

# KEIT ISSUE PICK

## 2024.10.

이달의 주제

### 산업혁신 소재: 철강과 세라믹

철스크랩 글로벌 공급망 현황 및 제강공정 디지털화 적용기술 동향

이광석, 박봉규, 박진우

직접환원철 글로벌 공급망 현황 및 수소환원제철 적용 기술

이광석, 김태윤, 신명균

차세대 반도체 패키징용 유리기판 소재 공정기술 동향

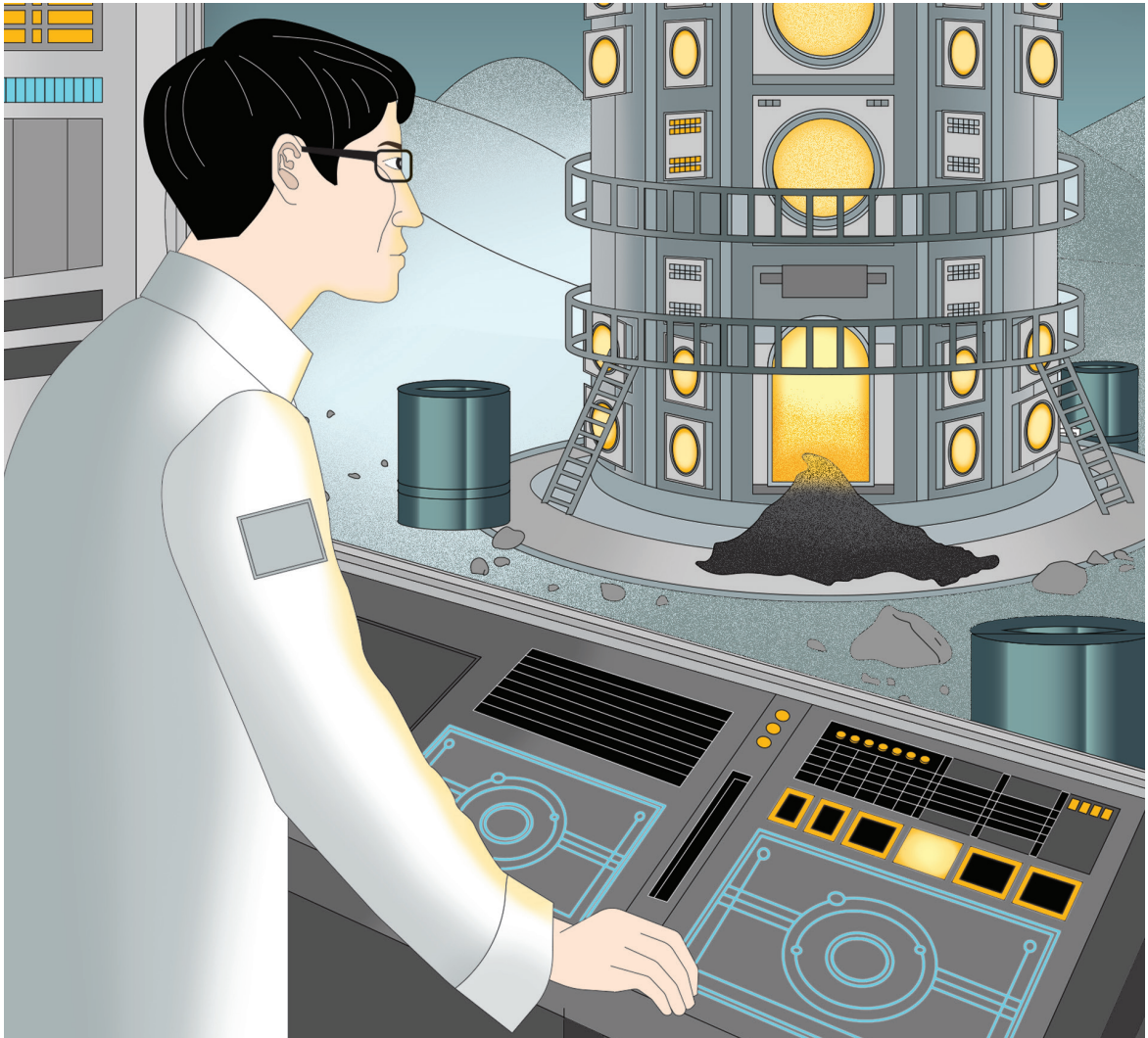
이건훈, 김형준, 신용관

세라믹 유전체 초저온 동시 소결 및 관련 소재 부품 기술

이건훈, 오철민, 신용관

(특집) Science Fiction — 우주 영웅의 꿈

전윤호





# KEIT ISSUE PICK

2024.10.

이달의 주제

산업혁신 소재:  
철강과 세라믹

철스크랩 글로벌 공급망 현황 및 제강공정 디지털화 적용기술 동향

이광석, 박봉규, 박진우

직접환원철 글로벌 공급망 현황 및 수소환원제철 적용 기술

이광석, 김태윤, 신명균

차세대 반도체 패키징용 유리기판 소재 공정기술 동향

이건훈, 김형준, 신용관

세라믹 유전체 초저온 동시 소결 및 관련 소재 부품 기술

이건훈, 오철민, 신용관

(특집) Science Fiction — 우주 영웅의 꿈

전윤호

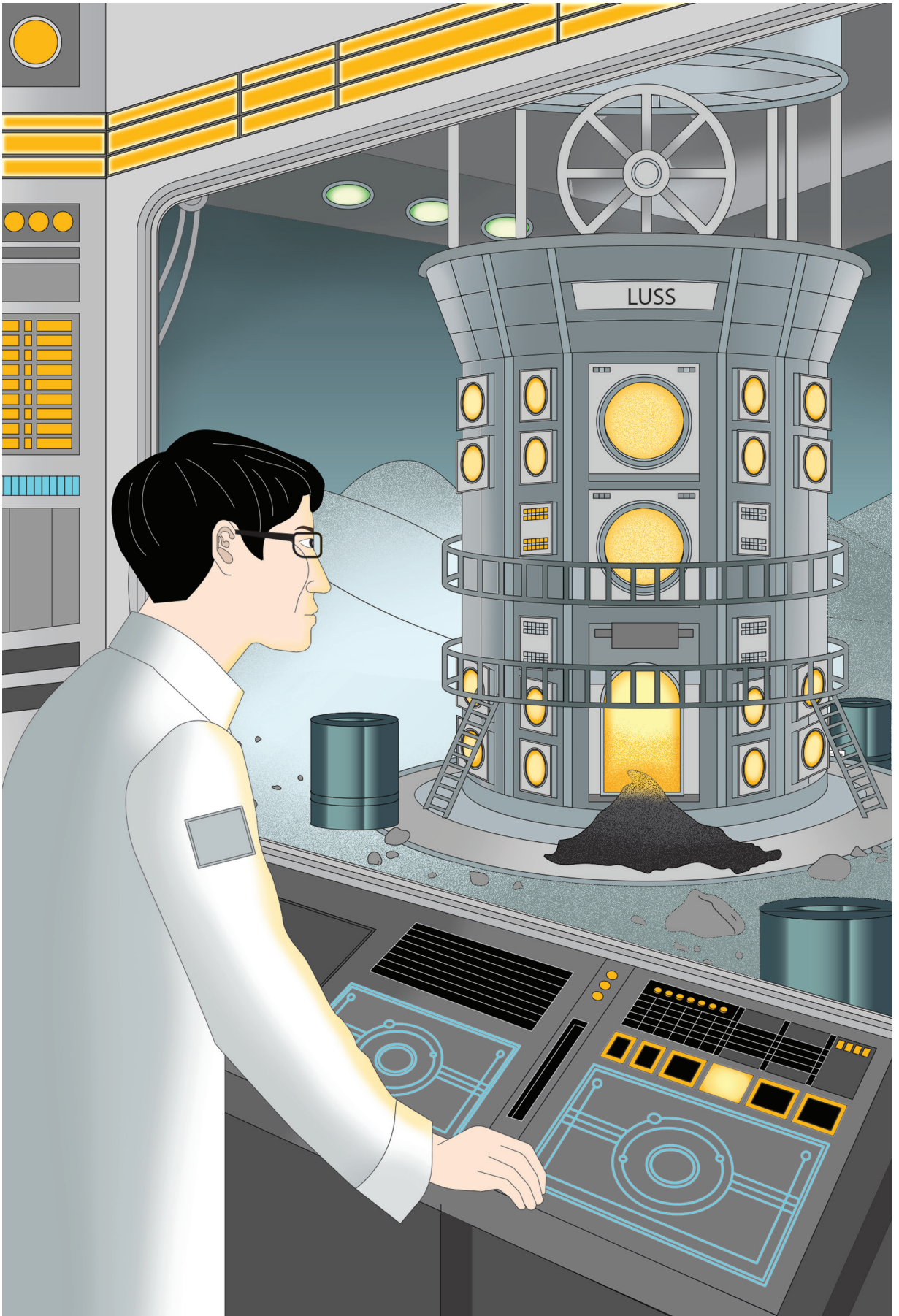
# CONTENTS

KEIT



기관장 인사말	5
(특집) Science Fiction – 우주 영웅의 꿈	6
산업기술 뉴스	16
산업/기술 동향	26
1 철스크랩 글로벌 공급망 현황 및 제강공정 디지털화 적용기술 동향	28
2 직접환원철 글로벌 공급망 현황 및 수소환원제철 적용 기술	42
3 차세대 반도체 패키징용 유리기판 소재 공정기술 동향	58
4 세라믹 유전체 초저온 동시 소결 및 관련 소재 부품 기술	74
*KEIT NEWS – PD’s Talk	90

ISSUE PICK



대한민국의 철강과 세라믹 산업은 국가 경제의 핵심 기둥으로, 지속적인 기술 혁신을 통해 글로벌 경쟁력을 강화해왔습니다. 국내 주요 기업들의 고강도, 친환경 철강 제품은 자동차, 조선, 건설 산업의 급성장과 맞물려 국내외 수요를 충족시키며 산업 부흥을 이끌었고, 세라믹 산업 또한 전자, 반도체, 디스플레이 등 첨단 기술 분야의 필수 소재로 사용되며 대한민국의 성장과 함께하였습니다. 그리고 두 산업은 이제 글로벌 이슈와 산업 변화의 도전을 맞닥뜨리고 있습니다.

철강산업은 공급과잉과 관련 산업 회복 둔화의 위기와 더불어, 전 세계적으로 추진 중인 탄소중립 정책, 유럽연합(EU)이 2026년부터 시행할 예정인 탄소국경제도(CBAM) 규제 품목 등의 영향으로, 탄소 배출을 줄이기 위한 과제에도 직면해 있습니다. 이번 호에서 다루는 ①철스크랩의 재활용과 ②수소환원제철 기술은 이러한 도전 과제를 해결할 중요 기술로, 철강 생산에서 탄소중립을 실현할 수 있는 혁신적인 방법입니다. 특히 정부는 수소환원제철을 국가전략기술로 선정하고, 수소환원제철 공장 착공을 지원하는 등 철강업계의 탄소중립 실현을 위한 다양한 지원을 아끼지 않고 있습니다.

세라믹 분야에서는 첨단 전자제품과 반도체의 성능을 높이기 위한 소재와 공정 기술이 주목받고 있습니다. ③반도체 패키징용 유리기판 소재는 뛰어난 전기적 특성과 열 안정성을 제공하여 고성능 컴퓨팅과 인공지능 분야에 활용될 반도체 구현에 활용될 것으로 기대되고 있으며, ④초저온 동시소결(U-LTCC)기술은 기존의 고열 소결 공정 대비 생산비용 절감과 환경적 이점을 가져오는 장점 외에도, 전자부품의 소형화와 고효율화를 가능하게 하는 중요한 기술로 주목받고 있습니다.

전통 제조업 분야는 차세대 기술 개발과 함께 친환경 공정 구현의 요구를 동시에 받고 있습니다. KEIT는 이러한 환경 속에서 기업들이 경쟁력을 지킬 수 있도록 실증 규모의 수소환원철 전기용융로 개발과 미래 AI 기술을 실현하는데 필수적인 유리기판 소재 기술 등을 지원하고 있습니다.

정부의 적극적인 지원과 민간의 기술 혁신이 합쳐져 미래 제조업의 기반이 될 대한민국의 철강과 세라믹 산업에 많은 응원과 관심 부탁드립니다. 11월호에서 다룰 첨단기계 및 장비 기술 동향에도 많은 기대 부탁드립니다. 감사합니다.

[특집]

# 우주 영웅의 꿈

전윤희

작가 소개

ETRI, KIST에서 AI와 로봇을 연구했고 테크 스타트업과 글로벌 기업에서 소프트웨어를 개발했다. SK텔레콤을 거쳐 SK 플래닛에서 CTO를 역임했으며, 알티캐스트에서 AI 신규사업을 리드했다. 2020년부터 하드SF작가로서 장편소설 『모두 고양이를 봤다』와 「경계 너머로, 지맥」을 출간했고, ChatGPT를 활용한 SF앤솔로지 「매니페스토」에 참여하였다. 서울대학교에서 제어계측공학/석사, 전기컴퓨터공학 박사 학위를 취득했다.

SF 장편소설 『모두 고양이를 봤다』 (2020)

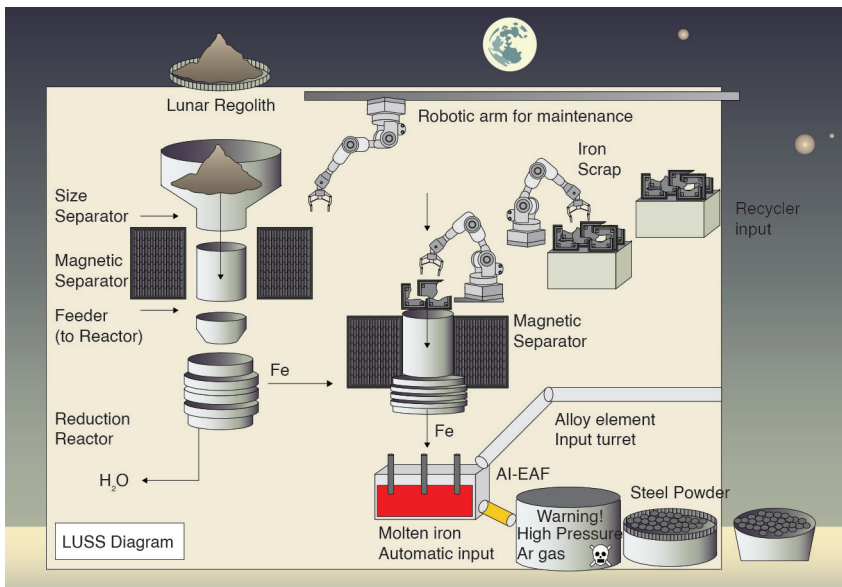
SF 장편소설 「경계 너머로, 지맥」 (2022)

SF 단편소설 「노인과 지맥」 (단편집 『페트로글리프』 수록, 2020)

SF 단편소설 「오로라」 (단편집 『매니페스토: ChatGPT와의 협업으로 완성한 SF 앤솔로지』 수록, 2023)

거대한 원통형 챔버의 도어가 마침내 움직임을 멈추고 쇠 소리와 함께 밀폐되었다. 강지수는 강화유리창을 통해 세계 최대의 진공 챔버 내에 구현된 인공 달 환경을 들여다봤다. 지난 2년간 밤낮없이 매달려 개발한 월면 일괄 제강 시스템 Lunar Unified Steelmaking System, 일명 루스<sup>LUSS</sup>가 두 대의 월면 로봇트럭 옆에 남겨져 있었다. 챔버에서 공기가 빠져나가자, 루스를 설치할 때 날아올랐던 인공 월면토 먼지가 지면으로 떨어졌다. 시험을 감독하는 엔지니어가 말했다.

“1차 시험을 시작합니다.”



로봇트럭이 루스 측면의 램프를 타고 올라와 상단 투입구에 월면토를 부어 넣었다. 강지수는 루스의 내부 상태를 실시간으로 보여주는 콘솔을 가슴 졸이며 지켜봤다. 전자석이 체를 통과한 월면토로부터 산화철 함유량이 많은 입자들을 분리해 냈다. 산화철 입자는 환원 반응기에 투입되었고, 강력한 전류에 의해 가열되었다. 이어서 반응기에 주입된 뜨거운 수소가 산화철로부터 산소를 빼앗아 철과 물이 생성되었고, 물은 응축기를 거쳐 전기분해 장치로 돌아갔다.

동시에 다른 로봇트럭이 기계 더미를 싣고 와 루스 측면의 리사이클러 입구에 넣었다. AI 카메라가 더미를 분석한 결과에 따라 레이저 커터를 장착한 로봇

그림 1. 월면 일괄 제강 시스템 (Lunar Unified Steelmaking System) 다이어그램.

팔이 재사용할 부품들을 분리해 배출함에 넣고, 나머지는 작은 조각으로 잘라냈다. 전자석이 철 성분의 조각들을 골라냈고, 나머지는 별도의 배출함으로 보내졌다. 철스크랩<sup>1)</sup>은 가열되어 불순물이 추가로 제거된 후, 월면토로부터 환원된 철과 함께 전기아크로에 투입되었다. 잠시 후 아크로에서 뜨겁게 용해된 쇳물에 합금원소가 투입되었다. 모든 과정은 각종 센서의 정보를 취합한 AI 컨트롤러에 의해 정밀하게 제어되었다.

일반적인 제철소였으면 다음 단계는 주조와 압연이었겠지만, 루스의 역할은 3D 프린터에 쓰일 강철 분말을 만들어내는 것이었다. 용융된 철이 고압의 아르곤 가스가 분사되는 챔버로 이송되었다. 미세한 금속 방울들이 냉각되면서 구형 분말이 되었고, 사이클론 분리기에서 크기별로 분류되었다. 크기가 적합한 분말은 열처리 과정을 통해 잔류응력이 제거되고 표면 특성이 개선된 후 정전기 방지 처리된 특수 용기에 담겨 배출되었다<sup>2)</sup>.

마침내 루스는 달에서 ISRU<sup>3)</sup> 방식으로 철강을 생산하는 1차 시험에 통과했다.

역사상 최대의 국제협력 프로젝트는 약 3년 전 발견된 소행성 2027 RJ82, 일명 ‘타나토스’로부터 시작되었다. 일반적인 근지구 천체<sup>4)</sup>와 달리 타나토스의 표면은 매우 낮은 알베도<sup>5)</sup> 값을 가졌고 비전형적인 궤도로 매우 빠르게 지구로 접근해 과학자들을 경악하게 했다. 지구 대기권을 거의 스치듯 지나가기 며칠 전에야 우연히 발견된, 지름 100미터 남짓한 이 천체는 기존에 알려진 어떤 소행성군<sup>6)</sup>에도 속하지 않았다. 손을 뻗치면 닿을 듯 가까이 접근한 천체를 관찰한 결과, 타나토스의 표면은 탄소 성분이 많아 빛을 거의 반사하지 않았고 응집력이 약한 다공질(多孔質)인 것으로 밝혀졌다. 타나토스의 유래와 특성에는

---

1) 원고1. 철스크랩 글로벌 공급망 현황 및 제강공정 디지털화 적용기술 개발 동향.

2) 원고2. 직접환원철 글로벌 공급망 현황 및 수소환원제철 적용기술 개발 동향.

3) In-Situ Resource Utilization. 현지자원활용.

4) Near-Earth Object (NEO). 근일점 거리가 1.3AU 이내로 지구를 가까이 지나갈 가능성이 있는 천체.

5) albedo. 천문학에서 사용되는 반사율의 단위.

6) 서로 비슷한 궤도를 도는 소행성들의 집단. 예를 들어, 아폴로 소행성군은 지구 궤도를 횡단하는 소행성군으로서 10,485개의 소행성이 발견되었고 이 중 1,648개가 지구 충돌 가능 소행성으로 분류된다.



아직도 모르는 점이 많았으나, 한 과학자가 세계인들을 불안에 떨게 할 가설을 제시했다. 타나토스는 극히 예외적인 소행성이 아니라, 비슷한 궤도와 성분을 가진 일군의 소행성 중 하나라는 것이었다. 1908년 러시아 퉁구스카의 외딴 지역에서 수천만 그루의 나무를 쓰러뜨리고 수백 킬로미터 떨어진 곳의 열차를 전복시키고도 지상에 흔적을 거의 남기지 않은 운석이 있었는데, 이 역시 타나토스와 같은 그룹에 속하는 소행성이었을 걸로 추측되었다. 타나토스 그룹의 소행성은 핵폭탄 이상의 막대한 파괴력을 가졌으나 구조적으로 연약해서 지면에 충돌하기 전에 폭발해 버린다. 이 때문에 퉁구스카 사건 이전에도 이러한 소행성이 빈번하게 지구에 떨어졌으나 아무런 지질학적 흔적을 남기지 않았고, 망원경이 발명된 이후로도 여러 차례 지구 가까이 지나갔으나 너무 어둡고 속도가 빨라서 관측하지 못했다는 것이었다.

UN을 중심으로 긴급히 모인 각국의 지도자들은 지구방어 시스템을 구축하기로 합의했다. 선발된 과학기술자들이 타나토스 그룹을 포함, 지구에 위협적인 소행성을 최대한 일찍 발견하고 대응하는 방법을 연구했다. 가시광선을 거의 반사하지 않는 죽음의 신<sup>7)</sup>을 찾아내려면 제임스웹<sup>8)</sup>보다도 더욱 고성능의 우주 적외선 망원경 수십 대가 드넓은 우주를 나눠 감시해야 했고, 발견 후의 추적과 정밀한 관찰을 위해 광학망원경과 레이더 어레이가 필요했다.

더 어려운 문제는 빠르게 다가오는 소행성을 단기간 내에 막아내는 방법이었다. 첫 후보는 핵폭탄이었다. 소행성이 여러 조각으로 부서지면 대처하므로 더 어려워질 수 있어서, 소행성 가까이서 핵폭탄을 폭발시켜 궤도를 바꾸는 방법이 제안되었다. 하지만 강력한 핵폭탄과 행성 간 미사일을 개발하고 비축하는 안은 즉시 국제사회의 반대에 부딪혔다.

수많은 안이 검토된 끝에 마침내 채택된 것은 태양-지구 라그랑주점<sup>9)</sup> L1과

7) 타나토스는 그리스 로마 신화의 죽음의 신.

8) 제임스 웹 우주 망원경 (James Web Space Telescope, JWST)는 적외선 천문관측을 주목적으로 하는 우주 망원경. 2021년 발사되어 2022년 1월에 태양-지구 L2 라그랑주점에 도착했다.

9) LaGrange Point. 두 천체의 중력과 제3의 물체의 원심력이 균형을 이뤄 그 물체가 궤도 운동을 하거나 안정적으로 위치할 수 있는 지점. 모두 5개 지점이 있으며 태양-지구 시스템의 L1과 L2는 각각 지구로부터 태양 방향과 그 반대 방향으로 약 150만 km 떨어진 지점이다.

L2에 탐지 시스템과 함께 매스 드라이버<sup>10)</sup>를 구축하는 안이었다. 다가오는 소행성이 발견되는 즉시 매스 드라이버가 다수의 스마트 투사체를 고속으로 발사한다. 그 후 원격으로 정밀 유도된 투사체들이 소행성에 연속적으로 충돌, 궤도를 점진적으로 바꾸는 계획이었다.

이 계획에 필요한 모든 시설을 지구에서 라그랑주점까지 보내려면 막대한 비용이 들뿐더러 거대한 로켓을 수없이 발사할 때 발생하는 환경문제도 심각할 것으로 예측되었다. 이 때문에 정밀한 부품은 지구에서 제조해 발사하더라도, 대부분의 자재는 달에서 현지 자원을 이용해 생산하기로 결정되었다. 이 야심 찬 계획은 ‘오딘’<sup>ODIN<sup>11)</sup></sup>이라고 명명되었고, 오딘 추진위원회는 이 시스템에 필요한 수많은 기술과 설비에 대한 수천 건의 RFP<sup>12)</sup>를 공표했다.

녹색제강의 엔지니어인 강지수는 월면 철강 생산시설에 관한 RFP를 검토했다. 이 시설은 월면토와 폐기된 로켓, 고장 난 기계들을 이용해 순도 높은 강철 분말을 만들어낼 수 있어야 할뿐더러, 사람의 도움 없이 장기간 동작할 수 있어야 했다. 전례 없는 요구사항이 많은 데다 개발기간이 너무 짧았고, 제시된 예산도 부족해 보였다. 그럼에도 이 프로젝트의 상징성 때문에 여러 업체가 참여할 것이 분명했다. 주위에서는 뭐하러 실패할 가능성은 높고 돈은 안 되는 일을 하냐고 만류했다. 하지만 고민해 볼수록 그의 확신은 강해졌다.

“사장님, 이 프로젝트는 적자를 볼 가능성이 큼니다. 하지만 오딘으로부터 본격적인 우주의 산업화가 시작될 겁니다. 그때가 되면 이미 경험을 쌓고 레퍼런스를 확보한 회사가 시장을 독점할 겁니다. 반드시 성공시키겠습니다.”

\*

---

10) 전자기력 등을 이용해 페이로드를 고속으로 가속하는 장치. 레일건(railgun)도 매스 드라이버의 일종임. 드라이버를 벗어나는 순간 최대속도에 도달하므로 공기저항 때문에 대기권 내에서는 사용하기 어렵다.

11) ODIN, Orbital Defense Interceptor Network, 궤도 방어 요격 네트워크. 오딘(Odin)은 북유럽 신화에서 아스가르드의 통치자이자 신들의 왕.

12) Request for Proposal. 제안 요청서.



녹색제강은 최종 시험에 참가할 자격을 획득 한 소수의 후보 중 하나가 되었다. 하지만 문제가 있었다. 오딘 추진위원회가 갑자기 요구조건을 강화한 것이다.

오딘은 달 남극 새클턴 크레이터 가장자리의 높은 능선에 건설될 예정이었다<sup>13)</sup>. 이곳은 일 년 내내 지평선에 걸친 태양으로부터 햇빛을 받을 수 있고, 크레이터 바닥의 얼음 형태로 보존된 물에 접근하기에도 유리했다. 그러나 후보 지역을 정밀 탐사한 결과, 지속적으로 햇빛을 받을 수 있는 지면은 처음 예측보다 제한적이라는 사실이 밝혀졌다. 이 때문에 태양광 발전소를 제외한 대부분의 시설은 크레이터 바깥의 비탈진 지역에 설치되는 것으로 계획이 변경되었고, 모든 시설은 햇빛을 못 받아 지표면 온도가 영하 120도까지 떨어지는 기간에 히터에 필요한 전력마저 끊기는 최악의 상황에서도 영구적인 손상을 입지 않아야 한다는 요건이 추가되었다. 루스는 강화된 요건에 따라 극저온 시험을 통과해야 했다.

\*

“술더 조인트가 분리되었네요. 그런데 이런 고성능 AI 칩이 대체 왜 필요한 거죠?”

김유나가 화면을 가리키며 말했다. 그녀는 항공우주용 특수부품을 주문생산하는 스텔라엔지니어링의 대표였다. 화면에는 극저온 시험에서 고장을 일으킨 루스의 컨트롤러 기판을 엑스레이로 스캔해 삼차원으로 재구성한 CT 영상이 나타나 있었다. 그녀가 기판 중앙의 커다란 AI SoC<sup>14)</sup>를 확대하자, SoC 내부의 유리 기판<sup>15)</sup>위에 여러 다이<sup>16)</sup>와 소자들이 패키징 된 모습이 드러났다. 다시 영

---

13) 새클턴(Shackleton)은 달의 남극에 위치한 직경 21km의 크레이터임. 가장자리의 높은 능선은 겨울에도 70~90%의 기간 동안 햇빛을 받을 수 있어 “peaks of eternal light” (영원한 빛의 봉우리)라고 불린다.

14) System on Chip. CPU와 메모리 등이 함께 패키징된 칩.

15) Glass Core Substrate. 유리 소재의 반도체 패키징용 기판으로서, 고성능 반도체의 실리콘 인터포저(interposer)와 플라스틱 기판(package substrate)을 유리 기판으로 일체화하기 위한 기술개발이 추진되고 있다.

16) Die. 웨이퍼에서 잘라낸 하나의 집적회로.

상을 조작하자, SoC와 컨트롤러 기판 사이에 격자 형태로 촘촘히 배열된 솔더 조인트가 나타났다.

“폐기된 기계와 로켓으로부터 재사용할 부품을 식별하고 로봇 팔로 분리해 내기 위해 AI가 필요합니다. 또한 지구상의 공장이라면 작업자가 수행하는 유지보수, 예를 들어 필터를 교체하거나 막힌 튜트<sup>17)</sup>와 센서를 청소하고 윤활유를 도포하는 등의 작업에도 로봇 팔과 AI가 필요합니다. 모든 파트를 유지보수가 필요 없도록 재개발하는 것보다, 검증된 파트를 사용하면서 사람의 역할만 로봇으로 대체하는 것이 낫거든요. 무엇보다도, 이 AI 칩에는 철강산업의 도메인 지식, 우리 회사만의 노하우, 달의 환경과 월면토에 대한 정보가 입력되어 있습니다. 예측하지 못한 상황이 발생하더라도 LLM<sup>18)</sup> 기반의 AI가 입력된 정보를 참조해 최선의 대응 방안을 추론해 냅니다.”

그녀는 고개를 끄덕이며 스캐너 영상을 확대해 솔더 조인트를 크게 보여줬다.

“생각보다 무인화는 어렵군요. 아무튼, AI SoC의 유리 기판과 메인보드의 열팽창 차이로 인해 솔더 조인트가 떨어졌어요. 폴리이미드 기판도 항공우주용으로 많이 쓰이지만, 월면 같은 극단적인 환경에는 적합하지 않아요. SoC와 메인보드가 온도 변화에 따라 미세하게 팽창하고 수축할 때, SoC의 크기와 열팽창 계수의 차이에 비례해서 길이가 차이 나게 되거든요. 이렇게 크기가 큰 AI SoC가 꼭 필요하다면, 메인보드의 열팽창 계수는 SoC의 유리 기판의 열팽창 계수와 같아야 해요.”

그녀는 여러 자료를 검색하고 검토한 끝에 결론을 내렸다.

“유리-세라믹 기판<sup>19)</sup>이 좋겠어요. 성분을 조절해서 열팽창 계수를 유리 기판과 일치시킬 수 있고, 폴리이미드보다 방열 성능과 우주방사선<sup>20)</sup>에 대한 내구성도 우수해요. U-TLCC<sup>21)</sup>, 즉 초저온 적층 동시 소결 방식으로 기판을 제작하면 회로 패턴을 미세화하고 수동 소자도 기판 안에 내장할 수 있어서 지금보다 면적을 줄일 수 있을 거예요. 기판 외에도 월면 환경을 고려했을 때 개선해야 할 부분이 많이 보이네요.”

“좋습니다! 언제부터 가능할까요?”

“저희가 앞으로 6개월은 스케줄이 다 차 있어서요. 그 후에 도와드리겠습니다.”

6개월이면 최종 시험이 끝난 후였다. 강지수는 김유나를 계속 설득했으나 스텔라엔지니어링 입장에서 중요한 방위산업 프로젝트 때문에 어렵다는 대답만 들었다. 할 수 없이 다른 업체도 알아봤지만 다들 월면의 극한 환경에서 고성능 AI SoC는 사용할 수 없다거나, 그만큼 크기와 요구조건을 만족하는 U-TLCC 기관은 제작할 수 없다고만 했다. 다른 방법이 없었다. 그는 마지막으로 김유나를 다시 찾아갔다.

“김 대표님, 이건 그저 하나의 단발성 과제가 아닙니다. 인류가 극한 환경을 극복하고 우주에 본격적으로 진출하는 시발점이 될 겁니다. 그 여정에 저와 함께 해주십시오.”

그녀의 표정이 순간적으로 변했다. 창밖을 바라보며 뭔가를 떠올리는 것 같았다. 다시 입을 열었을 때, 그녀의 목소리는 바뀌어 있었다.

“사실 지난번 미팅 이후에 저도 고민을 좀 했어요. 제가 왜 공학을 공부하게 되었는지 아세요? 어렸을 때 아버지와 SF영화를 보다가, 저도 저런 우주 영웅이 되고 싶다고 했어요. 그때 아버지는 실제 우주의 극한 환경을 극복하고 인류의 우주 진출을 실현해내는 과학기술자가 진정한 우주 영웅이라고 말씀하셨죠. 해볼게요. 방산 프로젝트는 다른 업체에 넘기면 돼요.”

\*

- 
- 17) Chute. 재료를 미끄러뜨려 이동시키는 장치.
  - 18) 거대언어모델(Large Language Model). ChatGPT 등에 사용되는 AI 모델로서, 사전학습한 지식뿐만 아니라 RAG (Retrieval Augmented Generation) 기법을 이용하면 새로운 자료를 참조하여 주어진 문체에 대한 답변을 생성할 수 있다.
  - 19) 원고3. 차세대 반도체 패키징용 유리기판 소재 공정 기술 동향.
  - 20) 대기권과 자기장이 없는 월면은 태양과 우주로부터의 방사선에 노출된다. 폴리이미드(polyimide)와 같은 고분자 물질은 세라믹에 비해 방사선에 취약하다. 소설에서는 기판만 언급하고 있으나 실제로는 반도체 소자들 역시 방사선으로부터 보호되어야 하며, 특히 미세한 회로를 가진 AI SoC를 사용하려면 시스템 전체를 알루미늄, 폴리에틸렌 등의 소재로 방사선을 차폐하거나 월면 지하에 건설해야 할 것이다.
  - 21) 원고4. 세라믹 유전체 초저온 동시소결 및 관련 소재부품 기술 동향.



강지수는 김유나와 함께 케네디 우주센터의 VIP 관람 구역에서 멀리 발사대에 우뚝 선 로켓을 응시하고 있었다. 거대한 로켓의 머리 부분에는 모든 시험을 통과한, 두 회사의 노력의 결실이 탑재되어 있었다. 최종 카운트다운 방송이 스피커에서 흘러나오자 주위의 웅성거림이 멈췄다. “10, 9, 8...”

김유나를 돌아봤다. 그녀의 얼굴은 긴장으로 굳어 있었으나 눈빛만큼은 기대감에 반짝이고 있었다.

“...3, 2, 1, 발사!”

그 순간 눈부신 불꽃이 로켓 아래에서 폭발하듯 터져 나왔다. 발사대를 뒤덮은 하얀 연기 사이에서 로켓이 천천히 상승하기 시작했다. 관람 구역은 로켓의 우렁찬 굉음과 환호성으로 진동했다. 눈시울이 뜨거워졌다.

“김 대표님, 마침내 우리가 해냈어요. 정말 고생하셨습니다.”

그녀가 미소 지었다.

“이제 시작인걸요.”

어느덧 로켓은 구름을 뚫고 우주로 솟아오르고 있었다. 우주 영웅의 꿈과 함께.

---

그림 2. 관람구역에서 로켓 발사를 바라보는 사람들 모습

# 산업기술 뉴스

제도

---

탄소중립

---

반도체

---

로봇

---

방산

---

소재

---

철강

---

배터리

---

전기차

---

조선

---

디스플레이

---



## 제도—①

### “AI 저력 활용”... 산업기술 R&D적용

(2024년 10월 18일 머니투데이)

정부가 산업기술 연구인력 2만 명을 AI전문가로 키우고 전세계의 기술과 인재 등 혁신자원을 AI를 통해 탐색하고 연결하는 ‘테크(Tech)-GPT’ 플랫폼을 구축하는 등 AI 생태계를 육성하고 이를 통해 AI를 모든 산업기술 R&D에 적용할 방침이다. 산업통상자원부는 ‘제3차 산업디지털전환위원회’를 열어 ‘AI+R&DI(기술혁신) 추진전략’과 ‘산업데이터 활용 활성화 방안’을 발표했고 이는 지난 9월 국가인공지능위원회에서 발표된 ‘산업 인공지능 전환확산 방안’의 후속조치이다. 정부는 2030년까지 맞춤형 온디바이스, AI 반도체 설계, 배터리 공정 시뮬레이션, 화이트바이오 제품물성 예측, 휴머노이드 로봇 상황별 가상 실증, 반도체 패키징 접착소재 설계·예측 등 반도체와 배터리, 에너지와 같은 다양한 분야에서 600개 R&D 프로젝트를 단계별로 추진한다.

## 제도—②

### “산업 대전환...” 대한상의, 23개 과제

‘조속입법’ 외쳤다 (2024년 10월 21일 머니투데이)

22대 첫 정기국회의 법안 심사를 앞두고 대한상공회의소가 첨단산업 투자지원 강화, 안정적인 에너지 인프라 구축, 글로벌 스탠더드에 맞는 법제도 확립, 기업하기 좋은 환경조성의 4대 분야에 걸쳐 23개 입법과제를 건의했다. 특히 반도체와 AI 등 첨단산업에 대한 적극적 투자지원책으로 보조금 지원, 직접환급제 도입, 첨단산업기금 조성, 투자세액공제 일몰연장 등을 꼽았다. 첨단산업을 뒷받침하기 위한 송배전 전력망 확충, 해상풍력발전 지원, 고준위 방폐장 마련 등도 건의했다.



## 탄소중립—①, ②

**탄소감축 ‘과속 시나리오’ 짜는 정부… K제조업에 더 비싼 청구서 날아든다** (2024년 10월 21일 한국경제)

**“유럽 탄소세 시행에 국내기업 年 최대 1.7조 부담”** (2024년 10월 21일 서울경제)

정부가 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 산업 부문의 감축 목표치를 상향하는 방안을 추진한다. 문재인 정부는 2030년 탄소 배출량을 2018년 대비 40% 줄이겠다는 NDC 계획을 전격 발표했다. 이에 따라 한국은 2030년 배출량을 2018년(7억2760만t)보다 40% 적은 4억3660만t으로 줄여야 한다. 작년 기준 배출량은 6억2420만t으로 남은 기간 연평균 4.6%를 감축해야 달성할 수 있다. 2026년부터 시작되는 제4차 감축 계획기간엔 현행 90%(나머지 10%는 기업이 구매)인 기업들의 무상할당 비중이 대폭 축소될 가능성이 높다. 이는 내년 수립을 앞둔 2035 NDC(2035년 감축목표)부터 반영될 것이라 관측된다.

유럽연합이 2026년 본격 시행 예정인 탄소국경조정제도(CBAM)로 인해 국내 기업들이 추가로 부담해야 할 비용이 연간 최대 1조7천억에 달한다는 분석이 나왔다. CBAM은 EU가 역외 수출기업의 제품 생산 과정에서 발생한 탄소 배출량만큼 탄소세를 부과하는 제도다. 철강과 알루미늄·시멘트·비료·수소·전력 등 6개 품목이 대상이며 품목 수를 늘릴 계획이다. 하지만 80% 가까운 업체들이 CBAM에 대해 모르는 상황이라 성신여대 경영학부 전홍민교수는 “온실가스 관련 혁신 기술 R&D에 대해 직접 공제를 제공해야 한다”고 주장했다.

## 반도체—①, ②

**AI 반도체 시장 쓸어담은 TSMC, 단일 분기 최고 실적냈다** (2024년 10월 18일 중앙일보)

**TSMC, AI 칩 호황에 3분기 순익 54% 꺾충** (2024년 10월 18일 동아일보)

세계 반도체 파운드리(위탁생산) 1위인 대만 TSMC가 사상 최고 실적을 냈다. ‘수퍼 을(乙)’로 불리던 TSMC가 삼성전자·인텔 등 경쟁사의 부진 속에 대체 불가능한 ‘갑(甲)’의 자리에 올라섰다는 평가가 나온다. TSMC의 높은 성장세는 빅테크들의 AI칩 주문이 쇄도한 덕분이다. TSMC는 엔비디아, AMD, 애플, 퀄컴 등 주요 빅테크들을 고객사로 두고 있고, 파운드리 사업을 하는 인텔도 최신 칩 루나레이크를 TSMC에 맡기기로 했다. 현재 TSMC 매출에서 고부가가치 제품인 첨단 공정이 절반 이상을 차지한다. 3분기 7nm 이하에서 발생한 매출이 TSMC 전체 매출에서 차지하는 비중은 69%였다. 지난해 3분기 59%에서 10%나 확대된 것이다. 내년 전망도 밝다. 애플이 출시할 아이폰17 시리즈에는 TSMC가 만든 3나노 칩이 탑재되는 것으로 알려졌다. TSMC가 독점 생산하는 엔비디아의 최신 AI칩 ‘블랙웰’은 내년 공급량까지 완판되었다. 웨이저자 TSMC CEO는 이날 콘퍼런스콜에서 “거의 모든 AI업체가 TSMC와 협력하고 있다”며 “AI 수요는 강력하고 지금은 시작에 불과하다”고 말했다.

## 반도체—③

### “UHD영화 60편 1초만에 처리” 삼성, 업계 최고사양 D램 개발 (2024년 10월 18일 중앙일보)

삼성전자가 데이터 처리 속도가 업계 최고 수준인 차세대 그래픽 D램을 개발했다고 밝혔다. 해당 제품은 12나노급 24Gb GDDR7로 전작(16Gb GDDR7)보다 용량과 성능, 전력 효율을 모두 끌어올렸다. GDDR은 그래픽처리장치(GPU) 전용 D램으로 빠른 데이터 처리를 돕고 상대적으로 저렴해 고대역폭메모리(HBM) 대체제로 주목받으며 그래픽뿐 아니라 인공지능, 고성능컴퓨팅 등으로 쓰임새가 넓어지고 있다. 업계 관계자는 “데이터 학습을 위한 고성능 AI칩에는 HBM이 주로 쓰이고, 데이터 추론을 위한 AI칩에는 GDDR이 사용된다”라며 “AI서비스가 다양해짐에 따라 추론 시장이 본격 개화할 것”이라고 말했다.

## 반도체—④

### 삼성전자, TSMC와 앞치락뒤치락... 3분기 반도체 매출 1위 내줄 듯 (2024년 10월 21일 동아일보)

삼성전자 3분기 실적 발표를 앞두고 반도체 부문 매출이 대만 TSMC에 재역전됐을 것이란 전망이 나온다. 급성장하는 인공지능 반도체 시장에서 ‘실적 양극화’가 심화되는 가운데 이는 삼성 뿐만 아니라 국내 과학·산업계 위기를 반영한다는 진단도 제기됐다. 삼성 안팎에서는 최근의 고대역폭메모리(HBM) 양산 목표 지연과 관련 개별 D램 설계에 대한 근원적 진단 작업이 진행되고 있는 것으로 알려졌다. 메모리와 파운드리 모두 최첨단 기술 장벽에 부딪혔고 중국 정부가 지원하는 후발 기업의 추격에도 쫓기고 있다. 김정호 KAIST 교수는 “AI시대의 도래가 삼성의 위기를 가장 잘 드러나게 한 것”이라며 “표준화된 메모리를 만들던 조직 운영 방법은 AI시대 반도체에 맞지 않다. 이를 계기로 큰 혁신이 필요할 것”이라고 말했다.

## 로봇

### 자동차 만들고, 간호하고... 현대차 이번엔 '인간형 로봇' 만든다 (2024년 10월 18일 매일경제)

스스로 판단해 작업하는 '인간형 스마트 로봇' 개발에 한국과 일본 자동차 그룹이 힘을 합친다. 현대자동차 계열의 미국 로봇 제조사인 보스턴다이내믹스와 도요타자동차 연구소가 협력관계를 맺었다. 보스턴다이내믹스의 인간형 로봇과 도요타의 대규모행동모델(LAM)을 적용할 예정이다. LAM이란 사용자의 작업을 학습해 독립적으로 인간을 대신할 수 있는 인공지능이다. 자동차 산업은 인간형 로봇이 가장 많은 활약을 하게 될 분야 중 하나로 산업용 로봇 대신 작업 현장에 투입 시 장기적인 비용 절감이 가능하다. 재해 발생 가능성도 낮아진다. 또 프로그램 입력을 통해 특정 동작만을 반복할 수 있는 로봇팔 등과 달리 다양한 공정에 유연히 투입할 수 있다는 장점이 있어 현대차그룹과 도요타자동차가 손잡고 개발에 나서고 있다. 에런 손더스 보스턴다이내믹스 최고기술책임자(CTO)는 “향후 몇 년 내에 현대차 공장에 제한된 작업을 수행하는 인간형 로봇을 배치할 계획”이라며 말했다.

## 방산

### 깜짝 실적 이어가는 방산업계... 잠수함 수주도 급물살 (2024년 10월 18일 파이낸셜 뉴스)

'K-방산' 위용을 세계적으로 과시한 국내 방산업계 '빅4'가 3·4분기에도 실적 촉포를 예고했다. 장기화된 러시아·우크라이나 전쟁과 중동지역 분쟁으로 K방산 수요가 늘어나고 있고 최근에는 지상 무기체계를 넘어 수출 품목을 잠수함까지 확대하며 매출 다변화도 이뤄낼 수 있을지 귀추가 주목된다. 업계에 따르면 HD현대중공업과 한화오션은 최근 모로코 잠수함 사업 수주 가능성을 높이고 있다. 모로코 정부는 잠수함 2대를 발주하고 관련 기지 건설을 추진하고 있는데, 가격경쟁력에서 우수하다는 평가를 받고 있는 것으로 알려졌다. HD현대중공업과 한화오션은 8조원 규모의 폴란드 잠수함 3척을 건조하는 '오르카 프로젝트'도 추진 중이다. 한편 우리 업체가 잠수함 수주에 성공하면 2011년과 2019년 한화오션(당시 대우조선해양)이 인도네시아에서 수주한 6척 이후 처음이다.

## 소재-①

### 중국산 PET 수지에 최대 7.98% 반덤핑 관세 부과 (2024년 10월 17일 연합뉴스)

중국산 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET) 수지에 대해 향후 5년간 7~7.98%의 반덤핑 관세가 부과된다. 앞서 국내 기업인 티케이케미칼은 중국 기업 4곳이 한국 해당 제품에 18.6% 수준의 덤핑을 하고 있다고 조사를 요구했다. 이에 무역위는 중국산 탄소강 및 그 밖의 합금강 열간압연 후판 제품에 대한 반덤핑 조사를 개시하기로 결정했다. 또 국내 기업 오스테오시스가 국내 기업 A사를 상대로 신청한 체성분 분석 장치 영업비밀 침해 조사 건은 기각했다.

## 소재-②

### 니켈·리튬값 ‘꿈틀’... K양극재 ‘기지개’ (2024년 10월 18일 머니투데이)

양극재 원료로 쓰이는 니켈·리튬가격이 반등할 조짐을 보인다. 광물가격 상승은 양극재 판가를 높이는 요인이 돼 양극재 생산기업은 실적개선을 기대한다. 세계 배터리 시장점유율 1위인 중국의 CATL은 지난달 11일 중국 장시성에서 운영하던 리튬광산 생산작업을 일부 중단했다고 밝혔다. 이 공장은 전세계 리튬 생산량의 약 6%를 차지한다. 니켈가격의 경우 주요 생산국의 공급망 차질로 인한 공급감소 우려에 더해 중국의 금리인하 등 경기부양책으로 상승압력을 받은 것으로 분석된다. 광물가격 상승은 원재료 투입시차 효과인 ‘래깅효과’를 낼 수 있어 양극재 회사에 호재로 작용한다. 광물 매입시점과 양극재 판매시점이 통상 2~3개월 차이이기 때문에 광물가격이 오르면 양극재를 비싸게 팔 수 있어 마진율이 커지고, 반대의 경우 싸게 팔아야 해 손해가 발생할 수 있다.

## 철강

### 포스코의 꿈 ‘수소환원제철소’...

#### 정부 지원으로 조기 착공

(2024년 10월 18일 아시아투데이)

철강사 포스코가 ‘수소환원제철 프로젝트’ 성공에 다가갔다.

정부가 각종 법적 절차를 대폭 간소화해 착공 시기를

11개월 앞당기게 했다. 수소환원제철은 철강업계가

미래로 나아가기 위한 유일한 해결책으로 여겨진다.

철강산업은 전세계 탄소 배출량의 약 7%를 차지하며,

우리나라에서는 전체의 15%에 달한다. 포스코

수소환원제철의 자체 기술 ‘하이렉스(HyREX)’는 석탄

대신 수소를 사용해 가루 상태의 철광석을 직접 환원해

직접환원철을 생산, 이를 전기로에서 녹여 쇳물을

제조하는 방식이다. 일정 크기의 가공 철광석 원료가 아닌

철광석 분광을 그대로 사용하여 원료 확보·생산 원가에서

경쟁력이 있다. 에너지정책 전문가 조홍종 교수는

“기술개발도 중요하지만 수소환원제철로 가기 위해 필요한

전기료와 수소 단가 등을 낮출 수 있는 정부의 정책이

필요하다”고 말했다.

## 배터리, 전기차—①

### 자율주행으로 가는 완성차... 고품질·고용량

#### K배터리 기회 (2024년 10월 16일 국민일보)

글로벌 완성차 업체들이 자율주행 시대를 향해 달려가며

국내 배터리 3사에 기회가 오고 있다. 이들은 하이니켈

배터리, 전고체 배터리, 배터리관리시스템(BMS) 등

기술 고도화에 주력하며 준비하고 있다. 주력 상품인

삼원계(NCM) 배터리는 중국의 리튬인산철(LFP)

배터리보다 비싸지만 에너지 효율 밀도가 더 높다.

‘게임체인저’로 보는 전고체 배터리는 차세대 제품으로

주목받는다. 현재 대중 전기차 주행거리가 약 500km인

반면 전고체 배터리는 한 번 충전으로 1000km 가까이

달릴 수 있는 고용량 배터리이다. 삼성 SDI는 오는

2027년 양산이 목표이며 SK온은 2029년, LG솔루션은

2030년까지 상용화 계획이다.

## 배터리, 전기차—②

### 유럽 vs 중국 전기차 대전… 지켜보는 한국은 기대 반, 우려 반 (2024년 10월 16일 중앙일보)

“브뤼셀과 베이징의 무역 전쟁. 그리고 침략 경고 속에 열린 모터쇼.”(파이낸셜타임스) “중국의 급부상에 맞설 전투 무대는 전기차 시장.”(오토모티브뉴스) 15일 개막한 ‘파리모터쇼 2024’에 대한 평가다. 이달 초 유럽연합은 중국산 전기차에 대한 최고 관세율을 45.3%로 의결했다. 중국은 고위관료를 보내 설득했지만, 유럽 내에 퍼진 중국 전기차 견제론을 막지 못했다. 한국 완성차 회사 중 유일하게 파리모터쇼에 참가한 기아는 올 연말 유럽 출시 예정인 EV3을 대표 상품으로 내세웠다. 4000만원대(국내 기준)지만 중국차 관세율 적용 시 가격경쟁력이 상대적으로 높을 것이라는 기대다. 한편으로 “EU의 조치가 타 산업으로 확대되고 중국이 핵심 원자재 수출 제한 등 맞대응 조치를 하면, 한국기업에도 소재·부품 수급에 부정적 영향이 있을 수 있다”(박소영 KOTRA 프랑크푸르트 무역관)는 우려도 있다.

## 배터리, 전기차—③

### ‘배터리 탈부착’ 전기차 허용, 주유하듯 5분이면 충전 끝! (2024년 10월 18일 이데일리)

현대차와 기아가 전기차 충전 대신 배터리 교환 방식 서비스를 조만간 선보인다. 정부 특례에 따라 배터리 탈부착 방식의 전기를 제조할 수 있고 교환식 충전 서비스까지 가능하기 때문인데 교환식 충전 서비스는 최대 4~7시간 걸리던 충전시간을 단 5분으로 대폭 줄일 수 있다. 국토교통부는 ‘전기차 배터리 교환식 충전 서비스’가 가능하도록 차량과 배터리의 소유권을 분리해 등록할 수 있는 특례를 부여했다. 전기차 제조원가의 30~40%인 배터리와 차량의 소유권을 분리하며 소비자는 차량 가격만 지불하면 되기 때문에 전기차 가격이 대폭 낮아질 것이다. 업계 관계자는 “배터리 교환식 전기차는 수요가 급감한 전기차 시장에서 분위기를 반전할 것”이라며 “다만 소유권 분리 시 달라지는 세금과 보험적용 범위를 비롯해 배터리 교환 충전소 관련 각종 안전 기준도 마련해야 할 것”이라고 말했다.

## 조선

### 조선사 새 먹거리 떠오른 해양 플랜트

(2024년 10월 21일 한국경제)

‘움직이는 생산기지’라고 불리는 부유식 해양 플랜트가 국내 조선업의 새 먹거리로 떠오르고 있다. 심해 탐사·개발이 활발해지며 이와 관련한 특수선 수요가 늘고 있어서다. 하부구조물(선체) 생산에 그친 과거와 달리 핵심 설비인 상부 구조물 기술 확보에 주력하는 모습이다. 한화오션의 SG홀딩스는 부유식 원유 생산·저장·하역설비(FPSO)와 부유식 액화천연가스 생산 저장하역설비(FLNG) 등의 상부 구조물을 직접 설계하는 다이나맥홀딩스 지분을 확보했다. 상부구조물은 선박의 원가 중 가장 큰 비중인 70%를 차지한다. 전쟁으로 원자재 가격이 치솟자 엑스모빌, 셸 등 글로벌 에너지 업체가 심해 탐사·개발을 확대하고 있어 심해 시추 과정에서 필수인 부유식 생산설비 시장이 급성장하고 있다. 국내 조선사들은 해외 업체가 과점하는 석유·가스 생산설비 대신 소형모듈원자로(SMR)와 암모니아로 개발 방향을 맞추고 있다.

## 디스플레이

### 삼성·LGD, AI 훈풍 타고 中과 ‘초격차’

(2024년 10월 21일 디지털타임스)

애플은 ‘아이폰프로’ 시리즈에만 적용해 온 ‘저온 다결정산화물(LTPO)’ 유기발광다이오드(OLED) 디스플레이를 내년부터 아이폰 차기작 일반 모델에도 적용할 계획이다. 고용량 배터리 없이 AI를 활용하려면 LTPO OLED 채택이 필수적이다. 삼성·LGD 디스플레이는 올해 9월 출시된 아이폰 16프로 시리즈 디스플레이 생산을 독점했다. DSCC에 따르면 글로벌 스마트폰에서 2021년 10%였던 LTPO OLED 비중은 2022년 23%로 증가했으며, 2025년에는 40%를 넘어설 것으로 전망된다. 삼성디스플레이는 올해 5월 화면이 깜빡이면서 떨리는 문제를 해결해 소비전력을 줄이는 ‘전면 산화물 백플레인’ 기술을 선보였다. 업계 관계자는 “온디바이스 AI 전자기기가 늘면서 제품의 배터리 소모량이 커졌고, 이로 인해 저전력 디스플레이에 대한 수요가 급증하고 있다”며 “국내 업체 입장에서 기술력을 앞세워 중국 디스플레이업계의 저가 공세를 뿌리칠 수 있는 좋은 기회를 잡은 것으로 볼 수 있다”고 전했다.

# 산업/기술 동향



1 철스크랩 글로벌 공급망 현황 및  
제강공정 디지털화 적용기술 동향

---

2 직접환원철 글로벌 공급망 현황 및  
수소환원제철 적용 기술

---

3 차세대 반도체 패키징용  
유리기판 소재 공정기술 동향

---

4 세라믹 유전체 초저온 동시 소결 및  
관련 소재 부품 기술

---



# 철스크랩 글로벌 공급망 현황 및

## 제강 공정 디지털화 적용기술 개발 동향

이광석 금속재료PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실

박봉규 사무총장 | (사)한국철강자원협회

박진우 총괄이사 | (주)보고넷 기술연구소

### 요약

### 철스크랩의 가치, 구분, 교역 및 정책 제안

전 세계적으로 '2050 탄소중립' 정책을 실행하면서 철스크랩(古鐵)의 가치는 더욱 높아질 것으로 예상된다. 철강산업에서 가장 확실한 CO<sub>2</sub> 감축 방안은 '수소환원제철공법'이지만, 상용화에 막대한 투자와 시간이 필요하다. 현재의 철강 제조 기술에서 CO<sub>2</sub> 배출을 대폭 감축할 수 있는 가장 확실하고 경제적인 방법은 전기로 CAPA 증대 또는 철스크랩 사용량을 확대하는 방안이다.

철스크랩은 전기로 제강에서 필수불가결한 원자재이며, 발생 원천에 따라 노폐 스크랩, 가공 스크랩, 자가 발생품 등 3가지로 분류하고 품질의 차이가 있으므로 가공과 정제가 필요하다. 노폐 스크랩의 재활용률 향상 및 고품질화를 위하여 절단, 파쇄, 선별 등을 위한 대규모 투자에 대한 저리 융자와 세액 공제 등의 지원이 필요하다.

우리나라는 국내 수요 대비 15% 내외의 철스크랩을 수입해야 하는 공급 부족 국가이며, 주 수입국은 일본, 미국, 러시아 등이다. 철스크랩의 주요 수출국들은 탄소중립 실행과 자국 내 재활용 가능 자원의 유출을 방지하기 위해 각종 수출 규제 정책을 시행하거나 추진할 것으로 예상되며, 향후 세계 교역량은 1억 톤 가량에서 더욱 축소될 것으로 전망된다. 우리나라의 최대 수입국인 일본도 전기로 설비 증설 등에 따라 2030년경부터는 수출 여력이 없을 것으로 전망된다.

철스크랩 산업의 발전을 위해서는 철스크랩업을 단순히 전기로 제강업의 원료 공급자가 아니라 독립된 산업으로 인식하고 별도의 맞춤형 산업 정책이 필요하다.

- 한국표준산업분류(KSIC)에서 '제조업'으로 환원하여 공장 등록 등에 대한 사업 원활화를 지원해야 한다.
- '철스크랩 전문 가공업체 지원' 등을 통하여 지정 기업에 정부 지원을 집중해야 한다.
- 산업 자생력을 확보하고 규모의 경제를 실현할 수 있도록 대형화를 유도해야 한다.

## 제강 공정 디지털화의 국내외 기술 동향, 시사점 및 향후 발전 방향

4차 산업혁명 시대의 핵심 기술을 철강산업에 적용하여 생산성을 높이고 원가를 절감하며, 공정의 안정성과 품질을 극대화함에 있어 제강 공정의 디지털화가 주목받고 있다. 주요 기술로는 AI 기반 공정 최적화, IoT 기반 실시간 모니터링, 빅데이터 분석, 로봇 자동화 등이 있다. 이러한 기술들은 제강 공정의 효율성을 높이는 동시에 작업자의 안전성을 강화하고 환경적인 책임을 이행하는 데도 중요한 역할을 한다.

국내외 철강산업은 디지털화기술을 도입하여 글로벌 경쟁력을 강화하고 있으며, AI, IoT, 빅데이터 기술을 활용한 공정 자동화가 핵심적인 흐름으로 자리 잡고 있다. 특히 AI 철스크랩 영상 분석 시스템은 제강 공정에서 AI를 활용한 혁신적인 기술 적용 사례로, 스크랩 검수와 장입 공정에서 공정 데이터를 실시간으로 분석하여 공정 최적화를 지원한다. 이를 통해 작업자는 불필요한 인적 개입을 줄이고 공정의 일관성을 유지할 수 있다.

해외에서는 유럽과 일본을 중심으로 철강산업의 디지털 전환이 빠르게 진행되고 있다. 유럽의 Thyssenkrupp와 ArcelorMittal은 AI와 IoT를 결합한 스마트팩토리기술을 통해 생산성을 극대화하고 에너지 소비를 최적화하는 데 성공했다. 일본의 JFE스틸은 빅데이터와 AI 기술을 통해 품질 관리와 생산성 향상에 집중하고 있다. 이러한 해외 사례는 국내 철강산업에도 중요한 벤치마킹 대상이 되고 있다.

제강 공정의 디지털화는 철강산업 전반의 경쟁력 강화를 위한 필수 기술적 전환이다. 특히 AI와 빅데이터 기술을 활용한 공정 자동화는 생산성을 높이고 비용 절감을 실현하며, 나아가 환경적 지속가능성을 강화할 수 있는 효과적인 수단이다. 앞으로 국내 철강산업이 디지털화를 더욱 가속화하기 위해서는 데이터 기반 공정 관리 시스템 구축, 맞춤형 솔루션 개발, AI 상용화 촉진, 중소기업 디지털화 지원이 중요한 과제가 될 것이다.

또한 정부는 디지털화된 철강 공정의 연구개발(R&D) 투자와 기술 표준화, 스마트팩토리를 넘어선 지능화팩토리 구축을 위한 인프라 지원을 강화해야 한다. 이를 통해 국내 철강산업이 글로벌시장에서 지속적으로 경쟁력을 유지하고 보다 환경 친화적이면서 사회 안전 솔루션의 확보를 선도하는 제조 환경으로 전환될 수 있도록 지원할 필요가 있다.

# 1. 개요

## 탄소중립과 철스크랩

- 철강산업에서는 일관(一貫)제철소에서 철광석과 코크스를 고로에 넣어 녹이는 제선공정, 즉, 철광석과 화석연료 등 천연자원을 사용하는 과정에서 다량의 CO<sub>2</sub>가 발생하게 된다. 철강재를 생산하는 방법에 따른 CO<sub>2</sub> 발생량은 다음과 같다.

그림 1  
철강재 제법별 탄소배출량

출처: 탄소중립과 세계 철스크랩 시장 변화, 포스코경영연구원(2024)



- 위 표에 따르면 고로 방식은 쇠물 1톤 생산 시 2톤의 CO<sub>2</sub>가 발생하는 반면, 전기로 방식은 1톤 생산 시 약 0.4톤의 CO<sub>2</sub>가 발생하여 철스크랩을 원료로 사용하는 전기로 방식이 고로 방식 대비 80% 정도의 CO<sub>2</sub> 감축 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 가장 근본적인 CO<sub>2</sub> 감축 방안은 '수소환원제철'로 고려되고 있으나 상용화가 다소 중·장기적으로 진행되는 것을 감안할 때 현재 시점에서 CO<sub>2</sub> 배출량을 감축할 수 있는 확실하고 경제적인 방법은 철스크랩의 사용량을 확대하는 것이다.
- 또한 철스크랩은 「순환경제사회 전환 촉진법」상 순환자원의 요건인 환경 무해성, 경제성(유상 거래), 순환 이용성을 모두 만족하면서 환경적 중요성(3R)\*에도 부합하는 자원에 해당한다.

\* 3R: 형상이나 특성의 변화 없이 간단한 분류와 정제만으로도 재사용(Reuse), 에너지 사용 및 온실가스 배출 저감(Reduce), 무한 재활용(Recycle) 가능성을 의미

## 철스크랩을 활용한 제강 공정의 디지털화

- '스마트팩토리'는 공정 전반에 걸쳐 데이터를 수집하고 실시간으로 분석하며, 이를 기반으로 자동화된 의사결정을 내리는 시스템이다. 철스크랩 활용 제강 공정에서의 스마트팩토리 적용은 크게 네 가지 핵심 기술로 구분할 수 있다.

- IoT 기반 실시간 모니터링

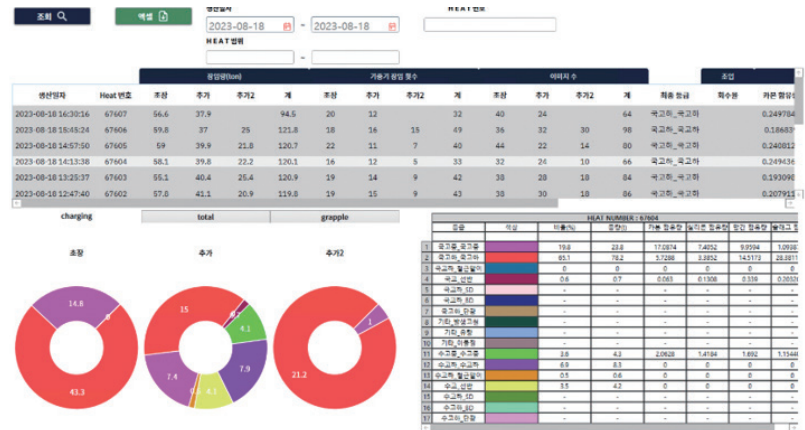
실시간 모니터링 기술을 통해 제강 공정의 다양한 장비와 설비에 IoT 센서를 부착해 공정 데이터를 실시간으로 모니터링함으로써 장비의 상태를 파악하고 비정상적인 데이터가 감지되면 즉각적인 유지보수 작업도 가능하다. 또한 에너지 소비 패턴을 분석하여 에너지 효율성도 높일 수 있다.

- AI 기반 공정 최적화

AI 기술은 제강 공정에서 발생하는 다양한 데이터를 분석하여 최적의 공정 조건을 도출하는 데 사용된다. 예를 들어, 철스크랩의 입고와 장입 과정에서 AI 영상 분석 기술을 활용하여 스크랩의 종류와 비율을 파악하고, 이를 바탕으로 전기로 공정에서 적절한 혼합비를 설정할 수 있다. 이러한 AI 기반 공정 최적화는 생산성과 품질 향상, 불량률 감소에 기여할 수 있다.

그림 2  
AI 철스크랩 장입 데이터 분석 시스템

출처: 보고넷(2024)



- 로봇 자동화 시스템

로봇 자동화는 고온 및 위험한 작업 환경에서의 인력 의존도를 줄이고 반복적인 작업을 보다 정밀하게 수행할 수 있도록 한다. 로봇은 스크랩을 장입하거나 전로(용광로)를 관리하는 작업에서 인간의 역할을 대신하여 안전성을 높이고 공정의 일관성을 유지하며, 불량률을 줄이는 데 효과적이다.

- 빅데이터 및 클라우드 컴퓨팅

제강 공정에서는 막대한 양의 데이터가 발생하므로 이를 효과적으로 관리하고 분석하기 위해 빅데이터와 클라우드 컴퓨팅 기술이 필요하다. 빅데이터 분석은 공정 데이터를 기반으로 문제를 사전에 감지하고 공정 성능을 최적화하는 데 중요한 역할을 한다. 클라우드 컴퓨팅은 데이터 저장과 분석을 효율적으로 관리할 수 있는 환경을 제공하며, 다양한 공정에서 발생하는 데이터를 중앙 집중화하여 신속한 대응이 가능하게 한다.

## 2. 국내외 시장 동향

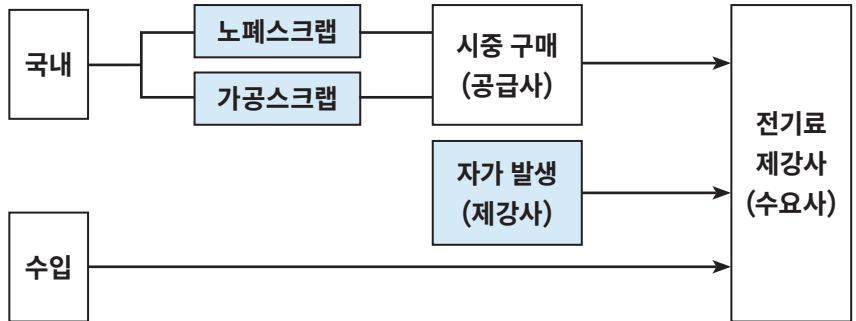
## 철스크랩 시장 동향

그림 3

철스크랩의 공급 구조

출처: 한국철강자원협회(2024)

- 국내 철스크랩의 발생 원천과 제강사 조달 경로는 다음과 같다.



\* 노폐 스크랩: 수명이 다한 철강재의 폐기 및 철구조물의 철거나 처분 과정에서 발생하는 것이며, 이물질 부착이나 품질이 낮아서 가공과 정제가 필요한 스크랩

\*\* 가공 스크랩: 자동차, 조선, 가전 등 철강재를 사용하여 제품을 생산하는 과정에서 발생하는 것이며, 고품질이고 전기료 원료로 직접 사용이 가능

- '시중 구매'란, 철스크랩의 수요자인 제강사가 외부(국내 공급사)에서 원료를 조달하는 형태 및 유통과정을 의미하는데, 발생 원천에 따라 노폐 스크랩\*과 가공 스크랩\*\*으로 구분된다.
- '자가 발생'이란 철강업체의 철강재 제조 과정에서 부산물과 불량품 등이 발생하는 것으로, 전기료에 바로 투입 가능한 상태의 철스크랩을 의미한다.

- 국내 철스크랩 수급 현황은 표 1과 같다. 우리나라는 철스크랩의 공급이 부족한 국가로 15~20%를 일본, 미국, 러시아 등에서 수입하여 충당하고 있다. 특히 표 2와 같이 일본에서의 수입량이 전체의 2/3 이상을 차지할 정도로 일본에 대한 수입 의존도가 높다.

(단위: 천 톤)

표 1

국내 철스크랩의 수급 현황

출처: 한국철강협회 (각 년도)

구분		2019	2020	2021	2022	2023
수요	내수	29,028	26,100	28,653	26,689	26,023
	수출	221	252	388	277	365
합계		29,249	26,352	29,041	26,966	26,387
공급	시중 구매	16,432	16,081	18,592	17,256	17,369
	자가 발생	6,352	5,891	5,681	5,059	5,237
	수입	6,465	4,380	4,768	4,662	3,782
합계		29,249	26,352	29,041	26,977	26,388

표 2  
국내 철스크랩의 수입 현황

구분	2019	2020	2021	2022	2023
일본	4,018	2,950	3,079	3,155	2,675
(점유율)	62.2%	67.3%	64.6%	67.7%	70.7%
미국	1,108	496	726	588	420
러시아	712	625	573	337	353
기타	627	309	390	582	334
계	6,465	4,380	4,768	4,662	3,782

\* 철강 축적량: 철강재가 생산되어 이동 및 소비됨에 따라 역내에 누적된 철강재의 총량을 의미

- 향후 국내 철스크랩의 수급은 10억 톤에 이르는 철강 축적량\*으로부터 노폐 스크랩의 회수와 재활용 확대를 통해 충당하여야 할 것으로 전망되고 있다.

표 3  
국내 철스크랩의 장기 수급 전망

출처:  
산업연구원(2023)

구분 (년도)	수요			공급					과부족 (A-B)
	고로	전기로	합계(A)	합계(B)	자가 발생	시중 구매			
						계	가공	노폐	
2020	3,846	21,965	25,811	22,046	5,891	16,155	5,242	10,913	▲3,765
2025	5,808	24,529	30,337	26,806	6,292	20,514	5,270	15,244	▲3,531
2030	7,242	25,510	32,752	29,079	6,379	22,700	5,370	17,330	▲3,673

- BCG(Boston Consulting Group)의 전망에 따르면, 글로벌 철스크랩 수요는 2021년 6억5,800만 톤에서 연평균 3% 이상 증가하여 2030년에는 8억8,300만 톤까지 증가할 것으로 예상된다.
  - 특히 아시아 지역의 수요는 2021년 1억6,400만 톤에서 2030년 2억200만 톤으로 증가하는 데 비해 공급은 1억8,300만 톤에 불과한 부족 현상(▲1,900만 톤)이 심화될 것으로 예상된 바 있다(2021년 ▲900만 톤).

표 4  
글로벌 철스크랩의  
수급 전망

	수요			공급			2030년 과부족(A-B)
	2021년	2030년(A)	증감	2021년	2030년(B)	증감	
중국	226	355	129	226	360	134	5
아시아	164	202	38	155	183	28	▲19
EU	88	101	13	103	110	7	9
북미	81	111	30	96	110	14	▲1
기타	99	114	15	87	105	18	▲9
합계	658	883	225	667	868	201	▲15

출처:  
포스코경영연구원  
(2024)

- 특히 우리나라는 최대 수입국인 일본으로부터 매년 600만 톤 이상을 수입하였으나, 2030년 이후에는 일본도 수출 여력이 없을 것으로 전망된다.
- 또한 주요 수출국들의 자국 수요 대응에 따라 철스크랩의 수출량은 2021년 1억1천만 톤 대비 2030년에는 9,300만 톤으로 15% 정도 감소할 것으로 예상된다. 철스크랩의 주요 수출국들은 탄소중립 달성과 자국 내 자원 유출을 방지하기 위해 각종 수출 규제 정책을 시행하거나 추진할 것으로 예상된다.
  - EU: 폐기물 선적 규정 채택, 철스크랩의 역외 수출 간접 규제, 수출 23% 감소
  - 러시아: 철스크랩 수출 쿼터제 실시 및 관세 부과(톤당 100유로)
  - 중국: 수출 관세 40% 부과, 수입 관세(2%)는 폐기
  - 미국: 철강사 중심으로 수출 규제를 건의 중, 스크랩 수출 30% 감소 예상
  - 일본: 전기로 체제를 확대, 자국 수요 증가로 스크랩 수출 27% 감소 예상



- 국내 철강산업은 글로벌 수준의 디지털화와 자동화 기술을 빠르게 수용하고 있으며, 다양한 디지털 기술을 도입하여 제강 공정의 효율성을 극대화하고 있다. 특히 AI, IoT, 빅데이터 분석이 주요 기술로 도입되었으며, 이러한 기술은 전통적인 철강 제조업의 경쟁력을 높이는 중요한 역할을 하고 있다.

그림 4  
철강 제조 공정의 스마트화

출처: 보고넷(2024)



**철강 제조공정의 스마트화를 통한 생산성, 효율성 향상 및 경쟁력 강화**

- 국내 제강사들은 AI 기반 영상 분석 기술을 도입하여 공정 중 발생하는 인적 오류를 최소화하고 철스크랩 관리 공정은 최적화하고자 한다. 특히 AI 철스크랩 영상 분석 시스템은 이 분야에서 혁신적인 사례이다. 현재 현대제철, 동국제강, 세아베스틸, 세아창원특수강, 한국철강, 포스코 인터내셔널 등 국내 대표 제강사들과 철스크랩 공급사에서 AI 철스크랩 영상 분석 시스템에 대한 많은 관심을 보이고 있으며, 도입에 착수하여 생산성 향상과 비용 절감 성과를 기대하고 있다. 또한 빅데이터 수집과 분석을 통해 공정 운영의 최적화를 위한 기초 작업을 진행하고 있다.
  - AI 장입 철스크랩 영상 분석 시스템  
입고된 차량 내 스크랩에 대해 기존의 육안 검수 대신 AI 기반 영상 분석을 통해 스크랩 등급을 판정
  - AI 철스크랩 영상 검수 시스템  
전기로 장입 공정에서 장입된 스크랩의 종류와 비율을 분석하여 장입된 철스크랩을 데이터화하여 관리

그림 5

AI 철스크랩 장입 영상 분석 시스템

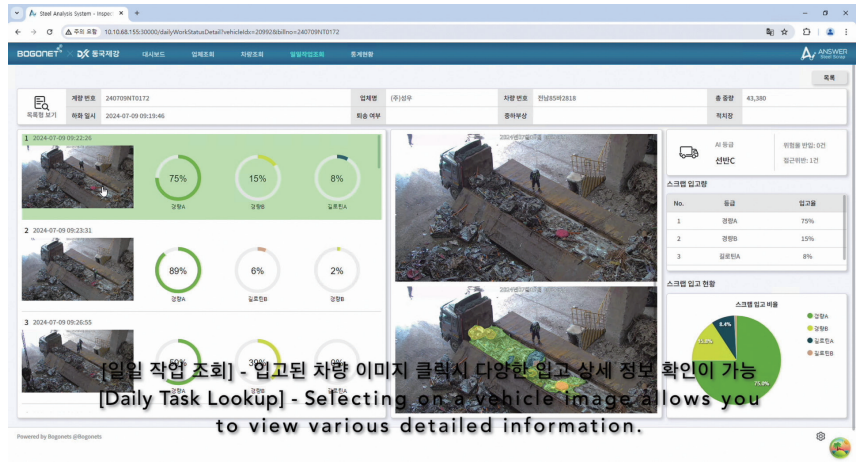
출처: 보고넷(2024)



그림 6

AI 철스크랩 영상 검사 시스템

출처: 보고넷(2024)



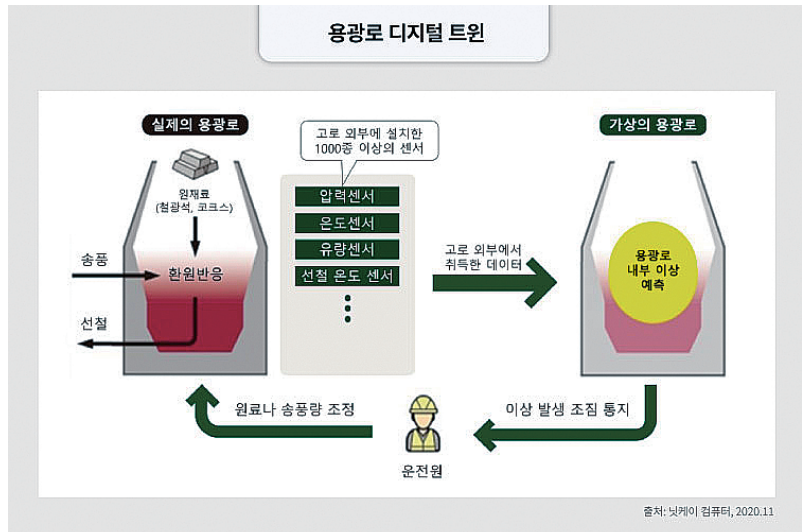
## 글로벌 철강사의 디지털화 기술 개발 및 활용 동향

- TATA Steel(인도): 2025년까지 디지털 혁신을 통해 글로벌 철강산업에서 선두 자리를 목표로 하고 있다. 타타스틸의 디지털 전환은 AI, 클라우드 컴퓨팅, 센서화 등 Industry 4.0 기술을 활용하여 생산성을 높이고 에너지 소비를 줄이며, 품질을 향상시키는 데 중점을 두고 있다.
  - 디지털 트윈(Digital Twin) 기술을 도입해 공장의 디지털 복제본을 만들어 실시간으로 운영을 시뮬레이션하고 최적화하고 있다. 이를 통해 공정 효율성과 에너지 사용 및 품질이 개선되고 있으며, 예측 가능한 문제의 해결도 가능하다. 또한 AI 기반의 모델을 사용하여 장비 고장을 예측하고 예측 유지보수를 통해 예기치 않은 중단을 최소화하고 있다. 더불어 지속가능성과 관련하여 수소 주입 실험을 통해 탄소 배출 저감을 위한 기술을 연구하고 있으며, 'Hisarna 공정' 개발을 통해 에너지 소비와 탄소 배출을 줄이는 혁신을 시도 중이다.

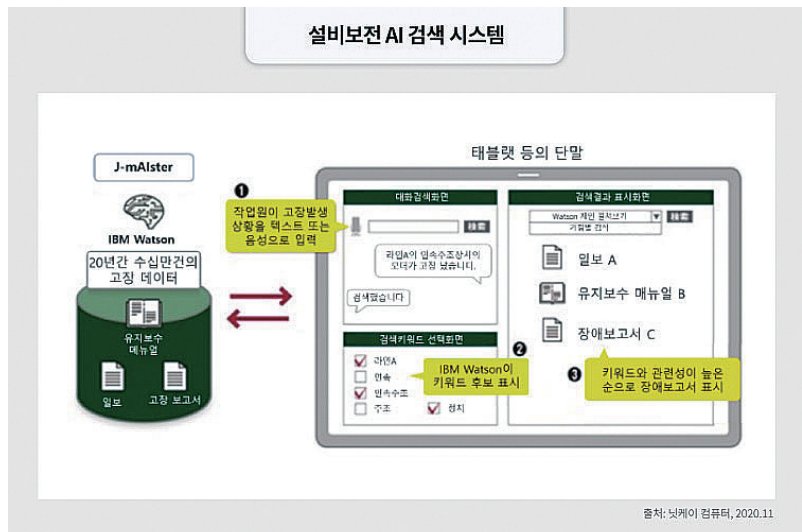
- ArcelorMittal(룩셈부르크): IoT와 클라우드 컴퓨팅 기술을 적극 도입하여 모든 공정 데이터를 실시간으로 모니터링하고 있으며, 이를 통해 생산 효율성과 환경 관리에 큰 성과를 내고 있다. 빅데이터 분석 기술을 활용해 공정 중 발생하는 에너지 사용 패턴을 분석하고 이를 최적화하여 에너지 소비를 줄이고 있다.
- JFE스틸(일본): 빅데이터 분석과 AI 기술을 결합해 생산성 향상과 품질 관리에 초점을 맞추고 있다. JFE Steel의 디지털 트랜스포메이션(DX)은 크게 두 가지 방향으로 추진되었다. 하나는 용광로 상태 데이터를 수집하고 가상으로 시뮬레이션하여 실시간으로 용광로의 상태를 점검하고 장애를 예측하는 ‘용광로 디지털 트윈’이며, 다른 하나는 철강 제조 설비의 고장 원인을 신속하게 규명하고 고장을 복구하는 ‘설비 보전 AI 검색 시스템’이다.

그림 7  
JFE스틸의 용광로 디지털 트윈 및  
설비 보전 AI 검색 시스템

출처: KT Enterprise, 닛케이  
컴퓨터(2020)



출처: 닛케이 컴퓨터, 2020.11



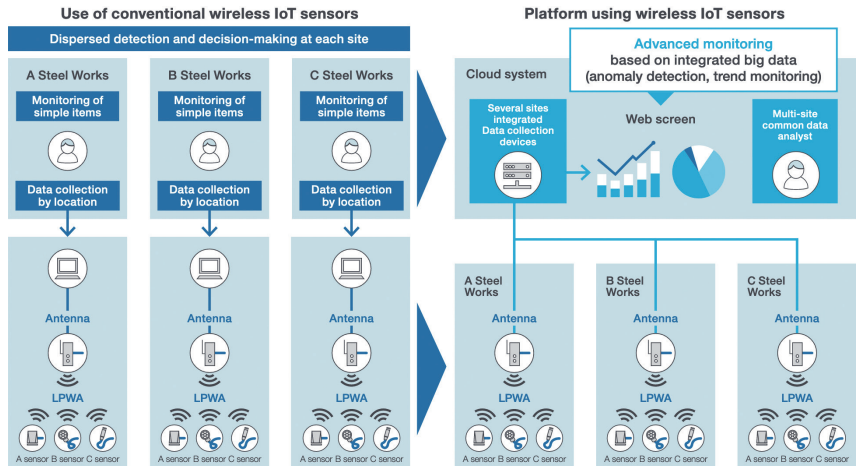
출처: 닛케이 컴퓨터, 2020.11

- Nippon Steel: 생산 계획, 마케팅, 제조 및 유지 보수, 품질 관리, 엔지니어링, 연구, 조달, 재무를 포함한 철강 사업의 전체 프로세스를 포괄하여 진행 중이다. 또한 스마트 제조(제조·유지 보수 DX) 추진을 통해 무선 IoT 센서를 사용하여 수 킬로미터에 걸쳐 있는 광범위한 제조 현장의 상태를 모니터링하는 것을 확대하고 있다.

그림 8

Nippon steel의  
스마트 제조 모니터링

출처: Nippon Steel



## 4. 시사점

### 철스크랩 공급망 안정화 및 자원 인식 강화

철강산업의 원료 수급 구조는 단기적으로는 철광석/코크스/석회석 등 고품위 고로 원료의 지속 확보 및 다변화, 중기적으로는 철스크랩 고급화와 활용률 극대화 및 산업생태계 경쟁력 확보, 장기적으로는 저품위 고로 원료로부터 고품위 직접환원철 양산기술 개발을 중심으로 변화할 것으로 전망된다. 그리고 궁극적으로는 철원료와 자원의 디지털 전환을 통한 효율성 제고가 필수적으로 수반될 것으로 예상된다.

전 세계적인 탄소중립 정책 실행으로 철스크랩의 가치가 증대됨에 따라 자원으로서의 철스크랩 수급은 더욱 어려워질 것으로 전망된다. 철스크랩 부족 국가인 우리나라는 전기로 증설 계획과 고로 투입량 확대 정책에 따라 자급률이 다시 하락할 것으로 예상된다.

- 약 10억 톤에 이르는 국내 철강 축적량으로부터 철스크랩을 최대한 회수하고, 철자원의 재활용률을 극대화하기 위한 노력이 필요하다.

## 제강 공정 디지털화의 의미 및 향후 방향

디지털화된 제강 공정은 생산성의 획기적인 개선뿐만 아니라 환경적 지속가능성을 높이는 데도 중요한 역할을 한다. 철강산업은 에너지 다(多)소비 산업으로서, 공정 디지털화를 통해 에너지 효율을 개선하고 탄소 배출량 감소에도 기여할 수 있다. 또한 디지털화는 위험성이 높은 작업 환경에서 인력을 로봇으로 대체함으로써 안전사고 감소에도 상당한 기여가 가능하다.

국내 철강산업의 디지털화 확대를 위해서는 데이터 기반 공정 관리 시스템을 정교하게 구축하는 것이 필수적이다. AI와 빅데이터를 활용한 공정 데이터의 실시간 분석과 의사결정 지원 시스템을 마련하여 생산 일관성과 품질 관리를 강화할 필요가 있다. 특히 각 공정에서 발생하는 데이터를 중앙에서 통합 관리할 수 있는 스마트 통합 관리 시스템을 도입하면 공정 최적화가 더욱 용이할 것으로 전망된다.

제강 공정의 디지털화에는 각 기업의 규모와 공정 특성에 맞춘 맞춤형 솔루션이 필요하다. 대기업은 물론 중소·중견 철강업체들도 쉽게 도입할 수 있는 모듈형 디지털화 솔루션을 개발하여 디지털화가 철강산업 전반에 확산되도록 해야 한다. 또한 철강산업의 domain knowledge 기반 맞춤형 AI 솔루션 개발을 통해 각 공정에 최적화된 데이터 분석과 자동화 솔루션을 제공하는 것이 매우 중요하다.

## 정책 제언

아울러 철스크랩산업을 단순히 전기로 제강업의 원료 공급자가 아닌, 하나의 독립된 산업으로 인식함으로써\* 별도의 맞춤형 산업 정책 마련이 필요하다.

- 한국표준산업분류(KSIC)상 '제조업'으로 환원, 공장 등록 등 사업 지원
- '철스크랩 전문 가공업체 지원' 등을 통해 지정 기업에 정부 지원 집중
- 규모의 경제를 실현할 수 있도록 산업 자생력을 확보하고 대형화 유도

노폐 스크랩의 재활용률 향상과 고품질화를 위하여 절단, 파쇄, 선별 등을 위한 투자에 대해 저리 용자와 세액 공제 등의 지원이 필요하다.

- 대형 공급사도 2~3개의 사업장을 운영하며, 상위 업체들의 집중도(HHI 지수: Herfindahl-Hirschman Index)가 매우 낮은 상황
- 철스크랩을 절단하는 길로틴 설비, 파쇄하는 슈레딩 플랜트 및 선별 설비를 갖추는 데에 100억 원 내외의 대규모 투자가 수반

\* 국내 철스크랩 공급업체: 제강사의 '구좌제도'에 묶여서 자생력 약화

- Sims Metal(미국): 전 세계에 200개 이상의 재활용 시설을 운영
- Radius Recycling(미국, 舊 슈니츠): 100여 개의 사업장에서 54개의 재활용 시설을 운영

제강 공정 디지털화의 핵심은 AI와 빅데이터 기술에 대한 연구개발(R&D)이다. 이를 위해 AI 공정 최적화 연구와 빅데이터 분석 플랫폼 개발에 대한 투자 확대가 지속적으로 추진되어야 한다.

디지털화된 제강 공정은 에너지 효율을 개선하고 환경적 책임을 강화하는 데 큰 도움이 된다. 탄소 배출량을 줄이는 기술을 중심으로 디지털화를 가속화하여 철강산업이 지속가능한 제조 환경으로 전환될 수 있도록 해야 한다. 이를 위해서는 민관이 협력하여 철강산업 공정 전반의 에너지 절약 기술 및 친환경 제조 기술에 대한 연구개발을 지속적으로 추진해야 한다.

## 출처 및 참고자료

---

1. 정은미 외, 「철스크랩 산업생태계 경쟁력 강화 방안 연구」, KEIT, 2023.05., 한국철강자원협회 재정리.
2. 이윤희, “탄소중립과 세계 철스크랩 시장 변화”, 철 스크랩 세미나 2024, 스틸앤스틸·한국철강자원협회, 2024.05., 한국철강자원협회 재정리.
3. “철스크랩 산업의 이해”, 한국철강자원협회, 2024.06.
4. 이민우, “철강산업에서 스마트 제조 적용 현황과 전망”, 4분기 이슈리포트, 한국철강협회 재료산업인적자원개발위원회, 2020.12.07.
5. 철강주요지표, 한국철강협회(해당연도).
6. “인공지능 시대의 글로벌 공급망”.
7. “스마트팩토리 도입을 통한 제조업 혁신: 사례와 전망”.
8. “AI 기술을 활용한 철강공정 디지털화 연구개발 방향”.
9. “유럽과 일본의 제강공정 디지털화 동향”.
10. 「스마트 제조혁신 전략」, 산업통상자원부.
11. “Digital Europe Programme”, EU, ; [https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/digital-europe-programme\\_en](https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/digital-europe-programme_en)
12. CESMII(Smart Manufacturing Innovation Institute); [www.cesmii.org](http://www.cesmii.org)
13. “철스크랩 AI 검수시대 “활짝””, 스틸데일리, 2023.12.21.
14. 유재혁, “[커버스토리] AI시대를 여는 기업-보고넷 전정희 대표”, 스틸데일리, 2023.08.07.
15. “[DX 가이드북] 디지털 트랜스포메이션 성공 사례(Chapter4. Part3 일하는 방식을 바꾸다)”, KT Enterprise, 2021.08.; 닷케이 컴퓨터, 2020.11.
16. “Nippon Steel DX Specific Initiatives”, Nippon Steel.; [nipponsteel.com/en/company/dx/specific.html](http://nipponsteel.com/en/company/dx/specific.html)
17. Radius Recycling; [www.radiusrecycling.com](http://www.radiusrecycling.com)
18. Sims Metal; [www.simsmm.com](http://www.simsmm.com)





# 직접환원철 글로벌 공급망 현황 및 수소환원제철 적용 기술 개발 동향

이광석 금속재료PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실

김태윤 팀장 | 한국금속재료연구조합

신명균 소장 | 포스코 기술연구원 저탄소제철연구소

## 요약

- 직접환원철(DRI: Direct Reduced Iron)은 고체 상태 철광석에 일산화탄소, 수소 등의 환원가스를 투입하여 만든 철원으로, 불순물이 적어 고급 철스크랩의 대용으로 사용되어 왔다. 지난 수십 년간 지속 수요와 생산량이 증가해 왔으나 앞으로도 철강산업의 탄소중립을 위해 전 세계적으로 수요가 증가할 것으로 예상되며, 우리나라도 역시 저탄소 기조 속 2040년까지 수요가 증가할 것으로 예상된다.
  - 세계 직접환원철 생산량은 1970년 79만 톤에 불과했으나, 지속 증가하여 2000년 43.8백만 톤, 2018년 최초로 1억 톤을 넘어섰고, 2022년에는 1.27억 톤 기록 중.
- 철강산업의 탄소중립 목표 달성을 위해 향후 2050년까지 전 세계적으로 큰 폭의 직접환원철 수요 증가가 예상되며, 현재 세계 전역에 걸쳐 신증설 프로젝트가 활발하게 추진되고 있다.
  - 국가별 생산량의 경우, 인도(3,911만 톤)와 이란(3,185만 톤)의 생산량이 가장 많아 전 세계 DRI 생산량의 59.5%를 차지하고 있으며, 러시아(789만 톤), 사우디아라비아(613만 톤), 멕시코(583만 톤) 순으로 생산 중
  - 수요량의 경우, 전망 기관별로 예측의 차이는 존재하나 WSD(World Steel Dynamics)의 경우 연간 2.72억 톤, IIMA(International Iron Metallics Association, 국제철금속협회)는 4.11억 톤을 전망.
- 국내 철강산업의 중장기 탄소중립 목표 달성을 위해서는 저탄소 철원인 철스크랩과 직접환원철의 사용량 확대가 필요하다.



- 국내 스틸투모로우의 전망에 따르면, 철스크랩과 직접환원철의 수요는 2019년 약 3천만 톤 수준에서 2030년 3천850만 톤으로 크게 증가하지만, 이후 2050년에는 3천230만 톤까지 큰 폭의 감소가 예상(단, 이는 2050년 수소환원제철의 상용화 전제 하에 국내 고로 프로세스를 완전히 대체하는 시나리오에 따른 예상치).
- 기존의 고로제철은 지구온난화를 유발하는 온실가스인 CO<sub>2</sub>를 발생시키므로, 향후 고로 설비가 노후화되고 철강 분야 CO<sub>2</sub> 배출 무상할당제가 폐지되는 유럽은 고로 기반의 철강사들을 중심으로 수소환원제철법으로의 전환을 서둘러 진행하고 있다.
  - 수소환원제철은 수소와 전력을 사용하여 철광석으로부터 용철을 제조하는 공정으로 기존 고로제철에 비해 이산화탄소 배출을 대폭 줄일 수 있으며, 여기에서 제조되는 철강재의 품질도 고로제철법과 유사한 수준이므로 철강산업의 탈탄소 핵심기술로 전 세계 철강업계의 주목을 받고 있다.
- 전 세계적으로 온실가스 배출량 저감을 위해 친환경 저탄소 제철기술 개발 경쟁이 가속화되고 있는 가운데, 직접환원철(DRI/HBI) 방식을 이용하는 프로세스가 우위를 이룰 것으로 예측되고 있다. 우리나라도 국내 기업에서 보유하고 있는 독자적인 유동환원로 기술을 바탕으로 '한국형 수소환원제철' 기술 개발을 추진 중이다.
 

다만, 수소환원제철이 진정한 탄소중립의 실현에 기여하기 위해서는 수소 및 전력의 안정적인 공급과 함께 경제성 확보라는 해결 과제가 남아있는 상황이다. 철강은 전 산업의 기초 소재이며, 철강산업은 국가의 핵심 기간산업이다. 탄소중립 사회에서 철강산업의 경쟁력을 유지하기 위해서는 수소 및 전력의 안정적인 공급 인프라 구축과 그린스틸 생태계를 조성하기 위한 정부의 주도적인 역할이 필요할 것이다.

## 1. 개요

---

- 수소환원제철은 수소와 전력을 사용하여 철광석으로부터 용철을 제조하는 공정이다. 기존 고로제철에 비해 이산화탄소 배출을 대폭 줄일 수 있으며, 여기에서 제조되는 철강재의 품질도 고로제철법과 유사한 수준이므로 철강산업의 탈탄소 핵심기술로 전 세계 철강업계의 주목을 받고 있다.
 

수소환원제철은 철광석을 환원하는 수소환원로와 환원된 철광석을 용해하는 전기로로 구성되며, 생산과정에서 CO<sub>2</sub> 발생이 없는 수소와 전력을 활용해야만

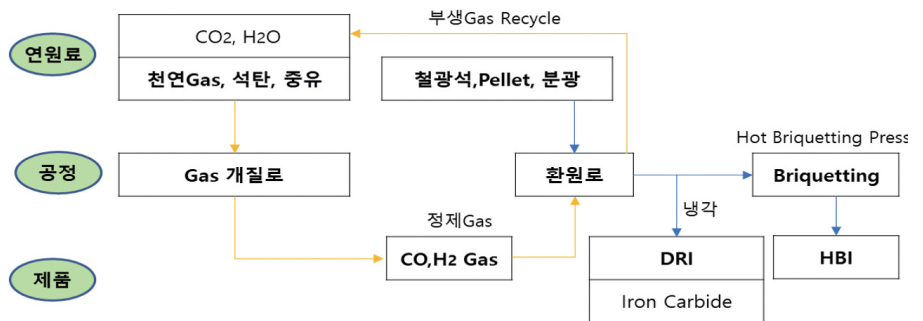
비로소 진정한 CO<sub>2</sub>-free 제철법이 되므로, 수소환원제철 공정의 상용화를 위해서는 그린수소 및 신재생 전력을 경제적이고 안정적으로 공급할 수 있는 인프라 구축이 중요하다.

철강재 품질을 저하시키는 Cu, Sn 등의 성분이 함유된 재사용 스크랩 용해 기반의 Secondary Steelmaking에 비해, 수소환원제철은 철광석으로부터 용철을 생산하는 Primary Steelmaking에 해당하여 전기강판, 자동차 내외 판재 등 고품질 철강 제품 생산에 적합하다.

- '2050 탄소중립' 시나리오에 따르면 전 세계 철강 생산량의 약 30% 정도가 수소환원제철에 의해 제조될 것으로 전망.

- 직접환원철(DRI: Direct Reduced Iron)이란, 고체 상태의 철광석에 일산화탄소, 수소 등의 환원가스를 투입하여 철광석에서 산소를 분리하는 환원 과정을 거쳐 만들어지는 철원이며, 불순물이 적어 고급 철스크랩 대신 사용되는 대체 철원으로 지속 성장하고 있다.
  - 철의 직접환원은 고로(Blast Furnace)에서와 같이 용해되지 않은 고체 상태의 철광석이나 기타 철 재료에서 산소를 제거하는 것으로, 환원제로는 개질 천연가스, 합성가스 또는 석탄에서 나오는 일산화탄소와 수소가 있으며, 철 원료의 형태는 주로 Pellet, Lump 및 분광을 사용.


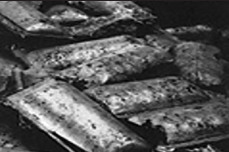

그림 1  
직접환원철 제조 프로세스  
출처: 스틸투모로우



- 직접환원철은 DRI, HBI(Hot Briquetted Iron), Iron Carbide의 세 가지로 구분되는데, 가장 많이 사용되는 것은 DRI이다. HBI는 DRI를 열간 상태에서 단광(광석 가루나 알갱이를 굳혀 덩어리로 만드는 것) 처리해 산화를 방지한 철원이며, Iron Carbide는 분광석에 환원가스를 투입해 탄화철(Fe<sub>3</sub>C) 상태로 합성한 것으로 재산화가 되지 않는 특징 때문에 제강 공장에서 에너지원으로 활용되고 있다.

표 1  
직접환원철의 종류 및 특징

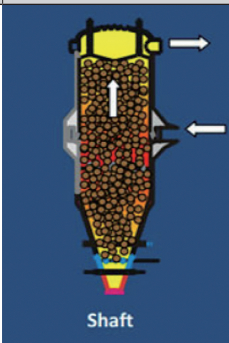

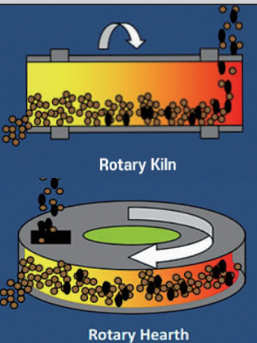
출처: 스틸데일리,  
한국금속재료연구조합 내부 자료

종류	DRI	HBI	Iron Carbide
개요			
사용원료	그린 Pellet, 정립광		분철광석 (Sand 정도의 입도)
주요성분	Fe 92% 이상, C 1~3%, P 0.04%, S 0.015%		Fe 92% 이상, C 6~7%
입도 및 형상	6~16mm Pellet	110×50×30mm Briquette	Fine Powder (분말로 취급해 사용)
주용도	전기로 > 전로	전기로 < 전로	전기로 > 전로
기타	발화성	장거리 수송 가능 (산화방지)	- Fe3C 분말로 성형성 낮음 - 탄소는 열원재 활용 - 재산화되지 않음 - 채택 비율 낮음

- 직접환원철 제조 프로세스에는 가스 기반의 Shaft 용해로 프로세스(MIDREX, Energiron)와 Fluid Bed 프로세스(Finmet, Finored), 석탄 기반의 Kiln 프로세스 등이 있으며, 각 프로세스별 DRI 시장의 점유 비중은 아래와 같다.

표 2  
직접환원철 제조 프로세스별  
반응로 형태 및 2021년 DRI  
생산량(1.2억 톤) 대비 시장  
점유율

출처: IIMA

구분	Shaft 용해로	Fluid Bed	Kiln
반응로 형태			
시장 점유율	74.4%	25.4%	0.1%

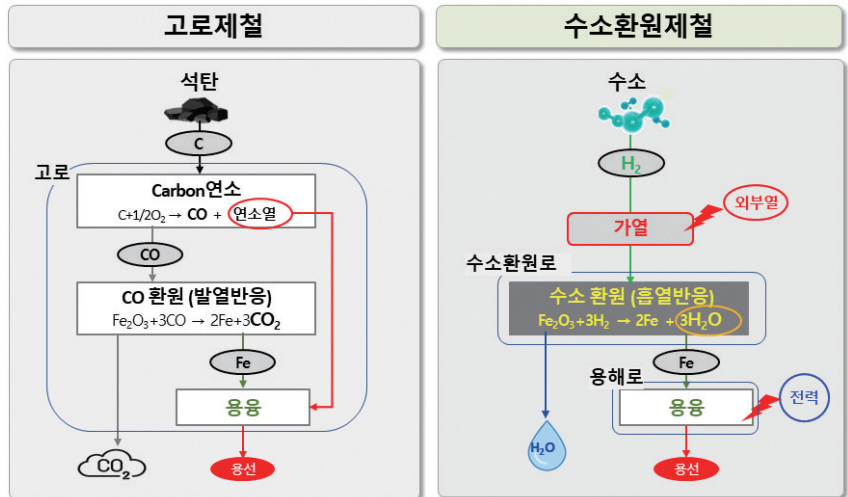
- 2021년 기준 전 세계 직접환원철 생산 플랜트 수는 141기로, 연간 생산 능력은 1억2,860만 톤에 달한다. 이중 가동 중인 플랜트는 123기로 생산 능력은 1억1,240만톤, 휴지 중인 플랜트는 18기로 1,620만 톤 규모로 추정된다.

## 수소환원제철 기술 개요

고로제철에서는 철광석의 환원과 용융에 사용되는 CO와 열량을 코크스의 연소를 통해 자체적으로 생성시킨다. 모든 반응은 하나의 반응기에서 이루어지고 철광석의 CO 환원은 발열반응이므로 탄소 에너지를 매우 효율적으로 사용할 수 있으나, 지구온난화를 유발하는 온실가스인 CO<sub>2</sub>를 발생시킨다.

반면에 수소환원제철에서는 철광석을 환원하는 단계와 환원된 철광석을 용해하는 단계가 분리되어 각각 다른 반응기에서 진행되고, 각 단계에 필요한 환원제와 에너지가 외부로부터 공급된다. 수소환원은 흡열반응이므로 수소의 환원력 확보를 위해 사전에 가열이 필요하고 고체 상태에서 환원이 이루어진다. 즉, 고로제철법과 달리 고체 환원철을 용해하기 위한 반응기가 별도로 구성되어야 하는데, 일반적으로 전력을 열에너지로 전환하여 사용하는 전기로가 적용된다. 따라서 수소환원제철은 고로제철에 비해 에너지 효율 측면에서는 다소 불리하지만, 제조 과정에서 수소와 전력을 사용하면 CO<sub>2</sub> 배출 없이 철강을 생산할 수 있어 철강업계에서는 비교적 가까운 장래에 CO<sub>2</sub> 배출 없이 고로제철 수준의 생산성을 확보할 수 있는 제철법으로 유일하다고 판단하고 있다.

그림 2  
고로제철법과 수소환원제철법의 비교  
출처: 포스코 기술연구원 내부자료



## 수소환원제철법 구분

- 광석환원반응기 수소환원제철법은 광석환원 반응기와 환원광을 용해하는 전기로의 형태에 따라 구분된다.

광석환원 반응기는 철광석을 10~20mm의 구형으로 가공한 철광석 펠릿을 사용하는 Shaft환원로와, 가루 형태의 분철광석을 사용하는 유동환원로로 구분할 수 있다.

- Shaft환원로에서는 층층이 쌓인 펠릿들이 아래로 내려가고 환원가스가 펠릿들 사이를 통과하여 위로 올라가면서 환원이 진행된다.
- 한편, 유동환원로는 1개의 반응기로 이루어지는 Shaft환원로와 달리 다단으로 구성되는데, 분철광석들이 환원가스와 뒤섞인 상태에서 환원된 후 물과 같이 순차적으로 아래 반응기로 흘러내리는 과정을 통해 진행된다.

그림 3  
Shaft환원로와 유동환원로의 비교

출처: 포스코 기술연구원 내부자료



### 1. Shaft환원로

Shaft환원로는 현재 MIDREX, Energiron 등 기존 천연가스 기반의 환원철 제조 공법을 채택하고 있다. 수소환원 Shaft환원로는 MIDREX나 Energiron을 기반으로 하되, 환원가스를 천연가스에서 수소로 전환하는 방향으로 개발되고 있다. MIDREX는 기술 성숙도가 높아 전 세계에서 운영되는 천연가스 기반 환원로의 약 80%를 점유하고 있으나, 외부 리포머가 없는 Energiron이 향후 수소환원 전환에 유리하다고 평가하여 대부분 Energiron을 채택하고 있다.

표 3  
MIDREX와 Energiron의 비교

출처: 포스코 기술연구원 내부자료

	MIDREX	Energiron
가동 압력	상압	고압(약 6기압)
리포머 여부	천연가스를 환원가스로 개질하기 위한 별도의 리포머 구성 필요	환원로 내에서 환원철을 촉매로 하여 천연가스를 개질하는 셀프 리포밍 기술 적용

Shaft환원로는 설비와 조업 기술의 성숙도가 높고 50년 이상의 건설 및 가동 실적을 보유하고 있으며 연간 250만 톤 규모로 생산이 가능하나, 안정적인 조업을 위해서는 원료로 고품위 DR급 펠릿(Fe 함량 67% 이상, 맥석 2% 미만)이 필요하다. 저품위 고로용 펠릿(Fe 함량 65%)도 일부 사용하긴 하지만, 그 사용량은 전체의 10% 미만으로 제한된다.

앞으로 고품위 DR급 펠릿의 수요가 크게 증가할 것으로 전망되어 광산업체와 철강사를 중심으로 공급 능력을 확대하고 있지만, 향후 30년 이후에는 수요 대비 공급이 약 35% 이상 부족할 것으로 예상되고 있다.\* 또한 DR급 펠릿의 생산 지역은 중동과 남미 등에 편중되어 있으며, 해상 물동량이 4,500만 톤(전 세계 철광석 물동량의 4% 수준)에 불과하여 특히 아시아 지역에서는 Shaft 운영에 필요한 펠릿 물량 확보가 어려울 것으로 전망되므로 이를 극복할 대안으로 유동환원로 공정이 주목받고 있다.

\* BloombergNEF

## 2. 유동환원로

기존 유동환원로 공정은 고품위 분철광석을 환원시키고 이를 Pillow 형태로 고온 성형하여 전기로용 스크랩 대체제인 고품위 HBI를 제조하는 FINMET 공정, Circored 공정 등이 있다.

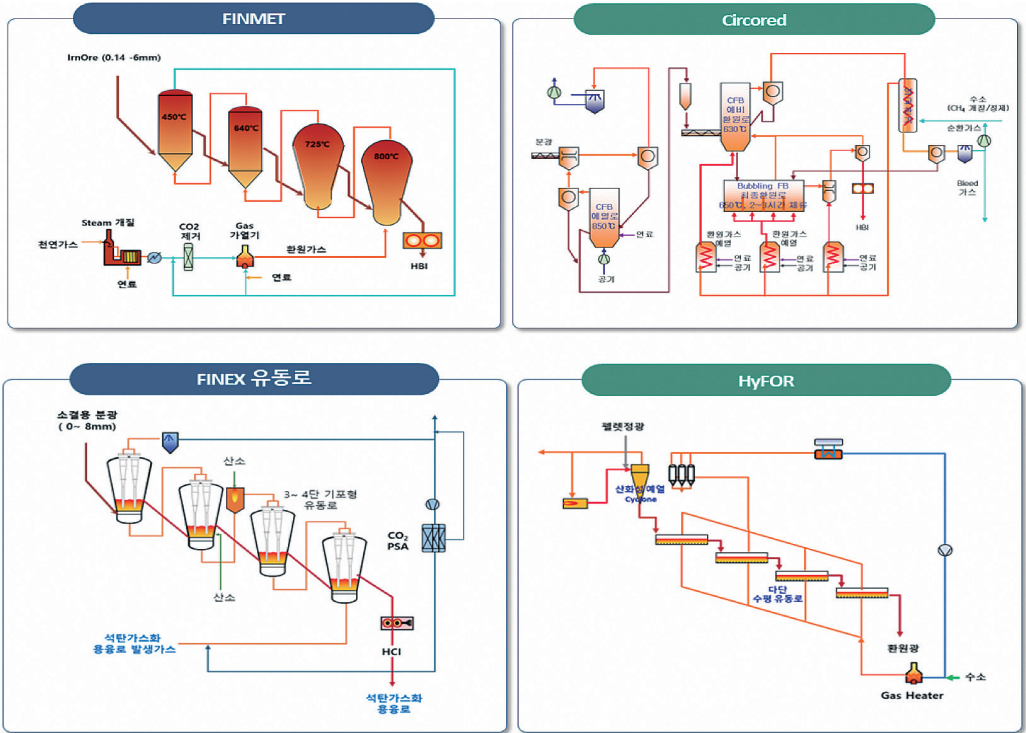
- FINMET 공정: 선광 과정을 통해 Fe 함량 69%, 맥석 성분 2% 이하로 분화된 0.15~6mm 입도의 분철광석을 4단의 기포형 유동환원로에서 환원시켜 분환원철을 제조한 후 이를 고온 상태에서 HBI로 가공
- Circored 공정: 분광 유동환원 공정으로 순환유동층형 예비환원로와, 수평기포유동층형 최종환원로로 구성
- FINEX 공정: 소결용 저품위 분광을 유동환원로에서 환원시킨 후 이를 석탄가스와 용융로에 장입하고 석탄을 순수소로 연소시켜 발생하는 열로 용해하여 고로와 유사한 품질의 용선 제조 가능
- HYFOR 공정: 자철광을 선광한 0.15mm 이하의 미분 자철 정광을 Pelletizing 등의 과성화없이 수소가스로 환원하여 환원철 제조 가능



그림 4

유동환원로 공정인  
FINMET 공정,  
Circored 공정,  
FINEX 공정,  
HYFOR 공정

출처: 포스코  
기술연구원 내부자료



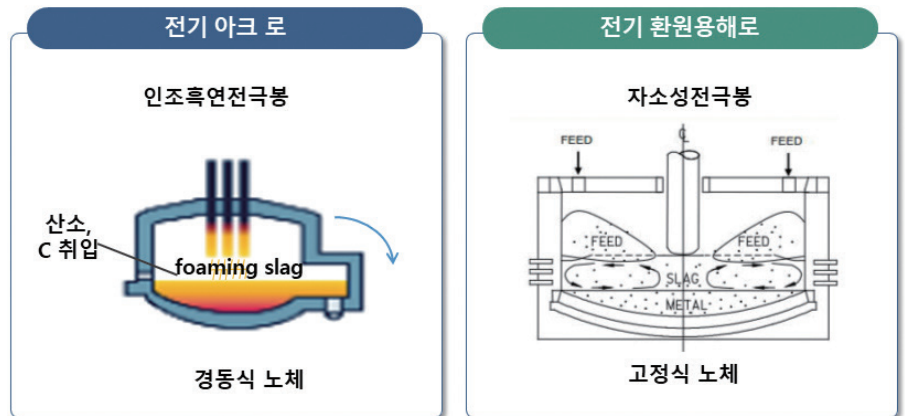
▪ 전기로 환원 반응기에서 배출되는 고온의 환원광은 전기로에 직접 공급되어 용해되며, 이에 적용할 수 있는 전기로는 스크랩 용해에 사용되는 전기아크로와 합금철 제조에 사용되는 전기용융로 등으로 구분할 수 있다.

- 전기아크로는 전극봉과 용융물 사이에 고전압을 인가하여 고온의 아크열을 발생시킨 후, 로 내에 환원철을 장입하여 용해
- 전기용융로는 페로니켈, 페로크롬 등 합금철 생산에 사용되는 전기로 형태로서 장입물의 저항열과 전극봉과 장입물 사이에 발생하는 브러시 아크열에 의해 장입물 용해

그림 5

전기아크로와 전기환원용  
해로의 비교

출처: 포스코 기술연구원  
내부자료



- 저품질 환원철 용해에 적용될 경우, 용강 제조를 기준으로 전기아크로와 전기용융로+전로의 공정 특징을 비교하면 다음 표와 같다.

표 4  
전기아크로와 전기용융로의 비교

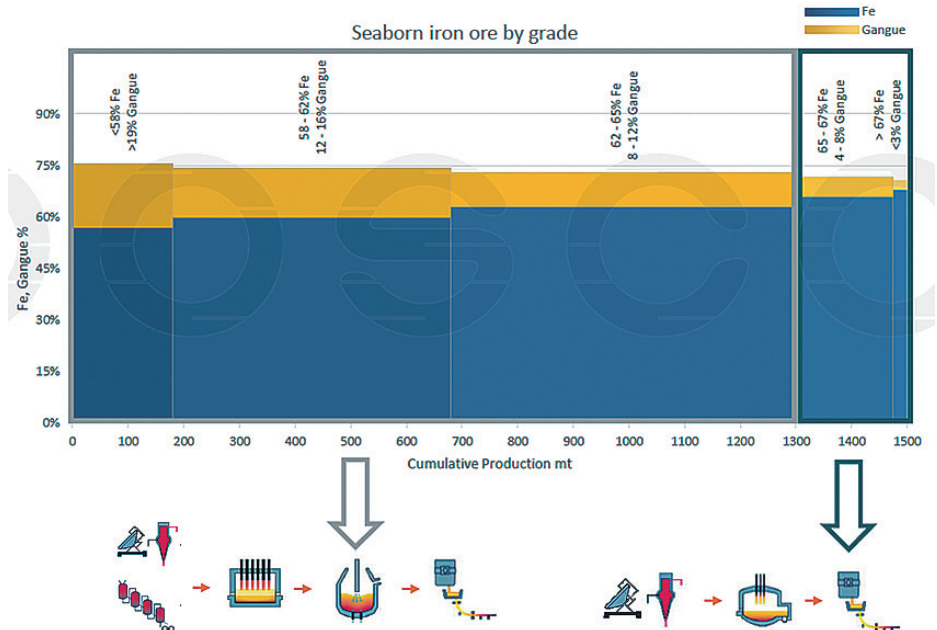
출처: 포스코 기술연구원  
내부자료

		전기아크로	전기용융로 + 전로	
반응		용해, 탈탄, 정련	용해, 환원	탈탄, 정련, 승열
슬래그	성상	- 슬래그 발생량 높음 - 고염기도(>1.6) - FeO 농도 높음	- 슬래그 발생량 낮음 - 저염기도(~1.0) - FeO 농도 낮음	- 슬래그 발생량 낮음 - 고염기도(3.5) - FeO 농도 높음
	용도	- 용도 제한 - 매립용	- 고로 Slag 용도: Cement 원료	- 전로 Slag 용도: 로 반재
Fe 회수율		낮음	높음	

- 수소환원제철법 수소환원제철법은 원료 수급 조건에 따라 환원반응기와 환원광 용해용 전기로의 조합이 필요하다. 고품위 DR급 펠릿 수급이 용이한 지역에서는 Shaft환원로와 전기아크로 조합이 유리하며, 저품질 펠릿 수급이 용이한 지역에서는 저품질 펠릿을 사용하는 Shaft환원로와 전기용융로의 조합이 유리하다. 한편 소결광용 분광을 원료로 사용하는 경우에는, 분광을 직접 사용할 수 있는 유동환원로와 저품질 환원광 용해에 적합한 전기용융로를 조합하는 것이 펠릿 제조 대신 풍부한 저품질 적철광 및 갈철광을 사용할 수 있어 원료 수급 및 제조원가 저감에 유리하다.

그림 6  
철광석 품위에 따른 수소환원제철 공정

출처: 미쓰비시중공업(2022)





## 2. 국내외 시장 동향

- 전 세계 직접환원철 생산량은 1970년대부터 지속적인 증가세를 보이는 가운데, 2022년 기준으로 전년 대비 7% 증가한 1억2,700만 톤을 기록했다.

그림 7

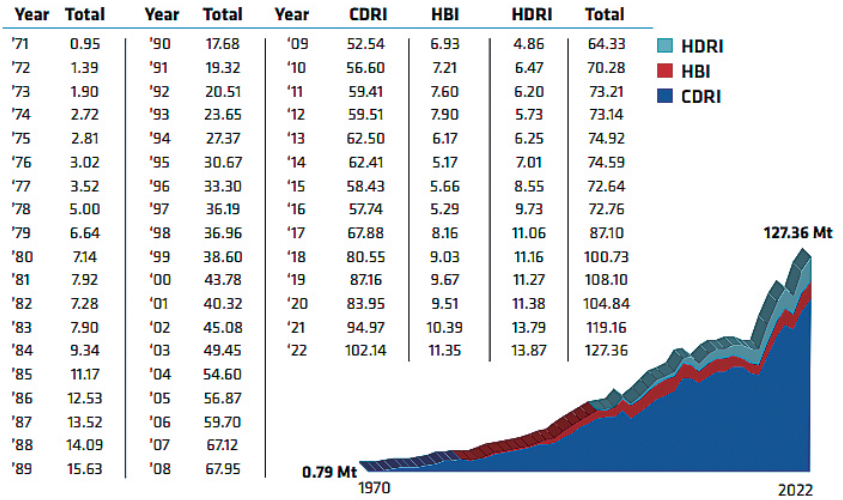
연도별 직접환원철 생산량의 변화

출처: MIDREX

Technologies, Inc.

### World DRI Production by Year (Mt)

Source: Midrex Technologies, Inc.



- 국가별로는 인도(3,911만 톤)와 이란(3,185만 톤)의 생산량이 가장 많으며, 두 국가가 세계 직접환원철 생산량의 59.5%를 차지
- 그 뒤로 러시아(789만 톤), 사우디아라비아(613만 톤), 멕시코(583만 톤) 순으로 생산 중

· 전 세계 직접환원철 무역량은 장기간에 걸쳐 지속적인 증가세를 기록하였으나, 코로나19의 여파로 2021년에는 다소 감소했다.

- 2019년과 2020년에 1천만 톤을 초과했던 세계 DRI 총 수출 규모는 2021년에 약 880만 톤으로 감소 추정
- 주요 수출국으로는 1위 러시아로 약 400만 톤을 수출하고, 2위는 이란으로 110만 톤, 3위는 인도로 67만 톤 규모

· 글로벌 시장에서의 거래 가격은 생산 방식이나 제품의 금속화율 등의 사양에 따라 다르기 때문에 정확한 가격을 파악하기는 어렵다. 하지만 가장 수출량이 많은 인도산 직접환원철의 수출 가격을 기준으로 변동 추이를 보면, 톤당 최고 678달러(2011년 11월)에서 최저 202달러(2016년 2월)를 기록한 적이 있고, 지난 10년간 평균 수출 가격은 톤당 336달러 정도 수준으로 파악된다.

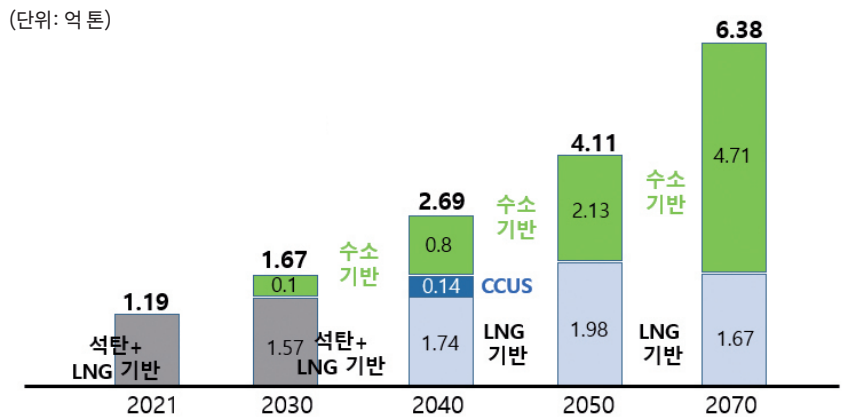
글로벌 직접환원철 생산 및 소비 전망은 각 전문기관별로 상이하지만, 2.7~4.1억 톤 수준으로 현재 대비 지속 상승할 것으로 보고 있다.

2022년 IIMA(국제철금속협회)에서는 세계 직접환원철 생산량이 지속적으로 증가하여 2030년 1.67억 톤, 2040년 2.69억 톤, 2050년 4.11억 톤, 2070년 6.38억 톤에 달할 것으로 예상했다. 생산 프로세스별로 살펴보면 2030년까지는 대부분 직접환원철이 석탄이나 천연가스 기반 프로세스를 통해 생산되겠지만, 그 이후에는 수소를 기반으로 한 친환경 생산 프로세스의 비중이 크게 증가할 전망으로 분석했다. 따라서 2030년에는 수소 기반의 직접환원철 생산량이 0.1억 톤, 2040년에는 0.8억 톤, 2050년에는 2.13억 톤에 이를 것으로 예상된다.

그림 8

세계 중장기 직접환원철의 생산 전망

출처: IIMA(2022)

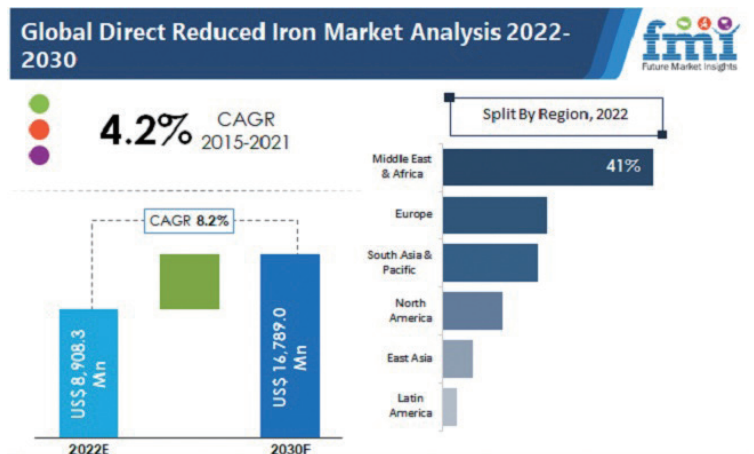


- 향후 10년간 글로벌 직접환원철 시장의 규모는 연평균 7.5~8.2% 수준의 성장을 지속할 것으로 예상된다. 직접환원철 시장 성장의 동인은 도시화 진전, 건설 등 인프라 투자 증가, 주요 전방산업인 자동차산업 및 GDP 성장, CO<sub>2</sub> 배출 억제, 고급 철강재 수용 증가에 따른 철강산업의 성장 여부 등인 것으로 분석된다.

그림 9

세계 직접환원철 시장의 규모와 전망

출처: Future Market Insights(2022)



- 국내 직접환원철 수입량은 최근 5년(2017~2021년) 연평균 33만 7천 톤 수준이었으나, 2022년 들어 수입량이 크게 늘어 50만 톤 이상 확대된 것으로 파악된다. 국내에는 현재 DRI 생산 시설이 없고 소비량 전량을 말레이시아 등에서 수입하고 있으며, DRI 수입량을 소비량으로 간주했다.

표 5  
국내 조강 생산량 및 주요 철원  
소비량, CO<sub>2</sub> 발생량 추정치

출처: 한국철강협회, 스틸투모로우

	조강 생산량(천 톤)		냉철원 소비량(천톤)		CO <sub>2</sub> 발생량 추정 (백만 톤)
		전기로	철스크랩	직접환원철	
2017	71,030	23,354	29,716	417	111.9
2018	72,464	24,183	29,793	449	113.5
2019	71,412	22,696	29,028	406	114.1
2020	67,079	20,820	26,100	163	107.7
2021	70,418	22,391	28,653	249	112.1
2022	65,856	20,751	27,416	548	105.2

- 직접환원철의 수요 전망은 국내 철강업의 제법별 생산 비중과 밀접한 연관이 있으며, NDC, 탄소중립 목표 달성을 위한 철강 제법 변화 전망에 따라 변동될 수 있음

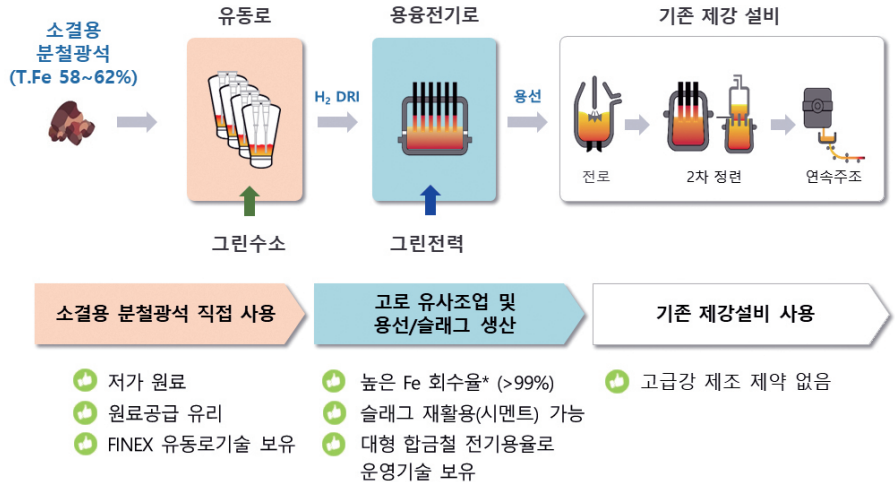
### 3. 국내외 기술 동향

- 고로 설비가 노후화되고 2034년 철강 분야 CO<sub>2</sub> 배출 무상할당제가 폐지되는 유럽에서는 고로 기반의 철강사들을 중심으로 수소환원제철법으로의 전환을 서둘러 진행하고 있다
  - 독일 Salzgitter社は 기존 3기의 고로-전로 설비를 Energiron Shaft환원로와 전기아크로로 전환하는 SALCOS(SALzgitter Low CO<sub>2</sub> Steelmaking) 프로젝트를 진행 중. 2025년 1기의 고로 전환하고 2030년까지 1기의 고로를 추가 전환한 후 2033년까지 전 고로를 2기의 Shaft환원로와 3기의 전기아크로로 전환하는 3단계 계획으로, 유럽에서 진행되고 있는 수소 공급망 구축 프로젝트와 연계하여 환원가스도 수소가스로 대체할 예정

- 독일 TKS(Thyssenkrupp Steel)사는 현재 가동 중인 4기의 고로를 3단계에 걸쳐 4기의 MIDREX Shaft환원로와 전기용융로 방식으로 전환하는 ‘tkH2Steel 변환 프로젝트’ 진행 중
  - ArcelorMittal은 고로의 일부를 Shaft환원로와 전기아크로로 전환하는 프로젝트를 진행 중
  - 네덜란드의 Tata Steel Europe은 현재 가동 중인 2기의 고로를 2단계에 걸쳐 Shaft환원로와 전기용융로 방식으로 전환하는 ‘Zeremis Carbon Lite’ 프로젝트 진행 중
  - 스웨덴의 SSAB사는 원료사인 LKAB와 전력사인 Vattenfall과 HyBRIT(Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology)를 결성하여 화석연료를 사용하지 않고 철강을 생산하는 공정 개발에 착수. 2020년에 1ton/hr 규모의 100% 수소환원 Shaft환원로 시험공장을 건설하여 수소환원철을 시험 생산했으며, 다시 전기아크로에서 용해하는 시험을 실시하여 이를 바탕으로 2025년에 LKAB사의 광산 근처 Gällivare 지역에 연산 130만 톤 규모의 데모공장을 건설할 계획
  - H2Green Steel은 재생에너지와 고급 펠릿 공급이 가능한 스웨덴 Boden 지역에 100% 수소환원 Shaft환원로인 MIDREX-H2와 전기아크로로 구성된 수소환원제철 공정과 이에 연결되는 철강재 하공정을 건설 중
- 대형 고로를 운영하는 일본의 경우에는 정부가 4.5조 원의 GI(Green Innovation) 기금을 조성하여 고로社들의 탈탄소 기술 개발을 지원하고 있다. 현재 일본 고로社들은 기존 고로에서의 탄소저감기술 및 스크랩 전기아크로를 활용한 고급강 제조 기술 개발에 중점을 두고 있으며, 수소환원제철 기술은 장기적 과제로 추진하고 있다.
    - 일본제철(Nippon Steel)은 GI 기금 1.1천억 엔을 활용해 2024년 4월 파일럿 Shaft환원로 설비 계약을 체결했고, 저품질광 사용을 위한 전기용융로 기술 개발도 추진 중
  - 중국은 대형 국영 철강사들 대상으로 탈탄소 전환을 지원하고 있으며, 정부의 지원으로 바오우[宝武集团]와 헤강[河钢集团]을 중심으로 다양한 저탄소기술 개발이 추진 중이다.
    - 2023년도부터 바오우, 헤강 그룹을 중심으로 저탄소 설비 전환을 위한 신공정 Route 중 하나로 Energiron Shaft환원로를 도입하여 기술 내재화 진행

- 우리나라는 전 세계에서 가장 풍부하고 경제적인 소결용 분광을 직접 사용할 수 있는 한국형 수소환원제철 기술 개발을 추진 중이다.
  - 포스코가 보유하고 있는 대형 유동환원로 기술과 저급 광석으로부터 효과적으로 용선을 제조할 수 있도록 전기용융로 기술로 구성
  - 유동환원로는 기존 석탄가스 사용에서 수소 사용으로 전환됨에 따라 달라지는 부분에 대한 기술 개발과 대형 합금철용 전기용융로 운영 경험을 기반으로 이를 분환원철 성상 및 용해 특성에 맞추어 재설계하는 기술개발을 진행 중

그림 10  
한국형 수소환원제철의 개념 및 특징  
출처: 포스코 기술연구원 내부자료



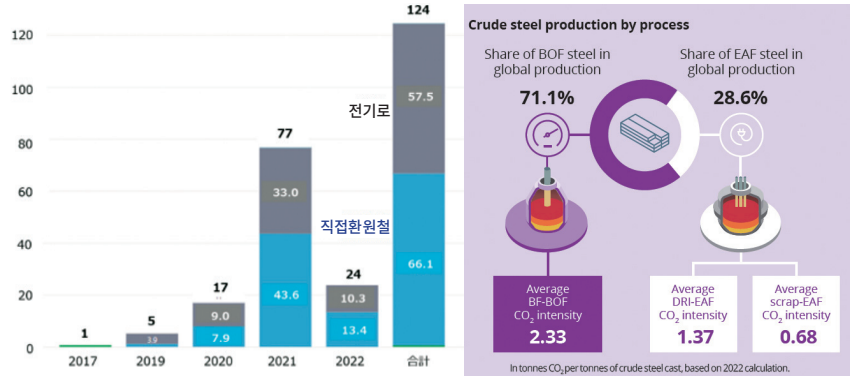
## 4. 시사점

- 전 세계적으로 지구 온실가스 배출량 저감을 위해 친환경 저탄소 제철기술 개발 경쟁이 가속화되고 있는 가운데 DRI/HBI를 이용하는 프로세스가 우위를 이룰 것이라는 전망이 우세해지고 있다. DRI/HBI는 전기로와 기존 용광로에 장입이 가능한데, 90% 이상 금속 화되어 있어 용융 공정만 거치면 되기에 기존 철광석 대비 환원제 소비가 줄어드는 효과가 있다. 또한 추후 천연가스 기반의 DRI 제조 방식을 수소로 전환하게 될 경우 온실가스 배출량을 조강 톤당 0.5t-CO<sub>2</sub>/t-steel 미만으로 줄일 수 있다.
  - 고로 프로세스의 경우 CO<sub>2</sub> 배출량이 톤당 2.1t-CO<sub>2</sub>/t-steel 수준
  - 유럽을 비롯하여 전 세계적으로 상용화를 목표로 추진 중인 저탄소 철강 생산 프로젝트의 생산 능력 합계는 2030년까지 1억 톤을 초과하는 것으로 전망됨. 그 중 직접환원철(DRI/HBI) 방식의 추가 생산 능력은 6,600만 톤에 이를 것으로 보임.

그림 11

세계 저탄소 철강 생산 프로젝트  
계획(좌), 철강 생산 프로세스별  
온실가스 배출량 비교(우)

출처: 일본 자연에너지재단(좌),  
World Steel(우)



국내 철강산업의 중장기 탄소중립 목표 달성을 위해서는 저탄소 철원인 철스크랩과 직접 환원철 사용량 확대가 반드시 필요할 것으로 보인다. 다만 향후 국내 수요의 경우 실질 적으로 얼마나 증가할지는 조강 생산, 제법별 비중, 철스크랩 수급 여건, 수소환원제철 기술의 상용화 시점 등의 변수에 따라 다양한 견해가 존재한다.

수소환원제철은 CO<sub>2</sub> 발생을 근본적으로 방지함으로써 현재 철강산업이 당면하고 있는 최대 과제인 탄소중립의 실현에 큰 기여가 가능하다. 또한 현존하는 기술을 기반으로 하고 있어 기술 개발 및 상용화 리스크가 낮을 뿐 아니라 대량생산이 필요한 철강산업에 적합하다. 이에 전 세계 주요 철강사들은 자신들의 원료 조건과 기술 환경에 맞추어 수소환원제철로의 전환에 가능한 공정들을 도입하거나 새로운 공정을 개발하고 있다.

그러나 수소환원제철이 진정한 탄소중립 역할을 하기 위해서는 CO<sub>2</sub>-free 수소와 전력의 안정된 공급이 필수적이다. 또한 수소환원제철법으로 생산된 철강재가 OEM社에서 사용 되기 위해서는 수소와 전력이 경제적으로 공급되어야 하며, 제조원가 상승에 따른 가격 프리미엄이 형성되어야 할 것으로 전망된다.

## 출처 및 참고자료

---

1. 안희수, “저탄소 철강으로 가는 길: 변화의 First Mover은 누가 될 것인가”, eBEST투자증권, 2023.10.11.
2. “Breakthrough Pathways to Decarbonize the Steel Sector”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, vol. 59 no. 4, 2022.12.: [mhi.co.jp/technology/review/pdf/e594/e594120.pdf](http://mhi.co.jp/technology/review/pdf/e594/e594120.pdf)
3. Nikhil Kaitwade, “Direct Reduced Iron Market to Reach Worth US\$ 16,789.0 Mn by 2030 – FMI”, Future Market Insights, 2023.01.
4. World Steel in Figures 2024, World Steel Association; [worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024](http://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024)
5. 김민희, “포스코, 수소환원제철 주도 자신감... “유동환원로 우수성 알릴 것””, 데일리안, 2021.09.29.: [dailian.co.kr/news/view/1036993](http://dailian.co.kr/news/view/1036993)
6. BloombergNEF, “Decarbonizing Steel: A Net-Zero Pathway”, 2021.12.01.: [ismr.net/decarbonising-steel-net-zero-pathway](http://ismr.net/decarbonising-steel-net-zero-pathway)
7. BloombergNEF, “Direct Redcution Iron Ore: A Green Steel Bottleneck”.
8. International Iron Metallics Association; [www.metallics.org](http://www.metallics.org)
9. 自然エネルギー財団; [www.renewable-ei.org](http://www.renewable-ei.org)
10. [steeltomorrow.co.kr](http://steeltomorrow.co.kr)
11. [www.kosa.or.kr](http://www.kosa.or.kr)

이건훈 세라믹 PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실

김형준 수석 | 한국세라믹기술원 엔지니어링소재센터

신용관 연구위원 | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실

## 요약

- 최근 동향

3차 산업을 이끌었던 컴퓨터·인터넷 기술은 4차 산업혁명을 촉진시키고 AI 기술을 핵심 동인으로 하여 상품 서비스의 생산·유통·소비 전 과정에서 모든 것이 연결되고 지능화되었다. 이에 따라 반도체 시장은 고성능 컴퓨팅(HPC: High performance computing)을 중심으로 한 비메모리 반도체가 견인하고 있다. 특히 인공지능 시스템에서 대용량 빅데이터의 효율적 처리(speed/cost)를 위해서는 고성능 메모리·GPU·CPU 등 반도체 패키지가 필요하다. 반도체 FAB 공정기술을 통한 성능 및 집적도 개선은 한계에 봉착했으며, 특히 28nm 이하 반도체 FAB 공정 투자 비용 증가로 인해 패키지 공정 투자가 경제적인 것으로 분석된다.
- 기술의 개념

유리기판 소재 공정기술은 고성능 메모리·GPU·CPU 반도체 패키지에 필요한 대면적 구현이 가능하고 고밀도 적층을 위한 유리기판 소재 및 가공 기술이다. 플라스틱 기판에 비해 평탄도가 우수하여 미세 배선이 유리하고, 실리콘 기판에 비해 전기적 손실이 적을 뿐 아니라 열팽창계수를 최적화하여 대면적 기판에서의 신뢰성 향상이 가능한 기술이다.
- 기술 요약

유리기판 소재 및 공정기술은 고성능 컴퓨팅(HPC)을 위해 반도체 실리콘 인터포저(반도체 공정)와 플라스틱 기판(PCB 공정)을 일체화시키고 수동소자 내장形 3차원 구조를 고밀도 적층한 기술을 의미한다.
- 시사점

최근 HPC의 급격한 확대 보급에 따라 관련 고집적 패키지 기술에 대한 국내 산업 공급망 및 생태계가 시급히 확보되어야 한다. 그러나 핵심 기초 소재인 박판 유리기판



제조기술은 100% 해외 수입에 의존하고 있어 관련 기술의 조속한 확보가 요구된다. 유리기판을 이용한 고밀도 배선 패키지 기판은 플라스틱 소재 기반 패키지 기판이 가진 패턴 밀도의 한계와 신뢰성 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 본고에서는 차세대 반도체용 글라스 패키지 제조기술의 정의, 등장 배경, 시장 전망, 기업 등 종합적인 동향을 공유하고자 한다.

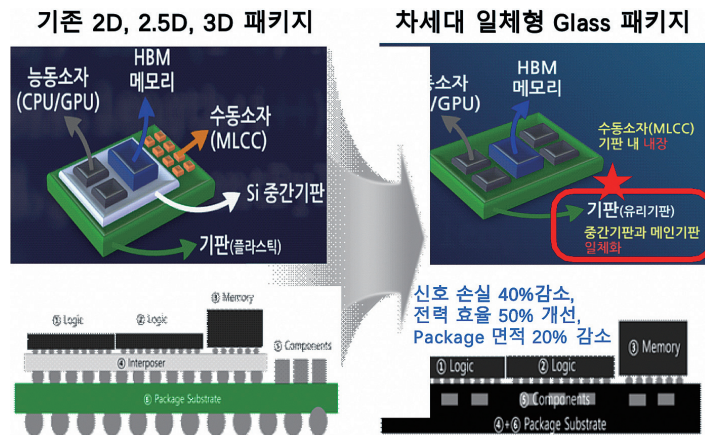
## 1. 유리기판 소재 공정기술의 개요

### 기술의 개념

유리기판 소재 공정기술은 고성능 메모리·GPU·CPU 반도체 패키지에 필요한 대면적 구현이 가능하고 고밀도 적층을 위한 유리기판 소재 및 가공 기술이다. 플라스틱 기판에 비해 평탄도가 우수하여 미세 배선이 유리하고, 실리콘 기판에 비해 전기적 손실이 적을 뿐 아니라 열팽창계수를 최적화하여 대면적 기판에서의 신뢰성 향상이 가능한 기술이다.

즉, 고성능 컴퓨팅(HPC)을 위해 반도체 실리콘 인터포저(반도체 공정)와 플라스틱 기판(PCB 공정)을 일체화시키고 수동소자 내장형 3차원 구조를 고밀도 적층한 기술을 의미한다.

그림 1  
저유전손실 유리기판 소재 적용  
차세대 패키징 기술의 개념도  
  
출처: SKC(2022) 자료 재가공



### 기술의 범위

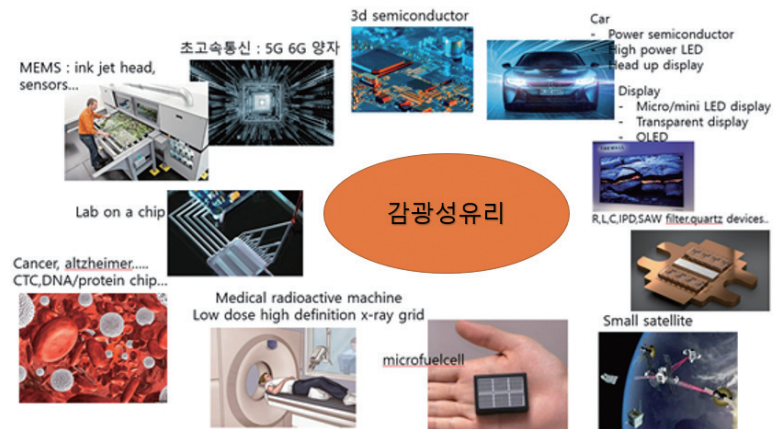
#### ▪ 유리기판 소재

반도체 패키징용 유리기판 소재는 저유전손실 붕규산 유리 및 알루미늄규산계 유리 소재를 박판 형태로 제조 및 가공하여 반도체 고집적 유리 패키징 부품과 device에 적용하는 것이다.

패키징용 유리기판은 현재 Corning, AGC, Schott, NEG 등 소수 해외 기업들이 기술을 독점하고 있으며, 우리나라는 100% 수입에 의존하고 있다. 미국 Corning社의 경우 붕규산(BS: Borosilicate)·알루미노규산(AS: Alumino-silicate) 유리를 공급하고 있으며, 독일 Schott社의 경우 붕규산·알루미노규산·소다석회·감광성 유리와 결정화 유리 등 다양한 조성의 유리 소재를 공급하고 있다. 특히 붕규산 유리는 대표적인 저열팽창 유리 소재로서 석영 유리, 소다라임 유리 및 알루미노규산 유리 등 다른 유리 소재 대비 열팽창계수가  $30\sim 60 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 로 제어 가능하여 자유로운 동시에 주요 구성 성분이 SiO<sub>2</sub>와 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 기본적으로 저유전 특성을 지니고 있어 고집적 패키징용 핵심 소재로 사용되고 있다. 한편 RF용 안테나와 바이오칩용 감광성 결정화 유리는 Schott가 주로 제공하고 있다. 감광성 유리는 독일, 미국, 일본 등에서 이미 20여 년 전부터 적용하고 있으며, 대표적인 상품으로는 Epson의 잉크젯 프린터 헤드에 있다.

그림 2  
감광성 유리의 응용 분야

출처: 글리안



유리기판은 주로 wafer와 panel 형태로 WLC, TGV interposer, WL optics (Lens와 DOE), IR cut filter, 글라스 캐리어 등 소자의 종류나 기능에 따라 형상을 달리해 적용되고 있다.

그림 3  
반도체 소자별로 사용되는 유리의 종류

출처: Yole Group

Applications Functionality	Device								Package type
	Actuators & Sensors	CIS Imaging	Memory	Logic	RF devices	Power	Photonic devices	μfluidics/ Biochips	FO WLP
Glass-based product	Permanent Substrate	Borosilicate HPFS	Aluminosilicate			Borosilicate HPFS	Borosilicate	Borosilicate Aluminosilicate	Borosilicate (D263) HPFS
	WLC	Borosilicate alkaline doped-materials	Borosilicate			Borosilicate	Borosilicate		Borosilicate (D263)
	TGV interposer	Borosilicate	Borosilicate	Alkali-free	Alkali-free	Borosilicate >20GHz HPFS Glass ceramic (<20GHz)	Borosilicate	Borosilicate	Borosilicate (D263) HPFS
	WLOptics		Borosilicate						
	Lens								
	DOE		HPFS						
Glass based process	IR cut filter		Borosilicate D263 Blue glass						
	Glass carriers	Borosilicate Aluminosilicate		Alkali-free	Alkali-free		Alkali-free		Wafer: Borosilicate, Aluminosilicate Panel: soda lime

그림 4

반도체 소자별 유리기판의 형상

출처: Yole Group



제조사	품명	조성계*	유전상수** (20 or 24GHz)	loss (10 <sup>-4</sup> )	탄성계수 (GPa)	열팽창계수 (10 <sup>-6</sup> /°C) (@20~300°C)	Tg or Tst**** (°C)
Schott	D263® T eco	BS	6.3	210	72.9	7.2	557
	AF32® eco	BAS	5.1	90	74.8	3.2	717
	AS87® eco	AS	7.2	330	73.3	8.7	621
	MEMpax®	BS	4.4	130	62.7	3.26	532
	Borofloat® 33	BS	4.5	120	64	3.25	525
	Foturan® II	PGC @560°C	5.9	146	76.6*** ➔ 83	8.49***	455***
	Foturan® II	PGC @810°C	5.4	105			
Corning	SGW3	BAS	5.0	70	73.6	3.17	669
	SGW7.6	AS	7.1	270	69.3	7.58	574
	SGW8				71.5	8.14	599
	SGW8.5		6.9	230	71.7	8.45	563

표 1

반도체 패키징용 글라스 기판의  
제조사별 주요 물성

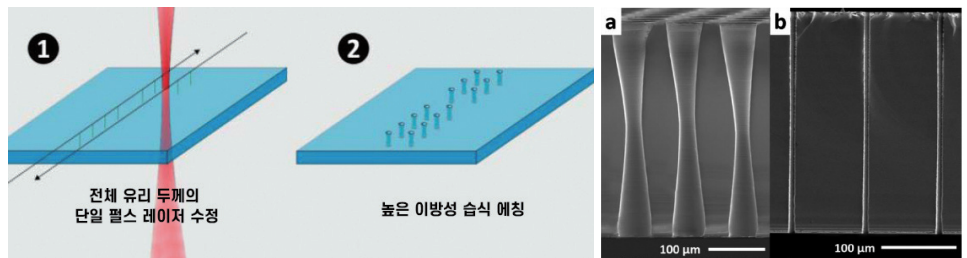
출처: schott.com(2019),  
corning.com(2015)

- \* BS: Borosilicate, AS: Aluminio-silicate, BAS: Boro-aluminosilicate, PGC: photosensitive glass-ceramics
- \*\* Schott社 24GHz, Corning社 20GHz
- \*\*\* 결정화 전 유리 상태
- \*\*\*\* Schott社 Tg(유리전이온도), Corning Tst(스트레인점), 일반적으로 Tg>Tst

- 유리기판 가공 패키징용 유리기판에 대한 홀 가공 기술은 유리 종류별로 차이가 있다. 붕규산, 알루미늄규산, 소다석회(SL: Soda lime) 등에는 레이저 가공 방식을 적용하고, 감광성 결정화 유리에는 MEMS 공정과 유사하게 노광·화학 에칭 방법이 적용되고 있다.

일반적으로 유리기판에 대한 정밀 레이저 가공 방법은 Laser Induced Deep Etching(LIDE) 기술이 사용되는데, LPKF Laser & Electronics AG社에서 개발된 2-step 공정으로서 고비용/장시간 공정기술인 마스크나 노광 공정 없이도 정밀 via hole pattern 구현이 가능하다. Pulsed laser를 이용해 유리기판의 전체 두께 방향으로 변화를 준 뒤, wet etching을 통해 laser가 조사된 부분의 다른 식각 속도를 이용하여 매우 정밀하고 유리에 따라 100:1 수준까지 높은 aspect ratio를 가진 via hole 구조를 제조할 수 있다.

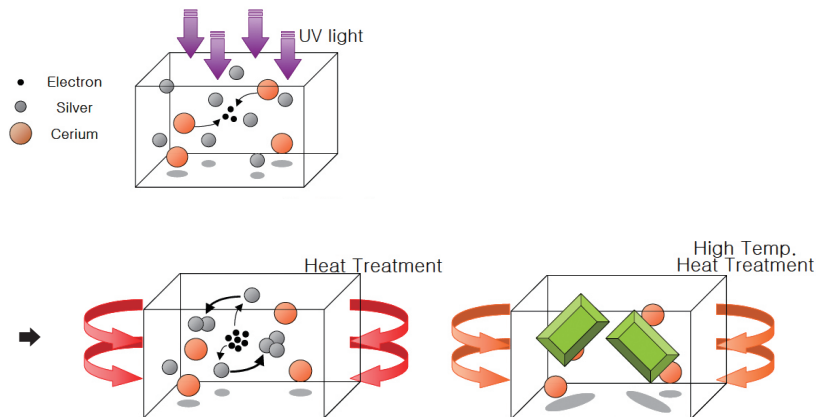
그림 5  
LIDE 2단계 공정  
개략도(좌) 및 이를 통해  
제조된 유리기판 내  
TGV의 SEM 이미지(우)



감광성 AS계 결정화 유리의 가공 방법은 핵 형성제인 은 이온과 광 증감제인 Ce 이온을 함유한 LAS계 유리에 자외선 조사 후 열처리하면 LS(Lithium silicate) 결정이 생성된다. LS 결정은 HF에 대해 주변의 유리보다 10배 이상 빠른 속도로 식각이 되어 노광된 형태대로 복잡 패턴을 형성하는 방식이며, 일반적인 positive 방식이라 할 수 있다.

그림 6  
감광성 유리 결정화 기구

출처: 화학가공 감광성 결정화  
유리에 대한 연구, 김형준(2000)

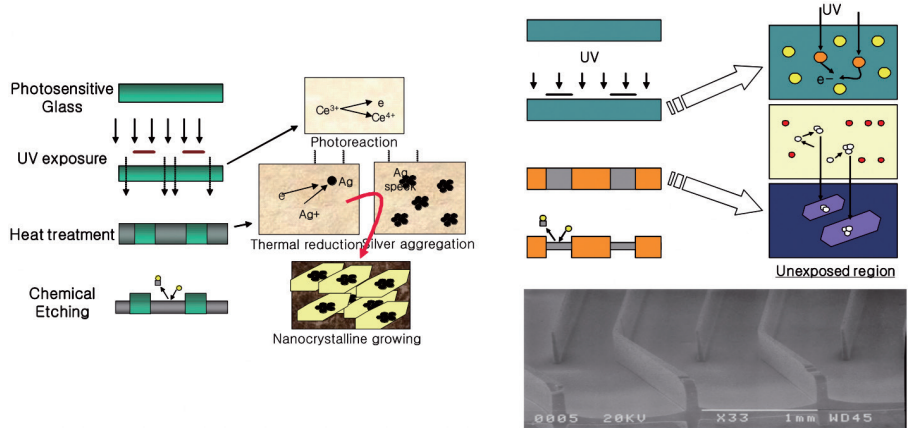


감광성 AS계 결정화 유리를 이용하여 패턴을 만드는 기술은 노광 후 식각되는 부분에 따라 구분되는데, 노광 부분이 에칭되면 positive이고 비노광 부분이 에칭되면 negative로 분류한다. negative가 positive에 비해 3배 정도의 고해상도로 구현되며, 국내 중소기업이 원천기술을 보유하고 있다.

그림 7

감광성 결정화 유리의 패턴 성형 방식

출처: 글리안



(a) positive

(b) negative

유리기판이 적용되는 부품 및 시스템

유리기판이 적용되는 부품 및 시스템에는 유리기판이 적용되는 부품 및 시스템에는 FO-WLP 반도체 패키지, 액추에이터와 센서, 이미지 센서, 메모리, 로직, RF device, 전력소자, 광학소자, 마이크로 유체 바이오칩 등이 있으며, [그림 2]에서 응용 분야를 나타냈다.

표 2

저유전손실

박판유리기판 소재



현재	지향 방향
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 붕규산 계열 유리기판 제조업체 전무</li> <li>- 1.1mm 이하 알루미늄규산염 박판유리 공정기술은 외국계 회사(코닝, Schott, 아사히, NEG)만 보유</li> <li>- 패키징용 유리기판 전량 수입</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 붕규산 및 알루미늄규산계 유리 조성 확보 필요</li> <li>- 1.2mm 이하 두께의 붕규산 및 알루미늄규산 유리 성형 제조라인 확보 필요</li> </ul>

표 3

반도체 고집적 유리 패키징 부품

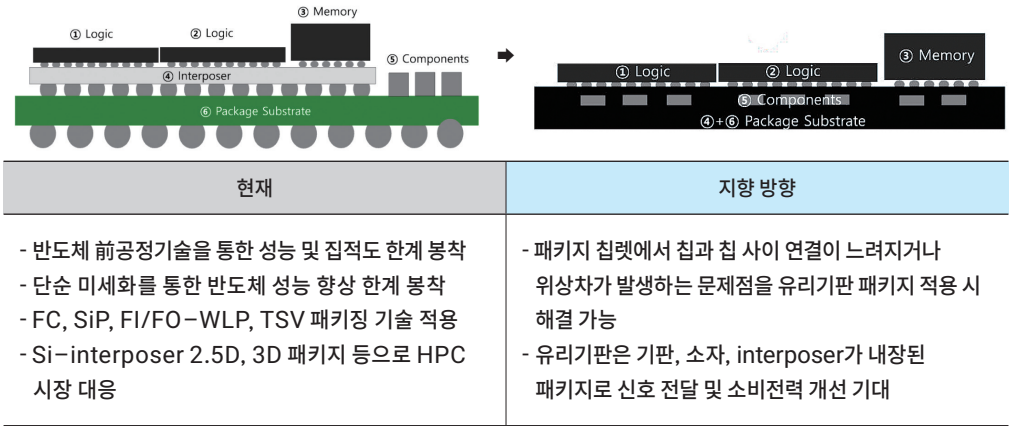
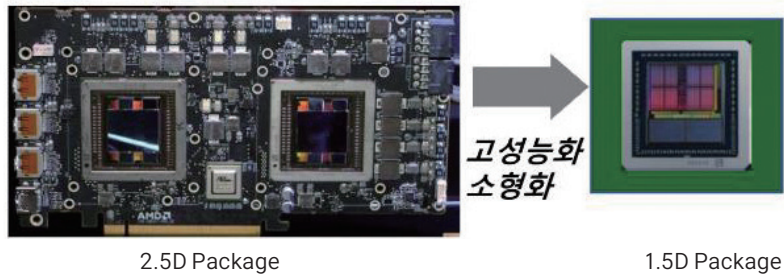


표 4

end product (그래픽카드, AI 컴퓨팅 Device 등) 및 활용 분야 기술



현재	지향 방향
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2.5D/3D 패키지는 모바일 기기의 베이스밴드 칩과 AP(애플리케이션 프로세서) 핵심 패키지</li> <li>- 보다 얇고 고효율의 패키지 기술 요구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고속통신 애플리케이션, 고성능 컴퓨팅을 위해 적은 소비전력으로 최고 성능 요구</li> <li>- 인터포저+PCB로 일체화된 반도체 유리 패키징을 위한 유리기판 자립화를 통한 공급사슬 체계 구축</li> </ul>

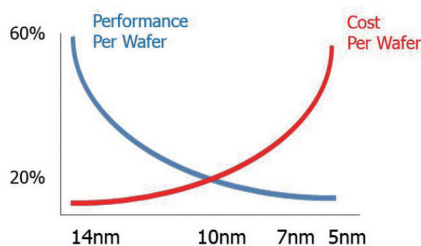
### 기술의 등장 배경

반도체 FAB 공정기술을 통한 성능 및 집적도 개선은 한계에 봉착했으며, 특히 28nm 이하 반도체 FAB 공정 투자 비용 증가로 인해 패키지 공정 투자가 경제적인 것으로 분석된다.

그림 8

현재 반도체 웨이퍼 시장의 한계

출처: SKC(2022)



첨단 반도체 Node의 한계

➔ 가격 대비 성능의 문제점 대두

➔ 수율의 문제점



\* FC(Flip Chip), SiP(System in Package), FI/FO-WLP(Fan In/Fan out-Wafer Level Package), TSV(Through Silicon Via)

단순 미세화를 통한 반도체 성능 향상의 한계 봉착으로 FC, SiP, FI/FO-WLP, TSV\* 등 패키징 기술이 개발되었다. 저전력·고성능·소형화를 위해 미세공정의 대안으로 패키징 기술의 중요성과 고성능 패키징 기판 소재에 대한 혁신이 요구되고 있다. 또한 칩렛 디자인의 문제점으로 지적되는 여러 개로 분리된 칩 사이의 연결이 느려지거나 위상차 발생 가능성을 극복할 수 있도록 여러 개의 칩렛을 빠르게 연결할 수 있는 기술 개발이 필요했다.

그림 9  
반도체 패키징 트렌드  
(첨단 패키징 기술 중심)

출처: SKC(2022)

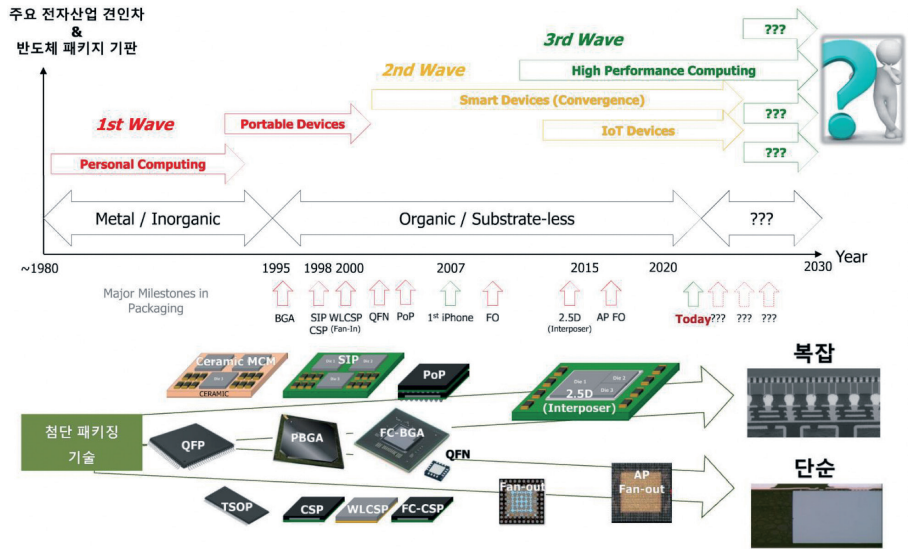
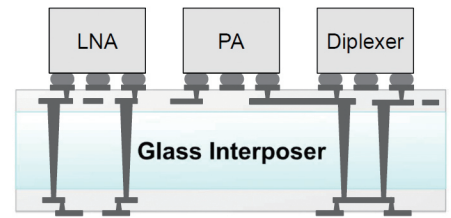
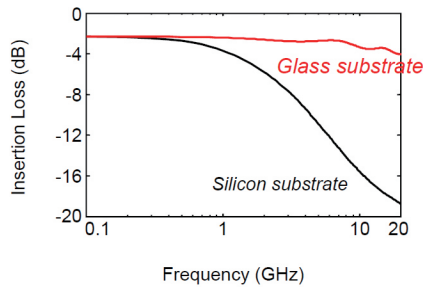


그림 10  
차세대 RF FEM\*\*의  
주파수(28GHz)에 따른 유리  
인터포저의 필요성

출처: Glass Interposer  
model and RF FEM\*\*(wifi,  
5G 28GHz), 박갑열(2018)



[ RF FEM Based on Glass interposers ]

\*\* FEM(Front End Module): 휴대 전화 내 안테나와 알에프IC (RFIC) 단을 연결해 송수신 신호를 분리하는 역할, 필터링 및 증폭 역할을 하는 모듈로서 수신신호 필터링 필터를 내장한 수신단 FEM, 송신신호를 증폭하는 전력증폭기(PA) 내장 송신단 FEM으로 구분되며, 휴대 전화 송수신을 자유롭게 하고 다양한 환경에서 통화를 가능케 하는 기술

## 2. 국내외 시장 동향

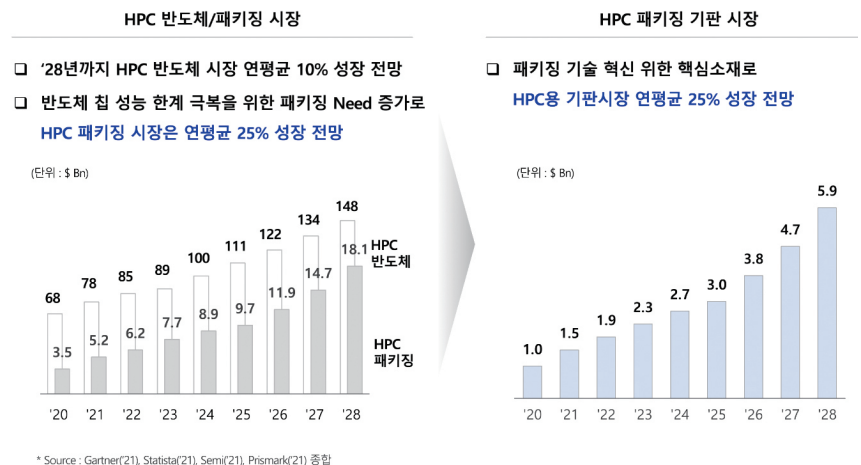
기존 고성능 반도체 패키징용 기판소재의 단점으로 지적되는 고주파 대역의 높은 삽입 손실(-20dB 이상), 높은 표면조도, 낮은 기계적 강도 및 내열성을 극복하기 위해서 유리기판 적용이 요구되었다[표 3]. 또 실리콘 인터포저에 요구되는 면적이 점차 확장됨에 따라 제작 비용이 기하급수적으로 증가하기 때문에 대면적 구현이 용이한 유리기판이 대안으로 제시되고 있다. 유리기판은 대면적 구현이 가능하면서 플라스틱 기판에 비하여 평탄도가 우수하여 미세 배선에 유리하고 실리콘 기판에 비해 전기적 손실이 적다는 장점이 있으며, 열팽창계수를 최적화하여 대면적 기판에서의 신뢰성 향상이 가능하다. 현재 유리 패키지 적용 시 배선 및 적층 절연 소재 및 공정 개발이 미진하며, 유리 자체의 취성을 극복할 수 있는 공정기술의 개발이 요구된다. 또 박판 유리기판 소재는 현재 Corning, AGC, Schott, NEG 등 해외 소수 기업들이 기술을 독점하고 있으며, 100% 수입에 의존하는 실정으로 국내 산업 공급망의 안정성 확보를 위해서는 국내 제조기술 확보가 시급히 진행되어야 한다.

HPC 반도체 시장은 시장조사기관에 따라 차이가 있으나 2028년까지 연평균 10% 성장이 전망되고 있으며, 반도체 칩 성능의 한계 극복을 위한 패키징 수요 증가로 인해 HPC 패키징 시장은 연평균 25% 이상 성장할 것으로 기대된다. 이에 따른 HPC 패키징용 기판 시장 또한 연평균 25%씩 성장한다면 2028년 약 59억 달러 규모가 될 것으로 예상하고 있다(그림 11). Business Research Insight에 따르면 이 중 유리 웨이퍼 시장은 2028년까지 연평균 5.1%씩 성장하여 규모가 5.732억 달러로 추정하고 있다.\*

\* Business Research Insights(2023), [2023~2030] 반도체 유리 웨이퍼 시장 규모·동향·연구 보고서(2023.09.25.)

그림 11  
HPC 반도체/패키징  
기판 시장 전망

출처: Gartner(2021),  
Statista(2021),  
Semi(2021),  
Prismark(2021) 재구성





### 3. 국내외 기술 동향

### 해외 기술 동향

- HPC용 패키징 기술은 시스템반도체 시장에 대한 지배력이 높은 대만 TSMC의 2.5D 방식이 주로 사용되고 있으며, 반도체 소자(chipset) 간 거리를 단축하여 성능을 개선하고 있다.

그림 12

HPC 패키징 구조의 분류

출처: SKC(2022)

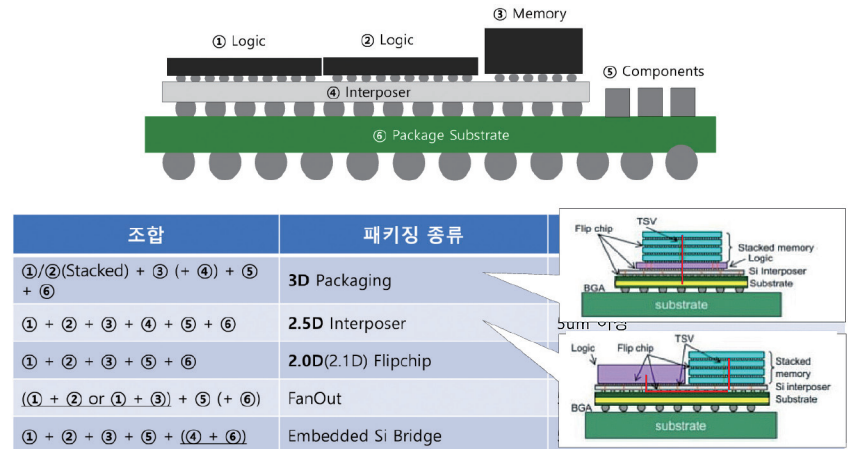
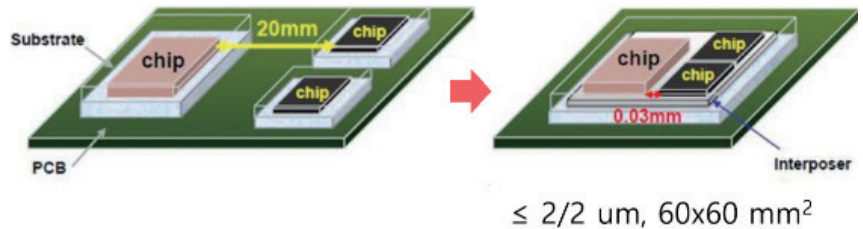


그림 13

TSMC의 HPC용 2.5D 패키징(CoWoS, Chip on wafer on substrate)

출처: AnandTech



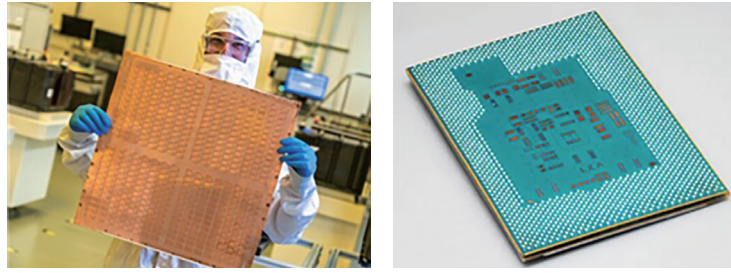
- 미국의 인텔은 반도체 기판의 폼팩터가 대형화됨에 따라 플라스틱 기판이 한계에 도달했다고 판단하여 휜 변형 관리와 조립 수율 등의 확보를 위해 지난 10년간 유리기판 개발에 10억 달러 규모로 투자했다. 현재 애리조나 팸에 R&D 센터를 운영 중이며, 2030년 내에 유리기판을 이용한 패키지 제품 출시를 발표한 바 있다\*\*. 유리기판의 고온 내구성으로 인해 패턴 왜곡 발생률이 50% 낮고 평탄도도 매우 낮아 리소그래피의 초점 심도를 개선할 수 있다. 또 매우 촘촘한 레이어 간 인터커넥트 오버레이에 필요한 구조적 안정성을 갖추고 있으며, 이로 인해 유리기판에서 인터커넥트 밀도를 10배 높일 수 있다. 인텔은 유리가 가진 개선된 기계적 특성으로 인해 매우 높은 조립 수율로 초대형 폼팩터 패키지 구현이 가능할 것으로 기대하고 있다.

\*\* THEELEC, 인텔, 2030년 內 ‘글라스 기판’ 상용화 (23.9.18)

그림 14

인텔의 조립·테스트 공장(좌) 및  
조립된 유리기판 테스트 칩 후면의  
볼 그리드 어레이(BGA)(우)

출처: 인텔

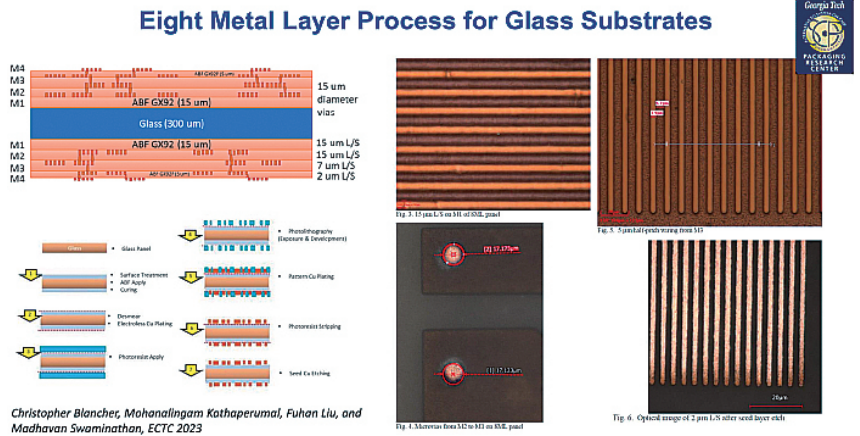


- 2023년 조지아공대는 ECTC학회에서 유리기판 코어에 ABF(Ajinomoto Build-up Film)를 절연층으로 하여 최소 배선폭 2/2 $\mu$ m를 갖는 4층 기판을 시연한 바 있다. 3DGS社は 인텔, 록히드마틴, 무라타, 가와세 등으로부터 투자를 받아 감광성 유리를 이용한 반도체 패키지, 100GHz 이상에서도 작동되는 초고속통신용 각종 디바이스를 생산한 바 있다.

그림 15

2/2 $\mu$ m 배선이 구현된  
유리 코어 기판

출처: 조지아공대(2023)

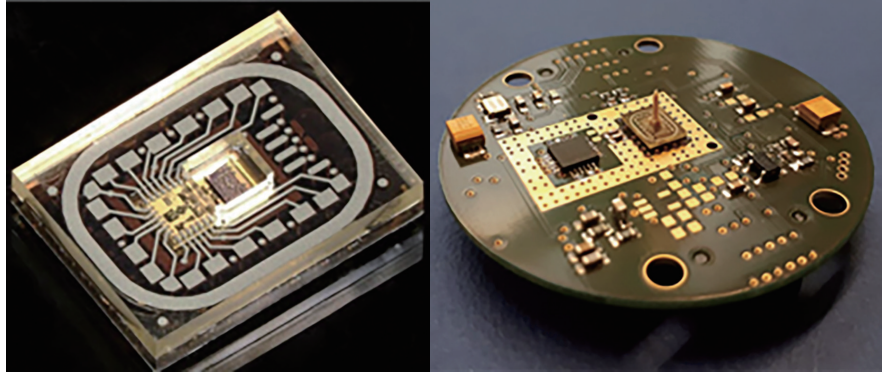


- 독일의 경우 ‘고주파 응용 분야를 위한 초소형 전자 시스템 구현을 위한 유리 인터포저 기술(GlaRA)’ 프로젝트를 통해 광대역 밀리미터파 칩용 유리 기반 SiP로서 신뢰할 수 있는 인터포저 기술을 개발하여 특성화했으며, 이로써 100GHz 이상의 주파수에서 센서(레이더) 및 통신에 사용할 수 있는 모듈 등에 대한 적용 가능성을 기대하고 있다. 글라스 패키지의 크기는 5.9x4.4x0.8mm이며, SiGe 기술의 레이더 ASIC, 외부 전자 장치에 대한 모든 전기 연결 및 특성화를 위한 테스트 구조 및 렌즈 안테나의 통합 1차 이미터로도 사용할 수 있는 도파관을 연결하였다.
- 독일의 마이크로그라스는 현재 Schott社の FOTURAN을 각종 유체소자 중심으로 사업을 진행하다 미국 회사에 합병되었으며, Schott社は 각종 반도체 패키지, 파워인덕터, 초고속통신 소자 등에 대한 적용을 목표로 감광성 유리 사업을 활발히 추진 중이다.

그림 16

Endress+Hauser社의  
160GHz 레이더 충전 레벨  
센서용 소형 레이더 프린트 엔드

출처: 울름대학교  
극초단파기술연구소



- 일본의 DNP(Dai Nippon Printing)는 2024년 양산을 목표로 배선 저항 증가 문제와 배선 간 절연 저항 저하 문제를 극복할 수 있는 40mm×40mm 크기의 글라스 인터포저 개발을 진행하고 있다. DNP社는 2023년 GCS가 보다 큰 폼팩터 제공을 위해 FC-BGA(Flip-Chip Ball-Grid-Array) 등의 수지 기반 기판을 개선한 유리기판(GCS: Glass-Core Substrate)과 TGV(Through-Glass-Via)를 개발했다. 2023년 DNP는 ECTC학회에서 300mm×400mm 유리기판을 이용하여 2 $\mu$ m 이하의 피치를 갖는 금속층 형성이 가능함을 발표한 바 있다.

그림 17

DNP의 글라스 인터포저

출처: Dai Nippon  
Printing(2021)

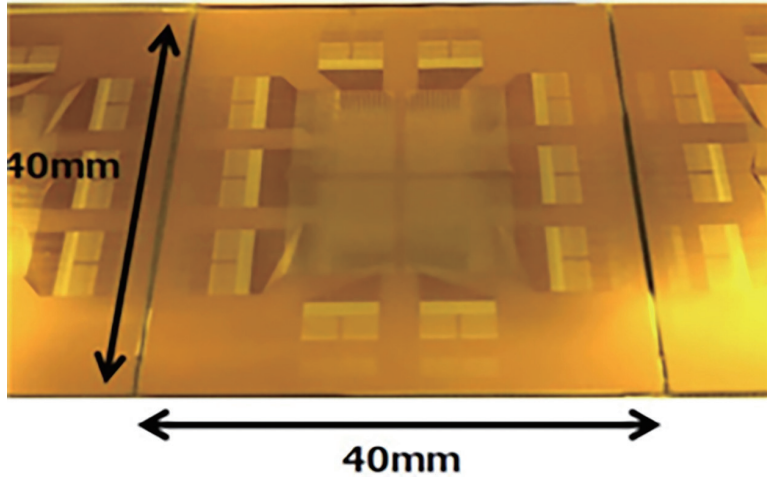


그림 18

DNP의 GCS 패키지 개념도와  
GCS 내 TGV X-ray image

출처: Dai Nippon  
Printing(2023)

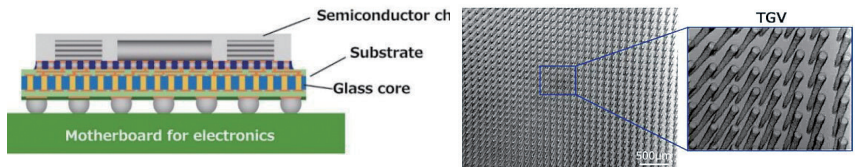
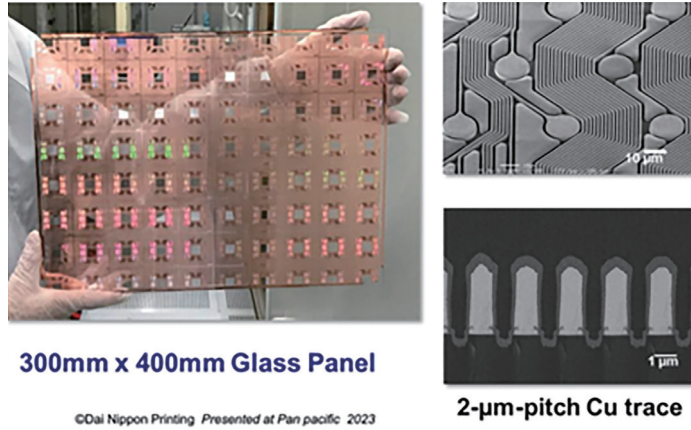


그림 19

DNP의 2/2μm 이하 금속층이 구현된 유리기판

출처: Dai Nippon Printing(2023)



- 일본의 Ajinomoto社는 고밀도 배선 공정에 가장 많이 적용되고 있는 대표적 Build-up 소재인 ABF를 독점 공급하고 있으며, Kyocera社는 2008년부터 웨이퍼레벨 패키징으로 0806급 표면탄성파 필터의 양산을 개시했다. 한편 포토마스크 제조 등으로 유명한 유리 전문업체인 Hoya社는 1995년부터 신사업 부문 및 관련 회사(Hoya Candeo)를 설립 후 소재 판매 금지 및 독자 사용, 반도체용 기판 생산 개시 후 현재 사업을 철수한 상태이나 잉곳(ingot) 제작기술은 Corning, Schott보다 높은 기술력을 보유한 것으로 알려져 있다.

### 국내 기술 동향

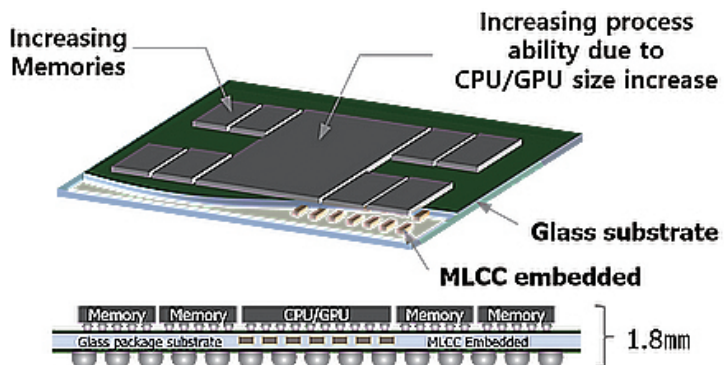
SKC 자회사인 Absolics(SKA)를 시작으로 삼성전기, LG이노텍 등에서 글라스 패키지 개발을 공개했다.\* 2022년 SK Absolics(SKA)는 HPC용 글라스 패키지를 제안했고, 미국에 대규모 공장 건설과 국내에도 파일럿 라인을 구축하여 연구를 진행 중이며, 패키징 분야 스타트업 설계회사인 Chipletz에 투자를 진행 중이다. SKA의 패키지는 자체적으로는 1.5D로 표현하고 있으며, 글라스 내에 수동소자를 내장시키고 Chipset들을 유리판에 최대한 근접하도록 설계했다.

\* THEELEC(2023), <https://www.thelec.kr/news/articleView.html?idxno=26075>

그림 20

SKA가 제안하는 HPC용 글라스 패키지 개념도

출처: SK 애플릭스





SKA의 글라스 패키지는 유리 고유의 특성인 저유전 손실, 낮은 열팽창, 실리콘 인터포저보다 큰 유리 원판이라는 특성을 이용해 저전력, 고주파, 보다 많은 Chipset과 Accelerator 등을 표면 실장할 수 있어 고속통신 등에 유리할 것으로 기대된다.

그림 21  
SKA 글라스 패키지의 파일렛 라인

출처: 전자신문(2022)

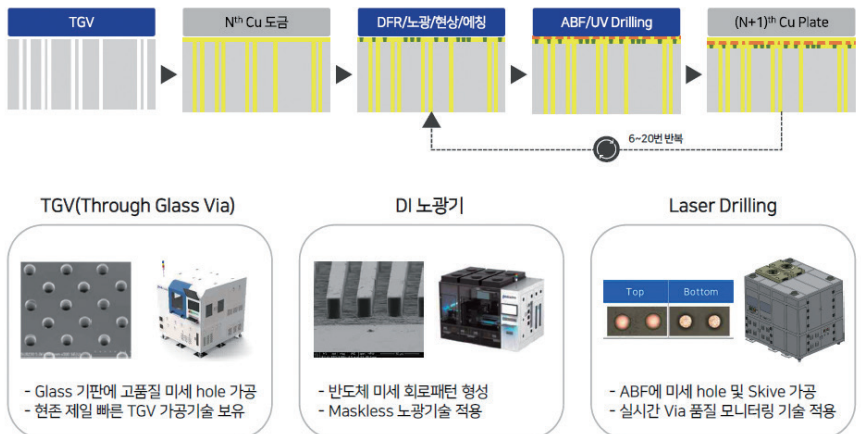


국내에서는 “마이크로머시닝 기술을 이용한 25만 픽셀급 고해상도 포커싱 엑스레이 그리드 개발”(’15~’16, 오피트社), “감광성 유리를 이용한 고 내전압 커패시터 구조 및 공정 개발”(’21~’23, KETI) 등 소재를 수입하여 부품화하는 연구가 진행되었으나, 유리 소재 자체에 대한 기술 개발은 현재까지 이루어지지 않고 있다.

최근 필옵틱스는 기존에 글라스 기판 패키징 공정에 필요한 TGV, DI 노광기, 레이저 ABF(아지노모토 빌드업 필름) 드릴링 장비 등을 개발하여 고객사에 시운전 중이다. 한편 디스플레이 습식 장비 제조업체인 에프엔에스테크도 글라스 코어 식각 공정을 개발 중이다.

그림 22  
필옵틱스사의 글라스 기판 패키징 공정 장치 개발

출처: 필옵틱스



## 5. 시사점

---

최근 HPC의 급격한 확대 보급에 따라 관련 고집적 패키지 기술의 국내 산업 공급망 및 생태계가 시급히 확보되어야 한다. 그러나 핵심 기초 소재인 박판 유리기판 제조기술은 100% 해외 수입에 의존하고 있어 국내 기술의 조속한 확보가 요구된다. 특히 봉규산 유리는 다른 유리 소재 대비 용융점이 높고, 용융 시 내화물 침식과 균질성 확보가 어려워 기술적 난이도가 높다. 이를 박판형 유리기판으로 성형·가공하는 제반 공정기술도 기술 이전이 금지된 중요 보안 기술로 현재 해외 선진사만 보유하고 있어 국내 산업 경쟁력 향상을 위해서는 반드시 자립화가 필요하다.

또한 박판 알루미늄규산(AS) 감광성 유리는 반도체, 바이오칩 제조사에서 20여 년간 주로 RF 레이더 소자, 필터, lab-on-a chip과 같은 제품에 적용되어 왔으며, 최근 5G 기지국 부품용 High Q 커패시터에도 사용되는 등 소재의 활용 가능성이 더욱 높아지고 있다. 2000년대 초부터 소재의 국산화·상용화 노력을 해왔지만, 최근에는 비로소 관련 소재기술의 개발 수요가 발생 및 증가하는 실정으로 이 또한 자립화가 요구되고 있다.

유리기판을 이용한 고밀도 배선 패키지 기판은 플라스틱 소재 기반의 패키지 기판이 가진 패턴 밀도의 한계와 신뢰성 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 인텔, SKA, 삼성전기 등에서 2026~2030년 양산을 목표로 기술 개발을 추진하고 있으나, 대부분의 유리 소재, build-up 소재 및 장비를 코닝, 쇼트, 아지노모토, 아토텍 등에 의존하는 실정이다. 그럼에도 고밀도 배선 유리 패키지 기술은 첨단 반도체 패키지의 집적도를 높이면서 실리콘 인터포저 기판에 비해 크게 비용을 절감할 수 있다. 또 첨단 반도체 공급망 내재화에 기여할 수 있어 현재 빠른 속도로 성장하고 있는 AI, 데이터 서버, 자율 주행용 등 첨단 반도체 제품의 생태계 성장을 촉진 시킬 것으로 기대한다.

## 출처 및 참고자료

---

1. 박갑열, 「디지털 시스템 패키지를 위한 글래스 인터포저 상의 글래스 관통비아 채널, 노이즈 커플링 및 억제 모델링과 측정을 통한 검증」, 한국과학기술원: 전기및전자공학부, 2018.
2. 김형준, 「화학가공 감광성결정화 유리에 대한 연구」, 한양대학교, 2000.
3. Park, Gapyeol, et al., “Design and Analysis of Receiver Channels of Glass Interposers for 5G Small Cell Front End Module”, 2018 IEEE 27th Conference on Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems(EPEPS), IEEE, 2018.10.; DOI:10.1109/EPEPS.2018.8534215
4. Dietrich T.R., et al., “Fabrication technologies for microsystems utilizing photoetchable glass”, Microelectronic Engineering, vol. 30 issue 1, pp. 497–504., 1996.01.
5. Kuramochi, et al., “Glass Interposer for Advanced Packaging Solution”, 2016 6th Electronic System–Integration Technology Conference(ESTC) 13–15 Sept. 2016.
6. Kumar, “Glass substrate trend for semiconductor devices and advanced packaging application”, Yole Development, SYNAPS 2020.
7. 「[2023~2030] 반도체 유리 웨이퍼 시장 규모, 동향, 연구 보고서」, Business Research Insights, 2023.09.25.
8. Nick Flaherty, “Industrial radar sensor is built in glass”, Technology News, (2021.01. 22)
9. Peter Clarke, “Glass substrate factory for chiplet packaging coming to Georgia”, Business news, 2021.11.15.
10. Nick Flaherty, “Glass interposer for next generation chiplet packaging”, Technology News, 2021.12.07.
11. Peter Clarke, “DNP improves chip packages with glass–cored substrate”, Technology News, 2023.03.20.
12. 송윤섭, “[르포]구미 애플릭스 R&D센터 "글라스 기판, 패키징 '게임체인저' 될 것"”, 「전자신문」, 2022.12.05.
13. 김경섭, “모바일 및 IOT 대응 3D/2.5D, 2.1D 반도체 패키지 기술”, 「주간기술동향」, 정보통신기술진흥센터, vol. 13, 2017.03.29.
14. 박윤구, “KC, 반도체 패키징 ‘게임체인저’ 글라스 기판 세계 최초 사업화”, 매일경제, 2021.10.28.
15. 노태민, “인텔, 2030년內 ‘글라스 기판’ 상용화…“AI·데이터센터에 먼저 적용””, THEELEC, 2023.09.18.
16. 이기중, “일본 DNP, 애플릭스와 경쟁하나...패키지 글래스기판 시장 뛰어든다”, THEELEC, 2023.08.25.
17. 이기중, “애플릭스, 삼성전기 이어 LG이노텍도 “패키지 글래스기판 개발 검토””, THEELEC, 2024.02.21.
18. 이기중, Theelec, “필옵틱스, 패키지 글래스 기판 장비 추가개발”, THEELEC, 2023.12.21.
19. SKC, 글라스 패키지 세미나자료, 2022.
20. Corning, Semiconductor Glass Products Brochure.
21. Schott, Electrical Properties of SCHOTT Thin Glasses Brochure.
22. Corning, IMAPs Device Packaging Conference, 2014.3.12.
23. [www.global.dnp/news/detail/20167149\\_4126.html](http://www.global.dnp/news/detail/20167149_4126.html)
24. [www.global.dnp/news/detail/20169052\\_4126.html](http://www.global.dnp/news/detail/20169052_4126.html)



# 세라믹 유전체 초저온 동시 소결 및 관련 소재 부품 기술

이건훈 세라믹 PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실  
오철민 수석 | 한국전자기술연구원(KETI) 융복합전자소재연구센터  
신용관 연구위원 | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실

## 요약

- 최근 동향
  - 첨단 전자 부품용 세라믹 소재의 한계 극복을 통한 新 시장 구축
    - Ultra-Low Temperature Co-firing Ceramic(U-LTCC)은 650°C 이하의 저온에서 다층으로 적층된 금속 전극과 세라믹을 동시에 소결하는 초저온 동시 소결 기술을 활용한 다층세라믹 회로기판임.
    - 반도체 첨단 패키징 및 고주파 부품용 기판산업의 폭발적인 성장에 발맞추어 고분자기판의 문제를 해결한 다층세라믹기판의 수요가 증가 중이나 세라믹 소재의 높은 공정 온도 한계에 봉착
    - 650°C 이하 초저온 동시 소결 기반의 U-LTCC 신기술 개발로 세라믹 소재의 한계를 극복함으로써 기존 공급망과 차별화된 新 시장이 개척 中
- 시사점 및 정책 제언
  - 세라믹 소재 및 부품기술의 적기 확보로 핵심 산업 공급망 안정화
    - 초저온 동시 소결 공정기술의 개발로, 기존 세라믹 소재의 한계를 극복함으로써, 다층세라믹기판의 新 시장 개척 전기 마련
    - 선진국이 장악한 기존 다층세라믹기판 공급망을 탈피하고, 국내 관련 산업 경쟁력 확보를 위해 초저온 동시 소결의 핵심 원천기술 적기 확보가 시급
    - 값싼 고분자기판의 활용과 선진국의 다층세라믹기판 시장 독점으로 인해 국내 산업 생태계가 아직 미성숙함을 고려할 때 소재-공정-부품으로 이루어진 국가 주도의 전방위적 산업 육성 정책이 필요



# 1. 초저온 적층 동시 소결기술의 개요

## 기술의 개념

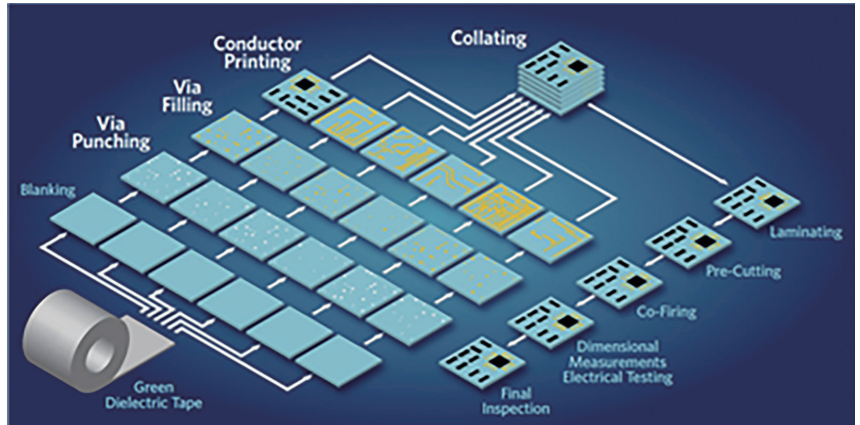
### 초저온 적층 동시 소결 기술

초저온 동시 소결이란 일반적인 세라믹의 소결 온도인 800~1,200°C보다 현저히 낮은 650°C 이하의 온도에서 다층으로 적층된 금속 전극과 세라믹을 동시에 소결하는 기술로서 기존의 적층 세라믹 동시 소결 공정의 한계를 극복할 수 있는 미래 첨단제조 기술을 의미한다.

그림 1

초저온 적층 동시 소결 공정도

출처: Applied Materials



### 초저온 적층 동시 소결기술이 적용된 다층세라믹기판(U-LTCC)

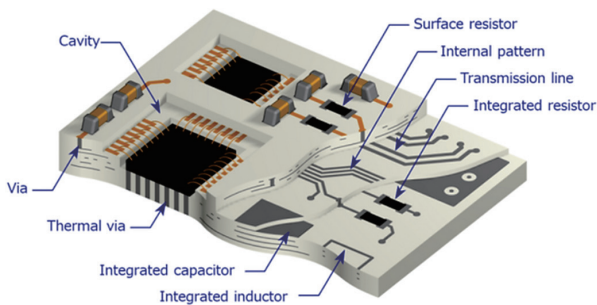
U-LTCC(Ultra-Low Temperature Co-firing Ceramic)는 650°C 이하의 초저온에서 금속 전극과 세라믹의 적층 동시 소결로 제조되는 다층세라믹 회로기판이다. 이는 세라믹 유전체와 금속 배선이 수십 층 이상 적층된 구조로 다양한 수동/능동 소자의 실장 및 embedding이 가능하게 하며, 그 자체로 안테나, 필터 등 통신부품의 역할을 할 수 있어 다양한 산업 분야에 활용할 수 있다.

그림 2

초저온 동시 소결 다층세라믹기판의 구조 및 적용 분야

출처: 알엔투테크놀로지, KOA

Structure of LTCC circuit board



650°C 이하 초저온 소결을 통해 세라믹과 금속 동시 소결로부터 발생하는 다양한 결함을 최소화함으로써 고집적/초저손실 기판을 위한 초미세회로 패턴(< 30μm) 구현이 가능하다. 또 동시 소결되는 전극 물질의 선택이 자유로워 기존 HTCC(High Temperature Co-firing Ceramic) 및 LTCC(Low Temperature Co-firing Ceramic)로 대표되는 다층세라믹기판의 고질적 문제인 가격 경쟁력을 일거에 확보할 수 있다.

표 1  
HTCC/LTCC 및 U-LTCC  
기술의 비교

구분	HTCC / LTCC	U-LTCC (초저온 동시 소결)
핵심 소재	- 소결 온도 850°C 이상의 고주파 유전체 소재 - 고가 귀금속 전극 소재: Ag, Pd 및 W 등	- 소결 온도 650°C 이하의 고주파 유전체 소재 - 저가·저융점 금속 전극 소재: Cu 및 Al
핵심 공정	- 유전체 시트에 금속 전극으로 via 및 회로 패턴을 인쇄 후 적층하여 850°C 이상의 고온에서 동시 소결하는 공정	- 유전체 시트에 금속 전극으로 via 및 회로 패턴을 인쇄 후 적층하여 650°C 이하 저온에서 동시 소결하는 공정
장점	- 고방열·다층 회로기판 구현 가능 - 기존 상용 소재의 활용 가능	- 초미세 패턴 구현을 통해 첨단 반도체 패키징 및 고주파 적용 가능한 고집적·저손실 회로기판의 구현 가능 - 저가·저융점 전극 소재 사용으로 높은 가격 경쟁력 확보
단점	- 초미세 패턴 구현 불가로 첨단 반도체 패키징 및 고주파 적용에 어려움 - 고가 귀금속 전극 소재 사용으로 고분자 기판 대비 낮은 가격 경쟁력	- 650°C 이하 소결이 가능한 신규 유전체 소재 개발 필요 - 신규 유전체 및 저가 전극 소재에 알맞은 제조 공정 개발 필요
제조사	- 선진社(일) 중심으로 양산 중이며, 국내 제조사가 기술 추격 중 : TDK, NEC, Murata(일) : RF 머티리얼즈, RN2, SEMSNS	- 선진社(일) 및 국내 제조사를 중심으로 개발 진행 및 예정

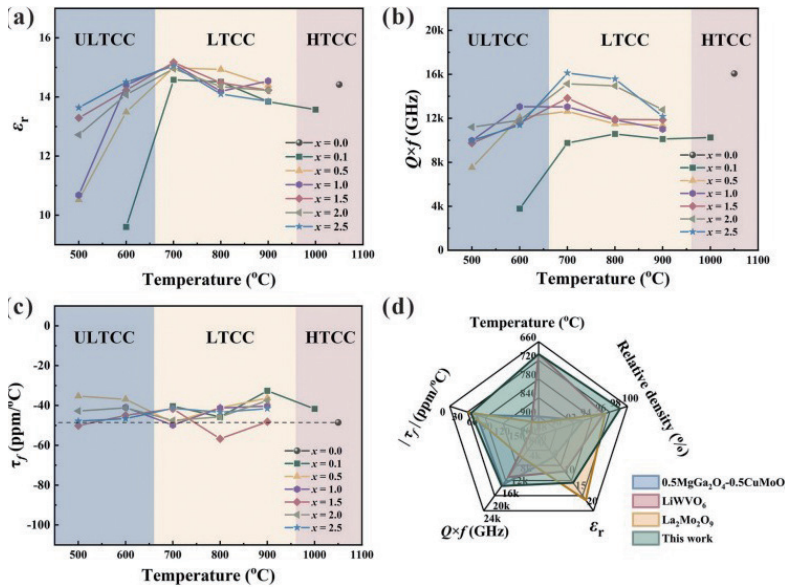
## 기술의 범위

### ▪ 초저온 동시 소결 및 U-LTCC 기판 제조 기술

초저온 동시 소결 및 U-LTCC 기판 제조의 핵심기술 요소는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 650°C 이하에서 치밀화가 가능한 새로운 세라믹 조성 설계 및 합성 기술이다. 이를 위해서는 세라믹의 치밀화를 위한 저융점 액상 조성 설계와 이러한

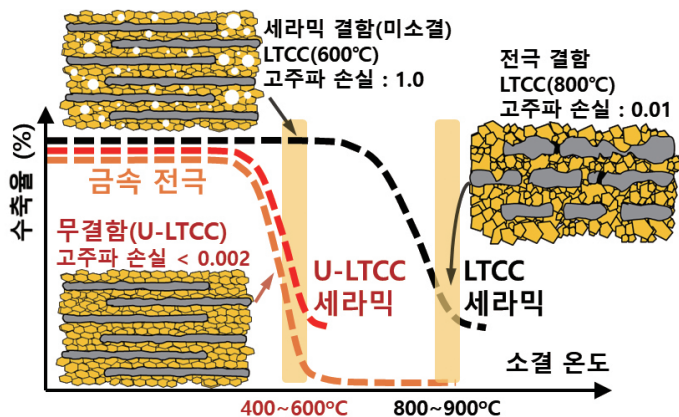
액상 함유 세라믹의 기계적 강도 및 전기적 특성의 저하를 최소화하는 것이 핵심이다. 세라믹의 전기적 특성은 유전율과 유전손실로 대표되며, U-LTCC 기판에 적용되는 세라믹은 낮은 유전율과 유전손실이 필요하다.

그림 3  
U-LTCC용 신규 세라믹  
소재 특성의 예  
출처: ECERS(2024)



두 번째는 금속 전극이 포함된 세라믹 적층체의 동시 소결 기술이다. 일반적으로 초저온 동시 소결 기술을 활용하는 경우 가격 경쟁력 확보를 위하여 기존의 Ag 등의 귀금속 대신 Cu와 Al 같은 저가-저융점 금속의 선택이 자연스럽다. 이 경우에 금속 산화를 방지하기 위한 환원 동시 소결 공정이 적용되어야 하며, 이때 발생하는 금속-세라믹 간 수축 거동 불일치와 세라믹 내 산소 공공(oxygen vacancy) 형성 등과 같은 다양한 결함을 최소화하는 것이 핵심이다.

그림 4  
U-LTCC 소재를 이용한 적층  
동시 소결 공정 결함제어의 예  
출처: SEMCO



## 기술의 등장 배경

### ▪ 첨단 전자 소재용 기판산업의 성장과 세라믹 소재

반도체 첨단 패키징 및 고주파 부품용 기판산업의 폭발적인 성장에 발맞추어 기존 고분자기판 외에 유리나 세라믹을 사용한 다양한 형태의 기판 상용화 연구가 진행 중이다. 최근에는 대면적 유리기판 제조기술의 발달로 유리기판의 수요가 증가하고 있으나, 유리기판의 미세 크랙 제어, 기계적 강도 및 집적도 향상은 풀어야 할 숙제로 남아 있다. 세라믹 소재는 기존의 HTCC와 LTCC 기반 다층세라믹기판의 형태로 다양한 분야에 이미 적용되었고, 타 기판 대비 회로 집적도 및 방열 특성이 월등히 우수하여 차세대 패키징과 고주파 부품에 적합하다. 하지만 고분자 및 유리기판 대비 월등히 높은 제조 단가와 고온 제조에 따른 다양한 결함제어 등은 해결해야 할 숙제로 남아 있다.

표 2  
소재에 따른 첨단 전자 소재용  
기판 특성 분류

기판의 종류	고분자	유리	다층세라믹
초미세 패턴 구현	어려움	매우 어려움	어려움
집적도	낮음	낮음	매우 높음
열전도율(방열 특성)	매우 낮음	낮음	높음
기계적 강도	낮음	매우 낮음(취성)	높음
제조 단가	낮음	높음	매우 높음

### ▪ 초고주파 시대의 도래와 완전자율주행의 구현

전자회로 구동 및 통신 주파수가 기존의 4G/5G 대역에서 post 5G/6G 대역으로 점차 상향됨에 따라 이에 대응이 가능한 전자부품 개발 요구도 커지고 있다.

그림 5  
통신 주파수 증가에 따른 적용 분야  
출처: Free 6G Training(2021)

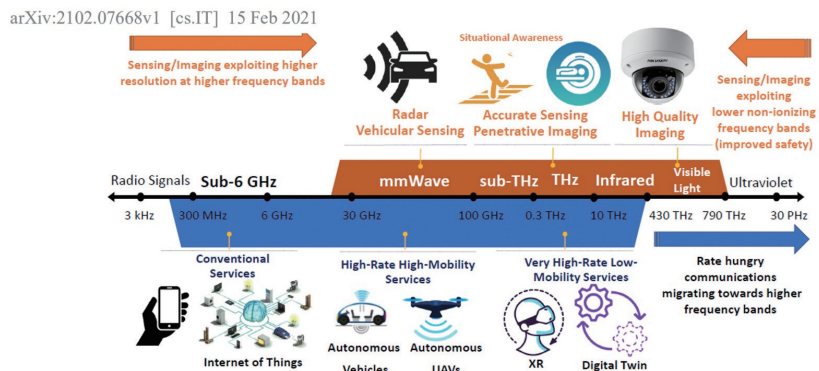
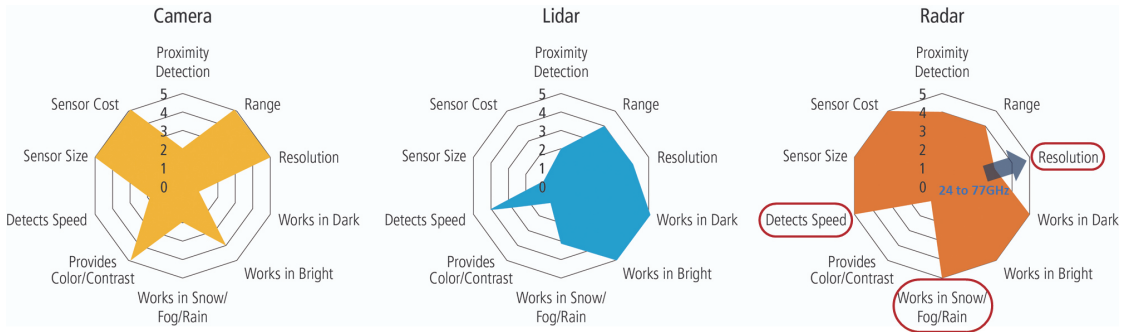


Fig. 1: Illustrative figure showcasing the paradigm shift on the frequency spectrum whereby the sub-6GHz – THz region is being jointly populated by communication and sensing functionalities.

주파수 변화의 가장 대표적인 예로 기존 24GHz 대역 자율주행 레이더 모듈의 77GHz 대역 주파수 상용화를 들 수 있다. 레이더는 전자기파의 도플러 효과를 이용하여 물체를 탐지하는 기술로서 완전자율주행 구현을 위한 세 가지 핵심 센서(카메라, 라이다, 레이더) 중에서 악천후 속에서도 초고속 센싱이 가능한 장점이 있다. 반면에 낮은 주파수 대역(< 24GHz)에서는 타 센서 대비 분해능이 저하되는 단점이 있다.

그림 6  
자율주행용 센서의  
종류별 특성 비교

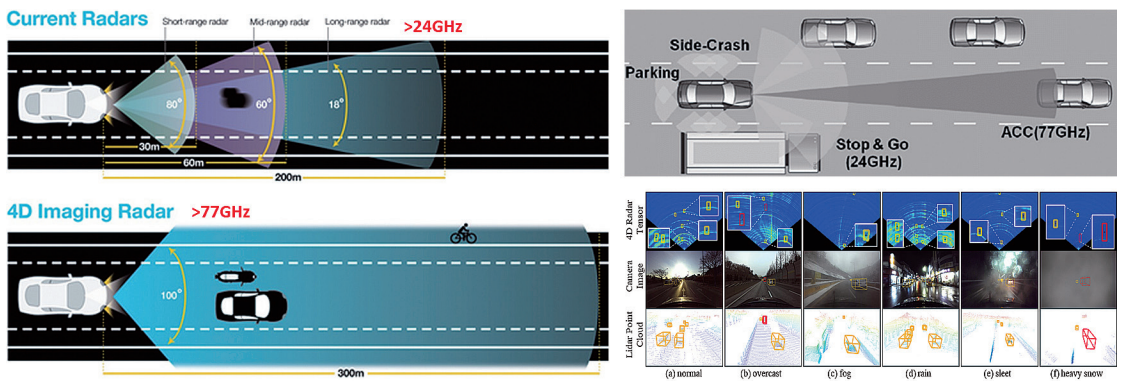
출처: GSAGlobal.org



이러한 자율주행용 장거리 탐지 레이더 센서는 고성능 안테나를 포함하는 고집적 회로기판 모듈로 구성되며, 고해상도(4D 이미징) 정보의 초고속 광대역 전송을 위해 77GHz 이상의 초고주파수가 요구된다. 따라서 해당 주파수에서 구동이 가능한 고집적 기판 부품의 개발이 가장 먼저 요구되고 있다.

그림 7  
77GHz 대역 4D 이미징 레이더의 예

출처: MRj-Laser, HAL(2018)



실제로 최근에는 고분자기판을 활용한 77GHz 대역 자율주행 레이더 모듈이 일부 상용화되었으며, 모듈의 구동 안정성 확보와 소형화를 위한 연구 개발에 박차를 가하고 있다.



그림 8

고분자기판을 이용하여 처음 상용화된 TI사의 77GHz 대역 레이더 모듈

출처: Texas Instruments

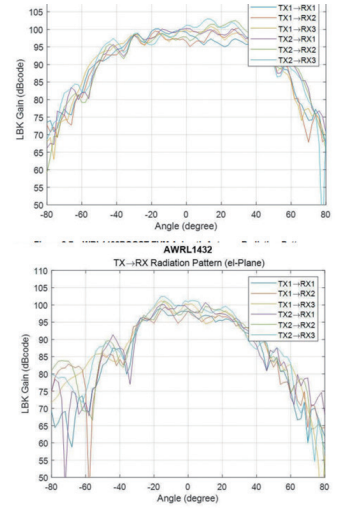
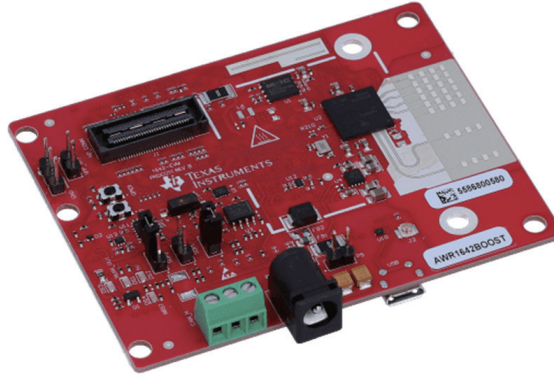


Figure 2-4. xWRL142B00ST EVM Elevation Antenna Radiation Patterns

- 초고주파 및 고신뢰성 환경에서 고분자기판의 한계

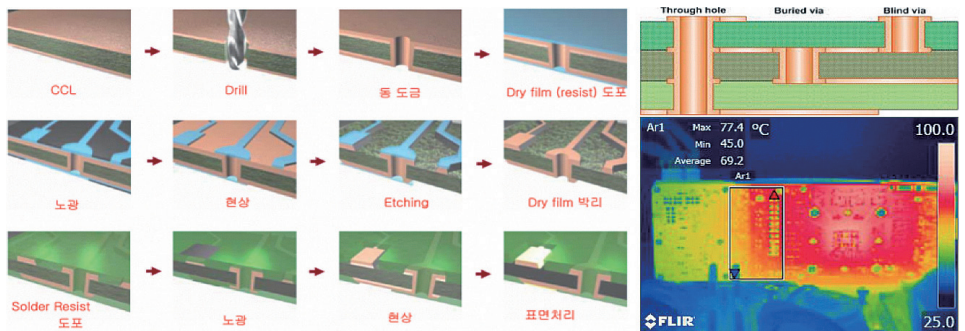
도금 공정 기반의 고분자기판은 대면적 제도가 쉽고 via 형성 및 회로 구현이 매우 간단하여 낮은 제조 단가를 바탕으로 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 첨단 패키징용 기판이나 초고주파용 부품 기판 분야에서는 거의 90% 이상이 각각 BGA와 PCB기판·테플론기판의 형태로 제조되고 있다.

하지만 이러한 고분자기판은 미세선폭 및 via 구현이 어렵고, 고분자 소재의 낮은 열전도율에서 기인하는 기판의 방열 특성이 현저히 낮다. 게다가 기판 자체의 힘에서 자유롭지 못해 77GHz 이상의 초고주파 대역에 사용하기 부적합하고 고집적화를 통한 모듈의 소형화가 어려운 문제가 있어 기판이 적용되는 산업 환경 변화에 대응하는 데 한계가 있다.

그림 9

고분자기판의 제조 공정도(좌) 및 발열 특성(우)의 예모델

출처: 샘플씨씨비



- 세라믹 소재의 공정 온도 한계 극복

다층세라믹기판은 기존의 고분자 및 유리기판과 비교하여 우수한 기계적 강도를 가지는 데다 방열 특성이 우수하고 고집적화가 가능하다는 장점이 있어서 첨단

패키징, 고주파 통신 및 고신뢰성 전장 모듈에 적합하다. 하지만 기본적으로 적층 동시 소결 공정에서 800~1,200°C의 높은 온도가 필요하기 때문에 초미세 패턴 구현의 어려움과 고융점·귀금속 전극 사용으로 인해 타 기판보다 가격 경쟁력이 매우 낮아 수년간의 연구 개발에도 불구하고 고분자기판을 쉽게 대체하지 못하고 있다.

표 3  
적층 세라믹 동시 소결 공정에 사용되는  
금속 전극의 단가

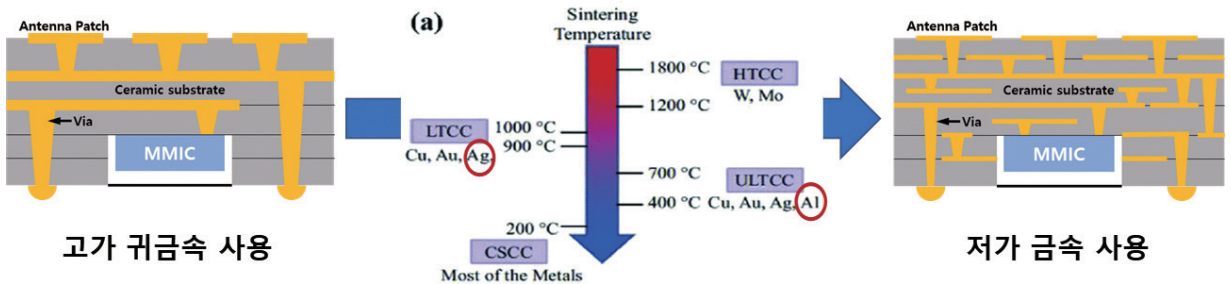
내부 전극용 금속의 종류	Ag	Cu	Al
녹는점	960°C	1,000°C	660°C
단가	720,000\$/ton	8,700\$/ton	2,200\$/ton
소결 분위기	대기	환원	대기 및 환원
사용 분야	LTCC	LTCC/U-LTCC	U-LTCC

출처: 런던금속거래소(LME)

따라서 세라믹 소재의 소결 온도를 650°C 이하로 낮추어 한계 극복이 가능하다면 이러한 다층세라믹기판의 문제점을 일거에 해소할 수 있다. 이를 통해 기존 고분자기판을 대체하거나 고분자기판이 적용되지 못하는 다양한 분야에 대해 신시장 개척이 가능할 것으로 예상되어 다양한 연구가 진행되고 있다.

그림 10  
초저온 동시 소결 공정에 따른  
U-LTCC와 기존 LTCC의 차이점

출처: Texas Instruments



## 2. 국내외 시장 동향

### ▪ 다층세라믹기판(LTCC 및 HTCC) 시장 현황

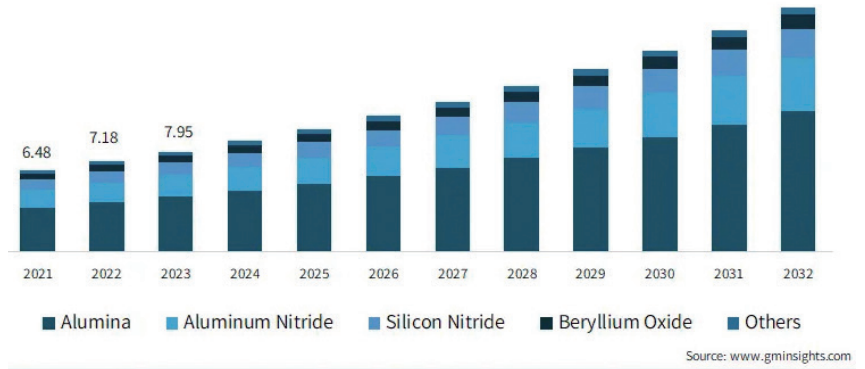
다층세라믹기판이 포함되는 첨단 세라믹 공급망은 반도체 시장에 직접적인 영향을 받는다. 최근 빅데이터, AI, 머신러닝 등에 최적화된 초고속/고용량 차세대 DRAM 수요의 본격화와 5G, 자율주행차, IoT 등의 보급 확대가 예상됨에 따라 2023년 79억 5,000만 달러에서 연평균 10.3%의 성장률로 2032년까지 193억 5,000만 달러에 이를 것으로 예상된다.

그림 11

제품 유형별 다층세라믹기판 시장 규모(2021~2032년)

(단위: 10억 달러)

출처: Global Market Insights



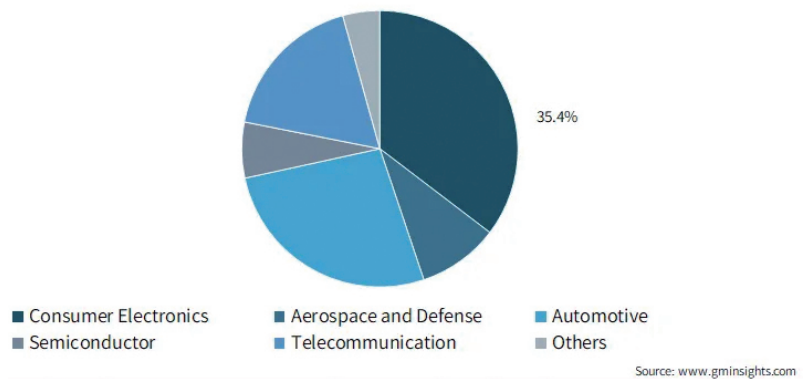
다층세라믹기판은 주로 알루미늄 산화물 기반의 세라믹 소재로 제작되며, 반도체 및 모바일 통신向 고주파 회로기판이 시장의 대부분을 차지하고 있다. 특히 반도체 웨이퍼 검사용 프로브카드 등 전량 세라믹기판으로 제조되며, 첨단반도체 시장의 급격한 성장과 더불어 그 수요가 점차 증가하고 있다.

그림 12

다층세라믹기판의 적용 분야별 수익 점유율(2023년)

출처: Global Market Insights

Ceramic Substrates Market Revenue Share, By End-Use, (2023)



최근에는 기존의 반도체와 통신 분야 외에 자율주행 등을 포함한 자동차 부품시장에서도 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 따라서 향후 자율주행기술의 보편화로 전 세계 차량용 네트워킹 시장이 2023년 3.9조 원에서 2033년 26조 원으로 연평균 39%의 고성장이 예상됨을 고려할 때 그에 따른 새로운 다층세라믹기판 수요가 예상된다.

하지만 이러한 시장 전망의 실현을 위해서는 세라믹의 높은 소결(공정) 온도에서 비롯되는 가격 경쟁력 저하와 다양한 결함 발생을 해결해야 한다는 중요한 전제 조건이 있다.



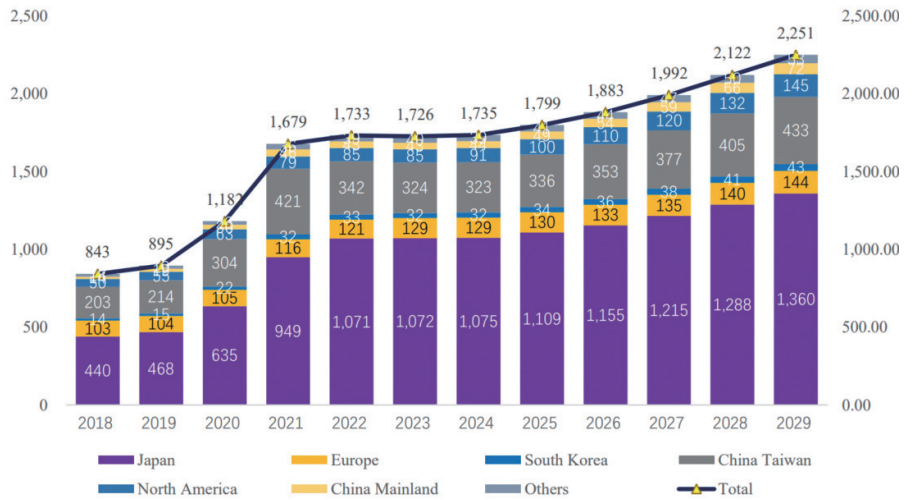
▪ 다층세라믹기판 공급망 현황

다층세라믹기판 공급망은 크게 세라믹 원료(분말) 분야, 적층 세라믹 동시 소결 기술을 이용한 다층세라믹기판 제조 분야, 그리고 완성 모듈 제조 분야로 나눌 수 있다. 이 중에서 세라믹 원료와 다층세라믹 제조 기술은 일본과 대만이 전 세계 공급망을 장악하고 있다. 특히 일본의 Murata, Kyocera(AVX), TDK corporation 등 글로벌기업이 HTCC와 LTCC 시장의 2/3 이상을 점유하고 있어 국내 업체의 새로운 시장 진입이 요원한 실정이다.

그림 13

국가별 다층세라믹기판 시장 점유율

출처: Global Market Insights

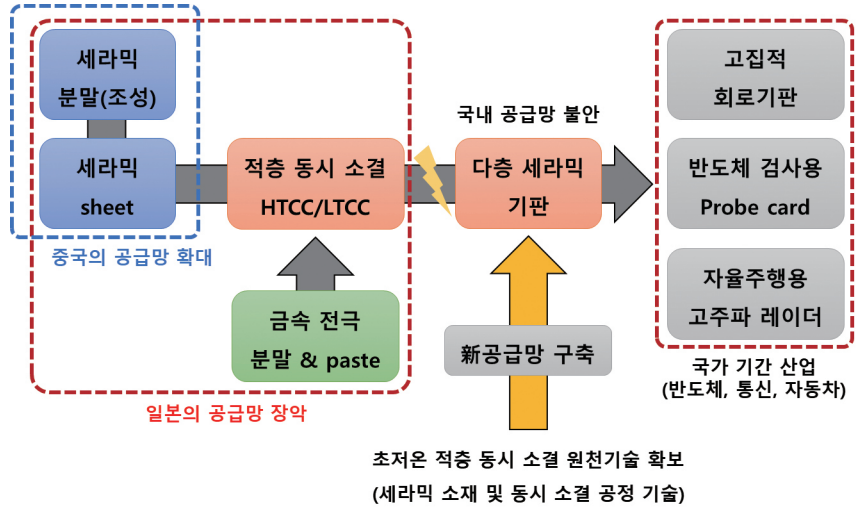


국내 업체들은 기존에 축적된 적층 세라믹 동시 소결 공정기술을 바탕으로 다층세라믹기판 제조에 대해 일부 글로벌 공급망에 이바지하고 있으나, 세라믹 소재에 대한 원천기술의 부재로 소재 전량을 수입에 의존하면서 글로벌 가격 경쟁력 확보에 어려움을 겪고 있다. 결론적으로 적층 세라믹 공정 기반의 다층세라믹기판 공급망은 기술 선진국인 일본산 소재에 전적으로 의존하는 상황이다.

이러한 공급망 불안은 단순히 다층세라믹기판 제조 문제뿐 아니라 다층세라믹기판이 적용되는 다양한 국가 기간산업(반도체, 모바일, 통신 및 자동차)에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 다행히 중국의 희토류 자원화처럼 기술적으로 극복이 어려운 상황이 아니라 U-LTCC와 같은 新소재 및 공정 원천기술의 확보로 충분히 안정적인 공급망 확보가 가능하다.

그림 14

다층세라믹기판의 공급망



### 3. 국내외 기술 동향

초저온 동시 소결 기반의 U-LTCC 기술은 아직 초기 단계로서 상용화를 위한 다양한 연구 개발이 진행 중이다. 주로 U-LTCC에 적용할 수 있는 세라믹 조성에 관한 연구가 대부분이며, 아직 이를 이용한 적층 세라믹 동시 소결 공정 연구는 미진한 실정이다.

▪ 해외 기술 동향

(유전체 세라믹 조성) 650°C 이하 소결이 가능한 세라믹 조성에 대해 몇몇 논문 단계에서 보고된 것이 있으나 77GHz 이상 초고주파 특성 확보와 양산 적용에 관한 사례는 없다. 현재 Fraunhofer IKTS에서 유일하게 관련 기초 기술을 보유 중이다.

표 4

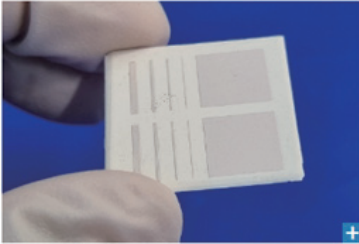
U-LTCC 조성 개발의 예

국가	조성	소결온도	계재 연도
중국	$\text{CaMoO}_4 + x \text{ wt.}\% \text{Li}_2\text{MoO}_4$	600°C	2024년
	$\text{ATeMoO}_6 (\text{A}=\text{Mg}, \text{Zn})$	650~660°C	2020년
대만	$(\text{Sr}_{1-x}\text{Mg}_x)\text{V}_2\text{O}_6$	650°C	2021년
핀란드	$\text{CuMoO}_4$	650°C	2016년
	$\text{CuMoO}_4 + \text{Ag}_2\text{O}$	500°C	2018년
	$\text{Li}_2\text{MoO}_4$	540°C	2021년

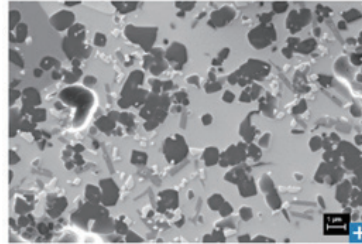
Fraunhofer IKTS의 U-LTCC 용 유전체 조성 특성	
소결 온도	600~650°C
밀도	4.2g/cm <sup>3</sup>
XYZ 수축율	15~17%
유전특성	$\epsilon_r(4-50)$ , $\tan\delta(0.005\sim0.0001)$ @<30GHz
열팽창계수	3~10ppm/K

(U-LTCC 제조 공정기술) 850°C 이하 동시 소결 기반의 LTCC 제조는 선진사를 중심으로 다양한 연구 사례가 존재하나, 650°C 이하 동시 소결 기반의 U-LTCC 제조 사례는 전무하다. Fraunhofer의 IKTS에서 U-LTCC 기판을 일부 제조한 사례는 있으나 양산에 적용한 사례는 없다.

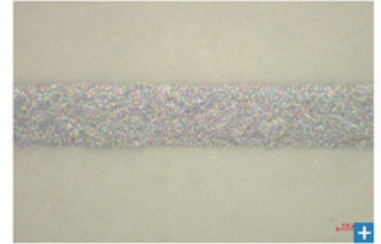
그림 15  
프라운호퍼의 U-LTCC 및  
Murata의 LTCC 개발 사례



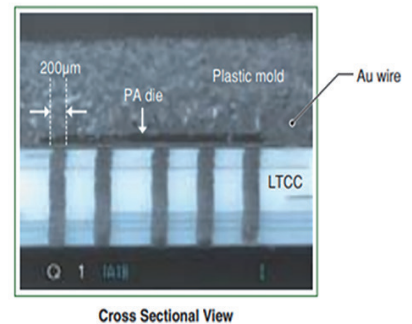
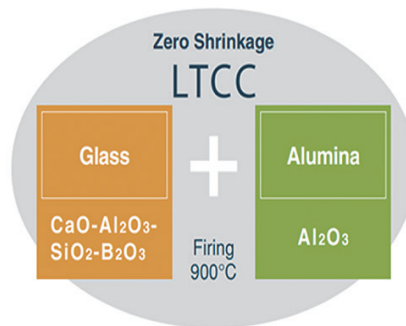
© Fraunhofer IKTS  
ULTCC-Substrat.



© Fraunhofer IKTS  
Gefügebild eines ULTCC-Substrats.



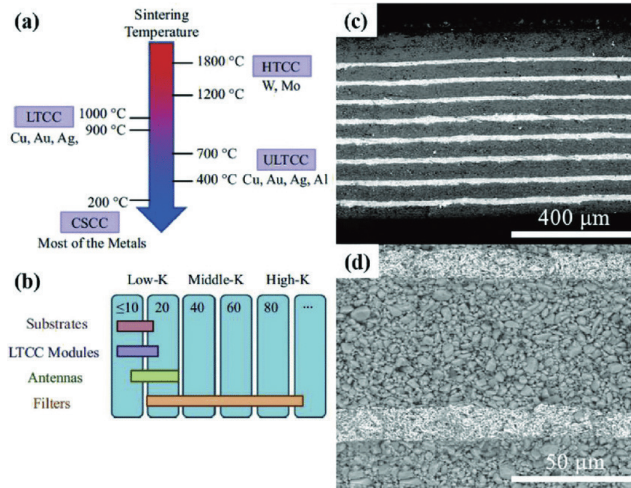
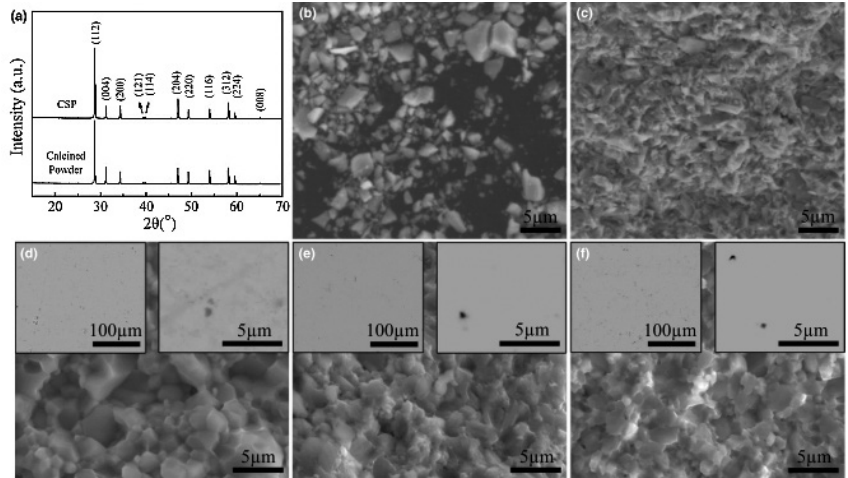
© Fraunhofer IKTS  
Gesinterte Silberleiterbahn auf ULTCC-Substrat.



최근에는 세라믹의 초저온 소결을 위한 cold sintering에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 특히 가압 소결 공정을 이용한 200°C 이하의 세라믹 소결에 관해 많은 연구가 수행되었으며, 펜실베이니아주립대의 C. A. Randall 교수 그룹이 해당 분야를 선도하고 있다.

그림 16  
 펜실베이니아주립대에서 수행한  
 cold sintering의 예

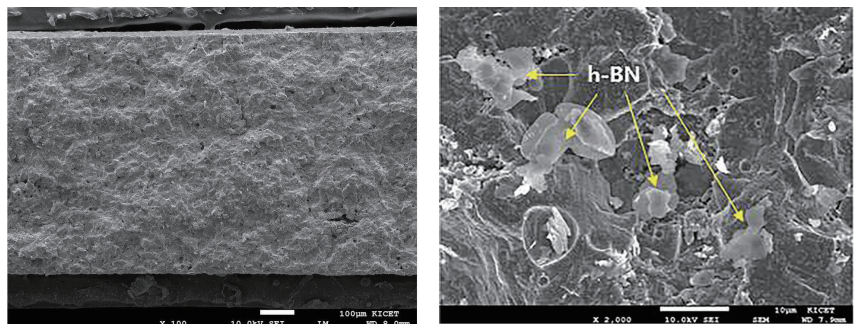
출처: KeAi(2018)



· 국내 기술 동향

한국세라믹기술원에서 U-LTCC 기초 연구를 진행 중이며, 650°C 이하에서 소결이 가능한 세라믹 복합체 기반의 기판 조성을 확보하였으나, 아직 적층 동시 소결 공정에 적용할 만한 수준의 상용화 특성은 확보하지 못했다.

그림 17  
 한국세라믹기술원의 U-LTCC용  
 세라믹 조성 개발 사례



## 4. 시사점

세라믹 적층 동시 소결 공정을 활용한 다층세라믹기판은 첨단 전자 부품산업의 성장으로 인해 점차 그 중요도가 커지고 있다. 특히 고성능 반도체나 고주파통신 부품 등에 사용되던 기존 고분자기판의 특성이 한계에 봉착하면서 고집적·고방열 특성 구현이 가능한 세라믹기판으로 전환이 필요한 시점이다. 하지만 세라믹 자체의 높은 소결 온도로 인해 고분자기판 대비 낮은 가격 경쟁력과 다양한 결함 발생은 풀어야 할 숙제로 남아 있다.

기존의 다층세라믹기판 산업은 세라믹 소재를 중심으로 소재-공정-부품에 이르는 글로벌 공급망이 형성되어 있다. 하지만 기술 선도국인 일본을 중심으로 해당 공급망의 80% 이상이 장악되어 있는 실정이다. 국내 제조 기업 대부분은 세라믹 원소재를 일본에서 수입하여 사용하고 있으며, 고분자기판 대비 다층세라믹기판의 낮은 가격경쟁력으로 인해 프로브카드 생산업체처럼 일부의 반도체 공급망 연관 기업을 제외하고는 점차 시장에서 도태되고 있다. 이러한 상황이 지속될 경우 국내 다층세라믹기판 산업의 고사와 함께 다층세라믹기판이 필수로 요구되는 통신, 모바일 및 자동차와 같은 국가 기간산업 공급망에도 큰 문제가 발생할 수 있다. 이러한 공급망 불안을 해소하기 위해서는 기존 고분자기판 대비 고가인 다층세라믹기판의 가격 경쟁력을 확보하여 적용 시장을 확대하고, 세라믹 소재의 원천기술을 확보하여 기존 공급망과 차별화된 확대된 시장의 新 공급망을 확보하는 것이 중요하다.

초저온 적층 동시 소결 기반의 U-LTCC 기술 개발을 통해 세라믹의 높은 소결 온도 한계를 극복함으로써 이러한 문제가 일거에 해소될 수 있다. 해당 기술을 이용하면 650°C의 낮은 온도에서 세라믹기판 제조가 가능하므로 동시 소결하는 전극 물질의 선택이 자유롭고 가격 경쟁력 확보가 가능하며, 세라믹-전극 동시 소결로 발생하는 결함의 최소화도 가능하다.

다행히 이러한 U-LTCC 기술은 아직 기본 성능 검증 단계에 있어 국가 간 기술격차가 크지 않다. 따라서 초저온 동시 소결의 핵심기술인 세라믹 소재 합성과 적층 동시 소결의 원천기술에 대한 조기 확보를 통해 다층세라믹기판 新 공급망을 구축하고, 이를 위한 다양한 전략 수립과 기술 개발 투자가 적극적으로 이루어질 필요가 있다.

## 출처 및 참고자료

---

1. Jobin Varghese, et. al., “ULTCC Glass Composites Based on Rutile and Anatase with Cofiring at 400°C for High Frequency Applications”, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, vol. 7 issue 4, 2019.01.
2. Jing Guo, et. al., “Cold sintering process: A new era for ceramic packaging and microwave device development”, Journal of the American Ceramic Society, vol. 100 issue 2, pp. 669~677, 2017.02.
3. Moyan Zang, et. al., “Low-temperature sintering and microwave dielectric properties of CaMoO<sub>4</sub> ceramics for LTCC and ULTCC applications”, Journal of the European Ceramic Society, vol. 44 issue 1, pp. 293~301, 2024.01.
4. Laifei Cheng, et. al., “Structure design, fabrication, properties of laminated ceramics: A review”, International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, vol. 1 issue 3, KeAi(Chinese Roots Global Impact), pp. 126~141, 2018.08.
5. Zahid Ghadialy, “7 Defining Features of Terahertz (THz) Wireless Communications Systems”, Free 6G Training, 2021.02.
6. Thomas Wong, “Autonomous Driving and Sensor Fusion SoCs”, GSAGlobal.
7. Bastien Béchadergue, “Visible Light Range-Finding and Communication Using the Automotive LED Lighting”, Université Paris Saclay, 2017, HAL(archives-ouvertes.fr)
8. 김효택 외, “초고주파 소자용 복합체 세라믹스 조성물과 그에 의한 세라믹기판 및 이의 제조방법”, 한국세라믹기술원, 국내 특허, 2023.07.04.
9. “밀리미터파 대역 저유전율, 저손실 값을 가지는 LTCC 소재 제조 및 전기적 특성 평가 방법”, 한국세라믹기술원, 국내 특허, 2022.12.01.
10. 김창훈·김학관, “고용량 MLCC 재료개발 동향”, 특집: 나노 세라믹재료, 「세라미스트」 19권 1호, pp. 62~67, 2016.03.
11. 한국기업데이터, 「기술분석보고서: 알엔투테크놀로지(148250) | IT H/W」, 한국IR협의회, 2019.01.10.
12. “PCB제작과정 PART6. 레이어 패턴형성 공정(라미네이팅, 필름인쇄, 노광공정)”, 샘플피씨비(samplepcb.co.kr).
13. Technologies, Murata, Murata Report, 2023.
14. appliedmaterials.com
15. koaglobal.com



# **KEIT NEWS**



## 이건훈 세라믹 PD 소개

2010. 06 ~ 2015. 12 삼성전자 책임연구원

2015. 12 ~ 한국세라믹기술원 선/책임연구원

2021. 09 ~ 한국산업기술기획평가원 세라믹 PD



### 세라믹 PD로 일하시면서 뿌듯했던 일이나 힘들었던 일 등 가장 기억에 남는 일이 있으실까요?

연구지원 사업이나 과제를 기획하다 보면, 정책 방향과 연구자들의 수요, 그리고 개발된 기술을 적용하여 사업화를 진행해야 하는 기업의 사업 방향이 조화를 이루어 하나의 과제가 완성되는 순간이 있습니다. 과제마다 차이는 있지만, 개별 조각들과 같은 연구개발 수요가 하나의 완성된 형태로 구체화되어 기획이 되고, 수행기관에서 좋은 성과를 내는 것을 볼 때가 PD로서 가장 기분 좋은 순간이 아닐까 합니다.

### 올해 세라믹 분야에서 제일 이슈되는 내용을 하나만 뽑는다면?

세라믹 분야는 무기(inorganic) 화합물 전반을 아우르는 소재로, 산업 전분야에 응용되지 않는 곳이 없습니다. 올해는 특히 산업적으로 이슈가 되고 있는 핵심 기술 내재화, 공급망 강화에 기여할 수 있는 기술이 개발될 수 있도록 노력했습니다. 이를 위해 배터리나 고출력 소자에 적용 가능한 세라믹 방열 소재, 차세대 전기/전자 부품용 유전체 세라믹 소재 및 부품, 에너지 전환과 탈탄소 산업에 대응하는 소재 등 다양한 산업에 필수적인 기술들을 발굴할 수 있도록 노력했습니다.

### 앞으로 PD로 재임하시는 동안 어떤 R&D를 지원하고 싶으신가요?

세라믹은 산업의 첫단계(소재 분야, 후방 산업)에 속하며, 응용·전방산업이 발달할수록 해당 산업분야의 내부로 녹아들게 되는 특징이 있습니다. 산업이 고도화될수록 존재가 크게 드러나지 않는 것이 아이러니라 할 수도 있겠습니다. 앞으로는 특정 소재를 필요로 하는 산업에서 국내 기업들이 자연스럽게 떠오를 수 있도록 기술을 축적하고, 이를 지원하는 R&D를 추진하고 싶습니다.

### 세라믹 분야 연구수행자분들께 하고 싶은 말씀이 있으시다면?

정부 지원 R&D는 모든 연구자의 관심 분야를 포괄하기 어려우며, 각 부처별로 성격과 방향성이 상이합니다. 연구개발의 연속성을 위해서는 각 사업의 기간, 수요제한, 신규 공고, 신규사업 제안 가능성 등을 파악하고 연구 방향을 전략적으로 설정하는 것이 중요합니다. 연구자분들께서도 이러한 부분을 고려해주시기를 제안드리고 싶습니다.



## 이광석 금속재료 PD 소개

2007. 11 ~ 한국재료연구원 재료공정연구본부  
2020. 06 ~ 2022. 2 한국재료연구원 연구기획조정본부장  
2023. 07 ~ 현재 한국산업기술기획평가원 금속재료 PD

### 금속재료 PD로 일하시면서 힘드셨던 점이나 뿌듯했던 일 등 가장 기억에 남는 일이 있으신가요?

아직 1년 3개월 남짓의 짧은 PD 업무 수행 중이라 특별히 힘든 업무가 있었던 것 같지는 않습니다. 굳이 한 가지를 꼽자면 현재 진행 중인 ‘한국형 수소환원제철 실증기술개발사업’ 예비타당성조사 사업 기획 업무가 시간이 가장 많이 투입되고 있으며, 동시에 국가 탄소중립 기술개발 지원 프로그램 확보 및 탄소배출량 저감에의 장기적인 기여를 기대하면 가장 뿌듯한 기억으로 남게 될 것 같습니다.

### 올해 금속재료 분야에서 제일 이슈되는 내용을 하나만 뽑는다면?

현재 가장 큰 두 가지 이슈는, 각국의 자국 우선주의와 기술패권 경쟁 속에서 원료-공정-제품 간 산업 공급망 안정화와 수요산업 니즈 연계 탄소중립형 공정 및 제품 확보 이슈를 들 수 있겠습니다. 금번 이슈픽에서 다른 철스크랩-전기로 활용과 수소환원제철-고로 공정 대체 기술들은, 철강 산업의 원료 관점에서 산업공급망 안정화와 공정 관점에서 탄소중립을 동시에 해결할 수 있는 핵심 기술로, 산·학·연·관이 함께 논의해야 할 중요한 주제입니다.

### 앞으로 PD로 재임하시는 동안 어떤 R&D를 지원하고 싶으신가요?

앞에서 언급한 산업 공급망 안정화와 탄소중립 이슈에 대한

공급-수요산업계 니즈를 반영한 기획을 지속적으로 추진하고 싶습니다. 또한 철강 및 비철금속 산업계에서 발생하는 인구 감소, 자동화·지능화, 안전 사고 등 사회문제해결형 기술개발에 대한 니즈 또한 새롭게 발굴하기를 희망합니다.

### 금속재료 분야 연구수행자분들께 하고 싶은 말씀이 있으시다면?

정부지원 과제를 수행하는 기업들은 연구 자체의 우수성을 확보하는 것도 중요하지만, 공급자 관점에서 수요산업에의 탑재, 즉 track-record를 확보하고 사업화 성과를 거둘 수 있도록 노력해 주시기 바랍니다. 또한 학계와 연구계 연구자분들께서는, 보유하고 있는 금속재료 요소기술들이 사장되지 않고, 산업에 융합되어 기업들이 실질적으로 잘 활용할 수 있도록 지속적으로 관심을 가져주셨으면 합니다.

### 마지막으로 올해 하반기 기획이나 선정공고 등 계획이 있으실까요?

얼마 전 수요조사가 끝난 2025년 소재부품기술개발사업의 금속재료 분야 수요를 분석해 내년 지원을 목표로 후보 과제들을 기획할 것으로 예상됩니다. 이와 별도로 탄소중립형 핵심 철강제품 기술개발사업 기획연구도 11월 이후 진행할 계획입니다. 철강 제품의 탄소배출량 저감을 요구받는 기업중심의 많은 수요를 기대하고 있습니다.



# KEIT ISSUE PICK

---

발행일 2024년 10월  
발행 번호 Vol. 2024-10  
발행인 한국산업기술기획평가원 원장 전문종  
발행처 한국산업기술기획평가원(KEIT)  
주소 대구본원 (41069) 대구광역시 동구 첨단로 8길 32(신서동 1152)  
Tel. 053) 718-8114  
대전본원 (35262) 대전광역시 서구 문정로 48길 48(탄방동 647)  
계룡빌딩 3층 Tel. 042) 712-9300~5  
서울사무소 (04513) 서울특별시 중구 세종대로 39 상공회의소회관 4층  
Tel. 02) 6050-2100  
웹사이트 [www.keit.re.kr](http://www.keit.re.kr)

ISSN 2234-3873

이 책자의 저작권은 한국산업기술기획평가원에 있습니다.  
무단전재와 복제를 금합니다.

\*KEIT ISSUE PICK 원문은 KEIT 웹사이트([keit.re.kr](http://keit.re.kr))의  
홍보관 ⇨ 간행물 탭에서 다운로드 받으실 수 있습니다.



---

디자인 구김종이 [gu.kim.zong.i@gmail.com](mailto:gu.kim.zong.i@gmail.com)  
일러스트 묘지 [www.instagram.com/myo\\_ji/](https://www.instagram.com/myo_ji/)

제작 (사)장애인동반성장협회 동반사업장  
서울시 금천구 가산디지털1로 33-33 대륭테크노타운2차 505-2  
Tel. 02) 464-5565

판형 189mm × 266mm  
종이 표지: 스노우지 250 g/m<sup>2</sup> 내지: 스노우지 100 g/m<sup>2</sup>  
서체 프리젠테이션 Freesentation  
이슈 픽 Issue Pick



<p>1 철스크랩 글로벌 공급망 현황 및 제강 공정 디지털화 적용기술 개발 동향</p>	<p>이광석 금속재료PD   한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실 박봉규 사무총장   (사)한국철강자원협회 박진우 총괄이사   (주)보고넷 기술연구소</p>
<p>2 직접환원철 글로벌 공급망 현황 및 수소환원제철 적용 기술 개발 동향</p>	<p>이광석 금속재료PD   한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실 김태윤 팀장   한국금속재료연구조합 신명균 소장   포스코 기술연구원 저탄소제철연구소</p>
<p>3 차세대 반도체 패키징용 유리기판 소재 공정기술 동향</p>	<p>이건훈 세라믹 PD   한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실 김형준 수석   한국세라믹기술원 엔지니어링소재센터 신용관 연구위원   한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실</p>
<p>4 세라믹 유전체 초저온 동시 소결 및 관련 소재 부품 기술</p>	<p>이건훈 세라믹 PD   한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실 오철민 수석   한국전자기술연구원(KETI) 융복합전자소재연구센터 신용관 연구위원   한국산업기술기획평가원(KEIT) 철강세라믹실</p>
<p>+ (특집) Science Fiction - 우주 영웅의 꿈</p>	<p>전윤호</p>