

4.4 한외여과 1

한외여과(ultrafiltration, UF)는 제약, 화학, 식품산업 등에서 백신, 발효 생성물, 효소, 기타 단백질 분리에 많이 사용하는 에너지 효율적이고 경제적인 분리방법으로 보통 침전공정(precipitation)에 이어서 사용한다. 한외여과막은 비등방성구조(anisotropic structure)로서 미세구멍(small pores)이 있는 얇은 표피(thin skin)와 두껍고 다공성이 높은 지지체구조(porous structure)가 밀착되어 있다. 이 얇은 표피층은 용질에 대한 선택성(selectivity)을 제공하는 반면에 더 두꺼운 층은 기계적인 지지기능을 한다. 한외여과는 막의 분자량 size cut-off에 따라 적당한 막을 사용하여 분자량 2,000 ~ 500,000 달톤의 단백질 등을 분리하는 데 사용한다.

한외여과 시스템은 막의 양면에 걸리는 압력차(pressure difference)에 의해 진행되는 공정으로 고분자량의 용질은 막을 통과하지 못하고 저분자량의 용질은 막을 통과한다. 그러므로 막표면과 유체본체 사이에 농도 기울기(concentration gradient)가 생기며 농도분극(concentration polarization)을 형성하게 된다.

한외여과는 다공성막(microporous membrane)을 통한 물질의 흐름이므로 유체역학에서 관(tube)을 통한 층류 흐름(laminar flow)을 가정한다면 Hagen-Poiseuille 식으로 표현될 수 있다. 단위면적당 n 개의 세공을 통과하는 용매의 투과량을 체적플럭스(volumetric flux) J_v 라하고, Hagen-Poiseuille 식을 적용해서 다음 식으로 나타낸다.

$$J_v = \left(\frac{n d^4}{128} \right) \frac{p}{l} \quad (33)$$

여기서, J_v 는 체적플럭스, n 은 단위면적당 세공수, d 는 세공의 지름, l 은 세공의 길이, η 는 침투 용액의 점도, Δp 는 막 사이의 압력차이다.

이 방정식에 의하면 체적플럭스가 세공지름의 4제곱에 비례하고 압력차에 비례한다. 그러나 실제로는 플럭스가 압력차에 따라 선형적으로 증가

되지 않는다. 초기에는 압력이 증가함에 따라 선형적으로 증가하나 어떤

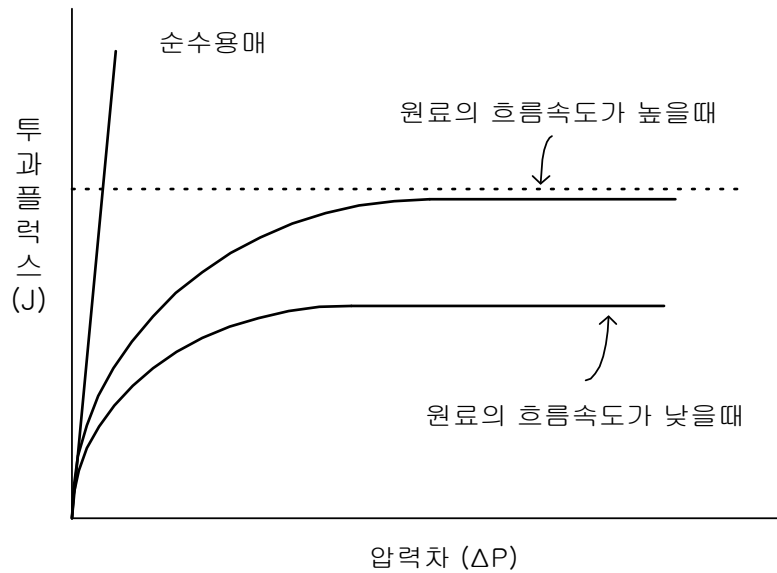


그림 7 한외여과 공정에서 압력에 따른 투과용매 플럭스의 변화

압력을 지나서는 농도분극(concentration polarization) 현상 때문에 플럭스는 더 이상 증가하지 않는다(그림 7). 농도분극 현상이란 막에 의해 배제된 용질이 막 표면에 쌓이는 현상이다. 만일 이 용질이 물리화학적 결합력이 강한 물질이라면 압력을 증가시키기에 따라 농도분극 현상이 더욱 심해져 막투과량이 급격히 감소하게 되고 막 표면의 침전물이 의한 고형화되어 막의 오염(fouling)이 초래되어 압력을 아무리 올려도 더 이상 플럭스가 증가되지 않는 한계투과량(limiting permeate flux) 상태에 도달하게 된다.