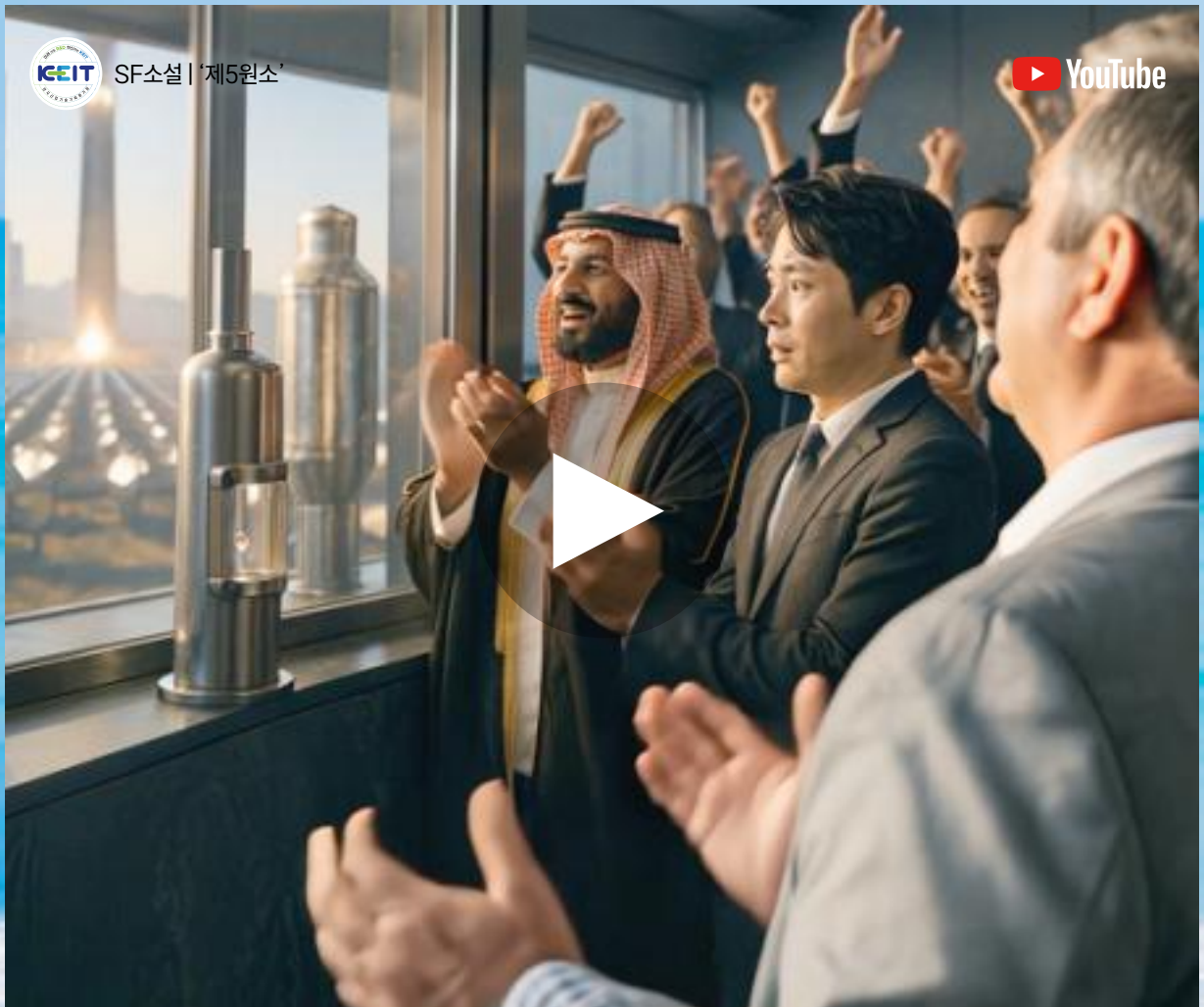


KEIT ISSUE PICK

2025-08

탄소 저감 기술 – 세라믹, 조선·해양

- | | |
|--------------------------------------|---------------|
| • 세라믹 분야 제조혁신을 통한 공정 최적화 및 에너지 저감 기술 | 이건훈, 한운수 |
| • 유리 산업 탄소중립을 위한 소재 및 에너지 전환 기술 | 이건훈, 김진호, 김형준 |
| • 전기추진 선박의 개발 및 시장 동향 | 이희수, 김영식 |
| • 대체연료 추진 선박의 기술 개발 동향 및 시장 동향 | 이희수, 최성운 |
| • Science Fiction: 제5원소 | 전윤호 |



ISSUE PICK 영상 보기



ISSUE PICK 원문 보기





CONTENTS



Science Fiction: 제5원소	5
산업/기술 뉴스	19
산업/기술 동향	33
1 세라믹 분야 제조혁신을 통한 공정 최적화 및 에너지 저감 기술	34
2 유리 산업 탄소중립을 위한 소재 및 에너지 전환 기술	50
3 전기추진 선박의 개발 및 시장 동향	64
4 대체연료 추진 선박의 기술 개발 동향 및 시장 동향	79
KEIT NEWS – PD's Talk	94



제5원소

작가 소개 전윤희

ETRI와 KIST에서 AI와 로봇을 연구했고, 테크 스타트업과 글로벌 기업에서 소프트웨어를 개발했다. SK텔레콤을 거쳐 SK플래닛에서 CTO를 역임했으며, 알티캐스트에서 AI 신규 사업을 이끌었다. 서울대학교에서 제어계측공학 석사 및 전기컴퓨터공학 박사 학위를 취득했으며, 30여 년간 IT 분야에서 기술 개발에 매진하다가 2019년부터 SF를 쓰기 시작했다. 저서로는 SF 장편소설 『모두 고양이를 봤다』(2020, 그라비티박스)와 『경계 너머로, 지맥(GEMAC)』(2022, 그라비티박스)을 출간했다. SF 단편소설로는 과학스토리텔러 1기 당선작인 「노인과 지맥」(단편집 『페트로글리프』 수록, 2020, 동아엠앤비)과 ChatGPT와의 협업으로 완성한 SF앤솔러지 웹소설인 「오로라」(단편집 『매니페스토』 수록, 2023, 네오픽션) 등이 있다.

드디어 차례가 왔다. 자리에서 일어나 붉은 융단 위를 걸어 연단으로 나갔다. 새로 맞춘 까만 정장 아래 심장이 뛰고 있었지만, 청중에게는 여유 있는 미소만 보일 것이다. 나는 자신 있었다. 앞선 발표자들은 모두 수식과 숫자와 도표에 집착하는 범생이들이었다. 난 아직도 오를로프 박사가 만들어 준 슬라이드를 이해하지 못했지만, 이런 프로젝트에서 중요한 건 웅대한 비전이지 골치 아픈 열화학 반응이 아니다.

“왕세자 전하, 그리고 귀빈 여러분. 저는 박지우입니다.”

청중을 천천히 돌아보며 일부러 뜸을 들였다. 발표장이 일순간 조용해지자 문서만 들여다보던 파이살 빈 타리크 알 마하디 왕세자가 고개를 들었다.

내가 손짓하자 뒤편 대형 스크린에 애니메이션 영상이 재생됐다. 없는 자금을 쥐어짜 제작한 영상이었다. 드넓은 사막에 태양광 패널들이 촘촘히 깔려 있고, 그 뒤편 멀리에는 끝이 안 보이는 길고 거대한 벽이 늘어서 있었다. 왕세자가 눈살을 찌푸렸다. 세계적으로 주목 받은 옆 나라 왕세자의 메가 프로젝트를 보여줄 때 기대했던 반응이었다.

“다들 포스트 오일 시대를 얘기합니다. 하지만 겨우 발전소 하나 짓는 것과 전 지구적인 에너지 전환은 차원이 다른 문제입니다.”

화면이 점진적으로 붉어졌다. 수천 개의 태양광 패널들은 붉은 황무지 위의 검은 웅덩이들로 바뀌었다. 주변에는 짙은 갈색의 침전물이 흘러내렸고, 헐벗은 노동자들이 지친 모습으로 일하고 있었다.

“기존 방식에서는 막대한 양의 태양광 패널과 ESS 배터리가 필요합니다. 그 과정에서 환경이 얼마나 파괴될지, 리튬과 코발트 및 기타 희토류 자원을 가진 소수 국가로부터 얼마나 휘둘리게 될지 아십니까? 애초에 그만큼의 희토류가 지구상에 존재하기나 하는지 모르겠군요.”

다시 화면이 바뀌었다. 손에 양피지 책을 들고 터번을 머리에 감은 아랍인들의 모습이 나타났다.

“우리는 해답을 찾기 위해 땅속을 파헤칠 것이 아니라 위대한 선조들의 지혜로 눈을 돌려야 합니다. 9세기 바그다드 지혜의 집¹에서 활동하던 이슬람 철학자들은 아리스토텔레스의 이론을 발전시켜 세상을 이루는 네 가지 근원적인 요소, 즉 불, 공

1 바그다드에 있었던 번역·연구 기관으로 그리스 철학과 과학을 아랍어로 수용·발전시켰다.

기, 물, 흙의 개념을 정리했습니다. 알-파라비²와 아비센나³ 같은 위대한 학자들이죠. 그들은 이 개념으로 세상의 모든 변화와 균형을 설명했습니다.”

검은 밤. 하늘을 가득 채운 별빛 아래 드론 뷰로 내려다본 사막. 지평선에서 해가 떠오르자 동심원으로 배치된 수천 개의 반사경⁴이 일제히 회전해 중앙에 높이 솟은 타워를 향해 햇빛을 반사시켰다. 태양광이 집중되자 타워의 윗부분이 눈부시게 빛났다.

“불, 사막의 태양열을 모아 수천 도의 고열을 얻습니다. 물, 바닷물로부터 산소와 수소를 얻습니다. 공기, 수소에 공기 중 질소를 더해 암모니아를 합성합니다. 흙, 사막의 모래와 태양의 열로 세라믹과 유리를 만듭니다.”

타워가 투명해지며 내부가 드러났다. 붉게 달아오른 반응로 속에서 물과 공기가 여러 단계를 거쳐 암모니아로 바뀌었다. 암모니아는 파이프를 따라 거대한 비축 탱크로 이동했고, 반응로의 남은 열기는 용융염에 실려 담수화 시설과 유리 생산 공장으로 전달되었다. 생산된 유리는 반사경으로 가공된 후 로봇들이 이송했다. 카메라가 뒤로 물러나자 옆에 또 하나의 CSP⁵ 플랜트가 건설 중인 모습이 보였다. 카메라가 더 높이 올라가자 거대한 원형 플랜트들이 끊임없이 생겨나 사막을 뒤덮어가는 장관이 연출되었다.

“태양의 열기로 직접 암모니아를 합성하면 전기를 거치는 방식보다 더 높은 에너지 효율을 달성할 수 있습니다. 오를로프 박사가 개발한 획기적인 기술 덕분입니다. 게다가 이 플랜트는 사막의 자원과 태양열만으로 새로운 플랜트를 생산해 스스로 증식해 나갑니다.”

‘자기 복제하는 플랜트’라니. 오를로프 박사가 에너지 효율이나 현지 자원 활용 가능성을 너무 과장하지 말라고 했지만, 나는 아랑곳하지 않았다. 계약서에 작은 글씨로 프로젝트가 진행됨에 따라 기술적인 디테일이 바뀔 수 있다고 적어 넣으면 그만이다. 비전은 거창할수록 좋다. 어차피 계획이 현실의 벽에 부딪힐 때까지 남아 있을

2 아리스토텔레스 철학을 해석하고 통합한 이슬람 철학자로 9~10세기에 활동했다.

3 의학과 철학에서 영향력이 컸으며, 4원소론과 자연철학을 다루었다.

4 헬리오스타트(Heliostat): 햇빛을 일정한 방향으로 반사시키는 거울

5 Concentrated Solar Power: 집광형 태양광 발전. 태양광을 거울로 반사시켜 집광탑에 모아 발생하는 고열로 전기를 발전하거나 열화학 반응에 이용한다.

생각도 없었다. 콘셉트를 검증하는 단계에서 창의적인 회계 기법으로 약간의 이윤을 남기고 달아날 계획이었다.

왕세자는 화면을 뚫어져라 쳐다보고 있었다. 나는 그를 쳐다보며 말을 이었다.

“왕세자 전하, 사막의 불, 공기, 물, 흙은 전하의 왕국이 가진 가장 위대한 자원입니다. 그 누구도 빼앗을 수 없는 영원한 자원이지요. 4대 기본 원소에 제5원소, 즉 전하의 영도력을 더하면 전하의 왕국이 지구를 살리는 역사적 사명에 앞장설 수 있습니다.”

‘제5원소’라고 말하다가 하마터면 웃음을 터뜨릴 뻔했다. 왕세자의 머리에서 어깨로 흘러내리는 새하얀 구트라⁶가 그 옛날 영화 속 여주인공의 몸을 아슬아슬하게 가리고 있던 흰 봉대를 떠올리게 한 탓이었다. 입을 꼭 다물고 화면을 넘겼다.

화면에 커다랗게 ‘GAIA: Green Ammonia Integrated Architecture’라는 문구가 나타났다.

“이것이 에너지와 자원을 순환시켜 지구를 구하는 통합 아키텍처, 가이아의 비전입니다.”

* * *

발단은 공항 라운지에서 옛들은 대화였다. 성층권 태양광 발전 프로젝트에 대해 지구 하나 띄우고 ‘제트기류 문제만 해결하면 된다’는 보고서로 마무리 지은 후 남긴 돈으로 크립토에 투자했다가 빈털터리가 된 참이었다. 한동안 할 일도 없었기에 머리카락이 희끗해져서 유럽으로 여행 가는 중이었다. 공짜 술을 몇 잔 마시고 소파에 기대앉아 눈을 감고 있는데 뒤쪽에서 말소리가 들렸다.

“...왕세자가 직접 지휘하는 국부 펀드라니까. 그 사람들, 거창한 스토리 좋아해. 그럴싸한 포스트 오일 스토리만 있으면...”

슬쩍 돌아보니 말끔하게 차려입은 젊은 남자가 헤드셋을 쓰고 줌으로 대화하고 있었다. 귀가 먹어서 자기 목소리가 얼마나 큰지 모르거나 투자니, 사업이니 떠들고 있으면 여성에게 멋있어 보인다고 생각하는 아마추어였다.

당장 노트북을 열고 뉴스를 검색했다. 포스트 오일 산업에 막대한 자금을 투입한다고 조금 전 게시된 기사가 있었다. 지난주에 핫했던 뉴스-멕시코만 해저의 강진

6 사우디아라비아 등지에서 머리에 두르는 천 장식

으로 메탄 하이드레이트 층이 붕괴하며 발생한 대규모 온실가스 분출-에 자극받아 가능한 빨리 프로젝트를 시작할 것이라는 언급도 있었다.

정신이 번쩍 들었다. 다시 오지 않을 기회였다. 거창한 스토리, 큰 계획이라면 자신 있었다. AI 대화창을 열고 국토 대부분이 사막인 아랍의 왕국이 추진할 만한 포스트 오일 프로젝트를 요청했다. 이럴 때 ‘SF에 쓸 아이디어’라고 말하면 AI가 현실성의 요건을 완화해 온갖 그럴싸한 개념들을 제시해 준다. 그러나 대부분 진부하거나 스케일이 작거나 사막 왕국에 어울리지 않는 것들이었다. ‘지구 규모의 에너지 전환’에 어울리는 프로젝트가 뭘까? 한 시간 후 태양광 패널과 전기분해 대신 태양열로 직접 암모니아를 합성하는 개념을 찾아냈다. 이제 이 열화학 어찌고저찌고하는 방식이 그럴듯하게 보이도록 포장해 줄 사람을 구할 차례였다. 최근 기술과는 거리가 멀고, 몸값이 싸야 하고, 그러면서도 권위가 있어 보여야 했다. 다시 한 시간 동안 검색한 끝에 카자흐스탄 내 국립대학에서 얼마 전 은퇴한 레프 올로로프 박사를 찾아냈다. 구소련 시절에 러시아어로 썼던 논문은 아무도 안 읽어 볼 것이고, 질의응답 시간에 기술적인 허점은 영어와 아랍어, 한국어와 카자흐어가 뒤섞이는 통역 과정에서 묻히고 말 것이다.

그 자리에서 비행기 표를 바꿔 카자흐스탄으로 날아갔다. 예상했던 대로 노교수는 자신의 연구에 관심 갖고 찾아온 외국인을 환대해 줬다. 그는 낡은 화이트보드에 화학식과 반응로의 구조도를 그려가며 열정적으로 설명하기 시작했다. 내용의 절반은 그의 어눌한 영어 실력과 말라버린 마커 때문에, 나머지 절반은 기술적인 내용이어서 거의 알아들을 수 없었지만 상관없었다. 아무튼 화이트보드의 왼쪽에는 태양이, 오른쪽에는 암모니아가 그려져 있었고, 꽤 그럴싸해 보였다.

나는 그에게 계약서를 내밀었다. 그는 얼떨떨해하며 읽어보겠다고 했지만, 내가 계약서에서 CTO⁷라는 문구와 연봉 액수-물론 ‘계획대로 프로젝트가 진행될 때’라는 조건을 달았다-를 손가락으로 짚어 보여 주자 그는 그 자리에서 바로 사인했다.

* * *

그로부터 6개월이 흘렀다. 시연일이었다.

7 Chief Technology Officer

그동안 프로젝트는 순조롭게 진행되었다. 프로토타입 플랜트를 건설할 현지 노동자를 채용했고, 오를로프 박사가 카자흐스탄에서 제자들을 데려왔다. 프로젝트 계약서에는 시연 때 달성해야 할 에너지 효율 목표가 있었지만, 걱정하는 오를로프 박사에게 그 목표는 형식적인 것일 뿐이라고 귀띔했다. 나는 ‘플랜트 부지 선정 및 지역 산업계 협력 자문’이라는 모호한 항목을 유연하게 해석해 여유 자금을 만들었다. 최고급 호텔 스위트룸을 빌리고 왕실 관계자들을 상대로 여러 차례의 설명회와 자문 세션을 열어 값비싼 식사와 선물을 대접했다. 시연회가 끝나는 대로 ‘초기 데이터 분석 결과, 상업화를 위해서는 추가적인 기초 연구가 필요하다’라는 비관적인 보고서를 제출하고 빼돌린 자금을 챙겨 이 뜨거운 모래의 나라를 뜰 생각이었다. 애초에 왕세자가 꽃혀 승인했던 프로젝트이므로 목표를 조금 미달했다고 해서 아무도 실패라고 말하지 못할 것이다. 중요한 것은 ‘성실하게 (보이도록) 노력했다. (비관적인) 가능성을 확인했다’라는 사실이었다.

“지우, 모든 준비가 끝났네.”

오를로프 박사의 목소리가 나를 현실로 돌려놓았다. 지독한 사막의 열기 속에 멀리 신기루처럼 아른거리는 CSP 타워가 보였다. 정식 플랜트의 100분의 1도 안 되는 축소판이었지만, 수십 개의 반사경이 한 점으로 모은 태양 빛은 여전히 눈을 멀게 할 듯 강렬했다.

통제실 안은 바깥과 달리 서늘했다. 파이살 왕세자와 그의 수행단이 시연을 기다리고 있었다. 왕세자는 여느 때처럼 금실 자수가 빛나는 비슈트⁸를 입고 있었다. 그런데 오늘 그의 옆에는 처음 보는 젊은 여성이 서 있었다. 날카로운 눈매와 다부진 턱선, 몸에 꼭 맞는 세련된 비즈니스 슈트를 입은 그녀는 이글거리는 사막의 열기와 떨어져 혼자 다른 평행우주에 존재하는 듯 보였다.

“자, 그럼 시작합니다.”

내가 고갯짓하자 오를로프 박사가 떨리는 손으로 메인 스위치를 올렸다. 모니터에 복잡한 그래프와 숫자들-내게는 외계어와 다름없는-이 떠오르기 시작했다. 현장의 소리를 전하는 스피커에서 펌프와 파이프들이 진동하는 소리가 들려왔다. 달아오른 반응로로 수증기와 공기가 흘러 들어갔다. 시간은 지독하게 느리게 흘렀다.

8 아랍 남성들이 입는 전통 의상

나는 태연한 표정을 유지하려 애썼지만, 등줄기로 식은땀이 흘렀다. 제발 뭐라도 나오긴 해야 할 텐데... 폭발만 하지 마라.

“지금입니다!”

오를로프 박사가 외쳤다. 그가 밸브를 열자 최종 포집관으로 연결된 작은 유리창 너머로 투명한 액체가 몇 방울 떨어져 내리는 것이 모니터에 나타났다.

“성공입니다! 암모니아입니다!”

노교수는 아이처럼 기뻐하며 외쳤다. 나는 안도의 한숨을 내쉬면서도 내심 불안했다. 수백억을 태워 겨우 얻어낸 것이 화장실 청소제 몇 방울이라니. 이제 저 실망한 왕세자에게 잘 변명하고 빠져나가야 할 때였다. 수십 번 연습한 대사를 떠올렸다. 가장 정중하고 안타까운 표정을 준비하며 왕세자 쪽을 돌아보았다.

그런데 왕세자의 표정이 이상했다. 그는 실망하기는커녕 오히려 밝게 빛나는 눈으로 유리창 너머의 CSP 타워를 응시하고 있었다.

“훌륭하군.”

왕세자가 나지막이 말했다. 그는 돌아서며 묘한 미소를 지었다.

“전하, 훌륭하다고 말씀하셨습니다?”

나도 모르게 되물었다. 왕세자는 고개를 끄덕였다.

“미스터 박지우, 프랑스 팀은 사막에 최적화된 태양광 패널로 수소를 만든다더니 그저 중국산 패널을 사다 놓기만 했고, 독일 팀은 바이오연료를 만든다며 사막에서 조류⁹를 키우다가 바이러스에 감염되어 모두 폐사되었네. 그들에 비하면 자네는 약속한 과정을 보여 주지 않았나? 비록 양은 적지만 가능성이 증명된 것이야.”

왕세자의 옆에 서 있던 젊은 여성이 냉정한 목소리로 말을 보탰다.

“이제 남은 과제가 명확해졌군요. 효율 증대와 규모 확장. 공학적으로 가장 도전적인 단계죠.”

나는 머리를 한 대 얻어맞은 듯한 충격을 받았다. 이런 상황에 맞는 대사는 생각해 두지 않았다.

“전하, 죄송하오나 보시다시피 생산량이 너무 미미하여 경제성을 논하기에는...”

“내가 이 막중한 일을 자네 혼자 해결하라고 하겠나? 추가 자본과 협력사는 내가

9 藻類, algae: 물속에서 생활하며 광합성을 하는 생물. 미세 조류로 바이오 연료를 만드는 연구가 진행되고 있다.

알아보지. 이제부터 프로젝트 2단계에 돌입한다. 다음 플랜트 규모는 10배, 예산은 20배로 늘리겠네. 그리고 여기 내 조카를 소개하지.”

왕세자는 옆의 여성을 가리켰다.

“리일라 빈트 하미드 알 마하디 공주라네. MIT에서 산업공학과 공정 최적화를 공부하고 얼마 전에 돌아왔지. 앞으로 자네와 함께 가이아 프로젝트를 이끌 공동책임자가 될 걸세. 리일라와 잘해 보게.”

리일라 공주가 나를 향해 손을 내밀었다. 그녀의 눈빛은 마치 나의 속내를 전부 꿰뚫어 보고 있는 것처럼 날카로웠다.

“박 대표님, 그 거대한 비전을 어떻게 실현할지 궁금한 점이 많습니다. 당신과 오를로프 박사는 제가 예상한 문제들에 대한 해법을 이미 갖고 있겠죠? 잘 부탁드립니다.”

얼떨떨하게 그녀의 손을 맞잡았다. 큰일이다. 망했다. 이제는 정말로 사막에서 암모니아를 만들어야 할 판이었다.

* * *

“이런 구조가 실제로 동작했다는 게 놀라워요.”

리일라 공주가 말했다. 그녀는 오를로프 박사의 반응로 설계 도면을 시뮬레이션 소프트웨어에 입력했다. 첫 단계에서 공기에서 분리한 질소와 산소(N_2+O_2)가 초음속으로 노즐을 지나며 고온으로 가열되어 일산화질소(NO)로 결합되고, 노즐을 빠져 나가는 순간 급속히 팽창·냉각되었다. 이렇게 포집된 일산화질소는 다시 산소와 반응하여 이산화질소(NO_2)로 변화되었다. 나도 이제 대충 뭐가 뭘로 변하는지 정도는 외우고 있었다. 그게 왜 어려운 일인지는 여전히 모르지만.

오를로프 박사가 어색하게 미소 지으며 머리를 긁적거렸다.

“난 구소련 시절에 극초음속 비행체와 로켓 개발에 참여했었소. 그래서 프란틀-마이어 팽창파¹⁰를 이용해 가스를 동역학적으로 냉각¹¹하고, 생성된 NO가 다시 N_2

10 Prandtl-Meyer expansion fan: 초음속으로 흐르는 기체가 뾰족한 외부 모서리를 돌아나갈 때 부채꼴 모양의 팽창파가 발생하며 압력과 온도가 급격히 떨어지는 공기역학적 현상. 팽창파들이 부채살처럼 퍼져나가기 때문에 ‘팽창 팬’이라 불린다.

11 Gas-Dynamic Quenching: 기계적인 냉동 장치 없이 가스의 흐름 자체를 이용해 급속 냉각하는 기술

와 O₂로 분해되지 않도록 화학평형을 얼려버리는¹² 충격과 격벽을 형성할 수 있을 거라고 생각했던 거요.”

이번에는 나뿐만 아니라 리일라 공주도 난감한 표정을 지었다. 오를로프 박사는 신이 나서 더 상세한 설명을 하려다가 내 눈치를 보고 입을 다물었다. 잠시 침묵이 흘렀다. 공주가 먼저 입을 열었다.

“그런데 슈퍼컴퓨터도 없이 그런 구조를 어떻게 구상하고, 또 소재는 어떻게...”

오를로프 박사의 입꼬리가 올라갔다. 오래전 과거를 회상하는 듯 창밖의 CSP 타워를 바라보며 천천히 말했다.

“그 당시 주콥스키¹³에는 로켓 엔진 테스트 후에 버려진 노즐 쪼가리가 널려 있었소. 풍동에서 숄리렌 사진¹⁴으로 충격파를 분석하고, 밤새워 사포로 갈아내고, 기름을 발라 표면의 흐름을 확인하고... 그러기를 수백 번 반복했소.”

공주는 믿을 수 없다는 듯이 고개를 저으면서도 오를로프 박사를 경외의 눈빛으로 바라봤다.

“그건..., 예술의 경지네요. 하지만 지금은 21세기잖아요? 제 연구실 동료 중에 AI로 전산유체역학¹⁵ 시뮬레이션을 돌려 최적화된 구조를 찾아내는 친구가 있어요. 우리를 도와줄 수 있는지 연락해 볼게요.”

오를로프 박사가 신나서 연구실로 뛰어간 후 집무실에는 나와 리일라 공주 둘만 남았다. 조금 전까지만 해도 나는 계약서 내용을 근거로 공동 책임자는 받아들이 수 없다고, 리일라 공주에게는 정기적으로 진척 상황과 이슈를 보고하겠다고 말할 생각이었다. 오를로프 박사와 대화하는 모습을 보니-비록 내용은 못 알아들었지만-함께 일해도 괜찮을 것 같다는 생각도 잠시 스쳤다. 하지만 시어머니를 계속 옆에 뒤

12 Freezing the chemical equilibrium: 고온에서만 생성되는 불안정한 화학 물질을 엄청나게 빠른 속도로 냉각해 분자들이 되돌아갈 시간적 여유를 주지 않고 저온에서 그대로 유지하는 방법

13 모스크바 근교에 위치한 도시로, 소련 시절부터 현재까지 러시아 항공우주 과학의 심장으로 불리는 곳. 공기역학과 유체동역학의 아버지로 칭송받는 러시아 과학자인 니콜라이 주콥스키(Никола́й Егорович Жуко́вский)의 이름을 땄다.

14 눈에 보이지 않는 공기의 흐름이나 밀도 변화를 시각화하는 사진 기술. 특수한 광학 장치를 이용해 충격파, 열기류, 가스의 혼합 등을 흑백의 그림자 무늬처럼 보이게 만든다.

15 Computational Fluid Dynamics, CFD: 컴퓨터를 이용해 기체나 액체의 복잡한 흐름을 시뮬레이션하는 기술

야 한다니 생각만 해도 끔찍한 일이었다.

“공주 전하.”

“박 대표님.”

두 사람이 동시에 입을 열었다. 나는 공주가 어떻게 오를로프 박사 같은 분을 모셔 왔냐고 얘기할 거라고 생각했다. 공주가 말을 계속하길 기다렸다.

“다 알고 있어요.”

“네?”

“당신 같은 사람, 잘 알아요. 여기 오기 전에 조사를 했어요. 비용 처리 기록도 살펴봤고요.”

심장이 철렁 내려앉았다. 뭘 얼마나 안다는 걸까? 더 들어보는 수밖에 없었다.

“거창한 비전을 뒷받침할 만한 구체적인 계획이나 박 대표님에게 그런 능력이 있다는 근거가 전혀 없더군요. 그래도 그것까진 괜찮아요. 몇 방울이나마 암모니아가 합성되긴 했으니까. 하지만...”

공주는 가방에서 서류를 꺼내 들이밀었다. 내가 ‘유연하게’ ‘창의적으로’ 예산을 집행한 항목에 모두 빨간 줄이 그어져 있었다.

“우리 왕국의 법률에 의거, 당신을 당장 감옥에 넣을 수 있어요. 그렇게 하는 게 정 의롭겠죠.”

가슴이 쿵쥔거리며 뛰기 시작했다. 지금이라도 공항으로 뛰어가야 할까? 여권을 어디에 뒀더라?

“공항에 가봤자 소용없어요. 출국 금지 명단에 올려놨으니까.”

“비용 처리에 문제가 있다면 모두 제가 배상하겠습니다.”

“그럴 만한 재정 상태가 아닐 텐데요?”

뒷조사까지 했구나.

“파이살 왕세자하고 얘기했어요. 물론 그분도 상황을 다 알고 있어요. 마음 같아선 당신을 구속하고 더 적합한 사람에게 프로젝트를 맡기고 싶지만...”

그녀의 표정이 살짝 어두워졌다.

“시연 때도 말했듯이 다른 프로젝트들이 모두 중단된 상황에서 이 프로젝트의 책임자가 구속되는 건 지금 정치 상황에서 별로 안 좋아 보여요. 그래서 우리는 당신에게 이 프로젝트를 계속 맡기기로 했어요. 착각하지 말아요. 겉보기에만 그렇게 하겠

다는 거니까.”

당장 잡아넣지는 않을 것 같았다. 하지만 겉보기에만 그런 거라면….

“제가 옆에서 지켜볼 거고, 진짜 전문가들로 비밀 자문위원회도 구성할 거예요. 대외적으로 비전을 홍보하는 일은 박 대표가 계속해 주세요. 그건 잘하시는 것 같더군요. 하지만 조금이라도 판생각하거나 최선을 다하지 않으면… 알죠?”

공주는 다시 서류를 들고 내 눈앞에 흔들었다.

“아, 그리고 오를로프 박사님께는 지금 우리가 나눈 얘기를 하거나 실망스러운 모습을 보이지 않는 게 좋을 거예요. 그분은… 순수한 분이니까요.”

* * *

그렇게 된 것이다. 그때부터 나는 난생처음 진짜 열심히, 진짜 성공을 위해 가짜 자격으로 일했다.

‘오를로프 사이클’은 AI에 의한 설계 최적화만으로는 원했던 수준의 효율과 내구성을 달성할 수 없었다. 오를로프 박사와 리일라 공주는 전문가들을 소집해 머리를 맞댄 끝에 마침내 문제를 해결했다. 핵융합로에서 플라즈마를 실시간 제어하는 AI 기술을 응용해 뜨거운 가스를 제어했고, AI가 정교하게 설계한 반응로를 다중 소재 세라믹 3D 프린터¹⁶를 이용해 부위에 따라 점진적으로 다른 성분으로 프린트한 경사 기능 재료¹⁷ 방식으로 이음새 없이 한 덩어리로 최적화된 반응로를 만들었다.

우리는 에너지와 자원을 최대한 순환시킨다는 비전을 달성하고자 했다. CSP 타워의 고열은 질소 분리와 유리, 세라믹 생산에 사용된 후 그보다 낮은 온도에서 암모니아의 합성, 그 후에도 남은 열은 바닷물을 담수화하는 데 쓰였다. 이로써 대규모로 CSP 플랜트를 건설하는 과정에서도 탄소 발생과 비용을 최소화할 수 있었다. 담수화 과정에서 부산물로 추출된 염화나트륨은 암모니아와 이산화탄소를 더해 탄산나트륨으로 변환하고 유리의 재료로 활용되었다. 또 마그네슘은 가볍고 튼튼한 반사경 프레임을 제조하는 데 사용되었다.

16 단일 부품을 제작하면서 부위별로 서로 다른 종류의 세라믹 소재를 동시에 사용하여 프린팅할 수 있는 3D 프린터

17 Functionally Graded Material: 위치에 따라 물성이 점진적으로 변하는 소재. 재료 간의 뚜렷한 경계면이 없어 서로 다른 특성을 가진 재료를 결합할 때 발생하는 균열, 파손 등의 문제를 줄일 수 있다.

그 외에도 수많은 난관이 우리 앞을 가로막았다. 그때마다 나는 감옥에 가지 않기 위해, 오를로프 박사는 일생의 업적을 위해, 리일라 공주는 사랑하는 왕국을 위해 최선을 다했다. 현지 업체 외에 한국 업체의 도움도 많이 받았고, 그 과정에서 나는 과거에 빚졌던 업체에 매달려 이번엔 믿어달라고 사정한 끝에 나중에는 고맙다는 얘기까지 들었다.

* * *

새로 지어진 항만에서 해가 저물고 있었다. 커다란 배 수십 척이 오가고 있었지만, 공기는 쾌적했다. 소음도, 매연도 없는 전기추진 셔틀 탱커¹⁸들이었다. 배들은 저 멀리 사막 한가운데서부터 이어진 파이프라인의 최종 집결지에서 액화 암모니아를 가득 채운 뒤 멀리 수평선에 보이는 거대한 배로 향했다.

이 거리에서는 갑판 위 반구형 탱크들의 실루엣만 보였다. 그러나 나는 그 모습을 생생하게 떠올릴 수 있었다. 내가 한국 조선사의 협력을 이끌어 내면서 건조된, 암모니아로 추진되는 세계 최초의 극초대형 암모니아 운반선¹⁹ GAIA-01. 가이아 프로젝트의 첫 번째 결실이 한국을 향해 떠날 준비를 하고 있었다.

나는 더 이상 까만 정장을 입지 않았다. 먼지가 좀 묻어 있는 작업복 차림이었지만, 몇 년 전 연단 위에서 느꼈던 초조함과 가짜 자신감 대신 보람과 진짜 자신감이 가슴을 채웠다.

“어때요, 박 대표님?”

어느새 다가온 리일라 공주가 내 옆에 서서 말했다. 그녀는 더 이상 나를 감시하는 날카로운 눈빛이 아니었다. 지난 몇 년간 수많은 밤을 함께 새우며 문제를 해결해 온 동료였다.

“제가 처음 프레젠테이션에서 보여 줬던 애니메이션보다 훨씬 멋집니다.”

내 말에 그녀가 피식 웃었다.

18 Shuttle Tanker: 수심이나 규모의 제약으로 항구에 직접 접안하기 어려운 거대한 선박과 육상 터미널 사이를 왕복하며 특정 화물을 전문적으로 실어 나르는 중소형 운반선

19 Ultra Large Ammonia Carrier: 현재 활발히 건조 중인 초대형 암모니아 운반선(Very Large Ammonia Carrier, VLAC)보다 더 큰 운반선을 의미하는 작중 용어. 석유를 운반하는 초대형 유조선은 크기에 따라 VLCC, ULCC로 불린다.

“그때 그 엉터리 애니메이션은 아직도 가지고 있어요. 가끔씩 보면서 웃죠. ‘자기 복제하는 플랜트’라니…. 지금 생각해도 대단한 상상력이었어요.”

“덕분에 여기까지 오지 않았습니까? 왕세자 전하의 영도력, 그 제5원소 덕분이었겠죠?”

나는 짐짓 농담조로 물었다. 그녀는 잠시 먼바다를 바라보더니 고개를 저었다.

“불, 공기, 물, 흙… 그냥 원소일 뿐이에요. 그걸로 가치를 만들어 내는 건… 우리 같은 사람들이죠. 포기하지 않는 의지, 서로를 믿고 도우려는 마음. 그게 진짜 제5원소예요.”

그때 등 뒤에서 휠체어가 굴러오는 소리가 들렸다. 이제는 희끗희끗한 머리카락이 더 많아진 오를로프 박사였다. 그는 몇 년 사이 눈에 띄게 쇠약해졌지만, 눈빛만은 여전히 소년처럼 반짝였다. 그의 제자였던 연구원이 밀어 주는 휠체어를 타고 우리 옆으로 와서는 아무 말 없이 셔틀과 거대한 배를 바라보았다. 그의 주름진 뺨 위로 조용히 눈물 한 줄기가 흘러내렸다.

“지우, 리일라… 보시오. 아름답지 않소?”

나는 고개를 끄덕였다. 정말 아름다웠다. 이대로 몇 시간을 지켜봐도 지겹지 않을 것 같았다. 그때 누가 뛰어왔다.

“공주님! 3번 플랜트 쪽에서 연락이 왔습니다. 새로 개발한 촉매의 효율 데이터를 검토해 달라고 합니다.”

“알았어요. 금방 가죠.”

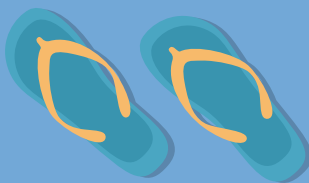
리일라는 나를 돌아봤다.

“가시죠? 박 대표님. 아직 할 일이 많습니다.”

그녀는 언제나처럼 앞장서 걸어갔다. 나는 마지막으로 향만을 눈에 담았다. 저 수평선 너머로 우리가 만든 미래가 열리고 있었다.



산업/기술 뉴스



반도체

로봇

디스플레이

철강

화학

방산

자동차

이차전지

바이오

조선

반도체 ①

AI 칩도 ‘中 빗장’ 푸는 트럼프

(한국일보, 2025.08.13.)

- 도널드 트럼프 미국 대통령이 엔비디아의 고사양 인공지능(AI) 칩 ‘블랙웰’의 성능을 낮추면 중국 수출을 허용할 수 있다는 뜻을 내비쳤다. 엔비디아와 AMD가 대(對)중 수출을 허가받는 대신, 미국 정부에 매출 15%를 내겠다고 합의한 사실이 보도된 지 하루만이다.
- 트럼프 대통령은 이날 백악관 기자회견에서 젠슨 황 엔비디아 최고경영자(CEO)와 새로운 합의를 통해 블랙웰 플랫폼 기반 반도체를 중국에 판매할 수 있도록 할 계획이라고 말했다. 그러면서 이 경우 “성능을 부정적으로 조정할 것”이라는 단서를 달았다.
- 트럼프 대통령은 최신 AI 칩의 성능을 낮추는 것을 미국이 최첨단 전투기의 사양을 낮춰 타국에 판매하는 방식에 비유했다.
- H20 칩은 조 바이든 전 미국 행정부가 AI용 첨단 반도체에 대한 중국 수출을 통제하자 엔비디아가 중국 전용으로 설계한 제품이다. 현재 미국의 수출 통제 하에서 중국에 합법적으로 판매되는 엔비디아 블랙웰 칩은 없다.
- FT는 “전임 행정부가 중국의 첨단 반도체 접근을 차단하기 위해 도입한 수출 통제 정책을 사실상 포기하겠다는 신호”라고 평가했다. 블랙웰 칩은 핵무기 모델링부터 극초음속 무기 개발까지 활용될 수 있어 미국 안보 전문가 사이에선 우려가 제기된다.

반도체 ②

삼성, 최첨단 패키징에 베팅 ‘소부장 강국’

日과 손잡는다 (한국경제, 2025.08.14.)

- 삼성전자가 2,500억 원을 투자해 일본 요코하마시에 최첨단 패키징 연구소를 세운다. 연구소를 안정적으로 운영하기 위해 수천억 원을 들여 요코하마 첨단 연구 개발(R&D) 지구에 있는 대형 빌딩도 매입했다.
- 최첨단 패키징은 그래픽처리장치(GPU), 고대역폭메모리(HBM) 등 이종(異種) 칩을 연결해 하나의 칩처럼 작동하게 하는 기술로 인공지능(AI) 반도체 제조의 핵심 공정으로 꼽힌다. 최첨단 패키징 1위인 대만 TSMC를 따라잡기 위해 소부장(소재·부품·장비) 강국인 일본과 손잡은 것이라는 해석이 나온다.
- 13일 디바이스솔루션(DS) 부문 일본 법인은 2027년 3월로 잡은 가동 시점에 맞춰 현지 연구 인력도 채용하기로 했다. 2023년 12월에 발표한 일본 패키징 투자 계획을 구체화한 것으로, 미나토미라이21지구에 있는 ‘리프 미나토미라이’ 빌딩을 매입하고 최첨단 패키징 연구소와 시험·생산 설비를 들여놓기로 했다.
- 삼성전자가 일본에 패키징 연구소를 설립하기로 한 것은 도쿄대와 디스코(장비), 나믹스(소재), 라조낙(소재) 등 일본 학계 및 소부장 기업과의 협업을 통해 최첨단 패키징 기술력을 끌어올리기 위해서다. 앞서 TSMC도 최첨단 패키징 기술 고도화를 위해 2019년 도쿄대에 연구소를 세웠다.

로봇

中 휴머노이드 로봇 100대 ‘동시 취업’…

대규모 상용화 첫발 (서울신문, 2025.08.14.)

- 중국 로봇 스타트업 애지봇이 만든 바퀴형 휴머노이드 로봇 ‘위안정A2-W’ 100대가 자동차 부품 제조기업 푸린정공 공장에 배치돼 사실상 첫 ‘로봇 취업’이 이뤄졌다고 13일 중국 상관신문이 보도했다. 이는 세계 최초 휴머노이드 로봇 대규모 상업 계약 사례다. 중국 제조업 현장에 사람 대신 휴머노이드 로봇들이 배치되기 시작하면서 대규모 로봇 상용화의 첫발을 뗐다는 평가가 나온다.
- 투입된 휴머노이드 로봇 100대의 계약 규모는 한화로 수십억 원인 것으로 알려졌다. 이 모델들은 지난달 푸린정공 생산 라인에서 물류 운반 테스트를 거쳐 이번에 정식 채용됐다고 현지 매체들이 전했다.
- 위안정A2-W는 물류 적재와 하역, 팔릿 운송 등을 맡게 된다. 푸린정공 측은 반복적이고 신체에 무리가 되는 무거운 물류의 운반 작업을 로봇이 대신 수행해 근로자들이 더 가치 있는 작업에 집중할 수 있을 것으로 기대된다고 밝혔다.
- 1개의 근무조가 1,000개의 물류 상자를 배송할 수 있으며, 주변 사람을 실시간으로 회피하는 기능도 갖췄다. 약 1만 번의 작업에 대해 테스트를 진행했으나 실수는 없었다. 애지봇 측은 “산업용 휴머노이드 로봇이 기술 검증 단계를 넘어 본격적으로 대규모 상용화 단계에 진입했음을 의미한다”고 설명했다.
- 한편 중국이 올해를 휴머노이드 로봇 상용화 원년으로

선언한 가운데 베이징 경제기술개발구에서 지난 8~12일 열린 세계로봇컨퍼런스(WRC)에는 로봇 1,500종이 참여해 총 1만 9천 대가 판매됐다. 부대 행사와 로봇 전문 판매점이 열린 매출액은 2억 위안(약 384억 원)에 이르렀다. 행사에는 세계 인공지능 칩의 선두주자인 엔비디아, 중국의 로봇 선도 기업 유니트리 등 220여 개 기업이 참가했다.

디스플레이

美 ITC “中 BOE, 삼성 OLED 기술 베꼈다…

14년간 美서 퇴출” (한국경제, 2025.08.14.)

- 삼성디스플레이가 중국 BOE를 상대로 미국 국제무역위원회(ITC)에 제기한 ‘유기발광다이오드(OLED) 영업 비밀 침해 소송’에서 역대급 승소를 했다. ITC가 “BOE 패널의 미국 수입을 14년 8개월간 금지한다”는 예비 판결을 내린 것이다.
- 이에 따라 BOE는 글로벌 시장에서 이미지 타격이 불가피해졌다. 하지만 애플의 아이폰 등은 이미 중국 등에서 완제품으로 만들어지고 있어 이번 판결로 인해 한국 디스플레이 회사들이 곧바로 대규모 반사이익을 볼 수 있을지는 미지수다.
- 삼성디스플레이는 지난 2023년 10월 ITC에 BOE를 영업비밀 침해로 제소했다. 13일 업계에 따르면, ITC는 지난달 11일 예비 판결에서 “삼성디스플레이의 보안 조치가 탁월한 수준이었음에도 BOE가 삼성디스플레이 영업 비밀을 부정한 수단으로 취득해 사용했다”며 “삼성디스플레이에 실질적 피해와 심각한 위협을 초래했다”고 판단했다.
- 특히 BOE의 OLED 패널이 14년 8개월 동안 미국에 수입될 수 없다는 ‘제한적 수입 금지 명령(LEO)’을 내렸다. 삼성의 OLED 핵심 기술 개발 기간을 14년 8개월이라고 본 것이다. LEO 기간은 보통 ‘부당이익을 없애는 데 필요한 시간’을 기준으로 산정하는데, 이번엔 이례적으로 여러 영업 비밀과 기술의 개발 소요 시간을 합산했다.
- ITC는 또 BOE 중국 본사와 미국 현지 법인 등의 미국 내 마케팅·판매·광고·채고 판매 등을 모두 금지했다. 최종 판결은 11월에 이뤄질 예정이나 예비 판결에서 BOE의 기밀 부정 취득 혐의를 대부분 인정한 만큼, 결과가 뒤집힐 가능성은 거의 없다고 보고 있다.
- 업계는 당장 BOE의 OLED 점유율이 급감하지 않을 것이라 전망했다. 스마트폰, 태블릿 PC 등 완제품 형태로 수입되는 패널은 이번 제재 대상이 아니다.
- 다만 중장기적으로 한국 디스플레이 회사들의 수혜가 예상된다. OLED 제조국은 한국과 중국뿐인데, 이번 판결을 계기로 미국 내 중국의 기술 탈취 심사가 더욱 엄격해질 전망이다.
- 특히 판결 결과가 ‘OLED 구매 큰손’인 애플과의 거래에 영향을 줄 수도 있다. BOE는 삼성디스플레이, LG디스플레이와 함께 애플의 3대 디스플레이 납품사다.
- 유비리서치에 따르면 2분기 기준 애플 내 OLED 점유율은 삼성 46%, LG디스플레이 21.3%, BOE 22.7% 등이다. BOE는 2021년 아이폰13에 OLED를 처음 납품하며 사세를 확장해 왔는데, 판결을 계기로 애플이 BOE 패널 채택을 늘리기 어려울 것이라는 분석도 나온다.

철강

일본산 저가 공세에 … 철근 70만 원대도 위태

(한국경제, 2025.08.14.)

- 철근 가격이 국내 철강사의 감산에도 하락세를 면치 못하고 있다. 국내 철근의 빈자리를 일본산 철근이 채우면서 초과 공급이 해결되지 않고 있기 때문이다.
- 13일 철강업계에 따르면 이달 초 기준 국내 철근 유통가는 t당 72만 원이다. 철강사들이 원가 보전의 최소치라고 보는 75만 원보다 낮은 수치다.
- 국내 철강사들은 지난 4월 철근가가 72만 5천 원 근처로, 도저히 견딜 수 없는 수준까지 떨어지자 공동 감산에 나섰다. 원가 이하 수준으로는 철근을 팔 수 없다는 릴레이 선언도 있었다. 5월 75만 원 선을 회복하기도 했지만, 단기 효과에 그쳤다. 73만 5천 원(6월 초) → 73만 원(7월 초) → 72만 원(8월 초)으로 다시 내리막길을 걷고 있다.
- 철근가 하락의 결정적 이유는 일본산 철근이다. 7월 한 달간 한국으로 수입된 일본산 철근은 1만 1,279t으로, 전년 동기(2,524t) 대비 346.9% 늘었다. 국내 주요 철강사가 손익 악화를 이유로 ‘손해 보는 판매는 하지 않겠다’며 라인을 멈춰 세우는 사이, 가격 경쟁력을 앞세운 일본산 물량이 중소·중견 시공사를 중심으로 빠르게 파고들었다.
- 일본산 철근의 평균 수입 가격은 t당 64~65만 원이다. 지난해 철근가 하락의 주범이었던 중국산(70만 원 초반)보다 저렴하다. 일본산 철근이 자국 내수 부진과 재고 부담으로 덤핑 수준 가격으로 한국 시장에 밀려 들어오고 있다는 게 업계 관계자들의 설명이다.
- 중국산 철근 물량 역시 계속해서 늘고 있다. 지난달 중국산 철근 수입량은 4,416t으로 전년(544t) 대비 8배 이상 증가했다. 해외 철근이 쏟아져 들어오면서 국내 철근 시장은 더 이상 감산 등으로 가격 조정이 이뤄질 수 없는 시장이 됐다는 분석이 나온다.
- 철강업계는 이대로면 70만 대가 깨질 것으로 내다보고 있다. 원가 보전은커녕 철강사가 큰 적자를 보고 팔아야 하는 시장이 된다는 의미다. 철강사들은 감산 효과가 없다는 걸 학습한 만큼 추가 감산에는 나서지 않을 전망이다. 시장에선 철근 수입과 관련해 정부가 진입 장벽을 세워 길 기대하고 있다.
- 앞서 선박 제조에 주로 쓰이는 후판에 대해 반덤핑 관세 조치를 시행한 만큼 정부는 철강 제품 전반으로 관세 장벽을 확대하기는 부담스러운 입장이다. 철강업계 관계자는 “국내 철강사들이 거의 모든 수단을 동원했음에도 철근가 하락을 막지 못하고 있다”며 “올해 철근가가 60만 원대로 떨어질 가능성이 있다”고 말했다.

화학 ①

정유·석유화학업체 ‘설비 통합’ 제2의 ‘여천 NCC 사태’ 막는다 (경향신문, 2025.08.14.)

- 여천NCC 부도 위기로 드러난 국내 석유화학업계 난관을 타개하기 위해 정부가 정유·석유화학업체 간 설비 통합을 준비 중인 것으로 확인됐다. 정유사와 연계돼 있지 않은 석유화학 설비를 정유사와 통합해 산업 경쟁력을 높인다는 취지다.
- 산업통상자원부는 현재 정유·석유화학사 간 ‘수직 통합’을 골자로 한 사업 재편을 추진하고 있다. 지난해 12월 발표한 「석유화학산업 경쟁력 제고 방안」의 후속 대책이다. 이 후속 대책은 울산·여수·대산 석유단지에서 정유사의 원유 정제 과정에서 나오는 나프타를 저렴하게 공급받을 수 있도록 해 석유화학 제품의 원가 경쟁력을 높인다는 계획이다.
- 정부는 롯데케미칼과 HD현대오일뱅크가 충남 대산 석유화학단지에서 추진 중인 나프타 분해 설비(NCC) 통합을 모범 사례로 보고 있다. 두 회사는 롯데케미칼 대산 공장을 합작사인 현대케미칼로 넘기고 상응하는 자산을 HD현대오일뱅크가 추가 출자하는 방안을 추진하고 있다. 합작사를 세워 설비를 합치고 점진적으로 생산량을 줄이는 방식이다.
- 석유화학업계 고위관계자는 “지난해 연말에 나왔던 정부 정책이 산업 전체의 경쟁력을 위한 지원 방안이었다면 후속 대책은 사업 재편에 초점을 둔 것으로 알고 있다”며 “(정유·석유화학사 통합으로) 사업 재편을 하면 세제·금융·공정거래 지원 등을 어떻게 지원하겠다는 내용이 담길 것”이라고 말했다.
- 후속 대책은 국제 시장 상황을 볼 때 NCC 기업 등 석유화학사가 앞으로 단독 생존하기 어렵다는 판단에서 나온 것으로 풀이된다. NCC는 원유 정제 과정에서 나오는 나프타를 분해해 에틸렌이나 프로필렌 등 석유화학 원료를 생산하는 시설인데, 최근 중국발 공급과잉 등으로 에틸렌 등 가격이 떨어지면서 업계 전반의 경쟁력 약화로 이어지고 있기 때문이다.
- 전망도 밝지 않다. 에쓰오일 ‘샤힌 프로젝트’처럼 정유·석화 통합 공정(COTC, 나프타 추출 단계를 생략하고 원유에서 직접 화학 제품을 만드는 기술)이 중동·중국에서 증설되면서 국내 NCC 기업들의 경쟁력은 더 떨어질 것으로 보인다.
- 업계 관계자는 “COTC 설비가 더 많아지면 국내 기업 (가격) 경쟁력이 수요선을 이탈하게 된다”며 “이렇게 되면 일본이나 서유럽처럼 설비를 끄게 되는 상황이 올 수밖에 없다”고 말했다.
- 산업부 관계자는 “(업체 간 설비 통합을) 기업들에게 강요할 순 없는 것”이라면서도 “업황이 워낙 좋지 않은 상황에서 정유와 석유화학이 버티컬 인테그레이션(수직 통합)하는 방식으로 사업 재편이 일어나면 원가 절감이 된다는 측면에서 바람직하다”고 말했다.

화학 ②

벼랑 끝 석화...정유와 통합땐 세제혜택 검토

(매일경제, 2025.08.18.)

- 석유화학 업계의 공장 가동률이 손익분기점 이하로 급락한 가운데 정부가 이달 발표할 석유화학 후속 지원대책에 구조조정을 촉진할 세제·금융 지원책이 담길 전망이다. 정유사와 석유화학사 간 설비 통합과 업계의 고부가가치 기술 전환을 위한 지원 방안 등이 거론된다. 업계에서 지속적으로 요구해온 「공정거래법」 규제 한시적 완화도 포함될지 주목된다.
- 17일 주요 석유화학 기업들이 제출한 반기보고서에 따르면 올 상반기 석유화학 업체들의 평균 가동률은 전년 대비 하락세를 나타냈다. 특히 수익성 확보를 위한 최소 '마지노선'인 70~80%를 밑도는 가동률을 기록한 것으로 드러났다.
- 롯데케미칼은 상반기 나프타 분해 설비(NCC) 공장의 평균 가동률이 64.4%로 떨어졌다. 작년(81%) 대비 큰 폭의 하락이다. 범용 플라스틱 제품 원료로 쓰이는 폴리프로필렌(PP)과 폴리에틸렌(PE) 공장의 가동률도 각각 72.8%, 71.7%로 전년(88.5%, 88.8%)보다 15%포인트 이상 낮아졌다. LG화학의 상반기 평균 가동률은 71.8%로 지난해보다 6.2%포인트 하락했다. 금호석유화학 역시 합성고무 부문 가동률이 70%에서 66%로, 합성수지 부문은 60%에서 57%로 하락했다.
- 이번 지원책에 세 가지 핵심 방안이 담길지가 관건이다. 업계 간 설비 통합 지원을 통한 구조조정 효과 극대화, 「공정거래법」 규제 완화, 석화사들의 고부가가치 산업 전환 지원 등이다. 우선 업계 간 설비 통합에 대한 금융·세제 지원이 필요한 지원책으로 꼽힌다. 정유사가 석유화학사의 NCC를 직접 운영해 설비 효율화에 나서도록 하는 안이 대표적이다. 현재는 정유사가 석유화학의 원료인 나프타를 생산해 석화사에 판매한다. 정유사가 NCC까지 직접 운영한다면 원가절감 효과를 기대할 수 있다. 현재 HD현대오일뱅크와 롯데케미칼이 충남 대산 석화 단지에서 NCC 통합을 추진하고 있다.
- 「공정거래법」 규제 완화 역시 석화업계 구조 조정을 이끌어 내기 위해 요구되는 대책이다. 현행 「공정거래법」상 인수·합병(M&A) 시 기업의 시장점유율 합계가 해당 분야 1위가 되면 결합이 제한되기 때문이다. 업계는 이를 대형 M&A와 설비 통합의 걸림돌로 지적해 왔다. 업계 간 소통을 통해 생산량 조절 협의도 담합 우려가 있어 사실상 불가능한 상황이다. 화학산업협회는 연구 용역 결과 보고서를 통해 '일본식 유한책임사업조합(LLP)' 도입을 통해 「공정거래법」 규제 리스크를 완화할 수 있다는 의견을 제시하기도 했다.
- 중장기적으로는 석화 기업들의 고부가가치 제품 전환을 위한 정부 지원이 필수적이다. 현재 국내 석화 업체들은 대부분 범용 제품에 집중된 포트폴리오를 보유하고 있다.

방산

“방산 맞손 韓·폴란드…K2 물고

유럽 시장 공략” (매일경제, 2025.08.06.)

- 지난 1일 ‘K-방산’에서 단일 계약으로는 사상 최대 규모인 폴란드 K2 전차 수출 2차 계약 서명식이 진행됐다. 2022년 1차 계약 체결 이후 3년간 현지에서 사업을 총괄해 온 김도화 현대로템 DS 글로벌사업 1실장은 「매일경제」와 인터뷰하면서 “그 길었던 시간 동안 정말 많은 굴곡이 있었다”는 소회와 함께 “앞으로는 폴란드에서 생산된 K2PL(폴란드 버전) 전차를 유럽에 수출하게 될 것”이라고 말했다.
- 폴란드 군비청과 65억 달러 규모로 맺은 K2전차 2차 계약으로 폴란드 현지에서 64대의 K2 전차를 생산한다.
- 김 실장은 “단순한 무기 수출에서 벗어나 기술 이전과 현지화를 통해 폴란드 방위산업 역량 강화에 기여하는 방식”이라면서 “폴란드가 한국을 주요 방산 파트너 국가로 인식하는 계기가 됐다”고 설명했다. 그는 이어 “폴란드 현지 방위산업체와의 협력을 통해 현지 생산 체제를 구현해 유럽 시장에서 K2 전차의 거점을 확보했다는 중요한 의미를 갖는다”고 강조했다.
- 폴란드와의 협력 수준은 K-방산의 노하우를 폴란드에 이식해 주는 높은 수준의 현지화로 진행된다. 김 실장은 “2차 계약에서 처음으로 현지 생산이 시도되는 만큼 차수가 진행될수록 현지화가 점진적으로 확대되고 현지 생산 기술 고도화가 이뤄질 예정”이라고 말했다.
- 현대로템은 폴란드에 올해 말까지 1차 계약분이 모두

인도되면 곧바로 2차 계약분 양산을 시작할 방침이다.

K2 전차 2차 양산분은 기존 전차보다 훨씬 개량된 성능을 보유한다.

- 현대로템이 밝힌 주요 성능은 △ 대전차 미사일과 드론에 대응하는 능동방호장치(APS), △ 전파를 교란해 드론의 정상 가동을 막는 드론 재머(ADS), △ 원격사격통제체계(RCWS) 등이다.
- 김 실장은 첨단 장치뿐 아니라 지상 무기로서의 기본 성능에 대한 평가도 좋았다고 설명했다. 그는 “2km 이상 장거리 표적을 명중시켜 현지 군 관계자들의 감탄을 자아냈다”며 “유럽 내 연합훈련에서도 물웅덩이와 진흙 지대를 탁월한 기동 성능으로 헤쳐 나가 우수한 평가를 받았다”고 말했다.

자동차

관세 피해 아프리카서 ‘전기차 삼국지’

(디지털타임스, 2025.08.18.)

- 한중일 완성차 업체들이 신흥 시장 개척을 위해 전기차를 들고 아프리카로 모이고 있다. 도널드 트럼프 미국 행정부의 관세 정책이 정부 간 협상에 따라 다소 완화됐지만, 불확실성이 높아짐에 따라 신흥 시장 발굴이 절실해졌기 때문이다.
- 게다가 중국산 전기차가 저가 공세와 현지 생산으로 아프리카에서 공격적인 판매 전략을 펼치고 있어 경쟁이 심화될 것으로 전망된다.
- 17일 업계에 따르면 일본 도요타는 오는 2026년 초 남아프리카공화국에서 전기차 3종을 출시하며 현지 전기차 시장에 본격 진출할 계획이다. 남아공은 아프리카 대륙 전체 판매량의 절반에 달하는 최대 시장이며, 중국 업체와 현대자동차·기아도 진출해 있다.
- 「로이터 통신」에 따르면 도요타는 현재 남아공에서 하이브리드·플러그인 하이브리드 모델 시장 점유율이 67%로 독보적인 판매량을 기록하고 있다. BYD 등 중국산 전기차가 저가 공세를 펼치고 있는 전기차 시장에도 진입해 영향력을 확대할 것으로 보인다.
- 현대차의 고급 브랜드 제네시스도 아프리카 최초로 이집트에 진출하며 전기차 라인업을 선보일 계획이다. 제네시스는 지난 7일 이집트에서 브랜드 출시 행사 열어 GV60, GV70 전동화 모델, GV80 전동화 모델 등 3가지 전기차 모델을 공개했다.
- 미국발 관세 장벽이 전 세계로 확산되는 가운데 아프리카는 신흥 시장으로 완성차 업계의 관심을 모으고 있다. 아프리카는 경제 발전을 위해 완성차 업체들의 생산 공장 건설이나 시설 인수를 적극 환영하고 있다.
- 중국은 서아프리카 국가에 전기차 및 배터리 공장을 설립해 현지 생산량과 함께 판매량도 늘릴 전략이다. 특히 중국 전기차 업체들은 아프리카 주요 국가인 모로코, 알제리, 이집트 등지에서 잇따라 플래그십 모델을 선보이며 공장 건설도 검토하고 있다.
- 도요타도 남아공에 전기차 3종을 초기에는 수입해 판매하지만, 향후 현지 생산도 검토하고 있는 것으로 알려졌다.
- 현대차·기아는 남아공, 가나, 에티오피아 등에 반제품 조립(CKD) 공장을 운영하고 있다. 아프리카 산업 수요 증가와 시장 영향력 확대를 위해 CKD 공장 확충 등의 가능성이 있다.
- 업계 관계자는 “아프리카는 약 14억 명의 인구 대비 자동차 보유 대수가 적어 잠재적 수요가 높은 시장이다. 전기차 인프라는 미흡하지만, 정부 차원의 전기차 육성 의지가 강하기에 글로벌 전기차 업체에게는 매력적인 시장이라고 볼 수 있다”고 말했다.

이차전지

ESS·공급망 재편 물 만난 K-배터리...中

‘LFP’ 아성에 도전 (파이낸셜뉴스, 2025.08.14.)

- 리튬인산철(LFP) 배터리가 한·중 간 글로벌 배터리 패권 경쟁의 승부처로 떠오르고 있다. 기존 삼원계 배터리 대비 가격 경쟁력과 안전성에서 우수하다는 평가를 받으며, 완성차 기업 등 글로벌 OEM(주문자상표부착)들의 채택이 늘고 있다.
- LFP 배터리는 일찍이 중국이 글로벌 시장에서 선점하고 있는 분야였지만, 미국을 중심으로 공급망 재편 움직임이 거세지고 있어 우리나라 기업들도 본격적인 시장 공략에 나섰다.
- 13일 업계에 따르면 제너럴모터스(GM), 테슬라, 메르세데스 벤츠, 폭스바겐 등 글로벌 완성차 업체들을 중심으로 LFP 배터리를 채택하는 사례가 늘어나고 있다. 초기 전기차에는 니켈·코발트·망간(NCM), 니켈·코발트·알루미늄(NCA) 등 삼원계 배터리가 주로 장착됐다. 주행가능거리를 늘리기 위해 필수적인 에너지 밀도가 LFP 배터리 대비 높기 때문이다.
- 그러나 기술이 고도화되면서 LFP 배터리의 에너지 밀도 단점이 완화되고, 높은 안전성은 물론 삼원계 배터리 대비 20~30%까지 원재료비를 절감할 수 있다는 점이 고객사들의 선호도가 높아진 배경으로 꼽힌다.
- SNE리서치에 따르면, 올해 상반기 글로벌 친환경차(EV, PHEV, HEV)에 사용된 LFP 양극재의 총적재량은 63만 9,800t으로 전년 동기 대비 72.6%

급증했다. LFP의 비중은 전체 양극재 적재량의 58%로 절반을 넘어서며 ‘대세’로 떠오르고 있다.

- 특히 배터리 업계의 신성장 동력으로 부상하고 있는 에너지저장장치(ESS)에도 LFP 배터리의 선호도가 높다. 오는 9월 미국이 전기차 보조금 폐지를 예고한 만큼 ESS 시장의 중요도는 더욱 높아질 전망이다. 상황이 이렇다 보니 국내 배터리 3사(LG에너지솔루션, SK온, 삼성SDI)도 앞다퉈 LFP 배터리 시장에 뛰어 들고 있다. 중국의 시장 지배력이 절대적이지만, 업계에선 최대 시장인 미국의 중국 배제 움직임을 주목하고 있다.
- LG에너지솔루션은 북미에서 대규모 LFP 배터리 양산 체제를 갖춘 유일한 업체로 꼽힌다. 지난 6월부터 미국 미시간 홀랜드 공장에서 ESS용 LFP 배터리를 생산하고 있으며, 미국 애리조나주에도 LFP 배터리 생산을 위한 공장을 짓고 있다. 이러한 생산 능력을 바탕으로 지난달 해외로부터 6조 원 규모의 LFP 배터리 공급 계약을 수주하기도 했다.
- SK온도 하반기 LFP 배터리 사업을 본격화한다는 방침이다. 회사는 현재 고객사들과 최소 기가와트(GWh) 규모의 계약을 논의하고 있어 연내 수주 성과가 구체화될 전망이다. 삼성SDI 역시 ESS 및 엔트리 시장 진입을 위해 내년부터 미국 현지에서 LFP 배터리의 양산에 나선다는 계획이다.

바이오

바이오 기술 유출 등 줄줄이 법정 行...정치권

‘엄벌 입법’ 속도전 (서울경제, 2025.08.14.)

- 3월 대검찰청에 ‘국가 첨단기술로 지정된 A사의 인공지능 반도체 소스 코드가 외부로 유출됐다’는 첩보가 접수됐다. 검찰은 곧바로 수사에 착수했고 A사 퇴직자들이 해당 기술을 빼돌린 정황을 포착했다. 이들은 「산업기술보호법」 위반 혐의로 재판에 넘겨졌다.
- 국가 산업 기술·영업 비밀 유출 혐의로 재판에 넘겨지는 피의자들이 줄을 잇는 가운데 이를 엄벌해야 한다는 내용의 법률 개정안 논의가 22대 국회 들어 속도를 내고 있다.
- 13일 국회 의안정보시스템에 따르면 박덕흠·이종배·김태년 의원이 각각 발의한 「산업기술보호법」 개정안이 심사에 오른 상태다. 이들 법안의 주요 내용 가운데 하나는 국가 핵심 기술을 유출한 경우 법정형을 기존 ‘3년 이상’에서 ‘5년 이상’으로 올리는 것이다. 또 벌금액을 15억 원에서 65억 원으로 높이거나 손해·이익 금액의 2~5배로 상향하는 내용도 담겼다.
- 「부정경쟁방지법」 개정안 역시 국회 산자중기위에 접수된 상황이다. 박민규 의원이 발의한 「부정경쟁방지법」 개정안의 경우 아이디어 침해, 데이터 부정 사용 등까지 처벌 범위를 확대하는 내용을 담았다. 또 김동아 의원이 발의한 「부정경쟁방지법」 개정안에는 손해 증명, 손해액 산정, 침해 행위 입증을 위한 전문가 사실 조사 제도의 도입이 포함됐다. 처벌 범위를 넓히고 혐의 입증의 실효성을 높이기 위한 제도적 장치를 마련하자는 취지다.
- 여야가 이견 없이 해당 법률 개정에 속도를 내는 이유는 처벌 수위가 지나치게 낮다는 지적 때문이다. 이와 관련해 대전지검 특허범죄조사부는 국가 첨단전략기술이 포함된 2차전지 관련 자료를 허가 없이 빼돌린 전직 대기업 팀장 등 3명을 지난달 28일 기소했다. 인천지검도 앞서 2023년 3월 「부정경쟁방지법」 위반 혐의로 롯데바이오로직스 직원 A 씨를 재판에 넘긴 바 있다. A 씨는 삼성바이오로직스에서 이직하면서 회사 영업 비밀 자료인 품질보증 작업표준서(SOP) 등을 유출한 혐의다. 서울중앙지검 정보기술범죄수사부 역시 5월 중국 화웨이의 펌리스 자회사 하이실리콘 이직을 위해 CIS(CMOS 이미지센서) 관련 첨단 기술과 영업 비밀을 유출한 전 SK하이닉스 직원을 구속 기소한 바 있다. 이는 차세대 고대역폭메모리(HBM) 관련 제조 공법에 쓰일 수 있는 첨단 기술이다.
- 산업계의 한 관계자는 “국가 핵심 기술은 기업이 수년 동안 축적한 경쟁력의 핵심이자 자산으로, 단 한 건의 유출에도 피해 규모는 상상하지 못할 정도로 클 수 있다”며 “국가 경쟁력 훼손을 막기 위해서는 기업의 내부 보안 체계 고도화와 함께 해당 범죄를 엄중 처벌하는 등 국가 차원의 전방위적 대응이 필요하다”고 강조했다.

조선 ①

민관 협력 ‘베이스캠프’ 마련…1,500억 弗 한미 조선동맹 속도 낸다 (서울경제, 2025.08.18.)

- 정부가 미국 워싱턴 DC에 ‘마스가(MASGA, 미국 조선업을 다시 위대하게)’ 업무를 위한 전담 공간을 확보하려는 것은 한미 간 조선 분야 협력 속도를 높이기 위해서다.
- 또 미국 현지 싱크탱크는 한미 조선 협력 방안이 선박 유지·보수·정비(MRO)를 넘어 조선소 인수와 선박 공동 생산 등 다양한 방식으로 전개될 수 있다고 보는 만큼, 현지에 사무실을 꾸려 대응력을 강화한다는 방침이다.
- 17일 정부 관계자는 「서울경제신문」과의 통화에서 “마스가는 한두 건의 굵직한 투자나 보증으로 채울 수 있는 규모가 아니다”라며 “다양한 협력 사업이 진행될 텐데 이를 지원하기 위한 시스템이 필요한 건 사실”이라고 말했다.
- 미국 내 조선 인력을 양성하고 조선 산업 생태계를 재건하는 과정에서 중견 기업이나 국책 연구소, 학계 인력도 미국을 오갈 수 있는데, 이들을 지원할 베이스캠프가 현지에 필요하다는 것이다. 정부는 이미 한미 조선 협력을 촉진하기 위해 주요 조선사가 참여하는 태스크포스(TF)를 구성하기도 했다.
- 트럼프 행정부 내 조선업 담당 부처가 명확하지 않다는 점도 마스가 전담 사무소를 설치하려는 이유다. 조선 산업을 총괄하는 부처는 상무부지만 사실상 미국 조선업이 붕괴한 탓에 명확한 담당 부서가 없는

상황이다. 한미 관세 협상 과정에서 담당자를 지정해 주기로 했지만, 사안별로 다른 사람이 지정되는 등 혼선을 빚고 있다.

- 도널드 트럼프 대통령은 취임 후 미국 조선업 부흥을 위해 백악관 국가안전보장회의(NSC) 내 조선업 담당 조직을 만들었지만, 이후 NCS 조직이 구조 조정되면서 힘이 빠졌다.
- 산업부 관계자는 “협력 아이디어를 내도 미국 행정부의 누구와 이야기해야 하는지 모호한 상황”이라며 “미국에서 상주하며 꾸준히 행정부와 접촉할 필요가 있다”고 했다.
- 조선 협력 방안이 다양한 시나리오로 전개될 수 있는 만큼 현지 사무소를 통해 대응력을 높인다는 복안도 깔려 있다.
- 미국 싱크탱크인 전략국제문제연구소(CSIS)는 최근 발간한 「미국과 동북아 동맹국의 조선 협력 경로」 보고서에서 네 가지 유형의 조선 협력 방안을 제시했다.
△ 미국 선박 MRO 위탁, △ 동맹국의 미국 조선소 인수, △ 미국과 동맹국의 군함 공동 생산, △ 동맹국 조선소에서 건조된 함정 구매 등이다.
- 한국 기업이 미국 조선소를 추가로 인수하거나 한국 내 조선소에서 건조한 함정을 미국이 구매하는 방식이 마스가 협력에 포함될 수 있다는 전망을 내놓은 것이다. CSIS는 협력 대상 동맹국으로 한국과 일본 모두를

언급했으나 한국에 보다 긍정적인 취지의 평가를 남겼다.

- CSIS는 동맹국 기업이 미국 조선소를 직접 인수할 경우 조선 기술과 노하우가 빠르게 미국으로 이전될 수 있다는 점에 주목했다.
- 보고서에는 “동맹국이 직접 미국 조선소를 인수하면 경영 방식 변화, 미국 현지 인력 재교육 및 역량 강화, 선진 기술 이전, 자본 유입 등을 통해 생산성 향상을 기대할 수 있다”며 “대형 외국 조선사를 모회사로 두면 범용 자재와 부품의 대량 구매가 가능해져 원가 절감 효과도 기대된다”고 설명했다.
- 이 같은 방식의 한미 조선 협력은 이미 진행형이다. 한화그룹은 지난해 말 미국 필라델피아에 위치한 필리조선소를 1억 달러에 인수했다. 이후 한화그룹은 설비 투자와 인력 양성, 기술 이전 등에 전방위적인 투자를 진행하면서 미국 조선업 재건에 기여하고 있다.
- 이에 존 펠런 미국 해군성 장관, 러셀 보트 백악관 예산관리국장 등 미국 행정부 고위 관계자들이 잇따라 방문하면서 필리조선소는 한미 조선 협력의 상징으로 떠올랐다.
- CSIS는 한미가 함께 선박을 건조할 수도 있다고 분석했다. 미국의 설계를 기반으로 하거나 미국과 동맹국이 함께 설계한 함정을 동맹국의 조선소에서 건조하는 방식이다. 동맹국에 함정을 대량 주문한 뒤

구매하는 방안도 제안됐다. 미국의 선박 건조 역량에 한계가 있다는 점을 고려한 전략이다.

- 다만 보고서는 미국 조선 산업에 대한 전통적 보호주의 정책 기조 등을 감안할 때 네 번째 방안이 가장 어렵고 실현 가능성이 작은 것으로 분석했다.

조선 ②

‘MASGA’ 통했다… “조선업 협력에 1,500억 달러 투자” 美 움직여 (동아일보, 2025.08.01.)

- 미국과의 이번 관세 협상에서 타결의 지렛대 역할을 한 것은 미국과의 조선업 협력 프로젝트인 ‘마스가(MASGA, Make American Shipbuilding Great Again)’라는 평가가 나오고 있다. 1,500억 달러(약 210조 원) 규모의 ‘마스가 펀드’는 향후 국내 조선업체의 미국 시장 진출과 미국 조선업 부흥을 지원하는 데 사용될 예정이다. 앞으로 양국 간 조선업 협력의 수준이 한 단계 업그레이드될 것으로 보인다.
- 구윤철 부총리 겸 기획재정부 장관 등 통상협상단은 지난달 30일 “조선업 협력이 합의에 가장 크게 기여했다”고 밝혔다. 구 부총리는 이날 한미 무역 협상 타결 관련 브리핑에서 “오늘 합의에서 가장 주목할 부분은 마스가 프로젝트”라며, “이는 미국 내 신규 조선소 건설, 조선 인력 양성, 조선 관련 공급망 재구축, 선박 건조, MRO(유지·보수·정비) 등을 포괄한다”고 설명했다.
- 또 마스가 펀드에 대해 “우리 기업들의 수요에 기반해 사실상 우리 사업으로 진행될 예정”이라고 덧붙였다. 1,500억 달러의 펀드가 한국 기업의 상황에 맞게 자율적으로 운용되며, 그에 따른 이익이나 혜택도 우리 기업이 받게 된다는 것이다.
- 김용범 대통령실 정책실장도 브리핑에서 “선박 건조, MRO, 조선 기자재 등 조선업 생태계 전반을 포괄하며, 우리 기업의 수요에 기반해 구체적인 프로젝트에

투자될 예정”이라고 설명했다.

- 김 실장은 이어 “세계 최고의 설계·건조 경쟁력을 보유한 우리 조선 기업과 소프트웨어 분야에 강점을 가진 미국 기업이 힘을 합친다면 자율운행선박 등 미래 분야에서 상당한 시너지를 창출할 수 있을 것”이라고 전망했다.
- 조선업계에 따르면 마스가 펀드의 활용 방안은 크게 세 가지로 추정된다. △ 국내 조선사의 미국 조선소 인수 및 시설·인프라 투자비(대출), △ 국내 조선사가 투자한 현지 조선소의 선박 수주 시 선박 금융(보증), △ 자율주행선박·쇄빙선 등 미래 기술 투자 등이다.
- 업계가 특히 주목하는 부분은 미국 해군 함정 건조 및 MRO 시장 진출 가능성이다. 미국은 2054년까지 연간 300억 달러(약 42조 원)를 투입해 기존 296척의 보유 함정 수를 381척으로 늘린다는 계획이다.
- 현재 한국은 미국이 안보를 이유로 외국 조선소에서 미 해군 함정 건조를 금지한 「번스-톨레프슨 수정법」 때문에 비전투함 MRO만 담당하고 있지만, 도널드 트럼프 행정부가 ‘예외’를 인정하면 전투함 MRO도 맡을 수 있다는 관측이 나온다.
- 다만 미국 내 정치적 변화나 경제 상황 악화에 따라 투자 중단 가능성도 배제할 수 없다. 국내 조선사의 한 임원은 “초기부터 과도한 투자에 나서기보다 하나둘씩 해 나가는 ‘살라미식 투자’가 필요하다”고 지적했다.

산업/기술 동향



- 1 세라믹 분야 제조혁신을 통한 공정 최적화 및 에너지 저감 기술
- 2 유리 산업 탄소중립을 위한 소재 및 에너지 전환 기술
- 3 전기추진 선박의 개발 및 시장 동향
- 4 대체연료 추진 선박의 기술 개발 동향 및 시장 동향

세라믹 분야 제조혁신을 통한 공정 최적화 및 에너지 저감 기술

이건훈 세라믹 PD | KEIT 철강세라믹실

한윤수 수석연구원 | 한국세라믹기술원 반도체종합솔루션센터

요약

- 제조업은 현재 에너지 위기, 탄소중립 요구, 공급망 재편이라는 복합 위기 속에서 근본적 전환이 요구되고 있다. 특히 에너지 다소비 구조와 낮은 공정 유연성은 국내 제조업의 구조적 약점으로 지적된다. 이러한 한계를 극복하기 위한 핵심 전략으로 ‘스마트그린 제조혁신’이 제시되고 있다.
- 스마트그린 제조는 AI 기반 공정 지능화와 에너지 통합 관리를 융합한 개념으로, 품질·생산성 향상과 에너지 최적화를 동시에 달성하는 시스템이다. 공정 효율화는 디지털화된 설비에서 데이터를 수집·구조화하고, 이를 기반으로 품질 예측 및 이상 감지 모델을 개발하는 세 단계로 구성된다. 디지털 트윈과 자율제어 기술을 활용하면 반복성이 높은 공정의 안정성과 수율을 극대화할 수 있다.
- 에너지 절감은 공정 조건에 따른 전력 예측, 피크 부하 분산, 스마트그리드(Smart Grid) 및 ESS 연계를 통해 달성 가능하며, 열처리 공정 등에서는 10~15% 절감 효과도 기대된다. 이를 뒷받침할 정책으로는 산업 특화형 시범 공장 확대, 중소기업 통합 플랫폼 보급, 정량적 성과 평가 기반 인센티브 도입이 필요하다.
- 스마트제조 시장은 연 11% 이상씩 성장하면서 2034년 900억 달러 규모에 이를 전망이다. AI, IoT, 디지털 트윈을 결합한 스마트제조 기술은 미국, 독일 등 선진국 중심으로 빠르게 확산되고 있으며, 국내에서도 정부 정책과 기업 투자에 힘입어 양적 확산에서 기술 고도화 단계로 전환되고 있다.
- FEMS(공장 에너지 관리 시스템)는 제조업 에너지 관리의 핵심 인프라로 자리 잡고 있다. IoT 센서, AI, 디지털 트윈이 결합된 FEMS는 에너지 흐름을 실시간으로 분석하고 자율 최적화하며, 공정 효율성과 ESG 경영까지 포괄하는

전략적 시스템으로 발전하고 있다. 국내 도입도 활발히 이루어지고 있으며, 주요 산업단지에서 평균 7~10% 이상의 절감 효과가 보고되고 있다.

- 세라믹 산업에서 진행 중인 스마트그린 실증사업은 한국세라믹기술원을 중심으로 AI, MES(제조 실행 시스템), FEMS를 통합 적용하여 데이터 기반 품질 예측, 에너지 절감, 불량률 저감을 실증하고 있다. 본 사업은 국내 중소 제조기업의 디지털 전환과 탄소중립 달성에 기여하는 대표 모델로 진행 중이다. 궁극적으로 스마트그린 제조혁신은 기술, 산업, 환경을 연결하는 새로운 제조 철학이며, 대한민국 제조업의 지속 가능한 경쟁력 확보를 위한 핵심 전략이다.

1. 개요

- 지금 우리는 제조업의 근본적 전환이 요구되는 시대적 기로에 서 있다. 글로벌 공급망의 복잡성, 에너지 가격의 급등, 그리고 탄소중립이라는 글로벌 목표는 제조 시스템 전반의 체질 개선을 요구하고 있다. 특히 에너지 다소비 구조와 낮은 공정 유연성은 국내 제조업의 구조적 약점으로 지적되어 왔다. 이러한 상황에서 ‘공정 효율화’와 ‘에너지 절감’이라는 이중 과제를 동시에 해결할 수 있는 새로운 패러다임이 필요하며, 이것이 바로 ‘스마트그린 제조혁신’이다.
- ‘스마트그린 제조’는 데이터 기반의 공정 지능화 기술과 에너지 통합 관리 기술을 융합한 개념이다. AI 모델링, 예측 제어, 디지털 트윈 등 스마트제조 기술을 활용하여 공정의 품질과 생산성을 극대화하는 동시에 공정 운전 조건과 설비 부하에 따라 에너지 소비를 실시간으로 최적화하는 것을 목표로 한다. 즉 제품 중심의 생산 최적화에서 나아가 에너지까지 고려하는 전방위적 공정 시스템 지능화로의 진화를 의미한다.
- 공정 효율화를 위한 전략은 다음의 세 가지 단계로 구분된다.
 - 첫째, **생산 설비의 디지털화 및 데이터 수집 체계 구축**이다. 이는 공정 내 주요 설비에 고정밀 센서와 모니터링 장치를 설치하고, 운영 로그, 품질 이력, 환경조건 등의 정보를 실시간으로 수집·통합함으로써 공정 데이터를 체계적으로 확보하기 위한 기반을 마련하는 과정이다.
 - 둘째, **유익미한 데이터세트의 확보와 구조화**다. 단순 수집된 원시 데이터를 넘어 공정 변수 간 상관관계와 품질 영향도를 중심으로 데이터를 정제하고 분석 가능한 형태로 구조화하는 것이 핵심이다. 이를 통해 AI 분석 및 모델링에 적합한 고품질 학습 데이터를 구축할 수 있다.

- 셋째, **AI 기반 공정 품질 예측 및 관리 모델의 개발**이다. 축적된 데이터셋을 활용하여 공정 조건 변화에 따른 품질 변동을 사전에 예측하고, 이상 징후나 비정상 패턴을 실시간으로 탐지하는 인공지능 모델을 설계함으로써 공정 안정성과 생산 수율을 극대화할 수 있다. 특히 이 단계에서는 디지털 트윈 기술을 활용하여 실제 공정을 가상 공간에서 정밀하게 재현하고, 시뮬레이션을 통해 다양한 조건 변화에 따른 품질 영향을 사전 검증하며, 반복성이 높은 공정에 대해 실시간 제어 및 자율 최적화 체계를 구축할 수 있다.

○ 한편, 에너지 절감은 이제 단순히 개별 설비의 에너지 효율을 높이는 방식만으로는 한계가 있다. 공정 전체를 하나의 에너지 소비 시스템으로 보고 실시간으로 전력 사용량을 예측하고 제어하는 것이 핵심 전략으로 부상하고 있다.

- 이를 위한 첫 번째 전략은 공정 조건 변화에 따라 설비별 전력 소비량을 실시간으로 예측할 수 있는 **AI 기반의 공정-전력 연계 예측 모델**을 개발하는 것이다.

- 두 번째 전략은 전력 피크 시간대를 회피하거나 생산 일정과 장비 운전 스케줄을 조정하여 전력 소비를 분산함으로써 **전체 소비 전력을 최소화**하는 방식이다.

- 세 번째 전략은 ESS 및 스마트그리드 등 외부 전력 자원과 연동하여 **전력 공급을 유연하게 운영**하는 것이다. 특히 고전력을 소비하는 열처리 공정 등에서는 공정의 불필요한 중단과 재기동을 최소화하는 것만으로도 연간 10~15%의 전력 절감 효과를 기대할 수 있다.

○ 지속가능한 스마트그린 제조혁신을 실현하기 위해서는 다음 세 가지의 정책적 뒷받침이 필요하다.

- 첫째, **산업 특화형**(예: 반도체, 전기·전자, 첨단 소재 등) **스마트그린 시범 공장**을 전국 단위로 확대하여 기술 실증 및 데이터 기반 운영 모델을 현장에서 검증할 수 있는 실증 기반을 체계적으로 마련해야 한다.

- 둘째, **중소기업에 특화된 통합형 플랫폼**을 개발·보급함으로써 데이터 수집-모델링-제어까지 단일 체계에서 운영 가능한 모듈형 솔루션을 확산시키고, 중소 제조 기업의 디지털 전환 진입 장벽을 낮춰야 한다.

- 셋째, 스마트그린 설비와 시스템 도입에 따른 전력 절감뿐만 아니라 품질 개선, 생산성 향상, 불량률 저감 등 **다차원적 성과를 정량 평가할 수 있는 체계**를 구축하고, 이를 바탕으로 정부 보조금, 세액공제, 전력 요금 차등제 등과 연계한 다목적 BM(Business Model)을 설계해야 한다. 이러한 성과 기반 인센티브 체계는 기술 도입의 경제적 타당성을 확보함과 동시에 민간 주도의 지속가능한 스마트그린 확산을 유도하는 핵심 동력이 될 수 있다.

- 대한민국은 제조업의 미래를 다시 설계할 시간이 다가왔다. 공정 효율화와 에너지 절감은 더 이상 선택이 아닌 생존 전략이다. 이제는 두 목표를 동시에 달성할 수 있는 시스템적 접근이 필요하다. 스마트그린 제조혁신은 기술과 산업 그리고 환경을 연결하는 새로운 제조 철학이며, 글로벌 전환기에 대한민국 제조업이 다시 도약할 수 있는 실질적인 전략이 될 수 있다.

2. 국내외 시장 동향

제조공정 효율화 시장 동향

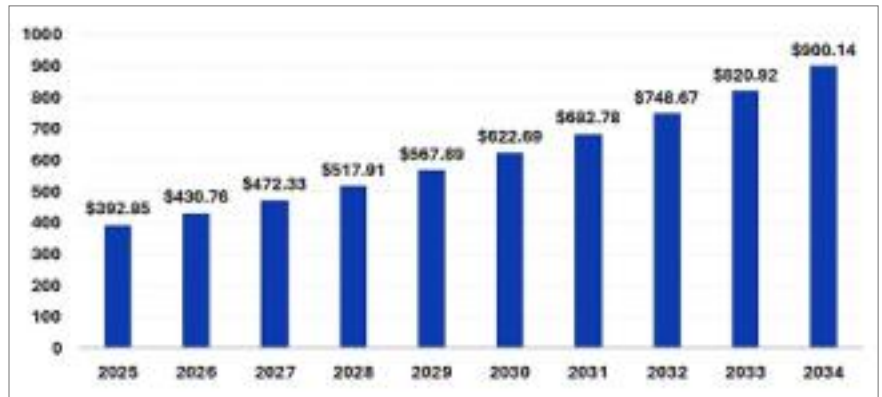
- 글로벌 스마트제조 시장은 2024년 기준 약 3,040억 달러 규모이며, 2034년에는 약 9천억 달러에 이를 것으로 전망된다. 이는 2025년부터 2034년까지 연평균성장률(CAGR) 11.4%를 기록하는 것으로, 스마트제조 기술이 제조업의 핵심 동력으로 자리매김하고 있음을 나타낸다. 특히 아시아 태평양 지역은 2024년 기준 세계 시장의 약 37.6%를 점유하면서 시장을 주도하고 있으며, 예측 기간 내 가장 빠른 성장률을 보일 것으로 분석된다. 이러한 성장은 산업용 IoT, AI, 디지털 트윈 등의 기술 통합이 가속화되면서 생산성 향상과 비용 절감 수요가 증가한 데 기인한다.

(단위: USD Billion)

그림 1

2025년부터 2034년까지의
스마트제조 시장 규모 및 예측

출처: Precedence
Research(2025.04)



- 미국, 독일, 일본 등 선진국은 산업용 IoT 및 스마트제조 도입을 가속화하고 있으며, 공공 프로젝트와 민간 투자를 통해 기술 상용화를 확대하고 있다. 반면 중국과 인도 등 신흥국은 기술 인프라 부족과 도입 장벽으로 어려움을 겪고 있으나, 민간 협력을 통해 대응 중이다. 미국의 경우 국가 주도 스마트제조 이니셔티브를 통해 IIoT(산업용 사물인터넷)와 AI 기반 공정 혁신을 추진하고 있으며, 'Manufacturing USA' 네트워크는 AI(2024년)와 디지털 트윈(2023년) 등을 중점 육성하는 18개 연구소를 운영 중이다. 최근 'CHIPS Manufacturing USA Institute(SMART

USA)’를 통해 디지털 트윈 기술을 중심으로 반도체 생산 혁신을 강화하고 있다.

민간 부문에서는 Deloitte社の ‘Smart Manufacturing Foundry’ 플랫폼이 데이터를 실시간 수집·분석하여 생산성, 품질, 에너지 효율을 동시에 개선하는 모델을 확산시키고 있다. 2025년 IoT 애널리틱스(IoT Analytics)의 보고서에 따르면, 미국 제조 기업의 70% 이상이 IIoT 전략을 개발 또는 도입 중이며, 스마트팩토리가 생산성, 기민성, 인재 확보 측면에서 두드러진 성과를 내고 있다.

- 기업 차원에서도 스마트제조에 대한 관심이 높다. 대기업의 62%가 로봇과 자동화 설비 투자를 계획하고 있으며, 39%는 IoT 플랫폼 도입을 추진 중이다. 또 전체 제조업체의 97%가 스마트제조 기술을 통해 생산성과 리스크 관리를 동시에 달성하려는 의지를 보인다. 이는 스마트제조가 단순 디지털 도입을 넘어 경영 전략 수준의 혁신 도구로 인식되고 있음을 의미한다.
- 전 세계 공장에 설치된 산업용 로봇 중 약 3분의 1이 자동차 산업에 집중되어 있다. 이는 산업별 스마트제조 수요 편차를 보여 주는 사례로, 자동차 산업의 정밀성, 속도, 품질 관리 요구가 자동화와 디지털 기술 도입을 가속화하고 있음을 시사한다. 반면 첨단소재 산업은 센서 기술 미흡으로 데이터 수집이 어려운 양상을 보인다. 부품 조립형 산업은 공정 단계별로 정형화된 센서가 상용화되어 데이터 확보가 용이하나, 첨단소재 산업은 미세 입자·분자 단위의 복합적 물리·화학 특성으로 인해 실시간 측정이 어렵다. 따라서 첨단소재 산업의 스마트제조 전환은 센서-데이터-AI가 유기적으로 연계된 고난이도 통합 모델로 접근해야 한다.
- 국내 스마트제조 시장은 2024년 기준 약 65억 달러 규모로 추정되며, 연평균 14.36% 성장률을 기록하면서 2030년에는 약 150억 달러에 이를 것으로 전망된다. 이는 글로벌 평균을 상회하는 수치로, 한국 제조업의 디지털 전환 수요와 정부 정책 확산에 기인한다.
- 시장 구조는 공급자 중심에서 수요자 중심으로 이동 중이다. 기존 ERP, MES, SCM 등 개별 시스템 중심에서 이기종(異機種) 데이터 통합과 공정 최적화 플랫폼 수요가 확대되면서 AI 기반 예지 보전, 실시간 품질 제어, 공정-에너지 연계 최적화 기술이 주류로 부상하고 있다. 이는 IT 운영 관리에서 공정 자동화·지능화로의 전환을 가속화한다.
- 현장에서는 IoT 센서 네트워크, 로봇 자동화, 디지털 트윈 도입이 빠르게 진행되고 있다. 정부의 스마트팩토리 보급 정책에 따라 중소·중견 기업에서도 설비 연결 및 데이터

수집을 넘어 공정 전체에 대한 디지털 재설계가 시도되고 있으나, 대기업-중소기업 간 격차, 인력 부족, 시스템 통합 비용, 보안 문제가 장애 요인으로 작용하고 있다.

- 정책적으로 ‘디지털 뉴딜’과 ‘제조업 르네상스 비전’을 통해 정부가 기반 구축에 적극적이며, 산업통상자원부와 중소벤처기업부는 2025년까지 3만 개 이상 스마트팩토리 구축을 목표로 R&D, 보조금, 인력 양성 프로그램을 확대하고 있다. 특히 K-스마트등대공장, AI 팩토리 실증, 5G 기반 자동화 시범 사업이 활발히 추진되어 산업 확산 인큐베이터 역할을 한다.
- 국내 스마트제조 시장은 양적 확산에서 기술 고도화 단계로 진입하고 있으며, 정부 정책, 민간 기술, 산업 수요가 상호작용하면서 성장 선순환을 형성하고 있다. 향후 스마트제조 기술의 단순 도입을 넘어 생산성과 지속가능성(에너지 절감, 탄소 저감 등)을 동시에 달성하는 지능형 제조 체계로의 전환이 핵심이다. 이를 위해 산업 특성에 맞는 기술 표준화, 데이터 공유 인프라, 전문 인력 양성 등 기반 요소에 대한 전략적 접근이 병행되어야 한다.

에너지 효율화 시장 동향

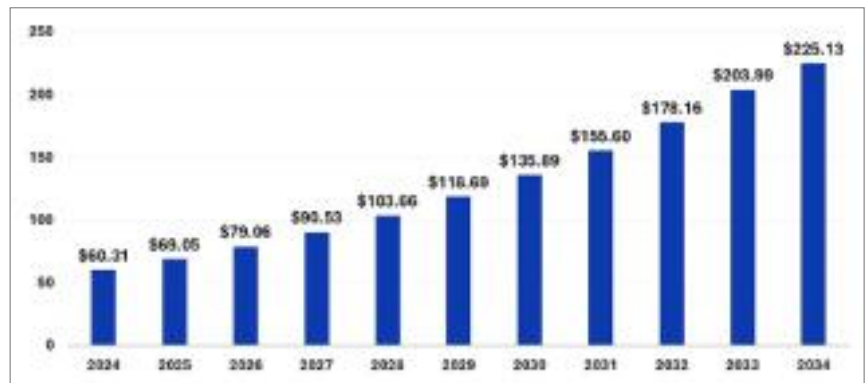
- 글로벌 제조 산업에서는 에너지 효율성 향상과 탄소중립 이행을 위한 핵심 전략으로 FEMS(Factory Energy Management System)의 도입이 급속히 확산되고 있다. 제조 부문은 전 세계 에너지 소비의 약 37%를 차지하며, 이 중 절반 이상이 전력과 열원 손실에 기인하는 만큼 공장 내 에너지 흐름을 실시간으로 분석하고 최적화하는 시스템적 접근이 에너지 절감의 관건으로 부각되고 있다. 2025년 시장 규모는 약 690억 달러로 성장할 전망이며, 스마트 그리드와 경쟁 증가가 이를 촉진한다.

(단위: USD Billion)

그림 2

2025년부터 2034년까지의
에너지 관리 시스템(EMS)
시장 규모 및 예측

출처: Precedence
Research(2025.05)



- 독일, 미국, 일본 등 에너지 다소비 제조국에서는 정부 주도 프로그램을 통해 FEMS 적용이 제도화되고 있으며, ISO 50001 기반의 에너지 관리 체계와 연동하여 인증 제도 및 보조금 지원이 병행되고 있다. 글로벌 제조 산업에서 FEMS가 생산성과 지속가능성을 동시에 확보하는 핵심 기반 기술로 부상하는 흐름은 한국 제조업 현장에서도 유사하게 전개되고 있다. 특히 국내 제조업은 산업 전체 에너지 소비의 약 60% 이상을 차지하고 있어 공장 단위 에너지 관리 고도화는 국가 차원의 에너지 효율성 제고 및 탄소중립 목표 달성에 필수적인 요소로 간주된다.
- 국내에서는 2010년대 중반 이후 산업통상자원부와 중소벤처기업부를 중심으로 중소·중견 기업에 대한 FEMS 보급 사업이 본격화되었으며, 스마트그린 산단 조성 사업, 지역에너지센터 운영 등과 연계해 FEMS 구축이 확산되고 있다. 실제로 주요 산업단지 내 시범 사업 결과, FEMS를 도입한 기업들의 평균 에너지 절감률은 약 7~8% 수준이며, 일부 고효율 구축 사례에서는 10%를 상회하는 성과도 보고되었다.
- 다수의 글로벌 사례에서 FEMS 도입 초기에는 평균 2~3년 내 투자 회수(BEP)가 가능하며, 에너지 비용 절감 외에도 설비 가동률 향상, 공정 안정성 개선, 탄소배출권 확보 등 다각도로 경제적 효과가 함께 도출되는 것으로 나타났다.

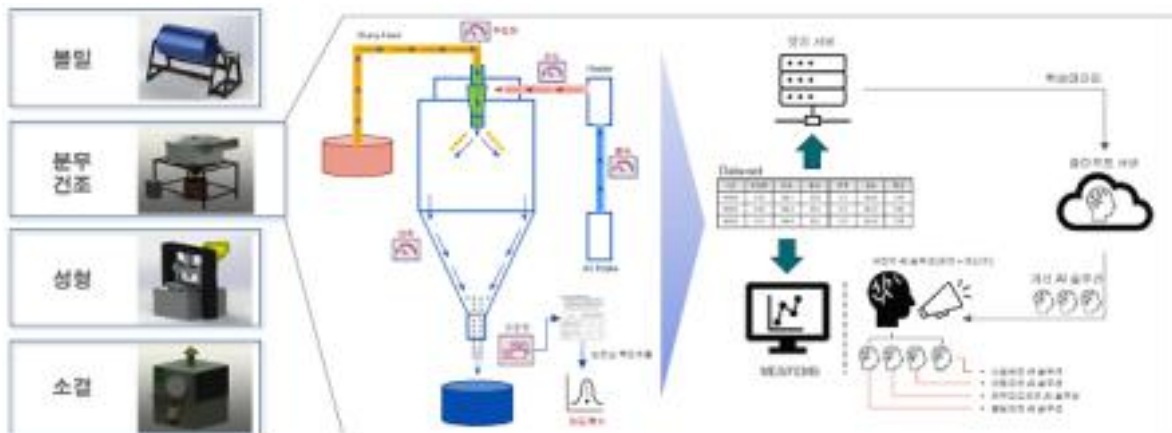
3. 국내외 기술 동향

제조 공정 효율화 기술 동향

- 글로벌 제조 산업에서는 AI 기반 공정 효율화가 디지털 전환의 중심으로 부상하고 있으며, 이는 자동화 수준을 넘어 예측 제어, 실시간 최적화, 지능형 의사결정을 포함한 고도화된 생산 체계로 진화 중이다. 이러한 기술은 생산성 향상과 비용 절감, 품질 안정성 확보를 넘어 탄소중립과 지속가능성을 동시에 달성하는 핵심 수단으로 인식되고 있다. 2025년 기준으로 AI 채택률이 78%에 달하고 산업 AI가 2조 달러 이상의 경제 가치를 창출할 것으로 예상되면서 하드웨어 비용 30% 하락과 에너지 효율 40% 향상 같은 발전이 이를 뒷받침하고 있다.
- AI 기반 제조 공정 효율화 기술은 센서와 설비에서 수집된 대규모 데이터를 분석하여 이상 패턴을 탐지하고 공정 변수 간 상관관계를 학습함으로써 실시간 품질 예측, 결함 조기 진단, 공정 자동 보정을 가능하게 한다. 특히 머신러닝 기반 예측 모델은 복잡한 변수와 상호작용이 발생하는 다단계 공정에서 인력 중심 운영의 한계를 극복하는 데

그림 3

세라믹 공정에서의 공정 및 에너지
데이터 수집, 데이터세트 저장,
AI 모델 구축과 활용 예시



- 기술적으로 지도학습 기반 품질 분류 모델, 비지도학습 기반 이상 탐지 모델, 강화학습 기반 공정 최적화 알고리즘이 제조 현장에 적용되고 있다. 최근에는 설명 가능 AI(XAI)를 활용하여 주요 변수 도출과 현장 작업자 협업 신뢰성을 높이는 연구가 확대되고 있다. 또한 딥러닝 기반 비전 검사 기술이 기존 수작업을 대체하면서 불량률 저감에 기여하고, 오픈 웨이트(Open weight) 모델의 성능 향상이 AI 채택 장벽을 낮추는 역할을 하고 있다.
- 이러한 흐름은 전통적인 제조 강국뿐 아니라 AI 기술 선도 국가들이 제조혁신 주도권을 확보하는 구조로 이어지고 있다. 미국, 독일, 일본 등은 AI 기반 스마트제조를 국가 혁신 과제로 설정하고 민관 협력을 통해 기술 개발과 실증을 추진 중이다. 그러나 데이터 품질 확보, 도메인 지식 융합, 모델 일반화, 보안성 같은 과제가 부각되면서 제조업과 AI 기업 간 협업, 데이터 생태계 구축, 윤리적 AI 프레임워크 확립이 필수적으로 요구된다.
- 결론적으로 AI 기반 제조 공정 효율화는 글로벌 경쟁력 확보의 기반으로 자리 잡고 있으며, 향후 자율화된 제조 시스템(Autonomous Manufacturing)으로 진화할 전망이다. 이를 위해서는 기술 도입 외에 인프라 구축, 인력 양성, 데이터 공유 체계 혁신이 전방위적으로 필요하다.
- 글로벌 AI 흐름에 발맞추어 국내에서도 제조 현장의 지능화를 위한 AI 기술 도입과 실증이 본격화되고 있으며, 정부는 산업 지능화 기본 계획을 통해 AI를 공정 최적화,

품질 예측, 에너지 효율화 전 과정에 적용하는 R&D 사업을 추진 중이다. 2025년 기준으로 산업 AI에 3.49억 달러를 투자하면서 AI 팩토리과 AI 칩 기술 개발을 강조하고 있다.

- 대기업과 중소기업 모두 AI 기반 시스템을 단계적으로 도입 중이며, 스마트 센서와 IIoT 인프라가 장착된 공정에서 머신러닝과 딥러닝 모델이 품질 예측, 이상 감지, 예지보전, 공정 자동 제어에 적용되면서 기존 수작업 중심 공정을 자율화하고 있다. 한편 「AI 기본법」(2026년 시행 예정)이 AI 윤리와 보안을 강화하면서 제조 AI 채택이 가속화될 전망이다.
- 기술적으로 지도학습 기반 품질 분류와 비지도학습 기반 이상 탐지 모델이 보급되면서 일부 선도 기업은 강화학습 기반 스케줄링과 공정 최적화 알고리즘을 실증 중이다. 또 XAI의 확산은 모델 결과를 현장 작업자가 해석할 수 있도록 지원하여 신뢰성과 협업성을 높이고 있다.

에너지 효율화 기술 동향

그림 4

세라믹 공정에 적용된
에너지 관리 시스템(FEMS)의
화면 예시



- FEMS는 설비 단위로 에너지 소비 데이터를 수집하고, 이를 통합 플랫폼을 통해 분석·시각화한 후 예측 기반의 제어 알고리즘을 통해 에너지 낭비를 최소화한다. 글로벌 제조 산업에서 FEMS는 단순 모니터링에서 디지털 트윈, AI 분석, 자율 제어 통합으로 진화하고 있으며, 에너지 효율, 비용 절감, 탄소 배출 감소를 달성하는 전략적 인프라로 자리 잡고 있다.
- FEMS는 IoT 센서 네트워크로 에너지원(전기·열·압축공기) 데이터를 고해상도로 수집하고, 에지 컴퓨팅으로 처리한 후 클라우드에 적재하여 디지털 트윈 구축을

가능하게 한다. 이는 에너지 흐름과 낭비 지점을 실시간 시각화하고 분석하며, ISO 50001과 연계해 에너지 성과를 탄소배출권 관리로 연결하는 시도가 현재 유럽과 북미를 중심으로 활발히 이뤄지고 있다.

- AI와 머신러닝 기반 모델은 공정 데이터로 예측 제어, 고장 탐지, 수요 반응 기능을 수행하며, 북미 기업들은 8~12% 에너지 비용 절감을 실현하고 있다. 기술의 진화는 디지털 트윈 통합 분석, AI 자율 제어, 클라우드 중앙 관리의 세 축으로 요약되며, 최근 FEMS가 공정 효율성과 안전성까지 관리하는 범용 플랫폼으로 발전 중이다.
- 국내 제조 산업에서 FEMS는 에너지 효율화와 탄소중립 대응의 핵심 기술로 부상 중이며, 기술 고도화와 정책적 지원으로 확산되고 있다. FEMS는 설비별 에너지 데이터를 실시간 수집·분석하여 낭비 요인을 감지하여 자동 제어하며, 초기 미터링 중심에서 IoT 센서, AI 알고리즘, 클라우드, 디지털 트윈 통합으로 자율 최적화가 강화되고 있다. 산업단지 시범 사업에서 복수 기업의 데이터 통합으로 집단 최적화 모델이 실증되면서 평균 7.2% 절감률을 기록했다.
- 기술적으로 스마트 미터링, 실시간 설비별 에너지 소비 분석, 고장 예측 기반 유지보수 기능 등으로 구성된 FEMS 플랫폼이 일반화되고 있으며, 최근에는 AI 기반의 이상 징후 탐지, 클라우드 기반 원격 제어, ESS 연계 최적화 기능이 추가되면서 고도화되고 있다. 특히 에너지 집약도가 높은 반도체, 디스플레이, 정밀 소재 산업에서는 생산 공정별 탄소 배출량 정량화를 위해 FEMS와 LCA(Life Cycle Assessment)를 연계하려는 시도도 나타나고 있다.
- 요약하면, 국내 제조 산업에서의 FEMS 도입은 비용 절감과 에너지 고효율화라는 단기적 성과에 더해 장기적으로 공정 최적화, ESG 경영 기반 확립, 디지털 제조 전환 등 복합적 효과를 창출하고 있다. FEMS는 이제 단순한 에너지 관리 툴을 넘어 제조 경쟁력 강화를 위한 전략적 인프라로 기능하고 있으며, 향후 스마트공장과 탄소중립 산업단지 구축과도 밀접하게 연계될 것으로 전망된다.

4. 국내외 기업 동향

제조 공정 효율화 기업 동향

- 글로벌 제조 기업들은 AI와 디지털 트윈을 통합한 솔루션을 통해 공정 효율화와 에너지 최적화를 추구하며, 생산성 향상과 ESG 대응을 동시에 실현하고 있다.

Siemens社は Xcelerator 플랫폼과 NVIDIA 협력을 통해 산업용 메타버스 환경을 조성하고 있으며, 에를랑겐(Erlangen) 공장에서 디지털 트윈 기반 생산 최적화로 환기 에너지 소비를 70% 절감하고 자재 흐름을 40% 감소시켰다. 2025년 CES에서 발표된 AI 에이전트는 산업 자동화를 강화하며, 시뮬레이션 기반 에너지 최적화를 지원하고 있다.

그림 5

Siemens Process Simulate(左)는 NVIDIA Omniverse(右)에 연결하여 완전한 디자인 충실도의 사실적인 실시간 디지털 트윈을 지원한다.
출처: NVIDIA Newsroom(2022.06.)



- GE는 Predix™ 플랫폼을 통해 AI 기반 예측 유지보수를 적용하여 예기치 못한 다운타임을 20% 줄이고 터빈 효율을 10% 이상 향상시켰으며, 이는 운영 비용 수백만 달러 절감으로 이어졌다. 2025년 GE Vernova社は GridOS® AEMS를 통해 실시간 전압 제어와 수요 반응 기능을 극대화하고, AI를 통해 에너지 전환과 탄소 감축을 가속화하는 사례를 제시하고 있다.
- Bosch는 2025년 ‘Industry 4.0’ 프로젝트에서 AI 기반 로봇 시스템을 통해 자동차 부품 생산 공정에서 불량률을 15% 줄이고 에너지 소비를 12% 절감한 사례를 보고했으며, 다양한 산업으로의 적용을 확대하고 있다. 이러한 사례는 AI가 설비 단위 KPI 분석과 공정 전체 최적화를 가능케 하여 단순 절감에서 공정 재구성과 운영 비용 최소화로 확대되는 추세를 보여 줄 뿐 아니라 글로벌 제조업의 지속가능성과 경쟁력 확보에 기여하고 있다. 그러나 AI 도입 비용 증가와 데이터 보안 리스크가 여전히 과제로 지적된다.
- 국내 제조 기업들은 AI 기반 스마트팩토리를 통해 공정 자율화와 에너지 절감을 추구하고 있으며, 대기업 주도로 중소기업으로의 확산이 가속화되고 있다. LG전자는 AX(인공지능 전환) 전략을 통해 평택 스마트파크와 창원 공장에서 AI 기반 품질 검사 자동화 시스템을 도입하여 불량률을 20% 감소시키고 검사 시간을 30% 단축했으며,

예지 보전 시스템으로 라인 다운타임과 에너지 소모를 줄였다. 770TB의 제조 데이터와 1,000건 이상의 특허를 바탕으로 자율주행 운송로봇과 생성형 AI 안전 관리 기능을 적용하면서 2025년 스마트 물류로 확장해 물류 전문기업 LogisValley와 파트너십을 맺고 로봇 자동화 박스 포장과 아이템 분류를 추진 중이다.

- LG CNS는 춘천 밀원 스마트팩토리팜에 AI 제조 AX 기술을 적용해 생산환경 모니터링과 생육 자동 제어를 실현하며, 실시간 데이터 분석으로 최적 사육 조건을 유지하고 있다. 코오롱은 AI를 활용한 설비 상태·품질 실시간 감지와 무인 물류 시스템으로 공정 자동화를 추진하며, 삼성중공업은 AI 기반 로봇 용접 시스템으로 조선 공정 디지털화를 강화하고 있다.
- 중소기업인 Bigwave Robotics社は 2025년 AI 로봇 솔루션을 통해 제조 중소기업의 공정 자동화를 지원하며, 에너지 소비 15% 절감과 생산성 25% 향상을 달성한 실증 사례를 축적하고 있다. 한편 현재 정부의 ‘AI 자율제조 선도 프로젝트’를 통해 삼성전자, 현대중공업, 포스코 등이 참여하는 26개 과제가 추진 중인데, 평균 생산성 30% 향상, 품질 위해율 50% 감소, 에너지 소비 10% 절감을 목표로 하고 있다. 이는 국내 제조 AI 도입이 자율화·지능형 전환을 촉진하며, 에너지 절감과 품질 향상, 공정 안정성을 달성하는 핵심 동인으로 작용하고 있음을 보여 준다.

에너지 효율화 기업 동향

- 주요 글로벌 제조 기업은 공정 데이터와 연계한 AI 기반 FEMS를 활용해 생산성과 에너지 효율을 동시에 높이고 있으며, 일부 기업에서는 연간 에너지 총사용량의 10% 이상 절감 효과를 보고하고 있다.
- 독일의 경우 공장 단위의 에너지 흐름을 디지털 트윈 기반으로 모델링하고 고효율 설비 교체 시점까지 예측 관리함으로써 단위 제품당 에너지 소비를 최대 15%까지 저감한 사례가 보고되었다. 미국의 선도 제조 기업들은 자체 구축한 FEMS 플랫폼에 HVAC(냉난방공조), 공조, 열 회수 장치, 압축공기 계통까지 통합하여 연간 수백만 달러에 이르는 전력 비용 절감 효과를 실현하고 있다.
- 한편, 다국적 전자 기업들은 글로벌 생산 거점에 통일된 FEMS 체계를 구축하여 각국의 전력 단가, 피크 수요, 온실가스 배출 요소를 실시간으로 비교 분석하고 이를 에너지 운영 전략에 반영하고 있다. 이러한 전략은 글로벌 공급망 관점에서도 공정별

에너지 원가를 정밀하게 추산할 수 있는 기반이 되며, ESG 경영 및 에너지세 절감 전략과도 직결된다.

- 기업 차원에서도 FEMS를 통한 경제성과 운용 안정성을 동시에 확보한 사례들이 속속 등장하고 있다. 국내 대기업 중 LG디스플레이는 파주 공장에 FEMS와 PEMS(Process EMS)를 통합 도입하여 연간 약 118만 GJ(기가줄) 이상의 에너지를 절감하고, 투자 회수 기간을 0.37년 이내로 단축하는 성과를 거둔 바 있다. 해당 시스템은 HVAC, 보일러, 냉동기, 공조 장치 등 주요 에너지 설비의 운영 데이터를 통합 관리하고, 에너지 KPI에 따라 실시간 제어가 가능하도록 설계되었다.

5. 스마트그린 제조혁신 사업 사례: 세라믹 분야 실증 프로젝트

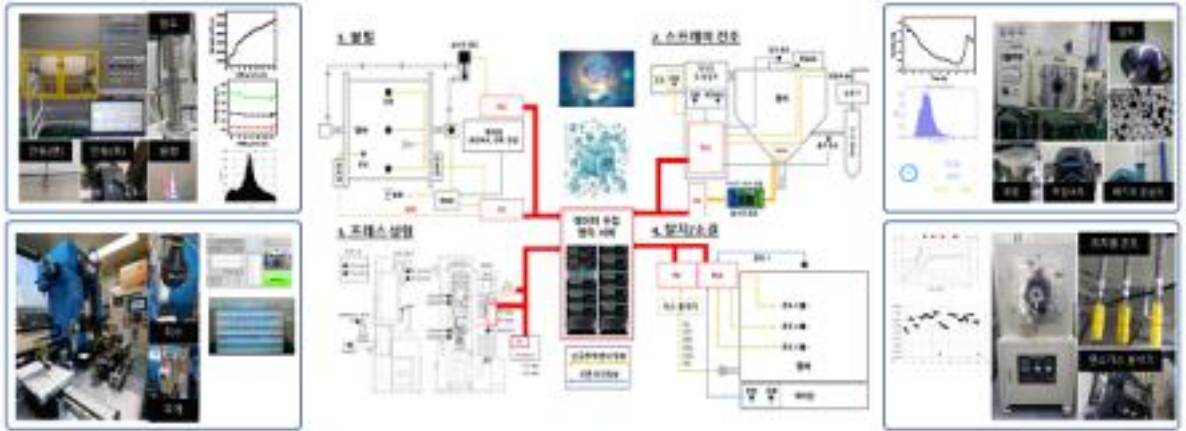
- 세라믹 분야 스마트그린 제조혁신 지원사업은 산업통상자원부가 주도하는 정부 지원 프로젝트로, 2023년 신규 공고되어 2025년 현재 중소벤처기업부의 스마트제조 혁신 지원사업과 연계되어 지속적으로 확대되고 있다. 이 사업은 세라믹 산업의 고에너지 소비와 품질 불안정 문제를 해결하기 위해 AI, MES, FEMS를 통합한 실증 모델을 제시했으며, 1~3세부로 나뉘어 공정 효율화, 에너지 최적화, AI 플랫폼 개발을 중점 추진하고 있다. 총예산은 약 100억 원 규모로 한국세라믹기술원, 엔포스, ETRI 등의 주관 아래 중소기업과 협력하여 5년(2023~2027년)간 진행 중이다. 사업은 세라믹 소재의 첨단 응용(반도체, 디스플레이, 바이오 등)을 고려해 설계되었으며, 중소기업 중심(전체 80% 이상)의 산업 특성을 반영하여 디지털 격차 해소에 초점을 맞추었다.
- 이 사업은 2025년 글로벌 제조혁신 트렌드와 맞물려 긴밀히 진행되고 있다. 스마트제조와 관련한 해외 설문조사 보고서에 따르면 AI 통합이 스마트팩토리의 민첩성과 에너지 효율을 높이는 핵심으로 부상하고 있으며, 생산성 20% 이상 향상 사례가 증가하고 있다. 또한 'AI 기반 지속가능성(AI-driven sustainability)'이 제조 트렌드의 중심으로 부상하고 에너지 절감 15%와 폐기물 최소화가 강조되는 가운데 이 사업의 AI 기반 FEMS 실증은 이러한 글로벌 흐름을 국내에서 선도적으로 구현하는 사례다. 사물인터넷 선도 기관인 IIoT World의 산업 AI 트렌드 분석에서도 에지 컴퓨팅과 로봇 자동화가 에너지 효율을 40% 향상시킬 것으로 예측되며, 세라믹 산업에 대한 디지털 트윈 적용도 이에 부합한다. 에너지 분야 첨단 AI 솔루션을 제공하는 Pacific Data Integrators의 그린 제조(green manufacturing) 트렌드처럼 LCA(전과정평가) 통합으로 탄소 추적이 강조되는 상황에서 이 사업의 에너지 최적화 모델은 국제 공급망 지속가능성을 강화하는 역할을 한다.

- 1세부(공정 효율화, 한국세라믹기술원 주관)는 세라믹 4대 단위 공정 데이터 수집과 AI 모델링으로 품질 예측 정확도 95%를 목표로 하며, 생산성 30% 향상과 에너지 10% 절감을 실증한다. 이는 글로벌 'Deloitte Foundry' 모델처럼 실시간 분석을 통해 품질·에너지 통합 관리를 구현할 뿐 아니라 가상 공정 모델로 데이터 중간 보완을 통해 중소기업의 데이터 부족 문제를 해결한다.

그림 6

세라믹 공정 지능화 기술 예시

출처: Ceramic DX 홈페이지



- 2세부(에너지 최적화 FEMS, 엔포스 주관)는 공정별 에너지 패턴 분석과 Open API 플랫폼으로 10% 이상 절감을 달성하며, LCA 통합으로 탄소 배출 추적을 강화한다. 이는 소프트웨어 지원 기업 Rimini Street의 'AI-driven green trends'와 유사하게 에너지 비용 최소화 알고리즘을 적용하면서 5개 중소기업 대상으로 EaaS(에너지 서비스) 모델을 실증하고 있다.

그림 7

세라믹 공정 지능형

에너지 최적화 기술 예시

출처: Ceramic DX 홈페이지



- 3세부(AI 품질 예측 플랫폼, ETRI 주관)는 MLOps(기계 학습 운영)와 XAI로 중소기업

맞춤형 서비스를 제공하며, 지식자산 연계 역설계 모델로 불량률 20% 저감을 목표로 한다. 또한 ‘쿠버네티스(Kubernetes, k8s)’ 플랫폼 기반으로 배포하여 에지 컴퓨팅을 강화하고 있다. 현재 2025년 AI 제조 시장이 582억 달러로 성장하는 가운데 ETRI 주도의 실증으로 국가 경쟁력 강화 및 중소기업 DX 지원으로 일자리 창출이 기대된다.

- 전체 사업은 전국에 분포한 세라믹 기업들과 연동되어 중소기업 보급을 목표로 지원하며, AI 및 그린 테크가 경제 가치를 창출하는 사례로 자리매김하고 있다. 사업의 성공은 중소기업 중심인 세라믹 산업의 디지털 격차 해소와 함께 정부 인센티브(보조금, 세제 혜택 등)와 민간 협력을 통해 확산될 것으로 보인다.

6. 결론 및 시사점

- 스마트그린 제조혁신은 AI 기반 공정 효율화와 에너지 절감을 통해 대한민국 제조업의 지속가능한 도약을 이끄는 핵심 전략이다. 시장 동향에서 보듯 글로벌 스마트제조 시장이 2034년 9천억 달러로 성장하는 가운데 기술 동향의 AI·디지털 트윈 통합과 기업 동향의 Siemens와 LG전자의 사례는 생산성 20~30% 향상과 에너지 10~15% 절감을 실증하고 있다. 나아가 세라믹 분야 실증 프로젝트는 이러한 전략의 현장 적용 모델로, 2025년 현재 스마트 제조혁신 지원사업과 연계되어 중소기업 디지털 격차를 해소하고 탄소중립을 가속화하고 있다.
- 시사점으로는 정제된 산업 데이터 수집의 중요성이 강조된다는 것이다. Scale AI처럼 2025년에 140억 달러의 가치로 평가되는 기업이 AI 데이터 라벨링 플랫폼으로 주목받으면서 자율주행, 의료 분야에서 고품질 데이터셋을 공급해 모델 정확도를 95% 이상 끌어올렸다. 이는 컴퓨팅 파워(예: GPU 발전으로 연산 속도 2배 증가)와 AI 알고리즘(Transformer 모델 효율화) 발전과 함께 AI 성능의 3대 축을 이룬다. 불량 데이터는 모델 실패를 초래하지만, 정제된 데이터는 학습 효율을 40% 높여 에너지 소비를 줄이고 산업 현장 적용성을 강화한다.
- 스마트그린 제조혁신 사업에서 세라믹 공정 데이터셋 정제 노력은 미래 임팩트가 크다. 4대 공정(불밀·분무 건조·성형·소결)별 데이터 통합으로 AI 예측 정확도 95% 달성 시 불량률 20% 저감과 에너지 10% 절감이 가능해진다. 이는 산업단지의 확산을 통해 2030년 국내 제조 산업에서의 탄소 배출 15% 감축에 기여할 전망이다. 궁극적으로 데이터셋은 국가 AI 생태계의 자산으로, 중소기업 혁신과 글로벌 경쟁력을 강화하는 기반이 될 것이다. 정부는 표준화 노력과 인센티브를 통해 지원해야 하며, 이는 제조업의 그린 전환을 선도하는 길이다.

1. “Smart Manufacturing Market Size, Share and Trends 2025 to 2034”, Precedence Research, 2025.04.25.: precedenceresearch.com/smart-manufacturing-market
2. “Energy Management Systems Market Size, Share, and Trends 2025 to 2034”, Precedence Research, 2025.05.14.: precedenceresearch.com/energy-management-systems-market
3. “South Korea Smart Manufacturing Market Size & Outlook, 2030”, Grand View Research.: grandviewresearch.com/horizon/outlook/smart-manufacturing-market/south-korea
4. “Factory Energy Management System (EMS) 2025-2033 Trends: Unveiling Growth Opportunities and Competitor Dynamics”, Archive Market Research, 2025.03.14.: archivemarketresearch.com/reports/factory-energy-management-system-ems-57571
5. Ivan Mehta, “Scale AI confirms ‘significant’ investment from Meta, says CEO Alexandr Wang is leaving”, TechCrunch, 2025.06.13.: techcrunch.com/2025/06/13/scale-ai-confirms-significant-investment-from-meta-says-ceo-alexandr-wang-is-leaving
6. Tim Gaus & Michael Schlotterbeck, “2025 Smart Manufacturing and Operations Survey: Navigating challenges to implementation”, Deloitte Insights, 2025.05.01.: deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing-industrial-products/2025-smart-manufacturing-survey.html
7. “LG Display Global Energy Management implementation case study”, Clean Energy Ministerial, 2018.05.: cleanenergyministerial.org/resource/lg-display-global-energy-management-implementation-case-study
8. “How to stay competitive as a sustainable Digital Enterprise”, Siemens.: siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/digital-enterprise/digital-transformers/electronics-factory-erlangen.html
9. “GE Predix Software Platform Offers 20% Potential Increase in Performance Across Customer Base; New GE Offerings Accelerate Transformation into a Digital Industrial Company”, GE Press Release, 2015.09.29.: ge.com/news/press-releases/ge-predix-software-platform-offers-20-potential-increase-performance-across-customer
10. “Deloitte Smart Manufacturing Solutions”, Deloitte, 2024.: deloitte.com/us/en/services/consulting/services/smart-manufacturing-solutions.html
11. “Siemens and NVIDIA to Enable Industrial Metaverse”, NVIDIA Newsroom, 2022.06.29.: esources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/siemens-and-nvidia-technology
12. “세라믹분야스마트그린제조혁신지원사업”, 「2023년도 산업기술혁신사업 통합 시행계획 공고」, 산업통상자원부, 2023.01.02.
13. Ceremic DX 홈페이지

유리 산업 탄소중립을 위한 소재 및 에너지 전환 기술

2

이건훈 세라믹 PD | KEIT 철강세라믹실

김진호 수석연구원 | 한국세라믹기술원 양자·반도체연구단

김형준 수석연구원 | 한국세라믹기술원 산업기반융합소재연구단

요약

최근 동향

- 국내 세라믹 산업의 총생산은 17.7조 원(2022년) 규모이며, 그중 유리 산업의 생산은 8조 6천억 원(2022년) 약 49%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 2023년 유리 산업의 온실가스 배출량은 약 300만 톤 정도로, 2017년의 402만 톤보다 다소 감소한 상태다. 유리 산업 자체적 노력과 함께 산업 규모가 축소된 영향도 크지만, 2050년까지 혁신적인 전략과 실행 없이는 제로에 가까운 탄소 배출 목표를 달성하기란 어려울 것으로 판단된다. 그러므로 유리 산업의 온실가스 감축을 위한 핵심 기술 개발은 필연적이라고 본다.

기술의 개념

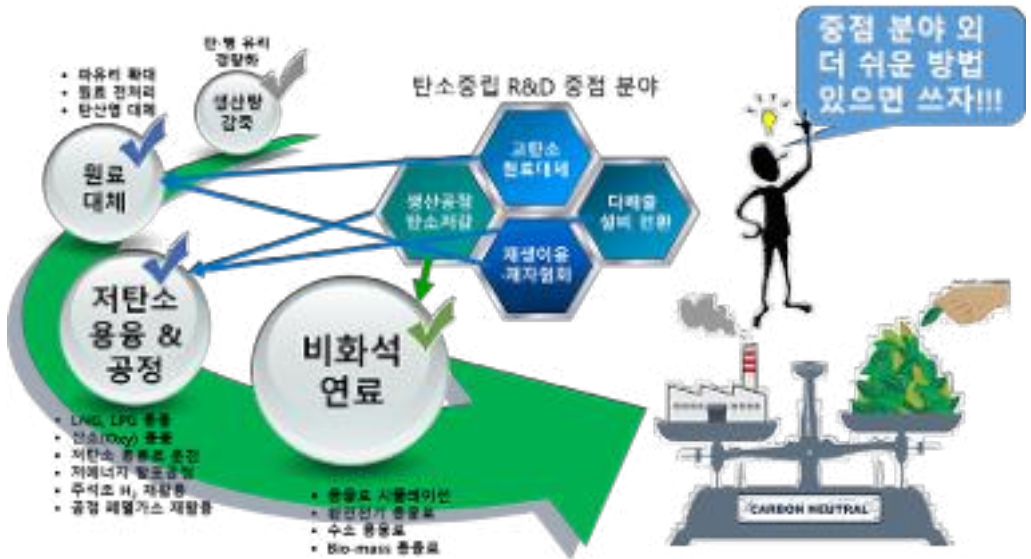
- 유리 산업에서의 탄소중립 기술은 유리 제조 공정 전반에서 발생하는 탄소 배출을 최소화하거나 상쇄하여 배출량을 제로로 만드는 기술과 전략을 의미한다. 이것은 고탄소 배출 산업인 유리 산업의 특성과 맞물려 공정 전환·에너지 전환·원료 전환 등을 포괄하는 총체적인 기술 개념이다. 또한 이 기술은 단지 환경 규제를 넘어 산업의 지속성과 경쟁력 그리고 미래 수요 산업(제로 에너지 건축, 스마트시티 등)으로의 확장성을 확보하기 위한 전략적 기술이다.

기술 요약

- 유리 산업의 온실가스 감축 전략은 크게 3가지로 구분할 수 있다.
 - 첫째 전략은 **공정 배출을 감소시키는 기술**이다. 현재 사용되는 탄산계 원료를 비탄산계 원료로 전환하거나 대체하는 기술과 재생 가능한 파유리 자원을 재활용하는 기술이다.
 - 둘째 전략은 현재의 생산 방식 및 제품 효율 향상으로 **생산공정 간접 배출을 억제**하는 것이다. 기존에 사용하는 생산관리 방법이나 제품 자체를 에너지 효율이 높은 것으로 개선할 수 있다면 간접 배출에 절대적인 부분을 차지하는 전기 사용량을 줄일 수 있다.
 - 셋째 전략은 연료의 변경, 즉 **다배출 설비의 전환에 의한 직접 배출 감소**다. 현재 유리 용융에 사용하는 연료인 벙커시유를 수소나 LNG, 전기 등으로 변경하는 것이다.

- 유리 산업에서의 탄소중립 기술은 단순한 온실가스 감축을 넘어 산업 경쟁력 확보, 글로벌 규제 대응, 지속가능한 가치 창출이라는 측면에서 반드시 필요하기 때문에 관련 기술 개발과 정책, 산업 생태계 전반의 전략적 결합과 실행이 필요한 시점이다.

그림 1
탄소중립 전략



1. 개요

기술의 개념

- 유리 산업에서의 탄소중립 기술은 유리 제조 공정 전반에서 발생하는 탄소 배출을 최소화하거나 상쇄하여 배출량을 제로로 만드는 기술 및 전략을 의미한다. 이는 고탄소 배출 산업인 유리 산업의 특성과 맞물려 공정 전환·에너지 전환·원료 전환 등을 포괄하는 총체적인 기술 개념이다.
- 일반적으로 세라믹 산업은 공정 배출이 발생하는 주요 공정 및 주요 배출원을 기준으로 용융로를 사용하는 용융 분야(유리 제품 생산)와 소성로를 사용하는 소성 분야(요업 제품 생산)로 구분할 수 있다.
- 유리 산업은 타 제품 생산공정과 마찬가지로 소모되는 에너지양 및 종류에 의해 결정되는 고정연소 배출(직접 배출)과 제품 생산공정(용해 또는 용융)에 투입되는 원료의 종류와 특성에 의한 공정 배출로 결정된다.
- 유리 제품 제조 공정 중 용융 공정은 유리 제품의 생산공정 중 에너지가 가장 많이 소요되는 과정으로, 온실가스 배출 산정과 감축에서 가장 주목해야 할 부분이다. 이

공정에서는 유리 제품의 제조에 필요한 화석연료 연소에 의한 직접 배출이 있으며, 또한 소다회, 탄산석회 등 탄산염(carbonate)을 포함한 원료를 용해하는 과정에서 COx가 발생하는 공정 배출을 포함한다.

- 공정 배출은 유리 제품별로 원료 물질의 종류와 배합 비율에 따라 영향을 받는다. 또한 유리 제품의 생산 시 유리 원료뿐만 아니라 일정량의 파유리(cullet)를 재활용하여 생산하기 때문에 공정 배출량 산정 시 제품별 파유리 비율을 구분하여 고려해야 한다.
- 유리 제품의 경우 파유리를 재활용함으로써 소요되는 에너지와 온실가스 공정 배출량을 감소시킬 수 있지만, 요구되는 제품의 특성(품질)에 따라 사용 가능한 파유리 비율이 제한된다. 이를 정리해 보면 다음과 같다.
 - (공정 배출) 용융로에서 석회석, 백운석, 소다회 등 탄산염 성분의 원료가 고온 분위기에서 반응하여 이산화탄소(CO₂)가 분리되어 배출
 - (원료) 석회석(CaCO₃), 백운석[CaMg(CO₃)₂], 소다회(Na₂CO₃)
 - (직접 배출) 혼합 원료의 예열 및 연소 과정에서 연료 사용으로 COx 발생
 - (간접 배출) 용융로, 성형 및 서냉로의 가열·운송 등을 위한 전력 사용으로 COx 발생
- 유리 제조 공정별로 정리해 보면 ‘그림 2’와 같이 표현할 수 있으며, 탄소중립을 위한 대부분의 핵심 기술은 상기 3가지 공정에 집중된다고 할 수 있다.

그림 2

일반적인 유리 제조 공정도와 탄소중립 대상 공정 구분



- 정부의 탄소중립과 관련된 계획상 2017년 배출량을 기준으로 하며, 유리 산업은 우리나라 전체 온실가스 배출의 5.2%를 차지한다. 유리 산업에서 2017년 온실가스 배출량은 402만 톤CO₂eq였다. 2030년의 배출 전망(BAU)은 640만 톤CO₂eq이며, 131만 톤CO₂eq 감축을 목표로 하고 있다. 개별 공정별 배출량은 아래 ‘표 1’과 같고, 온실가스 배출량에 관련된 기업 현황(2019년 기준)은 ‘표 2’와 같다.

표 1

유리공정별 온실가스 배출 비중

	공정 ①	공정 ②	공정 ③	공정 ④	공정 ⑤	공정 ⑥	공정 ⑦
	원료 투입	용융	성형	서냉	검사	출하	기타
배출 비중 (%)	7.7	76.6	7.7	2.8	1.2	0.5	3.5

표 2

온실가스 배출량 관련 유리 기업 현황

구분		대기업	중견 기업	중소기업	계
목표 관리 업체	업체 수(개, %)	-	4 (50.0)	4 (50.0)	8
	배출량 (천 톤CO ₂ eq, %)	-	6.7 (47.5)	7.4 (52.5)	14.1
할당 대상 업체	업체 수(개, %)	4 (19.0)	14 (66.7)	3 (14.3)	21
	배출량 (천 톤CO ₂ eq, %)	172.6 (44.9)	205.4 (53.4)	6.4 (1.7)	384.4
합계	업체 수(개, %)	4 (13.8)	18 (62.1)	7 (24.1)	29
	배출량 (천 톤CO ₂ eq, %)	172.6 (43.3)	212.0 (53.2)	13.8 (3.5)	398.4

○ 해외의 유럽, 미국, 일본처럼 환경을 중시하는 선진국들도 마찬가지로 유리 산업의 온실가스 감축 기술 개발을 진행하고 있다. 스웨덴(2017년), 영국, 프랑스, 덴마크, 뉴질랜드(2019년), 헝가리(2020년) 등 6개국이 '탄소중립'을 이미 법제화했으며, 유럽, 중국, 일본 등 주요 국가들도 탄소중립 목표를 선언했다. 미국의 조 바이든 전 대통령도 취임 직후 「파리협정」에 재가입하면서 2050년까지 탄소중립을 약속한 바 있다. EU(유럽연합)는 '유럽 그린딜(European Green Deal, 2019.12)'을 통해 2050년 탄소중립 목표를 발표했고, 중국의 시진핑 주석은 UN 총회에서 2060년 전까지 탄소중립 달성을 선언했다(2020.9.22). 또 일본의 스가 총리도 자국의 의회 연설에서 2050년 탄소중립 목표를 선언했다(2020.10.26). 세계 주요 선진국들은 에너지 효율 향상을 위한 에너지 정책의 방향 설정과 더불어 환경문제와 산업의 안정성을 고려하여 석탄 및 원자력 발전을 축소하고 있다. 나아가 재생에너지와 천연가스의 비중 향상을 통한 온실가스 감축 목표를 아래와 같이 잡고 있다.

- (영국) 2050년까지 온실가스 배출량 최소 80% 감축 목표(1990년 대비)
- (독일) 2030년까지 온실가스 배출량 55%, 2050년까지 80~95% 감축 목표(1990년 대비)
- (프랑스) 2030년까지 온실가스 배출량 40% 이상, 2050년까지 75% 감축 목표(1990년 대비)
- (일본) 2030년까지 온실가스 배출량 26% 감축 목표(2013년 대비)

기술의 범위

○ 유리 산업의 온실가스 감축 전략은 크게 3가지 방향이다.

- 첫 번째 전략은 **공정 배출을 감소시키는 방법**이다. 현재 사용하는 탄산을 함유한 원료를 비탄산계 원료로 전환 또는 대체하거나 재생 가능 자원의 재활용이다. 재생 가능 자원의 재활용은 파유리를 사용하는 것이다. 이것은 유리를 다시 녹여도 원래의 유리 상태로 제조가 가능하다는 유리 본연의 우수한 친환경적 특징 때문이다.
- 두 번째 전략은 **현재의 생산 방식과 제품의 효율화로 생산공정의 간접 배출을 억제하는 방법**이다. 기존에 사용하는 생산관리 방법이나 제품 자체를 에너지 효율이 높은 것으로 개선할 수 있다면 간접 배출에 절대적인 부분을 차지하는 전기 사용량을 줄일 수 있다. 즉 국가에너지 생산량을 감축함으로써 온실가스 배출을 간접적으로 감소시킬 수 있다.
- 세 번째 전략은 **연료의 변경, 즉 다배출 설비의 전환에 의한 직접 배출을 감소시키는 방법**이다. 사용하는 화석연료를 비화석연료 또는 저온실가스 발생 화석연료로 변경하는 것이다. 이는 현재 유리 용융에 사용되는 연료인 벙커시유를 수소나 LNG 등으로 변경하는 방안을 생각해 볼 수 있다.

그림 3

온실가스 감축 전략



표 3

유리 산업 탄소중립형 온실가스 감축 기술

개념	기술	세부 기술
고탄소 원료 대체	탄산염 유리 원료 대체 기술	재생유리 원료화 기술 개발
		탄소 저감형 원료 전처리 기술
생산공정 탄소 저감	저탄소 유리 용융 및 공정 기술	비탄산염 원료 유리화 기술
		고효율 저탄소 연료(LNG, LPG) 용융 기술
		산소(Oxy) 용융로 고효율화 기술
		FEMS 및 머신러닝 알고리즘 기반 에너지 절감 용융로 운전 기술
		탈포 공정 에너지 저감 기술
		주석조(tin bath) 수소 가스 재활용 기술
	탄소 저감형 유리 경량화 제조 기술 및 실증	유리 제조 공정 폐열 가스 회수 및 재활용 기술
다배출 설비 전환	화석연료 대체 유리 용융 기술	판유리 경량화 기술 개발 및 표준화
		경량 용기 유리 강화 기술 및 표준화
		중형 완전 전기 기반 유리 용융로 기술
		수소 혼합연료 기반 저탄소 유리 용융로 기술

고탄소 원료 대체

- 고탄소 원료 대체 기술은 유리 제조 시 필연적으로 온실가스를 배출하는 탄산염계 원료인 석회석(CaCO_3), 백운석($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), 소다회(Na_2CO_3) 등의 사용량을 감소시키고 궁극적으로 그 사용량을 제로화하는 것이다. 유리 제품의 품질을 동등 이상으로 유지하면서도 탄소 배출을 감소시키기 위해서는 유리 용융에 사용되는 탄산염계 유리 원료를 대체(비탄산화)하고 유리 용융에 필요한 에너지 절감을 위한 노력이 필요하다. 탄산염 유리 원료 대체를 위한 세부 기술로는 재생 유리 원료화 기술, 탄소 저감형 원료 전처리 기술, 비탄산염 원료 유리화 기술 등이 매우 중요하다. 또 탄산염 대체 원료를 이용한 유리 용융 과정에 필요한 에너지를 절감하기 위해서는 원료 예열 기술과 파유리/재생 유리의 원료화 기술 개발도 필요하다.

그림 4

일반적인 유리 제품 제조 공정 흐름도

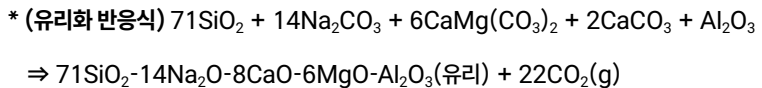


그림 5

탄산염 유리 원료 대체 기술 개념도



생산 공정 탄소 저감

- 유리 산업 분야 탄소 배출량 가운데 유리 용융 및 서냉 공정 등 유리 제조 공정이 전체 배출량의 약 80%를 차지하고 있으며, 이들 공정에 대한 친환경 제조 공정 기술 개발이 필수적이다. 영국 판유리의 경우 전체 공정 중 이산화탄소 배출 주요 원인 가운데 전력에 의한 간접 배출은 24%, 원료 분해 과정은 18%, 화석연료 연소는 58%로 추산하고 있다. 국내 유리 산업의 경우 전력에 의한 간접 배출이 44.1%, 직접 배출이 55.9%, 원료에 의한 공정 배출은 5% 미만으로 추정된다. 용융 및 청징

공정의 열원 공급을 위한 연소 과정에서 50% 수준의 탄소 배출이 발생한다. 주석조와 서냉로의 온도 유지를 위한 에너지 공급 과정에서도 30% 수준의 탄소 배출이 발생하고 원료 배합, 주석조 및 서냉로의 공기 주입과 제품 관리 등에서의 전기 사용에 의한 간접 탄소 배출도 발생한다.

- 저탄소 유리 용융 및 공정 기술 확보를 위한 세부 기술로는 고효율 저탄소 연료(LNG, LPG) 용융 기술, 산소(Oxy) 용융로 고효율화 기술, FEMS 및 머신러닝 알고리즘 기반 에너지 절감 용융로 운전 기술, 탈포 공정 에너지 저감 기술, 주석조 수소 가스 재활용 기술, 유리 제조 공정 폐열 가스 회수 및 재활용 기술 등이 해당된다. 탄소 저감형 유리 경량화 제조 기술 및 실증의 위한 세부 기술로는 판유리 경량화 기술 개발 및 표준화, 경량 용기 유리 강화 기술 및 표준화 등이 필요하다.

그림 6

영국의 Floating 판유리
제조 공정별·원인별
온실가스 배출 비중



다배출 설비 전환에 의한 방법

- 다배출 설비 전환에 의한 방법은 유리 용융 공정에서 열원으로 사용되는 기체나 액체 상태의 기존 화석연료를 탄소 미포함 연료인 수소, 전기 등의 에너지원으로 대체하여 유리를 용융하는 제반 기술이다.
- 유리 용융을 위해 사용되는 화석연료(석탄, 석유, 도시가스)의 연소는 공기에 포함되어 있는 산소나 추가로 공급되는 고순도 산소와의 급격한 산화반응을 통하여 이루어지며, 반응 결과물로서 이산화탄소의 발생이 필연적이다. 유리 생산과정에서 발생하는 이산화탄소는 통상 0.49t/t 수준이며, 이 중에서 용융과 서냉 공정을 포함하여 연료 연소로부터 배출되는 이산화탄소의 비중이 70% 수준을 상회한다.
- 화석연료 대체를 위한 유리 용융의 세부 기술은 완전 전기 기반 중형 유리 용융로 기술과 수소 혼합연료 기반 저탄소 유리 용융로 기술이다. Electric Melting 또는 Electric Boosting은 Electrical booster 형태의 전기 에너지 활용 용융로

상용 운전 기술을 총칭한다. 현재 일부 판유리나 병유리 회사에 적용된 부분으로 화석연료를 사용하지 않기 때문에 온실가스 저감에 가장 효과적인 방법이다. 유리 용체는 고온에서 전기전도성을 가지므로 통상 Mo(몰리브덴) 소재의 전극재를 활용하여 용융로에 투입되는 에너지의 10~30% 수준을 전기 에너지 형태로 공급하고, 나머지는 화석연료를 사용하는 하이브리드형 열원을 사용함으로써 에너지 효율을 개선하는 것으로 알려져 있다.

그림 7

Fives社와
Glass Service社의
가스+전기 혼합형 용해로
출처: Fives Group 및
Glass Service 홈페이지

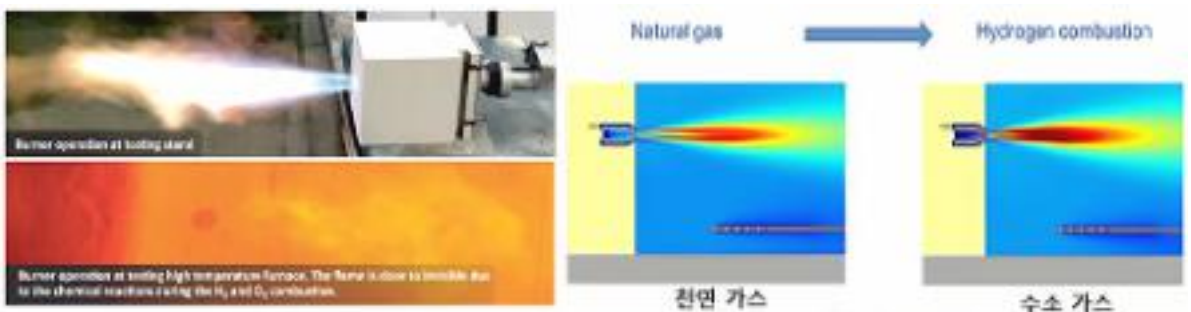


○ 유럽에서는 2010년대 초반부터 영국을 중심으로 천연가스 대체를 위한 연료로 수소 가스를 활용하는 연구가 활발히 진행 중이다. 영국 내 천연가스의 열용량은 Wobbe number로 47.2~51.4MJ/m³이나 수소는 45.88MJ/m³이며, 높은 유속을 통한 열용량 확보에 대한 연구를 수행하고 있다.

○ 2013년 체코의 FlammaTEC社는 NOx 발생이 저감된 수소 기반 제트 버너를 설계하고 기존 상용 버너 대비 우수한 flame 안정성을 보이는 것을 확인했으나, 최대 온도가 1,600K 수준으로 상용 용융 온도에 다소 부족한 것으로 나타났다. FlammaTEC은 2020년 Glass Service와 합작 개발을 통해 신규 수소/산소 기반 버너를 개발했다. 각각 하나의 산소와 수소 가스 입력관으로 구성되어 있고, 탄소 기반 원료와 혼합되지 않을 경우 CO₂ 발생이 없는 버너의 시현에 성공한 것이다. 버너 flame의 연소성과 온도를 높이기 위해 수소/천연가스, 수소/바이오가스 등의 혼합 가스를 활용한 용융로와 용융 버너에 대한 연구도 진행 중이다.

그림 8

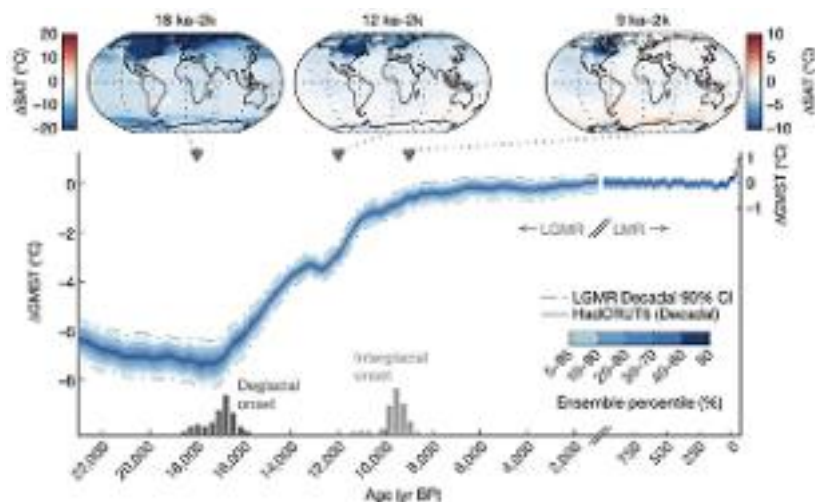
FlammaTEC의
수소-산소 버너 시현 제품
출처: FlammaTEC 홈페이지



- 2021년 11월 「네이처(Nature)」지에 지구 온난화에 대한 연구 결과가 보고되었는데(그림 9), 몇 가지 주요 결과를 보여준다. 마지막 빙하기 이후 기후 변화의 주요 원인으로 온실가스 농도의 증가와 빙하의 후퇴를 확인한 것이다. 이것은 지난 1만 년 동안의 일반적인 온난화 경향을 암시하며, 최근 150년 동안의 온난화 규모와 속도가 지난 24,000년 동안의 변화 규모와 속도를 훨씬 능가했다. 즉 인간이 야기한 지구 온난화의 속도가 지금까지 어느 시기보다 빠르다는 것을 시사한다.

그림 9

파란색 선은 24,000년 전 마지막 빙하기 이후 전 세계 평균 지표 기온을 나타내며, 기후 시스템의 컴퓨터 모델과 고기후 기록을 동화하여 생성
출처: Nature(2021.11.)



- 이러한 기후 변화에 대해 세계 136개국은 2021년 10월 「2050 탄소중립」을 선언하고 투자 확대와 규제 도입을 진행하고 있다. 미국과 유럽은 탄소중립 이행 계획을 수립하고 대규모 재정투자를 진행 중이다. 미국은 「기후 위기 대응 과학기술 혁신계획」(2021.2)에서 「10대 기후 혁신 기술」을 선정하고 저탄소 기술 개발에 3천억 달러를, 유럽은 그린딜(Green Deal, 2019.12)을 통해 청정에너지, 순환경제, 지속가능한 수송 등 탄소중립 실현을 위한 기술 개발에 5,030억 유로를, 일본은 녹색 성장 전략 중 14개 중점 분야에 2조 엔 등 각국 정부의 선도적인 기술 개발 투자로 민간 투자를 견인하고 있다. 또한 탄소국경세, 플라스틱세, 내연기관 자동차 규제 등 탄소 규제 정책의 시행을 준비하고 있다. 따라서 전 세계는 친환경 에너지부터 산업 공정, 탄소 포집 및 재활용까지 광범위한 기술 개발을 위해 민간의 선도적 기술 개발과 정부의 지원 등 민간 협력 체계 구축하고 있으며, 탄소중립 기술혁신에 대규모 R&D 예산을 투입 중이다.

2. 국내외 시장 동향

- 글로벌 에너지 효율 유리 시장은 2030년까지 414억 달러 규모로 성장 전망
 - 2024년 310억 달러 규모로 추산되는 글로벌 에너지 효율 유리 시장은 2030년까지 414억 달러에 달할 것으로 예상되며, 2024년부터 2030년까지 연평균성장률(CAGR)은 4.9%를 기록할 것으로 예상된다. 삼중 유리는 연평균성장률 6.1%를 기록하여 2030년에는 133억 달러에 달할 것으로 예상되며, 이중 유리 부문은 연평균성장률 4.9%로 예상된다.
- 재생 유리 시장은 2019~2026년까지 CAGR 7.6%로 성장, 44억 달러 초과 예상
 - 유럽통계청(Eurostat)에 의하면 연간 1,600만 톤의 유리가 발생하고, 이 중 6백만 톤의 유리가 재활용되지 못하는 것으로 보고되었다. 특히 독일의 경우 2017년도 폐유리 재활용 시장의 규모가 약 6억 달러에 달했다.

그림 10

세계 재생 유리의 시장 규모



3. 국내외 기술 동향

국외 기술 동향

- 유리 산업의 탄소중립은 유럽, 미국 등 선진 기술을 보유한 국가로부터 진행되고 있다. 유럽의 'Glass Alliance Europe'은 유리 재활용과 유리 소재 활용을 통한 에너지 효율화 노력 및 R&D 추진(프로젝트명: The Furnaces for the Future, F4F)하고 있다. 이를 통해 EU 시장에 출시되는 유리 용기의 74%를 재활용함으로써 매년 약 900만 톤의 CO₂ 절감하고, 유리섬유를 이용한 운송 차량 및 풍력 날개의 무게 절감, BIPV(건물일체형 태양광) 및 Low-e Glass 창호 등의 확대를 통해 탄소중립에 기여하고자 한다. 특히 유리 전기 용해 기술, 유리 용융로 대형화, 탄소중립 연료 사용, 이산화탄소 포집·활용·저장(CCUS, Carbon dioxide Capture Utilization and Storage) R&D를 추진하고 있다.

- 영국의 경우 약 880억 원 이상 투자한 ‘Glass Futures’ 사업을 통해 리버풀 근처 세인트헬렌스(St. Hellens) 내 탄소중립 온실가스 저감 센터를 설립하고 전 세계 유리 기업들을 회원사로 하여 다양한 프로젝트를 진행 중이다.
- 미국의 유리 산업 협회인 GMIC(Glass Manufacturing Industry Council)는 2000년대 초부터 산소 연소 버너를 이용한 직접 가열 용해 방식을 보급하고 있다. 용융로 설치 공간 축소, 전기 Boosting 없이도 유리 용해 효율 개선, 그리고 NOx 제거의 탁월한 효과로 인해 기술 개발과 보급에 노력 중이다.
- 일본도 2005년부터 정부 주도로 신에너지산업기술종합개발기구인 NEDO에서 ‘Development of Innovative Glass Melting Process Technology’라는 프로젝트를 통해 산학연 공동으로 기술 개발 착수 및 관련 산업 활성화를 위한 정책을 지속해서 추진해 왔다. 다만 일반 유리 용융에는 적용하지 못하고 현재 방사성 폐기물 처리용 유리 용융로에 적용 중이다. 1차 연구(2005~2008년)에 예산 총 4.1억 엔, 2차 연구(2008~2012년) 1단계(3년)에 예산 총 10.3억 엔을 투자했다. 또한 신공법 용융 기술 도입 시 에너지 및 탄소 배출량 30% 이상 절감을 전망하고 있으며, 연간 벙커시유 절감 금액 1천억 원, 탄소 배출량 60만 톤을 예상하고 있다.

국내 기술 동향

- 산업통상자원부는 2024년 소재부품기술개발(R&D)사업(9차)으로 유리 산업의 탄소중립 기술 개발을 목표로 총 180억 원의 정부 출연금을 지원하고 있다. 이 연구개발사업은 1세부(원료 및 FEMS), 2세부(低화석연료), 3세부(非化石연료)로 구성되어 있다. 또한 유리 용융 설비 및 연료 기술을 보유한 11개 기업과 4개의 유리 전문대학 및 연구소가 참여하여 대규모 컨소시엄을 구성했다.
- 1세부 과제는 “유리 산업 공정 배출 탄소 25% 저감을 위한 비탄산 원료 기술 개발”로, 주요 연구 개발 내용은 유리 원료 저탄소화 및 비탄소화 기술과 머신러닝 기반 에너지 절감 용융로 운전 기술 개발이다.
- 2세부 과제는 “용융로 탄소 배출량 50% 저감을 위한 바이오 연료 및 산소-전기 하이브리드 열원 적용 기술 개발”로, 주요 연구 개발 내용은 바이오 연료 적용 기술과 산소 연료-전기 하이브리드 용융 기술 개발이다.

○ 디지털 기반 스마트 공정 기술의 중요성

- 탄소 저감 효과뿐 아니라 생산성 향상과 품질 제어 측면에서도 유리 산업의 디지털 전환은 필수

○ 고기능 유리 제품 개발의 중요성

- 유리는 탄소 다배출 소재이지만, 동시에 탄소 감축 제품의 친환경 소재로 산업적 재정의가 필요

○ 탄소중립과 ESG 연계 강화

- 탄소중립 실현을 기업 ESG 성과의 핵심 지표로 반영하여 브랜드 가치와 투자 가치를 향상

○ 배출 정보 회계 및 인증 시스템 구축

- 제품 단위 탄소발자국, EPD(환경성적표지) 인증 등 정량적 관리 체계 필수화

출처 및 참고문헌

1. Matthew B. Osman, et. al., “Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum”, *Nature* Vol. 599(7884), pp. 239-244. 2021.11.10.
2. “Recycled Glass Market size to exceed \$4.5 bn by 2026”, Global market insight, 2019.12.02.
3. “Energy Efficient Glass”, Market Research(Global Industry Analysts), 2025.06.; marketresearch.com/Global-Industry-Analysts-v1039/Energy-Efficient-Glass-41280390
4. “탄소중립 산업·에너지 R&D 전략”에 대한 「탄소중립 산업전환 추진위원회」의 보고서, 산업통상자원부, 2021.11.17.
5. “UN지정 세계 유리의 해 그 의미와 유리소재의 패러다임”, 「Ceramic Korea」 통권 407호, 2022.04.; cerazine.net/news/mag_list.php?idx=490
6. “유리 산업의 탄소중립형 온실가스 감축기술”, 한국세라믹기술원, 2023.
7. “Fives’ Climate Strategy”, fives Group 홈페이지.; fivesgroup.com/es/about-fives/corporate-social-responsibility/environment
8. “Mathematical Simulation Studies”, Glass Service 홈페이지.; gsl.cz/services-products/assessment/simulations/mathematical-simulation-studies
9. “FT HYDROGEN CF™ BURNER Carbon Free”, FlammaTEC 홈페이지.; flammatec.com/services-products/burners/gaseous-fuels/hydrogen-carbon-free
10. 「유리건강(newsglass)」; newsglass.co.kr

전기추진 선박의 개발 및 시장 동향

3

이희수 조선해양 PD | KEIT 조선방산항공실

김영식 센터장 | 선박해양플랜트연구소 친환경연료추진연구센터

요약

- 국제해사기구(IMO)의 온실가스 감축 전략과 각국의 환경 규제 강화에 따라 전기추진 선박은 해운 산업의 핵심 친환경 기술로 부상하고 있다. 전기추진 선박은 배터리와 연료전지 등을 통해 생성된 전기에너지로 선박을 구동하는 방식으로, 기존 내연기관 방식에 비해 에너지 효율이 높고 대기오염 물질의 배출을 획기적으로 줄일 수 있다는 이점을 지닌다.
- 특히 유럽을 중심으로 빠르게 상용화가 진전되고 있다. 2015년 세계 최초의 완전 전기추진 카페리인 MF Ampere호가 노르웨이에서 취항했다. 이후 현재까지 노르웨이에서는 100척 이상의 여객선과 페리가 전기추진 방식으로 운항 중이며, 연간 수천 톤의 이산화탄소 감축 성과를 거두고 있다. 전 세계적으로도 2023년 기준 전기나 하이브리드 추진 선박이 1,000척을 돌파했으며, 2025년에는 1,500척을 넘어설 것으로 전망되는 등 전기추진 선박 시장은 지난 10여 년간 가파른 성장세를 보이고 있다.
- 국내에서도 전기추진 기술 도입이 본격화되고 있다. 국내 최초 전기추진 차도선의 진수를 계기로 연안 운송 분야에서 친환경 선박의 도입이 시작되었다. 다만 아직 초기 단계로 전기추진 기술의 전략적 가치를 인식하고 산업 기반을 체계적으로 강화해 나갈 필요가 있다. 정부 역시 2020년 「환경친화적 선박법」 시행을 통해 전기추진 선박과 연료전지 선박 보급을 추진 중이며, 2030년까지 공공선박 140척을 친환경 선박으로 전환한다는 계획을 수립했다.
- 전기추진 선박의 핵심 기술로는 대용량 선박용 배터리(BESS, Battery Energy Storage System)의 에너지밀도 향상과 안전성 강화, 고효율 추진 전동기 및 직류 기반 전력변환장치 상용화, 수소연료전지 기반 추진 시스템의 실선 적용 등이 주목받고 있다.

- 이러한 글로벌 기술 및 시장 동향을 바탕으로 전기추진 선박의 적용 범위는 여객선을 넘어 화물선, 연안 어선 등 다양한 선종으로 확장될 전망이다. 친환경 연료와 전기추진 기술의 융합, 에너지관리 시스템 등 첨단 기술이 함께 발전함에 따라 장거리 운항이 가능한 대형 선박의 탈탄소화도 한층 가속화될 것으로 기대된다. 이를 위해서는 정책적 지원과 국제 공동 협력이 필수적이며, 국내 조선·해운 산업 역시 선제적 기술 개발과 대응을 통해 미래 친환경 해운 시장을 선도해 나가야 할 것이다.

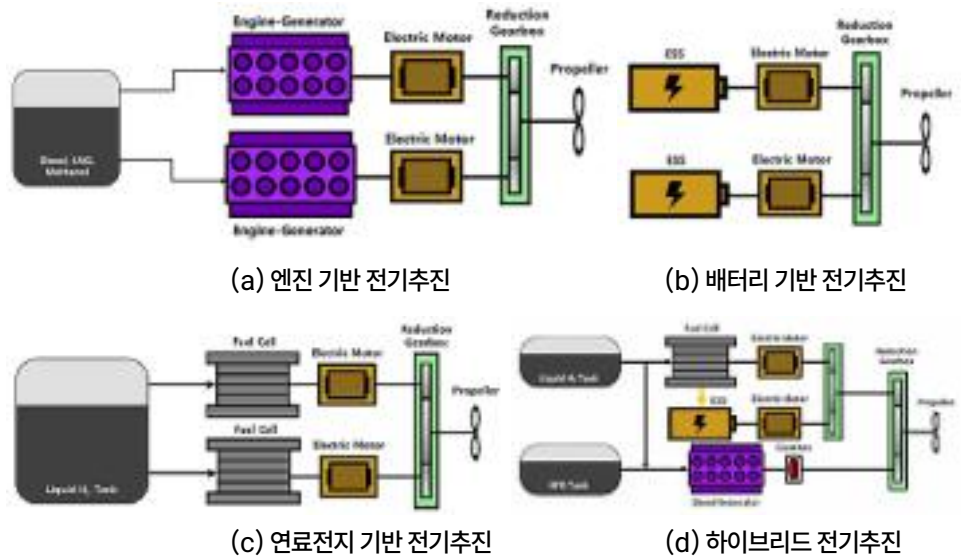
1. 개요

기술의 개념

- 전기추진 선박(Electric Propulsion Ship)은 전기에너지를 주 동력원으로 활용해 추진하는 선박을 의미한다. 즉 기존 내연기관이 직접 프로펠러를 회전시키는 방식과 달리 발전기나 배터리 등에서 생산·저장된 전기에너지를 사용해 전동모터를 구동하여 추진력을 얻는다.
- 전기추진 선박은 추진 시스템의 구성 방식에 따라 여러 형태로 나뉜다. 대표적으로
 - ▲ 엔진 기반 전기추진 선박, ▲ 순수 전기추진 선박, ▲ 하이브리드 추진 선박, ▲ 연료전지 추진 선박 등이 있다.
 - 엔진 기반 전기추진 선박은 디젤, LNG, 메탄올, 수소, 암모니아 등의 연료를 엔진에 공급하여 발전기를 구동하고, 이를 통해 생산된 전력으로 모터를 작동시켜 추진한다.
 - 순수 전기추진 선박은 배터리 등 이차전지에 저장된 전기에너지만 사용해 모터를 구동하며,
 - 하이브리드 추진 선박은 내연기관과 모터를 병행하여 운항 조건에 따라 유연하게 에너지원 전환이 가능하다.
 - 연료전지 추진 선박은 수소 등의 연료를 연료전지를 통해 전기로 변환하고, 이를 바탕으로 모터를 구동하는 방식이다.
- 이러한 전기추진 시스템은 에너지 공급원과 추진 장치를 물리적으로 분리할 수 있어 선체 설계의 유연성을 높이는 동시에 다양한 에너지원과의 연계가 가능하다는 기술적 장점을 지닌다.

그림 1

전기추진 선박의 형태
출처: 서울공대 웹진
(2025.06.)



기술의 범위

- 전기추진 기술의 초기에는 디젤엔진 기반의 발전기를 활용해 모터를 구동하는 디젤-전기추진 형태가 주류를 이루었다. 최근에는 기술의 발전에 따라 배터리 기반 순수 전기추진, LNG 등 엔진과 배터리를 병용한 하이브리드, 수소 연료전지를 적용한 전기추진 등으로 그 범위가 확대되고 있다.
- 전기추진 선박의 개념은 매우 포괄적이다. 국내 「환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」(이하 「환경친화적 선박법」)에서도 ‘전기 또는 친환경에너지를 이용하는 모든 형태의 추진 체계를 갖춘 선박’을 친환경 선박으로 정의하고 있다. 이에 따라 LNG·LPG·CNG·메탄올·수소·암모니아 등을 사용하는 선박, 충전된 전기로 운항하는 전기추진 선박, 하이브리드 및 연료전지 추진 선박 모두 전기추진 기술 범주에 포함된다.
- 기술 적용은 선박의 톤수에 따라 차이를 보인다. 일반적으로 소형 여객선이나 연안 운항선은 배터리 단독으로도 충분한 운항이 가능하나, 5,000톤급 이상의 대형 선박은 배터리만으로는 긴 항속거리를 확보하기 어려워 엔진이나 연료전지와의 복합적 구성이 요구된다.

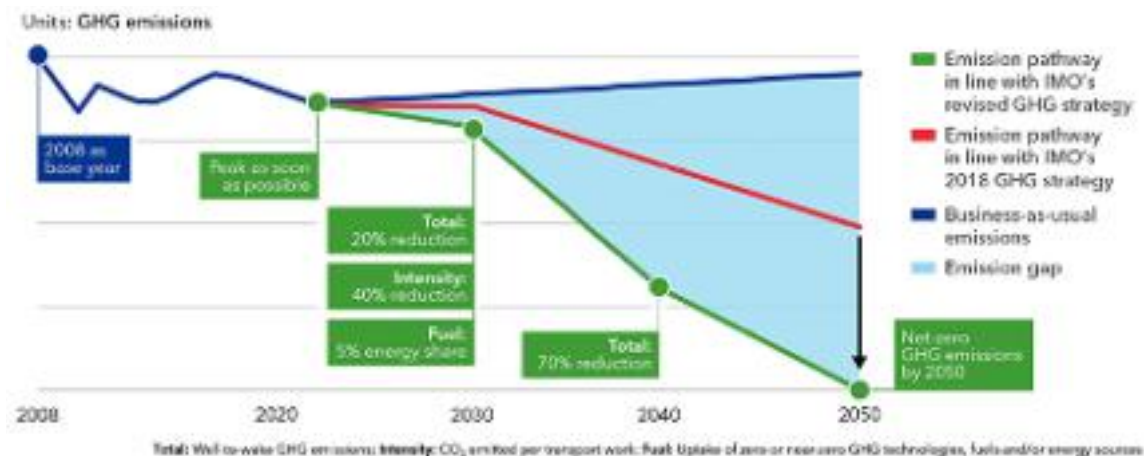


그림 3

IMO 개정(2023년)

온실가스 감축 전략 목표

출처: DNV(2024.05.)

○ 이와 함께 각국 정부의 친환경 정책과 기술 투자도 중요한 배경으로 작용했다.

노르웨이는 2018년 의회 결정을 통해 “2026년부터 세계유산에 등재된 피오르 지역에 무공해 선박만 운항 가능”하도록 법제화했으며, EU 역시 탄소중립 실현을 위한 다수의 해양 친환경 기술 실증 프로그램을 가동 중이다.

○ 또한 전기차 산업의 급성장에 힘입어 리튬이온 배터리의 에너지밀도 향상과 가격 하락이 가속화되며, 해양 분야에서도 배터리 기반 추진 기술이 실용적 대안으로 떠오르게 되었다.

○ 우리나라도 2020년 「환경친화적 선박법」 시행을 통해 법적·제도적 기반을 갖추었고, 전기추진 선박을 포함한 친환경 선박의 기술 개발과 보급이 국가 전략 과제로 추진되고 있다.

○ 이처럼 환경 규제 강화, 기술 혁신, 정책 지원이 맞물리며 전기추진 선박은 해운 산업의 탈탄소화를 이끄는 핵심 동력으로 자리 잡고 있다.

2. 국내외 시장 동향

○ 전기추진 선박 시장은 유럽을 중심으로 빠르게 확산되고 있으며, 노르웨이를 비롯한 주요 국가들이 여객선과 화물선 등 다양한 선종에 전기·하이브리드 추진 기술을 상용화하고 있다. 특히 노르웨이는 세계 최초 전기 카페린인 MF Ampere의 도입 이후 100척 이상의 전기선박을 운항 중이다. EU와 중국, 미국도 관련 실증과 보급을 활발히 추진하고 있다. 국내 역시 2020년 「환경친화적 선박법」 시행을 계기로 공공 부문 중심의 전기추진선 도입이 시작되었고, 울산태화호와 이동식 배터리 차도선 등 실증 사례가 축적되면서 연안 여객선과 어선 중심의 점진적 확산이 기대된다.

국외 시장 동향

- 전기추진 선박 시장은 유럽을 중심으로 빠르게 성장하고 있다. 특히 노르웨이는 전 세계 전기추진 선박 보급을 선도하고 있다. 2015년 노르웨이 선사인 Norled가 세계 최초로 완전 전기추진 카페리인 MF Ampere를 상용 운항한 이후 시장에 큰 전환점이 마련되었다. MF Ampere는 1MWh급 배터리를 탑재해 6km 구간을 왕복하는 항로에서 약 124,000회 운항했으며, 이는 지구 적도 둘레의 약 18.5배에 해당하는 거리다. 이 선박은 연간 약 5,700톤의 이산화탄소(CO_2)를 감축하는 동시에 디젤 선박 대비 운항 비용을 90% 이상 절감하여 환경성과 경제성을 동시에 입증했다.
- 이러한 성공을 바탕으로 노르웨이 정부는 친환경 선박 도입 요건을 공공 입찰에 반영했고, 현재 총 67개 항로에 걸쳐 102척 이상의 전기나 하이브리드 추진 페리·여객선이 운항 중이다. 노르웨이 전체 페리의 절반 정도가 저배출 또는 무배출 선박으로 대체되었으며, 2026년부터는 유네스코 세계유산으로 지정된 피오르 지역에서 무공해 선박만 운항할 수 있도록 법제화했다. 2024년 기준으로 전기추진 페리는 약 80척에 이르며, 2030년까지 전체 페리 노선의 80% 이상을 전기화하는 것이 목표다.

그림 4

세계 최초 순수 전기추진 페리인
MF Ampere(2015년)



- 유럽 각국에서도 전기추진 선박의 도입이 활발하다. 덴마크는 EU의 지원을 받아 2019년 세계 최장 거리 순수 전기추진 항로(22해리, 약 40.7km)를 운항하는 E-ferry Ellen을 취항했다. 이 선박은 4.3MWh급 대용량 배터리로 최대 50해리(약 92.6km)를 1회 충전으로 운항하며, 승객 200명과 차량 30대를 수송할 수 있다.
- 영국의 P&O와 프랑스의 Brittany Ferries 등은 LNG-배터리 하이브리드 추진 시스템을 신조선에 도입해 2024년부터 운항을 시작했으며, 유럽 연안의 신규 페리 건조 선박 중 60% 이상이 전기나 하이브리드 선박으로 발주되고 있다.

- 전기추진 기술은 여객선 외 선종으로도 빠르게 확산 중이다. 네덜란드 암스테르담은 운하 여객선과 작업선 등 63척 이상의 전기선박을 운영 중이다. 영국의 DFDS社は 도버-칼레 항로에 투입할 대형 전기 카페리 6척을 2030년까지 도입할 계획이다. 또한 대형 항만의 예인선, 연안 소형 화물선 등에도 하이브리드 기술이 적용되고 있다. 예를 들어 글로벌 예인선사인 Svitser는 메탄올 연료 엔진과 배터리를 조합한 예인선을 2025년에 인도받을 예정이다. 해상 풍력 지원선(SOV) 분야에서도 24MWh급 초대형 배터리와 이중 연료 엔진을 결합한 차세대 선박이 개발되고 있다.

그림 5

세계 최장 항로를 운항하는
순수 전기추진 페리인
E-ferry Ellen(2019년)



- 유럽 이외 지역에서도 전기추진 선박 시장이 확대되고 있다. 중국은 2010년대 후반부터 내륙 수로 여객선과 관광선에 전기추진 기술을 적용하기 시작했다. 2024년에는 국영 선사 COSCO가 50MWh 용량의 교체식 배터리 컨테이너를 사용하는 700TEU급 화물선 'Greenwater 01'을 양쯔강 항로에 투입했다. 미국은 샌프란시스코 SF-BREEZE 프로젝트를 통해 수소 연료전지 여객선 실증을 진행 중이며, 뉴욕과 시애틀 등에서는 전기추진 페리 도입이 활발히 추진되고 있다.
- 해양배터리포럼(Marine Battery Forum)에 따르면, 2023년 기준 전 세계 배터리 기반 전기 또는 하이브리드 추진 선박은 1,000척을 넘어섰다. 또 2025년 초까지 약 1,500척에 이를 것으로 전망되며, 이 중 약 20%는 비상용 엔진만을 장착한 순수 전기추진 선박으로 분류된다.
- 요약하면, 전기추진 선박 시장은 유럽을 중심으로 지난 15년간 파일럿 단계에서 상용화 단계로 빠르게 진입했으며, 선종도 여객선을 넘어 화물선, 작업선, 예인선, 어선 등으로 다양화되고 있다.



그림 6

50MWh의 교체식 배터리
전기추진 선박인 COSCO의
‘Greenwater 01’(2024년)

국내 시장 동향

- 우리나라도 친환경 해운 전환 정책에 발맞춰 전기추진 선박의 도입을 본격화하고 있다. 2020년 「환경친화적 선박법」 제정으로 제도적 기반이 마련되었고, 같은 해 수립된 ‘제1차 친환경 선박 기본 계획’에서는 2030년까지 운항 선박의 친환경화 목표를 구체화했다.
- 공공 부문에서는 해양수산부가 주도하여 2020년부터 2030년까지 소속 관공선 140척을 친환경 선박으로 전환하는 계획을 수립했다. 다만 실제 전기추진 선박으로의 전환은 초기 단계에 머물고 있으며, LNG-전기 하이브리드 추진 방식이 주로 채택되고 있다.
- 민간 영역에서는 기술 실증이 활발히 진행되고 있다. 2023년 1월 울산정보산업진흥원은 국내 최초로 하이브리드 전기추진 여객선인 울산태화호의 실증 운항을 시작했다. 해당 선박은 2,700톤급 여객선으로 국내 기업이 개발한 직류 기반 전기추진 시스템(DC Grid)을 적용했으며, LNG 이중 연료 발전 엔진과 대용량 배터리를 결합한 하이브리드 구동 방식을 채택했다.
- 또한 선박해양플랜트연구소(KRISO)는 2023년 5월 세계 최초로 이동식 배터리 시스템을 주전원으로 사용하는 420톤급 순수 전기추진 차도선의 실증 운항을 시작했다. 조수간만의 차, 태풍 내습, 경사형 물양장 등 연안 환경을 고려해 롤온·롤오프 방식으로 교체 가능한 배터리 시스템을 도입한 것이 특징이다.
- 이외에도 울산 규제자유특구에서는 국내 기업이 개발한 수소 연료전지 파워팩을 어선에 탑재해 실증 운항을 진행하는 등 다양한 실증 프로젝트가 전개되고 있다.

- 현재 국내에서 운항 중인 전기추진 또는 하이브리드 선박은 수십 척 규모로 파악되며, 정부는 관련 기술 실증과 보급 확대를 위해 민간 여객선과 화물선의 개조 및 신조를 지원하는 사업을 운영하고 있다.
- 종합적으로 볼 때 국내 전기추진 선박 시장은 아직 초기 단계에 있으나, 향후 국제 환경 규제 강화 및 기술 성숙도 제고에 따라 연안 여객선, 도선, 어선 등 다양한 선종으로의 전환이 가속화될 전망이다.

그림 7

울산태화호(2023년)



①권역 충전스테이션 운영



②이동식 전원공급시스템 충전



③도로 이용 이동식 전원공급시스템 배송



④이동식 전원공급시스템 차도선 탑재



⑤순(純)전기추진 차도선 운영

그림 8

이동식 교체 배터리 시스템 기반 전기 추진 차도선 운영의 개념과 실증 운항 (2023년)



3. 국내외 기술 동향

- 전기추진 선박의 핵심은 에너지 변환과 저장, 추진, 제어 및 안전을 담당하는 다양한 기술 요소의 통합에 있다. 주요 기술 분야로는 ▲ 선박용 대용량 에너지저장장치(BESS), ▲ 전기추진 모터 및 추진 시스템, ▲ 발전 및 전력 변환 장치(엔진·연료전지·발전기·전력 제어 시스템 등), ▲ 전기추진선 전용 안전 기술 등이 있다. 현재 각 분야에서 주요 기업과 연구기관 간의 기술 경쟁과 협력이 활발하게 전개되고 있으며, 동시에 국제표준 제정과 규제 정비를 위한 글로벌 논의도 본격화되고 있다.

에너지 저장 및 추진 시스템 기술

- 전기추진 선박의 핵심 기술인 대용량 선박용 배터리 시스템은 최근 수년간 에너지밀도의 지속적 향상과 선박 환경에 적합한 안전성 확보를 중심으로 빠르게 진화하고 있다. 글로벌 시장을 주도하고 있는 노르웨이-캐나다 합작사 코버스 에너지(Corvus Energy)는 세계 최초의 전기추진 카페린인 MF Ampere를 비롯해 초기 상용 전기 선박에 리튬이온 배터리를 공급하면서 시장 지배력을 확보했다. 초기 순수 전기추진 선박의 배터리 용량은 1MWh였으나, 현재는 40MWh를 초과하는 해상용 배터리도 등장하고 있다. 대표적으로 2025년 진수를 앞둔 고속 여객선 'China Zorrilla'는 남미의 아르헨티나-우루과이 항로를 운항할 예정이며, 40MWh급 배터리를 탑재해 워터 제트 추진 방식으로 상업 운항을 준비 중이다.
- 배터리 기술은 기존 리튬이온 중심에서 벗어나 ▲ 슈퍼커패시터, ▲ 리튬황전지, ▲ 나트륨이온전지 등 차세대 저장 장치로 확장되고 있으며, IMO에서도 신기술 수용과 안전 기준 정비가 논의되고 있다.
- 추진 효율 향상과 소음·진동 저감을 위해 360도 회전이 가능한 외부 전기추진기(Azipod)가 도입되고 있다. 해당 시스템은 프로펠러와 전기모터를 일체화하여 선형 성능과 에너지 효율을 높인 방식으로, 크루즈선 등에서 상용 적용되어 오고 있다. 이와 함께 직류 배전(DC Grid) 기반 시스템도 주목받고 있다. 발전기-배터리-배전-모터를 모두 직류로 연결함으로써 에너지 손실을 최소화하고 시스템 구조를 단순화해 기자재 부피를 줄이는 효과가 있다.
- 전기추진선의 충전 인프라 기술도 빠르게 발전 중이다. 항만 고속 충전 설비뿐 아니라 이동식 전원 공급 선박이나 교체식 배터리 시스템 등 다양한 솔루션이 등장하고 있다. 노르웨이는 페리가 접안 시 자동으로 충전이 가능한 고속 충전 시스템을 세계 최초로 상용화한 바 있다.

그림 9

40MWh 배터리 기반 전기추진 여객선인 'CHINA ZORRILLA'(2025년 진수 예정)



연료전지 및 친환경 연료 기술

- 수소 연료전지 기술은 전기추진 선박의 항속거리 한계를 극복할 차세대 솔루션으로 각광 받고 있다. 연료전지는 수소 등의 연료를 산화시켜 전기를 생성하는 방식으로, 특히 그린수소를 사용할 경우 운항 과정에서 온실가스와 오염 물질이 전혀 발생하지 않는 무탄소 추진이 가능하다. 대표적인 예로, 캐나다 Ballard社は 200kW급 해양 연료전지 모듈 FCwave™를 개발해 2021년 DNV로부터 형식 승인을 획득했고, 최대 1.2MW급으로 모듈 확장이 가능해 중형 선박 적용도 가능하다. 노르웨이 선사 Norled는 2023년 세계 최초로 액화수소 연료전지를 탑재한 카페리 'MF Hydra'를 취항했다. 이 선박은 400kW($200\text{kW} \times 2$)급 연료전지와 액화수소 연료를 기반으로 20km 피오르 항로를 왕복 운항하면서 80대의 차량과 300명의 승객을 수송한다. Hydra호는 18개월간 2만 회 이상의 무사고 운항을 통해 연료전지 추진의 안정성과 실용성을 입증했으며, 이를 통해 수소 시스템 통합에 대한 국제 안전기준 마련에도 기여했다.

그림 10

세계 최초 액화수소 연료전지 추진 선박인 'HF Hydra'(2023년)



주요 기업 동향 및 국제 협력

- 전기추진 선박 기술은 조선·해양 산업과 전기·전자·에너지 산업의 융합을 기반으로 발전하고 있다. 추진 시스템 분야에서는 ABB, Siemens 등 글로벌 전기·전자 기업이 자사의 육상 전력 기술을 선박 분야에 적용하고 있다. ABB는 Azipod® 전기추진기와 에너지관리 시스템을, Siemens는 배터리 및 전력 제어 솔루션(Sinu Marine Technology 등)을 유럽 주요 전기추진 선박에 공급하고 있다.
- 배터리 분야에서는 전통적인 해양 배터리 전문 기업 외에도 LG에너지솔루션, 삼성SDI 등 국내 배터리 제조사들이 선박용 셀 공급에 나서고 있으며, 조선소 및 패키징 업체와 협업하여 BESS 국산화를 본격화하고 있다.
- 연료전지 부문에서는 Ballard 외에도 Bloom Energy, 지멘스-에너지(Siemens Energy) 등이 MW급 해양 연료전지 개발에 박차를 가하고 있다. Bloom Energy는 삼성중공업과 협력하여 LNG 추진선에 보조 전력용 SOFC(고체산화물 연료전지)를 적용했고, 현대중공업은 한국선급(KR)과 함께 선박 연료전지 통합 설계 지침을 수립하는 데 기여하고 있다.
- 복합 기술 특성상 산업계-연구기관-정부 간 국제 협력 프로젝트도 활발하다. EU는 E-ferry Ellen, FLAGSHIPS 등 여러 실증 사업을 EU 기금으로 지원하고 있다. 또 노르웨이 MF Ampere 개발 당시에는 노르웨이 도로청, 선사(Norled), 조선소(Fjellstrand), 시스템 통합사(Siemens), 배터리사(Corvus), 선급(DNV), 노르웨이 해사 당국이 긴밀히 협력하여 세계 최초의 전기 카페리를 탄생시켰다.
- 마찬가지로 MF Hydra 프로젝트 역시 공공기관의 기획과 민간 기업의 기술 협력이 조화를 이루었으며, Maritime CleanTech(연구 개발 전문 기업) 등 산업 클러스터가 프로젝트 전반을 조율했다.
- 국제 표준 정비 또한 산업 생태계 조성에 있어 핵심 요소다. IMO는 선박용 리튬배터리 안전기준 마련을 2026년부터 본격적으로 논의할 예정이며, 연료전지 선박 적용을 위한 국제가스연료코드(IGF Code) 개정도 추진되고 있다. 나아가 미래 대체 연료로 주목받는 소형 모듈 원자로(SMR) 추진 선박에 대한 안전기준 논의도 IMO에서 2026년 이후 다뤄질 전망이다.

- 결국 전기추진 선박 기술은 ▲ 복합 산업 간 융합, ▲ 글로벌 공급망 연계, ▲ 정책 및 규제의 공진화를 통해 급속히 발전하고 있으며, 상용화 확산과 함께 해운 산업의 친환경 전환을 주도할 것으로 기대된다.

4. 시사점

- 전기추진 선박의 보급 동향과 기술 발전을 종합적으로 검토해 보면 다음과 같은 다섯 가지 주요한 시사점을 도출할 수 있다.
- 첫째, 강화되는 국제 환경 규제에 대응해 전기추진을 포함한 친환경 추진 체계로의 전환은 세계적인 흐름이자 더 이상 선택이 아닌 필수 과제로 자리 잡고 있다.
IMO의 2050 탄소 감축 목표 상향, EU의 탄소국경세 도입 등 국제적 움직임에 발맞추기 위해서는 향후 신조 선박의 대부분을 배터리, 연료전지, 친환경 연료를 활용한 저탄소나 네거티브 탄소 선박으로 건조될 필요가 있다. 국내 해운·조선업계 또한 이처럼 거스를 수 없는 흐름 속에서 선제적으로 기술을 확보하고 대응 전략을 구체화해야 한다. 특히 한국은 「환경친화적 선박법」 제정 등 정책적 기반을 이미 마련한 만큼 재정 지원, 항만 인프라 구축, 전문 인력 양성 등 실행력을 갖춘 후속 조치에 속도를 내야 한다.
- 둘째, 전기추진 선박 기술은 초기 투자와 인프라 구축이 요구되지만, 장기적으로는 높은 비용 절감과 환경 편익을 제공하는 지속가능한 대안임이 입증되고 있다. MF Ampere 사례처럼 디젤선 대비 초기 선가는 40% 높지만, 연료와 유지비 절감을 통해 5~8년 내 투자 회수에 성공했다. 또한 탄소 배출 저감 효과까지 감안하면 사회적 비용 측면에서도 유리하다. 국내 연안 여객선의 경우 일정 수준의 보조금으로 전기추진 전환을 유도할 수 있으며, 이를 위해 충전 인프라와 연료 공급 시스템, 표준화 체계 등 초기 기반 구축이 선행되어야 한다. 정부와 지자체는 이러한 기반 조성을 적극 지원하고 민간의 참여를 유도함으로써 장기 편익을 극대화해야 할 것이다.
- 셋째, 기술 안전성과 표준 확립은 전기추진 선박의 대규모 확산을 위한 핵심 전제 조건이다. 리튬이온 배터리는 화재에 대한 대비 기술이 필수적이며, 수소·암모니아 등 新연료는 폭발 위험성에 따른 고도화된 안전기준이 요구된다. 다행히 IMO와 국제 선급을 중심으로 관련 기준 마련이 빠르게 추진되고 있으며, 배터리 보호 시스템, 연료전지 모니터링 기술도 지속해서 발전하고 있다. 우리나라도 산학연과 정부가 긴밀히 협력하여 선박 안전 기술과 국제 기준 정립을 선도할 필요가 있으며, 이는 향후 친환경 선박 수출 경쟁력 확보의 결정적 요인이 될 것이다.

- 넷째, 전기추진 선박 기술의 확산과 함께 선박 운용 방식의 변화가 가속화되고 있으므로, 이에 대응한 인력 양성과 산업 생태계 전환이 시급하다. 실제로 노르웨이는 2022년 세계 최초로 전기추진 선박 승무원의 교육 요건을 법제화하고 수천 명의 전문 인력을 양성하고 있다. 우리나라도 신규 선원 양성 과정의 개편과 아울러 기존 현장 인력에 대한 재교육 체계를 마련해야 한다. 또 전통적인 조선 기자재 업체들도 전기추진 기술 분야로의 전환이나 협업을 통해 산업 전반의 연착륙을 도모해야 한다. 배터리, 전력·전자, 연료전지 기업과 조선 산업 간 유기적 협업이 필수이며, 이를 뒷받침하기 위해 정부는 테스트베드 제공, 민간 컨소시엄 지원 등으로 산업 생태계 전환을 유도해야 한다.
- 마지막으로, 국제 협력과 기술 표준 주도권 확보는 우리나라가 글로벌 전기추진 선박 시장에서 주도적 역할을 할 수 있는 전략적 기회다. 현재는 전 세계적으로 전기추진 기술이 본격 상용화되기 직전 단계인 만큼 우리나라가 아시아권 공동 실증, 한-EU 기술 협력 등의 국제 프로젝트에 적극적으로 참여한다면 기술력을 알리는 동시에 향후 수출 기반을 마련할 수 있을 것이다. LNG선 분야에서 세계를 선도한 국내 조선업계는 전기추진 선박에서도 선도적 설계·건조 실적을 확보하여 향후 글로벌 발주 시장에서 경쟁 우위를 확보해야 할 것이다.
- 종합하면 전기추진 선박은 지속가능한 해운의 미래를 여는 핵심 기술이다. 기술적·경제적 과제를 안고 있지만, 단계적 혁신과 정책적 일관성, 산업계의 협력을 통해 충분히 극복 가능한 영역이다. 우리나라가 이 분야에서 경쟁력을 확보한다면 탄소중립을 넘어 탄소 네거티브 시대에 해양 산업의 주도권을 선점하는 기회로 연결될 것이다. 곧 환경보호와 산업 발전이라는 두 과제를 동시에 달성할 수 있는 전략적 전환점이 바로 전기추진 선박이다.

1. Draper, A., "Powering the future: How battery technology is reshaping maritime engineering", Nautilus International, 2025.04.07.: nautilusint.org
2. Tonje Hovland, "World's first electric ferry celebrates 10 years of success", Maritime CleanTech, 2025.02.18.: maritimecleantech.no/2025/02/18/worlds-first-electric-ferry-celebrates-10-years-of-success
3. Thomas Davies, "Norled's MF Hydra achieves significant operational milestones", Ballard Blog, 2024.09.30.: blog.ballard.com
4. "Norway introduces zero-emissions requirement from 2026 to world heritage fjords", Nautilus International, 2025.05.21.: nautilusint.org
5. "The world's first ship powered by liquid hydrogen impresses", Norled News, 2023.03.31.: norled.no/en/nyhet/the-worlds-first-ship-powered-by-liquid-hydrogen-impresses
6. "MARITIME FORECAST TO 2050", 「Carbon Regulations and Consequences」, DNV, 2024.05.23.
7. 강상규, "친환경 선박 추진 시스템", 「서울공대 웹진(SNU ENG WEBZINE)」 Vol. 135, 2025.06.
8. 서재창, "환경문제 고려한 '친환경선박법', 오는 2020년 1월 시행된다", 「헬로T」, 2019.12.18.: hellot.net/news/article_print.html?no=49263
9. 이병구, "'친환경선박법' 시행령 제정안 국무회의 통과", 에코저널, 2019.12.17.: ecojournal.co.kr/m/view.php?idx=116285
10. 하인식, "국내 첫 전기추진 선박 '울산태화호', 실제 운항 통한 실증 테스트", 「한국경제」, 2024.10.30.
11. 사면무역관, "중국, 친환경 선박 산업 확대 위해 전기추진 선박 육성", Kotra 해외경제정보 Dream, 2024.10.07.
12. Wikipedia: MF Ampere.: es.wikipedia.org/wiki/MF_Ampere?utm
13. Wikipedia: Ellen(E-ferry).: [en.wikipedia.org/wiki/Ellen_\(E-ferry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ellen_(E-ferry))
14. Wikipedia: HF Hydra.: en.wikipedia.org/wiki/MF_Hydra?utm

4

대체연료 추진 선박의 기술 개발 동향 및 시장 동향

이희수 조선해양 PD | KEIT 조선방산항공실

최성윤 책임 | 한국조선해양기자재연구원 친환경선박사업단

요약

- 지구 온난화 대응을 위한 온실가스 배출 감소 노력의 일환으로 국제해사기구(IMO)는 2024년 전 세계 온실가스 배출량의 약 3% 수준인 국제해운업에서의 온실가스 배출을 2050년까지 0%(Net-Zero)로 감축하겠다는 목표를 제시했다(MEPC 제80차 회의, 2023.07). 그리고 이를 달성하기 위한 개정안(MEPC 제83차 「MARPOL Annex VI」 개정안 등, 2025.04)을 발표했다.
- IMO의 온실가스 배출 규제를 만족하기 위하여 저탄소·무탄소 등의 대체연료를 선박에서 활용하기 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 2020년 이후 시장 점유율을 늘려가고 있는 저탄소 연료 선박과 2030년경 시장에 진입하여 2050년까지 급격한 증가가 예상되는 무탄소 연료 선박이 2050년경에는 전체 선박의 80% 이상 점유할 것으로 예상된다.
- 2025년 현재 (선)박용 2행정 (주기)엔진, 4행정 (보기)엔진, 연료 공급 시스템 및 안전 시스템을 포함하여 무탄소 연료 선박의 건조를 위하여 요구되는 핵심 시스템들의 시장 선점을 위해 전 세계 업체들이 각축을 벌이고 있다.
- 새로운 연료로의 대전환 시기에 후발국인 중국의 거센 추격을 따돌리고 친환경 선박 분야에서 압도적 우위를 유지할 수 있도록 대체연료 추진 선박들의 핵심 시스템에 대한 기술 및 시장 선도 기반을 확보해야 할 것이다.
- 신규 기술들의 선박 시장 진입에 요구되는 기술 개발, 육상 성능 검증 이후 반드시 요구되는 해상 실증을 통한 Track Record의 확보를 위해서는 기술 개발 업체 ↔ 조선소 ↔ 국내 선사들 간 유기적인 협업이 매우 중요할 것으로 판단된다.

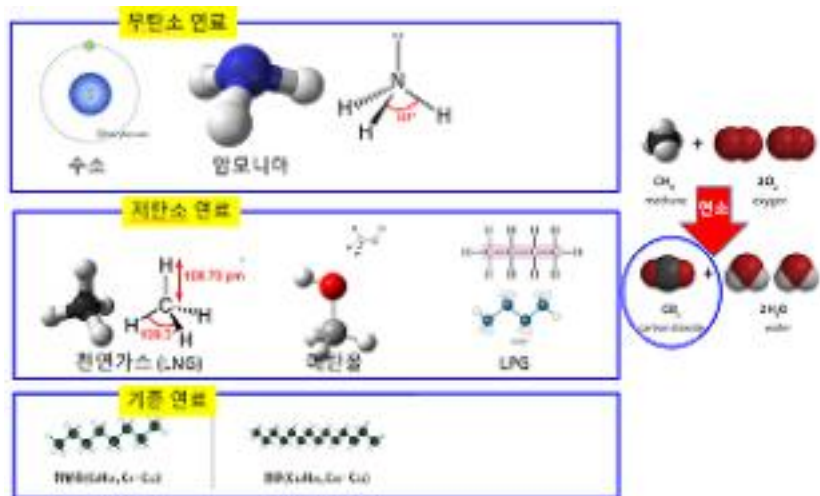
1. 개요

대체연료 추진 선박의 개념

- 2020년 IMO의 선박 배출 황산화물 규제 시행 이전까지 선박에서는 화석연료인 중질유(HFO, Heavy Fuel Oil)나 디젤유(MDO, Marine Diesel Oil)를 주요 연료로 활용해 왔었다. 하지만 IMO의 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee) 제72차 회의에서 '선박의 온실가스 배출 초기 전략'이 채택된 이후로 선박에서 배출되는 온실가스를 저감할 수 있는 전통적 선박 연료(HFO, MDO 등)를 대체할 수 있는 연료(대체연료)에 대한 관심이 증가했다.
- 전통적 선박 연료들은 배출 가스에 NOx 및 SOx와 같은 대기 오염 물질을 포함할 뿐 아니라 분자 내에 다량의 탄소(Carbon)를 함유하고 있으므로 연소 과정에서 다량의 온실가스를 발생시킨다. 저탄소 연료인 LNG나 메탄올의 경우 NOx 및 SOx 배출이 거의 없으며, 분자 내 하나의 탄소 원자를 포함하고 있어 연소 과정에서 기존 선박 연료 대비 30% 수준의 온실가스를 감축할 수 있는 것으로 알려지면서 2020년 이후 급격한 증가세를 나타내었다.

그림 1

전통 선박 연료 vs 무탄소·저탄소
연료 분자식 비교 및 연소 반응 예시
출처: KOMERI



- 대체연료 추진 선박은 (저탄소·무탄소) 대체연료를 활용하여 선박 추진에 요구되는 동력을 확보하고, 이를 선박 추진에 활용하는 선박을 의미한다. 대체연료의 경우 전통적 선박 연료(HFO, MDO 등)와는 다른 물리적 특성을 가지고 있어 기존 선박 대비 더 많은 연료의 적재가 요구된다. 특히 끓는점이 매우 낮아 상온·상압에서의 보관 용이성이 낮을 뿐만 아니라 저위발열량 차이에 따라 기존 내연기관의 동력 시스템을 그대로 사용하는 데에는 한계가 있다.

특징	화석연료		저탄소 연료			무탄소 연료		
	HFO	LFO	LNG	LPG	메탄올	바이오연료	암모니아	수소
끓는점 (°C@1bar)	177	170	-162	-26	65	315	-33	-253
저위발열량 (MJ/kg)	39	40	48	46	20	40	18	120
인화범위 (% vol.in air)	0.5-7	0.6-7.5	5-15	9-19	6-26	0.6-7.5	15-28	4-74
에너지 밀도 (GJ/m3)	35	39	22	25	16	34	12	9
탱크 사이즈 (HFO 대비)	1.0	1.0	1.7	1.4	2.4	1.0	3.0	4.17
탄소 감소율 (HFO 대비)	-	2%	26%	16%	11%	5-10%	95%	99%
기타	저비용/ 탄소배출 높음	고비용/ 탄소배출 낮음	극저온저장/ 고 인화성	액상보관/ 고 인화성	액상보관/ 선박적용용이/ 유독성/ 고 인화성	선박연료와 혼용가능/ 낮은 CO2배 출(LCA)	액상보관 및 취급용이/ 독성 존재/ 부식성 높음/ 수소운반체 역할가능	초저온 저장/ 혼소 가능/ 고 인화성

그림 2

전통 선박 연료 vs 무탄소·저탄소

연료 특성치 비교 및

선박 적용성 비교

출처: KOMERI

○ 대체연료의 선박 활용을 위하여 각 연료별 특성을 분석하여 연료 저장탱크로부터 동력 발생원까지 설치·연계되는 시스템의 (정상·비상) 운전 시 반드시 안전성이 고려되어야 한다. 예시로 기존 선박 연료와 대체연료를 활용하는 경우의 연료 공급 시스템을 비교해 보면 다음과 같다.

- 기존 선박유의 경우 가압 펌프와 밸브의 조합으로 단순하게 구성된다.

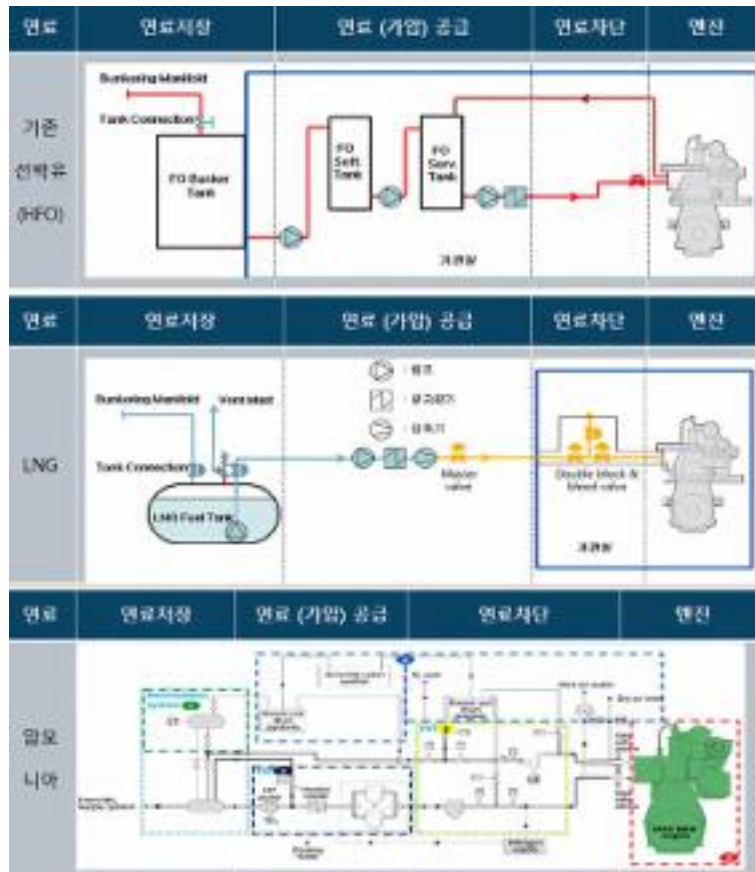
- LNG의 경우 극저온인 LNG를 가압하고 기화시켜서 공급하기 위한 시스템과 엔진 전단에서 압력을 조절하고 유사시 연료를 차단할 수 있는 안전 시스템이 추가로 장착되어 있다.

- 암모니아의 경우 암모니아 연료를 활용하기 위한 엔진과 연계하여 ① 암모니아의 외부 배출을 최소화하기 위한 Recirculation system, ② 엔진에서 요구되는 압력·온도 조건을 확보하기 위한 고압펌프 및 열교환기를 포함하는 FSS(Fuel Supply System), ③ 운전 조건에 따라 안전성을 확보하기 위한 FVT(Fuel Valve Train, 안전 기능 포함), ④ (배관 포함) 연료 공급 시스템 내의 암모니아를 처리하기 위한 Knock-out Drum 및 Ammonia Catch system을 포함하는 안전 시스템 등이 반드시 추가되어야 하므로 더 높은 시스템 복잡성과 기술 난이도가 요구된다.

그림 3

전통 선박 연료와 대체연료의
연료 공급 시스템 비교

출처: 한국선급, MAN에너지솔루션



대체연료 추진 선박의 범위

- 대체연료 추진 선박은 앞에서 설명한 것과 같이 선박 배출 오염 물질 및 온실가스 배출 저감을 고려하여 전통적 선박 연료를 대체하여 사용할 수 있는 선박이다.
 - 2025년 현재 가장 많은 점유율을 확보하고 있는 LNG 연료 추진 선박
 - 메탄올 연료를 사용하는 중대형 컨테이너 선박(메탄올을 연료 사용하는 다른 선종 고려 가능)
 - 수소를 연료로 사용하는 수소연료전지·수소엔진(전기) 추진 선박
 - 배터리를 사용하는 중소형 (전기) 추진 선박 등
 - 암모니아를 선박 연료로 사용하는 암모니아 엔진 추진 선박 또는 암모니아 연료전지 하이브리드(전기) 추진 선박
- 전술한 내용 이외에도 선박의 종류 및 크기에 적합한 대체연료 및 추진 방식을 고려할 경우 모든 선종에 적용 가능할 것으로 예상된다. 일부에서는 배터리를 사용하는 전기추진 선박은 대체연료 추진 선박으로 고려하지 않는다는 의견도 있으나 Clarkson Research에서 반영할 뿐 아니라 거시적인 관점에서 포함될 수 있으므로 배터리 전기추진 선박을 포함했다. 상용화까지는 상당 시간이 소요될 것으로

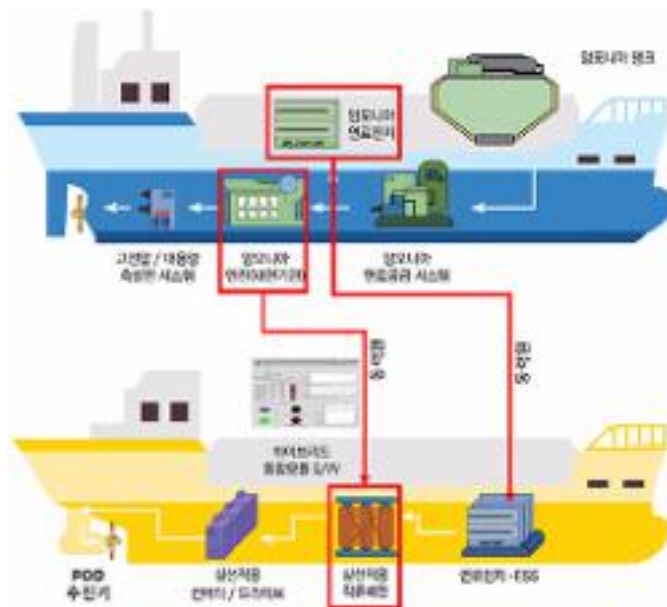
예상되지만, 소형 모듈 원자로(SMR, Small Modular Reactor)를 탑재한 선박 역시 대체연료 추진 선박으로 고려할 수 있다.

- 대체연료 추진 선박을 선박 추진 방식에 따른 핵심 시스템을 고려하여 구성한 개요도는 ‘그림 4’와 같다. 대체연료(암모니아)를 사용하고 ① 선박용 내연기관을 구동해 프로펠러를 회전시켜 선박의 추력을 확보하는 선박, ② 선박용 내연기관, 연료전지, ESS 등을 사용하여 전력을 발생시키고 발생한 전력으로 전기추진 장치(POD 추진기 등)를 구동하여 선박의 추력을 확보하는 선박으로 고려해 볼 수 있다. 전통적 선박 연료를 사용하는 경우 선박용 2행정 내연기관을 ①과 같은 방식으로 주로 적용해 왔으나, 대체연료 추진 선박의 경우 연료의 특성에 따라 ①과 같은 방식뿐만 아니라 ②와 같은 하이브리드 전기추진 선박도 다수 고려되고 있다.
- 대체연료의 경우 동일 운항 조건에서 전통적 선박 연료 대비 더 많은 연료탱크 용량을 요구함에 따라 ①과 같은 방식을 적용한 선박에 ESS, 고효율 연료전지 등을 추가 탑재하는 경우 역시 다수 존재한다.

그림 4

대체연료 추진 선박의 구성 예시
(암모니아 추진 & 하이브리드
전기추진 선박)

출처: KORIES(친환경선박 전주기
혁신기술 개발사업 통합사업단)



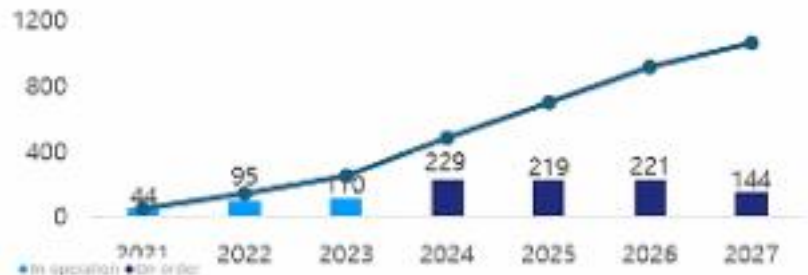
- 2025년 현재 운용 중인 대체연료 추진 선박들은 대부분 소형선이며, 액화수소 연료 추진 선박(MF hydra, 노르웨이)과 암모니아 연료 추진 선박(SAKIGAKE)을 운용해 본 결과로 온실가스 배출량을 각각 95%, 80% 수준으로 감소했음이 보고되었다. HD현대미포조선소에서 건조해 EXMAR社로 2026년 인도 예정인 46K 암모니아 추진 LPG 운반선이 첫 암모니아 상용 대형선이 될 것으로 기대되고 있다.

대체연료 추진 선박의 등장배경

- 선박에 적용되는 신규 기술의 출현을 주도하는 주요 요인으로는 규제 대응과 경제적 효과(OPEX) 증대를 들 수 있다. 대체연료 추진 선박의 경우 (비싼 연료비에 따른) 경제적 효과 저감에도 불구하고 IMO의 규제 만족을 위해 시장에 등장하고 있다.
- 저탄소 연료인 LNG를 연료로 사용하는 선박의 경우 「IMO 2020 Global Sulphur Cap regulation」의 발효에 대응하기 위하여 급격히 증가되었다. 해당 규제를 만족할 수 있도록 하는 배(排)가스 후처리 시스템인 스크러버를 장착하는 선박들도 증가했으나, IMO의 '선박의 온실가스 배출 초기 전략'(2018년)과 동시 대응에 유리한 LNG 연료 추진선의 발주가 현재까지 지속해서 이어지고 있다.

그림 5

LNG 연료 추진선의 증가 추이
출처: DNV(노르세 베리타스)



- 저탄소 연료인 메탄올의 경우 MAERSK社에서 e-Methanol을 carbon-neutral fuel(탄소 중립 연료; 연료 전 주기 관점에서 연료 생산 시 온실가스를 저감한 양으로 활용 시 발생하는 온실가스를 보상하는 개념의 연료)로 언급했고, IMO 온실가스 배출 규제를 만족할 수 있음을 발표하면서 대형 컨테이너선에 활용하면서부터 발주량이 증가하고 있다.

그림 6

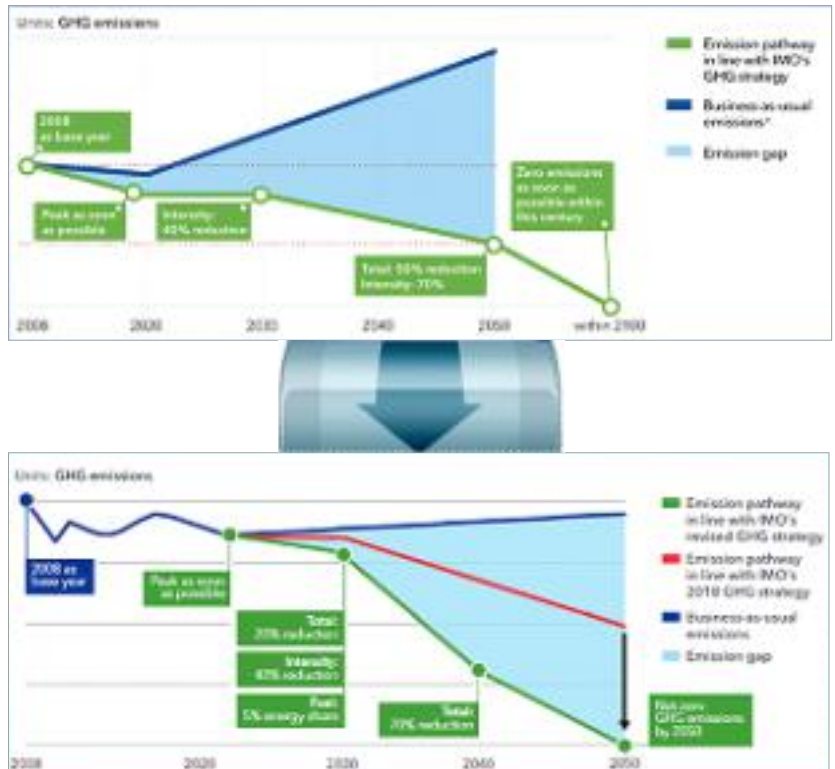
대체연료 선박 등록 건수 및 발주 현황
출처: Clarksons Research



- 초기 전략 대비 온실가스 배출 규제가 강화된 MEPC 제80차 회의(2023.07)의 중기 조치(2050년까지 50% 저감 -> Net Zero로 강화)에서 2030년까지 국제해운에 사용되는 에너지 총량의 최소 5%를 무탄소 기술 및 연료로 전환하고 10%까지 사용하기 위해 노력할 것을 제시했다. 제80차 회의 이전에도 무탄소 연료를 선박 대체연료로 활용해야 한다는 것이 널리 인지되어 다양한 기술 개발이 진행되었으나 제80차 회의 이후 무탄소 연료에 대한 관심이 폭증하면서 무탄소 연료 추진 선박에 대한 기술 개발이 촉진되었고, 시장 진입 시기도 앞당길 수 있을 것으로 기대된다.

그림 7

IMO의 온실가스 배출 규제 강화
[초기 전략(2018년) ⇨
중기 전략(2023년)]
출처: DNV

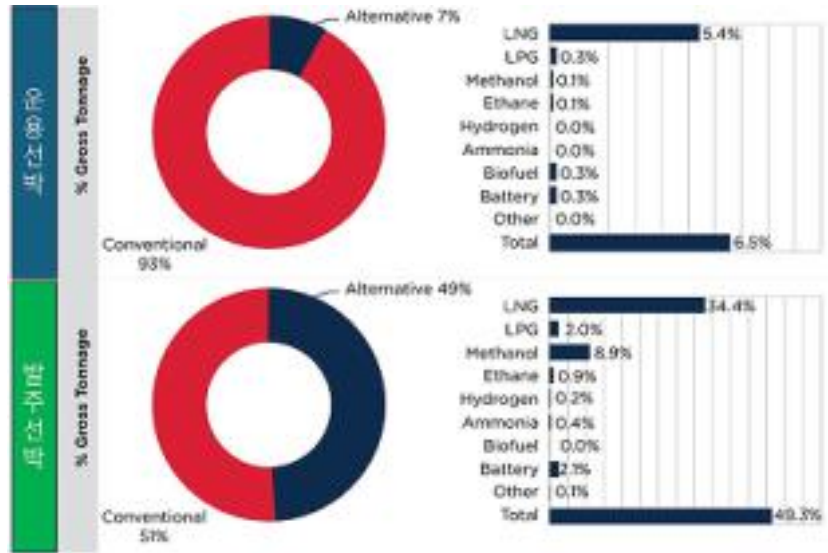


2. 국내외 시장 동향

- 2024년 기준 운용되는 선박 중 총톤수 기준 대체연료 추진 선박이 차지하는 비중은 7% 수준인 반면, 발주 선박의 경우 49%를 차지한다. 현재 운용 중인 대체연료 선박 및 발주 중인 대체연료 선박의 대부분을 LNG가 차지하고 있으며, 발주 선박에서 메탄올의 비중이 상당히 증가했으며, 수소나 암모니아 같은 무탄소 연료의 비중 역시 발주 선박에서 확인되고 있다. 이러한 조사 결과를 통해 저탄소 연료를 사용하는 대체연료 추진 선박의 비중이 당분간 증가할 것이며, 무탄소 연료 역시 시장이 형성되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8

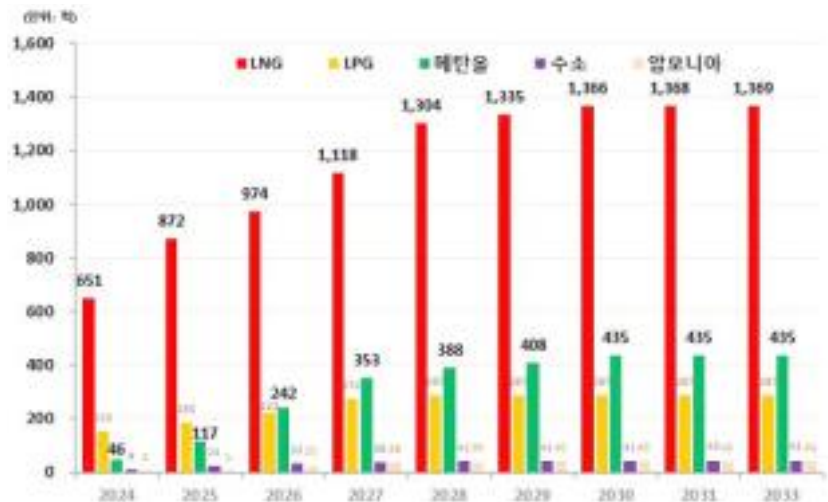
운용 선박과 발주 선박의
대체연료 비중 비교(2024년 기준)
출처: ABS(미국선급협회),
Clarksons Research,
World Fleet Register
(2024.04)



○ 전 세계 LNG 추진선(운반선 제외)은 2024년 651척에서 2033년 1,369척(운항 752척 + 발주 617척)으로 110% 증가하고, 메탄올 추진선은 2024년 46척에서 2030년 435척(운항 66척 + 발주 369척)으로 846% 증가할 것으로 예상된다. 이러한 저탄소 연료 추진 선박의 증가 추이를 통해 현재 중대형 선박에 탑재할 수 있는 대체연료 추진 관련 시스템 기술 수준으로 IMO의 온실가스 배출 규제를 만족할 수 있는 선박 확보를 위한 시장의 움직임을 확인할 수 있다.

그림 9

LNG 및 메탄올 추진선의
연도별 증가 추이
출처: 한국LNG병거링산업협회
(DNV)



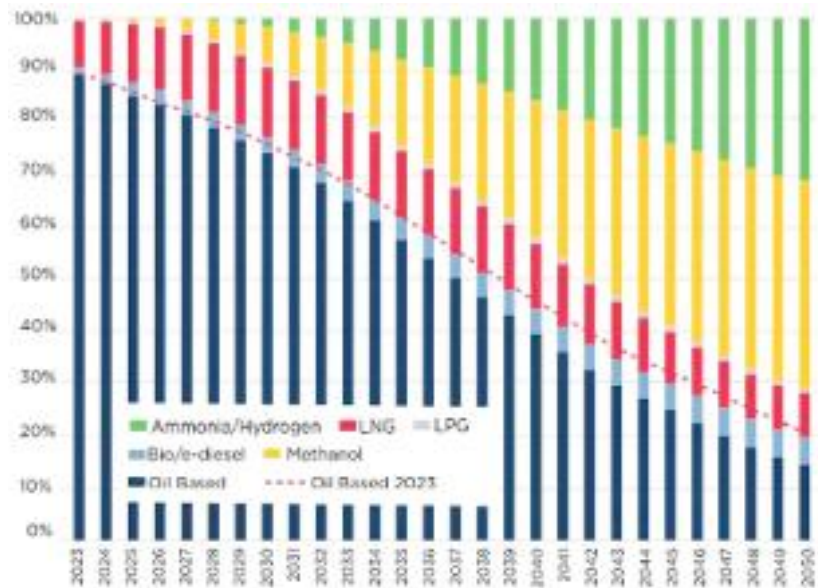
○ ‘그림 10’에서는 다양한 선종을 고려한 경우에 있어 대체연료 선박의 증가 추이를 살펴본 것이다. 전통적 연료 선박의 경우 2050년까지 지속적인 감소를 나타내며, 점유율 감소분이 대체연료인 LNG, 메탄올, 암모니아/수소 추진 선박으로 대체된다는 것을 확인할 수 있다. 무탄소 선박의 경우 2030년경 시장에 등장하여 2050년경에는

선박 시장의 약 30% 이상을 점유할 것으로 예상되며, 저탄소 연료 선박을 합치면 대체연료 선박의 점유율이 80%를 넘길 것으로 예상된다. IMO의 추가적인 온실가스 배출 규제 강화에 따라 대체연료 추진선의 증가는 현재의 예측값보다 더욱 급격해질 것이라는 것이 주요 전문가들의 공통된 의견이다.

그림 10

다양한 선종을 고려한 경우의 대체연료 점유율 예측

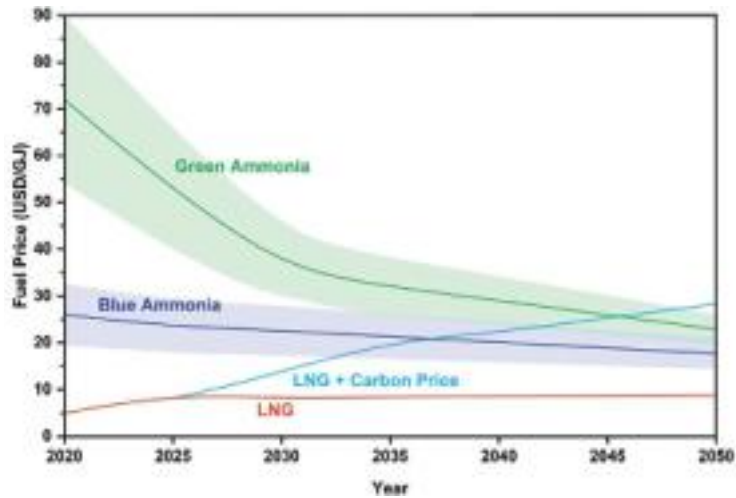
출처: 미국선급협회



- IMO MEPC 제83차 회의에서 제시된 온실가스 배출에 대한 기준(직접 목표, 기본 목표) 미달성 시 지불해야 할 탄소세인 RU(Remedial Units, 직접 목표 미달성 시: 100USD/ton CO₂, 기본 목표 미달성 시: 380USD/ton CO₂)뿐만 아니라 EU의 「FuelEU Maritime」 기준 미달성 시 중복 지불해야 하는 탄소세의 급격한 증가는 무탄소 연료 추진 선박으로의 전환을 더욱 가속화할 전망이다.
- 상기 언급한 탄소세의 증가와 더불어 친환경 암모니아 생산 단가의 지속적인 감소에 따라 2035년 이후 선박 연료용 암모니아가 LNG 대비 더 높은 가격 경쟁력을 가질 것으로 예상된다. 암모니아 연료의 가격 경쟁력 확보는 암모니아 연료 추진선의 시장 점유율 증가를 가속화할 것으로 판단된다.

그림 11

LNG와 암모니아 연료의
가격 변화 추이
출처: 한국선급



3. 국내외 기술 동향

○ 우리나라는 「환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」(이하「환경친화적 선박법」)의 기본 계획 이행을 위해 ‘친환경선박 전주기 혁신기술 개발사업’(총사업비 약 2,500억 원, 기간: 2023~2032년)을 2023년 시작하였으며, 동 사업을 통하여 무탄소 연료 추진 선박 시스템의 기술 주도 및 시장 선도 기반 확보를 위한 기술 개발과 실증을 진행 중이다.

○ 해당 사업을 통하여 중대형 암모니아 연료 추진 선박의 핵심 시스템 개발, 하이브리드 전기 추진의 핵심 시스템 개발 및 국제적 기술 선도 기반을 확보하기 위한 국제 표준 확보를 병행해 진행하고 있다. 또한 육상 실증을 위한 LBTS(Land Based Test System)를 확보해 성능 검증을 진행하고, 선박 설계를 통하여 선박 적용성을 확인하고 개발 시스템의 글로벌 경쟁력 확보를 동시에 진행하고 있다.

그림 12

‘친환경선박 전주기 혁신기술 개발사업’의 주요 개발 내용
출처: KORIES(친환경선박 전주기
혁신기술 개발사업 통합사업단)



- 2024년 산업통상자원부는 ‘K-조선 초격차 비전 2040’을 통하여 암모니아 추진 선박 및 핵심 기자재 개발, 액화수소 운반선 핵심 기자재 개발 등을 포함하는 무탄소 대체연료 추진 선박 기술의 내재화를 통해 2040년까지 온실가스 배출 Net-Zero 선박 기술을 확보하겠다고 발표했다. 또 이를 현실화하기 위한 기술 개발을 진행하겠다고 공언했다. 발표된 내용을 바탕으로 한 기술 개발이 준비·시행되고 있으며, 해당 기술의 확보를 통해 글로벌 친환경 선박 시장을 주도할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 13

‘K-조선 초격차 비전 2040’ 내
친환경 선박의 주요 기술 개발 내용

출처: 산업통상자원부



- 해외 주요국에서 대체연료와 관련하여 진행하고 있는 정책 및 기술 동향은 ‘표 1’과 같다. 표의 내용을 통해 EU 등 기존 친환경 선박 주도국뿐만 아니라 조선업계의 후발주자로 인식되고 있는 중국에서도 대체연료 추진 선박 시장 진입을 위한 기술 개발이 활발하게 진행되고 있음을 확인할 수 있다.

표 1

해외 주요국의 대체연료 관련 정책
및 기술 개발 정책 동향

출처: IMO Korea

국가	주요 내용
 EU	○ 「FuelEU Maritime」*은 유럽 내 항만을 운항하는 선박을 대상으로 재생 가능 연료 또는 저탄소 연료 사용 촉진 및 기술 혁신 등을 장려 * EU의 기후 정책인 'Fit for 55' 패키지의 일환으로 도입되었으며, 지속가능한 해상 운송 체계 구축이 목표 ○ 무탄소 연료 엔진, 전기추진 핵심 시스템 등 고난도·고부가 선박 기자재 산업 중심으로 자율운항 등 미래기술 개발 - 佛 GTT 54%(2023년), 獨 MAN E/S 24%(2023년), 諾(노르웨이) 콩스버그 11.8%(2023년)
 미국	○ 해운 분야 탄소중립 추진을 위해 'Clean Ports Program'*과 함께 수소·LNG 기반 연료 전환 및 항만 인프라 지원 정책 강화 * 미국 EPA의 40억 달러 투자로 항만 내 전력화, 저탄소 연료 인프라 구축 등 포함
 일본	○ 'Green Innovation Fund'*와 'GX 해운 로드맵'**을 통해 수소·암모니아 추진 선박 및 벙커링 시스템 개발을 국가 프로젝트로 추진 * 총 2조 엔 규모의 R&D 기금으로 무탄소 연료 기술, 벙커링, 안전기준 등 실증 선박 개발 지원 ** 'Green Transformation(GX)'의 추진 전략으로 '에너지 기본 계획' '지구 온난화 대책 계획' 등의 전략 ○ 항해·통신 장비 세계 점유율 1위를 기반으로 자율운항 선박 개발, 액화 수소 운반선 해상 실증(2022.02, 세계 최초) 등 미래 기술 확보 노력
 중국	○ '제14차 5개년 계획'*, 항만 정책, 선박 에너지 관리 제도 등을 통해 친환경 선박 기술 상용화 및 항만 탈탄소화를 국가 전략으로 추진 중 * 국가 경제 및 사회 발전을 위해 발표했으며, 2060년까지 탄소중립 목표 설정 ○ 2030년까지 글로벌 선진 수준의 친환경 선박 기술 및 공급망을 구축하고, 시장 점유율 세계 선두 유지를 목표로 설정(2023.12) * 발전 체제 1차 구축(~2025년, 시장 점유율 50%) → 발전 체제 완성(2030년, 국제 선진 수준)

○ 앞에서 언급한 것처럼 대체연료별로 물리적 특성이 다르므로 내연기관에서 활용하기 위해 엔진 시스템, 연료 공급 시스템, 연료 저장 시스템을 각 대체연료에 맞게 개발해야 한다. '표 2'는 암모니아 연료를 사용하기 위한 시스템 개발 시의 각 시스템별 주요 구성품과 고려 기술을 정리하여 나타낸 것이다. 대부분의 대체연료 활용 엔진 시스템의 경우 실린더 내로 연료를 공급하기 위한 주요 기자재와 제어 시스템 개발이 핵심이며, 암모니아 연료 엔진 시스템의 경우에도 유사 형태로 개발이 진행되고 있다. 대체연료의 경우 환경과 인체에 대한 독성이 높으므로 정상 운전 상황 및 비상 정지 상황에서의 안전을 확보하는 것이 매우 중요하다. 암모니아 연료의 경우에도 모든 시스템에서 안전을 확보하기 위한 기술이 적용됨을 확인할 수 있다.

표 2

대체연료 주요 시스템 개발 시

고려사항

출처: MAN에너지솔루션

(25.07.13.)

시스템	주요 구성품	고려 기술	기타
엔진 시스템	Ammonia injection 밸브	▪ 정확한 유량의 암모니아 공급	
	Hydraulic Oil system	▪ 실린더 내 요구 압력으로 암모니아 가압	
	NH ₃ double-walled pipe	▪ 암모니아 누출 방지	
	엔진 제어 시스템	▪ 연소 최적화를 통한 효율 최대화 및 N ₂ O 배출 최소화	
연료 공급 시스템	암모니아 고압 펌프	▪ FVT 요구 압력(83bar.g) 만족 ▪ 암모니아 누출 방지 ▪ 진동 최소화	▪ 신규 시스템 개발 및 성능 검증 진행 중
	암모니아 열교환기	▪ 암모니아 누출 최소화 ▪ 공정 유체 간 혼입 방지	▪ 신규 시스템 개발 및 성능 검증 진행 중
	Recirculation system	▪ 암모니아 순도 확보 ▪ BOG 처리	
	Ammonia Catch system & Knock-out Drum	▪ 암모니아 역류 및 누출 방지 ▪ 비상 정지 상황 대응성	▪ 신규 시스템 개발 및 성능 검증 진행 중
	N ₂ supply system	▪ 일반 정지 상황 및 비상 정지 상황 대응성	
연료 저장 시스템	저장 용기	▪ BOG 발생에 따른 압력 증가 대응 ▪ (연계 배관 포함) 부식 방지 ▪ 선박 운동 환경 및 해상 환경 대응	▪ C-type 압력 용기 주로 활용 ▪ 대용량 저장을 위한 기술 개발 진행 중

- 대체연료인 암모니아 추진 선박과 관련한 주요 시스템 및 선박 개발에서 확인할 수 있는 내용을 표로 정리해 무탄소 연료 추진 선박에 적용할 수 있는 시스템의 개발 수준을 확인해 보았다. 표에서 확인할 수 있는 것처럼 무탄소 연료 중 가장 먼저 선박에 적용될 것으로 예상되는 암모니아의 경우 대부분 국가에서 TRL(기술성숙도) 8 수준에서 기술 개발이 진행 중이며, 중소형 선박을 활용한 해상 실증 초기 단계로 판단된다. 국내에서 개발이 어려울 것으로 예상되는 2행정 엔진을 제외하고는 다른 선진국과의 기술 격차가 거의 없는 수준으로, 우리나라 기업에서 기술 확보를 진행하고 있는 것으로 판단된다.

표 3

대체연료 관련 주요 시스템 개발 현황

국가	주요 업체	개발품	기술 수준	기타
 EU	MAN-ES WIN-GD	암모니아 2행정 엔진	FAT 완료 / 육상 실증 진행 중 (TRL 8)	MAN-ES의 경우 일본 MITSUI와 협업 진행 중
	WARTSILA	암모니아 4행정 엔진	기술 개발 진행 중 (TRL 8)	육상 실증 완료로 확인됨.
 일본	NYK / IHI / JAPAN ENGINE / NSY	암모니아 터그보트	건조 완료 / 해상 실증 진행 중 (TRL 8)	LNG 터그보트를 개조하여 암모니아 연료 추진 해상 실증 중
	ITOCHU / NSY / MITSUI E&S / K-LINE / NSU	암모니아 연료 탱크, 공급 시스템 엔진 육상 실증	실증 진행 중 (TRL 8)	
 대한민국	HD현대중공업그룹 / 삼성중공업 / 한화오션	대체연료 추진선 선급 기본 승인 확보		
	‘친환경선박 전주기 혁신기술 개발사업’ 포함 국가 R&D	암모니아 연료 추진 시스템, 암모니아 탱크, 암모니아 엔진 등 개발 진행 중 전력 변환 장치, 전동 추진기 등 국산화 개발 진행 중	기술 개발 진행 중 (TRL 7)	중대형 선박 적용을 위한 시스템 개발
	부산 암모니아 친환경 에너지 규제자유특구 사업 / 경남 암모니아 혼소 연료추진시스템 선박 규제자유특구 등 국가 R&D	암모니아 Cracker, 선박용 연료전지, 암모니아 저장용 ISO 탱크, 병커링 시스템 등 개발 진행 중 암모니아 내연기관, 암모니아 연료 공급 시스템 등 개발 진행 중	기술 개발 진행 중 (TRL 8)	중소형 선박 활용 해상 실증

4. 시사점

- IMO의 온실가스 규제에 대응하기 위하여 저탄소·무탄소 대체연료를 선박에 적용하는 기술 개발, 육·해상 실증, 연료 확보를 포함하는 value chain 구축 등 다양한 노력이 경주되고 있다. 우리나라는 친환경 선박에 대한 높은 기술력을 바탕으로 LNG 연료 추진 시스템을 탑재한 LNG family 선박을 세계 최초로 상용화했을 뿐만 아니라 4행정 메탄올 엔진과 메탄올 추진 선박 역시 시장에 처음 진입시킨 저력이 있으며, 이를 바탕으로 현재 친환경 선박을 주도하고 있다.
- 하지만 대체연료용 펌프, 화물창 등 대체연료 추진 선박의 핵심 시스템, 전기추진 시스템의 핵심 시스템에 대한 대외 의존도가 높은 것으로 알려져 있다. 대체연료 중 무탄소 연료의 경우 전 세계가 거의 유사한 수준의 기술 개발 단계에서 선박용 시스템 연구 개발을 진행 중이다. 우리나라 역시 높은 기술 경쟁력을 확보할 수 있는 시스템을 2030년경에 형성될 것으로 예상되는 시장 진입 시점에 맞춰 개발하고 있다.

- 선박 시스템의 경우 시장 진입을 위해 기술 개발, 육상 성능 검증 후 해상 실증을 통한 Track Record를 확보하는 것이 매우 중요하다. 특히 전통적 선박 연료와 달리 환경과 인체에 영향을 미칠 수 있는 독성이 있는 것으로 알려진 무탄소 연료들의 경우 안전에 대한 해상 실증 요구는 매우 높다. 주요 경쟁국(EU, 중국, 일본 등)의 대부분 프로젝트에서는 해상 실증을 수행하기 위한 방안이 포함되어 기술 개발이 진행 중이다. 이에 우리나라도 친환경 선박에 대한 기술적 주도권 유지와 대체연료 선박 시장 선점 등을 위하여 기술 개발이 진행되고 있는 기술에 대한 기술 개발 업체 ↔ 조선소 ↔ 국내 선사들 간 유기적인 협업이 매우 중요할 것으로 판단된다.
- 또한 친환경 시스템 탑재를 독려하기 위하여 국내 선사들에 대한 재정적 지원, 대체연료 선박의 연료 공급에 요구되는 규정의 제·개정, 국제 공동 연구 등을 통한 해상 실증 방안 확보 등 전방위적 노력을 산학연관이 함께해야 할 시점으로 판단된다. 세계 시장을 선도할 기술을 확보하면 이후의 결실을 함께할 수 있다는 믿음으로 결속된 One Team Korea로 협력하는 것 역시 절실한 시점이다.
- 지난 20년간 약 10만 척 수준의 IMO 등록 선박 중 80%(약 8만 척) 정도의 선박이 대체연료 선박으로 교체가 예상되는 현 시점에서 국내 기술로 개발된 시스템이 시장을 선점하여 선도적 위치에서 풍성한 경제적 효과를 영위하면서 친환경 선박 시장의 주도권을 이어가기를 기대한다.

출처 및 참고문헌

1. “Green Technology Tracker: Record Investments in Alternative Fuel”, Clarksons Research, 2025.01.03.
2. KR Machinery Rule Development Team, “Ammonia Fueled Ship Safety Provisions”, KORIES technical seminar, 2024.07.
3. *Carbon Neutral Fuel Pathways and Transformational Technologies*, ABS, 2024.
4. *Maritime forecast to 2050: Energy Transition Outlook 2018*, DNV-GL, 2018.08.
5. *Maritime forecast to 2050: Energy Transition Outlook 2023*, DNV, 2023.10.
6. *Alternative Fuels Insight*, DNV, 2024.10.01.
7. *MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia: MAN Energy solutions Future in the making*, MAN Energy Solutions, 2020.11.
8. 『친환경선박 관련 글로벌 동향 및 국내 지원사업 가이드북』, IMO Korea, 2024.10.
9. 「LNG 벙커링 월간 시장동향」 7월호, 한국LNG벙커링산업협회, 2025.07.
10. 송강현, 서유택, 윤형철 외 8명, 「무탄소 선박 연료로서 암모니아의 전망」, 한국선급, 2023.

이건훈 세라믹 PD

2010.6~2015.12 삼성전자 책임연구원 | 2015.12~ 한국세라믹기술원 선/책임연구원
2021.9~현재 KEIT 세라믹 PD



「이슈픽」을 보시는 연구자들을 위해
자기소개 부탁드립니다.

세라믹 PD를 맡고 있는 이건훈입니다. 산업부가 추진하는 세라믹 분야 연구 개발의 기획을 2021년부터 담당하고 있습니다. 세라믹 소재는 전통 세라믹(유리, 도자, 시멘트, 내화재)을 포함하여 첨단 주력 산업에 활용되는 첨단 세라믹까지 넓은 범위를 아우르는 특성 때문에 집중과 다양성 두 가지 측면을 놓치지 않는 과제 기획을 위해 노력하고 있습니다. 또한 장기적인 기술 개발과 성과 창출을 위한 R&D 계획 수립 등의 업무도 수행하고 있습니다.

올해 세라믹 분야에서
가장 주목해야 할 이슈는 무엇인가요?

세라믹 분야는 무기(inorganic) 화합물 전체를 아우르는 소재로, 다양한 종류와 조합이 전체 산업 분야에 여러 형태로 응용될 수 있는 특성이 있습니다. 올해도 핵심 기술 내재화, 산업 공급망 강화는 여전히 산업, 특히 소재 산업 분야의 화두로 거론되고 있으며, 자원과 기술이 무기화되어 국가 간 경쟁에 이용되는 현실을 세계가 목도하고 있습니다. 이런 상황의 해소에 기여할 수 있는 기술이 정부 지원 사업과 과제 기획에 반영되어 개발될 수 있도록 노력하고 있습니다. 최근 공표된 과제들로는 자원 재지원을 통한 필수 세라믹 핵심 소재 생산과 제품화 기술, 탈탄소·에너지 전환 시대와 양자 기술 시대를 대비하는 극저온 세라믹 단열 소재 기술, 고체 세라믹 전해질 소재 부품 기술 등이 있습니다. 주력 산업 분야는 물론, 미래 유망하고 필수적인 기술 개발 과제들을 발굴하여 기획하고자 했습니다.

올 하반기 신규 사업/과제 기획이나
선정 공고, 행사 등 계획이 있을까요?

세라믹 분야는 소재 분야 중 하나로, 대형 사업 중 하나인 소재부품기술개발사업을 활용하여 매년 신규과제를 기획하고 있습니다. 내년도 신규 과제 기획을 위한 수요조사가 곧 공표될 예정입니다. 또한 내년 이후 신규 사업 기획의 출발점이 될 수 있는 연구기획사업의 수요조사도 준비 중입니다. 아울러 관련 지원 사업의 현황과 정보 전달을 위한 지역 순회 간담회도 9월경 진행될 예정입니다.

마지막으로 연구 수행자들에게
하고 싶은 말씀이 있다면?

정부 지원 R&D의 경우 특정 연구자가 수행 중이거나 관심 있는 주제를 모두 다룰 수 없을 뿐 아니라 부처별 지원 사업의 규모나 특징에 따라 성격과 지원 방향이 상이합니다. 각 지원 사업의 사업 기간이나 수요 제한, 신규 과제 공고, 또는 신규 사업 제안 가능성 등을 파악하시고, 연구 개발의 연속성이 끊기지 않는 연구 개발 방향을 설정하는 표인도 함께해 주시기를 제안드리고 싶습니다.

이희수 조선해양 PD

2014.9~ KEIT 입사

2024.7.1~현재 KEIT 조선해양 PD 임용



「이슈픽」을 보시는 연구자들을 위해
자기소개 부탁드립니다.

안녕하세요? 산업통상자원부 조선해양플랜트과 소관 연구 개발 사업/과제의 기획을 담당하고 있는 이희수 PD입니다. 최근 관심 분야는 조선 산업에 접목할 AI에 대한 고민이 가장 큼니다. 앞으로 좋은 제안이 있으시면 언제든지 연락주시기 바랍니다.

올해 조선해양 분야에서
가장 주목해야 할 이슈는 무엇인가요?

최근 조선해양 분야의 가장 큰 이슈는 우리나라 조선 업계에 불어온 슈퍼 사이클과 미국입니다. 최근 뉴스에서 많이 접하셨겠지만, 우리나라 조선소들이 엄청난 수주 행진을 이어가고 있습니다. 산업계에서는 좋은 일이지만, 한편으로는 이러한 호황기에 다음을 준비해야 한다는 의견도 제기되고 있습니다. 이를 위해 앞으로 10~20년 후 발주 시장의 대부분을 차지하게 될 자율운항선박과 이와 연계한 온실가스 배출이 없는 친환경 선박의 개발 필요성이 더욱 커지고 있습니다. 미래를 대비해야 지금과 같은 슈퍼 사이클을 또 만들어 낼 수 있으니깐요. 그리고 중소형 조선소도 함께 슈퍼 사이클을 맞이할 수 있는 기술 개발을 지원할 예정입니다. 아울러 미국과의 통상 협상 결과에 따른 국제 협력이 중요한 키워드로 작용하리라 예상됩니다.

올 하반기 신규 사업/과제 기획이나
선정 공고, 행사 등 계획이 있을까요?

하반기 신규 과제 공고는 없을 듯합니다. 다만 내년도 신규 사업/과제 기획을 진행할 예정입니다. 내년 신규 과제의 주요 테마는 친환경, 생산 부문의 디지털 전환, 자율운항선박, 복귀 등이 될 예정입니다. 아울러 미국과의 협력 또한 중요한 테마로 자리할 예정입니다. 내년도 신규 과제와 관련하여 지난번 수요조사에 접수하지 못한 분들은 언제든지 연락주시기 바랍니다.

마지막으로 연구 수행자들에게
하고 싶은 말씀이 있다면?

저는 조선해양 PD로 재임하는 동안 산업계에 실질적인 도움이 될 수 있는 과제를 지원할 예정입니다. 이를 위해 현장에서 실제로 필요한 기술을 제안해 주셨으면 합니다. 제가 모든 요구를 파악하고 실현시킬 수는 없겠지만, 현장 중심의 기술에 최대한 지원할 수 있도록 노력하겠습니다.

KEIT ISSUE PICK

Vol. 2025 - 08



탄소 저감 기술 - 세라믹, 조선·해양

발행인 전윤종

발행일 2025년 08월 29일

발행처 한국산업기술기획평가원(KEIT)

주소 대구본원 (41069) 대구시 동구 첨단로 8길 32

대전본원 (35262) 대전시 서구 문정로 48길 48, 계룡빌딩 3층

서울사무소 (04513) 서울시 중구 세종대로 39, 상공회의소회관 4층

웹사이트 www.keit.re.kr

ISSN 2234-3873

비매품

이 책의 저작권은 한국산업기술기획평가원에 있습니다.

무단전재와 복제를 금합니다.

기획 한국산업기술기획평가원 전략기획본부 산업전략실

(41069) 대구시 동구 첨단로8길 32

Tel. 053-718-8548

편집·제작 한국산업기술문화재단 방송본부 미디어제작팀

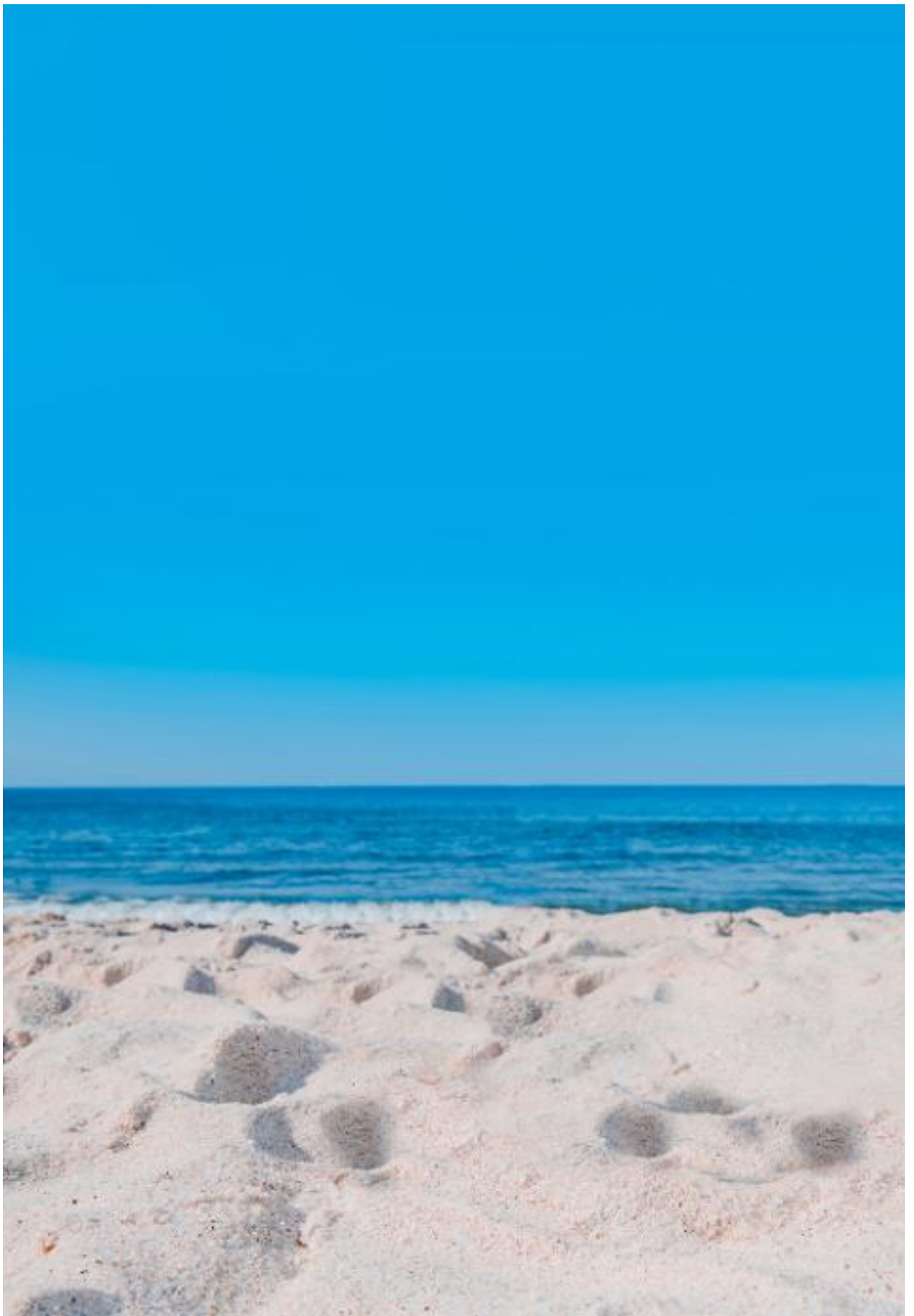
(03925) 서울시 마포구 월드컵북로 396, 누리꿈스퀘어 비즈니스타워 4F

Tel. 070-5050-9141

인쇄 (주)디앤비크리에이티브

(04623) 서울시 중구 서애로5길 12-9, 한아빌딩 2층

Tel. 070-4446-7363 Web. www.boxnv.co.kr



1 세라믹 분야 제조혁신을 통한 공정 최적화 및 에너지 저감 기술

이건훈 세라믹 PD | KEIT 철강세라믹실

한윤수 수석연구원 | 한국세라믹기술원 반도체종합솔루션센터

제조업은 에너지 위기와 탄소중립 요구 속에서 스마트그린 제조혁신이 핵심 전략으로 부상하고 있다. AI·IoT·디지털트윈 기반 공정 지능화와 공장 에너지 관리 시스템 도입으로 품질·생산성 향상과 에너지 절감을 동시에 달성할 수 있다. 세라믹 산업에서는 AI·MES·FEMS 통합 실증을 통해 불량률 저감과 에너지 10~15% 절감 효과를 확인하고 있으며, 이는 중소기업 디지털 전환과 탄소중립 달성의 대표 모델로 확산 중이다.

세라믹 #스마트그린제조혁신 # 디지털전환 # 탄소중립 # 스마트제조

2 유리 산업 탄소중립을 위한 소재 및 에너지 전환 기술

이건훈 세라믹 PD | KEIT 철강세라믹실

김진호 수석연구원 | 한국세라믹기술원 양자·반도체연구단

김형준 수석연구원 | 한국세라믹기술원 산업기반융합소재연구단

국내 유리 산업은 세라믹 산업 생산의 약 49%를 차지하며, 2023년 온실가스 배출량은 약 300만 톤이다. 탄소중립을 위해 △탄산염 원료를 대체·재활용, △생산공정 효율화, △연료 전환(수소·전기) 전략이 핵심이다. 이는 단순 감축을 넘어 산업 경쟁력, ESG, 글로벌 규제 대응을 위한 필수 기술이다.

유리산업 # 온실가스 # 공정배출 # 연료전환 # 공정전환기술 # 탄소중립

3 전기추진 선박의 개발 및 시장 동향

이희수 조선해양 PD | KEIT 조선방산항공실

김영식 센터장 | 선박해양플랜트연구소 친환경연료추진연구센터

국제해사기구(IMO) 규제 강화와 각국 정책 지원 속에 전기추진 선박은 해운 산업의 핵심 친환경 기술로 부상하고 있다. 배터리·연료전지를 활용해 효율적이고 무배출 운항이 가능하며, 노르웨이를 중심으로 세계적으로 상용화가 확산 중이다. 국내도 「환경친화적 선박법」 시행 후 공공 선박 전환과 기술 실증이 활발히 진행되고 있으며, 향후 화물선·어선 등으로 확대될 전망이다.

전기추진선박 # 연료전지선박 # 환경친화적선박법 # 친환경연료기술

4 대체연료 추진 선박의 기술 개발 동향 및 시장 동향

이희수 조선해양 PD | KEIT 조선방산항공실

최성운 책임 | 한국조선해양기자재연구원 친환경선박사업단

IMO는 해운업 온실가스 배출을 2050년까지 '넷제로'로 감축할 목표를 세우고, 이에 대응해 무탄소·저탄소 대체연료 추진선박 기술 개발이 활발하다. 2030년 이후 무탄소 연료 선박의 급격한 확산이 예상되며, 2050년경 전체 선박의 80% 이상을 차지할 전망이다. 한국은 LNG·메탄올 선박을 세계 최초 상용화한 저력을 바탕으로, 암모니아·수소 추진 핵심 시스템 국산화를 추진 중이다. 다만 실증과 국제 협력, 산업계 협업이 필수적이다.

대체연료추진선박 # 넷제로 # 무탄소연료선박 # 해상실증 # 친환경선박

+ Science Fiction - 제5원소

전윤호 | SF 작가·과학스토리텔러

공항 라운지에서 아랍의 왕세자가 지휘하는 국부 펀드가 포스트 오일 산업을 찾는다는 이야기를 엮들은 박지우는 귀가 솔깃해지면서 다시 오지 않을 기회를 깨달았다. AI 검색으로 태양열로 직접 암모니아를 합성하는 개념을 찾아냈고, 그럴 듯하게 포장해 줄 사람으로 카자흐스탄 국립대학에서 은퇴한 올로프 박사를 찾아낸다. 박 대표는 박사를 설득해 왕세자 앞에서 '자기 복제하는 플랜트'를 프레젠테이션하게 되는데...

포스트오일 # 태양광 # CSP # 암모니아합성 # ULAC # 세라믹3D프린터