

4 가용성 생성물의 회수 및 정제

항생제, 유기산, 용매, 아미노산 그리고 세포 외 효소(extracellular enzymes)와 같은 대부분의 미생물에 의한 생성물은 가용성(soluble)이고 세포 외부에 존재한다. 이러한 가용성 생성물을 회수하기 위한 방법으로 추출, 침전, 흡착, 한외여과, 역삼투, 투석, 크로마토그래피, 전기영동 등이 있다.

4.1 액-액 추출 1 (용매추출)

추출(liquid-liquid extraction)이란 원료 용액(원용매에 용질이 녹아있는 상태) 중에 함유된 용질(solute)을 추출제(extracting solvent)로 용해하여 분리하는 조작이다. 추출조작에는 회분식(batch type)과 연속식(continuous type)이 있으며 연속식에는 향류 다단추출(multistage counter-current extraction)과 병류 다단추출법(multistage cocurrent extraction)이 있다. 회분식은 원료와 추출제를 탱크에 넣고 충분히 교반한 후 가만히 정치(settling)하여 추출상(extract)과 추잔상(raffinate)을 분리하는 방법이다. 이때 용질은 원료(추잔상)로부터 추출상으로 이동한다. 추출은 물질전달이 잘 일어날 수 있도록 두 개의 상이 잘 접촉하도록 하는 것이 중요하다.

원하는 추출을 수행하기 위하여 소요되는 단수(number of stages)를 구하는 방법은 다음과 같다. 우선 삼각도표상에 용질의 원용매 및 추출제에 대한 용해도 곡선(solubility curve)을 도시한다. 그리고 물질 수지를 세워 조작선(operating line)을 구한다. 그리고 용해도 곡선(평형선)과 조작선을 교대로 이용하여 이론 단수(number of ideal stages)를 구한다.

한 성분 A 가 서로 섞이지 않는 두 액체 사이에 분배될 때 두 상(two phases)에서의 농도비를 분배계수(distribution coefficient, K_A)라 한다. 즉,

$$K_A = \frac{y_A}{x_A} \quad (12)$$

여기서, y_A 와 x_A 는 각각 추출상과 추잔상에서의 용질(A)의 분율이다. 이상적인 추제는 독성이 없고, 저렴하며, 발효액과 섞이지 않아야 한다. 그러나 추제가 가져야 하는 가장 중요한 성질은 원료 중의 용질은 가능한 많이 용해하되 원용매는 되도록 용해하지 않는 것이다. 그 결과 추출상에 들어 있는 용질/원용매의 비율이 원료 중에 원래 들어있던 용질/원용매의 비율보다 커야만 추출이 가능하다. 즉, 다음과 같이 정의되는 선택도(selectivity, β)가 반드시 1보다 커야 한다.

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\text{용질 (성분 A)에 대한 추제의 분배계수}}{\text{원용매 (성분 B)에 대한 추제의 분배계수}} \\ &= \frac{K_A}{K_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} \\ &= \frac{\text{추출상에 들어 있는 용질의 분율/추출상에 들어 있는 원용매의 분율}}{\text{추잔상에 들어 있는 용질의 분율/추잔상에 들어 있는 원용매의 분율}} \quad (13) \end{aligned}$$

여기서, x 는 추잔상에서의 중량분율이고, y 는 추출상에서의 중량분율이다. 예를 들어 페니실린 발효 후 생성물을 분리하기 위해서는 아밀아세테이트(amylic acetate)나 이소아밀아세테이트(isoamyl acetate)를 추제로 사용하여 추출한다.

그림 3(a)에서 1단 추출에 대하여 분배계수(K_A)가 일정하고 추출상과 추잔상이 절대 섞이지 않으며 추잔상의 양과 추출상의 양이 변하지 않는다(즉, $R_0 = R_1$, $E_0 = E_1$)고 가정하면, 추출되는 용질에 대한 물질수지식은 아래와 같다.

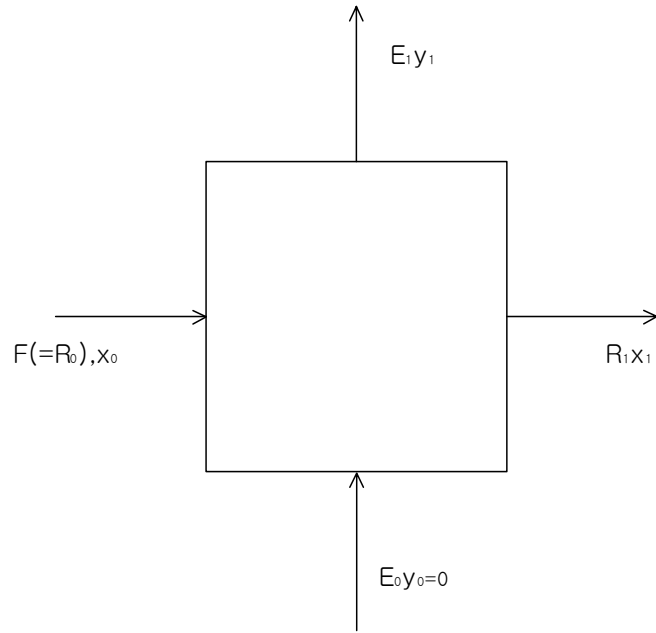
$$R(x_0 - x_1) = Ey_1 \quad (14)$$

여기서, E 와 R 은 각각 추출상과 추잔상의 양이며 x_0 , x_1 은 추잔상에서의 용질의 농도, y_1 은 추출상에서의 용질의 농도이다.

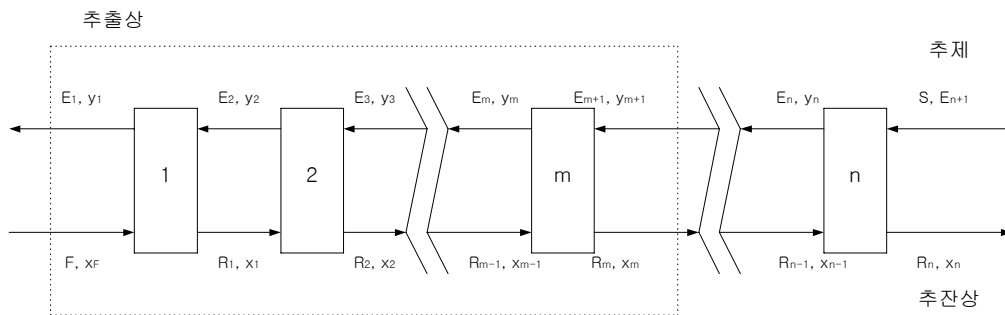
위 식을 정리하면

$$x_1 = x_0 - \frac{E}{R} y_1 \quad (15)$$

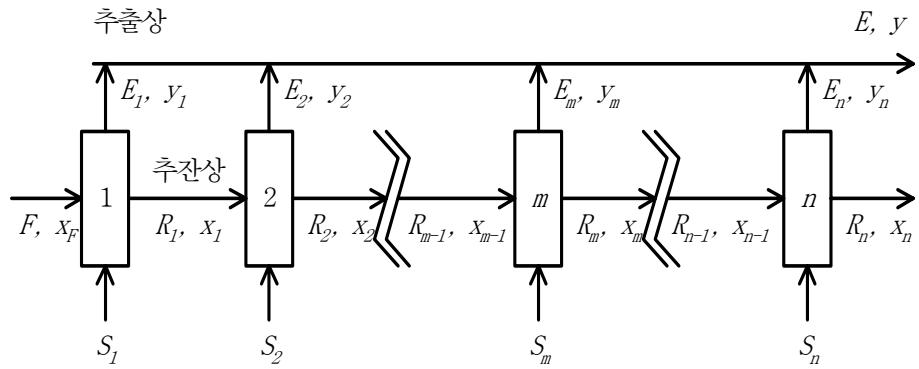
그런데 식 (12)에 의하여 $y_1 = K_A x_1$ 이므로



(a) 1단 추출



(b) 향류 다단추출



(c) 병류 다단추출

그림 3 1단 추출, 향류다단 및 병류다단 추출의 모식도

$$x_1 = x_0 - \frac{EK_A}{R} x_1 \quad (16)$$

즉,

$$\frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{1 + \frac{EK_A}{R}} \quad (17)$$

추출인자(extraction factor) e 를 다음과 같이 정의하여

$$e = \frac{EK_A}{R} \quad (18)$$

식 (17)에 대입하면 1단 추출에서 유출되는 추잔상 내의 용질의 농도(x_1)와 유입되는 원료 중의 용질의 농도(x_0)비는 다음과 같다.

$$\frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{1 + e} \quad (19)$$