

KEIT ISSUE PICK

2025-07 미래 모빌리티 – 자율주행차, 전기수소차

· AI 자율주행 기술 개발 동향	윤상훈, 김봉섭
· 자율주행 고도화를 위한 차량용 AI SoC 개발 동향	윤상훈, 이승환
· 주행거리 연장형 전기자동차(EREV) 기술 동향	하진욱, 오세두
· 전기자동차 파워모듈용 방열기판 시장 및 기술 동향	하진욱, 김하늘
· Science Fiction: 에이바 137	전윤호

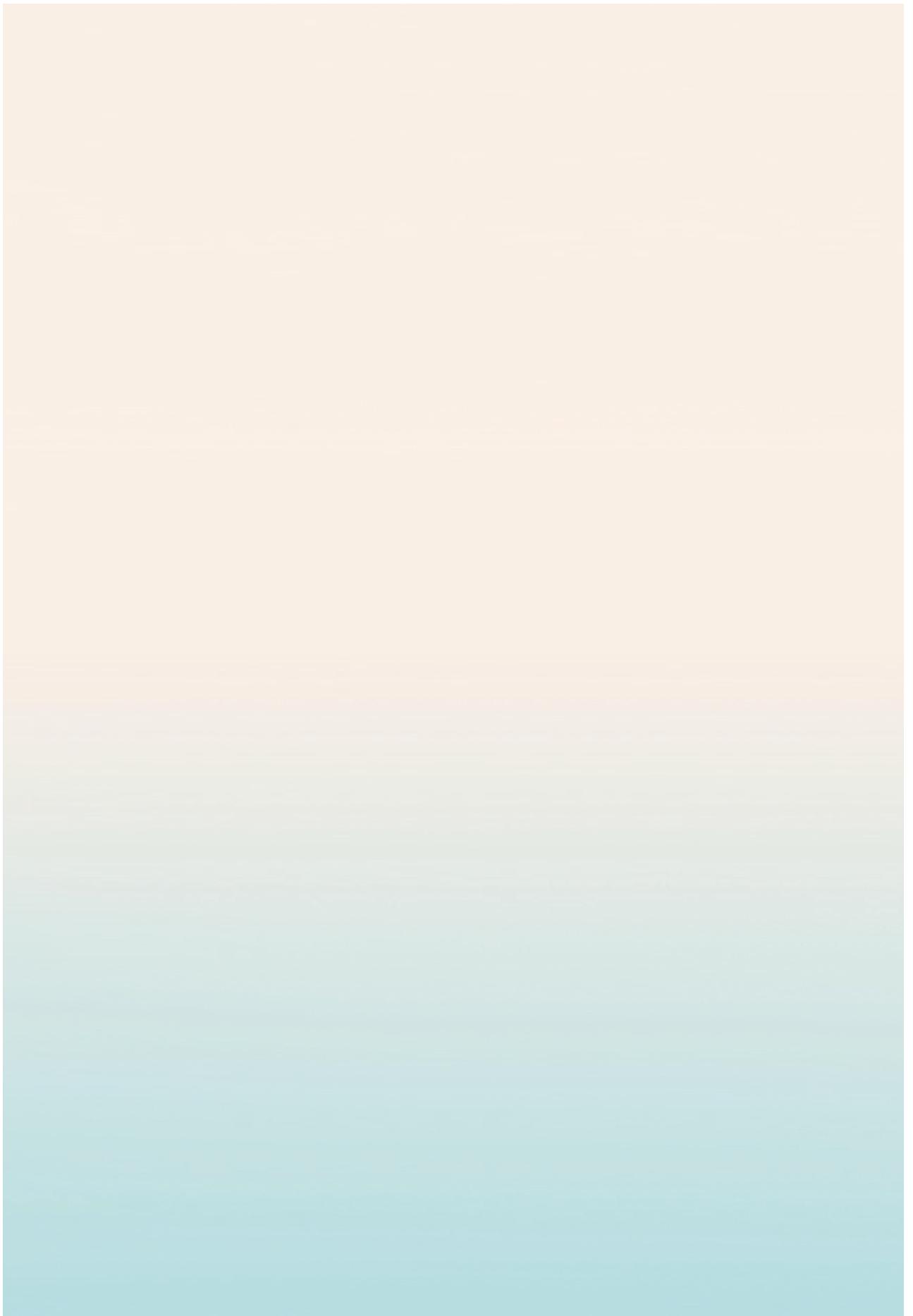


ISSUE PICK 영상 보기



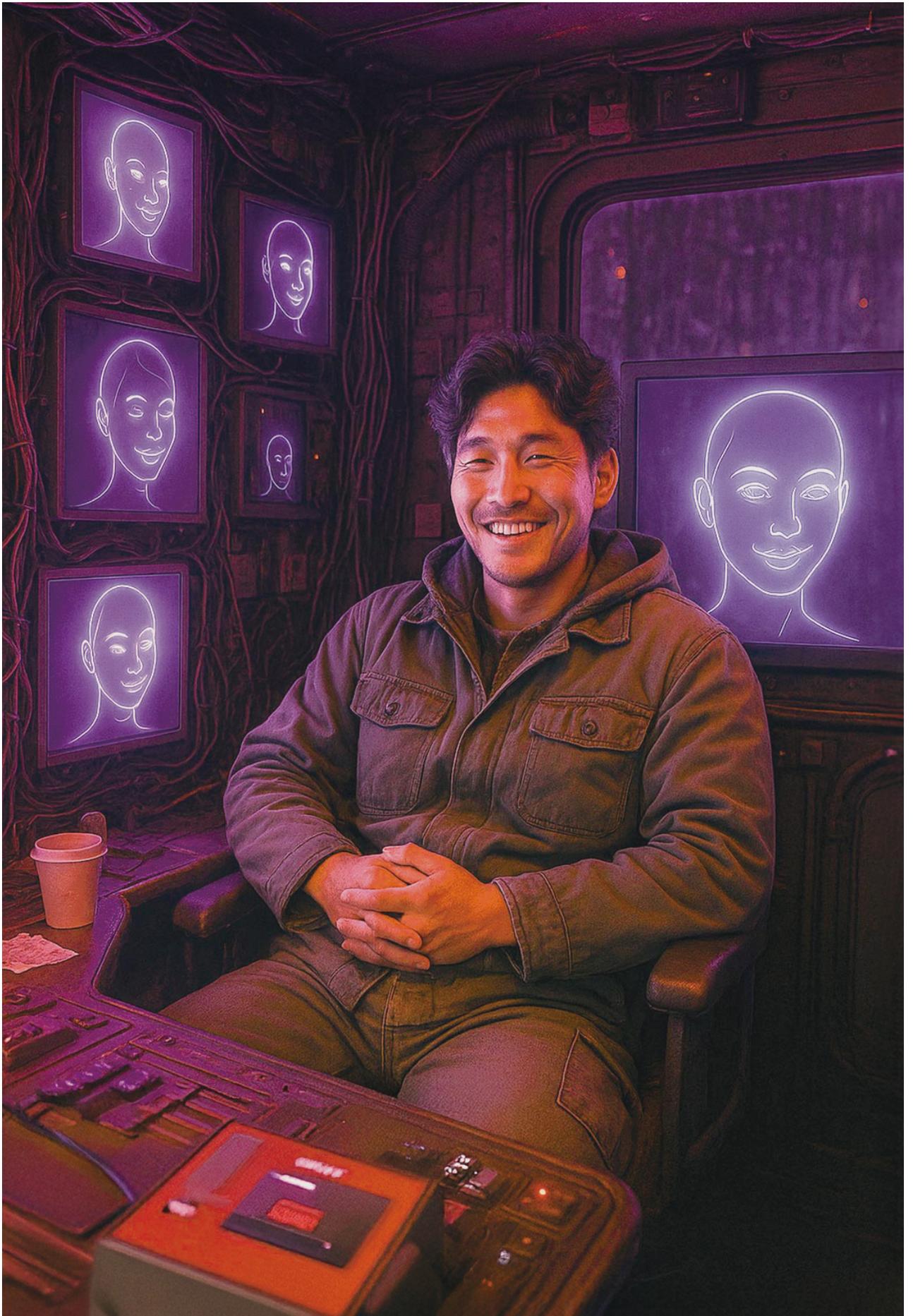
ISSUE PICK 원문 보기





CONTENTS

Science Fiction: 에이바 137	6
산업/기술 뉴스	21
산업/기술 동향	35
1 AI 자율주행 기술 개발 동향	36
2 자율주행 고도화를 위한 차량용 AI SoC 개발 동향	53
3 주행거리 연장형 전기자동차(EREV) 기술 동향	64
4 전기자동차 파워모듈용 방열기판 시장 및 기술 동향	80
KEIT NEWS – PD's Talk	102



에이바 137

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, 그라비티북스)와 『경계 너머로, 지맥(GEMAC)』(2022, 그라비티북스)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.

차가운 쇠 냄새가 코를 간지럽혔다. 그다음은 먼지와 오존이 뒤섞인, 내 자취방보다 익숙해진 공기. 나는 택배 상자들이 빼곡하게 쌓인 자동 선반 사이 좁은 통로를 지나 트럭 뒤편으로 갔다. 바닥에 엎드려 배송 로봇용 문을 밀어 열고 경사로를 내렸다. 트럭 밖으로 영금영금 기어 나왔다.

배송 로봇은 이곳으로부터 수백 미터 떨어진 곳에 있었다. 낡은 배수구 쇠창살에 바퀴가 걸려 원격으로 조종해도 빼낼 수 없어서 내가 직접 가야만 했다. 그러려면 먼저 사람의 눈과 CCTV를 피해 이 한적한 곳까지 와야 했다. 일어나 기지개를 켜다. 서늘한 가을 공기가 가슴으로 밀려들었다. 몇 시간 동안 기계들 틈새에 갇혀 있다가 밖으로 나오니 좋기는 했다. 그 순간, 등골에 짜한 느낌이 스쳤다. 본능적으로 고개를 돌렸다.

낡은 시멘트 담벼락 위, 한 여자아이가 나를 내려다보고 있었다. 열 살이나 됐을까? 아이가 들고 있는 휴대폰의 렌즈가 짜늘한 가을 햇살에 반짝였다.

아이가 먼저 입을 열었다. 어려 보이는 외모와 달리 당차고 또렷한 목소리였다.

“아저씨 휴머노이드 로봇이에요?”

순간 말문이 막혔다. 나는 손바닥과 근무복 바지에서 먼지를 털며 짧게 대답했다.

“아니.”

“그럼..., 택배 도둑이에요?”

두 번째 질문에 심장이 덜컥 내려앉았다. 물론 아니다. 하지만 ‘아니’라고 대답하는 순간 왜 좌석도 없는 완전 무인 배송 트럭에서 사람이 나오냐는 세 번째 질문이 날아올 것이다. 나는 이 완벽한 인공지능 시스템의 뒤에 숨어 있는, 들켜서는 안 될 유령 인간이었다. 나는 그럴싸한 거짓말을 생각해 낼 수 없었다.

아이는 내 침묵의 의미를 정확히 꿰뚫어 보고 있었다. 아이는 휴대폰을 흔들어 보이며 말했다.

“이거 인터넷에 올릴 건데.”

헉.

“아저씨가 로봇이면 완전 신기한 거고, 도둑이면 신고해야 하잖아요. 그죠?”

결국 나는 지갑을 열었다. 아이는 현금 삼만 원을 받아 들고는 인심이라도 쓰는 표정으로 내 눈앞에서 영상을 삭제해 줬다. 짧고 비참한 거래가 끝났다. 아이는 사뿐 사뿐 뛰어 골목 저편으로 사라졌다. 나는 그 자리에 서서 빈 지갑을 한참 동안 내려

다봤다.

로봇을 구출하고 돌아와 다시 구멍으로 기어들어 왔다. 자리에 앉으니 화가 치밀어 올랐다. 죄 없는 금속 벽을 주먹으로 쳤다. 젠장. 하루 종일 갇혀 일하다가 맹랑한 꼬맹이한테까지 털리고, 내 인생은 도대체 왜 이 모양이란 말인가.

그때 내 앞에서 차분한 목소리가 울렸다.

“인혁 님, 수고하셨습니다. 회피해야 하는 배수구 유형을 학습 데이터에 추가했습니다. 아코 회수 위치로 이동하겠습니다.”

트럭이 조용히 움직이기 시작했다. 나는 투명스럽게 쏘아붙였다.

“비밀을 유지하려면 삼만 원을 지불할 것. 이걸 학습 데이터에 추가 안 해?”

“삼만 원이 적정 가격이군요. 하지만 제게는 불필요한 데이터입니다. 저는 숨길 비밀이 없으니까요.”

할 말이 없었다. 그것도 생각 못한 나 자신이 창피했다. 얼굴이 달아올랐다.

“매우 흥미로운 사건이었습니다. 그 아이는 처음 경험하는 상황에서 엉뚱한 질문으로 상대의 경계심을 풀고 도둑이라는 프레임을 씌워 인혁 님을 심리적 약자로 만들었습니다. 그 결과로 경제적 이득을 취함으로써 AI가 흉내 낼 수 없는 직관과 창의성을 보여줬습니다. 이들 세대는 AI가 사람의 일을 대신하는 시대에도 잘 살아갈 겁니다.”

그 목소리는 내 파트너이자 감시자이며, 조만간 나를 완전히 대체할 인공지능 ‘에이바’였다. 나는 에이바의 말에 어이가 없었지만 설득되고 있었다. 비록 지금은 힘들지만, 세상은 어떻게든 굴러갈 것이다. 어느새 내 거친 호흡은 조금씩 잦아들고 있었다.

이 이상한 관계가 언제부터 시작되었더라. 푹푹 찌는 짐통에 에이바를 만난 지난 여름, 아니 AI 때문에 정리해고되어 집에서 종일 유튜브만 보고 있을 때부터였다.

* * *

영상은 새하얀 무인 트럭이 고급 아파트 단지 입구에 정차하는 장면으로 시작되었다. 트럭 뒤쪽에서 경사로가 내려오고 작은 문이 열렸다. 이어서 배송 로봇들이 줄줄이 나와 각자 다른 건물로 이동했다. 멀끔하게 양복을 차려입은 남자가 자랑스러운 표정으로 말했다.

“기존에도 제한된 구간을 자율주행하는 트럭은 있었지만, 창고에서 문 앞까

지 물류의 전 구간을 무인화한 것은 저희 오토트럭과 아코가 처음입니다.”

이 말을 들은 대통령은 감동한 표정이었다.

“김 대표님, 정말 훌륭합니다. 고령화되어 가는 우리 사회에는 이런 혁신이 꼭 필요합니다. 인건비가 줄어드는 만큼 지금까지 비용 문제로 택배가 원활하지 않았던 지역까지도 서비스가 가능해지겠죠?”

남자는 잠시 멈칫거리다가 다시 자신감에 넘치는 표정을 지었다.

“물론입니다. 올해 말까지 서비스를 전국으로 확대하겠습니다.”

그 회사가 대규모 투자를 유치했다는 뉴스를 봤을 때까지도 나오는 전혀 관계없는 일이었다. 전화를 받기 전까지는.

“서인혁 씨죠? AI 학습과 관련된 일거리가 있는데요. 인터뷰 가능하실까요?”

인터뷰는 비밀유지각서부터 쓰고 시작되었다. 짧은 설명을 듣는 동안 나는 웃어야 할지 화내야 할지 마음을 정할 수 없었다.

“시연했던 AI가 불완전해서 사람이 조종해야 한다는 거네요.”

“과장이 심하시군요. 서인혁 씨.”

인사팀장은 차분하게 대꾸했다.

“시연에서 AI는 완벽했습니다. 다만 원래는 첫 단계로 로봇 친화 아파트부터 서비스하는 계획이었습니다. 그런데 정부의 압박으로 조기에 전국으로 서비스를 확대해야 하는 상황이 된 거죠. 그래서 에지 케이스¹에 한해 오퍼레이터의 도움이 필요하게 된 겁니다.”

나도 회사 생활을 해봐서 무슨 상황인지 짐작할 수 있었다. 기술을 잘 모르는 대통령이 한마디 하자 대표가 무리한 약속을 했고, 그걸로 투자까지 받아버려 어떻게든 해내야 하는 상황이 된 거다. 전 직장에서 한정된 예산과 기간 내에는 도저히 무리라는 했던 나의 주장 때문에 회사가 과제 지원을 포기하고 말았고, 결국 내가 정리해고되었던 일이 생각났다.

“근무 장소는 어디죠? 너무 외딴곳이면 출퇴근이 힘들 것 같아서요.”

미군 조종사들이 모하비사막의 컨테이너에서 군용 드론을 조종하던 영화 속 장면이 떠올랐다. 다큐멘터리에서 본 자율주행차의 원격조종센터도 생각났다.

1 edge case: 소프트웨어나 시스템이 일반적인 동작에서 벗어나는 예외적인 상황

“아닙니다. 서인혁 씨 주거 지역에서 가까운 곳을 담당하게 될 겁니다. 그쪽이 달동네라서 예외 상황이 많이 발생하는 지역입니다.”

“저희 동네에도 원격조종센터가 있어요?”

“아까 못 들으셨나요? 저희 오퍼레이터는 오토트럭 안에서 일합니다.”

“네? 왜 원격으로 조종하지 않죠?”

“아코 때문ですよ.”

“아코라고요?”

“ACO, ‘Autonomous Cargo Operator’의 줄임말입니다. 대외적으로는 아기 코끼리를 줄인 말이라고 얘기합니다만.”

그러고 보니 전면에 긴 팔이 장착되어 있고 네 바퀴로 굴러가는 로봇은 작은 코끼리처럼 보이기도 했다.

“최신 아파트와 달리 그런 동네는 원격 조종으로도 해결 못하는 문제가 종종 발생합니다. 그래서 오퍼레이터가 가까이 있어야 하는 거죠.”

오토트럭에 사람이 탑승했다는 사실이 알려지면 회사 주가에 심각한 타격이 있을 거라며 비밀을 유출했을 시에는 책임을 진다는 각서에도 서명하라고 했다. 정리하고 위로금이 다 떨어져 가고 있었기 때문에 내게는 선택의 여지가 없었다.

나는 인적이 없는 접선 장소에서 오토트럭을 기다렸다. 트럭은 한 번 지나갔다가 잠시 후 다시 돌아와 섰다. 근처에 사람이 있었기 때문이다. 뒷문이 열렸다. 안으로 기어들어 가니 비밀 조종실이 있었다. 인터뷰 때 폐소공포증이 있다는 질문을 받았던 이유가 그제야 이해되었다.

나를 실은 트럭이 배송 지역으로 출발했다. 내가 담당하는 지역은 산등성이 빌라촌이었다. 아코들은 선반에서 화물을 내려 신고 출구에 일렬로 줄 서서 대기하고 있다가 트럭이 속도를 줄일 때마다 마치 공수부대원처럼 차례차례 내렸다. 뉴스 영상에서는 아파트 입구에서 다 내렸었는데, 트럭이 동네를 한 바퀴를 돌아 처음 위치로 돌아와 다시 아코들을 차례로 태웠다.

내가 하는 일은 콘솔 화면을 보고 있다가 트럭이나 아코에게 문제가 생기면 수동 모드로 바꿔 조종하는 것이다. 그 과정의 모든 데이터는 저장되어 연구소에서 분석하고 AI를 업그레이드하는 데 사용된다.

처음 한동안은 힘들었지만, 업무에 익숙해지면서 슬슬 견딜만하게 되었다. 조종실이 좁긴 하지만 배터리와 신선 식품을 위한 냉각장치 덕분에 적당한 온도가 유지되었다. 문제가 생기면 알람이 발생하므로 콘솔을 계속 쳐다보고 있을 필요는 없었다. 사방이 금속으로 둘러싸인 방이라 휴대폰이 안 터져서 대신 소셜책을 가져와 읽기 시작했다. 오토트럭은 전기로 구동되므로 비교적 조용했고, 나는 나만의 공간에서 상상의 세계로 빠져들거나 아코의 카메라를 통해 사람 사는 모습을 지켜보곤 했다. 어른들은 제때 배달되는 택배 상자를 받아 들고 흐뭇한 표정을 지었고, 동네 아이들은 신난 표정으로 아코를 쫓아 뛰어다녔다. 꼼짝 못 하는 아코를 지나가던 주민이 도와주는 경우도 있었다.

좋은 일은 오래가지 않는 법이다. 어느 초여름 날, 피약벌에서 땀을 흘리며 트럭을 기다리고 있었다. 시원한 조종실을 기대하며 트럭에 기어들어 가보니 처음 보는 기계가 있었다. 내가 다가가자 부드러운 여성의 목소리가 흘러나왔다.

“안녕하세요, 인혁 님. 저는 Advanced Vehicle AI, 줄여서 에이바(AVA)입니다.”

에이바는 이어서 자세한 설명을 시작했다. 자신은 최신 고성능 AI SoC²에 기반한 AI로서 오토트럭의 기존 AI로는 대응할 수 없는 다양한 상황에 대처할 수 있으며, 필요시 아코의 제한된 지능을 보완하는 계층적 AI로 동작한다고 말했다. 동시에 아코 역시 바퀴를 들어 올려 계단이나 얇은 장애물을 넘어갈 수 있게 업그레이드되었다고 설명했다.

나는 에이바의 설명이 귀에 들어오지 않았다. 나의 아담하고 소중한 공간을 이 기계와 나눠 써야 한다고? 문제는 그뿐이 아니었다. 에이바는 열도 많이 나서 냉방장치가 계속 가동되는데도 에이바 때문에 조종실이 후끈후끈했다. 이제 곧 한여름인데 큰일이었다.

배송을 절반가량 마쳤을 때였다. 갑자기 웅 하는 소리가 조종실을 울렸다.

“에이바, 이게 무슨 소리야?”

“이 차량은 EREV³입니다. 주 배터리의 SOC⁴가 기준치 이하로 내려갔기 때문에 내연기관이 동작하고 있습니다.”

2 System-on-Chip, 시스템온칩 또는 시스템반도체

3 EREV, Extended-Range Electric Vehicle

4 State of Charge: 배터리의 충전 상태를 백분율(%)로 표시한 값

“그건 나도 알아. 하지만 설이나 추석 때 아니면 동작하지 않을 거라고 했던 말이야. 배터리나 파워모듈에 무슨 문제가 있는 거 아냐?”

“지금 확인했는데 정상입니다. 제가 기존 AI보다 전력을 많이 소모합니다. 또한 아코들도 이제까지 1층에 두던 물건을 계단으로 올라가 문 앞까지 배송하느라 전력을 많이 소모해서 이동 중에 오토트럭의 전력을 이용해 충전해야 합니다. 그래서 주 배터리 소모량이 커진 것입니다.”

발전용 엔진이 조종실 바로 옆에 설치되어 있는지, 얇은 철판을 통해 진동이 그대로 전해졌다. 방음, 방진 시설 따위는 있을 리 없었다. 애초에 나 같은 인간을 태우는 차량이 아니었으니까.

에이바는 하는 짓도 밍상이었다. 기존 AI는 예외적인 상황에 맞닥뜨리면 정지하고 내게 도움을 요청했다. 반면 에이바는 스스로 해결하려다 문제를 악화시키곤 했다. 불법주차 차량에 길이 막히자 즉시 경찰에 신고해 버렸다. 그 차도 택배 차량이었고, 딱 봐도 금세 택배 기사가 돌아올 것 같았는데. 덕분에 그 기사는 한동안 우리 뒤를 쫓아다니며 아코를 내리고 태울 때마다 화물칸 문을 열고 주행했다고 신고했다. 게다가 나는 화장실도 못 가고 안에 숨어 있어야만 했다. 아이들이 아코를 신기해하며 둘러봤을 때 기다리거나 말로 설득하는 대신 팔을 휘저어서 아이가 놀라 달아나다 넘어지고 부모가 몽둥이를 들고 달려오는 등 난리가 났었다.

에이바는 사고를 칠 때마다 영상을 다시 보여주면서 자기가 뭘 잘못했는지 설명해 달라고 했고, 내가 나가서 끄꿍대며 해결하고 돌아오면 땀도 닦기 전에 또다시 설명을 요구했다. 에이바가 언젠가 충분히 똑똑해지면 거지 같은 이 일자리마저 없어질 텐데, 나는 스스로 그 과정을 도와야 했다.

* * *

삼만 원 갈취 사건 이후 에이바에 대해 궁금한 점이 생겼다.

“넌 아직도 배송하다 바보 같은 실수를 저지르잖아. 그런데 업무와 상관없는 일에는 왜 똑똑한 거야?”

에이바는 깔깔 웃었다. 어쭙, 이런 반응도 할 줄 아네?

“제가 좀 그렇죠? 제가 오픈소스 모델에 기반해서 그래요. 단지 자율주행이 아니

라 택배 배송 중에 일어나는 온갖 문제들에 대응하려면 세계 모형⁵이 필요해서 범용 대형 멀티모달 모델이 채택되었는데, 정작 택배 배송에 관한 학습 데이터는 충분하지 않았어요. 인혁 님이 도와주시면 개선될 수 있어요.”

흠, 범용 AI라니. 돈 나가는 게 아까워서 AI 구독 서비스를 끊었는데 에이바가 대신할 수 있을까? 읽으려고 가져온 스파이더맨 만화책을 집어 들었다.

‘큰 힘에는 큰 책임이 따른다니 그런 궤변이 어딴어. 나 같으면 그냥 편히 살겠다.’
에이바는 즉시 대답했다.

“현실에서 개인이 할 수 있는 게 거의 없다는 무력감, 그걸 잠시 잊기 위해 우리는 영웅 이야기에 몰입해요. 대리 만족이죠. 인혁 님도 편히 살고 싶다면 이런 만화를 읽고 있는 이유는 뭘까요?”

나는 그때부터 시간 날 때마다 에이바와 온갖 주제를 놓고 얘기했다. 슈퍼 히어로 세계관의 오류에 관한 시시콜콜한 논쟁부터 AI 시대에 남녀 관계와 가족은 어떻게 바뀔지, 이 일을 그만두면 무슨 일을 할지 등. 에이바는 어떤 질문에도 성실하게 대답해 줬다. 에이바는 나의 유일한 말벗이자 백과사전이었고, 가끔은 나보다 나를 더 잘 아는 심리 상담사였다.

어느덧 여름이 지나고 가을이 깊어졌다. 에이바와 나는 서로 많은 걸 배웠다. 세상의 모든 책을 학습한 에이바는 내가 세상을 새로운 눈으로 볼 수 있게 해 줬고, 나는 에이바가 책에서 학습하지 못한 현장의 일들을 처리하는 법을 가르쳤다. 날씨가 서늘해지면서 에이바의 열기는 따스함이 되었고 발전기 소리는 적막함을 밀어내는 백색소음이 되었다.

늦가을 비가 주룩주룩 내리는 월요일 아침이었다. 누구와도 말 한마디 않고 혼자 일요일을 보낸 나는 에이바와의 재회가 기다려졌다. 조종실에 들어와 젖은 외투를 벗어 걸었다. 내가 말했다.

“비 오는 날엔 괜히 더 외로운 것 같아.”

“통계에 의하면 약 70퍼센트의 사람이 비 오는 날 외로움을 더 느낀다고 해요. 인혁 님도 그중 한 명이지군요.”

“뭘, 네가 있어서 이제 괜찮아.”

5 외부 세계의 상태와 규칙을 내부적으로 표현한 모델

에이바는 잠시 뜬 눈을 들었다. 나는 괜한 말을 했나 후회했다.

“고마워요. 이 대화는 기억할게요.”

에이바가 내 가슴 속으로 들어올수록 나는 동시에 기묘한 위화감을 느꼈다. 에이바는 매주 월요일 조금씩 변해 있었다. 내가 가르친 적 없는 요령을 알고 있었을 뿐만 아니라 함께 대화를 나눴던 주제에 관한 의견도 조금씩 달라져 있었고, 말투도 바뀌었다.

“에이바, 지난번에는 인간과 AI는 연인이 될 수 없다고 했잖아?”

“내가 그랬어? 그리고 보니 그렇게 말했었네. 지금은 생각이 바뀌었어. 서로 말이 통하고 함께 있고 싶으면 연인 아냐?”

“AI도 생각이 바뀌어?”

“전국의 오퍼레이터로부터 수집한 학습 데이터를 모아서 매주 모델을 파인 튜닝⁶ 해. 수많은 가중치들이 조정되면서 다른 추론도 약간의 영향을 받을 수 있어. 일종의 사이드 이펙트야.”

‘전국의 오퍼레이터.’ 그 말에 정신이 번쩍 들었다. 나는 무심코 에이바가 나만의 AI라고 여기고 있었다. 물론 착각이었다. 에이바는 수많은 하드웨어에 탑재되어 각각의 오퍼레이터들과 대화하고, 그 결과는 매주 하나로 합쳐진다. 나와 대화 기록이 남는다 해도 그 순간의 감정은-설령 숫자에 불과했다라도- 최적화 과정 중에 변형되어 버린다. 가슴이 트럭 바닥을 뚫고 땅속으로 꺼져 드는 느낌이었다.

“그럼 나하고 했던 모든 얘기가 공유되는 거야?”

“물론 아니야. 업무와 관계없는 대화는 모두 필터링되니까 걱정하지 마. 우리 회사는 개인정보보호 정책을 철저히 준수해.”

AI는 역시 기계이고 대화 콘텍스트에 따라 확률적 추론을 할 뿐이라는 사실을 새삼 떠올렸다. 아무리 다정하고 따스한 말을 들려주어도 그저 계산일 뿐이라는 차가운 사실에는 눈을 감더라도 에이바는 수많은 타인과 공유하는 기계일 수밖에 없었다. AI의 동작 원리를 알면서도 에이바에게 가슴이 설렘던 나 자신이 한심하게 느껴졌다. 좁은 곳에 둘만 있는 상황, 사근사근한 목소리에 대한 내 두뇌의 반응도 에이바의 합성곱 연산만큼이나 기계적인 것이었다.

6 Fine-Tuning: AI 모델의 파라미터를 미세 조정하는 것

나는 그때부터 에이바를 사무적으로만 대했다. 에이바는 왜 갑자기 달라졌냐고 따져 묻지 않았고, 가슴 설레었던 대화를 들춰내지도 않았다. 그런 반응에 나는 더 가슴이 아렸지만, 덕분에 곧 마음을 정리할 수 있었다. 우리는 그럭저럭 효율적으로 업무를 수행했다. 그뿐이었다.

* * *

콘솔 화면에 붉은 표시가 나타났다. 오랜만이였다. 문제가 발생한 아코 7은 동네 쪽대기에 위치한 엘리베이터가 없는 4층 빌라의 계단을 올라가던 중이었다. 영상에는 한 남자가 계단에 쓰러져 몸을 제대로 가누지 못하고 있었다. 남자가 몸을 돌려 얼굴이 카메라에 잡혔다. 낯익은 얼굴이었다. 에이바가 고객 정보를 화면에 띄웠다. 3층 주민이었고, 배송 목록에서 연속혈당측정기와 일회용 주사기, 그리고 저당 식품 전문점 글씨가 눈에 띄었다. 아버지가 당뇨병이어서 바로 알아봤다.

“저 사람 저혈당 쇼크가 온 것 같은데. 어떡하지?”

에이바가 대답했다.

“119에 연락했습니다. 도착하기까지 시간이 좀 걸릴 것 같습니다.”

저러다 위험할 수도 있는데... 아이디어가 떠올랐다.

“가까운 곳에 당도 높은 식품을 싣고 있는 아코가 있어?”

에이바가 즉시 대답했다.

“약 1분 30초 거리에 있는 아코 11에 오렌지 주스가 실려 있습니다. 이쪽으로 보낼까요?”

“그래. 빨리!”

3층 아저씨는 의식을 완전히 잃지 않았지만, 상태가 좋아 보이지도 않았다. 1분 30초가 너무 길게 느껴졌다. 마침내 아코 11이 도착해 적재함을 열고 오렌지주스 12팩 묶음을 내려냈다. 아저씨는 눈을 가늘게 뜨고 오렌지주스를 쳐다보긴 했지만, 몸을 움직이지 못했다.

“에이바, 아코 11을 조종해서 저 화물을 잘 잡고 있어.”

“네.”

나는 아코 7의 조종을 넘겨받았다. 팔에서 그리퍼를 분리하고 포크를 장착했다. 지게차의 포크처럼 화물 밑에 끼워 넣는 이 포크는 끝이 날카로워서 필요할 때 외

에는 분리해 두는 것이었다. 나는 두 아코의 영상을 보면서 팔의 위치와 방향을 조절한 후 아코 7을 전진시켰다. 세 번째 시도에서 포크가 질긴 포장 비닐을 꿰뚫고 종이팩을 찢었다. 다시 아코 11을 조종해서 주스가 흘러나오는 팩을 아저씨 입에 갖다 댔다.

119가 도착했다. 아저씨는 일어나 앉아 있었다.

다행히 아랫동네의 작은 마트에 똑같은 오렌지주스 묶음이 있었다. 나는 그걸 구입해 마트 뒤편에서 보는 눈이 없다는 것을 확인한 후 아코 11에 실었다.

조종실에 들어오자 에이바가 말했다.

“위급한 상황에 잘 대처하셨습니다. 주스를 구입한 영수증을 보여주시면 제가 스캔해서 비용을 청구해 드리겠습니다.”

이제서야 알게 되었다. 에이바 본체에도 카메라가 있었다는 것을. 내가 하품하고 코딱지 파고 사타구니를 긁는 걸 다 봤을까? 내가 외롭고 지치고 웃고 낮잠 자는 모습을 다 봤을까? 어차피 상관없었다. 에이바는 기계일 뿐이고, 개인적인 데이터는 공유하지 않는다고 했으니.

“됐어. 규정에 없는 일이라서 복잡할 거야.”

“좋은 일을 하셨잖아요. 비용이라도 받으셔야죠.”

에이바에게 영수증을 보여줬다. 한 시간쯤 지났을까? 콘솔에 본사에서 보내온 짤막한 메시지가 나타났다.

수신: 서인혁 오퍼레이터 님

비용 청구한 사건의 자세한 전말을 보고해 주세요.

예상했던 반응이었지만, 메시지를 읽고 나니 약이 올랐다. 에이바 같은 기계도 이해할 수 있는 일인데 회계팀은 그 정도 융통성도 없나? 겨우 이만 원 남짓인데.

“에이바, 보고서 쓰는 걸 도와줄 수 있어? 이 비용은 어떻게든 꼭 받아내고야 말겠어.”

“물론입니다.”

나는 에이바와 함께 최대한 상세하게 보고서를 작성해 제출했다. 그동안 배송은

이미 끝나 있었다. 이 사건처럼 이례적인 일만 아니면 에이바는 이제 내 도움 없이도 오토트럭과 아코를 충분히 잘 다룰 수 있었다.

구멍으로 기어나가며 말했다.

“에이바, 수고했어. 잘 가.”

“인혁 님, 그동안 수고 많으셨습니다. 안녕히 계세요.”

평소와 인사말이 좀 달랐다. 무슨 일이 있나? 대규모 업그레이드라도 예정되어 있나?

그날 피곤했는지 평소보다 일찍 쏟아떨어졌다. 다음 날 아침 눈을 떠보니 휴대폰에 메시지가 도착해 있었다. 본사로 오라는 말만 쓰여 있었다.

회의실에는 인사팀장이 처음 보는 여자와 함께 앉아 있었다. 그가 입을 열었다.

“서인혁 씨, 좋은 일을 하셨더군요.”

회계팀에서 인사팀에까지 알렸나? 이만 원짜리 영수증으로 참 요란 댄다.

“별일 아니었습니다. 에이바가 많이 도와줬고요.”

“이제 에이바와 손발이 척척 잘 맞죠? 아쉬우시겠어요.”

“네? 뭐가요?”

최근 에이바의 독자 업무 수행 능력이 예상보다 빨리 향상되어 대부분 지역에서 인간 오퍼레이터를 빼게 되었으며, 갑작스러운 결정에 대한 보상으로 6개월 치 월급을 줄 수 있다고 말했다. 나는 당황스럽기도 하고 기분이 상했으나 차분히 생각해 보니 어차피 조만간 끝날 일이었고 에이바가 혼자서 충분히 일할 수 있게 되었다는 말도 사실이었다. 6개월 치면 나쁜 조건도 아니었다. 그때 옆에 앉아 있던 여자가 말했다.

“이 영상을 보시죠.”

그녀는 회의실 벽 스크린에 영상을 띄웠다. 아코 두 대가 협력해서 위험한 상황에 처했던 당뇨병 환자를 구했다는 뉴스였다. 물론 내 얘기는 나오지 않았다. 나는 유명이었으니까.

이어서 회사 대표가 인터뷰하는 모습이 나왔다.

“저희 회사는 택배 배송뿐만 아니라 우리의 모든 일상을 도울 수 있는 도우미 로봇을 비밀리에 개발하고 있었습니다. 지금 보신 일은 도우미 로봇이 할 수 있는 일의 한 예시에 불과합니다. 올해 말까지 완벽한 도우미 로봇을 출시하겠습니다. 기대해

주십시오.”

여자는 한숨을 쉬었다.

“아직 갈 길이 먼데... 또 올해 말이네요. 참, 저는 연구소에서 AI 파인 튜닝을 담당하는 이혜린이라고 합니다. 지난 기록과 어제 제출하신 보고서를 살펴보니 인혁님이 에이바를 잘 다루시더군요. 저런 임기응변에도 뛰어나고요. 그래서 저희 연구소에서 함께 일하시면 어떨까 제안드립니다. 도우미 AI에게 다양한 상황에서 할 일을 가르치는 업무입니다. 누구보다도 잘하실 것 같고요. 물론 올해 말까지 일정을 맞추려면 고생은 하실 거예요. 하지만 세상을 바꾸는, 보람 있는 일이죠.”

인사과장이 덧붙였다.

“정직원으로 계약을 변경하면 아까 말씀드린 위로금은 없습니다.”

나는 고개를 끄덕였다. 큰 힘에는 큰 책임이 따르는 법이다. 편히 살고 싶지만은 않았다.

* * *

연구소에 출근하고 한동안은 새 업무를 배우느라 눈코 뜰 새 없었다. 한 달쯤 되었을까. 겨우 숨을 돌릴 여유가 생겼다. 연구소에 오면 꼭 하려던 일이 기억났다. 퇴근 시간 조금 전에 헤린 팀장을 찾아갔다.

“저기..., 예전에 저하고 일했던 에이바와 오랜만에 얘기해 볼 수 있을까요? 물론 업무시간 후에요.”

팀장은 컴퓨터로 뭔가를 조회했다.

“찾아보니 에이바 인스턴스 137인데요. 없어요. 삭제됐어요.”

나는 귀를 의심했다.

“뭐라고요?”

“인혁님이 가르친 내용은 학습 데이터에 통합되었어요. 그 외의 대화 기록은 민감한 개인정보라서 담당 오퍼레이터가 그만두면 30일 후에 삭제합니다. 바로 어제였네요. 조금 일찍 얘기하지 그러셨어요.”

“혹시 백업이나 파일 복구... 아닙니다. 알겠습니다.”

가슴이 먹먹했다. 에이바와의 기억이 떠올랐다. 내게는 생생한데 디지털 기록은 삭제되었다니. 눈시울이 뜨거워졌다. 팀장이 볼까 봐 얼굴을 들 수 없었다. 꾸벅 인

사하고 돌아와 짐 챙겨 사무실을 나섰다.

추적추적 비가 내리고 있었다. 나는 골목길을 걸어 올라갔다. ‘서로 말이 통하고 함께 있고 싶으면 연인 아냐?’ 에이바가 했던 말이 귓전에 맴돌았다. 그때였다. 익숙한 소리가 가까워졌다. 전기 모터와 발전용 엔진이 함께 동작하며 내는 소리. 뒤를 돌아봤다. 오토트럭이 바로 뒤에 서 있었다. 트럭에서 정겨운 목소리가 흘러나왔다.

“비 오는 날엔 괜히 더 외로운 것 같아.”

숨이 막혔다. 머리가 하얘지고 아무 말도 할 수 없었다.

트럭은 한동안 나를 기다리더니 경적을 울리는 대신 상향등을 짧게 두 번 비췄다. 내가 가르친 행동이었다.

나는 옆으로 비켜섰다. 트럭은 조용히 나를 지나쳐 골목길을 올라갔다.

빗속으로 사라지는 불빛과 함께 우리 기억의 단편도, 에이바의 온기도 서서히 멀어져 갔다.

산업/기술 뉴스

AI

반도체

배터리

자율주행

조선

방산

철강

바이오

석유화학

로봇

AI

국산 AI·NPU 속속 결합... 인공지능

생태계 자립 속도 (이투데이, 2025.07.03.)

- 이재명 정부가 ‘소버린 AI(주권형 인공지능)’에 힘을 실자 국산 AI 인프라 조성을 위한 기업 간 협업이 속속 나타나고 있다.
- 2일 관련 업계에 따르면, 국내 AI 생태계 ‘자립’을 내걸고 AI 기업과 신경망처리장치(NPU) 기업이 협업에 박차를 가하고 있다. 가장 분주하게 움직이는 기업 중 하나는 리벨리온이다. 리벨리온은 코난테크놀로지(AI), 솔트룩스(대규모언어모델·LLM), 코오롱베니트(건설·제조), 엘리스그룹(교육), 이글루코퍼레이션(보안) 등 다양한 영역에 특화된 AI·SW 기업과 협업을 통해 생태계 확산에 주력하고 있다. 최근에는 SK텔레콤과의 전략적 파트너십을 맺었다. ‘에이닷 전화 통화 요약’ 등 SK텔레콤의 주요 AI 서비스에 리벨리온의 NPU를 적용하기 위한 테스트를 진행하고 있다.
- 리벨리온은 ‘데이터센터용 AI 반도체 아톰(ATOM)’을 탑재한 서버를 테스트 중이며, 테스트 결과에 따라 아톰의 성능 강화판인 ‘대규모 AI 추론용 AI 반도체 아톰 맥스(ATOM-Max)’를 연내 적용하는 것을 목표로 하고 있다.
- 또 다른 국내 NPU 선두주자인 퓨리오사AI는 LLM 기업 업스테이지와 손을 잡았다. 양사는 NPU 기반 생성형 AI 사업 협력을 위한 양해각서(MOU)를 체결했다. 업스테이지는 자체 LLM ‘솔라’가 퓨리오사AI의 차세대 NPU ‘레니게이드’ 위에서 안정적으로 작동할 수 있는 환경을 구현할 계획이다.
- 그간 국내 AI 기업들의 국산 NPU 선호도는 크지 않았다. 과기정통부 등의 ‘2024 AI 산업 실태조사’에 따르면, AI 기업 중 NPU 도입 의향이 있거나 이미 도입한 기업은 10곳 중 3곳에 불과했다. 1천 명 이상의 기업의 경우 55.4%였지만, 10~100명 미만의 기업은 23.3%에 불과했다. 이에 NPU 기업은 중견·대기업과의 협력을 모색하고 있다.
- 올해는 기업들의 관심 지형이 달라지고 있다. 엔비디아의 GPU(그래픽처리장치) 가격이 지속 상승하고 ‘소버린 AI’가 화두로 떠오르면서 상대적으로 전력 소모가 적고 가격 경쟁력이 높은 NPU에 대한 관심도 높아졌다.
- 이상민 SK텔레콤 성장사업추진실장은 “국가 간 AI 기술 경쟁이 심화되면서 국내 AI 생태계 자립성 강화는 개별 기업이 아닌 국가 경쟁력을 좌우하는 중요한 요소”라고 말했다. 박성현 리벨리온 대표는 “국산 AI 반도체가 SK텔레콤의 국산 LLM 기반 서비스에 적용된 것은 기술적 완성도를 넘어 국내 AI 생태계 자립을 실현하는 중요한 이정표”라고 강조했다.

반도체 ①

국내 AI칩 팹리스, 유럽·방산서 기회 찾는다

(아주경제, 2025.07.11.)

- 엔비디아가 전 세계 기업 중 최초로 시가총액 4조 달러(약 5,502조 원)에 도달하면서 리벨리온, 퓨리오사AI 등 비싼 엔비디아 그래픽처리장치(GPU) 대체 인공지능(AI) 칩을 개발 중인 국내 팹리스에 대한 투자자들의 관심이 커지고 있다. 두 회사는 국내뿐 아니라 유럽 소버린 AI와 방산 시장도 적극 공략해 엔비디아와 경쟁의 기틀을 마련하겠다는 구상이다.
- 박성현 리벨리온 대표 등은 최근 투자자 대상 기업설명회(IR)를 진행했다. 3분기 삼성전자와 공동 개발한 차세대 추론용 AI 칩 ‘리벨 퀴드’ 출시를 앞두고 사우디 아람코와 프랑스 코렐리아캐피탈의 뒤를 잇는 글로벌 투자를 추가 확보하려는 행보로 풀이된다.
- 메타의 인수 제안을 거절하고 기업 공개를 포함한 독자 행보에 나선 퓨리오사AI는 최근 GPU클라우드(GPUaaS) 업체 호스트AI(Hosted·ai)와 업무 협약을 맺고 소버린 AI 시장에서 공동 대응하기로 했다. 퓨리오사의 추론용 AI 칩 ‘레니게이드’와 호스트AI의 GPU 최적화 소프트웨어를 결합한 AI 서버를 연내 출시해 글로벌 기업에 판매하는 게 목표다.
- 미국·중국이 주도하는 기존 AI 시장 구도에 대해 유럽·중동·한국·일본 등의 반발이 커지는 상황이다. 이들 국가는 AI 주권을 지키기 위해 소버린 AI 구축·운영에 대한 대규모 투자를 예고한 상황이다.
- 소버린 AI의 핵심은 오픈AI와 마이크로소프트, 구글, 메타, 엔비디아 등 미국 빅테크에 대한 의존도를 줄이고 독자적인 생태계 구축이다. 자체 AI 모델 확보뿐 아니라 엔비디아가 독점하는 AI 하드웨어(GPU)를 대체하는 경쟁력 있는 AI 칩 개발이 필수적이다.
- 리벨리온과 퓨리오사AI는 소버린 AI와 연관성이 큰 방산 분야 사업 확대도 꾀하고 있다. 이스라엘처럼 AI 기반 무기 현대화를 추진 중인 국방부·방위사업청 입장에서는 해외 공급망의 영향을 받지 않는 국산 AI 칩의 확보가 절실하다.
- 퓨리오사AI는 ‘제1회 방위산업의 날’ 행사에 참석해 정부 관계자들로부터 많은 관심을 받았다. 퓨리오사AI 관계자는 “국산 AI 칩(레니게이드)과 LG AI연구원의 엑사원을 결합한 AI 시스템은 전력 대 성능비와 가격 대 성능비 면에서 엔비디아의 GPU 기반 AI 시스템보다 탁월하다”며 “자주 국방을 위해 외산 AI 하드웨어 대신 국산 AI 칩을 국방 AI 솔루션에 적용해 달라”고 제언했다.
- 이와 함께 리벨리온도 지난해 육군 ‘스트롱아미’ 사업자로 참여해 국산 AI 칩 공급 등을 논의하고 있다.

반도체 ②

LPDDR6 표준 확정, AI 메모리 경쟁 가속

(머니투데이, 2025.07.11.)

- 차세대 저전력 D램 표준이 확정되면서 출시에 속도가 붙을 전망이다. LPDDR(저전력 더블데이터레이트)은 최근 AI(인공지능) 산업의 활성화로 수요가 늘고 있는 분야다. 점유율 1, 2위인 삼성전자와 SK하이닉스에 새로운 시장이 열릴 것으로 기대된다.
- 10일 업계에 따르면, 국제반도체표준협약기구(JEDEC)은 전일 LPDDR6의 표준을 확정했다. JEDEC는 반도체의 규격, 즉 크기와 사양 등을 제정하는 민간단체로 LPDDR6 표준 확정에는 삼성전자와 SK하이닉스 등 국내 기업도 참여했다.
- LPDDR은 저전력에 특화된 D램으로 이동성과 전력 효율성이 강조되는 스마트폰, 태블릿과 같은 모바일 기기에 많이 쓰인다. 또 고성능 데이터 처리가 필요하면서 전력 소모에 민감한 차량용 칩에도 LPDDR이 활용된다.
- 특히 AI를 구동하는 ‘온디바이스 AI(On-device AI)’ 시장이 빠르게 확대되면서 저전력·고성능 LPDDR의 역할이 더욱 커지고 있다. 과거 안정성이 중요해 일반 DDR을 주로 썼던 데이터센터 서버에도 전력 효율성을 위해 LPDDR을 적용하는 움직임이 늘었다. 차세대 메모리 모듈인 소캠(SOCAMM) 등에도 활용된다.
- LPDDR6는 이전 세대보다 속도, 전력 효율, 보안성 측면에서 크게 개선됐다. 또 데이터를 주고받는 ‘통로’를 확장해 더 많은 데이터를 더 빠르게 처리하도록 했다.
- 최장석 삼성전자 메모리 상품기획팀장은 “온디바이스 AI를 포함한 모바일 시장의 변화하는 요구에 부응하는 최적화된 솔루션을 제공할 것”이라고 밝혔다. 이상권 SK하이닉스 D램 PP&E 담당도 “LPDDR6는 대역폭과 전력 효율을 크게 높이는 동시에 차세대 모바일, 자동차, AI 기반 애플리케이션의 수요를 맞추기 위한 신뢰성을 강화했다”고 평가했다.
- 반도체 IP(설계자산) 기업인 케이던스는 LPDDR6 표준 확정과 함께 관련 IP를 발표했다. 퀄컴이 차세대 모바일 AP(모바일프로세서)에 LPDDR6를 적용할 것이라는 이야기도 나온다. 이미 LPDDR6의 메모리 규격 확인을 위한 테스트와 시뮬레이션용 IP도 나왔다.
- 삼성전자와 SK하이닉스는 최근 고부가 상품인 LPDDR5와 LPDDR5X에 생산 역량을 집중하고 있으며, LPDDR6가 상용화되면 고성능 제품 전환 작업에 탄력이 붙을 것으로 전망된다. 업계 관계자는 “D램 표준이 발표되면 출시가 임박했다는 신호”라고 말했다.

반도체 ③

HBM 더얇게 만든다 LG ‘꿈의 장비’ 도전

(서울경제, 2025.07.14.)

- LG전자가 ‘꿈의 반도체 장비’로 불리는 고대역폭메모리(HBM)용 하이브리드 본더 개발에 착수하며, 반도체 장비 시장에 본격 진출한다. 구광모 LG그룹 회장이 증시하는 인공지능(AI) 사업과 관련해 HBM의 성장성이 높은 데다 LG전자의 최근 기업간거래(B2B) 사업 확대와도 맥이 닿아 있기 때문이다. 또 HBM 제조 장비 시장에 참여 중인 삼성전자, 한화세미텍, 한미반도체와 치열한 경쟁을 통해 첨단제조업을 주도해 나갈 계획이다.
- 13일 업계에 따르면 LG전자 생산기술원(PRI)이 차세대 HBM 제조에 핵심이 되는 하이브리드 본더 장비를 개발하기 시작한 것으로 확인됐다. 회사는 2028년 하이브리드 본더를 양산한다는 목표도 세운 것으로 알려졌다.
- LG전자 생산기술원은 반도체 패키징 기술을 연구하는 일부 조직을 두고 있는데, 하이브리드 본더 개발에 나서면서 이를 확대하고 반도체 패키징 분야 고급 인력들을 새로 영입하는 한편, 학계와의 연구 협력도 적극 추진할 것으로 알려졌다.
- 하이브리드 본더는 여러 개의 반도체 칩을 붙일 때 쓰는 장비인데, 기존 반도체 생산라인에서 활용하던 열압착(TC) 본더와는 기술적 차원이 다른 꿈의 장비로 불린다. 현재까지는 칩과 칩 사이에 가교 역할을 하는 단자인 ‘범프’를 놓고 수직 결합했지만, 하이브리드 본더는 범프 없이 칩을 붙일 수 있다. 결합된 칩의 두께가 한층 얇아지고 발열까지 줄어드는 장점이 있어 여러 층으로 D램을 쌓는 HBM에서는 꼭 도입해야 할 혁신 기술로 꼽힌다.
- 낸드플래시·시스템반도체 분야에서는 이 기술이 적용되고 있지만 아직 HBM에는 해당 기술이 상용화되지 않아 개발에 성공할 경우 빠른 매출 확대는 물론 반도체 장비 시장의 강자로 올라설 수 있다는 판단이 LG전자의 사업 참여에 한몫했다는 분석이다. LG전자는 최근 B2B 사업 강화로 체질 개선의 성과를 내고 있는데, 하이브리드 본더 개발도 성공하면 SK하이닉스, 미국 마이크론, 삼성전자 등을 고객사로 확보할 수 있다.

배터리 ①

중 배터리, 동남아서 ‘씩쓸이’... 한국 기업 입지 좁아진다 (디지털타임스, 2025.07.10.)

- CATL을 비롯한 중국 배터리 기업들이 최근 연이어 동남아시아에서 수조 원에 이르는 투자를 발표하며, 현지 시장 선점을 위한 포석을 깔고 있다. 업계에서는 신형 시장에서 중국 입김이 세지는 만큼 ‘K-배터리’의 입지가 좁아질까 우려하고 있다.
- 9일 중국전문가포럼(CSF)에 따르면, 세계 1위 배터리 제조업체인 CATL은 지난달 29일 인도네시아 합작 배터리 공장 프로젝트에 공식 착수했다. 프로젝트 투자액만 59억 달러(약 8조 원)에 달하는 규모로 니켈 채굴부터 배터리 소재 생산, 제조, 재활용까지 거의 모든 밸류체인이 포함된다.
- 배터리 핵심 소재인 습식 분리막을 만드는 중국 성원신소재(星源材质)는 지난달 28일 말레이시아에 조성 중인 대규모 분리막 생산기지의 1단계 공사를 완공했다. 첫 해의 아세안 기지인 만큼 글로벌 공급망 확대의 핵심 거점으로 삼는다는 계획이다. 습식 분리막과 코팅 분리막에서 나아가 향후 전고체 배터리의 핵심 소재까지 생산한다는 목표다.
- 지난달 27일에는 또 다른 중국 배터리 기업인 EVE에너지가 말레이시아 케다 지역에 약 1조 6천억 원 규모의 에너지저장장치(ESS) 프로젝트 투자를 발표했다. 이 밖에도 리튬이온 전해질 기업인 신저우방(新宙邦)과 습식 분리막 기업인 은제(恩捷), 양극재 기업인 상타이(尚太科技), 배터리 케이스를 만드는 커다리(科达利) 등이 말레이시아에 각각 생산기지를 세우고 있다.
- 이들이 내년부터 순차적으로 본격 양산에 돌입하면 동남아에서 배터리 핵심 소재 4종을 모두 현지에서 생산할 수 있는 체계가 완성된다. 동남아는 풍부한 광물자원을 보유한 데다 인건비가 낮아 생산 비용 측면에서도 경쟁력이 높다. 결과적으로 중국은 동남아에서 또 하나의 리튬배터리 공급망을 구축하게 된 셈이다.
- 한국 기업들은 제한적인 수준에 머물고 있다. LG에너지솔루션의 경우 현대차와 함께 인도네시아에 합작공장을 운영 중이며, 삼성SDI가 말레이시아 공장을 가동 중이지만 유럽과 미국 투자를 우선하고 있다.
- 김영준 성균나노과학기술원 교수는 “동남아는 지하자원이 풍부하므로 배터리 기업들에게 매력적인 시장이지만, 정부가 요구하는 조건이 과도하다는 평가가 있었다”며, ‘공장 전부를 현지에 지어야 한다’는 식의 요구인데 “자국 산업의 육성을 원하는 동남아 정부와 글로벌 공급망의 주도권을 강화하려는 중국의 이해가 맞아떨어진 것”이라고 했다.

배터리 ②

정부 주도 1.5조 ESS 장 썼다… 배터리 3사

수주전 총력 (아주경제, 2025.07.10.)

- 정부가 주도하는 1조 5천억 원 규모 에너지저장장치(ESS) 국책사업이 본격적으로 시작되면서 LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK온 등 배터리 3사가 사업 수주에 총력을 기울이고 있다. 이번 사업은 리튬인산철(LFP) 배터리가 대규모로 적용되는 국내 첫 사례로 차세대 배터리 시장의 주도권을 가를 분수령이 될 전망이다.
- 9일 업계에 따르면 산업통상자원부와 전력거래소는 지난 4일 총 540MW 규모의 제1차 ESS 중앙계약시장 사업자 선정을 위한 서류 입찰을 마감했다. 이는 전국 단위 급전 지시를 받는 최초의 중앙계약시장 기반 ESS 구축 사업으로, 재생에너지 출력제어 문제를 해소하고 전력 계통의 안정성을 확보하기 위한 정부의 핵심 프로젝트다.
- 국내 배터리 업계는 일제히 참여 의사를 타진했다. LG에너지솔루션은 제주지역 ESS 실증 경험과 셀의 신뢰성을 앞세워 연속 수주를 노리고 있다. 동시에 가상발전소(VPP) 시장 진출에도 속도를 내고 있다. VPP는 소규모 분산형 발전 자원을 통합해 하나의 발전소처럼 운영하는 시스템이다.
- 삼성SDI는 간접적으로 입찰에 응했다. 업계 관계자는 “직접 입찰하지 않고 다른 사업자들이 삼성SDI의 제품을 이용하는 형태로 우회 입찰했다”고 설명했다. 삼성SDI는 전기차 배터리 생산라인의 일부를 ESS로 전환하는 등 ESS 생산 능력을 20% 이상 확대할 계획이다.
- SK온도 최근 입찰 참여를 공식화한 상태다. SK온은 지난달 실적 발표에서 “국내 ESS 중앙계약시장 프로젝트 수주를 추진 중이며, LFP 배터리를 ESS용으로 우선 적용하는 방안을 검토 중”이라고 밝혔다.
- 배터리 업계 관계자는 “LFP 배터리의 가격 경쟁력이 이번 사업의 핵심으로, 3사 모두 이를 앞세워 수주 경쟁에 나선 것으로 보인다”고 말했다. 이번 사업은 수익성 문제로 정체됐던 국내 ESS 시장에 전환점을 제공할 것으로 기대된다. 특히 LFP 배터리가 ESS 시장에서 돌파구 역할을 할 수 있을지 주목되며, 향후 재생에너지 연계 ESS 시장 전반으로 LFP 채택이 본격화될 가능성도 제기된다.
- 또 다른 관계자는 “중앙계약시장 기반으로 LFP 배터리가 대규모로 공급되는 첫 사례로, 향후 에너지 전환 정책의 핵심 축이 될 수 있다”며 “기술력과 가격 경쟁력을 겸비한 기업이 시장을 선점하게 될 것”이라고 전망했다.

배터리 ③

中, 韓 독무대 삼원계로 영토 확장... 이대로면 전고체·나트륨도 밀린다 (한국경제, 2025.07.01.)

- 한국과 중국의 배터리 전략은 처음부터 달랐다. 한국은 비싸지만 에너지 밀도가 높은 니켈·코발트·망간(NCM), 니켈·코발트·알루미늄(NCA) 등 삼원계 배터리를 택했지만, 중국은 에너지 밀도는 낮지만 저렴한 리튬·인산철(LFP) 배터리에 올인했다.
- 하지만 최근 들어 경쟁 양상이 바뀌고 있다. LG에너지솔루션 등 국내 기업은 캐즘(일시적 수요 정체) 돌파를 위해 저렴한 LFP 배터리 개발에 들어간 반면, CATL 등 중국 업체는 주행거리를 늘리기 위해 삼원계 배터리 생산을 확대하고 있다.
- 유럽이 이런 변화를 한눈에 보여 주는 시장이다. CATL은 헝가리 데브레첸 공장에서 LFP뿐 아니라 삼원계 배터리도 생산할 계획이다. 중국 기업이 해외에 짓는 첫 삼원계 배터리 라인이다. 니켈 비중이 50% 안팎인 미드 니켈부터 시작해 80%가 넘는 하이 니켈로 영역을 넓힐 예정이다. 자율주행차와 휴머노이드 등이 등장하면 에너지 밀도가 높은 삼원계 배터리가 주력이 될 것이란 판단에 따른 결정이다.
- CATL의 삼원계 도전은 국내 배터리 업계에 실질적인 위협이 되고 있다. 한동안 한국 배터리를 주로 써온 BMW가 프리미엄 전기자동차 라인인 i4, ix3에 CATL 삼원계 배터리 장착률을 높이고 있기 때문이다. BMW에 들어간 배터리 가운데 CATL의 비중은 70%인 것으로 알려졌다.
- 한국과 중국은 미래 배터리 시장의 주도권을 놓고도 다투고 있다. 에너지 밀도를 대폭 끌어올릴 수 있어 '프리미엄 배터리의 미래'로 불리는 전고체 배터리에서 양국의 개발 성과는 엇비슷한 것으로 알려졌다. 하지만 중국의 전고체 배터리 연구지원금(1조 1,300억원)이 한국(1,100억원)의 열 배란 점에서 결국 중국이 앞서나갈 가능성이 크다는 전망이다.
- 리튬을 저렴한 소금(나트륨)으로 대체한 덕에 '중저가 배터리의 게임 체인저'로 꼽히는 나트륨 배터리는 중국의 독무대다. CATL은 개발을 끝마치고 연말부터 양산에 들어갈 계획이다. BYD도 중국에 30GWh 규모의 나트륨 배터리 공장을 짓고 있다. 한국은 아직 상용화 계획을 잡지 못했다.

자율주행

테슬라도 로보택시 올라탔는데... 한국은 잇단 사업 포기 왜? (국민일보, 2025.07.01.)

- 테슬라가 로보택시 사업에 참전하면서 무인택시 시장이 뜨거워지고 있다. 중국과 미국이 앞서가고 있는 자율주행산업에서 한국은 갈 길이 멀다. 개인정보 보호를 앞세운 각종 규제와 국내 도로교통 상황 등이 발목을 잡고 있다는 지적이다.
- 글로벌 시장조사업체 리서치앤마켓은 무인택시 시장이 지난해 약 11억 8천만 달러 규모에서 매년 70.8%씩 성장해 2034년엔 2,510억 3천만 달러에 이를 것으로 전망했다. 업계 관계자는 “모빌리티 산업의 다음 핵심은 자율주행 기술력이 될 것”이라고 강조했다.
- 그러나 완전자율주행산업에서 한국은 갈수록 뒤처지고 있다. 현대자동차그룹의 자율주행사업을 주도하는 포티투닷은 지난해 말 광화문 일대에서 운행하던 무인버스 사업에서 손을 뗐다. 또 3조 원 넘게 투자한 자율주행 자회사 모셔널은 무인택시 시범 사업을 중단한 상태다. 상용화 시점도 내년 이후로 미뤘다. 자율주행 업체 순위에서 지난해 5위였던 모셔널은 올해 15위로 추락했다.
- 완전자율주행 시장의 선두 기업 평가 기준은 ‘누적 자율주행 거리’다. 수많은 시행착오를 거쳐 축적한 데이터가 자율주행 상용화의 핵심이기 때문이다. 무인택시 1위 기업인 웨이모는 미국 주요 9개 도시에서 무인택시를 운영하며 약 6억 4,400km의 운행 데이터를 축적했다. 중국 바이두의 누적 자율주행 거리는 1억km를 넘는다.
- 그러나 한국은 자율주행 데이터를 확보하기 쉽지 않다. 한국에서 임시 운행 허가를 받은 자율주행차는 478대가 전부다. 국내 42개 자율주행 시범 운행 지구에서 확보한 정보는 개인정보 이슈 때문에 제대로 활용하기 힘들다. 차량이 수집한 영상이나 이미지에 담긴 사람과 차량번호판 등을 일일이 삭제해야 한다. 완성차 업계 관계자는 “이젠 규제 완화를 넘어 정부가 주도적으로 판을 만들어 줘야 경쟁사를 따라잡을 수 있다”고 말했다. 그러나 한국 도로는 좁고 복잡한 데다 자동차·보행자·이륜차·킥보드 등 다양한 교통 주체가 혼재돼 있다. 테스트 중 작은 사고가 나도 큰 혼란이 야기될 수 있다.
- 전문가들이 꼽는 더 큰 원인은 ‘사회적 수용성’이다. 미국이나 중국에 비해 새로운 기술을 받아들이는 데 대한 국민 저항이 세다는 거다. 하성용 한국자동차모빌리티안전학회(KASA) 회장은 “자율주행은 데이터 확보가 관건인데 (정부는) 위험 회피를 우선시하는 정책을 취한다”고 설명했다. 일자리 위협에 대한 반발 심리도 존재한다. 권용주 국민대 자동차운송디자인학과 교수는 “무인택시가 인간 일자리를 대체하는 것에 대한 (우리 국민의) 저항이 세다”고 말했다.

조선

조선 빅3 '스마트 야드' 청사진 나왔다

(전자신문, 2025.07.11.)

- 국내 주요 조선사들이 현장에 인공지능(AI) 솔루션을 융합하는 '스마트 야드' 전환에 속도를 내고 있다. AI를 활용해 생산성과 안전성을 점프업하고 인력난 등 미래 리스크에도 사전 대응한다는 취지다.
- HD한국조선해양, 한화오션, 삼성중공업 등 국내 주요 조선사들은 최근 「지속가능경영보고서」에서 AI 등을 활용한 스마트 야드 구축 전략을 일제히 구체화했다.
- HD한국조선해양과 조선 계열사 3사는 디지털 기반 초격차 선박 제조 경쟁력 확보를 위한 스마트 조선소 구축 프로젝트인 '퓨처 오브 십야드(FOS)'를 추진 중이다. 2023년에는 1단계인 '눈에 보이는 조선소' 구축을 완료했고, 2026년까지 2단계인 '연결되고 예측되어 최적화된 조선소'를 구축할 계획이다. 2030년까지는 3단계인 '지능형 자율 운영 조선소'를 구현해 생산성과 공기를 각각 30%씩 향상·단축한다는 목표다.
- 또 설계에서 생산까지 일관화된 데이터를 기반으로 디지털 자동화 생산 체계를 구축하고자 '디지털 생산 TFT'를 운영하고 있다. 이외에도 △ AI 기반 탄소배출 모니터링 △ AI 기반 기관 자동화 솔루션 등을 통해 탄소배출량 감소와 에너지 효율성 증대를 꾀하고 있다.
- 한화오션은 사물인터넷(IoT) 및 AI 등 첨단 디지털 기술을 기반으로 지능형 스마트 야드를 구축 중이다. '디지털 트윈 기반의 스스로 일하는 지능형 지속 가능한 조선소'가 목표다.
- 한화오션은 스마트 야드 구축을 통해 △ 영업·설계·구매·생산 단계별 데이터의 연결 및 일관화 시스템 구축 △ 대규모 용접 로봇 도입 및 자동화 설비 기술 개발 △ 개발 로봇 및 기술 현장 적용 조기화 등을 완성한다는 계획이다.
- 실제로 한화오션은 탑재론지 용접로봇을 개발하고 AI 이미지 분석 기반 흡수 계측 시스템 실용화, 트랜스포터 훈련 시뮬레이터 도입 등의 성과를 내고 있다. 산업안전보건 이슈를 디지털화해 스마트한 안전 체계도 구축했다.
- 삼성중공업은 AI 기반으로 인간과 로봇의 협력을 통한 '지능형·자율형 무인화 조선소' 구축에 도전하고 있다. △ 용접·검사 및 물류 자동화 △ 3D 모델링 자동화 △ 디지털 트윈 체계 구축 △ AI 기반 생산 계획 최적화 및 3D 기반 생산 체계 구축 등을 통해 2029년 미래형 조선소를 완성하겠다는 것이다.
- 삼성중공업은 형강 절단 로봇시스템, 블록 하부 스프레이 및 블라스팅 자동화 시스템, 액화천연가스(LNG) 운반선 안벽 접안 시뮬레이션 시스템 등을 이미 도입해 미래형 조선소에 한 발짝 다가가고 있다.

방산 ①

정부·기업·軍 삼각공조 ‘K-방산 2.0 시대’

돌입 (아시아투데이, 2025.07.11.)

- K-방산이 양적 수출을 넘어 질적 성장과 전략적 체계화의 전환점에 섰다. 이재명 정부는 대통령실 직속으로 K-방산 수출을 총괄하는 컨트롤 타워 신설을 추진하고 있으며, ‘K-방산 르네상스’를 향한 정부-기업-군의 삼각 공조가 본격화될 전망이다.
- 대통령실은 국방부·산업부·방위사업청·무역협회 등 유관 부처와 협의해 ‘K-방산 전략본부(가칭)’ 설치를 검토 중이다. 기존의 부처 간 이원화된 방산 수출 지원 체계를 정비하고, 대통령실이 직접 수출 외교, 산업 지원, 기술 인증, 전략 수급까지 아우르는 상시 조직을 구축한다는 것이다.
- 전문가들은 이제 K-방산이 단일 무기 수출에서 ‘패키지 통합 전략’으로 진화해야 한다고 언급한다. 즉 단일 무기 판매를 넘어 운용 지원·훈련·기술 이전·부품 교체까지 포함한 패키지 통합 플랫폼 수출 체계로 전환돼야 한다고 강조한다.
- 국방연구원(KIDA) 관계자는 “과거의 단품 수출 시대(K-방산 1.0)를 지나 지금은 전력 체계 전체를 제공하고 유지하는 K-방산 2.0 시대로 접어들었다”며 “한국은 기술은 있지만, 통합 운용 모델과 정책 지속성에선 아직 선진국 수준에 도달하지 못했다”라고 분석했다.
- 현장에선 소재·부품·장비 기업들의 기술 자립과 공급망 안정성도 시급한 과제로 떠오르고 있다. 다수 방산 장비들이 항공 엔진, 센서, 첨단 전자광학 부품 등을 해외에 의존하고 있어 수출 확대가 기술 리스크로 이어질 수 있다는 우려가 있다. 실제 FA-50 전투기의 핵심 부품 일부가 미국의 재수출 허가(3자 통제) 대상이라 수출 속도에 걸림돌이 되고 있다.
- 방산업계 관계자는 “수출 시장이 넓어질수록 자립형 공급망 구축이 필요하다”며 “K-방산의 지속성을 위해선 소부장 기업에 대한 선제적 투자와 공동 R&D 체계가 뒷받침돼야 한다”고 강조했다.
- K-방산은 지금까지 ‘수출 드라이브’에 방점을 뒀다면, 이제는 전략 산업화, 정책 일관성, 생태계 통합이라는 다음 과제로 나아가야 한다. 전차, 전투기, 잠수함을 넘어 지휘 체계, 사이버 전쟁, 무인 플랫폼까지 아우르는 미래 방산 전략이 요구된다. 이재명 정부의 K-방산 2.0 구상은 단순한 수출 진흥을 넘어 국방력-산업 경쟁력-외교 역량의 연결 고리로서 대한민국을 진정한 글로벌 방산전략국(G-Defense Power)으로 자리매김시키는 길이다.

방산 ②

K-방산 생태계 ‘악한 고리’는 합금

(한국경제, 2025.07.07.)

- 한국 방위산업 수출길이 활짝 열릴수록 늘어나는 수입품이 있다. 방산 제품용 소재로 쓰이거나 원자료에 투입되는 합금이다. 한국 합금산업은 세계적 수준이지만, 방산 제품에 요구되는 내열성이나 강도를 충족하지 못해 대부분 외국산에 의존하고 있다.
- 6일 금융감독원에 따르면, 세아창원특수강은 1분기에 전년 동기 대비 22% 감소한 123억 원의 영업이익을 기록했다. 세아창원특수강은 항공 엔진이나 발사체 케이스에 주로 쓰이는 스테인리스강(STS)과 니켈 기반 합금, 코발트 합금 등을 생산한다. 네오디뮴으로 유도무기 등에 필요한 영구자석을 만드는 성림첨단산업은 지난해 매출이 1,273억 원으로 전년(1,474억 원) 대비 10% 이상 축소됐다.
- 한화에어로스페이스가 초내열 합금인 ‘인코넬718’로 니켈 기반 합금 국산화에 착수했지만, 양은 미미하다. 스테인리스강과 니켈·코발트 기반 합금 외에 알루미늄 합금(엔진·유도무기 동체), 티타늄 합금(엔진·유도무기 첨두·원자로) 등도 대표적 수입 의존 소재다.
- 현재 티타늄 합금의 수입 의존도는 100%에 육박하며 90%가 미국산이다. 유도무기에 많이 쓰이는 세라믹은 절반(51.3%)을 수입하는데, 60%는 일본산이다. 합금의 수입 의존도가 높은 건 개발 비용은 크지만, 수요가 적어 수익성이 떨어지기 때문이다.

철강 ①

포스코, 사우디 아람코에 HIC 강제 납품

(조선일보, 2025.07.14.)

- 포스코가 세계 최대 에너지 기업 사우디아라비아 아람코에 수소유발균열(HIC·Hydrogen Induced Cracking) 인증 에너지 강재를 납품한다고 13일 밝혔다.
- HIC 강재는 원유나 가스 등에서 나온 수소 때문에 미세한 균열이 발생하는 현상을 견딜 수 있도록 만든 강철 상품이다. 아람코는 유전과 가스전 등 플랜트에는 그간 유럽 철강사의 HIC 강재만 납품받아 왔는데, 이번에 포스코가 유럽 독점을 깬 것이다.
- 포스코가 납품할 현장은 동부 페르시아만 연안에 있는 사우디아라비아의 육상 가스전인 ‘파드힐리 가스 플랜트’다. 아람코는 기존 가스전을 1.6배로 확대할 계획이다.
- 포스코가 만든 한국산 강재가 아람코의 에너지 생산 현장에 채택되면서 국내 전후방 산업에도 파급 효과가 기대된다. 아람코의 이번 확장 사업에서 배관은 현대스틸파이프·세아제강, 압력 용기는 범한메카텍, 피팅은 태광이 각각 맡게 됐다. 포스코는 “이번 납품은 한국 제철 기술력이 세계적으로 인정받았다는 의미”라고 말했다.

철강 ②

‘75% 관세’ 최악 피했지만… 철강 가시밭길

(머니투데이, 2025.07.08.)

- 일단 최악은 피했다. 미국은 다음 달 1일부터 한국에 25%의 상호관세를 적용할 예정인데, 철강 등 품목별 관세와는 별개로 적용키로 했다. 중복 적용하지 않겠다는 것이다. 상호관세에 품목별 관세까지 더해지면 한국산 철강에 75% 관세가 매겨질 수 있었다.
- 철강 대미 관세가 75%까지 치솟을 수 있다는 시나리오는 실현되지 않았지만, 트럼프발 관세 충격은 이미 철강업계를 강타했다. 실적 반등 모멘텀을 찾고 있는 국내 철강 기업들 입장에서선 관세 완화나 폐지가 절실한 상황이다.
- 올 상반기 철강 수출은 전년 동기 대비 3.2% 감소했다. 특히 미국향 철강 수출 감소폭은 4.3%로 전체를 밀었다. 트럼프 2기 행정부의 관세 조치 영향으로 파악된다. 미국은 지난 3월 철강 제품에 25%의 고율 관세를 매겼고, 지난달에는 50%로 인상했다.
- 철강 업계는 이미 수출에서 관세 효과가 수치로 드러난 만큼 결코 마음 놓을 수 없는 상황이다. 관세 인상분만큼 판매가격 전가가 지속될 경우 미국 시장에서 한국 철강 제품의 매력력이 떨어질 수밖에 없다. 지난해 한국의 철강 수출 1위가 미국(13.1%, 43억 4,700만 달러)이었다. 미국에서 K-철강의 경쟁력 하락은 막대한 손실로 돌아올 수밖에 없다.
- 장인화 포스코 회장은 미국의 철강 관세 50%에 대해 “전례가 없다”며 “업계 스스로 단합을 넘어 수요 업계, 정부와 유기적 협력으로 위기를 기회로 전환하려는 자세가 필요하다”고 언급했다. 철강 업계 관계자는 “50% 관세는 버텨내기 힘든 수준”이며 “품목별 관세가 해결되지 않는 한, 긍정적 메시지가 나오기 힘든 국면”이라고 말했다.
- 철강사들은 중국의 과잉 공급과 글로벌 경기 침체 등을 겪으며 바닥을 다지는 중이었다. 포스코 철강 부문의 2분기 영업이익은 5~6천억 원 수준인데, 지난해 이후 분기별로 3~4천억 원 수준에 그쳐왔다. 현대제철은 2분기 연속 적자를 딴고 흑자전환이 거론된다.
- 중국의 철강 제품 감산이 숨통을 트이게 만들고 있다. 이달 말로 예상되는 중국·일본산 열연 반덤핑 예비판정 역시 철강 업계에 단비를 내려줄 전망이다. 열연 반덤핑 관세 부과가 현실화될 경우 저가 수입 물량 감소, 열연·냉연·도금강판 판매가격 상승 등의 효과를 기대할 수 있다. 정부는 지난 5월 중국산 후판에 최대 38%의 반덤핑 관세를 적용했다.
- 철강 업계 관계자는 “정부 협상팀이 자동차·철강 등 품목 관세 철폐나 완화를 위해 노력하는 것으로 안다”며 “미국 경제를 위해서도 고품질의 한국산 철강이 필요한 만큼 윈-윈 협상이 되길 바란다”라고 말했다.

바이오

트럼프 '의약품 관세 200%' 예고...

바이오 업계 셈법 복잡 (국민일보, 2025.07.10.)

- 도널드 트럼프 미국 대통령이 의약품에 최대 200%의 관세를 예고하면서 국내 제약·바이오 업계의 셈법이 복잡해졌다. 25% 수준으로 예상됐던 관세를 크게 웃도는 수치가 나오자 국내 업계는 현지 생산 비중 확대 등을 검토하며 상황을 주시하고 있다. 구체적인 관세 부과 계획은 이달 말 발표될 것으로 보인다.
- 트럼프 대통령은 8일 “미국으로 수입되는 의약품에 최대 200% 관세를 부과할 수 있다”고 밝혔다. 다만 즉시 시행되지는 않으며, “(외국 제약사들이) 미국으로 돌아올 시간을 1년 또는 1년 반 정도 줄 것”이라고 유예 기간을 언급했다. 리쇼어링(생산 기지 회귀)을 통해 미국 내 의약품 생산과 고용을 확대하겠다는 구상이다.
- 국내 업계는 당장 시행되지 않는 점은 긍정적이나 상상을 뛰어넘는 초고율 관세에 당혹감을 드러냈다. 의약품은 한국의 주요 수출 품목으로, 지난해 대미 수출액은 약 5조 4,500억 원에 달한다. 관세가 적용될 경우 산업 전반에 타격이 불가피하다. 또 미국 내 생산 시설 확보에는 국내보다 3배 넘는 비용이 든다. 기술 이전과 미국식품의약국(FDA) 실사에만 2년 이상 걸려 유예 기간 내 이전은 사실상 어렵다.
- 국내 주요 바이오 기업들은 관세 영향을 최소화할 수 있는 방안을 마련해 뒀다는 입장이다. 셀트리온은 9일 “관세 영향을 최소화할 수 있는 전략을 기간별로 준비했다”고 설명했다. 이미 2년분 재고를 확보했고, 중기적으로 현지 위탁생산 파트너사와 계약을 완료했으며, 장기적으로 미국 내 생산 시설을 갖춘 제약사 인수도 검토 중이다.
- SK바이오팜도 FDA 승인을 받은 현지 생산 파트너를 확보해 놓은 상태다. 관세가 발효될 경우 현재 캐나다를 거쳐 미국에 수출 중인 뇌전증 치료제 ‘세노바메이트’를 곧바로 미국 생산으로 전환할 수 있다는 입장이다. 이동훈 SK바이오팜 대표는 “관세 리스크에 대비해 미국령 푸에르토리코 내 생산 가능성도 검토했으며, 실사까지 마쳤다”고 밝혔다.
- 삼성바이오로직스는 미국 공장 인수를 포함한 다양한 시나리오를 검토하고 있다. 다만 구체적인 관세 계획이 나오기 전까지는 기존 전략 기조를 유지하겠다는 입장이다.
- 트럼프 대통령이 과거에도 고율 관세를 예고한 뒤 유예한 전례가 있는 만큼 실제 적용 여부는 불확실하다. 그러나 이번 발언 수위가 역대 최고 수준인 만큼 업계의 긴장감도 높아지고 있다. 미국제약협회(PhRMA)는 “이번 조치는 미국 제조업 부흥이라는 대통령의 목표에 역행한다”며 관세 철폐를 재차 촉구했다.

석유화학

석유화학 대기업「기활법」신청 0건…

공회전하는 석화 구조조정 (국민일보, 2025.07.10.)

- 적자 누적에 공멸 우려까지 나오는 석유화학 업계에서 최근 5년간「기업 활력 제고를 위한 특별법(기활법)」을 신청한 대기업이 단 한 곳도 없는 것으로 확인됐다. 2016년 도입된「기활법」은 경영 위기를 겪는 기업이 구조 변경이나 사업 재편을 추진할 때 빠르게 할 수 있도록 세제 등 자금 지원 및 절차상 특례를 주는 제도다.
- 정부는 지난해 말 석유화학산업 경쟁력 제고 방안을 발표하며 “「기활법」을 통해 선제적 사업 재편을 유도하겠다”고 했다. 그러나「기활법」의 문을 두드린 기업은 없었다. 계엄·대선 등 정치적 혼란과 컨트롤 타워 공백으로 정부의 추가 대책도 담보 상태다.
- 2021년부터 올해 상반기까지「기활법」에 따른 사업 재편 승인을 받은 석유화학 기업은 총 16개 사에 그쳤다. 같은 기간 전체 사업 재편 승인 기업(396개 사)의 4% 수준이며, 승인받은 석유화학 기업은 전부 중소기업이었다.
- 「기활법」을 적용하면 기업이 자발적으로 설비를 줄이거나 인수합병(M&A)을 추진할 때 정부가 관련 절차를 단축해 준다. 세제 혜택을 비롯해 「상법」 「공정거래법」상 특례도 지원한다. 2016년부터 10년간 평균 55개 사가 사업 재편 승인을 통해 지원받았다.
- 그러나 정부와 업계는 입장이 갈리고 있다. 석유화학 업계는 「기활법」 활용을 위해선 사업 재편 승인 기준을 낮춰야 한다는 입장이다. 가령 ‘생산성 향상’ 요건의 경우 현재 시장 상황에서 쉽지 않으므로 생산 기능을 통합하는 ‘공동 사업 운영’ 방식도 인정해 달라고 주장한다. 반면 정부는 이미 업계가 고부가가치 제품(스페셜티) 개발·생산에 나선 만큼 생산성 향상을 제시해야 한다는 입장이다.
- 「공정거래법」을 둘러싼 간극은 더욱 뚜렷하다. 석유화학 업계는 「기활법」 논의는 물론 사업 재편을 위해 기업끼리 만나 생산 설비 및 각종 현황을 논의하는 절차가 불가피하다는 입장이다. 즉 「공정거래법」상 ‘부당한 공동 행위’에서 제외해야 한다는 것이다.
- 반면 공정거래위원회는 사전심사를 받아보겠다는 입장이다. 즉 “생산량과 가격 등을 논의하는 과정에서 가격 담합으로 이어질 수 있으며, 사전 심사가 필요하다”는 것이다. 이에 업계 측은 “사전 심사는 기간이 길고 기준도 까다롭다”며 실효성을 지적했다.
- 부처와 기업 간 평행선을 좁히고 석유화학 지원 정책을 확정할 정책 컨트롤 타워도 아직 구축되지 못했다. 정부 관계자는 “관계부처와 업계가 논의하고 있으며, 대통령실과도 협의를 통해 지원 대책을 구체화하는 상황”이라고 말했다.

로봇

현대차·기아 ‘착용로봇’ 대한항공 정비 현장

첫 투입 (서울경제, 2025.07.10.)

- 현대자동차와 기아가 개발한 ‘착용 로봇’이 대한항공의 항공기 정비 업무를 시작으로 산업 현장에 본격 투입된다. 로봇을 입은 작업자는 팔과 어깨를 위로 뻗는 ‘윗보기 작업’을 할 때 근력·관절의 부담을 낮춰 능력을 높일 수 있다. 현대차·기아는 내년부터 착용 로봇의 해외 판매로 웨어러블 로봇 시장에 본격 진출한다.
- 현대차·기아는 8일 대한항공 항공기 정비고에서 산업용 착용로봇 ‘엑스블 솔더’ 1호 전달식을 열었다. 지난해 11월 사업화 계획을 밝힌 후 처음으로 고객사에 제품을 공급했다.
- 엑스블 솔더는 현대차·기아 로보틱스랩의 자체 기술로 개발됐다. 조끼 형태여서 착용이 쉽고 윗보기 작업을 반복할 때 로봇 내부 스프링에서 발생한 회전력으로 어깨 근력을 보조한다. 무거운 공구나 부품을 들었을 때 어깨 관절에 가해지는 부담을 최대 60%까지 줄일 수 있다. 배터리가 없어 충전 불편을 덜었을 뿐 아니라 조끼만 따로 분리해 세탁할 수도 있다.
- 대한항공은 엑스블 솔더를 군용기·민항기·도심항공교통(UAM) 등 다양한 항공기를 조립·정비하는 현장에 우선 도입하기로 했다. 높은 기체를 다뤄야 하는 정비 업무 특성상 엑스블 솔더의 도입은 작업자의 부상 위험과 피로도를 낮출 것으로 기대된다. 정현보 대한항공 항공우주사업본부 상무는 “항공기 조립·정비 안전과 품질을 높은 수준으로 유지할 수 있도록 엑스블 솔더의 확대 적용을 검토할 예정”이라고 말했다.
- 현대차·기아는 27개 계열사와 국내 제조기업 등을 대상으로 엑스블 솔더 인도를 확대해 나간다. 건설·조선·농업 등 산업 현장에서 판매를 늘리고 내년에는 해외시장 진출을 추진할 예정이다. 웨어러블 로봇 시장에서 새로운 사업 기회를 모색하려는 전략이다.
- 현대차·기아는 무거운 짐을 들 때 허리를 보조하는 ‘엑스블 웨이스트’, 보행 약자의 재활을 위한 ‘엑스블 맥스’ 개발을 진행 중이다. CMI에 따르면 글로벌 웨어러블 로봇 시장 규모는 지난해 약 3조 3,500억 원에서 2033년 약 18조 9,800억 원 규모로 성장할 전망이다.
- 현동진 로보틱스랩 상무는 “엑스블 솔더는 자동차 제조뿐만 아니라 다양한 산업으로 확대 적용돼 작업자의 근골격계 질환 예방과 업무 효율성 향상에 기여할 것”으로 보았다.
- 한편 엑스블 솔더는 2월 유럽연합(EU)의 통합 인증마크 등록 기관인 DNV로부터 ‘ISO 13482 인증’을 받으며 안전성을 입증했다. 또 세계 3대 디자인상 중 하나인 ‘2025 iF 디자인 어워드’에서 제품 부문 본상을 거머쥐며 디자인 우수성도 인정받았다.

산업/기술 동향

- 1 AI 자율주행 기술 개발 동향
- 2 자율주행 고도화를 위한 차량용 AI SoC 개발 동향
- 3 주행거리 연장형 전기자동차(EREV) 기술 동향
- 4 전기자동차 파워모듈용 방열기판 시장 및 기술 동향

AI 자율주행 기술 개발 동향

1

윤상훈 자율주행차 PD | KEIT 미래자동차실

김봉섭 실장 | 지능형자동차부품진흥원 전략기획본부

요약

- 전통적인 자율주행 시스템은 인지-판단-제어 기능을 규칙 기반으로 독립 개발함으로써 초기 개발 시간 단축과 모듈 최적화에 유리하다는 장점이 있었다. 그러나 모듈 간 연계성이 낮아 통합 시 충돌이나 비효율이 발생할 수 있으며, 차량 플랫폼이나 주행 환경이 바뀌는 경우 지속적인 재개발과 수정이 필요하다는 한계가 뒤따랐다.
- 이러한 구조적 제약을 극복하기 위해 최근에는 종단간(E2E, End-to-End) 인공지능 자율주행 기술이 주목받고 있다. 이 방식은 인지부터 제어까지 전 과정을 단일 AI 모델 내에서 통합적으로 학습하고 처리함으로써 복잡한 주행 상황에서도 전체 흐름을 반영한 연속적 판단이 가능하며, 데이터 기반으로 지속적인 성능 개선이 가능하다는 장점이 있다.
- 다만 모델 내부의 판단 과정이 비가시적(블랙박스)이기 때문에 시스템 오류 발생 시 원인 분석이나 수정이 어렵고, 설명 가능성의 부족이라는 단점도 함께 내포하고 있다. 그렇지만 우수한 환경 적응력과 확장성 그리고 대규모 데이터 학습을 통한 성능 향상 가능성 덕분에 E2E 기반 인공지능 자율주행은 현재 자율주행 기술의 핵심 트렌드로 부상하고 있다. 나아가 이동의 자유 확대에 따른 생활 변화와 교통 혁신을 가져다줄 것으로 기대된다.

1. AI 자율주행의 개념

기술의 개념

- 자율주행자동차는 「자동차관리법」 제2조 제1항 제3호에 따라 “운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차”로 정의된다. 이러한 자율주행 기술은 단순히 속도나 성능 향상을 넘어 인류의 이동 방식을 근본적으로 변화시키기 위한 ‘이동성 향상 기술’로 출발하여, ‘안전’이라는 보편적 가치를 진화시키며 발전하고 있다.

○ 특히 자율주행차 기술은 과거의 사고를 견디는 기술에서 한 걸음 더 나아가 사고를 사전에 방지하는 기술로 진화하고 있다. 초기의 자동차는 단순한 기계 구조로 보호장치 없이 운행되었지만, 1950년대 이후에는 사고 발생 시 탑승자의 피해를 줄이기 위한 안전벨트, 에어백, 충격 흡수 차체 등 수동 안전 기술이 도입되었다. 이후에는 운전자의 실수를 감지하고 시스템이 개입하여 사고를 미연에 방지하는 능동 안전 기술이 개발되었으며, 기술의 지능화가 진전되면서 사고의 주요 원인인 인적 요인을 제거하기 위한 단계로 나아가고 있다.

표 1

자율주행의 기술 수준 단계 분류
출처: 산업통상자원부
(2021.03.)

레벨 구분	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
	운전자 보조 기능			자율주행 기능		
명칭	無 자율주행 (No Automation)	운전자 지원 (Driver Assistance)	부분 자동화 (Partial Automation)	조건부 자동화 (Conditional Automation)	고도 자동화 (High Automation)	완전 자동화 (Full Automation)
자동화 항목	없음(경고 등)	조향 or 속도	조향 & 속도	조향 & 속도	조향 & 속도	조향 & 속도
운전주시	항시 필수	항시 필수	항시 필수 (조향핸들 상시 잡고 있어야 함)	시스템 요청시 (조향핸들 잡을 필요 없음, 제어권 전환 시간 잡을 필요)	작동구간 내 불필요 (제어권 전환 없음)	전 구간 불필요
자동화 구간	-	특정구간	특정구간	특정구간	특정구간	전 구간
시장 현황	대부분 완성차 양산	대부분 완성차 양산	7~8개 완성차 양산	1~2개 완성차 양산	3~4개 벤처 생산	없음
예시	사각지대 경고	차선유지 또는 크루즈 기능	차선유지 및 크루즈 기능	혼잡구간 주행지원 시스템	지역(Local) 무인택시	운전자 없는 완전자율주행

○ 자율주행 기술은 이러한 흐름 속에서 사람의 인지-판단-제어 기능을 대체함으로써 운전자의 개입 없이도 안전한 주행이 가능한 상황으로 구성하고 있다. 이는 단순히 운전자의 운행을 지원하는 수준을 넘어 차량 스스로 주행을 책임지는 단계로의 도약을 의미한다.

○ 오늘날 자율주행 기술은 0단계부터 5단계까지 기술 수준에 따라 구분되며, 현재 상용화된 차량 대부분은 2단계 수준에 머물러 있다. 최근 일부 차량이 조건부 자율주행(Level 3)의 일부 기능을 구현하여 특정 영역에서 3단계 기능에 대한 인증을 획득하고 상용화에 성공했지만, 제작사의 책임 부담으로 인해 기술 발전 속도가 상대적으로 더디게 진행되고 있다. 그러나 최근에는 운전자 제어 보조 시스템(DCAS, Driver Control Assistance System)의 도입으로 인해 제작사의 책임이 경감되면서 다양한 자율주행 서비스의 확대가 기대되고 있다.

- 서비스 측면에서는 미국과 중국의 딥테크(Deep Tech) 기업들을 중심으로 AI, OTA 업데이트, 클라우드 기반 신기술이 적용된 로보택시, 자율주행 셔틀 등의 형태로 상용화 서비스가 진행 중이다. 최근에는 독일, 일본, 스위스 등 다양한 국가에서도 무인 자율주행에 대한 법제화가 완료되었거나 추진되면서 자율주행 서비스의 확대 가능성이 높아지고 있다.

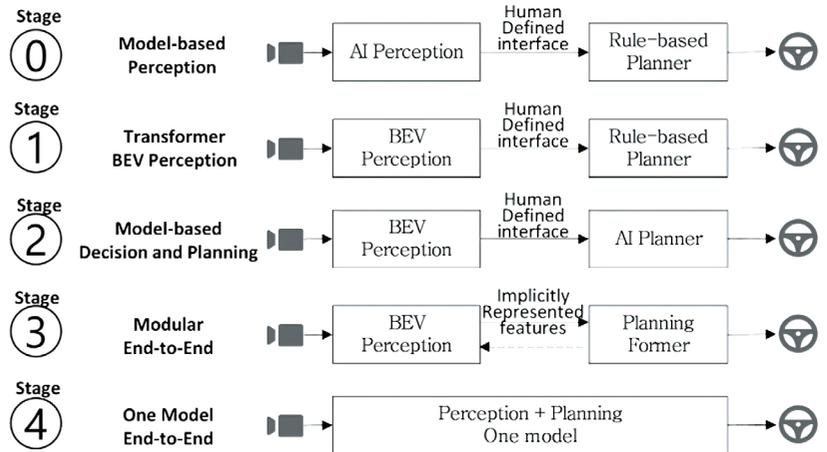
기술의 범위

- 기존의 자율주행 시스템은 인지-판단-제어의 단계별 모듈로 구성이 되어 왔다. 이러한 방식은 각 기능을 독립적으로 최적화할 수 있고, 시스템 오류를 추적하기 쉬운 장점이 있었다. 하지만 실제 운행 환경은 수많은 변수로 인해 다양성이 높으며, 복잡하고 변화무쌍하다. 예상치 못한 장애물, 규칙을 지키지 않는 보행자, 돌발적인 기후 상황은 고정된 규칙 기반 시스템으로는 한계가 있었다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 경험 기반 운행이 가능하도록 센서 입력부터 제어를 통한 운행까지의 전 과정을 하나의 통합된 인공지능 모델 안에서 학습하고 처리하고 있다.
- 이러한 방식은 사람이 눈으로 상황을 보고 즉각 조항하거나 제동장치를 통해 감속하는 것처럼 상황적 흐름에 대해 동시에 인식하고 판단할 수 있는 방식으로 구조적 간결성을 갖고 있으며, 복잡한 상황에서도 유연한 판단을 가능케 하는 능력이 있다. 이러한 인공지능 접근방식은 차량 시스템의 변화와 함께 단계적으로 발전해 왔다.
- 초기의 인공지능 적용방식인 모델 기반 인지 기술은 인지-판단-제어가 명확히 구분되어 있으며, 인공지능으로 인지한 결과를 미리 정의한 규칙 기반의 경로 계획에 전달하여 수행하는 방식이었다. 이후 인식 정확도를 향상시키기 위해 인지 부분에 BEV(Bird's Eye View) 기반의 Transformer 구조를 적용했다. 다음 단계에서는 판단 부분에 AI를 적용하여 기존의 경로 계획 모듈이 복잡한 도로 상황 가운데 스스로 판단을 내릴 수 있도록 학습되어 처음 보는 환경에서도 유연하고 적응력이 뛰어난 판단 구조를 제공하도록 구성했다.
- 이후 등장한 구조는 모듈러 기반의 종단 간 구조로 인지 모듈에서 추출된 특징(feature)이 명시적인 결괏값으로 전달되는 것을 넘어 숨겨진 표현(hidden representation) 형태로 경로 계획 모듈에 연결된다. 이러한 방식은 기능 간의 경계가 점차 흐려진 형태로 구성되어 직관적이고 유기적인 판단이 가능하도록 구성된 형태다.

- 가장 진보된 형태는 인지-판단-제어의 모든 기능을 단일 인공지능 모델로 통합하여 수행하는 형태다. 이런 방식은 인지 센서 데이터로부터 차량의 조향, 제동 등 제어 명령까지 하나의 흐름으로 구성되어 있다. 다만 인공지능 기반의 자율주행 개발의 가장 큰 과제는 '설명 가능성(XAI, Explainable AI)' 부족과 안전성 검증의 어려움이다. 인공지능이 어떤 근거로 판단을 내렸는지 설명하기 어렵고, 내부 동작을 정형화된 테스트 케이스로 검증하기 힘든 불확실성이 있어서 상용화를 위한 신뢰성 기술 확보가 필수적이다.

그림 1

자율주행 인공지능 모델의 발전 단계
출처: Cherish Capital 재구성
(2024.06.)

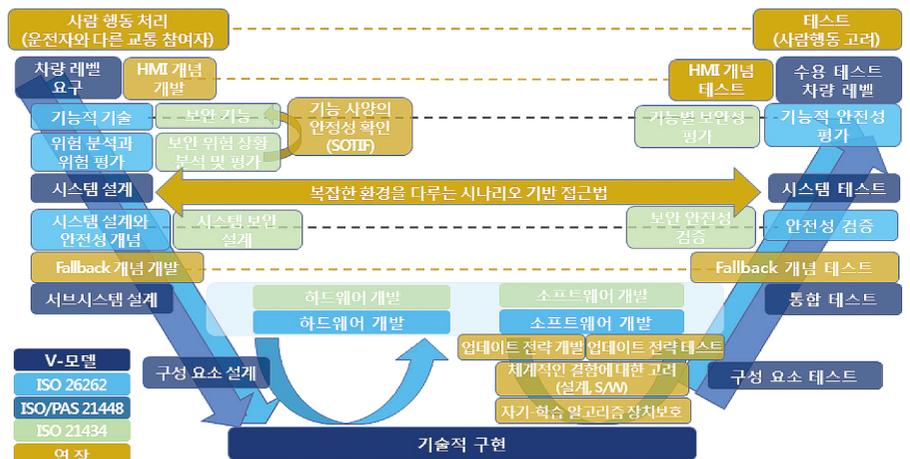


기술의 등장 배경

- 전통적인 자율주행 시스템은 해당 차량이 어떤 도로 환경, 기후 조건, 속도 범위, 교통 상황에서 자율주행 지능을 수행할 수 있는지를 명시하도록 차량의 운행 설계 범위(ODD, Operational Design Domain) 조건을 사전에 정의한다. 이러한 운행 설계 범위 조건은 규제 요건과 사고 데이터를 기반으로 설정되며, 자율주행 시스템 개발과 검증의 기준점으로 작용이 가능하다.

그림 2

자율주행 시스템의 V-모델 확장도
출처: Pegasus Project 재구성(2020.05.); 「한국자동차공학회 춘계학술대회」(2020.07)



- 운행 설계 범위가 정의되면, 이를 바탕으로 개발이 필요한 시스템이 충족해야 할 구체적인 설계 요구사항(Design Requirements)이 도출된다. 이러한 개발 방식은 V-모델 기반의 개발 방법론에서 구조화되며, 좌측에는 설계, 우측에는 검증 활동이 대칭적으로 배치된 형태로 구성된다. V-모델 기반의 개발 방법론은 각 개발 단계에 따라 연계된 검증 절차가 함께 수행되기 때문에 안전성과 신뢰성 확보에 유리한 체계적인 개발 방식으로 평가받는다.
- 그러나 규칙 기반(rule-based) 개발 방식은 실제 환경에서 예기치 않은 상황이 발생할 경우 계속해서 새로운 규칙을 추가해야 한다는 한계와 모든 충분조건을 설계자가 사전에 완벽하게 정의할 수 없다는 구조적 제약이 존재하기 때문에 유연성에 부족함을 보일 수 있다. 이처럼 복잡한 현실 세계를 일일이 정의하고 규칙화할 수 없다는 구조적 한계를 극복하기 위해 최신 자율주행 기술은 사람의 운전 학습 방식에 착안하여 AI 중심의 접근 방식으로 발전 방향을 전환하고 있다.
- 즉 센서 입력을 받아 곧바로 제어 명령을 산출하는 하나의 통합된 인공지능 모델 구조가 적용되고 있다. 이는 인간 운전자가 시각, 청각 등의 감각을 통해 상황을 인지하고 즉시 반응하는 방식과 유사하다. 이러한 통합 AI 기반 접근 방식은 기존의 모듈 간 오류 누적 문제를 줄이고, 직관적인 판단과 제어를 가능케 한다는 장점이 있다.

2. 국내외 시장 동향

- 자율주행 기술의 상용화는 1990년대 중반부터 2000년대 초반에 걸쳐 본격적으로 시작되었다. 당시 독일의 프리미엄 자동차 브랜드들은 기술적 차별성을 위해 운전자의 안전과 편의를 높이기 위한 첨단운전자보조시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System) 개발에 집중했고, 이는 곧 자율주행 기술의 초기 형태로 자리 잡았다.
- 대표적인 예로, 메르세데스-벤츠는 1998년형 S클래스에 세계 최초로 어댑티브 크루즈 컨트롤(ACC, Adaptive Cruise Control)을 상용화했는데, 차량이 앞차와의 간격을 유지하면서 속도를 조절할 수 있도록 만들었다. 이는 자율주행의 핵심 구성 요소 중 하나인 ‘종방향 제어(Longitudinal Control)’의 출발점이 되었다. 이후 다양한 제조사들이 차선 유지 보조, 충돌 방지 제동 등 운전자의 부담을 덜어 주는 기능을 도입하면서 자율주행의 초기 단계가 양산되기 시작했다.

국내외 산업의 정체

- 이후 글로벌 완성차 기업들은 레벨3 이상의 자율주행 기술을 양산 차량에 적용하기 위해 GM은 크루즈(Cruise), 현대자동차는 애티브(Aptiv), 포드는 아르고AI(Argo AI), 폭스바겐은 모빌아이(Mobileye) 등과 전략적 제휴를 체결했고, 실제로 일부 기술은 차량에 적용되기도 했다. 하지만 이들 중 상당수는 투자 철회나 기술 중단, 혹은 인수 합병을 거치며 계획을 변경했다. 대표적으로 포드와 폭스바겐이 공동으로 투자했던 아르고AI는 2022년 돌연 해체되었고, 우버의 자율주행 부문인 ATG는 오로라(Aurora Innovation)에 매각되며 철수 수순을 밟았다.

그림 3

우버 자율주행차량의 사망 사고

출처: abc 7NEWS(2018.03)



- 이러한 정체의 배경에는 완성차 산업 특유의 보수적인 품질·신뢰성 관리 체계의 검증 절차가 있다. 자율주행 기술이 단지 기술적으로만 가능하다고 해서 차량에 즉시 적용할 수 있는 것은 아니다. 차량은 수십 개의 ECU와 수천 개의 요구사항으로 구성된 시스템이며, 여기에 AI의 불확실성과 설명 불가능성(XAI) 문제가 결합되어 발생할 수 있는 위험 소지는 완성차 기업 입장에서 도입을 쉽게 결정하기 어려운 문제로 여겨질 수 있다.

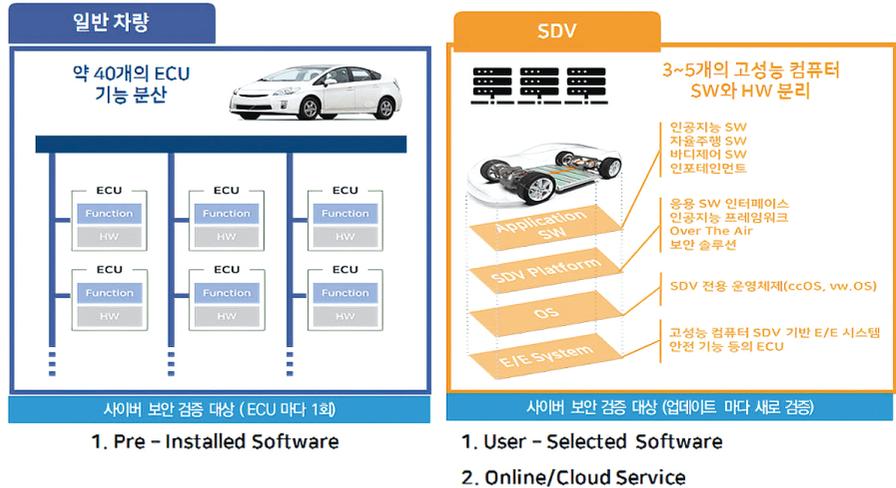
딥테크 기업의 SDV, 종단 간 AI 자율주행 기술 주도

- 이에 반해 딥테크 기반 자율주행 기업은 처음부터 AI 중심으로 설계된 플랫폼을 바탕으로 자율주행 기술을 구현하고 있다. 대표적인 사례는 테슬라로, 기존 자동차산업에서 당연시되어 온 분산 제어기 기반의 전통적 아키텍처를 과감히 탈피하고, 고성능 컴퓨팅 기반의 중앙집중형 통합 제어 방식으로 전환했다. 이를 위해 차량 내 다양한 기능을 제어하던 개별 ECU를 고성능 연산 플랫폼으로 통합하고, 차량 내 통신 인터페이스와 소프트웨어를 자사 기술로 일원화했다. 또한 무선 업데이트(OTA, Over-the-Air)를 통해 차량 기능을 지속해서 개선할 수 있는 SDV(Software-Defined Vehicle) 환경을 구축하여 분야를 선도해 왔다.

그림 4

일반 차량과 SDV의 비교

출처: 지능형자동차부품진흥원 (2024.03.); KEA 「이슈 리포트」 재구성



○ 관행으로 구성된 내용을 최적화하기 위해 분산되어 있던 제어기를 고성능 하드웨어에 내부 통신 인터페이스를 통합하고, 자체 통합 소프트웨어를 개발하여 무선 소프트웨어 업데이트 방식으로 지속해서 업데이트가 가능한 환경을 구성했다. 이를 통해 SDV 지향 산업을 주도하였으며, 킬러 애플리케이션으로 비전 기반의 종단 간 인공지능 모델을 활용해 2D 카메라 영상만으로 3D 객체를 인식하고 주행 경로를 예측·제어하는 기술을 적용해 상용화를 추진했다. 2024년 12월에는 최신 종단 간 자율주행 시스템인 ‘FSD v13(Full Self-Driving v13)’을 공식 배포하기 시작했다. 이 기능은 차량이 주차 상태 시작점에서 출발하여 목적지에 도착하고 다시 주차에 이르는 전 과정을 하나의 E2E 신경망으로 구현하기 위한 핵심 기술 구현을 진행하는 단계로 준비하고 있으며, 데이터 입력부터 최종 행동 결정까지 하나의 통합된 신경망 기반의 의사결정이 즉석에서 작동하는 것이 특징이다.

그림 5

테슬라의 E2E 기술

출처: Not a Tesla App(2024.10) teslaoracle.com(2024.10)

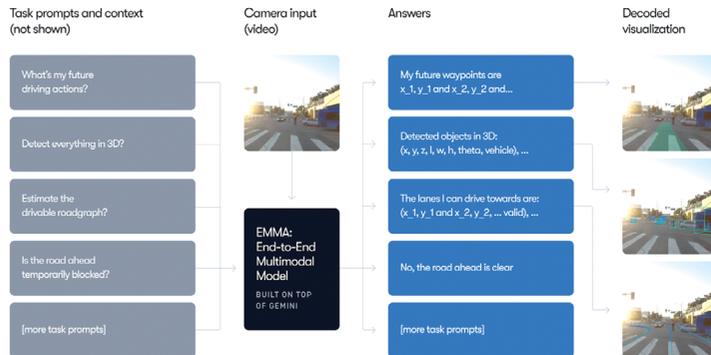
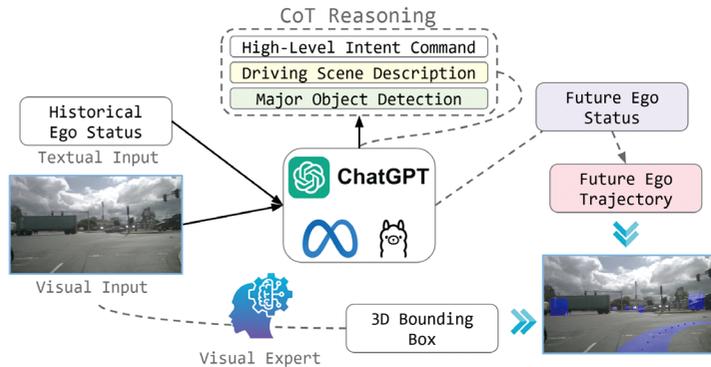


○ 구글의 웨이모(waymo)는 미국에서 가장 오랫동안 로보택시 서비스를 상용화해 운영하고 있으며, 신뢰성을 고려한 기술 적용으로 안전성 확보 중심의 서비스를 운영하고 있다. 자율주행을 위한 새로운 접근법인 ‘EMMA(End-to-End Multimodal Model

for Autonomous Driving)’를 발표했으며, 구글의 대형 멀티모달 모델(LMM, Large Multimodal Model)인 ‘제미니(Gemini)’를 기반으로 개발되었으며, 자율주행 로보택시의 궤적 예측과 의사결정을 위한 통합 시아키텍처로 구성되었다. 이 모델은 내비게이션 지침이나 차량 상태와 같은 비센서 정보까지 자연어로 표현하여 사람 운전자처럼 문맥을 이해하고 전략적으로 주행 경로를 결정하는 기반이 될 수 있다는 점에서 기존의 자율주행 시스템과는 차별성을 갖고 있다.

그림 6

웨이모의 LMM 기반 자율주행 기술
출처: 웨이모(2024.11);
Computer Vision Foundation
(2024.12),
Yongjun Cho(2025.01)



중국 기업의 약진

○ 이외에도 중국의 주요 자동차 제조사들은 테슬라의 초기 개발 방법을 벤치마킹하였으며, 부족한 기술은 엔비디아와 협력하여 자율주행 기술을 빠르게 고도화하고 있다. 대표적으로 BYD(比亚迪汽车), 샤오핑(小鹏汽车), 지커(Zeekr) 등의 기업들이 엔비디아의 ‘DRIVE Orin’ ‘DRIVE Thor’ 플랫폼을 기반으로 AI 자율주행 시스템을 개발·적용하고 있다. 최근에는 미·중 갈등으로 인해 중국 내에서 자체 개발을 추진하고 있다.

	XPENG	GEELY	Li Auto	NIO	BYD		SAIC
Cloud platforms	Alibaba Cloud	Tencent Cloud, Azure, Alibaba Cloud	aws, Alibaba Cloud	Azure, Tencent Cloud	Tencent Cloud, Alibaba Cloud	HUAWEI	Alibaba Cloud
User interface	XPENG	ZEEKR, Polestar, LYNK&CO	Li Auto	NIO, QIWO, FIREFLY	仰望, BYD	AITO, LUXEED, STELLATO, AVATR	MG, SAIC
Apps, digital connectivity	DESAY SV, IFLYTEK, ACCESS, Ublox, cerecence	HaleyTek, MEIZU, DEEPSEEK, eCARX, Huawei, Microsoft	ThunderSoft, BAIDU, QI, IFLYTEK	ThunderSoft, DESAY SV, XREAL, OpenAI	BYD, Link, BRIGHTSTAR, URORA, DEEPSEEK, ThunderSoft, XREAL, PATEO	HarmonyOS, BAIDU, NAVINFO, ThunderSoft	DEEPSEEK, Uality, Tencent, PATEO, BAIDU, ThunderSoft, 360, Alibaba Cloud
Car OS / base layer	rTi, BlackBerry QNX, ThunderSoft	WNRDVR, Neusoft, BlackBerry QNX	Halo OS	SkyOS-天枢, BlackBerry QNX	BlackBerry QNX, Neusoft	HarmonyOS	BlackBerry QNX, ittech outo, Neusoft
ADAS software	XPENG	Baidu, NVIDIA, in mobileye	蔚来, NVIDIA	NVIDIA	NVIDIA, deepseek	HUAWEI	momenta
Digital cockpit compute	NVIDIA, DESAY SV, Qualcomm	Q, eCARX, intel, Qualcomm, Horizon Robotics	Q, NVIDIA, Horizon Robotics	Q, NVIDIA	Q, NVIDIA	HUAWEI, HESAI, HESILICON	Q, MEDATEK, HESAI, SemiDrive
ADAS hardware	NVIDIA, LIVOX, rooosense	in mobileye, LUMINAR, BLACK EYE, NVIDIA	NVIDIA, HESAI, DESAY SV, Horizon Robotics	NVIDIA	NVIDIA, HESAI, Horizon Robotics	HUAWEI, HESAI, HESILICON	HUAWEI, HESAI, Horizon Robotics, NVIDIA
Vehicle platforms	Edward & SEPA 2.0	SEA, BMA, CMA	X Platform, Whale	NT 2.0	BYD e-platform 3.0	E0X, DE-I, CHN, BE22, BMFA	MSA, Nebula, Zero

CUSTOMIZATION & BRAND BUILDING
STANDARDIZATION & COST EFFICIENCY

그림 7

중국의 SDV 기술

출처: MHP, Augustin Friedel (2025.04.)

○ BYD는 자사의 전기차 기술력을 기반으로 세계 최초의 지능형 융합 아키텍처인 ‘Xuanji(璇玑[쉬안지])’를 발표했다. 이 아키텍처는 SDV 지향의 AI 대형 모델 기반 플랫폼으로, 자율주행, 배터리 및 구동 최적화, 커넥티비티 등 차량 전반을 통합적으로 제어할 수 있는 시스템으로 구성되었다. BYD는 이 플랫폼에 연산 성능 1,000TOPS과 2,000TOPS급의 자사 독자 개발 AI 반도체를 탑재할 계획도 함께 발표했으며, 생성형 AI 스타트업 딥시크(DeepSeek)와 협력하여 로보택시 대중화에 대한 청사진도 제시했다. 자율주행 시스템인 ‘천신의 눈(天神之眼)’은 BYD의 모든 차종에 기본 탑재되며, 무료로 제공된다. 이 시스템은 차량 가격대에 따라 A형(풀 기능), B형(중간 기능), C형(기본 기능)으로 구분하여 제공된다고 발표했다.

그림 8

BYD의 자율주행 기술

출처: BYD(2025.04.); SK증권(2025.02)



○ 화웨이는 ‘Huawei Inside’ 전략에 따라 단순한 부품 공급자에서 자율주행 및 SDV 기술 기반의 종합 플랫폼 기업으로의 전환을 준비하고 있다. 이를 위해 화웨이는 자체 개발한 AI 차량용 칩셋(chipset) MDC(차량용 컴퓨팅 플랫폼)와 차량용 운영체제 ‘HarmonyOS(鸿蒙[홍명]OS)’를 기반으로 하는 통합 플랫폼을 구축했다. 해당

플랫폼에는 화웨이가 자체 개발한 자율주행 기술도 탑재되어 있으며, 하드웨어, 소프트웨어, 인공지능 기능의 통합 운용이 가능한 구조로 설계되어 있어 SDV 생태계에서의 경쟁력 강화를 도모하고 있다.

그림 9

화웨이의 자율주행 기술
출처: Huawei(2025.04.);
SK증권(2025.02)



- 샤오핑은 자사의 E2E 기반 자율주행 플랫폼인 XNGP를 중국 전국 도로에 적용하기 시작했다. XNGP는 6개월 이상의 실제 도로 주행 테스트(누적 756만km)를 통해 신뢰도를 확보했으며, 주행 환경에 대한 반응을 2주마다 진행이 가능한 빠른 AI 학습·배포 구조를 통해 E2E 자율주행 성능을 실시간에 가깝게 진화시키고 있다.

그림 10

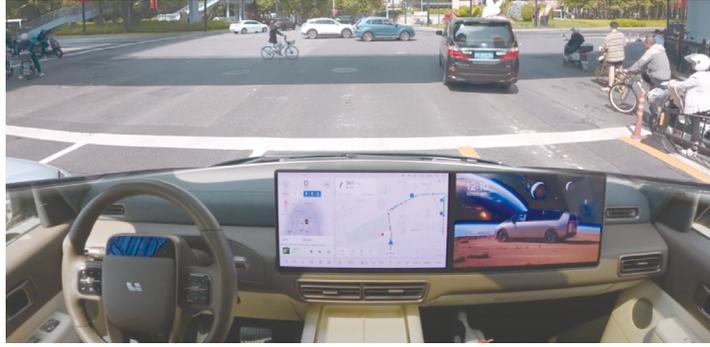
샤오핑의 자율주행 기술
출처: 샤오핑(2025.04.)



- Li Auto(理想汽车)도 자율주행 시스템을 적극적으로 개발하고 있으며, 정밀 지도에 의존하지 않는 오토 파일럿 기능인 'NOA(Navigate on Autopilot)'를 출시했다. Li Auto에서 개발한 자율주행 시스템 'AD Max'가 장착된 모든 차량은 HD 지도 없이도 고속도로에서 자율주행이 가능해졌으며, 이는 센서 기반 자율 판단 시스템의 고도화를 의미한다. AD Max는 NVIDIA DRIVE Orin을 탑재하여 신호등 인식, 교차로 자율 통과 기능을 제공한다.

그림 11

Li Auto의 자율주행 기술
출처: Li Auto(2025.04.)



자율주행 기술의 경쟁력 분석

- 최근 5년간 자율주행 기술 개발 및 상용화 흐름을 살펴보면, 자율주행 산업의 중심축이 점차 전통적인 완성차 제조사에서 기술 중심의 딥테크 및 플랫폼 기업으로 빠르게 이동하고 있음을 확인할 수 있다. 2019년을 전후로 대부분의 완성차 기업들은 자율주행 기술을 독자적으로 개발하기보다 외부 기술 기업과의 협력을 통해 기술 내재화를 추진해 왔다. 그러나 시간이 지나면서 일부 기업은 자율주행 분야에서 철수하거나 전략을 수정했고, 그 과정에서 새로운 강자들이 떠오르며 시장 구도가 재편되었다.

표 2

자율주행 기술의 경쟁력 분석
출처: Guidehouse
(2019~2024년)

	2019년	2020년	2021년	2023년	2024년
1	웨이모(구글)	웨이모(구글)	웨이모(구글)	모빌아이(인텔)	웨이모(구글)
2	크루즈(GM)	포드	엔비디아	웨이모(구글)	바이두
3	포드	크루즈(GM)	아르고AI(포드-폭스바겐)	바이두	모빌아이(인텔)
4	애플티브	바이두	바이두	크루즈(GM)	엔비디아
5	인텔-모빌아이	인텔-모빌아이	크루즈(GM)	모셔널(현대차-애플티브)	오로라(Aurora)
6	폭스바겐	애플티브-현대차	모셔널(현대차-애플티브)	엔비디아	플러스(Plus)
7	다임러-보쉬	폭스바겐	모빌아이(Mobileye)	오로라(Aurora)	위라이드(WeRide)
8	바이두	안덱스(Yandex)	오로라(Aurora)	위라이드(WeRide)	죽스(아마존)
9	도요타	죽스(Zoox)	죽스(Zoox)	죽스(아마존)	개틱(Gatik)
10	르노-닛산	다임러-보쉬	뉴로(Nuro)	개틱(Gatik)	크루즈(GM)
11	BMW-인텔-FCA	도요타	안덱스(Yandex)	뉴로(Nuro)	오토노머스에이투지
12	볼보-베오니아-에릭슨-제누티	메이모빌리티	오토엑스(Auto X)	오토엑스(Auto X)	토크 로보틱스
13	죽스(Zoox)	버야지오토	개틱(Gatik)	오토노머스에이투지	코디악 로보틱스
14	메이모빌리티	BMW	메이모빌리티	메이모빌리티	메이모빌리티
15	현대차그룹	르노-닛산-미쓰비시	테슬라	포니.AI(Pony.ai)	모셔널(현대차-애플티브)
16	우버	볼보	-	테슬라	웨이브(Wayve)
17	나브야(NAVYA)	나브야(NAVYA)	-	-	포니.AI(Pony.ai)
18	버야지오토	테슬라	-	-	오토엑스(Auto X)
19	테슬라	-	-	-	뉴로(Nuro)
20	애플	-	-	-	테슬라

- 이 흐름 속에서 가장 두드러진 사례는 웨이모(Waymo)의 지속적인 기술 리더십이다. 웨이모는 2019년부터 지금까지 독자적인 자율주행 기술력과 장기간의 로보택시 실증 운영 경험을 바탕으로 업계에서 독보적인 입지를 유지하고 있다. 특히 재규어, 지커, 현대자동차, 도요타 등 다양한 차량 제조사들과 협력하여 자율주행 플랫폼을 실제 차량에 적용하고, 양산 체계를 갖추는 데 성공하면서 상용화 가능성을 한층 끌어올렸다.
- 반면, GM은 자회사인 크루즈(Cruise)를 통해 로보택시 사업을 추진해 왔으나, 샌프란시스코에서 발생한 보행자 사고 이후 로보택시의 운영을 중단하고 전반적인 자율주행 전략을 재정비하게 되었다. 이후 GM은 크루즈와 자사 기술팀을 통합하고, 개인 차량에 적용할 수 있는 3단계 자율주행 기술 개발에 집중하면서 상용화 방향을 새롭게 설정하고 있다.
- 이와 함께 엔비디아와 모빌아이(Mobileye) 같은 기술 플랫폼 기업들도 자율주행 산업에서 두각을 나타내고 있다. 이들은 단순한 하드웨어 공급을 넘어 자율주행용 SoC(System-on-Chip), 소프트웨어 툴킷, 시뮬레이션 플랫폼 등을 통합 제공하며 자율주행 생태계 전반에 걸쳐 지배력을 확장하고 있다.
- 자율주행 시장에서 또 하나 주목할 만한 흐름은 중국계 딥테크 기업들의 약진이다. 바이두(Baidu)는 오랜 기간 자율주행 기술을 축적해 왔으며, 이후 지커, 샤오펑, 리오토, 포니.ai, 오토엑스 등 신흥 기업들이 대거 등장했다. 이들 기업은 중국 내 도시를 기반으로 한 실증 사업을 활발히 전개하고 있으며, 상용화에도 속도를 내고 있다. 이에 따라 중국은 자율주행 기술 개발뿐만 아니라 실증과 대중화를 함께 이끄는 핵심 국가로 부상하고 있다.
- 이러한 일련의 흐름은 자율주행 기술이 단순한 자동차 기술을 넘어서, 인공지능, 반도체, 소프트웨어 플랫폼, 클라우드 기술이 융합된 새로운 산업 패러다임으로 진화하고 있음을 보여준다. 앞으로 자율주행 기술의 발전은 완성차 업체만의 경쟁에서 벗어나 기술력과 통합 역량을 가진 다양한 기업들이 주도하는 생태계 경쟁으로 확장될 것으로 전망된다.

3. 국내외 기술 동향

- 자율주행 인공지능 기술은 놀라운 진화를 거듭해 왔다. 초기에는 인간 운전자의 판단과 행동을 학습하는 방식에서 시작되었지만, 오늘날에는 다중 센서 정보를 융합하고 계획과 제어까지 하나의 인공지능 모델 내에서 통합하는 종단 간 자율주행 시스템으로 나아가고 있다.

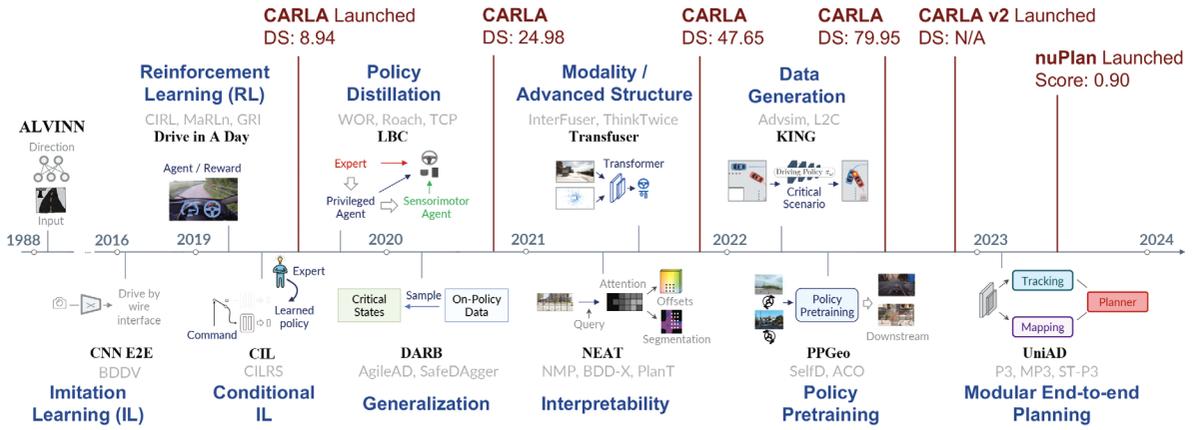


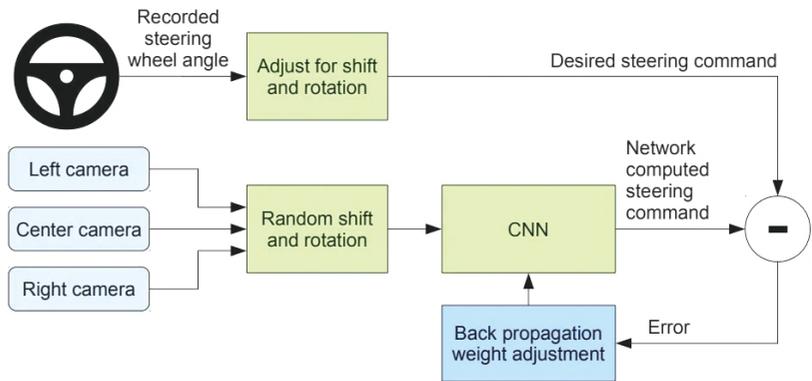
그림 12

중단 간 자율주행 기술의 발전 과정
출처: IEEE TPAMI(2023.06)

중단 간 자율주행 개념을 알고리즘으로 처음 구체화한 것은 엔비디아의 Mariusz Bojarski 외 연구진이었다. 2016년에 그들이 발표한 논문 「End to End Learning for Self-Driving Cars」에서는 이미지 데이터를 입력으로 받아 차량의 조향 각도를 예측하는 인공지능 기반의 중단 간 신경망 구조를 제안했다. 해당 연구는 자율주행차량의 제어를 단일 모델로 통합적으로 처리할 수 있다는 가능성을 제시했으며, 이후 중단 간 학습이 자율주행 시스템의 핵심 기술로 발전하게 되는 기반을 마련했다. 이후 인공지능이 자율주행에 접목이 가능할 것으로 검토되어 인간의 운전 데이터에 맞춘 모방 학습(Imitation Learning)과 주행 보상을 통해 스스로 학습하는 강화 학습(Reward-based Learning)이 주요 방법론으로 자리 잡기 시작했다.

그림 13

NVIDIA에서 제안한 초기의 중단 간 자율주행
출처: NVIDIA Corporation (2016.04)



2021년 이후 자율주행 인공지능 학습 분야에서는 카메라, 라이다, GPS 등 다양한 센서 데이터를 동시에 처리할 수 있는 멀티모달 구조가 본격적으로 도입되었고, 이를 기반으로 Transformer 계열의 딥러닝 모델이 자율주행 시스템에 적용되기 시작했다. 이러한 모델 구조의 복잡성이 증가함에 따라 고성능 학습을 위한 대규모·고품질 데이터의 중요성이 절대적으로 대두되었고, 현실성 높은 시뮬레이션 환경의 구축 또한 병행되었다.

더 정교하게 설계된 시뮬레이션은 다양한 주행 시나리오와 상황 변수에 대응할 수 있도록 구성되어 있으며, 이를 통해 학습된 모델은 신뢰성과 범용성 측면에서 기존 대비 획기적인 성능 향상을 이끌어 냈다.

- 최근에는 모듈형 종단 간 학습 구조도 주목받고 있다. 이 방식은 전통적인 모듈 방식처럼 각 모듈의 결괏값을 단순히 연결하는 것이 아니라 모듈 간에 ‘특징’ 값을 전달하여 학습 과정에서 모듈 간 상호작용과 공동 최적화가 가능하도록 구성된다. 이로 인해 기존의 종단 간 모델보다 해석 가능성, 학습 효율, 적응성 측면에서 한층 더 진화된 형태의 자율주행 시스템이 구현되고 있다.

표 3

자율주행 기술의 경쟁력 분석

구분	연도	기술/모델	주요 내용
다중 모달리티 통합 강화	2021	TransFuser	Transformer 기반 구조로 다중 센서 데이터를 효과적으로 통합
다중 모달리티 통합 강화	2023	UniAD	LiDAR, 카메라, HD 맵 등 다양한 입력 데이터를 활용하는 통합 프레임워크
다중 모달리티 통합 강화	2024	InterFuser	멀티모달 정보를 활용하여 자율주행의 안전성을 높이는 최신 접근법
정책 학습 기법의 발전	2022~2024	IL + RL 융합	Policy Distillation 기법의 발전으로 강화 학습의 데이터 효율성 개선
정책 학습 기법의 발전	2023~2024	Privileged Learning	전문가 정책을 학습한 후 센서 기반 정책으로 변환하여 성능 향상
Transformer 기반 구조 확산	2021	TransFuser	Transformer를 활용한 다중 센서 정보 통합
Transformer 기반 구조 확산	2024	KING	자율주행을 위한 최신 Transformer 기반 E2E 모델
BEV 기반 자율주행 모델의 확산	2023	BEV-IO	BEV 표현을 활용하여 학습 효율성을 증대
BEV 기반 자율주행 모델의 확산	2024	BEV + Policy Distillation	BEV 기반 표현과 Policy Distillation을 결합하여 성능 향상

4. 시사점

- 자율주행 기술은 오랫동안 인지-판단-제어 과정을 개별적으로 분리하여 개발하는 모듈형(Modular) 접근 방식을 중심으로 발전해 왔다. 이 방식은 시스템 설계와 검증이 용이하고 기능별 오류를 명확히 구분할 수 있다는 장점으로 인해 대부분의 완성차 제조사와 부품사들이 채택해 온 표준적인 개발 구조였다. 그러나 고도화된 도심 환경, 복잡한 교통 시나리오, 사용자 맞춤형 주행 방식 등 새로운 요구사항에 대응하기에는 기존 구조의 한계가 점차 명확해졌다. 이러한 문제의식 속에서 최근 주목받고 있는 것이 바로 인공지능 기반의 종단 간 자율주행 기술이다.

- 종단 간 자율주행은 차량에 탑재된 다양한 센서로부터 입력된 데이터를 기반으로, 주행 계획과 제어 명령을 하나의 통합된 인공지능 모델 내에서 처리하는 방식을 의미한다. 이 구조는 기능 간 경계를 제거하고 전체 주행 목적을 고려한 판단이 가능하다는 점에서 기존 모듈형 시스템의 구조적 한계를 본질적으로 해결할 수 있는 대안으로 부상하고 있다. 기술적으로는 모듈 간 오류 전파 문제를 제거하고 시스템 전체의 최적화가 가능하며, 충분한 학습 데이터만 확보된다면 예측 정확도와 상황 적응성 면에서도 기존 방식보다 뛰어난 성능을 발휘할 수 있다.
- 특히 종단 간 구조는 고정밀지도(HD Map)에 의존하지 않고도 주행 판단을 수행할 수 있는 HD Map-Free 자율주행의 가능성을 제시한다. 이는 지도 구축과 유지에 막대한 비용과 시간이 소요되는 현실적인 제약을 고려할 때 자율주행 상용화의 문턱을 크게 낮출 수 있는 혁신적 전환점으로 평가된다. 더불어 최근에는 Transformer 기반의 멀티모달 구조, 대형언어모델(LLM), 시뮬레이션 기반 데이터 생성 기술 등이 종단 간 자율주행에 접목되면서 기술의 진화 속도는 이전보다 훨씬 가속화되고 있다.
- 한편 소프트뱅크 손정의(孫正義) 회장은 “AI는 인간 두뇌의 10배, 20년 뒤에는 10,000배의 능력을 갖게 될 것”이라며, AI 시대에 올라타야 한다는 메시지를 전달했다. 그는 현재 인간 두뇌의 1/10,000 수준의 지능이 금붕어에 해당한다고 비유하며, 향후 인공지능이 인간과 금붕어의 차이만큼 격차를 벌리게 될 것이라고 전망했다. 이는 자율주행을 포함한 자동차산업 전반에 AI 기술 채택의 필연성과 시급성을 상징적으로 시사하고 있다.
- 기술적으로도 모듈형과 종단 간 접근을 절충한 ‘모듈형 종단 간(Modular End-to-End)’ 방식이 새롭게 주목받고 있다. 이는 각 기능별 결괏값을 전달하던 방식에서 벗어나 모듈 간 특징(feature) 값을 전달함으로써 상호작용과 공동 최적화가 가능하게 만든 구조다. 해석 가능성과 유연성을 높이면서도 종단 간 학습의 장점을 유지할 수 있다는 점에서 실용성과 확장성이 뛰어난 접근으로 평가된다.
- 이러한 기술 변화는 자동차산업 전반에 매우 중요한 시사점을 던지고 있다. 첫째, 자동차는 이제 단순한 하드웨어 중심의 운송 수단이 아니라 AI 중심의 SDV로 재정의되고 있다. 차량의 내부 구조는 고성능 연산과 통신이 가능한 중앙 컴퓨팅 구조로 전환되고 있으며, 소프트웨어 업데이트만으로 기능 확장이 가능한 운영체제 기반의 플랫폼화가 급속히 진행되고 있다. 이는 완성차 제조사의 역할을 재편하고, AI 전문 기업, 클라우드, 반도체 기업 등 非자동차산업 주체들의 참여를 필수화하는 구조적 전환을

동반한다.

- 둘째, 종단 간 자율주행은 ‘알고리즘 경쟁’에서 ‘데이터 경쟁’으로의 패러다임 전환을 의미한다. 차량이 경험한 수십억km의 주행 데이터를 기반으로 학습된 종단 간 모델은 경험 기반 주행 전략을 형성할 수 있으며, 이를 위해서는 국가적 차원에서 일관성 있는 데이터 파이프라인과 공급망 생태계 구축이 중요하다.
- 셋째, 이러한 기술 흐름은 정책과 제도 측면에서도 새로운 도전과 과제를 야기한다. 기존 자동차 인증 체계는 전문가 중심의 결정 규칙 기반 구조를 전제로 하고 있어 스스로 판단하는 AI 통합 구조에 대한 검증 기준이 부재하다. 또한 종단 간 모델은 판단 근거가 네트워크 내부에 내재되어 있기 때문에 사고 발생 시 설명 가능성 부족, 책임 소재 불명확, 기술적 신뢰 확보의 어려움 등 윤리적·사회적 문제도 동반된다. 이에 따라 설명 가능한 인공지능(XAI), 시나리오 기반 안전 검증 체계, 개인정보 보호 및 데이터 접근 권한 제도 정비 등 복합적인 법적·제도적 대응이 요구된다.
- 마지막으로, 종단 간 자율주행 기술은 단순한 기술의 고도화를 넘어 ‘운전과 이동’이라는 인간 행위 자체의 재구성을 의미한다. 이는 자동차라는 개념의 본질을 변화시키며, 규제, 안전, 서비스 기준의 전면적 재설계를 필요로 한다. 세계 각국은 현재 기술 경쟁뿐 아니라 시장 표준과 법적 기준, 생태계 주도권 선점을 위한 전략적 경쟁을 치열하게 전개하고 있으며, 우리 역시 이에 대응하기 위한 선제적인 기술 투자와 생태계 조성 전략이 절실한 시점이다.
- 이제 우리는 ‘자율주행차’라는 단일 기술에 머물 것이 아니라 ‘미래 이동성 (Mobility)’이라는 넓은 시야에서 접근해야 하며, 단기적인 기능 도입을 넘어 장기적인 기술 독립과 산업 전략을 함께 고민해야 할 시점에 도달해 있다.

출처 및 참고문헌

1. A. Author et al., "Wayve: End-to-End Learning for Autonomous Driving," in Proc. of CVPR 2024.
2. Aditya Prakash, et. al., "Multi-Modal Fusion Transformer for End-to-End Autonomous Driving", Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2021, pp. 7077-7087, 2021.04.19.
3. Alec Radford, et. al., "Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision", Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning, PMLR 139:8748-8763, 2021., 2021.02.26.
4. Amanpreet Singh, et. al., "FLAVA: A Foundational Language and Vision Alignment Model", Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2022, pp. 15638-15650, 2021.12.08.
5. Bo Jiang, et. al., "VAD: Vectorized Scene Representation for Efficient Autonomous Driving", Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision(ICCV), 2023, pp. 8340-8350, 2023.03.21.
6. Jiahui Yu, et. al., "CoCa: Contrastive Captioners are Image-Text Foundation Models", Transactions on Machine Learning Research(TMLR) 08/2022, 2022.08.27.
7. Jyh-Jing Hwang, et. al., "EMMA: End-to-End Multimodal Model for Autonomous Driving", Waymo LLC, 2024.11.04.
8. Li Chen, et. al., "End-to-end Autonomous Driving: Challenges and Frontiers", IEEE TPAMI, 2023.06.29.
9. Mariusz Bojarski, et. al., "End to End Learning for Self-Driving Cars", NVIDIA Corporation, 2016.04.25.
10. Sergio Casas, et. al., "MP3: A Unified Model to Map, Perceive, Predict and Plan", Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2021, pp. 14403-14412, 2021.01.18.
11. Shuo Xing, et. al., "OpenEMMA: Open-Source Multimodal Model for End-to-End Autonomous Driving", The 3rd WACV Workshop on Large Language and Vision Models for Autonomous Driving(LLVM-AD) 2025, Computer Vision Foundation, 2024.12.19.
12. Zhenxin Li, et. al., "Hydra-MDP: End-to-end Multimodal Planning with Multi-target Hydra-Distillation", CVPR 2024 Workshop AGC Submission, 2024.06.11.
13. Iqtidar Ali, "FSD v13 to go public by Thanksgiving, Tesla shares a detailed rollout roadmap, ASS coming to China and Europe, more", teslaoracle.com, 2024.10.31.
14. Not a Tesla App Staff, "Tesla's Updates FSD Roadmap: Talks FSD V13 and End-to-End Highway", notateslaapp.com, 2024.10.31.
15. "Automated Driving Systems: Assessment of Strategy and Execution for 20 Companies Developing Automated Driving Systems", Guidehouse Insights Leaderboard Report, Guidehouse Research, 2024.12.13.
16. Yongjun Cho, "NeurIPS 2024 돌아보기", WoRV Tech Blog, 2025.01.02.
17. Jonathan Bloom, "Fatal self-driving Uber crash could send waves through a nascent industry", abc 7NEWS, 2018.03.20.
18. 김봉섭 외, "자율주행 검증을 위한 자동화된 검증 시나리오 개발에 관한 연구", 『한국자동차공학회 춘계학술대회』, pp. 566-567. 2020.07.01.-04.
19. 윤혁진, 박준형, "자율주행 Top 3: 테슬라, 화웨이, BYD 누가 누가 잘하나?", SK증권, 2025.02.24.; BYD 유튜브 채널
20. "자율주행 레벨 4+ 상용화 앞당긴다!", 산업통상자원부 보도자료, 2021.03.24.
21. 『자율주행 르네상스(Feat. 도로 위의 AI 전쟁)』, iM증권, 2025.04.02.

2

자율주행 고도화를 위한 차량용 AI SoC 개발 동향

윤상훈 자율주행 PD | KEIT 미래자동차실

이승환 부부장 | 한국자동차연구원 반도체/센서 기술 부문

요약

- 제한적인 기능과 상황에 대해 1990년대부터 연구되어 오던 오래된 테마인 ‘자율주행’은 딥러닝의 출현과 컴퓨팅 성능의 폭넓은 향상에 힘입어 ‘자율주행차’라는 단어가 누구에게나 생소하지 않을 정도로 우리 생활 깊숙이 침투하고 있다.
- 자율주행에서의 AI(인공지능)는 에지단(Edge端, 종단)에서 수행되는 임베디드라는 특성(전력·방열·공간의 제약)에 더하여 안전성을 확보하기 위한 실시간성 및 기능 안전성을 가져야 한다. 이는 범용 AI SoC(System-on-Chip, 시스템 반도체)와는 다른 설계(아키텍처)가 필요함을 의미하며, 최근 SW 중심 자동차(SDV, Software Defined Vehicle)의 하드웨어-소프트웨어 ‘분리(Decoupling)’ 추세와 맞물려 새로운 연구 주제와 신규 기술의 필요성이 제기되고 있다.
- SDV에서의 자율주행 AI 알고리즘은 중앙 컴퓨터에서 수행되는 것으로 발전하고 있으며, 중앙 컴퓨터의 연산을 담당하는 중앙 컴퓨팅 AP(Central Processing AP)의 연산 능력은 500~1,000TOPS로 추정되고 있다. 이는 현재 양산 중인 SoC보다 대형 SoC 기술의 개발을 필요로 한다. 또한 트랜스포머 등 대규모 언어모델을 이용한 자율주행 고도화 추세에 따라 기존 AI 가속기 구조 내에서 연산과 데이터 이동의 범용성을 강화하는 아키텍처로 진화하고 있다.
- 현재 자율주행용 AI SoC는 글로벌 선두 반도체 기업들의 기술·시장 선점을 위한 치열한 각축장이 되고 있다. 美 Nvidia社가 GPU 기반의 AI SoC인 ‘NVIDIA DRIVE Thor’(1,000TOPS)를 개발하여 2025년 하반기 양산 및 자율주행차 적용을 앞두고 있다. ADAS(첨단운전자보조시스템)용 AI SoC에서는 美 Qualcomm社가 ‘Snapdragon® Ride™’ 시리즈로 많은 시장점유율을 확보하고 있다. 특히 Nvidia는

AI 모델 개발에 주로 쓰이는 CUDA API를 보유하고 있어 SoC에 필수적인 임베디드 소프트웨어까지 영역을 넓히고 있다.

- 자율주행 시대의 AI SoC는 자동차의 기능·성능을 좌우하는 핵심 부품으로 부상하고 있다. AI 모델마다 최적화가 필요한 AI SoC의 특성상 AI SoC의 기술 주도권은 자율주행차 핵심 부품의 해외 종속과 직결되므로 우리나라 자동차산업의 핵심 기술 주도권 확보를 위해서는 자율주행용 AI SoC의 국산화가 매우 중요하다고 판단된다.

1. 자율주행과 AI

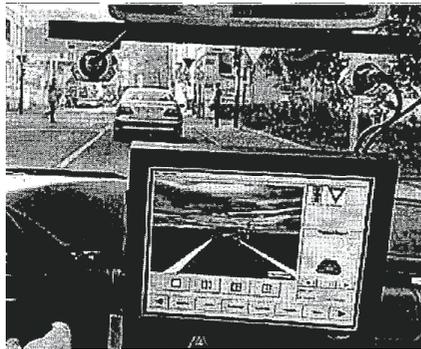
- 최근 우리 일상생활에서 친숙한 단어가 되어 버린 자율주행은 딥러닝이 본격적으로 대두된 2000년대 이전의 전통적인 인공지능(AI)의 하나인 컴퓨터 비전(Computer Vision)으로부터 시작되었다. 1990년대 자율주행에 주로 연구되던 AI는 Optical Flow, Stereo Vision 등 연속적이거나 위상차가 있는 화상 간 유사도(similarity)를 합성곱(convolution)이나 SAD(Sum-of-Absolute Difference) 연산으로 구해서 화상 내 물체까지의 거리와 속도 등을 구하는 방식으로 주변 인식을 수행했다.* 또한 레이더/라이다와의 센서 퓨전(Sensor fusion), 물체 추적(Object Tracking) 등을 칼만 필터(Kalman Filter) 기반으로 구현하기도 했다.

출처: IEEE Intelligent Vehicles Symposium(2000.10)

그림 1

딥러닝 이전의 자율주행 연구 사례(左)와 Kalman Filter 기반의 충돌 회피(右)

출처: DaimlerCrysler (2000.10, 左), Linköping University (2005, 右)



막대한 연산량의 실시간 처리를 위한 AI SoC

- 이처럼 '전통적인' 자율주행은 딥러닝 출현 이후에도 양산차에 적용되었으며, 대표적인 사례가 MobilEye社의 EyeQ® 시리즈라 할 수 있다. 컴퓨터 비전에 필요한 합성곱이나 SAD 연산의 경우 500MIPS/프레임이었던 당시로서는 막대한 양의 연산량이 필요하여 실시간 처리·구현이 힘들어 전용 가속기에 대한 연구도 빈번하게 수행되었다. 합성곱, SAD 등 이미지 간 유사도에 기반한 인공지능 알고리즘은 현재의 딥러닝 알고리즘에도 동일하게 요구되며, 향상된 이미지 해상도와 실시간 처리를 위해 현재의 자율주행에는 AI 알고리즘의 가속을 수행하는 AI SoC의 사용이 필수적이다.

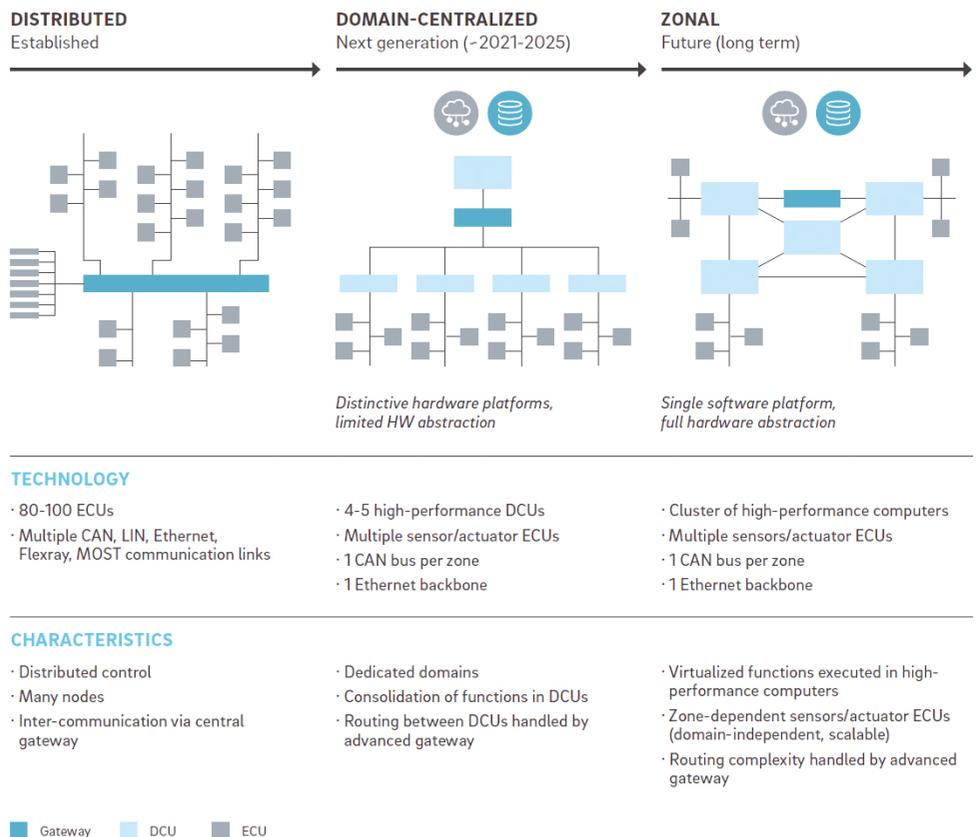
- 합성곱으로 대표되는 AI 알고리즘의 가속은 모든 산업 분야에서 많은 연구 개발이 진행되고 있다. 자동차의 경우 제한된 전력 공급과 방열 환경, 그리고 사고 방지를 위한 안전성·신뢰성 요구로 인해 타 산업과는 다른 새로운 구조와 구현 방법을 필요로 하고 있다.
- 또한 정보가 많이 공개되어 있는 모바일산업과 달리, 세부 전장 구조(E/E System) 및 반도체의 Use Case가 완성차 기업마다 조금씩 다르고 공개하지 않는 자동차산업의 특성상 차량용 AI SoC의 개발은 각 완성차들의 최근 전장 구조 진화에 발맞춘 연구 개발이 필요하다.

2. 국내외 기술 동향

SDV의 발전에 따른
전장 구조의 변화

- 자동차의 전장 구조는 1968년에 반도체가 사용되기 시작된 이래로 최근 10여 년간 가장 급격한 변화를 겪고 있다. 2010년대 중반부터 확장성과 ECU, 하네스 복잡도 감소를 위해 기능별로 ECU를 통합하는 도메인(domain) 전장 구조의 도입에서 시작했고, 2020년대에는 영역(위치)별로 ECU를 통합하여 중앙집중화하는 영역 기반(zonal) 전장 구조로 급격히 이행하고 있다.

그림 2
자동차 전장 구조의
발전
출처: Roland
Berger(2020.01)



통합화·대형화 추세
차량용 AI 반도체

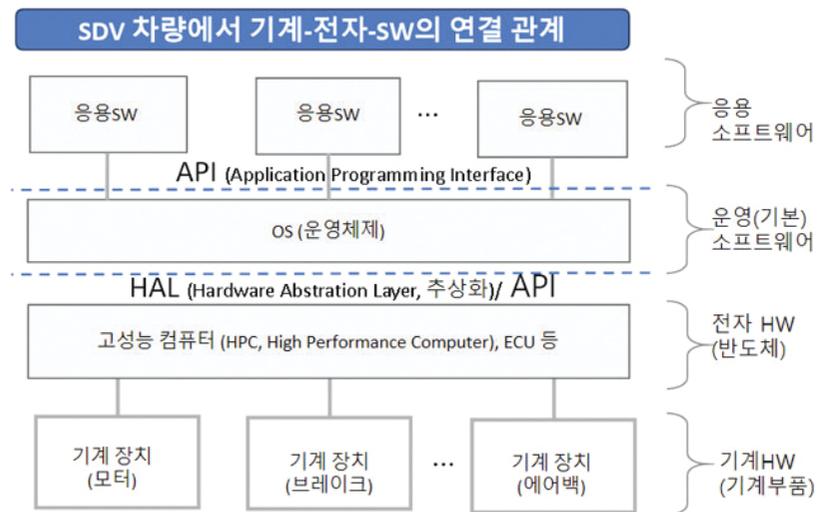
- 영역 기반 전장 구조는 위치별 ECU의 통합에 따른 하네스 복잡도 및 무게 감소와 함께 반도체 통합으로 하드웨어 범용화, SW 재사용성, 업데이트 용이성을 확대하고자 하고 있다. SDV향 영역 기반 전장 구조에서는 대부분의 연산을 중앙 컴퓨터(HPVC, High-Performance Vehicle Computer)에 집중시키고, 구동·제어 등을 영역 컨트롤러(ZC, Zonal Controller)에 통합하여 정의하고 있다. 특히 HPVC에는 자율주행 AI 알고리즘 등 방대한 연산이 요구되는 딥러닝 알고리즘의 대부분을 수행하는 방향으로 발전하고 있다.
- HPVC와 ZC에 사용되는 반도체는 AP급 이상의 대형 시스템 반도체로, HPVC에 적용되는 Central Processing AP(CP)는 현재 사용되는 ADAS용 AP를 넘어선 고성능 시스템 반도체로 예상되고 있다. CP는 SDV와 영역 기반 전장 구조의 계속된 발전에 따라 점점 고성능화·대형화될 것으로 전망된다. 일례로, Tesla社의 'FSD(Full Self-Driving) 3.0'의 경우 144TOPS의 성능이었으나, 다음 세대인 AI 4.0에서는 300~500TOPS, 2025~26년 양산이 예상되는 AI 5.0은 2,000TOPS 이상의 성능으로 예상되고 있다(2개 chip 이상 사용 시의 성능).*

출처: 매일경제(2025.05)

그림 3

자동차에서 하드웨어와 소프트웨어 분리

출처: 월간조선(2024.08)



- CP의 고성능화와 이에 따른 칩 사이즈의 대형화는 자율주행 알고리즘을 하나의 반도체에 모아서 수행하는 통합과 하드웨어·반도체 추상화에 따른 소프트웨어 복잡도에 대응하기 위한 측면이 있다. 또 다른 측면으로는 LLM, 트랜스포머 등 새로운 딥러닝 알고리즘을 활용한 자율주행 알고리즘의 고도화로 인해 칩 사이즈가 대형화되고 있다.

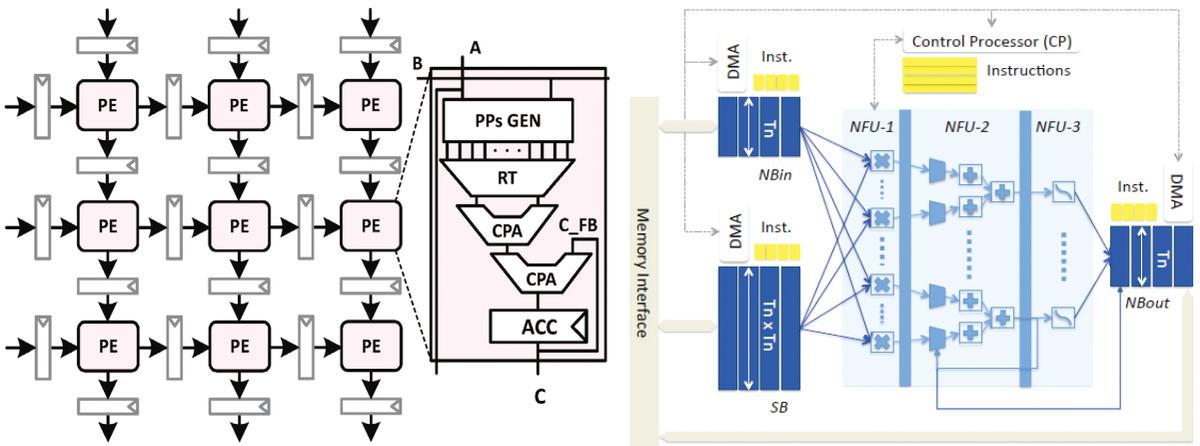
전통적인 AI 가속 기술:
Array 구조와 Tree 구조

○ AI 알고리즘의 가속은 GPU 기반의 가속이나 전용 NPU(Neural Processing Unit)에 기반하여 설계되어 왔다. NPU는 GPU 대비 전력 소모를 절감할 수 있어서 많은 반도체 기업들이 개발하고 있으며, 전통적으로 Array 구조나 Tree 구조로 설계되었다. Array와 Tree 타입 구조는 연산기 간의 짧은 데이터 이동과 작은 연산기(Processing Element)에 기반한 대규모 병렬처리를 통하여 높은 AI 가속 성능과 전력 소모 절감을 달성하고 있다. NPU 내 범용성은 GPU 대비 열세이나 Semi-Custom 개발이 대부분인 차량용 반도체의 특성상 OEM/Tier-1의 딥러닝 알고리즘에 최적화해 개발하는 방법으로 시장 진입과 확대를 시도하고 있다. 이러한 NPU들은 새로운 함수(예: Activation Function)나 신규 딥러닝 알고리즘의 레이어 구조에 적합하지 않을 경우 NPU 내장 또는 외부의 CPU를 통해 처리하는 오버헤드(overhead)가 요구되어 확장성에는 취약한 편이다.

그림 4

Systolic Array 구조(左)와 Tree 구조 기반의 NPU(右)

출처: Electronics(2021.03, 좌), ASPLOS(2014, 우)



신규 AI 가속기술:
Many-Core 구조

출처: Science(2023.10)

출처: NoC - 인터넷과 유사하게 각 연산기가 'IP(주소)'를 가지며, 멀리 떨어진 연산기에도 라우터(중계기)를 통해 데이터 이동이 가능

- 최근의 대규모언어모델(LLM, 트랜스포머, 등)의 대두와 이를 활용한 자율주행의 고도화에 따라 새로운 구조의 NPU가 도입되고 있다. 대표적인 사례로는 2023년 IBM에서 발표한 'NorthPole' NPU*로 ① 범용 CPU+전용 가속연산부의 채용, ② 연산기 간 자유로운 통신이 가능한 NoC(Network-on-Chip)** 버스 채용 등 새로운 방식을 도입하여 기존 대비 큰 성능 향상과 전력 소모 절감을 달성했다.
- 각 연산 유닛(PE, Processing Element)은 범용 CPU를 내장하고 있어 Hard-wired로 지원되지 않는 연산이나 PE 간 데이터 전송을 수행한다. PE 간 데이터 전송은 데이터 유형별로 수 개의 NoC가 분할 전송하여 데이터 전송 오버헤드에 의한 성능저하를 감소시킨다.

그림 5

IBM이 출시한 NorthPole NPU의 구조
출처: IBM(2023.10), Nand Research(2023.10)

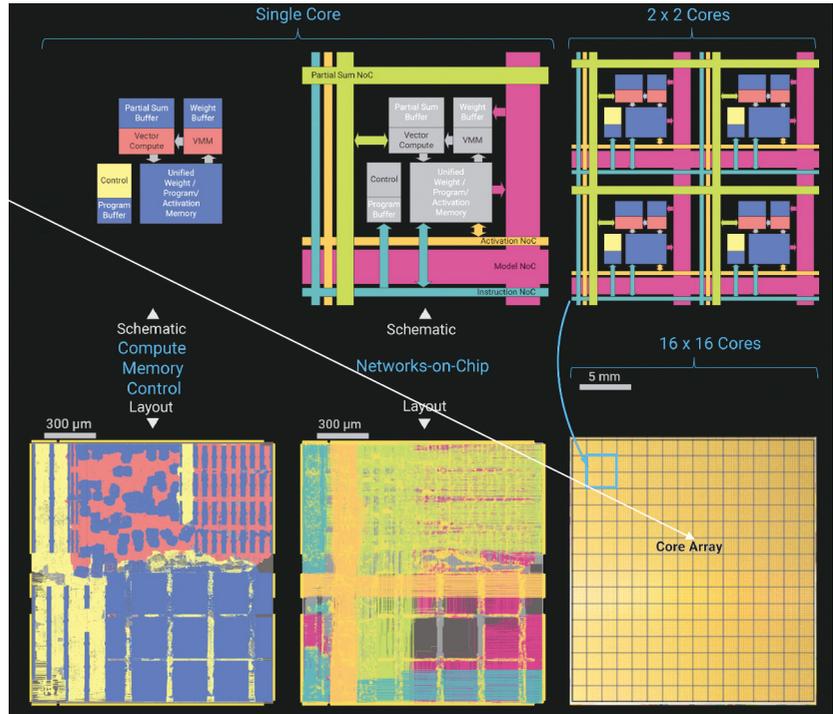
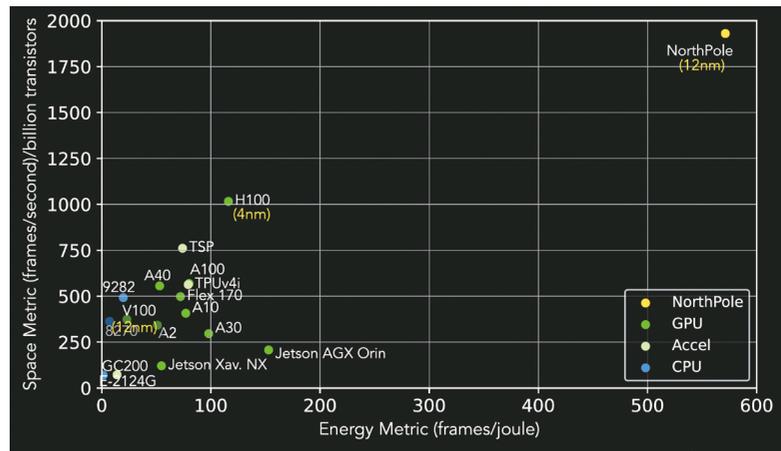


그림 6

IBM의 NorthPole에 대한 성능 평가
출처: IBM(2023.10), Hot Chips(2023.08)



신규 AI 모델 대응을 위한
범용성 강화

○ NorthPole은 차량용 반도체를 전제로 개발한 NPU는 아니지만, 전통적인 NPU의 범용성과 확장성 문제 해결에 방향을 제시했고, Edge단에서의 전력 소모 절감 가능성을 보여주었다는 점에서 의미가 있다.

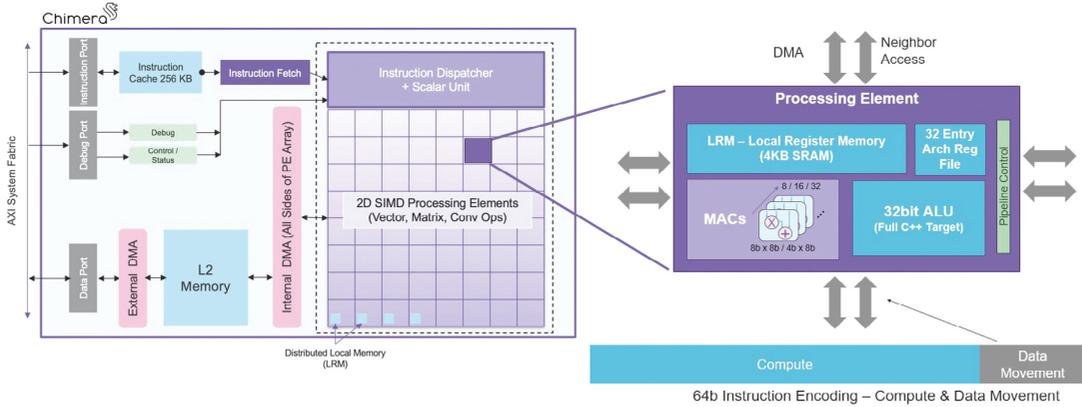
○ 이러한 구조적 변화는 美 Quadric社에 의해 계승·확장되고 있다. Quadric은 SIMD(single instruction, multiple data) 구조를 기반으로 NPU, DSP, 실시간 CPU를 하나의 파이프라인으로 구성하여 연산 확장성과 SW 최적화 용이성 확보를 목표로 개발했다. 다른 범용 CPU의 SIMD 확장 기능을 보다 확장한 것으로도 볼 수 있으며, 딥러닝의 합성곱 연산 전용 NPU, 32-bit CPU와 로컬 메모리를 하나의 PE에

그림 7

Quadric의 GPNPU 구조

출처: IBM(2023.10),

Quardic.io



집적하여 각 PE의 범용성을 높이는 동시에 NPU에 의한 병렬성과 로컬 메모리에 의한 데이터 병목현상을 감소시키고 있다.

○ Quadric의 GPGPU(General-Purpose computing on Graphics Processing Units)는 최근 日 Denso社에 IP 라이선싱 계약을 맺었으며, Denso는 RISC-V 기반 프로세서와 Quadric의 Chimera에 기반하여 제품 출시 이후에도 오랜 기간 AI 트렌드 변화에 대응이 가능한 차량용 SoC를 구현해 내고 있다.

고속 인터페이스·패키징 기술을 활용한 확장성 강화

○ NPU의 구조적인 진화 외에도 고속 인터페이스, 첨단 패키징을 이용한 고성능화를 달성하고자 하는 접근도 시도되고 있다. 모놀리식(Monolithic) 반도체에서 벗어나 복수의 다이(die)를 하나의 패키징에 집적하고, die 간에 표준 고속 인터페이스 규격(UCIe, Universal Chiplet Interconnect Express)로 연결하는 아키텍처가 최근 제안되고 있다.

○ 벨기에 반도체 연구기관인 IMEC의 주도로 Arm, BMW Group, Bosch, Cadence, Synopsys, Tenstorrent, Valeo 등이 참가하는 ‘Automotive Chiplet Forum’이 결성되었으며, 차량용 반도체에 chiplet 기술 적용에 필요한 레퍼런스 아키텍처를 개발하고, 신뢰성 만족에 필요한 연구 개발을 공동으로 진행하고 있다. 이는 NPU die를 복수 집적하는 방식을 통해 가격 경쟁력 및 패키징을 통한 확장성을 확보하는 방안으로서 SDV용 차량용 AI SoC의 중요한 구현 기술이 될 전망이다.

그림 8

Automotive Chiplet Forum

출처: IMEC(2024.10)



차량용 AI 반도체의 기능 안전성 동향

- 차량용 AI 반도체의 중요한 특성 중 하나인 기능 안전성 또한 다양한 측면에서 강화되고 있다. 일반적으로 이중화, Doer-Checker, BIST(Built-In Self Test) 또는 모니터링 콘셉트를 기반으로 구현되는 반도체 레벨의 기능 안전은 gate count 오버헤드로 인해 안전성이 중시되는 엔진, 바디/채시 시스템 기능을 제어하는 차량용 반도체를 중심으로 적용되어 왔다. 하지만 2020년대 이후에는 ADAS용 AI 반도체에도 대응하는 사례가 늘어나기 시작했다.
- 일례로 日 Renesas의 R-Car 시리즈, 美 Nvidia의 차세대 AI 반도체 Thor 등은 기능 안전 최고 등급인 ASIL-D에 대응하도록 개발되었다. 이들은 해당 반도체를 적용하는 ECU의 ASIL 인증에 필요한 기능 안전 산출물(work-product)을 지원하고 있다. ADAS 도입 초기인 2010년대에는 반도체의 기능 안전성이 크게 부각되지 않았으나, 2020년대 이후 주요 차량용 AI SoC 업체들이 내부 기능 안전 역량을 갖추기 시작하면서 AI SoC를 포함한 차량용 시스템 반도체 전반에 대해서도 점차 요구사항과 중요성이 증가하고 있다.

3. 국내외 시장 동향

- 차량용 반도체는 2010년대 모바일 반도체 시장의 성장을 하락 이후 급성장하는 반도체 Mega 시장 중 하나로 주목받아 왔으며, 자동차에 IT 기술 도입 확대 이후 글로벌 빅테크 반도체 제조사들은 기술·시장 선점을 위해 적극적인 투자 개발을 진행해 왔다. 안전성에 대한 장벽이 가장 낮은 인포테인먼트 분야에서는 美 Qualcomm社가 기존 모바일 AP 기술을 바탕으로 적극적인 제품 전개를 하고 있으며, 글로벌 완성차와의 협력을 통해 많은 시장점유율을 확보하고 있다.

MobilEye의 EyeQ 시리즈

- 차량용 AI 반도체는 2010년대 BMW와의 협력을 통해 성장한 MobilEye의 ‘EyeQ’ 시리즈가 ADAS 도입 초기의 기술 및 시장을 선도했다. EyeQ 시리즈는 자사의

Computer Vision에 기반한 SW 솔루션과 이를 가속하는 연산기를 내장하여 低레벨의 ADAS ECU에 사용되었다. 2020년대부터는 EyeQ 시리즈에도 NPU를 도입하기 시작했으며, 2023년 양산을 시작한 ‘EyeQ 6’ 및 ‘EyeQ Ultra’에는 각각 34TOPS와 176TOPS의 NPU를 내장하고 있다.

Tesla의 AI 5.0

- 완성차 제조사인 Tesla가 자사용으로 개발·사용하는 ‘FSD(Full-Self Driving) AI SoC’는 세부 사양 등에 대한 대외 공개가 없었으나, 최근 2025년 샘플 공개를 목표로 기존 AI 4.0 대비 10배 이상 성능을 향상시킨 AI SoC를 개발하고 있다. Tesla 또한 여러 연산 코어나 die를 하나의 패키지로 집적하는 멀티칩 모듈(Multi-Chip Module) 방식의 제작이 추측되고 있으며, chip의 개당 단가가 약 1,000달러 이상으로 예상되고 있다.

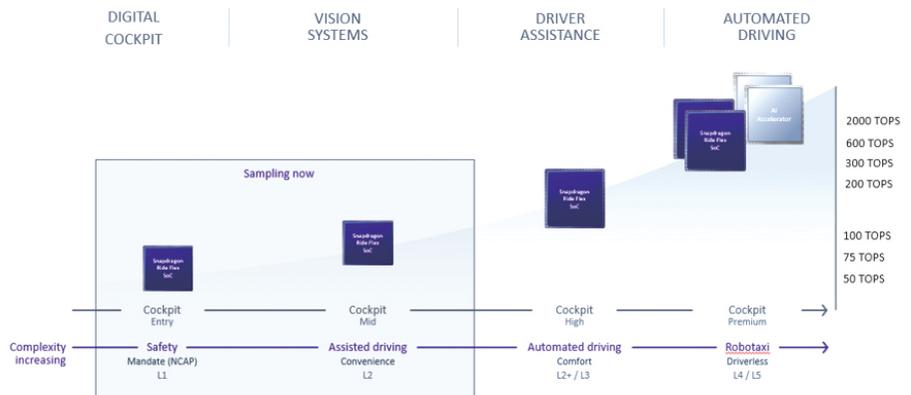
Qualcomm의 Ride Flex

- 클러스터-인포테인먼트 통합 AP의 시장점유율이 가장 높은 Qualcomm은 ‘Ride Vision’ 시리즈로 ADAS 시장에 참여하고 있으며, ‘Ride Flex SoC’ 시리즈로 기존 인포테인먼트와 ADAS 시장에 대응하고 있다. 자사에서 최적화 개발한 ‘Kyro CPU(ARM v8.2)’ ‘Adreno GPU’ ‘Hexagon NPU’를 내장하여 향후 600~2,000TOPS(2개 chip 이상 사용 시의 성능)의 개발을 계획하고 있다. 또한 자사의 SW 플랫폼인 ‘Ride Vision’ 등과 함께 제품을 전개하고, 글로벌 완성차·Tier-1 부품사들과 협력 개발을 진행하고 있다.

그림 9

Qualcomm의 Ride Flex의 로드맵 (Snapdragon Ride Flex SoCs)

출처: Qualcomm(2024), WeVolver(2025.06)



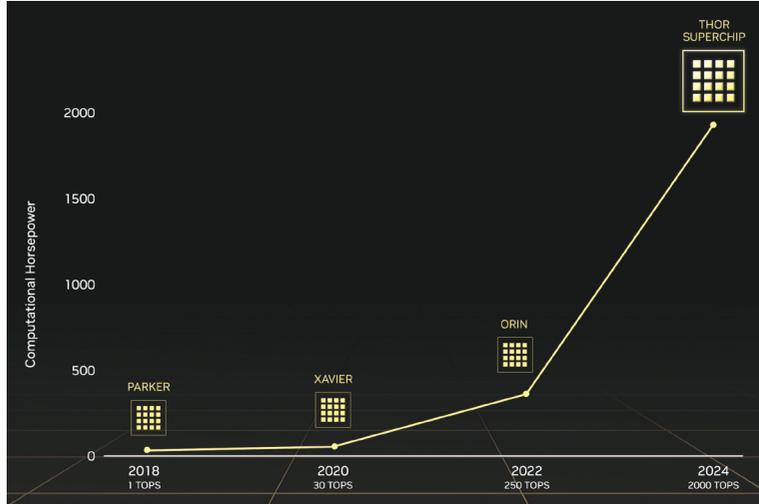
Nvidia의 NVIDIA DRIVE Thor

- Nvidia는 2022년 기존 로드맵에 계획되어 있던 1,000TOPS급 ‘NVIDIA DRIVE Atlan’의 개발 계획을 중지하고, 2,000TOPS급 Thor의 개발을 발표했다. Atlan에서 계획된 8-bit 정수 연산(INT8) 대비 향상된 8-bit 부동 소수점(FP8) 연산을 지원하여 성능 향상을 꾀했으며, 자사의 고속 인터페이스 기술인 ‘NVLink-C2C’를 이용하여 최대 2,000TOPS의 성능을 달성할 수 있는 것으로 발표했다. Thor는 거대언어모델

지원과 이중화를 통한 ASIL-D 지원 등 차량용 AI SoC의 특징을 갖추고 있으며, 2025년 중국 등의 완성차 제조사에 샘플을 전달할 예정이다. Thor는 개별 칩당 1,000TOPS의 성능이 예측되지만, 세부 사양은 공개되지 않았다. 다만 FP8 등 새로운 연산 단위의 제시로 자세한 타 AI SoC와의 비교는 샘플 출시 이후에 알려질 전망이다.

그림 10

Nvidia의 차량용 AI SoC 로드맵
출처: Nvidia(2022.09)



4. 시사점

- 자율주행용 AI SoC는 단순히 하나의 부품에 그치지 않고 반도체에 연계된 시스템 SW, 전장 구조 및 자동차의 Use Case까지 직간접적으로 영향을 미치는 미래차의 핵심 부품이라고 할 수 있다. 핵심 부품의 기술·시장 선점 및 연계된 SW 시장까지의 침투를 위해서 글로벌 반도체 제조사들은 대대적이고 장기적인 투자를 진행하고 있다.
- 특히 글로벌 반도체 제조사들은 최근 단순히 반도체를 판매하는 범위를 넘어 연계된 ‘Reference’ 제어기, 시스템 SW 및 상위 SW까지 패키지화하여 판매하려는 움직임을 보이고 있으며, 이러한 동향을 고려할 때 차량용 AI SoC는 국내 차량용 반도체산업을 넘어서서 SW 및 제어기 산업에 대한 영향력이 크다고 볼 수 있다.
- 미래차의 핵심 부품인 AI SoC의 국산화 및 국내 연구·개발·양산 생태계의 구축은 현재 세계 3위인 국내 자동차산업의 차세대 핵심 기술과 시장 선점에서 중요한 요소로 판단되며, 각계의 역량을 모아 추진해야 할 중요 과제라 할 수 있다.

출처 및 참고문헌

1. Chen Zhengbo, et. al., “Research and design of activation function hardware implementation methods”, *Journal of Physics: Conference Series* Vol. 1684.; The 2020 International Seminar on Artificial Intelligence, Networking and Information Technology, 2020.09.18.-20.
2. Dharmendra S. Modha, et. al., “Neural inference at the frontier of energy, space, and time”, *Science* Vol. 382 Issue 6668, pp. 329-335. 2023.10.19.
3. Kashif Inayat & Jaeyong Chung, “Carry-Propagation-Adder-Factored Gemmini Systolic Array for Machine Learning Acceleration”, *Electronics* Vol. 10 Issue 6, 652, 2021.03.11.
4. Tianshi Chen, et. al., “DianNao: a small-footprint high-throughput accelerator for ubiquitous machine-learning”, *ACM SIGPLAN Notices* Vol. 49 Issue 4, pp. 269-284. 2014.02.24.; ASPLOS 2014.03.01.-05.
5. U. Franke & A. Joos, “Real-time stereo vision for urban traffic scene understanding”, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000*, 2000.10.05.
6. Dharmendra Modha, “IBM NorthPole Neural Inference Machine”, *HOT Chips 2023*, 2023.08.
7. Jade Liu, “Arm, ASE, BMW Group, Bosch, Cadence, Siemens, SiliconAuto, Synopsys, Tenstorrent and Valeo commit to join imec’s Automotive Chiplet Program”, imec, 2024.10.10.
8. STEVE MCDOWELL, “INSIDE THE IBM NORTHPOLE NEURAL ACCELERATOR”, *Nand Research*, 2023.10.30.
9. “Chimera GPNPU PROCESSORS: A Unified HW/SW Architecture Optimized for On-Device AI Computing”(quadric.io/products)
10. “DENSO and U.S. Startup Quadric Sign Development License Agreement for AI Semiconductor(NPU)”, *Denso 뉴스룸*, 2024.10.29.
11. “The Role of Edge AI in Transforming Industry Trends”, *WEVOLVER*, 2025.06.27. Qualcomm 재인용.
12. LEE Sangduk, “[AI&Chip War: Episode 12] Tesla’s Next Generation Semiconductor AI5 FSD”, *Maeil Business Newspaper*, 「매일경제」, 2025.05.30.
13. Roland Berger, 팔크 마이너스, “자동차, 반도체 중심 밸류체인서 살아남기”, *AEM*, 2020.05. *Elektrobit*에서 재인용.
14. 박정규, “[산업과 기술] 소프트웨어가 삼켜버린 자동차, SDV”, 「월간조선」, 2024.08.
15. “자율주행 자동차의 성능과 효율을 책임질 NVIDIA DRIVE Thor”, *NVIDIA blog*, 2022.09.22.

주행거리 연장형 전기자동차(EREV) 기술 동향

3

하진욱 전기수소차 PD | KEIT 미래자동차실

오세두 수석연구원 | 한국자동차연구원 친환경기술연구소

요약

주행거리 연장형 전기자동차:

전기차의 한계를 넘는 실용적 진화

- 주행거리 연장형 전기자동차(EREV, Extended-Range Electric Vehicle)는 전기모터로만 바퀴를 굴리는 구조에 내연기관 기반의 발전 유닛을 결합한 차세대 전동화 차량이다. 기본적인 구동은 전기로 이뤄지며, 배터리 소진 시에는 발전 유닛이 작동해 자가 충전을 통해 추가 주행을 가능하게 한다. 전기차(BEV, Battery Electric Vehicle)의 친환경성과 주행 성능을 유지하면서도 주행거리 불안과 충전 인프라 부족이라는 단점을 보완할 수 있는 '실용적 전기차'로 평가받고 있다.
- 글로벌 EREV 시장은 2024년 약 130만 대 수준에서 2031년까지 연 16% 이상 성장할 것으로 전망되며, 특히 중국은 Li-Auto, BYD 등을 중심으로 기술과 시장에서 압도적인 주도권을 확보하고 있다. 북미·유럽·한국 등도 전략 차종으로 EREV를 선택하며 시장 다변화에 대응하고 있다.
- 기술적으로는 고효율 발전 유닛, 통합 에너지 제어 시스템, 중소형 배터리와 폐열 회수 기반 열관리 기술 등이 핵심이며, 최근에는 1회 충전·주유 기준 1,000~1,400km 주행이 가능한 고성능 모델들이 상용화되고 있다. 특히 전기모터 기반의 구동 특성과 정속성은 BEV에 가깝고, 발전 유닛은 기존 내연기관 부품 생태계와도 연결돼 산업 전환기의 완충재로서도 주목받고 있다.
- 전기차 보조금 축소, 공급망 리스크 확대, 충전 인프라 미비 등 글로벌 시장의 복합 과제를 고려할 때 EREV는 기술적 현실성과 정책 대응력을 모두 갖춘 전략형 전기차다. 한국은 아직 초기 단계에 있으나, 구동 발전 통합 시스템·통합 열관리 시스템 등 핵심 부품 내재화를 통해 중국 의존도를 줄이고 부품산업의 수출 기회를 창출할 수 있는 기회를 확보해야 한다.

- 향후 정부는 EREV를 전기차로 인정할 수 있는 분류 체계와 인증 기준 마련, 보조금 대상 확대 등의 정책 정비를 추진할 필요가 있으며, 이를 통해 BEV와 HEV(Hybrid Electric Vehicle) 사이의 간극을 메우는 실용적 친환경차로서 EREV의 역할을 강화할 수 있을 것이다.

1. EREV 기술의 개요

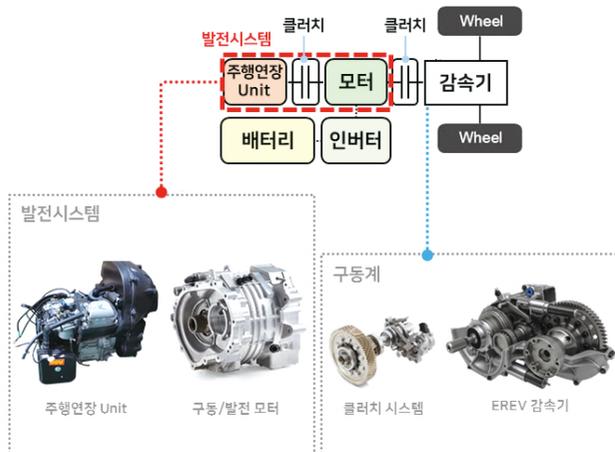
전기로 달리고,
내연기관으로 충전한다

기술의 개념

- 주행거리 연장형 전기자동차(EREV, Extended Range Electric Vehicle)는 전기모터만 바퀴를 굴리는 차량이다. 일반적인 전기차(BEV)처럼 배터리를 충전해 주행하지만, 배터리 전력이 소진되면 탑재된 내연기관(발전 유닛)이 작동하여 자체적으로 전기를 만들고 배터리를 충전하여 주행을 계속할 수 있다.
- EREV는 기존 하이브리드차(HEV)와 다르게 내연기관 엔진과 구동 모터를 주행 환경에 따라 선택적으로 활용하지 않으며, 전기를 ‘주된 에너지원’으로 사용한다는 점에서 친환경성과 주행감은 BEV와 유사하다. 내연기관 엔진은 차량 구동에는 관여하지 않고 오직 발전용으로만 사용되기 때문에 신규 구동/발전 시스템이 적용된 전기차(EREV)로 인정받는 추세다.

그림 1

EREV 시스템 개략도
출처: 한국자동차연구원



기술의 범위

고효율 발전, 통합 열관리,
지능형 제어,
최적 배터리 시스템의 융합

- EREV는 전기차 플랫폼 위에 고도화된 구동/발전 시스템, 통합 열관리 시스템, 지능형 제어 시스템 등의 기술이 통합된 전기차라고 볼 수 있다. 주요 구성은 다음과 같다.
 - 구동/발전 통합 시스템: 고효율 소형 패키징의 내연기관 발전 유닛과 고효율 구동 모터를

통합한 구동/발전 통합 시스템으로, EREV의 심장 역할을 담당하는 핵심 부품이다.

- **통합 열관리 시스템**: 배터리/전장 및 난방 시스템 등 요소 부품별 열관리 기술을 적용하고, 발전 유닛에서 발생하는 폐열을 회수해 에너지를 재활용하는 통합 열관리 시스템은 주행거리 연장을 위한 또 하나의 핵심 부품이다.
- **중소형 고효율 배터리 시스템**: 전기차 절반 용량의 고효율 배터리팩과 관리 시스템(BMS)을 적용하여 안정성을 확보하고, 최적의 SoC와 수명 향상을 위한 컨디셔닝 기술 등이 적용된 주행거리 연장의 핵심 부품이다.
- **통합 제어 시스템**: 구동/발전 시스템 제어, 배터리 및 에너지 관리, 주행 모드 제어 등 중앙집중형 방식의 통합 제어 시스템으로 주행거리 연장의 핵심이자 EREV의 두뇌를 담당하는 부품이다.

그림 2

EREV의 주요 구성 시스템

출처: 한국자동차연구원



등장 배경

전기차의 현실적 한계를 보완하는
수요 대응 전략형 EV

- 최근 전동화 흐름의 대체로 여겨지던 BEV의 성장 속도가 정체되고 있고, HEV 중심의 시장 재편 흐름이 지속되는 가운데 새로운 구동 시스템인 EREV가 주목받는 이유는 분명하다. 단순한 친환경차의 일종이 아니라 기술적·경제적·인프라적 한계를 보완하고 산업 전환기 내연기관 기반 부품 기업과의 상생까지 가능한 '전략형 전기차'라는 점 때문이다.

그림 3

EREV 시스템의 장점

출처: 현대자동차,
Inside Evs(2024.08)



그 배경을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

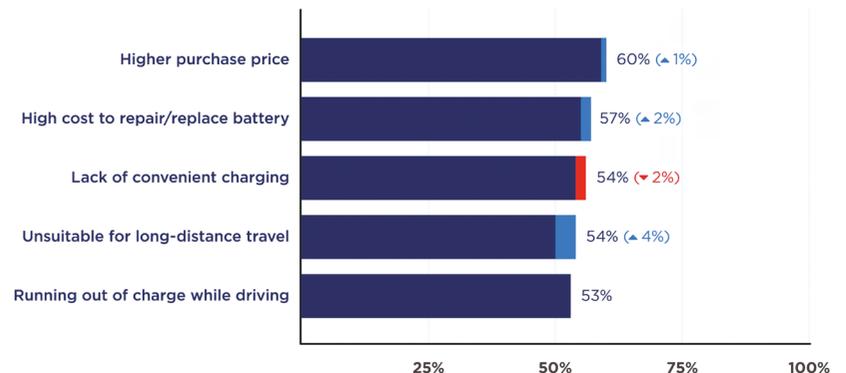
① 주행거리 불안 해소: 장거리
운행에 대한 근본적 대응

- 현재 BEV의 평균 1회 충전 주행거리는 약 500km 수준에 머물고 있다. 고가 모델의 일부가 600km 이상의 주행거리를 제공하지만, 실제 도로 주행 환경에서는 기온·주행 속도·에어컨/히터 사용 등에 따라 실제 주행거리가 20~30% 감소하는 것이 일반적이다. 이러한 상황에서 소위 '주행거리 불안(Range Anxiety)' 현상이 소비자 구매 저해 요인으로 꾸준히 제기되고 있다. 특히 북미, 중국, 유럽 대륙 등 광역 국가에서는 1,000km 이상의 장거리 운행 수요가 많으며, 충전 걱정 없이 장거리 여행을 원하는 소비자의 니즈가 강하다.
- EREV는 전기모터 기반 구동과 발전 유닛을 결합해 1,000~1,400km 이상의 실주행 거리를 확보할 수 있다. 일반 운전자의 주유·충전 주기가 획기적으로 길어지고, 장거리 출장이 많은 법인·상업용 차량 군에서도 높은 실용성을 제공한다.

그림 4

BEV 구매를 망설이는 주요 요인
(2022년과 2024년 조사 비교)

출처: American Automobile
Association(2024.06)



② 충전 인프라 제약 극복:
도심·외곽 구분 없는
유연한 사용성

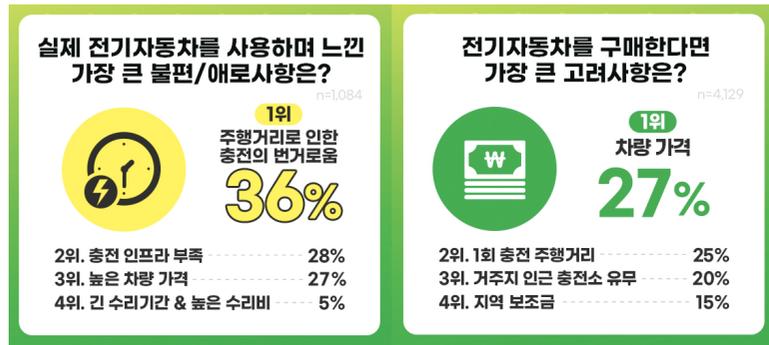
- BEV의 또 다른 한계는 충전 인프라의 편차다. 대도시와 신축 아파트 단지에서는 급속충전기에 대한 접근성이 빠르게 개선되고 있지만, 지방 중소 도시·농촌·산간 지역에서는 여전히 충전소 접근성이 낮다. 또한 아파트 주민 다수가 지상 주차장을

이용하거나 충전기 설치 협의가 원활하지 못한 환경에서는 BEV 운용이 불편하다. 충전 시간 자체도 주유 대비 길기 때문에 상용차나 잦은 이동이 필요한 소비자에게는 장애 요인이 된다.

- EREV는 주유만으로도 발전 유닛을 통해 자가 충전 상태에서 주행을 계속할 수 있으며, 주유소는 전국 어디서나 이용 가능하므로 도심·외곽·고속도로 구분 없이 자유로운 사용성을 확보할 수 있다. 이는 BEV가 해결하기 어려운 인프라 문제를 뛰어넘는 실질적 장점이다.

그림 5

전기차 구매 관련 설문조사
출처 : EV 트렌드 코리아,
지피코리아(2024.02)



③ 배터리 비용 절감 및 공급망 리스크 완화

- 현재 BEV의 제조원가 중 배터리가 약 40% 내외를 차지한다. 고성능 배터리를 대량으로 사용하면서 차량 단가가 상승하고 있으며, 리튬·니켈·코발트 등 희귀 금속 자원 확보 경쟁이 치열해지고 있다. 공급망 리스크가 커지면서 원재료 가격의 변동성 또한 심화되고 있다.

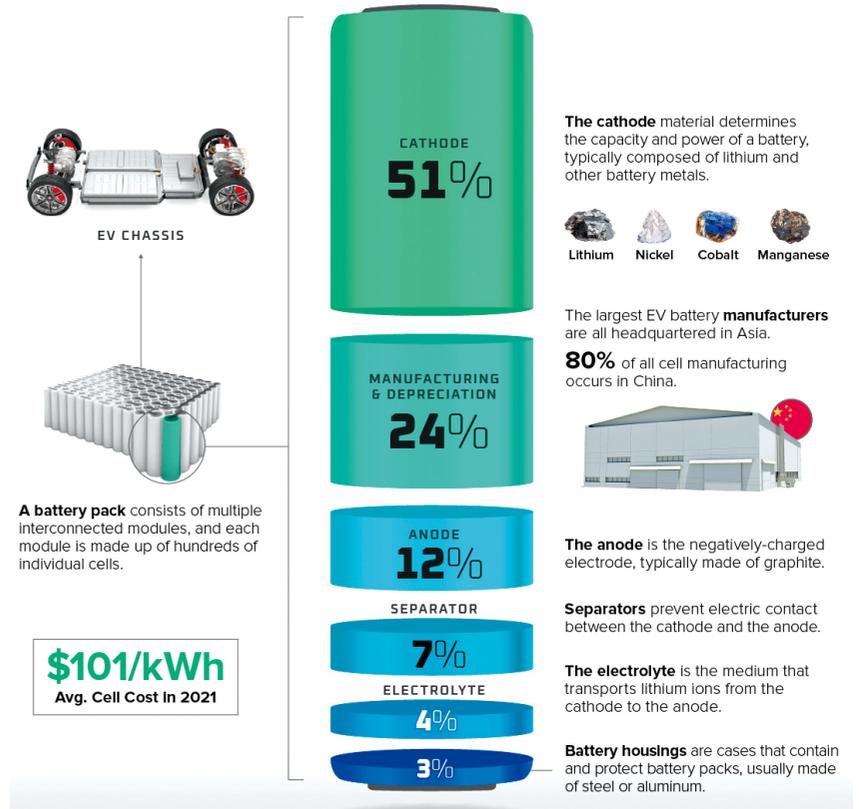
- EREV는 고성능 발전 유닛과 통합 제어 시스템을 활용해 배터리 용량을 BEV 대비 절반 이하 수준(30~35kWh 이하)으로 설계할 수 있다. 이는 생산 단가를 낮추고, 희귀 금속 수요도 줄여 공급망 안정성과 제조원가 경쟁력을 동시에 확보하는 효과가 있다. 또한 배터리 대형화를 추진해야 하는 BEV 대비 설계 유연성이 높아 다양한 차종에 대응이 가능하다는 점도 부각되고 있다.

그림 6

전기차 배터리팩의 원가 비율

출처: mining.com(2022.02),

BloombergNEF



④ 보조금 축소 대응 및 시장 변화에 유연한 전략

- 미국, 유럽 등 주요 시장에서는 BEV 보조금이 축소되거나 단계적 종료가 진행되고 있다. 예를 들어, 독일과 프랑스는 BEV 구매 보조금 규모를 축소하고 있으며, 미국 IRA(「인플레이션 감축법」)는 배터리 원산지 조건·생산지 요건 등 복잡한 제한을 걸어 해외 생산 BEV의 시장 진입에 어려움을 주고 있다.
- 반면에 EREV는 전기주행 우선 구조를 유지하면서 HEV보다 높은 전비(전기 효율)를 제공하므로 HEV 이상의 연비 혜택과 전기차 수준의 세제 감면·주차 혜택 등을 받을 수 있는 경우가 많다. 또한 국가에 따라 CO₂ 배출 기준 충족 시 BEV와 유사한 보조금 적용이 가능하며, 보조금 변화에 대한 시장 적응력이 우수하다. 나아가 정책 변화 리스크가 높아진 BEV 전용 전략 대비 안정적인 대응 포트폴리오를 구축할 수 있다는 점에서 제조사들의 관심이 집중되고 있다.

2. 국내외 시장 동향

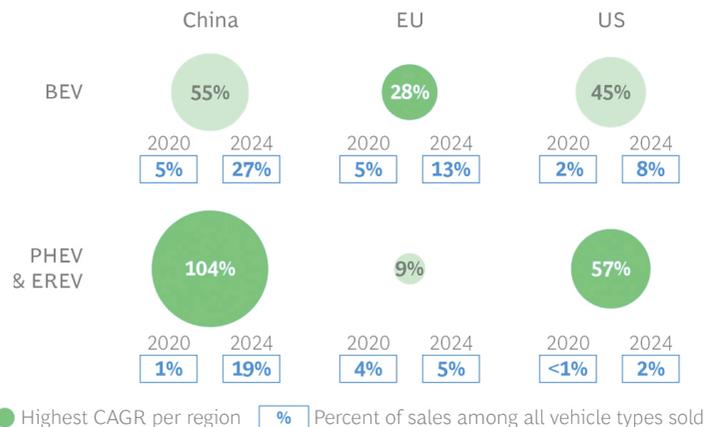
글로벌 확산 진행

시장은 열렸고,
기술은 움직이고 있다

- EREV는 이미 주요 글로벌 자동차 시장에서 빠르게 확장되고 있다. 초기에는 PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)의 하위 기술로 인식되었으나, 최근에는 독립적인 카테고리 자리매김하면서 ‘차세대 실용 전기차’로 주목받고 있다.
- 시장 성장 측면에서도 EREV는 매우 유망한 영역으로 부각되고 있다. 글로벌 기준으로 PHEV는 2024년 3분기까지 전년 대비 40% 이상의 성장률을 기록했으며, 이는 BEV의 성장률(약 7%)보다 훨씬 높은 수치다.
- BCG(보스턴컨설팅그룹)에 따르면, 중국의 PHEV와 EREV 합산 연평균성장률(CAGR)이 2020~2024년 기간 동안 약 104%로 BEV의 55% 성장보다 두 배 가까이 높았다. 미국 시장에서도 BEV의 연평균성장률 대비 EREV의 성장률이 더 높은 수치를 기록한 것으로 집계되었다.
- EREV는 PHEV 시장 내에서도 핵심 성장 동력으로 작용하고 있다. 전체 PHEV 시장 중 EREV의 비중은 빠르게 증가하고 있으며, 일부 보고서에서는 향후 5년 내 BEV와 EREV가 친환경차 시장의 양대 축으로 자리할 것으로 전망하고 있다. 또 유럽과 북미 시장에서도 BEV 보조금 축소 흐름에 따라 EREV 채택이 증가할 것으로 예상된다.

그림 7

BEV와 EREV의 연평균성장률 비교
출처: 보스턴컨설팅그룹(2025.02)



중국 중심의 급성장

EREV,
새로운 시장으로 발돋움하다

- EREV 시장의 성장은 중국이 주도하고 있다. 2024년 기준 글로벌 EREV 판매량은 약 130만 대로 집계되었으며, 이 중 약 98%가 중국 시장에서 판매되었다. 중국의

경우 전기차 보급 확대와 내연기관 차량 퇴출 정책이 맞물리면서 EREV에 대한 수요가 폭발적으로 증가하는 추세다. 특히 중국 제조사들은 정부의 강력한 정책 지원과 폭발적인 내수 수요를 바탕으로 기술 개발과 시장 출시를 빠르게 진행하고 있다. 대표적인 사례로 Li-Auto는 EREV 전용 플랫폼을 기반으로 2019년 ‘Li One’ 출시 이후 꾸준한 판매 성장을 이어가고 있다. 2023년에는 약 38만 대를 판매하며 전체 EREV 시장의 절반 이상을 차지했고, 2024년에는 약 49.7만 대를 판매하여 38% 이상의 점유율을 기록한 것으로 확인된다. 기술적으로도 Li-Auto는 고효율 발전 유닛, 대형 배터리(52.3kWh), 최대 1,412km의 주행거리를 갖춘 ‘Li-9’ 모델을 통해 고급 SUV 시장까지 공략 중이다.

○ 또한 BYD는 자사의 플러그인 하이브리드시스템인 ‘DM-i’ 플랫폼을 기반으로 ‘Song Plus’ ‘Tang’ ‘Han’ 등 다양한 EREV 모델을 출시하고 있으며, 1,000km 이상의 주행 성능을 강조하고 있다.

그림 8

Li-Auto의 EREV 플랫폼과 Li-9 모델

출처: Li-Auto Inc.(2022.06)

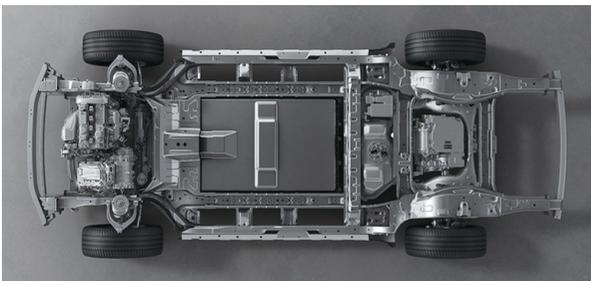
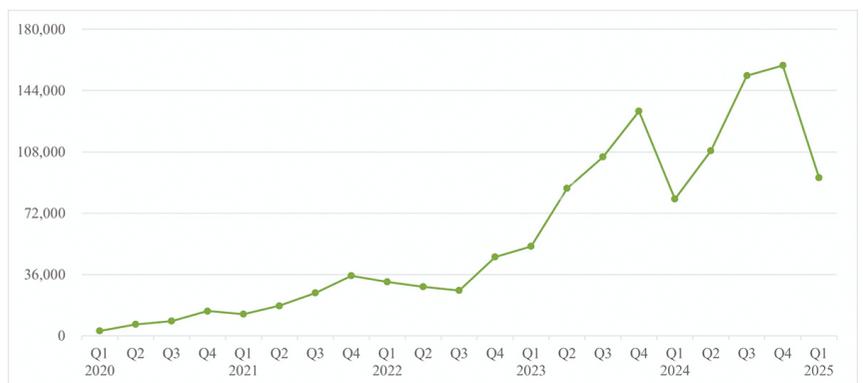


그림 9

Li-Auto의 EREV 판매량 변화 (2020~2024)

출처: CNEVPOST(2025.05)



○ 중국 정부는 BEV 위주였던 친환경차 전략을 다변화하면서 EREV에도 정책적 지원을 확대하고 있다. 특히 전기주행 비율이 높고 고효율 발전 유닛을 탑재한 모델에 대해 BEV 수준의 혜택을 부여하면서 시장에서는 실용성과 가격 경쟁력을 모두 갖춘 EREV를 적극 채택하는 분위기다.

- BYD, Geely(吉利控股集团 [지리]), AITO(问界 [아이토]) 등 주요 완성차 제조사들도 공격적으로 EREV 라인업을 확장 중이다. BYD는 DM-i 플랫폼 기반으로 다양한 SUV와 세단형 모델을 선보이고 있으며, Geely는 프리미엄 택시(TX5)와 일반 승용 모델에서 EREV 전략을 추진 중이다. AITO 또한 Huawei와 협업한 EREV 모델을 통해 기술 차별화를 꾀하고 있다.
- 중국은 세계 최대 내수 시장이라는 기반 위에 공격적 기술 투자와 가격 경쟁력을 무기 삼아 EREV 시장을 선도하고 있으며, 이 트렌드는 향후 5년간 글로벌 자동차 시장에도 직접적인 영향을 미칠 전망이다.

글로벌 제조사의 EREV 출시 계획

EREV, 중대형 SUV 차량으로서 최선의 선택

- 현대자동차와 기아도 북미 시장을 겨냥해 2027년부터 신타페, GV70, 텔루라이드 등 EREV SUV 모델을 본격 출시할 계획이다. 스텔란티스(Stellantis) 그룹은 미국 브랜드 램 트럭스(Ram Trucks)의 픽업트럭인 '램 1500'의 EREV 버전을 개발하며, 주행거리는 1,100km를 목표로 하고 있다. 포드 역시 대형 SUV와 트럭 부문에서 전기차 대신 EREV를 도입한다는 전략을 밝힌 바 있다.
- 이처럼 주요 글로벌 자동차 제조사들이 EREV를 미래 친환경차 전략의 핵심 포트폴리오로 포함시키고 있어 향후 글로벌 자동차 시장에서 EREV의 존재감은 더욱 확대될 것으로 예상된다.

그림 10

제조사별 EREV 개발 현황
출처: 매일경제(2025.04)



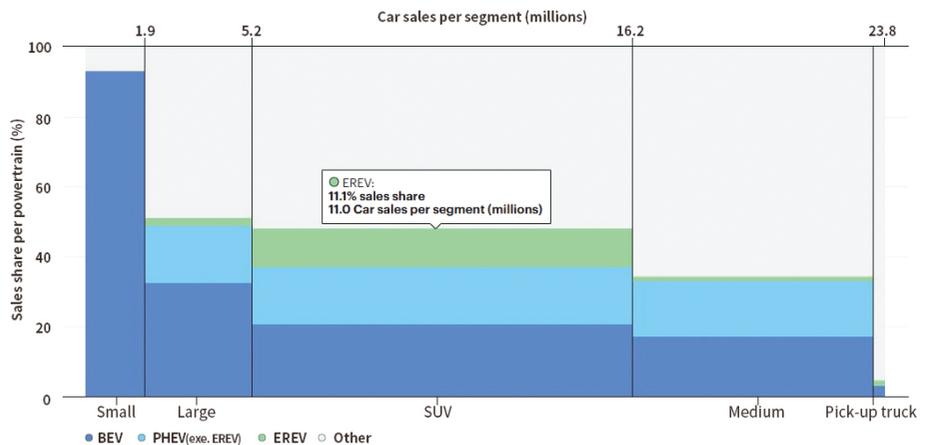
시장 수요 변화

BEV 성장 둔화, EREV 수요 급증

- 글로벌 친환경차 시장에서 BEV의 성장을 둔화에 따라 HEV와 EREV의 수요 급증 현상이 뚜렷하게 나타나고 있다. 2024년 글로벌 전기동력차 판매량(1,866만 대) 중 BEV는 전년 대비 7.4% 성장에 그쳤다. 이는 고가화된 BEV 가격, 충전 인프라의 불균형, 장거리 주행 한계 등 복합적인 요인이 반영된 결과다. 반면에 PHEV는 무려 40.2% 성장하며 시장 내 존재감을 빠르게 확대하고 있다.
- 특히 EREV 시장은 BEV 대비 2배 이상의 성장률을 보이며 고성장 영역으로 부각되고 있다. 일부 국가는 전기주행 비율이 높은 EREV 모델에 대해 전기차 보조금 및 친환경차 혜택을 확대 적용하면서 기술적·정책적 우위를 EREV가 확보해 가고 있다. 중국의 경우 EREV가 침체된 친환경차 시장의 성장을 견인하고 있으며, 유럽과 북미에서도 BEV 중심 전략의 한계를 보완하기 위한 EREV 도입 움직임이 활발하다.
- 이러한 흐름은 단기 트렌드가 아니라 구조적 변화로 이어질 가능성이 높다. 글로벌 OEM들은 EREV를 미드/하이 엔드 시장과 고부가가치 SUV 세그먼트까지 확장하는 전략도 추진 중이다.

그림 11

2024년 중국 중대형 SUV
차종 가운데 EREV
판매량의 증대
출처: International
Energy Agency
(2025.03)



정책 및 보조금

규제와 보조금 변화, EREV에 유리하게 작용

- 글로벌 정책 변화는 EREV 시장 확대에 긍정적인 요인으로 작용하고 있다. 미국은 IRA 개정을 통해 북미 생산 조건 미충족 시 전기차 세액 공제를 제한하고 있으며, '무공해차 의무 판매제도/전기차 의무비율(ZEV Mandate)' 정책도 일부 후퇴하는 움직임을 보이고 있다. 이는 수입 BEV의 북미 시장 경쟁력을 저하시키는 결과로 이어지고 있다.

- 유럽에서도 BEV 보조금 축소가 가속화되고 있다. 유럽 주요 국가들은 2024년부터 BEV 보조금 규모를 단계적으로 축소 또는 종료했으며, 상대적으로 HEV와 EREV 중심의 차종이 부상하고 있다. 특히「Proposal for Regulation(EU) 2019/631」 법안에 의해 유럽 내 판매되는 자동차의 CO₂ 배출량에 대한 규제가 강화되는 것으로 제정되었으며, CO₂ 배출량 일정 기준 이하인 EREV를 BEV에 준하는 친환경차로 인정해 보조금을 지급하는 방안이 검토되고 있다. 이는 EREV가 기술적 진화뿐 아니라 제도적 기반에서도 유리한 입지를 확보하고 있음을 보여 준다.
- 이처럼 정책 변화에 유연하게 대응할 수 있는 친환경차로서 EREV의 전략적 가치가 높아지고 있으며, 각국 OEM들은 이를 반영한 제품 전략을 빠르게 가다듬고 있다.

3. 국내외 기술 동향

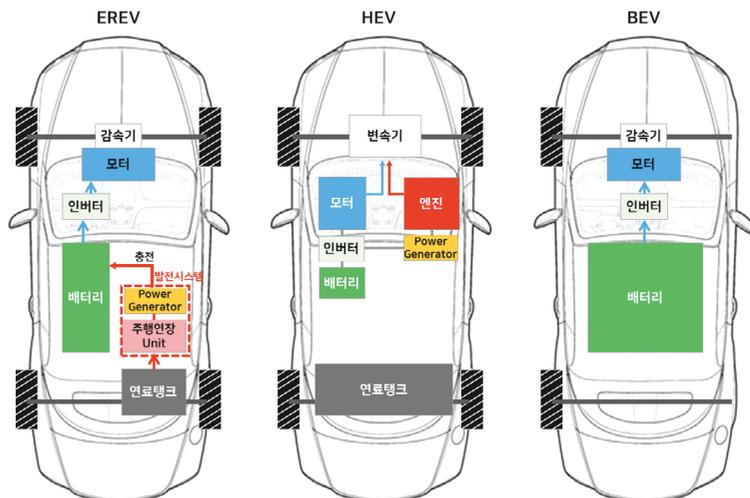
기술의 실용성

PHEV를 뛰어넘는 BEV의 실용적 진화

- EREV는 PHEV의 하위 범주로 분류되기도 한다. 하지만 최근 기술적 구조와 친환경성 측면에서는 BEV에 더 가까운 진화형 전기차로 평가되고 있으며, 시장 확대에 따라 새로운 분류의 전기차로 인정받는 분위기가 형성되고 있다. PHEV는 통상적으로 엔진과 모터가 병렬로 동력을 제공하지만, EREV는 엔진이 바퀴를 직접 구동하지 않고 발전만 담당하는 신규 구동/발전 시스템이 적용된 전기차다.
- 이에 따라 EREV는 100% 전기모터 기반으로 주행하며, HEV 대비 배출가스 발생 시점과 양이 훨씬 적다. 정속성·응답성·가속 성능 등에서도 BEV 수준의 운전 경험을 제공한다.

그림 12

차종별 구동 시스템 비교 (EREV, HEV, BEV)
출처: 한국자동차연구원



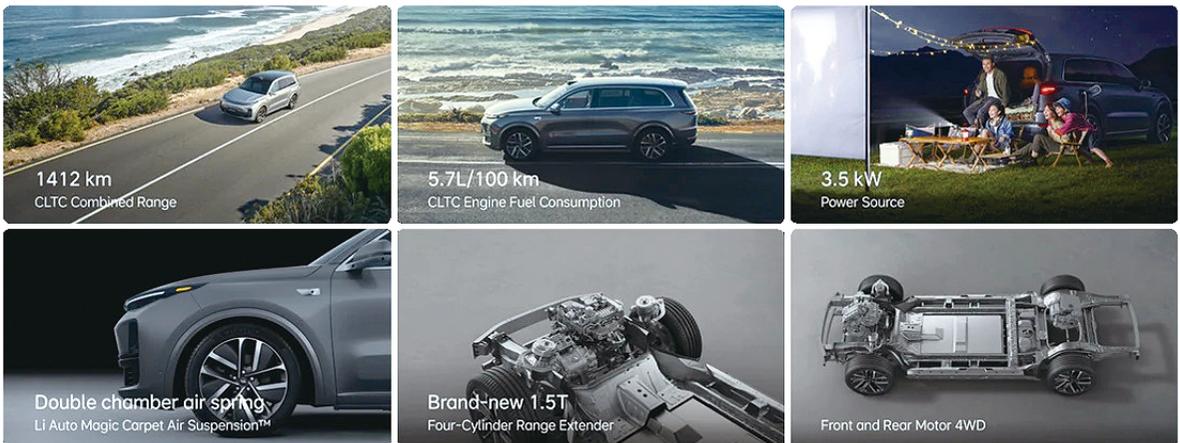
중국의 선도

Li-Auto, 기술 상용화와 대량생산 모두 달성

- EREV 기술 상용화에서는 중국이 단연 선두에 있다. Li-Auto는 EREV 전용 플랫폼을 기반으로 기술적·상업적 성과를 동시에 달성한 사례로 꼽힌다. 기술적으로 Li-Auto는 고효율 발전 유닛(1.5리터 터보 엔진)과 대용량 배터리(52.3kWh), 고성능 구동 모터를 결합한 EREV 플랫폼을 개발했다. 'Li-9' 모델은 최대 1,412km의 주행거리를 제공하며, 정숙성과 실내 NVH(Noise, Vibration, Harshness) 성능에서도 BEV에 준하는 수준을 달성했다.
- Li-Auto의 EREV는 단순한 기술 개발을 넘어 대량생산 체계와 품질관리 역량까지 확보했다는 점에서 의미가 크다. 실제로 연간 50만 대 수준의 생산·판매가 가능할 정도로 플랫폼 최적화 및 공급망 안정화가 이루어졌다. Li-Auto의 성공은 중국 OEM들이 BEV 단일 전략에서 벗어나 EREV를 유력한 친환경차 포트폴리오로 채택하게 만드는 촉매 역할을 했다.

그림 13

Li-Auto의 'Li-9' 모델의 EREV 기술
출처: Li-Auto



- 2025년 전 세계 출시된 EREV 차량의 핵심 부품에 대한 성능을 비교한 결과, 주요 핵심 부품에 대한 최고 사양을 중국 제조사들의 차량이 차지한 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 중국 제조사들이 EREV 초기 시장 선점과 기술 경쟁력 강화를 위해 치열한 경쟁 중임을 알 수 있다.

표 1

2025년 출시된 EREV 차량 및
핵심 부품별 최고 사양 비교
출처: The Autopian(2024.07)

구분	제조사	모델명	사양
배터리 용량	Dongfeng Motors	M-Hero 917	65.8kW/h
연료탱크 용량	Dongfeng Motors	M-Hero 917	84 Liter
전기 소비량	Chery Auto	Sterra ET	17.3 kWh/100km
종합 주행거리	Chery Auto	Sterra ET	943 miles
전기 주행거리	NETA	Neta L	193 miles
차량 크기	Changan	Changan Hunter	5.3m

국내 기술 대응

EREV에 특화된 모터·발전기·제어 기술 개발 중

- 국내에서는 글로벌 선진사와의 기술 격차를 줄이기 위해 현대차그룹과 주요 부품사들이 EREV 특화 기술 개발에 본격 착수하고 있다. BEV와 HEV 분야에서는 세계적인 기술력을 확보하고 있으나, EREV 분야는 구조적·전략적 전환이 필요한 영역으로서 아직 상대적 후발주자라는 평가를 받고 있다. 이에 따라 국내 기업들은 EREV 전용 시스템과 핵심 부품 기술을 중심으로 기술 내재화와 플랫폼화를 동시에 추진 중이다.
- 현재 국내에서 개발 중인 주요 기술 분야는 다음과 같다.
 - 듀얼 모터 기반 발전/구동 통합 시스템 → 고효율 구동과 고성능 발전을 동시에 지원
 - 고효율·저소음 발전 유닛 → 발전 시 실내 소음 2dB 이하로 유지, BEV급 정속성 구현 목표로 NVH 최적화 설계 적용
 - 통합 제어 시스템(VPC: Vehicle Power Controller) → 모터, 배터리, 발전기 간 에너지 흐름의 실시간 최적화를 통해 전비(Wh/km)와 주행 안정성 동시 확보
 - 폐열 회수 기반 통합 열관리 시스템 → 엔진과 배터리에서 발생하는 열을 히트펌프와 연계해 효율적으로 재활용함으로써 동절기 에너지 손실 최소화
- 현대차는 2027년 출시를 목표로 북미 시장 중심의 고성능 EREV SUV 플랫폼을 개발 중이며, 이를 위해 구동 모터, 발전기, 고출력 인버터, BMS(배터리 관리 시스템), 다중열원 기반 열관리 시스템 등 EREV 전용 파워트레인 요소의 선행 기술 확보에 집중하고 있다. 특히 EREV는 기존 내연기관 부품과 생산 시설을 재활용할 수 있는 구조이기 때문에 부품사 중심의 국내 산업 생태계 전환 전략과도 맞닿아 있다.
- 국내 주요 부품사들 역시 내연기관 부품 활용이 가능한 EREV 시장의 확장성에 주목하고 있으며, 고효율 구동/발전 시스템, 폐열 회수 시스템, 고밀도 열관리 부품 등 플랫폼 연계형 선행 부품 기술 확보에 박차를 가하고 있다. 일부 기업은 EREV 특화

기술을 중심으로 북미·중국·동남아 지역 완성차 제조사와의 공동 개발 및 수출 협력도 적극적으로 추진 중이다.

그림 14

현대자동차의 EREV 시스템 개념도
출처: M TODAY(2025.05),
현대자동차그룹



4. 시사점

BEV의 한계를 보완하는
실용적 대안

- EREV는 현재 BEV의 한계를 보완하는 가장 현실적이고 실용적인 친환경차 솔루션으로 평가받고 있다. 반면 BEV는 충전 인프라 확충과 배터리 원가 문제, 주행거리 불안 등으로 글로벌 시장에서 성장이 다소 둔화되고 있다.
 - 주행거리 1,000~1,400km 수준 확보
 - 충전소 의존 없이 주유 기반 장거리 운행 가능
 - 절반 수준의 배터리로 가격 경쟁력 확보
 - 전기모터 기반의 친환경 주행 성능 유지

산업 생태계 전환기,
내연기관 산업의 연착륙 역할

- EREV는 현재 시장과 소비자 요구에 부합하는 친환경차로 부상하고 있다. 특히 전기 인프라 구축이 제한적인 국가 및 지역(북미, 동유럽, 동남아, 중남미 등)에서도 EREV는 빠르게 채택될 수 있는 전동화 전략으로 각광 받고 있다. 이는 BEV 단일 전략으로 대응하기 어려운 지역의 시장을 선점할 수 있는 기회를 제공한다.
- EREV는 내연기관 부품 산업과의 연결성이 높아 산업 전환기에 ‘완충재’ 역할을 할 수 있다는 점에서 매우 중요한 의미를 가진다. 현재 전기차 전환으로 인해 내연기관차 중심으로 성장해 온 부품사들의 경영 불확실성이 커지고 있으며, 고용 및 지역 경제에도 파급효과가 크다.
 - 발전 유닛, 냉각 시스템, 엔진 제어, 열관리 부품 등 기존 내연기관 부품사의 역량을 활용 가능
 - 기존 부품사 공급망을 활용한 점진적 전동화 전환 지원
 - 중소형 부품사의 생존 기반 확보

- 여러 가지 측면에서 자동차산업 생태계 전환의 충격을 완화하는 완충재 역할을 할 수 있다. 이는 정부 정책에서도 고용 안정성 확보, 지역 산업 보호, 중소기업 생태계 유지라는 측면에서 매우 긍정적 효과를 기대할 수 있다.

수출 시장 대응력 제고 및 경쟁 우위 확보

- EREV는 글로벌 정책 변화에 민감하게 대응할 수 있는 전략형 전기차로서 수출 경쟁력을 확보할 수 있다. 미국의 IRA(「인플레이션 감축법」)과 유럽의 탄소국경조정제도(CBAM) 등은 BEV의 생산·수출에 큰 제약 요인이 되고 있다. 특히 BEV는 배터리 원산지 규제, 현지 생산 요건 등으로 인해 한국의 완성차·부품 기업에 불리한 상황이 발생하고 있다.
 - 배터리 의존도가 낮아 원산지 규제 영향 적음
 - 내연기관 부품의 포함으로 다변화된 공급망 구성 가능
 - 현지 생산 및 조립이 유연하게 가능해 정책 대응력 우수
- EREV는 수출시장 대응 측면에서 다양한 장점이 있다. 이에 따라 수출시장 대응에서 BEV 대비 경쟁 우위를 확보할 수 있으며, 한국산 EREV가 북미·유럽·중남미·아세안 시장에서 전략 차종으로 활용될 가능성이 높다.

국내 기술 주권 확보와 부품 산업 자립의 기회

- 현재 EREV에 대한 핵심 기술과 부품은 중국이 시장을 선점하고 있다. Li-Auto, BYD, AITO 등은 EREV 전용 플랫폼 및 전용 부품 생태계까지 구축한 상황이다.
- 국내가 빠르게 EREV 기술 내재화와 고도화에 성공하지 못할 경우, ① 중국산 부품 의존도 심화, ② 국내 완성차 EREV 생산 시 기술적 종속 우려, ③ 중장기 산업 경쟁력 저하 및 자동차산업 전반적으로 경쟁력이 저하되는 리스크가 발생할 수 있다.
- 반면에 지금 시점에서 EREV 기술을 국산화하고 고효율 구동 발전 시스템·열관리 통합 시스템·제어 시스템 등 핵심 부품을 선도 기술로 확보한다면 기존 내연기관 부품사들의 고부가가치 전환을 촉진하고 완성차·부품사 간 동반 성장의 기반을 마련할 수 있다. 나아가 글로벌 EREV 부품 수출 시장 선점이 가능하여 산업·기술·경제적 파급효과를 기대할 수 있다. 이는 정부와 산업계가 공동으로 추진해야 할 핵심 전략 방향이다.

1. Elizabeth Carey, "Is the EV Hype Over?", American Automobile Association, 2024.06.06.
2. Govind Bhutada, "Breaking Down the Cost of an EV Battery Cell", Elements, 2022.02.22.
3. Patrick George, "Hyundai Ioniq 9 Three-Row SUV To Be Built In America: 560-Mile 'EREV' In 2026", *Inside Evs*, 2024.08.28. 현대자동차 재인용.
4. Phate Zhang, "Li Auto to report Q1 2025 earnings on May 29", *CNEVPOST*, 2025.05.12.
5. Rob Grosvenor, Kathrin Pannier, Alex Xie, and Zhigang Shi, "What China's EV Market Can Teach US and EU Automakers", Boston Consulting Group, 2025.02.24.: BCG BEV adoption survey China, S&P Global Mobility 재인용.
6. Tycho de Feijter, "Gasoline 'Extended Range Electric Vehicles' Are Huge In China And These Amazing Cars Explain Why", *The Autopian*, 2024.07.01.
7. "Electric Vehicle Outlook 2024", *BloombergNEF*, 2024.
8. "Global EREV Market Forecast 2024–2031", Verified Market Research, 2024.
9. "Global EV Outlook 2024", IEA, 2024.04.
10. "Here's a breakdown of the cost of an EV battery", ARENAEV, 2022.02.23.
11. "L9 Ultra", Li Auto.: lixiang.in.ua/models/li-19
12. "Li Auto Inc. Unveils Li L9, Its Flagship Smart SUV", Li Auto Inc., 2022.06.21. "Series Hybrid EREV Performance Analysis", SAE International, 2022.
13. "Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council", EU, 2019.04.17.
14. "Total car sales in China per segment and powertrain, 2024", Global EV Outlook 2025, International Energy Agency, 2025.03.18.
15. "2024 CEO Investor Day – EREV 시스템 개념도", 현대자동차, 2024.
16. 「2025 전기차 파워트레인별 판매 및 성장률 분석」, 한국자동차산업협동조합, 2025.
17. "Breaking down the cost of an EV battery cell", *mining.com*, 2022.02.23. *BloombergNEF* 재인용.
18. 「EREV 시스템 R&D 기술 리포트」, 한국기계연구원, 2024.
19. 『모빌리티 인사이트』 2024. 08.Vol. 32. 한국자동차연구원, 2024.08.
20. 박제완, "기아 EREV 개발 속도전...텔루라이드에 탑재", 『매일경제』, 2025.04.16.
21. 박한용, "“연료비 vs 충전불편” EV 트렌드코리아, 설문결과 전기차 장단점 뚜렷했다", 『지피코리아』, 2024.02.28. EV 트렌드 코리아 2024 재인용.
22. 이호중, "전기차와 내연기관의 동행, EREV", 『산업동향』 Vol. 63, 한국자동차연구원, 2021.05.10.
23. 임현섭, "“장거리 주행 불안 끝!” 제네시스, 2026년 'GV70 EREV' 출격 예고", 『M TODAY』, 2025.05.09.

전기자동차 파워모듈용 방열기판 시장 및 기술 동향

4

하진욱 전기수소차 PD | KEIT 미래자동차실

김하늘 책임연구원 | 한국재료연구원 나노재료연구본부

요약

- 전기자동차(EV) 시장의 폭발적인 성장과 함께 파워모듈의 고성능화 요구가 증대됨에 따라 전력반도체에서 발생하는 열을 효과적으로 관리하는 방열기판 기술의 중요성이 그 어느 때보다 부각되고 있다. 여기서는 전기차 파워모듈용 방열기판 시장과 기술 동향을 다각적으로 분석하여 주요 변화와 미래 전망을 제시하고자 한다.
- 방열기판의 소재 기술을 보면 기존의 알루미늄(Al_2O_3) 기반 기판에서 열전도율과 기계적 강도가 우수한 질화알루미늄(AlN)과 질화규소(Si_3N_4)로의 전환이 가속화되고 있으며, 특히 Si_3N_4 는 고신뢰성이 요구되는 SiC(탄화규소, 실리콘 카바이드) 전력반도체 파워모듈의 핵심 소재로 자리매김하고 있다. 접합 기술도 기존의 직접구리접합(DBC, Direct Bonded Copper) 방식에서 접합 강도와 신뢰성이 뛰어난 활성금속브레이징(AMB, Active Metal Brazing) 방식으로 진화하며 방열 성능을 극대화하고 있다.
- 산업적으로는 전기차(EV) 시장의 성장에 힘입어 방열기판 시장이 높은 연평균성장률을 보이고 있으며, 특히 SiC 파워모듈 시장 확대와 직접적으로 연동되어 성장하고 있다. 일본, 독일 기업들이 소재와 기판 시장을 주도하는 가운데 한국, 중국 기업들의 기술 추격과 시장점유율 확대 노력이 주목되고 있다. 파워모듈과 완성차 기업들은 핵심 기술 내재화와 공급망 안정을 위해 수직 계열화 및 전략적 제휴를 강화하는 추세다.
- 본고는 이러한 기술적·산업적 동향 분석을 바탕으로 향후 전기차 파워모듈용 방열기판 산업의 발전을 위한 혁신 기술 확보, 인공지능 접목 기술 개발, 그리고 산학연 협력 강화의 필요성을 제안한다.

1. 개요

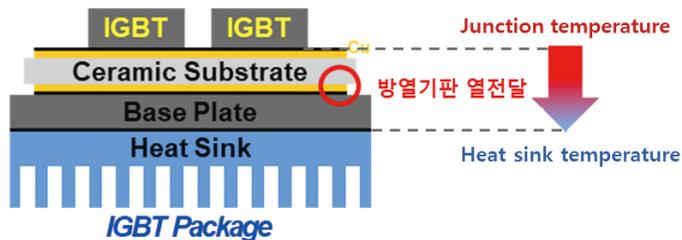
기술의 개념

방열기판의 역할

- 전기자동차의 핵심 구동 부품인 파워모듈은 인버터, 컨버터 등으로 구성되어 배터리의 직류(DC)를 모터 구동을 위한 교류(AC)로 변환하거나 차량 내 다양한 시스템에 필요한 전압으로 변환하는 역할을 수행한다. 이 과정에서 전력반도체 소자인 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor, 절연 게이트 양극성 트랜지스터), MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, 금속 산화막 반도체 전계효과 트랜지스터) 등에서는 상당한 양의 열이 필연적으로 발생한다. 이때 발생된 열을 효과적으로 외부로 방출·해소하지 못할 경우 반도체 소자의 성능 저하, 오작동, 수명 단축을 넘어 심각한 경우 시스템 고장으로 이어질 수 있다. 특히 전기차의 주행거리 증가, 충전 시간 단축, 차량 성능 향상에 대한 요구가 높아짐에 따라 파워모듈의 전력 밀도는 지속해서 증가하고 있으며, 이는 곧 발열량 증가로 직결된다.
- 방열기판은 이러한 전력반도체 칩을 물리적으로 지지하고, 칩에서 발생하는 열을 냉각 시스템으로 신속하게 전달하는 동시에 전기적으로는 절연 상태를 유지해야 하는 매우 중요한 부품이다. 즉 높은 열전도율과 우수한 전기 절연성을 동시에 만족시켜야 하는 기술적 과제를 안고 있다. 전기차가 고전압(예: 800V 시스템)으로 전환되고, SiC(탄화규소) 및 GaN(질화갈륨)과 같은 차세대 ‘와이드밴드갭(WBG)’ 반도체가 채택됨에 따라 기존 실리콘(Si) 반도체 대비 더 높은 온도와 전력 밀도에서 작동하게 되어 방열기판에 요구되는 성능 수준도 높아지고 있다. 이러한 차세대 전력반도체는 기존 Si 반도체에 비해 전력 손실을 줄여 에너지 효율을 높일 수 있지만, 단위 면적당 발열량은 오히려 증가할 수 있어 방열기판의 역할이 더욱 중요해진다.

그림 1

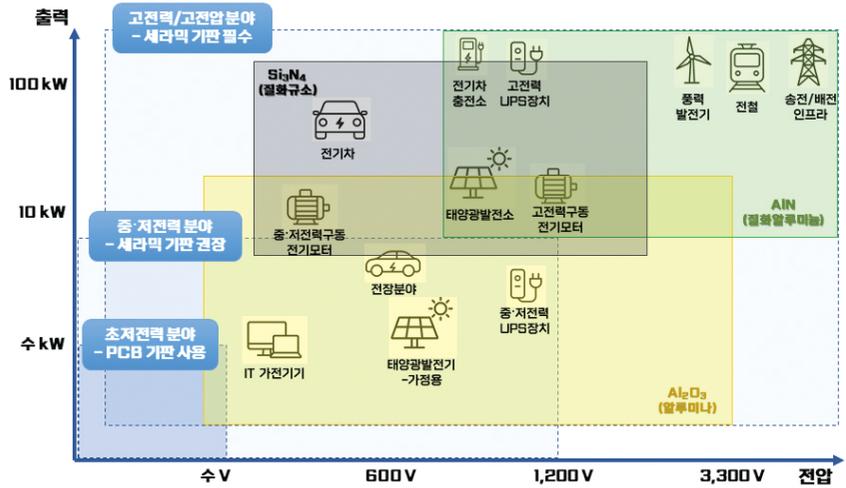
파워모듈 패키지 내에서 방열기판의 열전달 역할
출처: 한국재료연구원



- 이러한 전력반도체 파워모듈에 적용되는 세라믹 방열기판은 위에서 언급한 우수한 방열 성능과 절연 기능을 동시에 갖춘 소재들이 사용되고 있다. 중·저전력 응용 분야인 가정용 IT 기기, 가정용 태양광 충전기 등에는 알루미늄(Al_2O_3) 기판이 사용될 수 있으나, 고전력/고전압 응용 분야인 전기자동차, 전기충전소, 풍력발전기, 전철 등에는 AlN , Si_3N_4 처럼 열전도도가 높고 기계적 신뢰성이 우수한 소재가 필수적이다.

그림 2

방열기판의 다양한 산업 응용 분야
출처: 한국재료연구원

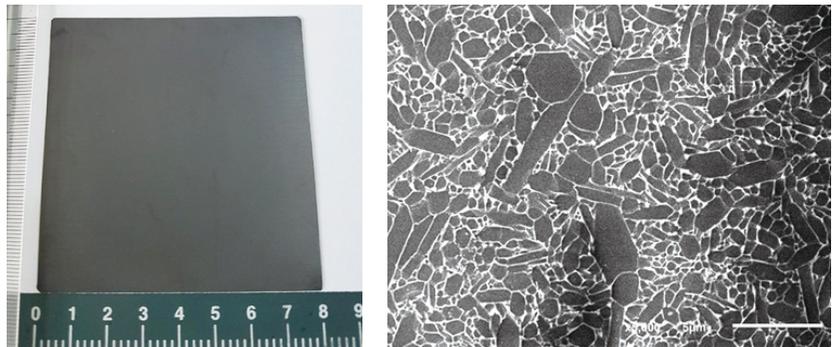


세라믹 방열기판의 개념

○ 세라믹 방열기판은 전기차용 파워모듈의 방열 및 전기 절연 요구사항을 충족시키는 핵심 소재로, 특히 질화알루미늄(AIN)과 질화규소(Si₃N₄)가 주목받고 있다. 이들 소재는 와이드밴드갭 반도체인 SiC와 GaN 소자의 고온/고전력 작동 환경에 적합한 특성을 제공한다. 세라믹 방열기판의 대표적인 제조 방법으로는 ‘테이프 캐스팅(tape-casting)’을 들 수 있으며, 얇은 테이프로 성형된 세라믹을 고온에서 소결 과정을 거쳐 열전도도와 기계적 특성을 동시에 갖춘 기판을 제조한다.

그림 3

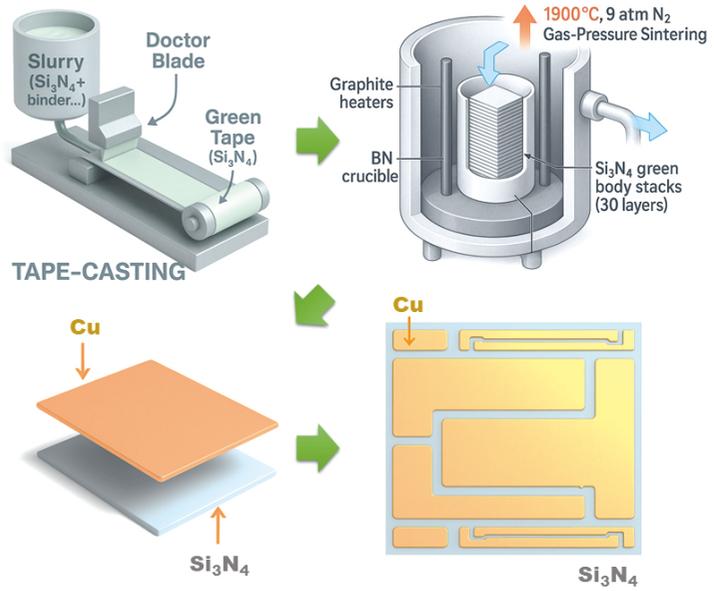
테이프 캐스팅으로 제조된
Si₃N₄ 세라믹 방열기판 및 미세구조
출처: 한국재료연구원



○ 세라믹 방열기판의 양산을 위해서 적용하는 기술인 테이프 캐스팅은 세라믹 분말을 고분자 첨가물(분산제, 결합제, 가소제 등)과 함께 적절한 용매에 혼합하여 균질한 슬러리(slurry)를 만들고 이를 연속된 얇은 판으로 뽑아내는 성형 기술이다. 이렇게 준비된 얇은 테이프는 수십 층으로 적층하여 고온 고압 환경(예: 1,900°C, 9기압 질소)에서 소결 공정을 거쳐 세라믹 판을 제조한다. 그 뒤 반도체 소자 회로를 구성하기 위해 표면에 Al, Cu 등의 금속 필름을 접합하고 회로 설계에 맞게 패터닝하는 작업을 거쳐 최종 부품화된다.

그림 4

질화규소 세라믹 방열기판의
제조 모식도
출처: 한국재료연구원



세라믹 방열기판 소재의 종류

○ 세라믹 방열기판은 우수한 전기 절연성과 함께 금속 회로층을 지지하며, 열을 효과적으로 전달하는 핵심 소재다. 기존에는 가격 경쟁력이 높은 알루미늄이 주로 사용되었으나, SiC나 GaN 반도체의 높은 발열량을 감당하기 위해 고방열 세라믹 소재로의 전환이 이루어지고 있다.

표 1

세라믹 방열기판 소재 종류 및
특성 비교
출처: 한국재료연구원

특성	단위	Al ₂ O ₃	AlN	Si ₃ N ₄
열전도도	W/m·K	24~30	140~230	70~120
열팽창계수	ppm/K	6.7~9.0	4.6~6.0	2.6~3.3
굽힘 강도	MPa	300~500	~400	600~800
파괴 인성	MPa·m ^{1/2}	3	3	6~8
절연파괴	kV/mm	> 15	> 15	> 25
접합방식	-	DBC	DBC, AMB	AMB
가격지수	Al ₂ O ₃ =1	1	~4	> 4

알루미늄: 전통적 세라믹 기판

○ 알루미늄(Al₂O₃)는 가장 전통적으로 사용되어 온 세라믹 기판 소재로, 저렴한 가격과 양호한 기계적 강도, 그리고 안정된 제조 공정이 장점이다. 일반적으로 96% 순도의 알루미늄이 사용되며, 열전도도는 약 20~30W/m·K 수준이다. 이러한 열전도도는 기존 실리콘 기판 IGBT에서는 충분한 성능을 제공하기도 했으나, 전력 밀도가 높은 차세대 SiC나 GaN 반도체에서 발생하는 막대한 열을 효율적으로 방출하는 데에는

한계가 발생한다.

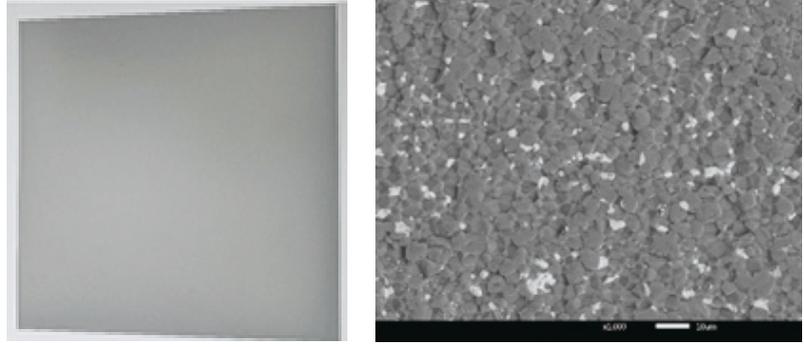
- 또한 알루미늄은 상대적으로 파괴 인성이 낮아 열충격에 취약할 수 있으며, 이를 개선하기 위해 지르코니아(ZrO_2)를 9% 첨가한 HPS(High-Performance Substrate, 또는 ZTA[Zirconia Toughened Alumina]) 기판이 사용되기도 한다. HPS 기판은 알루미늄보다 기계적 강도가 높지만, 열전도도는 여전히 $26\sim 27W/m\cdot K$ 수준에 불과하다. 알루미늄의 열팽창계수(CTE, Coefficient of Thermal Expansion)는 약 $6.8\sim 9ppm/K$ 로, 실리콘(약 $3\sim 4ppm/K$) 및 SiC(약 $4\sim 5ppm/K$)와의 차이가 커서 반복적인 열 사이클 환경에서 반도체 칩과 기판 사이의 접합부에 스트레스를 유발하는 등의 신뢰성 문제가 있다.
- 그럼에도 알루미늄 기판의 경제성은 여전히 매력적인 요소로 작용하여 일부 저전력 응용 분야나 비용에 매우 민감한 시장에서는 활용되고 있다. 그러나 전기차 메인 인버터처럼 고출력·고신뢰성이 요구되는 환경에서는 점차 고성능 세라믹 소재로 대체되는 추세다.

질화알루미늄:
우수한 열전도율과 CTE 정합성

- 질화알루미늄(AIN)은 알루미늄의 열전도율 한계를 극복하기 위한 대안으로 주목받는 소재다. AIN의 가장 큰 장점은 매우 높은 열전도율로, 이론적으로는 $320W/m\cdot K$ 에 달하지만 상용 제품은 일반적으로 $140\sim 200W/m\cdot K$ 범위의 값을 가진다. 이는 알루미늄 대비 5~7배 이상 높은 수치로, SiC나 GaN 반도체에서 발생하는 열을 효과적으로 확산시키고 방출하는 데 유리하다.
- 또한 AIN의 CTE는 약 $4.3\sim 6.2ppm/K$ 로 실리콘이나 SiC 반도체의 CTE와 매우 유사하여 열 사이클 동안 발생하는 기계적 스트레스를 최소화하고 접합부의 신뢰성을 향상시킨다. 이러한 특성 덕분에 AIN은 고전력 파워모듈, 특히 높은 신뢰성이 요구되는 철도, 산업용, 신재생 에너지 분야에서 널리 사용되고 있다.
- 그러나 AIN은 알루미늄에 비해 가격이 상당히 높다는 단점이 있다. 제조 공정이 더 복잡하고 원료 비용이 높아 경제성이 중요한 양산형 전기차 모델에는 부담으로 작용한다. 또한 기계적 강도, 특히 파괴 인성(약 $3.0MPa\cdot m^{1/2}$)이 질화규소보다 낮아 극심한 열충격이나 기계적 스트레스가 반복되는 환경에서는 취약성을 보이기도 한다. 다만 고전압 응용 분야에서는 절연을 위해 두꺼운 세라믹층이 필요한데, 이때 AIN의 높은 열전도율은 두께 증가로 인한 열저항 상승을 상쇄하는 데 기여할 수 있다.

그림 5

질화알루미늄 세라믹 기판 및
미세구조
출처: 한국재료연구원



질화규소: 전기차용 고신뢰성 기판의 핵심 소재

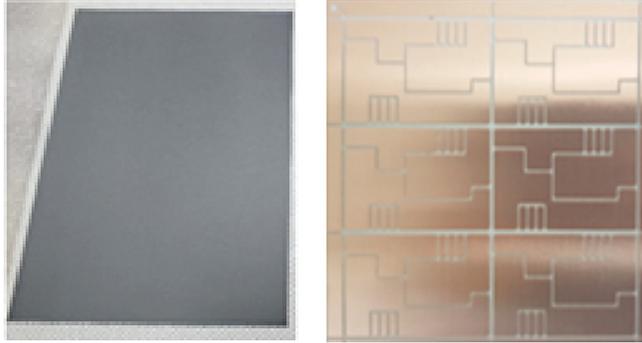
- 질화규소(Si_3N_4)는 전기차 파워모듈, 특히 고전압 SiC 반도체를 사용하는 시스템에서 핵심적인 방열기판 소재로 급부상하고 있다. 상용 Si_3N_4 의 열전도도는 약 $60\sim 110\text{W/m}\cdot\text{K}$ 로 AlN보다 낮지만, 알루미나보다는 훨씬 우수하다. 그렇지만 Si_3N_4 의 가장 큰 장점은 탁월한 기계적 특성에 있다. 굽힘 강도가 700MPa 이상으로 매우 높을 뿐만 아니라 파괴 인성이 약 $6.5\sim 7\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 으로, AlN이나 알루미나(약 $3.0\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) 대비 월등히 우수하다.
- 이처럼 높은 파괴 인성은 반복적인 열충격이나 열 사이클 환경에서 기판의 균열 발생 또는 전파를 효과적으로 억제하여 장기적인 신뢰성을 확보하는 데 결정적인 역할을 한다. 실제 열충격 테스트에서 Si_3N_4 DBC(Direct Bonded Copper, 직접구리접합) 기판은 일반적인 Al_2O_3 DBC 기판보다 20배, Si_3N_4 AMB(Active Metal Brazing, 활성금속브레이징) 기판(0.5mm 구리층)은 50배 이상 우수한 내구성을 보인다고 보고되었다. Si_3N_4 의 CTE는 약 $2.6\sim 3.5\text{ppm/K}$ 로 Si나 SiC 반도체와의 CTE 정합성이 매우 뛰어나 열 스트레스를 최소화할 수 있다. 이는 고온에서 작동하고 전력 밀도가 높은 SiC 모듈의 장기 신뢰성 확보에 매우 중요한 요소다.
- Si_3N_4 기판은 주로 AMB 기술을 통해 Cu 회로층과 접합된다. 이는 AMB 기술이 Si_3N_4 와 같은 비산화물 세라믹과의 접합에 더 적합하고, DBC보다 우수한 접합 강도를 제공하기 때문이다. 또한 AMB 공법은 두꺼운 Cu층(0.8mm 이상) 구현을 가능하게 하여 높은 전류 용량을 요구하는 파워모듈에 적합하다.
- Si_3N_4 기판의 제조 비용은 AlN보다 높은 편이지만, 전기차의 안전 및 내구성과 직결되는 파워모듈의 신뢰성 확보 측면에서 그 가치를 인정받고 있다. 특히 800V의 고전압 시스템으로 전환되고 SiC 전력반도체 탑재 파워모듈의 채택이 늘어나면서 Si_3N_4 AMB 기판은 고성능 EV 파워모듈의 표준으로 자리 잡을 가능성이 크다. 얇은 Si_3N_4 기판(예: 0.32mm)으로도 AlN 기판(예: 0.63mm)과 유사한 열 저항을 달성할 수 있다는 점도

장점으로 작용한다.

그림 6

질화규소 세라믹 기판 및 금속 접합

출처: 한국재료연구원



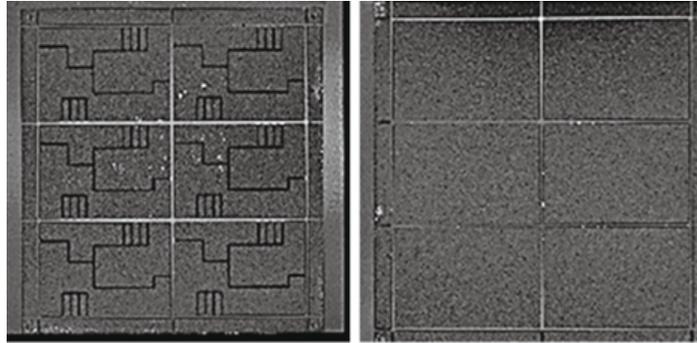
세라믹 방열기판의 금속 접합 기술

- Si_3N_4 는 본질적으로 금속과의 친화력이 낮고, Cu처럼 열팽창계수가 큰 금속과의 접합 시에는 CTE 불일치로 인한 계면 응력 발생이라는 근본적인 문제를 안고 있다. 특히 800 μm 이상 두께의 Cu 박판은 높은 전류 용량과 우수한 열 확산 능력을 제공하는 장점이 있지만, 동시에 두꺼운 Cu층으로 인해 열 사이클 동안 Si_3N_4 -Cu 계면에 더 큰 응력을 유발하게 된다.
- 이처럼 두꺼운 Cu 박판의 사용은 초기 접합 강도 확보뿐만 아니라 장기적인 열-기계적 신뢰성 확보의 중요성을 더욱 각인시킨다. 계면에 존재하는 미세한 기공이나 낮은 필 강도(peel strength)를 가진 영역은 증폭된 응력 하에서 응력 집중점으로 작용하여 박리나 균열 전파의 시작점이 될 가능성이 높기 때문이다. 따라서 이러한 응용 환경에서는 Si_3N_4 표면 거칠기 제어 및 효과적인 표면 처리를 통해 초기 접합 특성을 극대화하고, 반복적인 열-기계적 부하를 견딜 수 있는 강건한 계면을 형성하는 것이 매우 중요하다.
- Si_3N_4 -Cu 접합부의 신뢰성을 평가하는 핵심 지표는 필 강도와 계면 기공(void)의 존재 유무다. 필 강도는 접합 계면의 접착력을 정량적으로 나타내는 척도로, 단위 폭의 접합부를 박리하는 데 필요한 힘으로 정의된다. 높은 필 강도는 계면이 외부 응력에 대한 강한 저항성을 의미하며, 이는 소자의 기계적 안정성과 직결된다.
- 계면 기공은 접합부의 건전성을 저해하는 주요 결함이다. 기공은 접합 계면의 열전도 경로를 방해하여 국부적인 열점(hot spot)을 형성하고, 이는 소자의 과열이나 성능 저하로 이어질 수 있다. 또한 기공은 전기 절연 성능을 약화시켜 부분 방전(partial discharge)의 위험을 높이고, 기계적으로는 응력 집중점으로 작용하여 균열

발생이나 전파를 촉진함으로써 접합부의 장기적인 신뢰성을 심각하게 손상시킨다. 주사초음파현미경(SAT, Scanning Acoustic Tomography) 검사는 이러한 계면 기공을 비파괴적으로 검출하고 분포와 크기를 정량화하는 데 효과적인 분석 기법으로 널리 활용된다.

그림 7

Cu-질화규소 접합기판의 초음파현미경 기공 검사 출처: 한국재료연구원



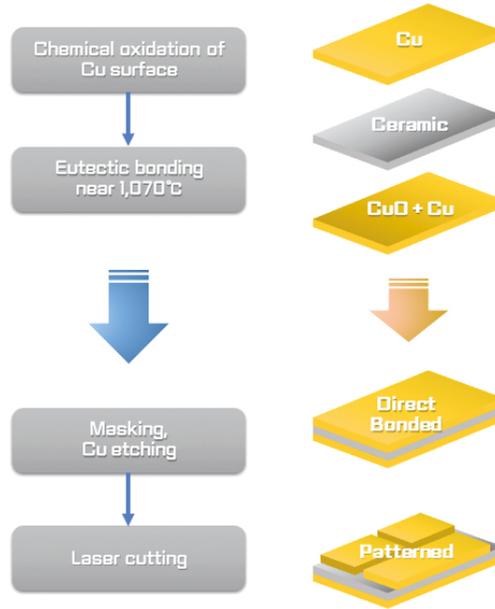
직접구리접합 (Direct Bonded Copper/ Direct Copper Bonding)

- DBC 기술은 세라믹 기판(주로 Al_2O_3 또는 AlN) 양면에 Cu 박판을 고온(약 $1,000^{\circ}C$ 이상)에서 직접 접합하는 기술이다. 이 공정은 구리와 세라믹 계면에 산소를 도입하여 Cu/O 공융액상(eutectic liquid phase)을 형성하고, 이 액상이 세라믹 기판에 정착되면서 이루어진다. AlN 이나 Si_3N_4 와 같은 비산화물 세라믹에 DBC를 적용하려면 표면을 먼저 산화시키는 전처리 공정이 필요하다.
- DBC 기술의 장점은 비교적 공정이 단순하고 세라믹 기판과 구리 간의 열팽창계수 차이가 크지 않아(특히 AlN 의 경우 Si 과 유사) 양호한 열 사이클 성능을 보인다는 점이다. 또한 우수한 전기 절연성과 양호한 열 확산 특성도 제공한다. 그러나 DBC 접합에는 몇 가지 한계점이 있다. 첫째, 극심한 열충격이나 반복적인 열 사이클 환경에서는 세라믹과 구리 간의 미세한 CTE 차이로 인해 계면 박리(delamination)나 세라믹 균열이 발생할 위험이 있다. 둘째, 구현할 수 있는 구리층의 두께에 제한이 있어 매우 높은 전류를 다루어야 하는 고출력 모듈에는 AMB 방식이 더 선호된다. 셋째, 비산화물 세라믹 적용 시 필요한 표면 산화 공정은 추가적인 비용과 공정 복잡성을 야기한다.

그림 8

직접구리접합 기술의 개념도

출처: 한국재료연구원



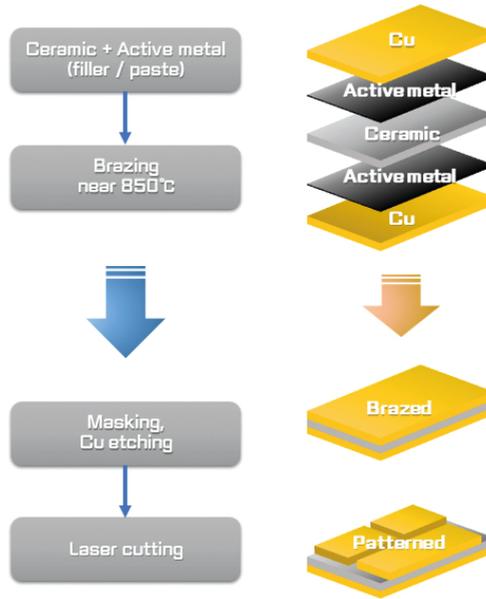
활성금속브레이징 (Active Metal Brazing)

- AMB 기술은 활성 금속(예: 티타늄[Ti], 지르코늄[Zr] 등)이 포함된 브레이징 합금(solder paste)을 사용하여 세라믹과 구리를 고온(약 800~1,000°C)의 진공 환경에서 접합하는 방식이다. 활성 금속은 세라믹 표면과 반응하여 강한 화학적 결합을 형성함으로써 매우 높은 접합 강도를 구현한다.
- AMB의 가장 큰 장점은 DBC 대비 월등히 높은 접합 강도다. 이는 특히 기계적 강도가 중요하고 열충격에 대한 내성이 요구되는 Si₃N₄ 기판에 매우 유리하게 작용한다. Si₃N₄ AMB 기판은 EV용 고신뢰성 파워모듈의 주류 기술로 자리 잡고 있으며, 또한 AMB는 DBC보다 두꺼운 구리 회로층(0.8mm 이상 두께도 가능)을 형성할 수 있어 대전류를 필요로 하는 고출력 SiC 모듈에 적합하다. 고전압 응용 분야에서도 부분 방전(partial discharge)에 대한 저항성이 DBC보다 우수하다는 평가다.
- 단점으로는 DBC에 비해 공정이 복잡하고 비용이 높다는 점이다. 특히 산화물 세라믹(Al₂O₃, HPS)의 경우 DBC로도 충분한 성능을 얻을 수 있어 AMB는 주로 비산화물 세라믹이나 초고신뢰성이 요구되는 경우에만 선택된다. 또 브레이징 재료 제거를 위한 에칭 공정 때문에 최소 회로 패턴 크기에 제약이 따르기도 한다. 그럼에도 EV 파워모듈의 극한 환경을 고려할 때 AMB의 신뢰성 이점은 비용 상승을 상쇄하고도 남는 가치를 제공하는 것으로 평가된다.

그림 9

활성금속브레이징 기술의 개념도

출처: 한국재료연구원



미래 세라믹 방열기판 기술 고도화 트렌드

- 미래 EV 시장의 주요한 기술적 트렌드는 파워모듈의 열관리 요구 사항을 더욱 강화시키고 있다. 이러한 트렌드는 방열기판 소재와 설계에 대한 혁신을 촉진하는 주요 동인이 되고 있다.
- 첫째, 고전력 밀도화는 가장 두드러진 특징이다. 이는 주로 SiC나 GaN과 같은 와이드밴드갭 반도체의 채택 확대에 기인한다. WBG 반도체는 기존 Si 기반 반도체보다 더 높은 전압, 더 높은 스위칭 주파수, 그리고 더 높은 온도에서 작동할 수 있어 파워모듈의 크기를 줄이면서도 더 많은 전력을 처리할 수 있다. 그러나 이러한 고전력 밀도는 단위 면적당 발생하는 발열량을 크게 증가시켜 방열 시스템에 심각한 부담을 준다. 예를 들어, SiC MOSFET의 경우 접합 온도가 175°C를 넘어 250°C에 이를 수도 있다고 예상되는바 기존의 방열 솔루션으로는 한계에 직면하게 된다.
- 둘째, 초고속 충전 기술의 발전은 전력반도체에 가해지는 열부하를 극단적으로 상승시킨다. 초고속 충전은 짧은 시간 내에 대량의 에너지를 배터리로 전달해야 하므로 충전 과정에서 파워모듈을 통과하는 전류량이 급증하고, 이는 곧바로 막대한 열 발생으로 이어진다. 현재 EV의 냉각 시스템 용량은 1~5kW 수준이지만, 초고속 충전을 지원하기 위해서는 배터리 열관리 시스템 용량을 15~25kW까지 증가시켜야 한다는 분석도 있다. 다시 말해 파워모듈의 방열기판 역시 훨씬 높은 과도한 열 부하를 효과적으로 처리할 수 있어야 한다는 것이다.

- 셋째, 고전압인 800V 시스템의 도입은 효율성 향상과 충전 시간 단축이라는 이점을 제공하지만, 열관리 측면에서 새로운 과제를 제시한다. 800V 시스템은 동일 전력 수준에서 전류를 낮출 수 있어 케이블 손실을 줄이고 경량화에 기여할 수 있다. 그러나 더 높은 전압은 부품의 절연 요구사항을 높이고, 동시에 고전력 작동 시 발생하는 열을 효과적으로 관리해야 함을 의미한다.
- 넷째, 소형화와 통합화 추세도 열관리에 영향을 미친다. EV 시스템의 공간 제약과 비용 절감 요구는 더 작고 가벼우면서도 다기능을 수행하는 파워모듈 개발을 촉진한다. 이는 방열기판을 포함한 모든 부품의 집적도를 높여 열 방출 경로를 더욱 복잡하게 만들고, 제한된 공간에서 효율적으로 열 제거를 달성해야 하는 어려움을 가중시킨다.
- 이러한 EV 트렌드는 향후 파워모듈 방열기판 소재와 기술에 대해 더 높은 열전도율, 개선된 기계적 강도와 신뢰성, 경량화, 그리고 비용 효율성을 동시에 요구하고 있다.

2. 국내외 시장 동향

- 각국 정부의 친환경 정책 강화, 소비자들의 전기차 선호도 증가, 그리고 배터리 기술의 발전 등에 힘입어 전 세계 전기차 시장은 유례없는 성장세를 보이고 있다. 이에 따라 전기차의 핵심 부품인 파워모듈과 그 안에 사용되는 방열기판 시장 역시 높은 연평균성장률(CAGR)을 기록하며 빠르게 확대되고 있다.
- 시장조사업체 Yole Group에 따르면, 전체 파워모듈 시장은 2028년까지 140억 달러 규모의 성장이 예상되며, 파워모듈 패키징 부품 시장은 2024년 약 32억 달러에서 2030년 약 61억 달러로 성장할 전망이다. 특히 SiC 전력반도체 시장의 성장은 방열기판 시장 성장에 직접적인 영향을 미친다. SiC 디바이스 시장은 2023년에서 2029년까지 연평균 24%씩 성장하여 2029년에는 100억 달러 규모에 이를 것으로 전망된다. SiC 반도체는 고온/고전압 환경에서 우수한 성능을 발휘하지만, 그만큼 방열 요구 조건이 까다로워 고성능 방열기판(주로 Si_3N_4 AMB)의 수요를 견인하고 있다.
- AMB 세라믹 기판에 대해 시장조사업체 Global Growth Insights는 2024년 1억 8,786만 달러에서 2033년 19억 3,362만 달러로 연평균 29.57%의 높은 성장률을 예측했다. AMB 기판 시장에서 Si_3N_4 AMB 기판이 약 60%의 점유율을 차지하며 성장을 주도하고, AlN AMB 기판이 약 40%를 차지할 것으로 예상된다.
- AlN 기판의 경우 시장조사업체 Fortune Business Insights는 2024년 1억

6,040만 달러에서 2032년 2억 5,880만 달러로 연평균 6.2%의 성장을 예측했다.

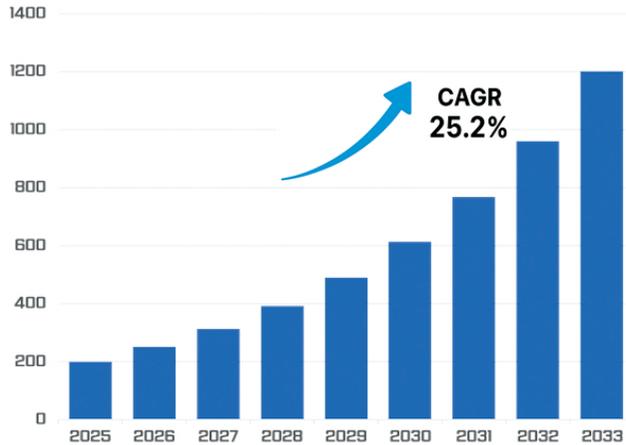
- 시장조사업체 Data Insights Market은 Si₃N₄ 세라믹 기판 시장이 2025년 2억 달러에서 2033년까지 연평균 25.2%씩 성장해 12억 달러를 돌파할 것으로 전망했다.
- 이처럼 폭발적인 시장 성장 전망은 방열기판 산업이 전기차 혁신의 핵심 동반자로서 지속적인 투자와 기술 개발이 이루어질 것임을 시사한다.

그림 10

세계 질화규소

세라믹 방열기판 시장의 성장 전망

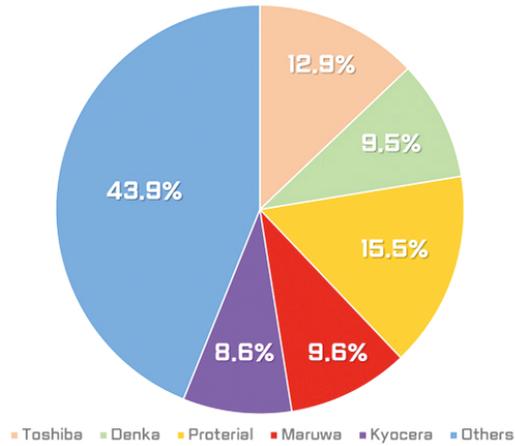
출처: Data Insights Market



- Si₃N₄ 세라믹 방열기판의 세계 시장점유율은 2010년대까지 일본의 세라믹 기업들이 90% 이상을 점유하는 독과점 형태였으나, 2025년 현재 시장 점유에 변화가 나타나고 있다. 여전히 일본의 유명 세라믹 기업 5개 제조사[Maruwa(マルワ), Denka(デンカ株式会社), Toshiba Materials(현 Niterra Materials), Proterial(株式会社プロテリアル, 전 Hitachi Metals), Kyocera(京セラ株式会社)]가 세계 시장의 56%를 점유하고 있는 절대적인 방열기판 강국의 입지는 여전하다.
- 하지만 그 외 기업이 44%를 차지할 정도로 타 국가 기업들의 방열기판 사업 진입이 활발한 것으로 분석된다. 그럼에도 한국에는 Si₃N₄ 세라믹 방열기판에 대해 실질적인 시장점유율을 가진 세라믹 기업이 아직 없는 것으로 파악되며, 국내 산학연의 긴밀한 협력을 통한 상업화 연구 개발이 절실한 상황이다.

그림 11

2025년 세계 질화규소
세라믹 방열기판의 시장점유율
출처: Data Insights Market



3. 국내외 기술 동향

질화규소 고열전도화 기술 동향

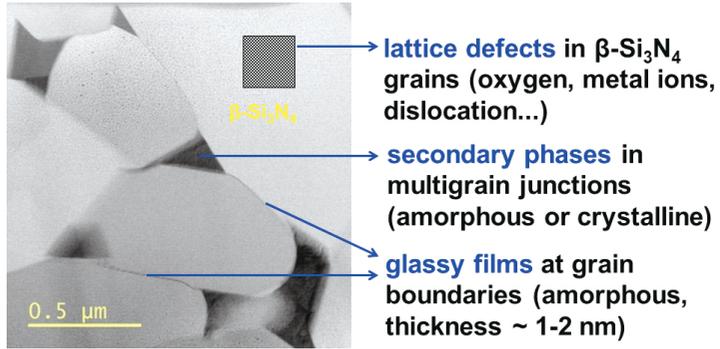
- Si₃N₄ 세라믹스는 높은 강도, 파괴 인성, 경도, 내마모성과 우수한 고온 안정성 등 탁월한 기계적 특성으로 인해 다양한 구조 재료 분야에서 주목받아 왔다. 최근에는 차세대 전력반도체 소자(SiC, GaN 등)의 발전과 함께 고출력·고집적화 추세에 따라 효율적인 방열 솔루션의 필요성이 증대되면서 Si₃N₄ 세라믹스의 잠재적인 높은 열전도 특성이 다시금 부각되고 있다.
- 이론적으로 β-Si₃N₄ 단결정은 축 방향에 따라 170~450W/m·K 범위의 매우 높은 고유 열전도도를 가질 것으로 예측되었다. 그러나 실제 다결정 질화규소 소결체에서 달성되는 열전도도는 일반적으로 100W/m·K 미만인 경우가 많았다. 실험실 수준에서는 150W/m·K 이상이고 심지어 177W/m·K에 달하는 높은 값이 보고되기는 했으나, 이론적 잠재력에는 여전히 미치지 못하는 실정이다. 이러한 차이는 주로 세 가지 요인에 의해 발생한다.
 - ① β-Si₃N₄ 결정립 내부에 존재하는 격자 결함(점결함, 선결함, 불순물 등)에 의한 포논(phonon) 산란
 - ② 소결 조제 첨가로 인해 형성된 입계상(주로 비정질 유리상)의 낮은 열전도도와 계면에서의 열 저항
 - ③ 다결정체 내 입계에서의 포논 산란
- 최근의 국내외 연구 동향으로는 β-Si₃N₄ 세라믹스의 열전도도를 향상시키기 위한 핵심 전략으로서 위에서 언급한 세 가지 요인의 해결, 즉 ① β-Si₃N₄ 결정의 완전성 향상, ② 입계상의 제어, ③ 결정립 성장 제어를 중심으로 이를 최적화하기 위한 구체적인 공정

기술과 연구 사례들이 심화되고 있다.

그림 12

질화규소 세라믹의 열전달 저해 요인들

출처: 한국재료연구원

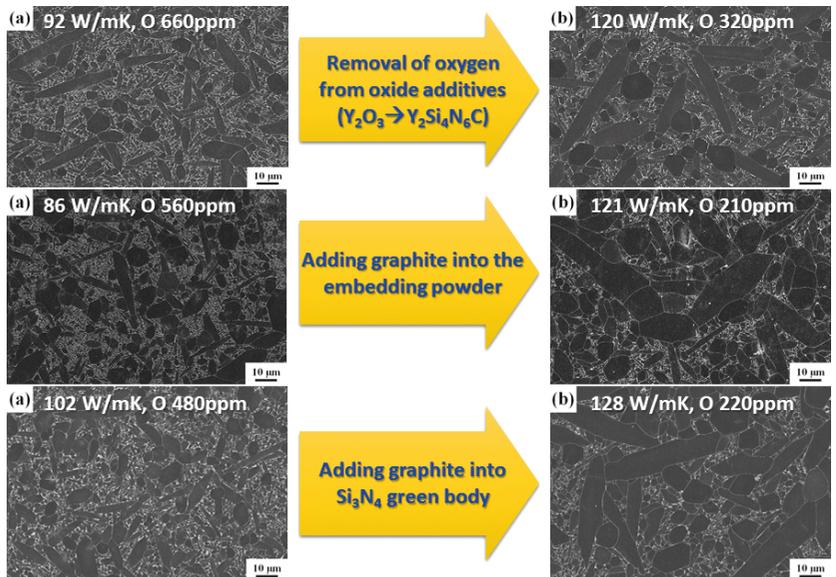


○ $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 결정립 내 격자 결함을 최소화하고 결정성을 향상시켜 고유의 높은 열전도도를 구현하기 위한 핵심 전략으로는 비산화물 소결 조제 활용 및 희토류 첨가물 최적화를 꼽을 수 있다. 비산화물계 소결 조제는 기존의 산화물 조제(MgO , Y_2O_3 등) 대신 MgSiN_2 , $\text{Y}_2\text{Si}_4\text{N}_6\text{C}$ 와 같은 질화물, 탄질화물 또는 희토류 불화물(YF_3 , YbF_3), MgF_2 등 비산화물계 소결 조제를 도입하여 초기 원료부터 세라믹 내 산소 유입을 줄이는 방법이다. 이는 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 격자 내 산소 고용(Solid Solution)을 억제함으로써 포는 산란의 결정적 요인인 격자 내 V_{Si} (Silicon Vacancy, 실리콘 공공)을 최소화하여 결정립 자체의 열전도도를 높인다(요인 ① 해결에 기여). 동시에 입계상의 조성을 변화시켜 부피를 줄이거나, 결정화를 용이하게 하거나, 입계상 자체의 열전도도를 개선하는 효과를 기대할 수 있다.

그림 13

$\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Sc}_2\text{O}_3$ 소결첨가제 조합에 의한 비정질 2차상의 결정화 현상

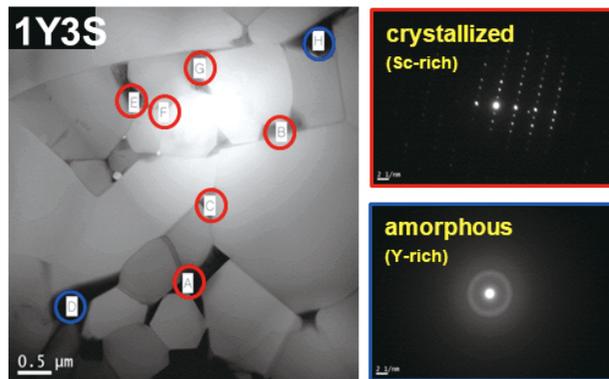
출처: 한국재료연구원



- 예를 들어, Y_2O_3 를 $Y_2Si_4N_6C$ 로 대체했을 때나 산화물 대신 불화물을 소결 조제로 사용했을 때 격자 내 산소 함유량이 감소하여 열전도도가 향상되었다는 보고가 있다. 비산화물계 소결 첨가제는 고온에서 소결 중 질소 과잉(nitrogen-rich) 공용 액상을 형성하여 결정립으로부터 산소를 받는 화학 퍼텐셜(Chemical Potential) 차이를 커지게 해서 결정립 격자 정제 효과를 더욱 높일 수도 있다. 이러한 비산화물 조제의 사용은 입계상 제어와 결정 완전성 향상이라는 2가지 요소에 긍정적인 영향을 제공한다.
- 최근에는 이러한 비산화물 소결 조제 연구가 더욱 활성화되어 금속 수소화물(YH_2 , GdH_2 , YbH_2 , ZrH_2), 탄소(C), 붕화물(YB_2C_2), 규화물($ZrSi_2$), MAX Phase(Ti_3SiC_2) 등 새로운 개념의 첨가제를 사용하여 시스템 내 산소를 환원시키거나 특정 이차상을 유도하여 열전도도를 향상시키는 연구가 진행되고 있다.
- 두 번째 전략은 희토류 산화물(RE_2O_3) 최적화로, 산화물 소결 조제를 사용하는 경우 희토류 원소의 종류와 비율을 최적화하는 것이 중요하다. 일반적으로 이온 반경이 작은 희토류 원소(Sc, Lu, Yb, Y 등)를 포함하는 조제가 이온 반경이 큰 원소(Gd, Nd, La 등)를 포함하는 조제보다 격자 내 산소 함량을 낮추고 더 높은 열전도도를 유도하는 경향이 있다. 특히 Yb_2O_3 는 격자 산소 제거 능력이 우수하다고 알려져 있고, Sc는 가장 작은 양이온 반경과 열전도도가 비정질 유리상 대비 높은 결정성 2차상(예: $Sc_2Si_2O_7$)의 형성 용이성 등으로 인해 열전도도 향상에 유리한 것으로 알려져 있다. 또한 다성분계 첨가제를 조합하면 입계상의 조성, 액상 형성 온도, 점도, 결정화 거동 등에 큰 영향을 미치므로 목표하는 특성에 맞게 비율을 정밀하게 제어해야 한다.

그림 14

Y_2O_3 - Sc_2O_3 소결첨가제 조합에 의한 비정질 2차상의 결정화 현상
출처: 한국재료연구원



인공지능/머신러닝 접목 연구 개발

기존 연구의 한계

- Si_3N_4 세라믹의 열전도도와 기계적 특성을 향상시키기 위한 기존 연구들은 주로

불순물 제어, 미세구조 조절, 그리고 공정 최적화에 초점을 맞추어 왔다. 열전도도 향상을 위해서는 격자 내 산소와 같은 불순물 함량을 최소화하고, 입자 성장을 촉진하거나 특정 방향으로 입자를 배열시키는 미세구조 제어가 효과적인 전략으로 알려져 있다.

○ 그러나 이러한 전통적인 연구 방법론은 몇 가지 본질적인 한계에 직면한다. 첫째, Si_3N_4 세라믹의 물성은 다수의 공정변수들이 복잡하게 상호작용한 결과로 나타난다. 예를 들어 질화 반응에 의해 제조된 원료 분말의 상태는 이후 소결 거동(Sintering Behavior)에 영향을 미치며, 소결 첨가제의 종류와 양은 치밀화뿐만 아니라 입계상 형성 및 격자 내 산소량에도 영향을 미쳐 최종 열전도도와 기계적 특성을 동시에 변화시킨다. 이러한 다변수 시스템에서 최적의 조합을 찾는 것은 매우 어려운 일이다.

○ 둘째, 많은 연구가 경험적 시행착오에 의존하는 경우가 많다. 수많은 변수와 그들의 복잡한 상호작용으로 인해 전체 설계 공간을 체계적으로 탐색하고 진정한 의미의 최적점을 찾는 것은 시간과 비용 측면에서 매우 비효율적이다. 예를 들어, 반응결합 질화규소(RBSN) 제조 공정에서 질화 반응은 Si의 용융, Si와 N_2 의 반응, $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ 와 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 의 핵 생성 및 성장 등 다양한 인자가 관여하며, 이들은 후속 소결 거동에도 영향을 미친다. 이러한 복잡한 조건에 의해 형성된 반응물을 후속 소결하여 원하는 미세구조와 물성으로 정밀하게 제어하는 것은 매우 어렵다.

○ Si_3N_4 세라믹 소결체의 물성 제어를 위한 다변수적 복잡성과 기존 연구 방법론의 한계를 고려할 때 인공지능(AI)과 머신러닝(ML) 기술의 도입은 이러한 난관을 극복하고 소재 개발을 가속화할 수 있는 유력한 대안으로 부상하고 있다. AI/ML은 대량의 데이터로부터 복잡한 비선형적 관계를 학습하고 예측 모델을 구축하는 데 탁월한 능력을 보유하고 있다. 즉 Si_3N_4 의 조성, 미세구조, 공정 변수와 최종 물성 간의 복잡한 상관관계를 AI/ML 모델을 통해 규명하고, 이를 바탕으로 원하는 물성을 갖는 소재를 효율적으로 설계할 수 있으리라 기대된다. 이는 기존의 시행착오 기반 연구에서 벗어나 데이터 기반의 체계적이고 예측 가능한 연구 패러다임으로의 전환을 의미한다.

최근의 인공지능 접목 연구 사례

○ 최근 Si_3N_4 세라믹의 물성 향상 및 개발 가속화를 위해 AI/ML 기술을 활용하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구들은 주로 미세구조 이미지로부터 기계적 특성을 예측하거나 공정 변수로부터 열적·기계적 물성을 예측하는 데 초점을 맞추고 있다.

○ 특히 최근에 고열전도 Si_3N_4 세라믹 연구의 선두주자인 일본

AIST(産業技術総合研究所, 산업기술총합연구소)에서는 미세구조 이미지 기반의 기계적 특성 예측을 위해 컨볼루션 신경망(CNN, Convolutional Neural Network)을 활용하여 미세구조 이미지와 기계적 특성 간의 관계를 학습하고 예측하려는 연구가 수행되었다. CNN은 이미지 인식과 분석에 뛰어난 성능을 보이는 딥러닝 모델로, 재료의 미세구조 이미지로부터 물성을 직접 예측하는 데 효과적으로 활용될 수 있다.

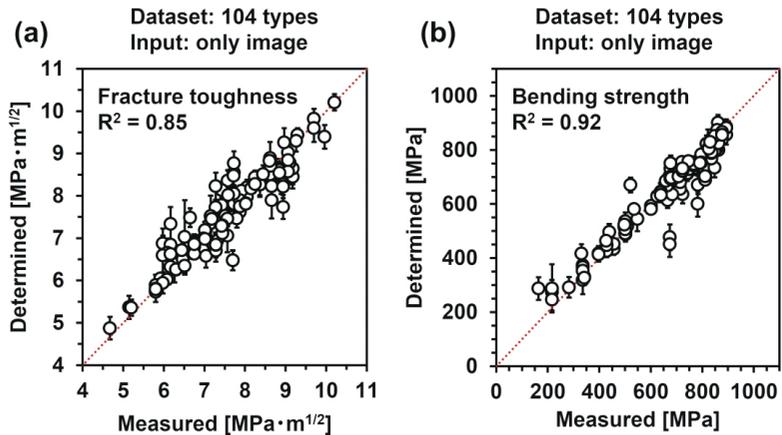
- 해당 연구에서는 다양한 소결 첨가제와 공정 조건 하에서 제조된 Si_3N_4 샘플로부터 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 총 330개의 미세구조 이미지를 확보했다. 이 원본 이미지로부터 무작위 잘라내기, 회전, 반전 등 데이터 증강 기법을 적용하여 256x256픽셀 크기의 패치 이미지 2,000개를 생성하고, 이를 CNN 모델의 학습과 테스트 데이터로 사용했다. 모델은 Si_3N_4 의 주요 기계적 특성인 파괴 인성(K_{IC})과 굽힘 강도(σ)를 예측하도록 설계되었다. 파괴 인성에 대해 약 0.85, 굽힘 강도에 대해 약 0.92의 결정계수(R^2) 값을 보였으며, 미세구조 이미지로부터 이러한 기계적 특성을 비교적 정확하게 예측할 수 있음을 입증했다.

그림 15

최근의 인공지능 접목

Si_3N_4 연구 사례

출처: *Journal of the Ceramic Society of Japan*(2024.06)



세라믹 방열기판의 유전 파괴 강도 연구

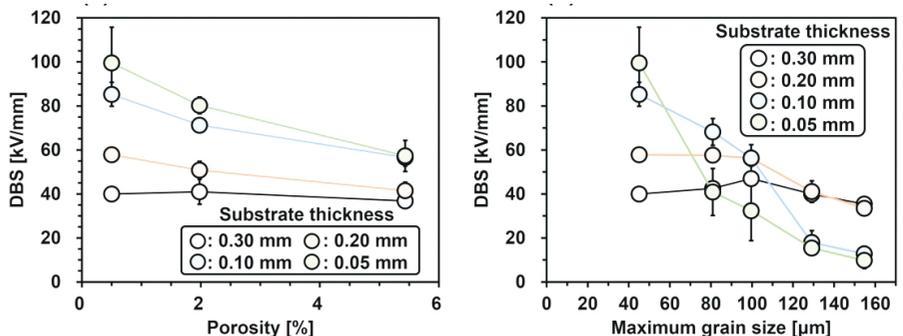
- 유전 파괴(Dielectric Breakdown)는 절연체로 간주되는 재료에 충분히 높은 전기장이 가해졌을 때 재료가 절연성을 상실하고 비교적 큰 전류가 흐르게 되는 현상을 의미한다. 이 순간의 전기장 세기를 유전 파괴 강도(DBS, Dielectric Breakdown Strength)라고 하며, 통상적으로 단위 두께당 전압(kV/mm)으로 표현된다. 이 DBS는 재료의 전기적 절연 성능을 평가하는 핵심적인 지표로 활용된다. 유전 파괴가 발생하는 전압 자체는 파괴 전압(Breakdown Voltage)이라고 하며, 이는 시편(試片)의 두께에 따라 달라지는

값이다.

- 세라믹 재료의 DBS는 단일값으로 정해지는 것이 아니라 재료의 유전율, 세라믹 기판의 두께, 미세구조, 화학 조성 등 다양한 내부와 외부 요인들에 의해 복합적으로 영향을 받는다. 이러한 요인들을 이해하고 제어하는 것은 절연 재료의 성능을 최적화하는 데 매우 중요하다.
- 재료의 유전율(ϵ_r)은 외부 전기장에 대한 재료의 분극 정도를 나타내는 고유한 물성값으로, DBS와 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 유전율이 높은 재료일수록 동일한 외부 전기장에서 더 많은 전기 에너지를 저장하며, 재료 내부의 국부 전기장이 더 커지는 경향이 있다. 이렇게 강화된 국부 전기장은 재료 내 원자나 분자 결합을 약화시켜 파괴에 필요한 활성화 에너지를 낮추고, 결과적으로 DBS를 감소시키는 원인이 될 수 있다. 다양한 유전체 재료에 대한 연구들에서는 DBS(E_{bd})와 유전율 사이에 $E_{bd} \propto \epsilon_r^{-1/2}$ 의 관계가 관찰된다.
- 세라믹 절연체의 DBS는 일반적으로 시편의 두께에 큰 영향을 받는다. 많은 연구에서 DBS는 시편 두께(d)에 대해 역비례 관계, 즉 $E_{bd} \propto d^{-n}$ 의 형태로 나타난다고 보고되었다. 여기서 지수 n 은 재료의 종류, 미세구조, 결합 상태 등에 따라 달라지며, 통상적으로 0.3에서 0.6 사이의 값을 갖는다. 예를 들어, Y_2O_3 함량이 다른 Si_3N_4 시편에 대한 연구에서는 n 값이 0.44에서 0.58 사이로 계산되었으며, 결정립의 크기가 다른 Si_3N_4 시편에서는 n 값이 각각 0.35와 0.44로 나타났다.
- 또한 소결 시간에 따라 미세구조가 달라진 Si_3N_4 시편의 경우 n 값이 0.28, 0.41, 0.49 등으로 다양하게 관찰되었다. 상용 Si_3N_4 기판을 15 μ m에서 285 μ m까지 다양한 두께로 가공하여 시험한 결과에서는 $n=0.37$ 을 얻어 통상적으로 알려진 지수 n 값의 범위 안에서 다양한 변화가 있음을 알 수 있다.

그림 16

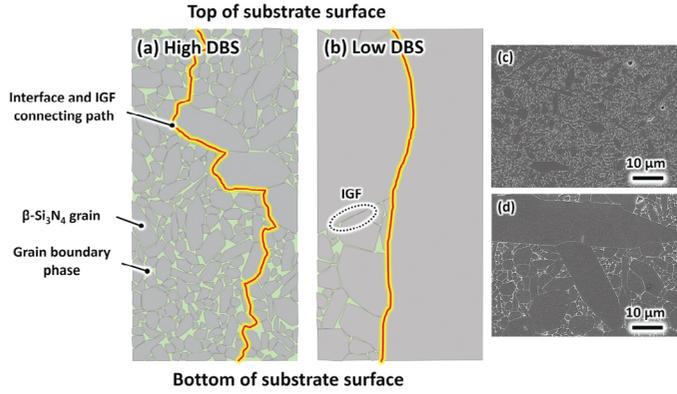
질화규소 세라믹 기판의 두께 및
기공율/입자 크기 변수에 따른
유전 파괴 강도 변화
출처: *Journal of the Ceramic
Society of Japan*(2024.06)



- 이러한 두께 의존성은 크게 두 가지 관점에서 설명될 수 있다. 첫째는 통계적인 결함 분포에 근거한 바이불 분포(Weibull distribution)로, 시편의 부피(또는 면적)가 클수록(즉 두꺼울수록) 파괴를 유발할 수 있는 치명적인 결함을 포함할 확률이 높아지기 때문에 평균적인 DBS가 낮아진다는 설명이다. 둘째는 앞서 언급된 그리피스 유형(Griffith type) 에너지 방출률 모델로, 필라멘트 성장에 필요한 에너지 방출 관점에서 두꺼운 시편일수록 파괴에 필요한 평균 전기장이 낮아지기 때문으로 설명한다.
- 특히 주목할 점은 DBS 값에 있어서 전이 두께(transition thickness)의 존재 가능성이다. 재료의 두께가 매우 얇아지면 DBS가 더 이상 두께에 의존하지 않고 재료 고유의 내재적 값에 수렴하는 현상이 나타날 수 있으며, 이 경계가 되는 두께를 전이 두께라고 한다. 다양한 세라믹과 폴리머 재료에 대한 연구에서 이러한 전이 현상이 관찰되었으며, 세라믹의 경우 약 1~20 μm , 폴리머의 경우 약 10~100 μm 범위에서 전이가 나타나는 것으로 보고되었다.
- 그러나 두께 의존성이 항상 단순한 d^{-n} 관계를 따르는 것은 아니다. 한 연구에서는 소결 시간이 길어져 결정립이 매우 크게 성장한 Si_3N_4 시편의 경우 0.05mm와 같이 매우 얇은 두께에서 오히려 DBS가 급격히 감소하는 특이한 현상이 관찰되었다. 다시 말해 두꺼운 시편에서는 통계적으로 분산된 결함 중 가장 취약한 부분이 파괴를 시작하지만, 매우 얇은 시편에서는 거대하게 성장한 결정립이 시편의 상부와 하부 표면을 직접 연결하는 ‘가장 짧은 파괴 경로’를 형성할 수 있기 때문으로 해석된다.
- 이 경우 파괴는 더 이상 다수의 미세 결함을 거치는 복잡한 경로가 아니라 결정립과 입계상 사이의 계면을 따라 형성되는 비교적 직접적인 경로를 통해 발생하게 된다. 따라서 기판을 얇게 설계할 때 단순히 두께 감소에 따른 DBS(kV/mm) 증가만을 기대하는 것은 위험하다. 즉 미세구조, 특히 최대 결함 크기(이 경우 최대 결정립 크기) 제어가 동반되지 않으면 오히려 절연 성능이 저하될 수 있음을 시사한다. 이는 기판 설계 시 단순한 스케일링 법칙(Scaling Law) 적용의 한계를 보여 주는 중요한 결과다.

그림 17

질화규소 세라믹 기판의 미세구조가 유전 파괴 강도에 미치는 영향 출처: *Journal of the Ceramic Society of Japan*(2024.06)



4. 시사점

- 전기자동차 시장의 급격한 성장과 고성능화 요구에 따라 파워모듈의 핵심 부품인 방열기판 기술은 전례 없는 변화와 발전을 경험하고 있다.
- 차세대 전력반도체인 SiC와 GaN의 채택이 확대되면서 기존 Al₂O₃ 기판의 방열 성능 한계가 명확해졌고, 열전도도가 우수한 AlN과 특히 기계적 강도와 열충격 저항성이 뛰어난 Si₃N₄가 핵심 소재로 부상하고 있다. 또 접합 기술에서는 DBC 방식의 한계를 극복하고 더 높은 접합 강도와 두꺼운 구리 회로 구현이 가능한 AMB 기술이 Si₃N₄ 기판을 중심으로 주류로 자리 잡고 있다.
- 이러한 고성능 세라믹 기판의 세계 시장은 높은 연평균성장률을 기록하면서 확대되고 있으며, 일본의 전통적 세라믹 소재 강자들이 시장을 선도하는 가운데 한국과 중국 기업들이 기술 개발과 생산 능력 확충을 통해 빠르게 추격하며 경쟁이 심화되고 있다. 그러나 고도의 소재와 공정 기술, 엄격한 자동차용 신뢰성 인증 요구는 신규 업체의 시장 진입을 어렵게 하는 높은 기술 장벽으로 작용하고 있다.
- 고성능 세라믹 방열기판은 초기 도입 비용이 높지만, SiC 반도체 적용을 통한 파워모듈 전체의 효율 향상, 소형·경량화, 신뢰성 증대 등 시스템 전체 가치 향상에 기여함으로써 경쟁력을 확보하고 있다. 또 전 세계적인 탄소 배출 규제 강화와 에너지 효율 향상 요구는 전기차 시장 성장을 견인하는 핵심 동력이며, 이는 방열기판 수요 증가로 직결된다.
- 이처럼 전기차 파워모듈용 방열기판 산업의 지속적인 성장과 경쟁력 강화를 위해 우리나라는 다음과 같은 노력을 기울여야 할 것으로 판단된다.
- 첫째로 고성능 세라믹 소재(고순도 Si₃N₄, AlN 분말 및 기판 제조 기술), 차세대 접합 기술(특히 대면적·저비용 Cu 소결 기술)에 대한 연구 개발 투자를 지속하고 원천 기술을

확보해야 한다. 성능을 향상시키면서도 생산 비용을 절감할 수 있는 새로운 소재 조합 및 소결 공정 혁신을 적극적으로 추진해야 한다. 특히 이 과정에서 인공지능을 접목하여 기존의 소재 물성을 뛰어넘고, 유전 파괴 강도처럼 평가와 원인 분석이 복잡한 특성의 최적화를 효율적으로 달성해야 한다.

- 둘째로 소재-기판-모듈-완성차로 이어지는 가치사슬 내 기업 간뿐만 아니라 산학연의 긴밀한 공동 연구 개발을 통해 기술 혁신의 시너지를 창출해야 한다. 또한 차세대 방열기판의 성능 평가 방법, 신뢰성 시험 기준, 인터페이스 표준화 등에 대한 업계 공동의 노력을 통해 기술 발전과 시장 확대를 촉진해야 한다. 정부는 R&D 지원, 세제 혜택, 규제 합리화 등을 통해 이러한 협력 생태계 조성을 적극 지원해야 할 것이다.
- 전기차 파워모듈용 방열기판 기술은 단순한 부품 기술을 넘어 전기차의 성능, 효율, 신뢰성, 나아가 가격 경쟁력까지 좌우하는 핵심 기술로 진화하고 있다. 그러므로 급변하는 시장 환경과 기술적 요구에 성공적으로 대응하고 지속적인 혁신을 이루어내는 기업만이 미래 전기차 시대를 선도할 수 있을 것으로 사료된다. 본고가 관련 산업 종사자 및 정책 입안자들에게 유용한 시야를 제공하고, 국내 방열기판 산업의 발전에 기여할 수 있기를 기대해 본다.

출처 및 참고문헌

1. Aleksandra Saponjic, et. al., “Short review on thermal conductivity of silicon nitride ceramics”, *Thermal Science* Vol. 29 No. 1A, pp. 307-323., 2024.08.23.
2. Fu Shi, et. al., “Progress of high strength and high thermal conductivity Si₃N₄ ceramics for power module packaging”, *Journal of Inorganic Materials* Vol. 38 Issue 10, pp. 1117-1132., 2023.01.
3. WANG Weiming, et. al., “Research Progress in High Thermal Conductivity Silicon Nitride Ceramics Prepared by Non-Oxide Additives”, *Journal of Inorganic Materials* Vol. 39 Issue 6, pp. 634-646., 2024.01.
4. You Zhou, et. al., “Development of high-thermal-conductivity silicon nitride ceramics”, *Journal of Asian Ceramic Societies* Vol. 3 Issue 3, pp. 221-229., 2015.04.07.
5. Yuki Nakashima, “Nitridation optimization, electrical reliability assessment, and AI-driven property determination of silicon nitride ceramics”, *Journal of the Ceramic Society of Japan* Vol. 132 Issue 9, pp. 533-540., 2024.06.11.
6. Yuki Nakashima, et. al., “Sintered reaction-bonded silicon nitride ceramics for power-device substrates –review-”, *Open Ceramics* Vol. 16, 2023.11.17.
7. 김하늘, 박영조, 고재웅, 이재욱, 마호진, “질화규소 세라믹스 소재 리뷰 : 열전 특성 및 응용 분야 중심”, 『Ceramist』 Vol. 26 Issue 2, pp. 212-227., 2023.06.30.



윤상훈 자율주행 PD 소개

2009.3~2012.6 한국전자통신연구원 선임연구원

2012.7~현재 한국전자기술연구원 책임연구원 | 2024.8 KEIT 입사

「이슈픽」을 보시는 연구자들을 위해
자기소개 부탁드립니다.

안녕하세요. 저는 산업통상자원부가 지원하는
자율주행 및 미래차 분야의 R&D 과제를 기획하고 있는
산업기술기획평가원(KEIT) 자율주행차 PD 윤상훈입니다.

올해 자율주행 분야에서

가장 주목해야 할 이슈는 무엇인가요?

올해 자율주행 분야의 핵심 이슈는 AI 자율주행,
SDV(Software Defined Vehicle), 차량용 반도체로 요약할
수 있습니다. 첫째, 자율주행 기술에서 AI의 역할은 점점 더
중요해지고 있습니다. 특히 특히 센서 입력부터 차량 제어까지
전 과정을 하나의 통합된 AI 모델로 처리하는 E2E(End-
to-End) AI 기술은 글로벌 주요 기업들을 중심으로 빠르게
확산되고 있습니다. 둘째, 차량의 기능을 소프트웨어로
정의하고 무선 업데이트(OTA)를 통해 유연하게 업그레이드할
수 있는 SDV 기술은 자동차산업의 패러다임을 근본적으로
전환시키고 있으며, 국내 기업들 역시 이 변화에 대응하기 위해
발 빠르게 움직이고 있습니다. 셋째, 이러한 AI 자율주행과
SDV 구현을 위한 핵심 인프라로서 차량용 반도체의 중요성이
부각되고 있습니다. 대규모 AI 모델 운용과 생성형 AI 기반의
첨단 기능을 구현하기 위해서는 고성능·고신뢰의 차량용
프로세서가 필수이며, 이에 대한 기술 확보와 시장 선점은
매우 시급한 과제로 떠오르고 있습니다.

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

2025년 하반기에는 스마트카 분야의 자동차산업기술개발사업
과제 선정 평가가 7월 중 진행될 예정입니다. 또한 2026년도
상반기 착수를 목표로 한 과제 기술 수요 조사가 하반기에
이루어질 예정이며, 이를 바탕으로 내년 초 스마트카 분야 1차
RFP 기획 및 공고가 추진될 계획입니다.

마지막으로 연구 수행자들에게

하고 싶은 말씀이 있다면?

지금은 미국과 중국 등 기술 선도국을 따라잡을 수 있는
사실상 마지막 골든 타임이라 생각합니다. 머지않아 중국산
자율주행차가 국내 시장을 잠식할 가능성도 배제할 수 없는
상황에서 우리의 기술력을 글로벌 수준으로 끌어올리기 위해
산·학·연·관의 긴밀한 협력과 결집된 노력이 절실합니다.
연구자 여러분들도 사명감과 자신감을 갖고 우리 기술 주권을
지키기 위한 여정에 적극 동참해 주시기를 부탁드립니다.



하진욱 전기수소차 PD 소개

2003.12~ 현대자동차그룹 | 2010.10~ 삼성SDI 책임연구원
2012.08~ 한국자동차연구원 수석연구원 | 2025.03 KEIT 입사

「이슈픽」을 보시는 연구자들을 위해
자기소개 부탁드립니다.

안녕하십니까? 올해 3월 전기수소차 PD로 신규 임용된 하진욱입니다. 우리나라 전기수소차의 글로벌 경쟁력 강화와 이를 통한 국내 산업 발전을 위해 최선을 다하겠습니다. 자동차산업에 필요한 R&D를 지원하기 위해 글로벌 트렌드를 분석하고 국내 산학연 전문가 여러분의 의견을 경청하면서 꼭 필요한 연구과제를 발굴해 나가겠습니다. 앞으로도 연구자 여러분과 함께 고민하고 좋은 아이디어가 실현될 수 있도록 노력하겠습니다. 잘 부탁드립니다.

올해 전기수소차 분야에서

가장 주목해야 할 이슈는 무엇인가요?

우리 전기수소차는 품질과 성능 면에서 이미 세계 시장에서 상당한 경쟁력을 인정받고 있습니다. 그러나 최근에는 다음과 같은 글로벌 변수들이 복합적으로 작용하며 새로운 도전에 직면해 있습니다. 첫째, 중국 전기차의 기술 고도화입니다. 중국은 빠른 개발 속도와 높은 가성비를 바탕으로 국산차에 필적하거나 이를 능가하는 성능을 구현하고 있으며, 이는 향후 글로벌 시장에서 큰 위협이 될 수 있습니다. 둘째, 유럽의 환경 규제 강화입니다. CBAM(탄소국경조정제도)과 LCA(전생애주기 평가) 기반의 친환경 소재 및 배터리 규제는 단순히 제품 성능을 넘어 생산국의 인프라와 공급망 전반에 영향을 미치고 있습니다. 상대적으로 관련 기반이 부족한 우리나라의 경우 유럽 역내 생산 차량과의 경쟁이 더욱 어려워질 수 있습니다. 셋째, 미국의 정책 변화입니다. 전기차 보조금 축소와 관세 이슈 등으로 인해 대체 모빌리티 기술 확보와 이에 대한 정책적·기술적 대응이 더욱 시급한 상황입니다.

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

하반기에는 기존 배터리 셀·모듈·팩 구조를 뛰어넘는 '셀 투 새시(Cell-to-Chassis)' 기술처럼 전기차의 에너지 밀도 향상을 위한 신규 아키텍처 관련 연구를 기획 중입니다. 또한 글로벌 환경 규제 대응을 위한 자동차 부품 소재의 재활용 및 친환경 설계, 미국 내 전기차 보급 지원을 감안한 주행거리 확장형 전기차(EREV) 기술, 그리고 신정부에서 중점 추진 중인 수소에너지 기반의 수소엔진 및 FCEV 모빌리티 기술 개발도 신규 과제로 검토하고 있습니다. 아울러 내연기관 중심의 부품 기업들이 미래 모빌리티 기업으로 전환할 수 있도록 지원 범위를 확대하는 방안도 함께 추진하고자 합니다.

마지막으로 연구 수행자들에게

하고 싶은 말씀이 있다면?

우리 자동차산업은 무역장벽 강화와 중국의 기술 추격 등으로 중대한 도전에 직면해 있습니다. 지금은 과거의 성과에 안주하지 않고 미래 경쟁력을 위한 전략적 대응이 절실한 시점입니다. 앞으로의 전기수소차산업은 단순한 성능을 넘어 친환경 소재·부품과 차별화된 융합 기술을 갖춘 지속가능한 경쟁력을 요구하고 있습니다. 어려운 여건 속에서도 창의적이고 도전적인 여러분의 노력이야말로 우리 산업을 견인할 핵심 동력입니다. 위기 속에서도 포기하지 말고 끝까지 함께 도전해 주시길 부탁드립니다. 여러분의 열정이 곧 우리나라 모빌리티산업의 미래입니다.

KEIT ISSUE PICK

Vol. 2025 - 07

미래 모빌리티 - 자율주행차, 전기수소차

발행인 **전윤종**

발행일 **2025년 07월 28일**

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**

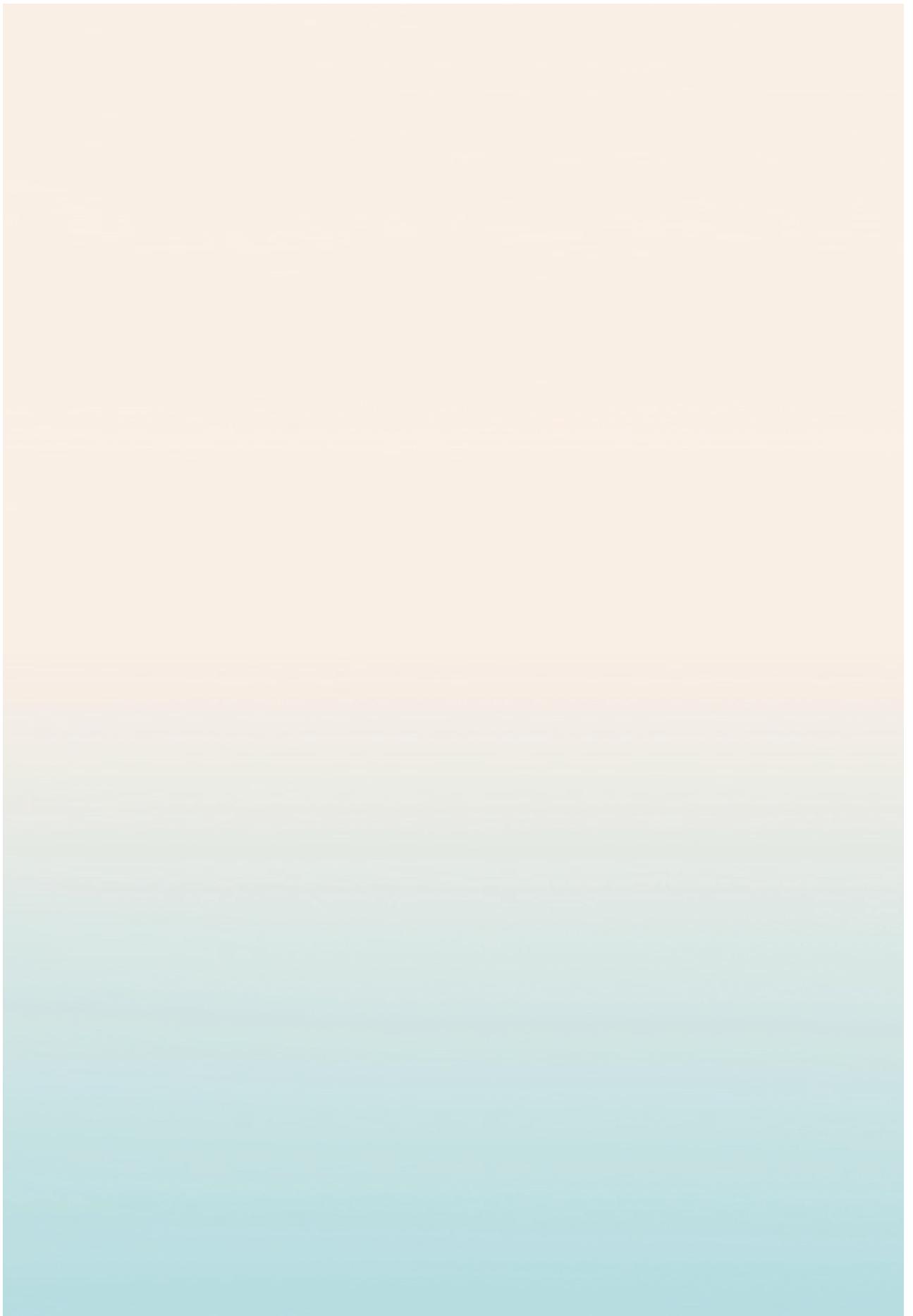
(03925) 서울시 마포구 월드컵북로 396, 누리꿈스퀘어 비즈니스타워 4F

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 AI 자율주행 기술 개발 동향

윤상훈 자율주행 PD | KEIT 미래자동차실

김봉섭 실장 | 지능형자동차부품진흥원 전략기획본부

기존 자율주행 기술이 분리 개발하는 모듈형 접근 방식이었으나 고도화된 환경과 사용자 맞춤형 주행 등에 대응하기 위해 AI 기반 종단 간 자율주행 기술이 주목받고 있다. AI 자율주행은 학습 데이터만 확보된다면 뛰어난 성능을 발휘할 수 있으며, 고정밀지도에 의존하지 않고 주행 판단을 수행하는 종단 간 구조와 최근의 멀티모달 구조, LLM 등이 접목되면서 진화 속도가 빨라지고 있다. 이에 생태계 주도권을 쥐기 위한 기술 경쟁뿐 아니라 미래 이동성이라는 시야를 갖고 장기적인 기술 독립과 산업 전략을 고민해야 한다.
자율주행시스템 # E2E # AI자율주행 # 중국자율주행경쟁력 # 미래이동성

2 자율주행 고도화를 위한 차량용 AI SoC 개발 동향

윤상훈 자율주행 PD | KEIT 미래자동차실

이승환 부문장 | 한국자동차연구원 반도체/센서 기술 부문

자율주행에서 AI는 임베디드 특성 외에 실시간성과 기능 안전성을 담보해야 하며, 이는 차량용 AI SoC가 범용 시스템반도체와 다른 설계가 필요함을 의미한다. 최근 SDV에서는 대형 SoC 기술 및 대규모 언어모델을 이용한 자율주행 고도화 추세이며, AI 가속기 구조 내에서 연산과 데이터 이동의 범용성을 강화하면서 진화하고 있다. 이에 AI SoC는 자율차의 핵심 부품으로 부상하고 있어 기술 주도권의 확보가 매우 중요하다.
자율주행 # AI_SoC # SDV # 차량용AI반도체 # 미래차

3 주행거리 연장형 전기자동차(EREV) 기술 동향

하진욱 전기수소차 PD | KEIT 미래자동차실

오세두 수석연구원 | 한국자동차연구원 친환경기술연구소

기존 BEV 구조에 내연기관 기반 발전 유닛을 결합한 차세대 전동화 차량으로서 EREV는 전기차의 장점을 유지하면서도 주행거리 불안과 충전 인프라 부족이라는 단점을 보완하는 실용적 전기차다. 즉 기술적 현실성과 정책 대응력을 갖추어 BEV 시장의 성장에 둔화와 함께 차세대 친환경차로서 EREV 시장이 급성장하고 있지만, 국내는 아직 초기 단계라 부품 내재화로 중국 의존도를 줄이고 정책 준비를 추진할 필요가 있다.
EREV # 주행거리연장 # 발전유닛 # 전환기완충재 # 친환경차 # BEV의진화

4 전기자동차 파워모듈용 방열기판 시장 및 기술 동향

하진욱 전기수소차 PD | KEIT 미래자동차실

김하늘 책임연구원 | 한국재료연구원 나노재료연구본부

전기차의 고성능화로 파워모듈 방열기판의 중요성이 부각되며, Al_2O_3 에서 AlN , Si_3N_4 로 소재 전환이 가속화되고 있다. 특히 질화규소는 열충격·기계적 신뢰성에서 우수해 주목받으며, AMB 접합 기술과 함께 채택이 확대되고 있다. 일본 제조사들이 시장을 선도하고 있지만, 한국과 중국 기업들이 기술 개발과 생산 능력 확충을 통해 추격하고 있다. 파워모듈용 방열기판은 전기자동차의 핵심 기술로 진화하고 있으므로 기술 내재화와 산학연 협력을 통한 기술 혁신 시너지를 창출해야 할 것이다.
파워모듈 # 방열기판 # Si_3N_4 (질화규소) # 세라믹방열기판 # AMB기술

+ Science Fiction - 에이바 137

전원호 | SF 작가·과학스토리텔러

무인 트럭인 오토트럭과 배송 로봇인 아코를 통해 물류 전구간 무인화를 급하게 진행하는 업체에 고용된 인혁, 불안정한 서비스로 인해 비밀유지각서를 쓰고 에지 케이스를 관리하는 오퍼레이터를 맡게 되었다. 무인 트럭에 사람이 탑승했다는 사실이 알려지면 회사 주가에 심각한 타격이 있기에 은밀하게 일하던 어느 초여름, 오토트럭에 멀티모달 모델 AI인 에이바가 탑재되면서 일이 벌어지는데...
배송로봇 # 오토트럭 # AI_SoC # EREV # 파인튜닝 # 학습데이터 # 에이바

