

대한기계학회 주선

제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

설계 최종 보고서

참가부	대학부 (○)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (○)				
참가팀명	원팀(One - Team)				
설계제목	볼록변형 가능한 모바일 기기용 프레임 구조 (A Frame Structure of Convex-Deformable Mobile Device)				
지도교수/교사	(소속) 전남대학교 기계공학부 (성명) 강기주 (연락처) (이메일)				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	정재현	전남대학교 기계공학부			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	정재현	전남대학교 기계공학부 / 4학년	
2	김정일	전남대학교 기계공학부 / 4학년	
3	유창민	전남대학교 기계공학부 / 4학년	
4			
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (o)
참가팀명	원팀 (One - Team)
설계제목	볼록변형 가능한 모바일 기기용 프레임 구조 (A Frame Structure of Convex-Deformable Mobile Device)
대표자명	정재현
요약문	<p>1. 설계 배경 및 목적</p> <p>모바일 기기는 경량화가 필요함과 동시에 대화면을 지향하고 있다. 이를 실현하기 위하여 foldable display를 가진 기기가 출시되었지만 복잡하고 큰 부피의 힌지 (hinge) 기구를 때문에 필연적으로 경량화에 미흡하여 널리 사용되지 못하고 있다. 만일 경량이면서 볼록변형이 가능하다면 8 인치 정도의 대화면을 가진 모바일 기기도 바지 뒤 주머니에 넣어 편하게 휴대할 수 있다. 볼록변형 가능한 모바일 기기가 실현되기 위해서는 stretchable display와 함께 특수한 프레임 구조가 필요하다. 프레임 구조가 단순히 고무처럼 유연하지만 보통 재료와 같이 양(+의 포아송비를 갖는다면 주머니 안에서 굽힘을 받을 때 말안장 모양의 배사곡률 (anticlastic curvature) 로 변형되어 오히려 휴대에 불리하다. 전남대학교 재료강도 연구실에서는 볼록변형이 가능한 여러가지 샌드위치 판재를 개발한 바 있다. 본 연구에서는 이를 발전시켜 보다 실용화에 근접한 프레임 구조를 개발하여, 볼록변형이 가능하여 휴대성이 개선된 새로운 대화면 모바일 기기를 실현하고자 한다.</p> <p>2. 설계 목표</p> <p>기 개발된 볼록변형이 가능한 샌드위치 판재는 면재와 심재 및 내부의 칩 모사 부품까지 일체형으로 제작되어 모바일 기기에 실제로 적용할 수가 없었다. 이를 극복하기 위해서 본 연구에서는 아래와 같은 목표를 갖는다.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) 상부와 하부 구조체로 분리되어 제작될 것 b) 중간에 다수의 칩이 배치된 PCB를 배치하고 결합이 가능할 것 c) PCB를 내장한 채 볼록 변형이 가능할 것 d) 볼록변형에 지장을 주지 않으면서 내부를 보호하는 측면 구조를 가질 것 e) 먼지 등 이물질의 들어가는 것을 막을 적절한 코팅을 가질 것 <p>3. 기대 효과</p> <p>본 발명의 프레임 구조는 PCB와의 조립 및 내부보호를 고려하여 설계된 것으로 충분한 낮은 강성 (stiffness)와 5% 이상의 연신한계 변형률을 가진 stretchable display 가 한 면에 부착된다면 신체 밀착성과 휴대성이 우수한 8 인치 대화면을 가진 실제 모바일 기기로 활용되어 국익에 이바지 할수 있을 것으로 기대된다.</p>

블록변형 가능한 모바일 기기용 프레임 구조

정재현*·김정일*·유창민*·강기주†
*전남대학교 기계공학부

Frame Structure of Convex-Deformable Mobile Device

Jeong Jaehyun*, Kim Jeongil*, Yu Changmin* and Kang Kiju†

* School of Mechanical Engineering, Chonnam National University

(Received September 07, 2023)

Key Words: Auxetic Sandwich(팽창성 샌드위치), Two-piece sandwich panel(상하 결합형 모델), Convex-Deformable(블록변형)

초록: 모바일 기기는 경량화가 필요함과 동시에 대화면을 지향하고 있다. 이를 실현하기 위하여 foldable display를 가진 기기가 출시되었지만 복잡하고 큰 부피의 힌지 (hinge) 기구 때문에 경량화에 어려움을 겪고 있다. 만일 경량이면서 블록변형이 가능하다면 8 인치 정도의 대화면을 가진 모바일 기기도 바지 뒷주머니에 넣어 편하게 휴대할 수 있다. 블록변형 가능한 모바일 기기가 실현되기 위해서는 특수한 프레임 구조가 필요하다. 프레임 구조가 보통 재료와 같이 양(+)의 포아송비를 갖는다면 주머니 안에서 굽힘을 받을 때 말안장 모양의 배사곡률로 변형되어 오히려 휴대에 불리하다. 본 연구에서는 이를 발전시켜 블록변형이 가능하여 휴대성이 개선된 새로운 대화면 모바일 기기를 실현하고자 한다.

Abstract: Mobile devices need to be lightweight and are aiming for a large screen at the same time. To realize this, devices with foldable displays have been released, but it is difficult to reduce weight due to complex and large-volume hinge mechanisms. If it is lightweight and convex, a mobile device with a large screen of about 8 inches can also be carried comfortably in the back pocket of the pants. In order to realize a convex-deformable mobile device, a special frame structure is required. If the frame structure has a positive (+) Poisson ratio like ordinary materials, it is rather disadvantageous for carrying because it is deformed into a horse saddle-shaped back curvature when bent in the pouch. This study aims to realize a new large-screen mobile device with improved portability by developing it and enabling convex deformation.

1. 서 론

Mobile device가 점점 커지면서 휴대성을 개선하기 위해 Display는 Curved -> Flexible -> Stretchable로 발전되어 왔다. 하지만 이에 대응하는 Device의 몸체는 딱딱하기 때문에 휴대 시에 사용자들은 불편함을 느낀다.

기존의 판재들은 굽혔을 때 말 안장 모양의 anti-clastic curvature로 변형하기 때문에 신체의 곡면과 맞지 않아 모바일 기기에 사용하기 부적합하다. 하지만 음의 포아송비를 갖는 auxetic 재료의 경우 굽힘에 대하여 돔모양의 Synclastic curvature로 변형한다. 이는 신체의 곡면과 유사하여 Stretchable display에 적용가능하다.

† Corresponding Author, kjkang@chonnam.ac.kr

따라서 돔모양의 변형을 하는 모바일 기기를 제작하기 위하여, 2차원 팽창성 면재 사이에 double pyramid 형상의 트러스 심재를 갖는 팽창성 샌드위치 패널이 개발되었다. 이 팽창성 샌드위치 패널은 2차원 팽창성 재료를 면재 형태로 선 가공한 후 트러스 심재에 에폭시로 단순 부착하는 방식으로 설계되었으며 두꺼운 저강도의 심재와 양면에 부착되는 얇으면서도 고밀도, 고강도의 면재인 이중재료로 이루어졌다. 하지만 기존의 제작된 샌드위치 패널의 경우 두장의 SUS 면재와 Truss 코어가 에폭시로 부착시켜서 만들기 때문에 부착이 떨어질수도 있는 문제점이 있다.

이문제를 해결하고자 면재와 심재를 일체형으로 제작하여 단점을 보완해 왔다. 하지만 이는 내부에 부품이나 FPCB를 넣을수 없다는 단점이 있다. 따라서 여기에 실제 Mobile device에서 사용되는 PCB와 내부 모듈 역할을 하는 chip을 넣기 위해 상하부가 분리된 팽창성 샌드위치 패널(이하 Two-piece sandwich panel)을 3d 프린터로 설계한 후 접착제 없이 단순결합 방식으로 결합하려한다.

2. 설계핵심내용

(1) Two-piece sandwich panel 설계

기존의 One-piece sandwich panel의 경우 트러스 심재가 일체형 상태로 3d printer로 뽑았기 때문에 FPCB나 chip 등의 내부 모듈을 넣을 수 없어 실용화를 하는데 어려움이 있다. 따라서 이전 One-piece sandwich panel의 트러스를 새로운 방식으로 설계후 제작하는Two-Piece sandwich panel로 만들어 PCB나 내부 모듈을 넣을 수 있게 제작하였다.

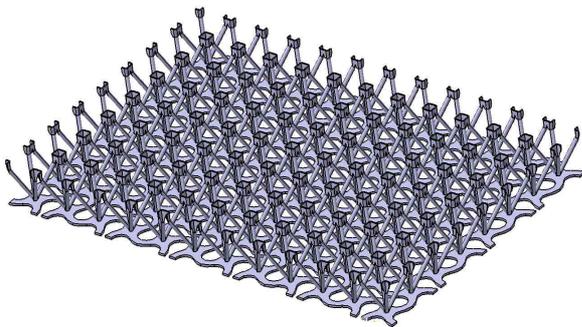


Figure1. 시편의 상편 모습

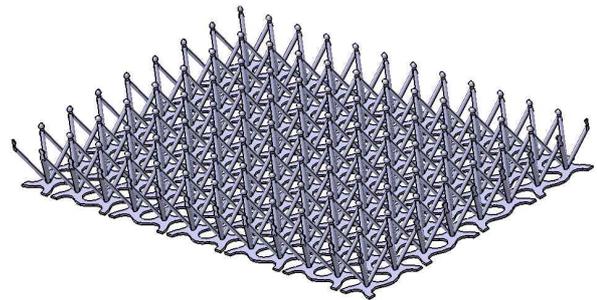


Figure2. 시편의 하편 모습

One-piece sandwich panel의 중앙을 기점으로 트러스가 분리, 결합이 될수 있도록 하기 위해 합단추 방식의 결합,분리를 차용함.

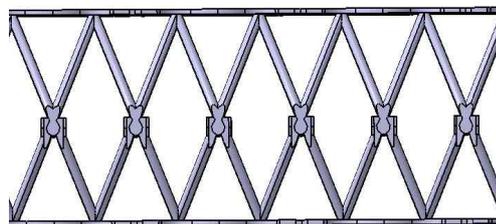


Figure3. 합단추 방식으로 결합된 트러스

트러스의 거동을 방해하지 않으면서 손으로 직접 결합이 가능한 최소크기가 0.55mm 이기 때문에 상부의 트러스 구의 지름을 0.55mm로 하부의 트러스 바스켓의 뚫린 부분의 크기를 공차를 감안하여 1mm로 설계하였다.

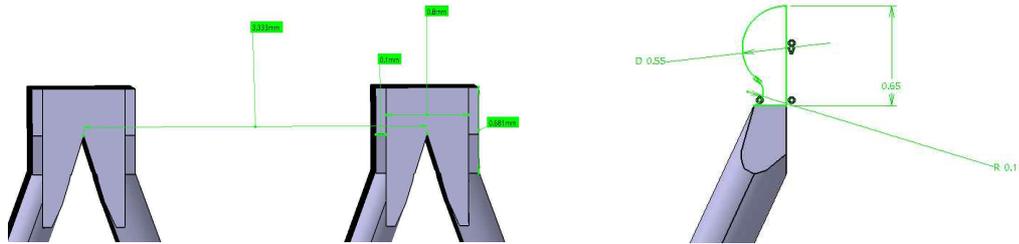


Figure4. 상판 트러스와 하판 트러스의 구조

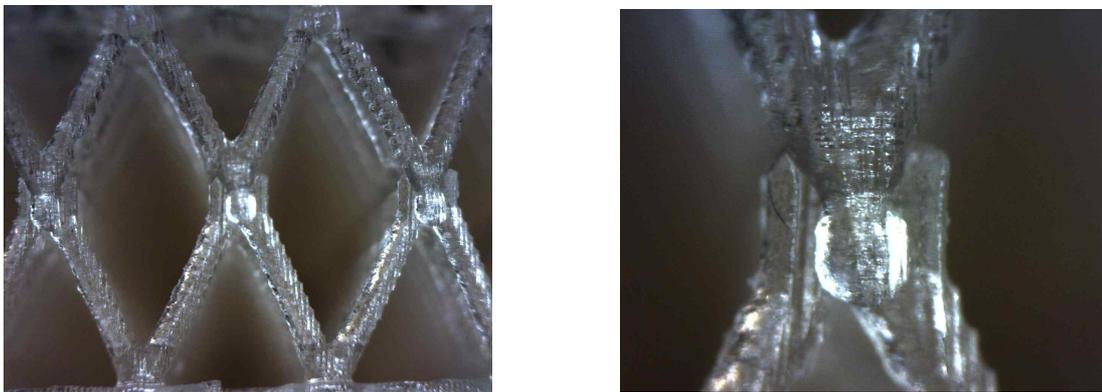


Figure5. 실제 Snap fit 구조

또한 chip이 들어가는 위치의 심재를 Double-Pyramid에서 Curved Truss로 바꾸어 Chip이 배치될 공간을 확보하고 굽혔을 때 완충되는 buffer의 역할을 하도록 하였다.



Figure6. 측면 설계 실제 모습

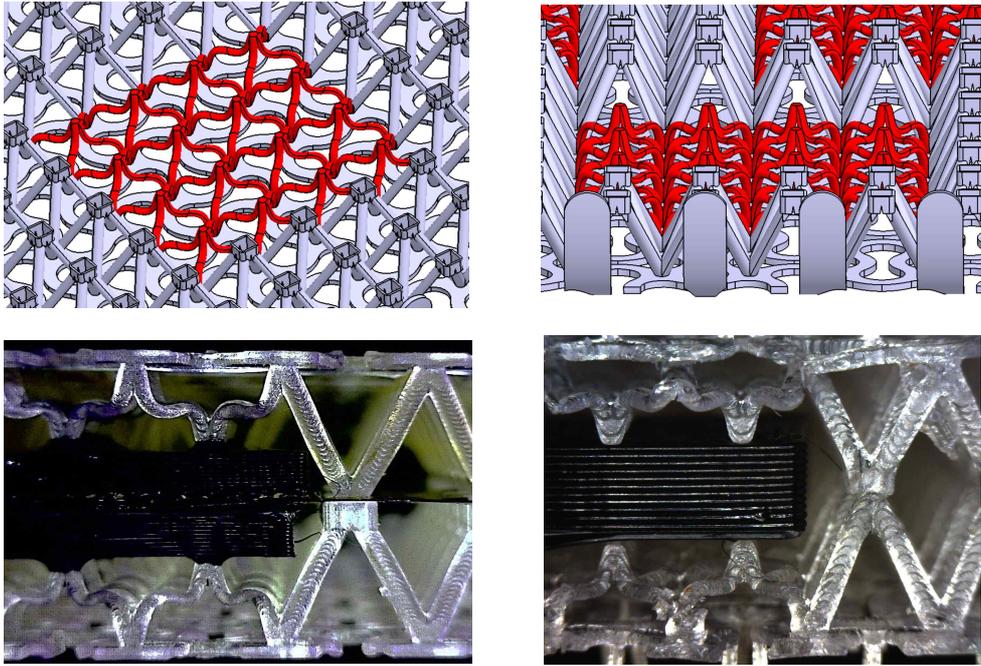


Figure7. Curved Truss 의 설계모습 및 실제 모습

(2) 측면설계

측면을 빗장모양으로 설계하여 외부위험으로부터 내부를 보호하고 굽힘시 주변에 영향을 줄여 휴대성을 높이려하였다.

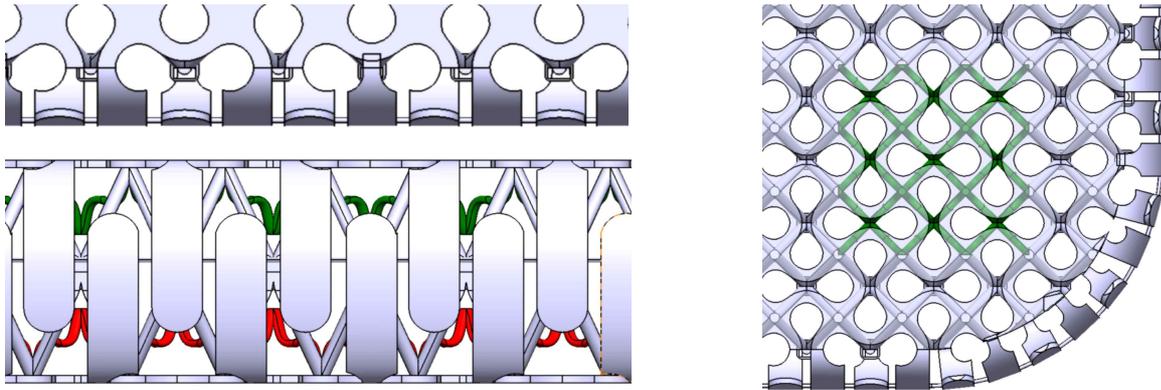


Figure8. 측면 설계 모습

(3) 코팅

실제 모바일기기에서는 틈 사이 사이에 실링을 하여 방수와 방진을 진행하지만 우리는 구조체에 얇은 코팅을 하여 전체 표면을 이물질로부터 보호하려 하였습니다. 투명하고 얇으면서 탄성력이 존재하며 구조체 변형시 거동에 방해가 주면 안되는 물질임과 동시에 접촉시 거부감이 없어야 하기 때문에 위의 조건을 모두 만족시키는 재료로 라텍스를 채택하려하였습니다.

(1) FEA 진행

two-piece model FEA 결과

<인장실험FEA>

실제 인장 실험과 같이 전체 길이인 180mm의 5%인 9mm의 변위를 주었다.
트러스와 면재의 물성은 같은 재료이기 때문에 아래표와 같이 넣어 FEA를 진행하였다.

포아송비(n)	영계수(E)
0.3	600MPa

Table1. 인장실험 시편 물성

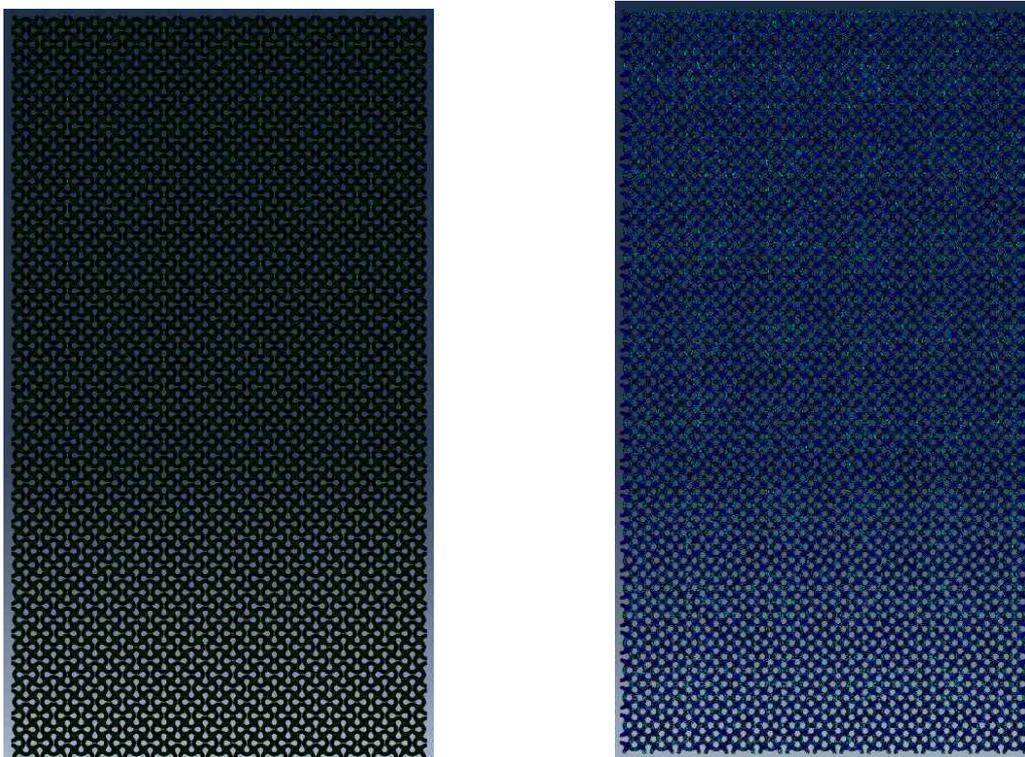


Figure9. 인장 전과 인장 후의 FPCB를 FEA한 모습

인장의 모양을 보면 y축 방향으로 인장했을 때 x축 방향으로도 증가한 것을 알 수 있다.

e_{xx}	e_{yy}	n(포아송비)
0.0395	0.05	-0.789

Table2. FEA 모델 인장실험 결과

포아송비를 결과값은 -0.789이다.

<6-point-벤딩실험 FEA>

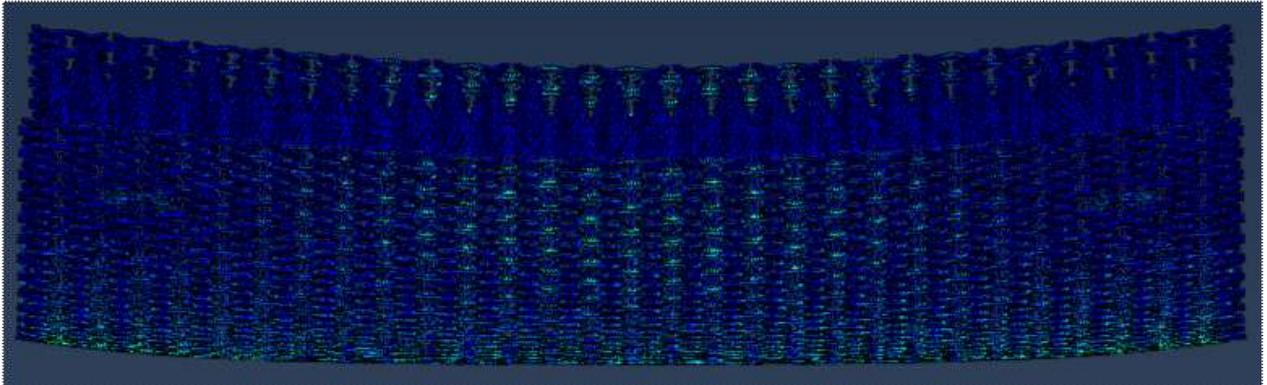


Figure10. 점굽힘실험(x-z방향)

실제 실험 과정과 동일한 지점을 잡아 6-point 굽힘을 실시하였다.
힘은 1cell을 surface로 잡아 20N의 힘으로 진행하였다.

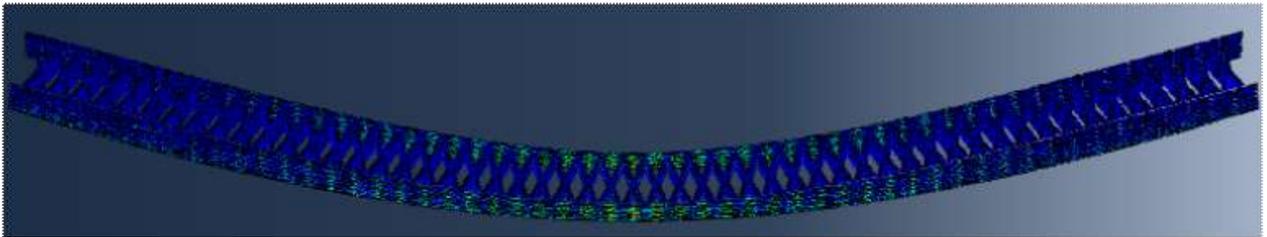


Figure11. 점굽힘실험(y-z방향)

예상했던바와 같이 볼록한 돔 모양의 변형을 관찰할 수 있었다.

PCB FEA 결과

stretchable PCB가 auxetic한 거동을 보이는 지 확인하기 위해 FEA로 인장을 해봄.
실제 실험과 동일하게 5%인 9mm를 인장을 진행함.
물성값은 $E = 2500\text{MPa}$, $\nu = 0.34$ 로 FPCB의 재료인 FCCL의 물성값을 넣어 진행함.

ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	n(포와송비)
0.046095	0.05	-0.9219

Table3. FEA 모델 굽힘실험 결과

포아송비를 측정하였을 때 위의 표에서 확인할 수 있듯이 -0.92가 나온 것으로 stretchable PCB가 구조체의 거동을 방해하지 않았다고 판단할 수 있다.

Chip의 영향을 알아보려고 PCB에 칩을 결합한 모델과 결합하지 않은 모델에 5%의 인장을 주어 영향을 살펴보았다.

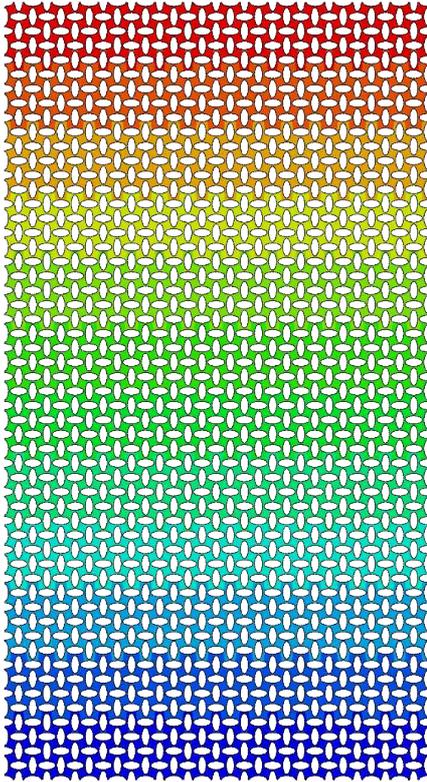


Figure12. PCB(without chip)

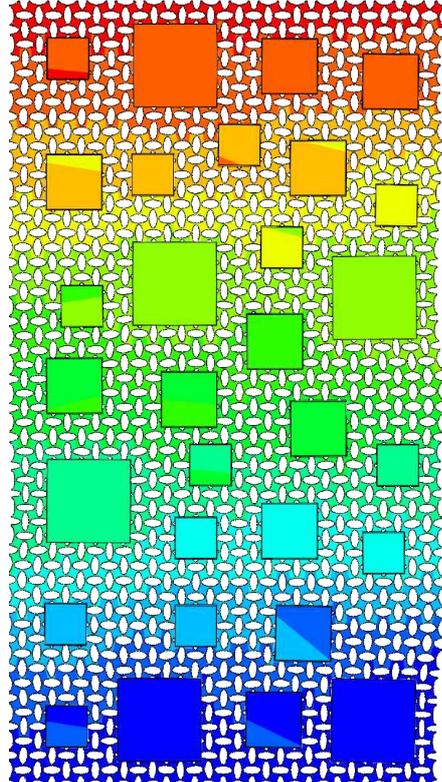


Figure13. PCB(with chip)

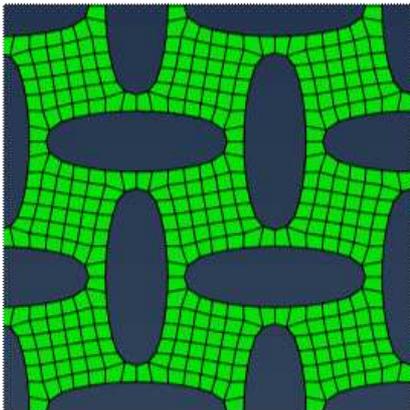


Figure15 인장 전

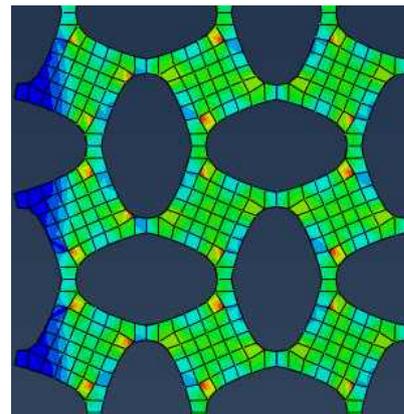


Figure16. 인장 후

(3) 실험

1단계 시편 제조

- ① SLA 3D Printer(Form 3, Formlabs Inc., MA, USA)에 동사의 Clear Resin V4를 사용하여 0.1mm의 Layer Thickness로 상하부가 분리된 시편을 출력한다. 각각 출력물의 크기는 폭 104mm, 길이: 177.33mm, 높이 4mm이며 상부와 하부를 결합하면 폭과 길이는 동일한체 높이만 8mm로 증가한다. 출력후 동사의 세척용 기구 Form Wash에서 IPA를 사용하여 15분간 세척한다.
- ② 세척후 1시간동안 상온에 건조를 시키고 80도 오븐에 1시간 동안 넣는다.
- ③ 240grit의 sandpaper를 사용하여 서포트를 제거한다. 1번 시편의 경우 상부와 하부를 단순결합하고 2번시편의 경우 결합시에 새로 제작한 PCB를 상부와 하부 사이에 끼워 제작한다.
- ④ 3번시편의 경우 상부와 하부사이에 실제 모바일 디바이스에서 부품의 역할을 할 Chip을 끼운다. 칩은 FDM 3D Printer(제품명 : Single Plus 320C, 제조사 : Cubicon, KOREA)에 동사의 ABS-A100의 필라멘트를 사용하여 0.9MM의 두께로 제작하며 출력속도는 100mm/s이다. 시편의 상부와 하부에 칩을 Epoxy(제품명 : 2ton epoxy, 제조사 : DEVCON, 제조국: 미국)를 사용하여 붙인후 24시간동안 건조한다. 칩의 위치는 상부와 하부가 다르게 위치하게끔 배치하였다. 칩과 시편이 붙은후에 칩의 반대면에 Epoxy를 발라 PCB를 붙이고 마찬가지로 하루동안 건조후 상부와 하부를 결합한다.
- ⑤ 4번시편의 경우 3번시편과 동일하게 제작후에 마지막과정으로 LATEX Condom(제품명 : Care 29, 제조사 : PLEASURE LATEX PRODUCTS SDN.BHD, 제조국 : 말레이시아)을 씌운다. Latex Condom과 시편의 접착을 위해 시편에 접착제(제품명: Super - X Gold No.777, 제조사: Cemedine, 제조국 : 일본)를 롤러를 사용하여 펴바른다. 접착제를 바른 시편에 Latex condom을 씌우고 표면의 윤활제를 제거하기위해 손세정제(제품명: Neo-Medical Hands Clean Gel, 제조사 : 한국생명과학(주) - KOREA LIFE SCIENCE, KOREA)를 사용하였다.
- ⑥ 인장실험 시편의 경우 1,2,3,4번 시편을 제작한 후에 기존에 제작된 시편의 위와 아래에 Chip 과 동일하게 FDM 3D Printer(제품명 : Single Plus 320C, 제조사 : Cubicon, KOREA)에 동사의 ABS-A100의 필라멘트를 사용하여 제작한 Spacer를 epoxy로 붙여 하루동안 고정한다. Spacer는 위와 아래, 앞과 뒤 총 4개를 부착하며 각각의 크기는 폭은 100mm 길이는 51mm인데 이중 시편과 접착하는 길이는 31mm이다. 고정이 완료되면 Particle spray를 시편의 표면에 particle을 보이게끔 뿌린다.

2단계 6점 굽힘실험(6-point bending)

인체의 형상(예를 들어 팔 끼는 청바지의 엉덩이 주머니나 허벅지 주머니와 같은)에 맞춰서 실제 시나리오를 시뮬레이션 하기 위해 6-point bending 실험을 실시한다.

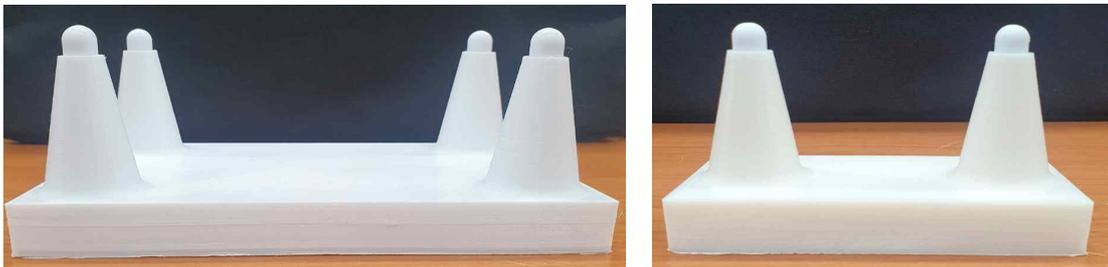


Figure17. 6-point bending용 지그

① 6점굽힘 실험을 하기위해 INSTRON 8800의 시험기를 사용한다. 시편의 위쪽에 4점지그 아래쪽에 2점지그를 설치한다. 4점 지그의 경우 FDM 3D Printer(제품명 : Single Plus 320C, 제조사 : Cubicon, KOREA)에 동사의 ABS-A100의 필라멘트를 사용하여 제작하였고 폭은 60mm, 길이는 126.67mm이며 시편과 닿는 부분은 테프론을 부착하였다. 2점 지그의 경우 폭은 60mm이며 4점 지그와 마찬가지로 시편과 닿는 부분은 테프론을 부착하였다. 아래쪽에 2점지그를 설치할 때 지그 밑에 Loadcell(제품명: CWFS-100, 제조사: BONGSHIN, 제조국: 한국)을 설치하여 실험을 진행한다.

② 곡률반경 150mm를 맞추기 위해 0.025mm/s 속도로 11mm의 변위를 준다.

3단계 인장 실험

① 인장실험을 하기위해 INSTRON 8800의 시험기를 사용한다. 시험기의 아래쪽에 Loadcell(제품명: CDES - 100, 제조사: BONGSHIN, 제조국 : 한국)을 설치한다. 인장실험용 시편에 Strain 2%를 주기 위해 2.3mm의 변위를 준다. 변위가 2.3mm인 이유는 총 길이 177.33mm의 시편에 위와 아래에 31mm씩 spacer를 붙였기 때문에 우리가 관찰하는 영역은 115mm가 나오기 때문이다.

② 2.3mm의 변위를 0.025mm/s의 속도로 준다.

4단계 포아송비 측정

DIC프로그램인 VIC-2D 프로그램을 사용하여 포아송비를 측정하였다. 측정에 사용된 공식은 다음과 같다.

$$v = - \frac{(\text{average normal strain} \in x\text{-direction})}{(\text{average normal strain} \in y\text{-direction})} = - \frac{\bar{u}(x_2) - \bar{u}(x_1)/x_2 - x_1}{\bar{v}(y_2) - \bar{v}(y_1)/y_2 - y_1}$$

포아송비는 좁은범위(20*80mm)와 넓은범위(80*80mm)의 영역을 선택하여 측정하였다.

3. 결과 및 토의

3.1.1 굽힘실험



Figure18. Two-piece sandwich panel의 6-point bending 측면과 정면 모습 비교

- Instron 8800 시험기로 11mm의 변위를 주어 실험 진행
- 모든 시편 모두 돔형태로 전반적으로 변형하는 모습을 보임

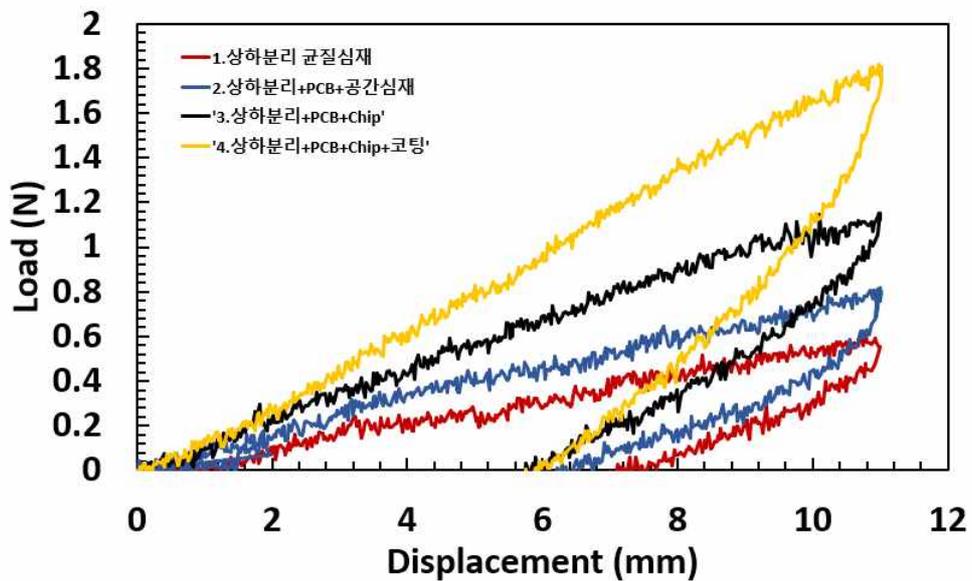


Figure19. 6-point bending에 의한 Load-Displacement 그래프

- Load-Displacement 그래프를 비교했을 때 그래프의 개형은 비슷하게 보임을 확인할 수 있다.
- 상하분리 후 PCB 공간심재 시편의 경우 chip의 부재로 displacement에 의한 load는 감소하였다.
- 상하분리 후 코팅과 chip 배열이 변경된 시편의 경우 displacement에 의한 load는 증가를 보였다.

3.1.2 Curvature Ratio

	상하분리 균질심재	상하분리 PCB+공간심재	상하분리 PCB+Chip(배열변경)	상하분리 PCB+Chip+코팅
정면	110.3mm	121.1mm	138.2mm	131.8mm
측면	183.3mm	205.2mm	243.9mm	240.2mm
곡률비	0.602	0.590	0.567	0.549

Table 4 각 시편의 Curvature Ratio

- Curvature Ratio(곡률비)는 다음식을 사용

$$Curvature\ Ratio = \frac{\text{정면에서 측정된 곡률반경}}{\text{측면에서 측정된 곡률반경}}$$

- Curvature Ratio(곡률비)를 측정된 결과 시편의 종류에 따라 최대 0.602에서 최소 0.549의 값이 나왔으며 약 10%의 차이를 보였다.
- 이는 굽힘 시 내부 트러스 구조 혹은 Chip 등의 영향으로 파악이 된다

3.1.3 Flexural Rigidity(N*m²)

	상하분리 균질심재	상하분리 PCB+공간심재	상하분리 PCB+Chip(배열변경)	상하분리 PCB+Chip+코팅
Flexural Rigidity	0.003352	0.004414	0.006242	0.009852

Table 5 각 시편의 Flexural Rigidity

Flexural Rigidity는 다음식을 사용

$$Flexural\ Rigidity = M \times \rho [N \cdot m^2]$$

- Flexural Rigidity(굽힘강성)이 클수록 굽히는데 힘이 많이 필요하다.

- Chip과 PCB가 들어가지 않는 상하분리 균질심재 시편의 경우 굽힘강성은 0.003352로 가장 작았고, 구조체 내부에 chip 혹은 PCB가 들어갔을 경우 굽힘강성은 증가함을 보였다.
- Chip의 배열을 변경하고 코팅까지 진행했을때의 굽힘강성은 0.009852로 가장 컸다.
- 이는 힘이 가해지는 Point부분에 Chip의 존재로 인해 힘이 모든 방향으로 균일하게 전달되지 않아 Core shear가 발생하여 굽힘강성이 크게 측정되었다.
- FEA를 이용하여 상하분리 균질심재의 각 포인트에 2.5N의 힘을 가했을 때 시편의 곡률반지름은 약 150mm였고 이를 이용하여 굽힘강성을 계산한 결과 0.0075로 실제 균질심재는 이보다 약 39% 작았다.
- 오차 원인으로서는 경화시 취성을 감소시키기 위하여 경화온도를 기존의 방식보다 약 40℃정도 낮은 80℃로 하여 경화를 덜 시켰기 때문으로 후경화를 더 시킨다면 굽힘강성을 더 높일 수 있다.

3.2 인장시험

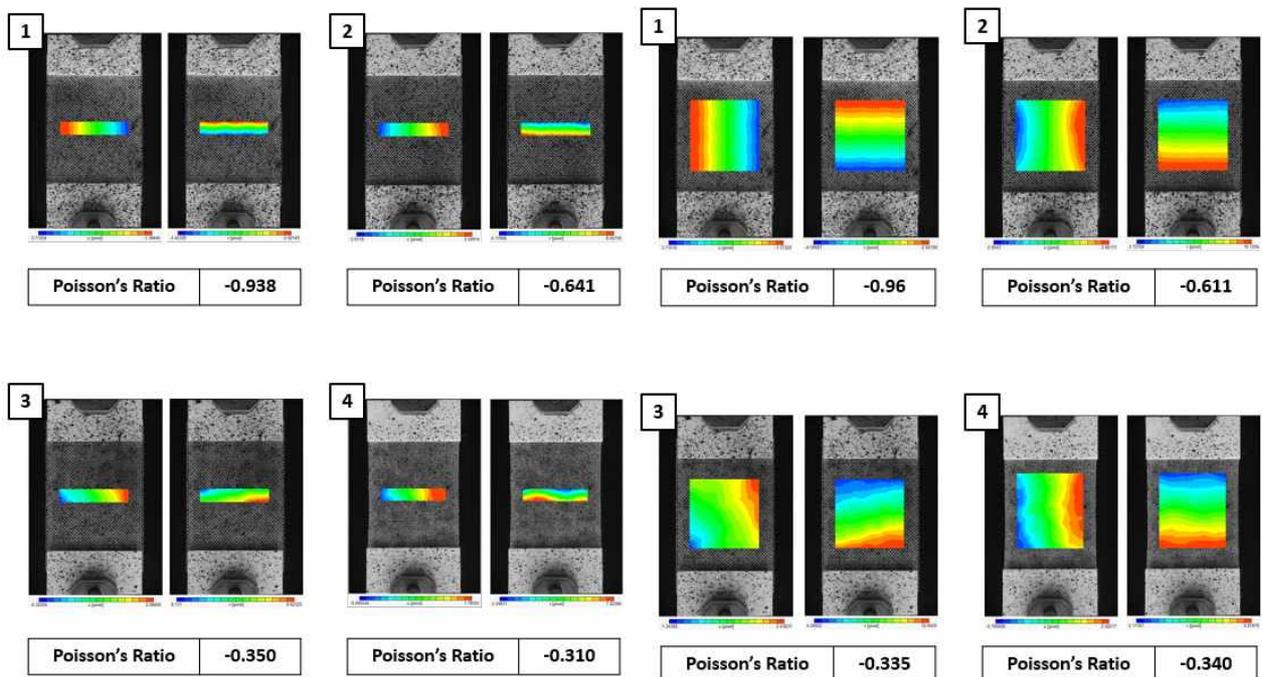


Figure20 좁은범위 포아송비 측정

Figure21 넓은범위 포아송비 측정

- instron 8800 시험기로 2.3mm의 변위를 주어 실험 진행
- 포아송비 측정 결과는 다음과 같다.

	상하분리 균질심재	상하분리 PCB+공간심재	상하분리 PCB+Chip(배열변경)	상하분리 PCB+Chip+코팅
포아송비 (좁은범위)	-0.938	-0.641	-0.350	-0.310
포아송비 (넓은범위)	-0.96	-0.611	-0.335	-0.340

Table 6 각 시편의 포아송비 측정

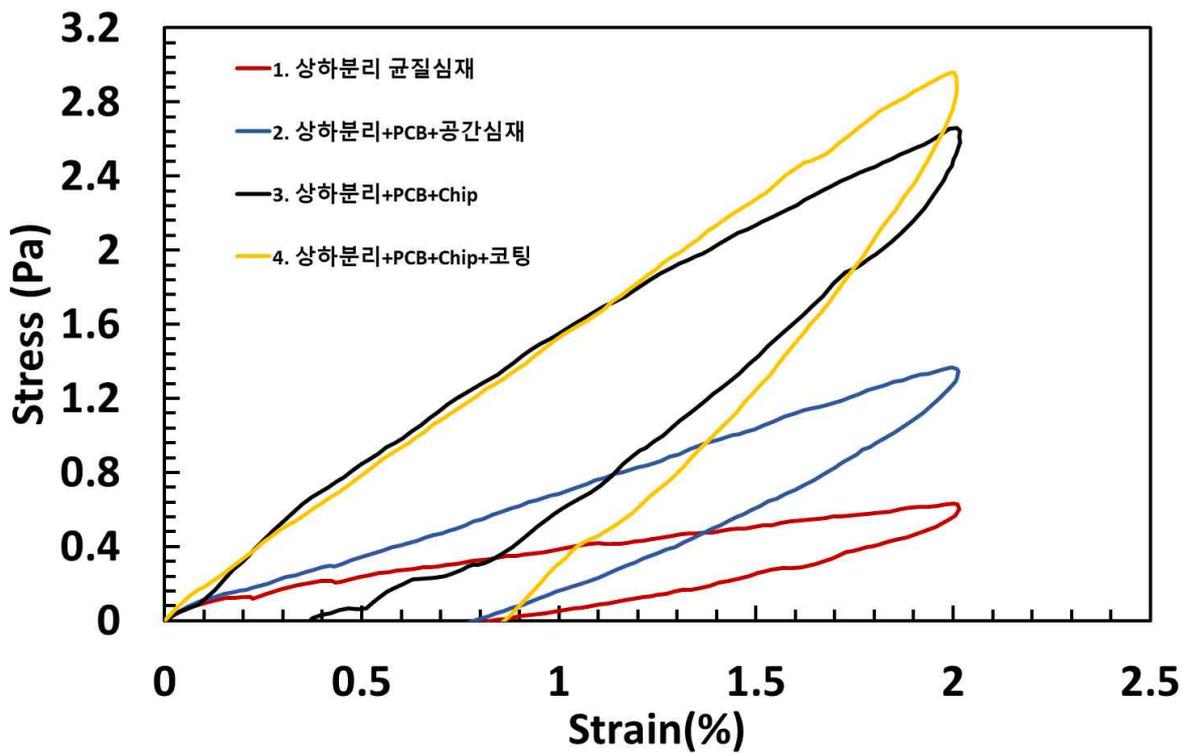


Figure 22 인장실험 Strain-Stress 그래프

- 급격한 힘의 탈락이 없는 것으로 보아 실험 중 시편이 부서지거나 예상치 못한 변형이 일어나지 않았다.

4. 결 론

■ 실험을 할 때 누르는 부분에서 Core shear가 발생하였다.

■ 샌드위치 패널과 PCB의 프와송비의 차이가 있다.

■ 코팅한 시편의 경우 코팅을 하지 않은 시편과 포아송비와 곡률비는 비슷함을 보였으나 Flexural rigidity의 경우 라텍스의 크기가 시편보다 작아 굽힘에 영향을 주었다고 생각할 수 있다.

■ 칩의 배열이 다른 시편과 코팅한 시편의 프와송비가 작고 강성이 큰 이유는 다음과 같다.

1. 굽힘실험을 할 때 테프론에서 core shear가 발생하는 데 칩의 배열이 다른 시편의 경우에는 테프론과 칩이 닿는 부분이 더 많아 그 효과가 컸을 것이라 생각된다.

2. 샌드위치 패널과 PCB의 프와송 비의 차이가 있다.

3. 코팅재료인 라텍스의 탄성 자체가 작았으며, 면재와 라텍스를 접착제를 이용해 붙이다보니 접착력이 커서 변형을 방해했다.

4. 칩이 배열이 다른 시편의 경우 PCB와 chip이 접착제로 결합된 부분이 많아서 변형에 방해가 다른 시편에 비해 컸을 것이다.

후 기

위 연구를 작성하는 데 많은 도움을 주신 강기주 교수님께 진심으로 감사드립니다. 본 공모전의 설계와 연구를 지원해 주신 전남대학교 재료강도연구실에 감사드립니다. 본 경진대회를 기획해주신 대한기계학회 관계자분들께 감사의 인사 드립니다.

참고문헌

- * [1] 강기주, 박은별, 김가은, “전면블록곡률 변형 특성을 갖는 샌드위치 판재 및 그 제조방법”, 출원번호10-2018-0095408, 출원일자 2018.08.16., 등록번호 10-2288913, 2021.08.05.
- [2] 김정일, 박은별, 이용주, 정윤창, 강기주, “모바일 기기용 전면블록 샌드위치판재”, 대한기계학회 2021년 학술대회 프로그램북, 김대중 컨벤션센터, 2021.11.3.~6, 논문번호 We17A031.
- [3] Jeong YC, Park E-B, Kang K. A convex-deformable sandwich panel for mobile devices. *Journal of Sandwich Structures & Materials*. 2022;0(0). doi:10.1177/10996362221139573
- [4] Taylor, M., Francesconi, L., Gerendás, M., Shanian, A., Carson, C. and Bertoldi, K. (2014), Low Porosity Metallic Periodic Structures with Negative Poisson's Ratio. *Adv. Mater.*, 26: 2365-2370. <https://doi.org/10.1002/adma.201304464>
- [5] LG Display Newsroom, LG Display Unveils the World's First High-Resolution Stretchable Display.<https://news.lgdisplay.com/en/2022/11/lg-display-unveils-the-worlds-first-high-resolution-stretchable-display/>, 2022 (accessed 12 FEB 2023)
- [6] Jang, B., Won, S., Kim, J., Kim, J., Oh, M., Lee, H.-J., Kim, J.-H., Auxetic Meta-Display: Stretchable Display without Image Distortion. *Adv. Funct. Mater.* 2022, 32, 2113299. <https://doi.org/10.1002/adfm.202113299>