발행일 2018. 07. 30
발행처 융합연구정책센터

2018 JULY **vol.132**

융합 Weekly TIP

Technology · Industry · Policy

나노복합체, 기능성표면소재 기술

박성훈 | 숭실대학교

융합연구정책센터
Convergence Research Policy Center

나노복합체, 기능성표면소재 기술

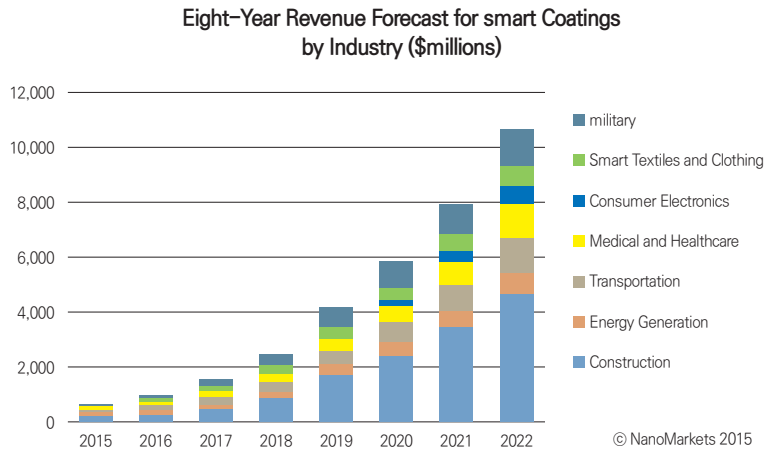
박성훈 | 숭실대학교

선정배경

01

- 기능성 필름·코팅 관련 시장은 2015년 US$ 600 million 에서 2022년 US$ 10 billion 규모로 급격하게 성장할 것으로 전망
- 전체 시장의 50% 이상을 차지하는 군사용, 수송기기, 건축 분야에서는 표면소재의 대면적 및 내구성 향상이 핵심지표로 대두됨에 따라, 관련 생산기술의 수요확대 예상
- 그 외 의료, 에너지, 섬유, 전자기기 등의 분야에서 다기능 및 인체무해성 표면소재기술의 수요가 증가

그림 1. 기능성 코팅/필름 관련 시장 전망



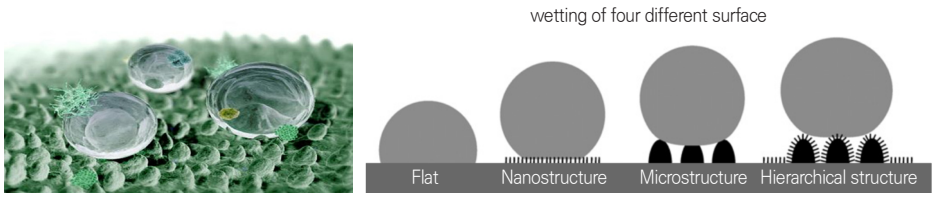
※ 출처 NanoMarkets 2015)

- 최근 roll-to-roll 공정, 스프레이 방식, 딥 코팅, 플라즈마 공정 등의 다양한 코팅방식과 새로운 메커니즘이 융합된 다양한 대면적 기능성 코팅기술이 등장
  - 아직까지는 기계적 내구성, 환경 유해성, 코팅 균일도 등의 이슈가 존재

02 기능성표면소재 기술

(1) 자가세정 초발수 기술

그림 2. 초발수 구조 이미지 및 개략도



※ 출처 (왼쪽) 연잎 효과를 보여주는 컴퓨터 그래픽 by milliam thielicke, (오른쪽) Hierarchical 구조를 이용한 초발수 표면 개략도[1]

- 고체 표면이 낮은 표면에너지와 hierarchical 구조(마이크로+나노 혼합구조)를 가지면 물에 대한 젖음성(wettability)이 감소하여 초발수(super-hydrophobic)의 성질을 가짐
  - 이러한 표면에는 물방울이 맺히지 못하게 되어, 적은 기울임에 쉽게 굴러다니며 주위의 미세먼지/입자를 제거(자가세정 효과)
  - 연꽃잎, 소금쟁이 다리, 매미 날개 등의 자연구조에서 영감을 받아, 이를 Wenzelmodel, Cassie model과 같은 이론적 개념으로 확립하여 인공적인 설계에 응용[2]

- 초발수 개념을 차량 유리, 섬유, 건축물, 태양열 유닛 등에 적용하는 상용 제품들이 출시
  ※ 예시 : NeverWet, Gentoo, NEI Corporation 등

그림 3. 초발수 처리 유무에 따른 자가세정 능력 차이

※ 출처 http://www.neverwet.com

(2) 제빙(de-icing) & 방빙(Anti-icing) 코팅 기술

- 극지방에 운영되는 선박과 offshore platform의 경우 결빙에 의한 피해를 대비해야 하며, 특히 결빙으로 인한 선박의 무게 증가 및 선체 안정성 침해는 극지에서의 안정적인 운항에 심각한 영향을 끼침

- 해외 선급사(DNV: Det Norske Veritas 등)는 선박 운항에 절대적인 통신 항법장치와 추진 시스템 전체에 방빙기술과 갑판 및 topside equipment에 제빙 기술 적용을 의무화
  - 향후 국내 조선사들도 선박 수주/건주 시 관련사항을 필수적으로 준수해야 함

- 기존 제빙 시스템(발열 구리선 또는 염화칼슘 처리)은 높은 시공가격, 무게, 부식 이슈 등의 문제점을 가짐

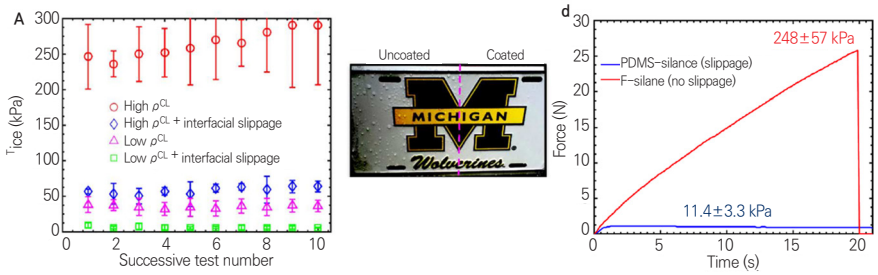
그림 4. 극지환경에서의 결빙 문제들

※출처 https://www.heatingandprocess.com/winterisation-for-cold-climate-operations-in-the-offshore-industry-dnv-os-a201/

- 초발수 구조가 방빙의 성질을 가지고 있으나 상대습도 증가에 따른 한계, 온도 cycle에 따른 hierarchical 구조손상 등의 문제점을 가짐

- 최근 단단한 물체와 연성물체의 접착 시 외력에 의해 쉽게 분리 되는 현상을 응용하여 탄성이 높은 rubbery surfaces의 'interfacial cavitation'을 이용한 ice-phobic 코팅 기술이 등장[3]

그림 5. 단단한 물체와 연성의 물체의 interfacial cavitation을 이용한 ice-phobic 코팅 기술

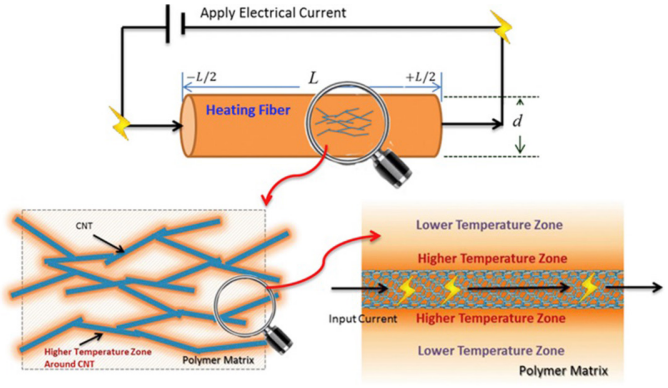


※ 출처 Kevin Golovin,Sai P. R. Kobaku,Duck Hyun Lee,Edward T. DiLoreto,Joseph M. Mabry, Anish Tuteja, Designing durable icephobic surfaces, Science Advances, 2, e1501496

고분자와 carbon nanotube(CNT)를 효과적으로 분산/혼합하여 나노 복합체를 구성하면, 낮은 밀도 및 열용량을 가지며 급속발열이 가능한 제빙 유닛으로 사용이 가능

- 기존 무거운 구리배선 발열체 시스템에 비해 80%이상의 무게 저감률 효과를 가짐

그림 6. CNT 나노 복합체를 이용한 제빙용 저항발열체 개략도



※ 출처 An-Ting Chien, Sangbeom Cho, Yogendra Joshi, Satish Kumar, Electrical conductivity and Joule heating of polyacrylonitrile/carbon nanotube composite fibers, Polymer, 2014, 55,6896-6905

(3) 항균(anti-virus) & 방오(anti-fouling) 코팅 기술

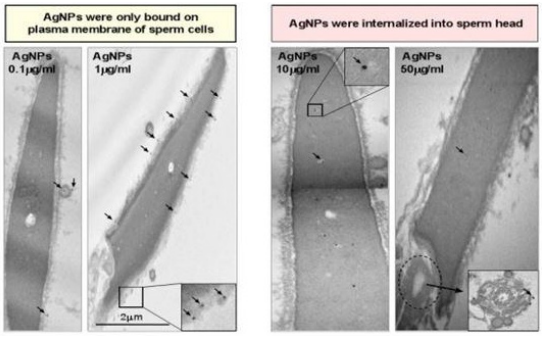
- 파울링(fouling)은 바닷물에 노출되는 선박 및 파이프 내부에서 발생하며, 대상물에 밀착하여 번식하는 해양 생물로 인하여 추진체의 저항이 증가(전체 추진력 항력의 약 10~50%)
  - 해수를 이용한 선박 기기 시설(엔진, 보일러 및 기타 기기), 냉각 시스템 등이 해양 생물로 인해 오염되며 배관 및 펌프 시스템들이 치명적인 영향을 받음

그림 7. 해양 생물 증식에 의한 선박 및 파이프의 파울링 현상

- 주석(Sn)계 살충제가 방오 코팅제로 쓰이고 있었으나 강한 독성으로 인한 해양환경 오염이 심각
  - 활성산소의 강한 산화/환원 작용을 가지는 이산화 타이타늄(TiO2)이 방오 코팅제로 개발 되었으나 빛 에너지가 없으면 그 효과가 미비

- 은나노 입자가 함유된 방오 및 항균 코팅제가 개발되어 그 효능을 입증하였으나, 생식세포와 임신 중 태아에 치명적이라는 연구 결과가 발표

그림 8. 은나노 노출에 따른 정자 세포의 변형

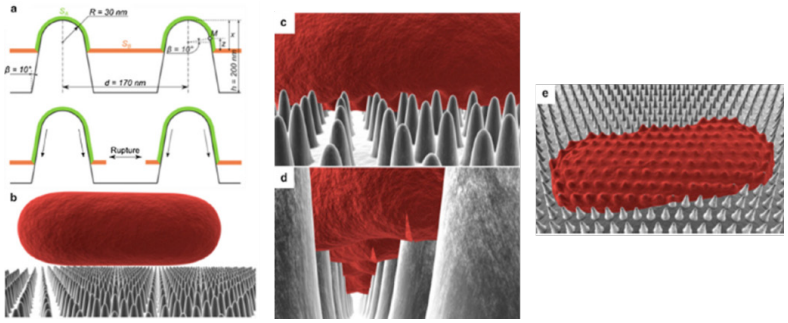


※ 출처 아시아 경제, https://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=105&oid=277&aid=0003611919

최근 자연으로 부터 영감을 얻어, 환경 유해성이 없는 항균 및 방오 기술들이 개발

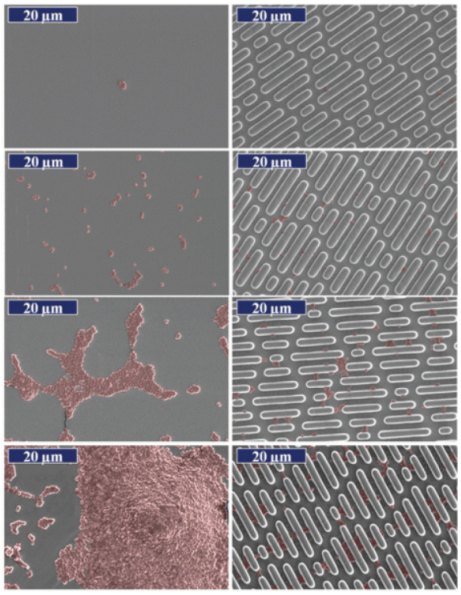
- 매미 날개의 나노 구조가 박테리아를 찢어 죽이거나, 상어 지느러미 구조가 해양 미생물의 흡착을 방해하는 원리를 이용한 친환경 항균/방오 연구 결과들이 발표
- 자연계에서 구조가 아닌 재료 자체적으로 항균/방오 성능을 가지는 대상을 분석하여 적용하는 연구들이 발표

그림 9. 매미의 나노 돌기 구조에 의한 항균/방오 개략도



※ 출처 NanoBiotech group, Swinburne University of Technology

그림 10. 상어지느러미 구조에 의한 방오 효과



※ 출처 Sharklet, https://www.sharklet.com/

03

시사점

- 외부 환경에 의해 본연의 기능을 잃어버리거나 오염 및 큰 위험에 노출되는 상황이 증가하며, 이에 따라 부가적인 유지/보수 비용이 천문학적으로 발생
  - 태양광 패널, 풍력발전기, 선박, 파이프 라인, 핸드폰 액정 등 다양한 시스템이 외부 환경에 노출

- 기능성표면 기술은 이러한 문제점을 해결하면서 고부가가치 사업을 창출 할 수 있는 원동력이 될 수 있으나,국외의 높은 기술력에 비해 국내 연구소 및 기업의 연구수준은 미비
  - 독일의 Fraunhofer Group, 미국 하버드의 Aizenberg lab, 여러 외국 기업 (Neverwet, Sharklet, Gentoo 등)들이 관련 핵심기술 및 특허를 선점
  - 국내의 군사, 건축, 조선 관련 기능성 코팅소재는 90% 이상이 수입에 의존

참고자료

1. Kerstin Koch, Bharat Bhushan, Yong Chae Jung, Wilhelm Barthlott,Fabrication of artificial Lotus leaves and significance of hierarchical structure for superhydrophobicity and low adhesion, Soft Matter, 2009, 5, 1386-1393.
2. Contact Angle, Wettability, and Adhesion, Volume 43, 1964 AMERICAN CHEMICAL SOCIETY
3. Kevin Golovin,Sai P. R. Kobaku,Duck Hyun Lee,Edward T. DiLoreto,Joseph M. Mabry, Anish Tuteja, Designing durable icephobic surfaces, Science Advances, 2, e1501496
4. An-Ting Chien, Sangbeom Cho, Yogendra Joshi, Satish Kumar, Electrical conductivity and Joule heating of polyacrylonitrile/carbon nanotube composite fibers, Polymer, 2014, 55,6896-6905