 <b>서울대학교</b> SEOUL NATIONAL UNIVERSITY	<b>보도자료</b> <a href="http://www.snu.ac.kr">http://www.snu.ac.kr</a>
<b>2021. 8. 18.(수) / 즉시</b>	
문의: 최준화 연구원 (02-880-1681) 연구책임자: 고승환 교수 (02-880-7114) / 교신저자 김현석 연구원 (hs.kim@snu.ac.kr) / 제 1저자	

## 실시간 은폐를 위한 생체모방 인공 카멜레온 스킨 은나노와이어 히터, 온도 감응형 액정잉크 기반 다양한 패턴과 색 표현

- 공과대학 고승환 교수(서울대학교) 연구팀은 얇은 온도 감응형 액정잉크와 얇고 유연한 은나노와이어 히터를 기반으로 **다양한 환경에서 은폐가 가능한 인공 카멜레온 스킨을 개발**하였다고 밝혔다.
- 인공 은폐 소자는 전장에서 아군의 생존률을 높이기 위한 기술로써 1800년대부터 꾸준히 다양한 방식으로 개발되어오며 현재까지도 중요한 군사 기술 중 하나로 지속적인 연구가 수행되고 있다.
- 카멜레온, 문어와 같이 자연계에 존재하는 **은폐 기술을 군사용 뿐만 아니라 최근 급부상하고 있는 웨어러블 디바이스, 소프트 로봇 등의 다양한 형태의 응용**으로 많은 연구가 수행되고 있다.
- 기존의 인공 은폐 소자는 다양한 색을 구현하는 수준이었으며, 색 변화하는 개별 소자를 어레이화하여 패턴을 구현하였기에 단위 소자의 크기보다 작은 패턴이 필요한 실제 자연환경에서는 소자의 은폐 효율이 상당히 낮아지는 단점을 가지고 있었다.
- 실질적인 은폐 기술로의 적용을 위해선 실시간으로 주변환경을 감지하여 은폐를 하는 기술이 필요하지만 소자 구현의 한계성과 시스템

의 복잡성으로 인해 아직까지 이러한 능동적 은폐 기술은 아직 구현되지 못하고 있었다.

- 연구팀은 폴리머 필름과 온도 감응형 액정잉크, 수직적층된 다양한 패턴을 가진 은나노와이어 히터를 기반으로 한 능동형 인공은폐소자를 개발하였다.
- 고안된 차세대 인공 은폐소자는 로봇이나 피부에 부착하기 쉬우며 기계적인 변형에도 소자의 특성이 유지되는 새로운 웨어러블 은폐소자를 개발하였고 인공 은폐소자의 상용 가능성을 앞당긴 것으로 평가된다.
  - 적용된 온도 감응형 액정 잉크는 온도에 따라 RGB (빨강, 초록, 파랑)를 나타낼 수 있는 소재로 정밀 제어된 은나노와이어 히터의 열 자극에 의해 다양한 색으로 표현이 가능한 은폐소자를 구현하였다.
  - 은나노와이어 네트워크 전극은 기계적 변형에도 그 전기적 특성이 유지되는 차세대 전극 소자로 차세대 웨어러블 전극 소자로 각광을 받고있으며 본 연구에서는 이러한 특성을 응용하여 유연 히터를 개발하였으며 이를 통해 고내구성의 웨어러블 소자를 구현하는데 성공하였다.
  - 또한 연구진은 이 은나노와이어 네트워크 히터는 레이저 공정을 통해 원하는 형태로 정밀 패터닝이 하였으며 이러한 히터들을 수직적층하여 각 층의 히터를 켜는 것에 따라 표면의 열 감응형 액정 잉크의 변색 패턴을 달리 유도할 수 있어 원하는 패턴과 색의 은폐 효과를 낼 수 있는 새로운 은폐소자 기술을 개발하였다.
- 연구팀은 다양한 주변환경을 스스로 감지하는 시스템과 정교하고 빠른 컨트롤이 가능한 제어시스템으로 실시간으로 능동적인 은폐가 가능한 소자를 제안하였다.

○ 패턴이 수직 적층된 얇은 필름 형태의 웨어러블 카멜레온 스킨소자에 간단한 센싱 시스템과 제어 로직을 추가하여 시스템을 단순화할 수 있었다.

- 연구진은 이 차세대 은폐소자를 개발하는데 그치지 않고 이를 응용하여 카멜레온 로봇을 만들어 다양한 색의 배경에서도 실시간 능동적으로 은폐가 가능한 로봇을 구현하였다.
- 본 연구의 결과물은 기계적으로 유연하며 다양한 색과 패턴 표현이 가능한 새로운 소프트 카모플라주 소자 원천 기술을 확보하였다고 평가된다.
- 히터의 중첩과 센서 제어 시스템의 통합으로 종래의 은폐시스템의 복잡성을 최소화하는 새로운 기술을 제시하며 차세대 인공 은폐기술의 원천 기술을 확보하였다고 평가할 수 있다.
- 관련 기술의 성숙함에 따라 군사용 외에도 건축, 예술 및 패션, 야외 활동을 위한 여러 소비재에서도 폭넓은 관심을 받고 있으며 이에 본 연구에 확보된 관련 원천 기술은 관련 산업분야에 있어 기술 선점의 효과를 가져오며 관련 산업분야에서 선두자로 자리매김하는데 큰 공헌을 할 것이라고 예상된다.
- 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 중견연구사업과 선도연구센터사업(ERC)의 지원으로 수행된 이번 연구성과는 국제학술지 ‘네이처 커뮤니케이션즈 (Nature Communications)’ 에 2021년 8월 10일(화) 게재되었다.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명

## 연구 결과

논문명	Biomimetic chameleon soft robot with artificial crypsis and disruptive coloration skin
저널명	Nature Communications
키워드	Silver nanowire (은나노와이어), Liquid crystal (액정), Artificial camouflage (인공 은폐), Vertically-stacked heater (수직 적층 히터), Sensor integration (센서 통합), Biomimetic robotics (생체모방 로봇틱스)
DOI	doi.org/10.1038/s41467-021-24916-w
저자	김현석 박사(1저자/서울대학교), 최준화 석박사통합과정생(공동 1저자/서울대학교), 김권규 박사(공동저자/서울대학교), 원필립 박사(공동저자/서울대학교), 홍석준 교수(교신저자/한양대학교 ERICA) 고승환 교수(교신저자/서울대학교)

### 1. 연구의 필요성

- 인공 은폐기술은 첨단 소프트 로봇, e-skin 등에서 중요한 연구 주제로 많은 기술 개발이 이루어지고 있다. 주변환경에 피부색을 변화시키는 카멜레온을 대표로 이를 포함한 자연계의 대부분의 위장은 근육세포의 기계적인 작용에 의존하여 표면의 광학적 채색을 달리 하는 것을 원리로 하지만, 인공 은폐를 위해선 해당 원리를 적용을 하는데 큰 한계가 있어 다양한 방법으로 연구 개발이 진행되고 있다.
- 단순 색 변화 소자를 넘어 능동적으로 주변환경을 인지하여 스스로의 색을 변화시키는 스마트 소자의 개발은 시스템의 복잡성을 증가시키는 문제가 있으며, 기존의 픽셀 어레이 소자를 통한 인공 은폐기술은 그 해상도를 넘는 주변 환경에서는 은폐의 효과가 현저히 감소하는 한계가 있었다.
- 인공은폐의 완성도를 높이기 위해선 다양한 색에 대응이 가능한 인공 은폐기술은 아직 제대로 구현되지 못하고 있으며 더 나아가 다양한 패턴을 가진 자연환경에 대응할 수 있는 인공 은폐기술은 세계적으로

보고된 바가 없었다.

- 더불어 기계적으로 유연하여 고 내구도를 가지고 있으며 다양한 표면에 유연한 대응이 가능한 웨어러블 디바이스로의 응용이 가능한 은페 기술 역시 보고된 바 없다.

## 2. 연구내용

- 본 연구에서는 고 내열성의 Polyimide 필름 층들 사이로 적층되어있으며 각기 다른 패턴이 되어있는 은 나노와이어(AgNWs, silver nanowires) 히터와 온도에 따라 RGB (Red, Green, Blue)의 색 표현이 가능한 온도 감응형 액정잉크 (TLC, Thermochromic Liquid Crystal), 실시간으로 주변환경을 인지하고 이에 맞춰 시스템을 제어할 수 있는 센서시스템을 적용하여 앞선 기존 인공 은페 소자의 한계를 극복한 실시간 주변환경으로부터 은페가 가능한 멀티 패턴 인공 카모플라주 스킨을 개발하였다.
- 또한 Ag NWs 퍼콜레이션 네트워크는 우수한 전기적, 기계적 안정성이 높으며 굉장히 얇은 필름으로 적층되어 있어 각 층의 활성화된 히터의 온도 프로파일이 표면으로 전달함에 열손실이 거의 없다. 이를 이용하여 최외곽 표면에 명확한 목표 패턴의 온도 프로파일을 전달할 수 있고 또한 여러 층을 중첩 활성화시켜 온도 프로파일의 중첩으로 다양한 패턴의 표현이 가능할 수 있게 하였다. 이를 응용하여 다양한 배경에서 은페가 가능한 카멜레온을 구현하였다.

## 3. 연구성과/기대효과

- 본 연구의 결과물은 은 나노와이어의 적용으로 굉장히 얇고 여러 패턴이 적층이 가능하며 기계적으로 유연하며 다양한 색과 패턴 표현이 가능한 새로운 소프트 카모플라주 소자 원천 기술을 확보함과 동시에 히터의 중첩과 센서 제어 시스템의 통합으로 종래의 복잡한 은페시스템의 복잡성을 최소화하는 새로운 기술을 제시하며 종래에 없던 인공 은페기술의 원천 기술을 확보하였다고 평가할 수 있다.
- **인공은페 기술은 군사 전략기술에서 중요한 분야**로 많은 연구가

진행되어왔고 이에 따라 관련된 기술에 대한 관심도가 높아져왔으며, 기술의 성숙함에 따라 관련 시장이 급성장하고 있다. 더불어 이러한 **군사용 외에도 최근 건축, 예술 및 패션, 야외 활동을 위한 여러 소비재에서도 폭넓은 관심**을 받고 있다. 이에 본 연구에 확보된 관련 원천 기술은 관련 산업분야에 있어 기술 선점의 효과를 가져오며, 관련 산업분야에서 선두자로 자리매김하는데 큰 공헌을 할 것으로 예상된다.

## 용 어 설 명

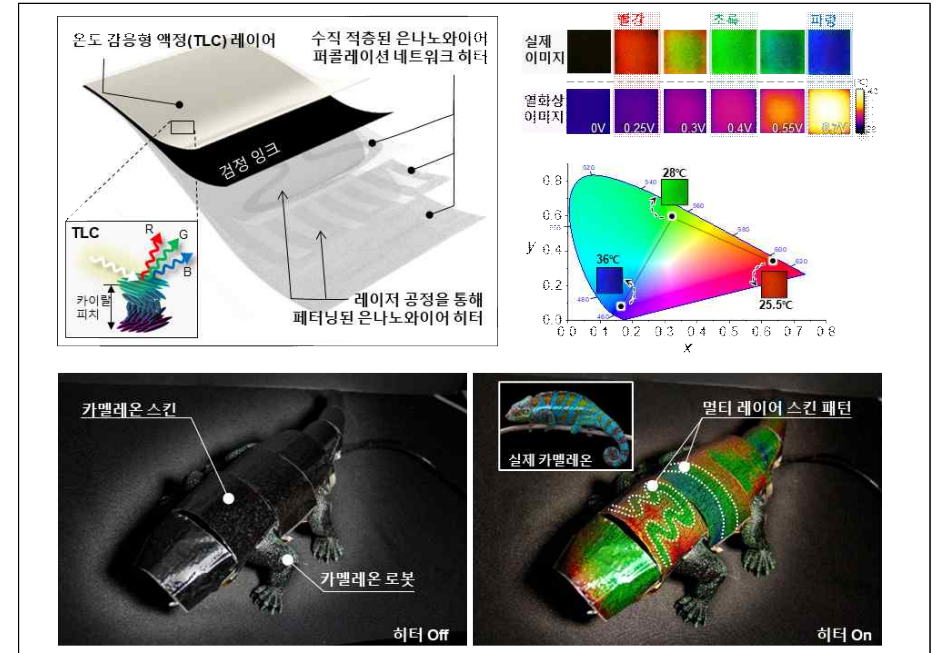
### 1. 온도 감응형 액정 잉크 (Thermochromic Liquid Crystal, TLC)

- 온도에 따라 일정하게 정렬되어있는 액정의 간격이 바뀌면서 반사되는 빛의 파장이 달라지는 물질.

### 2. 은 나노와이어 (Silver Nanowire, Ag NW)

- 나노 스케일의 두께를 가진 선 형태의 은으로써, 이를 기반으로 나노와이어 네트워크를 형성하여 만든 전극은 기계적 변형에도 그 전기적 특성이 유지되며, 광학적 투명도를 가지는 특징을 가지고 있음

## 그 림 설 명

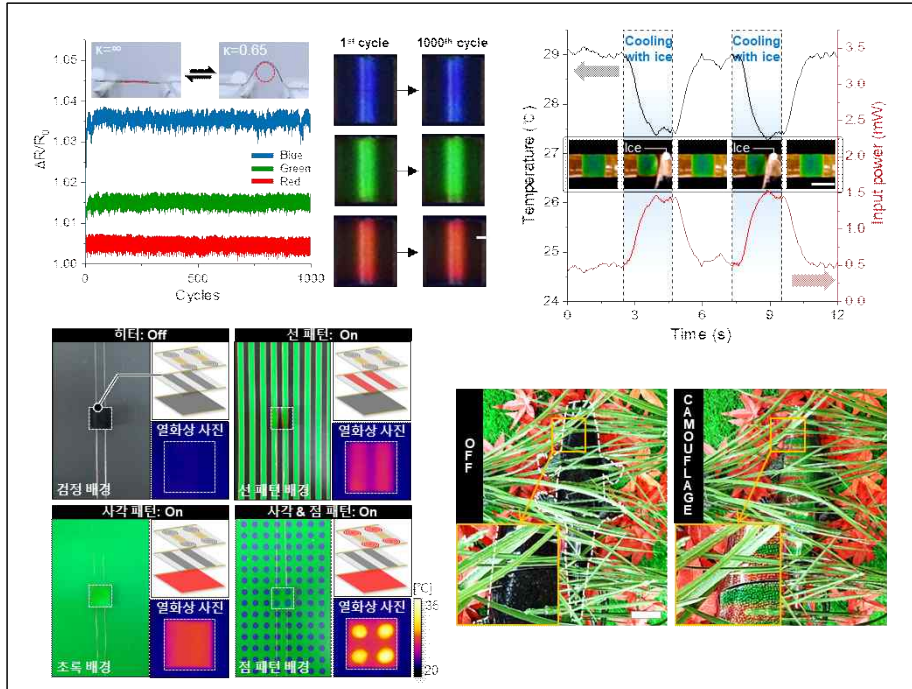


(그림1) 다양한 패턴과 RGB 색발현이 가능한 멀티 레이어 인공 카멜레온 스킨의 개략도와 카멜레온 로봇으로의 적용

본 연구에서 개발한 멀티 레이어 인공 카멜레온 스킨은 최외각 표면의 온도감응형 액정 레이어와 수직으로 적층된 은나노와이어 네트워크 히터로 구성되어있으며 각 히터는 각기 다른 패턴으로 만들어져 다양한 색으로 표현이 가능하다.

적용된 온도 감응형 액정은 온도에 따라 25.5도에서는 빨간색, 28도에서는 초록색, 36도에서는 파란색을 발현한다. 이를 기반으로 여러 환경에서도 다양한 패턴과 색으로 효율적인 은폐가 가능한 카멜레온 로봇을 개발하였다

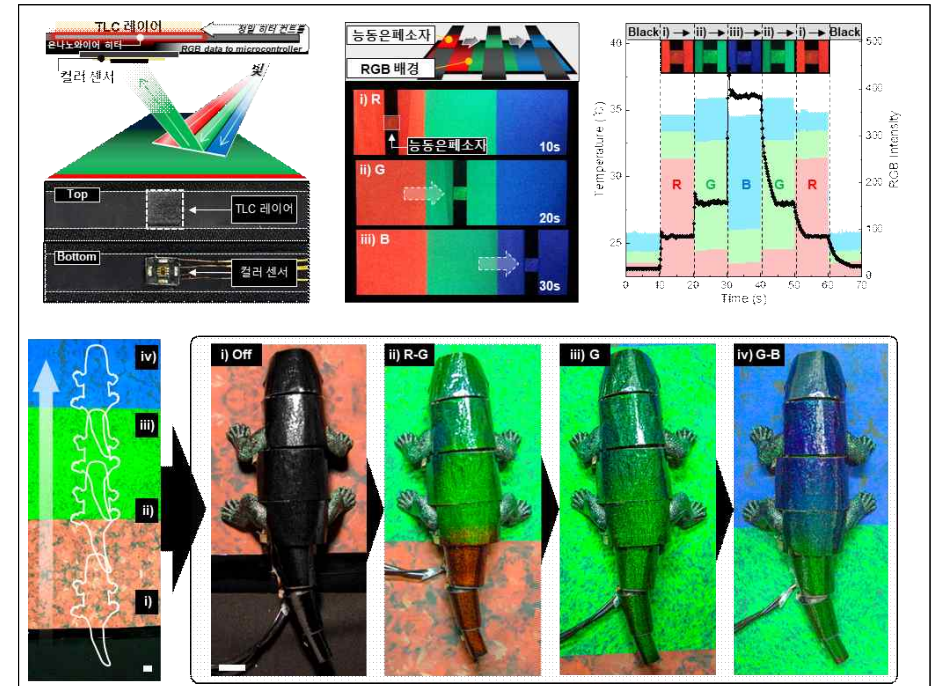




(그림2) 멀티 레이어 인공 카멜레온 스킨의 성능 평가 및 은폐 효과 확인 실험

멀티 레이어 인공 카멜레온 스킨은 고유연, 고내구성 은나노와이어 히터의 적용으로 1,000번이 넘는 고반복 급합 테스트에서도 성능 저하가 없었으며 정밀하고 빠른 제어시스템의 적용으로 외부 온도 환경변화에도 일정한 색을 유지할 수 있는 것을 확인하였다.

또한 적층된 히터 패턴을 어떻게 활성화하느냐에 따라 다양한 환경에서 효과적인 은폐 성능을 확인 할 수 있었으며 이를 기반으로 실제 풀 숲 환경에서도 효과적인 은폐 성능을 가진 카멜레온 로봇을 개발하였다.



(그림3) 실시간 능동 은폐가 가능한 멀티 레이어 인공 카멜레온 스킨의 성능 평가 및 카멜레온 로봇으로의 응용

멀티 레이어 인공 카멜레온 스킨에 컬러센서를 적용, 주변 환경의 색을 실시간으로 감지하여 정밀하고 빠른 제어 시스템을 통해 능동적인 은폐 성능을 보이는 소자를 개발하였다. 이를 기반으로 카멜레온 로봇에 적용하여 로봇이 다양한 색 배경을 기어다니며 실시간으로 주변환경을 감지하고 이에 맞춰 몸의 색을 스스로 변화시키는 카멜레온 로봇을 구현하였다.