

프리폼 디스플레이 기술 개발 동향 및 시장 전망

Trends in Free-form Display Technology Development and Market Outlook

구재본 (J.B. Koo, kjb0706@etri.re.kr)
박찬우 (C.W. Park, chanwoo@etri.re.kr)

플렉시블전자소자연구소 책임연구원/실장
실감소자연구본부 책임연구원/본부장

ABSTRACT

Free-form displays represent a next-generation display technology capable of stretchability and arbitrary shape transformation, with potential applications across wearables, mobility systems, and spatial signage. Although technological advances such as high-brightness micro-LED panels have been made, most developments remain at the prototype stage, with challenges remaining in ensuring long-term reliability and device lifespan persisting. However, high production costs, low yields, and complex manufacturing processes also present considerable limitations. Therefore, technology development should follow a mid- to long-term roadmap, while the parallel creation of content and media environments tailored to free-form displays must also be pursued. A coordinated strategy that aligns technical milestones with application-driven ecosystems will be essential for the successful commercialization of fully flexible and stretchable displays.

KEYWORDS OLED, 마이크로 LED, 스트레처블 TFT, 스트레처블 디스플레이, 프리폼 디스플레이

I. 서론: 디스플레이 폼팩터 혁신의 프리폼 디스플레이

디스플레이 폼팩터(Form Factor)의 진화는 TV, 스마트폰 등 주요 디스플레이 응용 분야에서 사용자 경험을 혁신하기 위한 핵심 축으로 주목받아 왔다. 과거 부피가 크고 무거운 CRT에서 시작하여, LCD와 OLED로 대표되는 얇고 가벼운 평판 디스플레이로의 전환이 1차 혁신을 이루었다. 이후 화면의 형

태 자유도를 높이기 위한 시도로서 곡면 커브드 디스플레이와 한 방향으로 휘어지는 벤티블(Bendable) 디스플레이가 등장하였고, 최근에는 폴더블(Foldable) 스마트폰의 상용화로 플렉시블(Flexible) 디스플레이의 시대가 열렸다. 업계에서는 폼팩터 혁신의 1 단계를 고정형(커브드, 벤티블), 2단계 단일축 가변형(폴더블, 롤러블)을 거쳐, 3단계 프리폼(Free-form) 가변형 스트레처블(Stretchable) 디스플레이로의 진화를 예상하고 있다. 특히 3단계에 해당하는 스트레처

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2026.J.410206>

* This work was supported by Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI) grant funded by the Korean government [26ZC1200, Research on Ultra-Realistic Spatial Device Technology]





출처 Reprinted from Samsung Display Newsroom, “삼성디스플레이가 보여준 디스플레이의 미래_CES 2022 삼성디스플레이 전시 현장,” 2022. 1. 15.

그림 1 프리폼 디스플레이의 현재와 미래

블 디스플레이는 X축으로 접은 상태에서 Y축으로 한 번 더 접는 멀티 폴딩이나, 구면과 같은 자유로운 곡면 변화 등 2단계 기술로는 불가능한 완전한 형태 가변성을 목표로 한다. 이러한 프리폼 디스플레이는 말 그대로 정형화된 형태의 제한이 없는 자유로운 형상의 디스플레이를 의미하며, 차세대 디스플레이 궁극의 형태로 지목된다[1,2]. 그림 1은 프리폼 디스플레이의 현재와 미래 모습을 대표적으로 보여준다.

II. 기술적 이슈 및 개발 동향

프리폼 디스플레이를 구현하기 위해서는 기존 평면 디스플레이와는 다른 여러 기술적 난제를 해결

해야 한다. 화면을 구부리거나 늘리는 동작 자체가 디스플레이 구성 요소 전체에 큰 기계적 변형을 가해 전기적·광학적 성능 저하나 소자 파손을 일으킬 수 있기 때문이다. 따라서 신뢰성 있게 변형 가능한 디스플레이를 만들려면 재료공학, 소자공정, 패키징 등 전방위에 걸친 혁신이 요구된다. 주요 기술 이슈와 최신 개발 동향을 다음과 같이 정리하였다.

1. 신축성 기판 기술

프리폼 디스플레이의 기반이 되는 기판은 잘 휘어질 뿐만 아니라 잡아당겨 늘어나는 특성이 필요하다. 일반적으로 폴리이미드(PI)와 같은 고분자 필름은 플렉시블 디스플레이에 활용되지만 신축성은 부족하다. 그래서 실리콘계 엘라스토머(예: PDMS)와 같은 고무질 소재를 기판으로 사용하거나, 기판 자체에 주름(Wrinkle) 구조나 키리가미(Kirigami) 패턴을 도입하여 변형 여유를 주는 방법이 연구되고 있다.

한편 기판을 늘릴 때 화면의 왜곡 문제도 중요한데, 이를 해결하기 위해 음의 푸아송비(Auxetic) 구조가 주목받는다. 일반 고무는 잡아당기면 폭이 줄어들어 화면이 찢어지거나 이미지가 늘리는 반면, Auxetic 구조 기판은 늘릴 때 가로·세로가 함께 팽창하여 화상의 기하학적 형태를 유지해준다[3].

2. 배선 및 전극 기술

화면이 늘어나거나 구부러질 때도 전기적 연결을 유지하려면 신축성 있는 전극/배선이 필수이다. 일반 금속 배선은 조금만 늘려도 단선되므로, 지그재그 형태의 서펜틴(Serpentine) 배선, 나노 구조체 전극, 액상금속 등을 활용한 접근이 시도되고 있다. 예를 들어, 은 나노와이어(AgNW)나 탄소나노튜브

(CNT) 네트워크 투명전극은 일종의 망사 구조로서 신축성을 부여할 수 있어 디스플레이의 투명 전극과 박막트랜지스터 전극 등에 응용 연구가 진행되고 있다. 또한 금속 박막에 미세 균열을 만들어 잡아당길 때 균열이 벌어지며 늘어나는 크랙 전극이나, 아예 갈륨(Ga) 기반 액체 금속을 미세채널에 주입한 액체 배선 등도 연구 중이다. 배선의 신축성 향상과 더불어 늘어날 때 저항 변화 최소화 및 반복 변형 시 피로 내구성 확보가 기술 과제로 남아 있다[4].

3. 박막트랜지스터 기술(백플레인)

능동행렬(Active Matrix) 방식 디스플레이에서는 수많은 픽셀을 제어하는 TFT(Thin Film Transistor) 소자가 배열되어 있는데, 이 백플레인 회로의 신축성 확보가 매우 어렵다. 기존 비정질·다결정 실리콘 TFT는 고성능이지만 딱딱한 기판 공정으로 만들어져 신축이 불가능하다. 대안으로, 비교적 저온 공정이 가능한 산화물 반도체 TFT를 유연 기판 위에 형성하거나, 유기 반도체 TFT나 연성 나노튜브 트랜지스터 등을 개발하여 일정 수준의 기계적 변형을 견디게 하는 연구가 진행 중이다. 한편 현재 시연되는 스트레처블 디스플레이 중에는 패시브 매트릭스 구동 방식(행렬 교차 전극으로 LED 구동)도 있다. 고해상도·대면적화를 위해서는 결국 능동형 TFT 백플레인 기술이 필요하며, 이를 위해 그림 2와 같

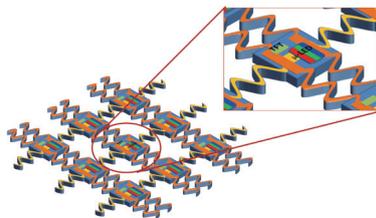


그림 2 Rigid Island+Serpentine Bridge 구조의 스트레처블 TFT 모식도

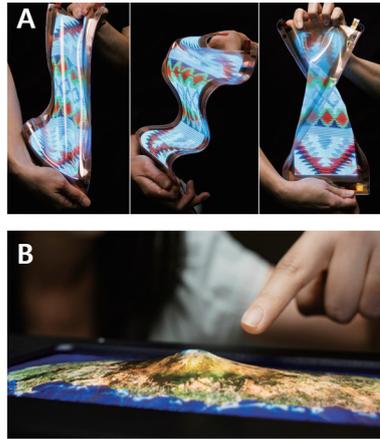
이 소자들을 개별 섬(Island) 형태로 배치하고 지그재그형 신축 배선을 연결하는 섬+서펜틴 브리지(Rigid Island+Serpentine Bridge) 구조가 많이 활용된다[5,6].

4. 발광 소자 기술

화면 자체적으로 빛을 내는 자발광 소자로는 유기발광다이오드(OLED)와 마이크로 LED 두 가지 방향이 모두 모색되고 있다. 스트레처블 OLED의 장점은 기존 OLED 기술을 활용할 수 있다는 점이지만, 기판뿐만 아니라 유기발광 박막 자체에 신축성을 부여해야 하는 난제가 있다. 매우 얇은 필름 위에 OLED 소자를 제작하고 기계적으로 주름지게 만드는 방식으로 한 축 방향 60% 신축에 성공한 연구가 보고되는 등[7] 학계에서 일부 성과가 있으나, 신축 가능한 봉지(Encapsulation) 기술의 부재 등으로 상용화까지는 갈 길이 멀다. 반면 마이크로 LED는 각 픽셀이 독립적인 반도체 소자로 구성되므로 소자 자체는 단단하지만, 배치 구조에 따라 신축성 부여가 가능하다. 예를 들어 초소형 LED 칩들을 신축 기판 위에 격자무늬로 배열하면, 기판을 늘릴 때 칩 사이 간격이 벌어지면서 화면 전체의 면적이 증가하는 구조를 만들 수 있다. LG디스플레이가 개발한 스트레처블 시제품도 약 40 μ m 크기의 마이크로 LED 소자를 사용하여 100PPI급의 풀컬러 디스플레이를 구현한 사례이다. 마이크로 LED는 휘도가 매우 높고 색 재현성이 우수하며 극한 온도나 외부 충격에도 견고하다는 장점이 있어 프리폼 디스플레이의 핵심 소자로 주목받고 있다. 다만 현재 수십 마이크로미터 크기의 LED 칩을 대량 전사해야 하므로 칩 선별 및 전사 공정 확립, 소형화에 따른 비용 증가 등의 현실적 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 양자점(QD) 색변환 층을 신축 구조로 만들어 RGB 컬러 구현으로 단순화가 가능하다.

5. 봉지 및 패키징 기술

프리폼 디스플레이의 내구성을 확보하기 위해서는 외부 환경으로부터 소자를 보호하는 봉지 기술 역시 유연하고 신축성 있게 발전해야 한다. 기존 OLED 디스플레이는 수분과 산소 차단을 위해 무기 박막과 고분자 재료를 다층 구조로 코팅하는 봉지 기술이 쓰이는데, 이는 휘어지는 정도의 유연성 갖췄지만 잡아당겨 늘릴 정도의 신축성은 제공하지 못한다. 신축 디스플레이를 위한 봉지 기술로는 스트레처블 고분자 봉지막 개발이나 선택적 패시베이션 막 공정 개발이 연구되고 있다. 그뿐만 아니라 스트레처블 디스플레이는 구동회로, 발광소자, 기판, 배선을 모두 하나의 연성 시스템으로 패키징해야 하므로, 복합적인 패키징 공정 최적화, 열관리 등의 이슈도 존재한다. 아직까지 스트레처블 디스플레이 시제품들은 내구성과 신뢰성이 제한적이므로, 장기간 구동 시에도 성능을 유지하고 반복 변형에도 초기 특성을 잃지 않는 패키징 구조에 대한 연구 개발이 필요하다. LG디스플레이 시제품의 경우 10,000회 이상 반복 신축에도 정상 동작할 정도의 내구성을 달성했다고 하나, 이는 상대적으로 짧은 실험실 테스트 결과이며, 실제 상용 제품 수준의 장기 신뢰성 검증까지는 추가 연구가 요구된다. 한편, 이러한 요소 기술들의 개발과 더불어 글로벌 기업들의 기술 시연 동향도 주목된다. 삼성디스플레이는 이미 2017년 세계 최초 9.1인치 스트레처블 AMOLED 패널을 SID 전시에서 공개하였고, 2023년에는 마이크로LED 기반으로 연신율 25%에 120PPI 해상도를 갖춘 스트레처블 디스플레이 시제품을 시연하였고, 2025년에는 연신율 50%에 200PPI 해상도를 시연하였다. LG디스플레이는 산업통장자원부 국책과제의 지원을 받아 2022년 20% 신축 디스플레이(12→14인치)를 선보인데 이어, 2023년에는 연신율



출처 Reprinted from LG Display Newsroom, “LG디스플레이, 세계 최초 화면 50% 늘어나는 스트레처블 디스플레이 개발,” 2024. 11. 10.

Reprinted from Samsung Display Newsroom, “삼성D, ‘IMID 2024’서 업계 최고 해상도·연신율 스트레처블 공개,” 2024. 8. 21.

그림 3 스트레처블 LED 프리폼 디스플레이 시제품:
(a) LG디스플레이, (b) 삼성디스플레이

50%로 향상된 세계 최초의 시제품(12→18인치)을 개발하여 학회 및 전시를 통해 기술 리더십을 과시하였다. 그림 3은 LG 디스플레이와 삼성디스플레이에서 발표한 스트레처블 마이크로 LED 프리폼 디스플레이의 대표적인 형상을 보여준다.

이처럼 국내외 디스플레이 기업과 대학·연구기관의 협업을 통해 기판 소재, 배선 구조, 소자 집적, 공정 기술 등 각 분야에서 지속적인 개선이 이뤄지고 있으며, 프리폼 디스플레이 상용화에 한 걸음씩 다가서고 있다. 다만 아직까지는 해상도, 휘도 등 디스플레이 본연의 성능과 신축성 간 트레이드오프가 존재하여, 이를 동시에 만족시키는 수준에 이르기까지는 상당한 연구 개발 노력이 필요하다.

III. 제조/신뢰성/공정평가 이슈

프리폼 디스플레이 기술이 연구 단계에서 벗어나 양산 제품화로 나아가기 위해서는, 제조 공정상의 문제들과 신뢰성 검증 이슈를 해결해야 한다. 우

선 제조공정 측면에서, 기존 평판 디스플레이 공정은 단단한 기판(유리 또는 PI 필름)을 기반으로 포토 리소그래피, 증착, 식각 등을 진행한다. 그러나 엘라스토머 기판은 연성(Soft) 재질이기에 때문에, 공정 중 열이나 화학물질, 물리적 힘에 의해 쉽게 변형될 수 있다. 이를 방지하기 위해 캐리어 기판에 부착한 상태로 공정하거나, 잉크젯 프린팅 등 저온 공정을 활용하는 방안이 연구되고 있다. 또한, 스트레처블 디스플레이는 이종소자 집적이 많아(예: 실리콘 IC칩 + 신축 배선 + LED 등) 패키징 및 어셈블리 공정 난이도도 높다. 예를 들어, 스트레처블 LED 디스플레이에서는 수많은 마이크로 LED칩을 한꺼번에 고무 기판에 전사하는 대면적 전사공정은 높은 정렬 정밀도와 수율 확보가 관건이다. 현재 연구에서는 픽업-프린트 공정이나 롤 전사를 개선하여 수만 개의 마이크로 LED를 동시에 전사하는 기술이 실험되고 있다. 스트레처블 OLED 기술에서는 산소와 수분에 의한 OLED의 특성 저하를 막기 위한 봉지막을 선택적으로 신축성 있게 제작하는 것이 큰 기술적 장벽으로 남아 있다. 각각의 프리폼 디스플레이 발광 모드에 특화된 새로운 제조 장비와 공정 제어 기술이 개발 중이다.

신뢰성 측면에서도 도전 과제가 많다. 반복 변형 내구성은 스트레처블 디스플레이의 가장 중요한 신뢰성 지표로, 일반 스마트폰이 수년간 수만 회 터치 조작을 견뎌야 하듯 스트레처블 기기도 수천~수만 회 늘었다 줄이는 사이클을 버텨야 한다. LG디스플레이는 개발 중인 패널에 대해 1만 회 이상 50% 신축 사이클 테스트를 통과했다고 발표하였는데, 이는 소재와 구조 설계의 내구성을 상당 수준 입증한 세계 최고의 결과다. 하지만 실제 제품 환경에서는 온도 변화, 습도, UV 노출, 충격 등 다양한 스트레스가 동시에 작용하기 때문에, 이를 종합한 가속 수명 시험이 필요하다. 특히 늘어나는 동작 중 미세한 균

열이 발생해도 화면에 픽셀 결함(어두워지거나 꺼지는 화소)이 생길 수 있어 불량 허용치를 만족시키는 것이 과제다. 또한 봉지막의 신뢰성도 문제인데, 봉지층에 미세 크랙이 누적되면 수분 투과율이 급증하여 발광 소자가 산화될 수 있다. 따라서 봉지 구조는 복원력(Recoverability)이 우수한 재료를 써야 하고, 균열 자가치유 코팅 등의 기술도 검토되고 있다. 공정 평가 측면에서는 스트레처블 디스플레이의 품질을 측정하는 새로운 방법론이 요구된다. 예를 들어 화소 해상도의 경우 화면이 늘어날 때 일시적으로 해상도가 저하되는데, 이를 어떻게 표준화하여 표시할지 문제가 된다. 휘도나 색좌표의 변동도 평판 상태와 신장 상태에서 달라질 수 있다. 이러한 특성을 동적 상태에서 측정하는 장비 개발이 필요하다. 또한 접힘(Folding) 시험, 구김(Twisting) 시험 등 기존 플렉시블 디스플레이 표준에 인장(Stretching) 시험을 추가해야 하며, 몇 % 변형률에서 몇 회 반복까지 견디는지를 명확히 규격화해야 한다. 국제표준화 기구나 IEC 등의 디스플레이 표준위원회에서도 차세대 프리폼 디스플레이 신뢰성 표준에 대한 논의가 시작되고 있다. 이러한 평가 기준이 정립되어야만, 각 회사의 기술을 객관적으로 비교하고 제품의 신뢰성 보증 수명을 산정할 수 있을 것이다.

마지막으로 수율 및 비용 문제도 언급할 필요가 있다. 새로운 재료와 공정을 대거 도입하는 스트레처블 디스플레이는 초기에는 제조 수율이 낮아 원가가 높을 것으로 예상된다. 특히 마이크로 LED 전사, 신축성 배선 형성 등에서 미세 불량이 생기기 쉬워 라인 수율 확보에 시간이 걸릴 전망이다. 이를 개선하기 위해 공정 모니터링 강화와 결함 보정 회로 등의 도입이 검토되고 있다. 요컨대, 프리폼 디스플레이의 상용화를 위해서는 기술적 성능 향상과 더불어 제조 공정의 성숙도 제고, 신뢰성 평가 체계 확립이 병행되어야 하며, 이는 산학연이 함께 풀어나

가야 할 과제다.

IV. 기술 로드맵(단기-중기-장기)

프리폼 디스플레이로의 진화를 위해서는 단계별 로드맵 수립이 중요하다. 이상적인 신소재 개발로 한 번에 목표를 이루기보다는, 현행 기술로 달성 가능한 부분부터 차근차근 발전시키는 전략이 필요하다. 이를 고려한 단기-중기-장기 로드맵 시나리오는 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

1. 단기(현재-향후 3~5년)

현재 상용화된 1단계 플렉서블 기술(커브드·벤더블)을 더 개선하고, 2단계 폴더블·롤러블 제품의 완성도를 높이는 시기이다. 이 과정에서 스트레처블 기술의 중간 요소 기술들이 일부 도입될 수 있다. 예를 들어, 폴더블폰의 내구성을 높이기 위해 스트레처블 봉지 재료나 강화된 폴리이미드 기판을 이용하는 식이다. 동시에 연구소 차원에서는 스트레처블 디스플레이 시제품을 계속 선보여 기술 가능성을 입증하고, 소재·공정의 안정화 작업을 진행한다. 5년 이내에는 신축률 20~30% 정도의 작은 스트레처블 패널이 한정된 용도로 제품화(예: 의료 패치 디스플레이)될 수 있으며, 폴더블 기기는 대중화 단계에 접어들 것으로 예상된다.

2. 중기(향후 5~10년)

스트레처블 디스플레이의 부분 상용화가 이루어지는 단계이다. 웨어러블, 차량용 등에서 일부 스트레처블 패널이 실제 제품에 탑재되고, 신축률도 30~50% 수준으로 향상된다. 이때까지 핵심소재 혁신(예: 신축성 기판/접착/배선 소재 개발)이 병행되어,

제품 신뢰성도 크게 개선된다. 또한, 이종 부품의 유연화(배터리, 커버 윈도우 등) 기술이 발전하여 전체 시스템이 유연해지는 통합 구현이 가능해진다. 중기에는 스트레처블 기술이 완전한 독자 제품이라기보다 기존 디스플레이의 보완재 또는 차별화 포인트로 쓰일 것이다. 예를 들어, 특정 태블릿 모델에 신축 코너 디스플레이를 넣어 충격 흡수와 디자인을 개선하거나, 폴더블폰 힌지 부위에 스트레처블 부품을 적용해 내구성을 높이는 식이다. 이러한 단계적 적용 전략을 통해 스트레처블 기술 저변이 확대되고, 생태계가 형성되기 시작한다.

3. 장기(향후 10년 이후)

풀 스케일 프리폼 디스플레이 시대가 도래하는 단계이다. 이상적인 신규 소재와 공정들이 실용화 되어 디스플레이 패널 전체가 자유자재로 변형 가능해진다. 신축률 50% 이상, 해상도 200PPI 이상을 만족하는 고성능 스트레처블 디스플레이가 양산되어 웨어러블부터 대형 디지털 사이니지까지 다양한 분야에 보급된다. 특히 여러 방향 동시 스트레칭과 곡률 변화에도 화질과 동작이 안정적인 완전 프리폼 제품이 가능해진다. 이 시기에는 프리폼 디스플레이 폼팩터 중 하나로 자리 잡게 될 것으로 전망된다. 다만 이러한 단계에 이르기까지 최소 10년 이상의 지속 연구 개발이 요구되며, 기술적으로 해결해야 할 난제가 남아 있다. 장기 로드맵의 성공을 위해서는 현재의 연구성과를 축적함과 동시에, 미래를 내다본 포괄적 R&D 투자와 생태계 육성이 중요하다. 단기-중기-장기 응용 시나리오와 같은 체계적인 로드맵 추진이 이루어진다면, 프리폼 디스플레이의 상용화 시기가 한층 앞당겨질 것으로 기대된다.

V. 응용처 및 초기 시장 전망

프리폼 디스플레이는 차세대 디스플레이 패러다임으로서 다양한 산업 분야에서 혁신을 가져올 것으로 기대된다. 얇고 유연하며 심지어 신축성까지 갖춘 디스플레이는 사람의 신체나 일상 물품처럼 곡면이 많고 불규칙한 표면에도 부착할 수 있어서 디지털 화면을 우리가 접하는 거의 모든 사물과 공간에 적용할 수 있는 잠재력이 있다. 표 1에서는 프리폼(플렉시블·스트레처블) 디스플레이의 주요 응용 분야를 정리하였다.

현재 기술 성숙도를 고려하면 웨어러블 패치나 패션 소품 같은 분야에서 부분적으로 신축성이 적용된 초기 제품이 1~2년 이내 등장할 가능성이 있다. 실제로 2024년 LG디스플레이는 12인치 스트레처블 패널을 공개하며 웨어러블 패션·모빌리티용 등 적용 분야를 타진하고 있다. 자동차용의 경우 개념 검증 단계지만, 완성차 업체들과 디스플레이 기업 간 협업을 통해 5년 이내 특정 모델에 한정 적용을 목표로 R&D가 진행되고 있다. 세계 최대 디스플레이 학회 SID(Society of Information Display) 2025에서 대만의 AUO사는 Saddle 모양의 Intelligent Cockpit 디스플레이를 개발하여 프리폼 디스플레이를 자동차용으로 본격 개발 중이라고 발표하였고, LG 디스플레이에서도 자동차용 Pop-up(Knob) 디스플레이 시제품을 선보였다(그림 4). 현재 자동차용 디



출처 Reprinted from LG Display Newsroom, "[SID 2025] 올해도 업계 선두 기술력으로 돌아온 LG디스플레이, SID 2025 등장!", 2025. 5. 8.

그림 4 자동차용 스트레처블 LED 프리폼 디스플레이 시제품: LG디스플레이

스플레이에 활용을 고려 중인 프리폼 디스플레이는 동적으로 반복 스트레칭 되는 타입이 아닌 한번 변형 후 장착되는 정적 타입의 프리폼 디스플레이 형태이다.

소비자 IT 기기로의 확장은 최소 5~10년 이상 소요될 전망이며, 그 사이에 폴더블·롤러블 기기가 주류로 자리 잡고 프리폼은 차세대 비전으로 남을 가능성이 크다. 상업용 디지털 사이니지는 기술 완성도보다는 비용 이슈가 큰데, 초기에는 광고효과를 노린 소수 프로젝트로 도입되다가 생산비 절감에 따라 2030년대 이후 일반화될 수 있다.

요약하면, 초기 시장에서는 착용형 소형 디스플레이와 B2B 특수용에서 프리폼 기술이 먼저 활용되고, 점차 기술 신뢰성과 해상도가 개선됨에 따라 주류 디스플레이 시장으로 확대될 것으로 전망된다. 시장조사업체들은 2025년 이후 스트레처블 일렉트로닉스 시장이 연평균 20~30% 성장하여 2030년에

표 1 프리폼 디스플레이의 주요 응용처와 기술 요구사항 비교

응용 분야	예시	요구되는 주요 기술 및 특성
웨어러블/의료	전자피부 패치, 스마트 의류, 군용장치	고신축성(>30%), 경량/유연, 생체적합성, 저전력
패션/액세서리	의류 일체형 디스플레이, 가방, 모자	반복 변형 내구성, 세탁 가능성, 주름/굴곡 표면 대응, 중간 해상도
자동차/모빌리티	곡면 대시보드, 차량 내장재	중간 신축성(~20%), -30~85°C 내환경, 진동/충격 내구성, 높은 신뢰성
컨슈머 IT 기기	스트레처블 폰, 확장 태블릿, 롤업 노트북	고해상도(RGB 풀컬러), 멀티터치, 수만 회 반복 내구성, 기존 UI 호환
상업용/인테리어	건물 외벽 사이니지, 광고용, 디스플레이 벽지	대면적(Scale-up), 저비용 생산, 설치편의(경량/박형), 장기 신뢰성

수조 원 규모로 성장할 것으로 예측하고 있으며[8], 이러한 성장 전망은 곧 기술 성숙 및 다양한 응용처 발굴에 달려 있다.

VI. 시사점 및 개발 전략 제언

프리폼 디스플레이 시대를 준비하기 위해 업계와 연구자가 고려해야 할 시사점을 몇 가지로 정리하면 다음과 같다.

첫째, 근본적 소재 혁신의 지속 투자이다. 앞서 살펴본 바와 같이 프리폼 디스플레이 구현의 최대 관건은 신축성 소재이다. 기판, 봉지, 전극, 반도체 등 모든 구성 요소에서 기존의 고분자나 무기 재료를 대체할 새로운 소재 개발이 병행되어야 한다. 특히 탄성률과 전기적 특성을 겸비한 고분자 반도체, 균열 없는 신축 봉지층, 액체금속 전극의 안정화 등은 장기적이지만 반드시 넘어야 할 기술 장벽이다. 이에 대한 연구 개발을 선도하고 차별화된 신소재를 먼저 상용화하는 기업이 궁극적으로 시장을 주도할 가능성이 높다.

둘째, 주요 부품의 유연화(Flexibilization of Components) 전략이 필요하다. 디스플레이 패널 자체뿐만 아니라 그 주변 부품(구동 IC, 배터리, 커넥터 등)도 여전히 딱딱한 것들이 많다. 향후 진정한 프리폼 기기를 만들려면 이러한 경직성 부품들을 대체하거나 유연하게 만드는 기술이 요구된다. 예를 들어 휘어지는 배터리, 신축성 메모리/센서, 유연 무선충전 모듈 등이 발전해야만 전체 시스템의 폼팩터 혁신이 가능하다. 현재까지는 패널 기술에 비해 이러한 부품 유연화에 대한 고려가 미흡한 상황이지만, 미래 2~3단계 플렉서블·스트레처블 디스플레이에서는 핵심 이슈로 부상할 것으로 보인다. 그러므로 디스플레이 업계도 소재·부품 기업, 전장 업체 등과 협력하여 통합적인 유연 부품 플랫폼을 구축할 필

요가 있다.

셋째, 디스플레이 구조의 단순화 및 기능 통합을 지향해야 한다. 프리폼 디스플레이는 얇고 변형이 자유로울수록 유리하므로, 가능하면 내부 적층 구조를 줄이고 일체화하는 것이 바람직하다. 예를 들어 터치 센서, 폴라라이저, 커버윈도 등을 통합한 다기능 코팅 필름 개발이 한 방향이 될 수 있다. 실제로 OLED로의 전환으로 LCD 백라이트가 사라졌듯이, 미래 프리폼 디스플레이로의 진화 과정에서 일부 층은 통합되거나 없어질 가능성도 있다. 따라서 현재의 디스플레이 구성 요소 중 장기적 관점에서 꼭 필요한 기능이 무엇인지 자세히 분석하고, 그 외 요소는 과감히 단순화하거나 통합하는 설계 최적화가 요구된다. 이를 위한 R&D 로드맵 수립도 중요하며, 이러한 통합 전략은 궁극적으로 제품의 신뢰성 향상과 원가 절감에도 이바지할 것이다.

넷째, 응용처별 요구 스펙 정의와 우선순위를 명확히 해야 한다. 프리폼 디스플레이는 용도에 따라 필요한 성능 지표(연신율, 해상도, 내구성 등)가 상이하다. 제한된 R&D 리소스를 가장 효과적으로 배분하려면, 각 응용처에 적합한 목표 스펙을 설정하고 그에 맞춰 개발을 진행해야 한다. 예를 들어, 의료 패치는 연신율과 생체적합성이 최우선이지만 해상도는 부차적이다. 반면 차량용 디스플레이는 신뢰성과 휘도, 수명이 중요하고 연신율은 낮아도 된다. 이러한 용도 기반 스펙트럼을 그려봄으로써 어느 부분부터 기술 구현을 달성할지 전략적 판단을 내릴 수 있다. 이는 기술 개발 로드맵의 우선순위 결정과도 직결되며, 연구개발 목표를 명확히 하는 데 도움이 된다. 또한, 고객(세트 업체 및 최종 사용자)의 목소리를 반영하여 시장 수요가 큰 분야부터 솔루션을 제공하면 기술 채택을 가속할 수 있다. 이를 위해 디스플레이 기업은 다양한 산업의 파트너들과 교류하며 요구사항을 조율할 필요가 있다.

다섯째, 산업 생태계 전략 구축이다. 프리폼 디스플레이 상용화를 위해서는 디스플레이 제조사뿐만 아니라 소재, 장비, 부품, 서비스 업체와 학계, 정부가 모두 참여하는 포괄적 생태계가 요구된다. 새로운 기술일수록 개별 기업이 모든 것을 해결하기 어렵기 때문에, 오픈 이노베이션과 컨소시엄을 통한 협력이 중요하다. 예를 들어 국책과제로 스트레처블 디스플레이 사업단을 꾸려 대학·연구소의 원천 기술을 산업계로 이전하고, 대기업-스타트업 간 협력을 촉진하는 모델이 필요하다. 또한, 수요 창출을 위한 연합도 고려할 수 있다. 디스플레이 업체는 세트 제조사들과 함께 혁신적인 제품 컨셉을 기획하여 최종 소비자의 관심을 모아야 한다. 아직 정형화된 스트레처블 제품 카테고리가 없기 때문에 대중이 가치를 느낄 수 있는 킬러 어플리케이션 발굴이 중요하다. 이를 위해 다양한 분야(광고, 패션, 인테리어 등)의 이해관계자들과 소통 채널을 구축하고 공동 기획함으로써 상품화 가치 창출을 모색해야 할 것이다.

마지막으로 경제성 측면에서, 현재 혁신 기술이라도 소비자들은 큰 가격 프리미엄을 지불하려 하지 않으므로 적정 가격 실현이 관건이다. 이를 위해 공급망 조기 구축, 소재·장비 국산화 및 원가 혁신 등이 수반되어야 한다. 예컨대 LG디스플레이는 스트레처블 개발 과정에서 국내 소재·부품·장비의 국산화와 R&D 인프라 조성을 동시에 이뤘다고 밝히며, 이러한 생태계적 노력이 경쟁력의 밑바탕임을 강조한다. 결국, 산업 전반의 협력과 혁신이 함께 갈 때 프리폼 디스플레이 시대가 앞당겨질 수 있을 것이다.

VII. 결론

정리하면, 프리폼 디스플레이는 차세대 디스플레이

의 궁극 목표로 불릴 만큼 도전적이지만 매력적인 분야이다. 기술적 난관이 많아 상용화 시기를 확언하기는 어렵지만, 체계적인 로드맵에 따른 단계적 혁신, 지속적인 소재·부품 R&D 투자, 그리고 범산업적 협력 생태계 구축을 통해 그 상용화 시점을 최대한 앞당길 수 있을 것이다. 디스플레이 폼팩터 혁신 경쟁의 최종 승자는 결국 스트레처블 기술을 완성하고 시장을 창출해내는 주체가 될 것이라는 점을 명심해야 할 것이다. 앞으로 10년, 프리폼 디스플레이가 우리 일상에 현실로 다가오는 모습을 기대해 본다.

마지막으로 스트레처블 기반의 프리폼 디스플레이가 저가격에 높은 수명과 신뢰성으로 잘 개발되어 제작되었다고 하더라도, 프리폼 환경에서 어떻게 화면에 이미지를 재현해 줄 것인가 하는 비정형 맞춤형 미디어 기술 개발도 필요하다. 공간/사물의 형상에 맞춰 형태를 변형함으로써 몰입감과 실재감을 극대화할 수 있는 디스플레이 패널과 이를 위한 맞춤형 미디어 기술을 함께 개발하는 것이 필요하다. 프리폼 디스플레이의 경쟁력은 패널 자체의 물성만이 아니라 미디어 생성/변환/재현까지 반영된 사용자 체감 성능에 의해 결정된다는 사실을 간과해서는 안 된다.

용어해설

스트레처블 TFT(Rigid Island+Serpentine) 스트레처블 디스플레이의 백플레인 TFT 어레이를 제조할 때 신축 변형에 TFT가 손상을 받지 않게 하기 위해 TFT는 딱딱한 폴리이미드 섬으로 패턴한 곳에 형성하고 TFT와 TFT를 연결하는 배선은 지그재그 형태의 브리지로 연결하여 신축 변형은 배선에서만 생기도록 형성

스트레처블 OLED 스트레처블 TFT 백플레인 어레이 상부에 발광소자를 유기박막형태의 발광다이오드 OLED를 형성한 프리폼 디스플레이

스트레처블 마이크로 LED 스트레처블 TFT 백플레인 어레이 상부에 발광소자 LED를 마이크로 사이즈로 패턴 후 픽업/전사/접합하여 발광소자를 형성한 프리폼 디스플레이

참고문헌

- [1] 조준일 외, “디스플레이 폼 팩터 혁신의 전개 방향,” LG경제연구원 보고서, 2017. 8. 18.
- [2] 홍용택 외, “스트레처블 디스플레이 최신 기술 동향,” 인포메이션 디스플레이, 제18권 제5호, 2017, pp. 28-36.
- [3] B. Jang et al., “Auxetic Meta-Display: Stretchable Display without Image Distortion,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 32, no. 22, 2022.
- [4] 이상목 외, “차세대 스트레처블 전극의 기술 개발 동향,” 진공이야기, 제4권 제2호, 2017, pp. 15-23.
- [5] R.-H. Kim et al., “Waterproof AlInGaP optoelectronics on stretchable substrates with applications in biomedicine and robotics,” *Nat. Mater.*, vol. 9, 2010, pp. 929-937.
- [6] M. Choi et al., “Stretchable Active Matrix Inorganic Light-Emitting Diode Display Enabled by Overlay-Aligned Roll-Transfer Printing,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 27, no. 11, 2017.
- [7] T. Yokota et al., “Ultraflexible organic photonic skin,” *Sci. Adv.*, vol. 2, no. 4, 2016.
- [8] Knowledge Sourcing Intelligence, “Stretchable Electronics Market - Strategic Insights and Forecasts (2025-2030),” 2025. 8. <https://www.knowledge-sourcing.com/report/stretchable-electronics-market>