

[붙임]

KAIST Grand Challenge 30 Project 제안서

①연구제목	국문	자기조립 연성물질의 결함 이해 및 이용			
	영문	Understanding and application of defects in self-assembled soft matters			
②제안자	성명	국문	윤동기	소속 학부/학과	나노과학기술대학원
		영문	Dong Ki Yoon		
	주요 연구분야	유기나노구조재료 (초분자 액정)			
	연구 impact 내용 서술				
액정의 상변화(phase transition)를 관찰한 예는 지난 세기 동안 수없이 많았지만 현재 가장 이슈가 되는 결함구조 (topology)의 상변화를 본 예는 없기에 본 제안이 중요함					

③제안내용

- 자기조립 현상 연구의 궁극적인 목표: 결함 이해 및 정복

물리, 화학, 재료과학 분야에서 분석기술 및 제조기술의 발달에 따라 소재분야에서 나노나 마이크로 크기의 미시적 관점으로 접근하게 되면서 발생하는 자기조립현상에 대한 관심이 나날이 높아져가고 있다. 더군다나 자기조립현상을 기반으로 하는 전기-광학소자(예를 들어 액정 표시장치: LCD)가 일상생활에서도 큰 변화를 가져왔기 때문에 이 분야에 대한 보다 자세한 이해가 요구되고 있다. 특히, 연성물질의 자기조립 현상연구에 있어서 이해해야할 두 가지 중요한 문제는 다음과 같다. 하나는 자기조립 계를 구성하는 분자들이 갖는 상호인력의 형태나 크기이며, 나머지 하나는 분자들의 자기조립 현상으로 형성하는 결함구조이다.

자기조립 현상연구의 최종 목표는 분자들의 상호인력을 조절해서 결함 발현을 거시적으로 최소화하는 것이며 더 나아가 결함조차도 원하는 구조를 제조하기 위한 새로운 형태의 빌딩블록으로 이용하고자 함이다. 본 연구에서는 이를 위해 그 재료로 높은 정렬도를 갖는 유기 단분자를 사용하는 것이며 이 경우 보통 액정 상을 띠게 된다. 이러한 액정 상은 현미경이 개발되면서부터 약 100년 전부터 활발한 학문적 연구가 이루어져왔으며 20세기 중후반 액정 표시장치가 개발되면서 이제는 매일 일상에서 모든 사람이 핸드폰, TV, 노트북, 태블릿을 통해 접하고 있다.

- 국내 및 세계 학계가 놓치고 있는 것: 결합의 상전이현상

액정 표시장치가 많이 사용되면서 제조상 발생하는 액정 상의 결합구조를 없애고자 노력이 산업계에서 많이 이루어져왔고 학문적으로도 분자들이 갖고 있는 배향정렬도와 위치정렬도의 유무에 따라 다양한 결합구조가 형성됨을 많은 연구자들이 보고한 바가 있다.

그러나 결합에 대한 연구에 있어서 지금까지 시도되지 않은 부문이 하나 있다. 바로, 결합 그 자체가 상전이를 일으킬 때, 결합이 어떻게 변화될 것인가에 대한 연구이다. 예를 들어서 그림1에서 보듯이 분자가 배향정렬 (orientation order)만 갖고 있는 네마틱 (nematic) 상에서 배향정렬 및 부분적인 위치정렬 (positional order)을 갖고 있는 스멕틱 (smectic)상으로 전이하는 일반적인 액정 구조는 한 세기가 넘게 연구되어온 반면, 최근 물질은 다르지만 노벨상을 수상할 정도로 관심이 많은 위상기하학과 밀접하게 관련이 있는 액정의 결합구조의 상변화는 전혀 연구된 바가 없다.

이에 대한 이유는 액정상의 결합 상변화를 유도할 수 있는 주변 환경의 부재이며 이는 현재까지 액정 관련한 연구는 소자로서의 응용을 염두에 두어두고 진행했었기에 분자들의 움직임이 제한될 수 있는 딱딱한 기판 위에서의 연구만 진행됐기 때문이다. 따라서 학계에서 네마틱 상과 스멕틱 상에서의 결합구조 연구가 이미 엄청나게 많이 진행되었지만 이러한 결합구조의 상변화는 관찰할 수조차 없었으며 이런 이유로 아직 학문적으로도 연구된 바가 없다. 만일 이를 해결할 수 있다면 기존의 액정의 결합구조 연구를 break through할 수 있는 새로운 장을 열 수 있을 것이며 본 연구진이 관련 분야에서 세계를 이끌어갈 수 있는 큰 힘을 얻을 수 있을 것으로 확신한다.

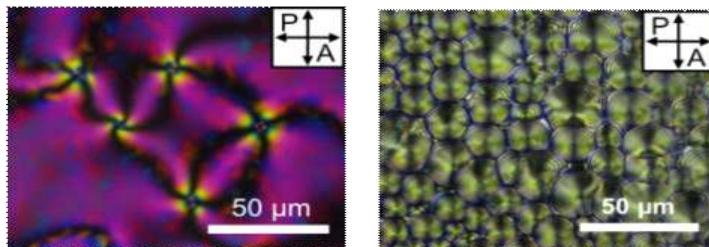


그림 1. a) 배향정렬도를 갖는 분자들이 형성하는 네마틱 액정상의 결합구조. b) 배향정렬도와 위치정렬도는 갖는 분자들이 형성하는 스멕틱 액정상의 결합구조.

연구내용

연구 목표: 결합의 상전이 관찰 및 이해

본 연구의 목표는 액정의 결합구조의 상전이를 관찰하기 위한 최적의 환경을 개발하고, 분자 내에서 상호에너지 변화에 따른 자기조립현상과 결합의 전이를 관찰하는 것을 목표로 하고 있다. 이 연구틀(platform)을 기반으로 액정 분자의 자기조립현상으로 형성되는 결합에 대해 완벽히 이해하고 더 나아가 결합을 새롭게 이용하려는 것이 최종 목표이다.

기존 연구와의 차별성

기존 수백, 수천 편의 액정관련 연구논문 및 특허에서 세계적인 연구진이 실시했던 실험의 예는 딱딱한 기판위에서의 분자 거동 및 결합구조에 관한 것들이었다. 이는 분자들이 자유롭게 움직일 수 없는 환경을 제공하기에 이미 형성된 구조체를 관찰하는 데에는 문제가 없으나 결합구조의 상변화와 같이 굉장히 민감한 구조변화의 경우에는 제한적일 수밖에 없다. 본 연구진은 이를 해결하기 위하여 물과 같은 **유체기판을 사용할** 것이다. 이미 고분자필름(이미 경화가 끝난)의 경우에 물 위에서 실험한 예는 있었으나 본 연구의 경우 낮은 분자량의 액정 분자를 사용하고 상변화(예를 들어 이방상-네마틱-스멕틱)를 직접 유체기판 위에서 발현 시키고 더 나아가 이 과정에서 다양한 앵커링 컨디션 (anchoring condition)을 부여할 수 있기에 분자 배향을 획기적으로 변화시킬 수 있고 이에 따라 기존에 없던 새로운 형태의 결합구조 관찰 또한 가능하리라 사료된다. 또한, 이 연구는 분자수준에서 일어나는 거동특성 이지만, 연성물질이 collective behavior를 보인다는 점에서 마이크론 스케일의 해상도를 갖고 있는 편광현미경을 이용하여 액정분자의 배향에 관한 연구가 가능하다. 따라서 연구방식에 있어서 유체기판 기반의 결합구조 상변화가 그 자체만으로 **독창적**이며, 특히 **최소비용**으로 학문적으로 뛰어난 결과물을 보여줄 수 있으며, 결합전이라는 세계에서 **처음 시도하는 연구**이기 때문에 **참신함**을 갖고 있다.

연구계획

1) 분자들의 거동을 극명하게 볼 수 있는 시스템을 구축 할 예정이다. 선행연구를 통해 물을 유체기판으로써 사용했으며, 기본적으로 분자들이 온도의 감소에 따라 배향 정렬도만 갖고 있다가 추가로 위치정렬도를 갖게 되면서 변화하는 결합전이를 선행연구를 통해 관찰하였다. 이는 편광현미경과 유체기판만 있으면 가능하나 외부 환경에 매우 민감한 실험이기에 격리된 실험환경이 필요하다. 덧붙여 이러한 연구는 응용을 염두에 두어두기보다는 본질적인 문제를 해결하는 것이기에 국가에서 지원받기 쉽지 않은 면이 있다.

2) 결합구조 변화를 분자들과 주변환경에 따른 상관관계를 통해 밝혀낼 예정이다. 선행연구는 단순히 직선 형태의 배향정렬도와 위치정렬도만을 고려했지만 연구과제가 선정된다면 헬리칼 구조와 같이 다양한 카이랄리티를 띠는 구조체를 도입하고 평행한 배향을 유도하는 물 이외에도 다양한 유체를 사용할 예정이다.

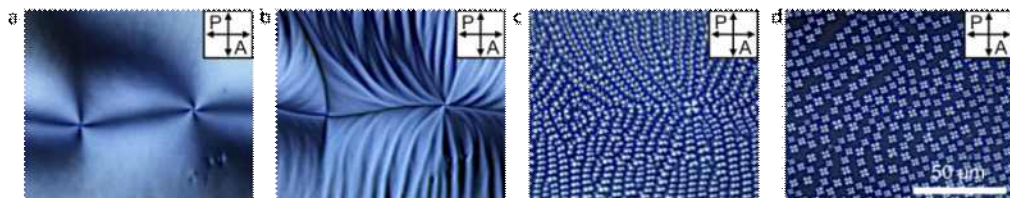


그림 2. 유체기판(물) 위에서 배향 정렬도만 갖는 분자들에 위치정렬도가 추가되면서 결합이 전이되는 과정.

제안자 : 윤 동기 (인)