

Ch. 7 미생물 생장과 산물생성에 관한 양론 (Stoichiometry)

수율 (Yield)

- ❖ 겉보기 수율 (Apparent Yield) (Maintenance O)
- ❖ 최대 수율 (True(maximum) Yield) (Maintenance X)
- ❖ m_s (유지 계수, maintenance coefficient, g S/g X-h):
유지 에너지를 충당하기 위한 기질 소비 속도
- ❖ D (희석 속도, dilution rate, h^{-1}) = F/V

$$\frac{1}{Y_{X/S}^{AP}} = \frac{1}{Y_{X/S}^M} + \frac{m_S}{D}$$

$$\frac{1}{Y_{X/ATP}^{AP}} = \frac{1}{Y_{X/ATP}^M} + \frac{m_{ATP}}{D}$$

$$\frac{1}{Y_{X/O_2}^{AP}} = \frac{1}{Y_{X/O_2}^M} + \frac{m_{O_2}}{D}$$



Chapter 6

Bioprocess Engineering I

$$FS_0 - FS - V_R \mu_g X \frac{1}{Y_{X/S}^M} - V_R q_p X \frac{1}{Y_{P/S}} = V_R \frac{dS}{dt}$$

$$D(S_0 - S) = \frac{\mu_g X}{Y_{X/S}^M} \quad (\text{정상상태, 세포 외 산물 생성 무시})$$

$$X = Y_{X/S}^M (S_0 - S) \quad (\text{세포사멸 무시, } k_d=0)$$

$$D = \mu_g - k_d, \quad \mu_g = D + k_d \quad (\text{세포사멸 혹은 내인성 대사 고려})$$

$$D \left(\frac{S_0 - S}{X} \right) - \frac{1}{Y_{X/S}^M} (D + k_d) = 0$$

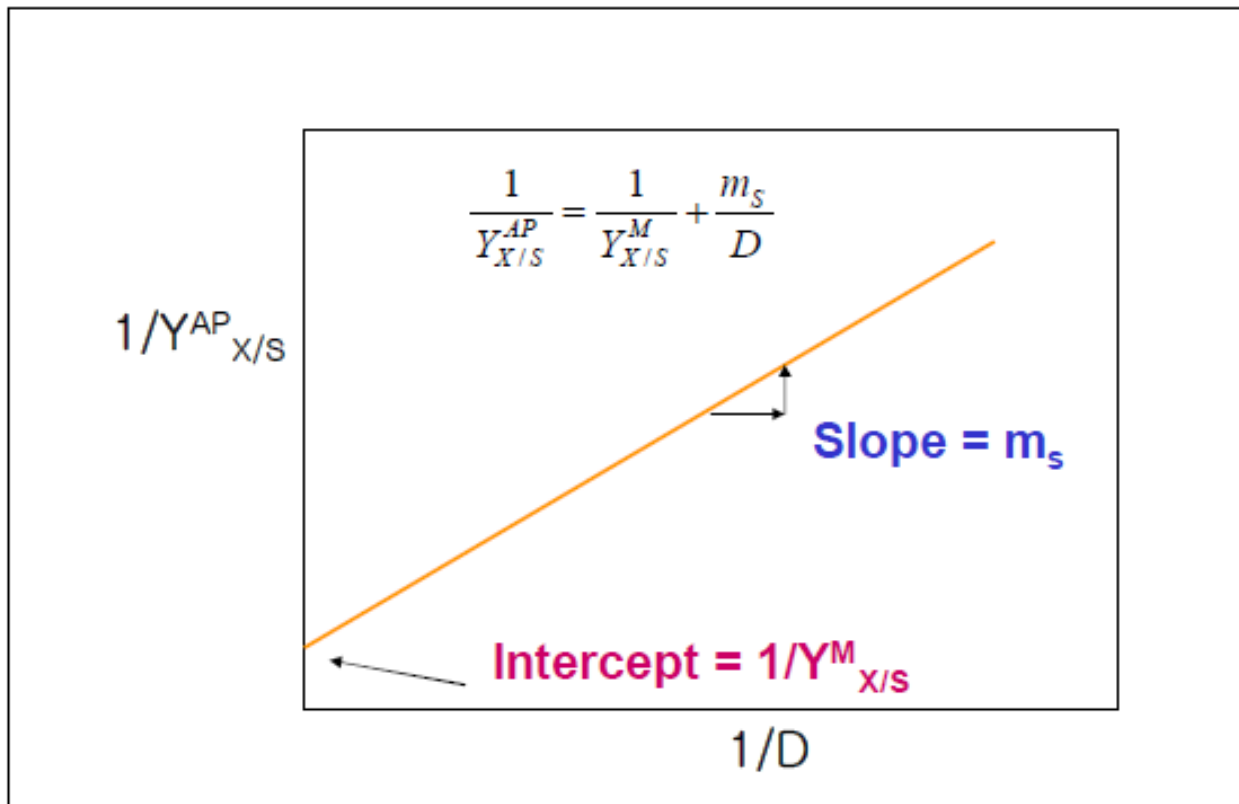
$$D \left(\frac{1}{Y_{X/S}^{AP}} \right) - \frac{D}{Y_{X/S}^M} - \frac{k_d}{Y_{X/S}^M} = 0$$



$$\frac{1}{Y_{X/S}^{AP}} = \frac{1}{Y_{X/S}^M} + \frac{m_S}{D}$$

$$m_S = \frac{k_d}{Y_{X/S}^M}$$

Y^M 과 m_s 의 예측



Bioprocess Engineering I

ATP Yield

ATP yield : 영양 성장 조건에 따라 거의 일정

- 독립 영양 (CO_2 를 탄소원으로): 6.5 g 건조 중량/mol ATP
- 호기성: 10~11 g 건조 중량/mol ATP

종속영양



Table 7.1
Table 7.2

Some Parameters

- ❖ Respiratory Quotient (RQ)
= mole CO_2 produced / mol O_2 consumed
- ❖ P/O ratio
= mole ATP produced / mol O_2 consumed
- ❖ H/O ratio
= mole H^+ produced / mol O_2 consumed

Bioprocess Engineering I

Regularities (불변성)

❖ Q_0 (이용 가능 전자 당량 당 발생열): 26.95 kcal / g
전자 당량

❖ 4.291 g 전자 당량
/ X containing 1 g atom C

❖ 0.462 g C / g X 건조 중량

$$Y_{X/e^-} = 3.14 \text{ g X 건조 중량 / g 전자 당량}$$

Bioprocess Engineering I

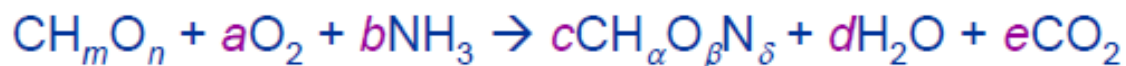
Biomass의 원소 조성

- ❖ 미생물의 화학식 (실험식) : Table 7.3
- ❖ 대표적 화학식 : $\text{CH}_{1.8}\text{O}_{0.5}\text{N}_{0.2}$

Bioprocess Engineering I

원소 수지 (I)

❖ 세포 외 산물이 없는 경우



$$\text{C: } 1 = c + e$$

$$\text{H: } m + 3b = c\alpha + 2d$$

$$\text{O: } n + 2a = c\beta + d + 2e$$

$$\text{N: } b = c\delta$$

Unknown (5개) : a, b, c, d, e

M.B. equations (4) : C, H, O, N

One more information : RQ(= e/a), yield...

Bioprocess Engineering I

환원도 (Degree of Reduction) γ

환원도 : the number of available e- equivalent / g atom C

이용 가능 전자: 화합물을 산화시킬 때 전달할 수 있는 전자

화합물 중의 한 원소의 환원도: 원자가에 해당 (CO₂, H₂O, NH₃로 산화시킬 때)

C = 4, H = 1, N = -3 (NH₃)

O = -2, P = 5, S = 6

➡ Table 7.4

$$\text{CH}_4 : \quad 1(4) + 4(1) = 8$$

$$\gamma = 8/1 = 8$$

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 : \quad 6(4) + 12(1) + 6(-2) = 24$$

$$\gamma = 24/6 = 4$$

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \quad 2(4) + 6(1) + 1(-2) = 12,$$

$$\gamma = 12/2 = 6$$

높은 γ : 산화 정도가 낮은 상태

γ : CH₄ > EtOH > glucose

Bioprocess Engineering I

원소 수지 (II)

❖ 세포 외 산물이 있는 경우



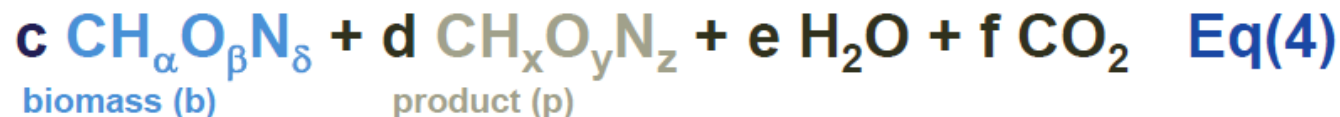
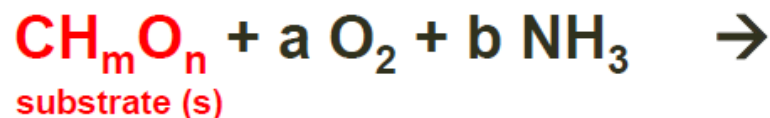
Degree of reduction	S:	$\gamma_s = 4 + m - 2n$
	X:	$\gamma_b = 4 + \alpha - 2\beta - 3\delta$
	P:	$\gamma_p = 4 + x - 2y - 3z$

Mass balance	C :	$c + d + f = 1$
	N:	$c\delta + dz = b$
	e-:	$c\gamma_b + d\gamma_p = \gamma_s - 4a$

Energy balance	$Q_0 c \gamma_b + Q_0 d \gamma_p = Q_0 \gamma_s - Q_0 4a$
----------------	---

Bioprocess Engineering I

Aerobic production of a single extracellular product



$$\text{C:} \quad c + d + f = 1$$

$$\text{N:} \quad c \delta + d z = b$$

$$\text{electron:} \quad c \gamma_b + d \gamma_p = \gamma_s - 4 a$$

$$\text{RQ} = f / a$$

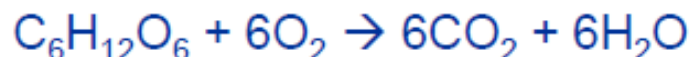
$$Y_{x/s} = c$$

$$Y_{p/s} = d$$

→ determine a, b, c, d, and e

이론적 수율의 예측

$Y_{X/e^-} = 3.14 \text{ g 건조 중량 / g 당량 전자}$
 EQS (available e- equivalent of substrate)
 ← degree of reduction



EQS of glucose (1 mol) : 24

$$Y_{X/S} = (3.14 \text{ g X/e- eq.}) (24 \text{ e- equ./mol}) (1\text{mol}/180 \text{ g})$$

$$= 0.4 \text{ g X/g S}$$

- 포도당을 이용하는 호기성 생장의 수율: 0.38~0.51 g/g (표 6.1)

혐기성 ATP 수율 ($Y_{X/ATP}$) = ~10.5 g X/mol ATP

호기성 ATP 수율 ($Y_{X/ATP}$) = 6~29 g X/mol ATP

N (기질 1g 당 생성 ATP 몰 수)을 알면 수율 예측 가능

$$Y_{X/S} = Y_{X/ATP} \times N$$

Bioprocess Engineering I