

2026. 4. 16.(목) 00:00  
보도시점 (국제 엠바고) 배포 2026. 4. 15.(수) 09:00  
(2026. 4. 16.(목) 조간)

## 신문처럼 인쇄하는 렌즈 시대 개막... 국내 연구진, 메타렌즈 대량생산 기술 개발

- 성균관대·포항공대 공동 연구팀 성과, Nature(네이처)誌 논문 게재
- ‘롤투롤(Roll-to-Roll) 나노 인쇄 공정 기술’ 확보로 메타렌즈 생산성 100배 향상
- 초소형 카메라 등 차세대 광학 기기 상용화 앞당길 토대 마련

기존 카메라 렌즈보다 수백 배 얇으면서도 빛을 자유자재로 조절하는 ‘메타렌즈’를 마치 신문을 인쇄하듯 초고속으로 대량 생산할 수 있는 기술이 국내 연구진에 의해 세계 최초로 개발되었다.

과학기술정보통신부(부총리 겸 과기정통부 장관 배경훈, 이하 ‘과기정통부’)는 성균관대학교 선도연구센터 조규진·김인기 교수 연구팀과 포항공과대학교 노준석 교수 연구팀이 가시광 영역에서 동작하는 메타렌즈를 초당 300개 이상의 속도로 생산할 수 있는 ‘롤투롤(Roll-to-Roll) 나노 인쇄(Nanoimprint)’ 공정 기술을 공동 개발하였다고 밝혔다.

과기정통부 지원 사업(기초연구사업(개인기초연구·집단연구지원), 미래개척융합 과학기술개발 사업 등) 및 삼성미래기술육성사업, 포스코홀딩스 N.EX.T Impact 사업 등으로 수행한 이번 연구 성과는 세계 최고 권위의 학술지 「네이처(Nature)」에 4월 16일 자정(현지시간 4.15.(수) 16시, GMT) 게재\*되었다.

\* 논문명 : 300-unit-per-second roll-to-roll manufacturing of visible metalenses

메타렌즈는 빛의 위상, 진폭 및 편광 등을 나노미터(nm) 수준에서 자유자재로 조절할 수 있는 차세대 광학소자다. 특히, 기존의 굴절 렌즈와 달리 표면이 평평한 평면렌즈 형태이면서도 두께는 수백 배 이상 얇아, 초박형 설계와 동시에 정밀한 빛 제어가 가능해 다양한 기능을 수행할 수 있다.

하지만, 메타렌즈를 제작하기 위해서는 복잡하고 비용이 많이 드는 반도체 공정을 이용해야만 했던 탓에 그동안은 실험실 수준의 소량 생산에 머물러 실제 제품 상용화에 큰 어려움이 있었다.

연구팀은 이러한 한계를 해결하기 위해 성균관대 선도연구센터에서 개발한 롤투롤(Roll-to-Roll) 인쇄 파운드리 기술을 활용하여 유연한 기판 위에서 나노 구조체를 연속적으로 찍어낼 수 있는 ‘롤투롤(Roll-to-Roll) 나노 인쇄’ 공정을 독자적으로 개발했다.

기존에는 딱딱한 니켈 금형을 사용하여 메타렌즈를 하나씩 제작하였으나, 연구팀은 유연한 소재의 고분자 복제 금형을 12인치 면적의 원통형 롤러로 만들었다. 이를 통해 롤러를 회전시켜 마치 신문을 인쇄하듯 렌즈를 연속적으로 인쇄할 수 있도록 공정을 구현하는 데 성공하였다. 특히 고분자 복제 금형의 내구성과 해상도를 극대화하기 위해 특수 개발한 표면처리 기술을 도입하여, 200m 길이의 연속 공정에서도 첫 번째 제작 렌즈와 마지막 제작 렌즈의 성능 편차가 없는 수준까지 대량 생산의 신뢰성을 끌어올렸다.

이 시스템을 이용하면 기존 방식보다 약 100배 이상 빠른 초당 300개의 메타렌즈를 생산할 수 있다. 또한, 인쇄된 나노 구조체 위에 원자층 증착 방식으로 고굴절 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 층을 코팅하여 가시광 영역에서 90% 이상의 높은 광 효율을 확보하는 데 성공하였다. 실제 실험 결과 가시광 전 영역에서 회절 한계 수준의 정확한 초점을 형성함과 동시에 고성능 렌즈 기준인 0.8 이상의 슈트렐 비율(Strehl ratio)\*을 달성할 수 있었다.

\* 렌즈가 이론상 완벽한 렌즈와 비교해 초점에서 빛을 얼마나 잘 집중시키는지 나타내는 척도

이번 성과는 전 세계 광학계가 해결하지 못했던 ‘메타렌즈의 대량 생산’이라는 난제를 국내 연구진이 독자적인 공정 기술로 해결하며 차세대 광학 시장의 판도를 바꿀 핵심 전환점을 마련한 것으로 평가받는다.

특히, 기존 렌즈 대비 두께를 수백 배 줄이면서도 고성능을 구현함으로써, 스마트폰의 고질적인 카메라 돌출 문제를 근본적으로 해결하는 것은 물론 가벼운 안경 형태의 증강현실(AR) 글라스, 초정밀 의료 영상 장비, 우주 광학 시스템 등 첨단 산업 전반에 걸쳐 혁신적인 변화를 불러일으킬 전망이다.

성균관대 조규진·김인기 교수와 포항공대 노준석 교수는 “그동안 고비용 문제로 상용화가 어려울 것이라 여겨졌던 메타렌즈를 실제 산업 현장 수준에서 초당 300개 이상 대량 생산할 수 있음을 세계 최초로 입증한 성과”라며, “우리 연구진이 보유한 소자 설계부터 대량 고속 제조 공정까지 일체의 기술력이 전 세계에 인정받은 만큼, 앞으로 차세대 광학 산업 전반의 상용화는 물론, 성균관대 선도연구센터가 추진하는 R2R 인쇄 파운드리 플랫폼 구현을 앞당기는 핵심 토대가 될 것”이라고 밝혔다.

과기정통부 김성수 연구개발정책실장은 “이번 성과는 우수한 연구 역량이 하나로 결집되고, 정부와 민간의 지원이 뒷받침되어 일궈낸 값진 결실”이라며, “앞으로도 연구자들이 세계적인 성과를 지속적으로 창출할 수 있도록 연구환경 조성과 아낌없는 지원을 이어나갈 것”이라고 밝혔다.

담당 부서	과학기술정보통신부 기초연구진흥과	책임자	과 장	조종영 (044-202-4530)
		담당자	사무관	박준일 (044-202-4531)
	과학기술정보통신부 원천기술과	책임자	과 장	이강우 (044-202-4540)
		담당자	사무관	이동근 (044-202-4546)
유관 기관	성균관대학교 생명물리학과	교신저자	교 수	조규진 (031-299-4793)
		교신저자	교 수	김인기 (031-299-4794)
	성균관대학교 홍보팀	담당자	팀 장	이창형 (02-760-1143)
	포항공과대학교 기계공학과	교신저자	교 수	노준석 (054-279-2187)
	포항공과대학교 대외협력팀	담당자	대 리	전예진 (054-279-2416)



## 주요내용 설명

논문명	300-unit-per-second roll-to-roll manufacturing of visible metalenses
저널명	Nature
키워드	Metalens(메타렌즈), Roll-to-roll manufacturing(롤투롤 공정), Nanoimprint(나노임프린트)
DOI	10.1038/s41586-026-10369-y
저 자	조규진 교수(교신저자/성균관대학교), 노준석 교수(교신저자/포항공과대학교), 김인기 교수(교신저자/성균관대학교), 쩡 호앙(Trung Hoang)(제1저자/성균관대학교), 박유진(공동제1저자/포항공과대학교), 김주훈(공동제1저자/포항공과대학교)

### 1. 연구의 필요성

- 메타렌즈는 빛의 위상, 진폭, 편광 등을 나노미터 수준에서 제어할 수 있는 차세대 광학 소자로 기존 굴절 렌즈 대비 두께는 수백 배 얇으면서도 동시에 다양한 기능을 수행할 수 있는 다기능 평면렌즈 기술로 잘 알려져 있다.
- 하지만 이런 메타렌즈를 제작하기 위해서는 심자외선(DUV) 포토리소그래피나 전자빔 리소그래피와 같은 제작 공정이 복잡하고 생산 비용이 높은 반도체 공정을 이용해야만 했다. 그렇기 때문에 실험실 수준에서의 검증은 넘어선 연구가 수행되기는 어려운 점이 있었다.
- 이런 문제를 해결하기 위해 유연 기판 상에 연속적으로 나노구조를 찍어낼 수 있는 롤투롤 나노임프린트 공정을 독자적으로 개발해 초당 300개의 메타렌즈를 생산할 수 있는 초고속 대량 생산 기술을 개발했다.

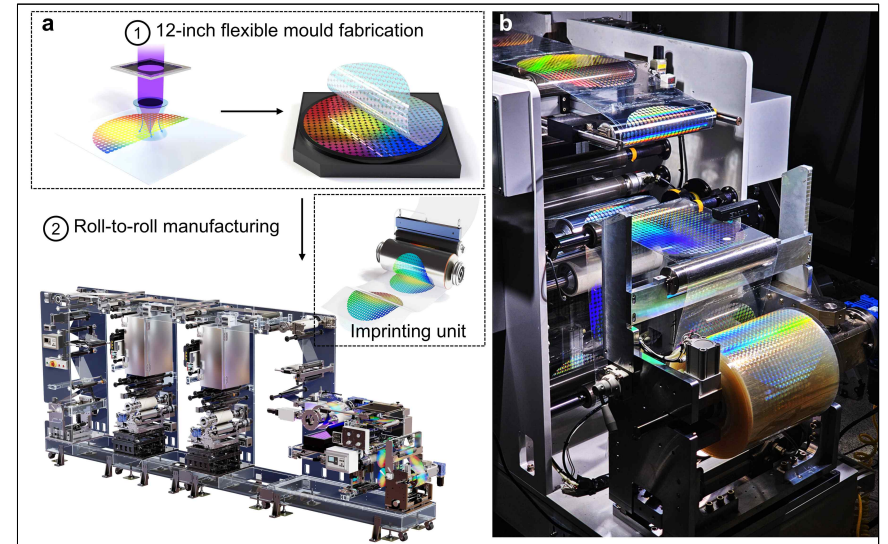
## 2. 연구내용

- 연구팀은 값비싼 니켈 금형 대신 유연한 고분자 복제 금형을 활용하고, 이를 12인치 대면적 롤투롤 시스템에 적용하여 연속적인 공정을 구현했다.
- 고분자 복제 금형의 내구성과 공정 해상도를 높이기 위해 특수 개발한 표면처리 기술을 도입하였다. 200m 길이의 연속 공정에서도 성능 편차가 거의 없음을 확인하여 대량생산 공정의 신뢰성을 확보하였다.
- 이 시스템은 초당 300개의 메타렌즈를 찍어낼 수 있는데, 이는 기존 방식보다 약 100배 이상 빠른 속도다. 또한, 임프린팅된 구조체 위에 원자층 증착법(ALD)으로 고굴절 이산화티타늄( $\text{TiO}_2$ ) 층을 코팅해 가시광 영역에서 90% 이상의 높은 광 효율을 확보하는 데 성공했다.
- 제작된 메타렌즈의 광학 성능을 실험적으로 검증한 결과, 가시광(450, 532, 635nm) 전 영역에서 회절 한계 수준의 정확한 초점을 형성함과 동시에 고성능 렌즈 기준인 0.8 이상의 슈트렐 비율(Strehl ratio)를 달성하였다. 대면적의 메타렌즈 어레이에서도 성능 편차가 거의 없는 것을 확인했다.

## 3. 연구성과/기대효과

- 렌즈를 신문처럼 찍어내는 대량생산 방식이 가능해지면서 광학 부품의 반도체화·대량생산화가 본격화될 전망이다. 이번 기술은 초박형 스마트폰 카메라, AR·VR 글라스, 바이오·의료 영상 장비 및 우주 광학 시스템 등의 산업 분야에 즉각적인 파급효과를 가져올 것으로 예상된다.

## 그림 설명

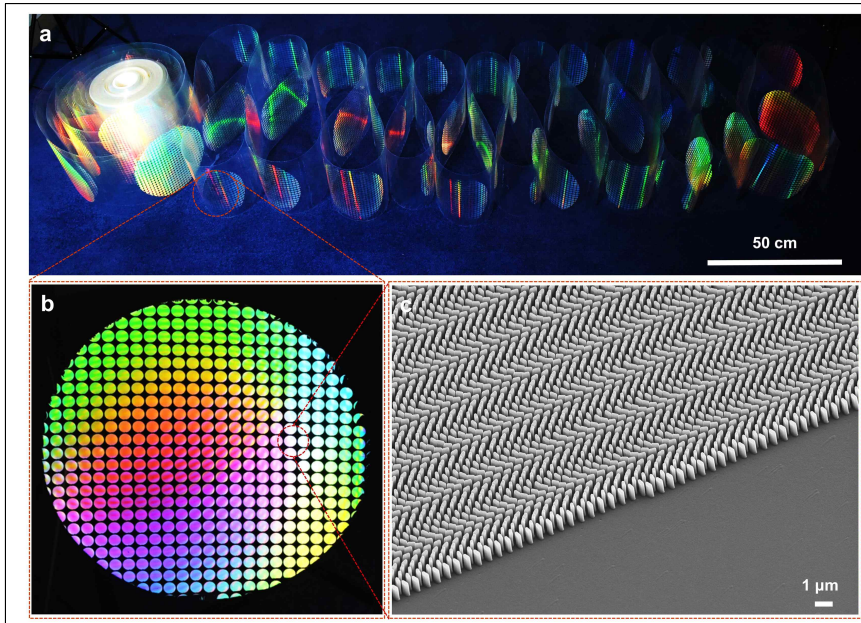


(그림1) 롤투롤 나노임프린팅 기반 메타렌즈 대량 생산 공정

(a) 폴리머 몰드 제작 및 이를 활용한 롤투롤

(b) 연구팀에서 활용한 성균관대 선도연구센터 롤투롤 나노임프린팅 설비 사진

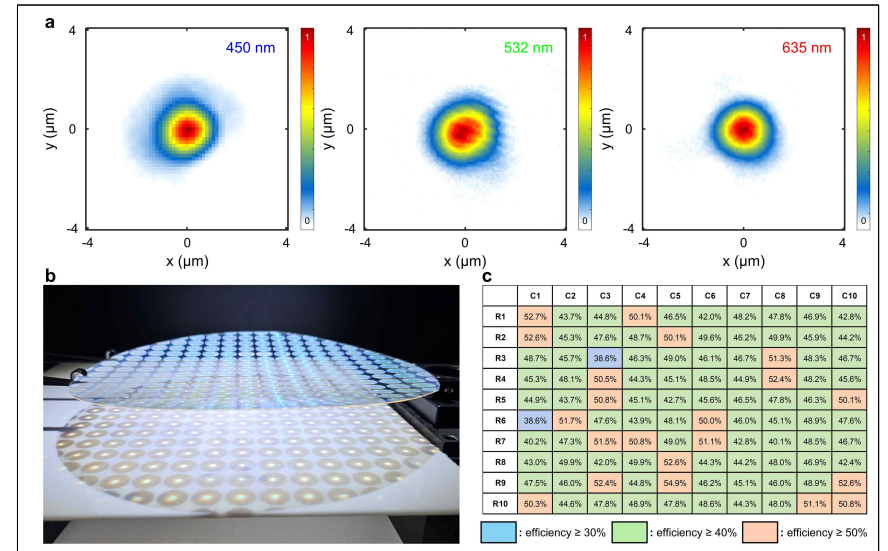
그림설명 및 그림제공 : 성균관대학교 조규진·김인기 교수



(그림2) 제작된 대면적 메타렌즈

- (a) 200m 길이의 연속 공정을 통해 제작된 메타렌즈 어레이 필름 사진
- (b) 제작된 12인치 웨이퍼 크기의 메타렌즈 어레이 사진
- (c) SEM을 통해 촬영된 메타렌즈 나노구조 이미지

그림설명 및 그림제공: 성균관대학교 김인기 교수



(그림3) 제작된 대면적 메타렌즈의 성능 검증

- (a) 450, 532 and 635 nm 파장에서 초점 모양 및 세기 분석
- (b) 흰색 LED 빛을 조사했을 때 메타렌즈 어레이에서 초점을 맺는 사진
- (c) 100개의 개별 메타렌즈의 측정 효율

그림설명 및 그림제공: 포항공과대학교 노준석 교수

## 연구자 소개

### <조규진 교수, 교신처자>

#### 1. 인적사항

- 소 속 : 성균관대학교 생명물리학과 교수
- 전 화 : 031-299-4793
- e-mail : gcho1004@skku.edu



#### 2. 학력

- 1985년 경희대학교 화학과 학사
- 1995년 University of Oklahoma 화학과 박사

#### 3. 경력사항

- 1996년~2019년 국립순천대학교 화학공학과 · WCU인쇄전자공학과 교수
- 2011년~2015년 University of California, Berkely, 전자공학과, 방문연구원
- 2019년~현재 성균관대학교 생명물리학과 교수
- 2020년~현재 성균관대학교 선도연구센터 센터장

#### 4. 전문 분야 정보

- 2019년~현재 한국인쇄전자 산업협회 수석부회장
- 2024년 한국유연인쇄전자학회 회장
- 2021년~현재 성균관대학교 양자생명물리과학원 부원장

## 연구자 소개

### <노준석 교수, 교신처자>

#### 1. 인적사항

- 소 속 : 포항공과대학교  
기계공학과 · 화학공학과 · 전자전기공학과 교수
- 전 화 : 054-279-2187
- e-mail : jsrho@postech.ac.kr

#### 2. 학력

- 2007년 서울대학교 기계공학 학사
- 2008년 일리노이대학교 기계공학 석사
- 2013년 UC버클리 기계 · 나노공학 박사

#### 3. 경력사항

- 2013년~2013년 로런스버클리국립연구소 박사후연구원
- 2013년~2014년 아르곤국립연구소 연구책임자
- 2014년~현재 포항공과대학교 기계공학과 · 화학공학과 · 전자전기공학과 교수
- 2019년~현재 포항공과대학교 무은재석좌교수
- 2024년~현재 포항공과대학교 연산석좌교수

#### 4. 전문 분야 정보

- 2019년 제23회 젊은과학자상 (대통령상)
- 2022년 한국공학기술상 젊은 공학인상, 한국공학한림원
- 2022년 제13회 홍진기 창조인상
- 2022년 (美) Department of State Fulbright Fellowship
- 2024년 (美) American Chemical Society Nano Lectureship
- 2023~2024년 (英) Clarivate Highly Cited Researcher
- 2021~2025년 (美) Stanford/Elsevier World Top 2% Scientists

## 연구자 소개

### <김인기 교수, 교신저자>

#### 1. 인적사항

- 소 속 : 성균관대학교 생명물리학과 부교수
- 전 화 : 031-299-4794
- e-mail : inki.kim@skku.edu



#### 2. 학력

- 2015년 울산과학기술원 기계공학과 학사
- 2021년 포항공과대학교 기계공학과 박사

#### 3. 경력사항

- 2021년~2025년 성균관대학교 생명물리학과 조교수
- 2025년~현재 성균관대학교 생명물리학과 부교수

#### 4. 전문 분야 정보

- 2024년 한국광학회 젊은광과학자상
- 2024년 삼성미래기술육성사업 Investigator
- 2025년 Light: Science & Applications Rising Stars of Light (Finalist)
- 2025년 성균관대학교 SKKU Rising-Fellow
- 2024-2025년 (美) Stanford/Elsevier World Top 2% Scientists