

場흐름 분획법(FFF)

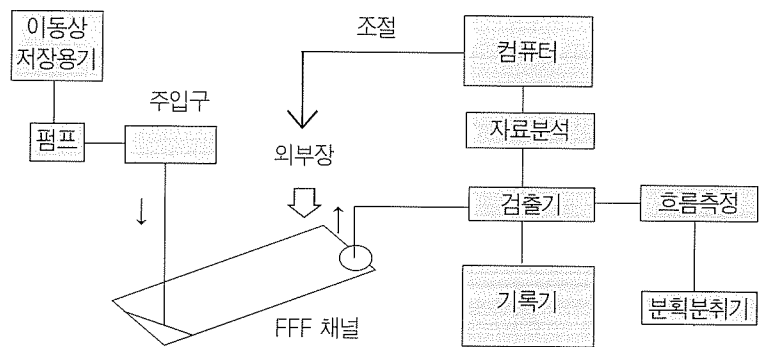
金宅濟

(경기대학교수 · 화학/본지운영자문위원)

장흐름분획법(Field Flow Fractionation:FFF)은 1966년 미국 유타대학의 J.C. Giddings 교수에 의해 처음으로 개발된 고분자나 입자의 분리 및 분취기술이다. 해마다 미국 R&D사에서 신기술, 신상품에 수여하는 R&D 100상을 88, 89년에 수상하였으며, 현재 크기 배제 크로마토그래피(Size Exclusion Chromatography, SEC or GPC)와 더불어 고분자 물질의 분리 및 특성 연구에 사용되고 있다. FFF는 크로마토그래피와 유사한 분리분석기술이지만 정지상(stationary phase)이 없으므로 단일상 크로마토그래피라 부르기도 한다. 시료의 머무름은 일반 크로마토그래피의 이동상(mobile phase)과 정지상의 두 상(phase)사이에서 분배되는 정도에 의해서가 아닌 외부장에 의해서 이루어진다. FFF를 이용하여 분리 가능한 분자량 영역은 10^3 에서 10^{18} 정도이며 입자크기로는 약 $100\mu\text{m}$ 까지이다. 응용분야는 다양하여 리보솜(ribosome), 에멀전 같은 제약용 입자, 단백질, DNA, 세포와 같은 생체 물질들, 지용 및 수용성인 각종 고분자 라텍스 입자들, 환경오염과 관련된 공기중 부유 입자들의 분리 및 물리화학적 물질 연구에 이용된다.

FFF의 원리

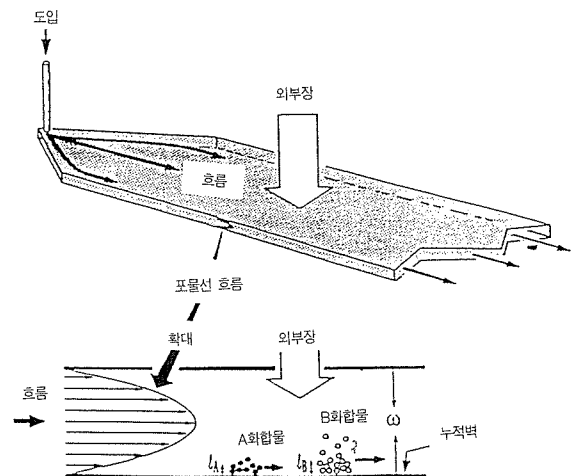
FFF의 구조는 (그림 1)과 같이 액체



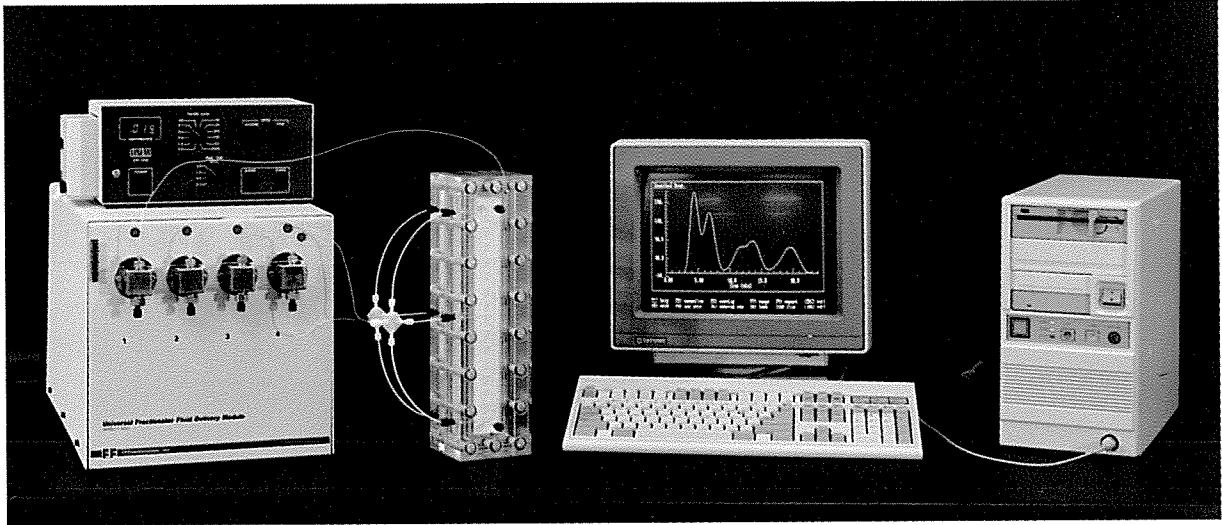
〈그림 1〉 FFF의 구성

크로마토그래피와 유사하며, 시료의 분리는 칼럼에 해당하는 채널(channel)에서 일어난다. 채널은 두개의 편평한 판 사이에 간격 띄우게(spacer)를 놓아 만든 직사각형 단면의 얇은 틈 형태이다. 채널의 상하 두벽사이에 형성되는 이동상의 흐름에 수직으로 외부장이 가해지면 채널내에 시료물질들은 누적벽

(accumulation wall)쪽으로 이동하게 되며, 이동상의 흐름속으로 시료물질을 밀어올리는 브라운 확산과 상호 균형을



〈그림 2〉 FFF의 원리



이루어 정류상태(steady state)가 형성된다(그림 2). 이때 크기가 작은 입자보다 상대적으로 확산이 커서 채널내의 누적벽으로부터 높은 위치에서 평형을 이룬다. 채널내의 이동상의 흐름이 포물선 흐름일 때 부분유속은 채널 두께의 1/2이 되는 곳에서 최대이며, 누적벽에 가까울수록 감소하게 되므로 상대적으로 빠른 흐름 선상에 위치한 작은 입자들이 먼저 용출되고 큰 입자들이 나중에 용출된다. FFF는 외부장에 따라 원심력을 이용하는 Sedimentation FFF, 유체의 흐름을 이용하는 Flow FFF, 온도차이를 이용하는 Thermal FFF로 분류한다.

FFF의 특징

FFF의 장점은 외부장의 세기를 조절하여 시료의 머무름을 용이하게 변화시킬 수 있으며, 이동상의 유속과 시료에 가해진 장(field)의 세기를 이용하여 머무름에 대한 예측이 이론적으로 가능하다는 점이다. 또한 장세기프로그램을 이용하면 분자량 분포가 넓은 시료를 효율적으로 분리할 수 있다. 칼럼과 달리 채널

내에는 충전물(packaging material)이 없어 채널내에서 시료물질이 파괴나 손실되지 않으므로 검출기를 통과한 시료를 분취하여 제2차 분석방법에 사용할 수 있다.

FFF의 분류

1) Sedimentation FFF

Sedimentation FFF는 원형 채널의 회전에서 얻어지는 원심력을 이용한 FFF로서 오늘날 가장 많이 쓰이는 FFF기술이다. 콜로이드, 예멸전 및 입자의 분리에 이용되며, 10^6 이상의 분자량을 가진 거대분자의 분리에 유용하다. 최근에는 유도결합 플라즈마 질량분석계(ICP-MS)와 같은 원소분석기와 연결하여 토양중의 복잡한 콜로이드성 시료의 원소분석에도 응용되고 있다.

2) Flow FFF

침투성 채널을 통해 이동상의 흐름에 수직방향으로 작용하는 cross-flow를 유인력으로 사용한다. Flow FFF는 모든 거대분자에 적용되므로 가장 보편적인 FFF 기술이다. 시료의 크기나 특성에 영향을 받지 않으며, polyacrylic acid와

salts, sulfonated polystyrene과 같은 합성 고분자 및 녹말, 생체세포, 바이러스, 단백질과 같은 생물학적 거대분자의 분리 및 특성 연구에 유용하다.

3) Thermal FFF

분자량 범위가 $10^3 \sim 10^8$ 인 고분자에 주로 적용되며, 채널을 둘러싼 전도성이 높은 두 막대 사이에 형성되는 온도 기울기를 유인력으로 사용한다. 고분자의 크기 및 조성에 의한 분리가 가능하므로 유사한 분자량 값을 갖고 조성이 다른 고분자 혼합물의 분리에 적용할 경우 크기 배제 크로마토그래피보다 우수한 분리를 보인다. 분자량 및 조성비의 차이가 실제로 활용되고 있는 고분자의 물성에 중요하게 작용함을 고려할 때, Thermal FFF는 고분자의 활용성과 소재개발 연구에 다양한 정보를 제공한다.

FFF는 미국의 Field-Flow Fractionation Research Center에서 공급하고 있으며, 가격은 4만5천불에서 8만5천불 정도이다. 국내에는 Thermal FFF는 연대 화학과에, Sedimentation FFF는 영인과학실험실에 보유되어 있다.