

에너지와 탄화수소

Energy and Hydrocarbons

제6장

탄화수소 화합물 : C와 H로 구성된 화합물

: 화석연료의 대부분

- 천연가스 : 메테인

- 원유 : 수천 개의 탄화수소 혼합물

- 석탄 : 복잡한 탄화수소의 화합물

- 연료란 무엇인가?
- 연료가 어떻게 에너지를 생성하는가?
- 탄화수소들의 주요 종류들은 무엇인가?
- 탄화수소들에서 가능한 이성질체들의 유형은 무엇이고, 왜 중요한가?
- 석유가 어떻게 정제되는가?
- 메탄올과 에탄올이 왜 대체 연료로 주목을 받고 있는가?

6.1 연료에서 얻은 에너지

전체 에너지에서 재생 가능 에너지 비율, 2000

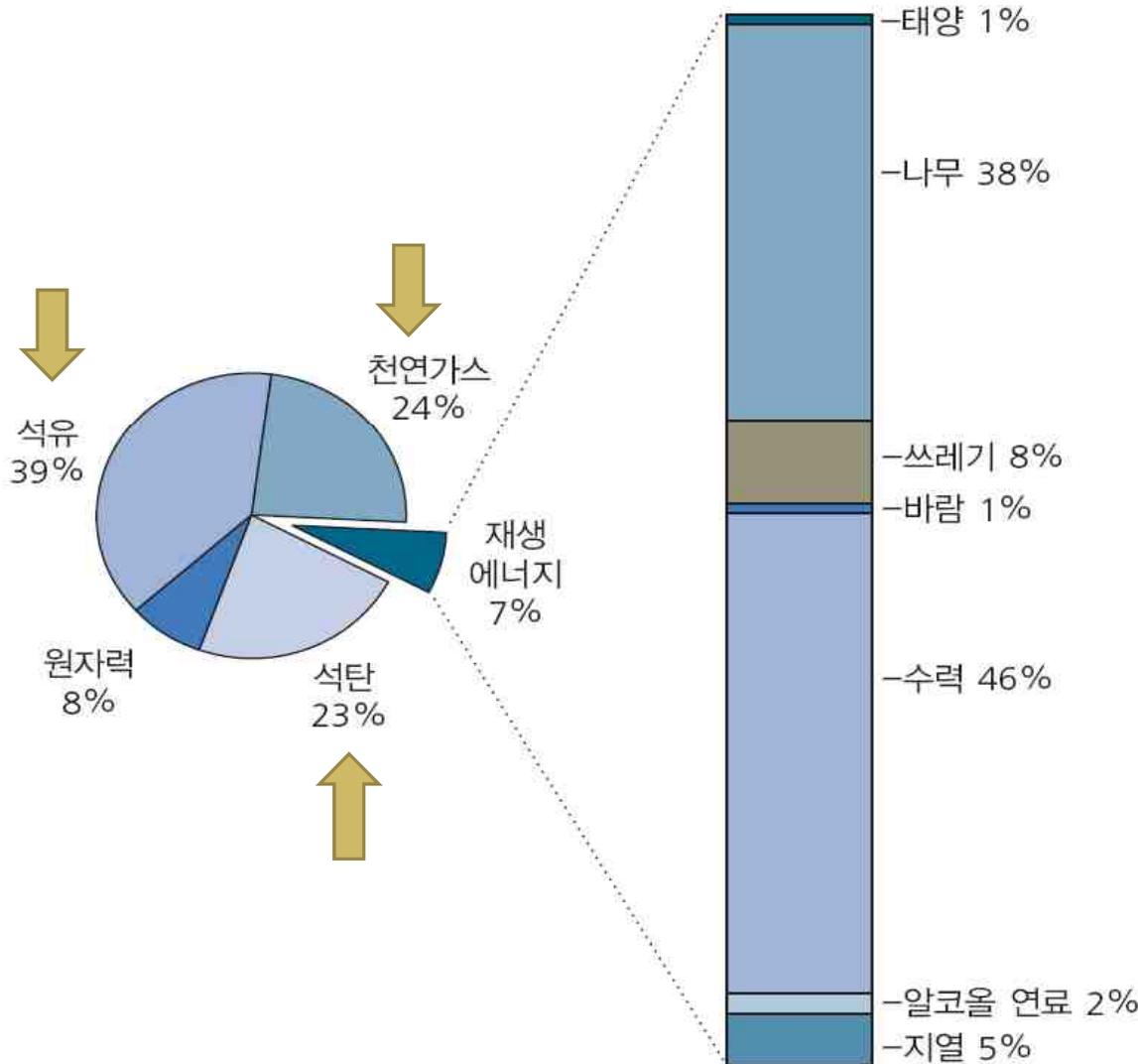
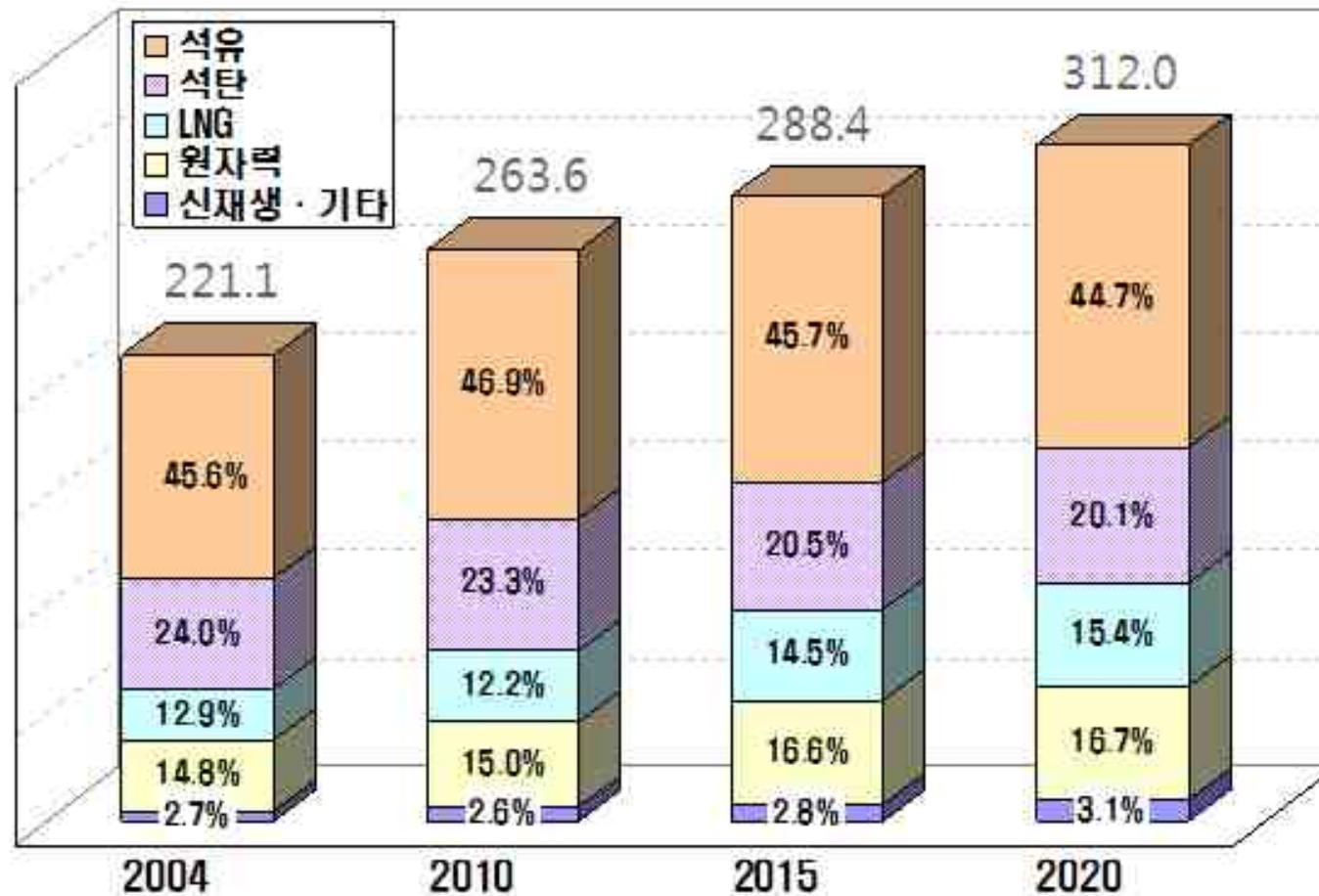


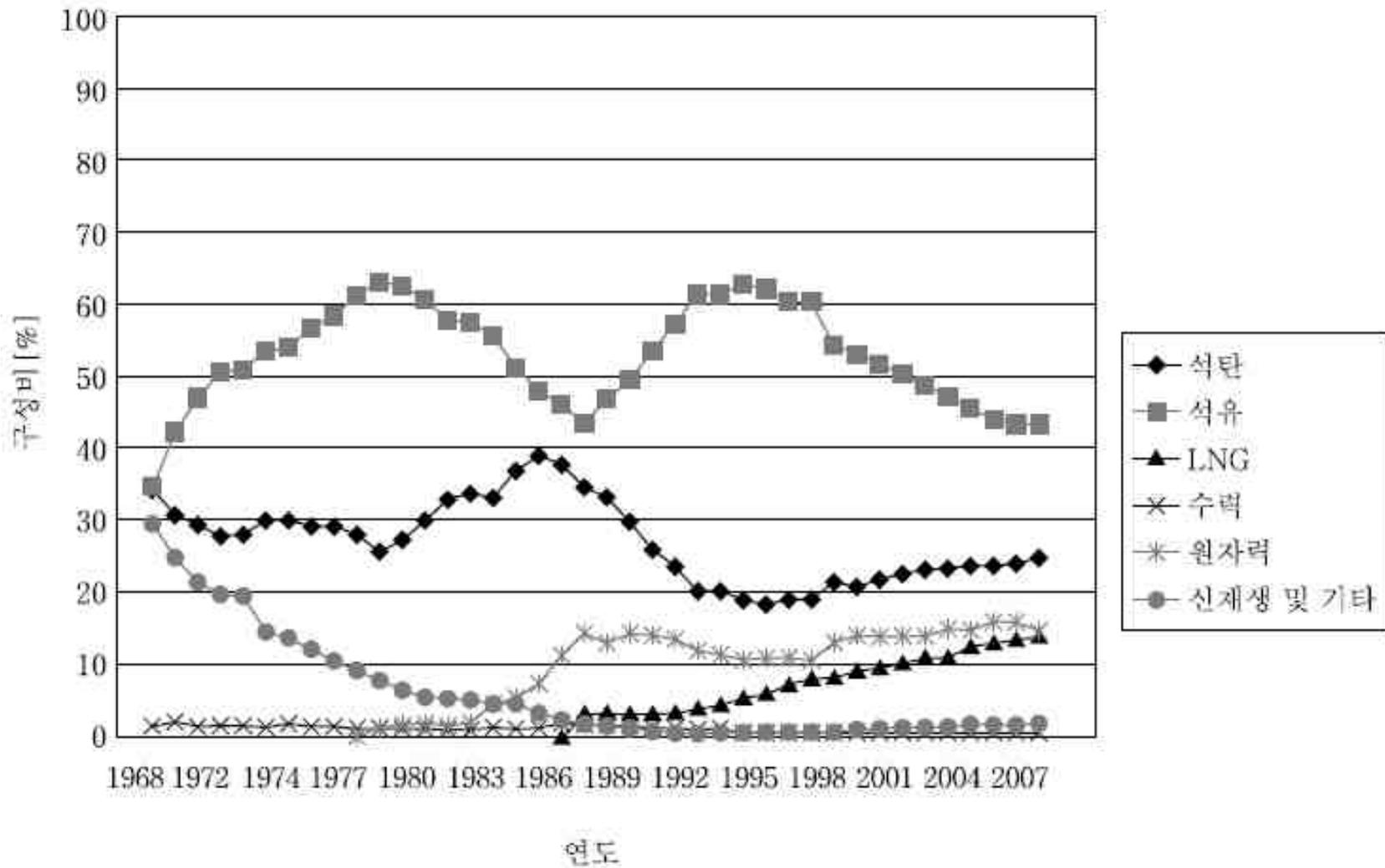
그림 6.1 2000년도 미국에서 사용된 에너지 자원들. 모든 것을 통합해 보면, 화석 연료들(석유, 천연가스, 석탄)이 연료의 86%를 담당하고 있다. 이것들은 재생 가능한 에너지 자원들이 아니다. 지구 내에 저장되어 있는 에너지 총량에 한계가 있다. 화석 연료 공급량이 감축됨에 따라, 재생 가능한 에너지 사용이 점점 더 중요하게 될 것이다. 식물, 바람, 흐르는 물, 지열, 태양으로부터 재생 가능한 에너지가 얻어진다.

세계 에너지 수요 전망

- 석유 비중 감소, 전력 · 가스 비중 증가

(단위: 백만TOE)





자료: 에너지통계연보, 2008. 에너지경제연구원

● **연료**: 산소 존재 하에서 용이하게 탈 수 있는 환원된 형태의 물질

● **연소**: 열을 발생시키는 산화 반응

● **화학 반응**: 반응물을 생성물로 변환

결합 깨짐 → 에너지 투입, 흡열 반응, + 로 표시

결합 형성 → 에너지 방출, 발열 반응, - 로 표시

● **연소열** (Heat of combustion): 특정 연료가

태워질 때 방출되는 열.

표

6.1

평균 결합
에너지 값

결합	에너지(kJ/mol)
C—H	416
O=O	498
C=O	803
O—H	467
C=C	356
H—H	436
C—O	336

표 6.2 • 몇몇 흔한 연료들의 연소열 실험치

연료	연소열 (kJ/mol)	연소열 (kJ/g)
수소	-242	-121 
메테인 (천연가스)	-802	-50.1 
에테인	-1402	-47.6
프로페인	-2016	-45.8
가솔린(탄화수소 혼합물)	—	~-45
무연탄 (석탄)	—	-30.5 
에탄올	-1367	-29.7
메탄올 (가솔린 대체 고려연료)	-640	-20 
갈탄	—	-16
포도당	-2800	-15.5(광합성의 역반응)
나무	—	-10 to -14

- 수소가 1g당 가장 많은 열을 방출

- 모든 탄화수소는 1g당 대략적으로 유사한 열을 방출

6.2 석유

● 원유 (Crude Oil) : 수 천 개의 탄화수소 화합물의 혼합물

- 아주 오래 전에 살던 동물들이 죽은 뒤 그 위에 오랜 시간 동안 퇴적물이 쌓이고 높은 압력과 열을 받아 부패되면서 만들어졌다.

- 원산지에 따라 실제 조성이 다름

Pennsylvania 원유 : 주로 직선형 탄화수소

California 원유 : 방향족 탄화수소

- 1 barrel = 42 gallon = 158.97 L (1gallon = 3.785L)



석유 정제

● **분별 증류** (Fractional distillation) : 끓는점 구간의 차이를 이용한 성분 분리

: 원유를 파이프 증류기에서 400도까지 가열 → 분별 증류탑으로 이송

→ 원유 증기가 상승 시 종-모양의 캡 (Bell cap)에서 응축되어 수집 (그림6.2)

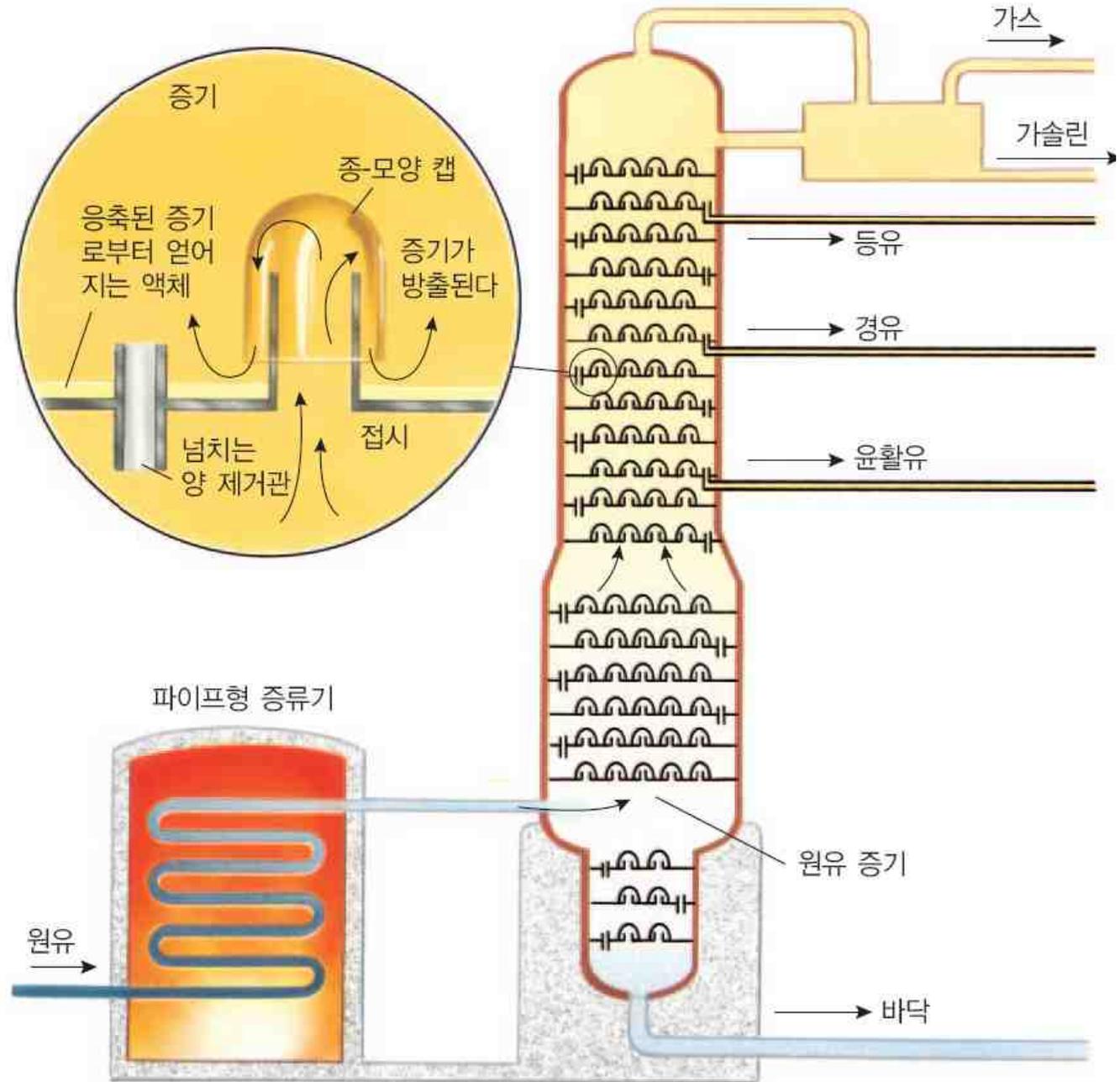
● **석유 분획** (Petroleum fraction)

: 석유의 분별 증류로 얻어지는 특정 범위의 끓는점을 가진 수백개의 탄화수소 혼합물

표 6.3 원유에서 얻어지는 탄화수소 분획

분획	분자 크기 범위	끓는점 범위 (°C)	용도
기체	C ₁ -C ₄	0~30	기체 연료
가솔린	C ₅ -C ₁₂	30~200	자동차 연료
등유	C ₁₂ -C ₁₆	180~300	제트기 연료, 디젤 오일
경유	C ₁₆ -C ₁₈	300 이상	디젤 연료, 열분해 원료
윤활유	C ₁₈ -C ₂₀	300 이상	윤활유, 열분해 원료
파라핀 왁스	C ₂₀ -C ₄₀	용융점 낮은 고체	초(candle), 왁스 종이
아스팔트	C ₄₀ 초과	끈끈한 잔류물	길거리 아스팔트, 지붕 타르

그림 6.2 석유 정제. 원유가 파이프 증류기에서 400°C까지 가열된다. 증기들이 분별 증류탑으로 들어가 탑 내에서 올라갈 때, 이것들이 냉각되어 다른 분획들이 다른 높이에서 빼내진다. 상승하는 증기가 어떻게 수많은 종-모양의 캡(bell cap)에서 반복적으로 응축되어 수집되는지를 이 그림이 보여준다.



분별 증류 혼합물을 끓는점이 다른 분획들로 분리하는 것.

석유 분획 석유의 분별 증류로 얻어지는 특정 범위의 끓는점을 가진 수 백 개의 탄화수소 혼합물.

촉매 분해

● 촉매 분해 (Catalytic Cracking)

- 석유 정제 공정의 일부분은 각 탄화수소 분획을 상업적 목적에 맞게 조절

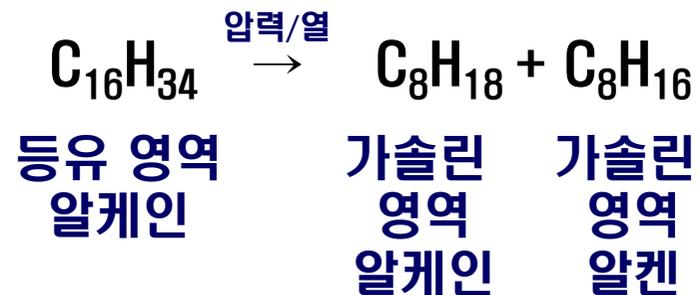
ex) 등유보다 가솔린의 수요가 더 크다

- 화학반응들이 “열분해” 공정을 통하여 등유가 많이 포함된 분획을 가솔린

영역의 분자들로 변화

: 촉매 분해 공정은 공기가 없는 조건하에서 제올라이트를 촉매로 이용하여

포화탄화수소를 가열



6.3 천연가스

● 천연가스: 지각 내 석유에 붙잡혀 있는 기체들의 혼합물

- 가스들이 암반을 통하여 들어가 있던 유정(oil well)이나 가스정(gas well)으로부터 회수 가능

● 천연가스의 구성

- 천연가스는 C₁-C₄알케인 혼합물

(메테인, CH₄ 60~90%, 에테인 5~9%, 프로페인 3~18%, 부테인 1~2%)로 구성

그밖에 CO₂, N₂, H₂S, 불활성 기체도 함유

● 천연 가스의 사용 : 차량의 연료로 사용

- 장점 : 최소량의 일산화탄소, 탄화수소를 방출, 낮은 가격.
- 단점 : 실린더 모양의 고압용 가스 탱크 필요, 충전소 부족.

6.4 석탄

● 석탄: 세계 화석 연료 매장량의 91% 차지

- 약 85% 질량 백분율의 탄소를 함유한 높은 분자량의 탄화수소 복합물
- 석유와는 대조적으로 탄소 접합고리(fused rings)을 더 많이 포함
[복잡한 유기물 구조]
- 비교적 적은 양의 황을 함유 (공기오염과 산성비에 원인)

● 석탄의 사용

: 석탄의 약 88%는 태워져 전기를 생산하고

1%만이 가정용 및 산업용 난방에 사용

- 장점 : 단순한 가공 공정 및 낮은 가격
- 단점 : 공기오염의 주원인, 부피가 큼, 채굴의 위험 및 노천광의 환경 오염

● **석탄의 매장량 : 10,010억 톤**
 - **최소한 200년 이상 사용가능**

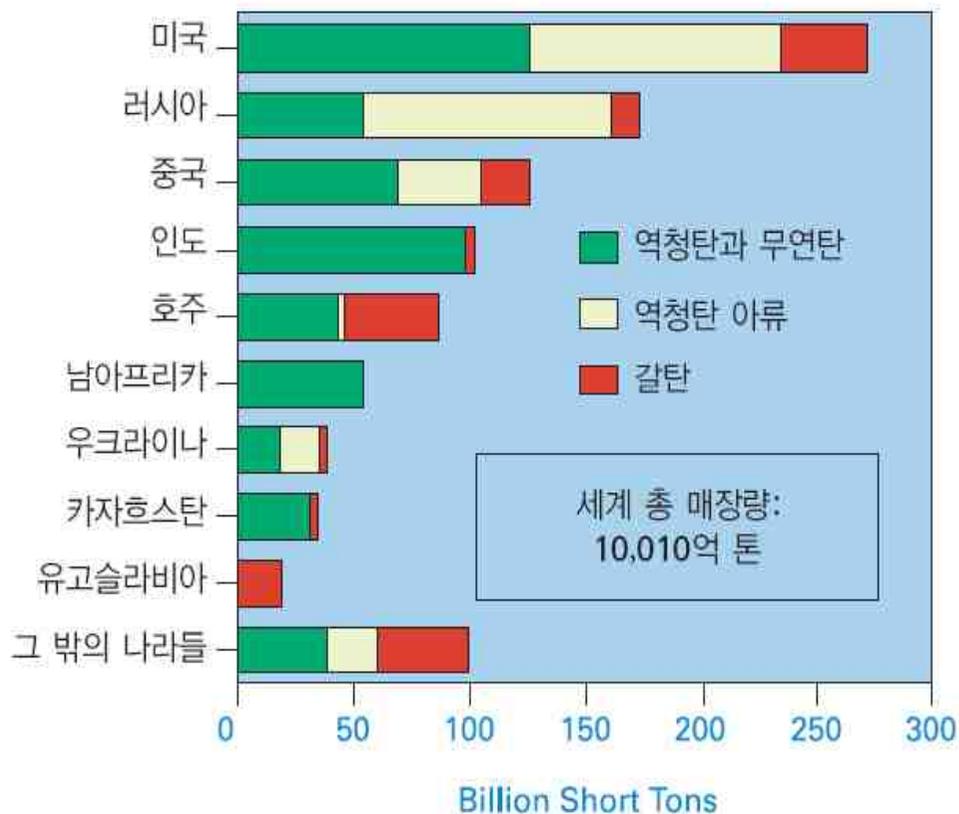


그림 6.3a 세계의 사용 가능한 석탄 매장량.

● **세계 석탄 소비량**
 : 석유 및 천연가스가 고갈되어
석탄 소비량 증가 추정

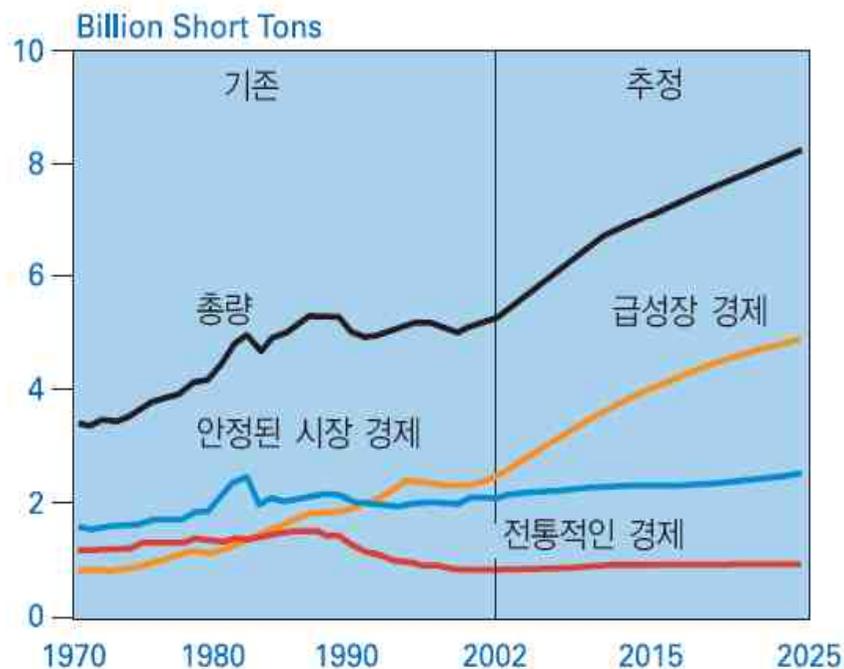


그림 6.3b 1970~2025년 구역별 세계 석탄 소비량.

6.5 연료로서의 메탄올(CH₃OH)

● 메탄올이 가솔린의 대체로 고려

- 장점 : 일산화 탄소, 미 반응 탄화수소, 질소 산화물, 오존층의 오염물질의 농도 감소.
- 단점 : 발암성 포름알데하이드(formaldehyde, CH₂O)가 더 많이 배출.

메탄올이 금속을 부식시키는 경향.

● 촉매를 사용하여 메탄올을 이용한 가솔린을 생산

: Mobil Oil Company는 메탄올 → 가솔린 변환 공정 개발 (현, 가격 경쟁력 부족)

확인문제 6A

1. g 당 가장 많은 열에너지를 내놓는 화석 연료는? (a) 석탄 (b) 석유 (c) 천연가스
2. g 당 가장 많은 열에너지를 내놓는 연료는? (a) 천연가스 (b) 수소 (c) 석탄
3. “모든 화석 연료의 연소는 에너지를 방출한다.” (a) 참 (b) 거짓
4. 탄화수소는 연소시 산소(O₂) 와 반응하여 CO₂와 물(H₂O) 를 생성한다.
5. 석유 분획들은 분별증류 방법으로 분리된다.
6. 천연 가스의 으뜸 성분은 메테인(CH₄) 이다.

5.1장



(메테인의 연소에서 탄소는 산화되어 이산화 탄소가 된다)

6.6 탄화 수소의 종류

● 탄화 수소의 종류

- 1) 알케인 (Alkane) : 탄소-탄소 단일 결합을 함유 C_nH_{2n+2}
- 2) 알켄 (Alkene) : 탄소-탄소 이중결합을 함유 C_nH_{2n}
- 3) 알카인 (Alkyne) : 탄소-탄소 삼중결합을 함유 C_nH_{2n-2}
- 4) 방향족(Aromatic) 화합물 : 벤젠, 벤젠 유도체, 접합 고리 등으로 구성

	C_nH_{2n+2}		C_nH_{2n}		C_nH_{2n-2}	
1	CH ₄	methane	-	-	-	-
2	C ₂ H ₆	ethane	C ₂ H ₄	ethene	C ₂ H ₂	ethyne
3	C ₃ H ₈	propane	C ₂ H ₆	propene	C ₃ H ₄	propyne

알케인 (Alkane) : 유기화학의 척추

- 알케인 : 탄소-탄소 단일 결합을 함유

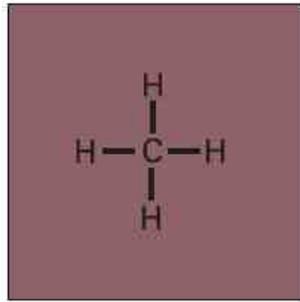
- 가장 단순한 알케인은 천연가스의 주성분인 메테인 (CH₄)

- 일반식 : C_nH_{2n+2}

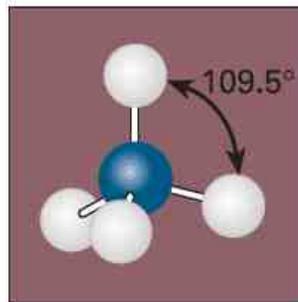
- 명명 : ~ 에인 (~ane) / ~탄

탄소 수	화학식	대한화학회 명명법	대한민국 표준어외 래어 표기법	로마자 표기
1	CH ₄	메테인	메탄	methane
2	C ₂ H ₆	에테인	에탄	ethane
3	C ₃ H ₈	프로페인	프로판	propane
4	C ₄ H ₁₀	<i>n</i> -뷰테인	부탄	butane
5	C ₅ H ₁₂	<i>n</i> -펜테인	펜탄	pentane
6	C ₆ H ₁₄	<i>n</i> -헥세인	헥산	hexane
7	C ₇ H ₁₆	<i>n</i> -헵테인	헵탄	heptane
8	C ₈ H ₁₈	<i>n</i> -옥테인	옥탄	octane
9	C ₉ H ₂₀	<i>n</i> -노테인	노난	nonane
10	C ₁₀ H ₂₂	<i>n</i> -데테인	데칸	decane

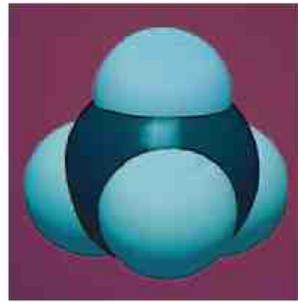
● 메테인, 에테인, 프로페인의 구조 표시



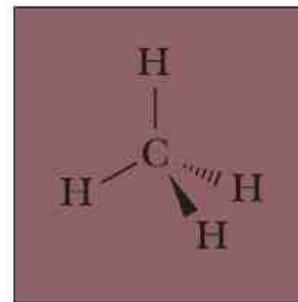
(a)



(b) 정사면체

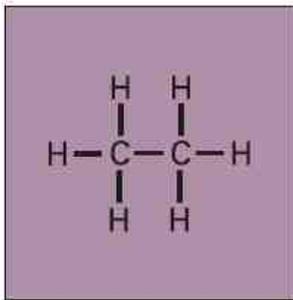


(c)

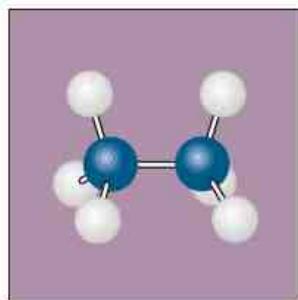


(d)

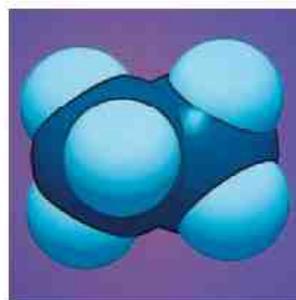
그림 6.4 메테인 구조 표시. (a) 구조식, (b) 공-막대 모형, (c) 공간-채움 모형, (d) 뺨기-대시 모형.



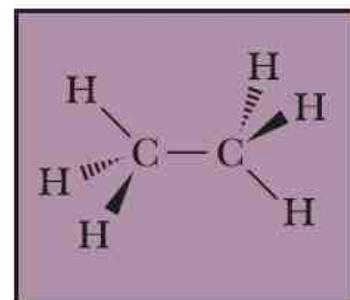
(a)



(b)

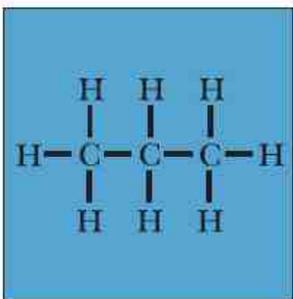


(c)

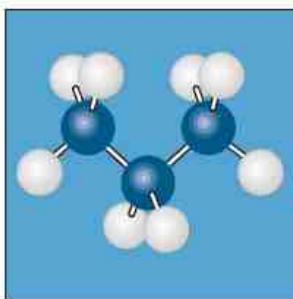


(d)

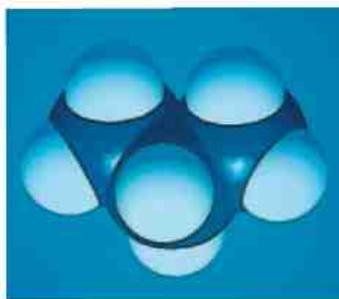
그림 6.5 에테인 구조 표시. (a) 구조식, (b) 공-막대 모형, (c) 공간-채움 모형, (d) 뺨기-대시 모형.



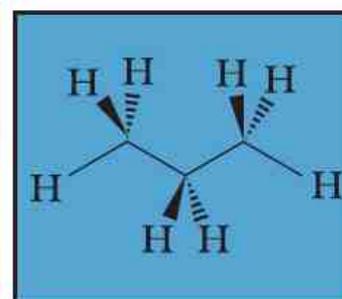
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6.6 프로페인 구조 표시. (a) 구조식, (b) 공-막대 모형, (c) 공간-채움 모형, (d) 뺨기-대시 모형.

알케인의 곧은(straight)사슬과 가지(Branched)사슬 이성질체들

- CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 는 오직 한 개의 구조배열을 갖는다.

- C_4H_{10} 는 두개의 구조 배열 가능.

→ **이성질체 (Isomers)**: 분자식은 똑같지만 원자배열이 다른 두 개 이상의 화합물.

구조 이성질체 : 원자들의 결합순서가 다른 이성질체

1) 곧은 사슬 이성질체 : 곁가지가 없는 탄화수소들의 구조 이성질체

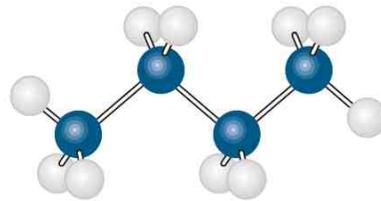
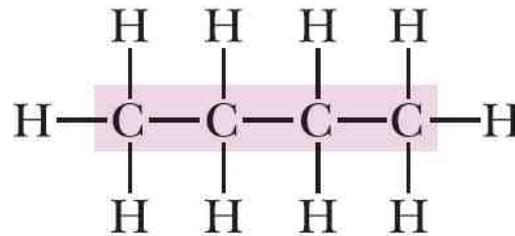
2) 가지 사슬 이성질체 : 곁가지에 C-C결합들을 가진 탄화수소들의 구조 이성질체

**C₄H₁₀
구조이성질체 :**

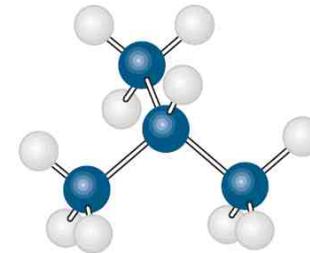
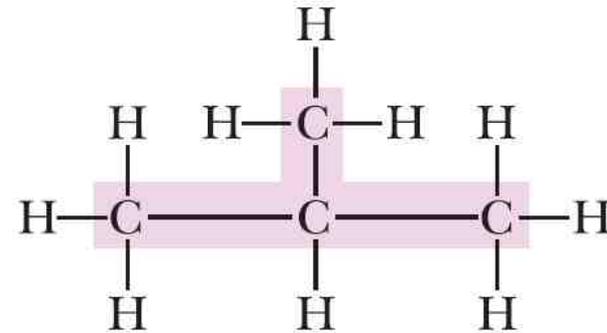
곧은 가지 구조 이성질체

가지 사슬 구조 이성질체

구조식



뷰테인



메틸프로페인
(아이소뷰테인)

**구조 이성질체에
따른 물리적 특성**

축소형 구조식	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 뷰테인	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{CHCH}_3 \end{array} $ 메틸프로페인 (아이소뷰테인)
녹는점	-138.3°C	-160°C
끓는점 (1 기압)	0.5°C	-12°C
밀도 (20 °C)	0.579 g/mL	0.557 g/mL

● 알킬기(alkyl group). 알케인에서 수소원자 하나가 제거된 구조

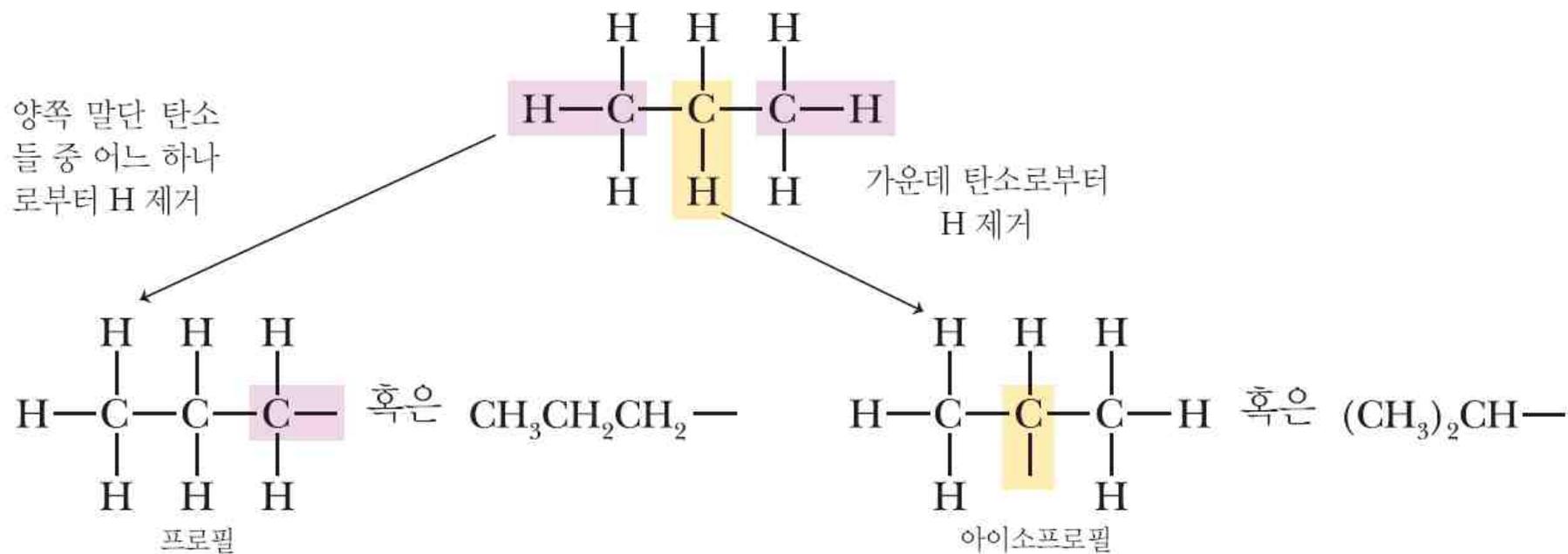
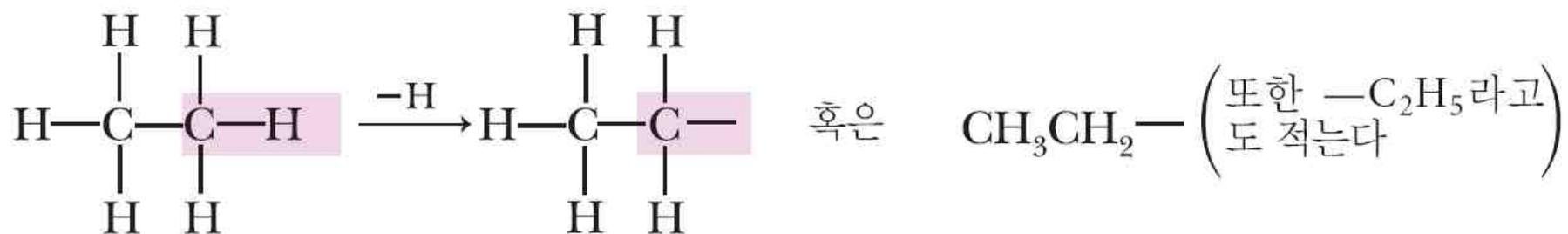
- 명명 : 알케인(alkane) 이름에서 “-ane”을 떼고 “-yl”를 붙임

ex) 메테인 → 메틸, 에테인 → 에틸...

표 6.4 몇몇 흔한 알킬기

이름	축소형 구조 표시
메틸	$\text{CH}_3\text{—}$
에틸	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{—}$ 또는 $\text{C}_2\text{H}_5\text{—}$
프로필	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{—}$ 또는 $\text{C}_3\text{H}_7\text{—}$
아이소프로필	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH} \text{—} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 또는 $(\text{CH}_3)_2\text{CH—}$
뷰틸	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{—}$ 또는 $\text{C}_4\text{H}_9\text{—}$
<i>t</i> -뷰틸*	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{C} \text{—} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 또는 $(\text{CH}_3)_3\text{C—}$

* *t*는 3차(tertiary)를 뜻하며, 때때로 *tert*라는 약자로 표시된다. 이것은 중앙 탄소 원자가 세 개의 다른 탄소 원자에 결합되어 있다는 것을 의미한다.



6.7 알켄(Alkene)과 알카인(Alkyne) : 알케인의 활성 높은 사촌형제들

● **알켄(alkene)** : 한 개 이상의 이중 결합을 함유한 탄화수소

: 석유는 알켄들을 함유. 가솔린에 알켄이 존재하면 옥탄가가 높다.

- 명명 : “-ene” 를 붙임

ex) 에텐 (ethene)은 알켄의 가장 간단한 구성.

관용명 에틸렌 (ethylene)으로 알려있다.

- 알켄의 일반식 : C_nH_{2n} ($n>1$)

1) $n=2$ 일 경우 에텐

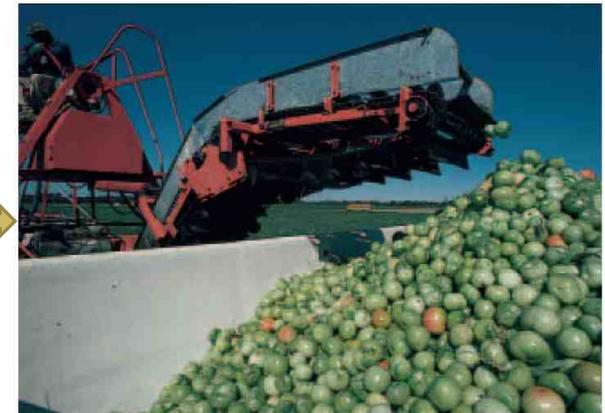
~ 폴리에틸렌(polyethylene)의 형태로 plastic생산

~ 묘목 성장 제어 및 열매 숙성 호르몬

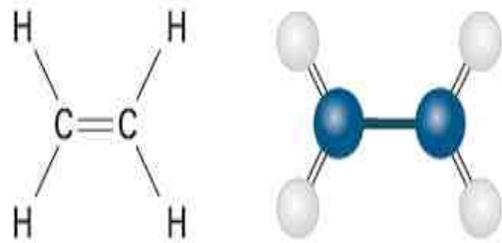
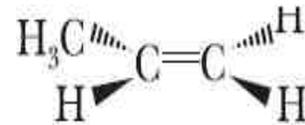
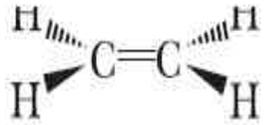
2) $n=3$ 일 경우 프로펜

~ 폴리프로필렌(Polypropylene)의 형태로

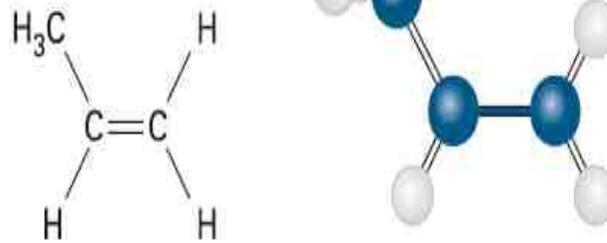
plastic생산



녹색 토마토들. 시장으로 가는 도중에 토마토들을 에틸렌 가스에 노출시켜 숙성시킬 수 있다.



에텐
(a)

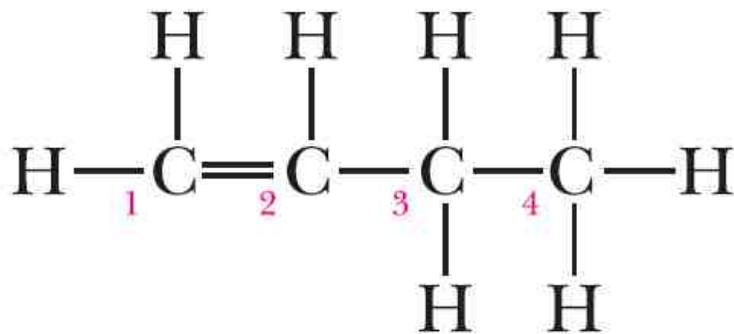


프로펜
(b)

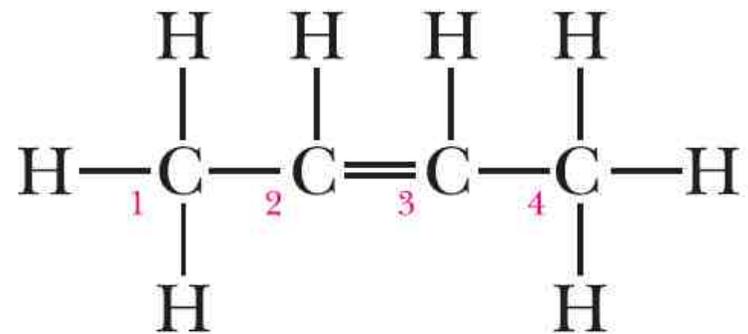
그림 6.8 가장 작은 두 개의 알켄: 흔히 에틸렌으로 알려진 에텐과 프로필렌으로 알려진 프로펜. 탄소-탄소 이중 결합 주위의 평면형 원자 배열을 주목하라.

알켄(alkene)의 구조 이성질체

- 알켄계에서 두 개의 다른 탄소 사이에 이중 결합이 위치하게 되면 이성질체가 추가적으로 발생함
- 에텐과 프로펜에서는 단 하나의 이중 결합 위치만 가능 하지만 뷰텐에서는 2개의 이중 결합 위치가 존재

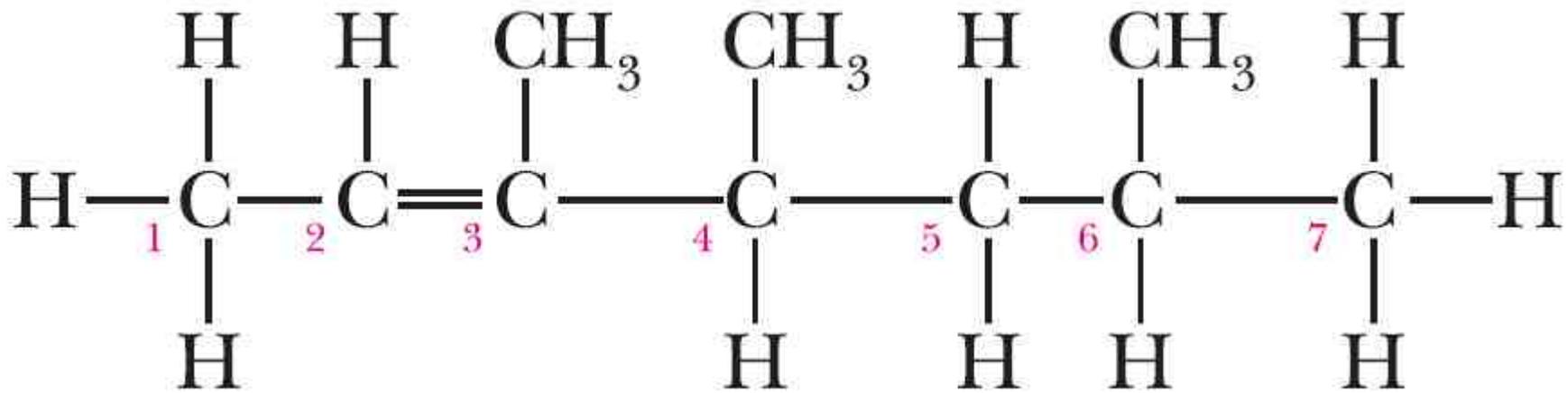


1-뷰텐



2-뷰텐

이중결합에 가장 낮은 번호가 주어지도록
번호 매긴다



이중결합에 가장 낮은 번호가 주어지도록 번호 매긴다

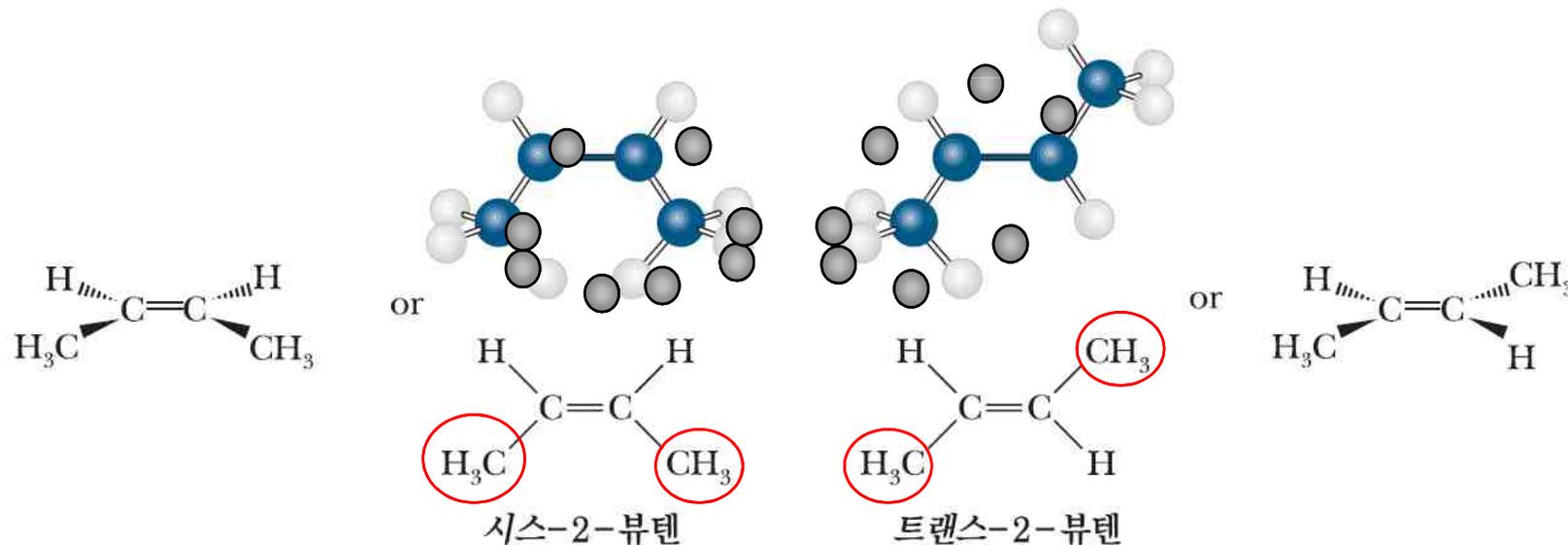
3,4,6-트라이메틸-2-헵텐

입체 이성질 현상: 알켄의 시스와 트랜스 이성질체

● 알켄의 **입체 이성질체** 현상 : **입체 이성질체**들은 똑같은 분자식과 똑같은 원자 대 원자 결합 서열을 갖고 있지만, 원자들이 다른 공간 배열을 가짐.

- **시스 (cis)** 이성질체 : 탄소-탄소 이중 결합의 같은 쪽에 작용기를 가짐

- **트랜스 (trans)** 이성질체 : 탄소-탄소 이중 결합 반대쪽에 작용기를 가짐



녹는점	-138.9°C	-105.5°C
끓는점 (1 기압)	3.7°C	0.9°C
밀도 (20 °C)	0.621 g/mL	0.604 g/mL

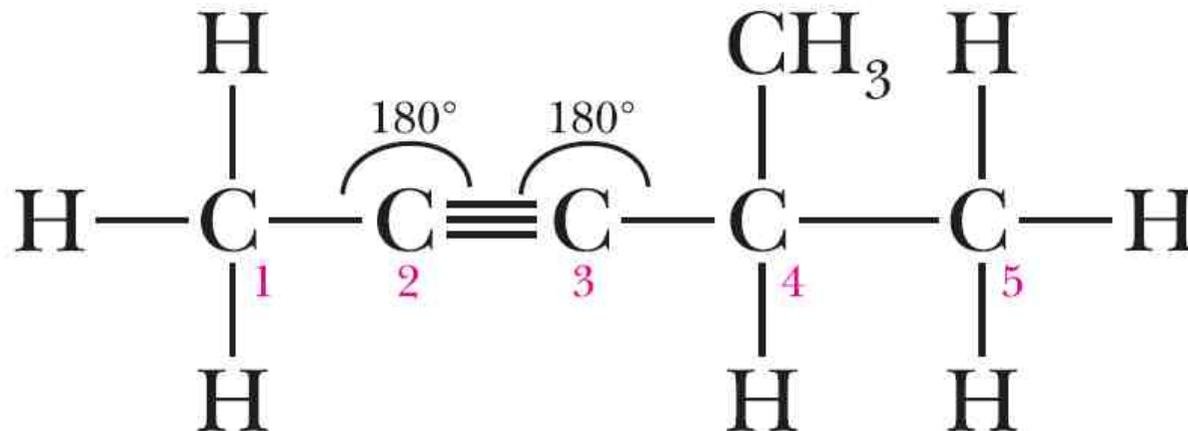
알카인(alkyne): 분자당 1개 이상의 삼중 결합 $\text{—C}\equiv\text{C—}$ 을 가짐

- 일반식 : $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$

- 가장 단순한 알카인은 에타인(ethyne)이며 아세틸렌이라 불린다

- 삼중 결합 주위의 180도의 결합각들이 분자의 부분을 직선형이 되게 한다

- 알켄의 경우와 마찬가지로 다중결합의 위치 변경에 따라 이성질체가 만들어
질 수 있다.



확인문제 6B

1. 포화 탄화수소 내 각 탄소는 정사면체 기하 구조를 갖고 있다.
2. 에텐 는 알켄 계열 화합물의 첫 번째 구성원이다. ethene
3. 에타인 는 알카인 계열 화합물의 첫 번째 구성원이다. ethyne
4. 에틸기의 화학식은 $-C_2H_5$ 이다.
5. 뷰테인과 2-메틸프로페인 은 구조 이성질체들의 한 예이다.
- ~~6.~~ 미국에서 가장 많이 생산되는 유기 화학 물질은 에텐 이다.
7. 탄소-탄소 이중 결합 경직성은 시스, 트랜스 이성질체들을 가능하게 한다.

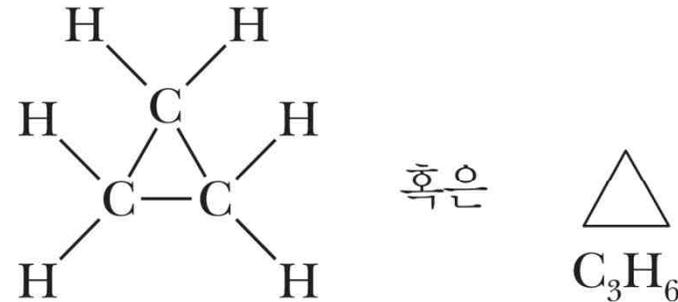
6.8 고리 (cyclic) 탄화수소

고리 탄화 수소 : 탄화 수소는 사슬구조 뿐 아니라, 고리를 형성 가능

: 사이클로알케인 (cycloalkane)과 방향족 (aromatics)화합물

1. 사이클로알케인 (cycloalkane): 고리 구조의 포화 탄화수소

- 흔히 정다각형으로 표시,
- 선은 C-C결합
- C-H결합은 표시하지 않음



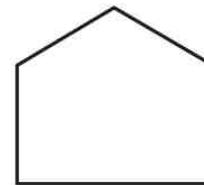
ex) 사이클로뷰테인 (C_4H_8)

사이클로 펜테인 (C_5H_{10})

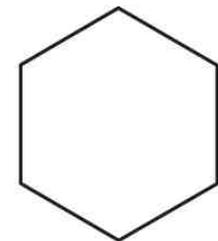
사이클로 헥세인 (C_6H_{12})



사이클로뷰테인



사이클로펜테인



사이클로헥세인

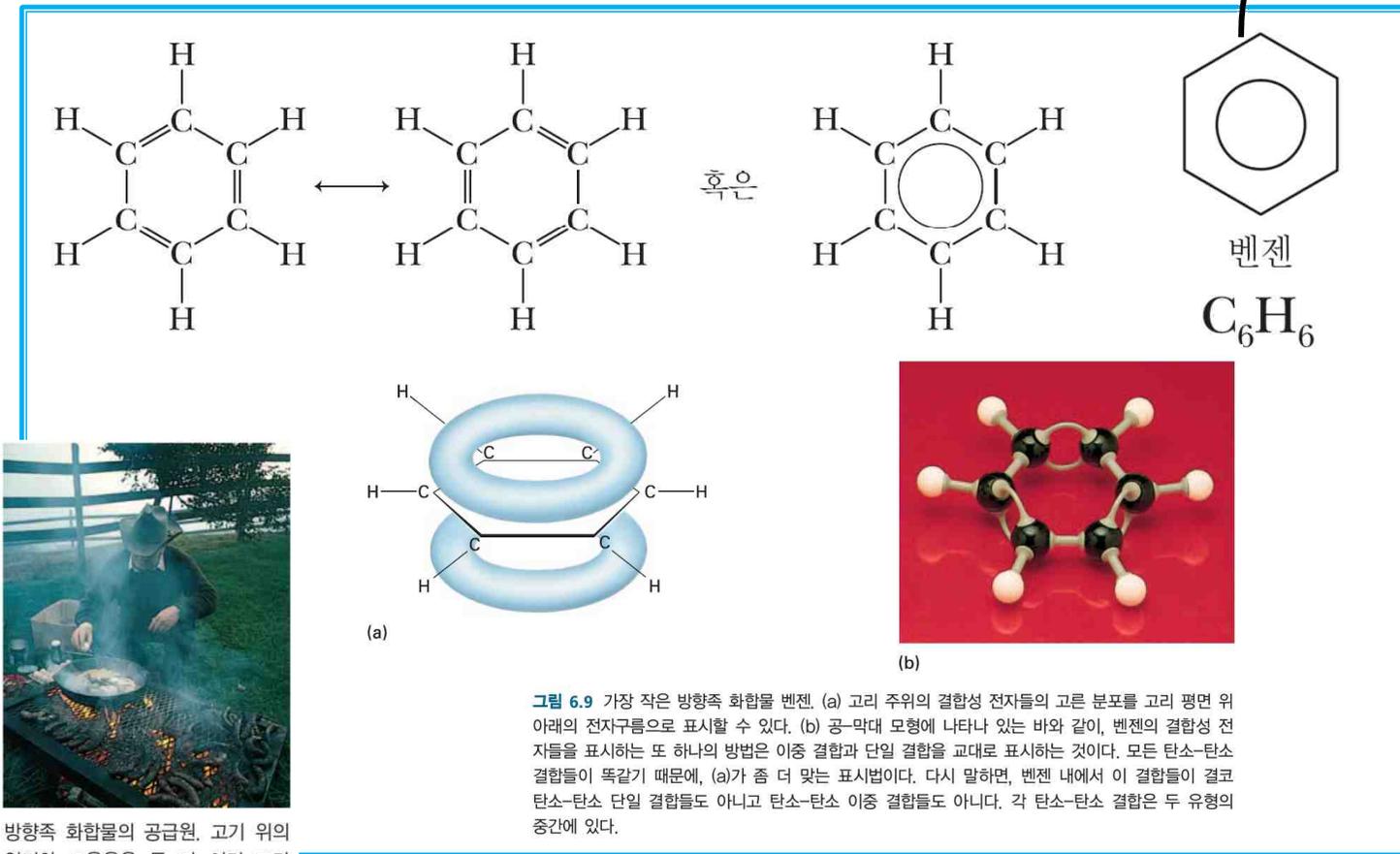
2 방향족 (aromatics) 화합물

: 한 개 이상의 벤젠 고리를 포함한 탄화수소

- 방향족 (aromatic) : 강하고 특유의 냄새, 유독하며 종종 발암성을 보임

- 벤젠의 구조식

차이점 (수소갯수 ^^)



방향족 화합물의 공급원. 고기 위의 연기와 그을음은 둘 다 여러-고리 (polycyclic) 방향족 화합물을 함유하고 있다.

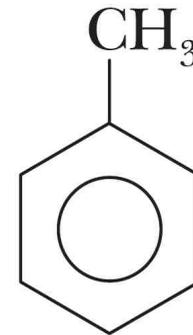
그림 6.9 가장 작은 방향족 화합물 벤젠. (a) 고리 주위의 결합성 전자들의 고른 분포를 고리 평면 위 아래의 전자구름으로 표시할 수 있다. (b) 공-막대 모형에 나타나 있는 바와 같이, 벤젠의 결합성 전자들을 표시하는 또 하나의 방법은 이중 결합과 단일 결합을 교대로 표시하는 것이다. 모든 탄소-탄소 결합들이 똑같기 때문에, (a)가 좀 더 맞는 표시법이다. 다시 말하면, 벤젠 내에서 이 결합들이 결코 탄소-탄소 단일 결합들도 아니고 탄소-탄소 이중 결합들도 아니다. 각 탄소-탄소 결합은 두 유형의 중간에 있다.

● 벤젠 유도체

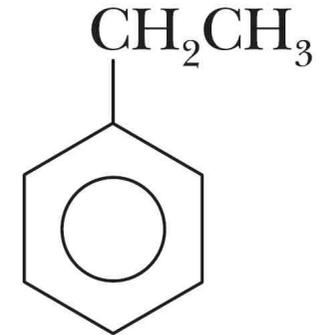
- 벤젠구조하에서 수소원자 중 하나가 원자나 다른 작용기로 친환된 벤젠 화합물

ex) 메틸벤젠 (톨루엔) : 메틸기와 치환

에틸벤젠 : 에틸기로 치환



메틸벤젠



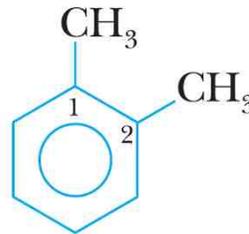
에틸벤젠

● 방향족 화합물의 구조 이성질체

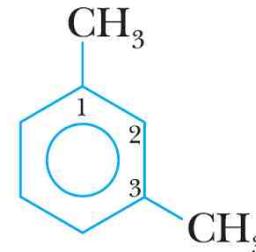
- 벤젠 고리위의 수소원자들 중 두개 이상이 작용기로 치환시

이성질체 가능

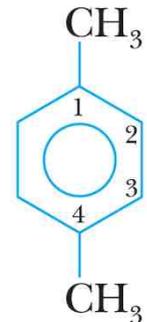
ex) ortho-, meta-, para-



1,2-다이메틸벤젠
(오쏘-자일렌)
녹는점 -25 °C



1,3-다이메틸벤젠
(메타-자일렌)
녹는점 -47.9 °C



1,4-다이메틸벤젠
(파라-자일렌)
녹는점 13.3 °C

(The xylenes are used in making dyes, insecticides, and drugs)

6.9. 알코올

● 알코올 R-OH 형태를 나타내며 R은 알킬기를 표시

● 메탄올 (CH₃OH) : 유독성

- 합성 가스로 알려진 CO와 H₂ 혼합물로 합성

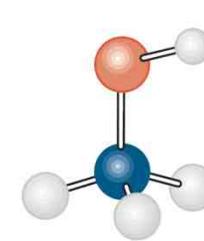
- 고온, 고압 및 촉매가 이용되어 수율 증가

- 활엽수 가열에 의해 생성 가능 유독성

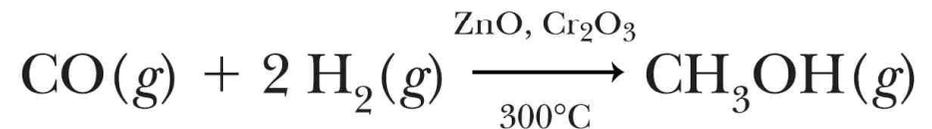
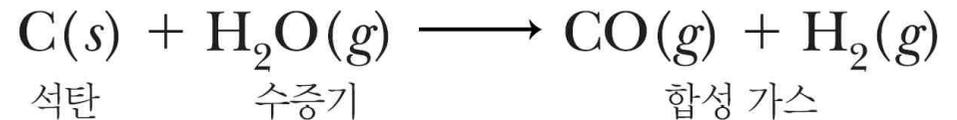
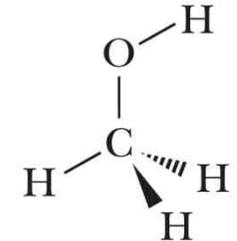
● 에탄올 (C₂H₅OH)

- 에틸알코올로 탄수화물의 발효로 얻을 수 있음

- 대체 연료와 산소-주입 연료의 첨가제로 주목



Methanol, CH₃OH





Gasoline 95. 가솔린과 에탄올의 혼합물로부터 제조된 가솔린 확장물.



에탄올 표시판을 갖고 있는 무연휘발유(납-미함유, unleaded) 펌프

확인문제 6C

1. 사이틀로헥세인과 벤젠의 차이점은 수소 원자 개수이다.

~~2.~~ 합성 가스는 _____ 와 _____ 의 혼합물이다.

~~3.~~ 트라이클로로벤젠에 대해서 _____ 개의 구조 이성질체들이 가능하다.

~~4.~~ 다이메틸벤젠에 대해서 _____ 개의 구조 이성질체들이 가능하다.

5. 탄수화물 발효로 생성되는 것은 (a) 에탄올 혹은 (b) 메탄올이다.

~~6.~~ 에테르는 _____ 연결 결합을 함유한 화합물이다.