

대사에서 에너지 변화와
전자전달의 중요성

15

대 사 (Metabolism)의 본질

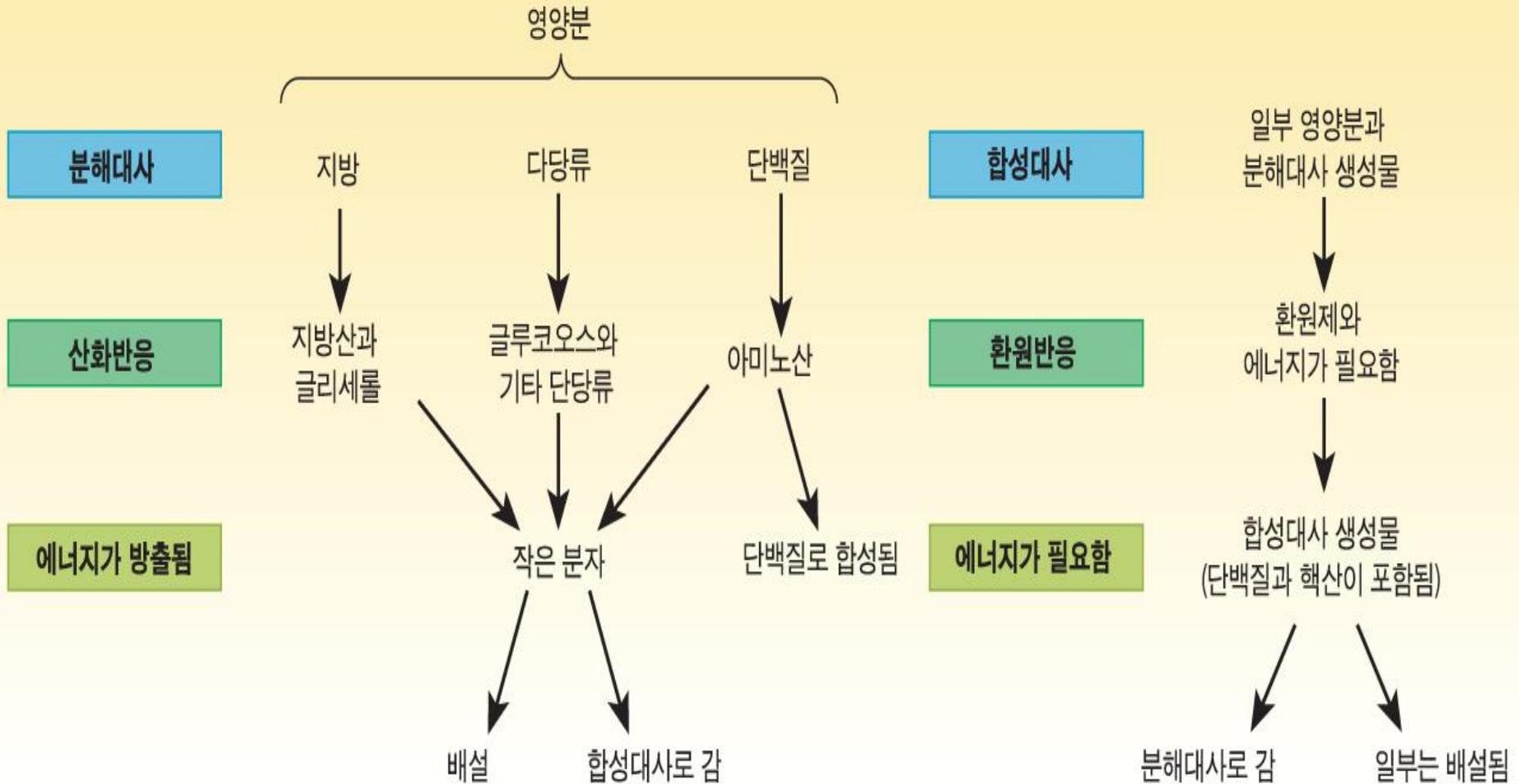
1. 이화 (catabolism): 분해대사

- 큰 분자를 작은 분자로 분해하는 과정
- 에너지를 방출(생산)하는 분해과정
- 산화과정

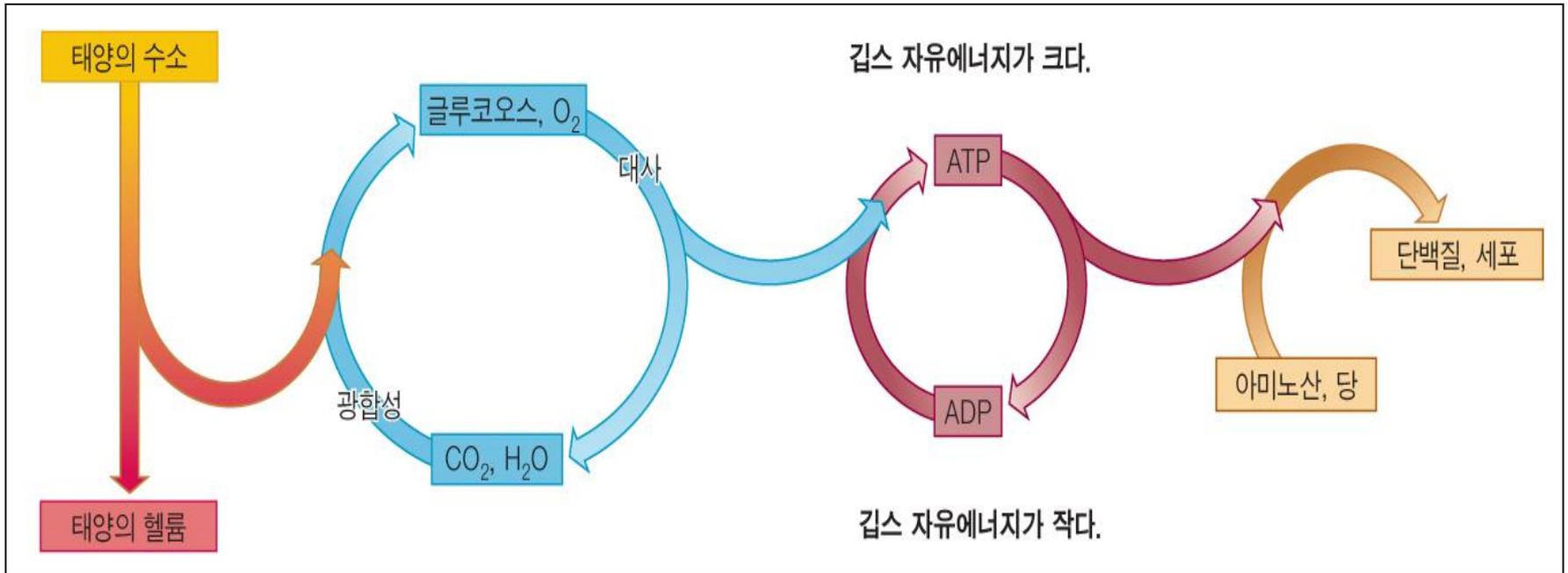
2. 동화 (anabolism) : 합성대사

- 작은 분자들이 모여 크고 복잡한 분자 생산
- 에너지를 필요(소모)로 하는 과정
- 환원과정

이화와 동화의 비교



대사 (Metabolism)



생명체는 에너지를 만드는 과정이 대사의 중심이다.

생명체는 에너지를 필요로 한다.

1. 이온 경사 유지
2. 체온 유지
3. 거대분자의 합성
4. 근육 운동

에너지론: 에너지와 대사와의 관계

- 여러 과정에서의 에너지론을 비교하기 위해 기준을 정할 필요가 있다.
- 표준상태 : 화학반응을 비교하는데 사용되는 조건의 기준을 정해 놓은 것



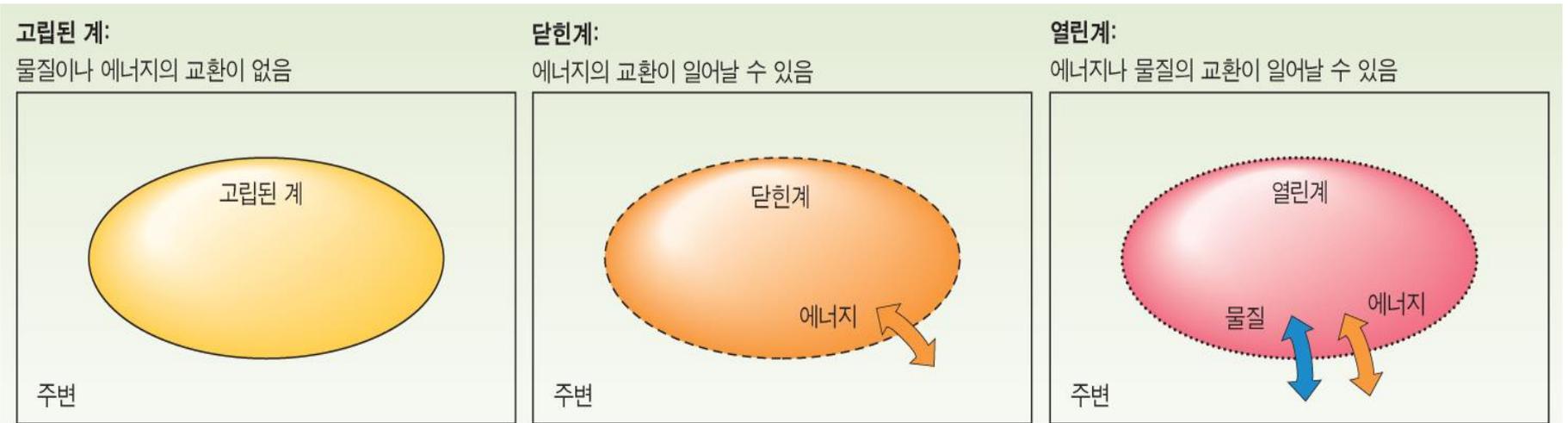
- **깁스 (Gibbs) 자유에너지**: 생체 시스템에서의 에너지 변화량을 측정하는 가장 적합한 방법
A → B (에너지가 생성되었는지 소모되었는지 알려줌)
- 자유에너지란 엔탈피, 엔트로피 및 온도를 이용하여 정의하는 열역학적 함수 (열역학법칙 적용)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

H = 엔탈피, 열함량 T = 온도 S = 엔트로피

생명체는 열린 열역학계이다.

- 생명체는 계와 주변 에서 에너지와 물질을 교환하는 열린 시스템이다.



열역학 제1법칙

에너지는 보존된다.

(예) 뜨거운 주전자를 찬물에 넣어두면 뜨거운 물은 식고 주변의 물이 따뜻해진다.

흡열반응: 열을 흡수하는 반응

발열반응: 열을 발생하는 반응

Questions!

찬물이 가득한 주전자를 가열할 때 주전자 내의 반응은 발열반응인가? 흡열반응인가?

뜨거운 주전자를 찬물에 식힐 때 주전자 내의 반응은 발열반응인가? 흡열반응인가?

엔탈피 (열함량): Heat

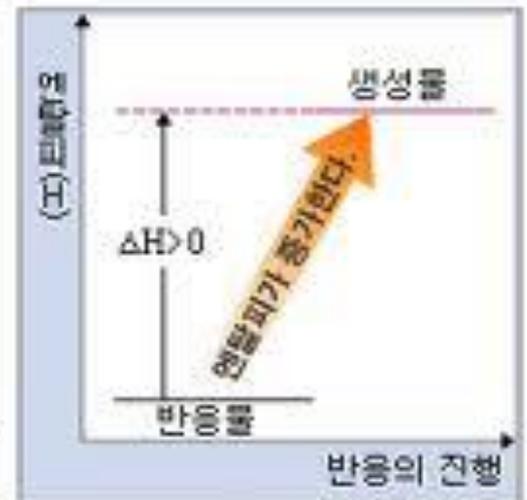
엔탈피의 변화량은 생성물의 엔탈피에서 반응물의 엔탈피를 뺀 값이다.

뜨거운 주전자를 찬물에 담귀 두면 주전자의 물은 식는다.
→ 주전자내의 열함량은 감소한다 (발열반응)

발열반응과 흡열반응에서의 엔탈피 변화



발열 반응 : $\Delta H < 0$



흡열 반응 : $\Delta H > 0$

음수 값: 발열반응
양수 값: 흡열반응

열역학 제2법칙

계와 주변의 무질서도 (entropy)가 > 0 일 때 반응은 **자발적**으로 일어난다.

- **Entropy(S)**는 계의 무질서한 정도를 나타내는 열역학적 성질이다.
- 무질서한 정도가 크면 클수록, entropy는 증가한다.

자발적인 반응이란?

- 에너지를 가해주지 않아도 일어나는 반응
- 예: 쇠 조각은 항상 녹이 슬게 마련이다.
물은 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다.
- 자발적 반응의 자유에너지 변화는 음의 값이다.

자유에너지 (Free energy)와 자발성과의 관계

자유에너지의 변화량은 반응의 방향을 가르쳐준다.

$\Delta G < 0$ (negative), 자발적 반응

$\Delta G > 0$ (positive), 비자발적 반응

$\Delta G = 0$ (zero), 평형상태로 반응이 일어나지 않는다.

자유에너지 (Free energy)와 자발성과의 관계

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

(H = enthalpy, T = 온도, S = entropy)

자발적 반응의 조건은 : ΔG 가 음의 값

1. H(엔탈피 변화량)가 음의 값: 발열반응
2. 무질서도(S:엔트로피)가 + 값일 때, 즉 증가할 때

자발적으로 일어날 가능성이 높은 반응은 ?



대 사 (Metabolism)

1. 이화 (catabolism):

degradation of molecules (분해과정)

oxidative process (산화과정)

에너지 생성 (ATP)

환원력 생성(NADH, NADPH)

대 사 (Metabolism)

2. 동화 (anabolism) :

고분자물질의 합성, 유지

대 사 (Metabolism)

1. 이화 (catabolism):

분해과정

oxidative process (산화과정)

에너지 생성 (ATP)

환원력 생성 (NADH, NADPH)

2. 동화 (anabolism) :

고분자물질의 합성, 유지

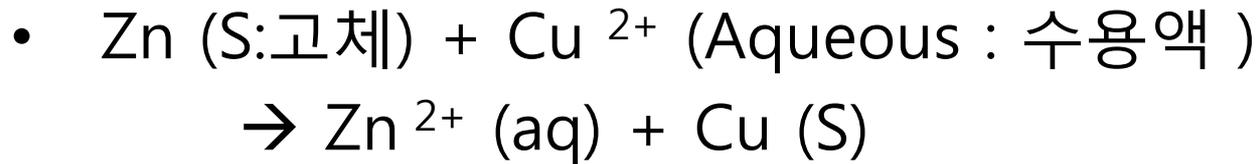
reductive process (환원과정)

requires energy (에너지 필요)

산화·환원 반응

- 산화와 환원은 서로 반대 작용으로, 한쪽 물질에서 산화가 일어나면 반대쪽에서는 환원이 일어난다.
- **산화(Oxidation)**는 분자, 원자 또는 이온이 산소를 얻거나 수소 또는 전자를 '잃는' 것을 말한다.
- **환원(Reduction)**은 분자, 원자 또는 이온이 산소를 잃거나 수소 또는 전자를 '얻는' 것을 말한다.

산화 환원반응의 예



산화반응: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ (전자를 잃어버림)

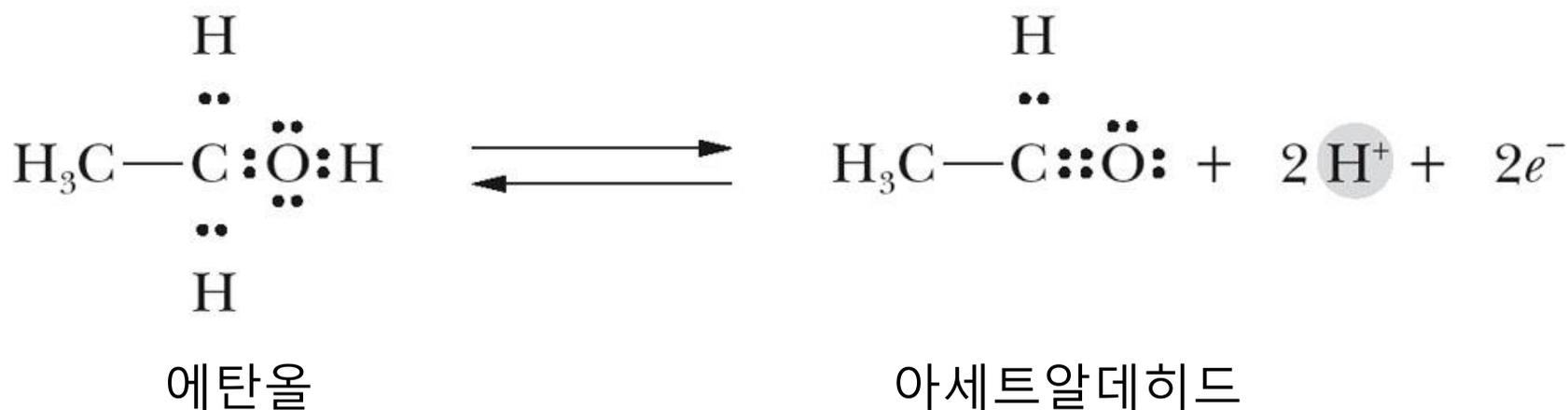
환원반응: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ (전자를 얻음)

산화반응의 예

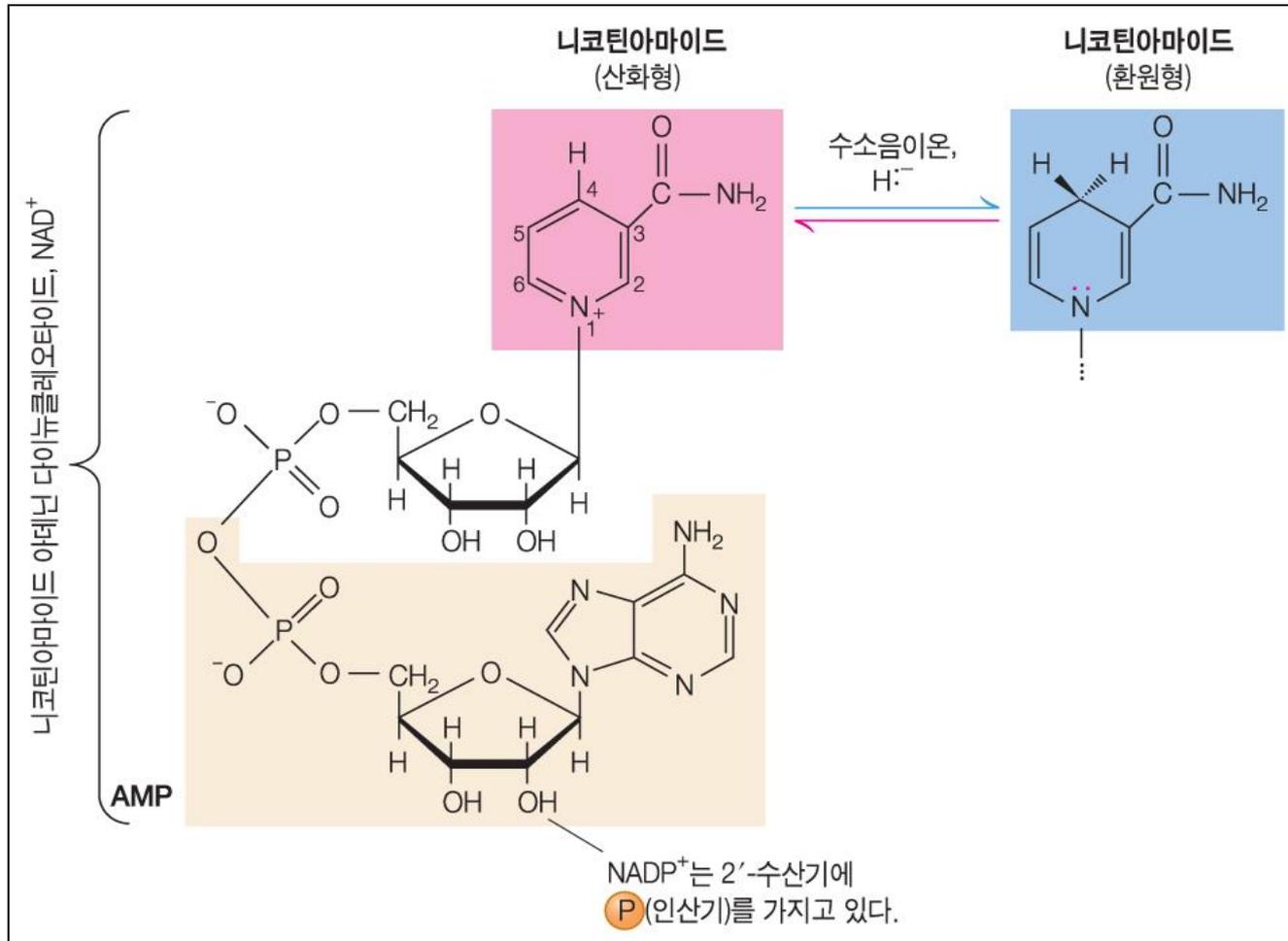
철 → 산화철 (녹)



산화반응의 예 (술이 분해되는 과정)

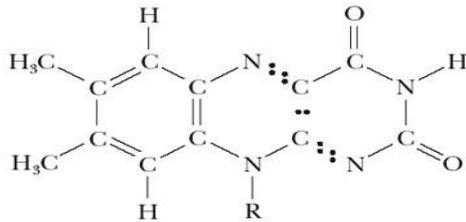


NAD⁺와 NADH의 구조 비교



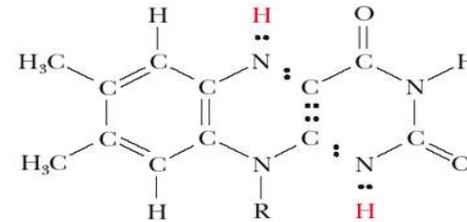
FAD와 FADH₂의 구조 비교

FAD (산화형)



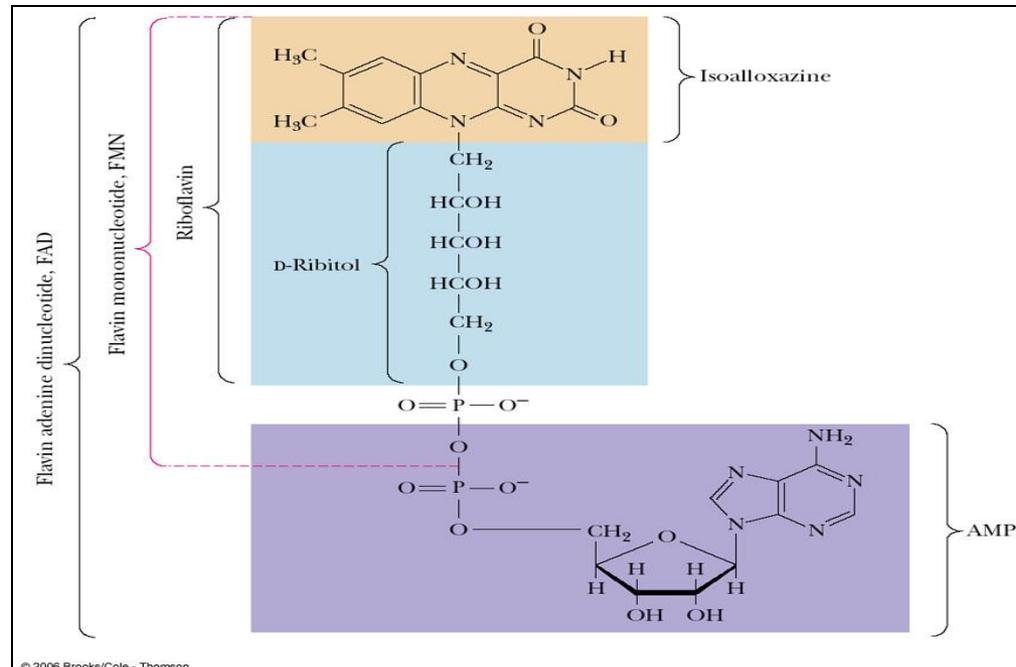
FAD oxidized form

FADH₂ (환원형)



FADH₂ reduced form

© 2006 Brooks/Cole - Thomson



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

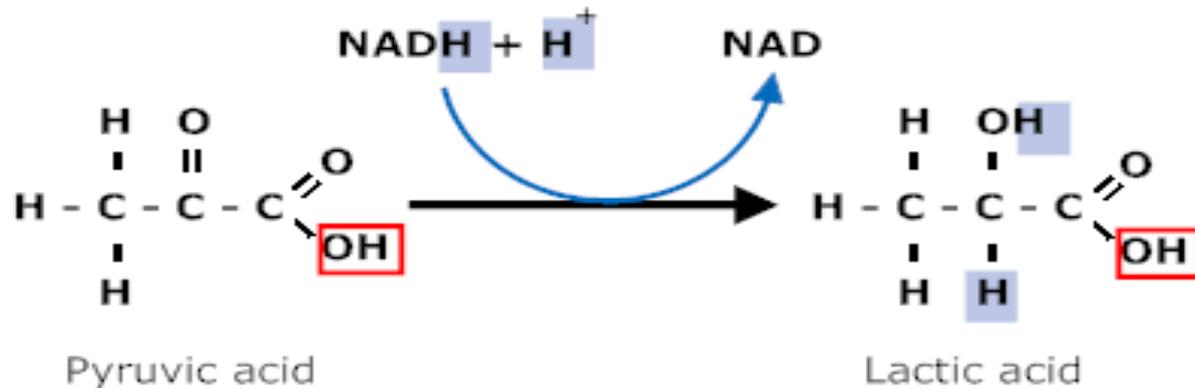
산화제와 환원제

- 환원제 – 전자를 줄 수 있는 물질
electron donor
NADH, FADH₂
- 산화제 – 전자를 얻는 물질
electron acceptor
NAD⁺, FAD

Question (444쪽)

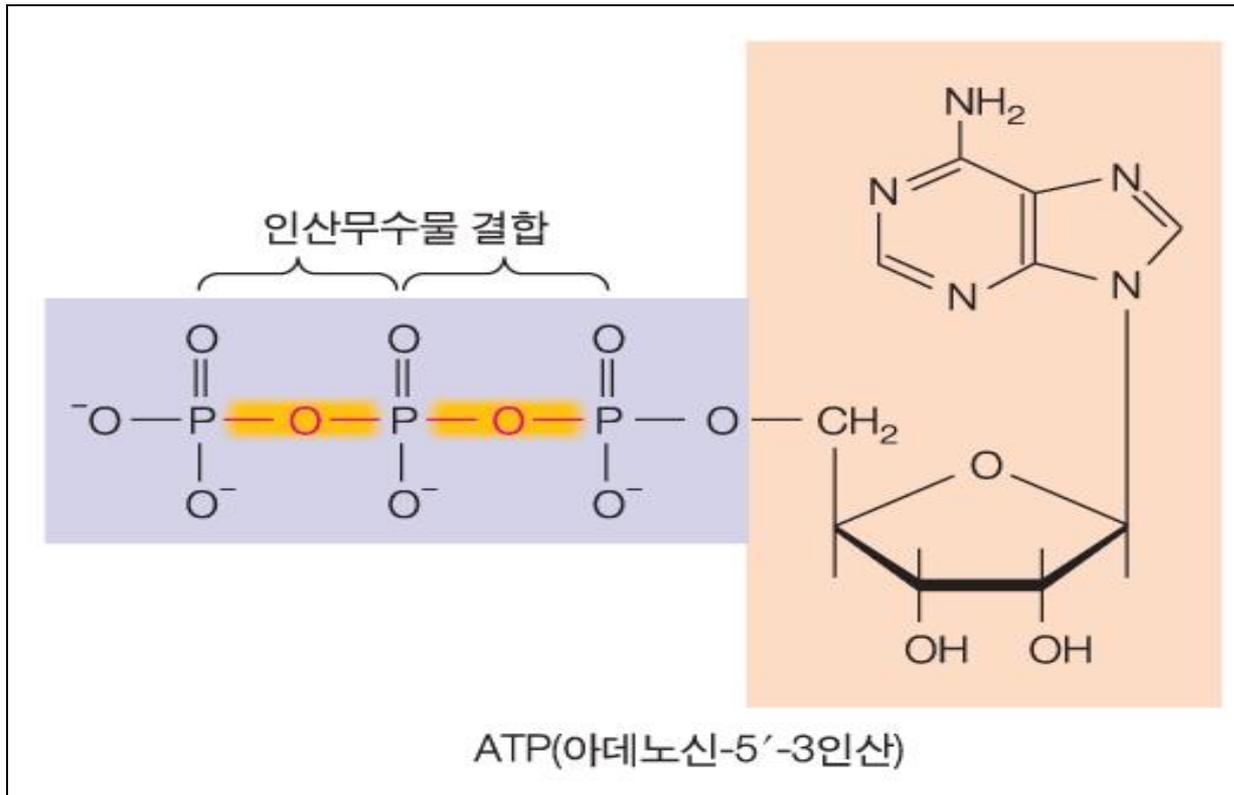


- ① 산화반응은?
- ② 어느 물질이 환원제인가?

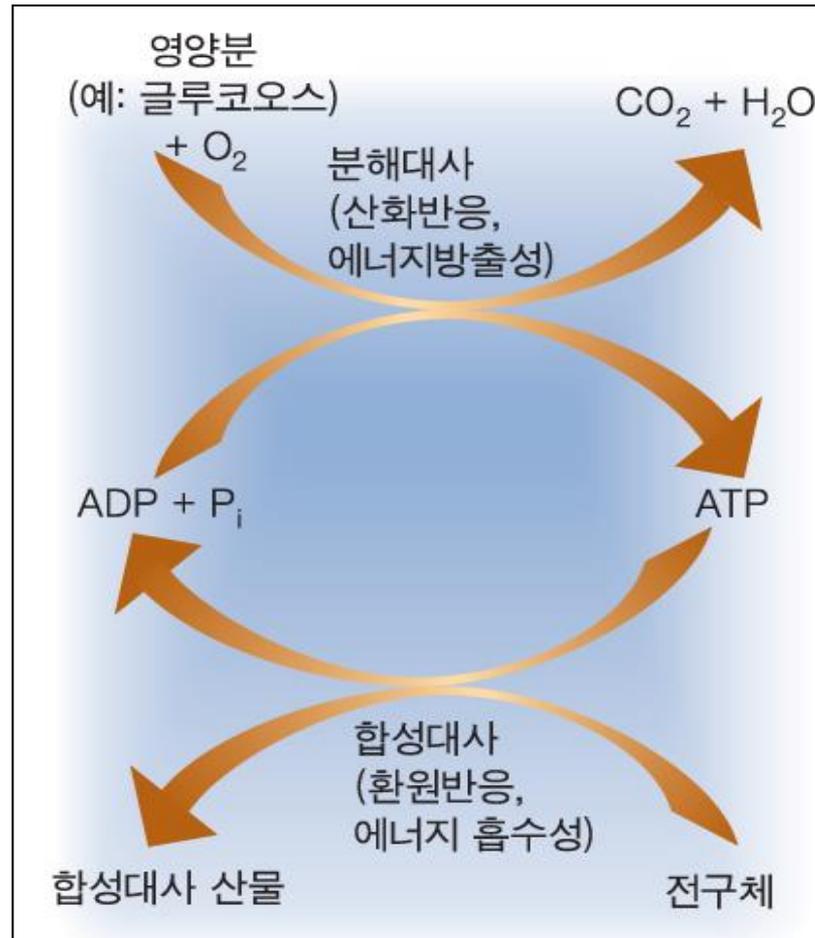


화학적 에너지

분자 내의 결합이나 내적인 힘에 의해 생기는 에너지



보편적 에너지: ATP



고에너지 화합물의 특징

높은 인산기 전달 포텐셜을 가진 화합물
(High phosphate-group transfer potential)

- ATP (Adenosine triphosphate)
- 크레아틴 인산 (Creatine phosphate)
- 포스포에놀피루브산 (phosphoenol phosphate)
- GTP (Guanosine triphosphate)

표 15.1 몇 가지 유기인산화합물의 가수분해 자유에너지

화합물	$\Delta G^{\circ'}$	
	kJ mol^{-1}	kcal mol^{-1}
포스포엔올피루브산	-61.9	-14.8
카바모일 인산	-51.4	-12.3
크레아틴 인산	-43.1	-10.3
아세틸 인산	-42.2	-10.1
ATP(ADP로 될 때)	-30.5	-7.3
글루코오스-1-인산	-20.9	-5.0
글루코오스-6-인산	-12.5	-3.0
글리세롤-3-인산	-9.7	-2.3

ATP가 고에너지 화합물인 이유는
포스포에스테르 결합 때문이다.

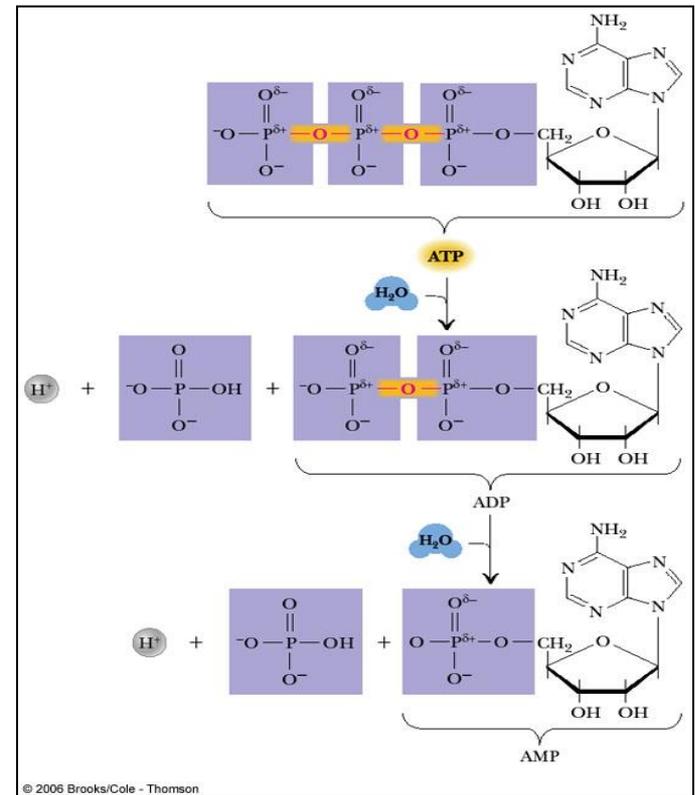
ATP의 분해 시

- 무질서도 증가
- 정전기적 반발력 감소
- 분해물의 공명구조 생성으로 안정해짐

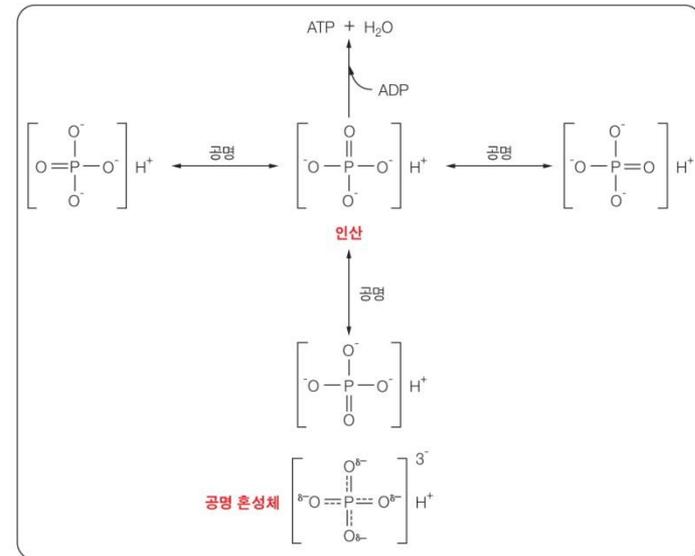
ATP분해반응의

$$\Delta G^{\circ} = - 7.3 \text{ kcal/mol}$$

ΔG° 가 음의 값이므로 에너지 생성반응이고
자발적 반응이다.



© 2006 Brooks/Cole - Thomson



ADP가 인산과 결합하여 ATP로 합성되면 무질서도가 감소

ATP 합성반응의 $\Delta G^{\circ} = 7.3 \text{ kcal/mol}$ 이며
에너지 흡수성반응이고 비자발적 반응이다.

실전 응용 (450쪽)

포스포엔올피루브산 + ADP → 피루브산 + ATP의 ΔG° 를 결정하라.

포스포엔올피루브산 + H₂O → 피루브산 + Pi ($\Delta G^{\circ} = -14.8$ kcal/mol)

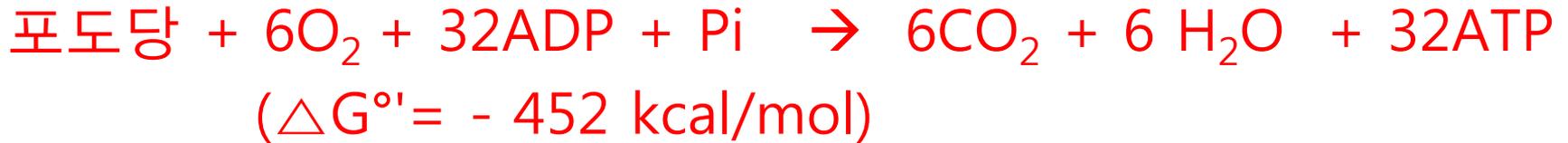
ADP + Pi → ATP + H₂O ($\Delta G^{\circ} = 7.3$ kcal/mol)

포스포엔올피루브산 + ADP → 피루브산 + ATP ($\Delta G^{\circ} = -7.5$ kcal/mol)

$\Delta G^{\circ} = -7.5$ kcal/mol 이므로 따라서 자발적 반응이다.

포도당이 이산화탄소로 연소될 때의 자유 에너지 계산

- 포도당 + 6O₂ → 6CO₂ + 6 H₂O ($\Delta G^{\circ} = - 685 \text{ kcal/mol}$)
- 32 ADP + Pi → 32 ATP ($\Delta G^{\circ} = 233 \text{ kcal/mol}$)

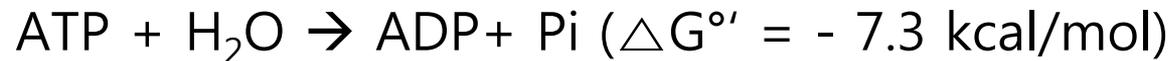


포도당의 CO₂로의 분해는 에너지 생성과정이고
 ΔG° 가 음의 값이므로 자발적 반응이다.

우리 몸의 모든 반응이 자발적으로
일어나는 것은 아니다.

불리한 반응은 유리한 반응에 의해 추진된다

1) 가수분해에 의한 짝지움 반응



$\Delta G^{\circ'}$ 가 음이므로 에너지 방출성 반응, 자발적 반응

(예) 해당과정의 첫 번째 반응



글루코오스의 인산화반응과 ATP의 가수분해반응이 짝지어 일어난다.

불리한 반응은 유리한 반응에 의해 추진된다

2) CoA 에 의한 활성화

S + coenzyme \rightarrow S-coenzyme (활성화 단계)

S-coenzyme + Q \rightarrow SQ + coenzyme ($\Delta G < 0 \rightarrow$ 자발적 반응)

CoA 구조

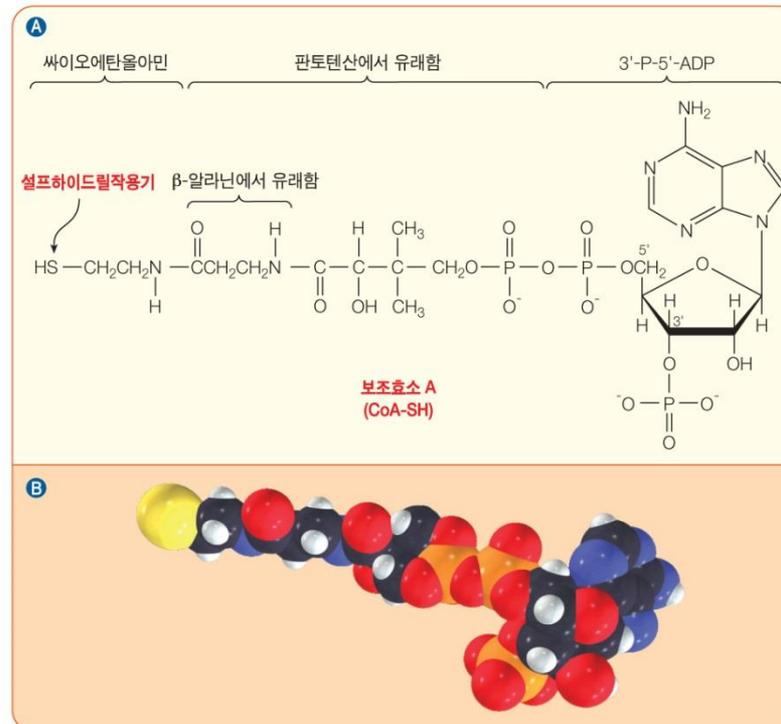


그림 15.13 대사에서 전자전달과 ATP 생성의 역할. NAD^+ , FAD, ATP 등은 끊임없이 재순환된다.

