



문의 : 담당자 연락처(02-880-6600)
 연구책임자 제원호 교수(02-880-6600) / 교신저자
 김봉수 연구원(02-880-5785) / 제1저자
 권소영 이만희 김규환 안상민 / 공동저자

미래창조과학부/한국연구재단 지원 선도연구센터 테라헤르츠파기반 생체응용시스템 연구센터

제원호 교수 연구팀, 계면에 존재하는 나노스케일 두께 수화층의 비선형 유동학적 특성 조사

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 에 Early Edition 논문 출판 (2015. 12. 7.)

□ 내용

물안이나 공기중에 노출된 친수성 표면 근처의 물분자들은 물분자간 결합보다 강하게 표면에 흡착되어 있다. 이로 인해 표면의 물분자는 벌크 상태의 액체 물과는 전혀 다른 특성을 가지며 이러한 물층을 수화층이라 부른다. 그중 가장 주목할 만한 특성은 비선형 유동학적인 특성이다. 벌크 액체 물은 빠른 변형 속도에도 점성이 변하지 않는 선형적인 특성을 가진 반면, 수화층의 경우 빠른 변형 속도에 점성이 변하는 비선형성을 가진다는 것은 약 10년전부터 알려져 왔다. 하지만 기존 연구들은 주로 물분자 한층 두께의 실험에만 국한되어 물리적 특성 분석에는 한계가 있어왔다.

제원호 교수 연구팀은 자체 개발한 수정진동자를 이용한 원자힘현미경을 이용하여 물분자 한층부터 여섯층까지의 수화층을 안정적으로 형성하고 측정하는데 성공하였으며, 뿐만 아니라 이 비선형성 특성이 단순한 점성의 변화가 아닌 수화층이 가진 긴 완화시간으로 인해 발생된 '난류(turbulence)'에 의한 현상임을 이론분석을 통해 증명하였다. 수화층의 난류가 일어나는 표면간 상대속도가 약 1 mm/s 이라는 실험결과는 이런 난류가 극단적인 경우에 발생하는 것이 아닌 우리 주변에서 흔히 일어나지만 우리가 이를 간과하고 있었다는 사실을 시사하고 있어, 향후 수화층이 중요하게 적용되는 다양한 물리, 화학, 생물학, 공학 연구에 영향을 줄 것이다. 또한 연구의 분석방법이 수화층의 특성연구 뿐 아니라, 다양한 비선형 유동학적 특성을 보이는 비점탄성 유체에도 적용 가능하여 앞으로 연구 범위가 크게 확장될 잠재력을 가지고 있다. 이 연구는 미래창조과학부/한국연구재단의 선도연구센터(ERC) 프로그램의 지원으로 이뤄졌다.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명 4. 연구진 이력사항

연구 결과 및 의의

본 연구팀은 공기중에서 두 친수성 고체(운모와 석영) 사이에 수화층을 형성하였으며, 이 수화층의 두께와 변형속도를 바꾸며 실험을 시행하였다. 결과적으로 물 한 층을 제외한 두 층이상의 두께부터 여섯 층 두께의 수화층에서 그 겉보기 점성이 표면간 상대속도가 약 1 mm/s 이상에서 급격히 증가한다는 사실을 측정하였다. 이런 겉보기 점성의 증가가 실제 점성이 증가한 것이 아닌, 수화층에 발생된 '난류'에 기인한다는 것이 이 논문의 핵심결과이다. 측정된 난류는 수화층이 가지고 있는 긴 완화시간으로 인해 발생된 점탄성 특성으로부터 발생하는데 이는 기존 유체의 관성 작용에 의해 발생하는 난류(즉, 관성난류)와는 근본적으로 차이가 있고 느린 변형속도와 큰 점성에도 발생하는 이 현상을 '탄성난류'라 구분지어 부르기도 한다. 연구팀은 이론적으로 탄성난류로 인해 증가되는 겉보기 점성을 예측하는데 성공하였으며, 실험결과와도 잘 일치함을 보였다. 뿐만 아니라 난류 발생 시 난류를 유지하기 위한 결과로 에너지 소산값의 감소도 함께 보여 측정된 수화층에 탄성난류 존재에 대한 다른 증거도 제시하였다. 본 논문은 나노영역의 유체에서도 난류가 존재함을 실험적으로 보인 첫 실험 연구결과이며, '나노 유동학'이라는 새로운 학문 영역을 열었다는 점에서 그 의의가 있다.

용 어 설 명

1. 수화층 (Hydration layer)

-이온이나 친수성 표면에 강한 수소결합으로 형성된 물 층으로 두께는 약 3 nm 이하로 예측되고 있다.

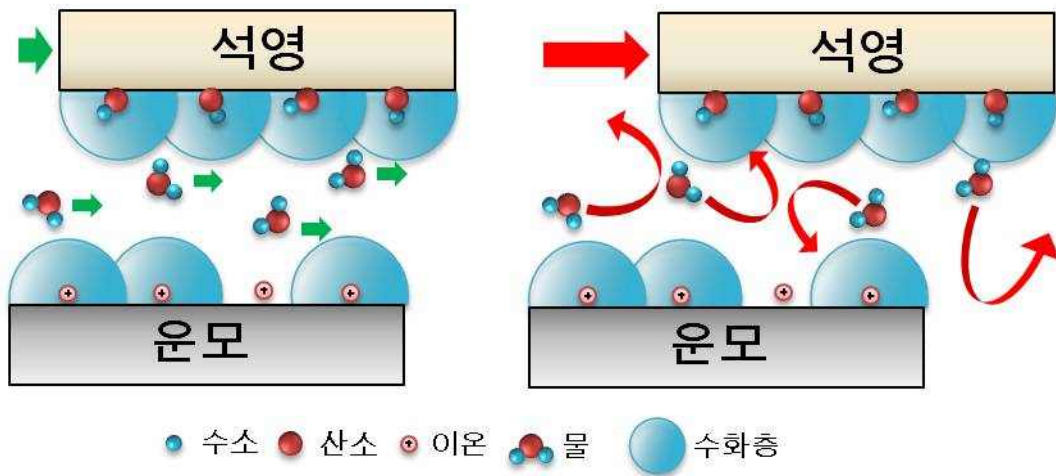
2. 점탄성 (Viscoelasticity)

-점성은 유체의 특성, 탄성은 고체의 특성인데 반해 두 특성을 모두 가지는 물질을 점탄성 물질이라 부른다.

3. 유동학 (Rheology)

-물질의 변형과 흐름에 관해 연구하는 학문으로, 대개는 후크의 탄성법칙이나 유체 역학만으로는 해석될 수 없는 다양한 점탄성 유체를 다루는 분야이다.

그 림 설 명



왼쪽은 작은 변형에 대한 수화층 내 물분자들의 움직임을 나타낸 그림이다. 수화층의 물분자들은 석영의 변형을 따라 간단한 전단변형이 일어난다. 반면, 오른쪽 그림과 같이 큰 변형에 대한 수화층내 물분자들은 난류 발생으로 인해 와류 운동을 하고 그로 인해 유체의 저항이 증가한다.

<출판 논문>

Bongsu Kim, Soyoung Kwon, Manhee Lee, QHwan Kim, Sangmin An, Wonho Jhe,
“Probing nonlinear rheology layer-by-layer in interfacial hydration water”,
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Early
Edition (Dec. 7, 2015)

연구책임자 이력사항

1. 인적사항

○ 소 속 : 서울대학교 자연과학대학 물리천문학부 교수



2. 학력

- 1978.03-1982.02 서울대학교 물리학 학사
- 1982.03-1984.02 서울대학교 물리학 석사
- 1984.09-1989.05 미국 Yale 대학교 물리학 박사

3. 경력사항

1992 ~ present	서울대학교 물리천문학부	교수
1989 ~ 1992	Havard 대학교 박사후연구원	연구원
1997 ~ 2005	과학기술부 근접장광기술 창의연구단	단장
2007 ~ 2011	과학기술부/연구재단 나노액체연구 도약연구단	단장
2012. 10	미국 물리학회	석학회원 (Fellow)
2006. 10	제51회 대한민국 학술원상(자연과학부문)	수상
2007. 6	국가연구개발 우수성과 100선(과학기술부)	수상
2006. 8	국가 최고 연구성과 50선(한국과학재단)	수상
2013. 2	성도광과학상(한국광학회)	수상
2015. 9	서울대학교 자연과학대학 우수강의상	수상
2013~현재	서울대학교 자연과학대학 응용물리연구소	소장
2015~현재	Scientific Reports (Nature Pub. Gr.)	Editorial Board
2016. 7	제25회 국제원자물리학회 조직위원장(코엑스, 2016)	위원장

4. 기타 정보

제1저자 공동연구원 김봉수 연구원, 현재 미국 UC Irvine 박사후연구원 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 권소영 연구원, 현재 서울대학교 박사후연구원 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 이만희 연구원, 현재 삼성전자 근무 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 김규환 연구원, 현재 서울대학교 박사과정중 (지도교수: 제원호)
 공저자 공동연구원 안상민 연구원, 현재 미국 NIST 박사후연구원 (지도교수: 제원호)

*미래창조과학부/한국연구재단 지원 선도연구센터 테라헤르츠파기반 생체응용시스템 연구센터 소속 연구원들임.