음 고품질 제품에 사용될 수 있다. 또한 폴리케톤은 우수한 가스차단성으로 RTP(Reinforced Thermoplastic Pipe), 식품포장 및 차단필름 등에 적용 가능하다.

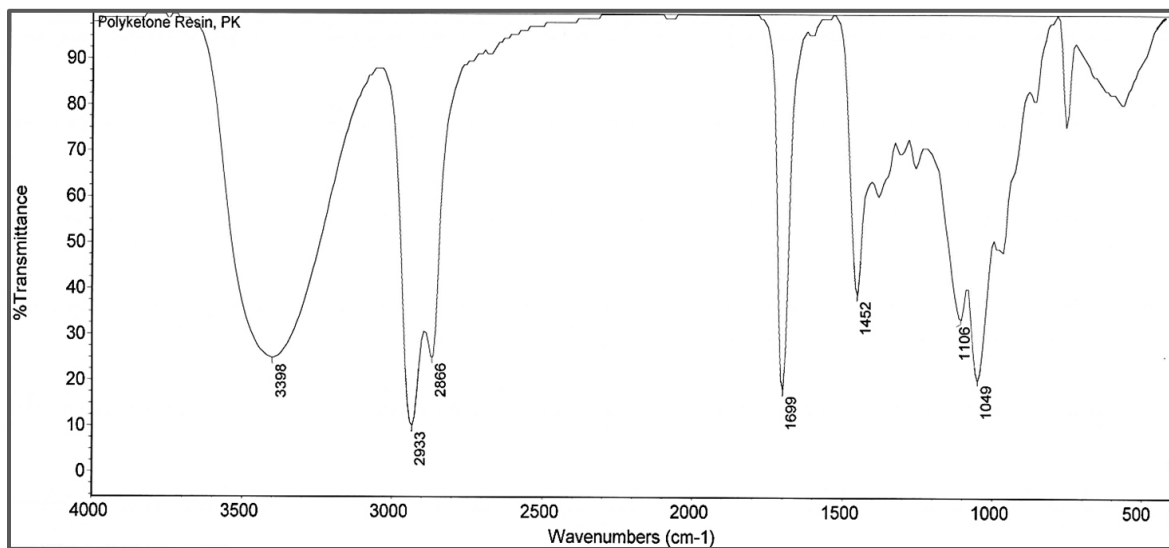
물리적 특성	POKETONE M630A
밀도 (g·cm <sup>3</sup> )	1.24
인장강도 (MPa)	58
쇼어 D 경도	73
탄성계수 (MPa)	1,250
장기내열온도 (°C)	190
열변형온도(1.8 MPa) (°C)	90
아이조드 충격강도 notched (KJ/m <sup>2</sup> )	15

## 5) 용도

폴리케톤은 인체에 무해한 소재로 식품/식수/인체 접촉은 물론 의료까지 인증이 완료되었고 (FDA/KTW/NSF/USP Class VI 등), VOCs 발생이 적어 다양한 용도의 저취기 부품으로도 적용 중이다. 또한, 기체 차단성이 높아서 식품 포장용 필름에 널리 사용되고 있으며, 다층용기 차단층, 정수기 부품, 수전 부품, 식품용 컨베이어 부품 등으로도 사용된다.

## 6) 재질 확인 데이터

### ① FT-IR spectrum



자료: OMNIC spectra Library

**【참고문헌】**

- [1] MatWeb-Shell Carilon<sup>®</sup> DP P1000 Polyketone, <http://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matid=27909>
- [2] Carilon Thermoplastic Polymer - Next-Generation Plastics from SRI International, <https://web.archive.org/web/20110110051309/http://www.sri.com/rd/carilon.pdf#>
- [3] 벤질알콜 용매를 사용한 폴리케톤의 제조방법, <https://patents.google.com/patent/WO2013141458A1/ko>
- [4] Plastics News Europe, <https://web.archive.org/web/20150518080048/http://www.europeanplasticsnews.com/subscriber/headlines2.html?id=4945>
- [5] ㈜효성, <http://www.poketone.com/kr/polyketone/overview.do>
- [6] ㈜효성, [http://www.poketone.com/kr/applications/auxiliary\\_index.do](http://www.poketone.com/kr/applications/auxiliary_index.do)

## 제2절

## 가공셀룰로스제

## 1 기구 및 용기·포장 공전의 정의

가공셀룰로스제(regenerated cellulose)란 펄프를 비스코스화한 다음 응고시켜 가공한 것으로 필름(셀로판, cellophane), 섬유(레이온, rayon) 형태 등을 말하며, 이에는 기술적 목적을 달성하기 위하여 적합한 물질을 원재료에 첨가하거나 또는 코팅 등으로 표면 처리한 것도 포함된다.

## 2 개요

비스코스 용액을 황산수용액 속에 응고시켜 가공셀룰로스를 만들게 되며, 가는 구멍의 노즐을 사용하면 비스코스 레이온이 만들어지고, 슬릿을 사용하면 셀로판 필름이 만들어진다. 비스코스화란 펄프(셀룰로스)를 알칼리와 이황화탄소로 처리하여 비스코스(인견) 용액을 얻는 과정을 말한다.

셀로판은 1900년에 처음 스위스 섬유 엔지니어인 Jacques E Brandenberger에 의해 발명되었다. 보통 셀로판과 방습셀로판의 두 종류가 있는데, 이들 모두 합성수지필름에 비해서 작업성이 우수하고, 특히 인체에 무해하므로 식품포장 등의 고급 포장재로 널리 사용된다. 셀로판은 포장지를 비롯하여 테이프, 직물의 장식 등 활용도가 점점 확대되고 있으나, 값이 비싼 것이 단점으로 지적되고 있다. 니트로셀룰로스는 셀룰로스를 가공한 것은 맞으나, 현행 기구 및 용기·포장 공전에 수재된 가공셀룰로스제에는 해당되지 않는다.

## 3 제조방법

셀룰로스(재생섬유소)<sup>133)</sup>를 알칼리와 이황화탄소로 처리하여 얻은 비스코스 용액을 황산수용액 속에 응고시켜 재생셀룰로스를 만든다. 이때, 가는 구멍의 노즐을 사용하면 비스코스레이온이 나오고, 슬릿을 사용하면 필름이 만들어진다.

133) 재생섬유소: 목재 또는 무명의 부스러기 등을 적당한 화학적 방법으로 처리하여 순수한 섬유소로 이루어진 펄프를 만들고 화학적으로 이를 용해한 다음 다시 섬유상으로 응고시킨 것

## 4 용도 및 특성

셀로판은 투명하고 아름다운 광택을 가지고 있으며, 광선 투과율이 좋고 어떤 가스든지 쉽게 통과되지 못할 뿐만 아니라 인화성도 없으며 절연성이 높다. 또 염색이 자유롭고 인쇄도 가능하며, 대전성이 낮아 먼지가 잘 붙지 않는다. 하지만 기상조건에 대단히 민감하고 수분과 저온에 약한 결점을 가지며 내산성, 내알칼리성이 낮고 열접착성도 좋지 않다. 이러한 결점을 보통 글리세롤 같은 연화제나 플라스틱 코팅으로 보완하여 사용되고 있다. 이렇게 방습 가공한 것은 초콜릿이나 캔디류의 트위스트 포장, 베이커리 포장, 일회용 머스타드 및 케첩 등의 식품포장재나 담배갑 포장 등에 사용한다.

레이온은 인견이라고도 부르며, 광선(ray)와 면(cotton)의 합성어로 광택이 있는 섬유이며, 면의 대체품으로 사용되고 있다.

항목	cellophane, rayon
T <sub>g</sub> (°C)	230
비중	1.40~1.55
인장강도 (MPa)	0.15
신장율 (%)	15

### 【참고문헌】

- [1] Nishiyama, Yoshiharu; Langan, Paul; Chanzy, (2002). Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I $\beta$  from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. J. Am. Chem. Soc 124(31):9074-9082.
- [2] Natercia N. M., Fernandes P. A., Ramos M. J. (2008). Carbohydrate Binding Modules from family 11: Understanding the binding mode of polysaccharides, International Journal of Quantum Chemistry 108(11):2030-2040.
- [3] 식품의약품안전처; 식품용 기구 및 용기·포장의 기준·규격 해설서 (2020)



## 제3절

## 고무제

## 1 기구 및 용기·포장 공전의 정의

고무제란 기본 중합체(base polymer) 중 천연고무, 합성고무(실리콘고무와 부타디엔고무 포함), 이들의 라텍스 또는 열가소성 엘라스토머(thermoplastic elastomer, TPE)의 함유율이 50% 이상인 것을 말한다.

## 2 개요

천연고무는 1800년부터 적도국인 브라질 아마존강 유역, 말레이반도, 동인도 지역에 분포하고 있는 고무나무에서 액체를 받아 응고시켜 천연생고무가 생산되고 있다. 천연생고무 원료는 고히성 고무와 액체성 고무로 나눌 수 있다. 고히성 고무는 고무나무에서 채취한 액체를 응고시켜 판상 드라이 고무로 생산되고, 액체고무는 라텍스로 명명되어 있다.

고무는 학문적으로 석유화학에 속하고, 화학적으로는 탄화수소물로 표기한다. 천연생고무는 RSS(Ribbed Smoked Sheets)라 하거나 NR(Natural Rubber)이라고도 한다. 천연생고무는 1840년 미국의 과학자가 유허에 의한 고무 가황법<sup>134)</sup>을 발명한 후에 영국 과학자에 의하여 고무에 산화제를 가하여 혼합함으로써 좋은 고무탄성제를 발명하였다. 그 시대 영국은 미국보다 과학이 진보된 나라였었고 많은 탐험대원이 세계를 누빈 시대였다. 영국의 과학자들은 고무탄성제를 발명한 이래 고무제조법을 발명하여 1850년 이후 영국의 고무제조 과정이 이루어지게 되었다. 1860년 이후 고무산업국이 번창하여 천연생고무의 수요가 증가하면서 고무산업은 생산과 소비는 균형을 이루지 못하여 생산 부족 속에 어려움을 겪었으나, 영국이 열대지방 국가에서 고무나무 재배에 성공하여 천연고무의 생산이 서서히 증가하였다.

한편, 1940년대 초 미국, 일본, 독일에서 합성고무가 Silicone 고무상에서 합성·생산되었다. 합성고무의 역사는 불과 18~19세기 동안 선진국 과학자들의 연구와 노력 끝에 눈부시게 발전했으며, 부타디엔+이소프렌+스티렌 등에 촉매를 가하는 연구를 통해 합성고무가 생성되기 시작하였다. 스티렌-부타디엔 고무(SBR)는 스티렌+부타디엔을 중합하여 SBR가 생성되었으며, 니트릴+부타디엔을 합성중합하여 니트릴-부타디엔 고무(NBR)가 생산되었다. 그 후 부타디엔에 촉매를 가하여 에틸렌 프로필렌 디엔 고무(Ethylene propylene dien monomer; EPDM)이 생산되기 시작하였고, 미국 듀폰사에 의하여 염소화고무인 상품명 CR 네오프렌(Polychloroprene rubber; 폴리클로로프렌 고무)인 내열성 합성고무가 중합·생산되기 시작하였다.

134) 가황: 고무나 중합체에 황 또는 다른 첨가제를 넣어서 가교결합을 형성하게 하는 것

18세기 중반에는 아크릴고무(ACM고무), 하이파론(CSM), 실리콘고무, 바이톤(불소고무), FKM고무, 지오폴고무(Thiocol), 에피크로로히드린고무(POR, CHR), 알핀고무(AR고무), 염소화부틸고무(CIIR), 부틸고무, IIR고무, 우레탄고무 등 많은 합성고무가 생산되었다. 합성중합체의 2원공중합고무는 두 가지 물체를 합성시켜 중합한 합성고무이며 SBR, NBR등이다. 3원공중합고무는 세 가지 물체를 합성시켜 중합한 합성고무이며 EPDM 등이다. 그 외 특수 합성고무도 2원공중합물의 합성고무로 사용된다.

### 3 제조방법

천연고무는 주로 헤베아 브라질리엔시스(hevea brasiliensis)라는 학명을 가진 파라고무나무에서 나오는 수액을 가공해 얻는다. 고무나무 껍질에 흠집을 내면 유백색의 수액, 즉 라텍스(단백질 층에 싸인 천연고무의 입자가 물속에 떠있는 상태의 액체)가 흘러나오는데 이 액을 받아 응고시키면 천연고무가 얻어진다. 천연고무는 이소프렌(isoprene)<sup>135)</sup>이라는 물질이 평균 8~30만 개가 결합한 천연 고분자화합물로 큰 탄성과 강도를 가지고 있지만 열을 가하면 탄성을 잃고 끈적끈적해지는 성질이 있어서 그 자체로 일상생활에 사용하기에는 어려움이 있다. 그래서 이를 개선하기 위해 고무에 황(sulfer)을 첨가해 반응시키는 가황가공을 거쳐 탄성과 강도를 높인 가황고무를 만들어 사용하는 것이 일반적이다. 가황공정을 거치면 사슬모양의 이소프렌 고분자 사이에서 황이 가교역할을 해 3차원의 그물구조로 바뀌어 탄성, 인장강도 등이 매우 높아진다. 천연고무와 같은 탄성을 갖도록 화학물질을 중합해 만든 합성고분자 물질이 합성고무이다. 처음에는 천연고무에 있는 이소프렌 혹은 이소프렌과 유사한 구조를 지닌 단량체를 결합해 고분자를 만드는 것에서 시작했으나 점차 사용하는 단량체의 종류, 가황공정에서 황의 비율, 기타 첨가제 등을 조절함으로써 여러 가지 용도를 충족할 수 있는 다양한 물성의 합성고무를 만들게 되었으며 오늘날 자동차의 타이어, 연료용 고무호스, 고무오링 등 많은 고무제품이 합성고무를 사용하여 만들어지고 있다. 합성고무의 종류로는 다음과 같은 것들이 있다.

#### (1) 스티렌-부타디엔고무(styrene-butadien rubber : SBR)

스티렌과 부타디엔의 비율이 약 1:3이 되도록 에멀전화 중합시켜 얻은 중합체이다. 가장 일반적인 합성고무이며 GR-S, 부나-S라고도 한다. 천연고무와 성질이 거의 같아서 황으로 가황할 수 있다.

#### (2) 클로로프렌고무(polychloroprene rubber : CR)

클로로프렌의 트랜스형 중합체로 네오프렌 고무라고도 한다. 중합방법으로는 용액중합·에멀전화 중합이 있는데, 공업적으로는 에멀전화 중합이 많이 사용되며, 산화마그네슘으로 가황한다.

135) 이소프렌(isoprene): 천연고무를 구성하는 단위분자 역할을 하는 불포화 탄화수소

**(3) 니트릴고무(acrylonitrile-butadiene rubber : NBR)**

부타디엔과 아크릴로니트릴을 약 2:1의 비율로 에멀전화 중합시킨 혼성중합체로 아크릴로니트릴부타디엔 고무라고도 한다.

**(4) 부틸고무(isoprene-isobutylene rubber : IIR)**

이소부틸렌 중합체를 주성분으로 하며, 황으로 가황할 수 있도록 약 5% 이소프렌을 혼성중합시킨 것으로 이소프렌-이소부틸렌 고무라고도 한다.

**(5) 부타디엔고무(butadiene rubber : BR)**

부타디엔을 중합하여 *cis*-1,4구조를 가지는 중합체로 만든 것으로 이 중합법은 1956년부터 수년간에 걸쳐 미국과 이탈리아에서 발명되었다. 일정한 입체구조를 가지므로 이소프렌고무와 마찬가지로 입체 특이성 고무(스테레오고무)라고도 한다.

**(6) 이소프렌고무(isoprene rubber : IR)**

이소프렌을 중합하여 얻은 천연고무의 성분인 1,4-폴리이소 프렌을 말하며, 합성천연고무라고도 불리는 스테레오고무이다. 지글러 촉매 등을 사용하는 스테레오고무 합성법이 1954년 미국에서 완성된 이후 *trans* 및 *cis* 구조가 혼합된 고무 이외에 다양한 형태의 고무가 만들어지고 있다.

**(7) 에틸렌프로필렌고무(ethylene propylene rubber : EPR)**

에틸렌 60~70%, 프로필렌 30~40% 비율로 혼성중합시킨 무작위공중합체이다. 이중결합이 함유되어 있지 않아서 내열성 및 내오존성은 우수하지만 황으로 가황할 수 없다. 제3성분으로서 디엔화합물을 넣어 삼원공중합시키면 고리 모양이 되어 가황할 수 있는 형태가 된다.

**(8) 다황화물계 고무(polysulfide rubber)**

알칼리성 폴리설파이드와 적당한 알칼할라이드의 축합중합으로 제조된 선 모양 중합체이며, 티오클(thiokol)이라고도 한다. 여러 다황화나트륨과 유기이염화물이 원료로 사용되며, 원료에 따라 성질이 약간 다른 다황화 고무들을 제조할 수 있다. 다른 중합체는 그물 모양을 형성함으로써 가황되는데, 다황화고무는 분자 끝의 메르캅탄기에 의한 선모양 성장반응으로 가황된다.

**(9) 실리콘고무(silicone rubber)**

디클로로실란을 가스분해하여 얻은 선 모양의 고무상 고분자 물질이다. 분자 내에 비닐기를 도입하여 유기과산화물로 가황이 쉽게 되도록 하였다.

**(10) 플루오로고무(fluororubber)**

플루오르를 함유하는 합성고무의 총칭이다. 많은 종류가 있으나 플루오르화아크릴레이트계, 플루오르화비닐리덴계, 플루오르화폴리에스터계 등이 대표적이다.

**(11) 우레탄고무(urethane rubber)**

폴리에스터나 폴리에테르의 글리콜과 디이소시아네이트를 반응시켜 제조한다. 폴리에스터글리콜로는 에틸렌·프로필렌·부틸렌 등의 글리콜을 아디프산 등과 반응시켜 제조되며, 분자량은 1,000~2,000 Da이다. 폴리에테르글리콜로는 폴리옥시에틸렌, 폴리옥시프로필렌, 폴리옥시테트라히드로푸란 등의 글리콜이 사용되며, 디이소시아네이트로는 톨루엔디이소시아네이트, 4,4-디페닐메탄디이소시아네이트 등이 사용된다.

**(12) 아크릴고무(acrylic rubber)**

아크릴산에틸과 아크릴산부틸 등의 아크릴산에스터를 중합시켜 제조한다. 가공성을 개선하기 위해서 아크릴산-2-클로로에틸·아크릴로니트릴 등과 혼성중합시키는 것이 보통이며, 폴리아민과 황으로 가황한다.

**4****용도 및 특성**

원료명	순고무비중	경도	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	신장률 (%)	사용온도 (°C)
천연고무	0.92	30~90	70~280	100~600	-40~60
스티렌-부타디엔고무(SBR)	0.93~0.94	40~90	50~230	100~500	-35~90
부타디엔고무(BR)	0.91~0.92	40~90	50~230	100~500	-45~90
클로로프렌고무(CR)	1.15~1.25	40~90	60~250	100~500	-30~100
니트릴고무(NBR)	1.00~1.20	40~90	50~250	100~500	-25~100
부틸고무(IIR)	0.91~0.93	35~90	50~150	100~600	-40~120
에틸렌-프로필렌고무(EPDM)	0.85~0.87	40~90	50~200	100~500	-40~140
클로로술폰화폴리에틸렌고무(CSM)	1.11~1.18	50~90	70~200	100~500	-25~130
아크릴고무(ACM, ANM)	1.09~1.10	40~90	60~140	190~400	-10~160
플루오로고무(FPM)	1.08~1.82	60~90	70~150	100~300	-25~200
실리콘고무(Q)	0.95~0.98	25~80	30~110	100~500	-95~250

원료명	주요특징	주요용도
천연고무	모든 고무중 촉감이 좋음 기계적 성질 우수	자동차 타이어, 신발, 호스, 벨트, 공기 스프링, 일반용 및 공업용품
스티렌-부타디엔고무(SBR)	천연고무보다 내마모성, 내화성이 양호, 가격이 저렴	자동차 타이어, 자동차부품, 신발, 고무방수포, 운동용품, 벨트등 공업용품 및 일반고무제품
부타디엔고무(BR)	NR보다 탄성이 좋고 내마성 우수	자동차 및 항공기용 타이어, 신발, 방진고무, 고무롤, 벨트, 호스 등의 공업용품
클로로프렌고무(CR)	내후, 내오존, 내열, 내약품, 내노화성 평균적으로 우수	전선피복, 컨베이어벨트, 방진고무, 창틀고무, 접착제, 고무방수포 및 일반공업 용품
니트릴고무(NBR)	내유, 내마모, 내노화성 양호	오일실, 가스켓 내유호스, 컨베이어벨트, 인쇄롤, 방직용 top roll등 내유제품 등
부틸고무(IIR)	내후, 내오존, 내가스 투과성 양호	자동차 타이어용 튜브, Curing bag, 전선피복, 창틀고무, 호스, 컨베이어벨트 등
에틸렌-프로필렌고무(EPDM)	내노화, 내오존, 극성액체에 대한 저항성, 전기적 성질 양호	전선피복, 자동차의 워터스트립 증기호스, 컨베이어벨트 등
클로로술폰화폴리에틸렌고무(CSM)	내노화, 내오존, 내약품, 내마모성 양호	내후성, 내식성도료, 탱크라이닝 고무방수포, 내식성패킹, 내열내식성롤 등
아크릴고무(ACM, ANM)	고온에서의 내유성, 내마모성 양호	자동차의 트랜스 미션 등
플루오로고무(FPM)	최고의 내열, 내약품성	내열, 내유 내화학약품을 필요로 하는 미사일, 로켓 등의 패킹, 화학공장의 내식 패킹, 다이어프램 등
실리콘고무(Q)	고도의 내열성과 내한성, 무독성, 내후성, 전기특성 우수	패킹, 가스켓, 오일실 등, 내열 및 내한용 Sealant, 의료용, 전기 절연용 제품



〈 수저 〉



〈 젓병 고무젓꼭지 〉



〈 성형틀 〉



〈 조리기구 〉



〈 도마 〉

### 【참고문헌】

- [1] M. John R. Loadman, William C. W. (1998) Analysis of rubber and rubber-like polymers 4th edition, Kluwer academic publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- [2] Roger P. Brown, (2006) Physical testing of rubber 4th edition, Springer Science Business Media, Inc., New York, USA.

## 제4절

## 종이제

## 1 기구 및 용기·포장 공전의 정의

종이제란 펄프를 주원료로 하여 제조한 것 또는 이에 식품용 왁스, 합성수지제 또는 고무제 등으로 도장가공한 것을 말한다.

## 2 개요

종이제는 오래전부터 일상에서 광범위하게 활용되고 있는 재료로 오늘날에도 시장에서 가장 다양한 목적으로 사용되고 있다. 또한 종이제는 영구적이거나 비영구적이고, 약하거나 강하고, 싸거나 비싸며, 풍부하거나 부족한 모순적인 물질이다. 일 년에 수백만 톤이 만들어져 사용되거나 수작업으로 소량 만들어지기도 한다. 종이제는 식품포장재로 쓰일 때 독립적으로 쓰일 수도 있고 다른 재료들과 같이 사용될 수도 있다. 최근 친환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 종이제의 사용이 늘어나고 있다. 종이제는 우리 삶의 필수적인 요소로 문화나 예술적인 용도로 사용되기도 하며, 티슈나 약품, 식품 등의 포장재로도 사용된다.

종이제는 나무나 1년생 식물의 섬유에서 얻어진 셀룰로스<sup>136)</sup> 섬유로 만들어진다. 처음에는 부드러운 나무를 이용한 산업으로 시작했다가, 지금은 온화한 기후에서 자라는 단단한 나무를 프린팅이나 필기용 용지로 만들기 위한 가공에 사용되는 이상적인 원료물질로 사용한다. 특히 호주나 뉴질랜드에서 자라는 유칼립투스<sup>137)</sup>는 종이제로의 넓은 영역에 사용되기 위한 양질의 펄프 제조에 이상적인 물질로 쓰인다. 그러나 여전히 부드러운 나무는 더 긴 섬유를 공급하고 가장 단단한 성질이 필요한 종이를 만들 때 사용된다. 화학적으로 순수한 셀룰로스는 작은 글루코오스들이 형성한 긴 리본 모양의 분자로 이루어져 있다. 글루코오스<sup>137)</sup> 단위체들은 탄소, 수소 그리고 산소원자로 구성되어 있다. 이러한 분자들은 수소 결합으로 인해 좌우로 붙어서 하나의 시트를 이루고, 이 시트들이 쌓이고 완전히 밀착되어 마이크로피브릴<sup>138)</sup>을 형성한다. 마이크로피브릴 그룹이 스스로 모여 하나의 묶음을 형성하고, 이 묶음이 모여 종이 섬유를 형성한다. 종이제는 식품과 직접 닿는 쪽에 쓰이거나 닿지 않는 쪽에 쓰일 수 있고, 단독으로 쓰이거나 플라스틱 등과 라미네이트<sup>139)</sup>되어 쓰일 수 있다.

136) 셀룰로스: 식물체의 세포벽 골격을 형성하는 주성분

137) 글루코오스: 대표적인 aldohexose로 자연계에 가장 다량으로 널리 분포하고 있는 단당류종의 하나

138) 마이크로피브릴: 셀룰로스 중합체 및 기타 다당류로 구성된 미세섬유의 덩어리

139) 라미네이트: 얇은 판을 여러 장 붙여 만드는 것

### 3 제조방법

종이제는 고대 중국에서부터 시작된 오랜 역사를 지니고 있고 그 역사는 오늘날에도 진행되고 있다. 천년 정도 수작업으로 만들어지던 종이는 19세기부터 상업적으로 제조되기 시작했고, 1799년 프랑스인 루이스-니콜라스 로버트가 기계로 처음 종이를 제조했다. 처음에는 글쓰기나 프린트 용도로만 쓰이다가 종이의 품질이 다양해지고 그 쓰임 또한 다양해지게 되었다. 종이제의 제조과정은 각각의 등급에 맞게 최적화되어 있다. 각각 등급마다 원자재의 조성 등의 변수가 다르다. 종이제의 제조는 두 가지 단계를 거친다. 첫 번째, 섬유를 제조해야 한다. 이 단계는 화학적 또는 기계적인 과정으로 펄프<sup>140)</sup>를 만드는 펄프 공장에서 행해진다. 펄프 제조는 종이 제조과정에 포함되거나 독립적인 펄프 공장에서 진행된다. 두 번째, 섬유와 화학약품, 첨가제가 혼합되어 기계에서 종이 형태로 제조된다. 일반적인 종이의 제조공정은 아래와 같이 총 7가지 과정으로 나뉜다.

#### (1) 펄프 제조과정 (Pulping process): 목재를 절단하여 섬유상(fiber)의 형태로 만드는 과정

##### ① 기계적 방법

물을 분사시켜서 목재의 수용성 불순물을 제거하는 방법으로 리그린<sup>141)</sup>의 제거는 충분치 않으나 값이 저렴하고 기계적 강도도 기대할 수 있어 신문 용지나 판지 제조에 이용된다.

##### ② 화학적 방법

리그린을 포함한 대부분의 불순물을 제거할 수 있고, 처리하는 화학물질의 종류와 처리 시간에 따라 다양한 종류의 종이를 만들 수 있다.

##### i) 크래프트(Kraft) 공정

수산화나트륨(NaOH)과 황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )을 사용하여 펄프를 제조한 공정으로 크래프트 용지<sup>142)</sup>를 제조하기 위해 사용된다.

##### ii) 설파이트(Sulfite) 공정

아황산(sulfurous acid)과 중아황산나트륨(calcium bisulfite)을 이용한 방법으로 황산지(sulfite paper)를 제조하기 위해 사용된다.

#### (2) 고해(Beating): 리그린을 제거하여 목재로부터 분리된 섬유질을 절단하고 수분을 흡수하여 팽창시키는 과정

- 고해의 시간에 따라 종이의 인장강도, 파열강도, 인열강도 등의 물성이 달라진다.
- 이 과정에서 천연 로진(rosin)<sup>143)</sup>, 전분, 백반<sup>144)</sup> 등을 첨가하여 물에 대한 저항성과 잉크적성 등을

140) 펄프: 종이·셀로판·인조섬유 등의 원료로, 식물섬유를 기계적 또는 화학적으로 분해하여 만든 것

141) 리그린: 수용성 섬유소의 일종

142) 크래프트 용지: 종이의 한 가지로 목재를 가성(苛性) 소다와 황화(黃化) 소다의 혼합액으로 증해(蒸解)시켜 그 섬유를 뽑아내서 만든 화학 펄프를 원료로 해서 만든 종이

143) 로진: 송진의 수증기 증류에서 테레빈유를 제거한 잔사. 반투명으로 담황색의 무른 고체

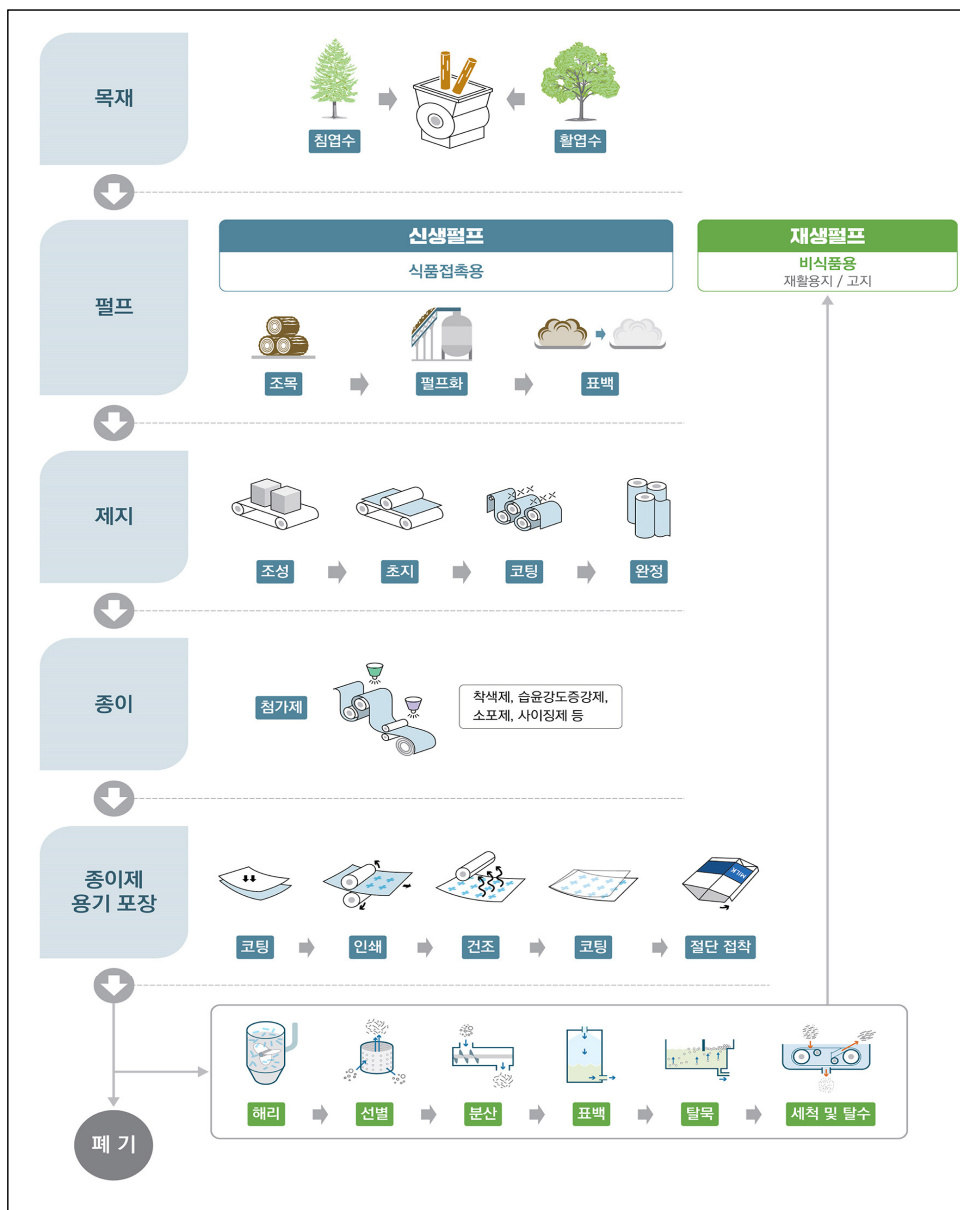
144) 백반: 철을 입히지 않은 자연상태의 나무바탕 그대로의 소반



도와주게 되며, 이를 사이징(sizing)이라 한다. 이 외에도 산화티타늄, 규조토, 카제인<sup>145)</sup>, 왁스, 활석 등의 여러 첨가물이 종이의 색택, 광택, 뽀뽀한 성질 등의 여러 물성의 조절을 위해 고해기에 첨가되기도 한다.

### (3) 제지기: 종이나 판지를 제조하는 과정

- 푸어드리니어 제지기<sup>146)</sup>와 실린더형(cylinder) 제지기
- 얇은 종이는 푸어드리니어 제지기를 거쳐 제조되고, 두께 0.03 cm 이상의 판지는 두 기계 모두에 의해 만들어질 수 있다.



145) 카제인: 우유에만 들어있는 유단백질로서 치즈의 주성분으로 인, 단백질의 혼합물로 등전점이 pH 4.5~4.6이며, 탈지유를 산이나 효소로 침전시켜 만들

146) 푸어드리니어 제지기: 목재 펄프에서 연속적으로 종이의 시트를 만들어내는 장망식(長網式) 초지기

**(4) 카렌더링(Calendering): 최종적으로 종이를 여러 개의 연결된 롤을 통과시켜 다림질을 하고, 표면을 부드럽게 하며 밀도를 증가시키는 과정**

- 밀도가 증가되면 뽀뽀한 성질은 감소되므로 강도와 뽀뽀한 성질이 요구되는 경우 과도한 카렌더링은 피해야 한다.

**(5) 리와인더(Rewinding): 커다란 종이를 고객의 요구에 따라 작게 절단하는 과정**

**(6) 제단 및 포장(Cutting & Wrapping): 생산된 제품의 용도에 맞게 재단하여 포장**

**(7) 인쇄(Printing): 고객에게 인도된 종이는 여러 용도로 인쇄**

가공지제 기계는 여러 겹의 시트를 제조한다. 가공지제의 기본 무게는  $500 \text{ g/m}^2$ 이며 프린트 또는 필기용 종이의 무게는  $40\text{--}120 \text{ g/m}^2$ 이다. 따라서 종이제 기계는 제조 용량에 따라 기술적으로 다르므로 각각은 종이 공장의 용도에 맞추어져 있다.

## 4 용도 및 특성

종이제는 다양한 형태를 가진다.

- 종이 포장재 : 아무런 처리도 하지 않았거나 표백하였거나, 다른 물질과 혼합된 종이제는 과일이나 야채 등을 운반, 보관하기 위한 가방 형태로 쓰인다.
- 접는 박스용 가공지 : 한 겹 또는 여러 겹의 시트로 되어 있으며 나무색이나 회색을 띤다. 코팅이 되어 있기도 하고 안 되어 있기도 하며, 기름, 습기, 가스 등에 대한 내성을 다양하게 조절할 수 있다. 냉동식품 보관용으로 쓰이거나 음료 용기 등으로 많이 쓰인다.
- 골판지 : 갈색이나 흰색이며 낮은 평량<sup>147)</sup>이나 높은 밀도를 가지고 있고, 습도나 압축에 대한 내성이 있다. 상점에서 진열장으로 쓰이기도 하고 마트에서의 작은 박스용으로 쓰이기도 한다. 골판지는 큰 부피의 종이로 구성되어 있고, 식품 포장용으로 적용이 가능하다. 식품 포장재로서의 활용을 위해서 식품을 보호할 만큼은 강해야 한다. 또한 어떤 부분에서는 외부 환경에 의한 식품의 손상을 막기 위해서 배리어 특성을 가져야 한다. 특수한 배리어 특성을 갖게 하기 위해서는 화학약품 처리를 하거나 금속이나 플라스틱 등의 다른 물질과 라미네이션시켜야 한다.

다음은 지난 50년간 종이제의 수요가 증가한 이유이다.

- 튼튼하고 다양하게 적용할 수 있다.
- 재활용하기 쉽다.
- 재활용된 종이와 나무 펄프로 새로운 제품을 생산할 수 있다.

147) 평량: 종이의 단위면적당 무게를 나타내는 종이의 기본 무게의 호칭  $1\text{m}^2$  수로 나타내는 것



### 【참고문헌】

- [1] Biosafepaper. Proposal No QLRT -2000-00930. Application of bioassays for safety assessment of paper and board for food contact. <http://www.uku.fi/biosafepaper/>
- [2] Council of Europe -- Committee of Ministers (Partial agreement in the social and public health field) -- Resolution AP (2002)/1 on Paper and Board materials and articles intended to come into contact with foodstuffs (adopted by the Committee of Ministers on 18 September 2002 at the 808th meeting of the Ministers' Deputies)
- [3] DGCCRF. Proposal n°97-002 -- 1997/1999. "Interactions de matériaux cellulose et plastiques enduits avec les simulant gras".
- [4] Delagoutte, T. and Ottenio, D. February 5th, 2003. Decontamination of recycled Fibres - State of the art, CTP results and perspectives - 5th CTP Recycled Fibres Forum, Grenoble, France.
- [5] European Commission Joint Research Centre. (October 1997). Proceedings of the first European Workshop on Paper and Board in Food Contact Applications.
- [6] Höötmann, U. 10-17-1997. Microorganisms in Paper and Paper Industry. COST E1 Workshop of Stock Preparation Chemistry-DCM "Microbiological Problems and Possible Solutions in Paper Recycling Industry", Bled, Slovenia.
- [7] Jouve, J-L. Position paper on microbiology in papermaking (15.03.1999). RD 6.2/14-35.4 -- Council of Europe Ad Hoc Group -- Guidelines Recycled Fibres -- 5th meeting. Unpublished.
- [8] Pirttijärvi, T.S.M., Graeffe, T.H. and Salkinoja-Salonen, M.S. (1996). Bacterial contaminants in liquid packaging boards: assessment of potential for food spoilage. Journal of Applied Bacteriology, 81:445-458.

## 제5절

## 금속제

## 1 기구 및 용기·포장 공전의 정의

금속제란 금속으로 구성되어 있는 것 또는 이에 합성수지제, 고무제 또는 도자기제 등으로 도장한 것을 말한다.

## 2 알루미늄

## 2.1 개요

우리가 범용으로 사용하고 있는 금속 주방식기용품에는 알루미늄, 스테인리스, 무쇠, 황동으로 만들어진 냄비, 주전자, 프라이팬 및 불판 등이 있으며, 최근에는 제품 시장의 다양화와 함께 제품의 사용 목적에 따라 다양한 합금제품들이 개발되고 있다. 한편, 가정이나 업소 등에서 다양한 용도로 사용되는 알루미늄박<sup>148)</sup>(호일)도 금속제에 해당하며 가격이 저렴하면서 중량이 가볍고, 가공성, 열전도도 및 기타 기계적 성질 등이 우수하여, 접시 등의 간이 용기로 만들어 즉석요리나 빵, 냉동식품의 포장에 사용되고 있다.

## 2.2 제조 방법

## 1) 고용체화 처리

완전한 고용체가 되는 온도까지 가열했다가 급랭하여 조직체를 과포화의 고용체로 만드는 방법

## 2) 인공시효(seasoning) 처리

과포화의 고용체를 120~200℃로 가열하여 과포화 성분을 석출<sup>149)</sup>시키는 방법

## 3) 숙성(annealing)

처리온도와 인공시효<sup>150)</sup>온도의 중간온도까지 가열하여, 석출된 미립자를 응집시키고 잔류응력<sup>151)</sup>을 제거하여 재질을 연하게 하는 방법

148) 알루미늄 호일: 알루미늄 합금을 두께 4.3~150 μm 정도로 얇게 압연한 시트

149) 석출: 온도를 녹는점 이하로 낮춰 액체상으로부터 고체상을 만들어 내거나, 온도에 따른 용해도 변화에 의해 용질이 결정화되는 현상

150) 인공시효: 상온보다도 높은 온도로 행하는 시효

151) 잔류응력: 가공이나 열처리를 한 재료의 내부에 생긴 응력

4) 이상의 처리를 단독으로 또는 두 가지 이상 시행하기 때문에 제품의 성질은 그 성분규격과 동시에 열처리법도 명확하게 표시하여야 한다. 따라서 알루미늄 합금에서는 합금 규격의 뒤에 다음과 같은 알루미늄 열처리 기호를 붙인다.

- 가) F: 제품 그대로(압연, 압출, 주조한 그대로)
- 나) O: 어닐링<sup>152)</sup>한 재질(압연한 것에만 사용)
- 다) H: 가공경화한 재질
- 라) W: 담금질 처리 후 시효경화가 진행 중인 재질
- 마) T: F, O, H 이외의 열처리를 받은 재질

### 2.3. 용도 및 특성

알루미늄과 그 합금은 항공 우주 산업이나 가정용 기물 외에 일반 공업용 차량, 토목, 건축, 조선, 화학 및 식품 등 많은 공업 분야에 널리 사용된다. 알루미늄은 활성인 금속으로 대기 중에서 쉽게 산화되지만, pH 4.5~8.5의 환경에서 표면에 산화알루미늄을 형성하여 내부의 산화를 막아 보호하기 때문에 내식성은 우수하나 이온화 경향이 커서, 부식 환경 하에서 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb) 등과 접촉하면 심하게 부식되고 수은(Hg)이 ppm 단위만 있어도 심하게 부식된다. 그러나 알루미늄보다 낮은 전위의 마그네슘(Mg), 아연(Zn)을 접촉시켜 NaCl 용액 속에 넣으면 알루미늄은 부식되지 않는다. 순수 알루미늄은 강도가 낮으므로 망간(Mn), 실리콘(Si), Mg, Cu, Zn, Cr 등을 첨가하여 석출 경화에 의한 강도 향상을 도모하여 사용한다.

알루미늄의 기계적 성질은 다른 금속과 같이 불순물의 함유량 및 열처리에 의해서 변화한다. 알루미늄은 상온가공에 의하여 경화한 것을 가열하면, 150°C 정도에서 연화되기 시작하여 300~350°C에서 완전히 연화된다. 온도가 높아짐에 따라 점차 강도가 감소되지만, 연신율은 400~500°C에서 증대된다. 따라서 압연 및 압출 등의 가공은 이 온도 범위에서 하게 된다.

152) 어닐링: 금속을 장시간 재결정화 온도 이상의 고온에 노출시켜서 더 부드럽게 만드는 작업

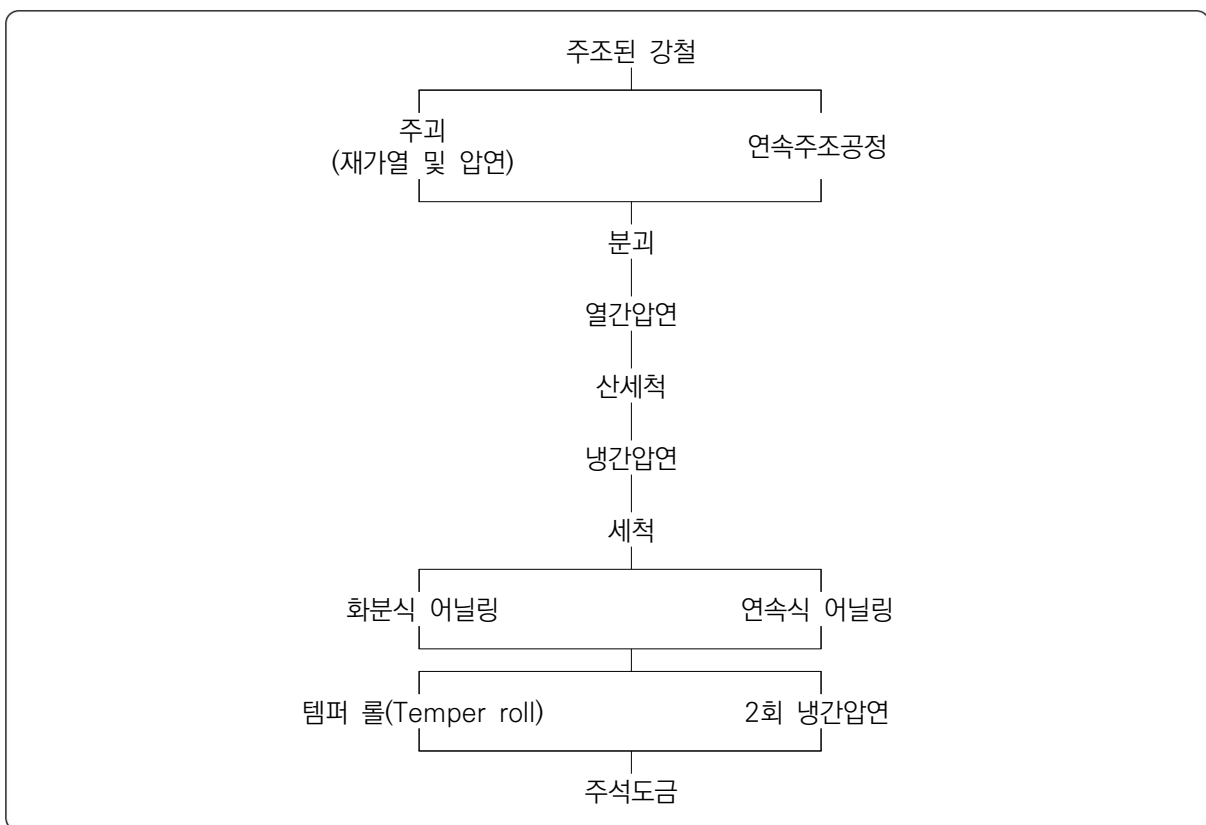
### 3 강철 및 주석

#### 3.1 개요

식품포장재로 쓰이는 주석판은 두께 0.15~0.3 mm인 저탄소 강판의 양면에 주석을 2.8~17.0 g/m<sup>2</sup> (두께 0.4~2.5 μm) 정도로 코팅한 것을 말한다. 주석과 철을 이렇게 결합시킴으로써 기계적 가공성과 강도 및 위생성, 내부식성, 외관에서 우수한 재료가 된다.

#### 3.2. 제조 방법

주석을 도금하기 전의 강판은 용도와 사용 목적에 따라서 두께, 압연, 템퍼(temper)<sup>153)</sup> 등이 달라지며, 그 대표적인 제조공정은 아래와 같다.



153) 템퍼(temper): 금속 경도나 인성의 비율. 또는 강 함탄량

### 1) 주괴 및 분괴의 제조

용광로로부터 저탄소강<sup>154)</sup>을 주괴로 만들거나 연속주조 공정에 의하여 얇은 판인 분괴로 만든다. 주괴의 경우는 균일한 온도로 재가열·압연하여 분괴를 만들게 되며, 분괴는 다시 가열·압연하여 두께를 얇게 만드는데 이를 열간압연이라고 부른다. 열간압연 된 강판은 산화철 피막을 가지고 있으므로 황산이나 염산 탱크를 통과시켜 이를 제거하고, 다음의 압연공정을 위해 기름을 바른다. 그런 다음 빠른 속도(1,000~2,500 m/분)로 냉간압연하여 두께를 1/10으로 감소시킨다. 이때의 두께는 1회 압연 강판의 경우에 최종 두께에 가깝다. 냉간압연을 거친 강판은 결정성 구조로 인하여 딱딱하고 부서지기 쉬운 성질을 가지고 있어서 사용이 불가능하다.

### 2) 어닐링(Annealing)

강판코일을 580~600℃로 가열하여 불활성가스 조건하에서 60시간 정도 노출 방치시키는 것을 어닐링(annealing) 공정(회분식)이라 한다. 연속적으로 어닐링 하기도 하는데, 이 경우 소요시간은 몇 분으로 충분하다. 어닐링 공정에 따라서 템퍼로 불리는 제품의 특성이 달라진다. 어닐링된 강판은 템퍼 롤(temper roll)을 거쳐 경도의 조정, 표면 특성의 조정을 하게 되며 1회 압연 강판의 제조에 사용된다. 탄산 청량음료용과 같이 내압이 걸리는 캔과 같은 용도로 사용되는 얇고 강한 강판의 제조를 위해서는 템퍼 롤 대신에 2회 압연을 거쳐 두께를 20~50% 줄여 준다.

### 3) 주석 도금<sup>155)</sup>

도금되지 않은 무처리 상태의 강판을 흑판(black plate)이라고 하며 부식에 약하기 때문에 건조 향신료의 포장에 쓰이는 외에 거의 식품포장에 쓰이지 않는다. 이러한 무처리 강판의 경우 강판 위에 오일(oil)을 코팅하고 주석판의 제조를 위해서는 세척 후 주석을 도금하게 된다. 주석 도금은 강판을 음극, 주석을 양극으로 하여 주석 염용액 중에서 전기분해<sup>156)</sup>하여 연속적으로 주석을 도금하는 전기도금법(electrolytic tinning)을 이용하여 도금한다.

## 2.3. 용도 및 특성

주석은 다른 화학물질과 결합하여 다양한 화합물을 형성할 수 있다. 주석이 염소, 황, 산소 등과 결합한 경우 무기주석 화합물이라 부른다. 무기주석 화합물은 주로 도자기와 섬유용 안료로 사용된다. 치약, 향수, 비누, 식품첨가물 등에도 소량 사용된다. 또한, 탄소와 결합하여 유기주석 화합물을 형성할 수 있다. 이러한 화합물은 플라스틱 제조와 식품 포장, 살충제, 페인트, 목재 방부제, 쥐약 등에 사용된다. 강판에 이러한 주석을 도금한 주석판은 캔의 제조에 사용되고, 용기의 성형, 및 식품용기의 뚜껑으로도 광범위하게 사용되고 있다.

154) 저탄소강: 탄소함유량이 10% 이하의 보통강

155) 도금: 물건의 표면 상태를 개선할 목적으로 다른 물질의 얇은 층으로 피복하는 일. 금속 표면에 다른 금속(순금속 외에 합금도 포함)의 얇은 층을 입히는 것

156) 전기분해: 물질에 전기 에너지를 가하여 산화, 환원반응이 일어나도록 하는 것

주석은 은백색의 금속 형태를 띠는 경우가 가장 많다. 주석을 함유하는 다양한 광물 중, 석석<sup>157)</sup>은 산화화합물이며, 나머지는 황화화합물이다. 주석 화합물은 원자가에 따라 2가 주석과 4가 주석으로 나눌 수 있다. 주석은 공기 중에서 가열되면 이산화주석( $\text{SnO}_2$ )이 되며, 이것은 쉽게 산화되어 주석산( $\text{SnO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )염이 된다. 주석은 다른 화학반응이나 부식을 방지하기 때문에 코팅제로 많이 사용된다. 실리콘이나 게르마늄과 같이 금속과 비금속의 중간이며, 보통의 온도 및 압력 하에서 두 개의 동소체가 존재한다.  $13.2^\circ\text{C}$  이하에서는 실리콘이나 게르마늄과 유사하게 정육면체 결정체를 갖는 회색 또는  $\alpha$ -주석으로 존재한다. 회색 주석은  $13.2^\circ\text{C}$ 에서 백색 또는  $\beta$ -형태로 전환된다. 회색주석은 금속 성질이 전혀 없으며 반도체로서 역할을 할 수도 있다.

강철은 철을 주성분으로 하는 금속 합금을 가리키며, 철이 가지는 성능을 인공적으로 높인 것이다. 성분적으로 탄소의 함유가 0.3~2% 이하의 것을 나타낸다. 하지만 0.3% 이하에서도 고합금인 스테인리스, 내열강 등도 강철의 범위에 포함된다. 강철의 독특한 특성에서 중요한 것은 2가지 결정 형태가 존재하는 동질이상이다. 체심입방배열(body centered cubic, BCC)은 각 입방체 중심에 원자가 하나 더 있고, 면심입방배열(face centered cubic, FCC)은 단위입방체의 여섯 면 중심에 원자가 하나씩 더 존재한다. 이 때문에 면심입방배열은 격자 사이의 거리가 체심입방 배열보다 약 25%가량 크다. 철은  $912^\circ\text{C}$  이하에서, 그리고  $1,394\sim 1,538^\circ\text{C}$  사이에서 체심입방구조로 존재한다.



〈 스테인리스 보관저장용기/냄비/식기 〉



〈 알루미늄 캔 〉



〈 구리, 주석 수저 〉



〈 유기그릇 〉



〈 조리기구 〉



〈 냄비 〉



〈 알루미늄 호일 〉

157) 석석(錫石): 주석의 주요한 원료 광물



**【참고문헌】**

- [1] International Life Sciences Institute (European Branch) (2007). PACKAGING MATERIALS 7. Metal Packaging For Food Stuffs, ILSI Europe, Brussels, Belgium.
- [2] 알루미늄 합금, 한국과학기술정보원, 2007. 7.
- [3] Aluminum & Aluminum Based-Alloy, LG건설, 이진희. <http://www.technonet.co.kr>
- [4] 박무현, 이동선, 이광호. 식품포장학. 형설출판사. 1994. p.21

## 제6절

## 목재류

## 1 기구 및 용기·포장 공전의 정의

재류란 나무나 대나무로 구성된 것 또는 이에 옷나무(*Rhus Vernicifera*)에서 얻은 유액 등을 도포하거나 합성수지제 또는 고무제 등으로 도장 또는 접착가공한 것을 말한다.

## 2 개요

수목의 뿌리, 가지 및 줄기의 수피<sup>158</sup>)를 제외한 부분으로 셀룰로스<sup>159</sup>), 리그닌<sup>160</sup>) 및 헤미셀룰로스<sup>161</sup>)가 주성분인 것 또는 이에 옷나무(*Rhus Vernicifera*)에서 얻은 유액을 도포한 것을 말한다. 목재는 벌채되어 사용될 때까지 제재가공, 건조가공, 기계가공, 접착가공, 도장가공, 방부가공, 화학가공을 거치게 된다. 각 가공과정 중에 다양한 합성수지계 원료와 첨가제가 사용되고 있으며, 오염·노후·손상보호를 위해 셀룰로스계 및 합성수지계 도료 등을 사용하고 있다.

## 3 용도 및 특성

나무 상자(wooden box)는 예부터 많이 사용해 온 포장 용기의 하나이다. 완충 재료, 덧담나무, 받침 나무 등을 사용하여 내용물의 보호성을 높일 수 있고 수송이나 보관 등에 적합하며 반복하여 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 내용물에 비해 상자의 무게, 부피가 크고 포장 작업, 개봉에 일손이 많이 들며 다른 포장재료에 비해 비싸다.

나무 상자는 그 종류가 대단히 많으나 일반적으로 옆판, 덧담판의 구조에 따라 유형이 나뉜다. 합판상자(plywood box)는 가벼워서 항공 수송용으로 많이 사용되며, 일반적으로 내용물이 가벼운 것에 주로 사용된다. 합판을 사용하였기 때문에 상자 그 자체가 아름답고 또 인쇄할 수 있어 선전 효과도 크다. 하지만 보통 나무 상자보다 비싸고, 합판의 규격 치수에 좌우되기 때문에 버려지는 나무가 생길 수 있다. 또한 살상자<sup>162</sup>)는 내용물이 손상되기 쉽지만, 어느 정도 비를 맞거나 물에 젖는 일이 있어도 상관없는 물품을 포장하는데 사용하는 상자이다. 또한 부패를 막기 위해서 통풍을 좋게 할 필요가 있는 물품의 포장에도 사용된다.

158) 수피: 나무 껍질

159) 셀룰로스: 분자식 (C H O) . 고등식물의 세포벽의 중요 성분을 구성하는 당류

160) 리그닌: 목재 속의 셀룰로스에 20~30% 존재하는 고분자의 방향족 중합화합물

161) 헤미셀룰로스: 셀룰로스의 미섬유 사이의 기질결을 구성하는 다당류 중 펙틴질 이외의 다당류의 총칭

162) 살상자: 살을 엮어 만든 상자

일반적으로 병조림, 청량 음료병, 맥주병 도자기, 판유리, 기계류 또는 양파, 감자 등의 채소류와 같은 것을 포장하는 데 사용된다. 계침상자(wire bound box)는 얇은 판자를 철선으로 연결하고, 적당한 덧대기 나무에 의해서 보강된 나무 상자이다. 보통 나무 상자에 비하여 무게가 1/3정도 밖에 안되고 목재도 절약할 수 있다. 처음에는 주로 채소류를 포장하는 상자로 사용되었지만, 최근에는 가전용품 등의 포장에도 사용되고 있다. 목재류는 나무젓가락, 옷칠된 목기류 등으로도 사용된다.



### 【참고문헌】

- [1] 박무현, 이동선, 이광호 (1994), 식품포장학, 형설출판사, 한국
- [2] 이선희, 기구·용기포장용 가공목재류 등에 대한 안전관리방안 마련을 위한 연구, 한국건설생활환경시험연구원 (2013)

## 제7절

## 유리제, 도자기, 범랑 및 용기류

## 1 유리제

## 1.1 개요

유리는 규사(모래)를 주원료로 하여 소다회(탄산나트륨,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), 석회석(탄산칼슘,  $\text{CaCO}_3$ ) 등을 혼합하여 약  $1,500^\circ\text{C}$  정도의 고온에서 용융 후 냉각하여 만든 투명하고 단단한 물질이다. 고온에서 액체와 같이 유동성을 띄다가, 온도가 낮아짐에 따라 고점성 유동상태가 되며, 더 냉각되면 딱딱하여 깨지기 쉬운 고체 상태로 변하는 성질을 가진다. 미국재료시험협회(American Society for Testing Materials, ASTM)에서는 '유리를 결정화되지 않은, 용융 상태에서 경질 상태로 냉각된 무기 재료'로 정의하고 있다. 우리가 생활하면서 사용하는 유리의 대부분은 소다석회 유리(soda-lime glass)이며, 가열조리나 열탕용으로 사용되는 내열성이 높은 유리는 붕규산 유리(borosilicate glass)이다. 물이나 산을 함유한 식품을 보관하여도 부식되거나 반응하지 않아 식기류, 냄비, 유리병 등 다양한 용도의 식품용 유리제로 활용되고 있다.

## 1.2 제조 방법

과거에는 유리를 만들 때(특히 유리병)는 취관(blow pipe)을 이용하여 직접 사람이 불어서 생산해 왔으나, 이제는 기술이 발전하여 진공성형기 등을 이용한 기계적 성형기를 이용하면서부터 대량 생산 라인이 갖춰진 공장이 많다. 유리를 생산하는 공정은 크게 유리의 원료가 되는 원재료를 배합하여 공급하는 배합공정과 약  $1400^\circ\text{C}$  정도의 고열로 가열하여 원료를 녹이는 용해공정, 진공성형기 등을 이용하여 제품의 형태를 만들어 가는 성형공정, 그리고 제품을 인쇄하고 마무리하는 마무리 공정 등으로 나누어진다.

## 1.3 용도 및 특성

유리의 기계적 강도는 그 실제적 값이 이론적으로 추정되는 값보다 크게 떨어진다. 그 이유는 유리가 제품화할 때까지의 단계에서 기계적 강도를 약화시키는 요인이 개입되기 때문이다. 즉 용융한 종초자는 성형한 다음 서서히 냉각과정을 거쳐야 함에도 불구하고 일반적으로는 용융한 종초자의 성형 단계에서 급랭이 불가피하며, 이로 인해 유리 내부에는 필연적으로 변형이 생기게 되어 이것이 유리의 강도를 약화시키는 원인이 된다. 이때 생긴 변형을 없애기 위해서는 서냉(徐冷) 조작을 해야 한다. 즉 성형품을 서냉가마에 넣고 변형이 일어나지 않는 상태의 온도 범위, 즉 서냉 온도 범위까지 재차 고온 가열한 다음 그 가마 안에서 서서히 온도를 강하시켜야 한다. 강도를 약화시키는 또 하나의 원인에는 유리 표면에 잠재하고 있는 흠(flaw)이 있는데 매우 작은 흠이라도 기계적 강도에 큰 영향을 미친다. 따라서 유리의



## 2 도자기

### 2.1 개요

도자기란 무기물질을 주원료로 한 점토(소지)로 어떠한 형태를 만들어 구어낸 소결체<sup>163)</sup>로 정의된다. 그러나 주원료로 사용되고 있는 무기물질의 종류나 조합량에 따라, 또는 소성온도<sup>164)</sup>와 가마의 분위기에 따라, 또한 유약<sup>165)</sup>의 특성이나 종류에 따라 성질의 차이가 크다. 따라서 도자기에는 토기, 석기, 도기, 자기, 특수자기 등으로 구분하고 있다.

### 2.2 제조 방법

도자기 제작과정은 크게 도토수비-성형-젓물-소성 4가지로 나뉜다.

- 가) 도토수비: 채취해온 사토<sup>166)</sup>를 먼저 잘게 빻아 물에 넣고 잘 저어서 그 윗물을 받아 침전된 아주 섬세한 흙을 받아야 한다. 이곳에서는 그 윗물을 ‘톳물’, 침전된 흙을 ‘질흙’이라고 하여 이러한 일련의 작업을 ‘톳물받기’라 하는데 도자용어로는 ‘수비’라고 한다. 이때 사토를 물에 넣어 나무가래로 저으면서 톳물을 일으키는 장치를 ‘구영통’이라 한다.
- 나) 성형: 질흙이 준비되면 그릇을 만든다. 그릇을 빚기 하루 전에 곱게 만든 질흙 덩어리를 곱베로 빻아서 맑은물(석간수)을 부어 이기게 되는데, 이 과정이 도자기 제작 과정 중 가장 중요한 과정이다. 이기는 작업이 끝나면 하룻밤 지난 뒤에 알맞게 질흙을 떼어 뭉쳐 널반지 위에 놓고 두 손으로 돌리면서 반죽한다. 그리고 나무물레 위 중앙에 맞춘 다음에 물레 밑바탕을 밖으로 차면서 돌리기 시작한다. 그와 동시에 물문힌 양손엄지로 꼬막의 중앙부를 누르고 나머지 여덟 손가락으로 외부를 쓰다듬으면서 그릇의 형을 만들어 간다. 다 만들어진 그릇을 그늘에서 일주일쯤 말린 다음 그릇의 굽 언저리를 깎아내어 다듬는다.
- 다) 젓물: 지은 그릇을 초벌구이<sup>167)</sup>하여 유약을 칠한 다음 재벌구이를 하는 것이 전통 도자기의 일반적인 생산과정이다. 그러나 초벌구이는 재벌구이를 할 때 가마의 뒷 칸에서 유실되는 열을 이용하는 경우가 많다. 유약의 제조 및 처리 방법을 살펴보면, 유약을 ‘젓물’, ‘목모레’ 또는 ‘미음물’이라고 한다. 이런 용어들은 옛 기록에서는 찾아볼 수 없는데 그것은 종래 천민 신분이었던 사기장들 사이에서만 쓰여 온 말이기 때문이다. 초목을 태운 젓물을 사토 미음물과 혼합하여 유약을 만드는데, 이때 담금법, 살포법, 도포법 등의 3가지 방법이 있다.

163) 소결체: 가루상태의 물질이 적당한 압력과 녹는점 이하의 가열에 의해 굳어진 물질

164) 소성온도: 도자기를 구울 때의 가마의 온도

165) 유약: 도자기를 제조할 때 성형하여 구운 소지(素地) 위에 얇게 피복·밀착시키기 위해 바르는 유리질의 젓물

166) 사토: 모래가 많이 섞인 흙이나 땅

167) 초벌구이: 유약을 입히기 전에 1차로 세라믹 기물을 가마에서 열처리하는 것

라) 소성: 그릇을 사깃굴 안에 쌓아 놓고 서서히 가열하여 700~800℃까지 굽는 것을 ‘초벌구이’라 하고, 이에 유약처리한 다음 1300℃ 내외로 가열하여 구워내는 일을 ‘재벌구이’라 한다.

### 2.3 용도 및 특성

내열성 및 기계적 강도가 높아서 찻잔, 접시, 컵, 대접, 뚝배기 등의 식기용으로 활용되며, 또한 내장 및 외장타일, 모자이크 타일, 변기 및 화장실 부속품 등의 건축용, 내산병, 내알칼리병, 원자로 재료, 내열자기 등의 공업용으로도 이용된다.



〈 컵·잔 〉



〈 식기류 〉



〈 냄비 〉



〈 저장용기 〉

#### 【참고문헌】

- [1] 윤용이. (1996). 아름다운 우리 도자기, 학고재, 40-43.
- [2] 공예도서편찬연구회. (2004). 도자기 공예기법, 상투스, 51-59

### 3 법랑

#### 3.1 개요

금속의 표면에 유리를 얇게 입혀 금속을 유리로 피복한 요업체로 금속의 견고성과 유리의 특성, 즉 표면이 미려하고 내식성이 큰 성질을 겸비토록 만들어진 제품이다.

#### 3.2 제조방법

법랑제품은 가공 후에 표면처리를 하는 선가공 후도장 제품으로 강판에 자기질의 에나멜 유약을 용착하여 제조한다.

#### 3.3 용도 및 특성

소재강판의 우수한 강도와 유약의 우수한 내식성, 내열성, 내약품성으로 부엌 용품, 위생기기, 세탁기, 냉장고, 난로, 욕조, 화학용기, 건축용관, 내열장치, 표시관, 내산파이프와 밸브 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다.



〈 주전자 〉



〈 냄비 〉

#### 【참고문헌】

- [1] 한국민족문화대백과사전편찬부. (1991). 한국 민족 문화 대백과 사전, 132-135.
- [2] 斗山東亞百科事典研究所, (1998), 두산세계대백과사전, 89



## 4 용기류

### 4.1 개요

옹기는 질그릇과 오지그릇의 통칭으로서, 보통 가정에서 쓰는 옹기로는 독·항아리·뚝배기·자배기·푼주·동이·방구리, 약탕기 등이 있다.

### 4.2 제조방법

철분이 많은 진흙으로 만드는데, 먼저 그릇 만들 흙을 물속에 넣고 휘저어 모래나 불순물을 가려낸다. 그런 다음 받아둔 고운 앙금에서 물이 빠지면 그릇을 빚어 햇볕에 말린다. 말린 날그릇을 다시 햇볕에 말리고 잿물을 먹인 다음, 또 한 번 말린다. 날그릇에 바르는 유약은 잿물통에 철분이 섞인 흙과 나뭇재를 비슷하게 섞어 넣고 고루 저은 다음, 체에 쳐서 걸러낸다. 날그릇에 유약을 먹인 다음에는 몸통에 난초나 풀 무늬를 그려 충분히 말린 다음, 가마에서 구워 완성한다.

### 4.3 용도 및 특성

통기성, 방부성, 견고성, 방균성, 방온성, 세정성의 특징을 가지고 있으며 접시, 수저통, 필통, 수반, 떡살, 주전자, 각종 그릇잔, 냄비, 밥솥, 찬기 등의 다양한 생활용구로 사용되고 있다. 이 밖에 음식이나 곡물 등을 담아 두는 목적으로 사용되는 생활용구, 술과 떡을 만드는 용구, 약탕기, 신앙용 단지, 악기 굴뚝 등 생활 전반에 걸쳐 사용되고 있다.



〈 항아리 〉



〈 뚝배기 〉

### 【참고문헌】

- [1] 이훈석, 정양모, 옹기문화가족. (1991). 옹기, 대원사, 25.
- [2] 나선화. (2006). 한국의 전통공예도기, Ewha Womans University Press, 107-108.

## 제8절

## 전분제

## 1 기구 및 용기·포장 공전의 정의

전분제란 전분(starch) 70% 이상을 원료로 하여 적절하게 처리한 것을 말한다.

## 2 개요

전분은 식물로부터 생산되는 고분자 탄수화물로 포도당이 다수 결합한 다당류의 일종이다. 전분은 식량자원으로서 중요한 위치를 차지하고 있을 뿐만 아니라 제지 사이징, 골판지 접착용, 제약용 등 비식품 분야에서도 광범위하게 사용되는 공업원료로 유망한 자원이다. 특히 20세기 후반 들어 석유와 같은 화석자원이 한정적이고, 장차 고갈을 면치 못할 것이라는 사실을 인식하게 되면서, 전분이 비교적 단기간의 합성 사이클을 가진 천연물이란 점에서 앞으로의 주요 원료 공급원으로 주목을 받고 있다.

## 3 제조방법

산처리 전분 및 산화전분과 같은 전분 유도체는 균일한 반응과 관리가 용이하여 제조원가면에서도 유리하므로 그 생산량은 세계적으로 볼 때 전체 변성 전분의 50% 이상을 점유하고 있다. 그러나 이들은 산 및 산화제로 분자사슬을 전달하고 있기 때문에 부생<sup>168)</sup>하는 저분자의 것이 회수가 곤란한 상태로 물에 용출되거나 경우에 따라 잔류 유기약품이 폐수 중에 포함되므로, 폐수처리가 큰 문제로 부각되고 있다. 따라서 이들 습식제품이 건식법, 즉 덱스트린(dextrin)이나  $\alpha$ 화전분의 제조법으로 전환되고 있는 추세이다.

국내 전분시장은 한계상황에 도달하여 업계에서는 이를 극복하고자 고흡수성 전분개발, 지방 대체 전분개발, 생분해성 고분자(전분을 함유한 분해성 플라스틱), 시클로 덱스트린(cyclo dextrine), 환원성 전분 가수분해물, 당알콜, 폴리덱스트로오스(polydextrose), 이소말토 덱스트로오스(isomalto dextrose), 말토테트라오스(maltotetraose), 말토티리오스(maltotriose), 겐토비오스 등 신제품 개발에 주력하고 있다.

전분을 생분해성 고분자로 사용하는 방법은 옥수수나 감자를 첨가해서 만들며, 지방족 폴리에스터는 생분해성이 없는 방향족 폴리에스터의 벤젠고리 부분을 탄화수소로 대체, 자연환경에서 완전 생분해가 가능하도록 개발하고 있다.

168) 부생: 생물의 시체 또는 유기물에서 영양을 취하여 생활하는 것

+

## 4 용도 및 특성

전분의 가장 큰 장점은 재활용이 용이하고 생분해성을 가진다. 내수성과 내유성이 우수하여 종이, 펄프와 달리 수분 및 기름 흡수에 따른 변형이 없으며, 내열성이 우수하여 밥, 국물 등 뜨거운 내용물에 의한 변형이 없고, 전자레인지 사용이 가능하다. 식품용기로 사용 시에는 도시락 용기, 컵라면 용기, 테이크아웃 용기, 일회용 용기 등에 쓰이며, 이 밖에도 화분, 전자부품 용기, 화장품 선물 용기 등 산업용 포장재로 쓰이고 있다. 전분을 원료로 하여 생분해성 고분자를 만들거나 섞어서 쓰이는 경우가 많아지고 있고, 이는 실생활에 사용되고 있는 플라스틱 중 일회용 포장재 또는 소모성 플라스틱 제품 대부분을 대체할 수 있다.

구분	용도	원료
필름류	쓰레기 봉투, 쇼핑백, 농업용 멀칭필름, 조경공사용, 1회용 장갑, 1회용 식탁보	전분+PCL* 전분+AP**(PBS)
사출품류	일회용 식기, 면도기, 칫솔, 전자부품 포장용기, 골프티, 완구류	전분+PCL 전분+AP(PBS)
용기류	도시락, 햄버거 등 패스트푸드 포장용기	전분 전분+PCL 전분+AP(PBS)
발포체류	생분해성 포장용 완충재 (스티로폼 대체)	전분

\* PCL: Polycaprolactone(폴리카프로락톤)

\*\* AL: Aliphatic polyester(지방족 폴리에스터)



〈 도시락 용기 〉



〈 주걱 〉



## 제3장 기체크로마토그래피

### ◆ 기체크로마토그래피 개요

제1절. 직접주입법(Direct Injection)

제2절. 헤드스페이스 주입법(Headsapce Injection)

제3절. 고체상미량추출 주입법(SPME)

제4절. 유도체화법(Derivatization)



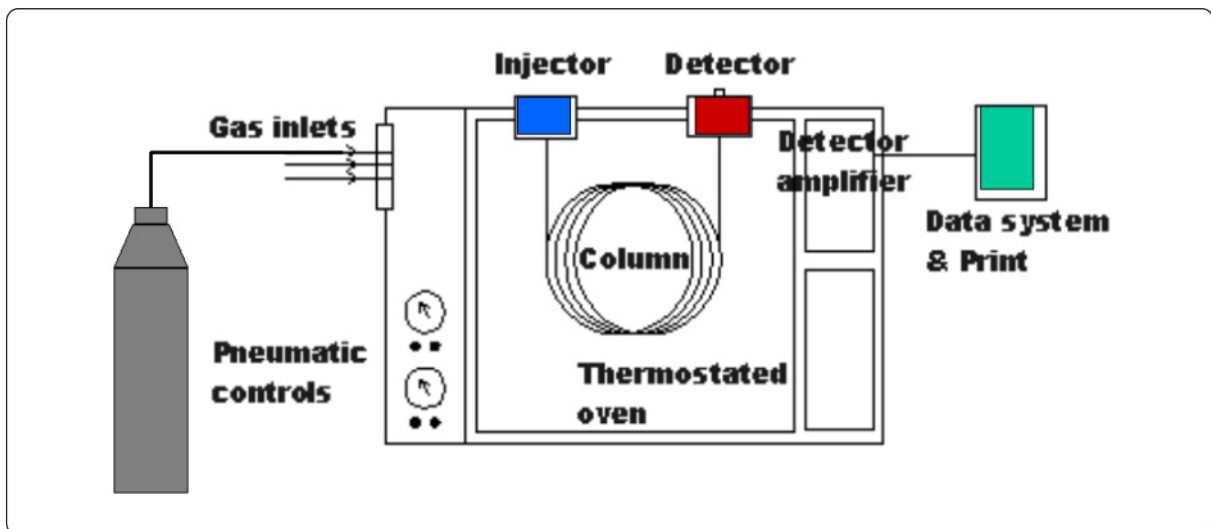
## 기체크로마토그래피 개요

### 1 기체크로마토그래피 원리

기체크로마토그래피는 고체상 혹은 액체상의 고정상과 기체상의 이동상을 사용한다. 여기서 고정상의 액상물질은 고체상의 고체 지지대(solid support) 혹은 컬럼내부 벽면에 물리·화학적으로 코팅되어 있는 형태이다. 기체크로마토그래피에서 분리하고자하는 성분은 헤드스페이스(Headspace)법의 전처리법을 제외하고는 모두 액상의 용액상태로 주입되며, 주입된 시료 성분들은 주입구 혹은 컬럼상에서 기화된 후 이동상에 실려 고정상을 지나가면서 분리대상 성분의 고정상에 대한 친화도에 따라 컬럼 끝으로 용출되는 시간이 달라짐으로써 분리가 이뤄진다.

### 2 기체크로마토그래프 - 장치 구성

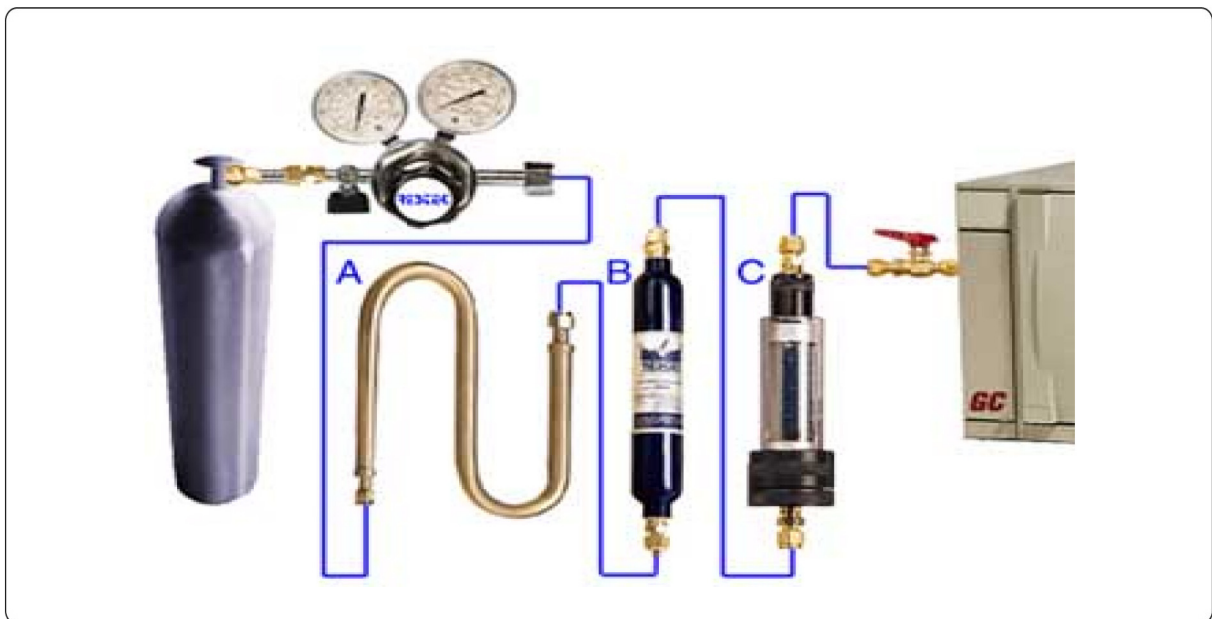
기체크로마토그래피(Gas Chromatography) 원리를 이용하는 기기를 기체크로마토그래프(Gas Chromatograph, GC)라 한다. GC는 다음 그림에서 보는 바와 같이 시료주입구(Injector), 컬럼 (Column) 및 검출기 (Detector)의 3가지 주요 요소들로 이뤄져있으며, 이동상을 공급해주는 가스 및 검출기에서 나오는 결과를 처리해주는 데이터시스템이 추가된다.



### 3 기체크로마토그래프 - 구성 요소별 원리 및 실제

#### 3.1. 운반 기체(Carrier gas)

운반기체는 대개 고순도 이상(99.995%)이 사용되며 가능한 Five 9s 혹은 99.999%(초고순도) 이상의 기체가 바람직하다. 운반기체는 대개 실린더에 압축하여 공급되거나 발생기를 이용하여 직접 공급하기도 하는데, 일반적으로 다음 그림과 같은 형태의 기체 정제 장치를 부착하여 사용한다. 운반기체가 처음 통과하게 되는 그림의 A는 수분제거용 트랩(Moisture trap)으로 모든 종류의 가스에 포함되어 기기에 문제를 유발시키는 수분을 제거한다. 내부는 분자체(Molecular sieve)가 충전되어 있다. B는 탄화수소제거용 트랩(Hydrocarbon trap)이며, 마지막으로 설치된 C는 산소제거용 트랩(Oxygen trap)으로 밖에서 보이도록 투명한 유리로 제작되어있으며, 산소가 포화되면 내부 충전물의 색깔이 변하여 쉽게 교체시기를 알 수 있다.



운반 기체의 종류 및 유속은 기체 크로마토그래피의 분리능에 직접적인 영향을 끼친다. 대개 가장 많이 사용하는 0.25 mmI.D. 컬럼의 경우 1 mL/min 수준, 그리고 0.32mmI.D. 컬럼의 경우는 1.5 mL/min 수준의 유속을 가장 많이 사용한다. 특히 내경이 큰 컬럼에서 느린 유속을 선택할 경우 분석대상 성분이 컬럼 내에서 오래 머물게 되어 확산 현상이 심해짐으로써 피크 모양이 퍼지고, 결과적으로 주변 피크들과의 겹침 현상이 심해지면서 분리능이 떨어지는 결과를 낳게 된다. 이 때문에 컬럼의 종류에 따라 적절한 운반 기체 유속을 설정하는 것이 중요하며, 때로는 운반 기체로 유속 변화에 따른 분리능 손실이 적은 헬륨이나 수소를 선호하기도 한다.

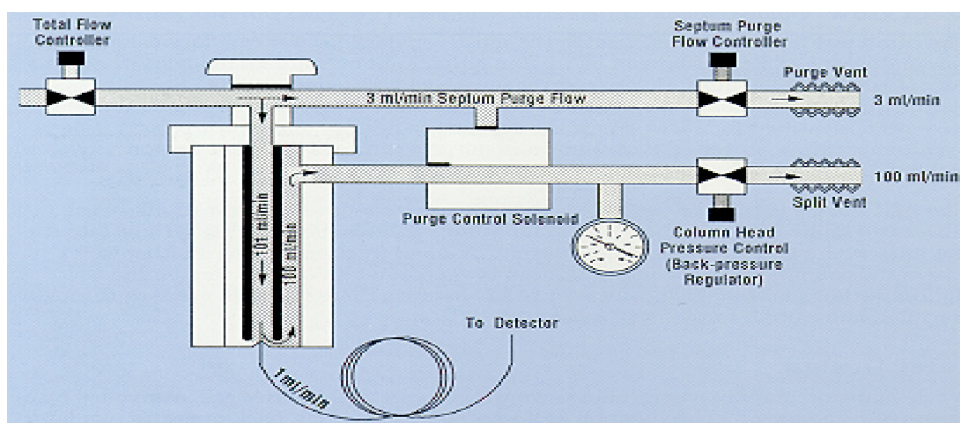


컬럼	컬럼 내경	적절한 운반기체 유속	
		ml/min	cm/sec
모세관컬럼	0.53 mm	3~5	22~38
	0.32 mm	1~3	20~62
	0.2 mm	0.5~1	26~53
	0.1 mm	0.2~0.5	42~106

### 3.2. 주입구(Injector)

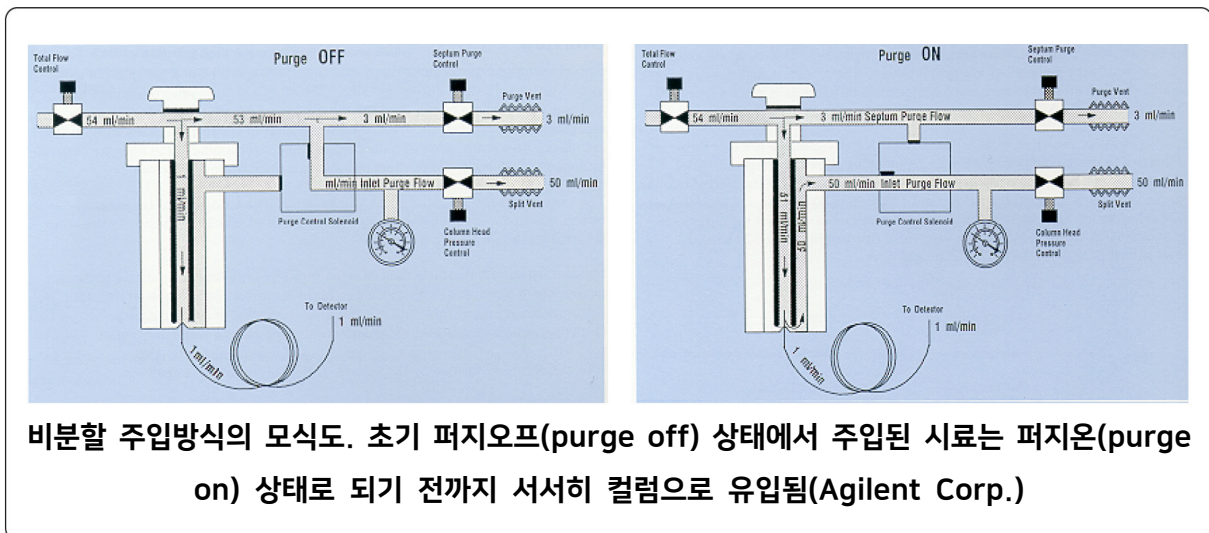
모세관컬럼용 주입구 중 가장 널리 사용되는 것은 분할주입구(Split inlet) 방식과 비분할 주입구(Splitless inlet) 방식이다.

다음 그림은 분할 주입구의 모식도로 셉텀 퍼지 출구(Septum purge vent)가 장착되어있어 약 3 ml/min의 유속의 이동상이 지속적으로 셉텀에서 유출되는 불순물들을 제거하도록 디자인되어있다. 결국 그림에서처럼 약 101 ml/min의 이동상 유량이 주입구 내 유리 라이너로 공급되었지만, 컬럼으로 유입된 유량은 1 ml/min 뿐이다. 이러한 분할 주입구의 구조적 메카니즘으로 인하여 유리 라이너에 주입된 시료 또한 고온에서의 순간적 휘발 후 대부분은 분할 출구를 거쳐 외부로 제거되며 비율로 약 1/100에 해당되는 시료만이 1ml/min의 유속이 흐르고 있는 모세관 컬럼으로 유입되는 것이다. 때문에 모세관컬럼의 유속 및 분할출구의 유량에 따라 시료의 주입비율이 달라지게 되는데 이러한 주입비율을 분할비(Split ratio)라고 한다. 예를들어 분할 출구의 속도(Split Vent Flow Rate)가 99ml/min이고 컬럼유속(Column Flow Rate)이 1ml/min인 경우 분할비(Split ratio)는 100이 되며 대개의 경우 100:1 이라고 칭한다.



Agilent사 GC Inlet 모식도(Agilent Corp.)

비분할 주입구는 분할 주입구와 같은 주입구를 사용한다. 분할 방식과 다른 점은 대부분의 시료가 장시간에 걸쳐 컬럼으로 유입되는 것이다. 이를 위해 주입구로 유입되는 전체 유량 중 소량의 컬럼 유량을 제외하고는 아예 유리 라이너로 유입되지도 않고 곧바로 셉텀 퍼지 유로를 통하여 솔레노이드 밸브(Solenoid valve)까지 이동한 후 솔레노이드밸브 내부의 바뀐 유로를 따라 분할 출구를 통해 외부로 유출되는 방식을 취하며 이러한 상태를 퍼지-오프(purge-off)라고 부른다. 이러한 퍼지-오프 상태가 지속되는 동안을 퍼지 지연시간(purge-delay time)이라고 부르며 이 시간동안 주입구 내부의 유리 라이너 안에 주입된 시료는 퍼지 지연시간 동안 휘발되면서 컬럼의 유속으로 서서히 컬럼으로 유입된다. 이후 그림 3.2-23의 아래 그림에서와 같이 분할 방식 주입구의 모식도에서와 똑같은 형태로 솔레노이드 밸브의 방향을 바꾸어 주입구로 유입되는 전체 이동상의 대부분이 유리 라이너를 통과하면서 남은 시료의 대부분을 차지하고 있는 용매 성분들을 분할 출구를 통하여 모두 제거하게 되며 이 상태를 퍼지-온(purge-on)이라고 부른다. 퍼지-온이 필요한 이유는 라이너 내부에 남아있는 과량의 용매들이 상당 시간동안 지속적으로 컬럼으로 유입됨으로써 용매 피크의 끌림 현상으로 인한 초기 피크들의 손실이 발생하기 때문이다. 따라서 비분할 주입방식에 의한 장점을 제대로 취하기 위해서는 다소 복잡한 조건의 설정이 필요하다.



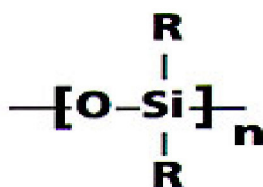
또한 주입방법에 따라 유리 라이너의 선택이 매우 중요하다. 다음 그림에서 볼 수 있듯이 각기 주입방식에 따라 모양이 달라지는데, 대체적으로 분할 주입방식은 시료에 의한 컬럼의 오염을 방지하고 효과적인 순간 휘발을 유발하기 위하여 유리솜(glass wool) 혹은 제조사마다의 특수한 유리솜 대체물질을 내면에 충전한 형태의 라이너를 사용한다. 반면 비분할 방식은 시료가 서서히 기화되므로 내면의 유리솜 충전이 필요없다. 대신 비분할방식 주입구의 요건인 충분한 내면 부피의 확보를 위하여 가능한 충분한 부피의 라이너를 사용한다.

	deactivated, low pres drop, 870uL	split
	deactivated, 900uL	splitless
	deactivated, 2mm ID, 250uL	direct
	general purpose, 870uL	split/splitless
	deactivated, 900uL	splitless
	deactivated, 800uL	splitless
	1.5mm ID, 140uL	direct
	2mm ID, 250uL	direct
	4mm ID, glass wool, 990uL	split
	empty pin & cup, 800uL	split manual
	packed pin & cup, 800uL	split manual

### 3.3. 컬럼(Column)

현재 기체크로마토그래피 분야에서 사용되고 있는 컬럼의 대부분은 모세관컬럼이다. 이는 모세관컬럼의 분리능이 뛰어날 뿐 만 아니라 사용하기 편리하고 매우 다양한 고정상을 가진 다양한 크기의 컬럼들을 상업적으로 구입 가능하기 때문이다.

모세관 컬럼에 주로 사용되는 고정상 지지체로는 폴리실록산(polysiloxane), 아릴렌(Arylene), 폴리에틸렌글리콜(Polyethylene glycol) 및 다공성폴리머(Porous polymer) 등이 사용된다. 이 중 폴리실록산 지지체의 경우 다음 그림에서 보는 바와 같이 그 치환체(R 그룹)의 구조에 따라 다양한 극성을 띄는 컬럼이 가능하게 된다. 예를들면, 폴리실록산의 R 그룹에 메틸기가 100% 치환된 경우 DB-1, HP-1, Rtx-1과 같은 상표명을 가진 가장 비극성인 컬럼이 되며, R 그룹에 메틸기와 페닐기가 각각 50%씩 도입된 경우에는 DB-17, HP-50 혹은 Rtx-50와 같은 상표명의 중간 극성 컬럼이 된다. 또한 상기 DB-17과 같은 컬럼에 3%의 싸이아노프로필(Cyanopropyl)기가 혼합되는 경우 DB-1701 컬럼이 되는데, DB-17과는 다른 선택성을 나타내게 된다.

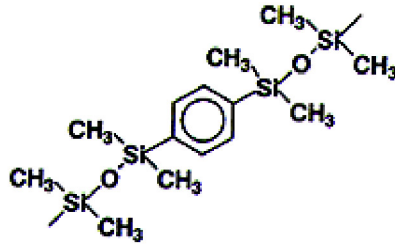


R = CH<sub>3</sub>                    methyl  
 CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CN        cyanopropyl  
 CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>            trifluoropropyl



phenyl

다음 그림은 위에 설명한 폴리실록산 고정상 지지체와는 달리 주쇄의 중간에 페닐기가 들어가 있는 구조를 가진 아릴렌 고정상의 구조이다. 이 경우에도 역시 메틸기를 페닐 등 기타 치환기로 교체하여 서로 다른 선택성을 가진 컬럼을 생산할 수 있다. 아릴렌 고정상은 컬럼 브리딩 저감화 노력의 일환으로 80년대 초반에 개발된 것으로 DB-5ms 등 주로 ms(혹은 MS)라는 이름이 따라붙는 컬럼들이 모두 이 계통에 속한다. 이러한 이름의 기원은 GC 검출기의 하나인 질량분석기(mass spectrometer)의 경우 특히 컬럼 브리딩에 민감하므로 가능한 컬럼 브리딩을 줄인 컬럼을 필요로 했기 때문이다. DB-1과 DB-1ms 혹은 DB-5와 DB-5ms와 같은 컬럼들은 보통 컬럼에서 용질 성분들이 용출되는 순서는 유사하나, 어떤 경우 같은 규격(길이, 내경 및 고정상 필름 두께 등)에서도 성분들의 용출순서가 바뀌는 현상들이 발생한다. 이는 비록 R 그룹의 치환된 상황은 같을지라도 고정상의 골격(back-bone) 자체가 다를 경우 컬럼의 선택성은 달라질 수 있음을 의미한다. 또한 그 선택성은 서로 다른 화학적 결합방식(cross-linking 방법 등)을 사용하는 제조회사 마다의 차이로 인하여 같은 계열의 컬럼이라도 선택성은 유사하지 않을 수도 있다.



상기 설명한 두비극성에서 중간 극성 컬럼에 사용되는 고정상과 달리 폴리에틸렌클리콜은 극성컬럼 고정상의 대표적 성분이다. 주로 Wax, FFAP 등의 이름을 가진 컬럼들에 사용되나, 폴리실록산 등에 비하여는 구조적으로 다소 불안정하고 견고하지 못함으로 인하여 한계 온도가 낮은 것이 특징이다. 그러나 과거 약 220℃ 정도의 한계 온도를 가지던 극성 컬럼들이 제조회사들의 제조방법 개선으로 240℃ 이상으로 한계 온도가 높아져 그 사용 편리성은 나날이 나아지고 있다.

다음 표는 GC 컬럼들을 극성에 따라 열거해 놓은 것이다. 대개의 경우 뒤에 붙은 숫자가 작을수록 비극성 컬럼이나 이는 제조회사마다 다를 수 있으므로 구매시 해당 고정상의 확인이 필요하다.

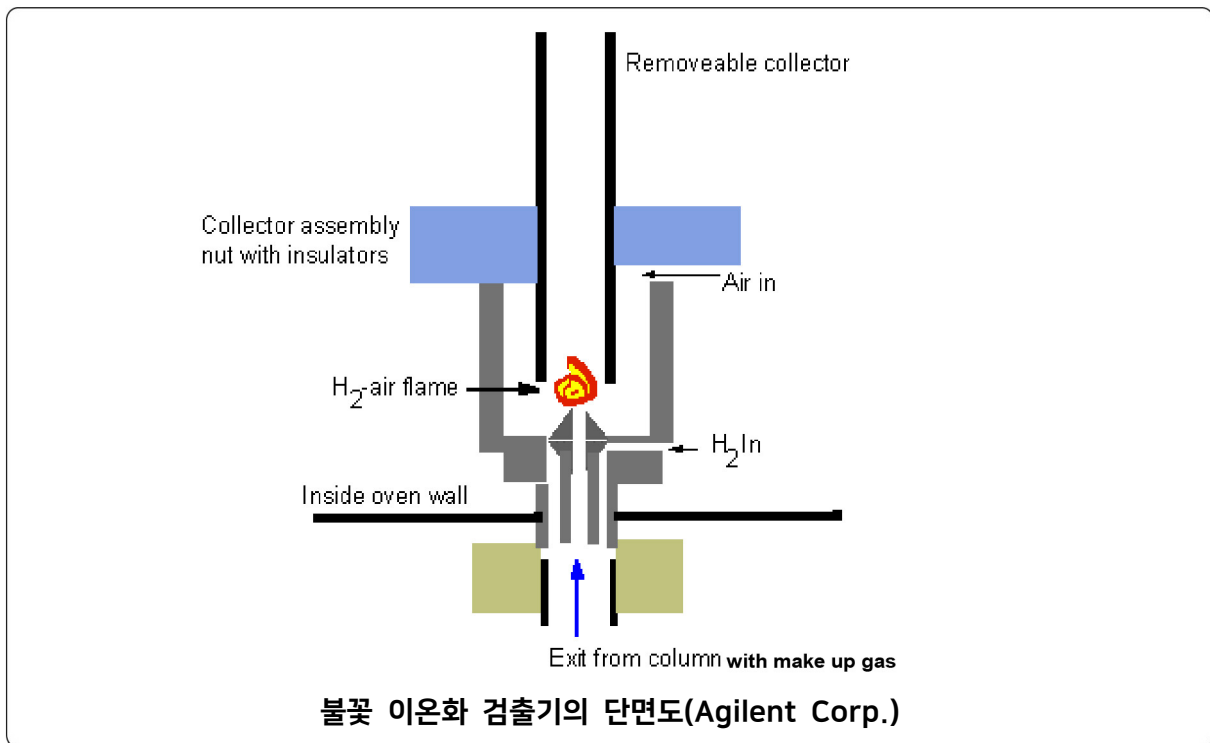
Pol.	Backbone	Functional group	Commercial name
1	Polysiloxane	100% dimethyl	DB-1, HP-1, OV-1, Ultra-1, Rtx-1
2	Polysiloxane	95% dimethyl + 5% diphenyl	DB-5, HP-5, OV-5, Ultra-2, Rtx-5
3	Polysiloxane	94% dimethyl + 6% cyanopropyl-phenyl	DB-1301, HP-1301, CP-Sil 13CB, Rtx-1301
4	Polysiloxane	86% dimethyl + 14% cyanopropyl-phenyl	DB-1701, HP-1701, CP-Sil 19CB, Rtx-1701
5	Polysiloxane	50% dimethyl + 50% diphenyl	DB-17, HP-17, CP-Sil 24CB, Rtx-50
6	Polysiloxane	50% dimethyl + 50% cyanopropyl-phenyl	DB-225, HP-225, CP-Sil 43CB, Rtx-225
7	polyethylene glycol		DB-Wax, HP-Wax, CP-Wax 52CB
8	polyethylene glyco	nitroterephthalic acid ester	DB-FFAP, HP-FFAP, CP-Wax 58(FFAP)CB, OV-351
9	Polysiloxane	100% cyanopropyl	DB-23, Rtx-2330CP-Sil 88

### 3.4. 검출기(Detector)

범용적으로 사용되는 GC 검출기로는 불꽃 이온화 검출기 (Flame Ionization Detector, FID), 전자 포획 검출기(Electron Capture Detector, ECD), 질소/인 검출기 (Nitrogen Phosphorus Detector, NPD) 및 질량분석기(Mass Spectrometer, MS 혹은 MSD) 등이 있다.

#### 1) 불꽃 이온화 검출기(FID)

FID는 수소와 공기의 불꽃이 연소될 때 양이온과 전자가 생성되는 불꽃 이온화 현상에 근거한 것으로 불꽃으로 이동상만 흘러들어가는 동안에는 거의 이온이 생성되지 않다가, 가연성 유기물질이 불꽃으로 유입되면 이온형성이 급격히 늘어나게 된다. 이때 불꽃 근처에 위치한 극성 전하를 띤 수집기(collector)가 이들 이온들을 끌어당기면서 전류를 형성하게 된다. 다음 그림에서와 같이 수소는 컬럼, 및 보충기체 (make-up gas)와 함께 공급되며, 공기는 별도로 공급된다. 이들 공기, 수소 등의 비율은 기기 제조사, 모델들 마다 다르다. 이러한 공급 기체의 비율은 제조사의 권고를 따르는 것이 바람직하다. FID는 성분의 탄소수에 비례하여 높은 감응도를 보이는데, 일반적인 유기화합물에 대한 감응수준은 10~100 picogram이며 직선 범위는  $1 \times 10^7$  수준이다. FID에 감응하지 않는 화학 성분들은 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CCl<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, CS<sub>2</sub>, Ar, SO<sub>2</sub>, SiCl<sub>4</sub> 등이며 포름알데히드와 개미산 등도 감응하지 않는 것으로 알려져 있다. FID는 불꽃을 사용하므로 검출기의 온도가 너무 낮은 경우 자체 내에 수분이 응축되어 기기가 부식될 가능성이 있으므로 적어도 80 내지 100°C 이상의 온도를 늘 유지할 필요가 있다.



## 2) 전자포획 검출기(ECD)

전자포획검출기는 가장 감도가 좋은 검출기로 알려져 있으나, 그 대상은 주로 전자적으로 음성을 띠는 할로겐 화합물과 같은 성분들에 특이성을 나타내어 유기염소계 농약 및 PCBs 등의 환경시료 분석에 주로 사용된다. ECD에는 금속 검출실 내면에  $\beta$ 선을 방출하는  $^{63}\text{Ni}$ 의 얇은 박층막이 있다. 여기서 방출되는  $\beta$ 선은 에너지가 큰 전자 입자들로서 운반기체와 충돌하여 에너지가 낮은 전자들을 생성하며 이 생성된 전자들이 검출실 내의 양극(anode)으로 포집되면서 기본적 전류 (바탕 전류)가 흐르게 된다. 이때 운반기체에 실려 있는 친전자성(electronegative) 화합물들이 유입되면 전자들을 포획하여 바탕 전류가 감소하게 되고 이러한 차이가 피크의 형태로 증폭되어 나타나게 된다. ECD는 밀봉성 방사성동위원소가 포함되어있는 관계로 구입, 관리 및 폐기에 있어서 까다로운 법적 제약을 받는다. ECD의 검출수준은 염소화화합물의 경우 0.05~1 picogram 정도이며 직선범위는  $1 \times 10^4$  수준이다. 아래 표에서 보는 바와 같이 ECD에 대한 감응도는 탄화수소를 1로 보았을 때 포함된 할로겐 화합물의 개수가 많을수록 감응도가 높아진다. ECD는 할로겐, 과산화물, 퀴논, 니트로 화합물 및 다핵방향족(polynuclear aromatics), 유기금속(organic metal), 유황함유화합물 및 공주게이트드카르보닐(conjugated carbonyl) 화합물에 대한 감응도가 큰 반면, 알콜, 탄화수소 및 아민 등에 대하여는 거의 감응하지 않는다.

화학성분	상대적 감응도
탄화수소	1
에테르, 에스터	10
직선성 알콜, 케톤, 아민, 단일 염소, 단일 불소 성분	100
단일 브롬, 두 개 염소 및 두 개 불소 성분	1,000
안하이드리드 및 세 개 염소 성분	10,000
단일 요오드, 두 개 브롬, 다수 염소 및 다수 불소 성분	100,000
두개 요오드, 세 개 브롬, 다수 염소 및 다수 불소 성분	1,000,000

### 3) 질소/인 검출기(NPD)

NPD는 질소 및 인 성분이 포함된 성분 분석에 사용되는 대표적인 검출기이며 열이온 방출 검출기(Thermionic emission detector)라고도 불리운다. NPD의 구조는 FID와 유사한데, 차이점은 불꽃을 형성하는 제트(Jet) 상단에 열선에 피복된 알칼리 금속염이 놓여있고 음극의 역할을 하는 포집기(Collector electrode)가 장착되어있다. 이 검출기의 작동원리는 알칼리 금속이온이 수소가 풍부한 불꽃에 존재할 때 질소 혹은 인 화합물의 이온화율이 다른 유기 화합물보다 월등히 증가하는 현상에 근거한 것이지만, 자세한 이론적 설명은 아직까지도 이뤄지고 있지 못하다. 알칼리 금속염으로는 K, Na, Cs 및 Rd 등이 있으며, 가장 널리 쓰이는 금속염은 루비듐(Rd) 염이다. NPD는 특히 수소 및 공기의 유속에 많은 영향을 받으므로 제조사에서 권고하는 유속을 유지하는 것이 가장 높은 감응도를 얻기 위하여 필요한 사항이다. NPD의 감응도는 인 함유성분에 대하여는 0.1~1 picogram 그리고 질소를 포함하는 성분에 대하여는 0.4~10 picogram 수준이나, 질소가 에스터 형태로 붙은 화학성분들에 대하여는 감응이 낮은 반면, 질소가 탄소와 결합된 성분들에 대하여는 우수한 감응도를 나타낸다. NPD의 경우 비드의 상태에 따라 같은 성분이라도 감응도가 쉽게 변할 수 있기 때문에 주기적인 비드의 교체가 필요하다.

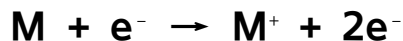
### 4) 질량분석검출기(Mass Spectrometric Detector)

흔히 GC/MS는 Gas chromatograph-Mass spectrometer의 약자로 가스크로마토그래프와 질량분석기(Mass Spectrometer)를 연결하여 사용하는 기기 시스템을 말한다. GC/MS는 GC의 기타 검출기들이 가질 수 없는 매우 중요한 특징점들을 지니고 있는데, 그것은 개별 분석대상 성분들마다 고유한 질량스펙트럼(Mass spectrum)을 얻을 수 있으며, 이를 이용하여 미지의 성분 규명이 가능하다는 점이다.

GC/MS의 일반 구성은 다음 그림과 같이 진공이 걸리는 부분과 상압인 부분으로 크게 나눌 수 있다. 진공이 걸리는 부분은 질량분석기 부분이며 기타 GC 등은 모두 상압하에서 운영된다. 과거에는 상압상태인 GC와 감압상태인 MS를 연결하는 기술적 문제가 있었으나, 최근에는 대부분은 직접연결 방식이 채택되고 있다. 직접연결은 GC의 모세관 컬럼이 MS의 이온원까지 직접 연결되는 것으로 상압상태(혹은 가압상태)인 GC에서 분리된 성분들이 GC와 MS를 연결하는 인터페이스(interface)를 거친 후 2~10<sup>7</sup>Torr 정도의 감압상태인 MSD로 직접 이송되는 간단한 구조를 가지고 있다. 최적 이온화를 유발할 수 있는 컬럼 끝부분의 MS내 위치를 제대로 맞추어 주는 것이 중요하며, 해당 위치는 MS의 제조회사에 따라 다르다.

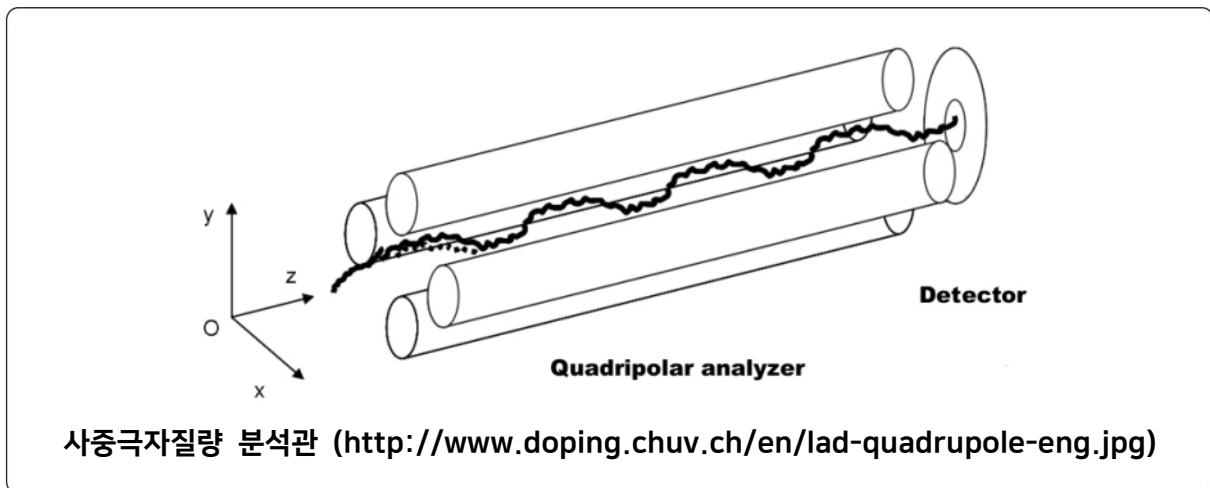


MSD의 가장 첫번째 부분은 이온소스(Ion source)로서 인터페이스를 통과한 분석대상 성분은 바로 이온소스로 전달된다. 이온원은 전자충격 이온화법(electron impact ionization; EI)과 화학이온화법(Chemical Ionization; CI) 등이 있는데, 거의 EI 모드가 대세를 이루고 있다. 주로 rhenium으로 만들어진 필라멘트가 가열되면서 방출되는 전자(electron)는 필라멘트 파트에 설치된 음극(-)의 자성과 양극(+)의 반대편 트랩(trap)의 끌림 현상에 의해 가속화된다. 전자는 이온원을 가로질러 이동하면서 모세관컬럼에서 용출되어 나온 분자들과 충돌하게 되는데, 이때 분자는 전자의 충돌에 의하여 스스로의 전자 하나를 내어주고 아래와 같이 양 이온화된다.



이렇게 발생한 양이온은 반발판(repeller)에 걸린 양전하에 의하여 밀쳐져 이온원을 빠져나오게 되며, 이온원 출구에 설치된 슬릿에 집중된 후 음전하로 하전된 렌즈(lens)들에 의해 포커싱(focusing)되면서 가속되어 분석관으로 이동한다. 화학이온화법은 전자충격 이온화법에 비하여 낮은 에너지 과정의 이온화법으로 시약기체(reagent gas)를 이용하여 중성분자들과 이온들이 서로 작용하여 새로운 이온을 형성시키는 방법이다. 이 방법은 전자충격 이온화법으로 분자이온을 관찰할 수 없는 경우에 특히 유용한데, 분자이온의  $m/z$ 를 확인하는 데도 효과를 발휘한다. 화학이온화법은 주로 암모니아와 같은 것을 이용하는데, 이렇듯 시료분자가 메탄(methane)이나 암모니아와 같은 시약기체와 반응하여 새로운 이온을 형성하는 방법을 이온-분자반응이라고 부른다. 양이온과 음이온이 모두 생성되는데 이온원의 전압, 검출기 설정 등에 따라 양이온 혹은 음이온만 검출하게 된다. 전자충격 이온화법의 분자이온과는 달리 이온의 토막화는 거의 일어나지 않고  $MH^{+}$  및  $[M-H]^{-}$  이온이 주된 이온으로 관찰된다. 화학이온화법에서 사용되는 시약기체로는 암모니아, 메탄 및 이소부탄 등이 있다. 어떤 기체를 선택하느냐에 따라 유사 분자이온의 토막화가 달라지게 된다. 이온화가 이루어진 분석대상 성분은 질량분석관(mass analyzer)에서 분리가 이뤄진다. 분석관은 이온원에서 빠져나온 이온들을 질량 대 전하비율(mass to charge;  $m/z$ )에 따라 분리하는 기능을 수행하는 MS의 핵심부분으로 전기장 및 자기장이 단독 혹은 혼합하여 사용된다. 분석관은 자기형(magnetic), 사중극자형(quadrupole), 이온포집형(ion trap) 및 비행시간형(time of flight) 등이 있다. 현재 GC-MSD에서 가장 널리 사용되는 분석관은 사중극자형으로 사중극자형 분석관은 4개의 평행한 금속봉으로 구성되어진다. 서로 대칭으로 서로 바라보는 봉들은 같은 극성을 가지고 있으며, 각각 DC(direct current)와 RF voltage(radio frequency voltage)가 걸려 있다. 때문에 DC가 RF voltage와 겹쳐지게 된다. 서로 바라보고 있는 한 쌍의 봉에 걸어주는 전위는 사인곡선의 모양으로 변하게 되며 봉들의 중앙에는 특정 이온들이 장(場) 자유영역(field free region)을 진동(oscillation)을 그리면서 지나갈 수 있게 된다. 이러한 진동은 개별 이온들의  $m/z$ 에 따라 복잡한 이온들의 이동경로를 형성하게 되며, 전위 'U(고정전위)'와 'V(RF Voltage)' 그리고 진동수 ' $\omega$ '의 특정 조합에 따라 특정 이온(들)은 사중극자를 거쳐 검출기에 무사히 도달할 수 있게 된다. 그리고 해당 조합 조건에 맞지 않는 모든 다른  $m/z$ 를 지닌 이온들은 사중극자 봉에 부딪혀 사멸되어 검출되지 않으며, 분석범위(분자의 질량) 및 분해능(resolution)은 사중극자 봉의 길이와 내경에 따라 달라진다(Univ Bristol).





일반적으로 사중극자형 질량분석기는 정수 질량만을 분리할 수 있는 낮은 분해능(low resolution)을 가지고 있어 주로 정수 질량만을 검출할 수 있다. 기기마다 차이는 있으나, 대부분의 증거가 GC-MSD의  $m/z$  범위는 10~800 정도이다.

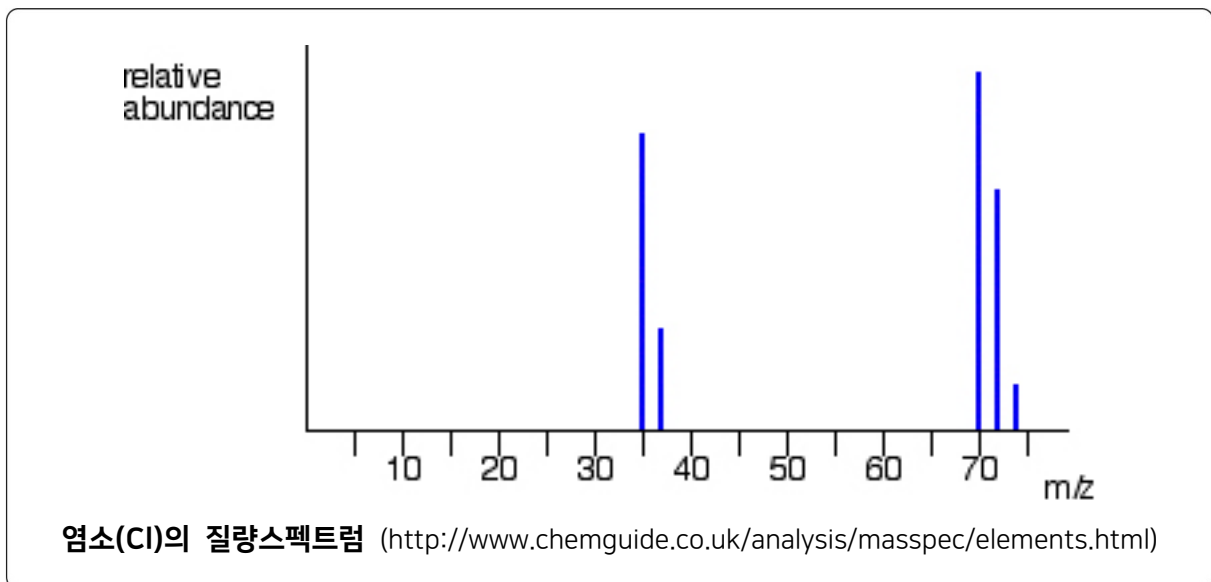
질량분석관을 통과한 이온은 전자증배관이라는 일종의 증폭기를 거치면서 증폭된다. 전자충격 이온화법 등으로 생성된 이온들의 절대적인 숫자는 피크로 표시하기에 너무 적은 수이므로 신호 증폭이 필요하게 된다. 이러한 전자 증배관이 없다면 100 pg 시료에 대하여 단지  $10^4$ 개의 이온만이 관찰되기 때문이다.

이렇게 MSD를 통과하여 분석된 결과는 질량스펙트럼(Mass spectrum)이라는 형태로 산출된다. 질량스펙트럼의 x축은  $m/z$ 로서 시료로부터 분자나 원자를 이온화시킨 후 얻어지는 질량에 대한 전하의 비율 (mass to charge ratio;  $m/z$ )을 말한다. 모화합물이 이온화된 형태인 분자이온은  $M^+$ 와 같이 표시한다. 이온화 과정에서 하나의 전자가 제거되면서 발생하게 되는데 대부분 불안정하여 아래와 같이 양이온과 하전되지 않은 자유라디칼의 두 부분으로 쉽게 분해된다. 분자이온은 비록 전자를 하나 잃어버렸으나 전자의 무게는 중성자나 양성자에 비하여 약 1/1800 정도로서 무시할 정도인 관계로 분자이온은 해당 성분의 분자량과 동일하다고 간주할 수 있다. GC-MSD에서는 대부분 하전되는 전하는 1로서 결국  $m/z$  비율은 분자의 질량값과 차이가 없으나, LC-MS 등에서는 1 이상의 값으로 하전되는 경우가 많으므로 해당 수치는 질량의 1/2 혹은 1/3 값이 가능하다. y축은 이온들의 이온화비율을 abundance로 나타낸 것으로, 일반적으로 얻어진 이온 피크 중 abundance가 가장 큰 이온을 기준으로 기타 이온피크들을 normalize하여 퍼센트로 나타낸다. GC의 검출기로 사용되는 사중극자형 및 이온포집형 질량분석기 등은 정수 질량만을 다룰 수 있는 저분해능 질량분석기이다. 보통 고분해능 질량분석기라면 소수점 3 혹은 4자리까지 모두 의미가 있으나, 저분해능 질량분석기의 경우는 정수 이하의 소수점 이하는 의미가 없다.

사중극자형을 비롯하여 자기형 및 이온포집형 질량 분석관에서는 SIM 모드(selective ion monitoring mode)라는 특정 주사방법을 사용하여 이온의 선택성 및 감도를 획기적으로 증가시킬 수 있다. 선택주사법(SIM) 모드란  $m/z$  범위 대신 지정한  $m/z$  숫자를 선택하여 선택적으로 모니터링 하도록 하는 방식을 말한다. 지정한 몇 개의 특정  $m/z$ 만을 미리 정한 시간(dwell time) 동안 모니터링 함으로써 개별

m/z를 모니터링 하는데 상대적으로 장시간을 소요할 수 있어 감도가 크게 향상되고, 결과적으로 훨씬 더 적은 양의 성분도 검출할 수 있게 된다. 또한 검출하고자하는 성분의 몇 가지 m/z 만을 선택함으로써 만약 방해성분이 겹쳐져 있는 경우 방해성분이 가지지 못한 m/z를 선택함으로써 보다 정밀하고 정확한 정량을 가능하게 할 수 있다.

참고로, 다음 그림은 염소의 질량스펙트럼이다. 아래 표의 지구상 성분들의 동위원소 비율에서 보면 염소의 동위원소 비율은  $^{37}\text{Cl}$ 이 100%일 경우  $^{35}\text{Cl}$ 은 32.5%를 나타낸다. 염소는  $\text{Cl}_2^+ \rightarrow \text{Cl} + \text{Cl}^+$ 와 같이 토막화되는데, 따라서 질량스펙트럼에 나타나는 이온피크는 m/z 35, 37을 비롯하여 토막화되지 않은  $\text{Cl}_2^+$ 는  $35 + 35 = 70$ ,  $35 + 37 = 72$ 를 비롯하여  $37 + 37 = 74$ 와 같이 최소 5개의 이온 피크들이 나오게 된다. 대부분 성분들의 경우 +1 혹은 +2 동위원소의 비율은 비교적 적은 편이나, 실리콘, 황, 염소 및 브롬 등은 일반 원소들에 비하여 최고 98%( $^{81}\text{Br}$ )에 이를 정도로 매우 큰 비율을 나타내고 있어 질량스펙트럼 상 매우 특이한 fragmentation 양상을 나타내므로 해당 원소의 존재 여부 판단에 이용할 수 있다.



일반 원소들과 동위원소의 자연 존재 비율

	원소	비율(%)	동위원소	비율(%)	동위원소	비율(%)
수소(Hydrogen)	$^1\text{H}$	100	$^2\text{H}$	0.016		
탄소(Carbon)	$^{12}\text{C}$	100	$^{13}\text{C}$	1.08		
질소(Nitrogen)	$^{14}\text{N}$	100	$^{15}\text{N}$	0.38		
산소(Oxygen)	$^{16}\text{O}$	100	$^{17}\text{O}$	0.04	$^{18}\text{O}$	0.20
불소(Fluorine)	$^{19}\text{F}$	100				
실리콘(Silicon)	$^{28}\text{Si}$	100	$^{29}\text{Si}$	5.10	$^{30}\text{Si}$	3.35
인(Phosphorus)	$^{31}\text{P}$	100				
황(Sulfur)	$^{32}\text{S}$	100	$^{33}\text{S}$	0.78	$^{34}\text{S}$	4.40
염소(Chlorine)	$^{35}\text{Cl}$	100			$^{37}\text{Cl}$	32.5
브롬(Bromine)	$^{79}\text{Br}$	100			$^{81}\text{Br}$	98.0
요오드(Iodine)	$^{127}\text{I}$	100				

## 제1절

## 직접주입법(Direct Injection)

## 1 메틸메타크릴레이트

## 1.1. 규격

## 1) 용출규격(mg/L)

- 메틸메타크릴레이트 : 6 이하

※ 대상 재질

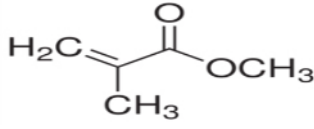
- 1-10 아크릴수지(acrylic resin)
- 1-18 폴리메타크릴스티렌(polymethacrylstyrene : MS)
- 1-28 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체  
(methylmethacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : MABS)

[다만, 기본 중합체(base polymer) 중 메틸메타크릴레이트의 함유율이 50% 이상인 합성수지제에 한한다]

## 1.2. 개요

메틸메타크릴레이트는 폴리메틸메타크릴레이트(MS) 등의 중합에 원료물질로 사용된다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 메틸메타크릴레이트를 그룹 3(인체 발암 물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류하고 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 기 폴리머 안의 메타크릴산메틸 함유율이 50% 이상인 합성수지로 주로 MS를 가리키지만 폴리메타크릴스틸렌 중 메타크릴산 메틸의 함유율이 50% 이상인 것에도 적용된다. 개별규격은 폴리메타크릴산메틸의 모노머인 메타크릴산메틸과 증발잔류물의 용출시험이다. 폴리메타크릴산메틸은 투명성이 높고 내후성, 기계가공 적성이 우수하며 식품용도로는 컵, 물병, 간장병, 버터케이스 등의 식탁용품이 주를 이룬다. 메틸메타크릴레이트에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	메틸메타크릴레이트 (Methyl methacrylate)
이명	Methyl 2-methylpropenoate. MMA., 2-(methoxycarbonyl)-1-propene
구조식(분자식)	 $C_5H_8O_2$
분자량(g/mol)	100.12
CAS No.	80-62-6
끓는점(°C)	101
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.94
물에 대한 용해도	1.5g/100ml
용매용해도	methanol, 1-propanol, 1-butanol etc.

### 1.3. 분석원리

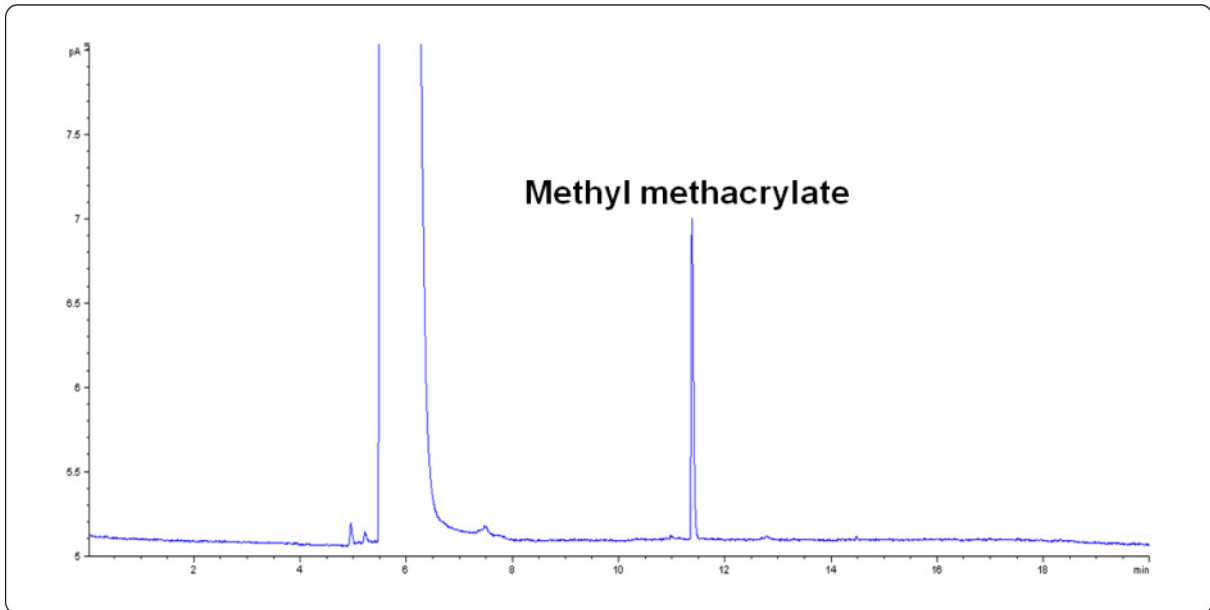
20%에탄올을 침출용액으로 하여 아크릴수지에서 용출되는 메틸메타크릴레이트를 기체크로마토그래프로 정한다.

### 1.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	HP-1(60 m × 0.25 mm, 0.25 $\mu$ m)
칼럼온도	40°C(10min) → 10°C/min → 180°C(5min)
주입부 온도	200°C
검출기 온도	250°C
주입방식	스플릿리스
주입량	1 $\mu$ L(메틸메타크릴레이트 6 ug/mL)
운반기체	질소 (1.0 mL/min)

## 2) 크로마토그램



### 1.5. 분석감도 및 직선성

메틸메타크릴레이트의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.6 ug/mL 수준이다. 메틸메타크릴레이트의 직선성은 0.6 ~ 10 ug/mL 농도범위에서 상관계수 0.995 이상의 수준이다.

### 1.6. 유의점

- 1) 메타크릴산메틸은 원료 모노머로, 제품 중에 0.02~0.82% 정도 함유되어 있다. 침출용액 중 n-헵탄, 4% 초산, 물에는 그다지 용출 되지 않지만 20% 에탄올에는 쉽게 용출되기 때문에 해당 용출 조건이 설정되었다.
- 2) 메틸메타크릴레이트 분석에 종전까지는 충전컬럼이 사용되었으나, 개정을 통해 캐피러리 컬럼으로 변경되었다. 비극성 컬럼이며 폴리카보네이트의 아민류, 나일론의 카프로락탐 시험에 적용하는 컬럼이다.

## 2 아민류

### 2.1. 규격

#### 1) 잔류규격(mg/kg)

- 아민류(트리에틸아민과 트리부틸아민의 합계로서) : 1 이하

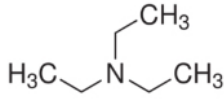
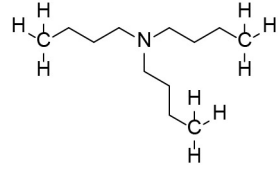
※ 대상 재질

- 1—13 폴리카보네이트(polycarbonate : PC)
- 1—30 에폭시수지(epoxy resin)

### 2.2. 개요

아민류란 트리에틸아민과 트리부틸아민을 말하며, 이들 3급 아민은 폴리카보네이트(PC)의 중합 촉매로서 첨가되며, 잔존량은 적은 것으로 보고되고 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 PC 및 에폭시수지에 대하여 재질규격을 설정하여 관리하고 있다. 아민류에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	트리에틸아민 (triethylamine)	트리부틸아민 (tributylamine)
이명	N,N-Diethylethanamine, TEA, TEN, N,N,N-Triethylamine	TBA, TNBA, butylamin, N,N-Dibutyl-1-butanamine
구조식(분자식)	 $(C_2H_5)_3N$	 $[CH_3(CH_2)_3]_3N$
분자량(g/mol)	101.19	185.36
CAS No.	121-44-8	102-82-9
끓는점(°C)	88.7	216
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.7255	0.778
물에 대한 용해도		0.386 g/mL

### 2.3. 분석원리

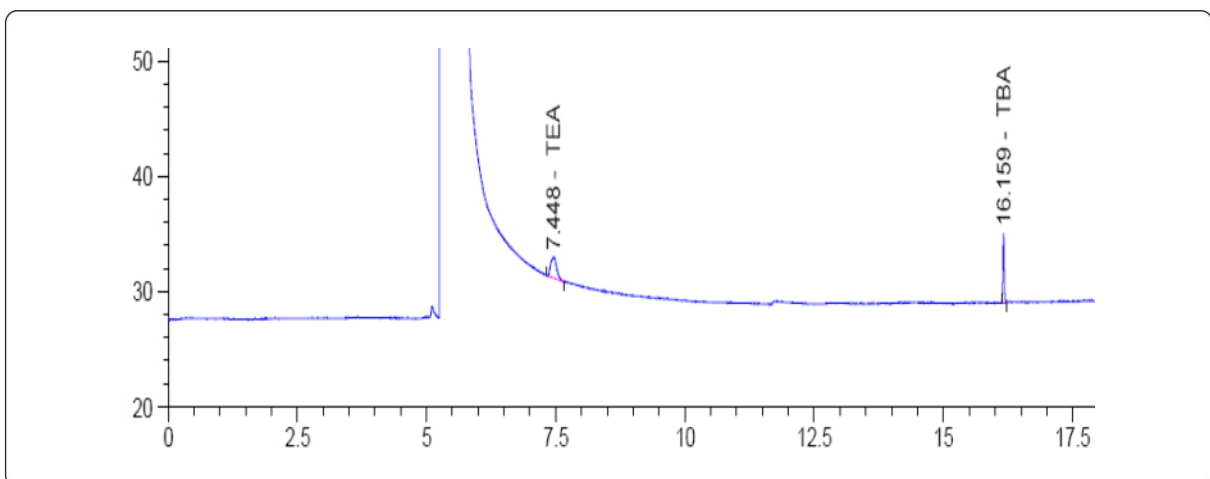
아민류는 PC 및 에폭시수지에 잔류하는 트리에틸아민 및 트리부틸아민을 디클로로메탄으로 추출한 후 FID 또는 NPD가 부착된 GC를 이용하여 직접주입법으로 분석이 가능하며, 현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 시료를 디클로로메탄에 녹인 시험용액을 NPD가 부착된 GC에 직접 주입하여 분석하는 직접주입법을 채택하고 있다. FID 또는 NPD는 유사한 원리를 바탕으로 하는 검출기이며 특히 NPD의 경우 질소에 높은 선택성을 가지기 때문에 아민류의 분석에 적당하다. GC/MS의 SIM 모드( $m/z=86$ )도 사용할 수 있지만 방해 피크가 확인되는 경우가 있어 주의를 요한다.

### 2.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	질소·인 검출기
분리용 칼럼	DB-5(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 $\mu$ m)
칼럼온도	90 $^{\circ}$ C(5min) → 25 $^{\circ}$ C/min → 150 $^{\circ}$ C(3min) → 15 $^{\circ}$ C/min → 250 $^{\circ}$ C(6.933min)
주입부 온도	200 $^{\circ}$ C
검출기 온도	250 $^{\circ}$ C
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	1 $\mu$ L(혼합표준용액 각각 1 ug/mL)
운반기체	질소 (1.0 mL/min)

#### 2) 크로마토그램



## 2.5. 분석감도 및 직선성

아민류의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있다. 일본 「기구·용기포장의 규격기준 및 시험법」(2006년 3월 개정대응판, 중앙법규) 해설서에 따르면 아민류의 정량한계는 시험용액에서 트리에틸아민 0.2 ug/mL, 트리부틸아민 0.1 ug/mL이다. 이를 재질 중으로 환산하면 트리에틸아민 0.4 ug/g, 트리부틸아민 0.2 ug/g이다. 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 환산하면 0.2 ug/mL 수준이 되며, 이를 재질 중으로 환산하면 0.4 ug/g 수준이며, 이는 상기 일본분석법의 정량한계 0.2~0.4 ug/g과 유사한 수준이다.

트리에틸아민 및 트리부틸아민의 혼합표준용액(각각 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 및 1.0 ug/mL)을 기체크로마토그래프로 분석하여 검량선을 작성할 경우, 상관계수 0.99이상의 직선성을 보인다.

## 2.6. 유의점

- 1) FID 및 NPD는 컬렉터가 세라믹인 경우, 디클로로메탄의 피크테일링이 발생한다. 때문에 테일링이 생기지 않는 것 또는 적게 생기는 것을 선택할 필요가 있으며, 또한 필름 두께가 두꺼운 컬럼을 이용하거나 컬럼의 초기 온도를 낮춤으로써 디클로로메탄과 트리에틸아민의 분리를 개선할 수 있다. 한편, 피크상태가 양호하다면, 가능한 필름 두께가 얇은 컬럼을 사용하면 컬럼 브리딩이 줄어들어 바람직하다.
- 2) GC/MS의 SIM모드( $m/z=86$ )도 사용할 수 있지만 방해 피크가 확인되는 경우가 있어 주의가 필요하다.
- 3) 농축은 1mL까지로 하고 완전히 건조되지 않도록 주의한다.



### 3 에피클로로히드린

#### 3.1. 규격

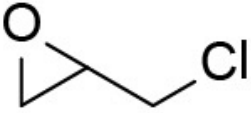
##### 1) 용출규격(mg/L)

- 에피클로로히드린 0.5 이하
- ※ 대상 재질
  - 1-30 에폭시수지(epoxy resin)
  - 5. 금속제

#### 3.2. 개요

에피클로로히드린은 에폭시수지의 원료물질로 사용되며, 에폭시수지는 주로 금속관 내부의 부식을 방지하기 위한 코팅제로 사용된다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)는 에피클로로히드린을 그룹 2A(인체 발암 추정물질)로 분류하고 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 에폭시수지에 대하여 용출규격을 설정하여 관리하고 있다. 에피클로로히드린에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	에피클로로히드린 (epichlorohydrin)
이명	1-chloro2,3-epoxypropane, Y-chloropropylene oxide, glycidyl chloride
구조식(분자식)	
	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> ClO
분자량(g/mol)	92.52
CAS No.	106-89-8
끓는점(°C)	117.9
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.1812
물에 대한 용해도	6g/100mL
용매용해도	alcohol, ether 등

#### 3.3. 분석원리

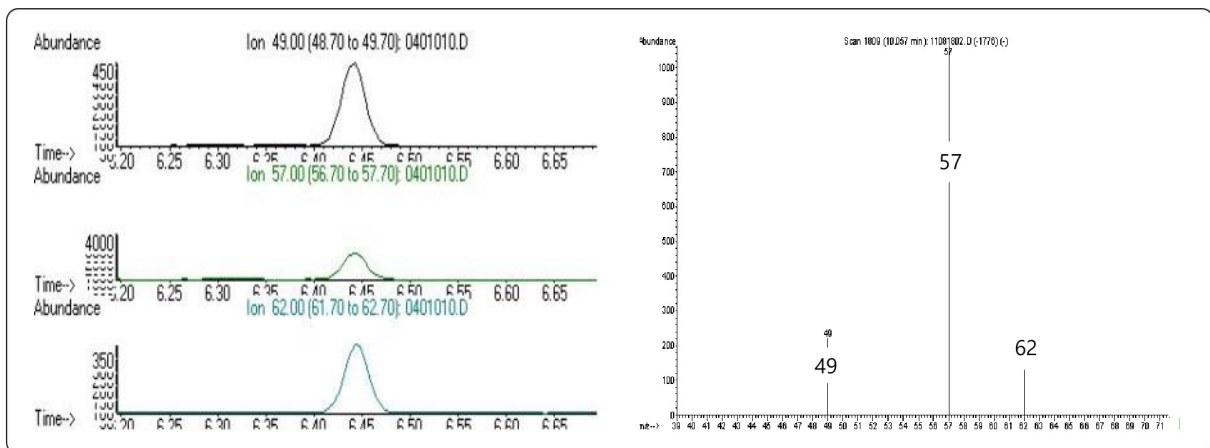
에피클로로히드린은 n-헵탄을 침출용액으로 하여 에폭시수지에서 용출되는 양을 기체크로마토그래프/질량분석기로 측정한다.

### 3.4. 분석조건 및 크로마토그램, 질량스펙트럼

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프/질량분석기
검출기	질량분석기 선택이온검출기(정량이온 : 49, 확인이온 : 57, 62)
분리용 컬럼	DB-Wax(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 $\mu$ m)
칼럼온도	40 $^{\circ}$ C(2min) → 20 $^{\circ}$ C/min → 200 $^{\circ}$ C(5min)
주입부 온도	200 $^{\circ}$ C
이온화전압	70 eV
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	1 $\mu$ L(에피클로로히드린 0.5 ug/mL)
운반기체	헬륨 (0.6 mL/min)

#### 2) 크로마토그램, 질량스펙트럼



### 3.5. 분석감도 및 직선성

에폭시수지의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있다. 일본 후생성고시에 따르면 에피클로로히드린을 GC-FID로 분석하도록 규정하고 있으며, 이때 정량한계는 폴리에틸렌 글리콜계 캐필러리컬럼(DB-WAX 등)의 0.53mm내경에서 주입량을 5  $\mu$ L로 하였을 때 0.05ug/mL 수준이며, 내경 0.25mm 및 0.32mm의 컬럼에서는 주입량이 적어지기 때문에 정량한계는 0.3ug/mL정도가 되므로 규격치 0.5ug/ml에 대해 감도가 충분하다고는 말하기 어렵다고 제시되어있다.

현행 「기구 및 용기·포장의 기준 및 규격」에서는 가스크로마토그래피/질량분석법을 도입하고 있으며, 내경 0.25mm의 컬럼을 사용하여 1 $\mu$ L 주입으로도 정량한계는 0.02 $\mu$ L/mL 수준으로 분석감도가 좋으며, 또한 선택성이 뛰어나 불순물의 영향도 적다.

0.02 ~ 5.0 ug/mL 농도 범위의 에피클로로히드린 표준용액을 기체크로마토그래프/질량분석기로 분석하여 검량선을 작성할 경우, 상관계수 0.99이상의 직선성을 보인다.

### 3.6. 유의점

- 1) 에피클로로히드린과 침출용액으로 사용하는 n-헵탄은 쉽게 증발하기 때문에 밀봉하여 용출시킬 필요가 있다. 액체를 가득 채울 수 있는 시료는 상부에 알루미늄박을 씌우고 다시 그 위에 폴리염화비닐제 랩필름 등을 씌워 고무 밴드로 고정시키는 등의 조작을 한다.

## 4 카프로락탐 및 라우로락탐

### 4.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

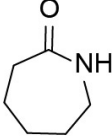
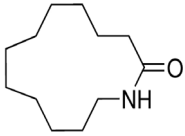
- 카프로락탐 : 15 이하
- 라우로락탐 : 5 이하
- ※ 대상 재질
- 1—11 폴리아미드(polyamide : PA)

### 4.2. 개요

카프로락탐은 나일론6의 원료 모노머로, 제품 중에 0.08~0.48% 정도 함유되어 있다. 카프로락탐의 적용범위는 기폴리머 안의 나일론 함유율이 50% 이상인 합성수지로, 주로 나일론 6, 나일론 66, 나일론 12 등이 있으며, 이들은 아미드결합으로 중합한 폴리머 중 직쇄상의 것으로 나일론 6가 대부분이다.

발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)는 카프로락탐은 그룹 4(인체 발암 가능성이 없는 물질)로 분류하고 있으며 라우로락탐은 미 규정 되어 있다[3].

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 폴리아미드에 대하여 용출규격을 설정하여 관리하고 있다. 카프로락탐에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	카프로락탐 (caprolactam)	라우로락탐 (Lauro lactam)
이명	2-Oxohexamethyleneimine, Aza-2-cycloheptanone	12-Aminododecanoic acid lactam, Aza-2-cyclotridecanone, Cyclododecanone isooxime
구조식(분자식)	 C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> NO	 C <sub>12</sub> H <sub>23</sub> NO
분자량(g/mol)	113.16	197.32
CAS No.	105-60-2	947-04-6
끓는점(°C)	136~138 @ 10mmHg	
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.01	0.884
물에 대한 용해도	820g/L (20°C)	0.03

### 4.3. 분석원리

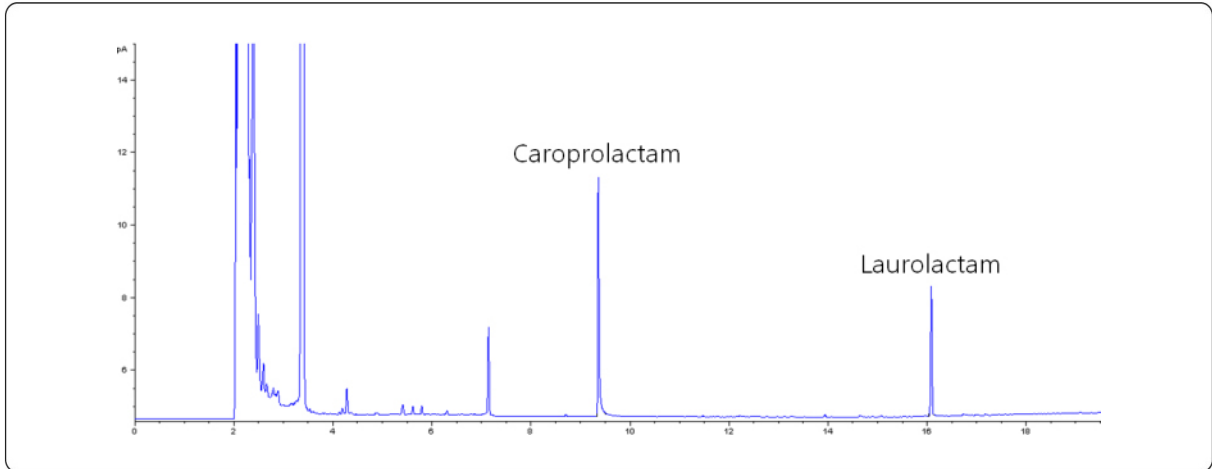
20%에탄올을 침출용액으로 하여 폴리아미드에서 용출되는 카프로락탐 및 라우로락탐을 기체크로마토그래피를 이용하여 직접주입법으로 분석한다.

### 4.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	DB-5MS(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 $\mu$ m)
칼럼온도	80°C(2min) → 10°C/min → 240°C(2min)
주입부 온도	220°C
검출기 온도	240°C
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	1 $\mu$ L(카프로락탐 15 ug/mL, 라우로락탐 5ug/mL)
운반기체	질소 (1.0 mL/min)

## 2) 크로마토그램



### 4.5. 분석감도 및 직선성

카프로락탐 및 라우로락탐의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 카프로락탐의 경우 약 1 ug/mL, 라우로락탐의 경우 약 0.5 ug/mL 수준이다. 직선성은 카프로락탐의 경우 3.5 ~ 20 ug/mL 농도범위에서, 라우로락탐의 경우 2.5 ~ 7.5 ug/mL 농도범위에서 각각 상관계수 0.995 이상의 수준이다.

### 4.6. 유의점

- 1) 카프로락탐의 경우 침출용액 중 20% 에탄올에 가장 잘 용해되기 때문에 20% 에탄올을 침출용액으로 사용한다.
- 2) 카프로락탐 및 라우로락탐의 동시분석을 위하여 혼합표준용액은 에테르에 녹여 조제한다.

## 5 프탈레이트류 및 디에틸헥실아디페이트

### 5.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 디부틸프탈레이트 : 0.3 이하
- 벤질부틸프탈레이트 : 30 이하
- 디에틸헥실프탈레이트 : 1.5 이하
- 디-n-옥틸프탈레이트 : 5 이하
- 디이소노닐프탈레이트 및 디이소데실프탈레이트 : 9 이하(합계로서)
- 디에틸헥실아디페이트 : 18 이하

※ 대상 재질

- 1—1 폴리염화비닐(poly(vinyl chloride) : PVC)

### 5.2. 개요

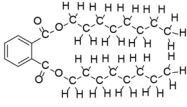
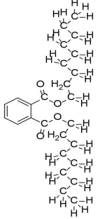
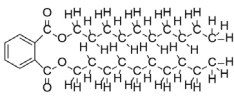
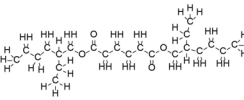
프탈레이트는 플라스틱의 가소제로 그 종류는 다양하다. 디에틸헥실프탈레이트(DEHP)는 전기 변압기내의 절연유나 가소제로 사용되어 다양한 폐기물을 통해 환경에 유입된다. 벤질부틸프탈레이트(BBP)는 포장재의 가소제, 바닥재 타일 제조 가소제, 합성 가죽에도 사용된다.

발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)는 BBP, DEHP는 각각 그룹 2B(인체 발암 가능물질), 3(인체 발암 물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류하고 있으며 디부틸프탈레이트(DBP), 디-n-옥틸프탈레이트(DNOP), 디이소노닐프탈레이트(DINP), 디이소데실프탈레이트(DIDP), 디에틸헥실아디페이트(DEHA)의 발암성을 규정하고 있지 않다[1].

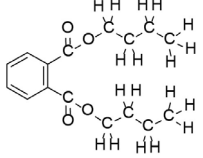
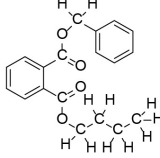
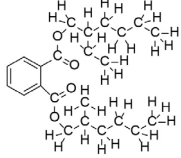
현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 폴리염화비닐(PVC)에 대하여 재질규격을 설정하여 관리하고 있다. DBP 외 6종에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

## 5.3. 분석원리

PVC에서 용출되는 DBP, BBP, DEHP, DNOP, DINP, DIDP 및 DEHA를 GC/MS로 측정한다.

명칭	디-n-옥틸 프탈레이트 (di-n-octyl phthalate)	디이소노닐 프탈레이트 (diisononyl phthalate)	디이소데실 프탈레이트 (diisodecyl phthalate)	디에틸헥실 아디페이트 (di(2-ethylhexyl) adipate)
이명	DNOP	DINP	Bis(isodecyl) phthalate. DIDP	Diisooctyl adipate DEHA
구조식(분자식)	 $C_{24}H_{33}O_4$	 $C_{36}H_{42}O_4$	 $C_{28}H_{46}O_4$	 $C_{22}H_{42}O_4$
분자량(g/mol)	390.56	418.609	446.66	370.57
CAS No.	117-84-0	28553-12-0	26761-40-0	103-23-1
끓는점(°C)	220	244~252	250~257	417
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.980	0.98	0.96~0.97	0.93
물에 대한 용해도	<1 mg/mL	<0.01g/mL	< 0.01% (25°C).	< 200 mg/L(20°C)
용매용해도	mineral, ether, benzene	대부분의 유기용매	alcohol, ether 등	acetone, ethanol 등

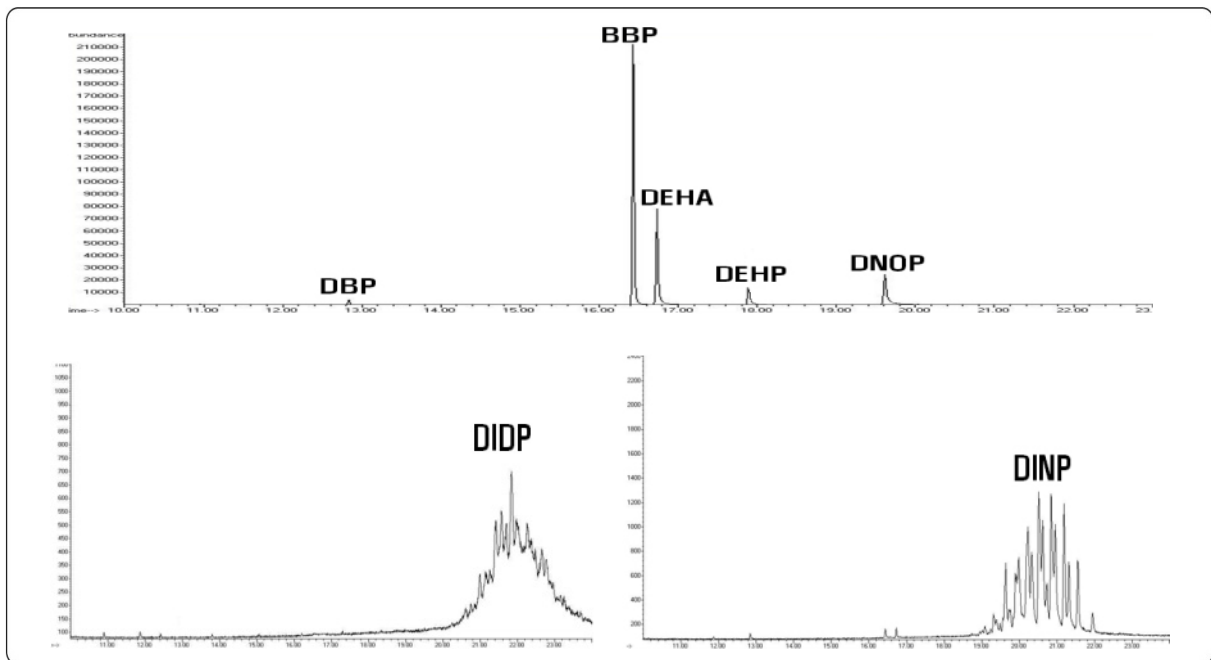
명칭	디부틸프탈레이트 (di-n-butyl phthalate)	벤질부틸프탈레이트 (Benzyl-n-butyl phthalate)	디에틸헥실프탈레이트 (di(2-ethylhexyl)phthalate)
이명	Butyl phthalate, n-Butyl phthalate, 1,2-Benzenedicarboxylic acid dibutyl ester	n-butyl benzyl phthalate (BBP),	Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)
구조식(분자식)	 $C_{16}H_{22}O_4$	 $C_{19}H_{20}O_4$	 $C_{24}H_{38}O_4$
분자량(g/mol)	278.34	312.36	390.56
CAS No.	84-74-2	85-68-7	117-81-7
끓는점(°C)	340	370	386
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.05	1.1	0.985
물에 대한 용해도	0.013g/L	0.000269g/100 mL	-
용매용해도	diethyl ether, acetone	-	ethanol, ether, mineral oil

## 5.4. 분석조건 및 크로마토그램

### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프/질량분석기
검출기	질량분석기 선택이온검출기(질량수 : 129, 149)
분리용 칼럼	HP-1701(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 $\mu$ m)
칼럼온도	120 $^{\circ}$ C(2min) → 10 $^{\circ}$ C/min → 280 $^{\circ}$ C(10min)
주입부 온도	240 $^{\circ}$ C
이온화전압	70 eV
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	1.0 $\mu$ L (DBP 0.3, BBP 30, DEHA 18, DEHP 1.5, DNOP 5, DIDP 9, DINP 9 $\mu$ g/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)

### 2) 크로마토그램



## 5.5. 분석감도 및 직선성

프탈레이트류 등의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으며, 단일 성분인 DBP, BBP, DEHA, DEHP, DNOP에 비하여 이성체의 혼합물인 DIDP, DINP의 경우 분석감도가 현저히 낮다. 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 DBP, BBP, DEHA, DEHP, DNOP 각각의 정량한계는 약 0.03 ~ 0.06  $\mu$ g/mL 수준이며, DIDP 및 DINP 각각의 정량한계는 약 5  $\mu$ g/mL 수준으로 보고된 바 있다. 프탈레이트류 등의 직선성은 DBP, BBP, DEHA, DEHP, DNOP의 경우 0.1 ~ 40  $\mu$ g/mL 범위에서 0.99 이상, DIDP, DINP의 경우 5 ~ 80  $\mu$ g/mL 범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.



## 5 PCBs

### 6.1. 규격

#### 1) 잔류규격(mg/kg)

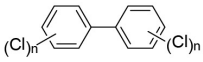
- PCBs : 5 이하
- ※ 대상 재질
- 4. 종이제 또는 가공지제

### 6.2. 개요

PCBs는 변압기와 축전기의 절연유, 제지, 가소제 도료 등에 전 세계적으로 널리 사용되었던 유기화학물질이며, 독성이 강하면서도 분해가 느려 생태계에 오랫동안 남아 피해를 일으키는 잔류성 유기 오염물질 중의 하나이다. 과거 사무용 복사지로 PCB를 미세한 캡슐에 봉입한 논카본지가 사용되었으며, 폐기된 용지들이 재활용될 때 재생지에 PCB 혼입 가능성이 있어 규격 관리하게 되었다. 그러나 최근에는 복사지에 PCB가 사용되지 않아 종이제품에서 검출되는 경우는 거의 없는 실정이다[1].

발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 그룹 2A(인체 발암 추정물질)로 분류하고 있다[2].

PCBs에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	PCB
이명	polychlorinated biphenyl(폴리염화비페닐)
구조식(분자식)	 $C_{12}H_{10-x}Cl_x$
분자량(g/mol)	188~358
CAS No.	1336-36-3
끓는점(°C)	275°C~375°C
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.18~1.56
물에 대한 용해도	<0.1ug/L
용매 용해도	대부분의 유기용매, 유지 등

### 6.3. 분석원리

PCBs의 시험법은 시료에서의 추출, 정제 및 정성 또는 정량하는 각 조작으로 이루어지며, 해당 물질은 다수의 이성체 및 동족체의 혼합물이므로 단일 조성의 화합물과 달리 복잡한 계산 처리가 필요하다. 즉, 정성시험에서 얻어진 피크 패턴을 토대로 하여 이것에 가장 가까운 PCBs 표준품을 선택하고 정량조건에서 해당 PCBs 표준품의 가스 크로마토그램 중 전체피크의 면적 또는 높이의 합을 바탕으로 검량선을

작성한다. 이후 시험용액에서 얻어진 피크 중 표준품과 용출 시간이 일치하는 전 피크의 변적 또는 높이 합을 측정하고 앞의 검량선을 토대로 시험용액 중의 총 PCBs 양을 정량하여 시료안의 PCBs 함량을 산출한다. 이때 사용되는 표준품은 다음과 같다.

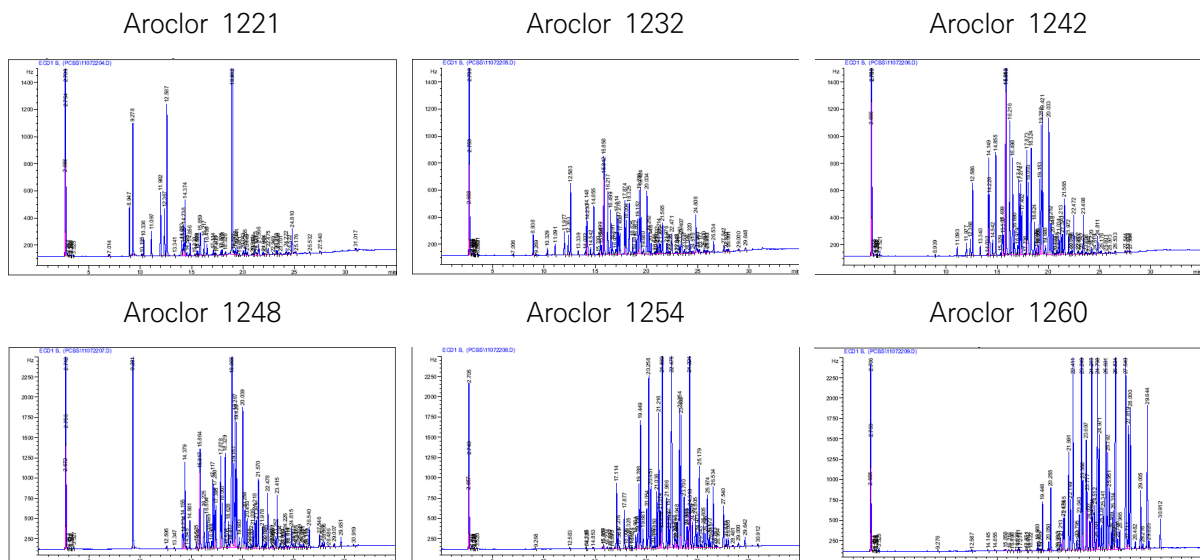
- 일염화비페닐(Aroclor 1221) / - 이염화비페닐(Aroclor 1232) / - 삼염화비페닐(Aroclor 1242)
- 사염화비페닐(Aroclor 1248) / - 오염화비페닐(Aroclor 1254) / - 육염화비페닐(Aroclor 1260)

## 6.4. 분석조건 및 크로마토그램

### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	전자포획검출기
분리용 칼럼	DB-5(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 $\mu$ m)
칼럼온도	120 $^{\circ}$ C(2min) → 5 $^{\circ}$ C/min → 200 $^{\circ}$ C(7min) → 2 $^{\circ}$ C/min → 240 $^{\circ}$ C(20min)
주입부 온도	200 $^{\circ}$ C
검출기 온도	270 $^{\circ}$ C
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	1 $\mu$ L(Aroclor 1221, Aroclor 1232, Aroclor 1242, Aroclor 1248, Aroclor 1254, Aroclor 1260 각각 1 $\mu$ g/mL)
운반기체	질소 (1.0 mL/min)

### 2) 크로마토그램



## 6.5. 분석감도 및 직선성

PCBs의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있다. 현재 종이제 또는 가공지제 중 PCBs의 재질규격은 5mg/kg 이하로서 규격수치의 1/10인 0.5mg/kg 수준까지 정량이 가능하다.

## 6.6. 유의점

- 1) PCBs는 이론적으로는 209종류의 이성체 및 동족체가 존재한다. 따라서 PCBs의 정량은 통상의 단일 조성 화합물과 같은 검량선을 이용한 정량은 불가능하다. 그 때문에 시료에서 얻어지는 PCBs의 가스크로마토그램 패턴과 유사한 크로마토그램 패턴을 각 PCBs 표준용액을 적절히 조합하여 조제하고 그 전체 피크 높이의 합을 비교하여 정량하는 방법이 본 시험법의 피크 패턴법이다. 그러나 실제의 시료에서는 피크패턴을 완전히 매치시키는 것은 어렵다.
- 2) 전처리에 사용하는 용매 등은 PCBs의 바탕선을 가능한 낮추기 위해 PCBs의 혼입을 낮게 처리한 잔류 PCBs 시험용 또는 잔류 농약급의 시약을 사용할 필요가 있다.
- 3) 참고로, 복사지에서 유래하는 종이제품의 오염에서는 삼염화페닐의 패턴에 가까운 것이 많다는 보고가 있다.

# 7 휘발성물질

## 7.1. 규격

### 1) 잔류규격(mg/kg)

- 휘발성물질(스티렌, 톨루엔, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠의 합계로서) : 5,000 이하 (다만, 열탕을 사용하는 발포 폴리스티렌의 경우 휘발성물질의 총량은 2,000 이하이어야 하며, 그 중 스티렌 및 에틸벤젠은 각각 1,000 이하)

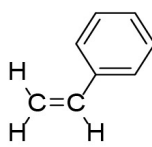
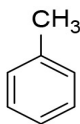
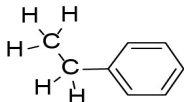
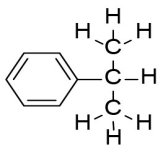
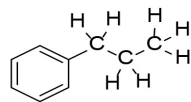
※ 대상 재질

- 1-3 폴리스티렌(polystyrene : PS),
- 1-17 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : ABS) 및 아크릴로니트릴-스티렌 공중합체(acrylonitrile-styrene copolymer : AS)
- 1-18 폴리메타크릴스티렌(polymethacrylstyrene : MS)
- 1-25 폴리페닐렌에테르(poly(phenylene ether) : PPE),
- 1-28 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체 (methylmethacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : MABS)

## 7.2. 개요

폴리스티렌(PS) 및 폴리스티렌 공중합체 중에는 원료 모노머인 스티렌이 중합 미반응 상태로 잔류할 수 있으며, 원료 중 불순물이나 사용된 용매로서 톨루엔, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠이 잔류할 수 있다. 그 중 잔류량이 높은 것은 스티렌과 에틸벤젠이다. 이러한 휘발성 물질들은 기구 및 용기·포장 재질 중 과량으로 잔류할 경우, 재질 표면으로부터 휘산되어 식품으로 이행됨으로써 이취 등을 유발할 우려가 있다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)은 스티렌 및 에틸벤젠은 그룹 2B(인체 발암 가능물질), 톨루엔은 그룹 3(인체 발암물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류하고 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 PS 및 스티렌공중합체인 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(ABS), 아크릴로니트릴-스티렌 공중합체(AS), 폴리메타크릴스티렌(MS), 폴리페닐렌에테르(PPE), 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(MABS)에 대하여 재질규격을 설정하여 관리하고 있다. 참고로, 재질규격에 명시된 열탕을 사용하는 발포 폴리스티렌이란 주로 용기에 직접 뜨거운 물을 부어 식용으로 제공하는 컵라면 등의 용기를 가리킨다. 휘발성 물질에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	스티렌 (Styrene)	톨루엔 (Toluene)	에틸벤젠 (Ethylbenzene)	이소프로필벤젠 (iso-Propyl benzene)	n-프로필벤젠 (n-Propyl benzene)
이명	Ethylbenzene, Vinyl benzene, Phenylethene	phenylmethane, toluol, Anisen	Ethylbenzol, EB, Phenylethane	2-phenylpropane, Cumene	benzene,propyl-, phenylpropane
구조식(분자식)					
	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>
분자량(g/mol)	104.15	92.4	106.17	120.19	120.19
CAS No.	100-42-5	108-88-3	100-41-4	98-82-8	103-65-1
끓는점(°C)	145	110.6	136	152	159
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.909	0.8669(20°C)	0.8665	0.862	0.865
물에 대한 용해도	< 1%	0.47g/L(20~25°C)	0.015g/100mL(20°C)	insoluble	insoluble

### 7.3. 분석원리

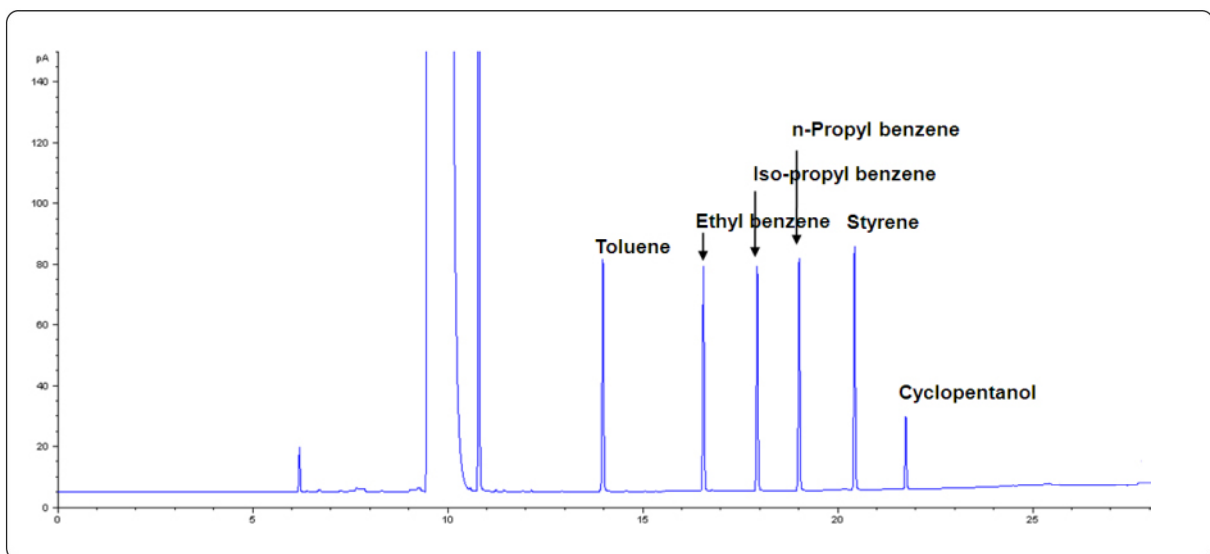
휘발성 물질은 GC를 이용하여 헤드스페이스 주입법 또는 직접주입법으로 분석이 가능하며, 현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 시료를 테트라하이드로퓨란에 녹인 시험용액을 GC에 직접 주입하여 분석하는 직접주입법을 채택하고 있다. 참고로, PS을 녹일 수 있는 용매로 디메틸포름아미드도 알려져 있으나, 캐필러리 칼럼에서 테트라하이드로퓨란을 용매로 사용할 때에 비하여 피크의 width가 상대적으로 더 넓어지는 것으로 보고되어 있다. 따라서 휘발성물질 분석시 시료를 녹이는 용매로는 직접주입법의 경우 테트라하이드로퓨란을, 헤드스페이스 주입법의 경우 끓는점이 높은 디메틸포름아미드를 사용하는 것이 좋다.

### 7.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	DB-Wax(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 $\mu$ m)
칼럼온도	40 $^{\circ}$ C(3min) → 5 $^{\circ}$ C/min → 150 $^{\circ}$ C(5min)
주입부 온도	240 $^{\circ}$ C
검출기 온도	280 $^{\circ}$ C
주입방식	스플릿리스
주입량	1 $\mu$ L(혼합표준용액 100ug/mL)
운반기체	질소 (0.7 mL/min)

#### 2) 크로마토그램



- 칼럼 : DB-Wax(30m×0.25 mmI.D , 0.25 $\mu$ m), 오븐온도 : 40 $^{\circ}$ C(3min) → 5 $^{\circ}$ C/min → 150 $^{\circ}$ C(5min), 주입구 온도 : 240 $^{\circ}$ C, 검출기 온도 : 280 $^{\circ}$ C, 운반기체 : 질소 (0.7 mL/분), 주입방식 : 스플릿리스, 주입량 : 1  $\mu$ L(혼합표준용액 각 100 ug/mL)

## 7.5. 분석감도 및 직선성

휘발성물질의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있다. 우리나라와 시험방법이 유사한 일본 「기구·용기포장의 규격기준 및 시험법」 해설서(2006년 3월 개정대응판, 중앙법규)에 따르면 휘발성물질의 정량한계는 시험용액에서 1 ug/mL, 이를 재질 중으로 환산하면 20 ug/g이며, 이는 직접주입법 및 헤드스페이스법 모두 거의 동등하다고 언급하고 있다.

스티렌, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠, n-프로필벤젠 및 스티렌의 혼합표준용액(각각 25, 50, 75, 100, 125 ug/mL)을 GC로 분석하여 검량선을 작성할 경우, 상관계수 0.99이상의 직선성이 보고된 바 있다.

## 7.6. 유의점

- 1) 휘발성물질 표준품 중 스티렌은 쉽게 중합이 일어나므로 중합이 일어나지 않도록 주의하여 보관하여야 하며, 중합 금지제가 첨가된 표준물질을 사용할 수도 있다. 중합이 일어난 표준품은 점도가 증가하고, 스티렌 함량이 감소한다.
- 2) 테트라하이드로퓨란은 필요시 사전에 GC로 분석하여 휘발성 물질 시험을 방해하는 물질 포함여부를 확인한다.
- 3) 본 시험법은 고분자를 녹인 용액을 직접 GC에 주입하므로 주입구 부분이 오염되기 쉽다. 따라서 주입구 인서트에 불활성화한 유리섬유를 소량 넣어둠과 동시에 인서트를 자주 교체해 주는 것이 바람직하다.

## 제2절

## 헤드스페이스 주입법(Headspace Injection)

## 1 4-메틸-1-펜텐

## 1.1. 규격

## 1) 용출규격(mg/L)

- 4-메틸-1-펜텐 : 0.05 이하

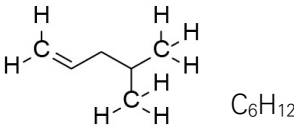
※ 대상 재질

- 1-12 폴리메틸펜텐(polymethylpentene : PMP)

## 1.2. 개요

4-메틸-1-펜텐은 쿠키 필름, 통기성 포장재, 베이킹 카톤, 전자레인지용 등으로 식품포장 및 식기에 사용된다. 그 이유는 식품 위생성, 내열성, 가스 투과성, 내유성 때문이라고 알려져 있으며, 식품 위생성에 관해서는 폴리올레핀 등 위생협회의 플라스틱 식품용 기구 및 용기·포장의 자주규제 기준 및 미국 FDA 규격에 적합하는 등급이 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 폴리메틸펜텐(PMP)에 대하여 용출규격을 설정하여 관리하고 있다. 4-메틸-1-펜텐에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	4-메틸-1-펜텐(4-methyl-1-pentene)
이명	Isohexane, Isobutylethene
구조식(분자식)	
분자량(g/mol)	84.16
CAS No.	691-37-2
끓는점(°C)	54°C
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.665
물에 대한 용해도	-
용매용해도	alcohol, ether 등

### 1.3. 분석원리

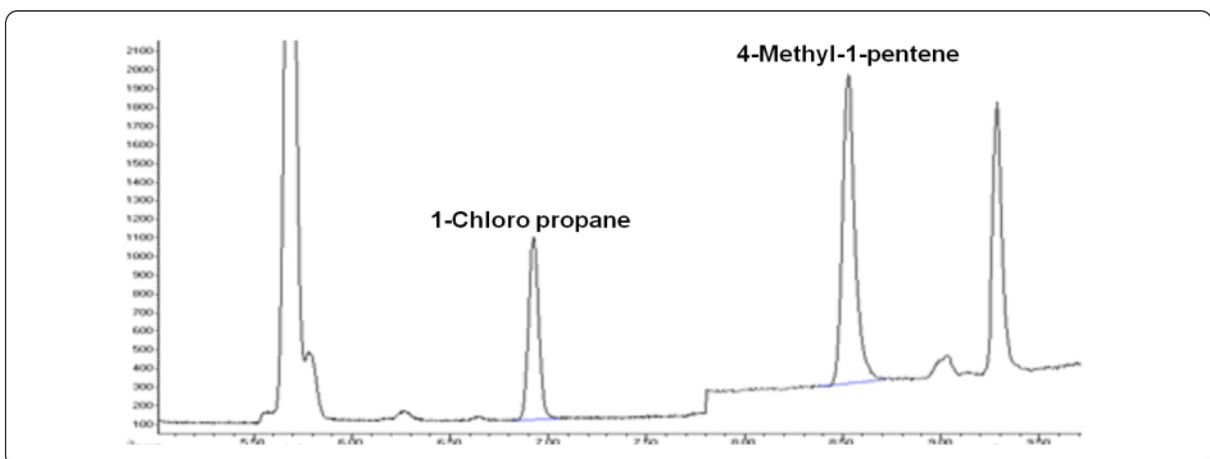
폴리메틸펜텐으로부터 용출되는 4-메틸-1-펜텐을 GC/MS 헤드스페이스 주입법으로 분석한다. 이 때 내부표준물질로는 1-클로로프로판을 사용한다.

### 1.4. 분석조건 및 크로마토그램, 질량스펙트럼

#### 1) 분석조건

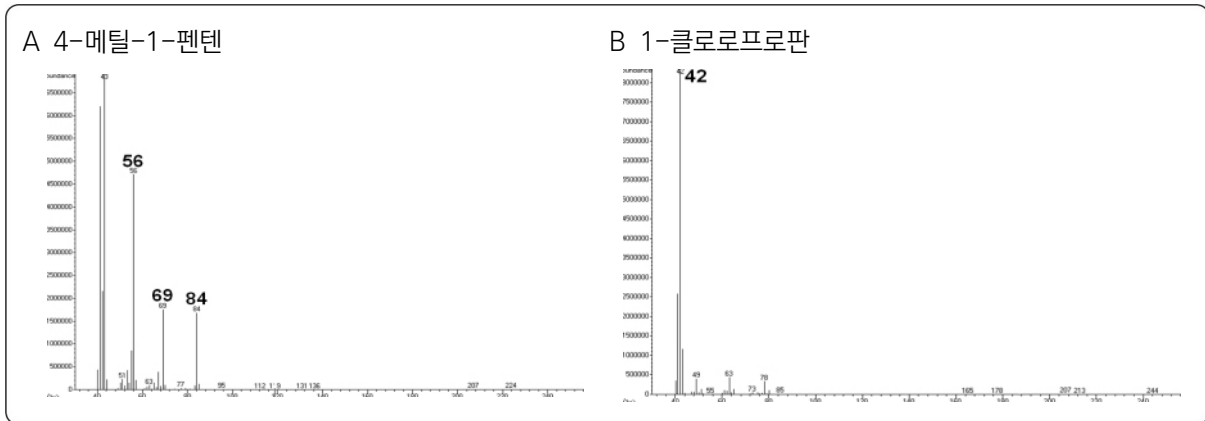
측정기기	기체크로마토그래프/질량분석기
검출기	질량분석기 선택이온검출기 (정량이온 : 56, 확인이온 : 69, 84.) (내부표준물질 1-Chloropropane : 42)
분리용 칼럼	HP-PLOT Q (30 m × 0.32 mm I.D., 20 $\mu$ m)
칼럼온도	70 $^{\circ}$ C(2min) → 10 $^{\circ}$ C/min → 250 $^{\circ}$ C(10min)
주입부 온도	240 $^{\circ}$ C
이온화전압	70 eV
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	헤드스페이스 0.5 mL(4-메틸-1-펜텐 0.1 $\mu$ g/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	90 $^{\circ}$ C/30min(교반속도 500 rpm)

#### 2) 크로마토그램





### 3) 질량스펙트럼



### 1.5. 분석감도

4-메틸-1-펜텐의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.003 ~ 0.01 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 4-메틸-1-펜텐의 직선성은 0.005 ~ 0.2 ug/mL 범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.

### 1.6. 유의점

- 1) 아세톤이나 알코올 등의 극성용제에는 강하지만 벤젠, 톨루엔(toluene)등의 방향족탄화 수소계 용제나 트리클렌(trichlene), 4염화탄소, 클로로포름(chloroform) 등의 염소계 용제에는 팽윤한다.
- 2) 동, 철, 코발트 등 중금속과의 접촉에 의해 폴리프로필렌(PP)과 같은 열화가 촉진된다.
- 3) 내후성은 PP 이상으로 자외선에 의한 열화를 받기 쉽기 때문에 옥외 사용은 피한다.
- 4) 표준용액과 시험용액이 달라 피크의 양상이 다름을 확인하였으며 상기 실험결과는 표준용액을 고농도의 stock으로 만들어 물 등의 working solution을 이용하여 희석하고 얻은 결과이다.

## 2 1,3-부타디엔

### 2.1. 규격

#### 1) 잔류규격(mg/kg)

- 1,3-부타디엔 : 1 이하

※ 대상 재질

- 1-17 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : ABS)
- 1-28 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체 (methymethacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : MABS)
- 3. 고무제 [다만, 기본 중합체(base polymer) 중 1,3-부타디엔의 함유율이 50% 이상인 고무제에 한한다]

### 2.2. 개요

1,3-부타디엔은 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(ABS), 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(MABS) 또는 부타디엔 고무 제조 시 사용되는 원료 물질이다. 발암성에 대해 국제암 연구기관(IARC)은 1,3-부타디엔은 그룹1(인체 발암성 있음)로 분류하고 있다[1].

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 ABS, MABS 및 고무제 중 부타디엔고무에 대하여 재질규격을 설정하여 관리하고 있다. 1,3-부타디엔에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	1,3-부타디엔(1,3-butadien)
이명	Biethylene, Erythrene, divinyl, Vinylethylene
구조식(분자식)	$  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \\    \quad   \\  \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \\    \quad   \\  \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $ C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>
분자량(g/mol)	54.0916
CAS No.	106-99-0
끓는점(°C)	- 4.4
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.64(-6°C, 액체)
물에 대한 용해도	735ppm
용매용해도	alcohol, ether, acetone, benzene

## 2.3. 분석원리

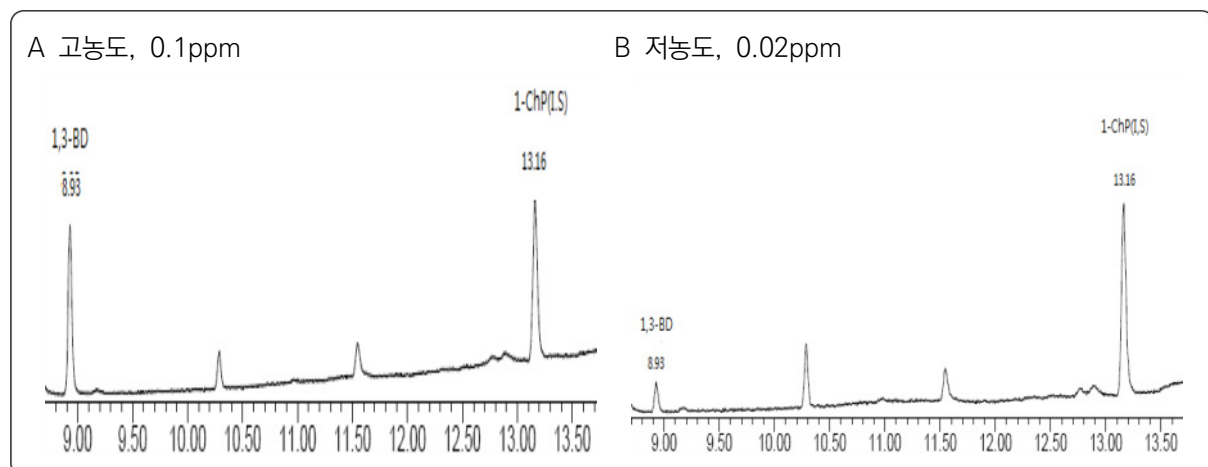
ABS, MABS 및 부타디엔고무에 잔류하는 1,3-부타디엔을 N,N-디메틸아세트아미드로 추출한 후 GC/MS 헤드스페이스 주입법으로 측정한다.

## 2.4. 분석조건 및 크로마토그램, 질량스펙트럼

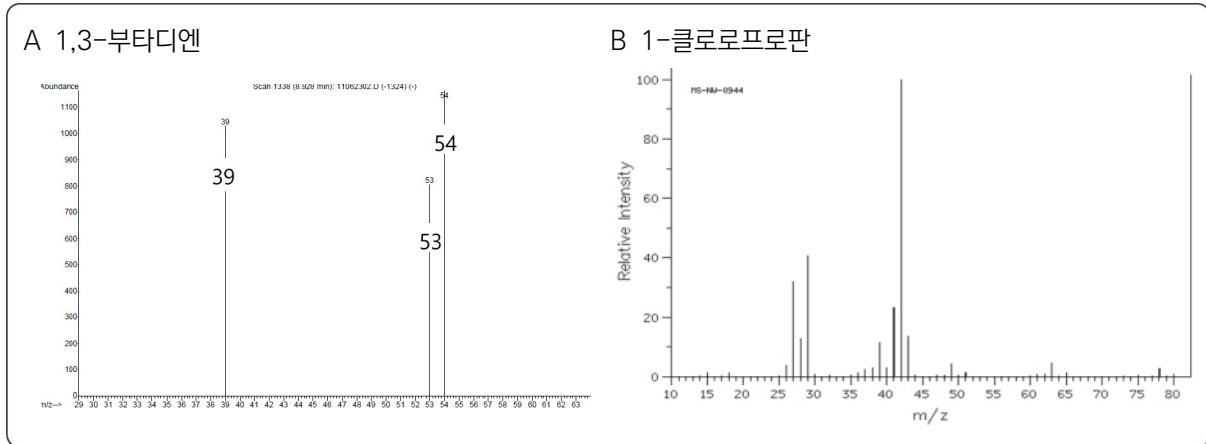
### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프/질량분석기
검출기	질량분석기 선택이온검출기 (정량이온 : 54, 확인이온 : 39, 53) (내부표준물질 1-Chloropropane : 42)
분리용 칼럼	HP-PLOT Q (30 m × 0.32 mm I.D., 20 $\mu$ m)
칼럼온도	40 $^{\circ}$ C(2min) → 10 $^{\circ}$ C/min → 200 $^{\circ}$ C(5min)
주입부 온도	240 $^{\circ}$ C
이온화전압	70 eV
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	헤드스페이스 0.5 mL(1,3-부타디엔 5.0 ug/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	90 $^{\circ}$ C/30min(교반속도 500 rpm)

### 2) 크로마토그램



### 3) 질량스펙트럼



## 2.5. 분석감도

1,3-부타디엔의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 약간의 차이가 있을 수 있다. 저농도 분석결과를 토대로 signal/noise 비 10에 해당하는 농도를 환산하면 0.02ug/mL 수준이 되며, 이를 재질 중으로 환산하면 0.2ug/g 수준이다.

## 2.6. 유의점

- 1) 마그네틱바를 별도로 넣지 않을 시에는 GC에 장착된 헤드스페이스용 shaker를 사용한다. 헤드스페이스 평형 온도 90°C (Loop 온도 95°C), 바이알 평형시간 30분, GC cycle 시간 25분을 권고한다.

## 3 비닐아세테이트

### 3.1. 규격

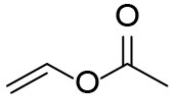
- 1) 용출규격(mg/L)
  - 비닐아세테이트 : 12 이하
- ※ 대상 재질
  - 1—14 폴리비닐알코올(poly(vinyl alcohol) : PVA)
  - 1—27 에틸렌-초산비닐 공중합체(ethylene-vinylacetate copolymer : EVA)

### 3.2. 개요

비닐아세테이트는 에틸렌-초산비닐 공중합체(EVA)가 분해 시 용출 가능한 성분으로 맑고 투명한 액체로서 달고, 먹음직스런 과일향을 가지고 있으나, 냄새 자체는 특소며 자극적이고 쉽게 공기중으로 휘발되고 쉽게 물에 녹는 성질을 가지고 있다.

발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)는 비닐아세테이트는 그룹 2B(인체 발암 가능물질)로 규정되어 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 폴리비닐알코올(PVA)에 대하여 용출규격을 설정하여 관리하고 있다. 비닐아세테이트에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	비닐아세테이트(vinyl acetate)
이명	Acetic acid vinyl ester, acetoxyethene, VyAc, VAM, zerset T, VAM vinyl acetate monomer, acetic acid ethenyl ester, 1-acetoxyethylene
구조식(분자식)	 C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
분자량(g/mol)	86.09
CAS No.	108-05-4
끓는점(°C)	72.7
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.934
물에 대한 용해도	2.5g/100mL
용매용해도	대부분의 유기용매

### 3.3. 분석원리

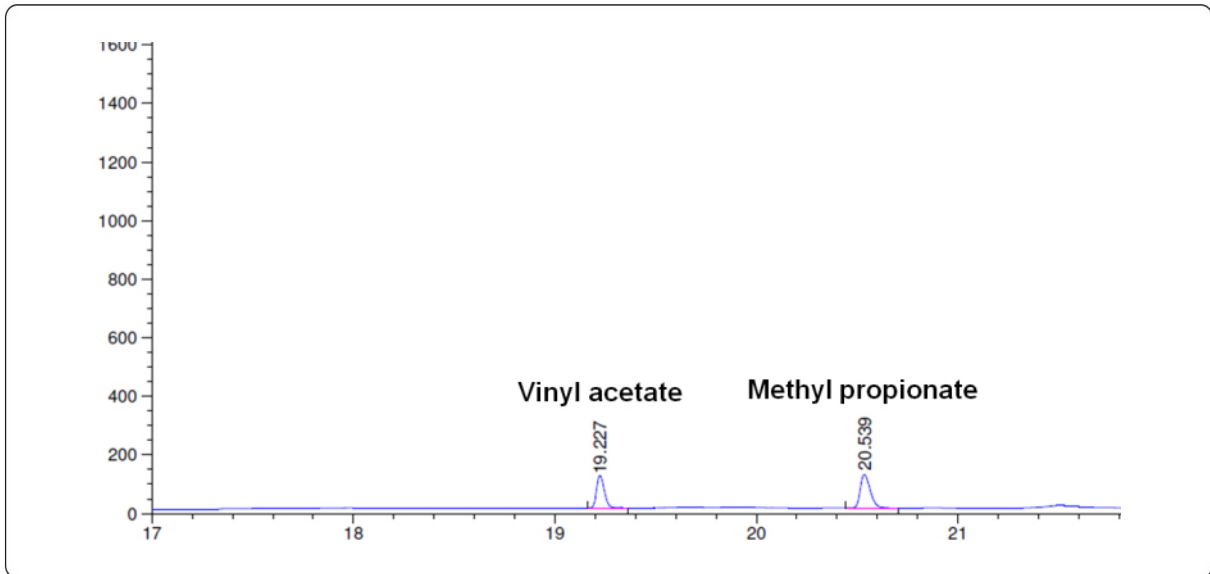
물을 침출용액으로 하여, PVA 및 EVA에서 용출되는 비닐아세테이트를 GC/FID 헤드스페이스 주입법으로 측정한다. 이 때 내부표준물질로는 비닐아세테이트와 구조가 유사한 메틸프로피오네이트를 사용한다.

### 3.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	HP-PLOT Q(30 m × 0.32 mm I.D., 20 μm)
칼럼온도	40°C(2min) → 10°C/min → 200°C(5min)
주입부 온도	140°C
검출기 온도	200°C
주입방식	스플릿리스
주입량	헤드스페이스 1 mL(비닐아세테이트 12ug/mL)
운반기체	질소 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	80°C/30min(교반속도 500rpm)

## 2) 크로마토그램



### 3.5. 분석감도

현재 우리나라 식품공전에서는 PVA 중 비닐아세테이트의 용출규격은 12mg/L이하로서 규격수치의 각각 1/10인 1.2mg/L 수준까지 정량이 가능함을 확인하였다.

### 3.6. 유의점

- 1) 비닐아세테이트는 휘발성이 큰 물질이다.
- 2) 비닐아세테이트는 가소성이며 열, 스파크 및 불꽃 등에 의해 점화될 수 있다.

## 4 염화비닐

### 4.1. 규격

#### 1) 잔류규격(mg/kg)

- 염화비닐 : 1 이하
- ※ 대상 재질
- 1-1 폴리염화비닐(poly(vinyl chloride) : PVC)

#### 2) 용출규격(mg/L)

- 염화비닐 : 0.05 이하
- ※ 대상 재질
- 5. 금속제(식품과 직접 접촉하는 면이 합성수지제 또는 고무제로 도장되어 있는 경우)

### 4.2. 개요

염화비닐은 폴리염화비닐(PVC)의 중합시 사용되는 원료 모노머이다. 염화비닐은 상압상태에서 기체로 존재하며 매우 달콤한 향을 가지고 가연성과 높은 독성을 가졌으며 휘발성이 강하기 때문에 가소제를 브랜딩 할 때 가열되는 연질염비와 시트형태의 얇은 것에는 거의 잔존하지 않는다. 잔류가 확인되는 것은 PVC 중에서도 경질이면서 두꺼운 시료이다. 그러나 최근에는 PVC의 중합공정에서 탈기가 충분히 이루어져 제거되고 있어 검출되는 일이 드물다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)은 염화비닐을 그룹 1(인체 발암성 있음)으로 분류하고 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 PVC에 대하여 재질규격을, 식품과 접촉하는 면이 합성수지제로 도장되어 있는 금속제에 대하여 용출규격을 각각 설정하여 관리하고 있다. 염화비닐에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	염화비닐(Vinyl chloride)
이명	vinyl chloride monomer, VCM, Chloroethylene
구조식(분자식)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \quad \text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$
분자량(g/mol)	62.498
CAS No.	75-01-4
끓는점(°C)	-13.4
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.911
물에 대한 용해도	2.7g/L(0.0498mol/L)
용매용해도	ethanol, ether, benzene

### 4.3. 분석원리

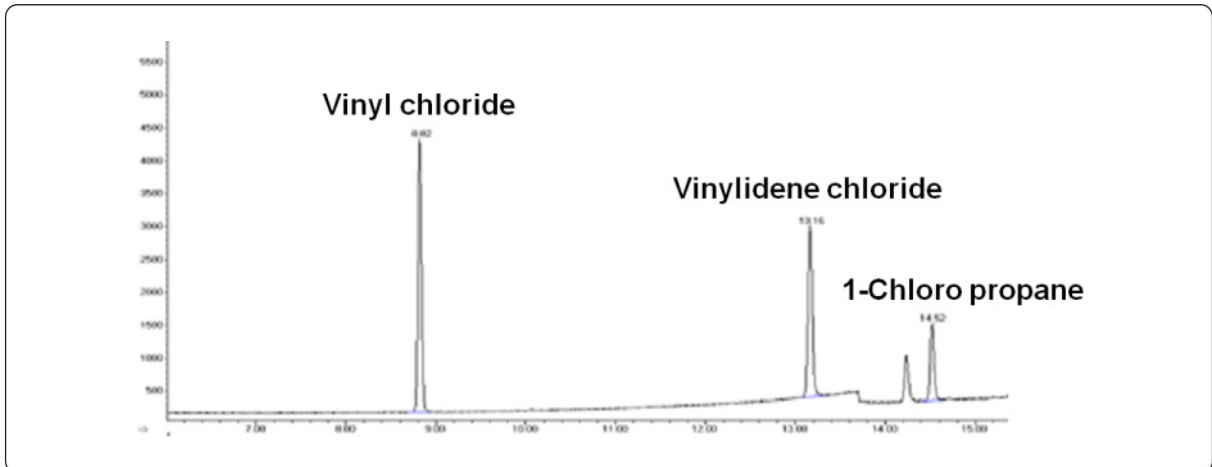
PVC과 금속제에 잔류하는 염화비닐을 N,N-디메틸아세트아미드로 추출한 후 GC/MS 헤드스페이스 주입법으로 측정한다. 염화비닐 시험법은 종전에는 PVC을 테트라하이드로퓨란으로 용해한 용액을 GC에 직접 주입하여 측정하였다. 그러나 염화비닐의 휘발성이 크기 때문에 메탄올·드라이아이스로 냉각하면서 실시할 필요가 있었고, 또한 폴리머와 가소제를 대량으로 함유하는 용액이 주입되기 때문에 컬럼과 장치가 오염되기 쉬웠다. 반면, 헤드스페이스 주입법은 헤드스페이스용 바이알에 밀봉한 상태로 시료를 용해하기 때문에 실온에서 조작이 가능하고 컬럼과 기기 장치의 오염이 매우 적은 장점이 있다.

### 4.4. 분석조건 및 크로마토그램, 질량스펙트럼

#### 1) 분석조건

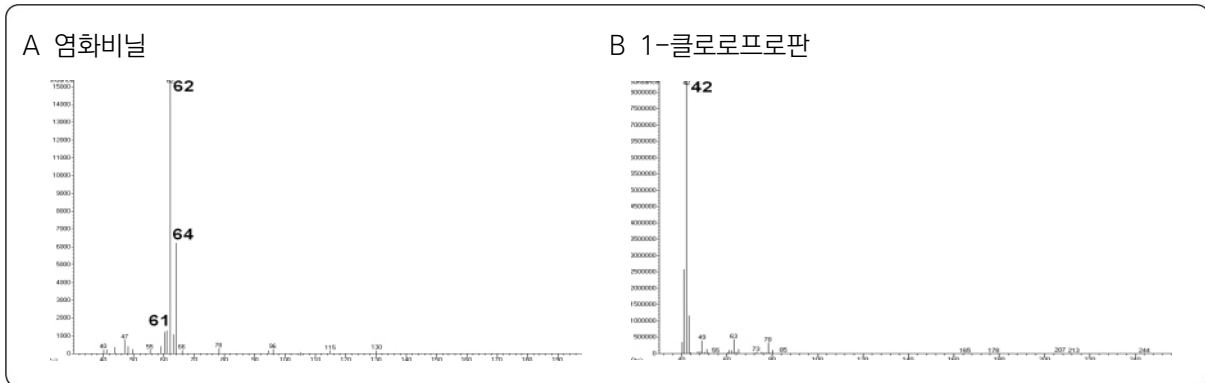
측정기기	기체크로마토그래프/질량분석기
검출기	질량분석기 선택이온검출기 (정량이온 : 62, 확인이온 : 61, 64) (내부표준물질 1-Chloropropane : 42)
분리용 컬럼	HP-PLOT Q (30 m × 0.32 mm I.D., 20 $\mu$ m)
컬럼온도	70 $^{\circ}$ C(2min) → 10 $^{\circ}$ C/min → 250 $^{\circ}$ C(10min)
주입부 온도	240 $^{\circ}$ C
이온화전압	70 eV
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	헤드스페이스 0.5 mL(염화비닐 0.1 ug/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	90 $^{\circ}$ C/30min(교반속도 500 rpm)

#### 2) 크로마토그램





### 3) 질량스펙트럼



### 4.5. 분석감도

염화비닐의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있다. 우리나라와 시험방법이 유사한 일본 「기구·용기포장의 규격기준 및 시험법」 해설서(2006년 3월 개정대응판, 중앙법규)에 따르면 염화비닐의 정량한계는 불꽃이온화 검출기를 이용할 때는 1 ug/mL, 가스크로마토그래프/질량분석기를 이용하면 0.01 ug/mL로 감도가 10배 증가한다고 언급하고 있다. 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 염화비닐의 정량한계는 0.003 ug/mL 수준이라는 보고가 있다. 염화비닐의 직선성은 0.05 ~ 0.2 ug/mL 범위에서 0.98 이상으로 보고된 바 있다.

### 4.6. 유의점

- 1) 칼럼으로는 한계온도가 300°C로 개선된 PLOT 칼럼인 CP-PoraBOND Q(Varian)를 사용할 수 있다.
- 2) 주입구 라이너(인서트)는 스플릿용으로 용량이 0.7~1.0mL정도의 것을 권고한다. 용량이 적은 것은 주입량에 대응할 수 없으며 감도가 저하될 수 있다.
- 3) 염화비닐은 가스형태이므로 에탄올에 용해시킨 시판되는 염화비닐 표준용액(50mg/L, KANTO, Cat. No. 44070-43)을 사용할 수 있다.
- 4) 염화비닐 용액 중 염화비닐의 휘발에 의한 농도변화를 막기 위해, 염화비닐 용액과 접촉하는 모든 기구를 메탄올-드라이아이스 등으로 최대한 냉각시켜 진행하며 가능한 밀봉하여 진행한다. 또한 N,N-디메틸아세트아미드를 먼저 넣은 뒤 염화비닐을 넣고, 분석하기 바로 전에 헤드스페이스용 바이알에 옮겨 담는다.
- 5) 시료에 N,N-디메틸아세트아미드를 넣는 것만으로는 용해되지 않지만 90°C에서 1시간 가열함으로써 용해된다. 단, 경질염비는 용해가 잘 되지 않기 때문에 N,N-디메틸아세트아미드를 넣어 하룻밤 방치하고 팽윤시킨 후에 가열하면 용해가 잘 된다.
- 6) 마그네틱바를 별도로 넣지 않을 시에는 GC에 장착된 헤드스페이스용 shaker를 사용한다. 헤드스페이스 평형 온도 90°C (Loop 온도 95°C), 바이알 평형시간 30분, GC cycle 시간 25분을 권고한다.

7) 헤드스페이스용 바이알은 10~20mL 용량의 것을 사용하며 매뉴얼 주입 혹은 헤드스페이스 샘플러에 의한 자동 주입 모두 가능하다. 매뉴얼 주입의 경우에는 온도제어가 가능한 항온조, 수욕, 가스크로마토그래프 오븐 등을 이용하여 가온한다. 또한 시린지는 프레셔락 부착된 오른쪽 그림과 같은 가스타이트 시린지를 이용한다.

## 5 염화비닐리덴

### 5.1. 규격

#### 1) 잔류규격(mg/kg)

- 염화비닐리덴 : 6 이하
- ※ 대상 재질
- 1-4 폴리염화비닐리덴(poly(vinylidene chloride) : PVDC)

### 5.2. 개요

염화비닐리덴(PVDC)은 폴리염화비닐리덴의 중합시 사용되는 원료 모노머이다. PVDC은 흡입독성이 주이지만 장기간의 경구 노출로 간장과 신장에 영향을 미친다[1]. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)는 염화비닐은 그룹 3(인체 발암물질로 분류하기 어려운 물질)로 분류하고 있다[2].

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 PVDC에 대하여 재질규격을 6.0 mg/kg 이하로 설정하여 관리하고 있으며 이는 PVDC 필름 안의 염화비닐리덴 함량이 6.0 mg/kg 이하인 경우에는 식품으로의 이행량이 0.05 ug/g 이하로 억제되기 때문이다. 염화비닐리덴에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	염화비닐리덴(Vinylidene chloride)
이명	1,1-Dichloroethylene, 1,1-Dichloroethene, 1,1-DCE, vinylidene dichloride
구조식(분자식)	$  \begin{array}{c}  \text{Cl} \quad \text{H} \\  \diagdown \quad / \\  \text{C} = \text{C} \\  / \quad \diagdown \\  \text{Cl}' \quad \text{H}  \end{array}  $ C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>
분자량(g/mol)	96.94
CAS No.	75-35-4
끓는점(°C)	32
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.213
물에 대한 용해도	Poonly
용매용해도	대부분의 유기용매

### 5.3. 분석원리

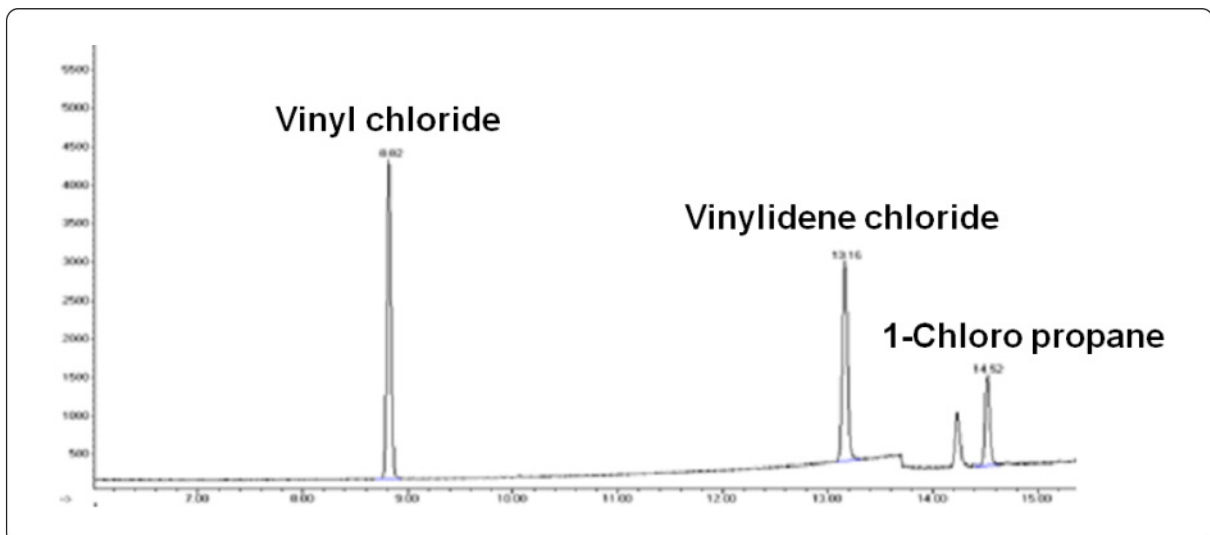
PVDC에 잔류하는 염화비닐리덴을 N,N-디메틸아세트아미드로 추출한 후 GC/MS로 헤드스페이스 주입법으로 측정한다. 염화비닐리덴 시험법은 종전에는 PVDC를 사염화탄소와 테트라하이드로퓨란의 혼합액으로 추출한 시험용액을 GC에 주입하여 측정하다. 사염화탄소는 간에 치명적 독성이 강해 이번 시험법이 개정되었다(일본해설서). 이 시험법은 폴리염화비닐(PVC) 안의 염화비닐 시험과 동일하기 때문에 랩 필름 시험 등에서 두 개가 혼재해 있어도 동일 조건에서 시험할 수 있다. 또한 많은 PVDC은 PVC과의 공중합체이기 때문에 염화비닐과 염화비닐리덴을 동시에 측정하는 것도 가능하다.

### 5.4. 분석조건 및 크로마토그램, 질량스펙트럼

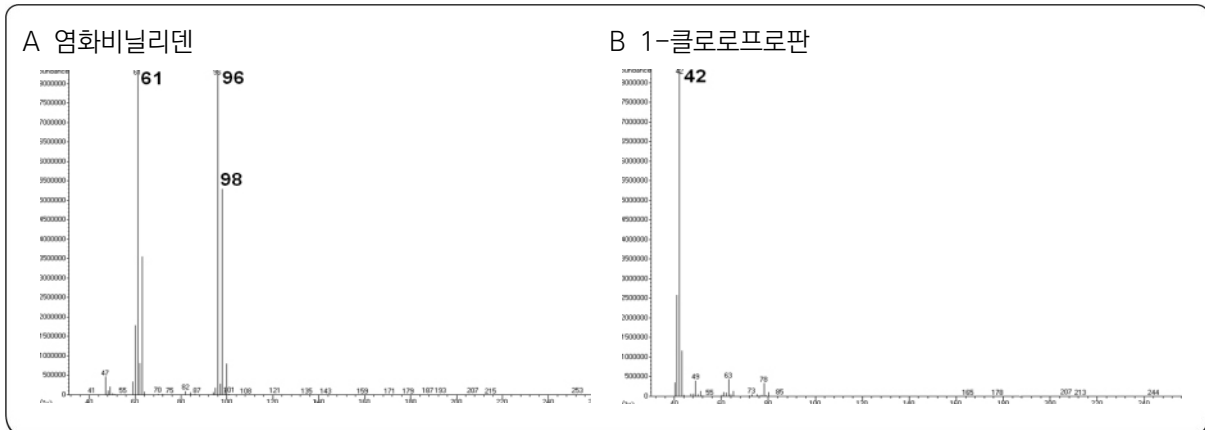
#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프/질량분석기
검출기	질량분석기 선택이온검출기 (정량이온 : 61, 확인이온 : 96, 98) (내부표준물질 1-Chloropropane : 42)
분리용 칼럼	HP-PLOT Q (30 m × 0.32 mm I.D., 20 $\mu$ m)
칼럼온도	70 $^{\circ}$ C(2min) → 10 $^{\circ}$ C/min → 250 $^{\circ}$ C(10min)
주입부 온도	240 $^{\circ}$ C
이온화전압	70 eV
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	헤드스페이스 0.5 mL(염화비닐리덴 0.1 ug/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	90 $^{\circ}$ C/30min(교반속도 500 rpm)

#### 2) 크로마토그램



### 3) 질량스펙트럼



## 5.5. 분석감도

염화비닐리덴의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있다. 우리나라와 시험방법이 유사한 일본 「기구·용기포장의 규격기준 및 시험법」 해설서(2006년 3월 개정대응판, 중앙법규)에 따르면 염화비닐리덴의 정량한계는 불꽃이온화 검출기를 이용할 때는 0.6 ug/mL, GC/MS를 이용하면 0.06 ug/mL로 감도가 10배 증가한다고 언급하고 있다. 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 염화비닐리덴의 정량한계는 0.01 ug/mL 수준이라는 보고가 있다. 염화비닐리덴의 직선성은 0.05 ~ 0.2 ug/mL 범위에서 0.98 이상으로 보고된 바 있다.

## 5.6. 유의점

- 1) 칼럼으로는 한계온도가 300°C로 개선된 PLOT 칼럼인 CP-PoraBOND Q (Varian)를 사용할 수 있다
- 2) 염화비닐리덴 표준용액은 시판하는 1,1-디클로로에틸렌 표준액(수질시험용)을 희석하여 이용할 수 있다. 또한 표준용액을 바이알에 넣을 때에는 N,N-디메틸아세트아미드를 앞에서 넣은 곳에 추가하여 즉시 뚜껑을 닫는다.
- 3) 주입구 라이너(인서트)는 스플릿용으로 권고한다.
- 4) 헤드스페이스용 바이알은 10~20mL 용량의 것을 사용하며 매뉴얼 주입 혹은 헤드스페이스 샘플러에 의한 자동 주입 모두 가능하다. 매뉴얼 주입의 경우에는 온도제어가 가능한 항온조, 수욕, GC 오븐 등을 이용하여 가온한다. 또한 시린지는 프레셔락 부착된 가스타이트 시린지를 이용한다.

## 6 톨루엔

### 6.1. 기준 및 규격

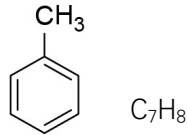
#### 1) 일반기준

- 기구 및 용기·포장 제조 시 식품과 직접 접촉하는 면에는 인쇄를 하여서는 아니된다. 식품과 직접 접촉하지 않는 면에 인쇄를 하고자 하는 경우에는 인쇄잉크를 반드시 건조시켜야 하며, 이 경우 잉크성분인 벤조페논의 용출량은 0.6 mg/L 이하이어야 한다. 또한 식품과 직접 접촉하지 않는 면이 인쇄된 합성수지 포장재 중 내용물 투입 시 형태가 달라지는 포장재의 경우, 잉크성분인 톨루엔의 잔류량은 2 mg/m<sup>2</sup> 이하이어야 한다.

### 6.2. 개요

톨루엔은 상온, 상압에서 무채색의 액체로서, 오일, 합성수지, 페인트, 등의 용제로 이용될 뿐만 아니라 페놀, 톨루엔디이소시아네이트, 트리니트로톨루엔, 염료,약품, 사카린과 같은 화합물 제조에 사용 되는 등 산업에서 가장 널리 이용되는 유기용제 중의 하나이다.

발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)는 톨루엔은 그룹3(인체 발암물질로 분류하기 어려운 물질)으로 규정하고 있다. 톨루엔에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	톨루엔(Toluene)
이명	phenylmethane, toluol, Anisen, methylbenzene
구조식(분자식)	
분자량(g/mol)	92.14
CAS No.	108-88-3
끓는점(°C)	110.6
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.8669
물에 대한 용해도	0.067%
용매용해도	Alcohol, ether, acetone, acetic acid

### 6.3. 분석원리

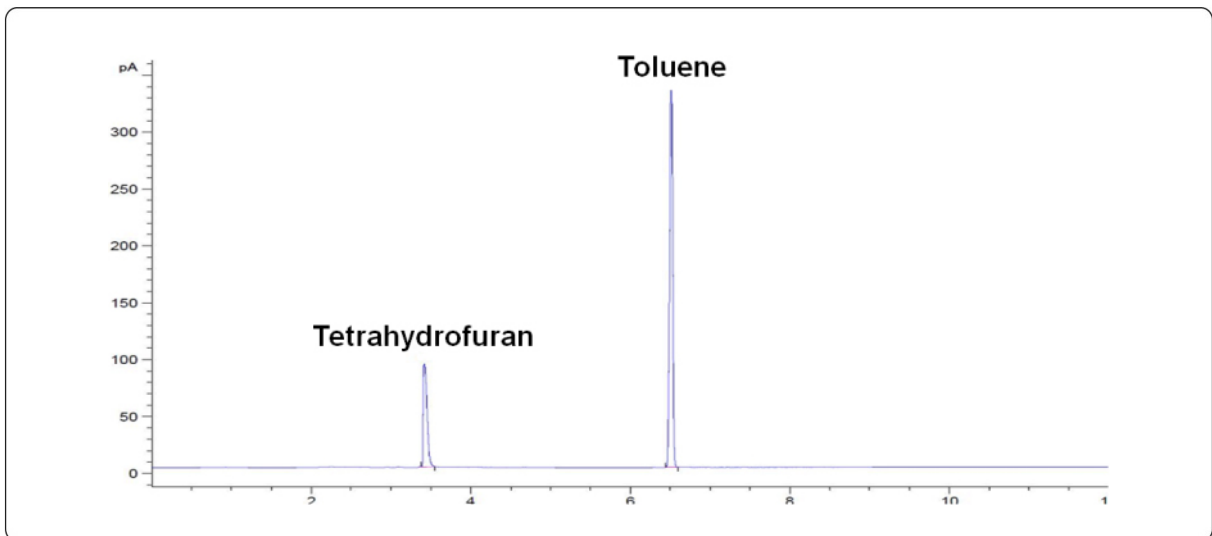
내용물을 투입시 형태가 달라지는 합성수지 포장재에 잔류하는 톨루엔을 GC/FID 헤드스페이스주입법으로 측정한다. 이 때 내부표준물질로는 테트라하이드로퓨란을 사용한다.

## 6.4. 분석조건 및 크로마토그램

### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	DB-5MS Q(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 μm)
칼럼온도	40°C(5min) → 10°C/min → 80°C(5min)
주입부 온도	230°C
검출기 온도	250°C
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	헤드스페이스 1 mL
운반기체	질소 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	80°C/30min(교반속도 500rpm)

### 2) 크로마토그램



## 6.5. 분석감도

현재 우리나라 식품공전에서는 톨루엔의 잔류량은 2mg/m<sup>2</sup>이하까지 정량이 가능함을 확인하였다.

## 7 1-헥센 및 1-옥텐

### 7.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 1-헥센 : 3 이하(폴리에틸렌에 한한다)
- 1-옥텐 : 15 이하(폴리에틸렌에 한한다)

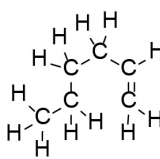
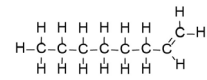
※ 대상 재질

- 1-2 폴리에틸렌(polyethylene : PE)

### 7.2. 개요

식품용 용기 및 포장 재질로 유용하게 사용되는 폴리에틸렌(PE)는 주원료인 에틸렌 이외에 1-부텐, 1-헥센, 1-옥텐 등이 co-monomer로 사용되어 일정한 구조유지와 밀도 조절에 기여를 한다. 주원료인 에틸렌의 경우 끓는점이  $-104^{\circ}\text{C}$ 이며, 1-부텐의 경우  $-6^{\circ}\text{C}$  이므로 이는 상온에서 기체의 형태로 존재하지만 1-헥센 및 1-옥텐은 상온에서 액체 상태로 존재한다. 그러므로 미반응 원료물질이 존재 시 에틸렌 및 1-부텐은 자연적으로 제거될 수 있지만 1-헥센 및 1-옥텐의 경우 잔존할 가능성이 존재하기 때문에 이 실험법이 개발되었다[1].

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 폴리에틸렌에 대하여 용출규격을 설정하여 관리하고 있다. 1-헥센, 1-옥텐에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	1-헥센(1-hexene)	1-옥텐(1-octene)
이명	Hexene, Hexylene, butyl ethylene	Octene-1, octylene; 1-n-ctene; hexylethylene; oct-1-ene; octene
구조식(분자식)	 $\text{C}_6\text{H}_{12}$	 $\text{C}_8\text{H}_{16}$
분자량(g/mol)	84.1608	112.24
CAS No.	592-41-6	111-66-0
끓는점( $^{\circ}\text{C}$ )	$63^{\circ}\text{C}$	$121^{\circ}\text{C}$
비중 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.673	0.715
물에 대한 용해도	0.005g/100mL	-
용매용해도	iso butane	acetone, methanol

### 7.3. 분석원리

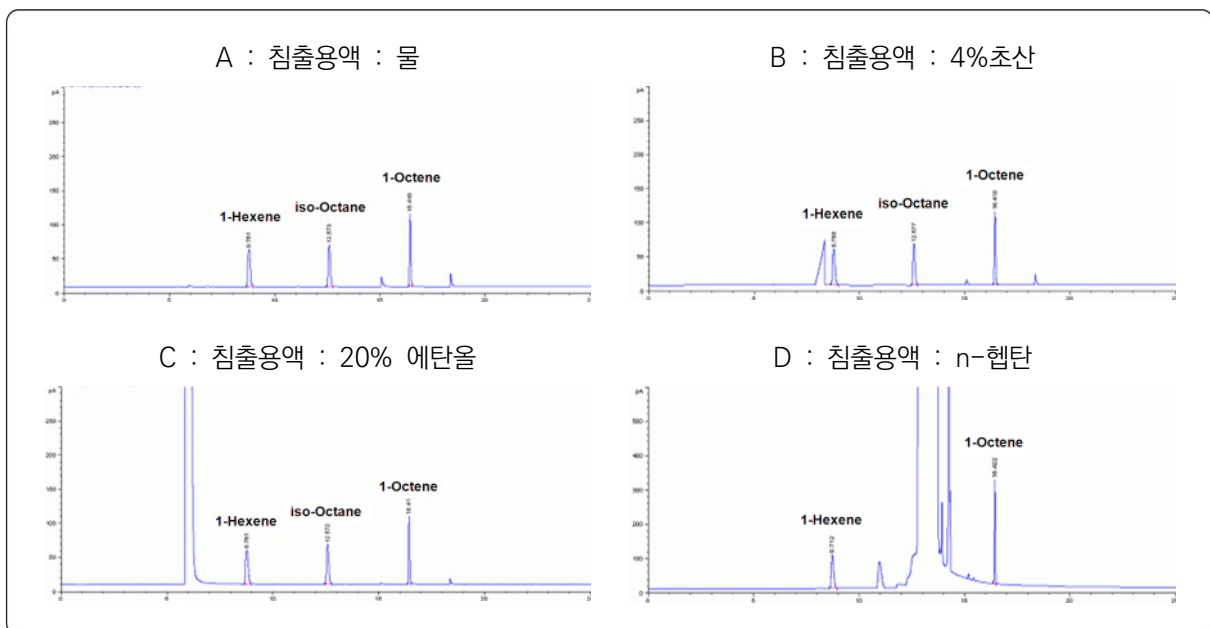
PE에서 용출되는 1-헥센 및 1-옥텐을 GC/FID로 측정한다. 물, 4%초산 및 20%에탄올을 침출용액으로 하는 경우 이소옥탄을 내부표준물질로 사용하며 헤드스페이스 주입법으로 측정하고, n-헵탄을 침출용액으로 하는 경우, 직접주입법으로 측정한다.

### 7.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	HP-1(60 m × 0.25 mm I.D., 1.0 μm)
칼럼온도	60°C(5min) → 5°C/min → 80°C(3min) → 10°C/min → 180°C(6min)
주입부 온도	150°C
검출기 온도	250°C
주입방식	스플릿(5:1)
주입량	헤드스페이스 0.5 mL(헵탄의 경우 1μL) (1-헥센 3ug/mL, 1-옥텐 15ug/mL, 내부표준물질 이소옥탄 500ug/mL)
운반기체	질소 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	70°C/40min(교반속도 250rpm)

#### 2) 크로마토그램





### 7.3. 분석감도

1-헥센 및 1-옥텐의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 첨가 용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 물, 4%초산 및 20% 에탄올을 침출용액으로 할 경우 약 0.1 ug/mL, n-헵탄을 침출용액으로 할 경우 약 0.5 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 1-헥센 및 1-옥텐의 직선성은 물, 4%초산 및 20% 에탄올을 침출용액으로 할 경우 0.1 ~ 2 ug/mL 범위에서 0.999 이상, n-헵탄을 침출용액으로 할 경우 3 ~ 200 ug/mL 범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

### 7.4. 유의점

- 1) 5가지 식품유사용매를 사용하는 실험으로써 액체를 담을 수 없는 포장재는 단면용출기를 사용하고 단면용출기를 사용할 수 없는 시료는 세절하여 각각의 식품 유사용매를 가하고 침출하여 분석에 이용한다.

## 제3절

## 고체상미량추출 주입법(SPME)

## 1 아크릴로니트릴

## 1.1. 규격

## 1) 용출규격(mg/L)

- 아크릴로니트릴 : 0.02 이하

※ 대상 재질

- 1-17 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : ABS) 및 아크릴로니트릴-스티렌 공중합체(acrylonitrile-styrene copolymer : AS)
- 1-23 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile : PAN)
- 1-28 메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체 (methylmethacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer : MABS)

## 1.2. 개요

아크릴로니트릴은 합성섬유로서 유용한 폴리아크릴로니트릴(PAN)이나 내유성 합성고무로 사용되는 부타디엔과의 혼성중합체의 원료, 시안에틸화반응을 이용한 유기합성의 원료 및 용제·살충제로 쓰인다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)는 아크릴로니트릴은 그룹 2B(인체 발암 가능물질)으로 규명하고 있다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(ABS) 및 아크릴로니트릴-스티렌 공중합체(AS)에 대하여 용출규격을 설정하여 관리하고 있다. 아크릴로니트릴에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

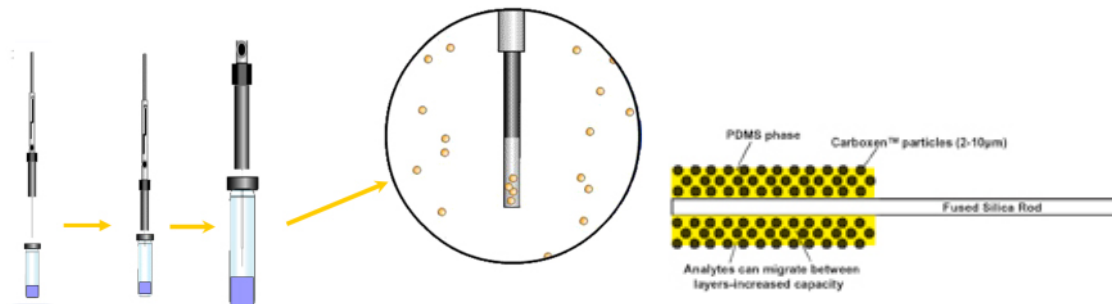
명칭	아크릴로니트릴(Acrylonitrile)
이명	cyanoethene, vinylcyanide
구조식(분자식)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{C}\equiv\text{N} \\   \\ \text{H} \end{array} \quad \text{C}_3\text{H}_3\text{N}$
분자량(g/mol)	53.06
CAS No.	107-13-1
끓는점(°C)	77°C
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.81
물에 대한 용해도	7g/100mL(20°C)
용매용해도	acetone, benzene, ethyl acetate

### 1.3. 분석원리

물을 침출용액으로 하여 ABS 또는 AS에서 용출되는 아크릴로니트릴을 시료흡착용화이버에 흡착시켜 GC로 측정한다.

#### (참고자료) SPME(고체상미량추출장치)

Solid phase microextraction(SPME)법은 다음 그림과 같이 시료 바이알의 headspace에 흡착용 fiber를 노출시켜 원하는 물질을 흡착시킨 후, 다시 GC 주입구에서 열탈착시켜 분석하는 방법이다. 시료 흡착용 fiber로는 polydimethylsiloxane(PDMS), polyacrylate, divinylbenzene, Carbowax 등의 고정상 물질이 사용되며, 분석의 물리화학적 특성에 따라 적절한 fiber를 선택해야 한다. 참고로, fiber는 사용 전에 GC 주입구에서 200°C~250°C에서 1시간 가량 가열 세척한 후 사용하며, fiber 종류에 따라 견딜 수 있는 한계온도가 있으므로 주입구에서의 온도는 알맞게 조절해야 한다.



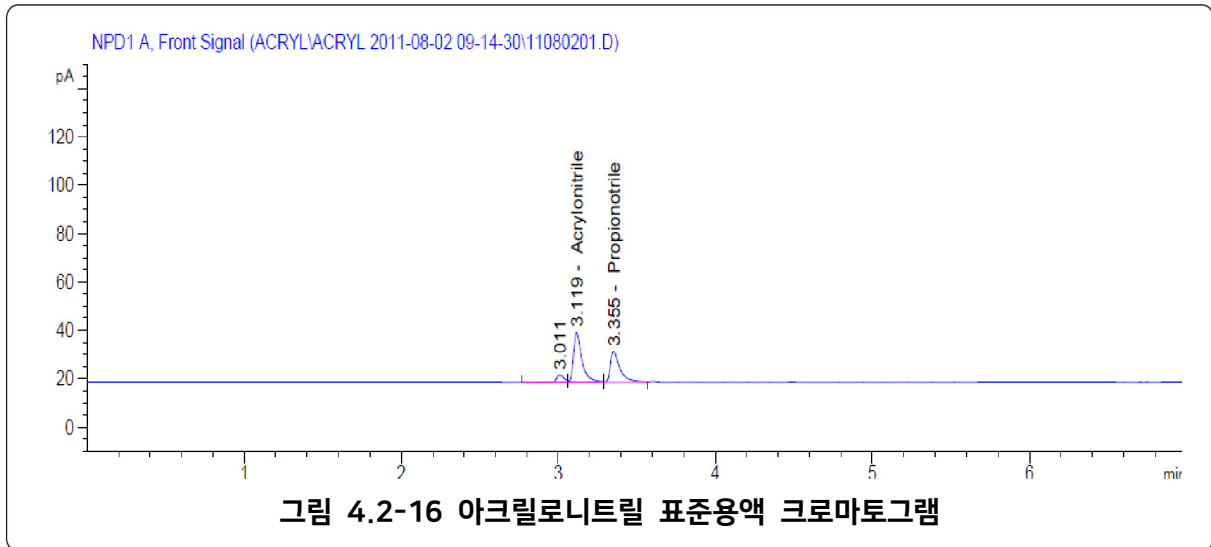
SPME 원리 및 Carboxen/PDMS Fiber 구조

### 1.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	질소·인 검출기
분리용 칼럼	HP-5(50 m × 0.17 mm I.D., 0.32 µm)
칼럼온도	50°C(5min) → 10°C/min → 70°C(0min)
주입부 온도	260°C
검출기 온도	300°C
주입방식	스플릿리스
주입량	purge delay time: 0.75min (아크릴로니트릴 0.02ug/mL, 내부표준물질 프로피오니트릴 1.0ug/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)
헤드스페이스 온도	40°C/10min

## 2) 크로마토그램



### 1.5. 분석감도 및 직선성

아크릴로니트릴의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 첨가 용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 75  $\mu$ m carboxen/PDMS fiber를 사용하였을 경우 약 0.2 ng/mL 수준으로 보고된 바 있다. 아크릴로니트릴의 직선성은 5 ~ 30 ng/mL 범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.

### 1.6. 유의점

- 1) 아크릴로니트릴은 분자량이 53.06으로 저분자량이며 끓는점이 77-78 $^{\circ}$ C로 휘발성 성질을 가지고 있다.
- 2) SPME로 분석하기 위해서는 많은 변수들을 일정하게 고정시키는 것이 중요한데 그 중 SPME 사용전 fiber에 흡착되어 있는 물질들을 완전히 탈착시킨 후 사용하여야 한다.

## 제4절

## 유도체화법(Derivatization)

## 1 디부틸주석화합물

## 1.1. 규격

## 1) 잔류규격(mg/kg)

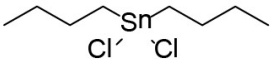
- 디부틸주석화합물 : 50 이하(이염화디부틸주석으로서)

※ 대상 재질

- 1-1 폴리염화비닐(poly(vinyl chloride) : PVC)

## 1.2. 개요

디부틸주석화합물은 안정제로서 식품용 이외의 폴리염화비닐(PVC) 제품에 사용되는 경우가 있으나 독성이 강하기 때문에 식품용도에 사용하는 것은 바람직하지 않다. 현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 PVC에 대하여 이염화디부틸주석으로서 50 mg/kg 이하의 재질규격을 설정하여 관리하고 있다. 이 규격은 시험의 편리성을 감안하여 디부틸주석화합물의 사용 효과가 없는 양으로 설정된 규격이다. 이염화부틸주석에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

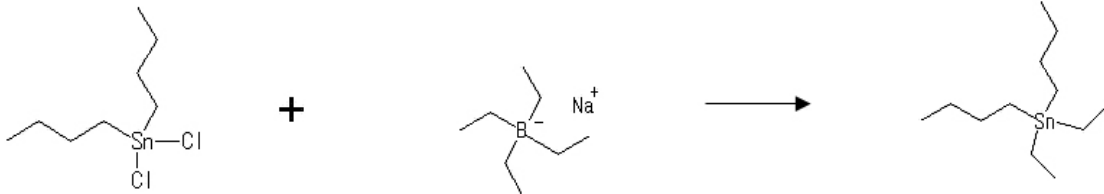
명칭	이염화디부틸주석(dibutyltin dichloride)	
이명	dichlorodibutyltin, dibutyltinchloride, dibutyldichlorotin, dibutyl-tidichloride, di-N-butyldichlorotin	
구조식(분자식)		C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> Cl <sub>2</sub> Sn
분자량(g/mol)	303.84	
CAS No.	683-18-1	
끓는점(°C)	135	
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1,4	
물에 대한 용해도	320mg/L(hydrolyzed in hot water)	
용매용해도	비극성용매	

## 1.3. 분석원리

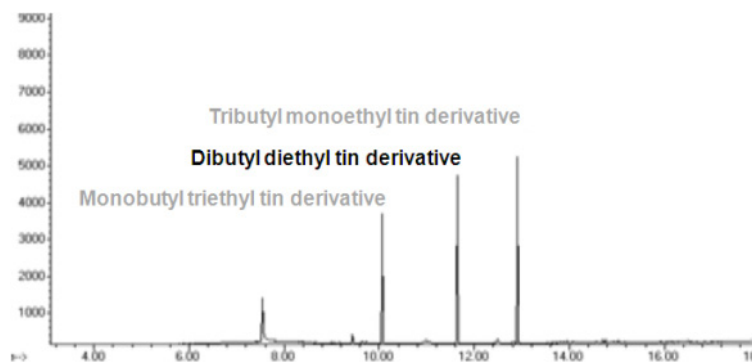
PVC에 잔류하는 디부틸주석화합물을 산성 조건 하에서 아세톤·헥산혼합액[3:7(v/v)]으로 추출한 후 테트라에틸붕산나트륨으로 유도체화하여 GC/MS로 측정한다. 종전에는 페이퍼크로마토그래피를 통해 측정하였으나 가소제를 함유하고 있는 시료의 경우 확인 반점이 테일링을 일으키거나 Rf치가 어긋나는 등 판별이 어려워 유도체화를 통한 기기분석법으로 변경되었다.

**(참고자료) 이염화디부틸주석의 유도체화**

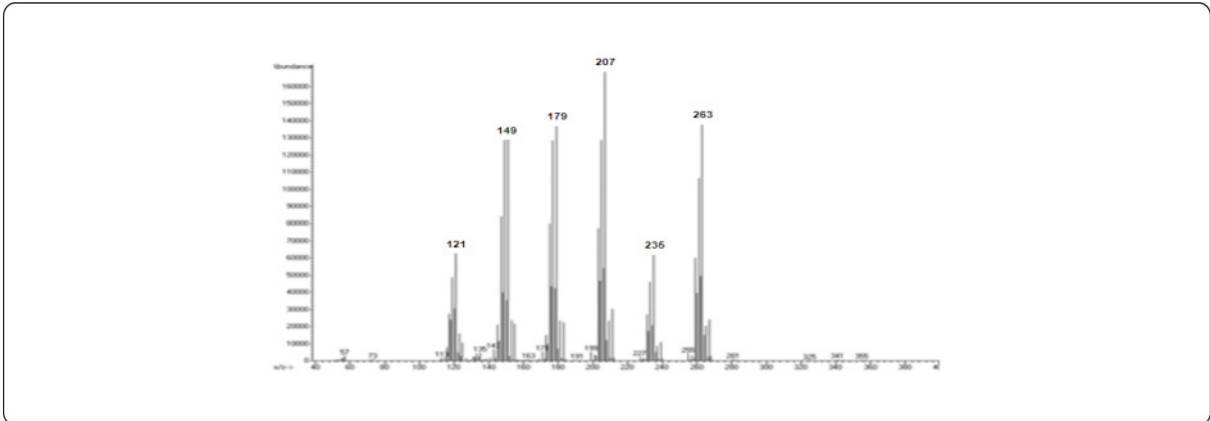
일반적으로 디부틸주석과 같은 금속염 화합물은 강한 극성을 가지므로 GC 분석에 어려움이 있다. 그러나 최근 연구에 의하면 유기금속화합물은 산성의 조건에서 alkylborate와 쉽게 반응하여 알킬기가 도입되는 것으로 알려져 있다. 따라서 이염화디부틸주석을 산성의 조건에서 테트라에틸붕산나트륨과 반응시키면 쉽게 ethylation 유도체가 형성되며, 이 때 반응식은 다음과 같다.

**1.4. 분석조건 및 크로마토그램, 질량스펙트럼****1) 분석조건**

측정기기	기체크로마토그래프/질량분석기
검출기	질량분석기 선택이온검출기 (정량이온 : 263, 확인이온 : 207, 235)
분리용 칼럼	HP-1701 (30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 μm)
칼럼온도	70°C(2min) → 10°C/min → 280°C(10min)
주입부 온도	240°C
이온화전압	70 eV
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	1.0 μL(이염화디부틸주석 1ug/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)

**2) 크로마토그램**

### 3) 질량스펙트럼



#### 1.5. 분석감도

이염화디부틸주석의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 기기적인 정량한계는 약 0.015 ug/mL 수준으로 보고된 바 있으며, 이를 재질 중으로 환산하면 0.75 mg/kg 수준이다. 참고로, 일본 「기구·용기포장의 규격기준 및 시험법」(2006년 3월 개정대응판, 중앙법규) 해설서에 따르면 이염화디부틸주석의 정량한계는 GC/MS를 이용할 때는 0.01 ug/mL, GC/FID를 이용하면 0.001ug/mL, 이염화디부틸주석의 직선성은 0.02 ~ 3.11 ug/mL 범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

#### 1.6. 유의점

- 1) 추출액을 감압 농축할 때에는 약 1mL까지 하며 완전히 날아가지 않도록 주의한다.
- 2) 디부틸주석의 알킬화에는 그리냐드 시약(Grignard reagent)이 사용되는 경우가 많은데, 테트라에틸붕산나트륨을 이용한 에틸화는 반응이 완만하고 실온에서 실시하며 게다가 과잉시약을 분해할 필요가 없는 등 간편하다. 테트라에틸붕산나트륨을 이용한 작업은 실험실용 후드에서 하고, 사용 후 남은 시약을 보존할 때에는 질소가스 또는 아르곤가스로 치환한 후 냉장고에 보관한다. 또한 테트라에틸붕산나트륨 시액은 사용시 제조하도록 하며 조제 후에는 신속하게 사용한다.
- 3) 추출온도는 37~40℃ 정도, 하룻밤이란 12~20시간 정도이다. 시험용액의 조제 시 소량의 염산을 가하는 것은 디부틸주석화합물의 추출을 용이하게 해 줌과 동시에, 유리 디부틸주석이 유리제 기구와 시료에 흡착되는 것을 방지하기 위함이다.
- 4) 시료 중 연질제품과 경질이라 하더라도 얇은 제품은 잘게 자르거나 깎아서 박편상으로 만들면 충분히 추출되는데, 경질이면서 두꺼운 제품, 예컨대 파이프 등의 경우에는 분쇄하여 파우더 상으로 만들거나 산성 하에서 테트라하이드로퓨란 등으로 용해하여 에탄올 등으로 폴리머를 석출시킨 맑은 상층을 시험용액으로 할 수도 있다.

- 5) 디부틸주석화합물 등의 다른 유기주석화합물을 다량으로 함유하는 시료는 이 유기주석화합물들에 의해 반응시약이 소비되어 디부틸주석의 에틸화 반응이 충분히 진행되지 못하는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 시험용액을 적절히 희석하여 시험한다.
- 6) 유도체화시약으로 쓰이는 테트라에틸붕산나트륨시약은 인화성이 높으므로 용액을 만들 때 사용한 시약스푼 등은 물이 담긴 비커에 담궈 놓거나 바로 씻는다.
- 7) GC 검출기로는 불꽃광도검출기(FPD)와 원자발광검출기(AED)도 사용할 수 있다. FID는 방해 피크를 검출할 가능성이 높기 때문에 규격을 초과하는 피크를 검출할 경우에는 반드시 GC/MS를 통해 확인할 필요가 있다.[1]



## 2 1,4-부탄디올

### 2.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 1,4-부탄디올 : 5 이하

※ 대상 재질

- 1—19 폴리부틸렌테레프탈레이트(poly(butylene terephthalate)) : PBT

- 1—37 부틸렌숙시네이트-아디페이트 공중합체(butylene succinate-adipate copolymer) : PBSA

### 2.2. 개요

1,4-부탄디올은 부틸렌숙시네이트-아디페이트 공중합체(PBSA)로부터 대표적으로 용출가능한 성분이다. PBSA는 석유화학기반의 숙신산과 아디프산, 부탄디올의 중축합에 의해 제조되는데, 이는 대개 말레산 무수물로부터 유도된 물질로 친환경적인 생분해성 플라스틱 중 하나이다. 생분해성 플라스틱은 식품용기, 랩 등과 같은 포장 분야와, 음식물 쓰레기 수집과 시장 장바구니로 사용되는 플라스틱 백 등에 사용된다[1]

국제암연구기관(IARC)에서는 1,4-부탄디올의 발암성을 규정하고 있지 않다[2]

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT)에 대하여 용출규격을 설정하여 관리하고 있다. 1,4-부탄디올에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	1,4-부탄디올(1,4-butanediol)
이명	1,4-Butylene glycol, Tetramethylene glycol
구조식(분자식)	$\text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} \quad \text{HO}(\text{CH}_2)_4\text{OH}$
분자량(g/mol)	90.12
CAS No.	110-63-4
끓는점(°C)	230
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.017
물에 대한 용해도	10g/100mL
용매용해도	water, alcohol 등

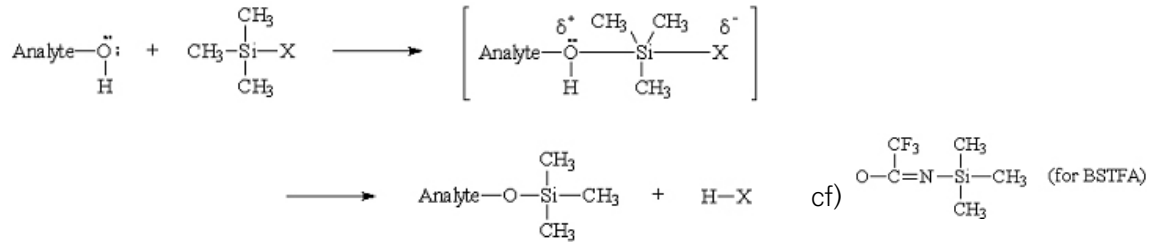
### 2.3. 분석원리

n-헵탄을 침출용액으로 하여, 폴리부틸렌테레프탈레이트에서 용출되는 1,4-부탄디올을 트리메틸실릴 유도체화하여 GC/FID로 측정한다. 이때 내부표준물질로는 1,4-부탄디올과 구조가 유사한 1,5-펜탄디올 사용한다.

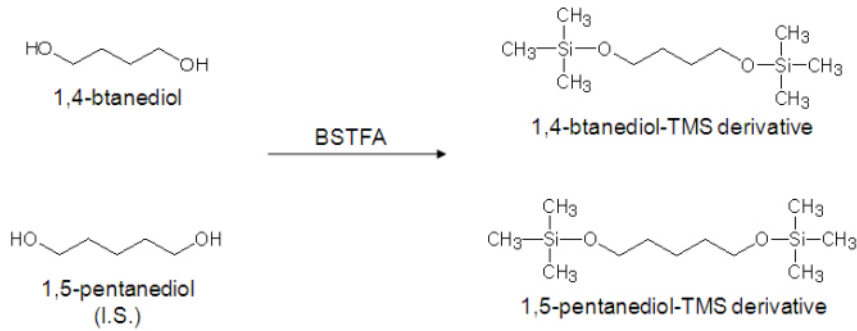
**(참고자료) 1,4-부탄디올의 유도체화**

일반적으로 OH, SH 및 NH와 같은 관능기를 가지는 화합물들은 강한 극성을 가지므로 GC 분석에 어려움이 있다. 그러나 이와 같이 반응성이 큰 수소(proton)를 포함하는 관능기는 nucleophilic attack 반응기구에 따라 alkylsilyl 유도체화하여 GC 분석이 가능하다. BSTFA(N,O-bis(trimethylsilyl) trifluoroacetamide)를 이용한 1,4-부탄디올 및 1,5-펜탄디올(내부표준물질)의 trimethylsilylation 유도체화 반응을 요약하면 다음과 같다.

- Trimethylsilylation(TMS) 유도체화 반응 요약

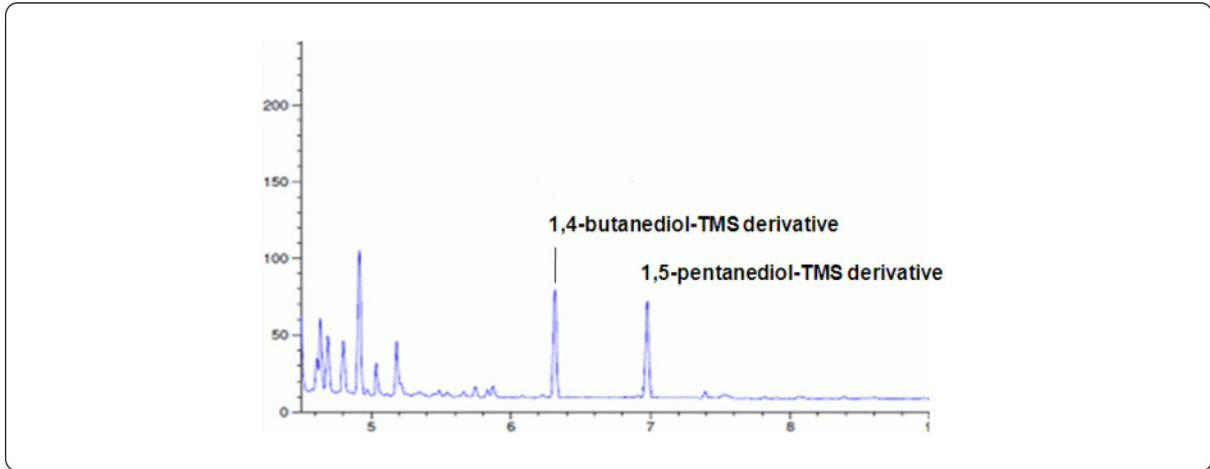


- 1,4-부탄디올의 화학구조 및 TMS 유도체

**2.4. 분석조건 및 크로마토그램****1) 분석조건**

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	HP-1701(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 μm)
칼럼온도	45°C(2min) → 15°C/min → 100°C(5min) → 5°C/min → 250°C(0min)
주입부 온도	240°C
검출기 온도	250°C
주입방식	스플릿리스
주입량	1.0 μL (1,4-부탄디올 5ug/mL, 내부표준물질 1,5-펜탄디올 15ug/mL)
운반기체	헬륨 (1.0 mL/min)

## 2) 크로마토그램



### 2.5. 분석감도

1,4-부탄디올의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 기기적인 정량한계는 약 0.1 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 1,4-부탄디올의 직선성은 1 ~ 25 ug/mL 범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.

### 2.6. 유의점

- 1) n-헵탄은 인화성물질이므로 취급에 주의를 요한다.
- 2) trimethylsilylation은 무조건 moisture free여야 하기 때문에 사용하는 syringe 등도 질소 가스 등으로 최대한 말려서 사용한다.
- 3) 기타 초자 및 바이알 등도 최대한 말리고 사용전까지 데시케이터에 보관한다.
- 4) Anhydrous sodium sulfate 등을 vacuum oven에서 충분히 activation 시킨 후 TMS 유도체화시 사용하는 ethyl acetate와 같은 용매에 첨가하여 수분을 완전히 제거한 후 사용할 것을 권고.
- 5) TMS 유도체화시 가능한 건조한 상태에서 수행할 것을 권고한다.

### 3 에틸렌디아민 및 헥사메틸렌디아민

#### 3.1. 규격

##### 1) 용출규격(mg/L)

- 에틸렌디아민 : 12 이하
- 헥사메틸렌디아민 : 2.4 이하

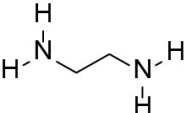
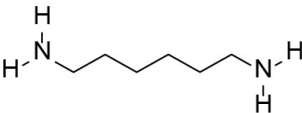
※ 대상 재질

- 1—11 폴리아미드(polyamide : PA)

#### 3.2. 개요

에틸렌디아민은 유기합성의 원료로 섬유처리제 및 합성수지의 원료로 사용된다. 헥사메틸렌디아민은 염화아디프산과 나일론의 재료로 만들어지는 성분이다.

현행 기구 및 용기·포장의 기준·규격에서는 폴리아미드(PA)에 대하여 재질규격을 설정하여 관리하고 있다. 에틸렌디아민 및 헥사메틸렌디아민에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

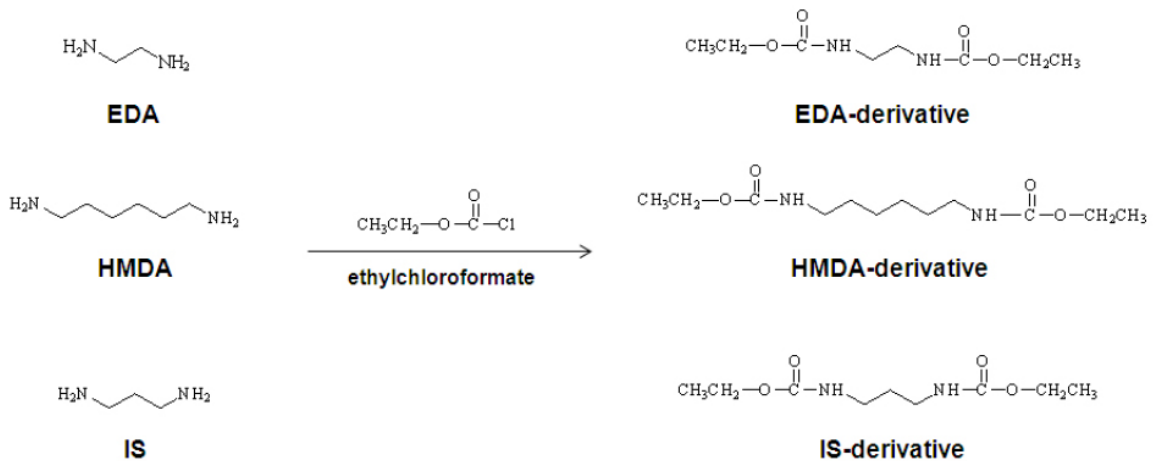
명칭	에틸렌디아민 (ethylenediamine)	헥사메틸렌디아민 (hexamethylenediamine)
이명	Edamine	1,6-diaminohexane 1,6-hexanediamine
구조식(분자식)	 <chem>C2H8N2</chem>	 <chem>C6H16N2</chem>
분자량(g/mol)	60.1	116.21
CAS No.	107-15-3	124-09-4
끓는점(°C)	116~118	205
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.899	0.84
물에 대한 용해도	>10%	960g/100mL
용매용해도	alcohol, ether	ethanol, ethyl ether, benzene

### 3.3. 분석원리

PA에서 용출되는 에틸렌디아민 및 헥사메틸렌디아민을 에틸클로로포메이트로 유도체화한 후 GC/FID로 측정한다. 이 때 내부표준물질로는 에틸렌디아민 및 헥사메틸렌디아민과 구조가 유사한 1,3-프로필렌디아민을 사용한다.

#### (참고자료) 에틸렌디아민 및 헥사메틸렌디아민의 유도체화

일반적으로 OH, SH 및 NH와 같은 관능기를 가지는 화합물들은 강한 극성을 가지므로 GC 분석에 어려움이 있다. 이러한 극성 화합물의 GC 분석을 위하여 alkylsilyl 유도체화 반응과 함께 acyl 유도체화 반응이 이용된다. Acylation 반응은 주로 알킬클로르포메이트(alkyl chloroformate) 시약이 이용되며 알콜과 아민등에 대하여 각각 카보네이트(carbonates) 및 카바메이트(carbamates) 관능기를 생성하게 된다. 에틸클로로포메이트를 이용한 에틸렌디아민, 헥사메틸렌디아민 및 프로필렌디아민(내부표준물질)의 acylation 유도체화 반응을 요약하면 다음과 같다.

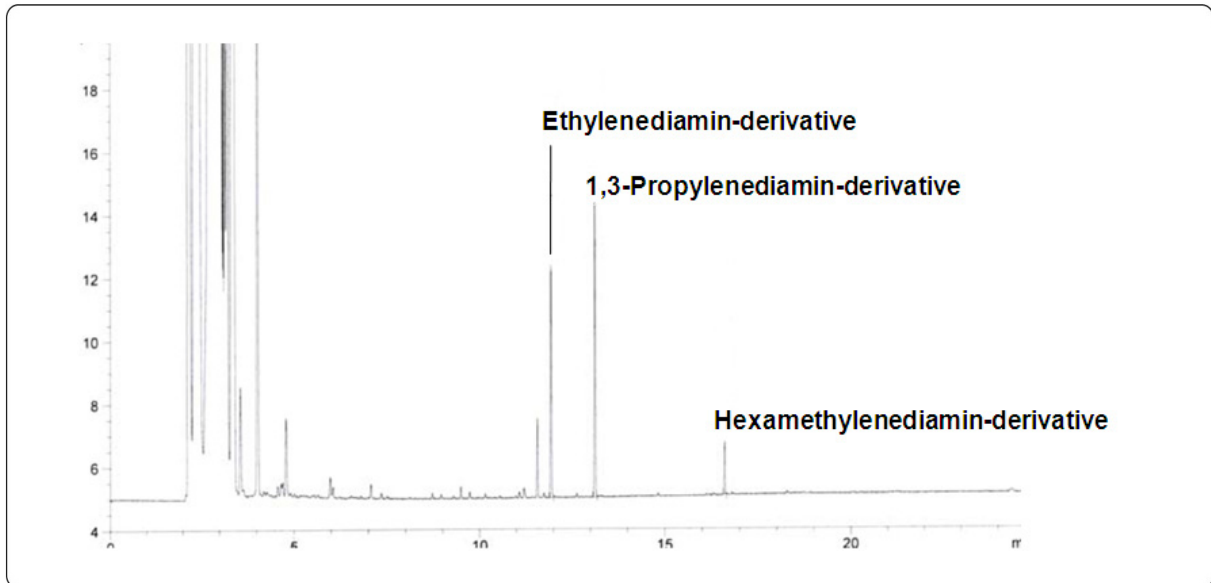


### 3.4. 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	기체크로마토그래프
검출기	불꽃이온화검출기
분리용 칼럼	HP-1(30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 μm)
칼럼온도	100°C(3min) → 10°C/min → 240°C(10min)
주입부 온도	250°C
검출기 온도	300°C
주입방식	스플릿(10:1)
주입량	1.0μL (에틸렌디아민 12ug/mL, 헥사메틸렌디아민 2.4ug/mL, 내부표준물질 1,3-프로필렌디아민 250ug/mL)
운반기체	질소 (1.0 mL/min)

## 2) 크로마토그램



### 3.5. 분석감도

에틸렌디아민 및 헥사메틸렌디아민의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액의 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 각각의 정량한계는 1.0 및 0.3 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 직선성은 에틸렌디아민의 경우 1 ~ 40 ug/mL 범위에서 0.99 이상, 헥사메틸렌디아민의 경우 0.3 ~ 10 ug/mL 범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

### 3.6. 유의점

- 1) 생성된 유도체가 완전히 톨루엔 층으로 추출되기 위하여 반응 시 바이알을 격렬히 교반하거나, 진탕하여 추출한다.

## 제4장 액체크로마토그래피

### ◆ 액체크로마토그래피 개요

제1절. 직접주입법(Direct Injection)

제2절. 유도체화법(Derivatization)

제3절. 질량분석법(LC-MS/MS)





## 액체크로마토그래피 개요

### 1 액체크로마토그래피 원리

액체크로마토그래피는 고체상 혹은 액체상의 고정상과 액체상의 이동상을 사용한다. 초기에는 고체인 고정상에 코팅되어 있는 액체와 이동상인 액체 사이에서 시료가 분배되는 차이를 이용해서 분리하였지만, 최근에는 실리카 표면에 작용기를 화학적으로 결합시켜 고정상으로 사용한다. 액체크로마토그래피는 이동상인 액체와 고정상인 고체 사이에서 시료가 고정상에 흡착되는 정도에 따라 컬럼 끝으로 용출되는 시간이 달라짐으로써 분리가 이뤄진다.

### 2 액체크로마토그래프 - 장치 구성

일반적으로 액체크로마토그래프(HPLC) 시스템은 이동상 중의 용존산소, 질소, 기포 등을 제거하기 위한 탈기장치(Degasser), 이동상인 용매(Eluents)를 운송하기 위한 고압 펌프(pump), 시료를 주입하기 위한 주입장치(Injector), 혼합된 시료의 분배가 일어나는 컬럼(Column), 성분의 검출을 위한 검출기(Detector) 및 기기제어/시그널 수집 분석을 위한 제어시스템(Integrator:컴퓨터+소프트웨어)으로 구성된다.

### 4 기체크로마토그래프 - 구성 요소별 원리 및 실제

#### 3.1. 탈기장치: Degasser

이동상 중의 용존산소, 질소, 기포 등을 제거하여 컬럼 내에서 이동상(mobile phase)에 대한 뎀핑 현상을 줄여주는 장치이다. 탈기방법으로는 이동상 용매에 헬륨 가스를 주입하여 용존된 기포 등을 제거하는 헬륨 퍼징(Helium sparging), 혼합된 이동상 용매를 멤브레인 필터를 이용하여 여과(membrane filtering vacuum filtration), 강력한 초음파를 이용하여 탈기하는 방법(ultra-sonication) 등이 사용된다. 현재 대부분의 제조사에서 채용하는 탈기방법은 액체 크로마토그래피 시스템의 펌프에 직접 연결된 on-line degasser를 장착하고 있다. On-line degasser 탈기장치는 용매가 일정한 진공상태가 유지되는 챔버 속에 장착된 membrane tube를 지나가도록 하여 gas가 membrane tube 밖으로 배출되고 용매만 통과하여 펌프로 공급하는 방식이다.

### 3.2. 송액장치(Pump)

HPLC 시스템의 펌프의 역할은 이동상으로 사용되는 용매를 저장용기로부터 시료주입기를 거쳐 컬럼으로 연속적으로 보내어 최종적으로는 검출기를 통과한 후 이동상인 용매와 시료 주입기를 통해 주입된 시료가 밖으로 나올 수 있도록 압력을 가해 주는 장치이다. 따라서, 펌프는 일정한 압력과 유속을 유지할 수 있도록 해야 하며, 다양한 용매를 사용할 수 있으며, 또한 용매에 대한 내구성이 뛰어나야 한다. 펌프의 종류에는 Isocratic pump와 Gradient pump 가 있으며 현재 다양한 용매의 기울기를 보정하여 분석시간 동안 이동상의 조성을 시간의 흐름에 따라 조절함으로써 분석조건을 향상시킬 수 있는 gradient pump가 주로 사용된다.

### 3.3. 시료주입기(Injector)

분석하고자 하는 시료를 용매의 흐름에 실어주는 것으로서 샘플을 주입하는 방식에 따라 크게 자동시료주입기(Auto Injector/Autosampler) 와 수동시료주입기(Manual Injection)로 구분할 수 있다.

- a. Manual Injection - 수동 시료주입기(루프 타입:Loop)
- b. Auto Sampler

자동시료주입기는 많은 양의 시료에 대한 연속적인 주입 및 사용의 편의성을 확보할 수 있으며, 샘플 루프에 분석하고자 하는 시료를 채운 후 밸브를 회전하여 포트를 변경함으로써 이동상으로 사용되는 용매의 흐름에 실어주는 역할을 한다.

### 3.4. 컬럼

컬럼은 고정상에 해당하며, 고정상이 극성이고 이동상이 비극성인 순상 크로마토그래피(Normal Phase)와, 반대로 고정상이 비극성이고 이동상이 극성인 역상 크로마토그래피(Reverse Phase)로 구분할 수 있다. 순상 크로마토그래피에서 고정상으로 사용되는 컬럼은 Nitrile, Diol, Amino 등의 극성 작용기로 이루어져 있고, 역상 크로마토그래피에서 고정상으로 사용되는 컬럼은 탄소수가 8개 또는 18개인 비극성 체인으로 이루어져 있다.

### 3.5. 컬럼 오븐

분리능 향상 및 분석 결과의 재현성 보장을 위해 컬럼 온도를 적절하게 설정 유지한다. 1개의 컬럼 장착용 또는 여러 개의 컬럼을 장착할 수 있는 제품도 있으며 대부분의 제품은 최대 80°C ~90°C 온도범위로 0.1°C 단위로 제어가 가능하다. 또한 멀티 컬럼 오븐의 경우 컬럼 스위칭 기능을 가진 제품도 있다.

### 3.6. 검출기(Detector)

컬럼에서 분리된 시료가 일정한 간격으로 검출기를 통과할 때 시료의 존재 및 양을 일정한 규칙에 의해 인식하여 전기적인 신호로 바꾸어 준다.

### 1) 자외부흡광 검출기(UV-Vis Detector)

가장 많이 사용되고 있는 검출기로서 화합물이 빛을 흡수하는 성질을 이용한 방법이다. 즉, 화합물들 중에는 자외선 혹은 가시광선 영역의 빛을 흡수하는 성질을 가진 화합물들이 있는데, 이들이 검출기의 셀을 지나면서 흡수한 빛의 양을 전기적인 신호로 바꾸어 주는 원리를 이용한 것이다. UV-Vis 검출기는 약품, 식품, 향료, 펩타이드와 단백질 및 비타민 등의 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 최근에는 흡수셀을 통과한 빛을 다이오드 배열판으로 반사시켜서 190nm-900nm까지의 전 파장을 동시에 검출할 수 있는 광다이오드 배열 검출기(Photo-Diode Array Detector:PDA)가 사용된다. PAD 검출기는 신속하게 모든 파장의 스펙트럼 확인 및 다파장 검출이 가능하고, 탁월한 파장 재현성을 갖는다. 또한 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 수집한 결과를 3차원적인 크로마토그램의 해석이 가능하다.

### 2) 형광 검출기(Fluorescence Detector)

분자는 외부로부터 에너지를 흡수하게 되면 들뜬 상태로 되었다가 안정화되기 위하여 에너지를 방출하면서 기저상태로 돌아가려는 성질을 가지고 있는데, 이러한 과정에서 빛이나 열 혹은 소리 등을 발생시킨다. 형광검출기는 이러한 에너지 평형상태 중에 형광을 발생하는 화합물을 특이적으로, 검출하는 검출기로서 흡광도 검출기에 비하여 10-100배 이상의 우수한 감도를 가진다. 광원(Light Source)은 주로 수은등을 사용하는데, 연속광원인 크세논을 사용하는 분광형광 검출기도 있으며, 레이저를 광원으로 사용하여 감도를 더욱 향상시킨 제품도 생산되고 있다. 형광 검출기는 제약분야의 임상시험 시료나 생명과학 분야에서 아미노산 분석을 비롯한 환경, 식품 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

### 3) 굴절률 검출기(Refractive Index Detector)

굴절률 검출기는 시료가 가지는 농도의 변화에 따르는 빛의 굴절률의 차이를 측정하는 것이다. 셀은 시료가 통과하는 샘플셀(sample cell)과 이동상만으로 채워진 기준셀(reference cell)로 구성되어 있으며, 분석시간 동안 reference cell은 이동상만으로 채워지고, 시료를 포함한 이동상은 sample cell을 통과하여 흐른다. 이 때 두 cell의 농도차에 의한 굴절률의 차이가 발생하는데, 이를 전기적인 신호로 나타내어 크로마토그램으로 화면에 나타난다. 굴절률 검출기는 거의 모든 화합물에 대하여 감도를 나타내지만, 흡광도 검출기나 형광 검출기에 비하여 감도가 낮고, 이동상의 유속과 온도에 대해서 매우 민감하게 반응한다. 굴절률 검출기는 흡광도 검출기나 전기전도도 검출기에서 검출이 안되는 고분자 화합물이나 당 등의 분석에 주로 이용된다.

### 4) 증기광산란검출기(Evaporative Light Scattering Detector)

ELSD(증기화 광산란 검출기)는 HPLC 분석시 사용하는 범용(universal) 검출기로 이동상보다 비휘발성인 모든 화합물을 검출할 수 있는 새로운 개념의 검출기로 이동상은 증기화 시키고 시료(분석물질) 입자를 광 산란 시켜 검출하는 방식을 이용하여 매우 높은 감도와 빠른 바탕선 안정화 시간을 제공한다.

### 5) 전기화학 검출기(electrochemical Detector)

전기화학 검출기는 정전위 전기분해가 가능한 화합물을 선택적으로 검출할 수 있다. 셀의 내부로 들어간 시료는 일정한 전압이 걸린 기준전극의 전위를 기준으로 하여 작업전극과 보조전극의 전기화학반응 즉, 산화환원반응에 의한 전자의 이동이 일어나며, 이 때에 발생하는 전류의 양을 측정하여 크로마토그램으로 시각화하는 방법으로 정량분석을 하게된다. 전기화학 검출기는 제약 및 생명과학 분야에서 catecholamine류 및 tryptophan 대사물 등의 분석과 환경분야의 페놀이나 무기 및 유기금속 화합물류 분석, 식품중의 당 분석 등에 이용된다.

### 6) 전기전도도 검출기(Conductivity Detector)

전기전도도 검출기(conductivity Detector)는 두 전극 사이의 전기전도도 차이를 이용한 것으로 이동상만이 흐르던 셀의 내부로 용해된 시료가 통과하게 되면 두 전극 간의 저항값이 달라지게 되고, 이러한 차이를 전기적인 신호로 바꾸어서 크로마토그램으로 해석할 수 있다.

## 제1절

## 직접주입법(Direct Injection)

## 1 4,4'-디클로로디페닐설폰

## 1.1. 규격

## 1) 용출규격(mg/L)

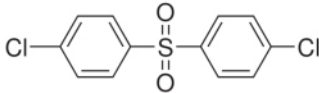
- 4,4'-디클로로디페닐설폰 : 0.05 이하

## ※ 대상 재질

- 1-20 폴리아릴설폰(polyarylsulfone : PASF)
- 1-32 폴리에테르설폰(poly(ethersulfone) : PES)

## 1.2. 개요

4,4'-디클로로디페닐설폰은 폴리아릴설폰(PASF), 폴리에테르설폰(PES)의 제조시 공통으로 사용되는 단량체로서 미 반응된 원료물질로서 기구 등에 잔존하거나 식품에 이행될 가능성이 있다. 그러나 재질에서 매우 견고한 구조로 결합을 형성하고 있어 결합 상에서 분해되어 용출될 가능성은 적다. 4,4'-디클로로디페닐설폰의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	4,4'-디클로로디페닐설폰(4,4'-Dichlorodiphenyl sulfone)
이명	4-chloro-1-(4-chlorophenylsulfonyl) benzene, bis(4-chlorophenyl) sulfone; bis(p-chlorophenyl) sulfone; 4,4'-Dichlorodiphenylsulfone; DCDPS
구조식(분자식)	 $C_{12}H_8Cl_2O_2S$
분자량(g/mol)	287.16
CAS No.	80-07-9
끓는점(°C)	250
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.54
물에 대한 용해도	Insoluble
용매용해도	DMF, DAMC, N-methylpyrrolidone 9NMP, dipropylene glycol

## 1.3. 분석원리

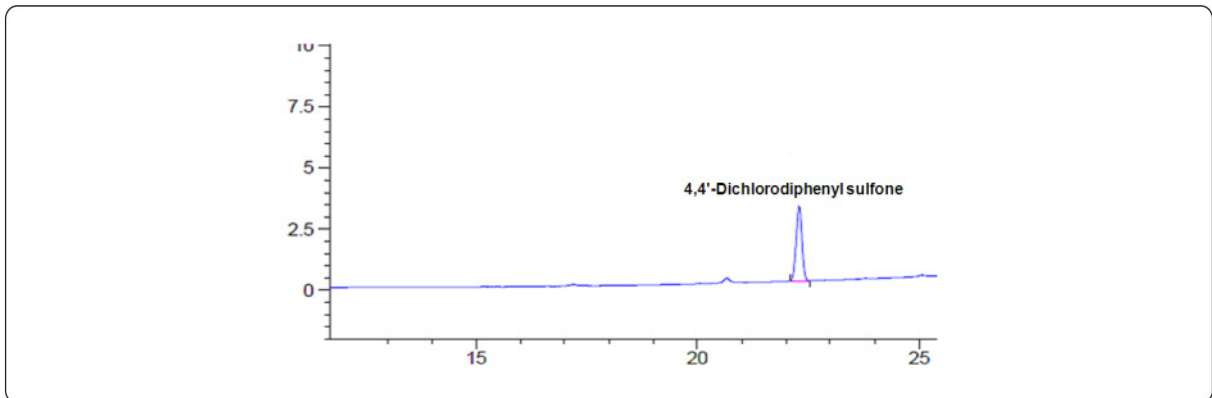
PASF에서 용출되는 4,4'-디클로로디페닐설폰을 LC로 측정한다.

## 1.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

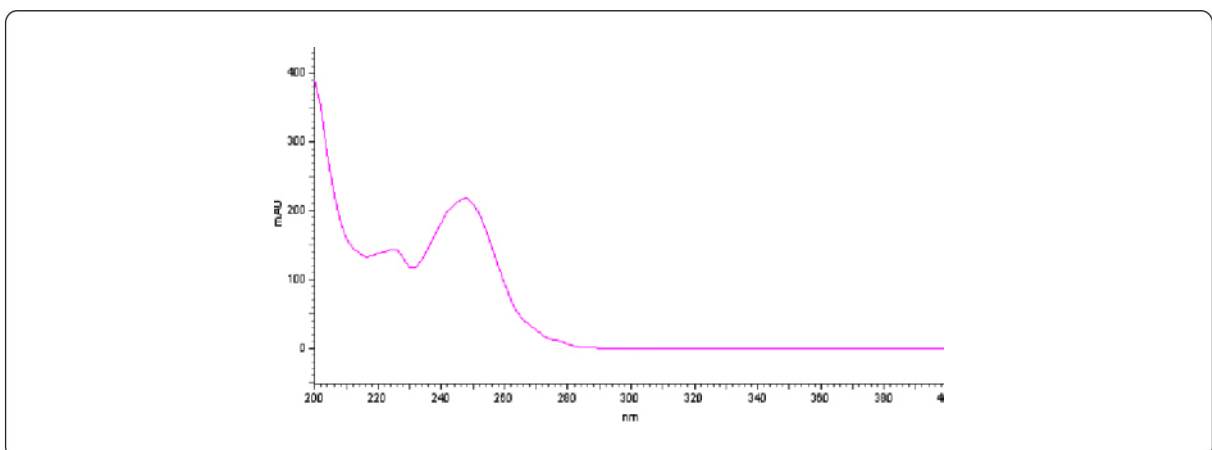
### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광검출기(247nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	A : 물, B : 아세토니트릴 A:B (70:30) → A:B (20:80)
칼럼 온도	40℃
유속	1mL/min
주입량	50μL (4,4'-디클로로디페닐설폰 0.05ug/mL)

### 2) 크로마토그램



### 3) UV 스펙트럼



## 1.5. 분석감도

4,4'-디클로로디페닐설폰의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 20 μL를 주입하여 분석시 신호/잡음비 3에 해당하는 농도를 기준으로 검출한계는 0.01

ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 4,4'-디클로로디페닐설폰의 직선성은 0.05 ~ 5 ug/mL 범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.

## 2 1,4-디클로로벤젠

### 2.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

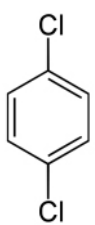
- 1,4-디클로로벤젠 : 12 이하

※ 대상 재질

- 1-31 폴리페닐렌설파이드(poly(phenylenesulfide) : PPS)

### 2.2. 개요

1,4 -디클로로벤젠은 폴리페닐렌설파이드(PPS)의 제조 시 사용되는 단량체로서 미 반응된 원료물질로서 기구 등에 잔존하거나 식품에 이행될 가능성이 있다. 염화 제2철을 촉매로 하여 벤젠을 chlorinate하여 얻어지며, 전체 생산량의 35~55%가 주로 탈취제, 해충방지제 등의 제조에 사용되고, 약 27% 정도는 PPS 제조 시 원료물질로 사용되는 것으로 알려져 있다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 Group 2B(인체 발암 가능물질)로 분류하고 있다. 1,4-디클로로벤젠에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	1,4 -디클로로벤젠 (1,4-Dichlorobenzene)
이명	para-Dichlorobenzene, p-Dichlorobenzene, p-DCB, PDB, Paramoth, Para crystals, Paracide, Moth Nuggets
구조식(분자식)	 $C_6H_4Cl_2$
분자량(g/mol)	147
CAS No.	106-46-7
끓는점(°C)	174
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.25
물에 대한 용해도	10.5 mg/100 mL (20 °C)
용매용해도	chloroform, carbon disulfide, alcohol

## 2.3. 분석원리

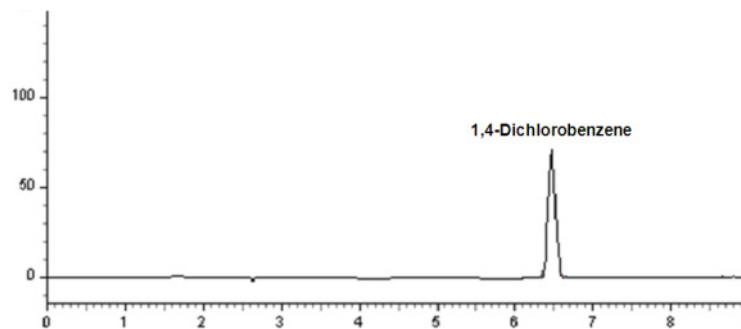
PPS에서 용출되는 1,4-디클로로벤젠을 LC로 측정한다.

## 2.4. 크로마토그램

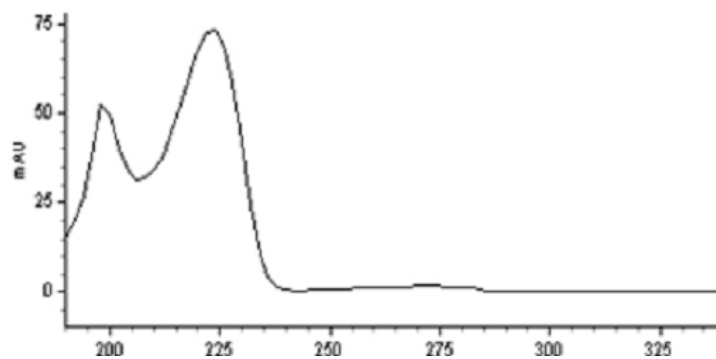
### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광검출기(225nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	80% 메탄올
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	10μL (1,4 디클로로벤젠 5ug/mL)

### 2) 크로마토그램



### 3) UV 스펙트럼





## 2.5. 분석감도

1,4-디클로로벤젠의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 10  $\mu\text{L}$ 를 주입하여 분석시 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 0.03  $\mu\text{g/mL}$  수준으로 보고된 바 있다. 1,4-디클로로벤젠의 직선성은 0.1 ~ 20  $\mu\text{g/mL}$  농도범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

## 3 디페닐카보네이트

### 3.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

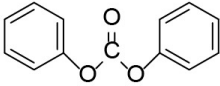
- 디페닐카보네이트 : 0.05 이하

※ 대상 재질

- 1-13 폴리카보네이트(polycarbonate : PC)

### 3.2. 개요

디페닐카보네이트는 폴리카보네이트(PC)의 제조법 중 용융법으로 제조하는 경우에 사용되는 단량체이다. PC는 대부분 용매법으로 제조됨으로 디페닐카보네이트가 검출되는 경우는 드물다. 디페닐카보네이트의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	디페닐카보네이트 (diphenyl carbonate)
이명	Phenyl carbonate
구조식(분자식)	 $\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{O}_3$
분자량(g/mol)	214.216
CAS No.	102-09-0
끓는점( $^{\circ}\text{C}$ )	306
비중 ( $\text{g/cm}^3$ )	1.1215 $\text{g/cm}^3$ at $87^{\circ}\text{C}$
물에 대한 용해도	insoluble

### 3.3. 분석원리

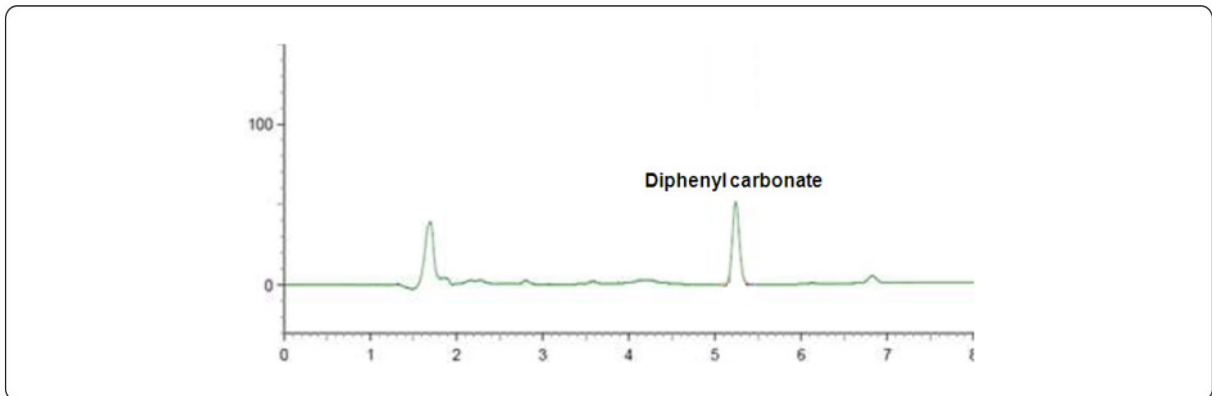
PC에서 용출되는 디페닐카보네이트를 LC로 측정한다.

### 3.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

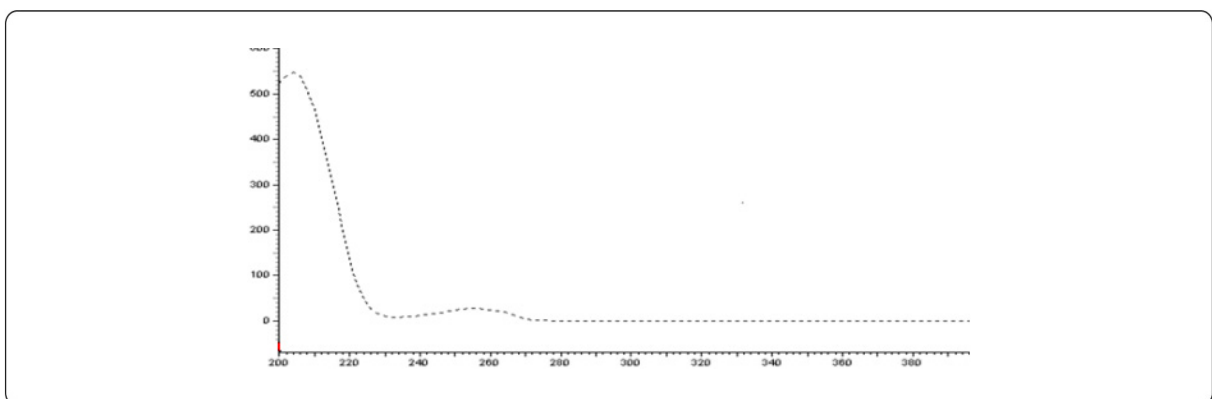
#### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광검출기 (217nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	70% 아세토니트릴
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	50μL(디페닐카보네이트 0.5ug/mL)

#### 2) 크로마토그램



#### 3) UV 스펙트럼



### 3.5. 분석감도

디페닐카보네이트의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 0.02 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 디페닐카보네이트의 직선성은 0.02 ~ 1 ug/mL 농도범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

## 4 4,4'-디히드록시디페닐설폰

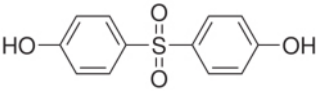
### 4.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 4,4'-디히드록시디페닐설폰 : 0.05 이하
- ※ 대상 재질
- 1-32 폴리에테르설폰(poly(ethersulfone) : PES)

### 4.2. 개요

4,4'-디히드록시디페닐설폰은 폴리에테르설폰(PES)의 제조 시 사용되는 단량체로서 미 반응된 원료물질로서 기구 등에 잔존하거나 식품으로 이행할 가능성이 존재한다. 4,4'-디히드록시디페닐설폰의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	4,4'-디히드록시디페닐설폰 (4,4'-Dihydroxy Diphenyl Sulphone)
이명	1,1'-Sulfonylbis[4-hydroxybenzene];4,4'-BisphenolS;4,4'-Dihydroxydiphenyl sulfone;4,4'-Sulfonylbis[phenol]
구조식(분자식)	 <chem>Oc1ccc(cc1)S(=O)(=O)c2ccc(O)cc2</chem> $C_{12}H_{10}O_4S$
분자량(g/mol)	250.27
CAS No.	80-09-1
끓는점(°C)	505.3 °C at 760 mmHg
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.432
물에 대한 용해도	1.1 g/L (20°C) in water

### 4.3. 분석원리

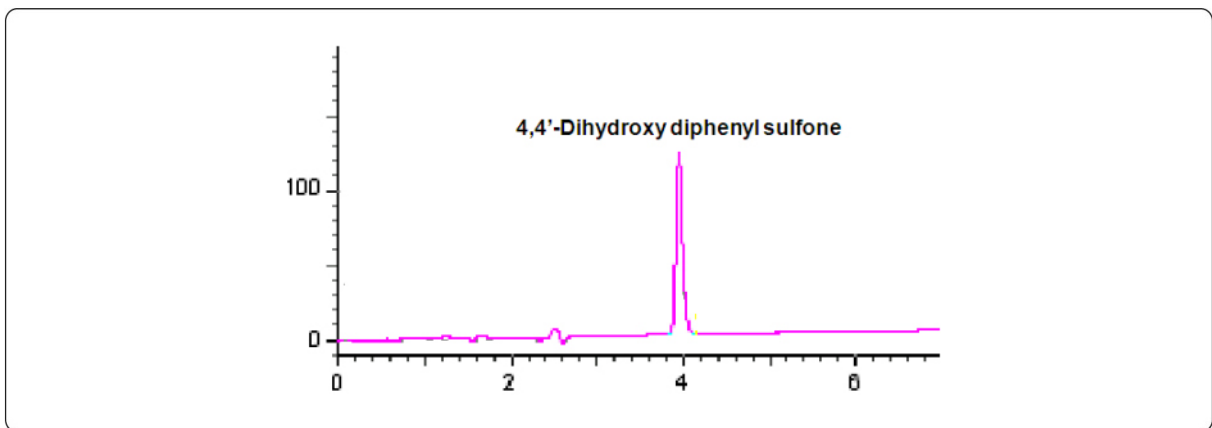
PES에서 용출되는 4,4'-디히드록시디페닐설폰을 LC로 측정한다.

#### 4.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

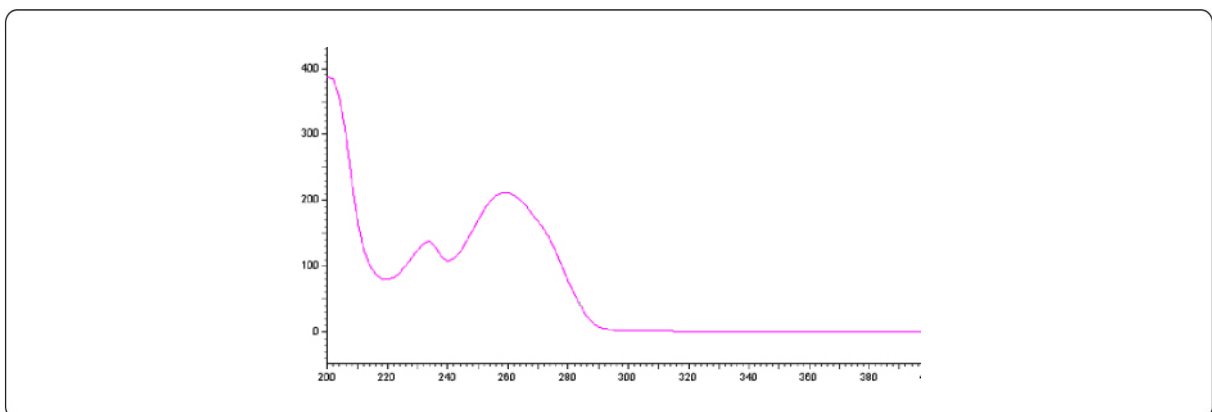
##### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광검출기(259nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	A : 물, B : 아세토니트릴 A:B (70:30) → A:B (20:80)
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	50μL(4,4'-디하이드록시디페닐설폰 0.05ug/mL)

##### 2) 크로마토그램



##### 3) UV 스펙트럼



## 4.5. 분석감도

4,4'-디히드록시디페닐설폰의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 20  $\mu\text{L}$ 를 주입하여 분석시 신호/잡음비 3에 해당하는 농도를 기준으로 검출한계는 0.01  $\mu\text{g/mL}$  수준으로 보고된 바 있다. 4,4'-디히드록시디페닐설폰의 직선성은 0.05 ~ 5  $\mu\text{g/mL}$  범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.

## 5 멜라민

### 5.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

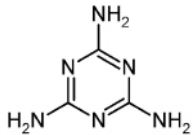
- 멜라민 : 30 이하

※ 대상 재질

- 1-7 멜라민수지(melamine-formaldehyde resin : MF)

### 5.2. 개요

멜라민은 멜라민수지(MF)의 제조 시 사용되는 단량체로서 미 반응된 원료물질로서 기구 등에 잔존하거나 식품으로 이행될 가능성이 있다. MF는 자유로운 착색이나 표면장식성, 내열성이 요구되는 각종 식기류 및 주방용품에 사용되는데 고주파로 가열 시에는 결합이 파손되므로 전자레인지용 용기로 사용하기에는 적합하지 않다. 국제암연구기관(IARC)에서는 IARC 그룹 3(인체 발암 물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류하고 있다. 멜라민에 대한 명칭, 분자량, 화학구조 및 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	멜라민(melamine)
이명	1,3,5-Triazine-2,4,6-triamine, 2,4,6-Triamino-s-triazine, Cyanurotriamide, Cyanurotriamine, Cyanuramide
구조식(분자식)	 $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$
분자량(g/mol)	126.12
CAS No.	108-78-1
끓는점(°C)	sublimes
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.574
물에 대한 용해도	3.240 g/L
용매용해도	에탄올, 디에틸에테르, carbon tetrachloride, 초산

### 5.3. 분석원리

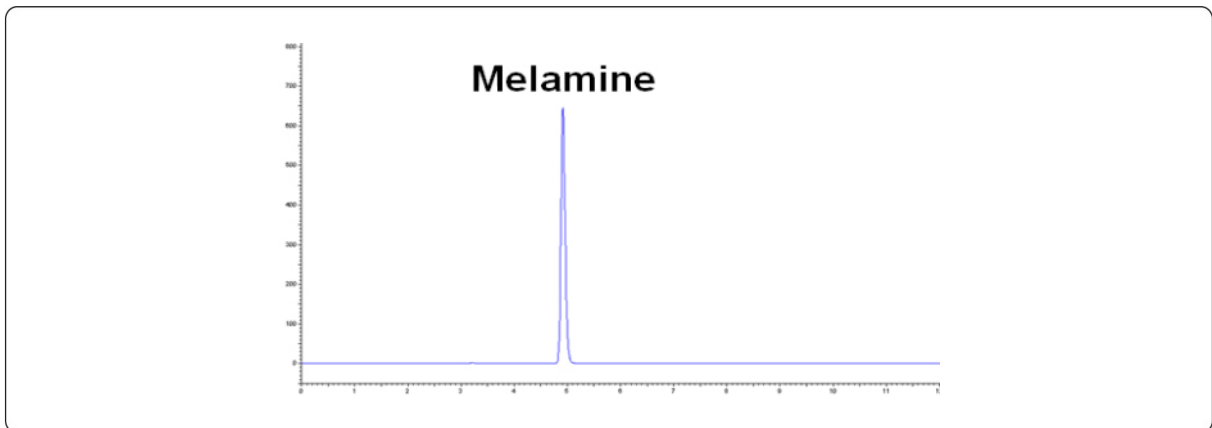
4%초산을 침출용액으로 하여 MF에서 용출되는 멜라민을 LC로 측정한다.

### 5.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광검출기(235nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	0.1% 인산완충액(pH 3.0)
칼럼 온도	40°C
유속	0.8mL/min
주입량	10μL(멜라민 30ug/mL)

#### 2) 크로마토그램



### 5.5. 분석감도

멜라민의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 20 μL를 주입하여 분석시 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 0.001 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 멜라민의 직선성은 0.08 ~ 2.5 ug/mL 범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.

### 5.6. 유의점

- 1) 멜라민은 235 nm 부근에서 최대흡수파장을 가진다. 흡수는 산성측에서 강하고 pH 2~3에서 거의 일정해진다. 또 HPLC에 있어서 머무름시간(retention time)은 이동상의 pH에 의해 크게 변화하고 산성측에서 짧아진다.
- 2) 이동상은 0.025M/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>도 이용이 가능하며, 라우릴 황산염 등의 이온페어링 시약에 따라 머무름 시간의 조절이 가능하다.

## 6 벤조페논

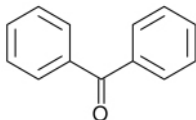
### 6.1. 기준 및 규격

#### 1) 일반기준

- 기구 및 용기·포장 제조 시 식품과 직접 접촉하는 면에는 인쇄를 하여서는 아니된다. 식품과 직접 접촉하지 않는 면에 인쇄를 하고자 하는 경우에는 인쇄잉크를 반드시 건조시켜야 하며, 이 경우 잉크성분인 벤조페논의 용출량은 0.6 mg/L 이하이어야 한다. 또한 식품과 직접 접촉하지 않는 면이 인쇄된 합성수지 포장재 중 내용물 투입 시 형태가 달라지는 포장재의 경우, 잉크성분인 톨루엔의 잔류량은 2 mg/m<sup>2</sup> 이하이어야 한다.

### 6.2. 개요

벤조페논은 벤조페논 유도체의 형태로 합성수지제나 잉크 등지의 광개시제(photo initiator)로 사용될 수 있다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 그룹 2B(인체 발암 가능물질)로 분류하고 있다.

명칭	벤조페논 (benzophenon)
이명	diphenylmethanone, phenyl ketone; diphenyl ketone; benzoylbenzene
구조식(분자식)	 <chem>C13H10O</chem>
분자량(g/mol)	182.217
CAS No.	119-61-9
끓는점(°C)	305.4
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.11
물에 대한 용해도	Insoluble
용매용해도	Benzene, THF, ethanol, propylene glycol

### 6.3. 분석원리

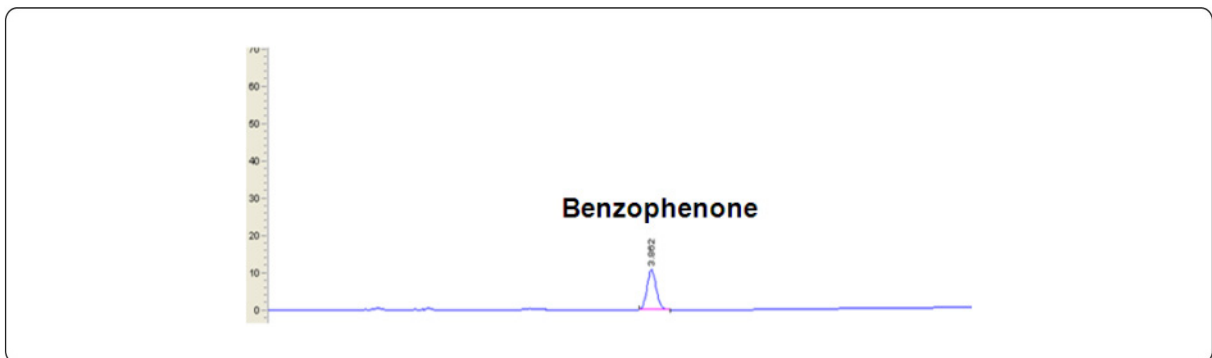
직접 접촉하지 않는 면이 인쇄된 기구 및 용기·포장의 경우, 식품과 직접 접촉하는 면으로부터 식품유사용매로 이행되는 벤조페논을 LC로 측정한다.

## 6.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

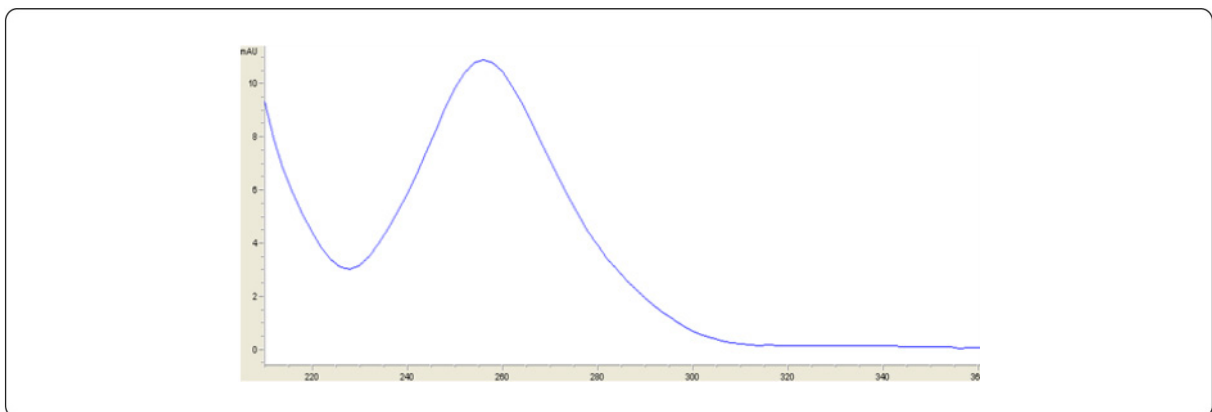
### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광검출기(254nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm, 5.0 μm)
이동상	A : 물, B : 아세토니트릴 A:B (50:50) → A:B (0:100)
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	20μL(벤조페논 0.6ug/mL)

### 2) 크로마토그램



### 3) UV 스펙트럼



## 6.5. 분석감도

벤조페논의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 0.06 ug/mL 수준이다. 벤조페논의 직선성은 0.1 ~ 1.5 ug/mL 범위에서 0.99 이상이다.



## 7 비스페놀 A, 페놀 및 p-터셔리부틸페놀

### 7.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 비스페놀 A(페놀, 비스페놀 A 및 p-터셔리부틸페놀의 합계로서) : 2.5 이하(다만, 비스페놀 A는 0.6 이하)

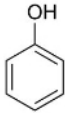
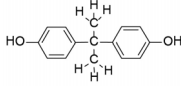
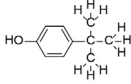
※ 대상 재질

- 1-13 폴리카보네이트(polycarbonate : PC)
- 1-20 폴리아릴설펜(polyarylsulfone : PASF)
- 1-21 폴리아릴레이트(polyarylate : PAR)
- 1-30 에폭시수지(epoxy resin)
- 5. 금속제(식품과 직접 접촉하는 면이 합성수지제 또는 고무제로 도장되어 있는 경우)

### 7.2. 개요

비스페놀A는 폴리카보네이트(PC), 폴리아릴레이트(PAR), 에폭시수지 등의 제조시 원료로 사용되는 단량체이며, 페놀 및 p-터셔리부틸페놀은 중합시의 분자량 조절을 위하여 사용되는 물질이다. 비스페놀 A는 수지의 제조시 미반응원료물질로서 존재하거나 폴리머의 분해산물로서 폴리카보네이트 내에 존재할 수 있다. 1990년대 후반에 비스페놀 A가 내분비계장애물질로 의심되어 폴리카보네이트에 사용이 감소하였다.

발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 페놀의 경우 그룹 3(인체발암물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류하고 있으며, 비스페놀 A와 p-터셔리부틸페놀의 경우 따로 발암성 분류를 하고 있지는 않다. 페놀, 비스페놀 A, p-터셔리부틸페놀의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	페놀 (Phenol)	비스페놀 A (Bisphenol A)	<i>p</i> -터셔리부틸페놀 ( <i>p</i> -tert-butylphenol)
이명	Carbolic Acid, Benzenol, Phenylic Acid, Hydroxybenzene, Phenic acid	4,4'-dihydroxy-2,2-diphenylpropane, BPA, 4'-(propan-2-ylidene)diphenol, 2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane , 4,4'-isopropylidenediphenol, p, p'-isopropylidenebisphenol	1-hydroxy-4-tert-butylbenzene, ucar butylphenol 4-t, Phenol, 4-(1,1-dimethylethyl)-, PTBP, p-terc. Butylfenol
구조식(분자식)	 C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	 C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	 (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> CC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH
분자량(g/mol)	94.11	228.29	150.22
CAS No.	108-95-2	80-05-7	98-54-4
끓는점(°C)	181.7	220	237
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.07	1.20	0.908
물에 대한 용해도	8.3 g/100 mL	120-300 ppm	Insoluble

### 7.3. 분석원리

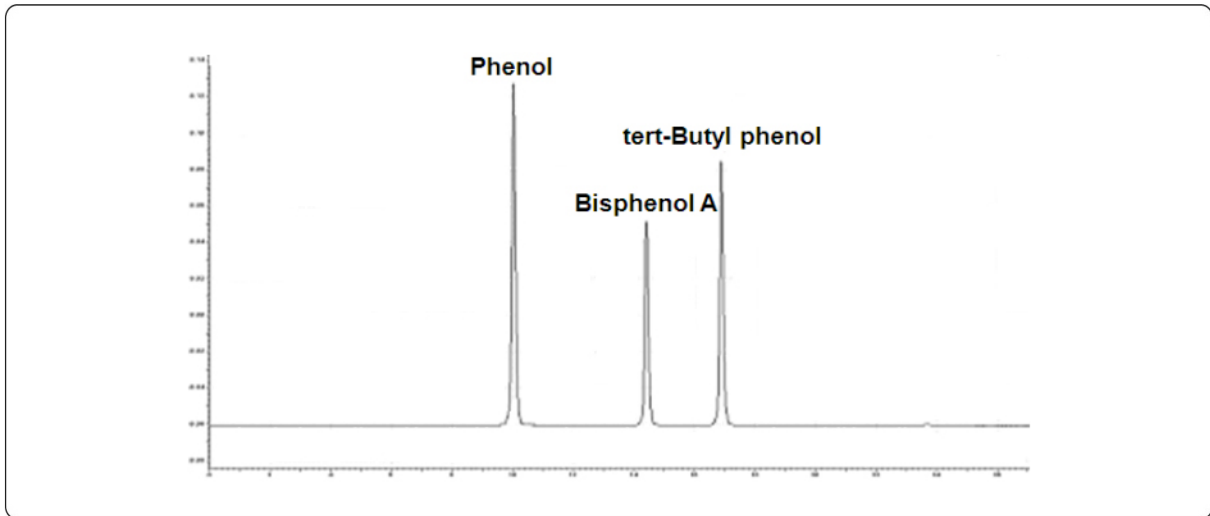
PC에서 용출되는 비스페놀 A, 페놀 및 *p*-터셔리부틸페놀을 LC로 측정한다.

### 7.4. 분석조건 및 크로마토그램

#### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	형광 검출기(여기파장 : 275nm, 형광파장 300nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	A : 물, B : 아세토니트릴 A:B (100:0) → A:B (0:100)
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	20μL

## 2) 크로마토그램



### 7.5. 분석감도

페놀, 비스페놀 A 및 *p*-터셔리부틸페놀의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.01 ug/mL 수준이다. 페놀, 비스페놀 A 및 *p*-터셔리부틸페놀의 직선성은 0.001 ~ 0.8 ug/mL 범위에서 0.999 이상이다.

## 8 비스페놀 A 디글리시딜에테르, 비스페놀 F 디글리시딜에테르 및 그 유도체

### 8.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 비스페놀 A 디글리시딜에테르(비스페놀 A 디글리시딜에테르 이염화물과 비스페놀 A 디글리시딜에테르 이수화물 포함) : 1.0 이하
- 비스페놀 F 디글리시딜에테르(비스페놀 F 디글리시딜에테르 이염화물과 비스페놀 F 디글리시딜에테르 이수화물 포함) : 1.0 이하

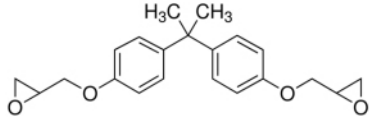
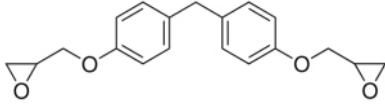
※ 대상 재질

- 1-30 에폭시수지(epoxy resin)
- 5. 금속제(식품과 직접 접촉하는 면이 합성수지제 또는 고무제로 도장되어 있는 경우)

### 8.2. 개요

비스페놀 A 디글리시딜에테르 및 비스페놀 F 디글리시딜에테르는 에폭시 수지의 제조시 사용되는 단량체로서 미 반응된 원료물질로서 기구 등에 잔존하거나 식품에 이행될 가능성이 있다<sup>3,6)</sup>. 또한 금속제

코팅에 에폭시 수지가 많이 이용됨으로 금속체에 코팅제로서 에폭시 수지를 사용한 경우에도 규격이 설정되어있다. 국제암연구기관(IARC)에서는 비스페놀 A 디글리시딜에테르의 경우 그룹 3(인체발암물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류하고 있다<sup>8)</sup>. 비스페놀 A 디글리시딜에테르 및 비스페놀 F 디글리시딜에테르의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	비스페놀 A 디글리시딜에테르 (Bisphenol A diglycidyl ether)	비스페놀 F 디글리시딜에테르 (Bisphenol F diglycidyl ether)
이명	Diglycidyl ether of bisphenol A; 2-[[4-[2-[4-(oxiran-2-ylmethoxy)phenyl]propan-2-yl]phenoxy]methyl]oxirane 2,2-Bis(4-glycidyloxyphenyl)propane; Epoxide A,	BFDGE, Bisphenol F diglycidyl ether, BFDGE, Bis[4-(glycidyoxy)phenyl]methane 2,2'-[methylenebis(p-phenyleneoxymethylene)]bisoxirane BIS(4-GLYCIDYLOXYPHENYL)METHANE, BISPHENOL F DIGLYCIDYL ETHER 2,2'-[Methylenebis(4,1-phenyleneoxymethylene)]bisoxirane 4,4'-Methylenebis(glycidyoxybenzene)
구조식(분자식)		
분자량(g/mol)	C <sub>21</sub> H <sub>24</sub> O <sub>4</sub> 340.41	C <sub>19</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub> 312.36
CAS No.	1675-54-3	2095-03-6
끓는점(°C)	250°C, 555.9 °C at 760 mmHg	-
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.17	1,190
물에 대한 용해도	Insoluble	-

### 8.3. 분석원리

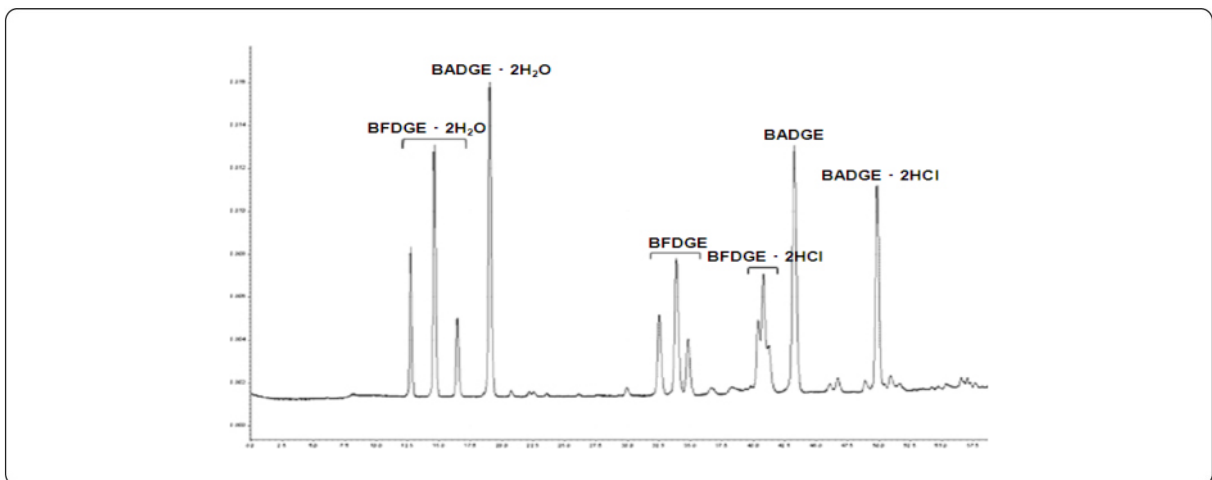
에폭시수지에서 용출되는 비스페놀 A 디글리시딜에테르(비스페놀 A 디글리시딜에테르 이염화물과 비스페놀 A 디글리시딜에테르 이수화물 포함) 및 비스페놀 F 디글리시딜에테르(비스페놀 F 디글리시딜에테르 이염화물과 비스페놀 F 디글리시딜에테르 이수화물 포함)를 LC로 측정한다.

## 8.4. 분석조건 및 크로마토그램

### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	형광 검출기(여기파장 : 275nm, 형광파장 300nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm, 5.0 μm)
이동상	A : 물, B : 아세토니트릴 A:B (80:0) → A:B (30:70)
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	20μL

### 2) 크로마토그램



## 8.5. 분석감도

비스페놀 A 디글리시딜에테르와 비스페놀 F 디글리시딜에테르의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 비스페놀 A 디글리시딜에테르류의 경우 약 0.2 ug/mL, 비스페놀 F 디글리시딜에테르류의 경우 약 0.5 ug/mL 수준이다. 비스페놀 A 디글리시딜에테르와 비스페놀 F 디글리시딜에테르의 직선성은 0.5 ~ 20 ug/mL 범위에서 0.999 이상이다.

## 8.6. 유의점

- 1) BADGE 및 BFDGE는 용액상태에서 시간이 경과할수록 분해되는 것으로 알려져 있으므로, 표준용액 및 시험용액은 조제시 즉시 분석하는 것이 좋다.

## 9 올쏘-페닐페놀, 치아벤다졸, 비페닐 및 이마자릴

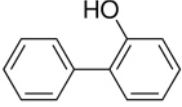
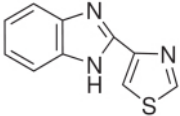
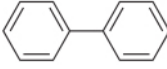
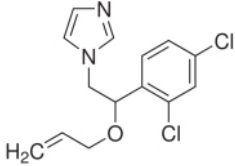
### 9.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 올쏘-페닐페놀 : 7.3 이하
- 치아벤다졸 : 1.8 이하
- 비페닐 : 0.9 이하
- 이마자릴 : 0.6 이하
- ※ 대상 재질
- 6. 목재류

### 9.2. 개요

올쏘-페닐페놀, 치아벤다졸, 비페닐, 이마자릴은 목재에 사용되는 곰팡이 방지제이다. 목제의 젓가락은 건조가 충분하지 않으면 곰팡이가 발생하는 일이 있기 때문에 나무젓가락 제조 시에 곰팡이 방지제를 함유하는 용액 중에 침지시켜 곰팡이 발생을 방지하는 일이 있으며, 올쏘-페닐페놀, 치아벤다졸, 비페닐, 이마자릴 등이 잔류할 가능성이 있다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 올쏘-페닐페놀의 경우는 그룹 3(인체발암물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류 하고 있으나 치아벤다졸, 비페닐, 이마자릴의 경우는 따로 발암성 분류를 하고 있지는 않다. 올쏘-페닐페놀, 치아벤다졸, 비페닐, 이마자릴의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	올쏘-페닐페놀 (o-phenylphenol)	치아벤다졸 (Thiabendazole)	비페닐(biphenyl)	이마자릴(Imazalil)
이명	(1,1'-Biphenyl-2-ol),2-Biphenylol,2-Hydroxybiphenyl; o-Biphenylol; -Diphenylol; 2-Hydroxybiphenyl; o-Diphenylol;o-Hydroxybiphenyl;o-Hydroxydiphenyl	4-(1H-1,3-benzodiazol-2-yl)-1,3-thiazole	diphenyl, phenylbenzene, 1,1'-biphenyl, lemonene	1-[2-(2,4-dichlorophenyl)-2-(2-propenyloxy)ethyl]-1H-imidazole, allyl (RS)-1-(2,4-dichlorophenyl)-2-imidazol-1-ylethyl ether, chloramizole
구조식 (분자식)	 C <sub>12</sub> H <sub>10</sub> O	 C <sub>10</sub> H <sub>7</sub> N <sub>3</sub> S	 C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	 C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O
분자량(g/mol)	170.2	201.249	154.21	297.2
CAS No.	90-43-7	148-79-8	92-52-4	35554-44-0
끓는점(°C)	280	-	256	319~347
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.2	1.103	1.04	1.2
물에 대한 용해도	<0.01 g/100 mL	insoluble	insoluble	180 mg/l (1400 mg/L H <sub>2</sub> O)
용매용해도		DMF, DMSO, and Ethanol	toluene, turpentine, hexane, petrol ether	hexane 5.21 g/100g; methanol, toluene, benzene >50 g/100g

### 9.3. 분석원리

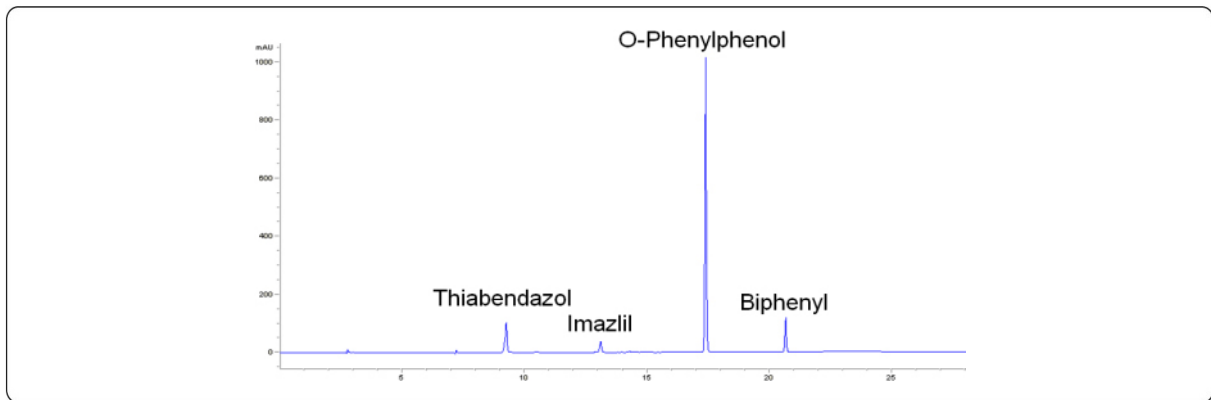
20%에탄올을 침출용액으로 하여 목재류에서 용출되는 올쏘-페닐페놀, 치아벤다졸, 비페닐 및 이마자릴을 LC로 측정한다.

## 9.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

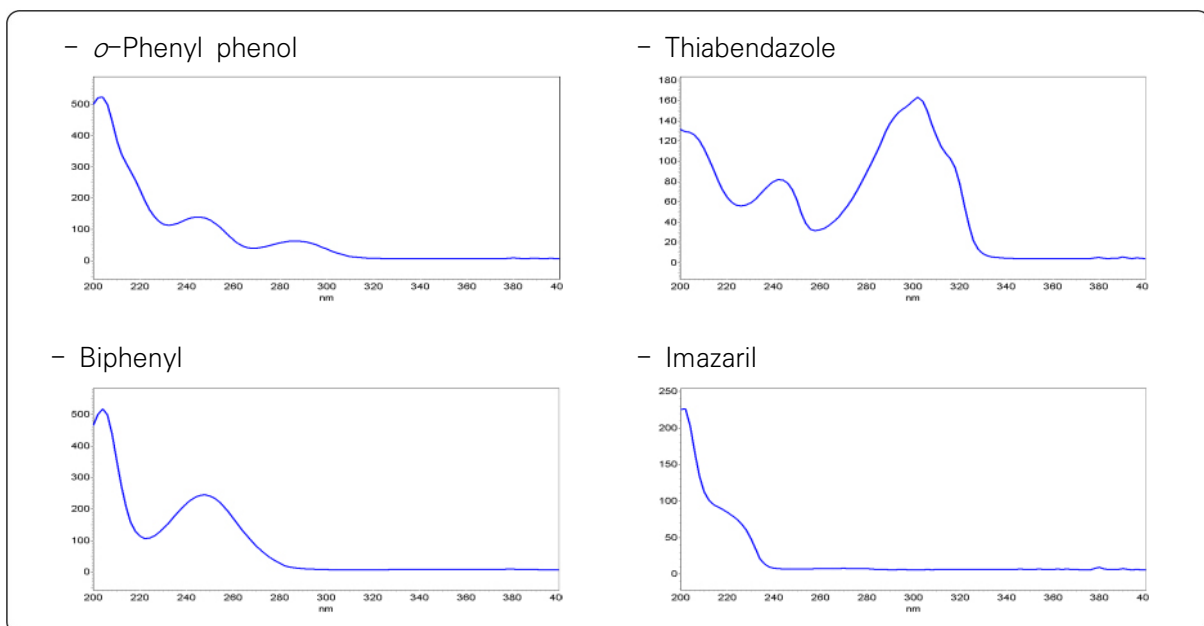
### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광 검출기 (230nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	A : 물 1L에 인산 2.5mL 가한 액, B : 아세토니트릴 1L에 인산 2.5mL 가한 액 A:B (100:0) → A:B (0:100)
칼럼 온도	40℃
유속	1mL/min
주입량	20μL(올쏘-페닐페놀 73ug/mL, 치아벤다졸 18ug/mL. 비페닐 9ug/mL, 이마자릴 6ug/mL)

### 2) 크로마토그램



### 3) UV 스펙트럼





## 9.5. 분석감도

치아벤다졸, 이마자릴, 올쏘-페닐페놀, 비페닐의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 치아벤다졸, 이마자릴, 올쏘-페닐페놀, 비페닐 각각에 대하여 2, 0.5, 8 및 1 ug/mL 수준이다.

## 9.6. 유의점

- 1) 시료로부터 규격보다 높은 양이 검출된 경우 GC/MS에 의한 확인을 한다. 각 화합물의 주된 이온(m/z)는 올쏘-페닐페놀 : 115, 141, 169, 170, 171, 치아벤다졸 : 174, 201, 202, 203, 비페닐 : 76, 152, 153, 154, 155, 이마자릴 : 81, 173, 215, 217 이다.

# 10 크레졸인산에스테르

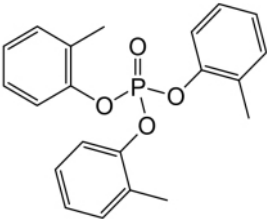
## 10.1. 규격

### 1) 잔류규격(mg/kg)

- 크레졸인산에스테르 : 1,000 이하
- ※ 대상 재질
  - 1-1 폴리염화비닐(poly(vinyl chloride) : PVC)

## 10.2. 개요

크레졸인산에스테르는 크레졸과 인산이 에스테르 결합을 하고 있는 화합물로서, 분자 내 크레졸기는 올쏘-, 메타-, 파라- 형태의 세가지 이성체가 존재한다. 산업적으로 사용되는 크레졸인산에스테르는 메타-와 파라-가 조합된 혼합물이다. 농업용 필름, 전선 피복 등 식품 용도가 아닌 폴리염화비닐(PVC)에 가소제로 사용되는 경우가 있으며, 독성이 있기 때문에 식품용으로는 사용하지 않는 것이 좋다[1]. 크레졸인산에스테르의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	크레졸인산에스테르 (Tricresyl phosphate)
이명	Phosphoric acid tris(methylphenyl) ester, Tritolyl phosphate, Tricresyl orthophosphate, tris(methylphenyl) phosphate, Tris(methylphenyl)phosphate, Tris(tolyloxy) -phosphine oxide
구조식(분자식)	 $C_{21}H_{21}O_4P$
분자량(g/mol)	368.37
CAS No.	1330-78-5
끓는점(°C)	255
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.162
물에 대한 용해도	0.00003%

### 10.3. 분석원리

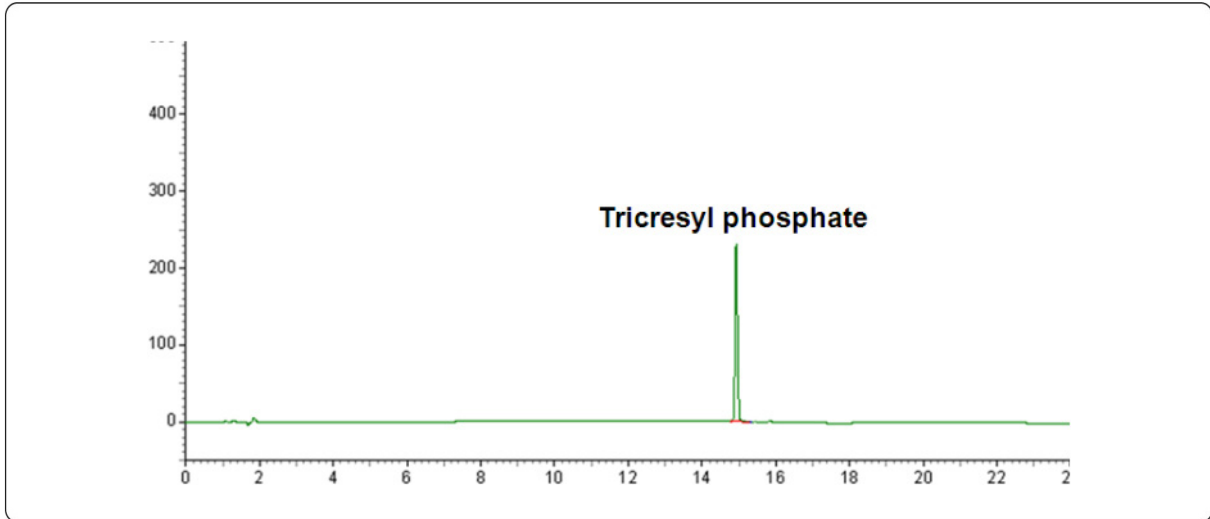
PVC에 잔류하는 크레졸인산에스테르를 아세토니트릴로 추출한 후 액체크로마토그래프로 측정한다. 과거에는 PVC로부터 크레졸인산에스테르를 추출하고, 알칼리 분해를 통하여 크레졸을 만든 후, 기체크로마토그래피를 이용하여 크레졸로서 분석하였다. 그러나 LC를 이용한 본 분석법은 크레졸인산에스테르 이성체들이 단일 피크로 분리되며, 각 이성체들이 UV 검출기에서도 거의 동일한 감도를 보이므로 정량이 용이하다.

### 10.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

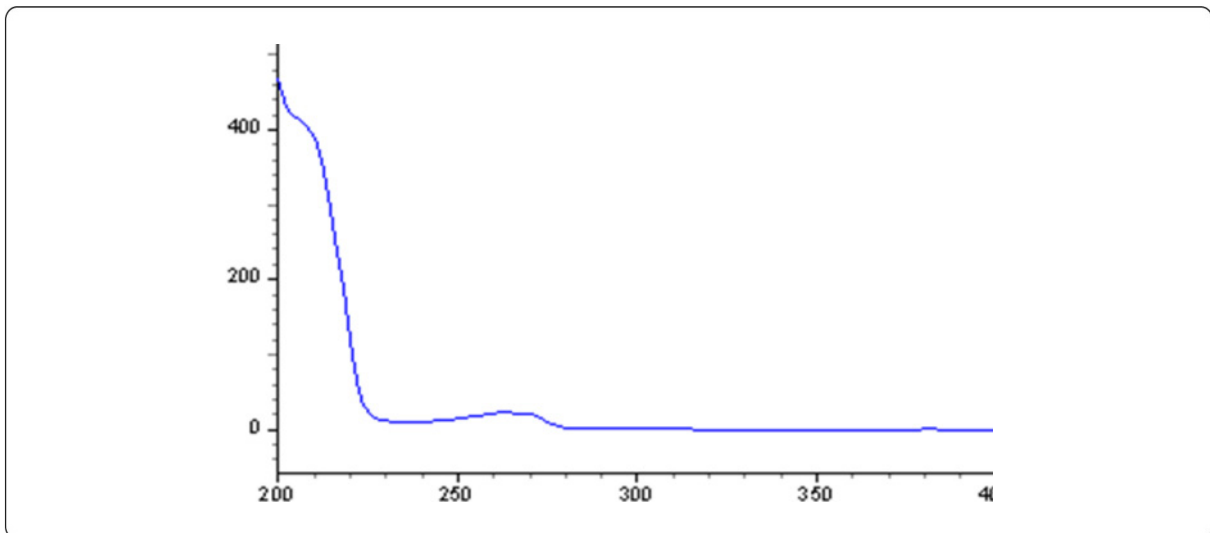
#### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광 검출기(파장 : 264nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	A : 물, B : 아세토니트릴 A:B (80:0) → A:B (0:100)
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	10μL (크레졸인산에스테르 10ug/mL)

## 2) 크로마토그램



## 3) UV 스펙트럼



### 10.5. 분석감도

크레졸인산에스테르의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.16 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 크레졸인산에스테르의 직선성은 0.2 ~ 50 ug/mL 범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

### 10.6. 유의점

- 1) 크레졸인산에스테르 표준품은 트리크레질포스페이트(Tricresyl phosphate) 또는 트리톨릴포스페이트(tritolyl phosphate)라는 이명으로 판매되기도 한다.

- 2) 시료의 세절 시 제품이 두꺼운 경질의 제품인 경우 추출율이 떨어질 수 있으므로 최대한 시료의 크기를 작게 하여 추출하는 것이 유리하다.
- 3) 폴리염화비닐의 제조시 크레졸인산에스테르 이외의 가소제가 첨가되어있을 가능성이 있어 깨끗한 크로마토그램을 얻기 위해 C18 카트리지를 이용하여 정제를 실시하며 카트리지의 용량은 360mg 이상이 적절하다.
- 4) 추출 시 테트라하이드로퓨란을 가한 후 가온하여 용해하고 에탄올을 첨가하여 폴리머를 석출하여 시험용액을 조제할 수도 있다.

## 11 테레프탈산 및 이소프탈산

### 11.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

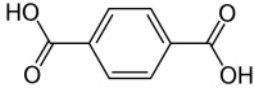
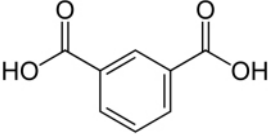
- 테레프탈산 : 7.5 이하
- 이소프탈산 : 5 이하

※ 대상 재질

- 1-5 폴리에틸렌테레프탈레이트(poly(ethyleneterephthalate) : PET)
- 1-19 폴리부틸렌테레프탈레이트(poly(butyleneterephthalate) : PBT)
- 1-21 폴리아릴레이트(polyarylate : PAR)
- 1-33 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트(poly(cyclohexane-1,4-dimethylene terephthalate) : PCT)
- 1-38 경화폴리에스터수지(cross-linked polyester resin)

### 11.2. 개요

테레프탈산 및 이소프탈산은 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT), 폴리아릴레이트(PAR), 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트(PCT), 경화폴리에스터수지 등의 합성수지제의 원료물질로 이용되는 단량체로서 미반응 단량체<sup>1)</sup>로서 재질 중 잔류하여 식품으로 이행될 우려가 있다. 현행 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격에서는 용출규격을 설정하여 관리하고 있으며, 이는 유럽연합의 용출규격과 동일한 수준이다. 테레프탈산 및 이소프탈산의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	테레프탈산(Terephthalic acid)	이소프탈산(Isophthalic acid)
이명	Benzene-1,4-dicarboxylic acid, para-Phthalic acid, TPA, PTA	Benzene-1,3-dicarboxylic acid, meta-Phthalic acid
구조식(분자식)	 $C_8H_6O_4$	 $C_6H_4(COOH)_2$
분자량(g/mol)	166.13	166.14
CAS No.	100-21-0	129-91-5
끓는점(°C)	300°C in a sealed tube (sublimes at 402°C (675 K) in air)	
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.522	1.526
물에 대한 용해도	0.0017 g/100 mL at 25°C	Insoluble
용매용해도	tetrahydrofuran, cyclohexanone, 1,2-diethoxyethane, acetophenone	tetrahydrofuran, cyclohexanone, 1,2-diethoxyethane, acetophenone

### 11.3. 분석원리

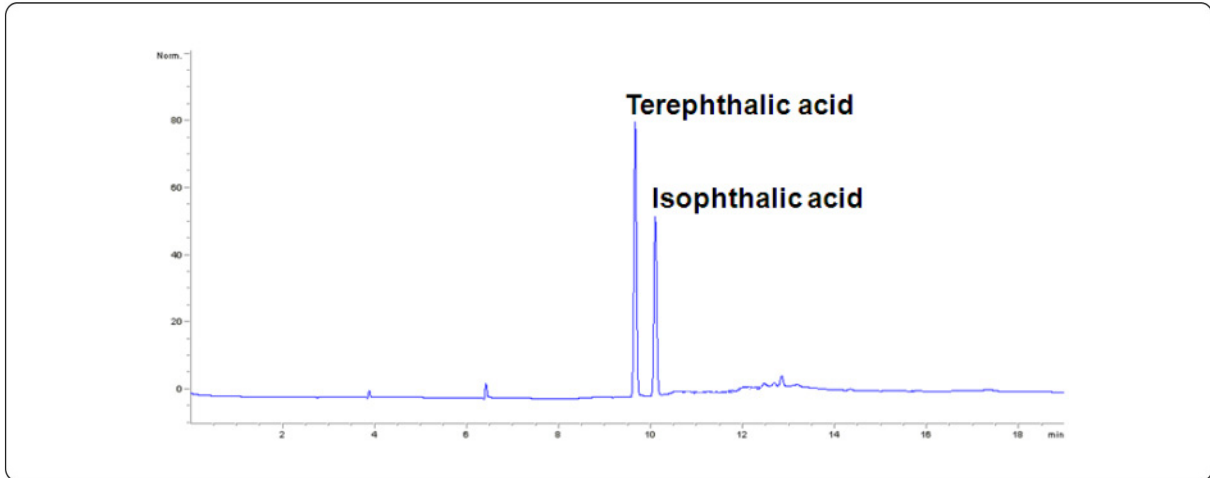
PET 등 재료로부터 용출되는 테레프탈산 및 이소프탈산을 액LC(UV 파장 230 nm)로 동시분석한다.

### 11.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

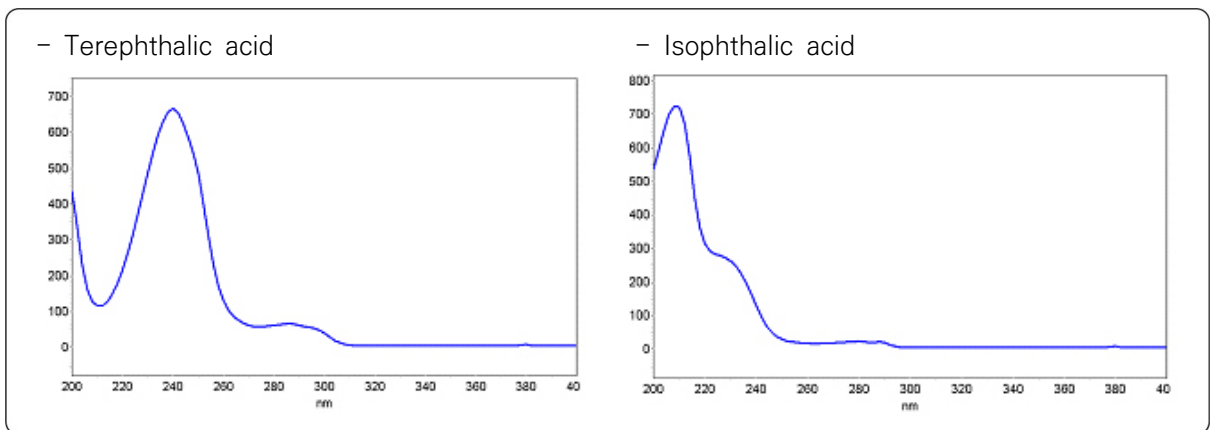
#### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광 검출기 (230nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	A : 물 1L에 인산 2.5mL 가한 액, B : 아세토니트릴 1L에 인산 2.5mL 가한 액 A:B (100:0) → A:B (0:100)
칼럼 온도	40°C
유속	1mL/min
주입량	20μL(테레프탈산 7.5ug/mL, 이소프탈산 5.0ug/mL)

## 2) 크로마토그램



## 3) UV 스펙트럼



### 11.5. 분석감도

테레프탈산 및 이소프탈산의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.3 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다.

### 11.6. 유의점

- 1) 테레프탈산 및 이소프탈산은 용해도가 떨어지므로 혼합표준용액 조제시 미리 1N 수산화나트륨 용액 2 mL를 가하여 표준품을 완전히 녹인 후, 다시 50% 아세토니트릴을 가하여 조제한다.

## 12 페놀

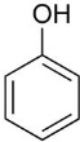
### 12.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 페놀 : 5 이하
- ※ 대상 재질
  - 1-6 페놀수지(phenol-formaldehyde resin : PF)
  - 1-7 멜라민수지(melamine-formaldehyde resin : MF)
  - 1-8 요소수지(urea-formaldehyde resin : UF)
  - 3. 고무제

### 12.2. 개요

페놀은 페놀수지(PF)의 원료물질 중의 하나로 이용되며, 미반응된 원료물질로서 존재할 가능성이 있다. 또한 멜라민수지(MF), 요소수지(UF), 고무제 등의 제조시 산화방지제(노화방지제)로 사용하는 페놀류의 스티렌화페놀(SP) 등의 분해물이나 불순물, 유기 충전제로서 사용하는 열경화성 페놀수지의 미반응 페놀 등이 잔존할 가능성이 있다.<sup>2)</sup> 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 그룹 3(인체발암물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류하고 있다.<sup>4)</sup> 페놀의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	페놀(Phenol)
이명	Phenol, Carbohic Acid, Benzenol, Phenylic Acid, Hydroxybenzene
구조식(분자식)	<div style="text-align: center;">  </div> $C_6H_6O$
분자량(g/mol)	94.11
CAS No.	108-95-2
끓는점(°C)	181.7
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.07
물에 대한 용해도	8.3 g/100 mL

### 12.3. 분석원리

4%초산을 침출용액으로 하여 페놀수지 등에서 용출되는 페놀을 액체크로마토그래프로 측정한다.

## 12.4. 크로마토그램

7. 비스페놀 A, 페놀 및 p-터셔리부틸페놀 참조

## 12.5. 분석감도

7. 비스페놀 A, 페놀 및 p-터셔리부틸페놀 참조

# 13 히드로퀴논

## 13.1. 규격

### 1) 용출규격(mg/L)


- 히드로퀴논 : 0.6 이하

※ 대상 재질

- 1-35 폴리에테르에테르케톤(polyetheretherketone : PEEK)

## 13.2. 개요

히드로퀴논은 폴리에테르에테르케톤(PEEK)의 제조시 사용되는 단량체로서 미반응된 원료물질로서 기구 등에 잔존하거나 식품에 이행될 가능성이 있다. 발암성에 대해 국제암연구기구(IARC)에서는 그룹 3(인체발암물질로 분류하기 어려운 물질)으로 분류 하고 있다.<sup>2)</sup> 히드로퀴논의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	히드로퀴논 (Hydroquinone)
이명	Benzene-1,4-diol, Idrochinone Quinol/1-4 dihydroxy benzene/1-4 hydroxy benzene
구조식(분자식)	 C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
분자량(g/mol)	110.11
CAS No.	123-31-9
끓는점(°C)	287
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.3
물에 대한 용해도	5.9 g/100 mL (15 °C)
용매용해도	ethyl alcohol 57%, acetone 20%, ethyl acetate 22%, methyl isobutyl ketone 27%, 2-ethylhexanol 12%



### 13.3. 분석원리

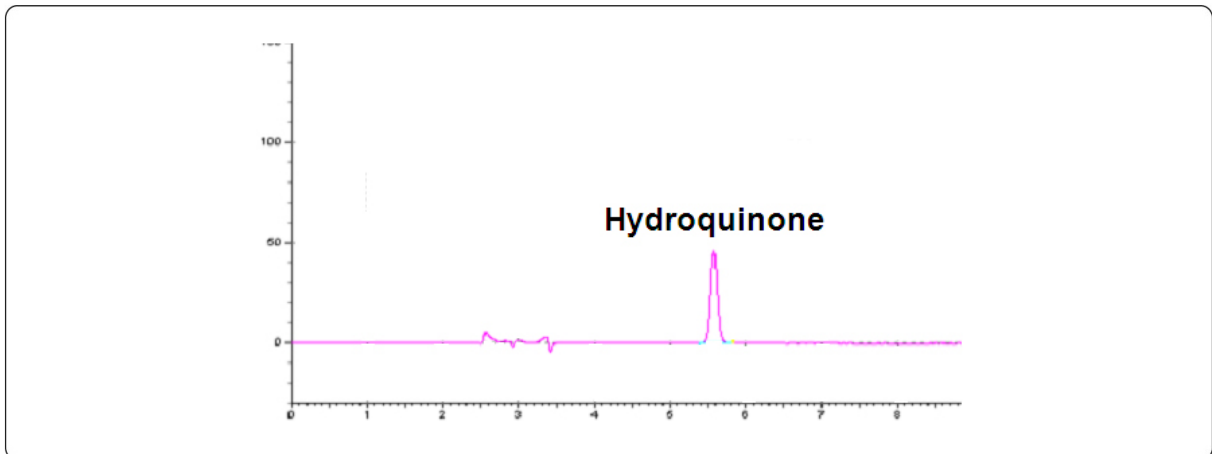
PEEK에서 용출되는 히드로퀴논을 LC로 측정한다.

### 13.4. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

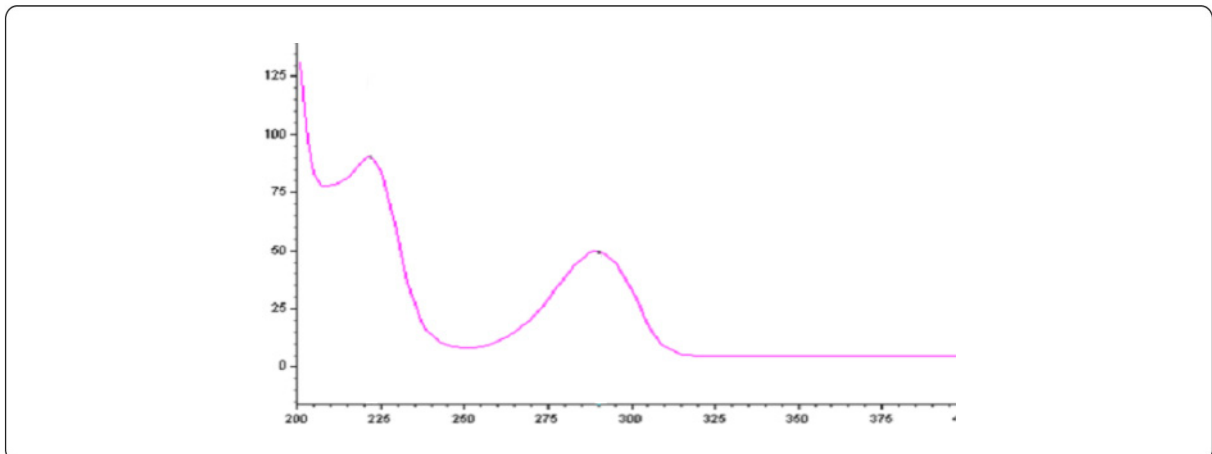
#### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광 검출기(파장 : 290nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	10mM 인산이수소칼륨수용액 : 아세토니트릴(92:8)
칼럼 온도	40℃
유속	1mL/min
주입량	10μL (히드로퀴논 0.6ug/mL)

#### 2) 크로마토그램



#### 3) UV 스펙트럼



### 13.5. 분석감도

히드로퀴논의 분석감도는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.1 ug/mL 수준으로 보고된 바 있다. 히드로퀴논의 직선성은 0.1 ~ 2 ug/mL 범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

## 제2절

## 유도체화법(Derivatization)

## 1 포름알데히드

## 1.1. 규격

## 1) 용출규격(mg/L)

- 포름알데히드 : 4 이하

※ 대상 재질

- 1-6 페놀수지(phenol-formaldehyde resin : PF)
- 1-7 멜라민수지(melamine-formaldehyde resin : MF)
- 1-8 요소수지(urea-formaldehyde resin : UF)
- 1-9 폴리아세탈(polyacetal, polyoxymethylene(POM))
- 3. 고무제
- 4. 종이제 또는 가공지제
- 8. 전분제(Starch)

## 1.2. 개요

포름알데히드는 페놀수지(PF), 멜라민수지(MF), 요소수지(UF), 폴리아세탈(POM)의 공통의 단량체이며, 미반응 원료물질로서 잔존할 가능성이 있다. 종이제 또는 가공지제에서의 포름알데히드는 제조시 습윤강도를 부여하기 위한 목적으로 습윤지력 증강제로서 첨가되기도 한다. 또한 투명성 고무제품의 가황촉진제인 헥사메틸렌테트라민, 유기충전제로 사용되는 페놀수지 등의 미반응 또는 분해생성물인 포름알데히드가 잔존할 가능성이 있다. 금속제의 경우 도장에 사용된 페놀수지의 모노머로서 잔존할 가능성이 있다.<sup>1,3)</sup> 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 그룹 1(인체 발암성 물질)로 분류하고 있다.<sup>2)</sup> 포름알데히드의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

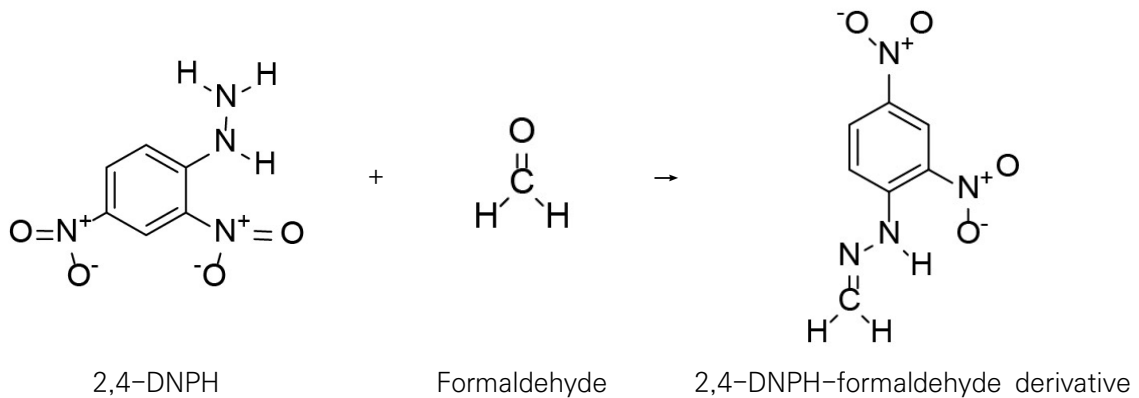
명칭	포름알데히드 (formaldehyde)
이명	Methanal, formol, Methyl aldehyde, Methylene glycol, Methylene oxide
구조식(분자식)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array} \quad \text{CH}_2\text{O}$
분자량(g/mol)	30.03
CAS No.	50-00-0
끓는점(°C)	-19
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.8153
물에 대한 용해도	400 g dm <sup>-3</sup>

## 1.2. 분석원리

4%초산을 침출용액으로 하여 PF에서 용출되는 포름알데히드를 2,4-디니트로페닐하이드라진(2,4-DNPH)으로 유도체화하여 UV-VIS 흡수가 있는 안정한 상태의 2,4-DNPH-포름알데히드 유도체로 전환한 후, LC로 측정한다.

### (참고자료) 포름알데히드의 유도체화

포름알데히드는 자외부/가시광선 영역의 빛을 흡수하는 관능기를 가지고 있지 않으므로 HPLC 분석시 UV 검출기를 사용하여 검출할 수 없다. 따라서 포름알데히드를 2,4-디니트로페닐하이드라진 시액과 반응시켜 파장 354 nm에서 흡수를 가지는 관능기를 부여하여 검출하게 된다. 2,4-디니트로페닐하이드라진을 이용한 포름알데히드의 유도체화 반응을 요약하면 다음과 같다.

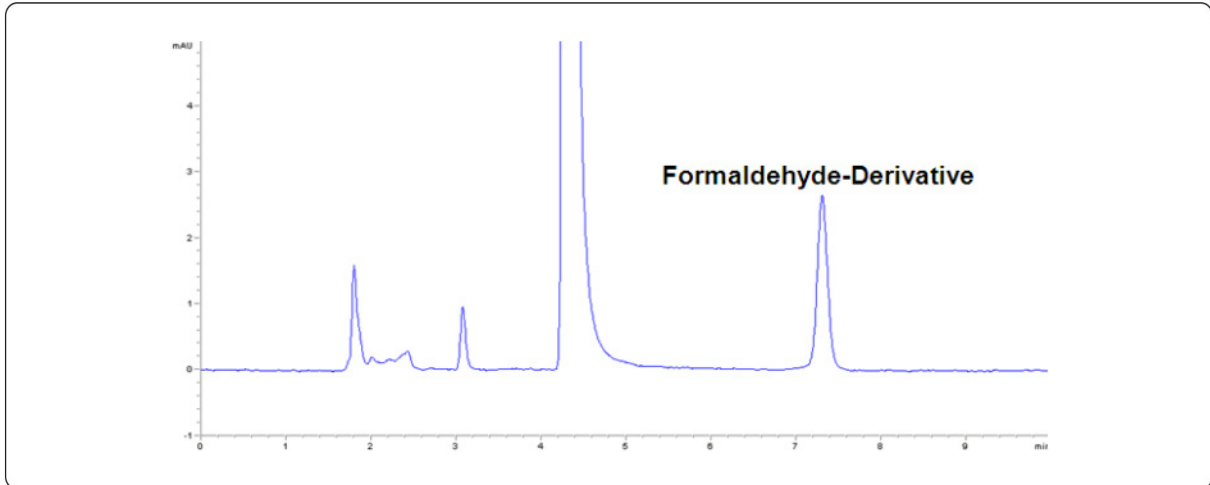


## 1.2. 분석조건 및 크로마토그램, 스펙트럼

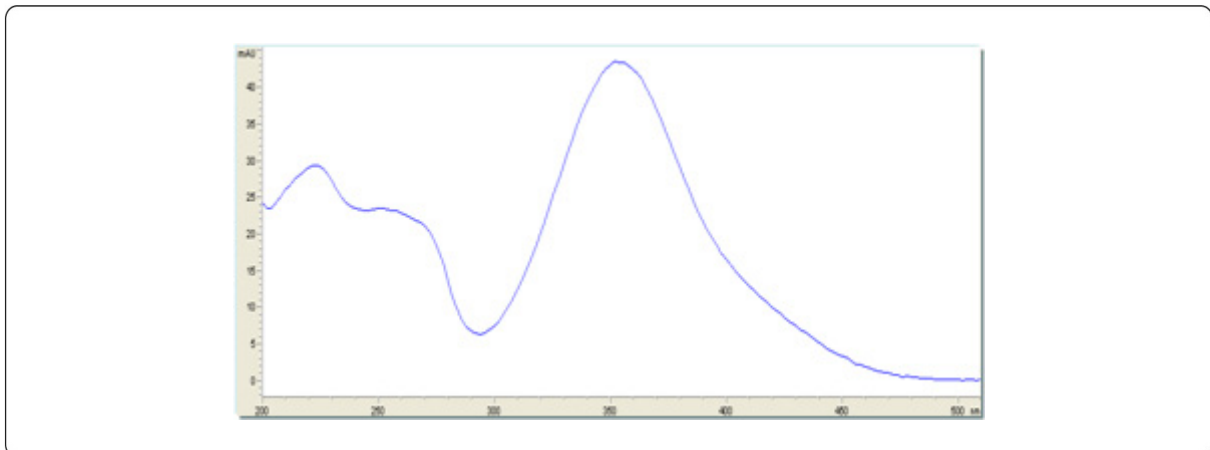
### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프
검출기	자외부흡광 검출기(파장 : 354nm)
분리용 칼럼	C <sub>18</sub> (4.6 mm I.D. × 250 mm , 5.0 μm)
이동상	55% 아세토니트릴
칼럼 온도	40℃
유속	1mL/min
주입량	10μL (포름알데히드 4.0ug/mL)

## 2) 크로마토그램



## 3) UV 스펙트럼



### 1.2. 분석감도

포름알데히드의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태에 따라 약간의 차이가 있을 수 있다. 현재 우리나라 식품공전에서 포름알데히드의 용출규격은 4.0 mg/L이하로서 규격 수치의 1/10인 0.4 mg/L 이하에서도 정량이 가능하다. 일본의 경우 규격은 불검출이나 표준용액과 시험용액간의 발색정도를 비교하는 시험으로 검출한계는 4.0 ug/mL로 되어있다.

### 1.3. 유의점

- 1) 상용화된 2,4-DNPH-formaldehyde derivative 있다.
- 2) 표준품으로 사용되는 헥사민 1분자는 가열시 6분자의 formaldehyde와 ammonia로 분해된다.

## 제3절

## 질량분석법(LC-MS/MS)

## 1 4,4'-메틸렌디아닐린

## 1.1. 규격

## 1) 용출규격(mg/L)

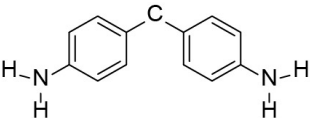
- 4,4'-메틸렌디아닐린 : 0.01 이하

※ 대상 재질

- 1-11 폴리아미드(polyamide : PA)  
[아닐린, 4,4'-메틸렌디아닐린, 2,4-톨루엔디아민의 합계로서 0.01 mg/L 이하]
- 1-15 폴리우레탄(polyurethane : PU)
- 1-30 에폭시수지(epoxy resin)
- 5 금속제

## 1.2. 개요

4,4'-메틸렌디아닐린은 일차 방향족 아민류의 일종으로 나일론 재질의 조리용 기구, 용기 등의 착색안료 등에 포함되며, 특히 검은색 염료로부터 식품으로 이행될 가능성이 것으로 알려져 있다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 글부 2B(인체 발암 가능물질)로 분류하고 있다. 4,4'-메틸렌디아닐린의 물리 화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	4,4'-메틸렌디아닐린 (4,4'-methylenedianiline)
이명	Bis (4-aminophenyl)methane, 4,4'-Methylenedianiline, 4,4'-Diaminodiphenylmethane, 4,4''-Diphenylmethane diamine, 4,4''-Methylendibenzolamine, 4,4''-Methylenebisbenzeneamine, 4-(4-Aminobenzyl)aniline, MDA
구조식(분자식)	 C <sub>13</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>
분자량(g/mol)	198.3
CAS No.	101-77-9
끓는점(°C)	398~399 °C at 1013 hPa
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.056 at 100 °C
물에 대한 용해도	1.25 g/l at 20 °C

### 1.3. 분석원리

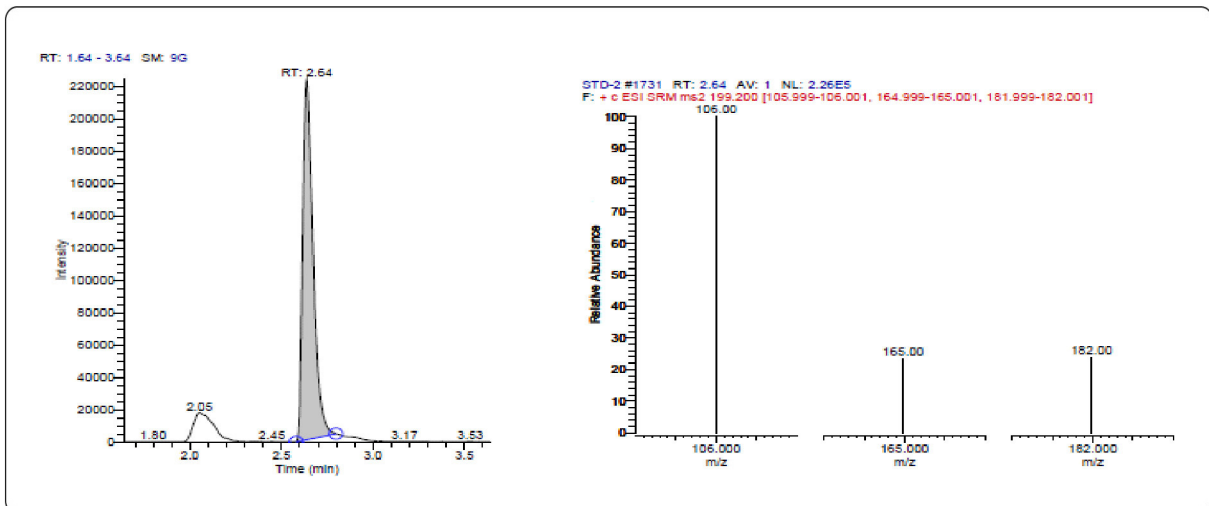
4%초산을 침출용액으로 하여 폴리아미드(PA) 등에서 용출되는 4,4'-메틸렌디아닐린을 LC/MS/MS로 측정한다. 4,4'-메틸렌디아닐린 분석을 위한 특이 이온은  $m/z = 106, 182, 165$ 이다.

### 1.4. 분석조건 및 크로마토그램, 질량스펙트럼

#### 1) 분석조건

측정기기	액체크로마토그래프/질량분석기/질량분석기
검출기	질량분석기(Precursor Ion : 199, Fragment Ion : 106, 165, 182) ESI, Positive-ion mode
분리용 칼럼	Capillary temperature : 330°C Collision gas : Ar C <sub>18</sub> (2.0 mm I.D. × 150 mm, 3.0 μm)
이동상	A : 4.7mM 펜타플루오로프로피온산 수용액 B : 4.7mM 펜타플루오로프로피온산 메탄올 A:B(100:0) → A:B(0:100)
칼럼 온도	40°C
유속	0.2mL/min
주입량	20μL (4,4'-메틸렌디아닐린 0.01ug/mL)

#### 2) 크로마토그램 및 질량스펙트럼



### 1.5. 분석감도

4,4'-메틸렌디아닐린의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.001 ug/mL 이하 수준이다.

## 2 니트로사민류 및 니트로사민류 생성가능 물질

### 2.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 니트로사민류(N-니트로소디메틸아민, N-니트로소디에틸아민, N-니트로소디-n-프로필아민, N-니트로소디-n-부틸아민, N-니트로소피페리딘, N-니트로소피롤리딘, N-니트로소몰폴린의 합계로서) : 0.01 mg/kg 이하(고무젓꼭지에 한한다)
- 니트로사민류 생성 가능물질(N-니트로소디메틸아민, N-니트로소디에틸아민, N-니트로소디-n-프로필아민, N-니트로소디-n-부틸아민, N-니트로소피페리딘, N-니트로소피롤리딘, N-니트로소몰폴린의 합계로서) : 0.1 mg/kg 이하(고무젓꼭지에 한한다)

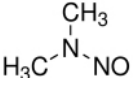
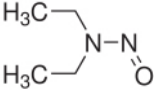
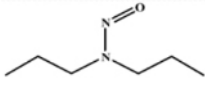
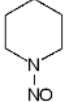
※ 대상 재질

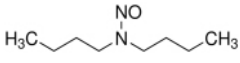
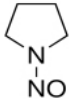
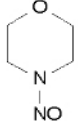
- 3. 고무제(고무젓꼭지에 한한다)

### 2.2. 개요

고무제는 일반적인 열가소성 합성수지와 달리 유기질소, 황 화합물 등의 가류촉진제를 주로 이용하는 고분자 연쇄 상호간 망상구조를 이루고 있는데, 이 가류 촉진제는 시용 과정에서 용출될 우려가 있다. 이렇게 용출된 유기질소, 황 화합물 등은 산성조건에서 nitrite, nitrate, nitrocompound 등과 반응하여 니트로사민류를 생성할 수 있다. 니트로사민류의 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 니트로사민류 중 N-Nitrosodimethylamine, N-Nitrosodiethylamine 2종의 경우 그룹 2A(인체 발암 추정물질)로 분류하고 있으며, 나머지 5종 N-Nitrosodi-n-propylamine, N-nitrosomorpholine, N-Nitroso-di-n-butylamine, N-nitrosopiperidine, N-nitrosopiperidine의 경우 그룹 2B(인체 발암 가능물질)로 분류하고 있다. 니트로사민류 7종의 물리 화학적 특성은 다음과 같다.



명칭	N-니트로소디메틸아민 (N-Nitrosodimethylamine)	N-니트로소디에틸아민 (N-Nitrosodiethylamine)	N-니트로소디-n-프로필아민 (N-Nitrosodi-n-propylamine)	N-니트로소피페리딘 (N-nitrosopiperidine)
구조식(분자식)	 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O	 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O	 C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O	 C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O
분자량(g/mol)	74.08	102.14	130.22	114.15
CAS No.	62-75-9	55-18-5	621-64-7	100-75-4
끓는점(°C)	152	177	113	219
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.005	0.95	0.9160 @ 20 DEG C/4 DEG C	1.0631(18.5°C)
물에 대한 용해도	29 g/100 mL (20 °C)	substantial	약 1%	약 7.7%
용매용해도	-	water, alcohol, ether, other organic solvents, and lipids	-	유기용매, 지질 및 염산

명칭	N-니트로소디-n-부틸아민 (N-Nitroso-di-n-butylamine)	N-니트로소피롤리딘 (N-Nitrosopyrrolidine)	N-니트로소모폴린 (N-nitrosomorpholine)
구조식(분자식)	 C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O	 C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O	 C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
분자량(g/mol)	158.24	100.12	116.12
CAS No.	924-16-3	930-55-2	59-89-2
끓는점(°C)	77	104~106°C (20mmHg)	139~140°C (25 mmHg)
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	0.74	1.10	-
물에 대한 용해도	Miscible	Soluble	Soluble
용매용해도	water and miscible with hexane, dichloromethane, and many other organic solvents	유기용매	유기용매

### 2.3. 분석원리

고무젓꼭지에서 용출되는 니트로사민류 및 니트로사민류 생성 가능물질을 LC/MS/MS로 측정한다.

## 2.4. 분석조건 및 크로마토그램

### 1) 분석조건

측정기기 액체크로마토그래프/질량분석기/질량분석기  
질량분석기

	Precursor ion	Fragment ion
N-니트로소디메틸아민(NDMA)	75.0	43.2
N-니트로소디에틸아민(NDEA)	103.0	43.3, 75.3
N-니트로소디-n-프로필아민(NDPA)	131.0	43.2, 89.2
N-니트로소디-n-부틸아민(NDBA)	159.1	57.2, 103.2
N-니트로소피페리딘(NPIP)	115.0	41.2, 69.0
N-니트로소피롤리딘(NPYR)	101.1	55.2
N-니트로소몰폴린(NMOR)	117.1	86.2
* N-니트로소-n-프로필아민-d <sub>14</sub> (NDPA-d <sub>14</sub> )	145.0	50.8, 97.0
* N-니트로소다이소프로필아민 (NDiPA)	131.0	43.2, 89.2

(\* : 내부표준용액)

ESI, Positive-ion mode

Capillary temperature : 330°C

Collision gas : Ar

분리용 칼럼 C<sub>18</sub>(2.0 mm I.D. × 250 mm , 3.0 μm)

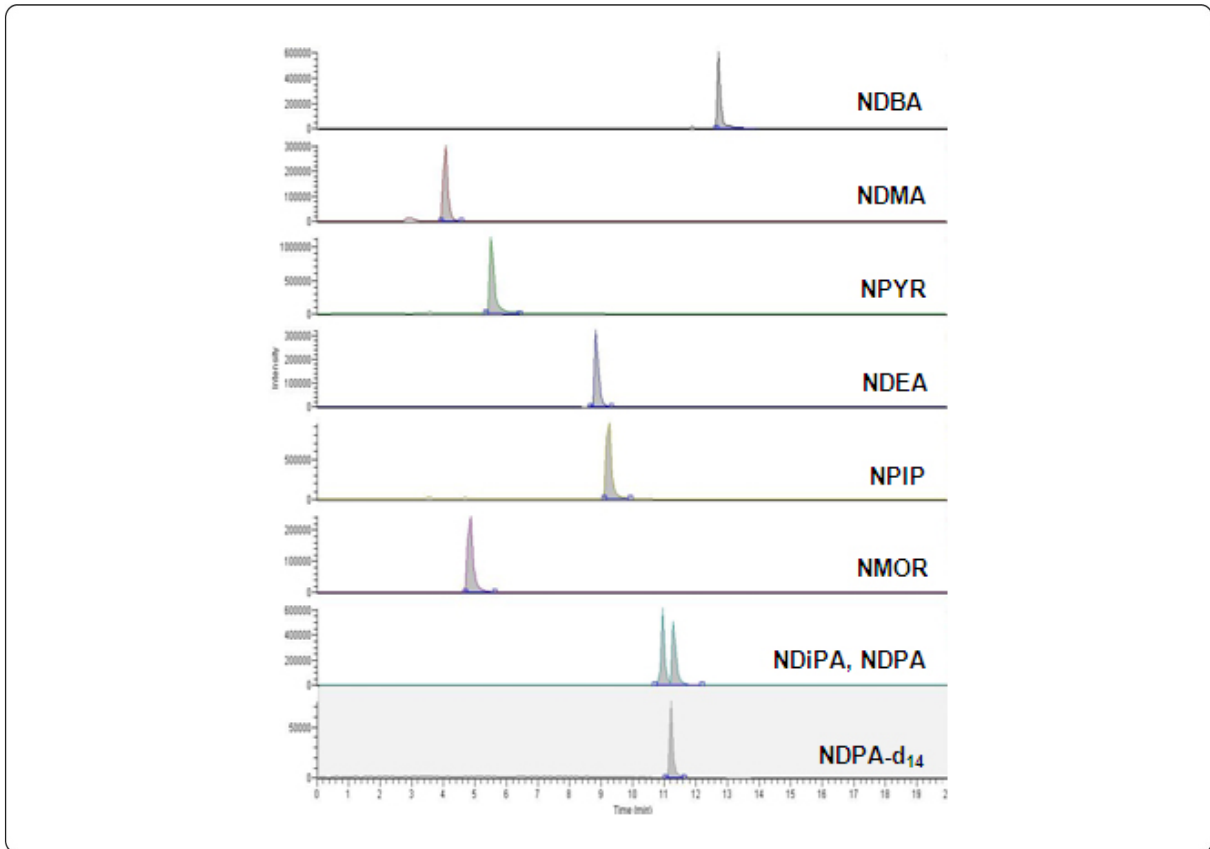
이동상 A : 0.1% 개미산 수용액, B : 아세트니트릴  
A:B(100:0) → A:B(0:100)

칼럼 온도 40°C

유속 0.2mL/min

주입량 5μL (혼합표준용액 각각 0.25ug/mL,  
내부표준용액 각 1.0ug/mL)

## 2) 크로마토그램



### 2.5. 분석감도

니트로사민류 및 생성가능물질의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 니트로사민류에 대하여 약 0.0001 ~ 0.006 mg/kg 수준이다. 니트로사민류의 직선성은 0.02 ~ 0.5 ng/mL 범위에서 0.99 이상으로 보고된 바 있다.

### 2.6. 유의점

- 1) 고무젓꼭지 중 니트로사민류 시험은 침출용액으로 인공타액을 사용한다. 인공타액은 탄산수소나트륨 4.2 g, 염화나트륨 0.5 g, 탄산칼륨 0.2 g, 아질산나트륨 30 mg에 물 900 mL를 가하여 녹인 후 0.1 N 염산용액 또는 0.1 N 수산화나트륨용액을 사용하여 pH를 9.0으로 조정한 액에 물을 가하여 1 L로 하여 조제한다.
- 2) 니트로사민류 및 니트로사민류 생성가능물질에 대한 규격은 검체 당 무게(mg/kg)으로 표현되므로 얻어진 시험용액 중 농도를 검체 당 무게(mg/kg)로 환산하여야 하며, 규격치는 유럽연합 등 제외국과 동일하다.



## 제5장 자외/가시광선 분광광도 측정법

◆ 자외/가시광선 분광광도 측정법 개요

제1절. 자외/가시광선 분광광도 측정법  
(UV/VIS Spectrophotometer)



## 자외/가시광선 분광광도 측정법 개요

### 1 자외/가시광선 분광광도 측정 원리

원자 또는 분자가 외부로부터 빛에 의한 일정한 에너지의 파장을 흡수하게 되면 전자전이, 진동, 회전, 병진 등의 분자운동을 하게 되어, 분자의 화학결합 상태나 구조적인 특성에 따라 에너지를 흡수하는 정도가 달라지게 된다. 자외가시광선 분광광도 측정법은 이때 나타나는 서로 다른 특색있는 흡수스펙트럼을 분석하여 시료용액 중의 일정 성분에 대한 정성과 정량을 할수 있는 분석법으로, 광원으로는 주로 자외선(Ultraviolet, 180~380nm) 및 가시광선(Visible, 380~800nm) 영역에서의 빛 에너지가 사용된다. 특정 전이 에너지와 흡수파장은 전자자체의 특성보다는 원자집단의 특성이며, 특정 작용기를 갖는 분자에서만 일어난다. 이를 발색단(Chromophore)라고 하며, 보통 이중결합, 삼중결합을 갖는 불포화화합물, 비공유전자쌍을 포함한 화합물 등이 있다. 따라서 자외/가시광선 분광광도 측정법은 분자구조 내에 이러한 발색단을 가지고 있는 성분에 대하여 적용 가능하다.

X-ray	UV	Visible	IR	microwave	Radiowave
180nm	380nm	800nm			

### 2 자외/가시광선 분광광도 측정기 - 장치 구성

자외/가시광선 분광광도 측정기는 일반적으로 광원, 단색화장치, 시료용기, 검출기로 이루어져 있다.

### 3 자외/가시광선 분광광도 측정기 - 구성 요소별 원리 및 실제

#### 3.1. 광원(Light source)

광원은 스펙트럼의 넓은 영역에서 적절한 강도와 안정된 빛을 제공해야 한다. 자외선 대역의 광원과 가시광선 대역의 광원으로 이루어지며, 자외선 대역의 광원은 중수소램프나 수소램프를 사용한다. 중수소방전관은 수소방전관과 유사하나 강도가 수소방전관의 3~5배에 이르며 가장 보편적으로 사용된다. 약 40V의 낮은 전압을 필라멘트의 양극과 음극사이에 가해주면 방전으로 인하여 두 전극사이에 기계적인 좁은 동공으로 복사선을 방출하게 된다. 자외선 영역에서 안정적인 빛을 방출하며, 사용시 예열이 되어야한다. 더욱 강력한 광원이 요구될 때에는 xenon 방전관을 사용하기도 하나 고가이며, 수명이 짧은

편이다. 가시광선 대역의 광원으로는 일반적으로 텅스텐 필라멘트 등이 사용된다. 텅스텐 필라멘트 등은 약 2,800K로 가열되었을 때 흑체 복사를 하게된다. 필라멘트는 코일의 형태로 불활성 기체 또는 진공으로 된 밀폐된 유리공내부에 위치한다. 보통 350~1000nm 내외의 가시광선 대역에서 유용하다.

### 3.2. 단색화장치(Monochromator)

단색화장치는 광원에서 나오는 넓은 파장범위의 다색이며 연속적인 복사선을 파장폭이 좁은 단색복사선으로 바꾸는 장치로서 대개 단색화장치를 사용한다. 단색화장치에서 다색광의 분광장치로는 프리즘(prism) 혹은 회절격자(grating)를 사용한다. 가시선 영역(350~1000nm)에서는 유리제 프리즘을 사용하며 자외선 영역에서는 석영제 프리즘을 사용한다. 프리즘의 경우 매우 간단하고 저렴하며 분산결과가 비선형적이다. 분산 각도가 온도에 민감하다. 회절격자는 고도의 반사가 일어나도록 aluminum으로 표면처리하여 그 표면에 1인치당 1500~3000개 정도의 간격으로 새겨진 평행선을 새긴 것이다. 즉 표면에 매우 좁은 홈이 파인 구조로 분산결과가 선형적이며, 분산결과가 온도에 민감하지 않다.

### 3.3. 시료용기(Cuvett of Cell)

사용되는 시료용기는 각종의 스펙트럼 영역의 복사선을 투과하는 재질을 사용한다. 시료용기 자체가 빛을 흡수하게 되면 시료의 정확한 측정이 어려우므로 모든 파장에서 빛을 완전히 투과하여야 한다. 일반적으로 유리제(glass), 석영제(quartz), 용융실리카(Fused silica) 용기를 사용한다. 유리제의 경우 320nm 미만의 파장에서 강한 흡광을 가지므로 이 영역을 제외한 가시광선-근적외선 영역에서 사용하는 것이 좋다. 석영제의 경우 210nm 미만의 파장에서 강한 흡광을 가지므로 이 영역을 제외한 자외선-근적외선 영역에서 유용하다. 또한 용융실리카의 경우 190nm 미만의 파장범위에서 강한 흡광을 가지므로 이 영역을 제외한 가시광선-근적외선 영역에서 사용하는 것이 좋다.

### 3.4. 검출기(Detector)

일반적인 검출기는 광전증배관(Photomultiplier)이 사용된다. 광전증배관에 들어온 광선은 광 감응물질(photosensitive)가 입혀진 표면에 도달하고 각 광자는 전자를 유리시킨다. 관내부에 입힌 알칼리금속 산화물(dynode)과 70~100V의 전압으로 인해 유리된 전자가 가속화되며, dynode의 표면에서 고에너지의 영향으로 2차 전자를 방출한다. 이 전자 증배과정이 반복되어 총전류가 증폭되고 전기적 신호로서 검출을 한다. 낮은 광수준에서 좋은 감도를 보인다. 광전증배관내에는 염화코발트로 착색한 silica gel이 건조제로 들어 있으며 건조시는 청색을 띠나 흡습하게 되면 분홍색을 띤다. 이 외에도 광전증배관에 비해 넓은 동적범위와 견고성을 가지는 광다이오드(photodiode) 검출기 등이 이용된다. 또한 여러개의 광다이오드를 연결한 다이오드어레이(Diode-array)검출기는 시료분석시 전파장을 scan할 수 있어 전파장의 스펙트럼을 볼 수 있다.



## 제1절

## 자외/가시광선 분광광도 측정법(UV/VIS Spectrophotometer)

## 1 6가 크롬

## 1.1. 기준 및 규격

## 1) 일반기준

- 8. 합성수지제 기구 및 용기·포장에 사용되는 재질은 납, 카드뮴, 수은 및 6가크롬이 100 mg/kg 이하(합계로서) 이어야 한다.

## 2) 잔류규격(mg/kg)

- 납, 카드뮴, 수은 및 6가크롬 : 100 이하(합계로서)

※ 대상 재질

- 2. 셀로판제
- 4. 종이제 또는 가공지제
- 8. 전분제(Starch)

## 3) 용출규격(mg/L)

- 6가크롬 : 0.1 이하

※ 대상 재질

- 5. 금속제

## 1.2. 개요

크롬은 토양, 화산재, 화산가스 등에서 나오는 은백색의 단단한 금속으로 상온에서 안정성이 높으며 대기나 수중에서 산화되지 않는다. 원자가는 2, 3, 4, 5, 6으로 나뉘는데 자연 상태에서는 3가와 6가 크롬으로 주로 존재하며 6가 크롬은 일반적으로 공업과정에서 생성이 된다. 크롬의 독성은 주로 6가 크롬에 기인하는 것으로서 음이온 형태로 존재하므로 높은 산화력을 가져, 자극적이며 높은 농도에서 장시간 노출시 폐암을 유발한다고 알려져 있다. 6가 크롬의 물리 화학적 특성은 다음과 같다.

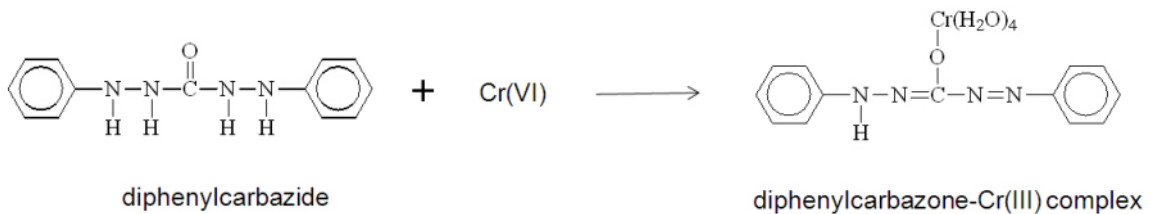
명칭	6가크롬 (Hexavalent chromium (chromium VI))
Name, symbol	Hexavalent chromium, Cr VI
Element category, number	transition metal, 24
분자량(g/mol)	51.9961(6)
CAS No.	7440-47-3
끓는점(°C)	2671
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	7.19

### 1.3. 분석원리

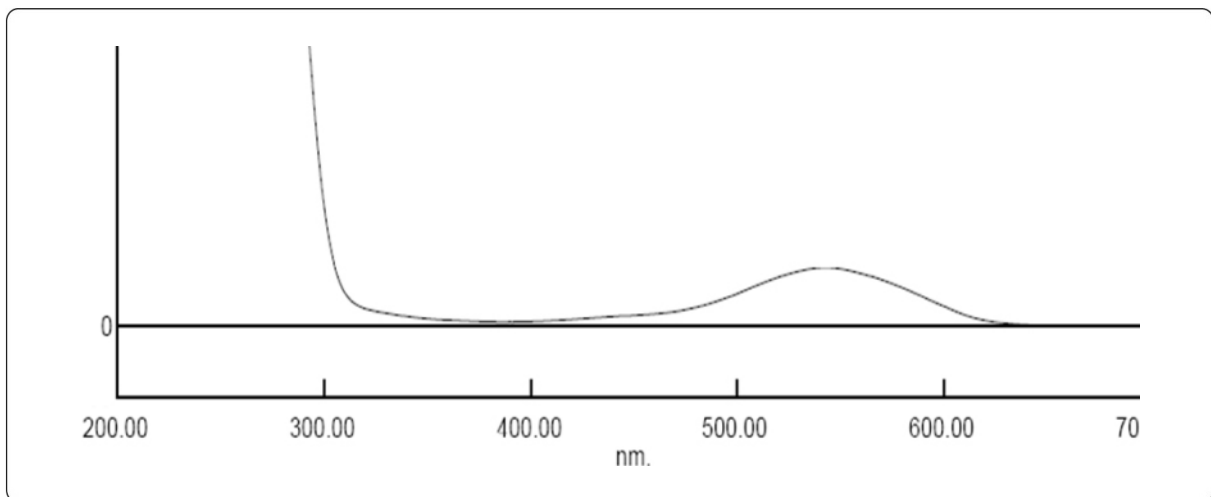
재질시험의 경우 알칼리 용액을 이용하여 시료를 분해시킨 후 디페닐카바지드와 반응시켜 생성되는 적자색의 착화물의 흡광도를 540nm에서 측정하여 정량하는 방법이다. 용출시험의 경우 금속제로부터 0.5% 구연산으로 용출되는 6가 크롬을 디페닐카바지드와 반응시켜 생성되는 적자색의 착화물의 흡광도를 540nm에서 측정하여 정량하는 방법이다.

#### (참고자료) 6가 크롬의 유도체화

6가 크롬은 자외부/가시광선 영역의 빛을 흡수하는 관능기를 가지고 있지 않으므로 자외/가시광선 분광 광도 측정기를 사용하여 검출할 수 없다. 따라서 6가 크롬을 디페닐카바지드와 반응시켜 파장 540 nm에서 흡수를 가지는 발색단을 부여하여 분석하게 된다. 디페닐카바지드를 이용한 6가 크롬의 유도체화 반응을 요약하면 다음과 같다.



### 1.4. UV/VIS 스펙트럼



### 1.5. 분석감도

6가 크롬의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 저농도 표준용액 분석결과로부터 신호/잡음비 10에 해당하는 농도를 기준으로 정량한계는 약 0.01 mg/L 수준으로 보고된 바 있다. 6가 크롬의 직선성은 0.01 ~ 0.1 mg/L 범위에서 0.999 이상으로 보고된 바 있다.

## 2 이소시아네이트

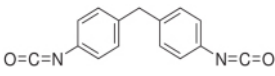
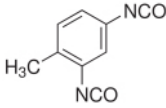
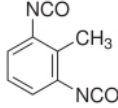
### 2.1. 기준 및 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 이소시아네이트 : 0.1 이하
- ※ 대상 재질
- 1-15 폴리우레탄(polyurethane : PU)

### 2.2. 개요

이소시아네이트는 폴리우레탄 제조시 원료물질로 사용되는 모노머이다. 이소시아네이트는 R-N=C=O 형태의 기본 구조를 가지며, 구조나 관능기의 수에 따라 다양한 구조의 이소시아네이트가 존재한다. 통상 공업적으로 사용되는 이소시아네이트는 toluene-2,4-diisocyanate(2,4-TDI), toluene-2,6-diisocyanate(2,6-TDI) 및 diphenylmethane-4,4'-di isocyanate(MDI) 등이다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 TDI에 대해서는 Group 2B(인체발암가능물질)로 분류하고 있으며, MDI에 대해서는 Group 3(인체발암물질로 분류하기 어려운 물질, 더 많은 연구가 요구됨)으로 분류하고 있다. 다양한 이소시아네이트의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	diphenylmethane-4,4'-diisocyanate(MDI)	toluene-2,4-diisocyanate(2,4-TDI)	toluene-2,6-diisocyanate(2,6-TDI)
구조식 (분자식)	 CH <sub>2</sub> (C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NCO) <sub>2</sub>	 C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	 CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (NCO) <sub>2</sub>
분자량(g/mol)	250.3	174.16	174.16
CAS No.	101-68-8	584-84-9	91-08-7
끓는점(°C)	314	126	129-133 °C/18 mmHg(lit.)
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	1.23	1.225	1.225 g/mL at 25 °C(lit.)

## 2.3. 분석원리

이소시아네이트 분석법은 폴리우레탄에서 용출되는 이소시아네이트를 나프틸에틸디아민시액으로 발색시켜 자외/가시광선 분광광도 측정기로 540nm에서 측정하는 방법이다.

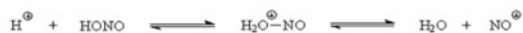
### (참고자료) 이소시아네이트의 유도체화

이소시아네이트를 산성 조건 하에서 대응하는 아민류로 전환한 후 UV 파장 영역에서 발색하는 발색단을 붙여 분석하는 방법이다. 이 분석방법은 Marcali 등이 제안한 방법으로 아민류를 아질산 이온과 반응시켜 hydroxyl diamine으로 전환한 후, hydronium 이온을 제거하여 디아조늄이온으로 만든 후 여기에 UV 흡광도가 있는 N-(1-naphthyl)ethylenediamine을 붙여 UV 550 nm에서 흡광도를 측정하는 방법<sup>6)</sup>이다. 또한 반응 수율을 높이기 위하여 유도체화 과정에서 과량으로 첨가된 아질산 이온은 이소시아네이트의 유도체화가 끝난 후 sulfamic acid와 반응시켜 질소, 황산 및 물로 분해하여 제거하게 된다. 반응의 메카니즘은 다음과 같다.

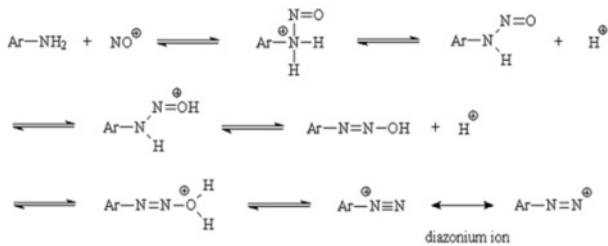
#### ① Hydrolysis of isocyanate to amine



#### ② Formation of nitrosyl cation



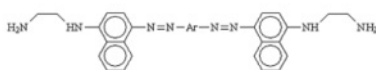
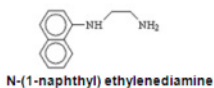
#### ③ Reaction with primary aromatic amine



#### ④ Color coupling of the diazonium ion



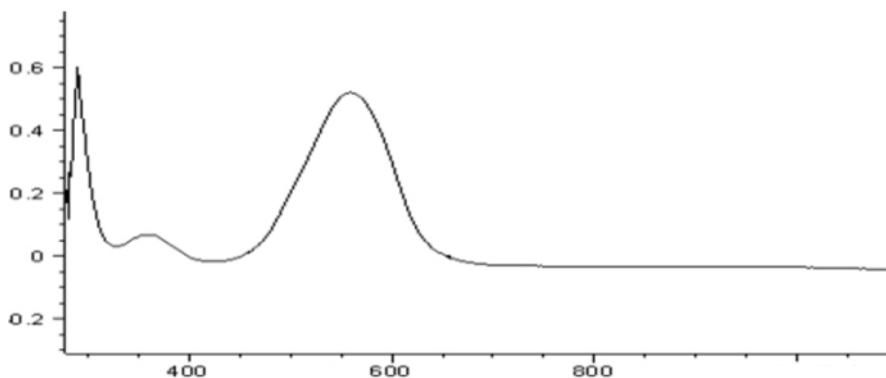
#### Reagent / Reaction product



#### cf) Removal of excess nitrite (sulfamic acid)



## 2.4. UV/VIS 스펙트럼



diphenylmethane-4,4'-di isocyanate(MDI) 유도체의 자외/가시광선 분광광도 측정 결과

## 제6장 유도결합플라즈마발광강도측정법

◆ 유도결합플라즈마발광강도측정법 개요

제1절. 원소별 측정방법



## 유도결합플라즈마발광강도측정법 개요

### 1 유도결합플라즈마발광강도측정법 측정 원리

유도결합플라즈마발광강도측정법(ICP)에서 광원으로 사용되는 플라즈마는 온도가 10,000 K 정도에 이르고 전기적으로는 중성인 기체로 원자, 이온, 분자, 전자 등이 집합체이다. 시료용액이 ICP에 주입되면 탈수, 기화, 원자화가 일어나 중성원자가 형성된다. 중성 원자에 플라즈마의 충분한 열 에너지가 주어지면 바닥 상태(ground state)에 있는 최외각 전자는 높은 에너지 준위로 전이하여 들뜬 상태(excited state)가 된다. 특히 플라즈마와 같이 높은 열 에너지가 가해지면 최외각 전자는 원자의 들뜬 상태는 물론, 에너지 준위가 훨씬 높은 이온의 들뜬 상태까지 올라가게 된다. 이와 같이 플라즈마의 열 에너지에 의해 들뜬 원자 상태 혹은 들뜬 이온 상태까지 도달된 전자들은 수명이 매우 짧아 낮은 에너지 준위 상태로 되돌아오면서 방출선을 낸다. 이때, 들뜬 원자 상태에서 방출되는 복사선을 원자선(atom line, I), 들뜬 이온 상태에서 방출되는 복사선을 이온선(ion line, II)이라 한다. 이러한 방출선은 각 원소마다 고유한 특성 파장을 가지고 있어, 분광계에 의해 분리, 검출기로 그 세기를 측정하면 시료 중 원소의 존재여부 및 농도를 측정할 수 있다. 참고로, ICP에서는 원자선보다는 이온선의 세기가 훨씬 강하여 이온선을 많이 이용한다.

### 2 유도결합플라즈마발광강도측정기 - 장치 구성

유도결합플라즈마발광강도측정기는 시료 주입 장치, 광원, 분광기, 검출기, 증폭기 및 판독 장치 등으로 구성되어 있다.

### 3 유도결합플라즈마발광강도측정기 - 구성 요소별 원리 및 실제

#### 3.1. 시료 주입 장치

ICP의 시료 주입 장치는 시료 용액을 에어로졸 상태로 분무시키는 분무기(nebulizer)와 안개 상자(spray chamber)로 이루어져 있다. 분무기는 시료 용액을 작은 크기의 에어로졸로 만들 수 있어야 하며, 가능한 한 많은 양의 에어로졸을 플라즈마 속으로 보낼 수 있어야 한다. 일반적으로 시료 용액의 2~3%만이 플라즈마 속으로 주입되고 대부분 폐기되기 때문에 시료 분석시 정밀성(재현성)에 직접 영향을 미치며 검출한계에도 영향을 준다. ICP에서 많이 사용하고 있는 pneumatic 분무기에는 concentric 분무기, crossflow 분무기, babington 분무기 등이 있다. 또한 가용성 물질들을 많이 포함하고 있는 시료에 대해서는

ultrasonic 분무기를 사용하기도 한다. 안개 상자는 작고 균일한 크기의 에어로졸이 플라즈마에 주입되도록 고안된 scott형을 주로 이용한다. scott형 안개 상자는 에어로졸이 180도 회전하며, 플라즈마내로 들어가게 하여 통과 경로를 길게 함으로써 큰 에어로졸을 제거해 주고, 작고 균일한 크기의 입자만이 플라즈마에 주입되도록 만들어져 있다.

### 3.2. 광원

광원은 시료를 탈수, 해리, 증발, 원자화, 이온화, 그리고 들뜨기화시키는 곳으로서 분석 스펙트럼을 방출시킨다. ICP의 광원은 토치와 유도 코일로부터 만들어진다. 전장과 자장을 유도시켜 주는 유도 코일은 라디오 주파수 발생기로부터 전류를 공급받는다. 라디오 주파수 발생기는 석영의 결정으로 만들어진 발진기(oscillator)가 핵심 장치이며, 발진기는 직류 공급원으로부터 전류를 공급받아 주로 27.12 MHz 또는 40.68 MHz의 교류를 만들어준다. 플라즈마 토치는 주로 내부 직경이 18, 12, 1.5 mm인 3개의 동심원을 가진 석영관으로 되어있다. 용액에 불산(HF)이 존재할 시 시료 운반관을 알루미늄으로 만들기도 한다. 플라즈마의 냉각 기체는 최외각 관으로, 시료 운반 기체는 중심관으로 흐르게 된다. 가운데 관은 주로 유기 용매를 분무시켰을 때만 사용한다. 이와 같이 토치의 구조는 중심 관의 직경이 매우 작기 때문에 시료 운반 기체의 유출 속도를 냉각 기체의 유출 속도보다 매우 크게 만들어 시료 운반 기체가 플라즈마 중심부를 관통할 수 있게 만들어 준다.

### 3.3. 분광기

원소들은 원소마다 한 세트의 고유의 방출 스펙트럼들을 가지고 있는데, 시료 용액에는 여러 종류의 원소들이 있으므로 이로부터 생성된 스펙트럼들은 밀집되어 있다. 그러므로 이들 원소들의 각각을 분석하기 위해서는 가능한 한 겹치지 않도록 분광해야 한다. ICP에서 많이 이용되고 있는 분광기에는 단색화 장치(monochromator), 다색화 장치(polychromator) 및 Echelle 분광기 등이 있다. 이들 분광기에는 입구 슬릿, 렌즈, 거울, 회절발, 프리즘과 출구 슬릿 등으로 이루어져 있다.

#### 1) 단색화 장치

단색화 장치는 ICP의 광원에서 방출된 복사선을 분광시켜 원하는 분석 파장을 찾아내는 장치이다. 단색화 장치의 슬릿이나 검출기는 고정되어 있고 회절발이 회전하면서 순차적으로 연속적인 스펙트럼을 주기 때문에 sequential ICP라 한다. 각 스펙트럼선의 주사 속도와 적분 시간은 가변적이며, 각 스펙트럼에 대한 적분시간은 보통 수 초 이하이므로 짧은 시간 내에 여러 성분을 측정할 수 있다. 여기서 검출기는 보통 광전자 증배관(PMT)을 사용한다.

#### 2) 다색화 장치

다색화 장치는 입구 슬릿에 집중되는 복사선을 고정된 회절발에 의해 분산시키고, 분광된 분석선들을 초점곡선 상(Rowland circle)에 배열된 출구 슬릿에 위치한 검출기에 의해 빛의 세기를 측정한다. 보통 검출기로는 광전자 증배관을 사용하며, 10여 개로부터 60여 개의 광전자 증배관이 설치되어 있으므로 시료



용액을 한번 주입한 후 수십 성분을 동시에 분석할 수 있다. 그러므로 이 장치를 polychromator ICP 또는 multi-channel ICP(다중채널 또는 simultaneous ICP)라고 부른다. 다색화 장치는 단색화 장치에 비해 신속한 분석을 할 수 있고, 소량의 시료로도 많은 원소를 분석할 수 있는 장점이 있으나, 모든 원소들의 이상적인 분석 조건이 모두 같지 않으므로 단색화 장치에 의한 분석 결과 보다 정확도와 검출 한계가 좋지 않다. 그러므로 시료에 따라 주의하면서 다색화 장치를 활용해야 하고, routine 분석을 하는 경우는 단색화 장치로 미리 점검한 후 다색화 장치를 활용하는 것이 좋다.

### 3) Echelle 분광기

Echelle 분광기는 원래 단색화 장치의 일종이지만 낮은 groove의 Echelle 회절발과 프리즘을 사용하여 분광시킨다. Echelle 분광기는 높은 분해능과 분산능을 주기때문에 ICP의 최대 단점인 분광학적인 방해를 줄이는 데 가장 효과적이다. 그러므로 최근에 생산되는 대부분의 ICP는 Echelle 분광 방식을 사용하여 제작하고 있으며, PMT의 성능과 맞먹는 정도의 특성을 갖는 전하·이동 검출기(charge transfer detector, CTD)로 신호를 검출하고 있다.

### 3.4. 검출기 및 판독장치

ICP에 사용하고 있는 검출기에는 PMT와 photodiode array 또는 CTD가 주로 사용된다. 검출기들 중 photodiode array는 PMT의 성능에 비해 감도나 S/N ratio 등이 떨어지지만 다중 채널 ICP에서 유용하게 쓰이고 있다. 최근에는 다중 채널 ICP에서도 photodiode array와는 다른 형태인 CTD가 검출기로서 많이 이용되고 있다. CTD는 doped-silicon 조각과 여러 개의 전도성 전극 사이를 SiO<sub>2</sub> 또는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 얇은 절연층으로 막아 놓은 미세한 반도체 축전기의 배열에 의해 만들어진 것으로 charge-coupled device(CCD)와 charge-injection device(CID)로 나뉘어진다. CCD는 각 소자에서 발생한 전하를 전하 감응 증폭기로 옮겨서 측정하는 것으로, 매우 낮은 noise를 주며 감도가 좋다. CID는 소자 내에서 전하를 옮길 때 발생하는 전압 변화를 측정하는 것으로, CCD에 비해 noise가 크지만 저장된 정보를 지우지 않고 읽을 수 있는 장점 등이 있다.

## 제1절

## 원소별 측정방법

## 1 게르마늄

## 1.1. 규격

## 1) 용출규격(mg/L)

- 게르마늄 : 0.1 이하
- ※ 대상 재질
- 1-5 폴리에틸렌테레프탈레이트(poly(ethyleneterephthalate) : PET)

## 1.2. 개요

게르마늄은 폴리에틸렌테레프탈레이트 수지의 제조시 사용되는 중합 촉매로서 안티몬과 함께 주로 투명도가 높은 제품에 사용된다. 이들 촉매제는 최종 제품 중에 극히 미량으로 잔류하게 된다. 게르마늄의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	게르마늄 (germanium)
Name, symbol	germanium, Ge
Element category, number	metalloid, 32
분자량(g/mol)	72.63
CAS No.	7440-56-4
끓는점(°C)	2833
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	5.323
용융점(°C)	940

## 1.2. 분석원리

4%초산을 침출용액으로 하여 폴리에틸렌 테레프탈레이트에서 용출되는 게르마늄을 유도결합플라즈마 발광강도측정기로 측정한다.

## 1.3. 분석감도

게르마늄의 정량한계는 이용하는 분석장비의 상태 등에 따라 차이가 있을 수 있다. 게르마늄의 정량한계는 전기가열식 원자흡광광도법으로 0.002ug/mL, 유도결합플라즈마발광강도측정법에서는 0.01ug/mL로 알려져 있으며 ICP-MS를 이용할 경우 0.0001ug/mL까지 정량이 가능하다.(파장 : 265.1 nm)

## 2 납 및 카드뮴

### 2.1. 기준 및 규격

#### 1) 일반기준

- 3. 기구 및 용기·포장의 식품과 접촉하는 부분에 사용하는 도금용 주석은 납을 0.1% 이상 함유하여서는 아니된다.
- 4. 기구 및 용기·포장의 식품과 접촉하는 부분에 제조 또는 수리를 위하여 사용하는 금속은 납을 0.1% 이상 또는 안티몬을 5% 이상 함유하여서는 아니된다.
- 5. 기구 및 용기·포장의 제조 또는 수리에 사용하는 땀납은 납을 0.1% 이상 함유하여서는 아니된다.
- 8. 합성수지제 기구 및 용기·포장에 사용되는 재질은 납, 카드뮴, 수은 및 6가크롬이 100 mg/kg 이하(합계로서) 이어야 한다.

#### 2) 잔류규격(mg/kg)

- 납, 카드뮴, 수은 및 6가크롬 : 100 이하(합계로서)

※ 대상 재질

- 2. 셀로판제
- 4. 종이제 또는 가공지제
- 8. 전분제(Starch)

- 납

- 고무젓꼭지 이외의 고무제 : 100 이하
- 고무젓꼭지 : 10 이하

※ 대상 재질

- 3. 고무제

- 카드뮴

- 고무젓꼭지 이외의 고무제 : 100 이하
- 고무젓꼭지 : 10 이하

※ 대상 재질

- 3. 고무제

#### 3) 용출규격(mg/L)

- 납 : 1 이하

※ 대상 재질

- 1. 합성수지제

- 2. 셀로판제
  - 3. 고무제
  - 4. 종이제 또는 가공지제
  - 6. 목재류
  - 8. 전분제(Starch)
- 납 : 0.4 이하
- ※ 대상 재질
- 5. 금속제
- 카드뮴 : 0.1 이하
- ※ 대상 재질
- 5. 금속제

※ 유리, 도자기, 법랑

- 액체를 채웠을 때 깊이가 2.5 cm 이상인 시료의 용출규격(다만, 법랑의 경우 용량이 3 L 이상인 것은 제외한다)

유리제의 기구 및 용기·포장

용량		납(ug/mL)	카드뮴(ug/mL)
가열조리용 기구 이외의 것	용량 600 mL 미만	1.5 이하	0.5 이하
	용량 600 mL 이상 3 L 미만	0.75 이하	0.25 이하
	용량 3 L 이상	0.5 이하	0.25 이하
가열조리용 기구		0.5 이하	0.05 이하

도자기제·용기류의 기구 및 용기·포장

용량		납(ug/mL)	카드뮴(ug/mL)	비소(ug/mL)
가열조리용 기구 이외의 것	용량 1.1 L 미만	2 이하	0.5 이하	0.05 이하 (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 로서) (용기류에 한한다)
	용량 1.1 L 이상 3 L 미만	1 이하	0.25 이하	
	용량 3 L 이상	0.5 이하	0.25 이하	
가열조리용 기구		0.5 이하	0.05 이하	

법랑의 기구 및 용기·포장

용량		납(ug/mL)	카드뮴(ug/mL)
가열조리용 기구 이외의 것으로 용량 3 L 미만의 것		0.8 이하	0.07 이하
가열조리용 기구로서 용량 3 L 미만의 것		0.4 이하	0.07 이하

- 액체를 채울 수 없거나 액체를 채웠을 때 깊이가 2.5 cm 미만인 시료 또는 법랑의 경우 용량이 3 L 이상인 시료의 용출규격

		납( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	카드뮴( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
(1) 유리제의 기구 및 용기·포장		8 이하	0.7 이하
(2) 도자기제·옹기류의 기구 및 용기·포장		8 이하	0.7 이하
(3) 법랑의 기구 및 용기·포장	액체를 채웠을 때 깊이가 2.5 cm 이상으로 용량 3 L 이상의 것	1 이하	0.5 이하
	액체를 채울 수 없거나 액체를 채웠을 때 깊이가 2.5 cm 미만의 것	가열조리용 기구 이외의 것	8 이하
	가열조리용 기구	1 이하	0.5 이하

## 2.2. 개요

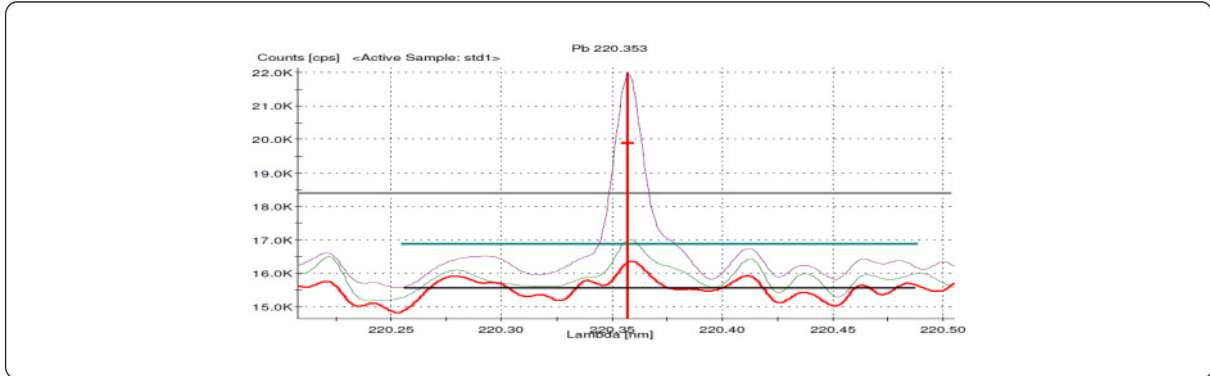
납 및 카드뮴은 무기계 안료(착색제), 촉매, 안정제, 기타 첨가제의 불순물로서 합성수지의 제조시 제품에 혼입될 우려가 있다. 모든 합성수지제에 공통적으로 설정되어있는 100 mg/kg 이하의 규격은 착색제와 안정제로 사용하기 위해서는 효과가 없는 양으로 식품용 기구 및 용기·포장에 납 및 카드뮴이 함유되어있는 착색제, 촉매, 안정제 등의 첨가제를 사용하여서는 안된다는 의미이다. 착색된 제품의 경우 규격을 초과하는 경우가 있다.

고무제품 중의 납 및 카드뮴은 배합제와 배합제의 불순물로부터 기인한다. 설정된 규격 수준의 농도에서는 배합제로서 효과가 없는 양이다. 불순물로서 가황제와 가황촉진제로 이용되는 산화아연, 충전제로 이용되는 클레이 등에 의해 혼입될 가능성이 있다. 고무젓꼭지의 경우 일반고무제의 1/10로 규격이 설정되어있다. 고무젓꼭지에 납 및 카드뮴이 혼입되는 경우는 가황제 또는 가황촉진제로 사용되는 산화아연의 불순물로 기인하는 것으로 알려져 있다. 금속제에서의 납은 도금용 주석의 불순물로서 존재했으나 현재에는 일반적으로 함유되어있지 않다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 납 및 카드뮴 모두 Group 2B(인체발암가능물질)로 분류하고 있다. 납 및 카드뮴의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

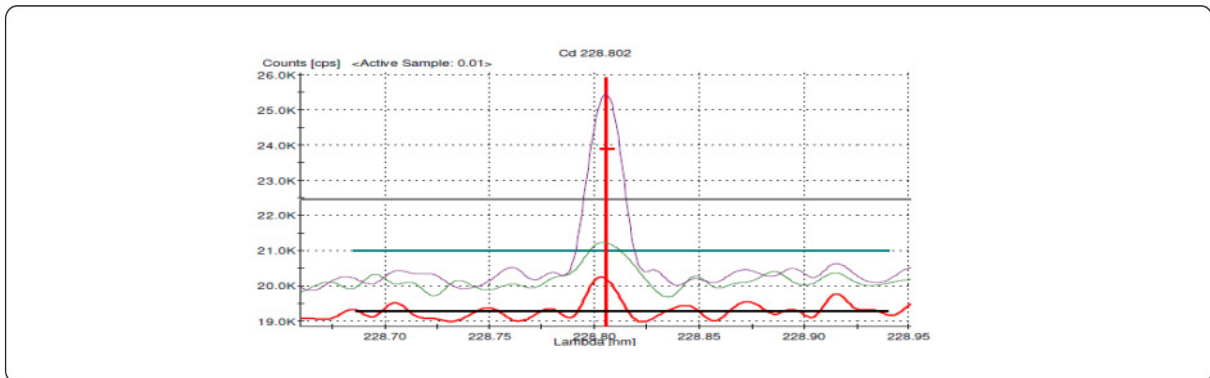
명칭	납(lead)	카드뮴(Cadmium)
Name, symbol	lead, Pb	Cadmium, Cd
Element category, number	post-transition metal, 82	transition metal, 48
분자량(g/mol)	207.2	112.411
CAS No.	7439-92-1	7440-43-9
끓는점(°C)	1749	767
비중 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	11.34	8.65

## 2.3. 분석감도

※ 납 표준용액 (0, 0.002, 0.004, 0.2 ug/mL) 스펙트럼(파장 220.4 nm)



※ 카드뮴 표준용액 (0, 0.002, 0.004, 0.02 ug/mL) 스펙트럼(파장 228.8 nm)



## 2.4. 유의점

- 1) 합성수지재 재질 시험용액 조제시 희석한 염산을 가한 후에도 산불용성의 백색 물질이 잔류할 수 있는데 이는 착색제의 기제인 황산바륨, 산화티탄 또는 충전제인 탄산칼슘일 가능성이 높다.
- 2) 시료의 회화시 금속이 휘산되는 것을 방지하기 위하여 황산을 가하여 황산염(황산납 등)의 형태로 회화를 한다. 그러나 시료 중 바륨이 함유되어 있을 경우 황산납이 황산바륨에 흡착되어 회수율이 저하될 수 있으므로 회화 후 희석한 염산을 가하고 증발건고를 시켜 시험용액을 조제한다.

## 3 니켈

### 3.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 니켈 : 0.1 이하
- ※ 대상 재질
- 5. 금속제

### 3.2. 개요

니켈은 스테인레스 동에 조성성분으로서 또는 금속제품의 코팅용 금속제품으로서 이용된다. 접촉에 따라 알려지성 피부염의 원인이 되기도 한다.<sup>1,2)</sup> 또한 스테인레스제 금속제나 용기 등으로부터 용출이 보고된 경우도 있다.<sup>3)</sup> 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 그룹 2B(인체 발암 가능물질)로 분류하고 있다.<sup>4)</sup> 니켈의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	니켈 (zinc)
Name, symbol	Nickel, Ni
Element category, number	transition metal, 28
분자량(g/mol)	58.6934
CAS No.	7440-02-0
끓는점(°C)	2913
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	8.908

### 3.2. 분석감도

니켈의 정량한계는 이용하는 분석 장비의 상태 등에 따라 차이가 있을 수 있다. 현재 우리나라 식품공전에서 금속제 중 니켈의 용출 규격은 0.1mg/L 이하이며 각각 용매를 이용하여 규격의 1/10인 0.01ug/mL 까지 정량이 가능하다.(파장 : 231.6 nm)

## 4 바륨

### 4.1. 규격

#### 1) 재질규격(mg/kg)

- 바륨 : 100 이하
- ※ 대상 재질
- 1-4 폴리염화비닐리덴(poly(vinylidene chloride) : PVDC)

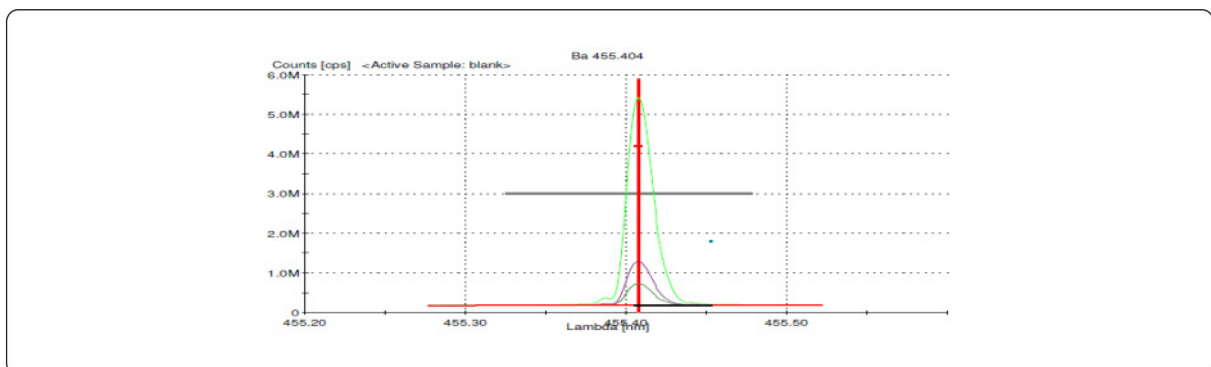
### 4.2. 개요

바륨은 폴리염화비닐리덴(PVDC) 기구 및 용기·포장 제조 시 사용된 안정제로부터 혼입될 우려가 있다. PVDC에 설정되어 있는 “바륨 : 100 mg/kg 이하”의 재질규격은 이러한 안정제로서 사용하기에는 효과가 없는 양으로, 식품용 기구 및 용기·포장 제조 시 바륨이 함유된 첨가제를 사용할 수 없도록 하기 위함이다. 바륨의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	바륨(barium)
Name, symbol	barium, Ba
Element category, number	alkaline earth metals, 56
분자량(g/mol)	137.33
CAS No.	7440-39-3
끓는점(°C)	1897
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	3.51

### 4.3. 분석감도

※ 바륨 표준용액 (0.1, 0.2, 1ug/mL) 스펙트럼(파장 : 455.4 nm)





#### 4.4. 유의점

- 1) 탄화 시에 황산을 가하면 바륨은 산불용성의 황산바륨이 되고 회수율이 떨어진다. 한편, 이 방법으로 시험용액을 조제해서 납 및 카드뮴을 측정하면 탄화 시에 폴리염화비닐리덴에서 생성한 염화수소에 의해 카드뮴이 염화물 화되어 휘발하기 쉬어지므로 회수율이 저하된다.

## 5 비소

### 5.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 비소 : 0.1 이하( $As_2O_3$ 로서)

※ 대상 재질

- 2. 셀로판제
- 4. 종이제 또는 가공지제
- 6. 목재류
- 8. 전분제(Starch)

#### 2) 용출규격(mg/L)

- 비소 : 0.2 이하( $As_2O_3$ 로서)

※ 대상 재질

- 5. 금속제

#### 3) 용출규격(mg/L)

- 비소 : 0.05 이하( $As_2O_3$ 로서)

※ 대상 재질

- 7. 유리제, 도자기제, 법랑 및 옹기류(옹기류에 한한다)

### 5.2. 개요

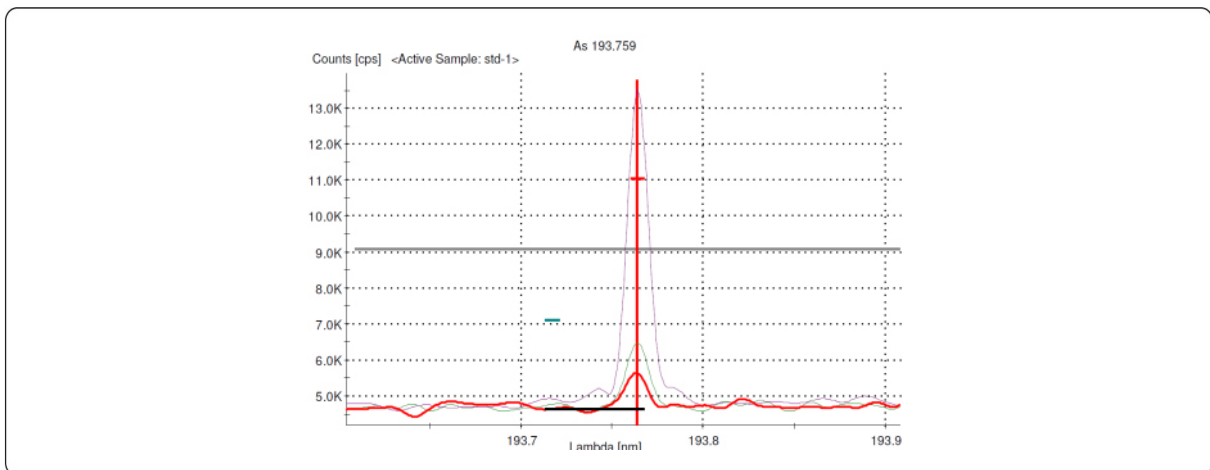
과거 펄프의 원료가 되는 목재는 각종 해충, 미생물 등의 공격에 취약하므로 보존성 향상을 위해 맹독성인 비소처리 또는 살충제 처리 등이 이루어진 예가 있다. 또한 재생용지로부터 혼입될 가능성이 있어 식품공전에서 종이제 또는 가공지제에서의 비소는 0.1 mg/L 이하로 규제하고 있다. 금속제에서의 비소는 금속 또는 도료의 불순물로서 존재할 가능성이 있는 비소의 용출을 규제하는 규격이다. 비소, 납 및 카드뮴의 규격은 금속관에서 유해한 금속류가 식품으로 이행하는 것을 규제하기 위해 설정되었다. 다만 금속관의 경우 중성 또는 알칼리성의 식품에는 침출용액으로 물을 사용하고, 산성식품에서는 기타재질에서 사용하는 4% 초산이 아닌 0.5% 구연산 용액이 사용된다. 과일통조림 등 산성의 통조림 식품의 대부분은 구연산, 사과산, 주석산 등이며 pH 3.5 정도인 것이 많다. 그러한 이유로 산성식품의 비소 용출시험에

0.5% 구연산을 사용한다. 또한, 비소화합물은 유리의 연화점을 내리는 기능이 있어 소포제로서 사용되었다. 현재 식품관계의 유리제품은 주로 자동성형기를 써서 만들어지고 있기 때문에 비소화합물의 사용은 거의 없다. 단지 용기류와 같이 수공업품에는 사용되는 것이 있으므로 비소 규격이 설정되어 있다. 발암성에 대해 국제암연구기관(IARC)에서는 Group 1(인체발암성물질)로 분류하고 있다. 비소의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

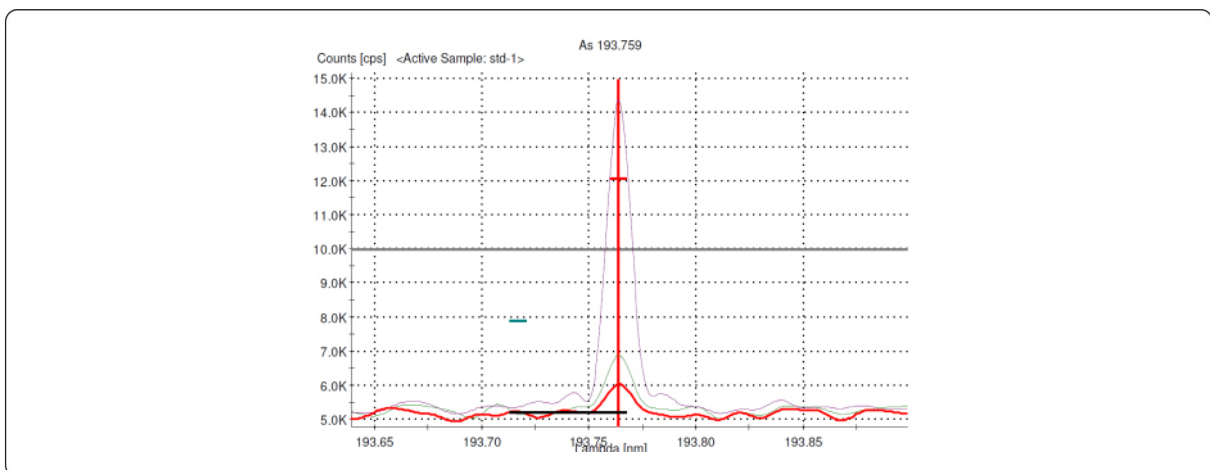
명칭	비소(Cadmium)
Name, symbol	arsenic, As
Element category, number	metalloid, 33
분자량(g/mol)	74.92160
CAS No.	7440-38-2
끓는점(°C)	615
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	5.727

### 5.3. 분석감도

※ 비소 표준용액 (0, 0.1, 0.2, 1ug/mL in D.W.) 스펙트럼(파장 : 193.7 nm)



※ 비소 표준용액 (0, 0.1, 0.2, 1ug/mL in 0.5% Citric acid) 스펙트럼(파장 : 193.7 nm)



## 5 아연

### 6.1. 규격

#### 1) 용출규격(mg/L)

- 아연
  - 고무젓꼭지 이외의 고무제 : 15 mg/L 이하
  - 고무젓꼭지 : 1 mg/L 이하

※ 대상 재질

- 3. 고무제

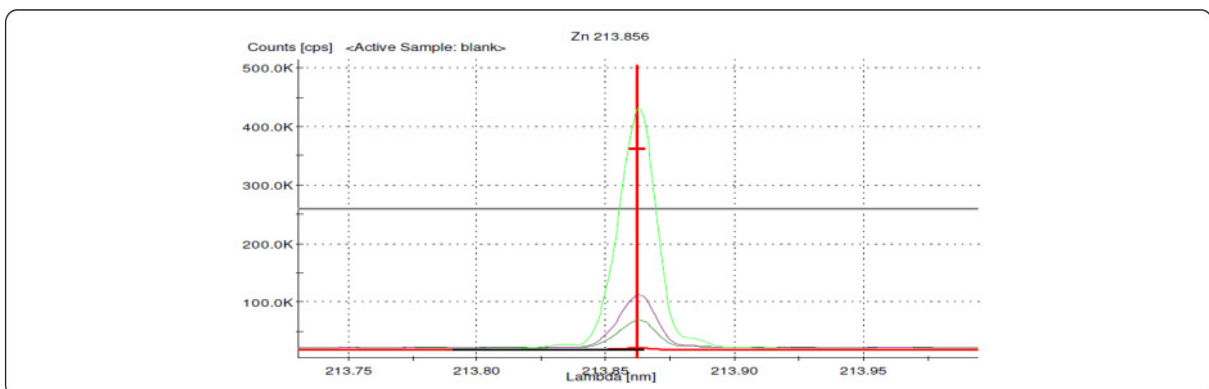
### 6.2. 개요

아연은 가황제, 가황촉진조제의 산화아연, 가황촉진제의 디에틸디티오카르바민산 아연이나 디부틸디티오카르바민산 아연 등이 고무에 대량으로 첨가되기 때문에 배합제 등의 용출지표로서 규격에 설정되었다. 고무젓꼭지의 아연 용출량은 일반 고무제의 1/15로 정해져 있다. 산화아연의 첨가량은 통상 일반 고무제에서는 3~5% 이지만 고무젓꼭지의 경우는 0.2% 이하로 알려져 있다. 아연의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	아연 (zinc)
Name, symbol	zinc, Zn
Element category, number	transition metal, 30
분자량(g/mol)	65.38
CAS No.	7440-66-6
끓는점(°C)	907
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	7.14
용융점(°C)	420

### 6.2. 분석감도

※ 아연 표준용액 (0, 0.1, 0.2, 1ug/mL) 스펙트럼(파장 : 206.2 nm)



## 7 안티몬

### 7.1. 기준 및 규격

#### 1) 일반기준

- 4. 기구 및 용기·포장의 식품과 접촉하는 부분에 제조 또는 수리를 위하여 사용하는 금속은 납을 0.1% 이상 또는 안티몬을 5% 이상 함유하여서는 아니된다.

#### 2) 용출규격(mg/L)

- 안티몬 : 0.04 이하

※ 대상 재질

- 1-5 폴리에틸렌테레프탈레이트(poly(ethyleneterephthalate) : PET)
- 1-33 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트(poly(cyclohexane-1,4-dimethylene terephthalate) : PCT)

### 7.2. 개요

안티몬은 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트(PCT) 등의 수지의 제조시 사용되는 중합 촉매로서 게르마늄과 함께 주로 투명도가 높은 제품에 사용된다. 이들 촉매제는 최종 제품 중에 극히 미량으로 잔류하게 된다. 안티몬의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

명칭	안티몬 (antimony)
Name, symbol	antimony, Sb,
Element category, number	metalloid, 51
분자량(g/mol)	121.760
CAS No.	7440-36-0
끓는점(°C)	1587
비중 (g/cm <sup>3</sup> )	6.697

### 7.3. 분석감도

안티몬의 정량한계는 이용하는 분석장비의 상태 등에 따라 차이가 있을 수 있다. 안티몬의 정량한계는 전기가열식 원자흡광광도법으로 0.002ug/mL, 유도결합플라즈마발광강도측정법에서는 0.01ug/mL으로 알려져 있으며 ICP-MS를 이용할 경우 0.0001ug/mL까지 정량이 가능하다.(파장 : 206.8 nm)

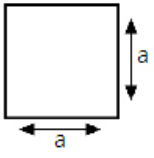
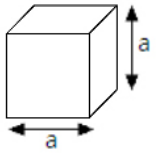
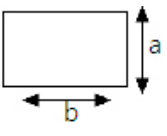
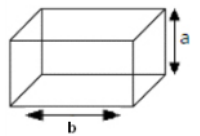
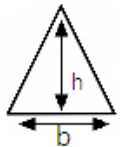
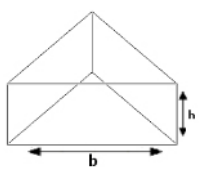
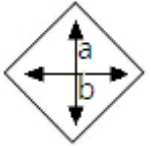
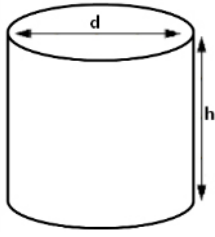
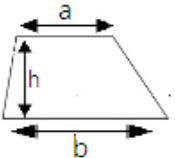
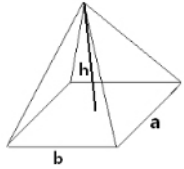
## 참 고

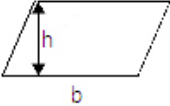
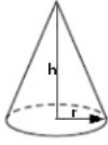
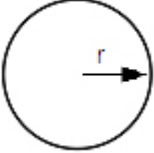
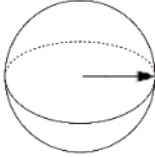
1. 표면적 계산
2. 고분자 용해도
3. 합성수지재 재질확인 데이터 수록 현황



1

표면적 계산

도형	표면적 공식	도형	표면적 공식
<p>Square</p> 	$Surface = a^2$	<p>Cube</p> 	$S = 6a^2$ a = 정육면체 각 모서리의 길이
<p>Rectangle</p> 	$S = ab$	<p>Rectangular solid</p> 	$S = 2ab+2bc+2ac$ $= 2(ab+bc+ca)$ a,b,c = 세 모서리의 길이
<p>Triangle</p> 	$S = bh/2$	<p>Prism</p> 	$S = 2b+Ph$ (b는 밑변 넓이, P는 밑변의 둘레)
<p>Diamond</p> 	$S = (ab)/2$	<p>Cylinder</p> 	Lateral surface area $S = \pi dh$ $S = 2\pi rh+2\pi r^2$ S = 윗변과 밑변의 면적 + 옆면의 면적 $S = 2(\text{밑변의 면적}) + (\text{밑변의 둘레}) \times \text{높이}$ h = 원기둥의 높이 r = 밑변의 반지름
<p>Trapezoid</p> 	$S = 1/2[\text{밑변}+\text{윗변}] \times \text{높이}$ $S = h(a+b)/2$	<p>Pyramid</p> 	$S =$ 마주보는 삼각형의 모든 넓이의 합에 밑면의 넓이를 더함. 마주보는 삼각형의 넓이는 밑면의 모양에 따라 다른 형태를 가진다. b는 밑면의 넓이

도형	표면적 공식	도형	표면적 공식
Parallelogram 	$S = \text{밑변} \times \text{높이}$ $S = bh$	Cone 	$S = \pi r^2 + \pi rs$ $S = \pi r^2 + \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$
Circle 	$S = \pi r^2$ $r = \text{원의 반지름}$ (원의 중심에서 경계에 이르는 선분)	Sphere 	$S = 4\pi r^2$



2

고분자 용해도

구분		Solvent	Non-solvent
<b>1. 올레핀계</b>			
가.	에틸렌-초산비닐 공중합체 Ethylene-vinylacetate copolymer (EVA)	toluene, THF, butanone, TCB, DMF	water
나.	폴리메틸펜텐 Polymethylpentene (PMP)	100°C 이상: Cyclohexane, tetralin, decalin, xy- lenes, chlorobenzene	20°C: 거의 모든 유기용매
다.	폴리부텐 Polybutene-1 (PB-1)	ODCB, TCB 80°C 이상: hydrocarbons, halogenated hydro- carbons, higher aliphatic esters, ketones, di-n-amyly ether 100°C 이상: benzene, toluene, decalin, tetralin, chloroform, chlorobenzenes	상온: 거의 모든 유기용매
라.	폴리비닐알코올 Polyvinylalcohol (PVA)	water, alcohols	거의 모든 유기용매
마.	폴리에틸렌 Polyethylene (PE)	80°C 이상: hydro carbons, halogenated hydro carbons, ketones, higher aliphatic	상온: 대부분의 유기용매에 녹지 않음, 극성 용매에는 고온에서도 잘 녹지 않음
바.	폴리프로필렌 polypropylene (PP)	esters	
<b>2. 에스테르계</b>			
가.	경화폴리에스테르수지 Cross-linked polyester resin	THF, DMF, toluene, TCB, HFIP, m-cresol	-
나.	부틸렌숙시네이트 공중합체 Butylenesuccinate- copolymer (PBS)	dichloromethane	-
다.	부틸렌숙시네이트-아디페이트 공중합체 Butylenesuccinate-adipate copoly- mer (PBSA)	chloroform, OCP, THF	water, 유기용매
라.	폴리부틸렌테레프탈레이트 Polybutyleneterephthalate (PBT)	염기성에 약함.	water, 대부분의 용매
마.	폴리시클로헥산-1,4- 디메틸렌테레프탈레이트 Polycyclohexane-1,4-dimethylene terephthalate (PCT)	-	-
바.	폴리아릴레이트 Polyarylate (PAR)	100°C 이상: N-methyl-2-pyrrolidinone, N,N-dimethylacetamide, N, N-di-	상온: 대부분의 유기용매에 녹지 않음

	구분	Solvent	Non-solvent
		methylformamide, m-cresol, pyridine, chloroform	
사.	폴리에틸렌나프탈레이트 Polyethylenenaphthalate (PEN)	phenol, o-dichlorobenzene	water
아.	폴리에틸렌테레프탈레이트 Polyethyleneterephthalate (PET)	chloral hydrate, phenol, phenol/tetrachloroethane(1:1 vol.), phenol/2,4,6-trichlorophenol(10:7 vol.), chlorophenol, nitrobenzene, DMSO(hot), halogenated aliphatic carboxylic acids	hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons, aliphatic alcohols, ketones, carboxylic esters, ethers
자.	폴락타이드 Polylactide, polylactic acid (PLA)	chloroform, dichloromethane, THF, DMF	water, alcohols, ethers
차.	폴리카보네이트 Polycarbonate (PC)	Partially soluble in acetone, benzene, toluene, dissolves in hot benzene-toluene benzene, chloroform, acetone	ethanol, ether
카.	히드록시부틸폴리에스테르 Hydroxybutyl polyester (HBP)	chloroform, trichloroethylene, 2,2,2-Trifluoroethanol, dimethylformamide, ethylacetoacetate, triolein, camphor, glacial acetic acid, methylene chloride, 1,1,2,2-tetrachloroethane, triacetin, dichloroacetic acid, propylene carbonate, 1,2-dichloroethane partially soluble in: dioxane, toluene, octanol, pyridine, benzene, xylene, aniline, oleic acid, dibutylphthalate	n-Hexane, carbon tetrachloride, acetone, ethyl acetate, diethyl ether, methanol, ethanol, isopropanol, n-butanol, methylal
타.	히드록시안식향산폴리에스테르 (hydroxybenzoic acid polyester)	할로겐화 탄화수소(디클로로메탄, 클로로포름, 1,2-디클로로에탄, 1,1,2,2-테트라클로로에탄 및 0-디클로로벤젠), 페놀 할라이드(p-클로로페놀, 펜타클로로페놀 및 펜타플루오로페놀, 에테르(디에틸에테르, 테트라히드로푸란, 1,4-디옥산), 케톤( 아세톤 및 시클로헥사논) 에스테르(에틸 아세테이트 및 $\gamma$ -부티로락톤) 카르보네이트(에틸렌 카르보네이트 및 프로필렌 카르보네이트) 아민(트리에틸아민), 질소-함유 헤테로시클릭 방향족 화합물(피리딘), 니트릴(아세토니트릴 및 숙시노니트릴), 아마이드계 용매(아미드 결합을 갖는 유기 용매(N,N-디메틸포름아미드, N,N-디메틸아세트아미드 및 N-메틸 피롤리돈), 우레아 화합물(테트라메틸우레아), 니트로	-

구분		Solvent	Non-solvent
		화합물(니트로메탄 및 니트로벤젠), 황 화합물(디메틸 술폰사이드 및 술폰란, 인 화합물(헥사메틸인산 아마이드 및 트리-n-부틸인산), 상기 유기 용매들 중 2종 이상을 조합하여 사용	
<b>3. 스티렌계</b>			
가.	메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체 Methylmethacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (MABS)	toluene, THF, DMF	-
나.	아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체 Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS)	toluene, ethylene dichloride, partially in benzene, DMF, DMSO, THF	-
다.	아크릴로니트릴-스티렌 공중합체 acrylonitrile-styrene copolymer (AS)	toluene, ethylene dichloride, partially in benzene, DMF, DMSO, THF	-
라.	폴리메타크릴스티렌 Polymethacrylstyrene (MS)	ODCB, toluene, THF, chloroform	-
마.	폴리스티렌 Polystyrene (PS)	cyclohexane(35°C), cyclohexane/acetone, dichloronaphthalene/diethyl oxalate, benzene, ethylbenzene, lower chlorinated aliphatic hydrocarbons, phenol/acetone, THF, dioxane, MEK, cyclohexanone, glycol formal, ethyl acetate, dimethyl, phthalate, 1-nitropropane, carbon disulfide, tributyl phosphate, phosphorus trichloride	saturated hydrocarbons, alcohols, phenol, diols, ethylene chlorohydrin, 1,2,3,4-tetrafluorobenzene(10°C 이하), diethyl ether, glycol ethers, acetone, acetic acid, isobutyl phthalate, tri(chloroethyl) phosphate, tricresyl phosphate
<b>4. 아민계</b>			
가.	폴리아미드 Polyamide (PA)	Ny 6: m-cresol, chlorophenol, formic acid, acetic acid, trichloroacetic acid, ethylene carbonate, sulfuric acid, phosphoric acid, HMPT Ny 66(상온): trifluoroethanol, trichloroethanol, phenols, chloral hydrate, formic acid, chloro-acetic acids, HF, HCl, methanol, liquid sulfur dioxide, sulfuric acid, phosphoric acid, as-saturated solutions of alcohol-soluble salts(calcium chloride,	Ny 6: hydrocarbons, chloroform, alcohols, ethers, ketones, esters Ny 66: hydrocarbons, aliphatic alcohols, chloroform, dimethyl ether, aliphatic ketones & esters 알칼리에 저항

구분		Solvent	Non-solvent
		magnesium chloride in methanol) Ny 66(120~180°C): benzyl alcohol, ethylene chlorohy- drin, 1,3-chloropropanol, 2-bu- tene-1,4-diol, diethylene glycol, acetic acid, formamide, N-ace- tylmorpholin, DMSO	
나.	폴리우레탄 Polyurethane (PU)	phenol, m-cresol, formic acid, sulfuric acid	saturated hydro- cabons, alcohols, ether
다.	폴리이미드 Polyimide (PI)	DMAC, DMF	거의 모든 유기용매
<b>5. 아크릴계</b>			
가.	아크릴수지 Acrylic resin	acetone, benzene, toluene, ethyl- ene dichloride	-
나.	이오노머수지 Ionomeric resin	alcohols	toluene, xylene, THF
다.	폴리아크릴로니트릴 Polyacrylonitrile (PAN)	dioxane, ethylen carbonate, DMSO, chloroacetonitrile, dimethyl phosphite, dimethyl sulfone, sul- furic acid, nitric acid, DMF	hydrocarbons, chlorinated hydro- cabons ketones, diethyl ether, aceto- nitrile
<b>6. 알데히드계</b>			
가.	멜라민수지 Melamineformaldehyde (MF)	water, alcohol, pyridine, formalin, formic acids	-
나.	요소수지 Ureaformaldehyde (UF)	저분자량: alcohol, water 중간분자량: pyridine, formalin, formic acid, dil. & conc. acids 고분자량: 녹지않음	-
다.	페놀수지 Phenolformaldehyde (PF)	Novolaks(저분자량): hydrocarbons, diethyl ether, ace- tone, esters, THF, chloroform final resins(고분자량): molten phenols(with some de- composition), THF, TCB	final resins(고분자량): 거의 모든 유기용매, alcohol, water(sw), dil. acids(sw), dil. alkalies(sw)
라.	폴리아세탈 Polyacetal, polyoxymethylene (POM)	HFIP, DMAC, hot water, chlor- ophenol(70°C 이상)	alcohols, ether

구분		Solvent	Non-solvent
<b>7. 에테르계</b>			
가.	폴리아릴설펜 Polyarylsulfon (PASF)	dimethyl formamide and dimethyl acetamide, N-methyl-2-pyrrolidone, DMSO, tetracarboxylic sulphoxide	-
나.	폴리에테르에테르케톤 Polyetheretherketone (PEEK)	m-terphenyl, pyrene, fluoranthene, diphenyl sulfone	polyphosphoric acid, pentafluorophenol
다.	폴리에테르설펜 Polyethersulfone (PES)	cyclohexanone, trichloroethylene, acetone, concentrated sulfuric acid, concentrated nitric acid	acetic acid, boric acid, ammonia, benzene, cyclohexane, hydrogen peroxide, hydrogen sulfide, benzoic acid, trichloroethane
라.	폴리페닐렌설파이드 Polyphenylene sulfide (PPS)	-	200°C 이하: 어떠한 용매에도 녹지 않음
마.	폴리페닐렌에테르 Polyphenyleneether (PPE)	dichloromethane, dichloroethane, chloroform, carbon tetrachloride	ethanol, acetone, water
<b>8. 염화비닐계</b>			
가.	폴리염화비닐 Polyvinylchloride (PVC)	고분자량: toluene, acetone/carbon disulfide, methylethyl ketone, cyclopentanone, cyclohexanone, DMF, nitrobenzene, DMSO 저분자량: ethylene chloride, perchloroethylene/acetone, 1,2-dichlorobenzene, dioxane, diisopropyl ketone, mesityl oxide, isophorone, nitrobenzene, HMPT, tricresyl phosphate Cl 63% 함유: aromatic hydrocarbons, chloroform, chlorobenzene, THF, dioxane, acetone, cyclohexanone, butyl acetate, nitrobenzene, DMF, DMSO	저분자량: hydrocarbone, vinyl chloride, alcohols, aniline(sw), acetone(sw), carboxylic acids, acetic anhydride(sw), esters, nitroparaffins(sw), carbon disulfide, non-oxidizing acids, conc. alkalis Cl 63% 함유: aliphatic & cycloaliphatic hydrocarbons, carbon tetrachloride, methyl acetate, nitromethane, organic & inorganic acids
나.	폴리염화비닐리덴 Polyvinylidene chloride (PVDC)	THF(hot), tetralin(hot), trichloroethane, 1,2-dichlorobenzene, tetrahydrofurfuryl alcohol, dioxane, cyclohexanone, DMA, butyl acetate, DMF, N-methylpyrrolidone, benzonitrile	hydrocarbons, chloroform, ethyl bromide, alcohols, phenols, THF(cold, sw), dioxane(cold, sw), cyclohexanone (cold, sw), carbon disulfide, alkalie(except ammonia)

	구분	Solvent	Non-solvent
<b>9. 기타</b>			
가.	불소수지 Fluoro resins (FR)	350°C이상: perfluorokerosene	-
나.	에폭시수지 Epoxy resin	-	거의 모든 용매
다.	폴리케톤 polyketone (PK)	Hexafluoroisopropanol(TFA)	대부분의 유기용매에 녹지 않음

3

합성수지재 재질 확인 데이터 수록 현황

물질명(43종)			2013	2021		
			FT-IR	FT-IR	NMR	Pyrolysis GC
<b>1-1. 올레핀계</b>						
가	에틸렌-초산비닐 공중합체	EVA	○	○	-	-
나	폴리메틸펜텐	PMP	○	○	-	-
다	폴리부텐	PB-1	○	○	-	-
라	폴리비닐알코올	PVA	○	○	-	-
마	폴리에틸렌	PE	○	○	○	○
바	폴리프로필렌	PP	-	○	○	○
<b>1-2. 에스테르계</b>						
가	경화폴리에스터수지	-	-	○	-	-
나	부틸렌속시네이트 공중합체	PBS	-	○	-	-
다	부틸렌속시네이트-아디페이트 공중합체	PBSA	-	-	-	-
라	폴리부틸렌테레프탈레이트	PBT	○	○	○	○
마	폴리시클로헥산-1,4-디메틸렌테레프탈레이트	PCT	-	○	○	○
바	폴리아릴레이트	PAR	-	○	-	-
사	폴리에틸렌나프탈레이트	PEN	○	○	-	-
아	폴리에틸렌테레프탈레이트	PET	○	○	○	○
자	폴리락타이드	PLA	-	○	○	○
차	폴리카보네이트	PC	○	○	○	○
카	히드록시부틸폴리에스테르	HBP	-	○	-	-
타	히드록시안식향산폴리에스테르	-	-	-	-	-
<b>1-3 스테린계</b>						
가	메틸메타크릴레이트-아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체	MABS	-	○	-	-
나	아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체	ABS	-	○	○	○
다	아크릴로니트릴-스티렌 공중합체	AS	○	○	-	-
라	폴리메타크릴스티렌	MS	-	○	-	-
마	폴리스티렌	PS	○	○	○	○
<b>1-4 아민계</b>						
가	폴리아미드	PA	○ (Nylon6, Nylon66, Nylon11, Nylon12)	○ (Nylon6, Nylon66, Nylon11, Nylon12)	○	○
나	폴리우레탄	PU	-	○	○	○
다	폴리아미드	PI	-	○	○	○

물질명(43종)			2013	2021		
			FT-IR	FT-IR	NMR	Pyrolysis GC
<b>1-5 아크릴계</b>						
가	아크릴수지	-	O (PMMA)	O	O	O
나	이오노머수지	-	-	O	-	-
다	폴리아크릴로니트릴	PAN	-	O	-	-
<b>1-6 알데히드계</b>						
가	멜라민수지	MF	O	O	O	O
나	요소수지	UF	-	O	-	-
다	페놀수지	PF	-	O	-	-
라	폴리아세탈	POM	-	O	-	-
<b>1-7 에테르계</b>						
가	폴리아릴설폰	PASF	-	O	-	-
나	폴리에테르에테르케톤	PEEK	-	O	-	-
다	폴리에테르설폰	PES	O	O	-	-
라	폴리페닐렌설파이드	PPS	-	O	-	-
마	폴리페닐렌에테르	PPE	O	O	-	-
<b>1-8 염화비닐계</b>						
가	폴리염화비닐	PVC	O	O	O	O
나	폴리염화비닐리덴	PVDC	O	O	-	-
<b>1-9 기타</b>						
가	불소수지	FR	O (Teflon)	O	O	O
나	에폭시수지	-	-	O	-	-
다	폴리케톤	-	-	O	-	-