고분자 물리 분야의 최근 연구 동향 : American Physical Society Meetings at Austin, TX

필자는 3월 첫 주에 미국 Texas주 Austin에서 열린 American Physical Society (APS) Meeting을 다녀왔다. 금번 Topic은 APS의 Division of Polymer Physics (DPOLY)에서 발표되었던 연구 주제들을 중심으로 고분자 물리 분야의 최근 연구 동향을 알리는 것으로 하겠다.

일단 가장 두드러지게 느껴졌던 점은 블록 공중합체의 상거동이나 이를 이용한 nanopatterning 등의 응용분야의 연구가 발표의 주종을 이루었다는 사실이다. 근 30년간의 연구로 소위 upper order-disorder transition (UODT) 계의 상거동은 거의 밝혀졌다고 언급이 되고 있지만, ABC 블록의 patterning 분야의 연구가 이루어졌다는 사실, 근 30년 간의 연구로 소위 UODT 계의 상거동은 거의 밝혀졌다고 언급이 되고 있지만, ABC 블록의 χ 순열 조절로 새로운 미세 구조의 발견에 대한 발표가 있었고, 또 압력의 효과 등이 점차로 진지하게 검토되고 있었다. 또한 비상용 루프형의 블록 공중합체의 상거동에 대한 발표가 포항공대 김진곤 교수팀과 필자에 의해 독립적으로 행하여졌다.

위에서 언급된 ABC 블록은 PI-PS-PEO로서 χ 순열을 잘 조절한 것이다. 이 고분자가 이루는 새로운 구조는 처음에 noncubic triply periodic network인 Fddd 구조로 발표가 되었는데, 이번 APS meeting에서는 Fddd는 misquotation 이거나 비평형인 것으로 판명되었고, 유사한 구조인 Imnn으로 밝혀졌다. 그러나, self-consistent field 이론으로 계산한 결과는 Imnn 구조와 hpl 구조가 서로 경쟁을 하며 hpl 구조가 더 낮은 자유 에너지를 갖는 것으로 밝혀져서 여전히 미해결의 문제로 남았다는 사실이 발표되었다.

그 동안 압력의 효과는 이론적인 접근이 비압축성이 주종이었던 사실에서 알 수 있듯이 실험적으로 등한시되어왔던 것이 사실이다. 그런데 이번 학회에서는 baroplastic 거동이라던지 비상용 루프와 그에 대한 압력의 효과 등이 많은 조명을 받았듯이 온도와 등가인 열역학적 변수로서의 압력에 관심이 높아진 것이라 사료되고 있다. 그 중의 하나로 Balsara 는 대칭의 UODT system을 잡아서 압을 가하면서 SANS 실험을 한 결과 어떠한 특정 압력에서 first-order transition scattering peak가 사라지는 것을 발견하여 압을 가하면 임계점이 나오는 것이 아닐까하는 추측을 발표하였다. 필자는 물론 그 실험에 의문을 가지고 있다. Hadjuk의 PS-*b*-PI 실험의 결과는 고압을 가하며 대칭계의 SAXS pattern을 측정하였는데, 1차 전이가 사라지는 점을 찾을 수가 없었기 때문이고, 또한 Ladynski의 대칭의 PS-*b*-PBD에 대한 SAXS 실험도 Hadjuk과 근본적으로 같은 결과이었기 때문이다. 블록 공중합체는 소위 Brazovskii universality class로 Ising class와 달리 임계점을 갖지 않는 것인데, 압력이 universality class를 바꾼다는 것은 이론적인 관점에서도 받아들이기가 어렵다. 필자의 이론에 따르면 심지어 평균장 이론하에서도 블록간 압축성의 차가 있는 공중합체는 임계점을 갖지 않는다는 사실과도 합치하지 않는 것으로 사료되고 있다.

블록 공중합체에 대한 실험에 있어서 Bates, Lodge 등의 Minnesota group의 연구 방향은 U. Mass나 UC-Santa Barbara와는 달리 응용성보다는 학문적인 접근을 더 깊이 하려는 경향이 보였다. 그 결과로 Imnn 구조의 발견이 얻어졌고, 삼중 블록과 오중 블록의 역학적 거동의 차이에 대한 실험들이 발표되었다. U. Mass group은 Russell 의 연구 방향과 맥을 같이 하므로 directed assembly를 통한 long-range order를 갖는 grain을 만들고자 하는 노력으로 집중되어 있었다. 현재까지 external field (shearing, E-field, M-field, surface force, solvent effect 등)에 의한 방법을 동원하여 대략 크기가 20 μm$\times$20 μm 이상의 grain을 만들어 낼 수 있다는 발표가 있었다.

또한 blend thermodynamics session에서는 그 마지막 발표가 Balsara에 이어서 Wang의 것이었다. Balsara

의 실험에서는 polyolefin 블렌드를 time-resolved neutron scattering을 통하여 고찰하였는데, 거대 분자 구조로 인한 느린 동역학을 이용하여 거대 상분리 이전에 발생하는 분자들의 초기 밀집 (initial clustering)을 검사하고 자라나는 밀집체의 크기를 냉각 정도에 따라 측정한 결과 기존의 모든 상분리 동역학 이론들과 불일치한다는 사실을 알아냈다. 또한, Wang은 평균장 이론과 그에 대한 일차적 수정 (one-loop correction)을 통하여 조성 섭동 효과가 커지는 소위 Ginzburg 영역이 기존의 지식으로 알고 있는 것보다 크다는 사실을 밝혀내었다. 그 결과, nucleation에서 스피노달로 넘어가는 시점이 평균장 스피노달보다 훨씬 이전에 발생하게 된다는 사실이 발표되었다. 기존에 농도 요동의 효과에 대하여 Olvera de la Cruz와 Muthukumar 등에 의하여 독립적인 발표가 80년대 말과 90년대 초반에 있었다. Wang은 항상 이미 검토된 바 있는 문제를 재검토하여 더욱 명확히 하는데 많은 관심을 보이는 경향이 있어서, 그의 도전 정신에 많은 점수를 주고 싶었다.

Polymer nanocomposite 분야는 많은 기업들과 대학의 관심 대상이었다. 특히 Smalley와 NASA 간의 긴밀한 협력하에 수행되고 있는 single-wall carbon nanotube를 이용한 고분자 nanocomposite 연구는 매우 흥미로웠는데, NASA의 새 시료가 우주 실험을 기다리던 중 불행했던 우주 왕복선의 폭발로 탑재가 연기되었다는 소식도 아울러 듣게 되었다.

Biophysics 분야의 발표도 또한 매우 활발하였다. DNA (RNA)와 단백질의 coil-globule folding-unfolding 전이 문제는 계속되는 도전 과정이고, 실험과 통계열역학 이론, 그리고 분자모사 분야로 다양하게 발표가 이어졌다. 특히 Linhananta 는 대부분의 이론가들이 단백질의 접힘 현상은 coarse-grained native topology에만 의존한다고 생각을 해왔는데, 고해상도의 원자기술의 분자 모사로 측쇄의 공간 점유나 접힘시의 원자적 접촉등의 효과를 조사하였다. 여기서 그는 접힘 현상에서 원자 수준의 상세 기술이 매우 중요하다는 사실을 발표하였다. Biosensor와 microarray에 관한 발표들도 매우 흥미로왔으며, genome 진화에 대한 통계적 분석, 생체내에서의 생체 고분자들의 전달현상 문제 등이 검토되었다.

이상으로 필자는 오스틴시에서 거행되었던 APS meeting 의 DPOLY 분과 및 관련 분야에 대한 대략적인 연구 동향 조사를 하여 보았다. 간략하고 필자 중심적인 정리이어서 부족함이 많은 글이나, 고분자 물리 분야에 관심이 있는 분들에게 작으나마 도움이 되었으면 하는 바램과 함께 이 글을 마친다.

<단국대학교 고분자공학과 조준한, e-mail:jhcho@dku.edu>