

# 10 고분자

- 10.1 중합 : 작은 것으로부터 큰 것을 만드는 것
- 10.2 폴리에틸렌 : 영국 전투에서부터 빵 봉지까지
- 10.3 부가 중합반응 :  $1+1+1+\dots$ 은 1이다!
- 10.4 고무와 다른 탄성체
- 10.5 축합 중합체
- 10.6 고분자의 성질
- 10.7 플라스틱과 환경



일상생활에서 가장 많이 활용되는 물질이 고분자 물질이다. 단순히 플라스틱이라고 부르는 물질은 고분자 물질이다. 고분자 물질은 인류의 문명 수준을 한 단계 높였으며, 특히 우리와 같이 천연자원이 부족한 국가에서는 필수적인 산업이다.

## 연소와 불연소

- 실생활에서의 고분자 물질  
: 전화, 칫솔, 피아노 건반 등에서  
카펫, 커튼, 장식품, 수건, 책, 가구, 대부분의 장난감과 용기들  
먹는 음식 등
- 플라스틱(합성 고분자)  
: 병, 전화, 계산기, 컴퓨터, 요리기구, 전선 절연재,  
선글라스, 펜, 포장재 등 대부분의 소비재에 쓰임
- 고분자의 재료 : 석유에서 공급됨  
⇒ 재활용하는 것이 중요함



과거에는 생활에 필요한 재료를 자연에서 구하였으나, 지금은 화학반응을 이용하여 인공적으로 합성하여 만들고 있다. 주위를 살펴보면 거의 대다수 물건들이 합성한 재료로 만들어 졌다는 것을 알 수 있다. 가장 대표적인 것이 플라스틱 제품이다. 이것은 석유로부터 만든다. 화학공업의 대표적인 산업이다.

## 10.1 중합 : 작은 것으로부터 큰 것을 만드는 것

고분자(**polymer**, 그리스어로 ‘poly’는 ‘많다’는 뜻이고 ‘meros’는 ‘부분’이라는 뜻임)

: 단위체라고 불리는 작은 분자로부터 만들어짐(=거대분자)

⇒ 때때로 수천 개의 단위체가 하나의 고분자를 만들기 위해 결합함

**중합(polymerization)** : 단위체가 고분자로 전환되는 과정

작은 분자가 합쳐져서 큰 분자를 만든다는 것이다.

**천연 고분자** : 자연에도 고분자 물질이 존재한다.

과거 고분자가 인류의 생활에 미친 영향

- 전분(단위체; 글루코오스)과 단백질(단위체; 아미노산)형태의 음식으로
- 집을 짓기 위한 목재(단위체; 셀룰로오스)로
- 모직 · 면직(단위체; 셀룰로오스) · 비단 등의 의류로

가장 놀라운 천연 고분자는 핵산임 (4종류의 핵산이 결합하여

**DNA**를 합성한다.

⇒ 각 개인을 특별하게 만드는 유전 정보를 운반함



그림 면은 거의 순수한 셀룰로오스이다. 셀룰로오스는 간단한 당 글루코오스의 천연고분자이다.

## 셀룰로이드 : 당구공과 옷깃

### 셀룰로이드(celluloid)

- : 자연적인 셀룰로오스로부터 유도된 것(ex. 면과 나무)
- ⇒ 영화필름이나 뽀뽀한 옷깃을 만드는데 사용

### 미국 발명가 하이엇(John Wesley Hyatte, 1837~1920)

- : 당구공 재료로 사용되는 상아 대체물질로
- 니트로셀룰로오스를 에틸알코올과 장뇌(camphor)로 처리하여 부드럽게 만드는 방법을 발견
- ⇒ 이 부드러운 물질은 매끄럽고 단단한 공으로 성형될 수 있었음

### 진정한 의미의 합성 고분자는 1909년에 처음 만들어짐

- ⇒ “페놀-포름알데하이드의 수지”

재미 있는 일화는 물 분자이다. 물은 수소결합으로 큰 분자를 형성하는데, 여기에는 공유결합과, 수소결합이 있다. 이것을 균일하게 만들면 물 고분자를 형성할 수 있다는 이론적 근거가 있는데... 결국은

## 10.2 폴리에틸렌 : 영국의 전투에서부터 빵 봉지까지

폴리에틸렌 : 가장 값싼 합성 고분자

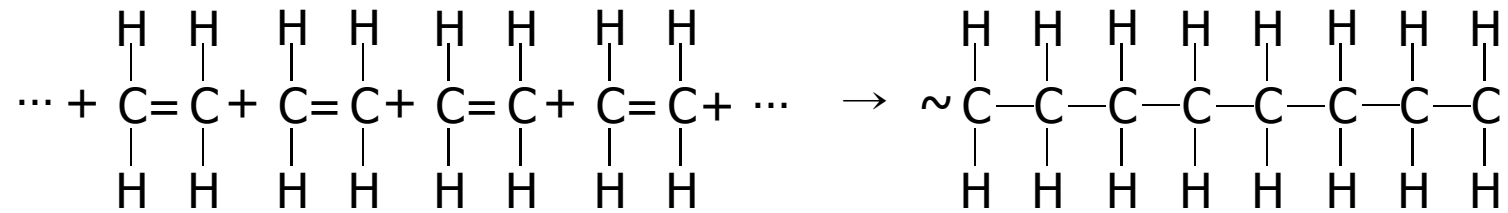
⇒ 석유를 분해 증류하는 과정에서 다량으로 생산되는 불포화탄화수소인 에틸렌( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )으로부터 만들어짐

사용용도

- 과일·야채 포장하는 플라스틱 봉투
- 드라이클리닝 후 세탁물을 보호하기 위한 보호용 덮개
- 쓰레기봉투와 많은 다른 용도

가장 깨끗하고 투명한 플라스틱. 불순물이 전혀 포함하지 않기 때문에 음식물 용기로 적합하다.

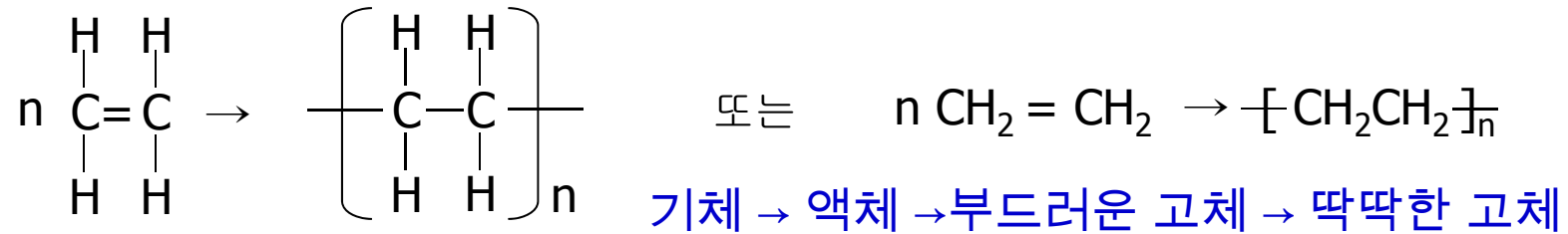
축매 존재하에서 열과 압력을 가하면 에틸렌 단위체는 결합하여 긴 사슬을 이룸



축조 구조식



간단 구조식



대괄호 안의 부분 : 고분자의 반복단위

n: 고분자 구조 안에서 반복 횟수

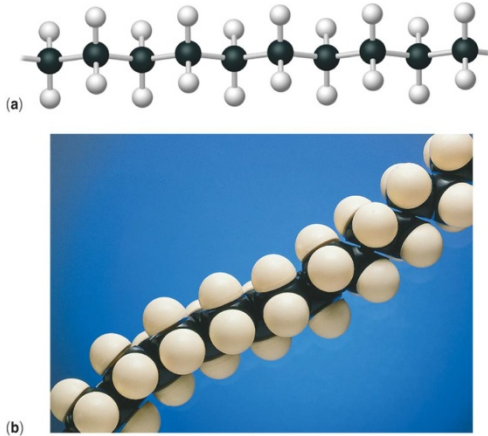


그림 10.1 폴리에틸렌 분자 일부분의 (a) 공-막대 모형과 (b)공간-채움 모형



그림 10.2 모두 폴리에틸렌으로 만들어진 2개의 병을 같은 오븐에서 같은 시간 가열하였다.

단위체인 에틸렌 : 이중결합을 가짐

폴리에틸렌 : 단일결합 (이중결합 없음) : 더 이상의 반응은 없다.

### 폴리에틸렌의 세 가지 종류

#### (1) 고밀도 폴리에틸렌(high-density polyethylenes, HDPEs)

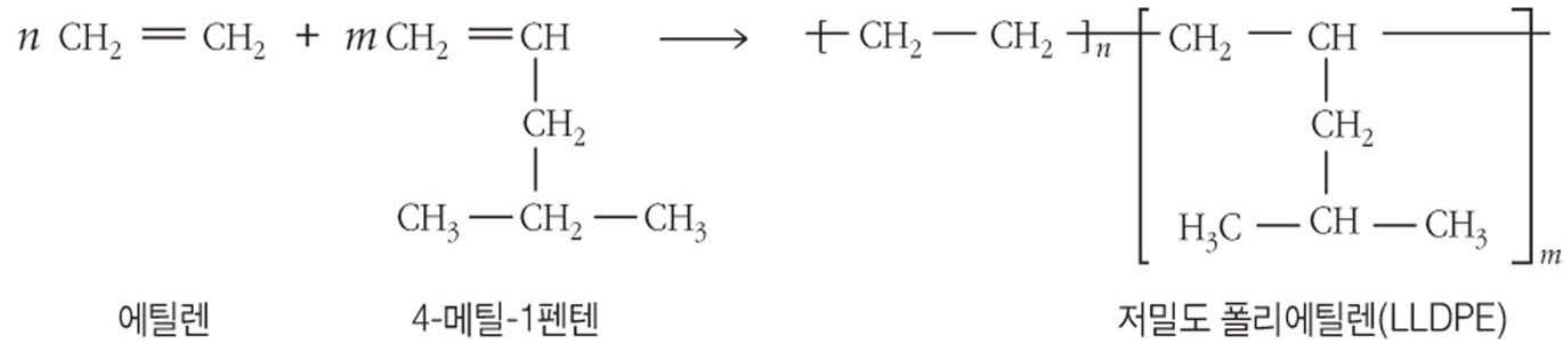
- 선형분자로서 질서 있는 결정구조를 가짐
- 단단하고 좋은 장력을 가짐
- 병뚜껑, 장난감, 병, 우유 용기 등에 사용됨

#### (2) 저밀도 폴리에틸렌(low-density polyethylenes, LDPEs)

- 가지를 친 많은 부사슬을 가짐
- 유연하고 구부릴 수 있음
- HDPE 보다 녹는점이 낮음 ⇒ 물체는 심하게 변형됨
- 플라스틱 봉지, 필름, 내용물을 짜내서 쓰는 병, 전기 절연재와 유연성이 요구되는 많은 가정용품

(3) 선형 저밀도 폴리에틸렌(linear low-density polyethylenes, LLDPEs) (=공중합체)

- 2가지 이상의 다른 단위체를 이용하여 만들어짐
- LLDPE는 에틸렌과 4-메틸-1-펜텐 같은 가지가 달린 알켄을 중합하여 만들어짐



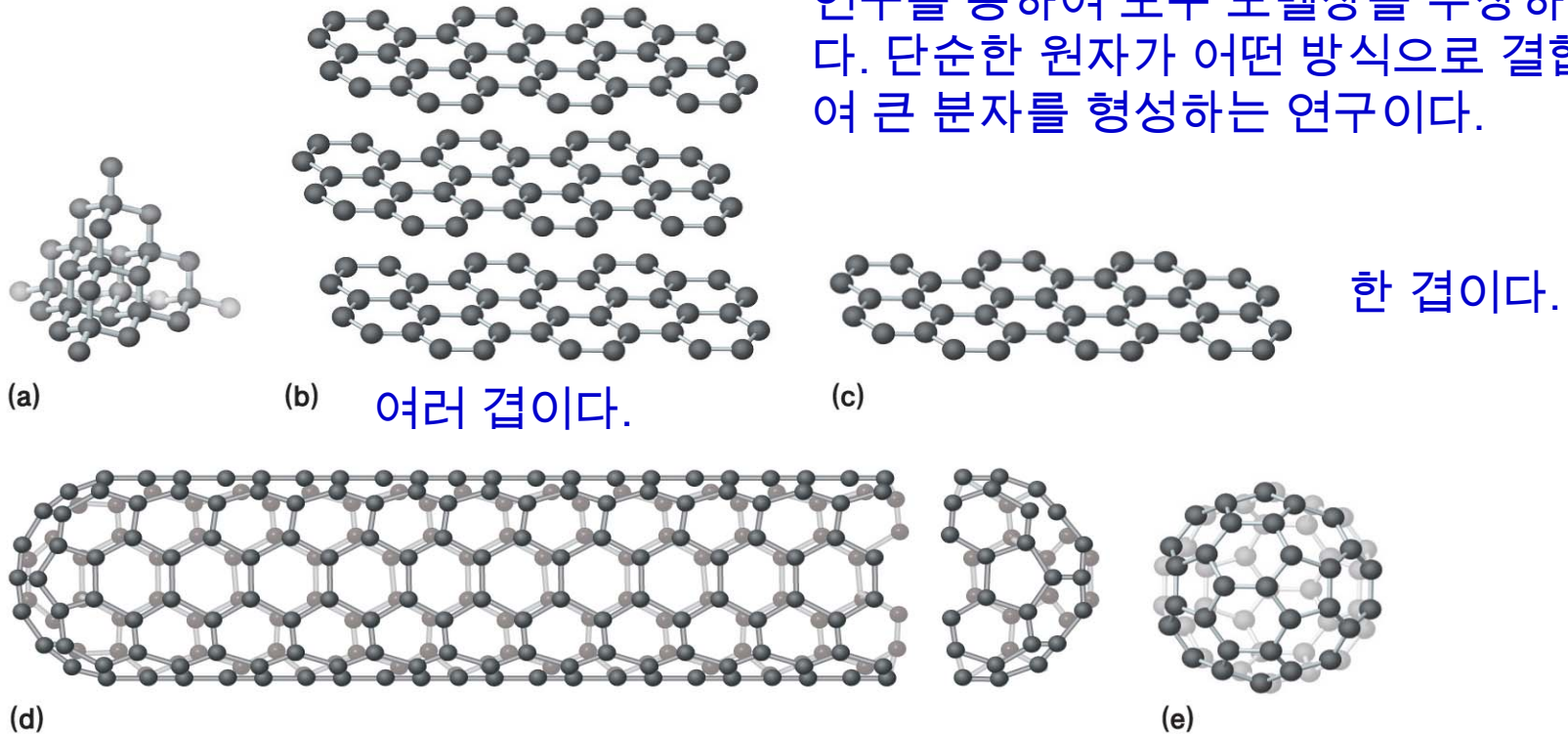
- 매립지용 비닐이나 쓰레기통, 튜브, 자동차 부품으로 사용됨

고분자 물질을 다루는 전공을 고분자학과(공학과)라고 하는데 합성과 관련된 연구는 고분자학과에서, 이미 합성된 물질을 섞어서 더 좋은 성질을 가지는 물질을 가공하는 연구는 공학과에서 수행한다. 2개의 다른 물질을 섞어 새로운 물질을 만든다.



## 탄소의 다양한 형태

탄소로만 구성된 고분자 물질이다. 이 연구를 통하여 모두 노벨상을 수상하였다. 단순한 원자가 어떤 방식으로 결합하여 큰 분자를 형성하는 연구이다.



**그림** 탄소는 형태에 따라 극적으로 다른 성질을 갖는다.

- (a) 다이아몬드는 단단하고 투명하다. (b) 흑연은 부드럽고 회색이며 전기를 전도한다.
- (c) 그래핀은 흑연의 한 층이다.
- (d) 그래핀을 원통으로 말면 알려진 물질 중 가장 강한 탄소 나노튜브가 된다.
- (e) 축구공을 닮은 벅민스터풀러렌, C<sub>60</sub> 분자 (자연은 생각보다 재미 있다.)

## 열가소성 고분자와 열경화성 고분자

### 열가소성 고분자(thermoplastic polymer)

- 열과 압력에 의해 부드러워지고 이 때 모양을 바꿀 수 있음
- 반복적으로 녹인 후 다시 성형이 가능함
- ex) 폴리에틸렌

### 열경화성 고분자(thermosetting polymer)

- 한번 만들어지면 영원히 굳어버리는 고분자
- 열에 의해 녹여서 재 성형 할 수 없음
- 강한 열에 의해 탈색되고 분해됨

고분자 물질을 가열하면 어떤 것은 변형이 일어나지만 어떤 것은 변형 없이 그대로 타 버린다. 이것은 열적 성질로서 열가소성, 열경화성 고분자라고 부른다.

## 10.3 부가 중합반응 : 1 + 1 + 1 + ... 은 1이다!

---

### 2가지 종류의 중합반응

#### (1) 부가 중합반응 : $A_n \rightarrow nA$

: 고분자가 고분자 생성물이 출발 단위체 모두를 갖도록 단위체 분자들이 서로 첨가된 형태 (ex. 폴리에틸렌을 형성하는 에틸렌의 중합반응)

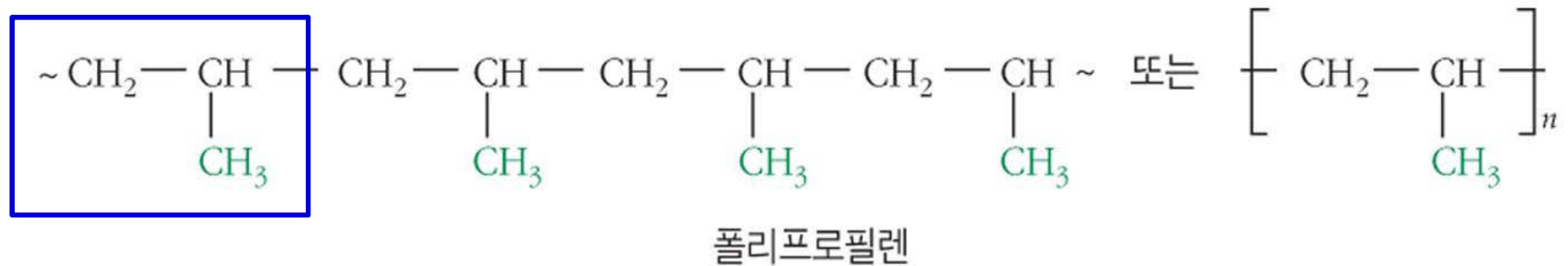
#### (2) 축합 중합반응 : $nA + nB \rightarrow nA-B + H_2O$

: 단위체 분자의 일부분이 고분자가 형성될 때 잘려나가 고분자 구조에 병합되지 않음

큰 분자로 키우는 방법에 대한 설명이다. 단순히 첨가되는 반응과 반응에서 부산물이 생성되는 반응으로 구분한다.

## 폴리프로필렌

- 에틸렌의 수소 하나를 메틸기로 치환하면 프로필렌(프로펜) 단위체가 생김
- 폴리프로필렌은 탄소를 하나씩 건너서 메틸기(CH<sub>3</sub>)가 있는 것을 제외하곤 폴리에틸렌과 같음



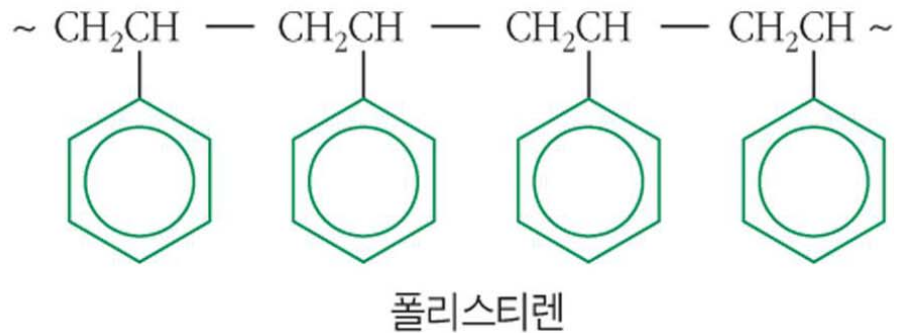
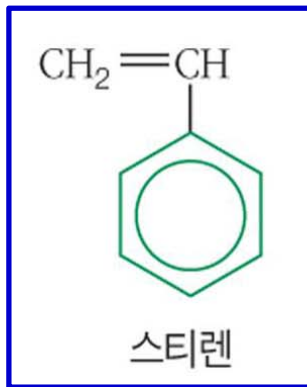
- 습기, 기름, 용매에 견뎌내는 내구성이 있는 플라스틱 물질임
- 단단한 가방, 축전지의 케이스와 다양한 기구의 부품으로 성형됨
- 사용용도 : 포장재료, 장식용 직물을 위한 섬유, 실내나 실외 카펫, 물에 뜨는 밧줄 등을 만듦
- 높은 녹는점 때문에 증기로 소독 가능

## 폴리스티렌

스티렌(styrene) : 에틸렌의 수소 하나를 벤젠 고리로 치환시킨 단위체

⇒ 화학식  $C_6H_5CH=CH_2$

스티렌의 중합반응 : 벤젠 고리가 매달린 폴리스티렌을 생성함



사용용도

- 1회용 투명 컵을 만드는데 사용
- 색과 충전물이 첨가되면 수천 가지의 값싼 장난감과 가정용 용품의 재료
- 폴리스티렌 액체에 기체가 주입되면 거품이 생기며 굳어져 아이스박스나 1회용 커피컵에 사용되는 고체 스티로폼이 됨

스티로폼 패널로 사용한다.

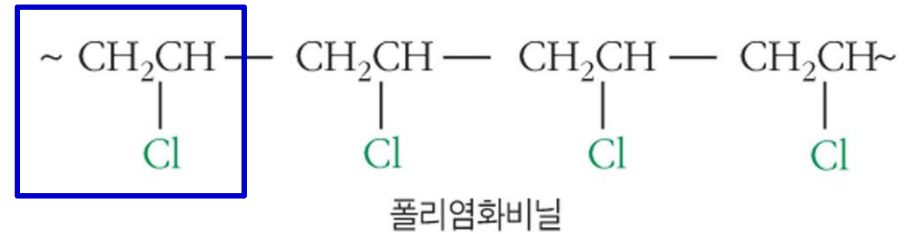
## 비닐 중합체

염화비닐 : 에틸렌의 수소 하나를 염소 원자로 치환하여 생성됨

폴리염화비닐(**polyvinyl chloride, PVC**) : 염화비닐을 중합하여 생성함

특징 : 다양한 모양으로 쉽게 성형됨

비닐 플라스틱을 만드는 단위체는  
발암물질



### 사용용도

- 플라스틱 랩이나 투명한 병을 만드는데 사용
- 색과 다른 성분을 섞으면 인조가죽이 됨
- 마루 타일, 샤워 커튼, 비닐 플라스틱이 만들어짐
- 건물 외벽이나 창문틀에 사용되는 나무 모조품에 널리 사용

열적 성질이 좋으며  
잘 부러지지 않는다.

그림 가구, 창문새시, 집의 모서리 장식, 방수 의류 등이 PVC로 만들어진다.

폴리염화비닐 고분자는 절연을 위해 구리선에 피복될 수 있고 탄력 있는 착색 마루로 만들거나 다른 친근한 소비재로 만들어질 수 있다.

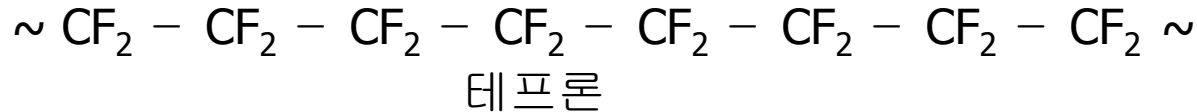


**PTFE : 달라붙지 않는 코팅**

실용성이 좋은 물질이지만 용매가 없다. 따라서 작은 입자로 가공한다.

**폴리테트라플루오로에틸렌 (polytetrafluoroethylene, PTFE)**

: 테트라플루오로에틸렌의 중합체 (상품명 : 테프론)



- PTFE는 내구성이 강하고 반응성이 없으며 인화성이 없는 물질임  
( $\because$  C - F 결합이 매우 강하고 열과 화학물질에 내구성이 있기 때문)
- 전기 절연재, 베어링, 개스킷 등을 만드는 데 사용
- 요리기구의 표면을 코팅하는데 널리 사용  
( $\because$  달라붙지 않는 성질 때문)

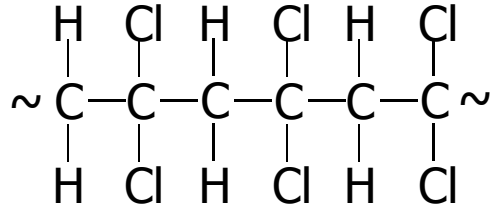


그림 프라이팬, 구이판, 요리기구들은 안정하고 붙지 않는 PTFE의 성질을 이용함

### 예제 10.1 고분자의 반복 단위

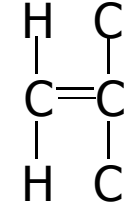
폴리염화비닐리덴(polyvinylidene)의 반복 단위는 무엇인가?

중합체의 일부분은 다음과 같다.



풀이

반복단위는



### 예제 10.2 고분자의 구조

플루오르화비닐(vinyl fluoride,  $\text{CH}_2=\text{CHF}$ )로 만들어진 고분자의 구조를 써라.

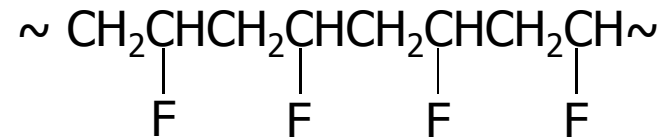
최소 4개의 반복 단위를 보여라.

풀이

사슬에 결합된 탄소 원자는 탄소 원자 사이에 단일 결합만을 갖는다.

불소 원자는 사슬에 붙은 치환제이다.

고분자 구조는 다음과 같다.





## 고분자의 가공

플라스틱(plastic) : 일상생활에서 많은 고분자

화학에서 플라스틱 물질이란? ⇒ 열과 압력에 의해 흐를 수 있는 물질

### 성형방법

#### (1) 가루를 성형하는 방법

- 압축 성형(compression molding)  
: 열과 압력이 주형 안에 있는 고분자 가루에 직접 가해짐
- 이송 성형(transfer molding)  
: 고분자 가루에 주형 밖에서 열을 가한 뒤 주형에 부어 굳게 함

#### (2) 녹은 고분자를 성형하는 방법

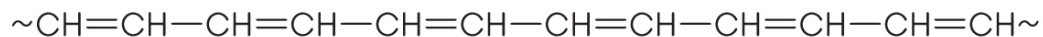
- 사출 성형(injection molding)  
: 플라스틱을 열실에서 녹인 뒤 차가운 주형으로 피스톤으로 밀어냄
- 압출 성형(extrusion molding)  
: 녹은 고분자를 금형에 밀어내어 일정한 모양의 단면을 가진 연속체로 만듦
- 취입 성형(blow- molding)  
: 녹은 고분자의 ‘방울’ 을 속이 빈 주형 안에서 풍선처럼 부

표 10.1 몇 가지 부가 중합체

단위체	고분자(중합체)	고분자 이름	용도
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	폴리에틸렌	플라스틱 백, 병, 장난감, 전기 절연체
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	폴리프로필렌	실내·실외 카펫, 병, 가방
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$	폴리스티렌	나무 가구 모조품, 단열재, 컵, 장난감, 포장재
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right]_n$	폴리염화비닐(PVC)	플라스틱 랩, 인조가죽, 배관, 물호스, 마루타일
$\text{CH}_2=\text{CCl}_2$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right]_n$	폴리비닐리덴 클로라이드(Saran)	음식 랩, 의자 덮개
$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	$\left[ \begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array} \right]_n$	폴리테트라플루오로에틸렌(Teflon)	요리기구의 코팅 재료, 전기 절연체
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CN} \end{array} \right]_n$	폴리아크릴로나이트릴 (Acrilan, Creslan, Dynel)	실, 가발, 페인트
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{OCOCH}_3$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	폴리비닐 아세테이트	접착제, 직물 코팅, 껌의 수지, 페인트
$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\   \quad   \\ \text{---C---C---} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}=\text{O}-\text{O}-\text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	폴리메틸 메타크릴레이트 (Lucite, Plexiglas)	유리 대용품, 볼링공

## 전도성 고분자 : 폴리아세틸렌 : 노벨 화학상 수상

- 아세틸렌( $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ )은 이중결합 대신 삼중결합을 가지지만 부가 중합반응을 하여 폴리아세틸렌을 생성할 수 있음
- 컨쥬게이트계(conjugated system)를 만들기 때문에 전기를 전도할 수 있음 (대부분의 고분자는 전기 절연체임)
- 전도성 고분자는 금속의 가벼운 대체재로 사용될 수 있음



일반적으로 탄화수소는 부도체이지만 이것을 잘 조절하면 전도체로 바뀐다.

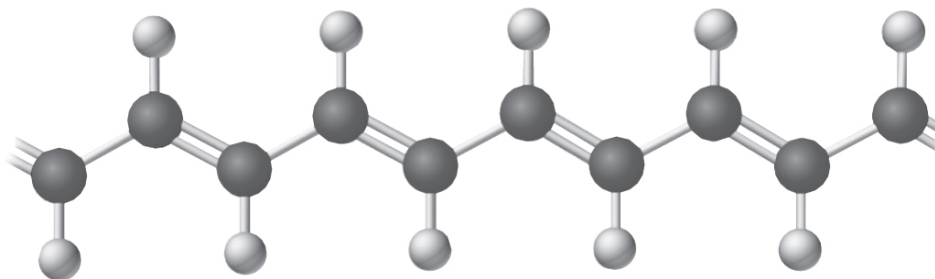
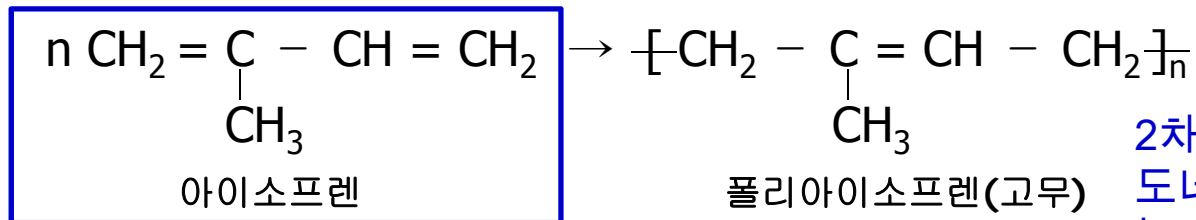


그림 10.3 폴리아세틸렌의 공-막대 모형

## 10.4 고무와 다른 탄성체

고무 : 천연고분자 ⇒ 합성 고분자 산업발전의 기초가 되었음

천연고무 : 아이소프렌(isoprene)이라고 불리는 간단한 탄화수소로 분해 될 수 있음



2차 대전시에 일본이 인도네시아를 점령한 이유는 고무 때문이다.

가황 : 교차결합

고무의 가치는 가황에 의하여 발전하였다.

가황(vulcanization)

- : 황 원자로 탄화수소 사슬을 교차 결합시킴
- ⇒ 고무의 탄성을 증가시킴
- ⇒ 이러한 물질을 탄성체(elastomer)라 함

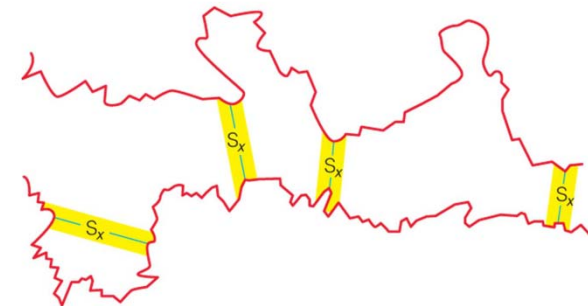


그림 10.4 가황고무는 황 원자에 의해 교차결합된 탄화수소 사슬(붉은 선)을 가짐. 첨자 x는 작고 정해지지 않은 수를 나타내는데 보통 4보다 작다.

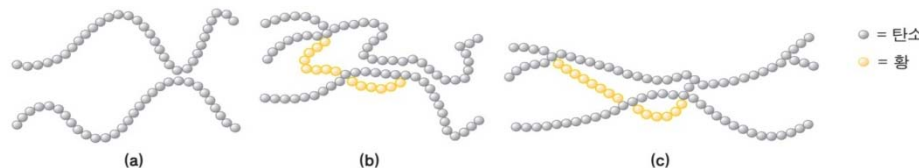
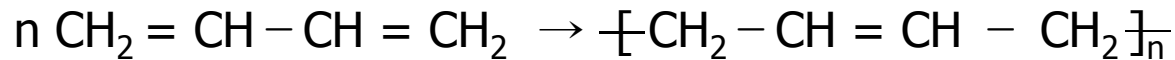


그림 10.5 고무에 가황을 하면 분자 사슬을 교차결합시킨다. (a) 가황이 안 된 고무는 고무가 늘어졌을 때 사슬들이 서로 미끄러진다. (b) 가황은 사슬들 사이에 황 교차결합을 만든다. (c) 가황고무를 늘리면 황 교차결합이 사슬이 서로 미끄러지는 것을 막는다. 가황고무는 가황이 안 된 고무보다 강함

## 합성고무

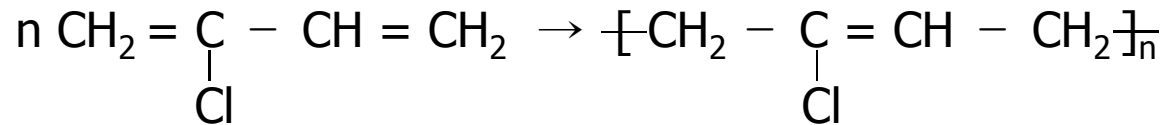
몇몇 합성 탄성체들은 천연고무와 비슷함

ex) 폴리부타다이엔 : 부타다이엔( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) 단위체로 만들어짐



ex) 폴리클로로프렌(네오프렌) : 아이소프렌과 비슷한 단위체로 만들어짐

⇒ 다른 탄성체보다 기름과 휘발유에 대한 저항성이 큼



ex) 스티렌-부타다이엔고무(Styrene-butadiene rubber, SBR)

: 스티렌(약 25%)과 부타다이엔(약 75%)의 혼성중합체임

⇒ 천연고무보다 산화와 마모에 저항성이 더 강하나

기계적 성질은 만족스럽지 않음



부타다이엔 단위

스티렌 단위

부타다이엔 단위

스티렌 단위



그림 SBR(=블록 공중합체)는 신발 밑창이나 타이어의 노면 접합부 같은 내구성이 필요한 단단한 고무에 사용됨

## 페인트에 들어 있는 고분자

탄성체의 용도 : 페인트와 코팅에 사용됨

- 수지(or 결합제) : 페인트에 들어있는 물질로 연속적인 표면 코팅을 이루도록 굳어지는 물질
- 라텍스 결합제 : 물에 분산됨 ⇒ 녹색화학의 좋은 예



그림 합성고분자는 페인트에서 결합제로 작용함

## 10.5 축합 중합체 : 물의 분리

축합 중합반응(condensation polymerization 또는 단계 중합반응)

: 물, 암모니아, HCl 같은 작은 분자가 부산물로 나옴

### 나일론과 폴리아미드

질소 때문에 태우면 고약한 냄새가 난다.

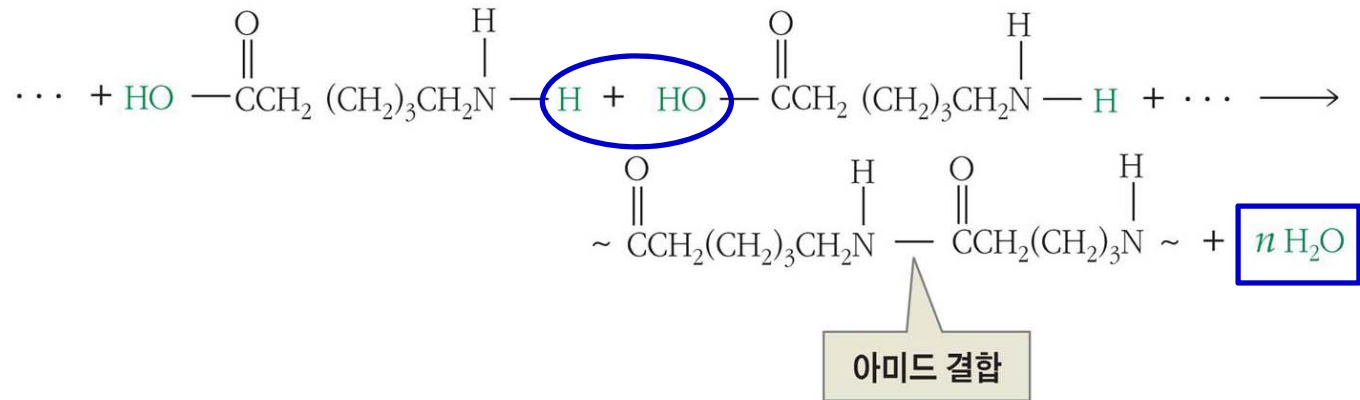
나일론 6 : 폴리아미드(polyamide)라고 함

(∵ 고분자를 하나로 묶는 결합이 아미드 결합이기 때문)

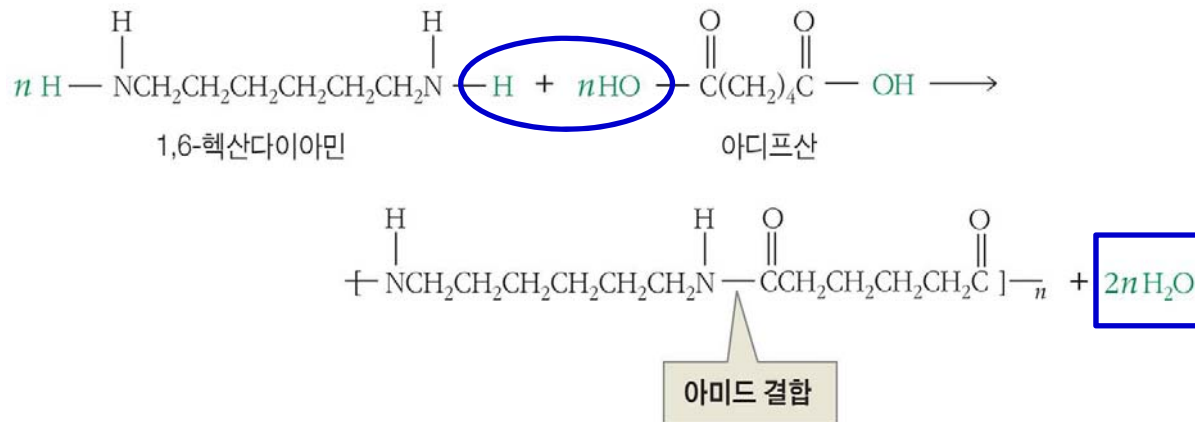
- 나일론의 단위체는 6-아미노헥산산( $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ )

: 단위체는 6탄소 카르복실산이고 6번째 탄소 원자에 아미노기가 있음

중합반응 동안 한 단위체의 카르복실기는 다른 단위체의 아민기와 아미드 결합을 형성



나일론 66 : 2가지 다른 단위체 1,6-헥산다이아민( $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ )과 아디프산( $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ )



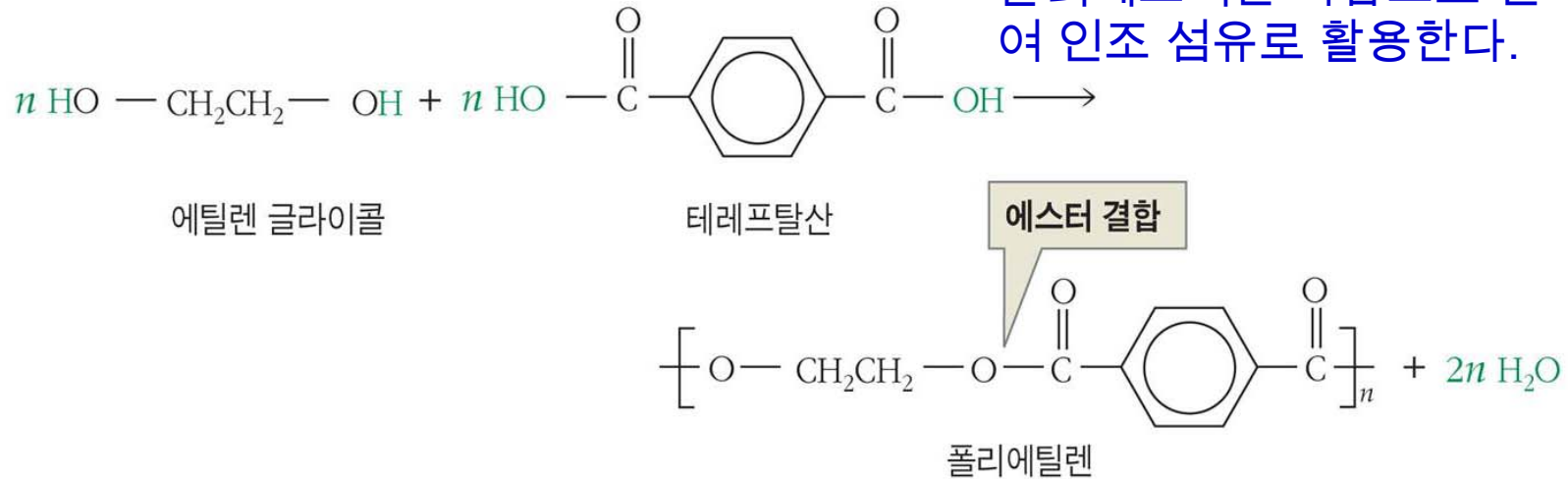
## 테레프탈산 폴리에틸렌과 폴리에스터들

폴리에스터(polyester) : 알코올과 카르복실산 작용기로 만들어진 축합 중합체

가장 일반적인 폴리에스터 : 에틸렌 글라이콜과 테레프탈산으로부터 만들어짐

⇒ 테레프탈산 폴리에틸렌(polyethylene terephthalate, PET)

폴리에스터는 축합으로 인하여  
인조 섬유로 활용한다.



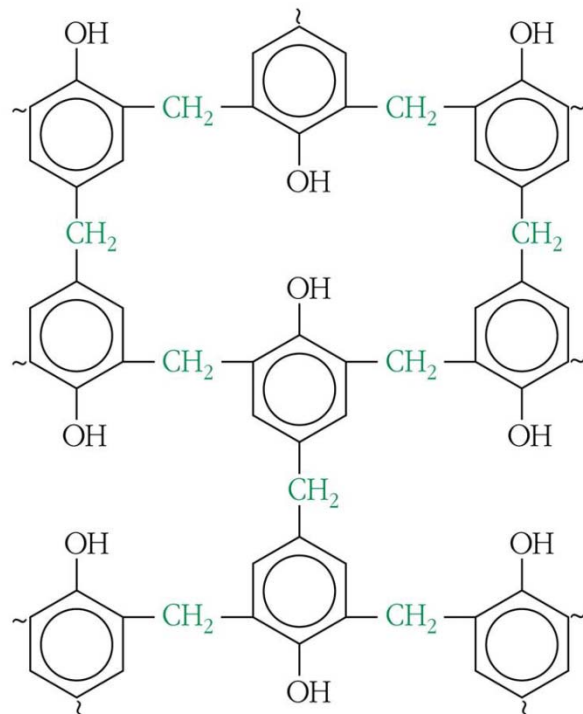
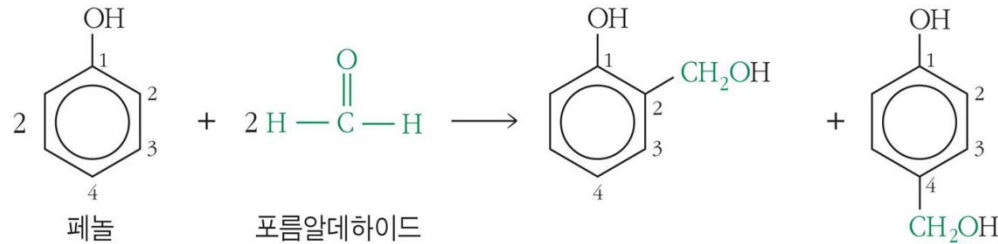
### PET의 사용용도

- 음료수나 다른 액체를 담는 병으로 구조될 수 있음
- 필름, 녹음기나 비디오테이프 같은 자기코팅테이프를 만들 수 있음



## 페놀-포름알데하이드와 연관된 수지

페놀-포름알데하이드 수지 : 물을 제거하여 생성



페놀-포름알데하이드 수지

한 때 부산은 한국 공업의 메카였고, 그 중심에 합판제조공장이었다. 나무를 **접착제**로 붙이면 합판이다.



## 열경화성 수지

- 페놀 고리가 포름알데하이드의 **CH<sub>2</sub>** 단위에 의하여 서로 연결된 것
- 높은 열을 가하여 분해

## 요소-포름알데하이드 수지

- : 포름알데하이드와 요소가 반응하여 만듦
- ⇒ 톱밥이나 나무조각 따위를 응축해서 만든 **합판**을 만들 때 나무조각을 붙이는 데 사용

## 멜라민-포름알데하이드 수지

- : 포름알데하이드와 멜라민과 반응하여 만듦
- ⇒ 플라스틱 식기와 주방용 조리대를 만드는데 사용

## 다른 축합 중합체

### 폴리카보네이트(polycarbonate)

- '유리같이 투명하고' 단단한 고분자로 **방탄유리로 사용될 정도로 튼튼함**
- 보호용 헬멧, 안전유리, 치관 등에 사용
- ex) 비스페놀 A(BPA)와 포스젠으로 만들어진 폴리카보네이트

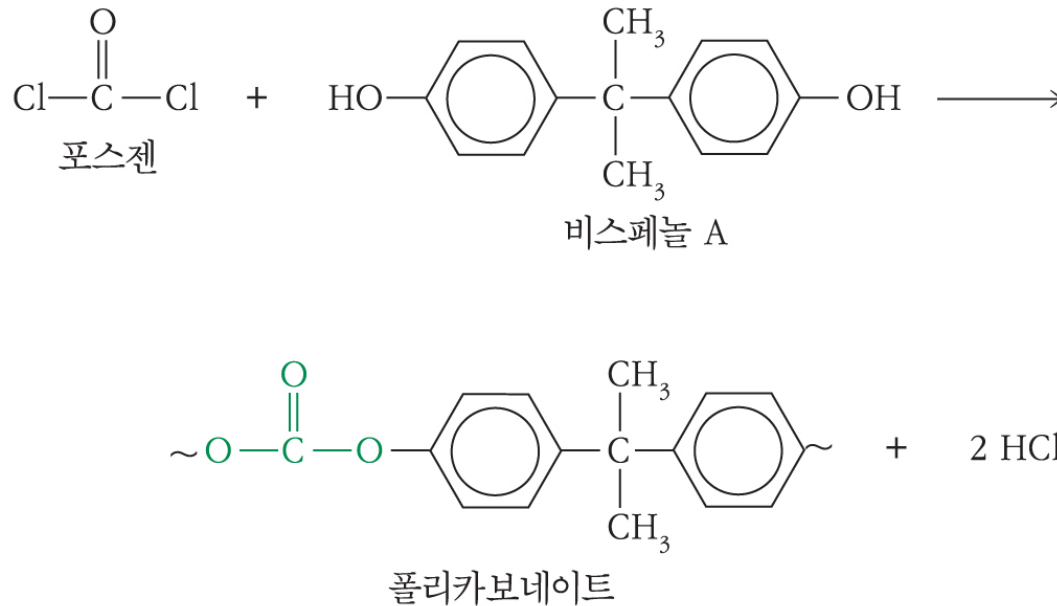
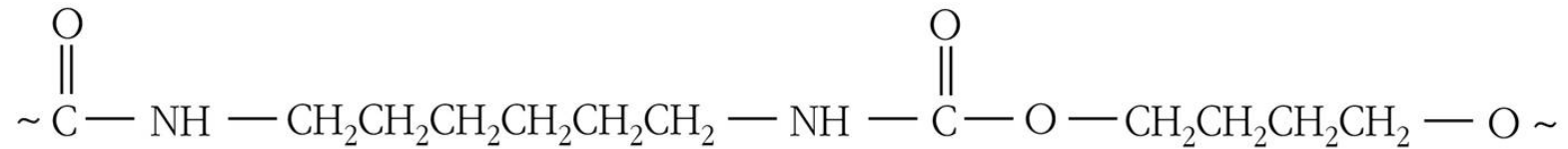


그림 비스페놀 A(BPA)는 실험동물에게 환경호르몬으로 작용한다. 낮은 용량이라도 오랜 기간 노출되면 만성적인 통증을 유발함.

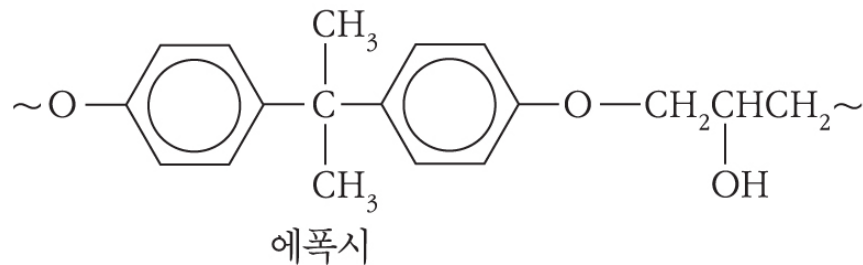
## 폴리우레탄(polyurethane)

- 나일론과 비슷한 구조를 가짐
- 쿠션, 매트리스, 충전물을 채운 가구 등의 발포 충전물로 쓰임
- 롤러스케이트의 바퀴, 운동화, 운동 보호 장비에 쓰임



## 에폭시(epoxy) 수지

- 훌륭한 표면 코팅제이며 강력한 접착제
- 고분자 사슬은 교차결합되고 결합은 매우 강함



## 복합재료

- 보통 열경화성 축합 중합체인 고분자 모체에 의하여 결합된(유리, 탄소, 합성 고분자, 도자기로 만들어진) 높은 강도의 섬유로 만들어져 있음
- 가장 일반적으로 사용되는 복합재료  
: 유리섬유로 보강된 폴리에스터 수지  
⇒ 배의 선체, 구조 의자, 자동차 계기판, 운동보호 장비, 테니스 라켓 등에 널리 사용됨

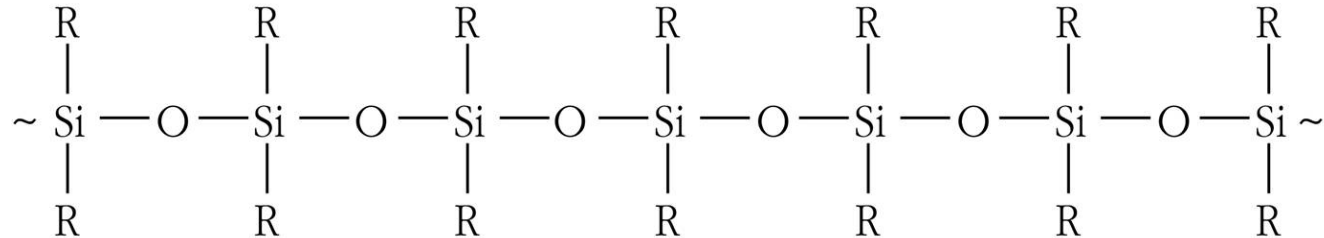


그림 탄소섬유와 에폭시를 이용한 복합 재료로 매우 강하고 가벼운 자전거 본체 (약 1kg)를 만들 수 있게 되었음

## 실리콘

### 실리콘(silicone, polysiloxane)

: 규소와 산소 원자가 번갈아가며 연속적으로 있는 고분자임



(R : 메틸, 에틸, 부틸 같은 탄화수소를 나타냄)

- 구조형태 : 선형, 고리형, 교차결합된 망상구조
- 열에 안정, 화학물질에 안정 ⇒ 훌륭한 방수재료임
- 밀폐제, 자동차 광택제, 구두약, 방수용 천 등에 사용됨
- 합성 인체조직으로 사용 : 손가락 관절, 안공, 유방 확대



그림 실리콘으로 만들어진 요리기구는 색이 예쁘고 유연하며 달라붙지 않는다.

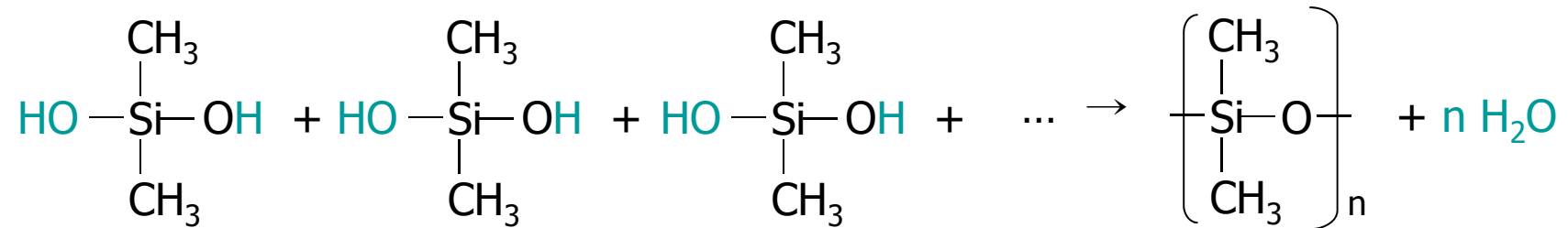
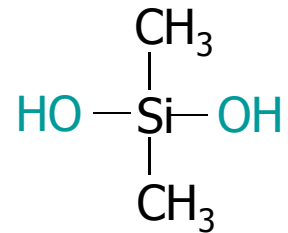


그림 실리콘은 신체조직 대용품을 만드는 훌륭한 재료이다.

### 예제 10.3 고분자의 축소구조식

다이메틸실라놀[*dimethylsilanol*,  $(\text{CH}_3)_2\text{Si}_2(\text{OH})_2$ ]로 만들어진 고분자의 축소구조식을 써라.

풀이



## 10.6 고분자의 성질

---

고분자는 작은 분자와 **3**가지 면에서 다름

(1) 긴 사슬들이 서로 얽힐 수 있음

: 플라스틱, 탄성체, 다른 물질을 이루는 고분자를 강하게 함

(2) 분자 상호간의 힘이 작은 분자들에 비해 크게 배가 됨

: 분자가 클수록 분자들 사이의 힘은 커짐

ex) 폴리에틸렌 : 분산력만 존재하는 비극성 분자 ⇒ 방탄조끼로 사용

(3) 큰 고분자는 작은 분자보다 천천히 움직임

: 용매에 녹은 고분자는 순수한 용매보다 점성이 훨씬 커짐

## 결정성 고분자와 비결정성 고분자

결정성 고분자 : 좋은 합성섬유 ⇒ 단단함

비결정성 고분자 : 좋은 탄성체 ⇒ 부드럽고 고무 같음

2개의 분자구조가 한 고분자 사슬에 결합되어 있을 때

⇒ 유연성과 단단함을 모두 성질로 가짐

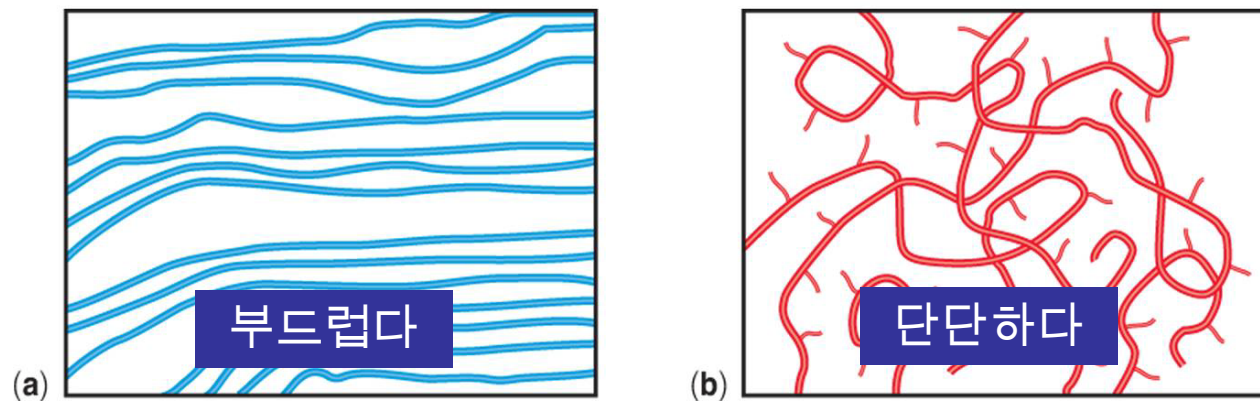


그림 10.6 고분자의 조직. (a) 결정배열과 (b) 비결정 배열



**유리 전이 온도** 고분자는 동일한 1개의 분자가 아니고, 분자량이 조금씩 다른 분자의 집합체이므로 물리적 성질이 조금씩 다르다.

### 유리 전이 온도(glass transition temperature, $T_g$ )

- 열가소성 수지의 중요한 변수
- 이 온도 이상 : 고분자는 부드럽고 질김 (ex. 플라스틱)
- 이 온도 이하 : 고분자는 마치 유리 같아서 단단하고 깨지기 쉬움 (ex. 자동차 타이어)

### 섬유 형성

섬유가 될 수 있는 고분자는 보통 천연섬유보다 우수한 성질을 가짐

- 나일론은 더 오래가고 관리하기 쉽고 비단보다 싼
- PET 같은 폴리에스터는 면이나 비단의 대용물이 될 수 있음
- 폴리아크릴로나이트릴로 만들어진 아크릴 섬유는 모처럼 보이는 털실로 만들어짐

예전에 여자 스타킹을 실크로 만들었으며, 오직 귀족들만이 입을 수 있었다.



그림 방적기로부터 나오는 섬유. 녹은 고분자를 작은 구멍으로 밀어내어 섬유를 만든다. 온도가 내려가면 고체가 된다.

## 10.7 플라스틱과 환경

### 플라스틱의 장점

- 오래 쓸 수 있음
- 환경에 존재하는 많은 물질에 내구성이 있음

플라스틱의 가장 큰 단점은 썩지 않는다는 것이다. 썩는 플라스틱을 개발 중인데 강도가 약하다.

### 플라스틱의 처리방법

#### (1) 매립

고체 폐기물의 반 이상이 매립됨

⇒ 적당한 매립지를 찾는 것이 어렵기 때문에 문제

#### (2) 소각

- 플라스틱은 연료로써 가치가 높음 ⇒ 실제로 소각하여 전기를 얻음

- 문제점

\* PVC는 독성이 있는 염화수소 기체를 발생

\* 자동차 타이어의 연소는 그을음과 냄새 나는 연기를 발생시킴

\* 소각로는 산성 연기에 부식되고 잘 안 타는 물질로 막힘

## 분해되는 플라스틱

- 폐기되는 플라스틱의 절반은 포장용 플라스틱
- 플라스틱 포장재를 생분해나 광분해가 가능하도록 만듦

## 재활용

- 폐기 플라스틱을 다루는 가장 좋은 방법
- 수거되어 분류되고 잘려진 뒤 녹여서 재성형 됨
- 현재 대량으로 재활용되는 플라스틱은
  - \* PET(28% 재활용) : 섬유로 만들어져 카펫을 만듦
  - \* HDPE(29%) : 세제 용기로 재성형됨



그림 재활용 플라스틱은 많은 용도로 사용된다. 재활용된 우유병으로 만들어진 옥외용 안락의자와 카페의자는 색깔이 화려하면서도 튼튼하다.

## 플라스틱과 화재 위험

사고로 합성섬유나 천연섬유에 일어나는 화재는 막대한 재난을 초래함  
연구자들은 다양한 내염성(flame-retardant) 섬유를 고안

메타-아라미드(mete-aramid, 상품명 Nomex(DuPont))

: 열에 강하여 소방관이나 경주용 자동차를 운전하는 사람의 보호복에 사용됨

플라스틱 연소 : 독성 기체 발생

폴리아크릴로나이트릴 or 다른 질소를 함유한 고분자가 연소 : 시안화수소 생성

연소할 때 안전한 플라스틱을 만들기 위해서

⇒ 녹색화학자는 불에 타지 않거나 불에 탈 때 독성 화학물질을 만들지 않는  
고분자를 만들고 있는 중임

한국에서는 대다수 공장은 알루미늄 패널을 이용하여 공장을 짓는데 2개의 알루미늄 판 사이에 스티로폴을 넣는다. 방열 효율이 뛰어나고, 가볍고, 쉽게 부착 가능하지만 화재가 발생하면 순간적으로 대형 화재를 만든다. 독가스도 같이 나온다.

## 가소제와 오염

가소제(plasticizer) : 유리 전이 온도  $T_g$ 를 낮추어서 플라스틱을 유연하게 만듦

### (1) 폴리염화 바이페닐(polychlorinated biphenyl, PCB)

- 한때 널리 사용되었지만 지금은 금지된 가소제로 2개의 벤젠고리가 만난 탄화수소인 바이페닐( $C_{12}H_{10}$ )로부터 유도됨
- 바이페닐의 수소 원자 일부가 염소 원자로 치환된 것임
- PCB 구조가 살충제 DDT의 구조와 비슷함
- 높은 전기적 내구성 때문에 전기기구의 절연재로 널리 사용되었음
- 비닐 플라스틱뿐 아니라 동물 지방 같은 비극성 물질에 녹기 때문에 먹이사슬에 축적됨

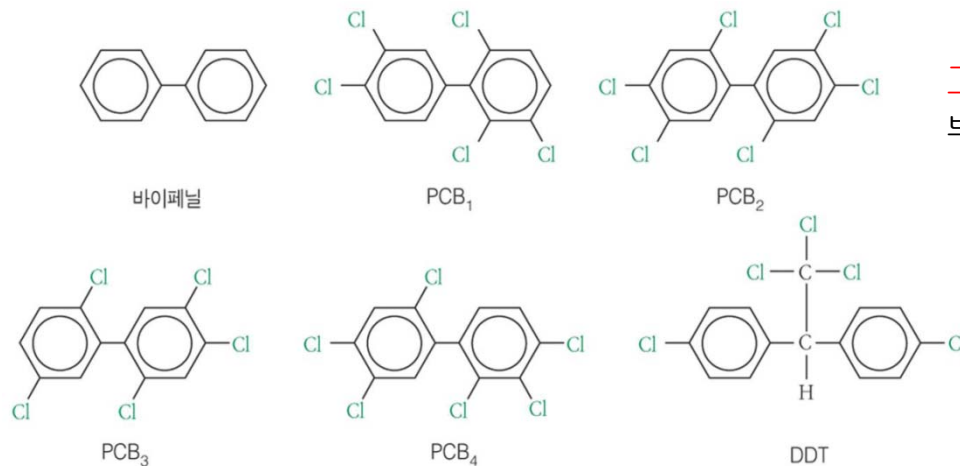
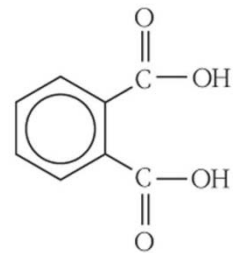


그림 10.7 바이페닐과 바이페닐로부터 유도된 PCB들

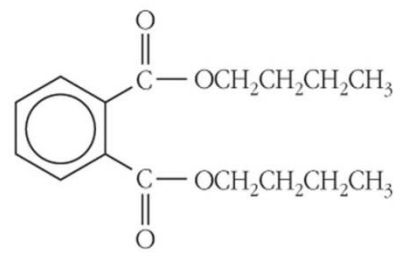
발암성이면서 매우 유독한 물질이다. 쓰레기 소각장에서 나오는 다이옥신의 일종이다.

## (2) 프탈산에스터(phthalate ester)

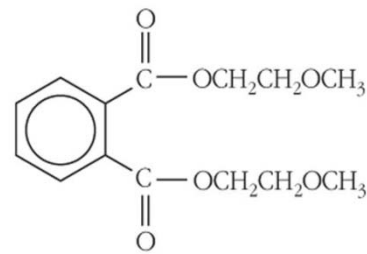
- 프탈릭산(phthalic acid, 1,2-benzenedicarboxylic acid)으로부터 유도된 다이에스터
- 독성이 낮음
- 분해가 빨라 환경에 위협이 적음



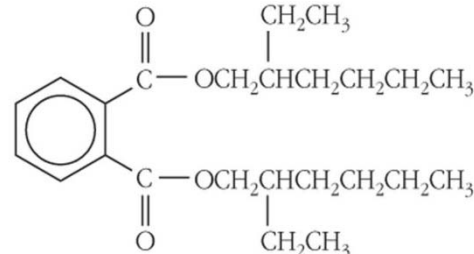
프탈산



프탈산 다이부틸(DBP)



프탈산 다이메톡시에틸(DMEP)



프탈산 다이옥틸(DOP)

**그림 10.8** 프탈산과 프탈산에서 유도된 몇 가지 에스터들.  
프탈산 다이옥틸은 또한 다이-2-에틸헥실 프탈레이트라고도 함

**플라스틱과 그 미래** 가장 활용도가 높은 산업이며, 중소기업도 경쟁력을 가질 수 있다.

현재 많이 사용되는 합성 고분자는 미래의 물질임

의학 : 신체의 대용물이 일반화

ex) 2003년 : 인공 고관절 대체수술, 인공 무릎관절 대체수술,  
미래 : 인공 폐와 인공 심장도 기대

가정집 건축 : PVC 급수관, 판자벽, 창문틀, 플라스틱 보온재, 고분자 표면 코팅 등  
- 미래 : 재활용된 플라스틱으로 만들어진 인조 나무로 만들어진 목재와 장식용 판자 사용

비행기 : 몸체와 날개에 가벼운 복합 재료를 사용

## 생각해야 할 문제

- 대부분의 합성 고분자는 석유나 천연가스로부터 만들어짐  
: 재생이 불가능하고 공급에 제한
- 대체물질 : 폴리락트산, 폴리하이드록시부티르산 등 몇 가지 새로운 종류의 플라스틱이 옥수수, 콩, 사탕수수로부터 만들어짐

**10장 강의가 끝났습니다.**  
**수고하셨습니다.**