정전기적 자기조립에 의한 다층박막

미국 올랜도에서 개최된 2002년도 ACS학회에서 정전기적 자기조립(electrostatic self-assembly)에 의한 다층박막의 제조와 그 응용에 관련된 특별 심포지움이 열려, 이 분야의 세계적인 연구팀들이 참가하여 많은 연구결과들을 발표하는 성황을 이루었다. 또한 2000년도 한 해에 발표된 연구논문이 200편이 넘는 등 정전기적 자기조립에 의하여 표면특성을 개질하거나 기능성 박막을 제조하는데 관련된 연구가 현재 세계적으로 확산되고 있는 추세이다. 이 연구분야의 태동은 1990년대 초 루이스파스테르 대학교의 Decher교수가 전하를 띠는 기판 위에 양이온 고분자와 음이온 고분자를 교대로 흡착시키는 방식으로 고분자 다층박막을 제조하는데 성공함으로서 시작되었다. 이 방식의 가장 놀라운 점은 매우 간단한 공정으로 박막의 두께와 구조를 분자수준으로 제어할 수 있다는 것이다. 표면에 음전하를 띠도록 약품으로 처리된 유리판 등의 기판을 양이온 고분자 용액에 담그면, 기판 표면의 음전하와 고분자의 양전하 사이의 정전기적 인력에 의하여 고분자가 표면에 흡착된다. 이러한 흡착과정은 기판 및 고분자의 전하밀도, 고분자의 농도, 용액의 pH 등에 따라 차이가 있으나 대략 수십 초에서 수십 분 정도 소요된다. 흡착된 과량의 양이온 고분자에 의해서 양전하를 띠게 된 기판을 다시 음이온 고분자 용액에 담그면 이미 흡착된 양이온 고분자 막 위에 음이온 고분자 막이 적층되고 표면은 다시 음이온을 띠게 된다. 이 과정을 반복하면 원하는 두께의 다층박막을 만들 수 있다.

이러한 정전기적 자기조립법은 기존의 박막제조법 - 용액캐스팅, 스핀코팅, Langmuir-Blodgett법, 화학반응에 의한 자기조립법 등에 비하여 다음과 같은 특징이 있다. 첫째, 특별한 장비가 필요하지 않고 공정이 간단하며 자동화에 의하여 대량생산이 가능한 매우 경제적인 박막제조법이다. 둘째, 주로 물을 용매로 사용하는 까닭에 유기용매를 사용하는 다른 방식에 비하여 환경친화적이라 할 수 있다. 셋째, 이온성 고분자 뿐 아니라 단백질 분자, 클레이 입자, CdSe와 같은 반도체 나노입자, TiO_2 등과 같은 산화금속 나노입자 등과 같은 기능성 나노입자도 정전기적 자기조립에 사용될 수 있으며, 전하를 띠고 있지 않는 고분자나 나노입자 등도 가능하다는 예가 발표된 바 있다. 셋째, 서로 다른 기능을 지니는 여러 이온성 고분자 혹은 나노입자들을 하나의 다층박막에 포함시켜 제조할 수 있어 단일 박막에서 다양한 기능성을 구현할 수 있다. 넷째, 이 방식은 평판뿐 아니라, 구형이나 실린더 등 형태에 구애받지 않고 다층박막을 제조할 수 있다. 그리고 일반적으로 전하를 띠도록 처리된 유리판이나 실리콘웨이퍼, 혹은 구형의 나노입자 등이 기질로서 가장 많이 이용되고 있으나, 아무런 처리과정을 거치지 않은 PET필름, 금속표면 등을 사용한 예도 발표된 바 있다.

정전기적 자기조립법은 기질의 표면특성 즉, 젖음성, 분극성, 흡착성, 흡수성, 투과성, 반사성 등을 개질하는데 응용할 수 있으며, 적절한 기능성 고분자와 유무기 나노입자들을 선택하여 다양한 전기, 자기, 광학특성을 발현하는 고기능성 박막소자의 제조에도 응용할 수 있다. 예를 들면 반도체 나노입자와 양이온 고분자를 정전기적 자기조립하여 만든 다층박막에서 그 조성에 따라 다양한 색깔을 발하는 발광특성이 구현됨을 오클라호마 주립대학교의 Kotov교수가 최근에 발표하였다. 한편 막스플랑크 연구소의 연구팀은 다층박막이 약물 방출(drug release)을 조절하는데 응용할 수 있음을 보여주기도 하였다. 그리고 미국 MIT의 Rubner 교수 연구팀은 이 방식으로 제조된 다층박막이 약물전달(drug delivery), 바이오센서, antireflection coating등에 응용할 수 있으며, 기질표면의 젖음성을 변화시킴에 의하여 전기발광소자의 효율을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 발표하기도 하였다. 또한 MIT의 Hammond 교수팀은 정전기적 자기조립법에 의한 마이크로 패턴닝 기술을 개발하여, 잉크젯 프린터로 이온성 고분자 용액을 분사하는 방식으로 50 300 nm의 선폭을 가지는 패터닝을 구현하는데 성공하였다. 이와같이 정전기적 자기조립법은 매우 용이하게 표면특성을 개질하거나 기능성 박막 소자를 제조할 수 있기 때문에 전기발광소자, 비선형광학, 센서, electrochromics, 전도성 코팅, 마이크로패터닝, 선택성 분리막 등에 응용하는 연구가 현재 집중적으로 진행되고 있다.

<한국화학연구원 김동욱>
e-mail: dongwook@krict.re.kr