

21.1%의 고효율, 고안정성, 고재현성 페로브스카이트 태양전지

스위스 EPFL 연구진은 태양전지용 페로브스카이트 박막의 양이온 부분으로 무기물인 세슘(Cs)과 유기물인 MA와 FA를 사용한 $\text{Cs}_x(\text{MA}_{0.17}\text{FA}_{0.83})_{(100-x)}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$ 를 광활성층 박막으로 사용하여 21.1%의 고효율을 갖는 고안정성, 고재현성 페로브스카이트 태양전지의 제작에 성공하였다. 양이온으로 유기물을 사용한 유기 페로브스카이트 태양전지의 경우 넓은 흡광 영역을 가지는 장점이 있으나, 이에 반해 수분 및 유기 용매에 취약한 단점이 있다. 그에 반해, 세슘(Cs) 등의 무기물을 양이온으로 사용한 무기-페로브스카이트의 경우 수분 및 온도에 대해 비교적 안정한 특성을 보이지만, 태양전지의 광활성층으로 사용하기에는 흡광 특성이 매우 취약하였다. 이에 따라 스위스 EPFL 연구진은 세슘(Cs)과 유기물을 양이온으로 함께 사용함으로써 광활성층으로 사용하기 적합한 흡광 파장 영역을 확보함과 동시에 높은 안정성을 갖는 태양전지를 제작할 수 있었다.

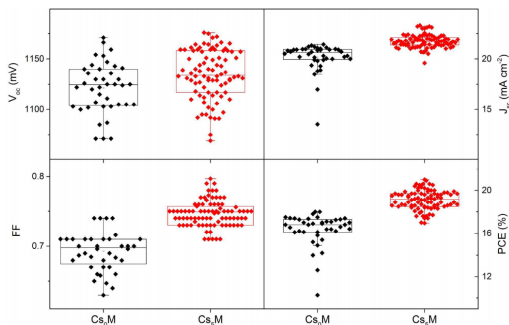


그림 1. 세슘 (Cs)의 유무에 따른 페로브스카이트 태양전지의 특성 분포도.

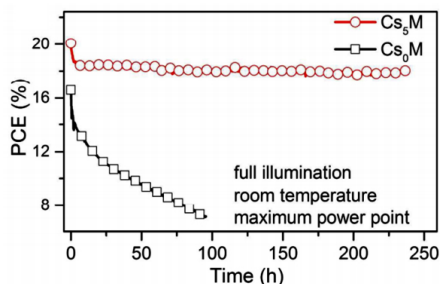


그림 2. 세슘 (Cs)의 유무에 따른 시간 별 페로브스카이트 태양전지의 광전환 효율 변화.

제작된 페로브스카이트 태양전지는 250시간 이후에도 ~18%의 안정된 광전환 효율을 나타내었으며, 또한 높은 소자 재현성을 나타내었다. 이러한 결과는 페로브스카이트 태양전지의 상업화에 크게 기여할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 Li, Na, K 및 Rb와 같은 알칼리 금속들이 페로브스카이트 구조체의 양이온으로 사용 가능함을 보여주는 것이다. 본 연구 결과는 기존 페로브스카이트 태양전지의 문제점이던 안정성과 재현성 문제를 해결함으로써 상용화를 위한 돌파구를 제시하였다는 데 가장 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

본 연구 결과는 "Cesium-containing Triple Cation Perovskite Solar Cells: Improved Stability, Reproducibility and High Efficiency"이라는 제목으로 *Energy & Environmental Science*에 게재되었다.

<M. Saliba et al., *Energy Environ. Sci.*, DOI: 10.1039/C5EE03874J (2016)>

마이크로 크기의 주름을 통한 그래핀의 물성 향상

열을 받으면 구겨지는 고분자 기판 위에 그래핀을 형성한 후 고분자 기판의 열처리를 통해 마이크로 크기의 주름 및 구겨짐이 생긴 그래핀을 제작함으로써 그래핀의 전기·화학적 특성을 향상시킨 연구 결과가 미국 Brown 대학 연구진에 의해 보고되었다. 고분자 기판의 열처리 과정 중 고분자 기판의 4개면 전부

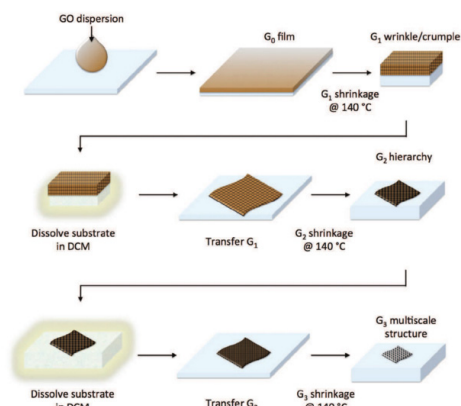


그림 3. 열처리에 따른 고분자 기판의 주름 및 구겨짐 생성을 통한 그래핀 패터닝 및 전사법 모식도.

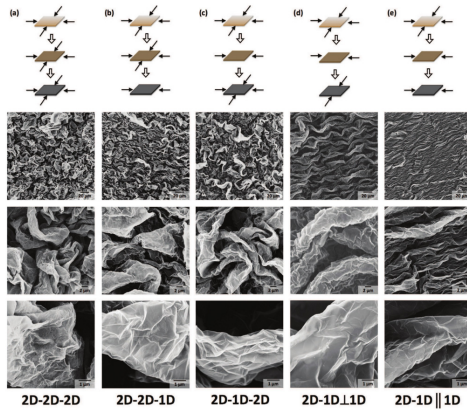


그림 4. 고분자 기판의 열처리 과정 중 집계 고정 방향에 따른 그래핀 패턴 및 전사법 모식도.

혹은 일부를 집계로 고정하는 방식을 통해 불규칙한 형태의 구김을 유발하거나, 일정한 라인 형태의 주름을 형성하였다. 또한 1회 공정을 통해 패턴이 형성된 그래핀을 새로운 고분자 기판에 재 전사한 후, 고분자 기판의 집계 고정 방식에 변화를 주어 다양한 패턴을 구현할 수 있었다. 이렇게 형성된 패턴은 초소수성 (super-hydrophobic) 특성을 나타내었으며 이를 통해 다양한 응용분야에 적용이 가능하였다. 특히 패턴이 없는 편평한 그래핀에 비해 ~400% 향상된 전기화학적 전류밀도(electrochemical current density)를 보여줌으로써 차세대 배터리에 적용 가능성을 보여주었다. 논문의 책임저자인 Ian Y. Wong 교수는 “그래핀 뿐 아니라 다양한 물질과 논문에서 제안된 패턴링법을 조합하여 예측 불가능한 다양한 기능성을 발견할 수 있을 것이다.”라고 말했다.

본 연구 결과는 “Multiscale Graphene Topographies Programmed by Sequential Mechanical Deformation”이라는 제목으로 *Advanced materials*지에 게재되었다.

<P. Y. Chen et al., *Adv. Mater.*,

DOI: 10.1002/adma.201506194 (2016)>

선박용 친환경 고분자 코팅법

네덜란드, 폴란드 및 싱가포르의 국제 공동연구진은 점성이 낮은 poly(methyl oxazoline) 고분자를 이용, 배 바닥에 부착된 마이크로 크기를 가진 생명체의 탈착을 유발하는 친환경, 안티 박테리아 코팅법을 개발하였다. 열대지역과 수심이 낮은 천수지역을 지나갈 때 많이 발생하는 부착생물의 유착에 의한 파울링 현상은 배의 수명뿐 아니라 항구 시설, 해수 필터 시스템 등에 치명적인 영향을 끼친다. 이러한 파울링 현상을 막기 위해 기존의 경우 마이크로 크기의 부착 생명체를 죽이는 코팅법이 널리 사용되어 왔으나, 이러한 화학 살충제(chemical biocid)를 이용한 코팅법의 경우 해양 생태계의 오염 등의 악영향이 있으며 이러한 악영향은 수심이 낮은 해안의 경우 더욱 더 심각하였다. 국제 공동연구팀은 3세대 친수성(hydrophilic) 고분자인 poly

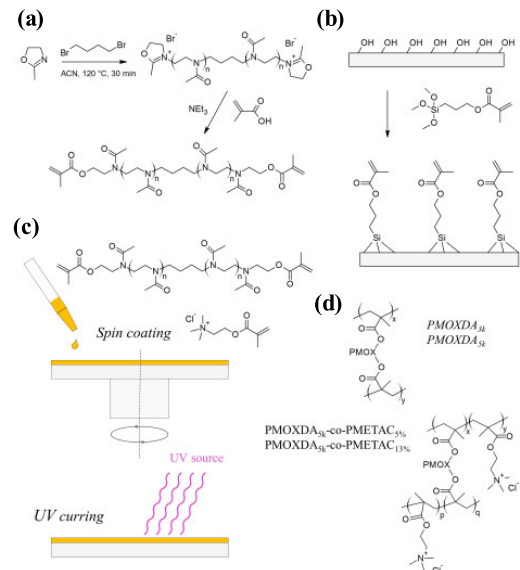


그림 5. 친환경 고분자 코팅법 모식도. (a) 전구체 고분자, (b) 실라인으로 표면 처리된 Si 기판, (c) 자외선을 통한 박막 경화, (d) 경화 이후 분자의 화학구조.

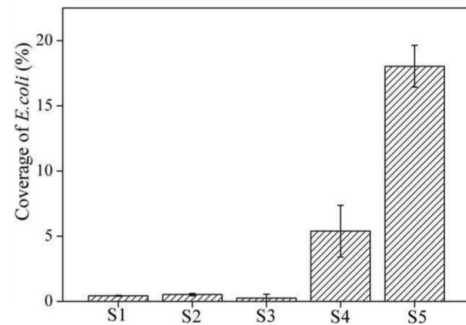


그림 6. 친환경 고분자 코팅법에 따른 *E. coli* 박테리아 피복률. S1: Si; S2: PMOXDA_{3K}; S3: PMPXDA_{5K}; S4: PMOXDA_{5K-co-PMETAC}_{5%}; S5: PMOXDA_{5K-co-PMETAC}_{13%}.

(methyl oxazoline)를 이용하여 저점도 고분자 코팅 표면을 만들었다. Poly(methyl oxazoline)는 정전기 상호 작용을 통해 배 바닥 등의 표면에 쉽게 부착될 수 있으나 해수와 같은 고 이온 용액 내에서 전하 스크린이 제거되는 문제점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 연구진은 전구체에 반응성 말단기를 도입한 후 자외선 경화를 통해 고분자가 배 바닥에 부착되게 하였다. 유사-펩타이드 구조의 backbone을 이용한 박막 접착방식은 기존의 polyethylene glycol을 이용한 접착법에 비해 산화에 대해 강한 저항성을 가짐으로써 코팅된 박막의 지속성이 향상되었으며 실제 해수 내에서 두 달간 안정함을 확인할 수 있었다. 논문의 저자 중 한명인 A. Pathiban 박사는 박테리아의 부착이 표면 전하와도 상관 관계가 있음을 증명함으로써 새로이 개발된 기술이 바이오 메디컬 분야에도 적용될 수 있을 것으로 밝혔다.

본 연구 결과는 “Efficient and robust coatings using poly(2-methyl-2-oxazoline) and its copolymers for marine and bacterial fouling prevention”이라는 제목으로 *Journal of*

*Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*에 게재되었다.

<T. He et al., *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*,

DOI: 10.1002/pola.27912 (2016)>

신장이식 거부반응의 기전과 만성 거부 반응의 초기 검진 방법

미국의 스크립스 연구소의 연구진들은 유전자 발현 프로파일링 기법에 GCN(gene co-expression networks)이라는 새로운 분석법을 도입함으로써 신장이식시 발생하는 급성 거부 반응과 만성 거부 반응의 연관성을 밝혀내고, 장기 손상의 분자기전을 밝혀내었다. 기존의 의학계에서 장기의 급성 거부 반응과 만성 거부 반응을 각각 서로 다른 질환으로 인식하여 왔으며, 이에 통상적으로 급성 거부 반응 치료를 위해서는 다량의 면역억제제를 처방하는 반면 만성 거부반응은 치료가 불가능한 질환으로 여겨 왔다. 또한, 현재 사용되고 있는 검진 방법으로는 장기가 치유 불가능할 정도로 손상된 이후에야 만성 거부반응의 진단이 가능하므로 환자는 이식된 장기를 상실케 되고, 재투석을 받아야 했다. 연구팀은 234개의 신장이식 생검 조직을 분석한 결과 급성 거부 반응과 만성 거부 반응이 분자수준에서 동일한 질병임을 확인하였으며, 이에 따라 만성 거부 반응 역시 면역억제 치료로 관리 될 수 있다는 것을 밝혀내었다. 또한, 전장유전체 분자 프로파일링(genome-wide molecular profiling)을 통해 이식된 장기가 손상 되기 전 면역 거부 반응을 확인할 수 있음을 보였다. 이번 논문의 책임 저자인 Daniel R. Salomon 교수는 “이식 이후 한달 후에 발생하는 면역 거부 반응과 5년 후에 발생하는 면역 거부 반응은 결국 같은 질병이다.”라고 말했으며, 이는 두 가지 모두 면역 억제 치료로 관리 될 수 있음을 뜻한다. 또한, “면역 거부 반응에 대한 분자수준의 이해를 통해 새로운 치료의 패러다임을 열 수 있으며, 이러한 연구 결과는 다른 장기이식 기관에도 동일하게 적용이 가능하다”고 밝혔다.

본 연구 결과는 “Gene Expression in Biopsies of Acute Rejection and Interstitial Fibrosis/Tubular Atrophy Reveals Highly Shared Mechanisms That Correlate With Worse Long-Term Outcomes”이라는 제목으로 *American Journal of*

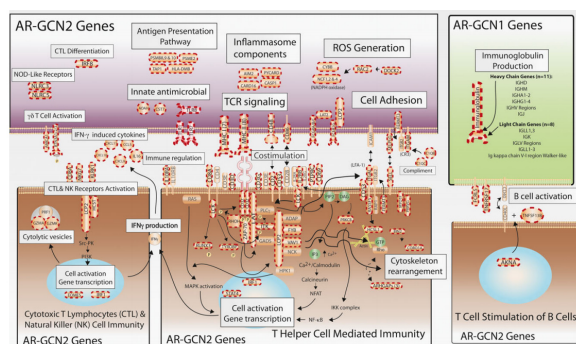


그림 7. 면역 거부반응의 도식도.

*Transplantation*에 게재되었다.

<B. D. Modena et al., *Am. J. Transplant.*,

DOI: 10.1111/ajt.13728 (2016)>

알츠하이머 쥐의 기억 재생 성공

미국 RIKEN-MIT 신경 과학 연구센터의 연구진은 알츠하이머병에 의한 초기 기억 상실이 저장된 기억이 파괴되는 것이 아닌, 기억에 접근할 수 없어 발생 하는 것임을 밝혔다. 연구팀은 정상 쥐와 알츠하이머 병에 걸린 쥐를 바닥에 전류가 흐르도록 설계한 상자에 넣어 다리에 전기적 충격을 가했다. 이 때 두 종류의 쥐 모두 몸을 움츠리는 행동을 취했다. 그러나 24시간 이후, 각각의 쥐를 전기가 흐르는 상자에 다시 넣었을 때 정상 쥐는 전기를 흘리기 전임에도 불구하고 움츠리는 행동을 취하였으나, 알츠하이머 병에 걸린 쥐는 아무런 행동을 보이지 않았다. 즉, 알츠하이머 병에 걸린 쥐는 경험을 떠올리지 못해 평소와 같이 움직였다. 하지만 연구진이 기억세포(engram cells)에 파란 빛을 비추어 세포군이 활성화 되도록 하자 움츠러드는 행동을 취했다. 연구팀은 신경 세포군의 연결부위에 있는 돌기상 구조가 감소하면 세포군이 제대로 활성화되지 않아 기억을 되살리지 못하는 사실을 확인하였다. 논문의 책임저자이자 노벨 생리학의학상을 수상한 도네가와 스즈무 박사는 “초기 알츠하이머병의 경우 치료가 가능할 수 있으며, 미래에 인간에 적용 가능한 윤리적이고 안전한 치료법이 개발될 수 있다.”고 말했다.

본 연구 결과는 “Memory retrieval by activating engram cells in mouse models of early Alzheimer’s disease”이라는 제목으로 *Nature*에 게재되었다.

<D. S. Roy et al., *Nature*, DOI: 10.1038/nature17172 (2016)>

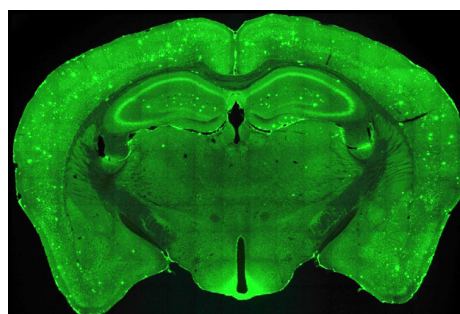


그림 8. 알츠하이머 병이 진행된 쥐의 뇌 단면 사진.

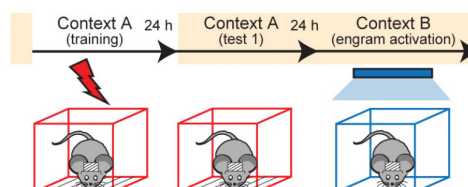


그림 9. 전기충격 학습 및 광 조사를 통한 기억 유발 실험.

| 전이성 유방암의 치료약 개발

유방암은 뼈, 폐, 간, 중추신경계 등으로의 전이가 잘 일어남에도 불구하고 전이성 유방암에 대한 특별한 표적 치료제가 없었다. 미국 Houston Methodist Research Institute 연구진은 폐로 전이된 전이성 유방암 중의 하나인 전이성 삼중음성 유방암에 대한 새로운 치료제를 개발하였다. 암으로 인한 사망의 대부분이 폐나 간으로의 암세포 전이임에 반해 전통적인 항종양성 항생물질인 독소루비신과 같은 암 치료제는 암세포에 집중적으로 도달하지 못하여 확실한 치료법이 될 수 없으며, 이에 따라 전이암에 대한 효과가 크지 않았다. 연구진은 메조포르스 실리콘을 이용, 항종양성 치료물질인 독소루비신 고분자를 나노 입자로 변환시킴으로써 암세포만을 타겟팅할 수 있는 치료제를 개발하였다. 그림 10에서 보듯이 독소루비신을 내재한 메조포르스 실리콘은 중앙 내에서 분해되며 이로 인해 독소루비신 고분자는 나노 입자로 된다. 형성된 독소루비신 나노 입자는 암세포 내 세포핵의 pH를 감지하여 약물을 방출함으로써 암세포만을 선택적으로 제거하게 된다. 나노 입자 치료제를 투여한 실험용 쥐의 50%가 8개월 후 폐로 전이된 암이 사라졌으며, 이는 인간을 기준으로 볼 때 암이 전이된 후 약 24년간 생존한 것과 동일하다. 논문의 책임저자인 페라리 교수는 “연구 결과는 놀라우며, 전이 암 치료의 패러다임을 바꿈으로 더 이상 전이암이 사형 선고가 아니다”라고 말했다. 연구진은 새로운 항암 치료제가 유방암에서 전이된 폐암뿐만 아니라, 다양한 경로로 발생한 폐암의 치료에 도움을 줄 수 있을 것으로 보고 있다.

본 연구 결과는 “An injectable nanoparticle generator enhances delivery of cancer therapeutics”이라는 제목으로 *Nature biotechnology*지에 게재되었다.

<R. Xu et al., *Nat. Biotechnol.*,
DOI: 10.1038/nbt.3506 (2016)>

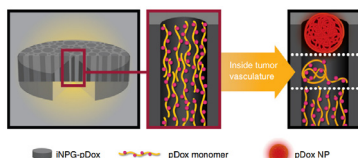


그림 10. 독소루비신 나노 입자 생성기의 작동 모식도.

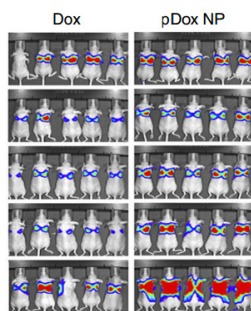


그림 11. 독소루비신과 독소루비신 나노 입자 표적 치료기를 통한 폐암 억제 분포를 보여주는 생물 발광 분석.

| 내생 바이러스의 생물학적 역할 규명

미국 Utah 대학의 연구진은 인류의 조상이 바이러스에 노출된 후 인간의 DNA로 들어온 바이러스에 의해 생성된 내생 바이러스가 인체 내에서 하는 역할을 규명하였다. 인간의 DNA중 약 8%에 해당하는 내생 바이러스는 특별한 생물학적 의미가 없는 것으로 여겨져 왔다. 연구진은 인간의 DNA로 유입된 바이러스 DNA 조각이 바이러스 및 각종 병원체에 대응하는 인체 고유 면역 시스템의 일부분으로 작동하고 있음을 밝혔다. 항 바이러스 면역 시스템에서 인체 세포는 감염을 인지한 후 바이러스 감염 및 증식을 억제하는 물질인 인터페론을 분비하며, 이 인터페론을 감지한 주위 세포들은 다양한 항 바이러스 물질을 활성화 시킨다. 연구진은 수천 종의 내생 바이러스가 인터페론에 의해 활성화 된다는 사실을 발견했으며, 활성화된 내생 바이러스가 면역기능 유전자 가까이에 몰려 있음을 발견하였다. 이후 유전자 가위(CRISPR/Cas9)를 통해 내생 바이러스를 제거하자 주위에 존재하던 면역 유전자가 인터페론에 적절히 반응하지 못하여 면역 반응 능력이 감소함을 보였다. 즉, 내생 바이러스는 면역 유전자 가까이에 존재하며 인체의 면역체계에서 유기적인 협동을 하고 있음이 밝혀졌다. 논문의 제 1저자인 Edward Chuong 박사는 “인터페론 반응이라는 세포 내 경보 시스템에 가장 중요한 스위치 역할이 고대의 바이러스로부터 유래했음을 밝혀졌다.”고 말했다. 또한 연구진은 다양한 포유동물에서, 스위치 역할을 하는 내생 바이러스 이외에도 인터페론 반응을 독립적으로 전승하는 내생 바이러스가 존재한다는 사실을 밝혔다. 논문의 공동저자인 Nels Elde 교수는 “외부에서 인체로 유입된 바이러스가 인류의 진화 과정 중 재활용하게 된 것은 우연이 아니다.”라고 말하며, 인간의 면역 시스템의 진화속도는 외부에서 들어온 유전물질의 간단한 재조정을 통해 보다 빠르게 이루어졌다고 말했다.

본 연구 결과는 “Regulatory evolution of innate immunity through co-option of endogenous retroviruses”이라는 제목으로 *Science*지에 게재되었다.

<E. B. Chuong et al., *Science*,
DOI: 10.1126/science.aad5497 (2016)>

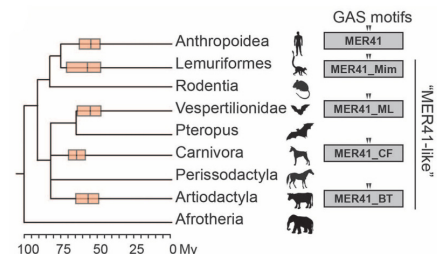


그림 12. 다양한 포유류의 유사 내재 바이러스의 계통발생 예상도.

본 기술뉴스는 KISTI 미리안의 과학기술모니터링 (<http://mirian.kisti.re.kr>)의 기사를 참조하여 정리하였습니다.

<이창렬, e-mail: vsepr@gist.ac.kr>