

제2회

전기자동차 제조의 미래기술 세미나

다이캐스팅 기술

- 일시 25. 7. 8.(화) 13:30 ~ 17:10
- 장소 인하대학교 항공우주융합캠퍼스 217호 세미나실
- 주최 인하대학교 고강도 고방열 경량금속소재 기반구축사업



제2회 전기자동차 제조의 미래기술 세미나

다이캐스팅 기술

일시 25. 7. 8.(화) 13:30 ~ 17:10
장소 인하대학교 항공우주융합캠퍼스 217호 세미나실
주최 인하대학교 고강도 고방열 경량금속소재 기반구축사업

행사일정

일정	시간	세부내용	
		강연주제	강연자
참석자등록	13:30~14:00	방명록 작성, 만족도 조사지 수령	
교육	14:00~14:40	알루미늄소재분야 탄소저감 기술동향	(주)현대자동차 (강희삼 마스터)
	14:40~15:20	미래차용 소재기술개발동향	한국자동차연구원 (한범석 소장)
	15:20~15:30	사진 촬영	
	15:30~15:40	휴식(Coffee Break)	
	15:40~16:20	스크랩 재활용중 용탕품질평가기술	포항산업과학연구원 (김명균 수석연구원)
	16:20~17:00	배터리 팩 케이스 구조방안 설계 및 검증	에니캐스팅소프트웨어(주) (윤종묵 상무)
폐회	17:00~17:10	행사종료 및 설문지 회수	

* 상기일정은 사정에 따라 변동될 수 있음

01

알루미늄소재분야 탄소저감 기술동향

(주)현대자동차
강희삼 마스터



알루미늄 소재 분야 탄소 저감 기술 동향

2025. 07. 08 (화)

강희삼 글로벌 R&D 마스터

전략소재연구실

현대자동차 AVP(Advanced Vehicle Platform)본부 기초소재연구센터

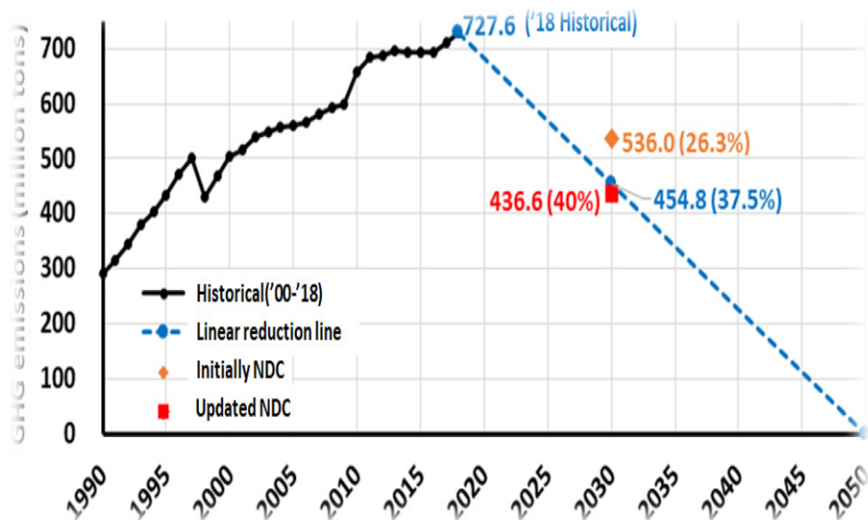
Contents

1. 글로벌 환경 규제 강화
2. 알루미늄 분야 탄소 배출 현황
3. 탄소 저감 기술 동향
4. 알루미늄 재활용 기술
5. 맺음말

- 전 과정 탄소 배출에 대한 규제가 지속적으로 강화되고 있음.

① 국가 탄소중립 목표 (NDC) 강화 : '30년까지 '18년 대비 40%감축 ('23년 기준 624.2억톤 배출)

② 탄소국경조정제도 시행 (CBAM) : 제품별 탄소배출량에 따른 '탄소 인증서' 구매 의무화



[대한민국 온실가스 감축 목표 (NDC)]

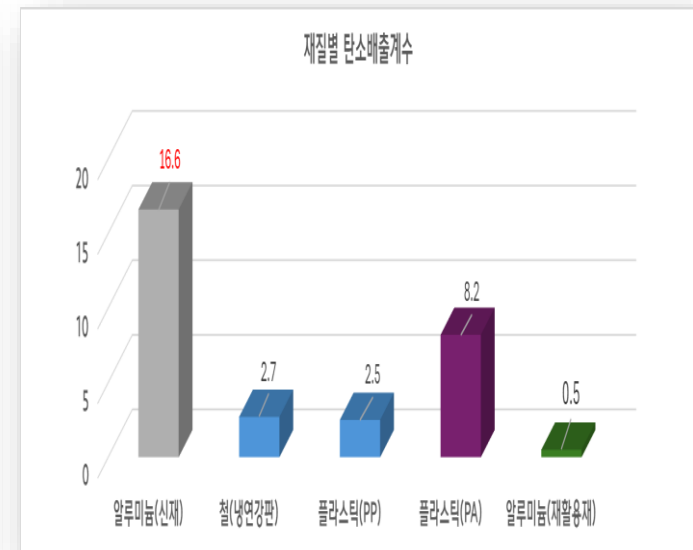
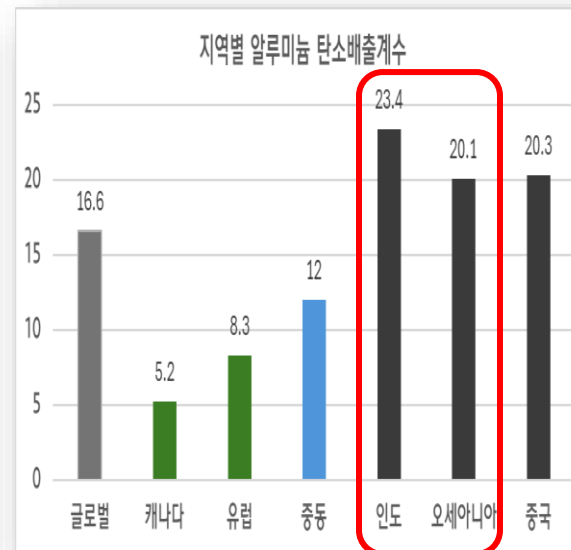
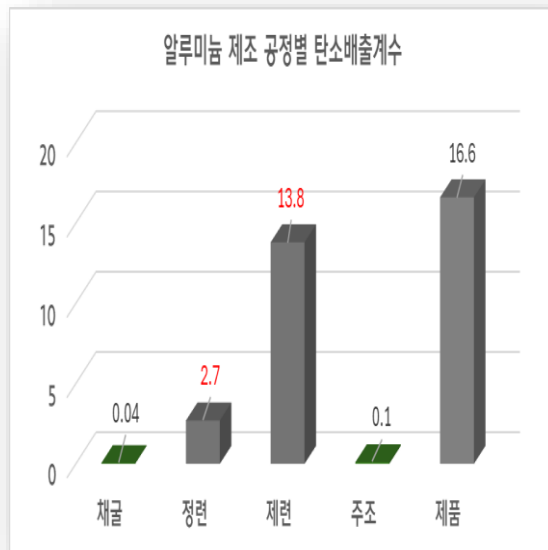


[탄소국경조정제도(CBAM) 대상 품목]

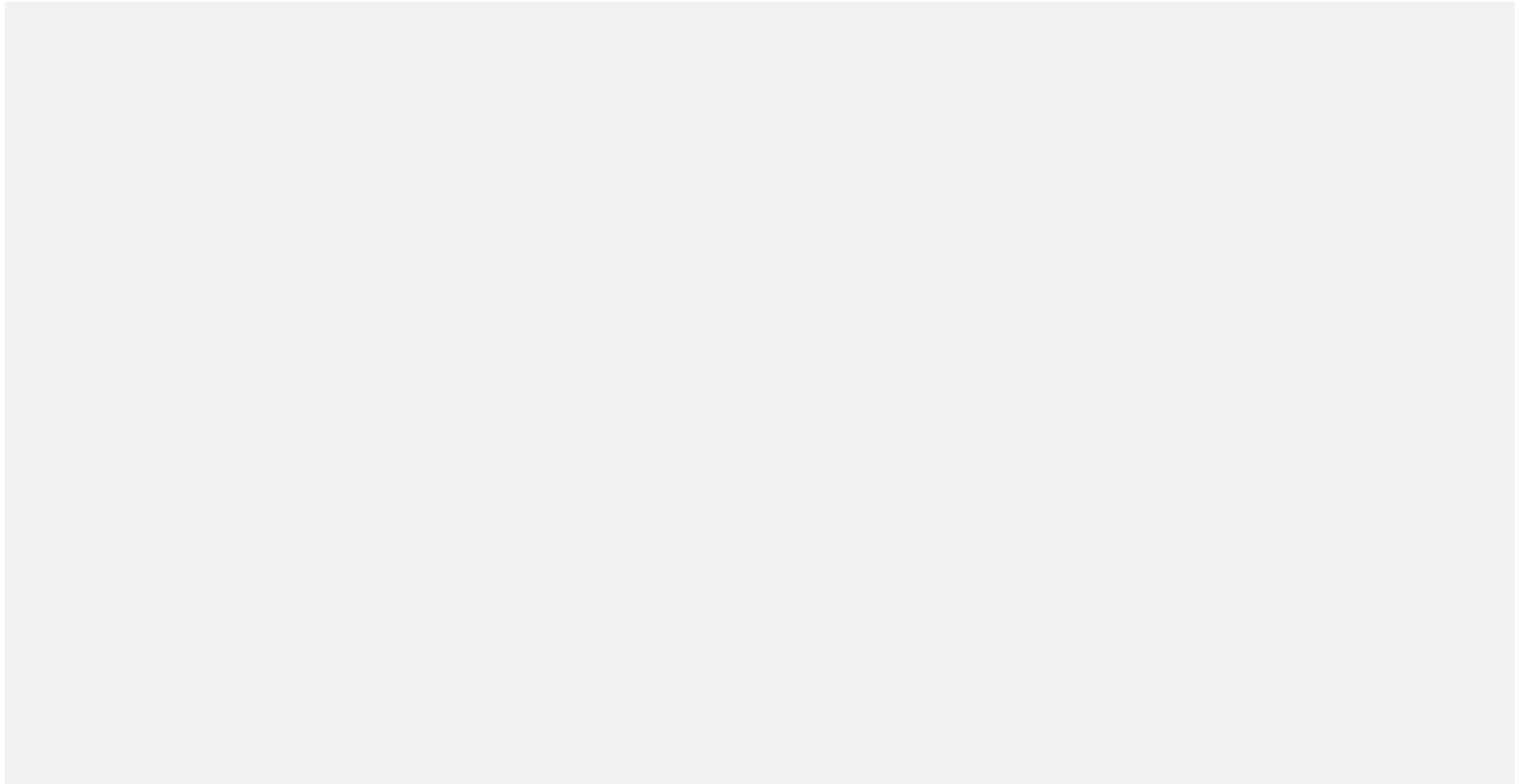
2. 알루미늄 분야 탄소 배출 현황 - 원소재

02/14

- 알루미늄 정련 및 제련 과정에서 다량의 열 에너지 및 전기 에너지 사용
→ 22년 기준, 270Mt CO₂ 직접 배출 (전세계 산업 배출량의 3% 차지)
※ 지역별로 사용하는 에너지 소스에 따라 알루미늄 탄소 배출 계수는 달라짐.
- 타 소재 대비 탄소배출계수가 절대적으로 높음.



- 차량 단위 LCA결과, 알루미늄 소재의 사용량 대비 탄소 배출 비중이 매우 높음.

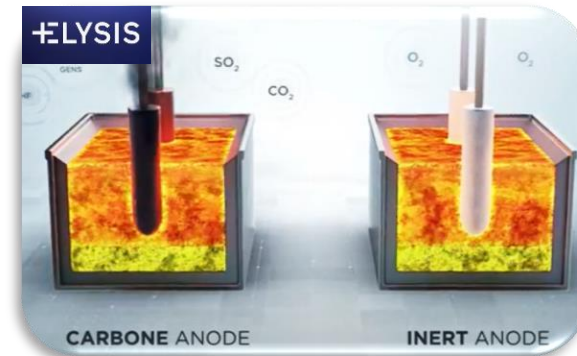


3. 탄소 저감 기술 동향 - 글로벌 제련사

04/14

- 탄소 저감 프라이머리 알루미늄

① 신재생 에너지 전환 (~4kg CO₂ eq.) ② 불활성 양극 제련 기술 개발 (~2kg CO₂ eq.)



- 탄소 저감 재활용 알루미늄 (~0.5kg CO₂ eq.) ※ 북미/유럽의 경우, 소재사를 중심으로 안정된 공급망 구축

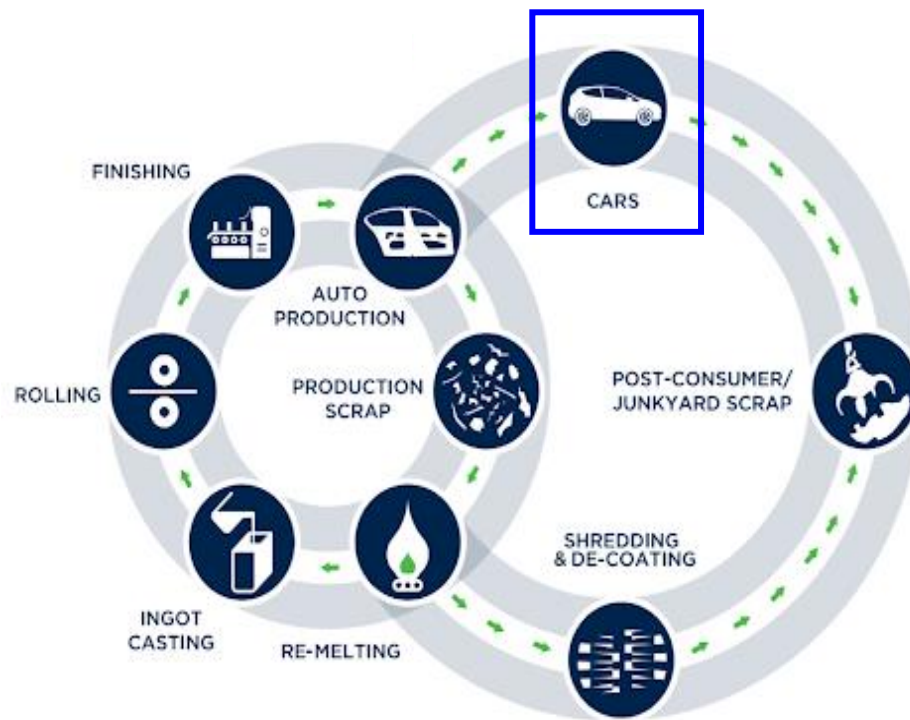


업체명	브랜드명
Rio-Tinto	RenewAl, ELYSIS
Norsk Hydro	Reduxa Circal
Alcoa	Ecolum, EcoDura, EcoSource
EGA	CelestiAl

3. 탄소 저감 기술 동향 - 부품사

05/14

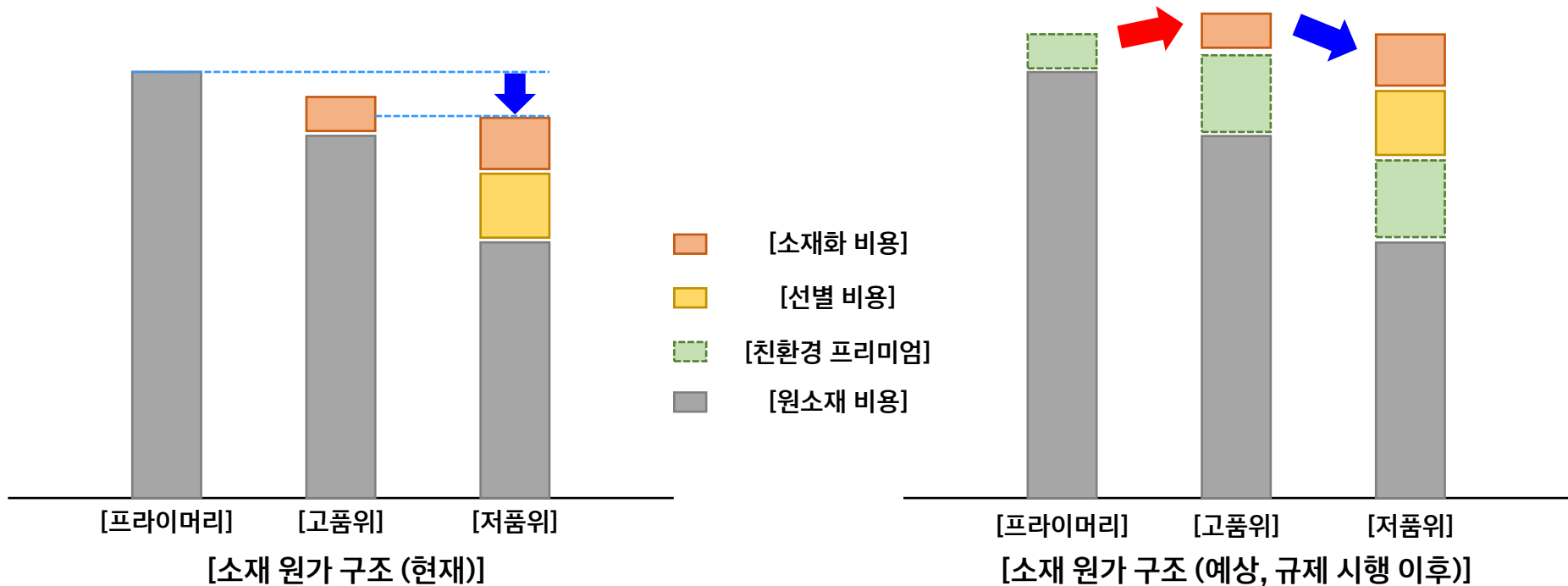
- 클로즈드 루프 리사이클링 강화로 알루미늄 총 사용량 감축 (글로벌 소재사와의 협력)
- Car to Car 재활용 통한 안정적인 재생 원료 공급망 구축



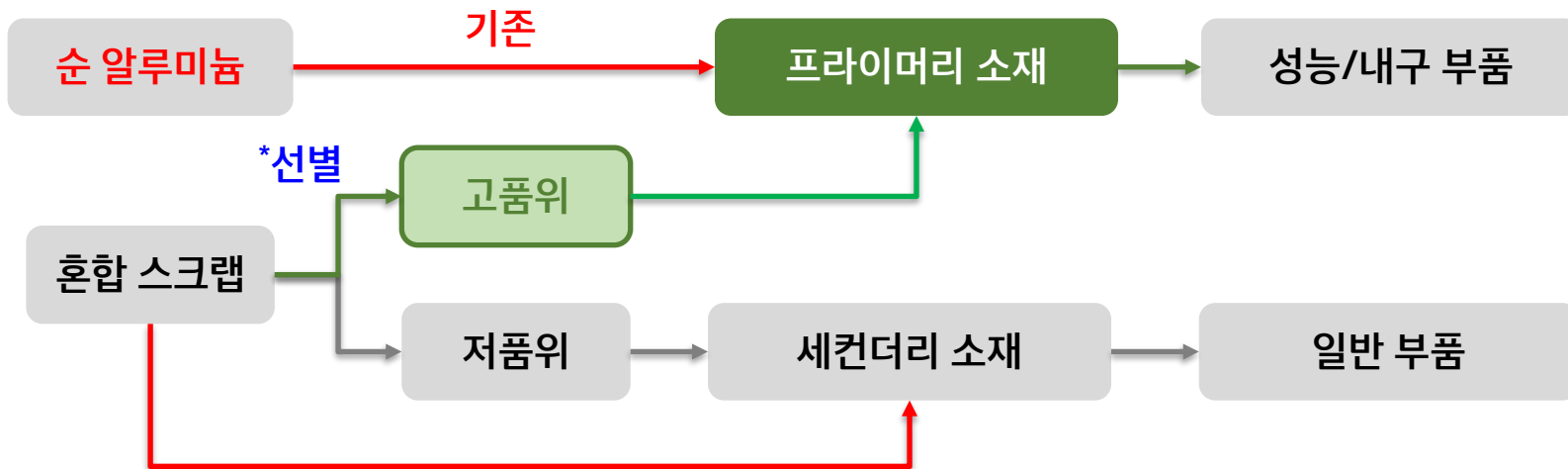
- 알루미늄 분야는 아직 규제 미 확정 상태로 불확실성 존재

- 현재 : 다양한 저품위 재생 원료 발굴 및 순환 재활용 통한 **원가절감** 방안 도출

- 규제 시행 이후 : **친환경 프리미엄, 수급 안정성 및 추적성** 등을 고려한 재생원료 최적 배합 방안 도출



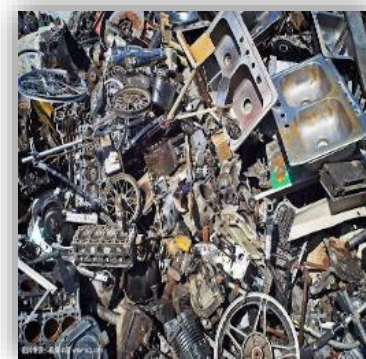
- **순 알루미늄을 대체** 가능한 고품위 스크랩 발굴 및 적용 (화학적분, 수급 용이성, 회수 비용 고려)



[순 알루미늄]



[고품위 단일 스크랩]



[저품위 혼합 스크랩]

4. 알루미늄 재활용 기술 - 고도 선별

08/14

- 혼합 스크랩 내 이물질 (특히 철계 스크랩) 제거 및 **알루미늄 재질별 분리**
 - ※ 초기 스크랩 상태, 목표 재생 원료 순도 및 회수율에 따라 최적 공정 설계 필요 (회수 비용 관점)
- 초기 설비 투자 비용으로 인한 규모의 경제 확보 필요



[Aluminum scrap collecting]



[Shredding & Magnetic separation]



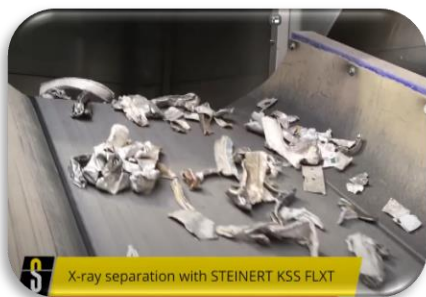
[Screening]



[Ejecting]



[Eddy current]



[X-ray or Laser separation]

4. 알루미늄 재활용 기술 - 용탕 청정화

09/14

- 재활용 비율 증대시, 수소가스 및 **개재물에 의한 결함** 발생 가능성 증가
 - GBF (Gas Bubbling Filtration) & Fluxing 공정 고도화
 - 용탕 품질(특히 개재물)의 정량적 검증 방안 및 데이터 확보 필요
- ⇒ 데이터 기반 품질 관리 방안 필요



[용탕 및 잉고트 제조]



[용탕 품질 검사]

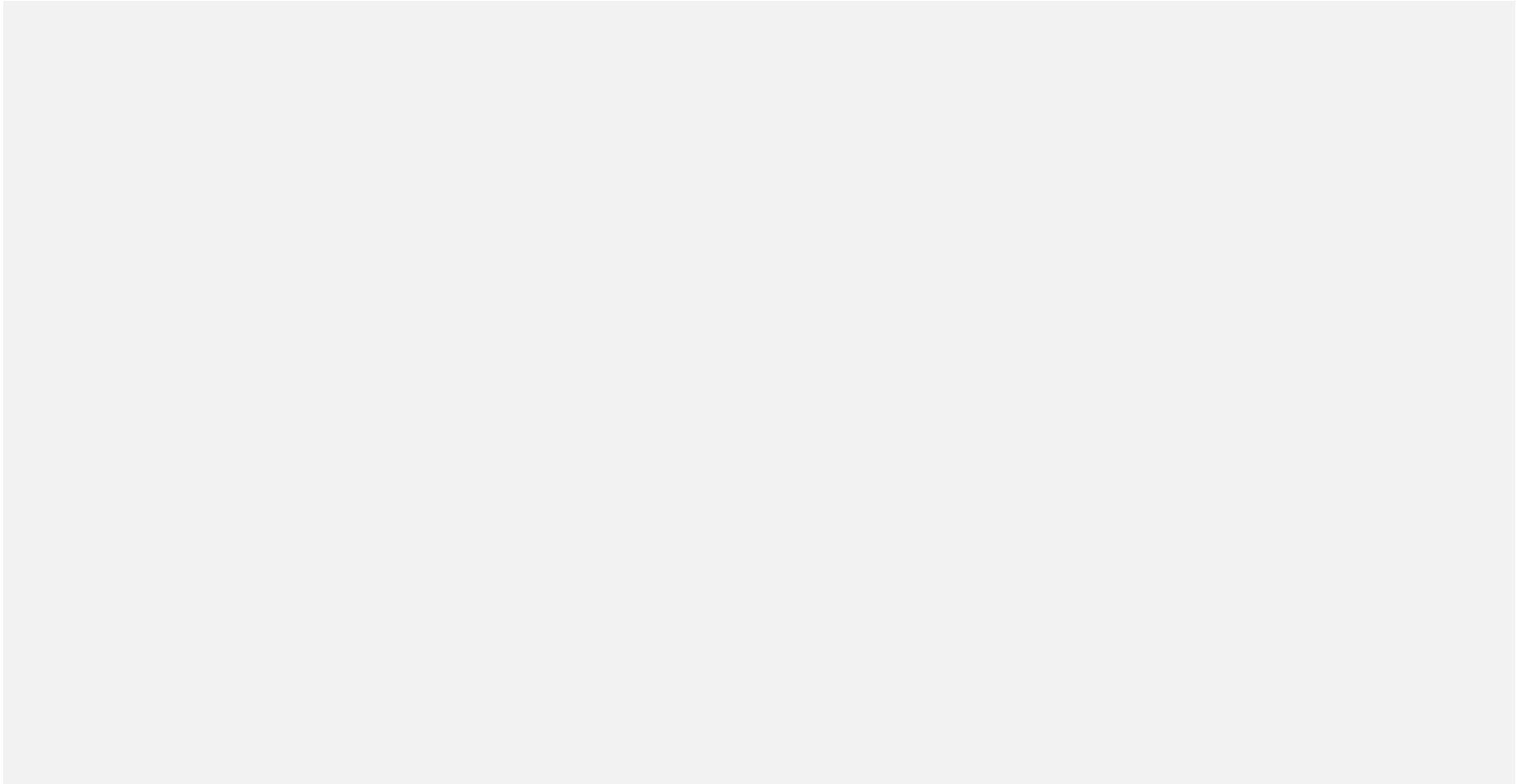


[PoDFA]



[LiMCA]

- 다양한 품질 정량 평가 방안 검증 추진 : 정밀 분석 (해외) → 간소화 (국내) → 현장 맞춤

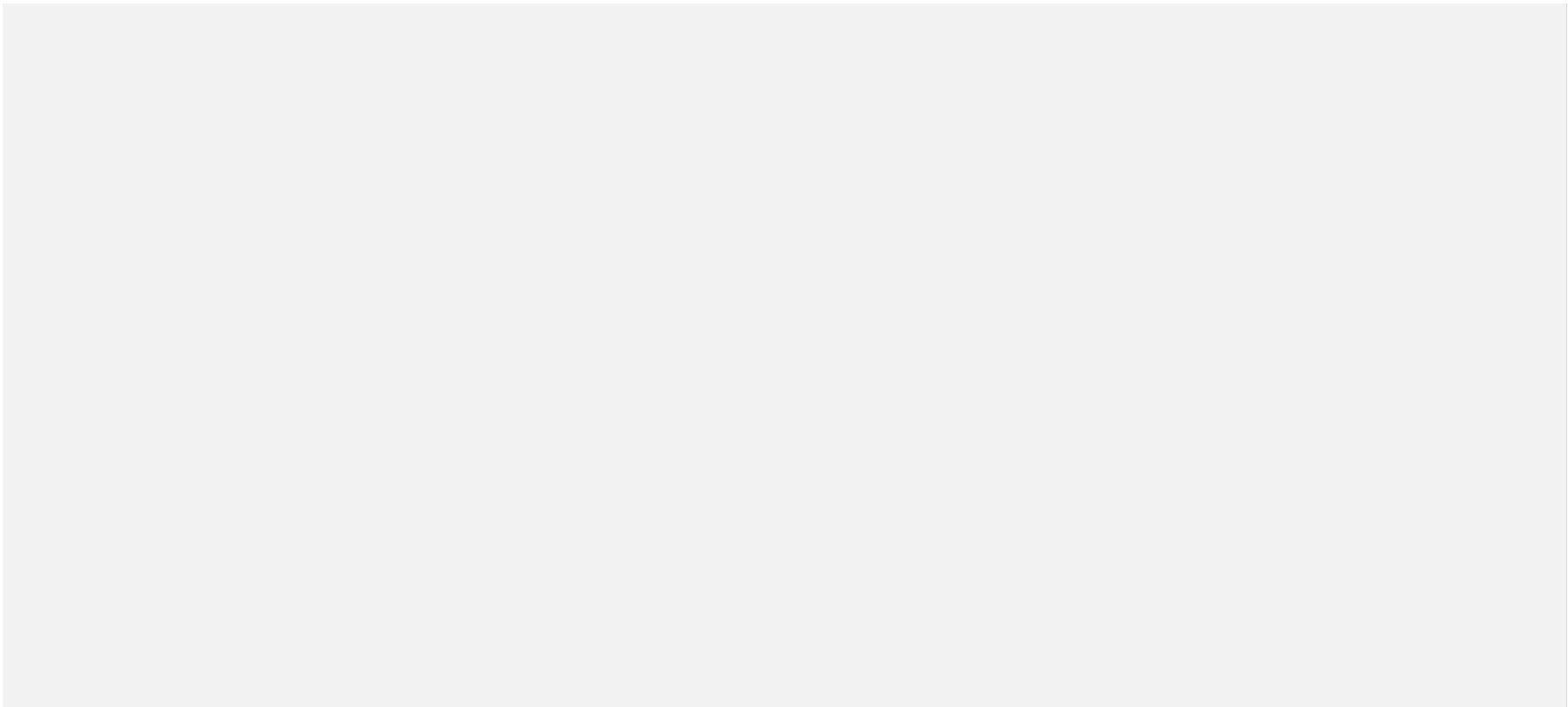


- 양산 라인 용탕 품질 데이터 평가 : **품질의 가시화 및 정량화** (상대 비교)
 - ① 전체 결함 수 관점에서 전반적으로 낮은 수치로 관리됨.
 - ② 상대적으로 세컨더리 합금에서 산화물 및 개재물의 검출 빈도가 높음.

- 재활용 소재 용탕 품질 비교 평가 (AC4CH 사례)

- ① 가공 및 산화물/개재물의 검출량이 상대적으로 높음 → GBF & Flux 처리 강화 필요

- ② 양산소재 수준의 용탕 품질 확보 가능 사례 확인



- 특정 화학 성분 함량으로 인한 제약 조건 해소 → 스크랩 다변화 & 투입 비율 증대

① Flux 처리 통한 미소 성분 제어 : Ti, V, Mg (~0.5wt%)

② 진공 증류 기법 응용 성분 제거 : Mg, Zn (>1%이상)

- 원소재를 전량 수입에 의존하고 있는 국내 여건을 감안할 때, 알루미늄 분야에서 탄소중립에 효과적으로 대응하기 위해서 **탄소 저감 재활용 알루미늄 소재 기술 개발**이 반드시 필요하다.
- 탄소 저감 재활용 소재를 부품에 적용하기 위해서는 **양산 소재와 동일한 수준의 화학성분 및 품질 관리 방안이 필요하다**. 특히 품질 관리 방안의 경우, 정량 데이터를 기반으로 품질 관리 방안을 고도화하고, 현장에서 직접 품질을 검증할 수 있는 방안을 함께 도출해야 한다.
- 재활용 소재 원가 경쟁력 확보를 위해 스크랩 다변화 및 투입 비율 증대를 위한 **화학성분 제어 기술** 확보가 반드시 필요하다.
- 향후 환경 규제 발효시 예상되는 친환경 프리미엄으로 인한 알루미늄 소재 원가 불안정성에 대비하여 탄소 저감 소재 장기 공급망 구축을 위한 **국내 알루미늄 소재/부품사 간 연대 및 협력**이 필요하다.
(규모의 경제 확보)

02

미래차용 소재기술개발동향

한국자동차연구원
한범석 소장



미래 모빌리티용 소재기술 개발동향

2025. 7. 8

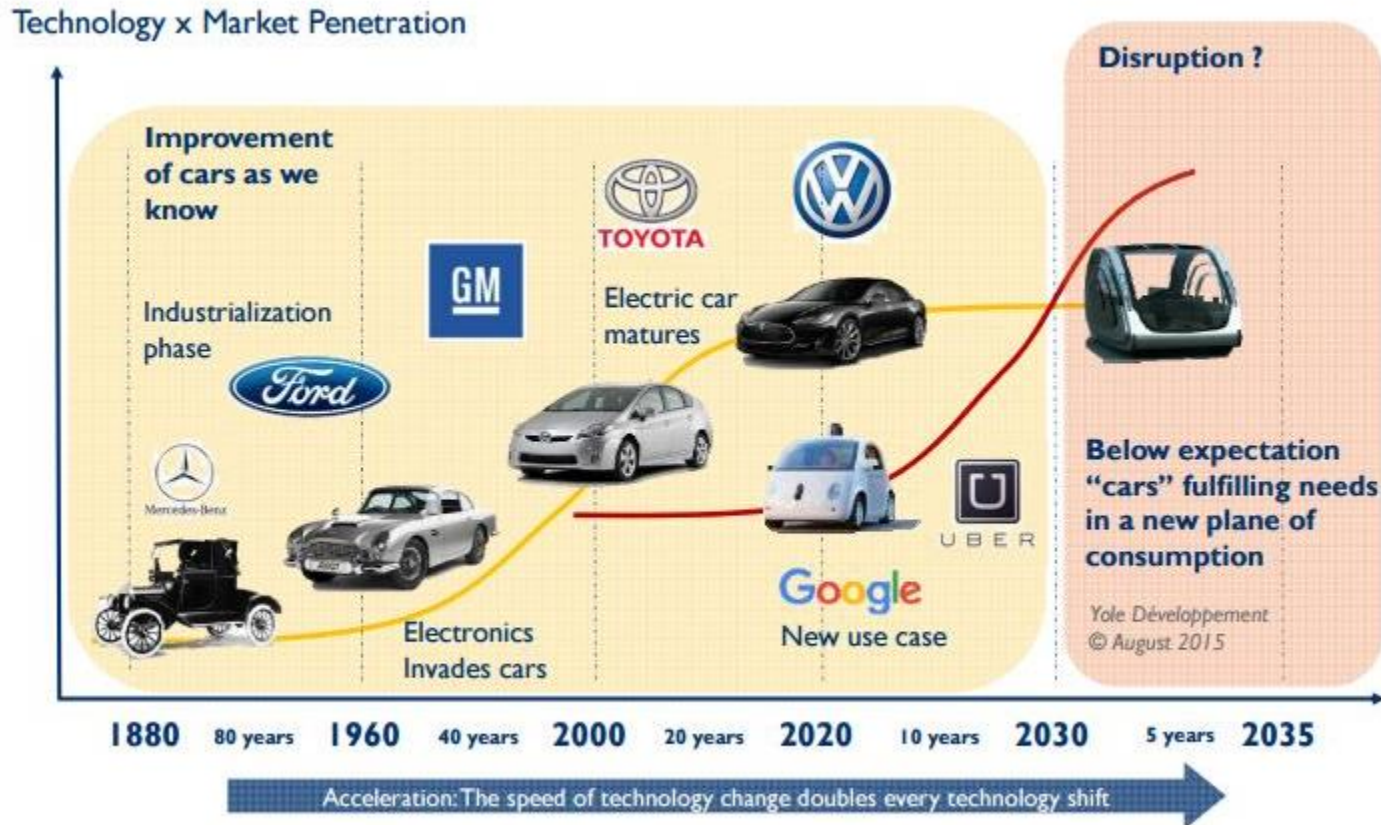
한국자동차연구원 한 범 석



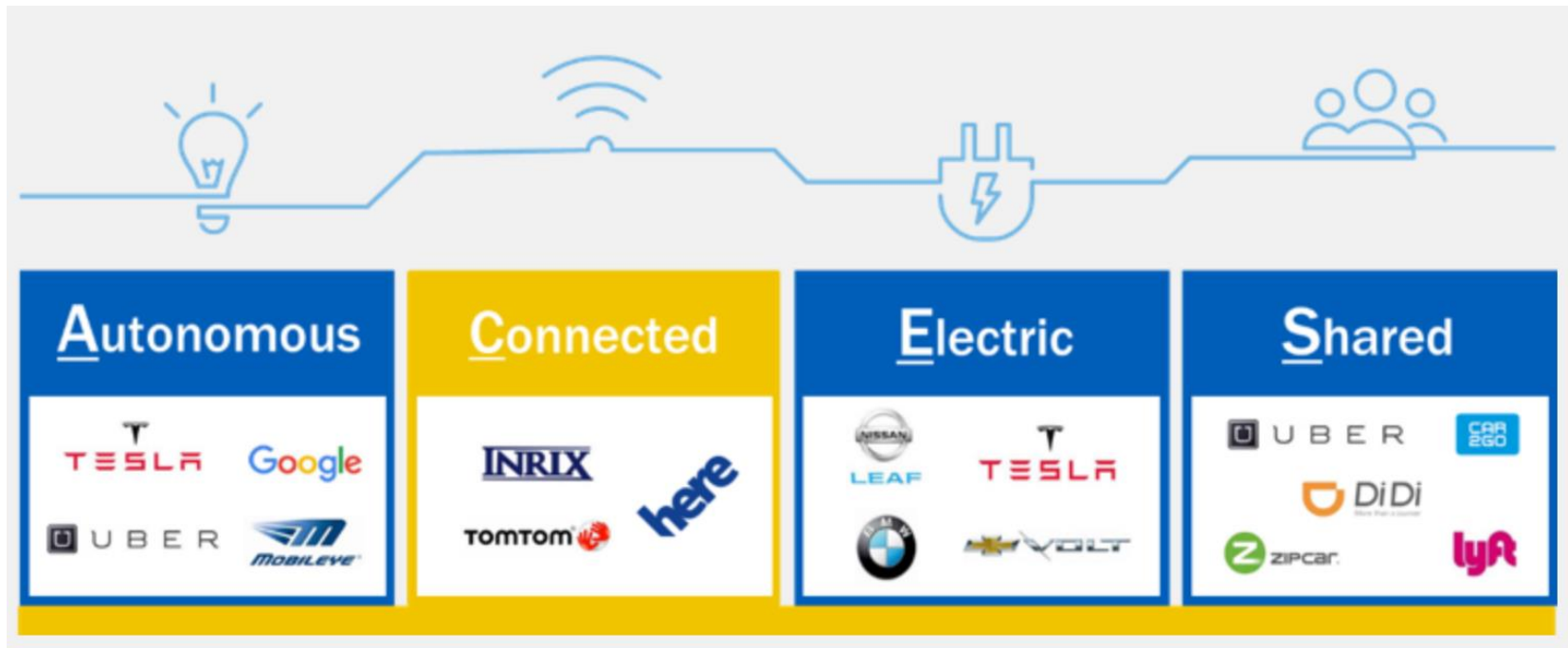


- 모빌리티 산업의 환경변화
- 지속가능 모빌리티 기술
- 스마트 모빌리티 기술
- 모빌리티용 소재기술

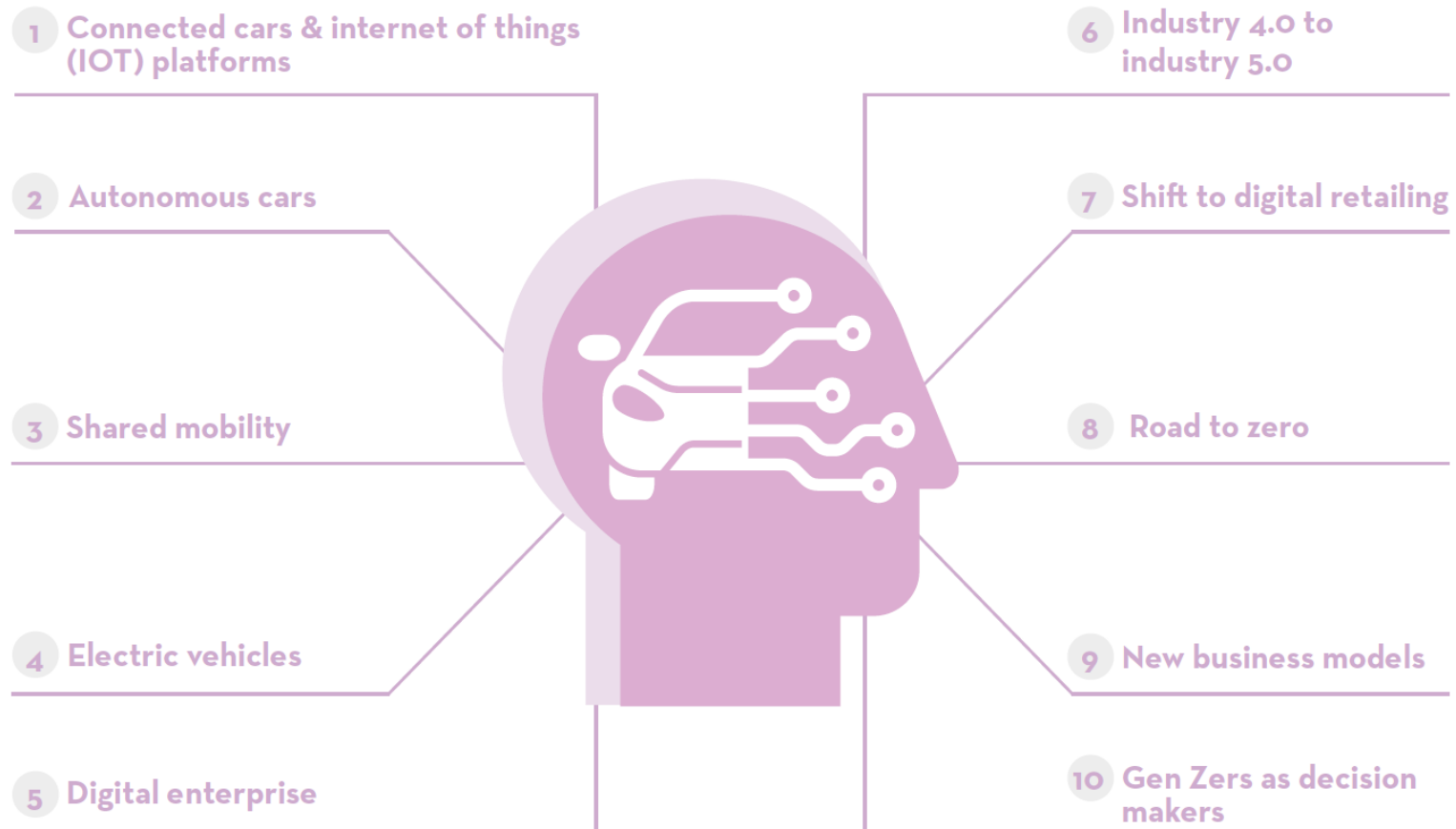
모빌리티 산업의 환경변화 – 핵심 키워드의 변화



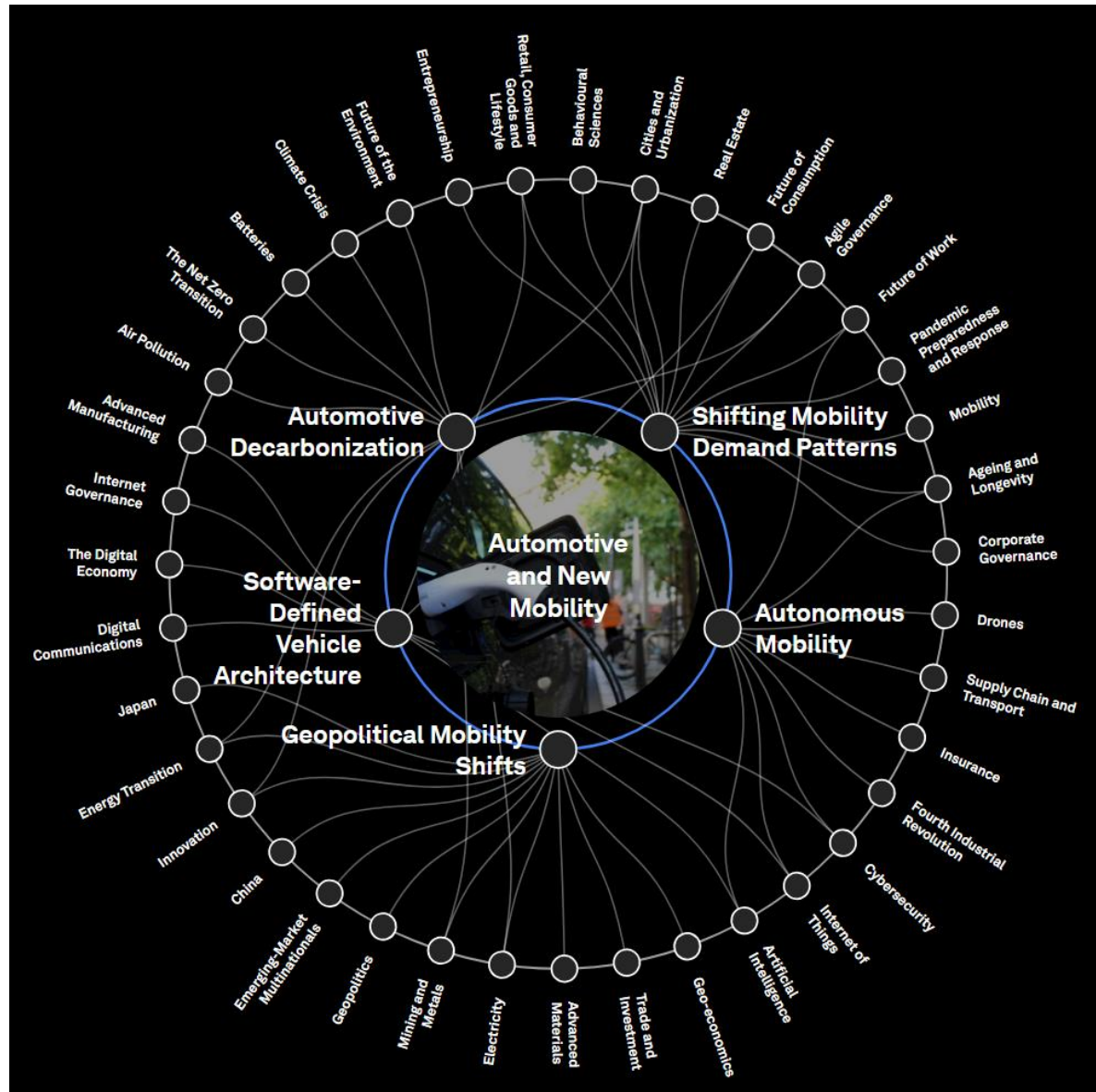
모빌리티 산업의 환경변화 - 핵심 키워드의 변화



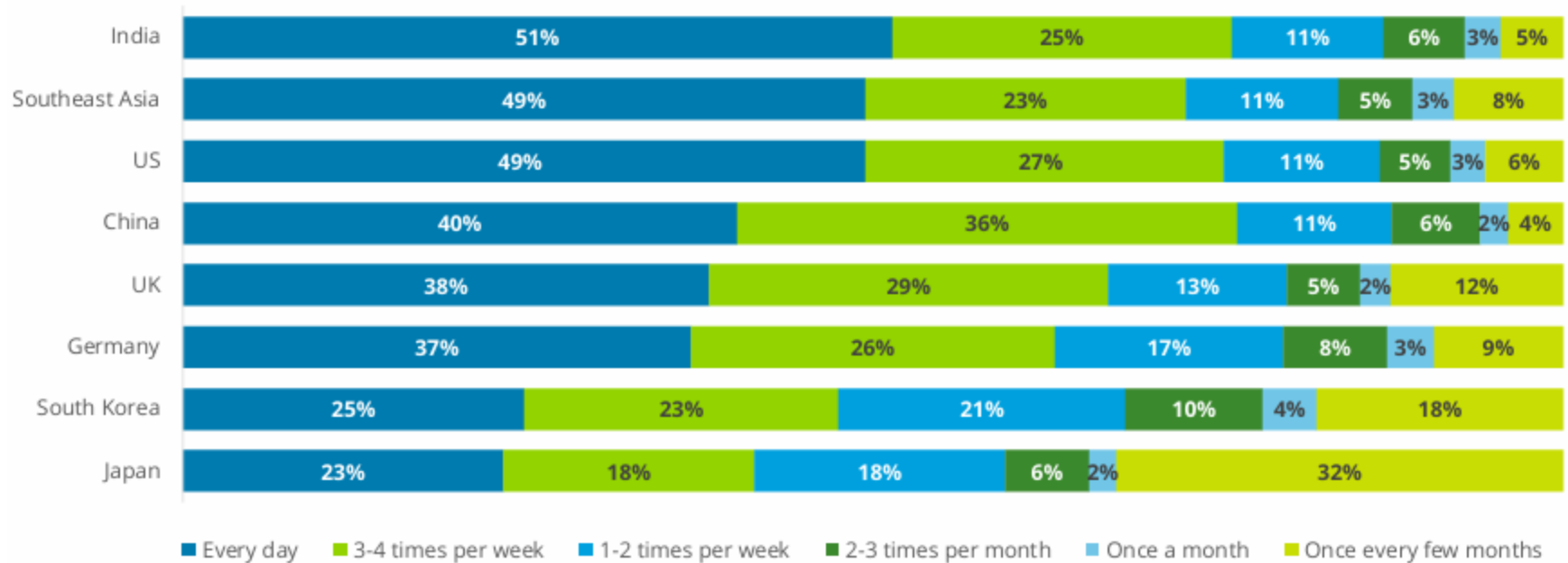
모빌리티 산업의 환경변화 – 핵심 키워드의 변화



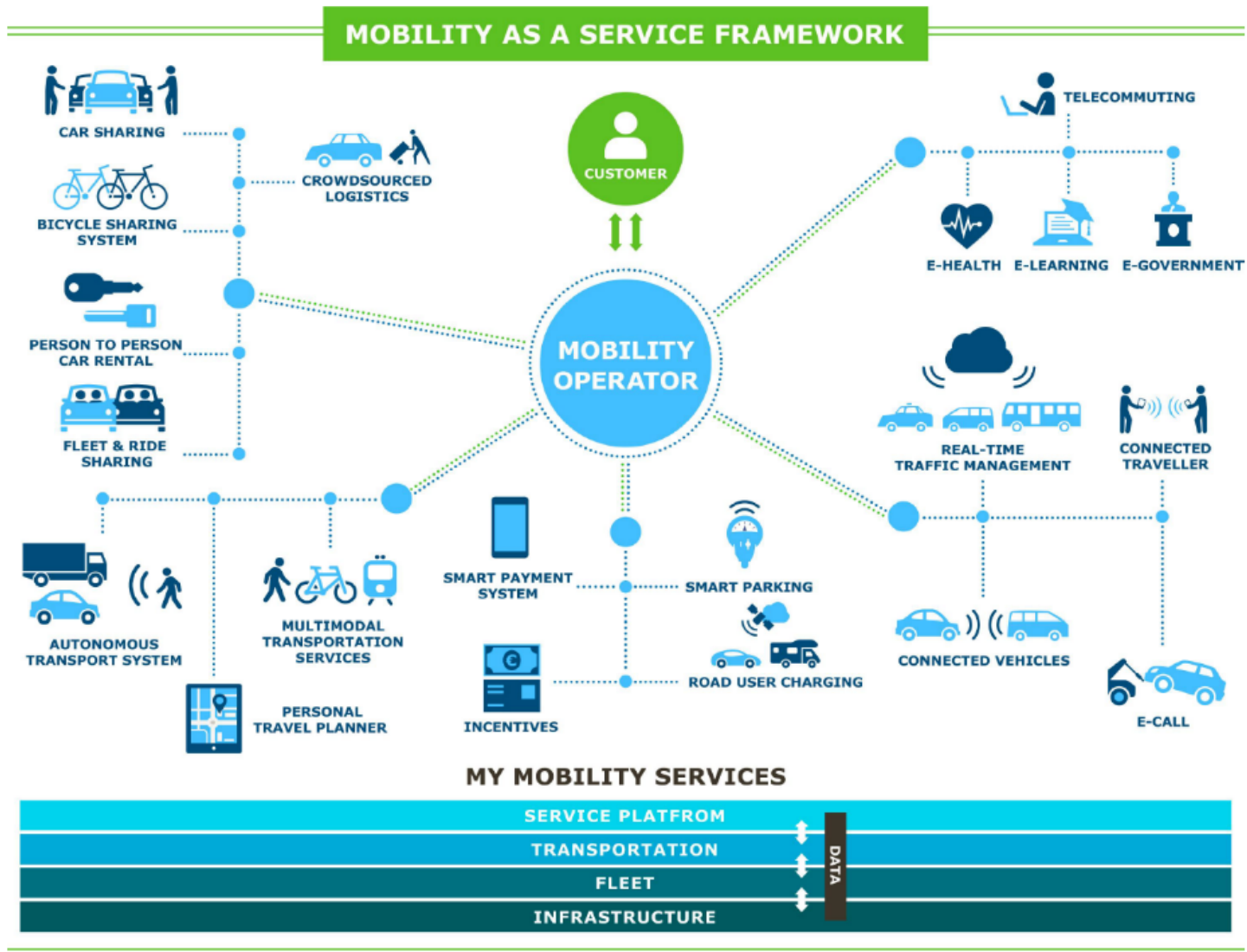
모빌리티 산업의 환경변화 – 핵심 키워드의 변화



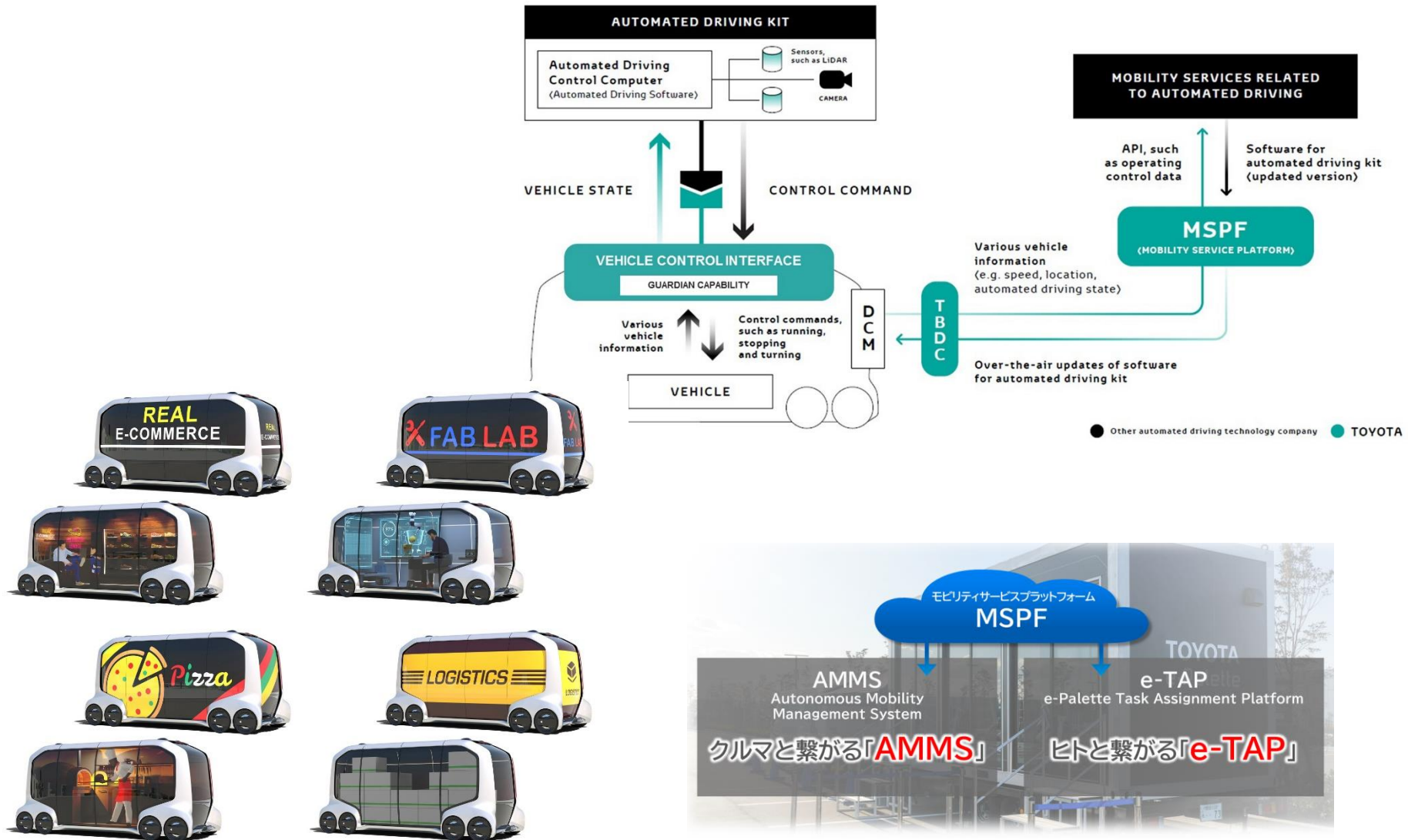
모빌리티 산업의 환경변화 – Demand Patterns



모빌리티 산업의 환경변화 – Mobility as a Service



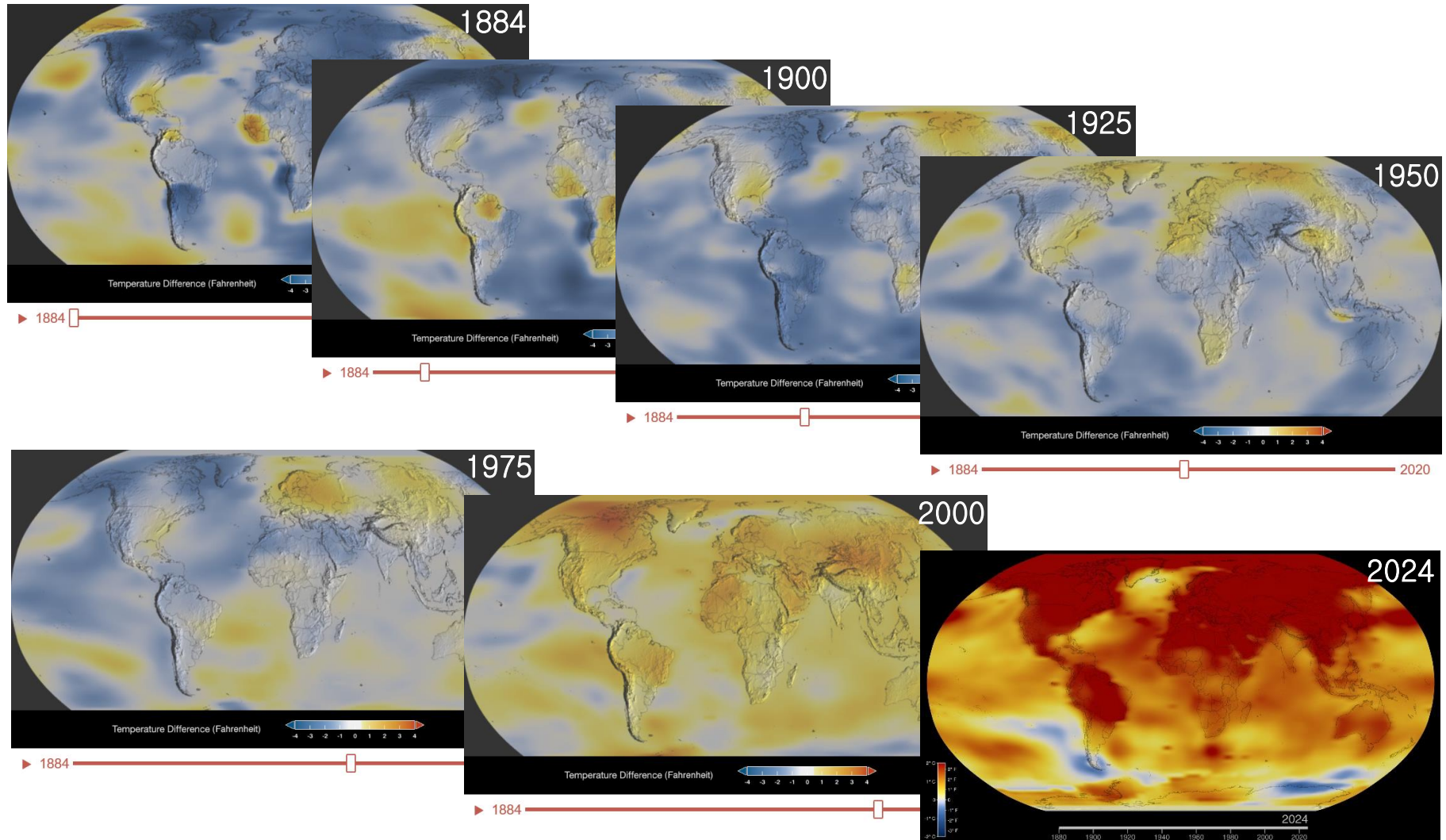
모빌리티 산업의 환경변화 – New Concept Mobility





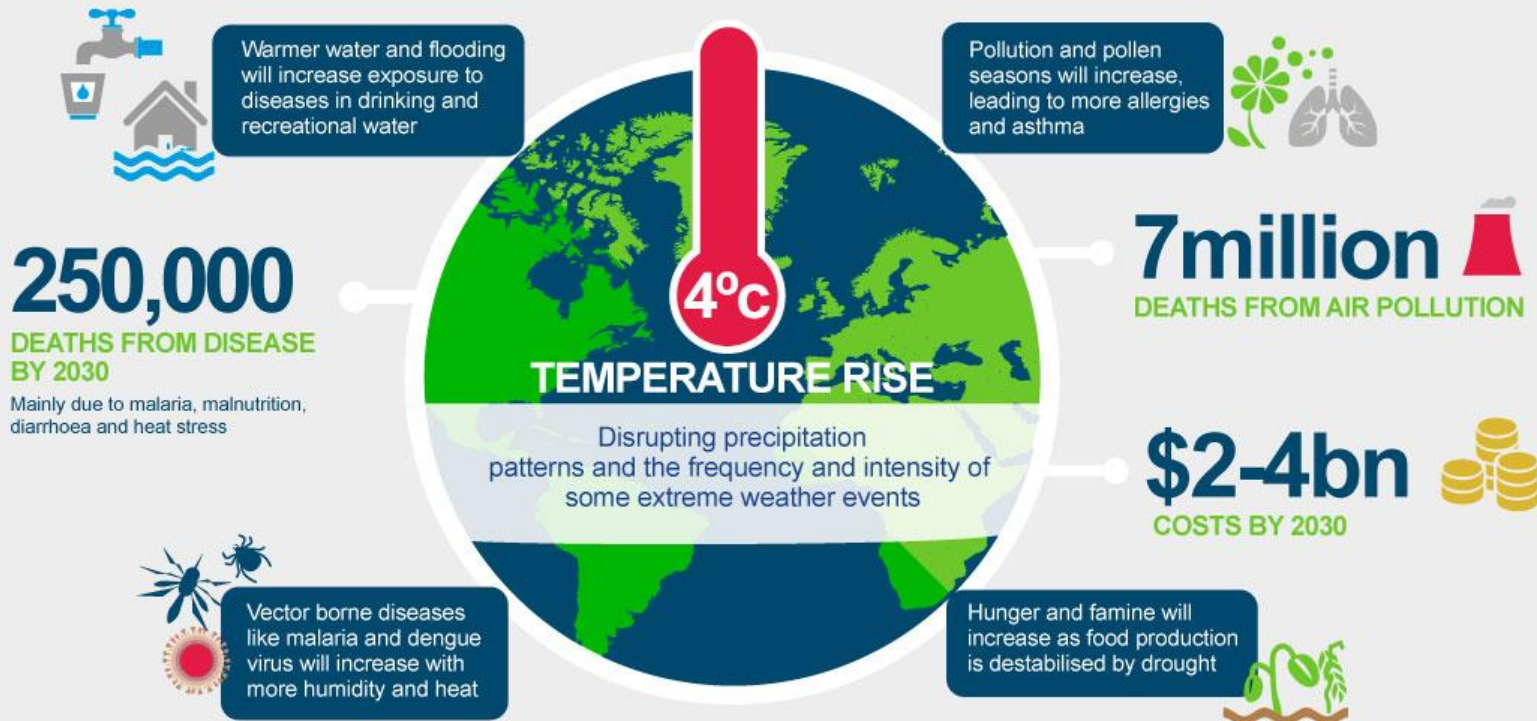
- 모빌리티 산업의 환경변화
- **지속가능 모빌리티 기술**
- 스마트 모빌리티 기술
- 모빌리티용 소재기술

지속가능 모빌리티 기술 - 평균 대기온도 변화





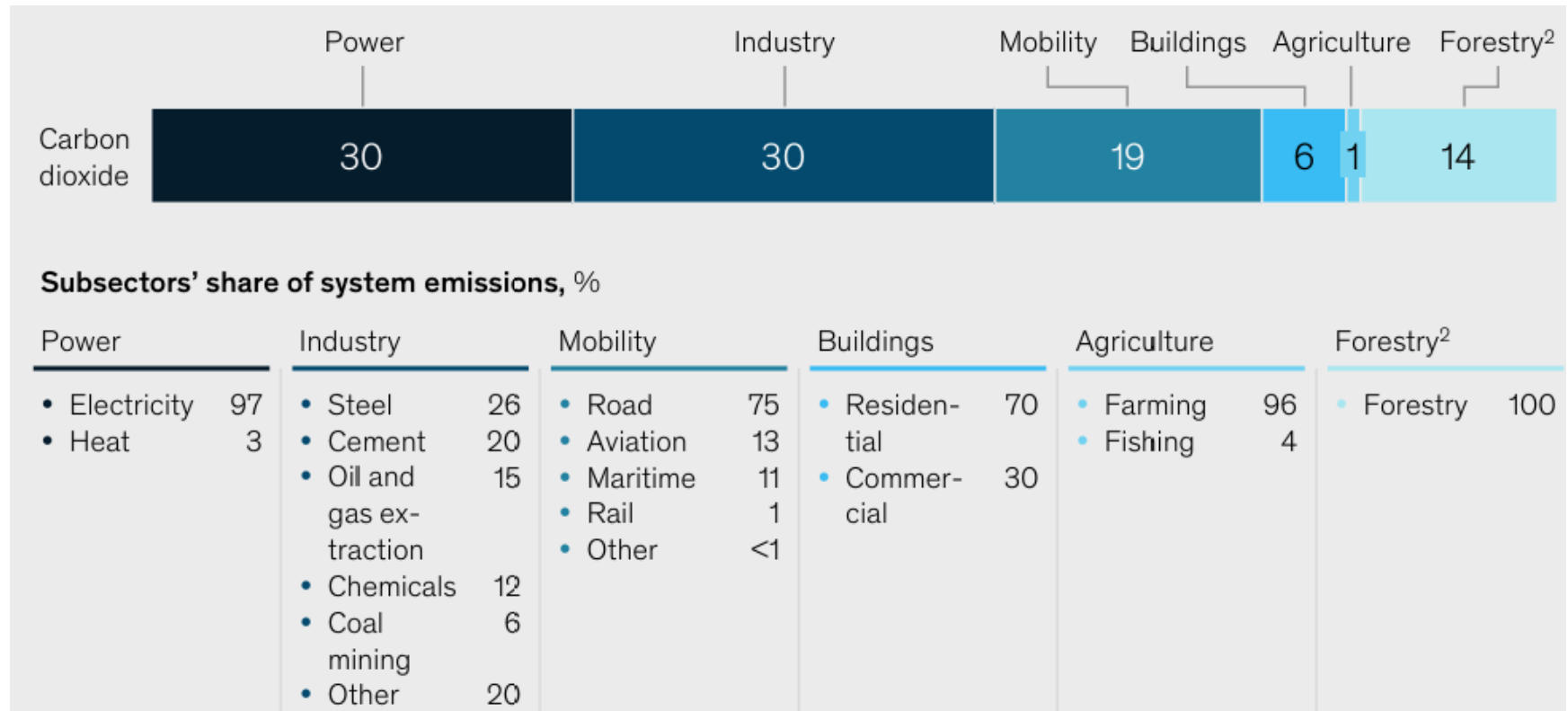
How climate change could impact the world



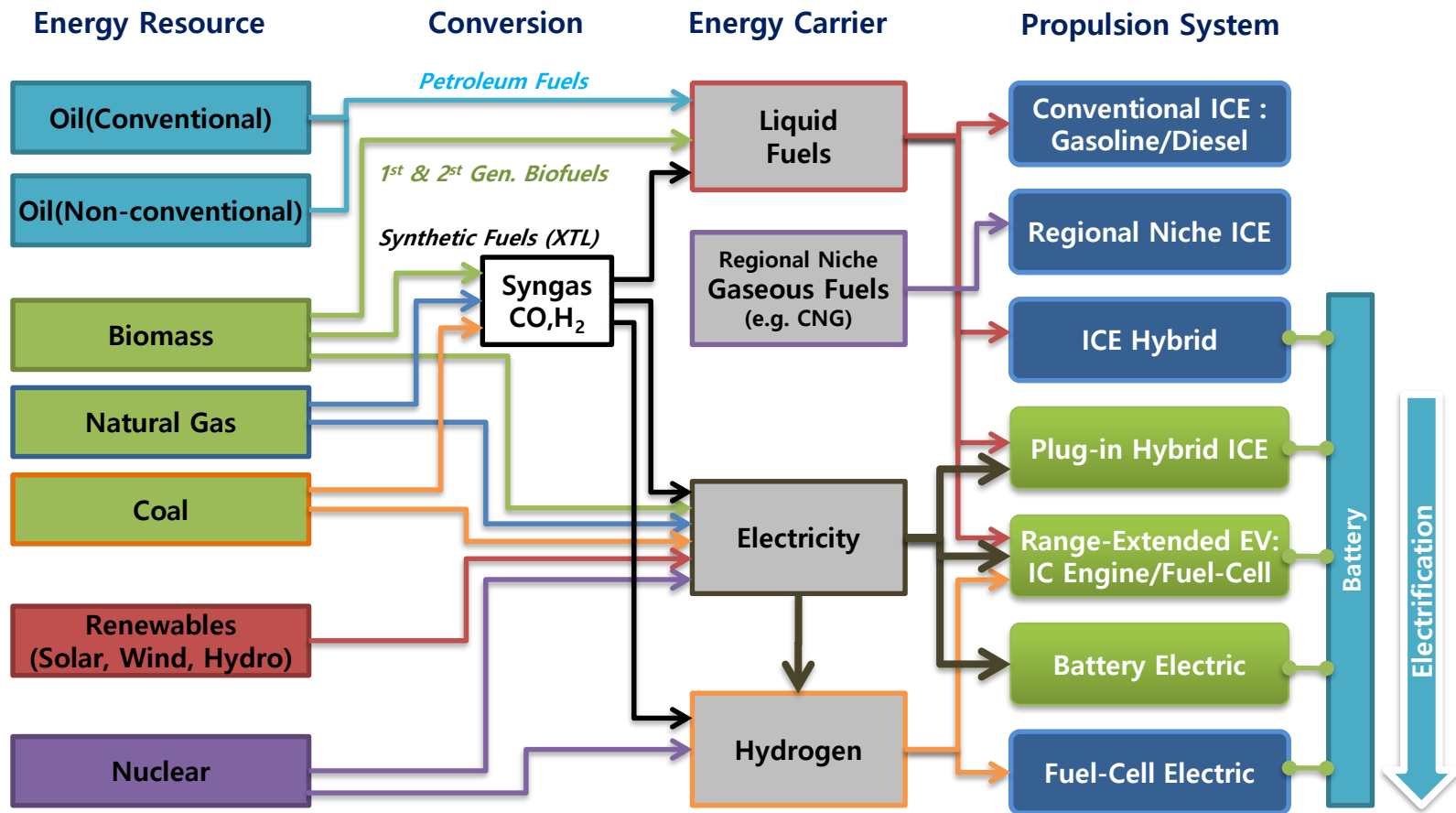
Source: WHO

Credit: Rebecca Robinson/LSHTM

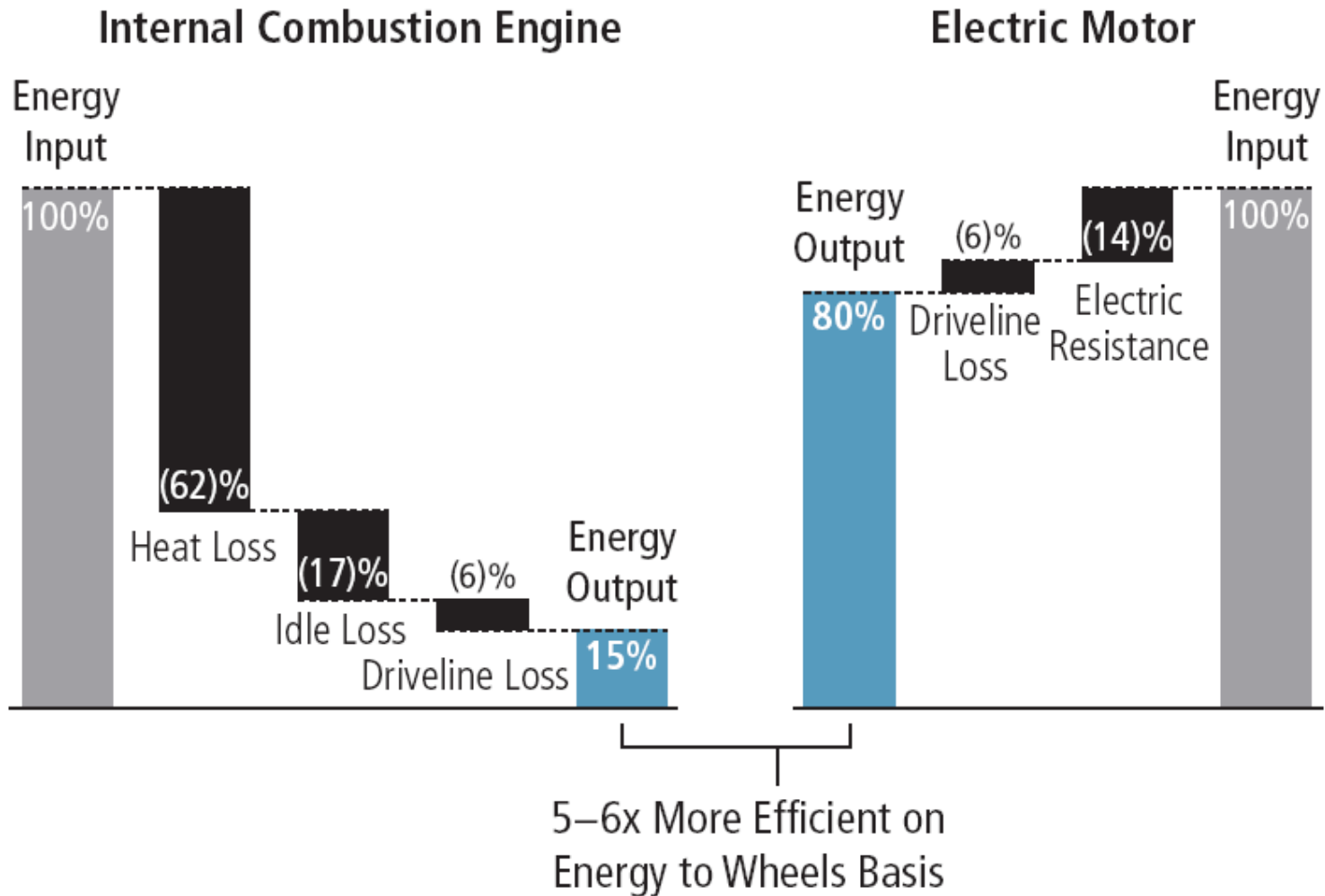
지속가능 모빌리티 기술 - 온실가스 배출에 미치는 수송산업



지속가능 모빌리티 기술 - 모빌리티의 에너지원



지속가능 모빌리티 기술 - 동력원의 효율 비교

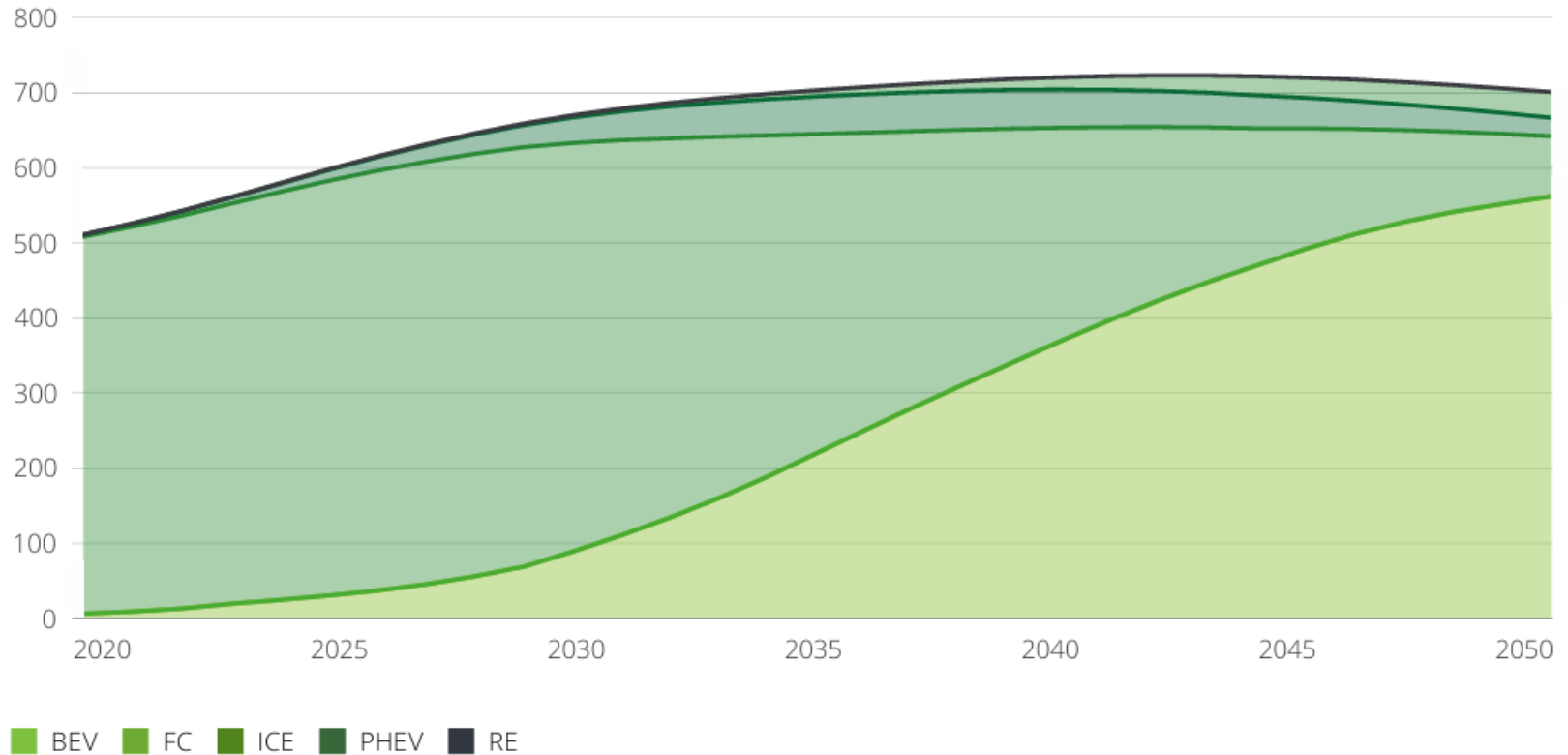


지속가능 모빌리티 기술 - 파워트레인의 변화

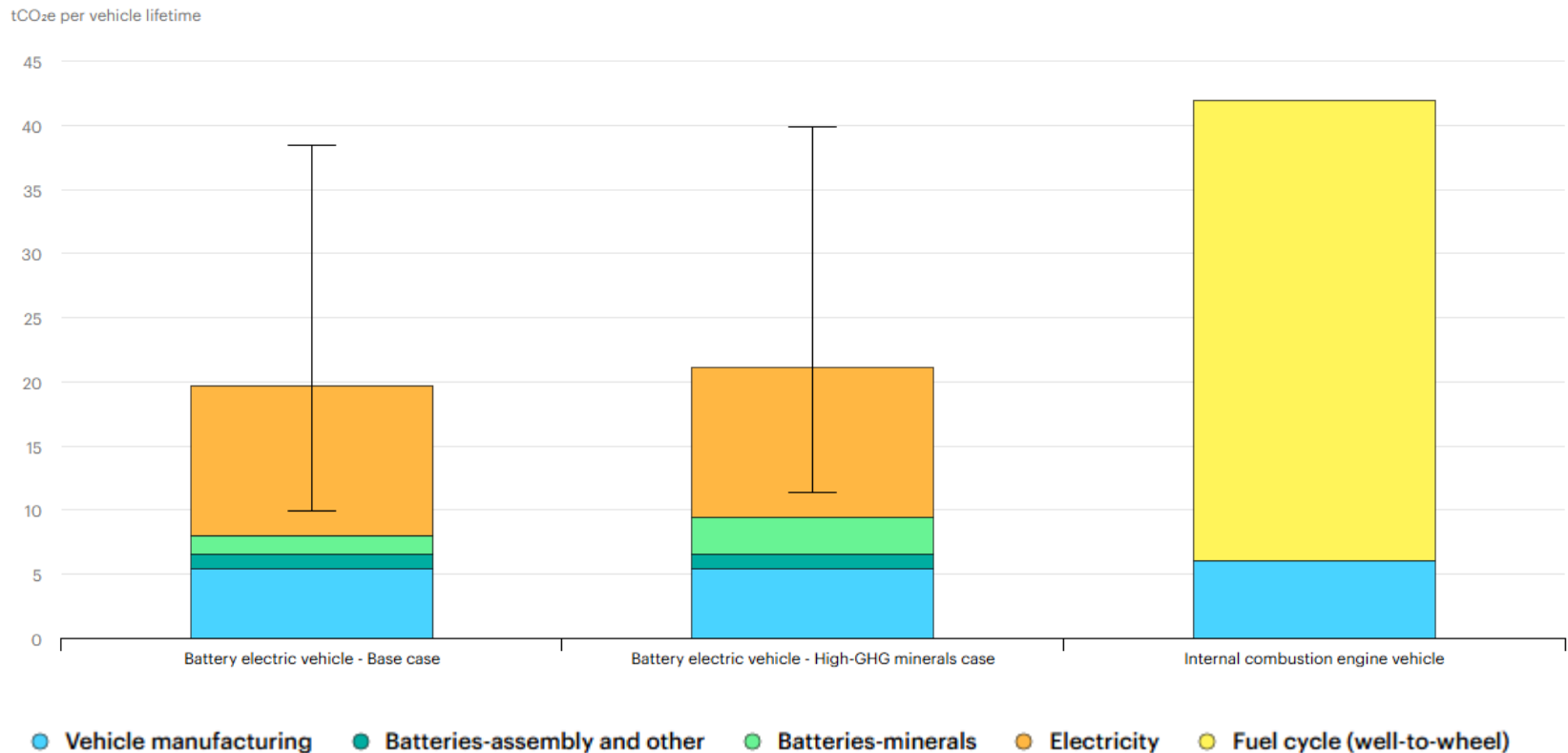


Vehicle market by year

in million

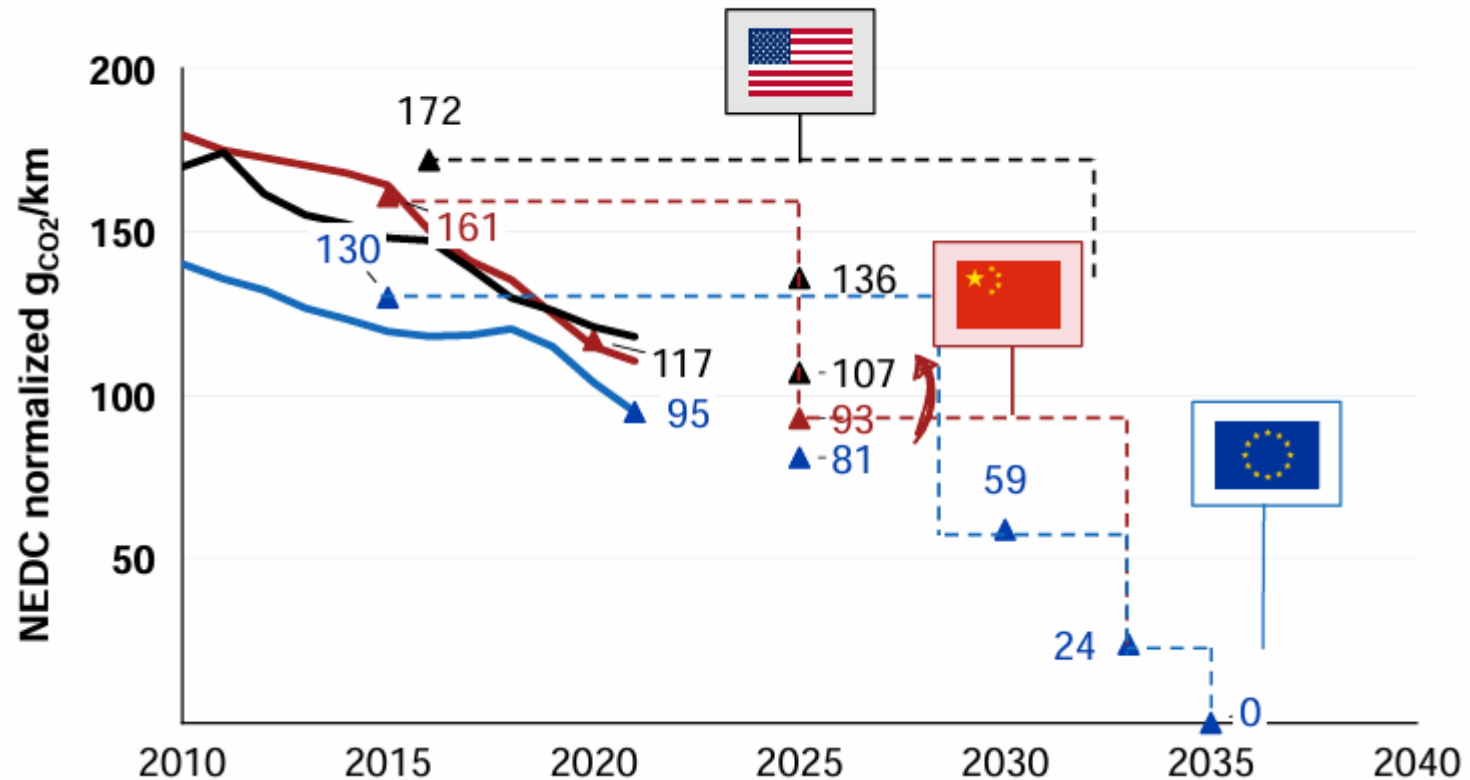


지속가능 모빌리티 기술 - 전주기 온실가스 배출 비교



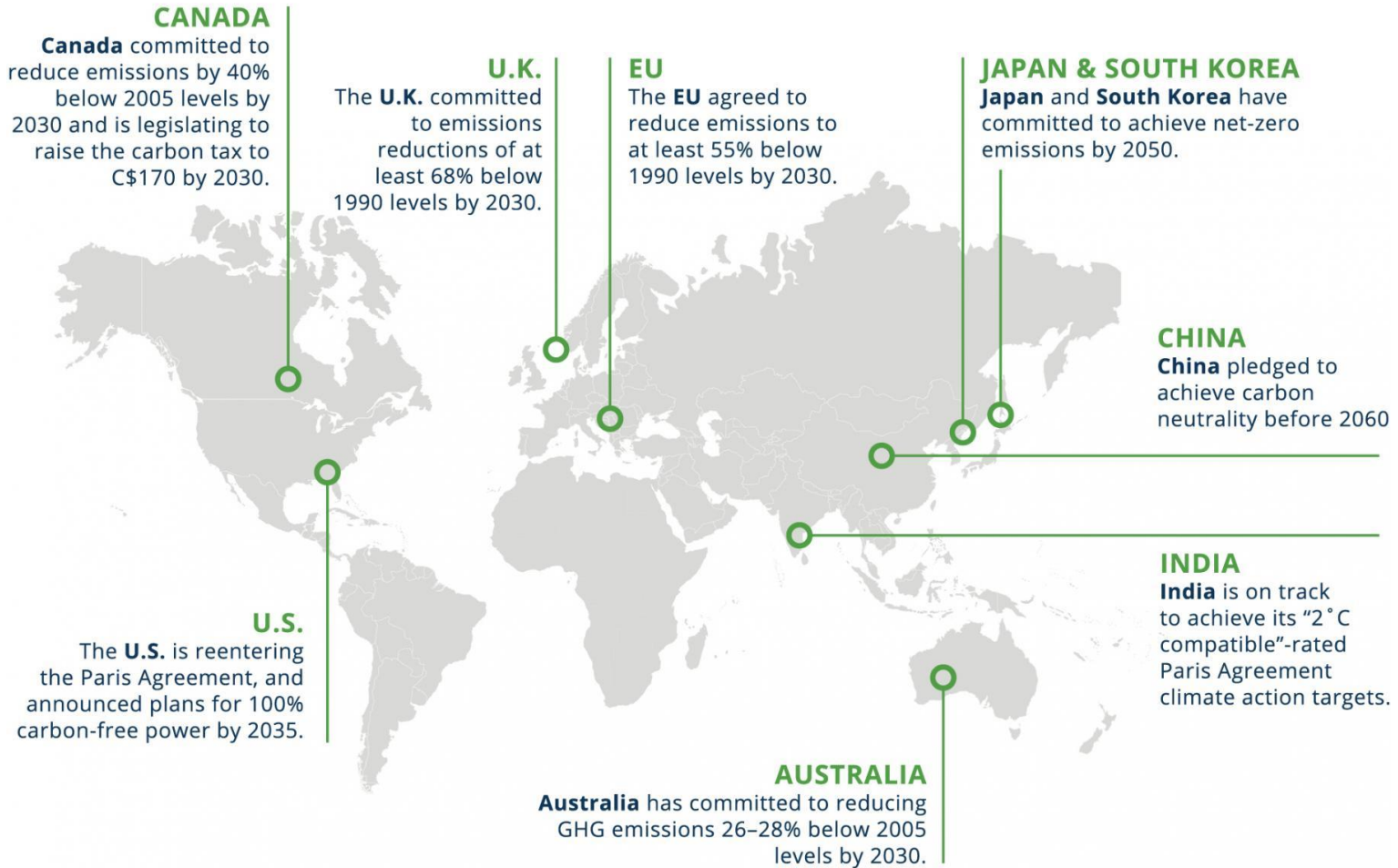


International CO₂ fleet targets



1: China's target reflects gasoline vehicles only. The target may be higher after new energy vehicles are considered.
2: US, Canada, and Mexico light-duty vehicles include light-commercial vehicles.
Supporting data can be found at theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards

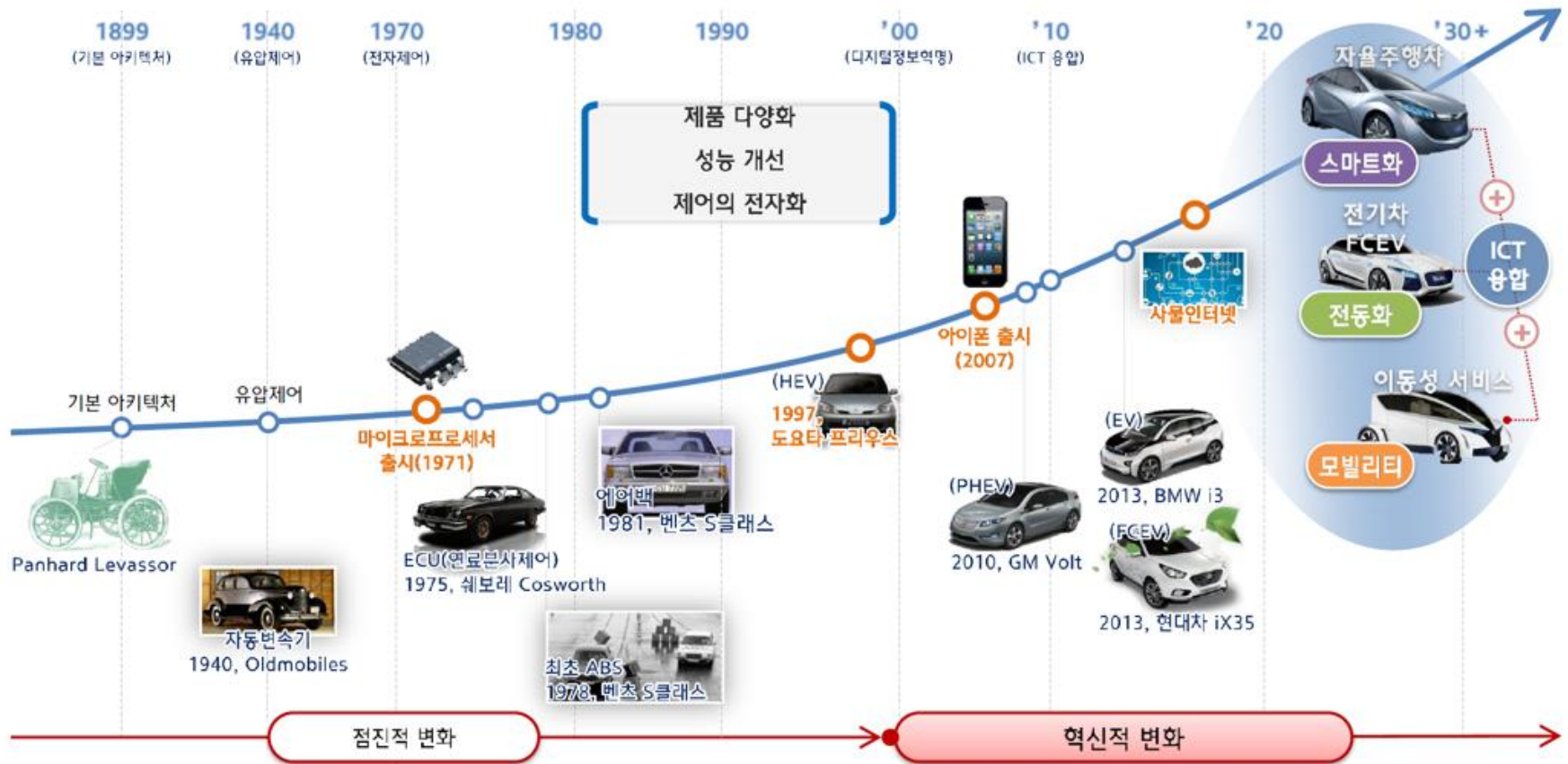
지속가능 모빌리티 기술 – Net Zero





- 모빌리티 산업의 환경변화
- 지속가능 모빌리티 기술
- **스마트 모빌리티 기술**
- 모빌리티용 소재기술

스마트 모빌리티 기술 - 스마트 기술의 변화



스마트 모빌리티 기술 - 자율주행차 기술 레벨



자율주행 기술레벨 정의 v.1.1 (2017)



국토교통부

TS

한국교통안전공단

자율주행안전연구부

KAIA

국립교통과학기술진흥원

자동차기술 중심 - Local Intelligence

자동차-인프라(도로&ICT) 융합 - Global Intelligence

Human

System

	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
정의	비자동화 No Automation	운전자 지원 Driver Assistance	부분 자동화 Partial Automation	조건부 자동화 Conditional Automation	고도 자동화 High Automation	완전 자동화 Full Automation
내용	운전자가 모든 운전 (경고장치포함)	운전자가 운전 (조향 혹은 감·가속 둘 중 하나 지원)	운전자가 운전 (조향 혹은 감·가속 둘 다 자동화)	운전자가 운전 단, 제한된 조건에서 자율주행 (운전자가 언제든지 Take Over 대기)	특정구간에서는 완전자율 주행	자동차가 모든 운전
주행 중 비상상황 대처	Human	Human	Human	Human	System	System
주행환경 모니터링	Human	Human	Human	System	System	System
책임주체	Human	Human	Human	Human or System 사고시 운전주체	System	System
제어주체	Human	Human and System	System	System	System	System

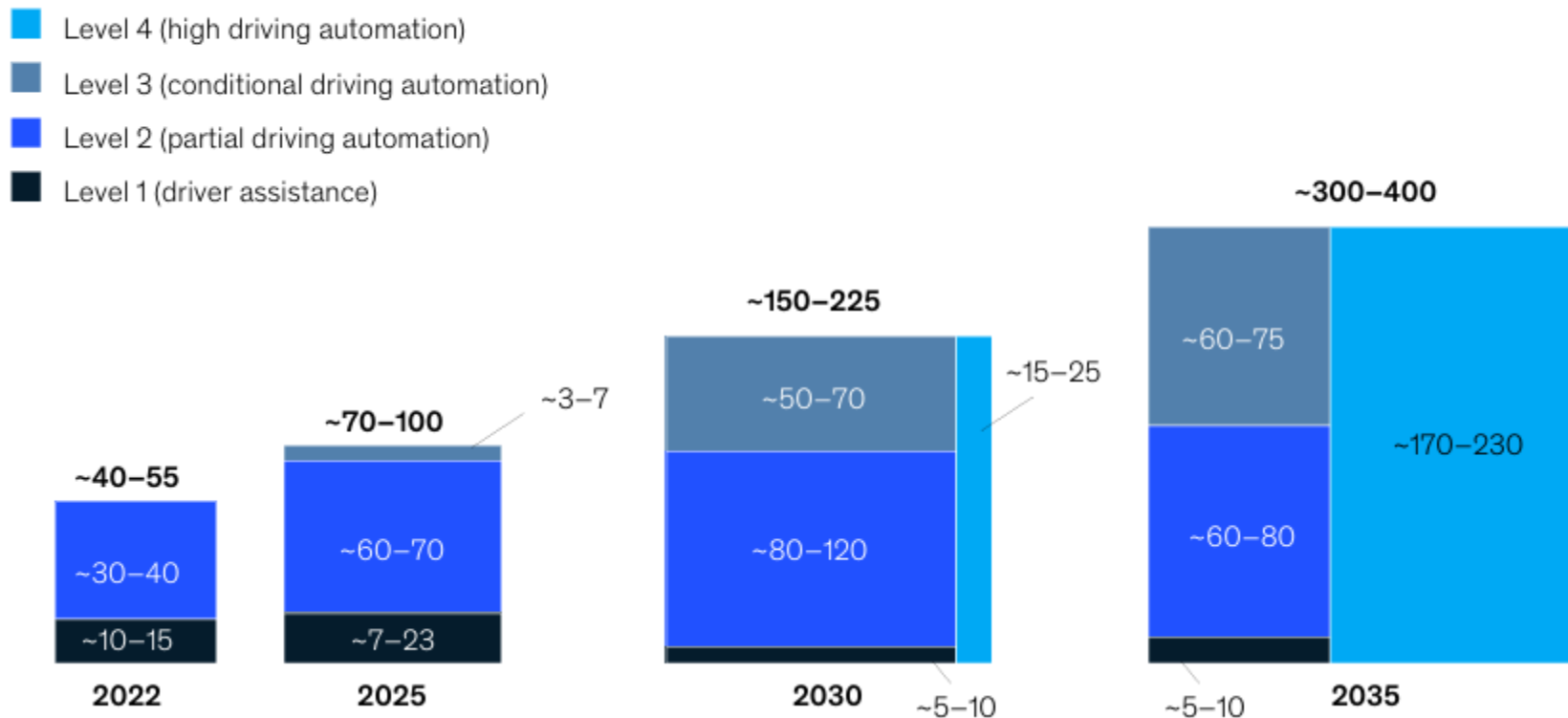
※ SAE J3016 자료 기반으로 재구성

<자율주행자동차 제어권 전환 안전성 평가기술 개발 연구단>

스마트 모빌리티 기술 - 자율주행차 기술의 동향



Advanced driver-assistance systems (ADAS) and autonomous-driving (AD) revenues, \$ billion

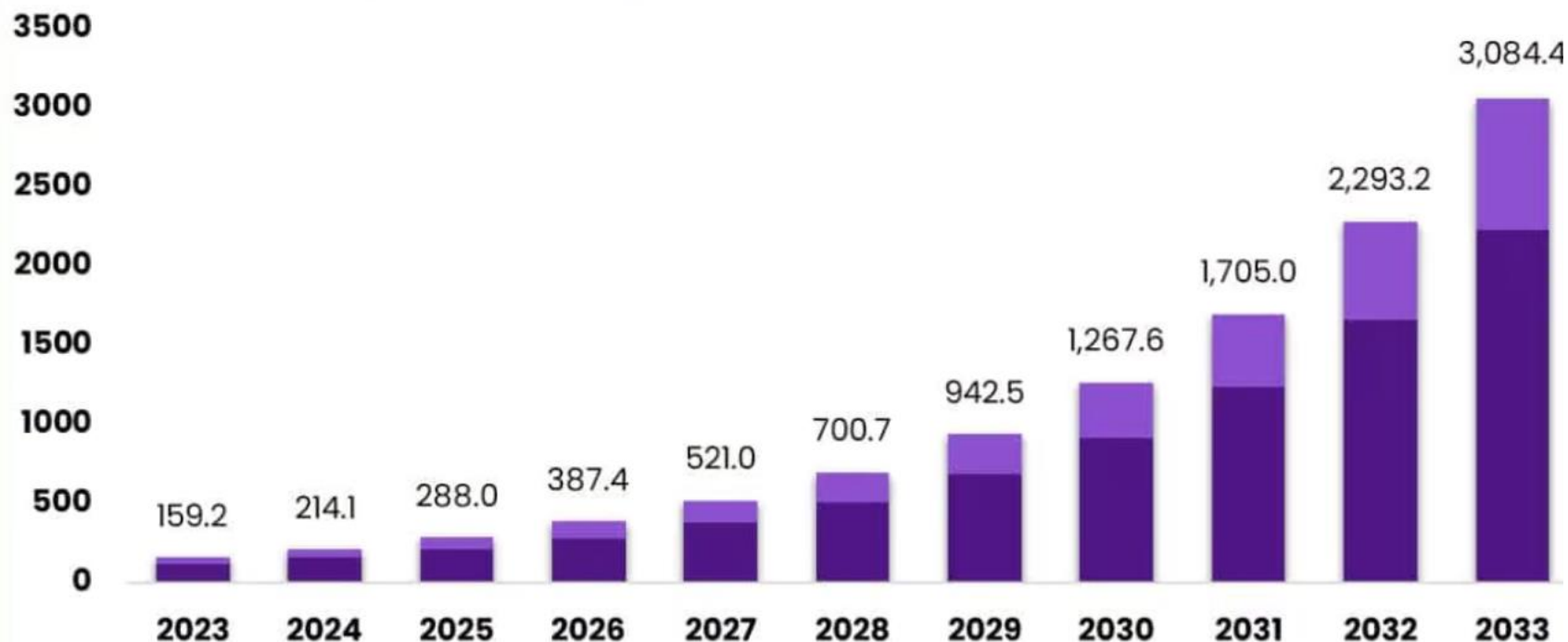




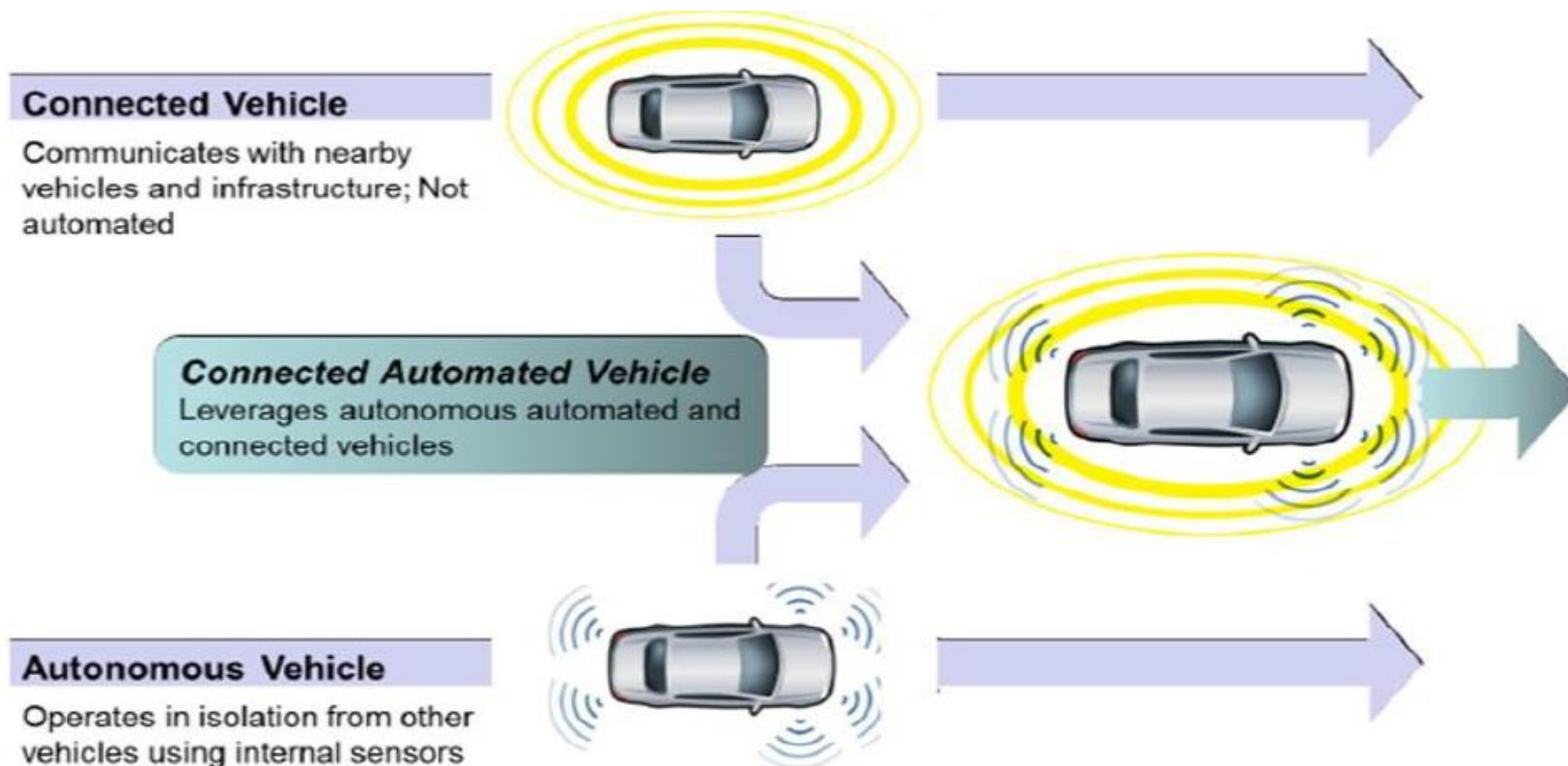
Global Autonomous Vehicles Market

Size, By Vehicle Type, 2024-2033 (USD Billion)

■ Passenger Vehicle
■ Commercial Vehicle



스마트 모빌리티 기술 - 스마트 기술의 발전 방향



U.S. Department of Transportation



스마트 모빌리티 기술 - 커넥티드 자동차 기술



V2V - Vehicle-to-Vehicle.

Alerts one vehicle to the presence of another. Cars "talk" using DSRC technology.

V2D - Vehicle-to-Device.

Vehicles communicate with cyclists' V2D device and vice versa.

V2P - Vehicle-to-Pedestrian.

Car communication with pedestrian with approaching alerts and vice versa.

V2H - Vehicle-to-Home.

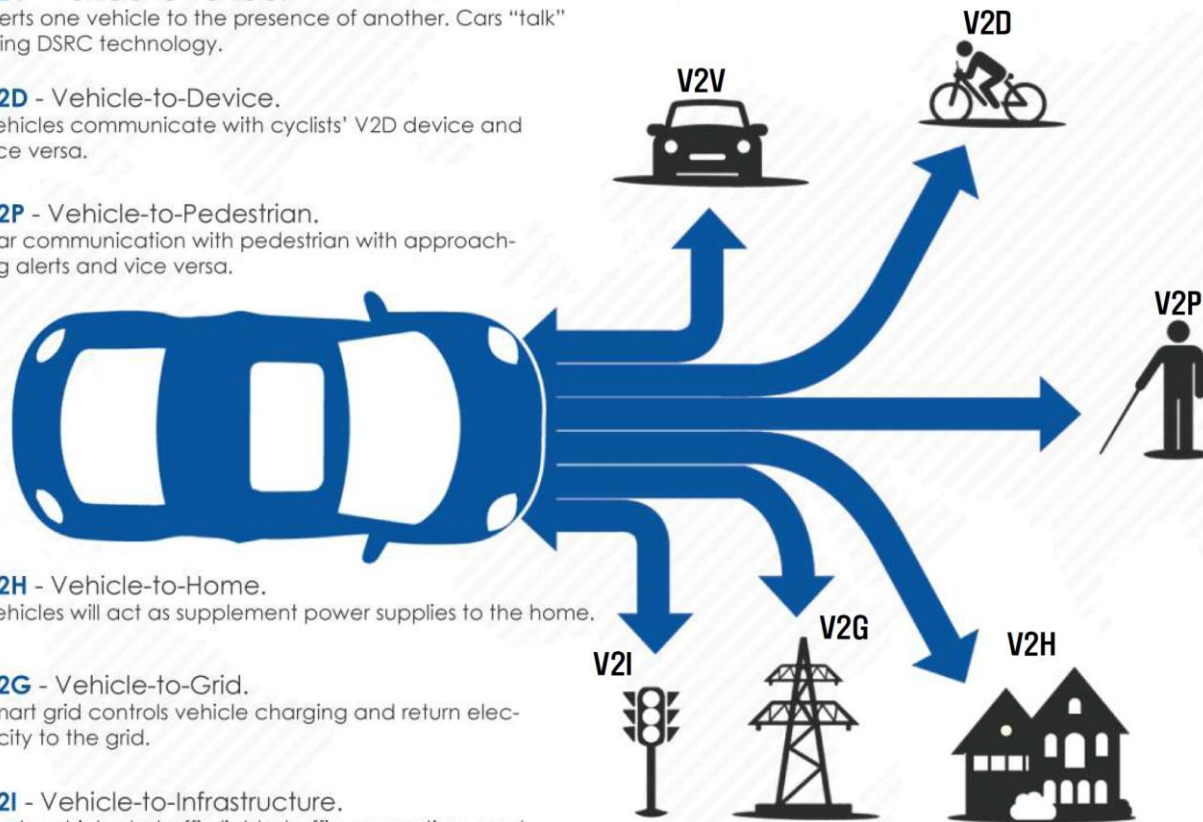
Vehicles will act as supplement power supplies to the home.

V2G - Vehicle-to-Grid.

Smart grid controls vehicle charging and return electricity to the grid.

V2I - Vehicle-to-Infrastructure.

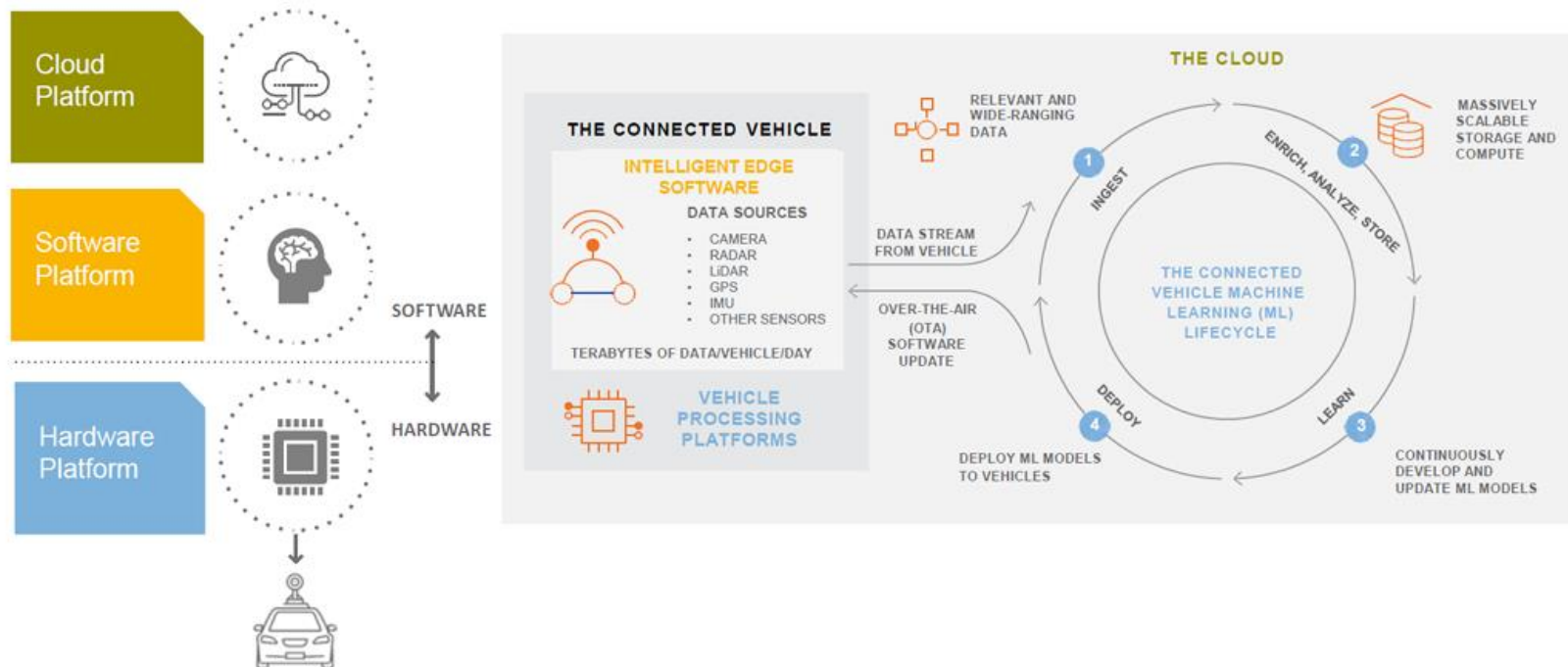
Alerts vehicles to traffic lights, traffic congestion, road conditions, etc.



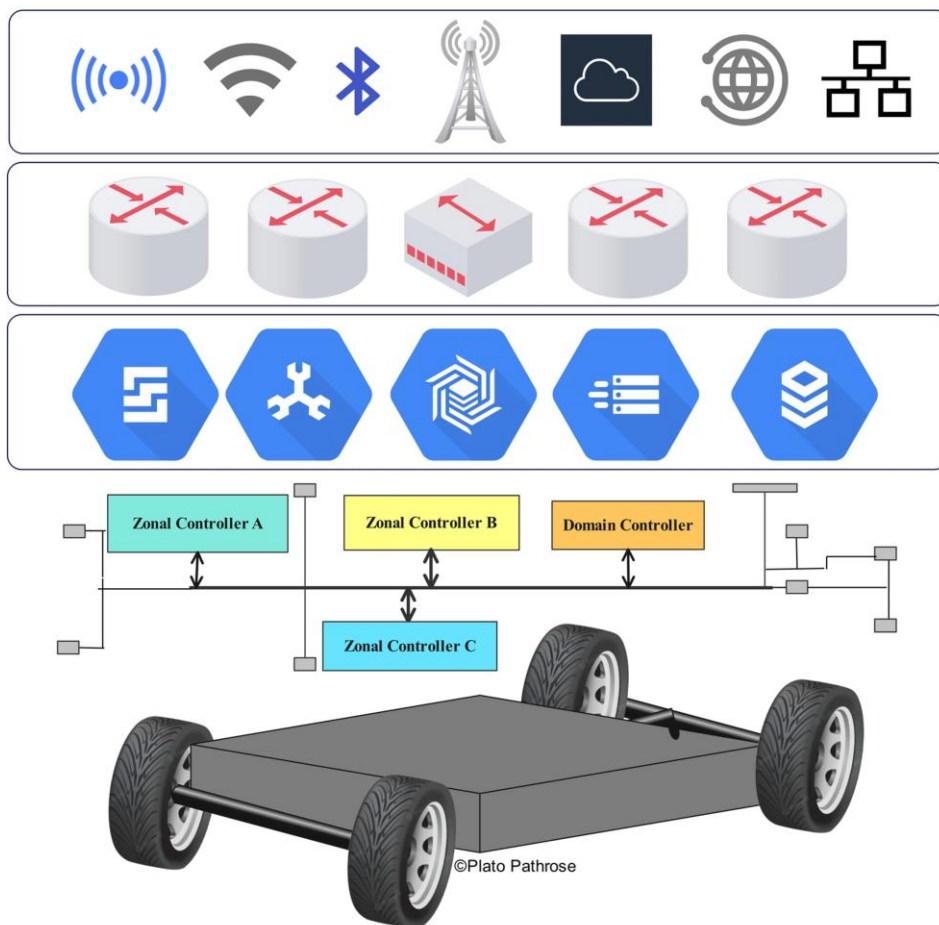
스마트 모빌리티 기술 - 커넥티드 자동차 기술



THE CONNECTED INTELLIGENT VEHICLE DATA LIFECYCLE WITH MACHINE LEARNING



스마트 모빌리티 기술 – Software Defined Vehicle



5. Connectivity Layer

All modes of connectivity to the outside world from the vehicle, backbone for the data transmission between external infrastructures and servers by various network protocols and using different services. This is the main layer for software updates and remote maintenance.

4. Vehicle Data Platform

Includes all data storage and data controller systems in the vehicle. This is similar to a datacenter of the whole vehicle managing the database of environment data, personal data, processed data and system data.

3. Vehicle Software Platform

Includes operating system, middleware and application software interacting with various domains and zonal controllers and its subsystems for various functions.

2. E/E Architecture Layer

Includes various Zonal or Domain controllers or both handling various vehicle functions connected using high speed network and also providing required power for the operation of the overall vehicle.

1. Vehicle Platform Layer

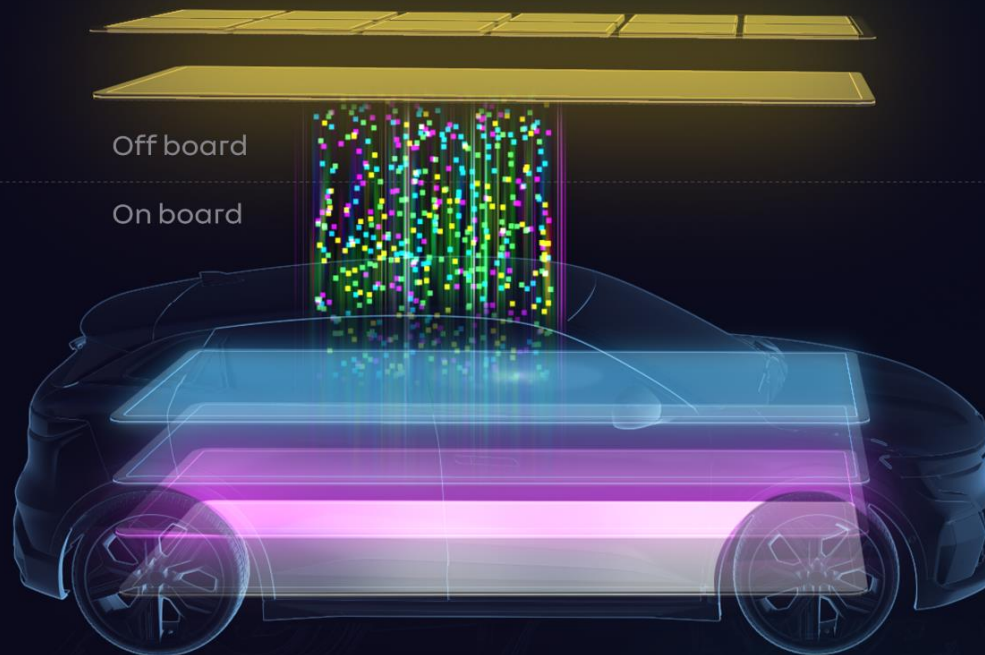
Includes modular chassis with available interfaces and space for integrating power system and control systems.

스마트 모빌리티 기술 – Software Defined Vehicle



Renault Group creates Software Defined Vehicle
with best in class Tech partners

Renault Group • Google • Qualcomm



Business Services

Digital Twin (Cloud based)

Renault Group • Google Cloud

Digital Chassis (In-Car services)

Renault Group • Google Play • Google Assistant • Google Maps
Snapdragon digital chassis

Car Operating System (Software)

Renault Group • android

Digital Chassis Hardware

Renault Group • Snapdragon digital chassis

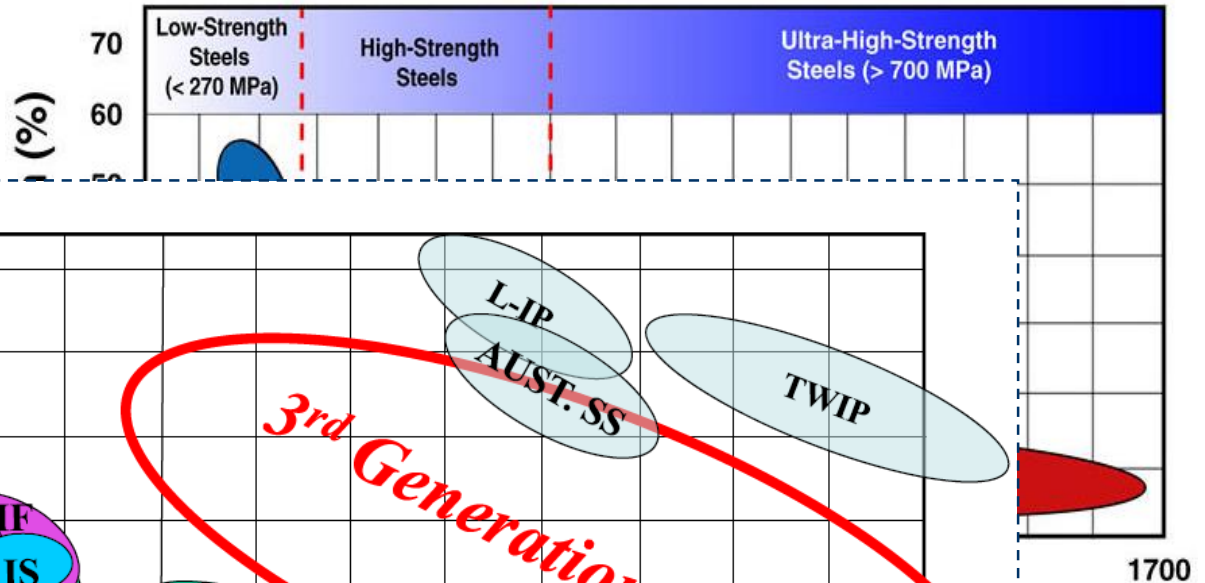
E.V. Skateboard

*Snapdragon Digital Chassis is a product of Qualcomm Technologies, Inc. and/or its subsidiaries



- 모빌리티 산업의 환경변화
- 지속가능 모빌리티 기술
- 스마트 모빌리티 기술
- **모빌리티용 소재기술**

모빌리티용 소재 기술 - 철강소재 기술



Interstitial-free (IF) steels

Mild steels

Isotropic (IS) steels

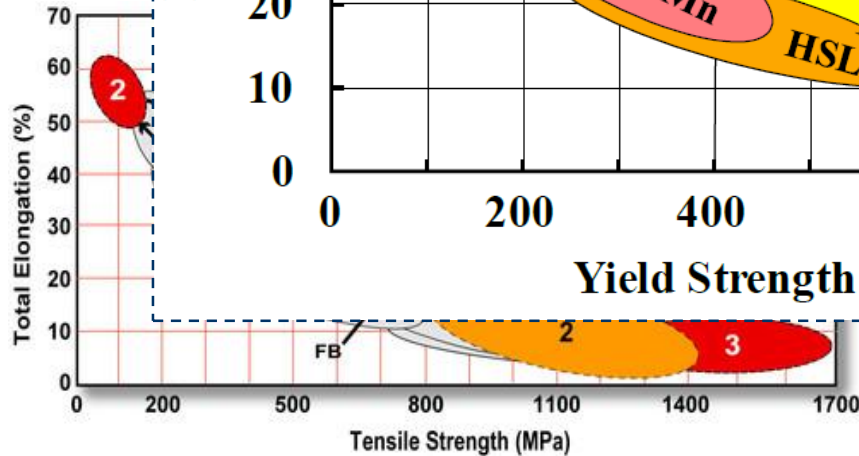
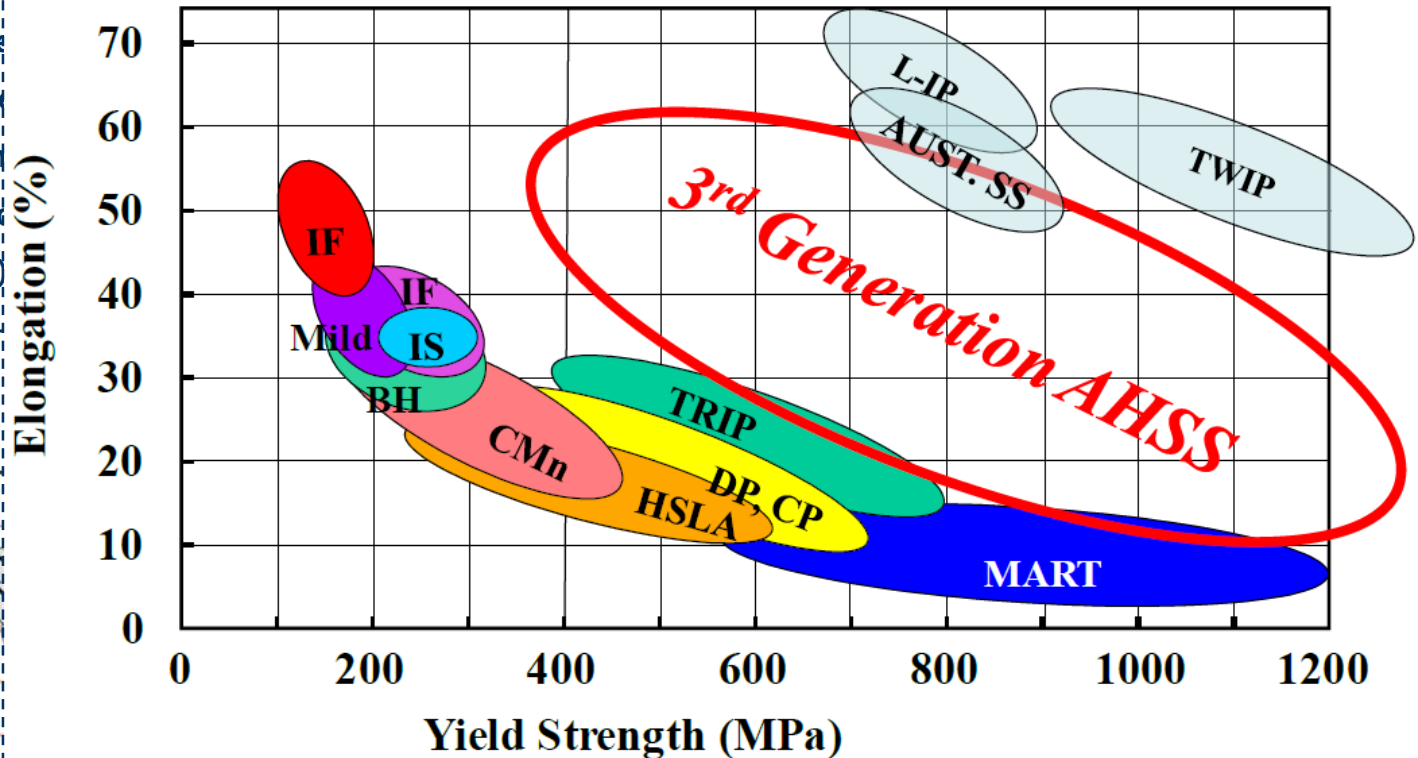
Bake hardenable

Carbon-manganese

High-strength low alloy

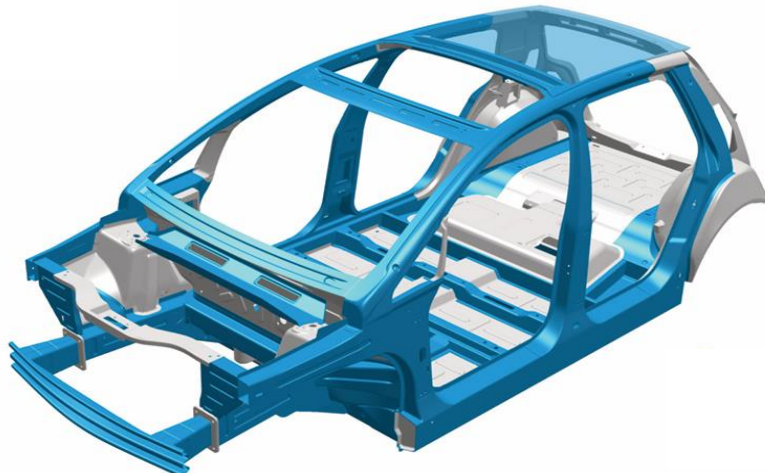
Dual Phase (DP) steels

Transformation Induced Plasticity (TRIP) steels

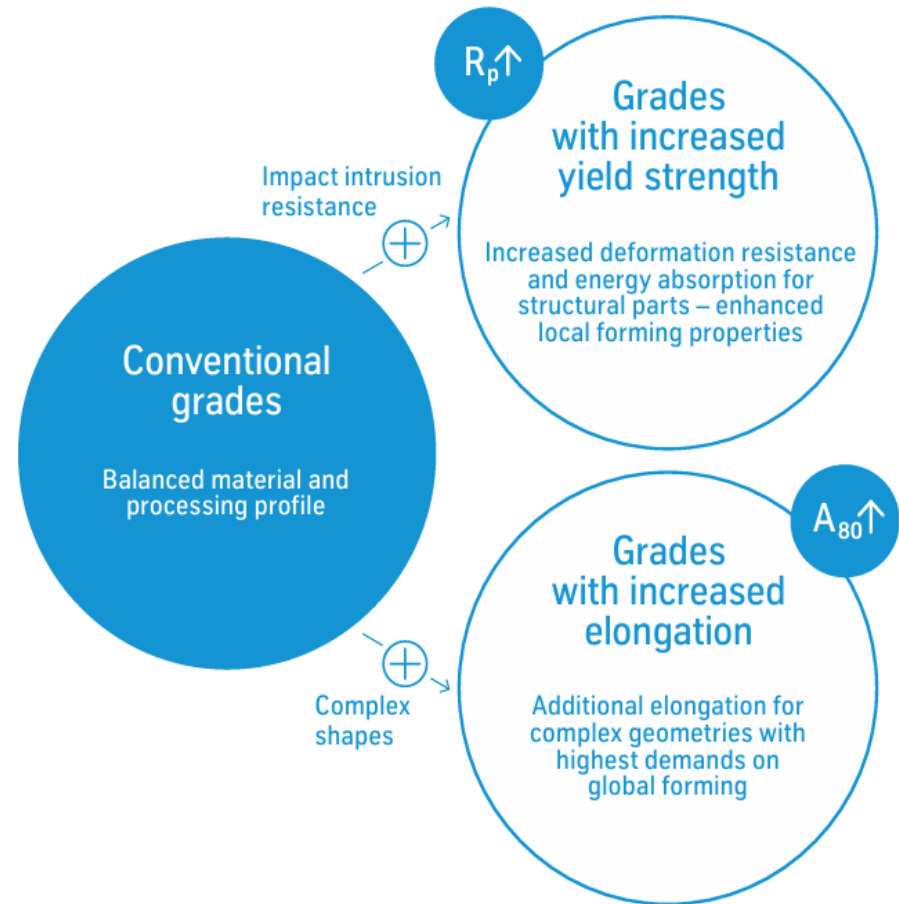
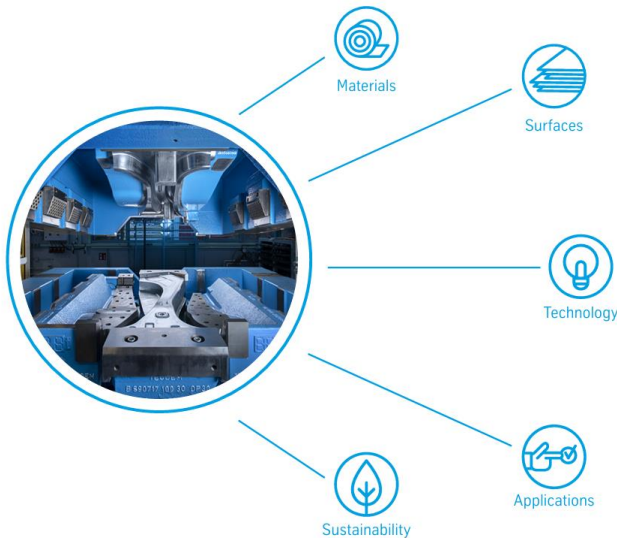


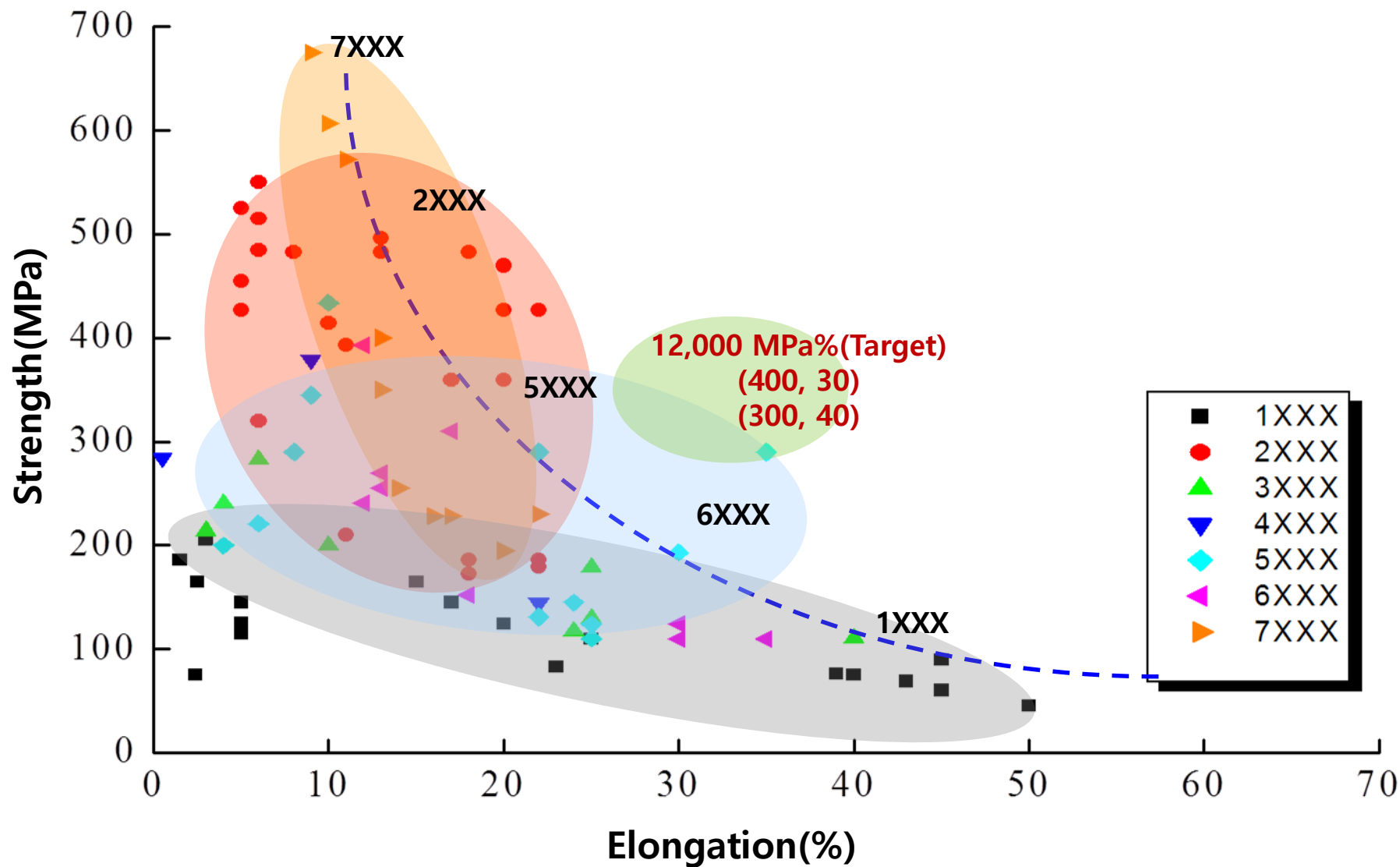
Post-Forming Heat-Treatable (PFHT) Steel

모빌리티용 소재 기술 - 철강소재 기술



#nextgenerationsteel
A new generation of steel
for coming generations

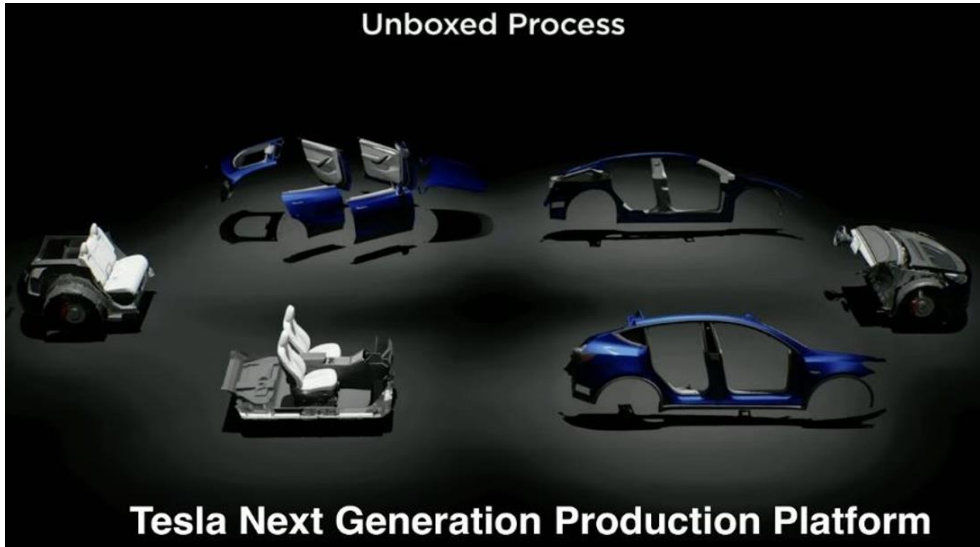




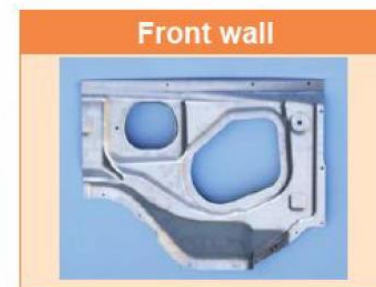
모빌리티용 소재 기술 - 알루미늄 소재 기술



Unboxed Process

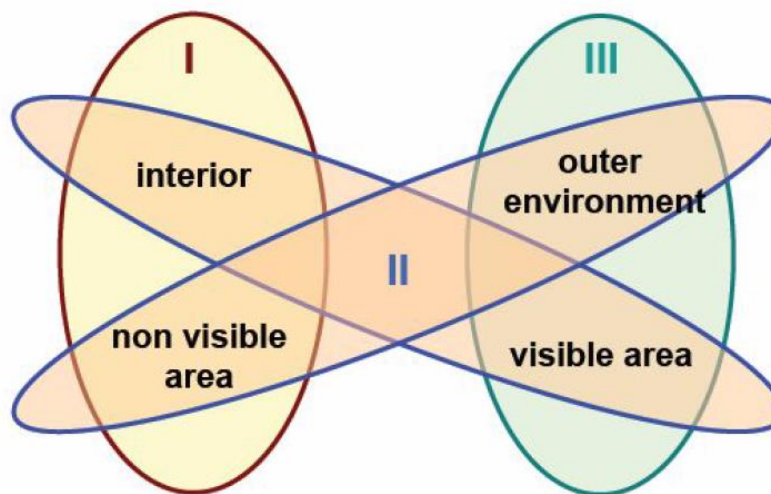


Giga Press, Tesla, Toyota, Idra



Categories I; II; III

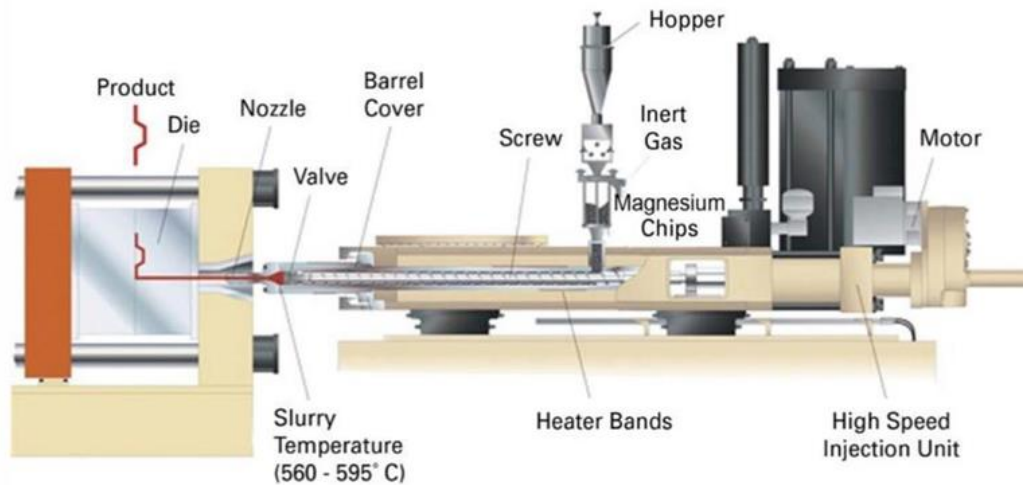
→ Increasing complexity concerning surface quality and corrosion protection



Application Perspectives of Mg Sheet-Parts



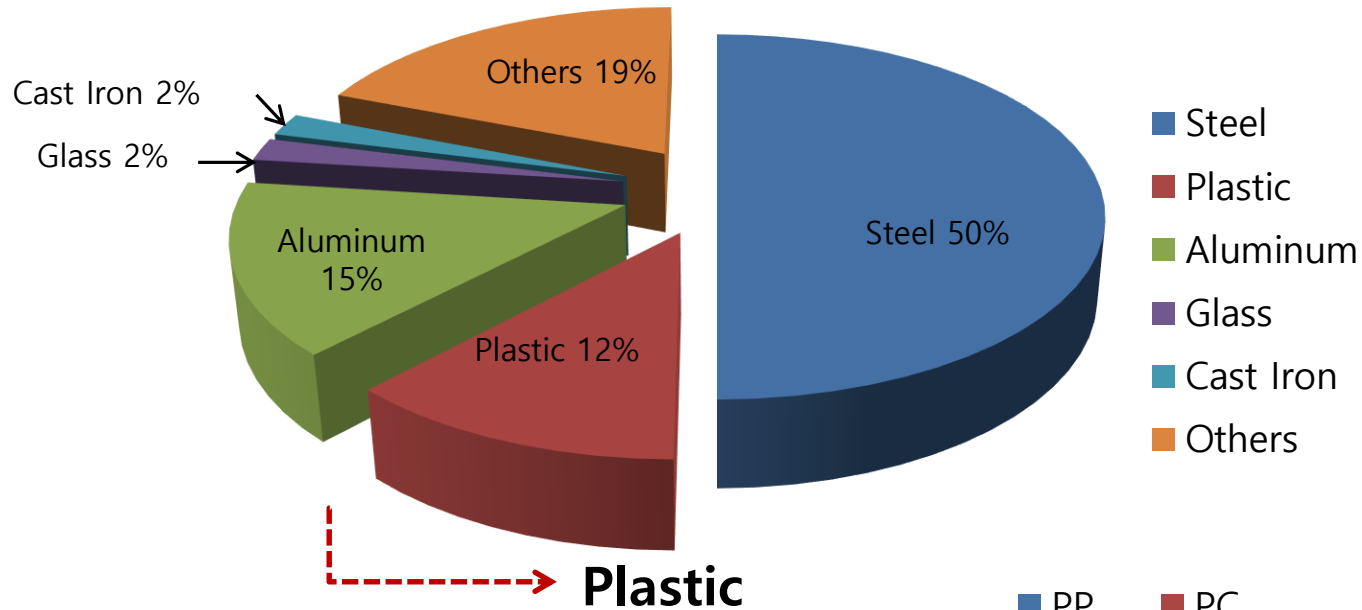
Schematic of Thixomolding® process



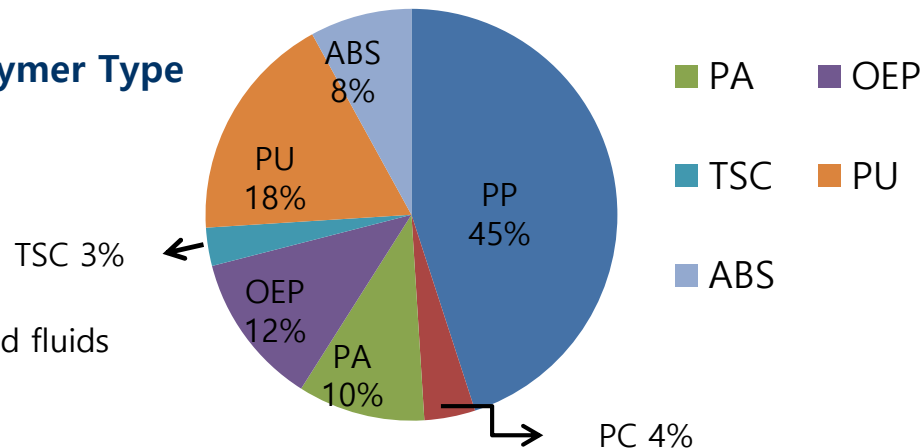
모빌리티용 소재 기술 - 고분자 소재 기술



Breakdown by Materials Type



Volume Breakdown by Polymer Type



Note: Others include elastomer and fluids
TSC: Thermosetting Composites
OEP: Other Engineering Plastics

모빌리티용 소재 기술 - 고분자 소재 기술



Common Plastics



Engineering Plastics

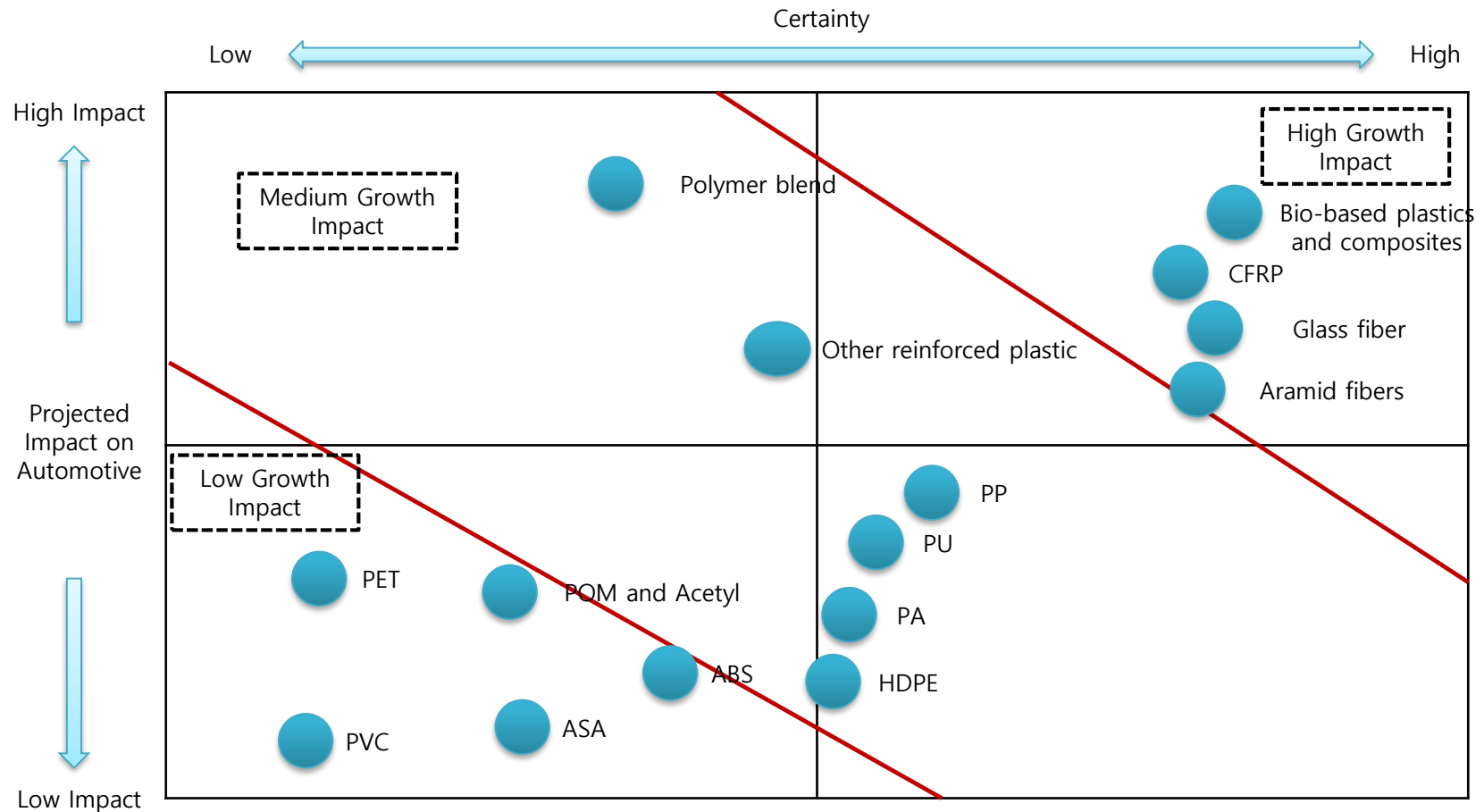


Super Engineering Plastics & Composites



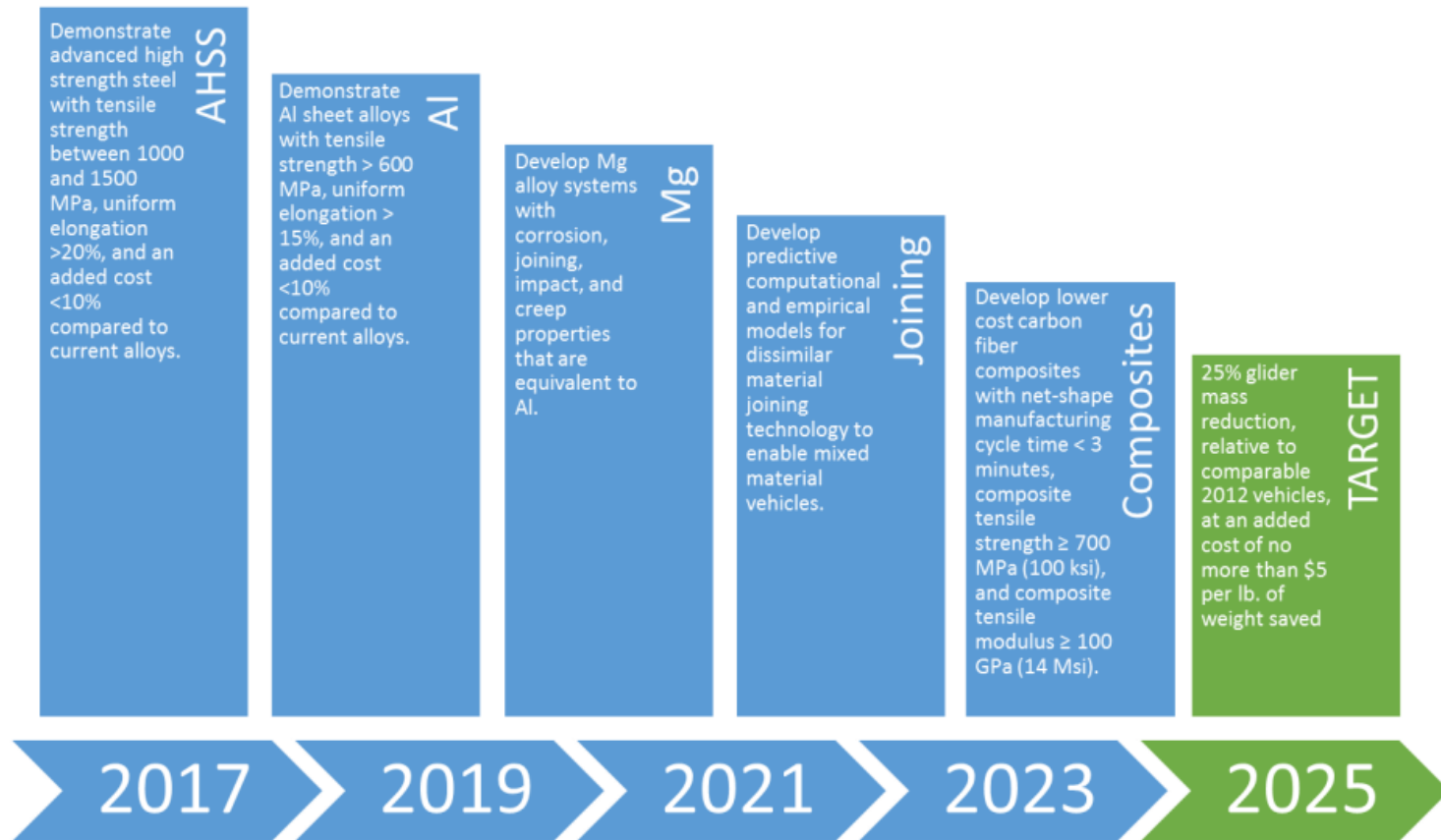
Bio Plastics





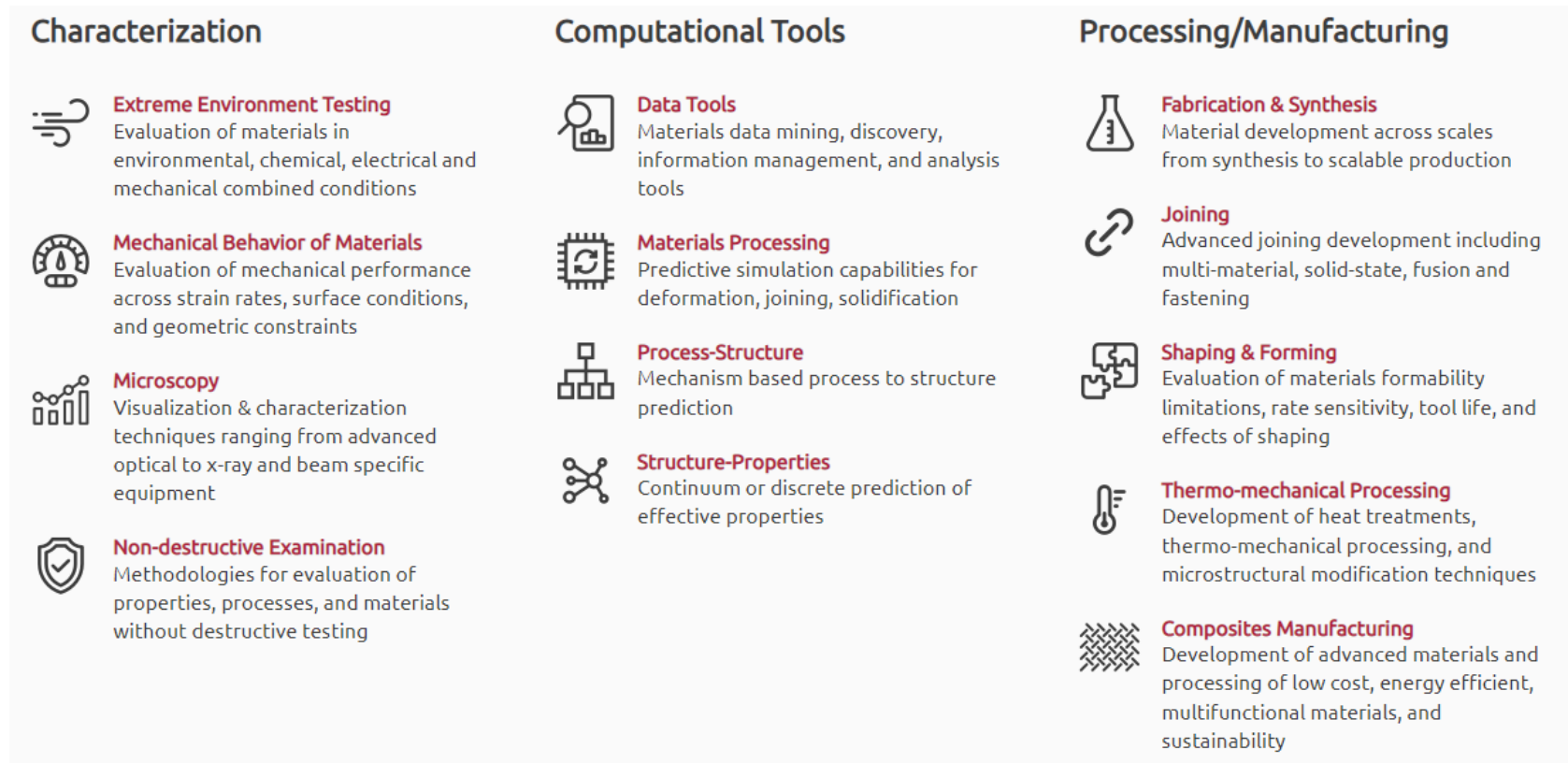
“Go Green” and “Weight Reduction”

모빌리티용 소재 기술 - 경량화 기술





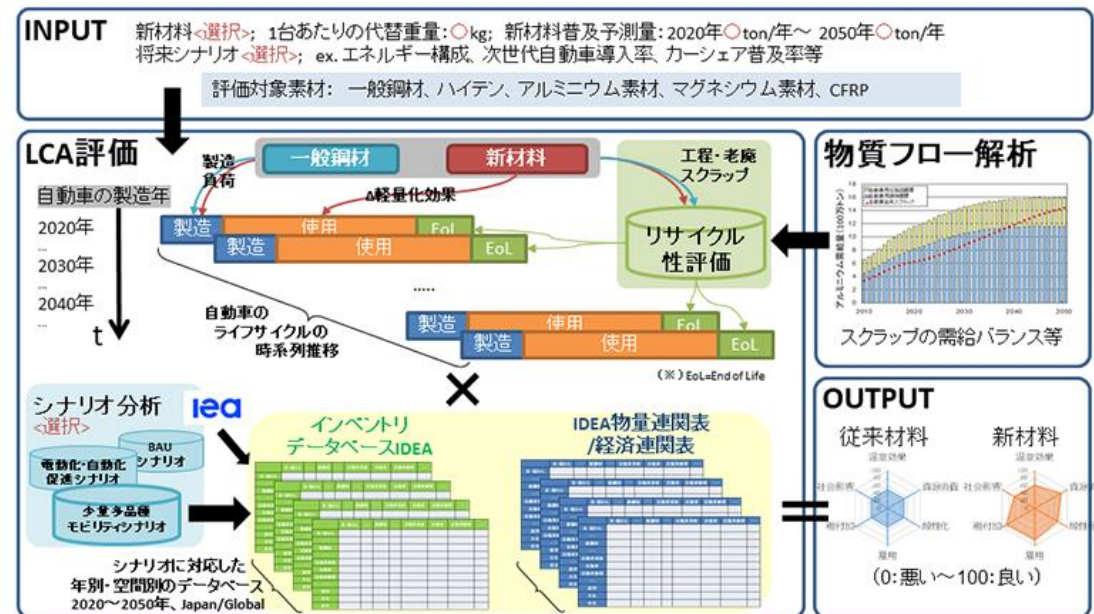
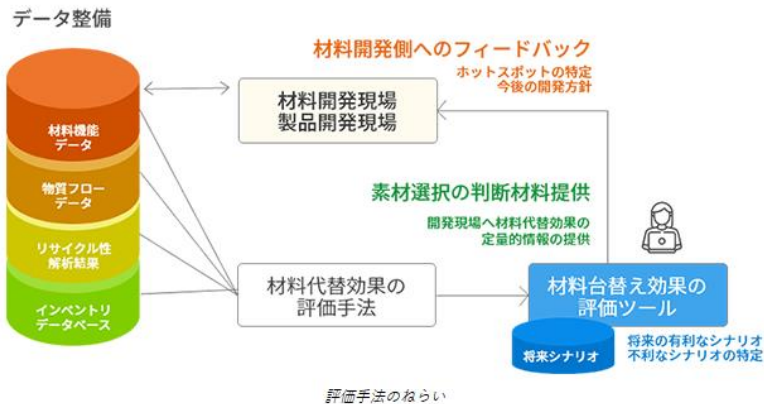
- DOE 산하 VTO(Vehicle Technology Office)와 11개 국립연구소로 구성된 The Lightweight Materials Consortium(LightMAT)에서 공동연구



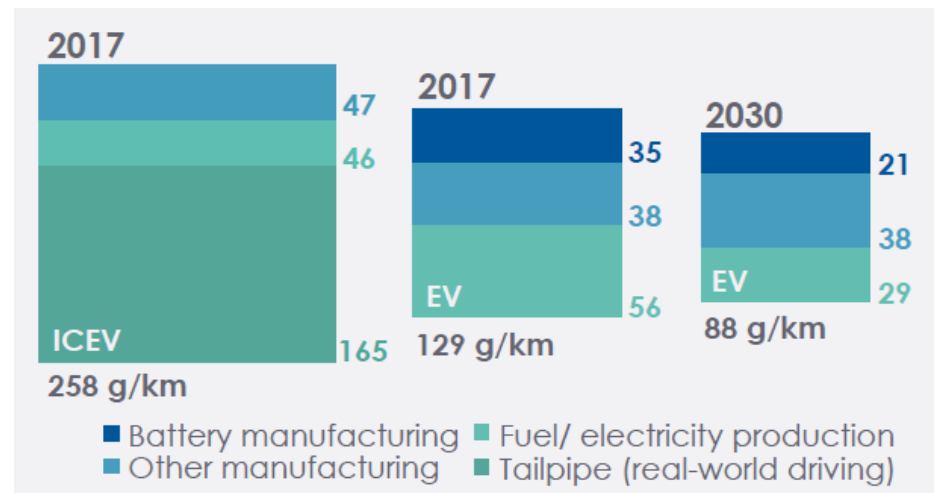
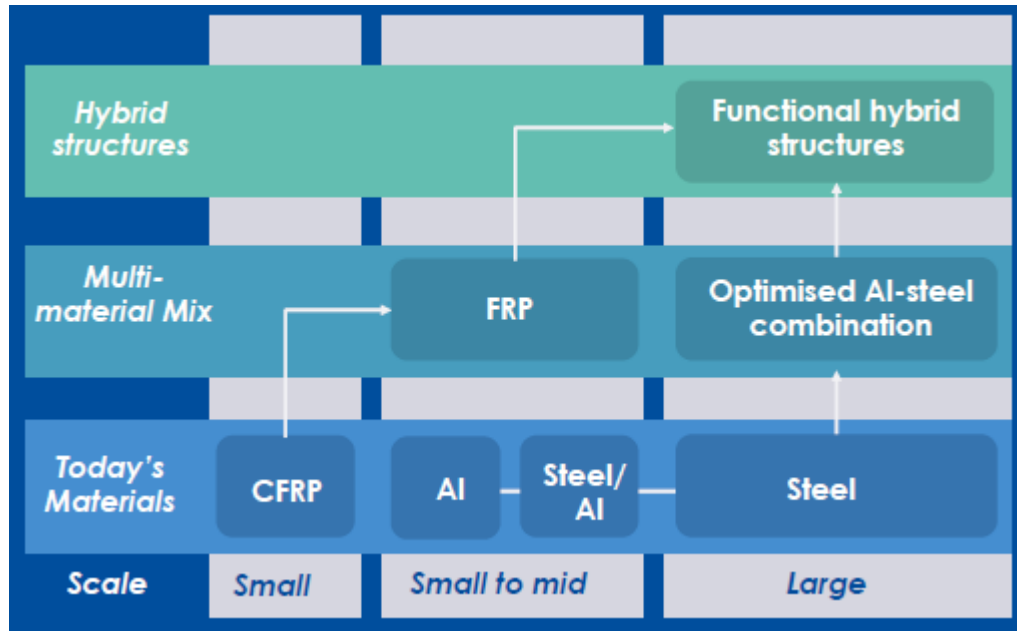
모빌리티용 소재 기술 – LCA 기술(일본)



- 경제산업성의 미래개척연구프로젝트의 일환으로, **혁신적 신구조재료 기술개발(ISMA)** 추진
- 2014년 대비 2022년까지 **자동차 50% 경량화**를 위한 기술개발을 계획('23 해산)



모빌리티용 소재 기술 - 경량화 기술(EU)



모빌리티 산업의 미래 - 시사점



COMFORT

Connected with people...

The vehicle will become a trusted partner through close communication with the driver.

- The vehicle complies with the driver's verbal and nonverbal commands.
- The vehicle predicts driver's actions in order to provide services and prevent dangers.

Social networking service
linking people and vehicles
(TOYOTA friend)

Industrial Management

ECOLOGY

Connected with the community...

Optimizing the energy use of the entire community
Achieving eco-friendly lifestyles with high quality of life.

- Actualizing a low-carbon society where homes and businesses share energy with each other.
- Promoting local energy production/consumption.

Energy to withstand

Sustainability



Digitalization

SAFETY

Connected with vehicles and roads ...

Toward the realization of Toyota's ultimate goal:
zero casualties from traffic accidents.

- Vehicles exchange their locations and speeds at all times.
- Vehicles receive useful information from roadside infrastructure.

Big Data information service

CONVENIENCE

Connected with society...

Building a stress-free traffic environment where
everyone can move around as they wish.

- Utilizing big data generated from vehicles to improve traffic control and disaster-related measures.
- Implementing an ultra-micro EV sharing service integrated with public transportation.



감사합니다!

03

스크랩 재활용중 용탕품질평가기술

포항산업과학연구원
김명균 수석연구원



알루미늄 스크랩 재활용 중 용탕품질 평가기술

(Evaluation Technology of Aluminum Melts Cleanness during Scrap Recycling)

0. 포항산업과학연구원(RIST) 소개

I. 국내외 알루미늄 산업 현황

II. 저탄소 알루미늄 산업 및 기술

III. 알루미늄 용탕 청정화기술

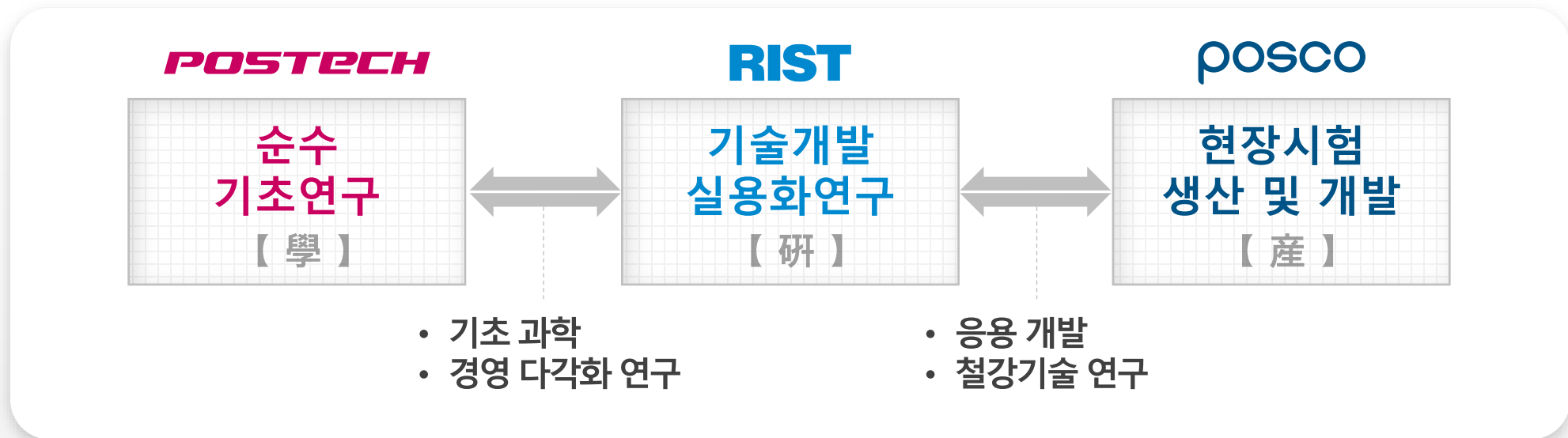
IV. 요약 및 향후계획

2025. 07. 22

포항산업과학연구원 김명균 수석연구원

mgkim73@rist.re.kr

산·학·연 협동 연구체제를 기반으로 국가 과학기술 발전과
포스코그룹의 성장에 기여하기 위해 1987년 설립한 국내최초 민간종합연구원

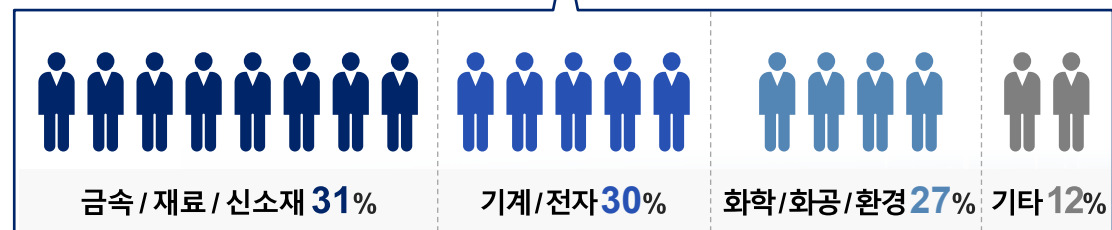
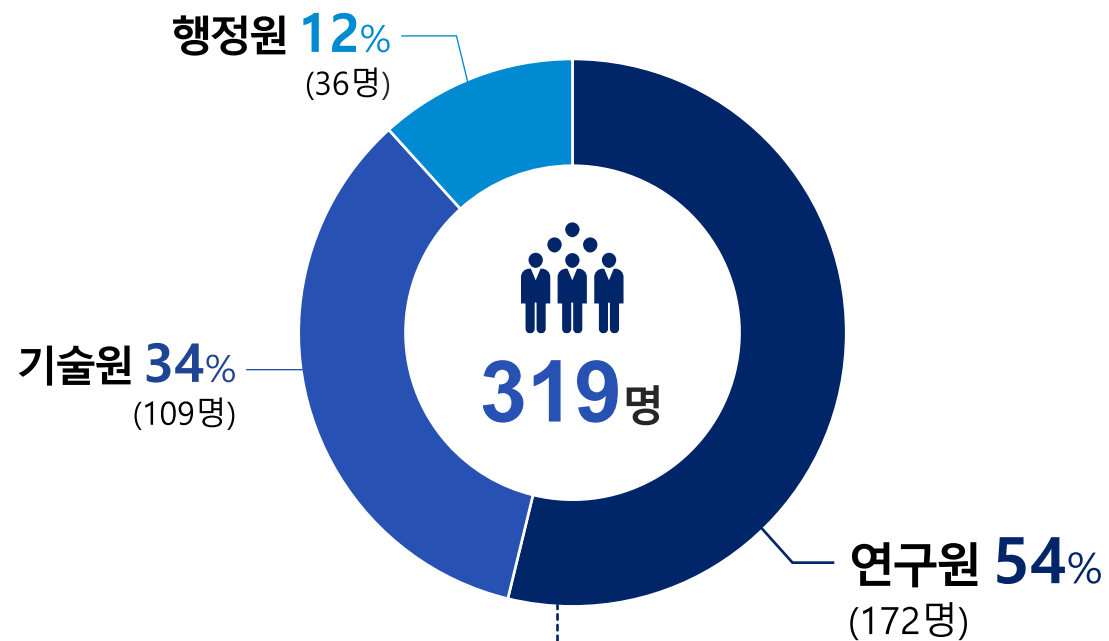


- **기관 성격:** 포스코가 100% 출연한 『비영리 재단법인』 (설립근거: 민법 제32조, 공익법인의 설립·운영에 관한 법률)
- **주무 관청:** 과학기술정보통신부
- **설립 목적:** “ 과학(學)-기술(研)-생산(産)이 유기적으로 연계된 효율적인 연구개발체제를 구축하여,
2000년대 선진국 10위권 진입을 위한 技術立國 실현에 기여한다 ”

운영 현황  **인력 : 317명** (연구원 172명, 기술원 109명, 행정원 36명)

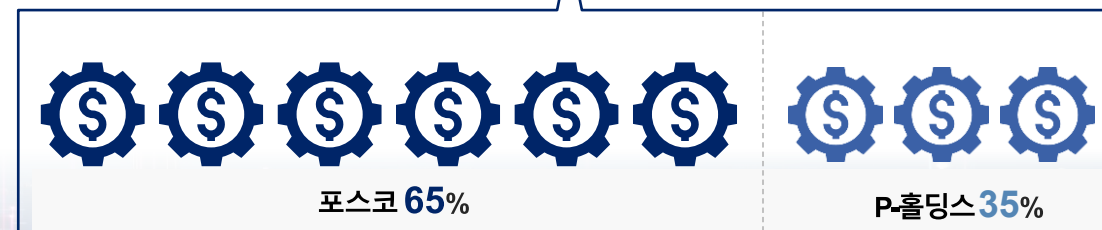
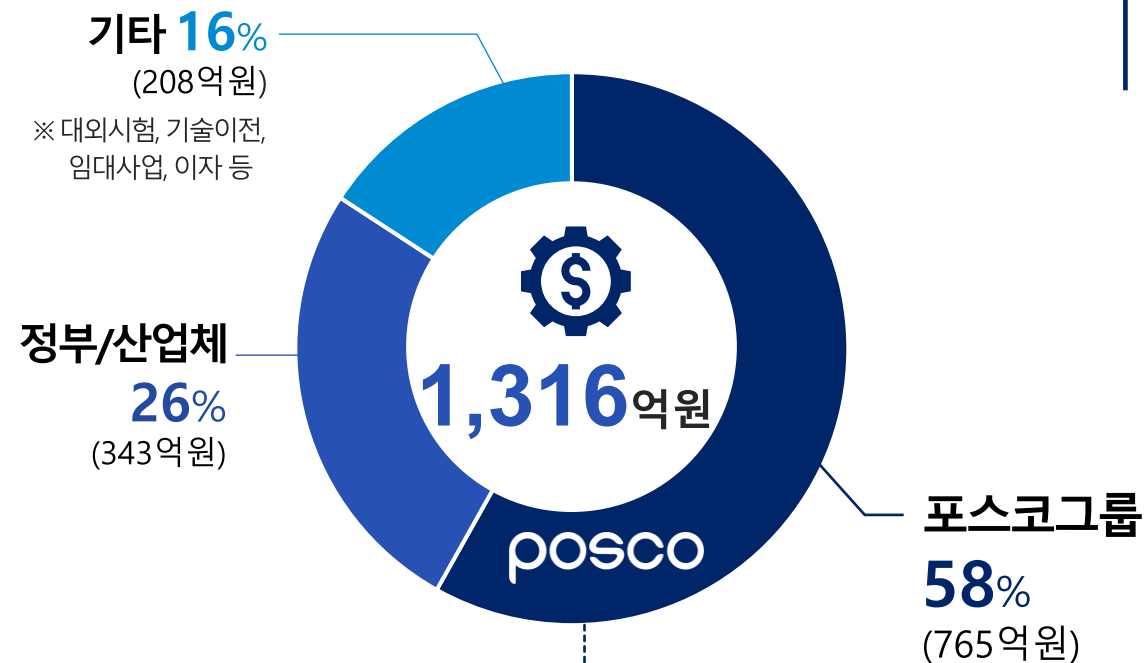
 **예산 : 1,316억원** (포스코그룹 765억, 정부/산업체 343억, 기타 208억)

인력 ※'25. 1 기준



※정규직 연구원 기준

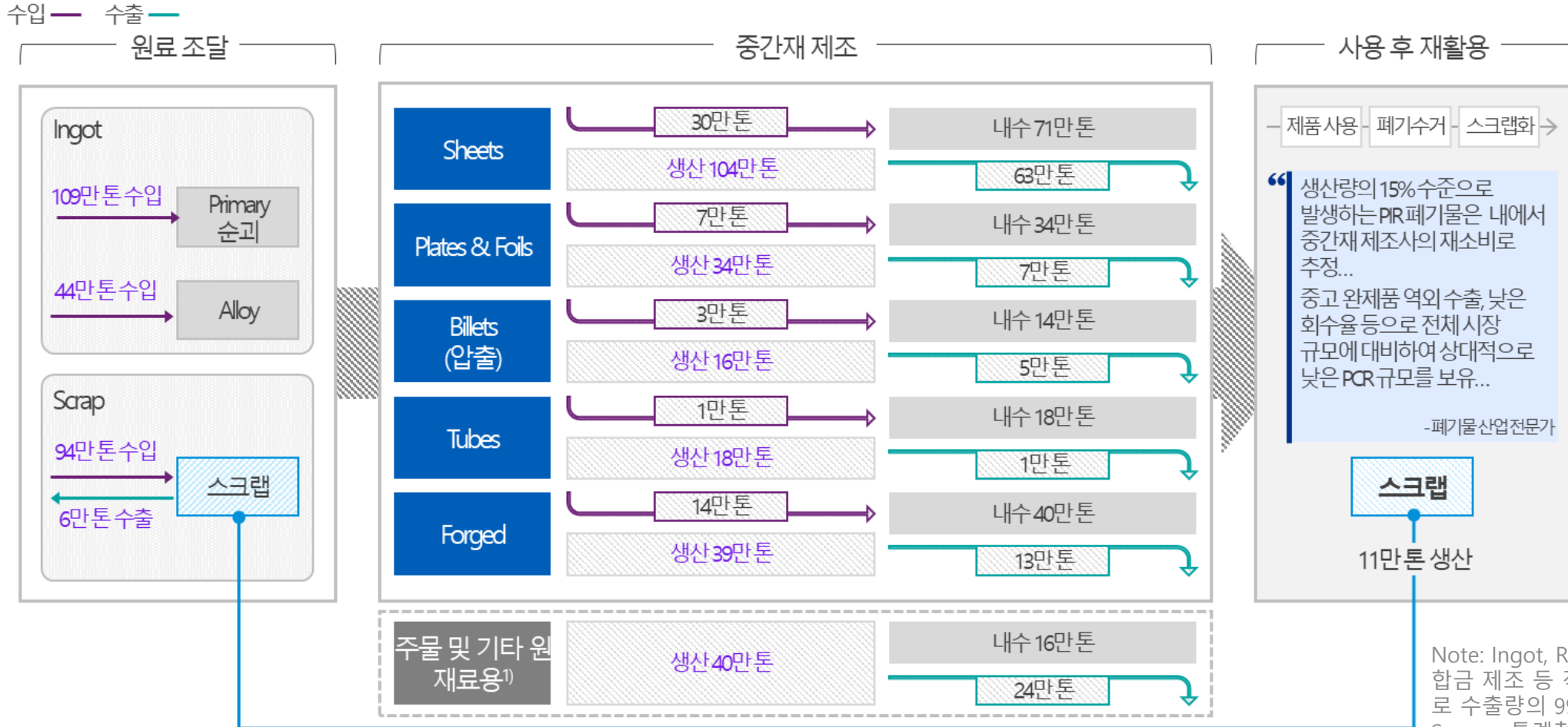
예산 ※'25년 기준



I. 국내외 알루미늄 산업 현황

- 국내 알루미늄 산업은 1차 제련업의 부재와 상대적으로 낮은 알루미늄 재활용 수준으로 원료의 95%를 수입하고 있으며, 압연 55%, 주물 16%, 압출 13% 순으로 활용 중임

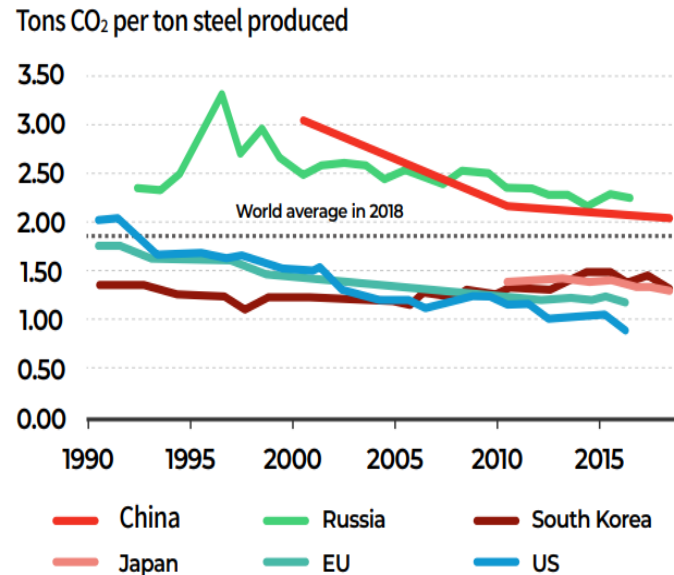
국내 알루미늄 산업 Flow ('23)



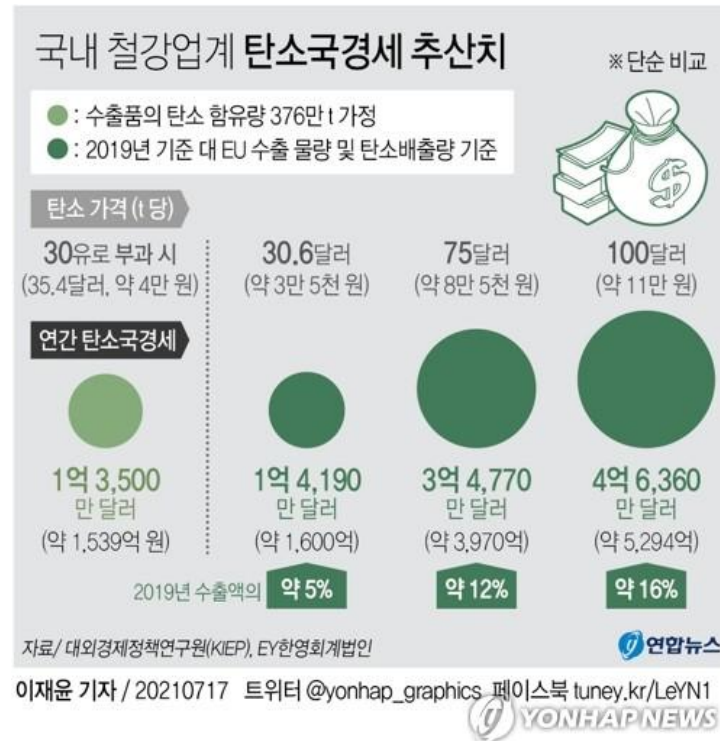
I. 국내외 알루미늄 산업 현황: 철강업계 탄소세 부담

● 국내 철강업계의 추가 탄소세 부담

- 세계 평균 탄소배출량 대비 낮으나, EU보다 높아 탄소국경조정제도에 의한 추가 탄소세 부담
- 對 EU 철강 수출액 약 5조 6000억원(2021), 탄소가격 \$55.4 적용 시 20.6%의 對 EU 수출 감소 효과 예상※



[Figure 3] Carbon Intensity Trends in Major Steel Producers
Source: Bloomberg New Energy Finance 2021



European carbon reaches €100 a tonne
Price (€/tonne)



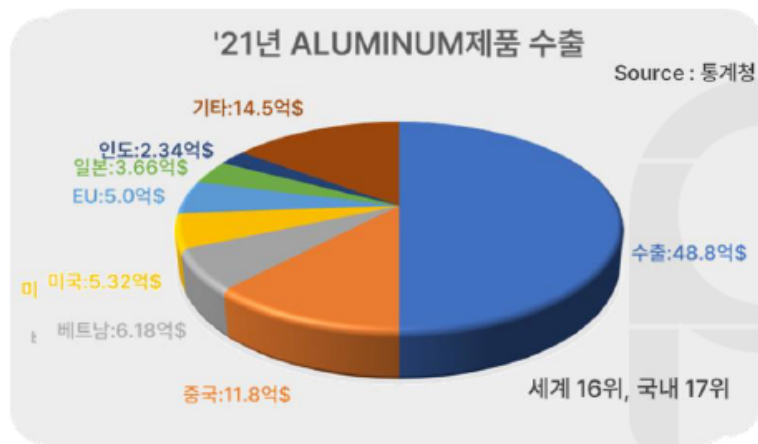
Source: Refinitiv
© FT

※ <https://www.ft.com/content/7a0dd553-fa5b-4a58-81d1-e500f8ce3d2a>

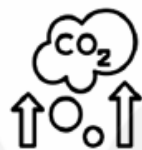
I. 국내외 알루미늄 산업 현황: 알루미늄업계 탄소세 부담

● 국내 알루미늄업계의 추가 탄소세 부담

- 2021년 對EU 알루미늄 수출(5억달러) 기준 자체 계산
- 국내 알루미늄 수입국: 인도, 호주, UAE, 러시아(대표적인 탄소배출량 높은 국가)



2021년 Aluminum 對 EU 수출량은 14.3만 톤임



제품 중량 1ton당 탄소배출량 16ton시
유럽 평균 탄소배출량과의 차이인 9.2ton 과세



2021년 기준 유럽 수출 중량 145,000ton,
유럽 평균 탄소배출량과의 차이 1,334,000tonCO2

예상 탄소세 803.16달러
한화 약 96.4만원
(환율 1200원 기준)

CO2 1ton당 87.3달러 적용*

2021년 예상 탄소세
한화 약 1397.5억

*적용기준: 2026년 예상 EU CBAM ETS 가격

● 중국, 인도 알루미늄업계의 추가 탄소세 부담

- 중국 철강 11~12%, 알루미늄 약 29~33% 추가 부담 예상

< 중국 對EU 수출 상품 및 CBAM의 영향 >

품목	CBAM 영향 수출액 (억 위안)	탄소국경세 (억 위안)	단위당 세금부담 (위안)	탄소국경세/가격 (%)
철강	160.86	26~28	톤당 652~690	11~12%
알루미늄	90.6	20~23	톤당 4295~4909	29~33%

* 자료원: 陳美安, 譚秀杰 《碳邊境調節機制：進展與前瞻》

- 인도 알루미늄 약 40% 이상 부담 예상

driven by coal captive power plants. The additional cost per tonne of Indian aluminium going into the EU will be significant, and without robust decarbonisation efforts it is difficult not to see these flows being impacted. The import cost of Indian aluminium products into the EU could increase by more than 40% due to CBAM.

I. 국내외 알루미늄 산업 현황: 국내 철강 vs 알루미늄 산업 비교

● 국내 철강/알루미늄 산업계 현황

- 이산화탄소 주요 배출 공정인 상공정 보유 여부
- 선공정에서의 이산화탄소 배출 저감 성공 시, 원소재 탄소배출량 감소로 하공정에서의 낙수효과 기대

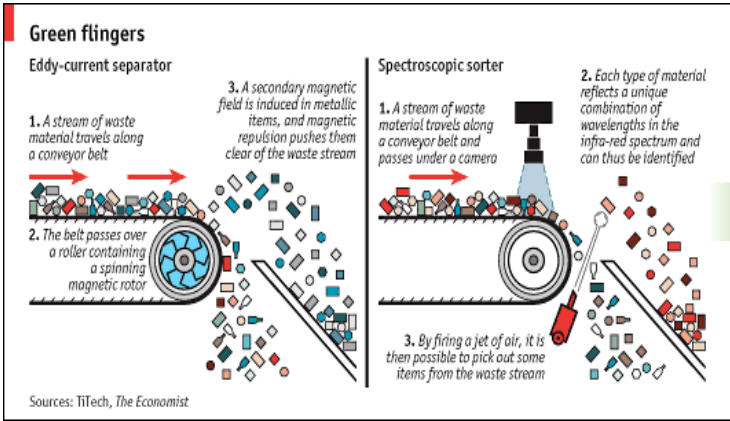
철강	구분	알루미늄
2022기준 세계 7위 POSCO(3,864만톤) 세계 18위 현대제철(1,877만톤)	대기업	중소기업 비율 99.5%
보유, 제선/제강공정 (전체 공정 중 이산화탄소 발생 비율 83.7%)	이산화탄소 배출량 多 공정	미보유(알루미늄 제련 산업 無), 전기분해 (전체 공정 중 이산화탄소 발생 비율 78.0%)
POSCO : 탄소중립 전임 임원 탄소중립전략그룹 운영 기술연구원 산하 저탄소제철연구소 50명 이상의 박사급 연구원 탄소 저감 전담 연구	연구능력	중소기업 876개, 종사자 11,796명 기업당 13명
알루미늄과 유사	하공정에서의 탄소발생	철강과 유사

I. 국내외 알루미늄 산업 현황: 24년도 정부사업 사례

2024년도 소재부품기술개발사업 금속소재분야 신규지원 대상과제

관리번호	2024-배지자-금속소재-09		과제 유형	☒ 통합형 ☐ 병렬형 ☐ 일반형		
산업기술분류1	대분류	기계·소재	중분류	금속소재	소분류	구조재료
산업기술분류2	대분류	기계·소재	중분류	형성생산	소분류	자원재활용 기술
융합분류	☒ 산업고도화형 ☒ 사회문제해결형 ☐ 신산업창출형 ☐ 해당없음					
해당여부	☐ 표준연계 ☒ 해외연계 ☒ 특허연계 ☐ 안전과제					
	☐ 경쟁형R&D ☐ 복수형R&D ☒ 대형통합형 ☐ 보안과제					
과제명	총괄	사용후 스크랩 재활용 기반 신지급급 알루미늄 합금 소재화 기술개발				
	1세부	저품질 사용후 알루미늄 스크랩 활용 신지급급 원소재 제조 및 주조 기술 개발				
	2세부	사용후 스크랩 90% 사용 모빌리티, 그린빌딩 및 전기전자용 알루미늄 압출재 부품화 기술개발				
	3세부	알루미늄 LCA 기반 탄소배출 저감 효과분석 및 평가 기술개발				

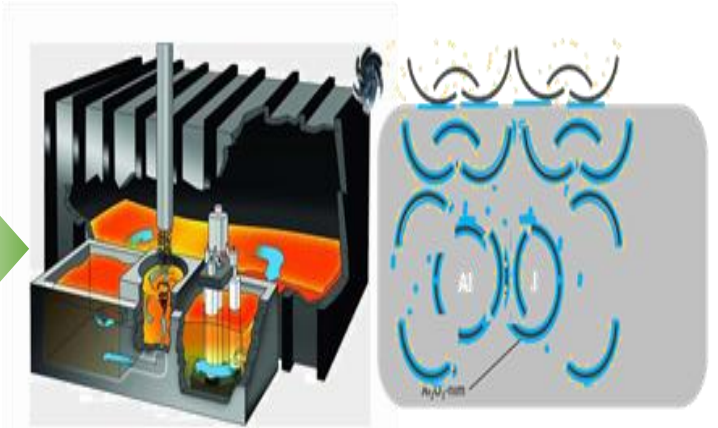
- 1 개요 및 필요성
- (개요)
- 알루미늄 잉곳 원료로 보옥사이트를 사용하는 것 대비 사용후* 스크랩 사용시 이산화탄소 발생량은 약 5%에 불과, 가장 효과적인 탄소중립 방안임
 - 사용후(EOL: End of Life): 사용수명 완료 스크랩, 예를 들어 폐차 내 소재, 건축폐기물, 음료캔 등
 - EU 탄소국경조정제도(2026년 발효예정) 대응을 위한 사용후 스크랩 재활용, 신지급급 물성 확보 및 이를 활용한 부품화 기술
 - 타금속 및 불순물과 혼합배출되는 사용후 저품질 스크랩을 파쇄, 정확도 95% 이상 고속 분류 및 회수하는 기술 개발
 - 분류·회수 스크랩 90% 이상 사용한 고효율/고수율 용해기술, 물리/화학적 용탕 개질물 및 불순물 제거, 신지급급(Primary)급 물성을 확보하는 기술 개발
 - 스크랩 90%이상 사용한 고부가가치 모빌리티, 그린빌딩 및 전기전자용 알루미늄 압출재 부품화 기술개발
 - 스크랩 재활용 공정을 고려한 특화형 LCI (Life Cycle Inventory) Database 구축 및 이를 활용한 LCA (Life Cycle Assessment) 분석방법론 기술개발
- (필요성- 탄소배출 저감에 기여하는 기술 개발 요구)
- 국내 알루미늄 산업이 탄소중립을 달성하기 위해서는 신지급급 전량 수입구조에서 사용후 스크랩의 재활용 기반 구조로의 개선 필요함
 - 글로벌 탄소중립정책에 따른 국내 알루미늄 산업의 탄소세 부담은 연간 약 1,673 억원으로 자동차, 전기전자 등 주요 핵심후방산업 경쟁력 약화가 우려됨
 - 스크랩 재활용 소재를 활용하는 기업 입장에서는 물성치와 같은 품질지표, 탄소 발생량과 같은 환경지표, 생산단가와 같은 경제지표가 융합되어 자사 제품의 지속 가능성을 종합 평가할 수 있는 방법론 도입이 필요함
- (기대효과 - 공급망 개선 및 경제적 효과)
- 현재 국내 알루미늄 압출기업 중 탄소중립을 위한 저탄소 소재 확보 및 고품질 물성 확보를 동시에 달성한 기업은 없음
 - 세계적으로 저탄소 알루미늄 잉곳은 수력 기반으로 하는 한정된 국가에서 생산되어 공급대비 수요가 절대적으로 부족한 상황이며, 사용후 스크랩 소재화 및 저탄소 알루미늄을 생산하는 방향으로 산업구조가 전환되고 있음
 - 본 제안기술을 국내 알루미늄 산업계로 확대시, 저탄소 알루미늄 제조기술 구축으로 글로벌 저탄소 알루미늄 시장에 선도적인 위치를 확보할 수 있음



[사용후 스크랩 파쇄, 기계적/화학적 분류]



[EV/그린빌딩용 AI 합금 빌렛 연주기술]



[친환경 스크랩 용해/정련/용탕제어기술]



[스크랩-용해-주조-압출-부품화 전과정평가기술]

I. 국내외 알루미늄 산업 현황: 24년 11월 발행 재료마당



대한금속재료학회 재료마당

Vol.37 No 6 November 21

특집주제: **CBAM 대응 탄소저감 알루미늄 소재기술**

1. **저탄소 알루미늄 소재를 위한 정련기술 동향**

한국생산기술연구원 강헌

2. **탄소중립에 대응하는 국내외 알루미늄 산업 및 기술동향**

포항산업과학연구원 김명균, 하원

3. **LCA기반 탄소중립 대응 알루미늄 기술 개발 동향**

한국자동차연구원 정영길, 신재혁, 김세훈

4. **알루미늄 합금의 재활용 기술 동향**

한국재료연구원 조영희, 어광준, 이정무

II. 저탄소 알루미늄 산업 및 기술현황

● 친환경 전환은 친환경 에너지(Low carbon) 활용, 생산방식 혁신(Zero carbon) 및 재활용(Recycle) 확대로 전개 중임

저탄소	방향	해당 기업
Low Carbon	1. 재생에너지(수력, 태양광) 기반 알루미늄 생산으로 기존 대비 탄소 배출량을 최대 25% 감축 가능 2. 재생에너지 프리미엄이 수익성에 직접적 영향을 주며, 장기적으로 에너지 산업의 리스크로 확장성에 한계 3. 수요처와의 인접성과 수력에너지 조달 편의성을 보유한 북유럽 제련소를 중심으로 적극적 투자 중임.	Hydro Rio Tinto Alcoa RUSAL
Zero Carbon	1. 알루미늄 생산 과정 중 발생 다량 CO ₂ 를 직접 저감하는 생산 방식 2. 에너지 프리미엄이 지속적으로 감소하는 상황에서 재활용 AI의 기술적 한계를 극복하여 부가가치 창출 3. 재생 알루미늄의 가격 및 친환경성 강점으로 인해 투자비를 회수할 수 있는 산업 내 가용 수요 부족	ELYSIS RUSAL
Recycle	1. 현재 기술수준 고려시 친환경 전환의 현실적인 대안으로 규제적 요구가 높은 산업은 유일한 수단임. 2. Zero-Carbon의 상용화 지연 시 경제성을 기반으로 한 지속적인 Primary 대체로 적용 범위 확대 가능 3. 단순한 재활용은 가격이 차별화 요소로 수익성의 한계가 명확하며, 생태계 및 공급망을 고려한 PIR 및 PCR에 따른 고유기술 차별화 필수	Novelis Hydro Rio Tinto

Novelis – Closed Loop Recycling(PRI기반)

- 전용 트레일러 활용 고객사 PIR 수집 → 천정 open 타입, 고객사 현장에서 실시간 수집, 단계 최소화
: PIR Feedstock(Ford, Jaguar, SPS 등 OEM/부품사) 및 CCBSS, Ball Corp. Coca-Cola 음료 Bottling 재활용 파트너십 체결
- 합금별 수집 스크랩 전용 노벨리스로 이송하여 재용해 → 이송 중 밀폐, 수집 단계 분류 진행 추가 작업 최소화
- AI 업계 유일 대륙별 HQ 운영, 현지 완성차사와 부품개발-재활용까지 네트워크 구축 운영 중



[전용 tractor-trailer]



[Closed Loop Recycling 체계도]



[Novelis 권역별 재활용 센터]

	압연	후가공	재활용
[북미]	• 미, Oswego • 캐, Kingston	• Oswego (ABS 열처리)	• Oswego (ABS 스크랩)
[아시아]	• 한, 영주/울산 37만톤	• 중, 창저우 12만톤	• 한, 영주 26.5만톤

[자동차용 판재 스크랩활용 네트워크]

*울산알루미늄
Recycling/Casting Center 10만톤
규모 5천만불 투자('22.2.), '24.말
준공, 현재 가동 중
☞ CO₂ 42만톤/년 감소 예상

- Rio Tinto는 **저탄소** 버진과 **재활용** 사업을 병렬적으로 추진 중이며, 특히 탄소무배출 AI 제련 기술 개발을 위한 JV를 설립하여 친환경 버진 AI 생산에 업계 내 선도적인 위치에 있음

- 전통적인 알루미늄 제련 기업으로 탄소중립 대응: **2 Track 사업 방향**

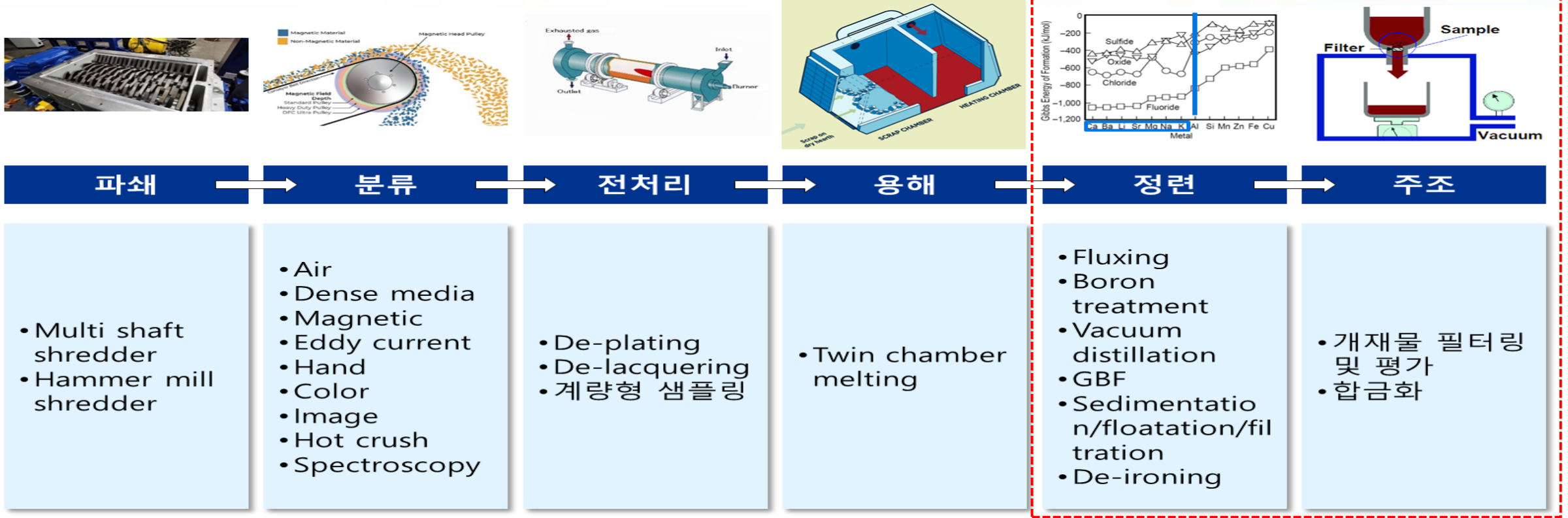
1. 저탄소 버진사업(Primary Aluminum)

- 재생에너지 기반 '저탄소' AI 생산을 넘어제련 과정 내 탄소를 제거하는 '무탄소' AI 개발 중
- : 제련시 탄소를 제거하는 무탄소 'Carbon-Free' 제품 생산을 위해 Alcoa와 JV "Elysis" 설립
- Apple, 캐나다 정부 및 퀘벡 주정부로부터 1.44억달러 투자 유치 성공
- Alcoa, Apple과 함께 연구 중으로 '27년 상업적 품질 도달, 50년까지 50~100만톤 증설 예정

2. 재활용산업 진출(Secondary Aluminum), 23년 Metalco 인수 계기

- 23년 재활용 알루미늄 사업 본격화: Matalco 지분 50% 인수(\$7억 투자),
- : 잔여 50%지분 보유 Giampaolo Group로부터 스크랩 조달
- 북미 시장 내 재활용 사업을 영위하는 Matalco인수로 향후 재활용 사업 본격적 확장 예정
- 美 재활용 AI 생산 Capa 80만톤을 보유한 Matalco를 인수하며 북미 내 재활용 사업 본격화
- 전세계 100만톤 재활용 Capa를 기반으로 Slab, Billet을 생산, M/S 15%, 7%확보 ('24) 중이며, '30년까지 50% 이상 설비 증설로 150만톤 생산 계획

Ⅲ. 알루미늄 용탕 청정화기술: 리사이클링 공정



○ 다이캐스팅 분야를 포함한 주조용 재활용 소재에서 용탕품질 평가 현황

- 기존 Secondary 잉곳 지속적 공급
- Hypercasting 등 신기술 및 소재 탄소중립 이슈 대응하기 위해 PCR/PIR 사용 급증 → 스크랩 사용에 따른 용탕품질 평가: K-Mold, DI(감압응고)

○ 압출/압연 분야에서 재활용 소재에서 용탕품질 평가 현황

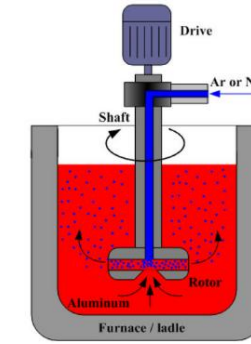
- 버진 중심 자동차/항공용 소재는 용탕 수소가스 및 개재물 품질 평가: 수소가스($\leq 0.11 \sim 0.15 \text{cc}/100\text{g}$), PoDFA ($\leq 0.025 \text{mm}^2/\text{kg}$)
- 최근 스크랩 급증 요구에 따라 재활용 중 용탕품질 이슈와 동시에 실시간 용탕품질 평가 필요

용탕 내 비금속개재물 제어

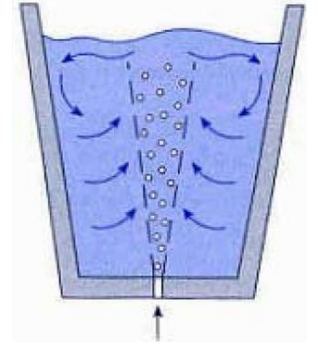
● 용탕 내 산화물 및 개재물 물리적 제거방안

○ 가스 버블링

- Ar, N₂ 등 불활성 가스를 용탕에 주입하여 수소 및 산화물/개재물을 부상시켜 제거
- 종류: 회전로터 방식, 다공성 세라믹 튜브 방식
- 위치: 용해로 및 보온로



가스 버블링(회전로터)



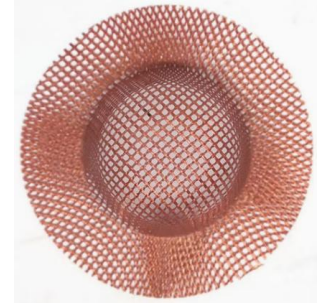
가스 버블링(포러스플러그)

○ 필터링

- 필터에 용탕을 통과시켜 산화물/개재물을 여과시켜 제거(크기차이/부착)
- 종류: 세라믹 폼 필터(CFF), 와이어 메쉬 필터
- 위치: 탕도/턴디쉬, 몰드 입구, 연주라인 내



세라믹폼 필터(알루미나)



와이어메쉬필터(유리섬유)

○ 스킴밍(Skimming)

- 용탕 표면에 떠오른 산화물(드로스) 및 포함 개재물을 물리적으로 제거
- 침강/부유물은 제거 불가
- 위치: 용해로 및 보온로



스키밍

용탕 내 비금속개재물 제어

● 용탕 내 산화물 및 개재물 화학적 제거방안

○ 플럭싱 : 스크랩 함유 혹은 알루미늄 용탕 내 가장 일반적인 청정화 기술

- 염류(플럭스)를 투입하여 산화물과 반응하게 하거나 용탕-개재물간 계면에너지를 낮춰 제거 유도
- 성분: NaCl , KCl , MgCl_2 , Na_3AlF_6 , CaF_2 등
- 위치: 용해로 및 보온로
- 용도: 탈가스, 정련, 보온 등등..



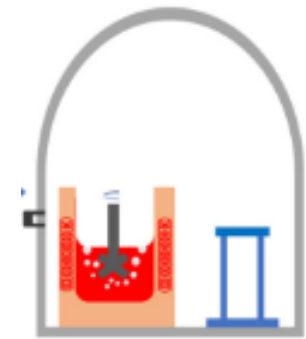
플럭싱

○ 흡착제

- 고온 안정한 세라믹(활성 알루미나, 제올라이트, 스피넬 등)을 용탕에 투입하여 개재물 흡착 유도
- 미세한 입자형 Al_2O_3 및 복합 개재물 흡착

○ 진공정련

- 용탕 내 수소, 휘발성 불순물(Na , Ca , Zn , Mg 등), 산화물(부유/부착) 등을 제거
- $10^{-2} \sim 10^{-4}$ torr 수준으로 감압하여 $700 \sim 750^\circ\text{C}$ 에서 수십 분 유지



진공정련

○ 기타 주로 불순물 원소 제거 위한 다양한 성분의 플럭스의 부수적 개재물 제거 효과

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● 산화물 및 개재물의 평가방안

- 인라인 평가 방법: 작업 중 용탕상태 실시간 확인 및 공정 피드백 가능
 - Metal Vision MV20/20(초음파)
 - Constellium 특허(초음파)
 - LIBS(레이저 스펙트로 스코피)
 - LIMCA(전기저항)
- 샘플링 평가 방법: 소재 재용해 및 용탕 채취 통한 사후 품질 확인 가능
 - K-Mold(대기응고/파단면관찰)
 - Qualiflash(대기여과)
 - Foseco Vmet(대기응고/SEM-EDS)
 - LAIS(흡입여과/용탕샘플러)
 - IA500(가압여과)
 - PoDFA(진공여과)/Prefil(가압여과)
 - **RPress(가압여과/RIST자체개발)**

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● Metal Vision MV20/20 - 인라인

○ 원리/특징

- 고주파(1~5 MHz) **초음파 펄스**-에코 사용, 전체 유량의 25% 이상을 연속 분석
- 두 개 공랭식 가이드-로드(송신/수신) + 반사 플레이트 용탕 침지
- 개재물 산란·반사 에코 / 반사판 에코 감쇠 / 음속 변화를 실시간 연산
- 20~160 μ m 범위 개재물 계수(개별반사) & Cleanliness index 0~10 제시(반사판 감쇠)

○ 장점

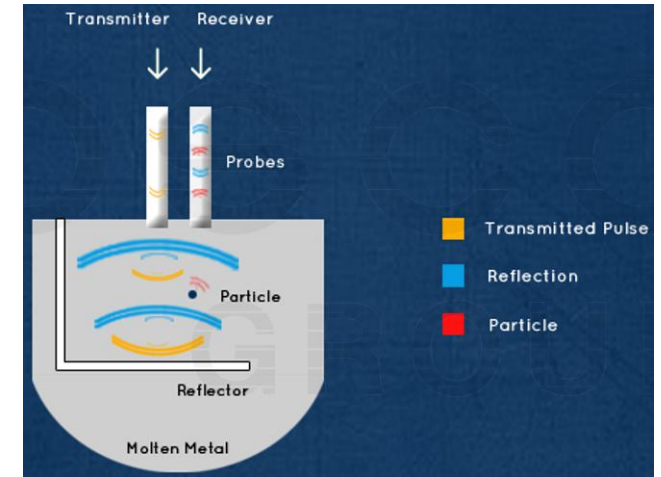
- 개재물 크기/농도 정보를 실시간으로 제공(초당 100회 이상 update), 샘플링율 高
- 온도에 따른 초음파 속도 변화를 자동 보정, 오차 최소화

○ 단점

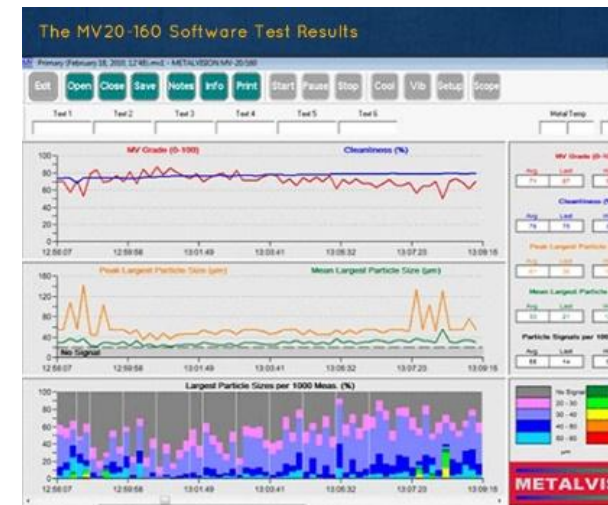
- 20 μ m 이하 개재물은 간접지표(cleanliness index)로만 평가
- 센서 가이드 로드/반사판 습윤 컨디셔닝 필수
- 가격(\$25~35만), 설비 크기 제약

○ 기타

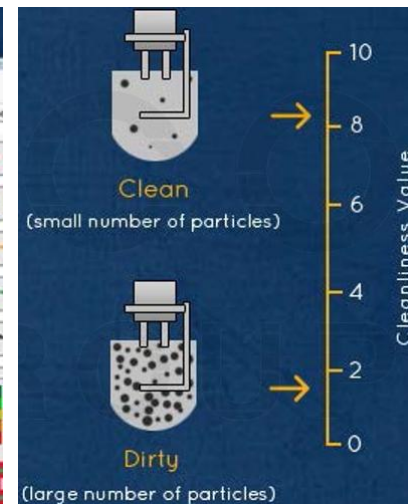
- 주기적으로 PoDFA 또는 LiMCA와 상호비교/보정 필요(상관관계 연구 有)
- JW Aluminum社에서 도입 후 필터 수명 최적화 및 탈가스 공정 개선 실적



[MV20/20 모식도]



[MV20/20 분석 화면]



[MV20/20 청정도지표]

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● Constellium 초음파 센서 - 인라인

○ 원리/특징

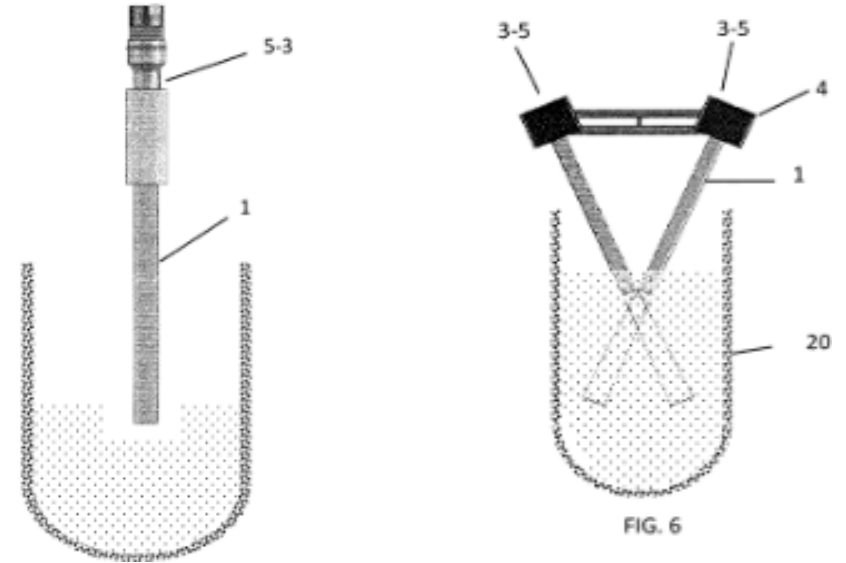
- 세라믹 Si_3N_4 sonotrode + 다중 주파수
- 소형-온라인, 산업 실증 진행 중(2016 특허)
- 초반, 고출력 초음파($\geq 10\text{W}$, $\approx 20\text{kHz}$) 짧게 인가 완전 wetting 확보
- 이후, 측정용 초음파($1\sim 25\text{MHz}$) 지속 발사 반사-산란 신호로 개재물 감지
- 신호 세기가 기준 이하로 떨어지면 고출력 펄스로 wetting 복원
- (option) 용탕 내 반사판을 두어 교정-에코를 실시간 모니터링

○ 장점

- 용탕 내 개재물 품질을 실시간으로 분석 가능, 샘플링율 高
- 센서 젖음 유지시간 수일 이상(기존 장비는 수 시간)
- 용탕과 반응성이 적은 소재의 초음파 인가 장비 사용
- Doppler velocimetry를 겸해 용탕 유속도 측정 가능

○ 단점

- 적용범위 및 용탕양에 한계가 있음



[Sonotrode 배치도(single/double)]

PCT WO2016/055729: Method for inspecting a liquid metal by ultrasounds

출원인: CONSTELLIUM ISSOIRE(FR)

용탕 내 비금속개재물 평가방안

LIBS(레이저) - 인라인

○ 원리/특징

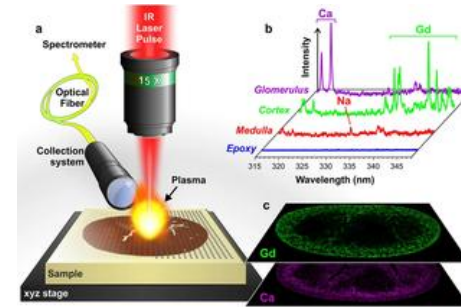
- 고에너지 레이저 펄스 용탕에 조사하여 국부 플라즈마 발생
- 수 μ s 안에 방출되는 원자이온선 스펙트럼 분석하여 실시간 다원소 정량
- 주요타겟: 합금원소, 개재물 내 Ti/B/Si/O/C 신호
- 검출한계: 합금원소 수ppm, 개재물 TiB_2 100~200ppm 부터
- 대표장비: Tecnar AluLIBS(침적 프로브), DTE LP-LIBS(비접촉 표면)

○ 장점

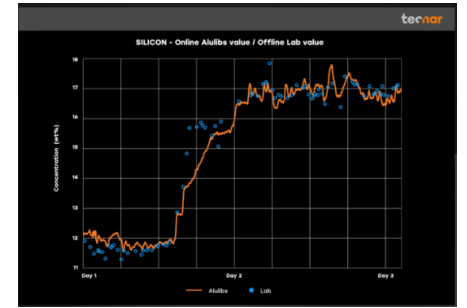
- 1~60Hz 운용으로 사실상 온라인 분석
- 다원소+개재물 분석 동시 수행, 소모품 적음

○ 단점

- 구입 비용 高(\$400k+). 10 μ m 이하 미세 산화물 필름 검출 민감도 낮음
- 입자 크기/개수 확인 불가. 비접촉식의 경우 슬래그 두께 관련 표준화 필요



[LIBS 원리 모식도]



[장시간 원소 추적 예시(Tecnar)]



[성분 추적 예시(DTE)]



[측정 실시예 (DTE)]

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● ABB/LiMCA-III(청정도분석기) - 인라인

○ 원리/특징

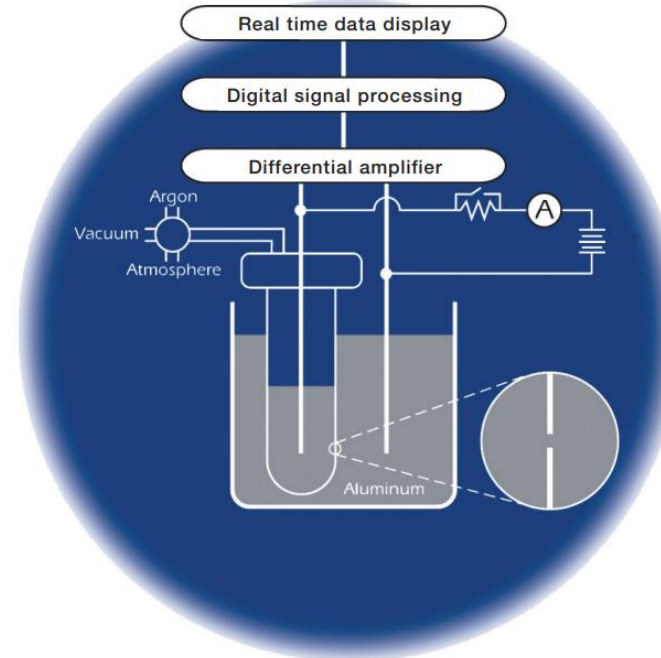
- 전자감지존(Electric Sensing Zone), Coulter-Counter 개념을 적용
- 쿼츠 튜브 내 음압을 걸어 0.3mm 내경 오리피스(ESZ)를 통해 용탕 입출입
- 오리피스 양단 전극 간에 교류전류(~60A)를 흘려 개재물이 통과시 저항 변화를 펄스로 계측(약 80~90초/회)(15~155 μ m, k개/kg)
- 비전도 입자 통과시 저항 상승으로 전압 펄스 발생 원리
- 펄스 높이 $\propto$ 입자 부피, 펄스 폭 $\propto$ 통과 시간 $\rightarrow$ 크기/개수 동시 산출
- 오리피스 막힘 발생시 대전류 200~300A x 0.3s 플러싱-재생

○ 장점

- 런너/용해로 등에서 짧은 간격으로 비금속개재물 크기/개수 실시간 측정

○ 단점

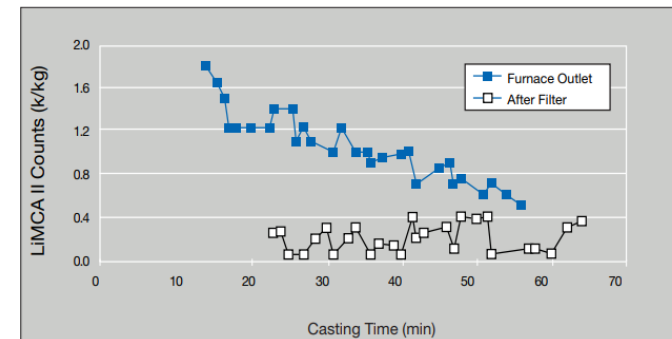
- 고가의 장비 및 소모품 가격(본체14.5억원+구독료+소모품)
- 크기 제한, 종류 구분 불가, 샘플링 볼륨 작음(7.5mL)



[LiMCA 원리 모식도]



[LiMCA-III 장비 사진]



[LiMCA 측정 데이터 예시]



[LiMCA 측정 모습]

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● K-Mold(파단면) - 샘플링

○ 원리/특징

- 정해진 금형(6mmT)에 용탕을 주입하여 급속 응고
- V-노치 위치에서 샘플을 파단, 개재물/기공 개수를 계수하여 K-값 도출
(※ $K = \sum (\text{관찰된 개재물/기공 수} \div \text{관찰면 개수})$)
(※ K-값 기준: 1미만 Clean, 1~2 적정, 3이상 처리필요)

○ 장점

- 금형 저렴(\$500 내외), 전용 장비 불필요, 빠른 반복 작업 可

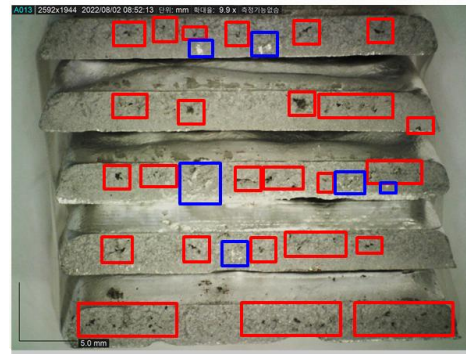
○ 단점

- 정성-육안 분석, 작업자 의존성, 미세($< 20\mu\text{m}$) 필름은 미검출
- 기공과 개재물 구분 어려움, 용탕온도/주입속도 등 변수



[K-mold와 그 주조편]

□ : 개재물이 존재 □ : 단순 파단면



GBF 전



GBF 후

[RIST 모니터링 예시]



필터링 후

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● Qualiflash(대기여과) - 샘플링

○ 원리/특징

- 산화물이 많으면 세라믹 필터($\sim 10\mu\text{m}$)가 빨리 막히는 원리를 이용
- 1kg 정도의 용탕을 필터로 대기 중에서 여과하여 통과한 부피를 즉석 계측(w/ 스케일)
- 지정 몰드에 눈금 0~10 Cleanliness Index + 유량-시간 곡선 도출

○ 장점

- 채취/주입 1분 + 여과 1~2분 → 결과 즉시 판독, 장비비/운용비 저렴
- 기존 DB 비교를 통해 특정 합금의 클린니스값을 개재물량으로 환산 가능
(예: Al-Si9Cu3 합금에서 눈금 7이면 산화물 $0.12\text{mm}^2/\text{kg}$ 수준)

○ 단점

- 배치식, 실시간 모니터링 불가, 미세 필름상 산화물 영향도 ↓
- 온도, 주입 높이, 합금 성분 등에 결과 민감



[Qualiflash 장비 사진]



과정1. 도가니 하부에 필터 장착



과정2. 도가니에 용탕 pouring



과정3. 통과 용탕량 확인
(깨끗한 탕에서 최대 10까지 형성)

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● Foseco Vmet(대기응고) - 샘플링

○ 원리/특징

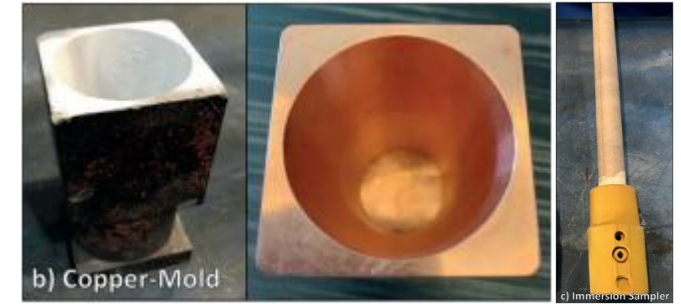
- 지정 몰드에 용탕을 주입하고 대기응고 후, 절단/연마 하고 SEM/EDS 기반 자동 분석
(DI 몰드 형상과 유사한 금형주입된 주조재의 단면 절단-> 관찰, 분석)
- Foseco SW **10x10mm²** 영역(<2,000장) 명암 및 조성 기준으로 기공, 개재물을 식별/계수
- 연마 Ra < 0.05 μ m, SEM-EDS 15kW / 10mm WD / 0.7 μ m 픽셀
- 결과물: total feature(#/cm²), 크기별 개수(0.5~2.5, 2.5~5, ..., 75~ μ m), 종류별 개재물 면적(mm²/kg)
- 검출범위: 0.5 μ m 이상, 기계적 결함 연관되는 중요 등급은 15 μ m으로 설정

○ 장점

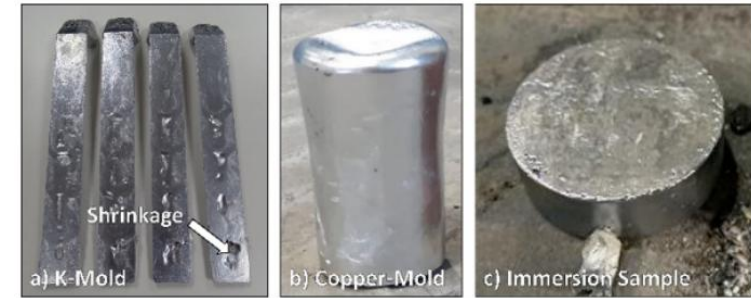
- Foseco SW 활용 기공/산화물/기타 개재물로 나눠 크기/종류/개수까지 산출
- 자동화 기반으로 작업자 의존성 低

○ 단점

- SEM/EDS 장비 필수, 상대적으로 높은 유지비 高(\$300~400k), 샘플 준비 품질 민감
- 수축 기공 최소화 위한 몰드사용/샘플링 필수



[VMet 분석 위한 추천 몰드]
(※ Shrinkage 최소화 필요)



[VMet 분석 위한 샘플]

Sample IDs	2-1CuM-B	2-2CuM-B	2-3CuM-B	2-4CuM-A	2-5CuM-A	2-6CuM-A	2-7CuM-A	2-1ImS-B	2-2ImS-B
Mold Type	Copper Mold							Immersion Sampler	
Mold Temperature C	28	167	201	288	314	315	317	28	28
Treatment	untreated Al	untreated Al	degassing	degassing	degassing	degassing	degassing	untreated Al	untreated Al
Total Features	854	346	620	363	326	278	232	193	125
Area Analyzed (mm ²)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total Pores	751	313	348	325	285	258	192	154	111
0.5 ~ 15 μ m	749	313	344	323	274	248	189	153	108
15 ~ 30 μ m	2	0	4	0	9	6	2	1	2
30 ~ 75 μ m	0	0	0	2	2	4	1	0	1
> 75 μ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Aluminum Oxides	41	14	37	18	24	13	22	24	8
0.5 ~ 15 μ m	41	14	37	18	22	12	22	24	8
15 ~ 30 μ m	0	0	0	0	2	1	0	0	0
30 ~ 75 μ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 75 μ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Other Inclusions	62	19	235	20	17	7	18	15	6
0.5 ~ 15 μ m	58	19	232	20	17	3	15	12	4
15 ~ 30 μ m	3	0	3	0	0	4	3	3	1
30 ~ 75 μ m	1	0	0	0	0	0	0	0	1
> 75 μ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[VMet 분석 결과 예시]

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● Nikkin Flux IA500(가압여과) - 샘플링

○ 원리/특징

- 3kg 알루미늄 전기로에서 용해, 세라믹필터($\sim 10\mu\text{m}$) 정압 여과
- 필터 막힘 속도와 필터 농축 개재물을 OM/IA로 정량화
- 결과물: 여과시간(s/g), 총 개재물 면적(mm^2/kg), 기공 면적(mm^2/kg)
- 필터 막힘으로 8~10 μm 이상 개재물 및 OM 분석으로 3 μm 급 입자까지 확인

○ 장점

- 내부 용융으로 산화 최소화, Prefil-style 여과 그래프 + 자동 이미지 분석
- 공정 영향도(140mm^2)와 소재영향도(7mm^2)로 나눠서 결과 도출
- 빠른 분석 속도(절단/마운팅/연마 완료 시편에 대해 30~60분 자동 분석)

○ 단점

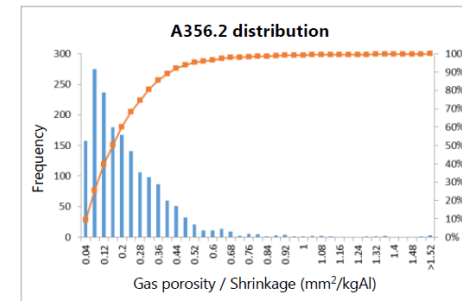
- 고가의 장비(여과 1.5억+ 분석 1.5억+알파) 및 소모품
- 연속/온라인 모니터링 불가, 개재물 상세 종류 판별 불가



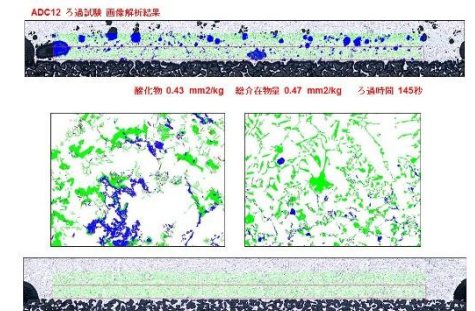
[IA500장비 사진]



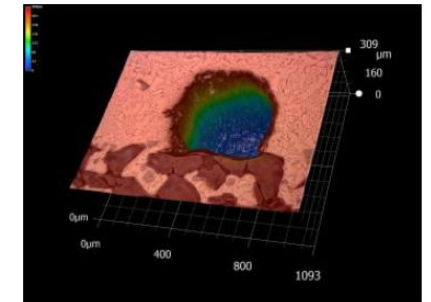
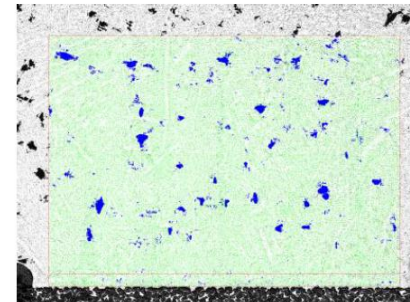
[MIRASYS Analyzer]



[크기별 gas pore 분포 예시]



[샘플별 분석 결과 예시]



[분석범위: ① 14x10mm, ② 14x0.5mm] [Depth 분석으로 gas pore 확인]

용탕 내 비금속개재물 평가방안

● ABB/Prefil(가압여과) - 샘플링

○ 원리/특징

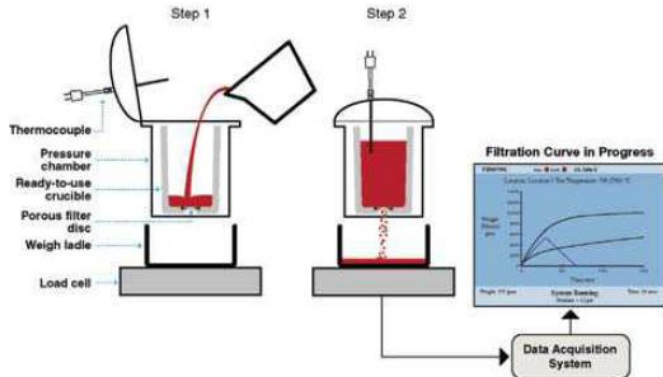
- 1.5kg 내외 용탕을 미세 다공성 필터(~10 μ m)로 가압-통과하고 통과량/시간 곡선 도출(kg/s)
- 8~10 μ m 이상 크기의 개재물이 필터를 막으면서 유량 저하 → 청정도 차이
- 잔류 필터/슬러지는 PoDFA-style 분석 가능

○ 장점

- 통과량/시간 곡선 그래프(기울기, 꺾이는 시점 등)를 통해 결과 즉시 확인
- 실시간 등급 자료와 함께 후속 정량 평가 자료 확보 가능

○ 단점

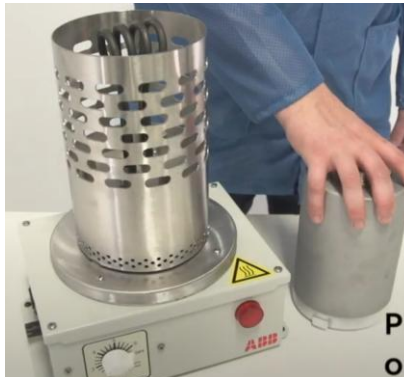
- 실시간/연속 분석 불가, 상대적 지표, 8~10 μ m 미만 입자는 곡선에 영향 低, 재현성 이슈
- 고가의 장비(3.1억+) 및 소모품 비용(crucible/수십회, filter disc/1회)



[Prefil 원리 모식도]



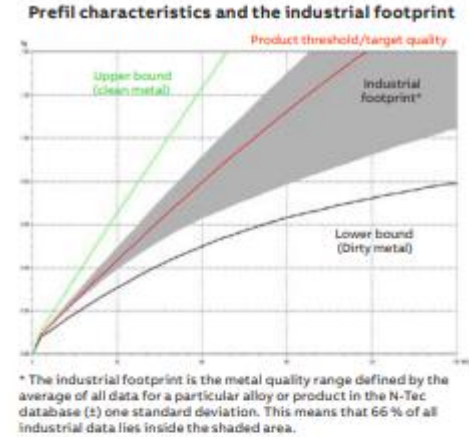
[필터디스크 장착]



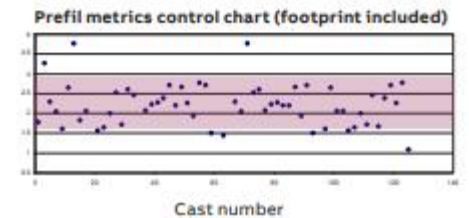
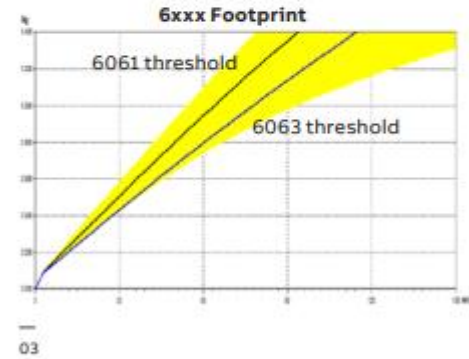
[도가니/필터디스크 예열]



[Prefil 장비 사진]



02



용탕 내 비금속개재물 평가방안

● ABB/PoDFA(진공여과) - 샘플링

○ 원리/특징

- 초미세 다공성 필터($0.7\mu\text{m}$)로 1.0~1.5kg 용탕을 진공여과($T_f+40^\circ\text{C}$)
- 잔류 금속+필터 절단-마운팅-연마-광학/SEM 분석
- 개재물 종류, 총 면적(mm^2/kg), 산화막 필름 개수($\#/\text{kg}$) 산출

○ 장점

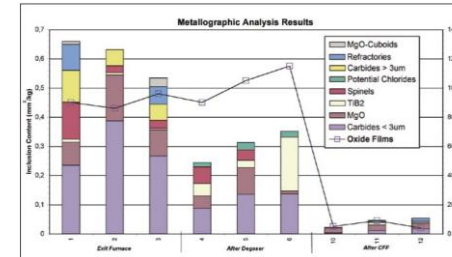
- $2\sim3\mu\text{m}$ 크기 입자 까지 확인 가능(광학 x500 이상), 10,000배 농축
- 미세 개재물 까지, 종류/크기/개수 정량적 확인 가능

○ 단점

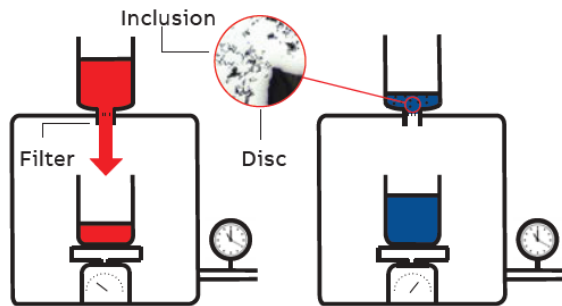
- 실시간 피드백 불가, 슬라이스 위치 및 판독 숙련도에 크게 의존
- 고가의 장비(24억+) 및 소모품 비용(crucible/수십회, filter disc/1회)



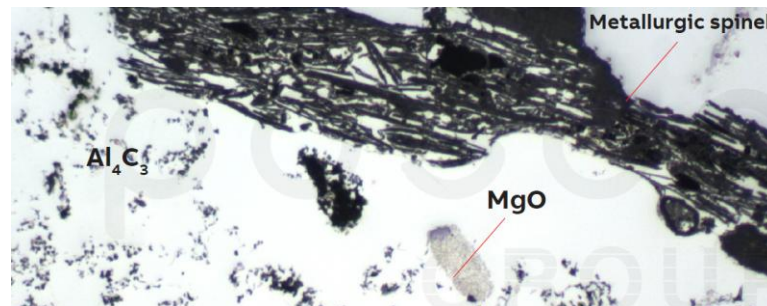
[PoDFA 장비 사진]



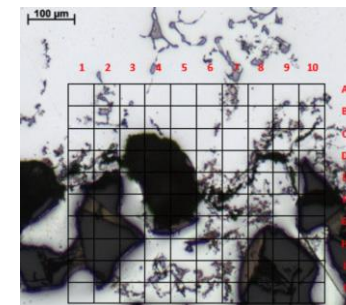
[PoDFA 분석 결과 예시]



[PoDFA 원리 모식도]



[PoDFA 개재물 평가 사진]



RIST 알루미늄 용탕평가

● 보유 용탕 청정화설비 및 평가방안

- 350kg급 용해로(저항가열/경동식): GBF 탈가스 장치($\Phi 225\text{mm}/180\text{RPM}/15\text{LPM}$), 필터박스(30ppi)
: 연주용 몰드테이블(7~12", DC&에어슬립) 연계
- 용탕 내 H_2 가스측정: RPT(H_2 /간접), Alpro-Palm(H_2 /정량), Alpro-M(H_2 /정성) → 국산설비 운영 중
- 개재물: K-Mold(개재물/경향), RIST-Press(개재물/정량, 자체개발)



RPT



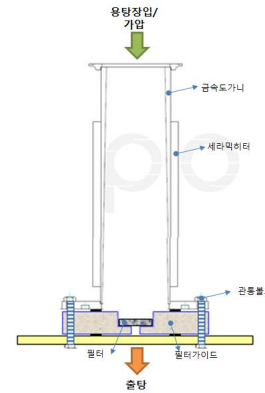
KMold



Alpro-Palm



Alpro-M



RPress



GBF



용탕 내 비금속개재물 평가방안

● RPress(RIST자체개발/가압여과)

○ 원리/특징

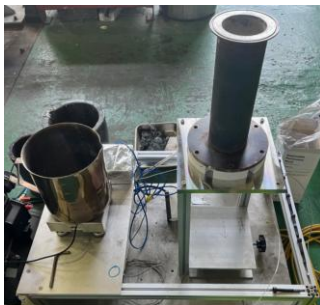
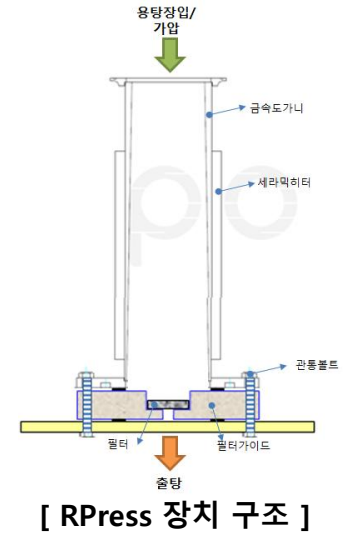
- 미세 다공성 필터(60~70ppi)에 1.7kg 내외의 용탕을 가압여과
- 잔류 금속+필터 → 절단-마운팅-연마-광학/SEM 분석
- 도출결과: 농축 개재물 종류별 크기, 면적 개별 계수(mm²/kg)

○ 장점

- 단순한 구조 및 낮은 소모품 비용(히팅자켓&도가니 ~100회, 필터가이드 ~10회)
- 도가니 외측 히팅 자켓 가열로 예열 시간 단축(PoDFA 4시간 → Rpress 40분)
- 미세 개재물 까지, 종류/크기/개수 정량적 확인 가능(PoDFA-style, but 산화막 필름 면적 포함)
- 온도, 압력, 무게 계측/제어 통해 용탕통과속도도 부가적으로 확인 가능(Prefil-style)

○ 단점

- 연속 작업 불가(용탕여과 1시간/회), 슬라이스 위치 및 판독 숙련도에 크게 의존



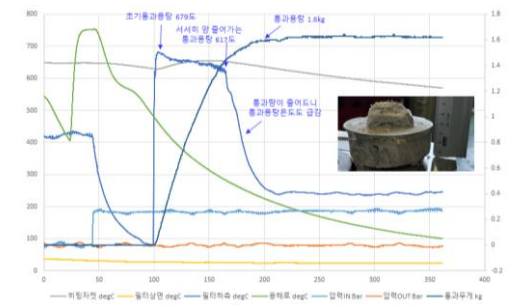
[RPress 장치 사진]



[통과용탕량 모니터링]



[입출측 압력 제어]



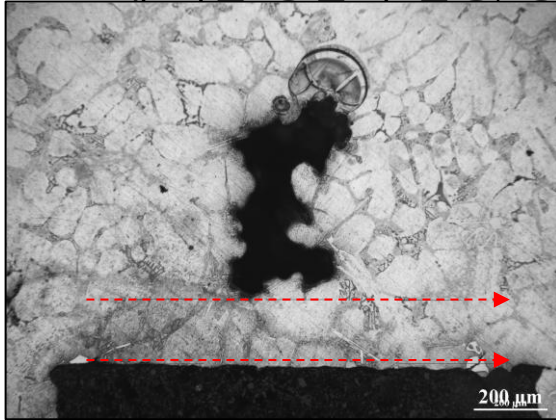
[데이터 모니터링]

용탕 내 비금속개재물 평가방안

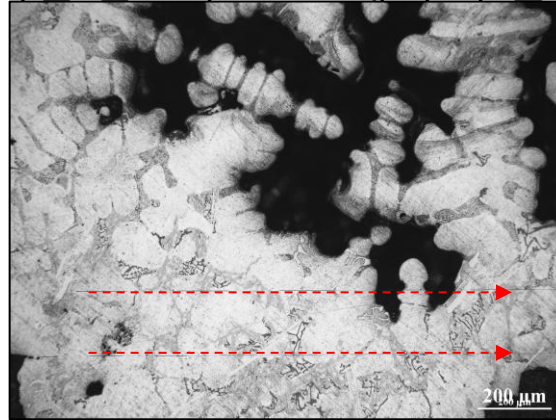
● RPress(RIST자체개발/가압여과)

○ OM 사진 촬영 기준

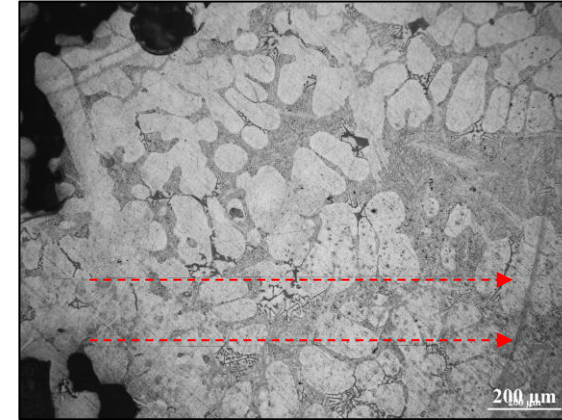
- 세라믹 필터 및 조대 기공 회피 + 필터 직상부 영역 촬영
- x500배 기준 상분석 진행, 상세 확인 필요시 x1000배 추가 촬영



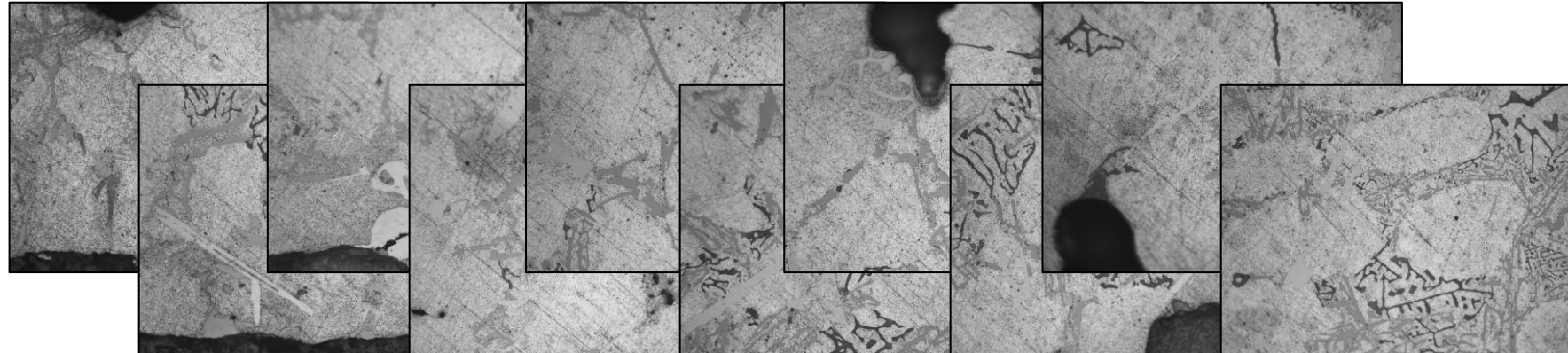
[분석 대상 영역 설정 예시1(x100)]



[분석 대상 영역 설정 예시2(x100)]



[분석 대상 영역 설정 예시3(x100)]



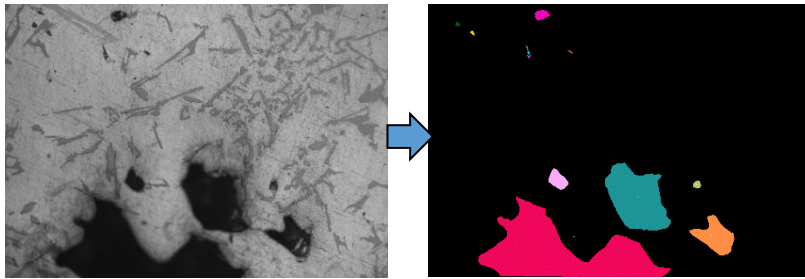
[분석 대상 영역 OM 촬영 예시(x500)]

용탕 내 비금속개재물 평가방안

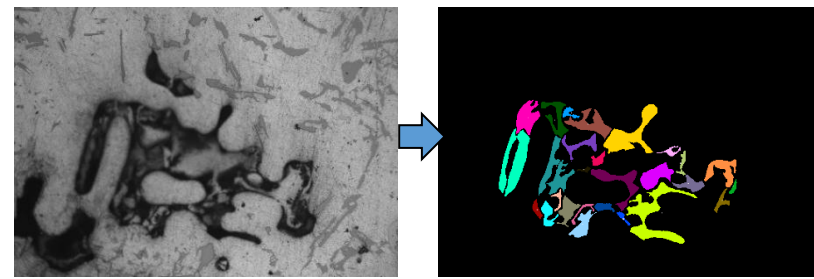
● RPress(RIST자체개발/가압여과)

○ OM 촬영 사진 기반 Image Analysis

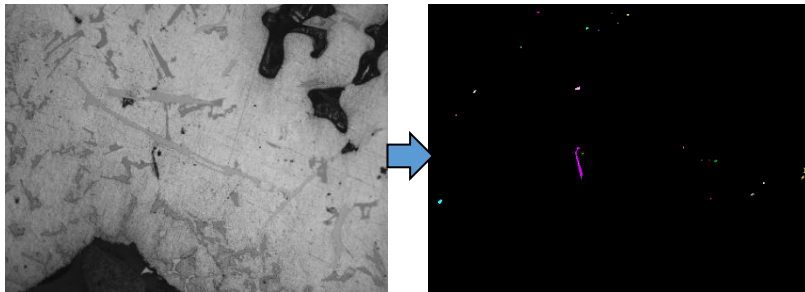
- 기초조사 기반 일반석출상, 연마중 오염물 등 분석 제외
- 기존DB/자체보유DB 참고, 산화물/개재물 marking & 계수/면적 파악



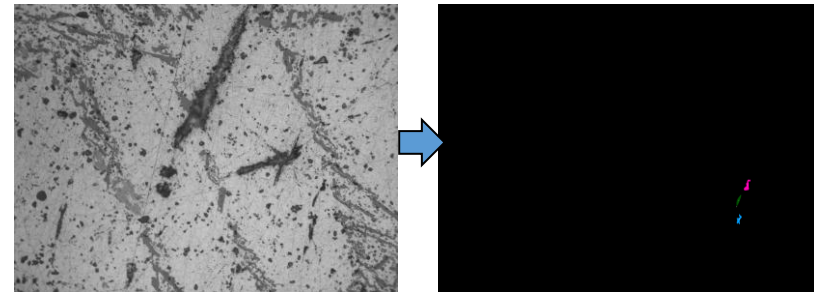
["기공" 분석 예시]



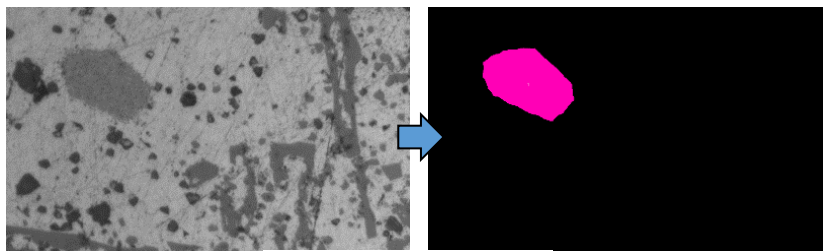
["드로스" 분석 예시]



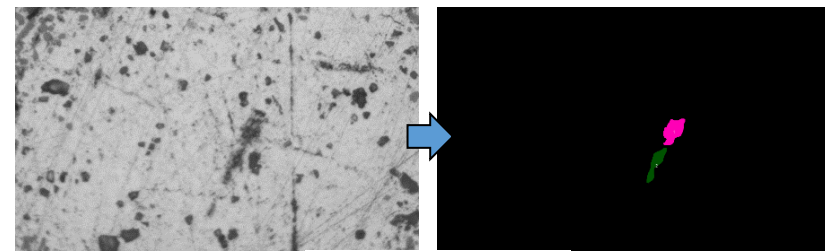
["탄화물" 분석 예시]



["MgO" 분석 예시]



["내화물" 분석 예시]



["TiB₂" 분석 예시]

IV. 요약

● 탄소중립 대응 글로벌 AI기업 재활용 사업 중, 스크랩 재활용 과정 중 용탕품질 평가 이슈

- 전기차 사용 증대 및 산업발전에 따른 알루미늄 사용 지속적인 증대되나, 탄소중립 이슈 대응이 필요한 현실임.
- 알루미늄 산업 내 탄소저감 노력은 친환경 에너지(Low carbon) 활용, 생산방식 혁신(Zero carbon) 및 재활용(Recycle) 확대로 전개 중임.
- 글로벌 3사(Novelis, Hydro, Rio Tinto)는 재활용 사업을 기반을 확장하는 추세이며, 국내 기업도 관련산업의 관심이 증가하고 있음.
- 스크랩 재활용 과정 중 용탕관리측면에서 개재물 제거 및 평가방안에 대한 고려가 필요함.
- 알루미늄 스크랩 재활용 과정 중 용탕 내 및 비금속 개재물 제어가 주요 이슈, 동시에 현장 대응가능한 용탕 내 개재물에 대한 정성 및 정량 분석기술은 향후 핵심기술로 판단됨.
- 국내 알루미늄 산업 내 용탕품질을 정량/정성적 평가안에 대한 보유 설비 및 기술은 부재
- 현장 대응이 가능한 알루미늄 용탕 품질 정성 및 정량평가에 대한 기술 개발 필요
- 공급망 대응 국내 알루미늄 산업 대응을 위한 산업계 VOC 전달 필요, R&D 측면과 동시에 산업계의 적극적인 의사표현 필요

감사합니다

04

배터리 팩 케이스 주조방안 설계 및 검증

에니캐스팅소프트웨어(주)
윤종묵 상무



Battery Pack Case

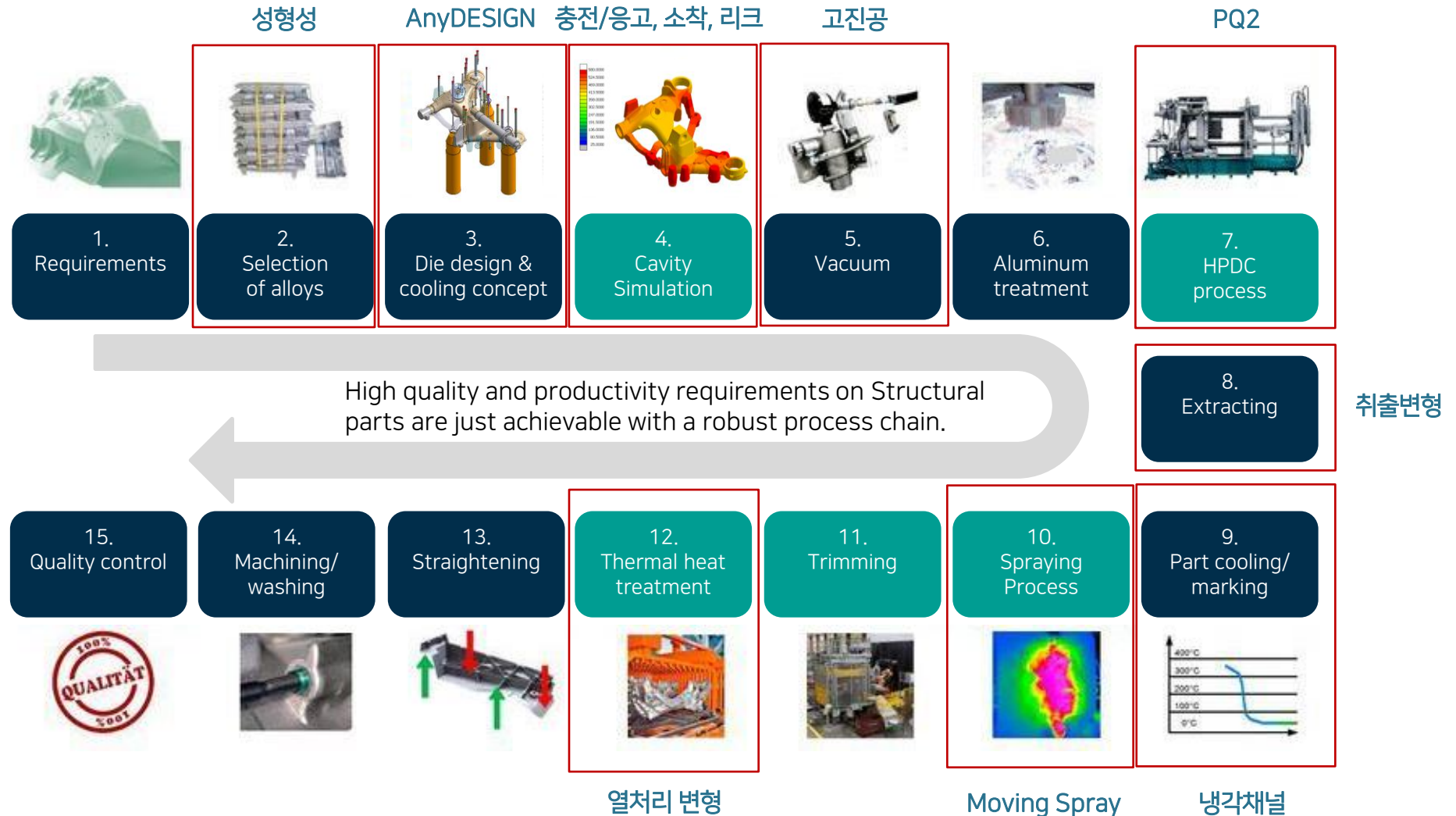
주조방안 설계 및 검증



2025년 7월 8일

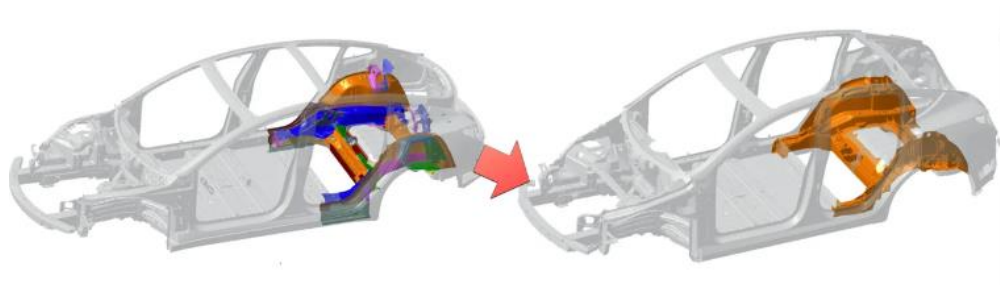
1. 서론
2. 재료선정
3. 지식기반의 구조방안 설계
4. 구조방안 설계 검증
5. 결론

▶ 대형 박육 부품 주요 공정 및 해석 핵심기술

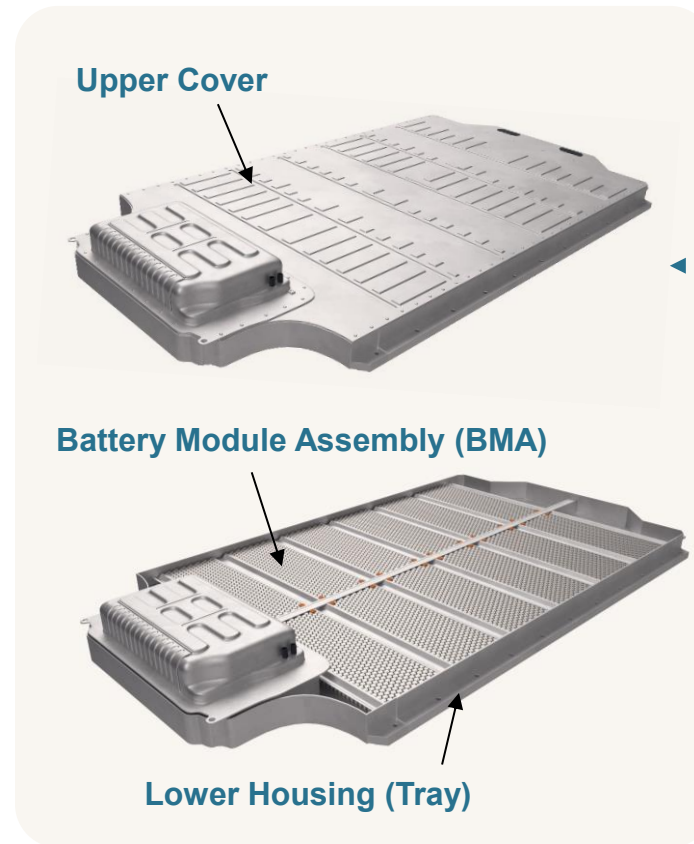


► Motivation

1. 내연기관에서 친환경 자동차로 전환 추세
2. 전기차 핵심부품인 배터리팩 부품 관심도 상승
3. 전기차 박육부품 일체화, 대형화 주조 추세
4. 배터리 하우징 부품 주조품 제조 관심
5. 대형 박육다이캐스팅 주조방안 설계 기법 소개



일체형 기가캐스팅으로 전환 추세



전기차 배터리팩 하우징 구조

EV Car



▶ 유동성 분석 모델



▶ 해석 조건

합금명	주입 온도 (°C)
A383	680, 700
SILAFONT-36	
CASTASIL-37	
AA386	

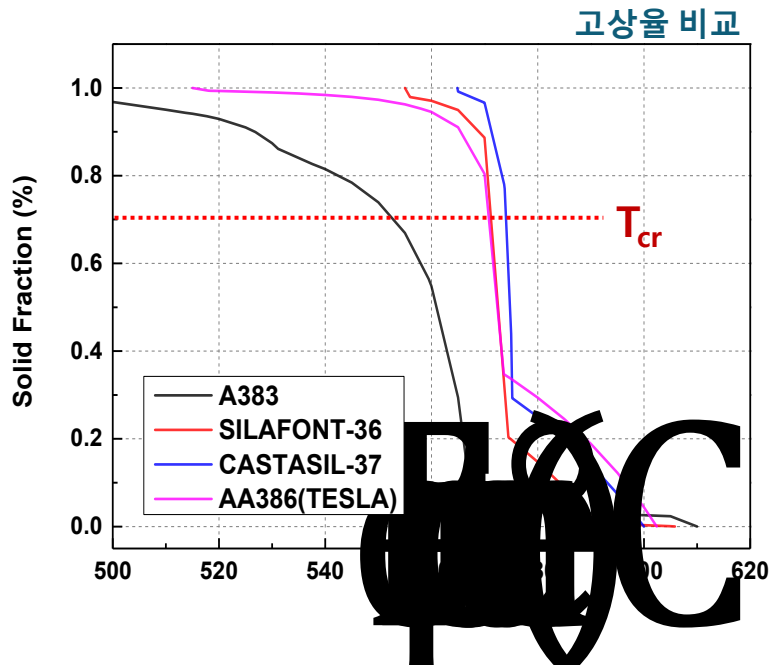
▶ 합금 조성

단위 : wt%

합금명 \ wt(%)	Mg	Si	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Pb	Sn	Mo
A383	0.300	10.80	0.300	-	0.500	1.300	0.500	2.500	1.000	-	0.200	0.200	-
SILAFONT-36	0.525	10.50	0.200	-	0.030	0.150	-	0.050	0.050	-	-	-	-
CASTASIL-37	0.060	9.500	0.150	-	0.475	0.150	-	0.050	0.070	0.200	-	-	0.200
AA386	0.075	8.525	0.013	0.015	0.455	0.277	0.009	0.790	0.020	0.005	0.004	-	-

▶ 고상분율 분석

- A383이 고액 공존이 가장 넓고 T_{cr} 도 552 °C로 가장 낮기 때문에 가장 좋은 유동성
- Castasil37 및 AA386의 경우 액상선 온도 이하에서 급격히 고상율이 증가

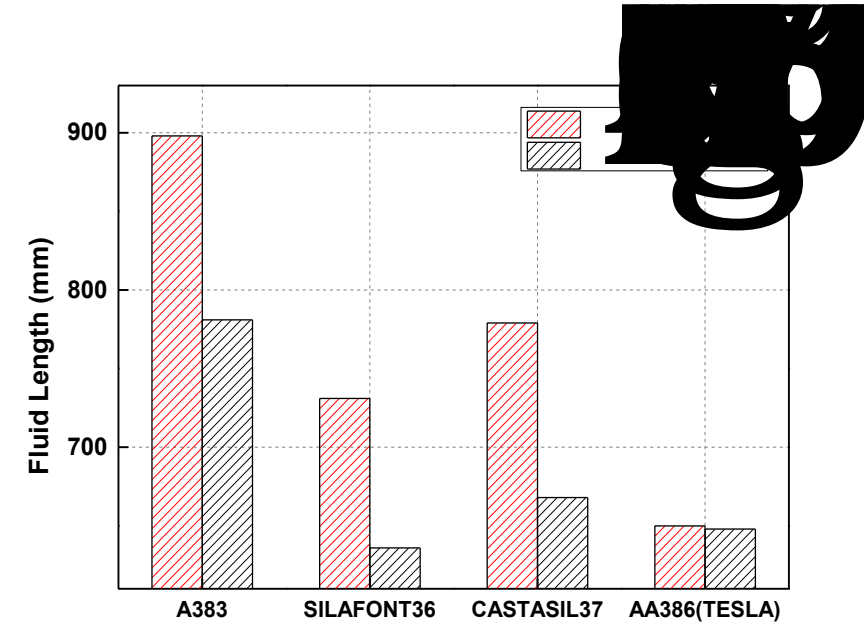


온도 (°C)	T_S	T_L	T_{cr}^*	ΔT^{**}
합금 명				
A383	485	610	552	125
SILAFONT-36	555	605	572	50
CASTASIL-37	564	600	575	36
AA386(TESLA)	515	602	571	87

※ T_{cr} : 고상율 70% 지점의 온도
 ※ ΔT : 고상선과 액상선 범위

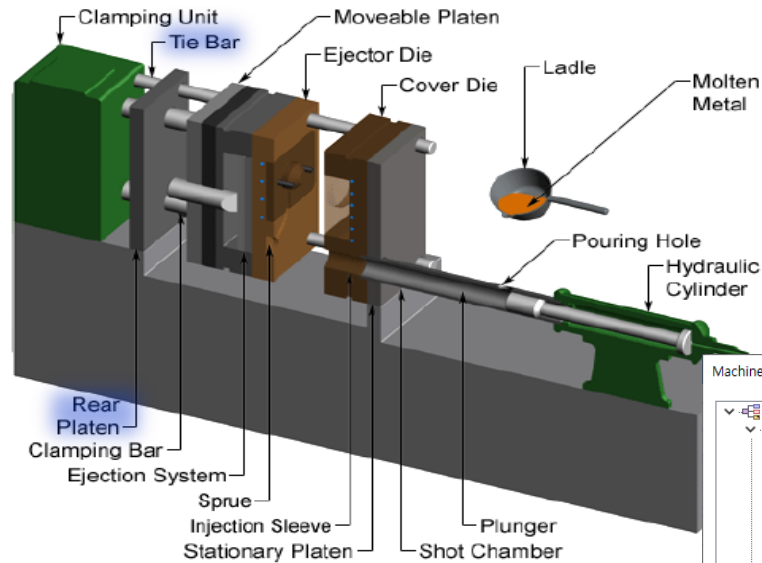
▶ 유동성 비교

- A383의 경우 유동길이가 길어 주조성이 좋음
- A386이 가장 유동길이가 짧게 나타남

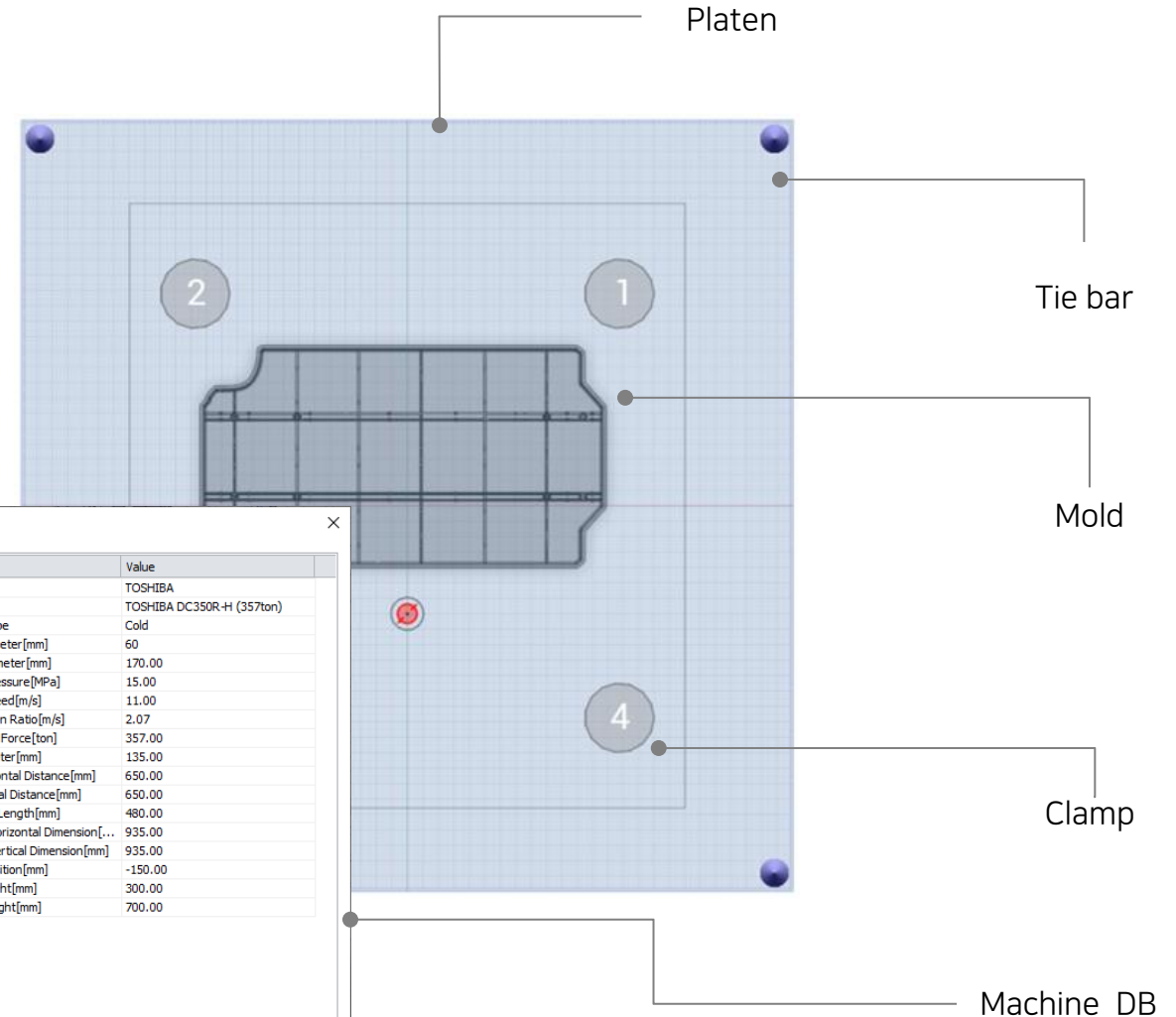
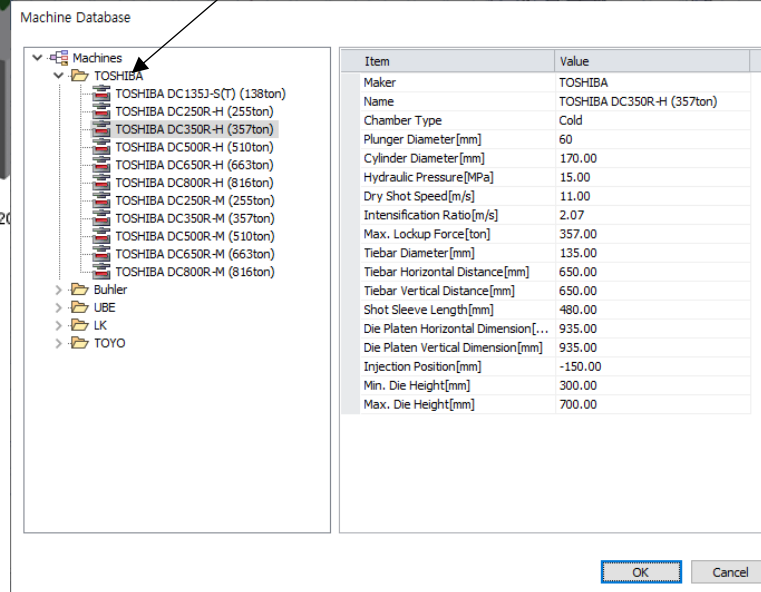


▶ 실제 현장 장비정보에 의한 주조방안 설계

- 실제 현장 장비의 각 요소를 간략화하여 AnyDESIGN HPDC에 구현

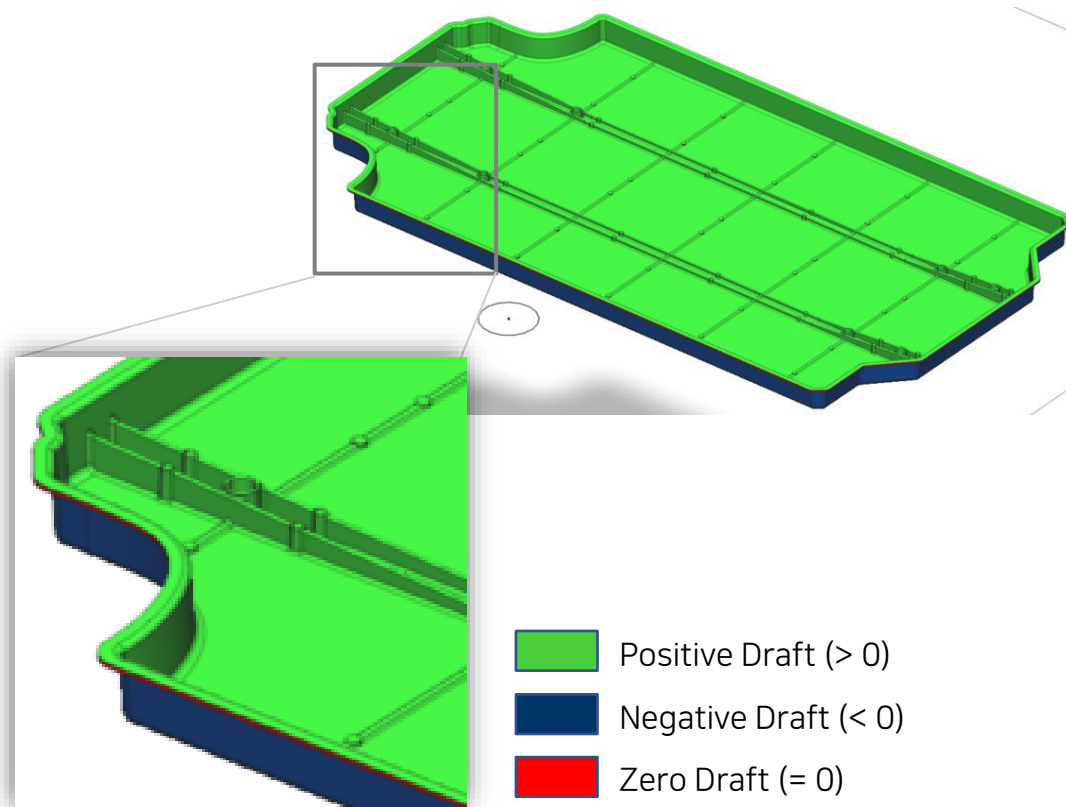


장비 정보 선택



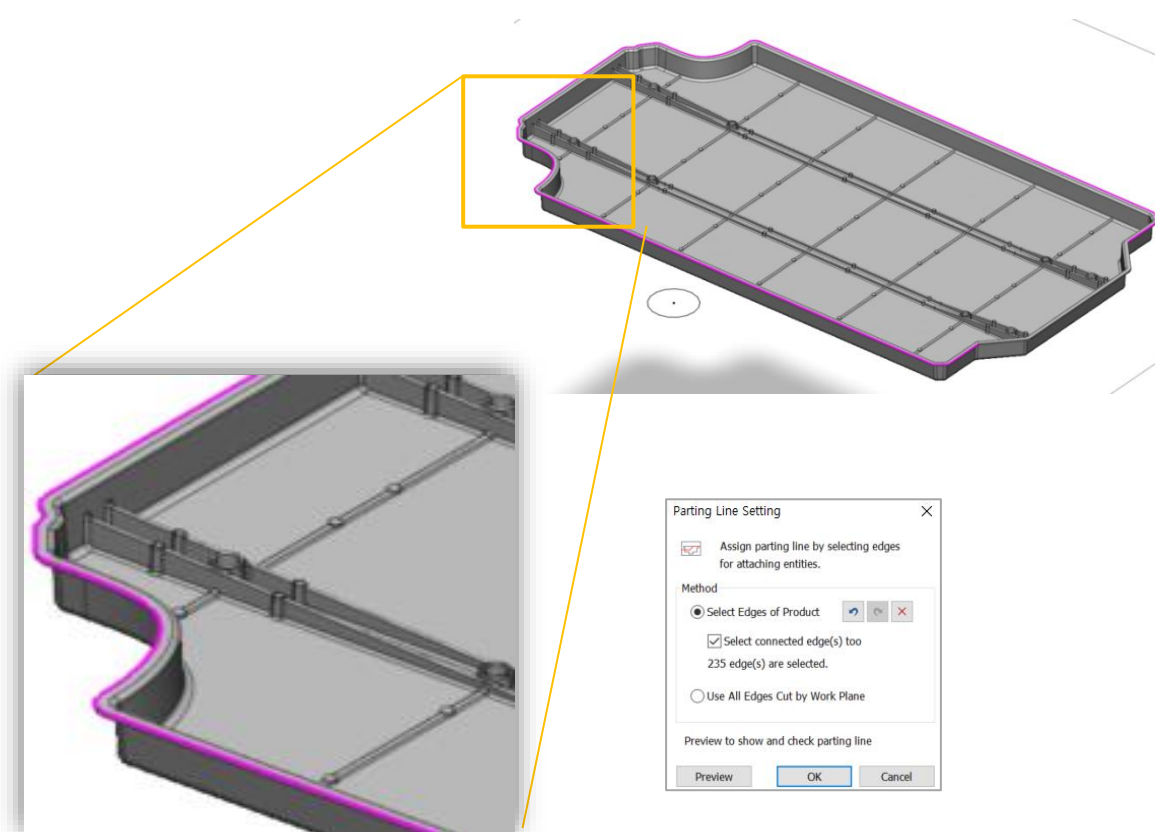
▶ 빼기구배(Draft) 분석

- Product 의 빼기 구배 각도 확인 가능

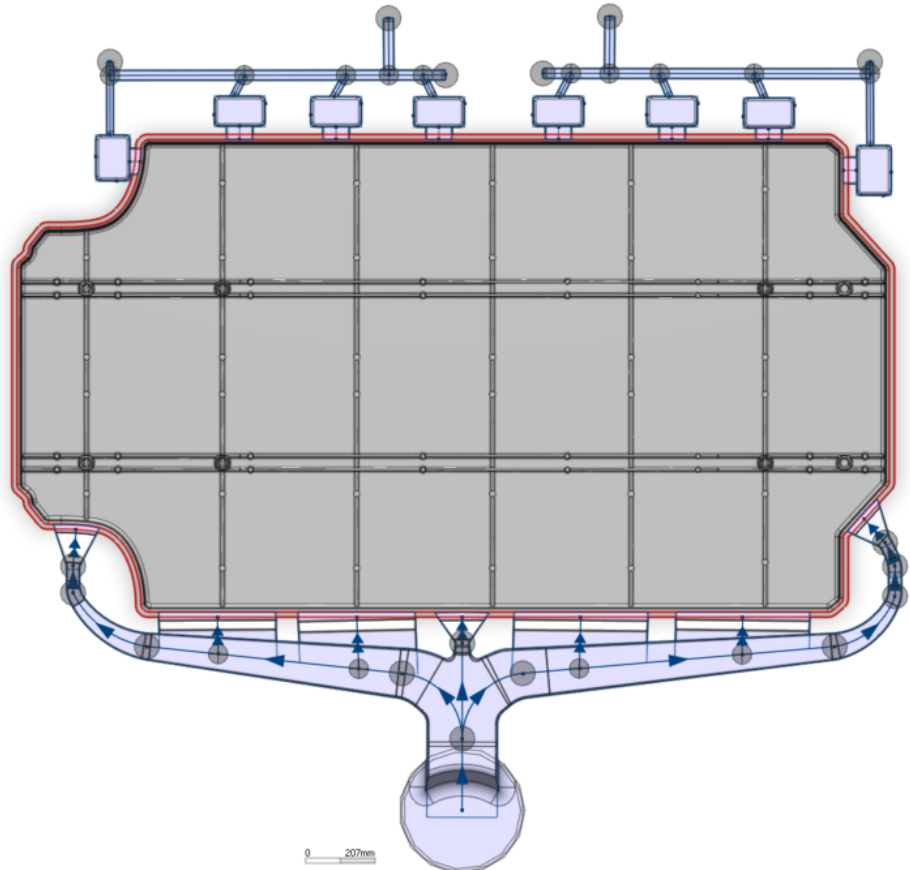


▶ 금형 분할면(Parting Line) 설정

- 빼기구배를 바탕으로 금형분할선을 지정



▶ 주조방안 분석



▶ 주조방안 게이트 입사각 분석

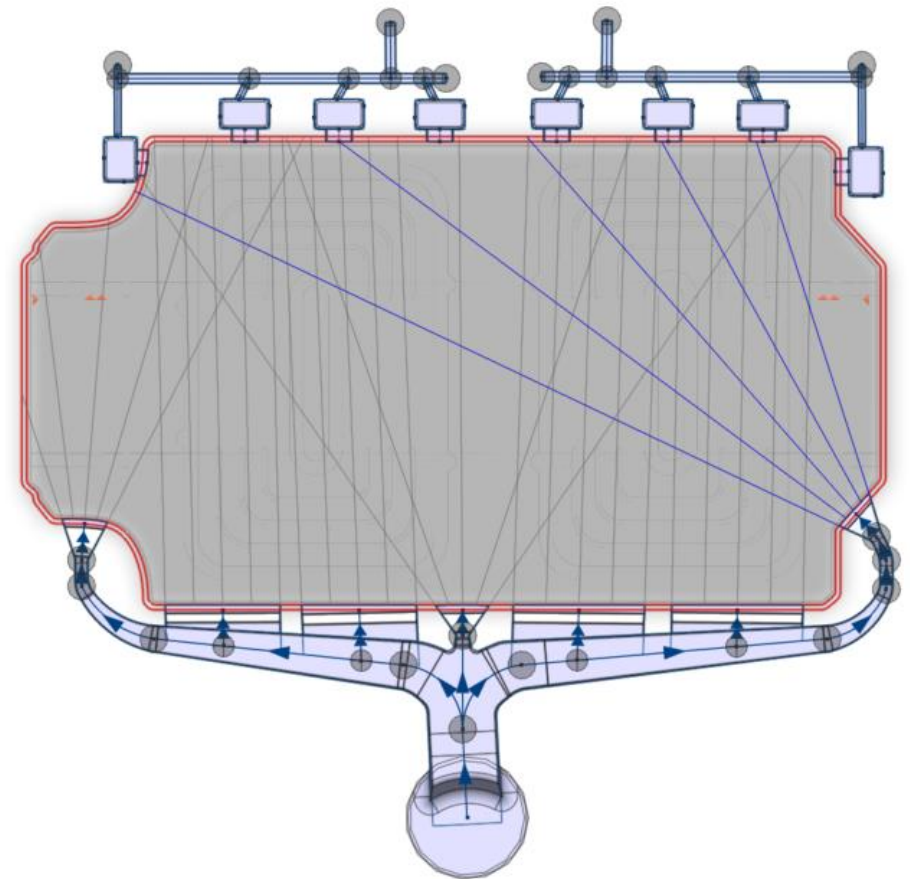
Flow Direction and Length



Analyze flow direction from the ingate
The lines shows direction and length

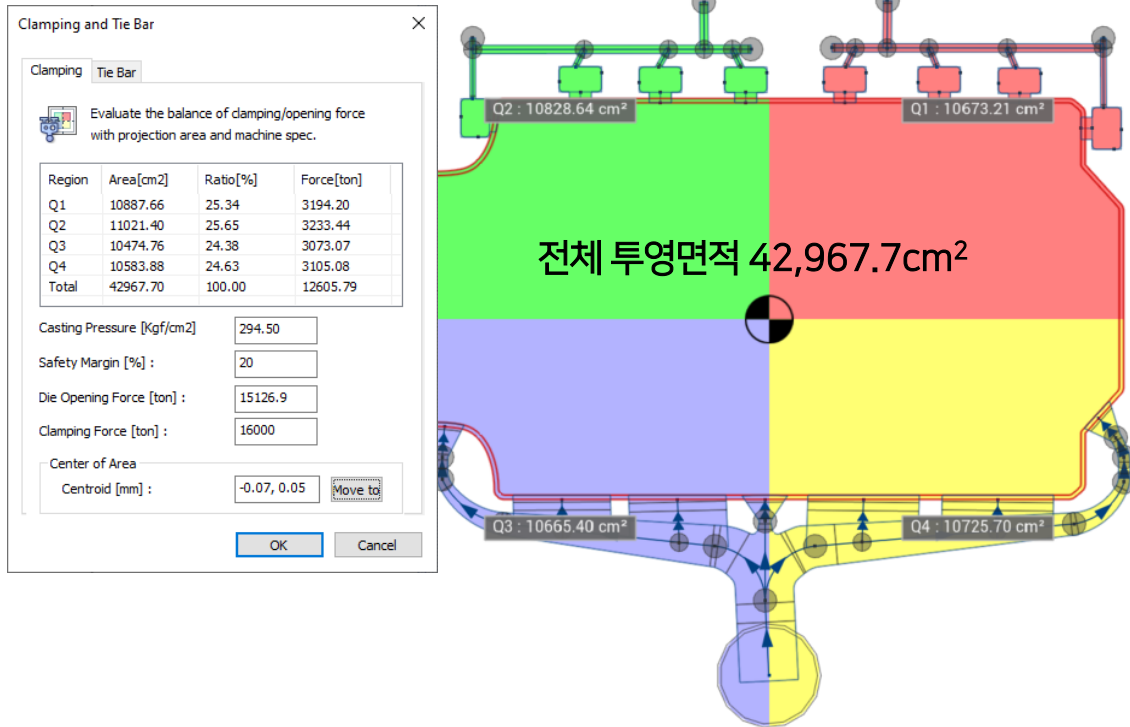
N.	Type	Length [cm]	J-Factor
1	Ingate (12)	2496.8	2801.4
2	Ingate (17)	3384.1	4902.5
3	Ingate (19)	3376.0	4902.5
4	Ingate (21)	3353.6	4902.5
5	Ingate (22)	3418.0	4902.5
6	Ingate (27)	3919.0	4902.5
7	Ingate (37)	3605.1	4902.5

J-Factor > 525, Atomized flow is expected.



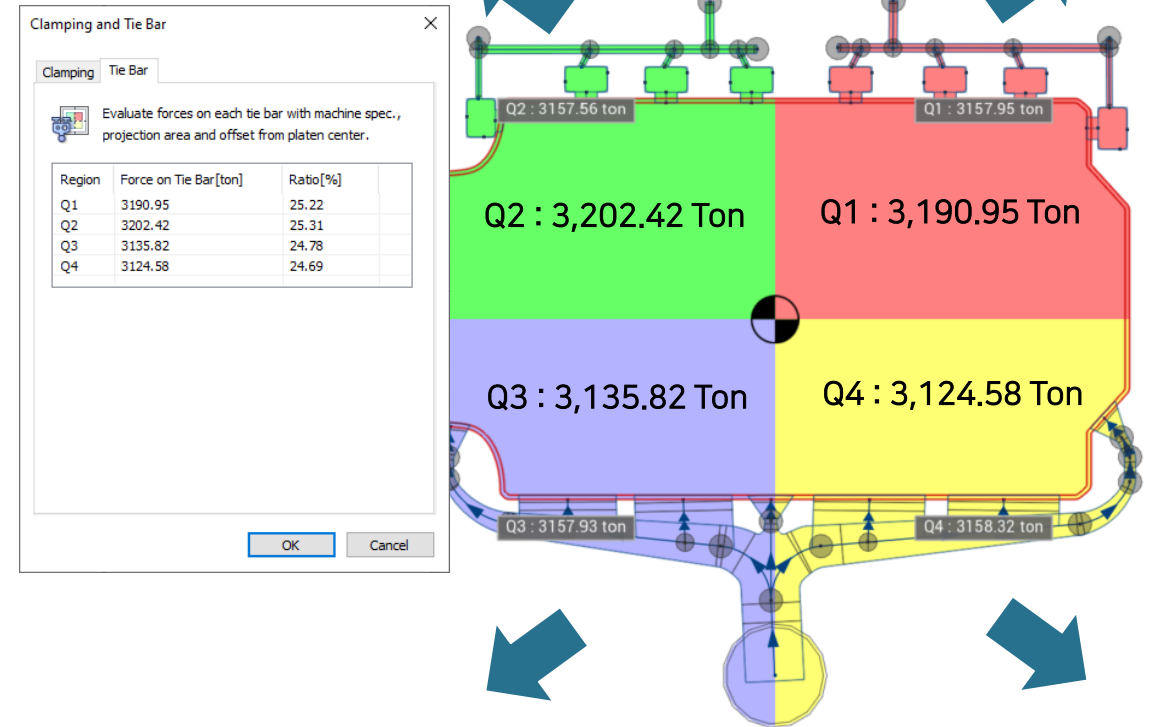
Casting Yield	47.68 %
Pouring Weight	125.80 Kg
Product Weight	59.98 Kg
Product Volume	22214.739 cm³
Total Gate Area	64.97 cm²
Gating Ratio (B:G)	14.81 : 1.00
Venting Ratio (V:G)	0.34 : 1.00
Transition Position	1307.14 mm

▶ 투영면적 및 형개력 분석



- 전체 투영면적 42,967.7cm², 주조압력 : 294.5kg/cm²
- 사출력 = 42,967.7cm² * 294.5kg/cm²
- 형개력 : 12,605.79 (Ton) * 1.2(20% safety margin) = 15,126.9 Ton

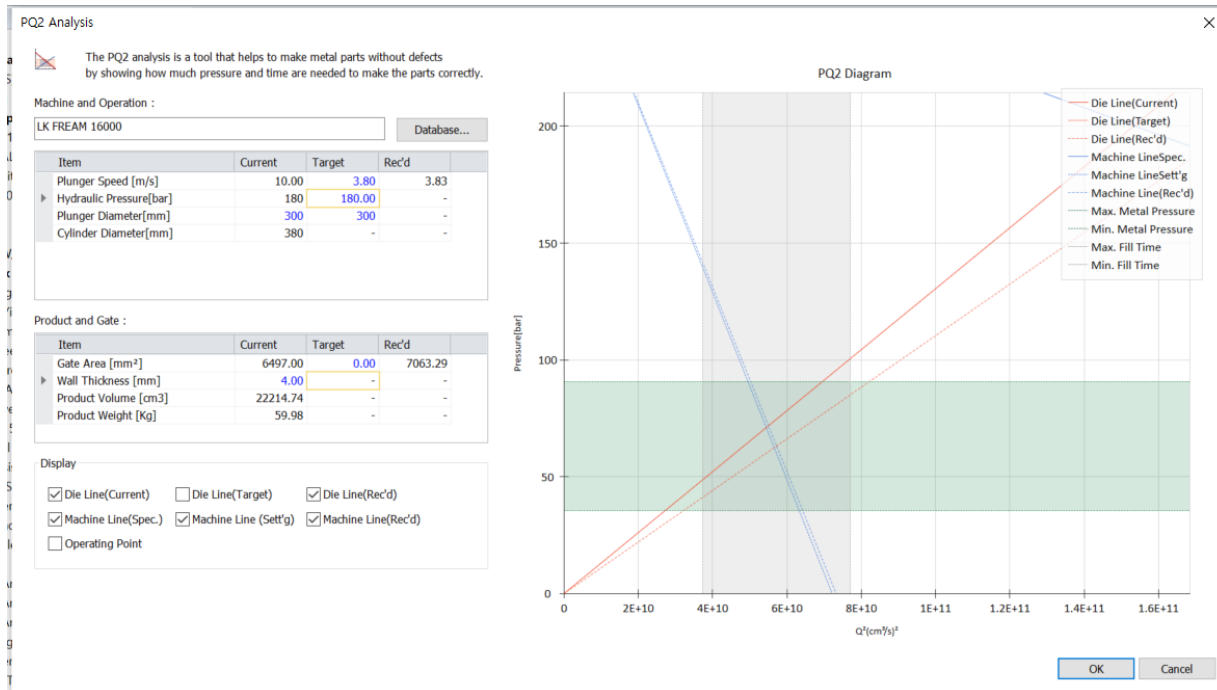
▶ 타이바 분력 분석



- 전체사출력 = 12,605.79 (Ton)
- 각 사분면으로 25% 힘을 균등 분배

▶ PQ² 분석

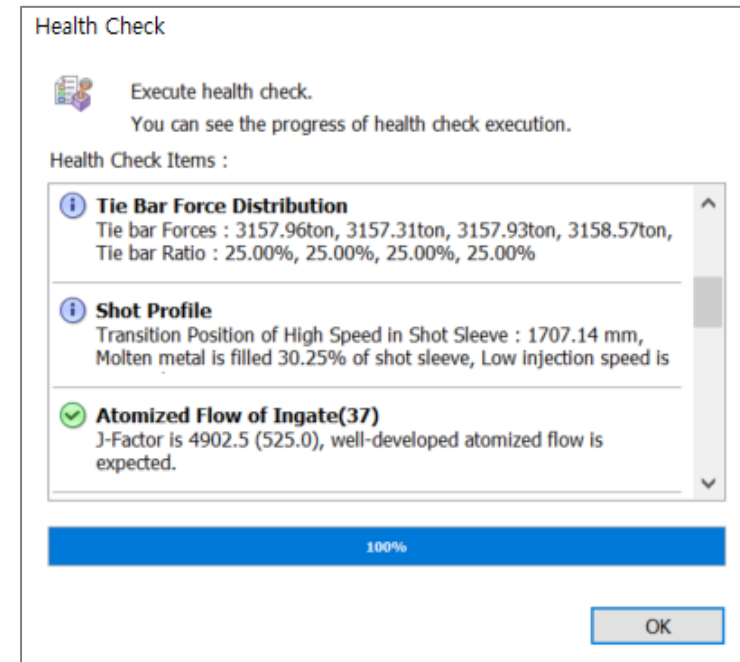
- 용탕의 유량과 다이캐스팅 장비의 주조압력을 이용하여 주조성 검증
- 다이캐스팅 장비에 맞는 최적의 게이트 단면적 검증
- PQ² 그래프의 작동창을 설정하고, 이에 맞는 플런저 및 장비 선택



PQ² 그래프를 이용한 주조조건 및 게이트 크기 설정

▶ 주조 건전성 분석 (Health Check)

- Gating Ratio, Venting Ratio, Shot Profile, Atomized Flow 분석
- 주조방안 및 조건의 적합성에 따라 설계변경 또는 작업조건 수정 제안

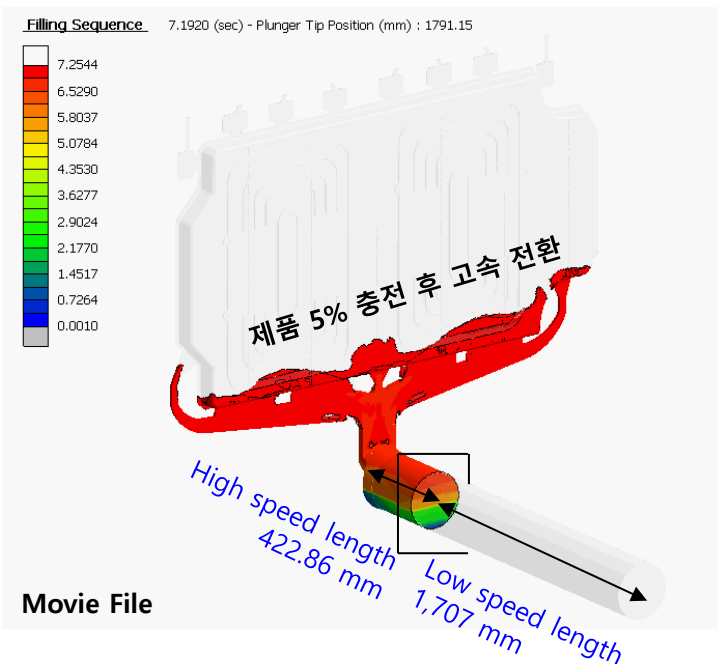


주조건전성 분석 내용 확인

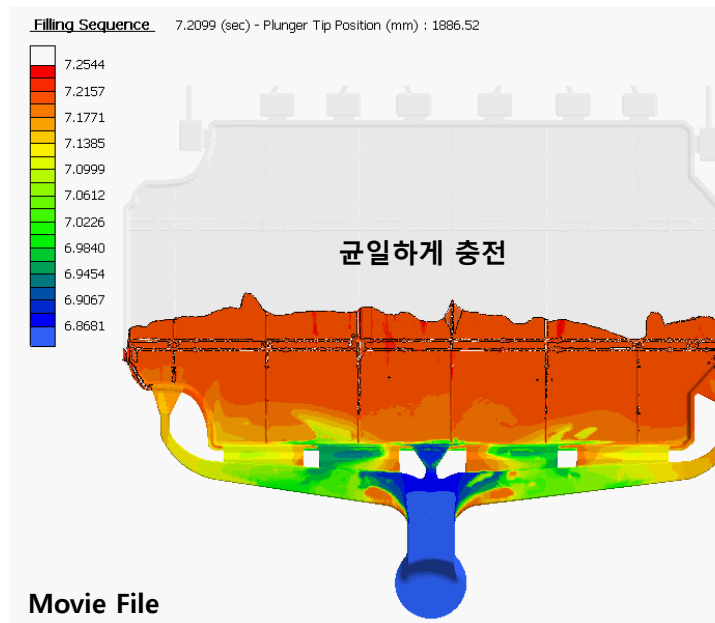
▶ 열.유동해석 결과

- 게이트 밸런스는 비교적 균일하게 충전되며, 최종 충전 부위에 OF가 설치 되어 있어 진공 배출이 차단 되지 않고 배출 될 것으로 판단됨.
- 최종 충전 부위에 온도가 저하되므로, 미성형 / 탕경 방지를 위해서 금형 및 제품의 온도를 균일하게 관리 필요

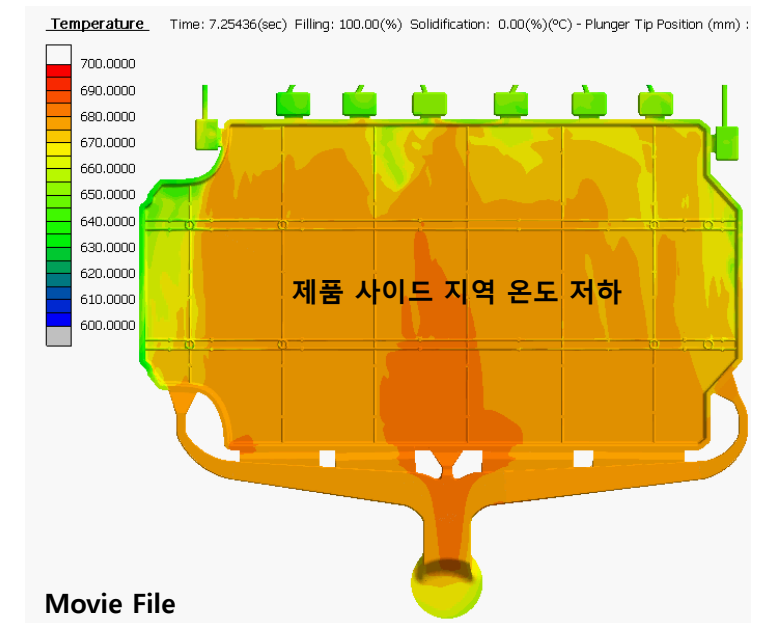
충전 해석 결과



제품 충전

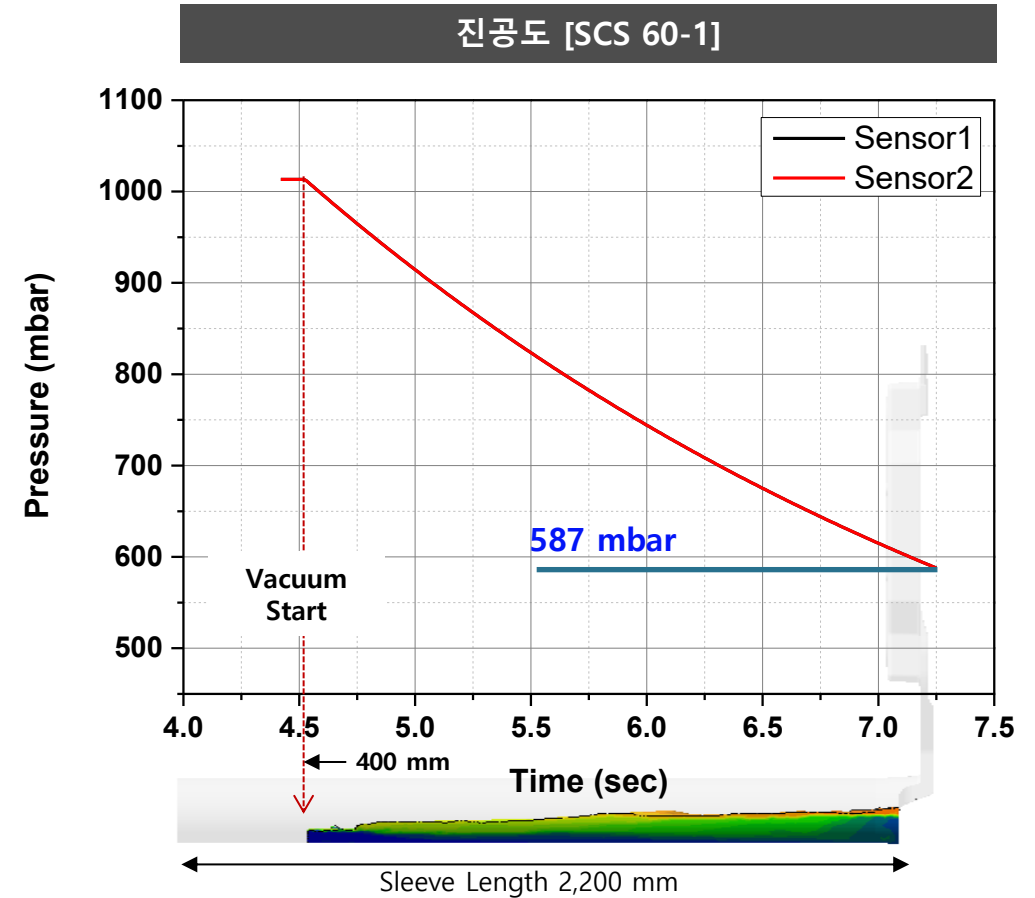
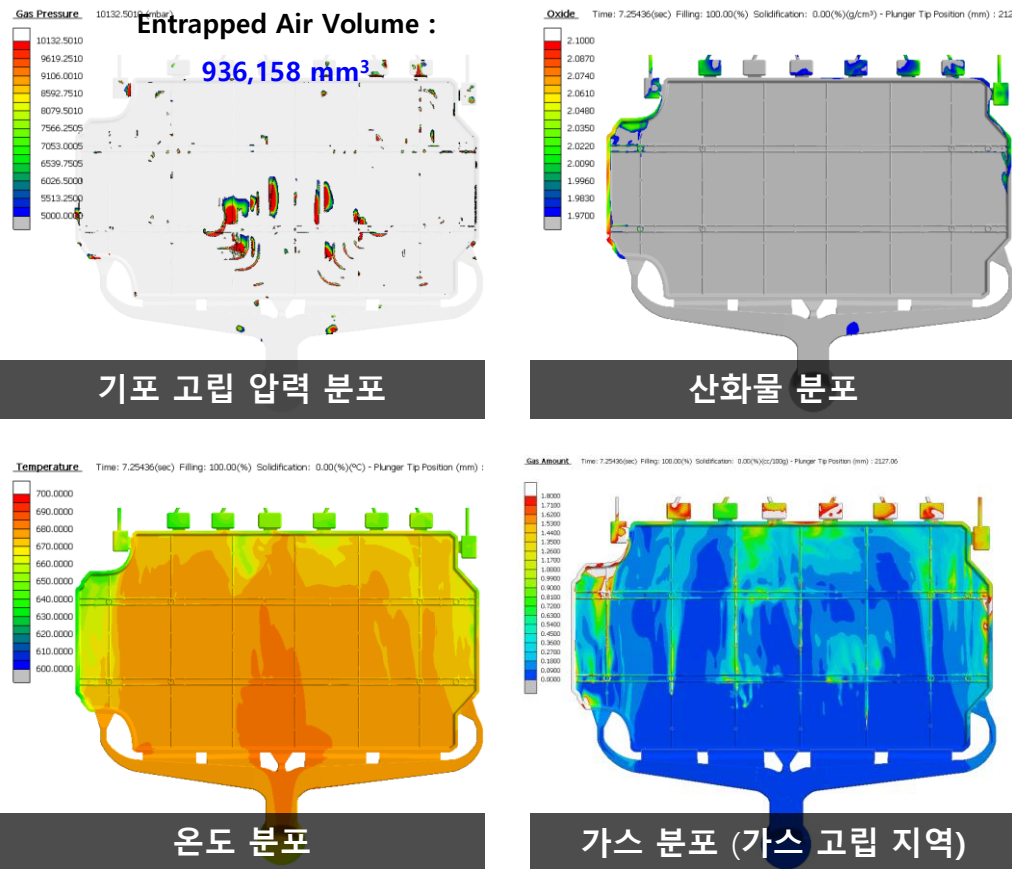
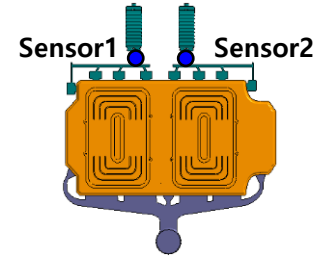


온도 분포



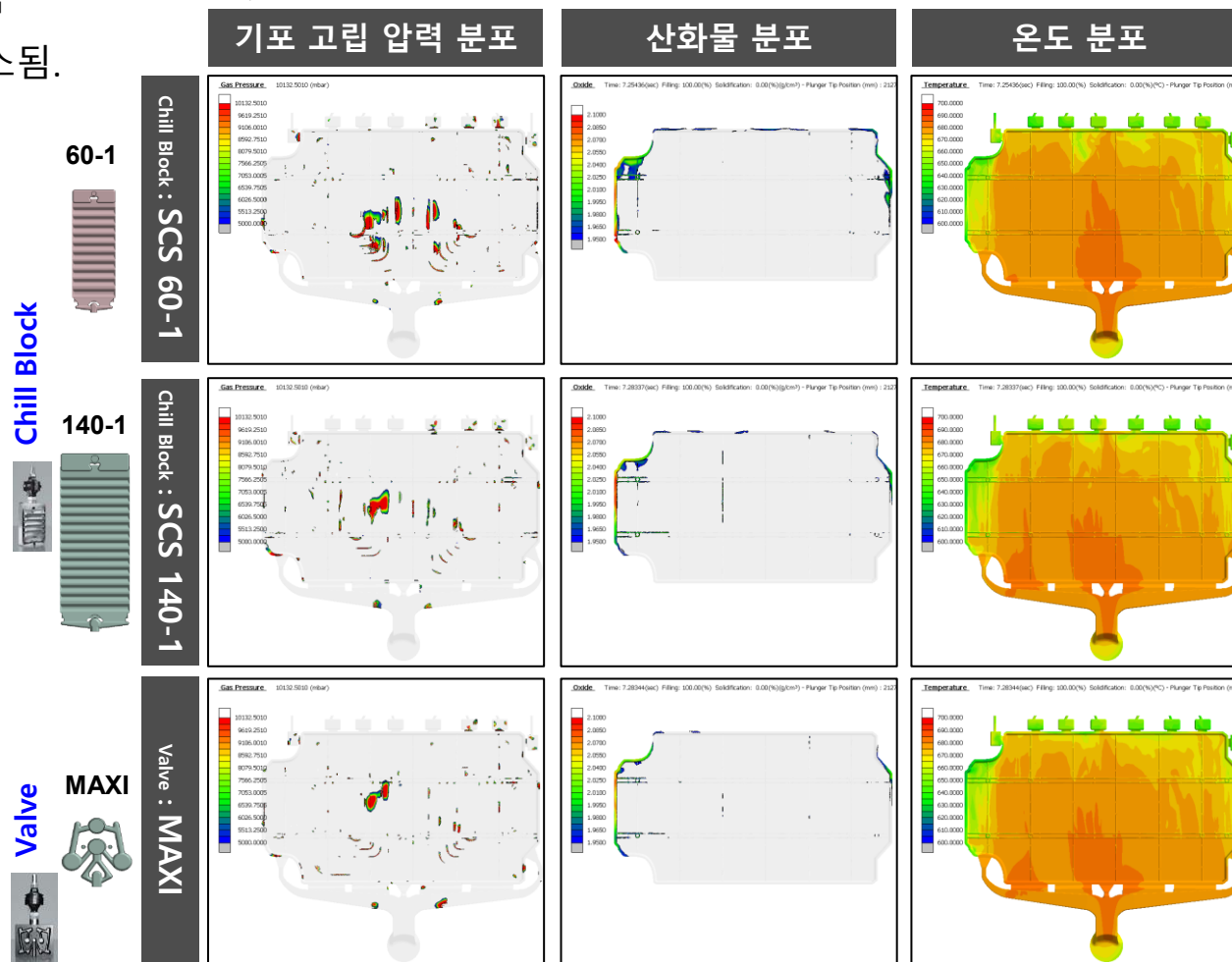
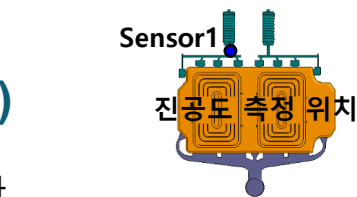
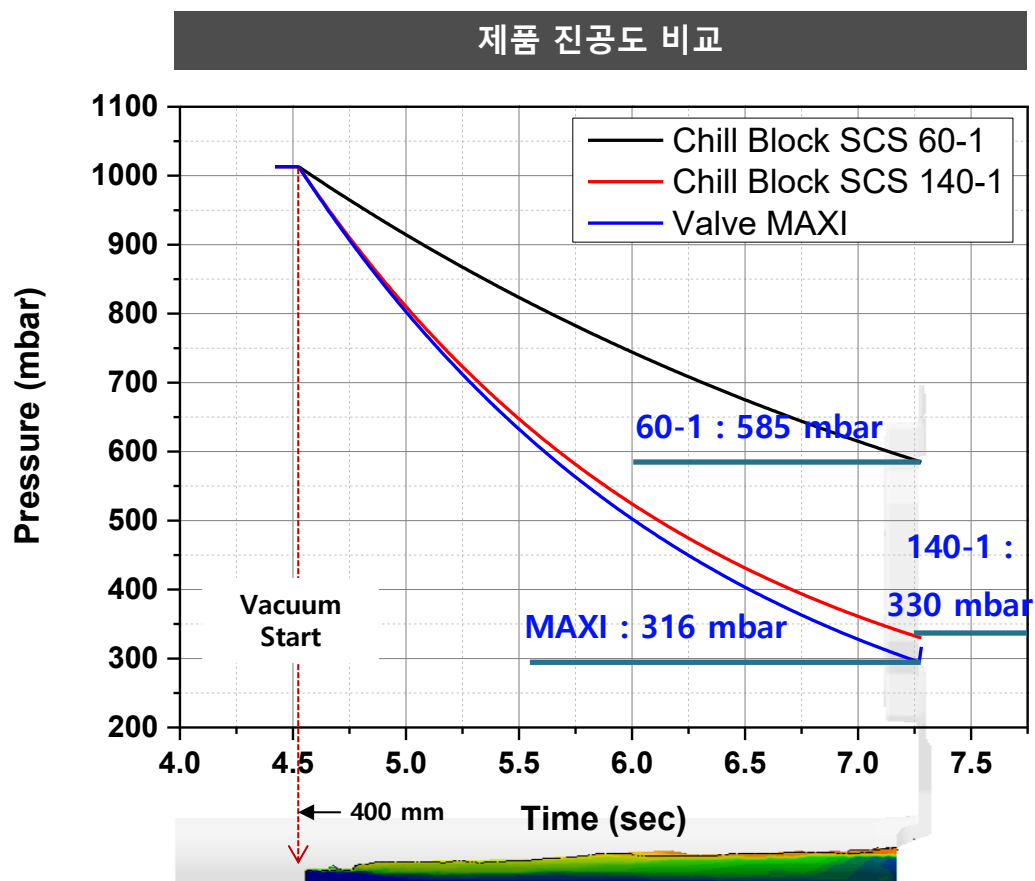
▶ 진공도 및 기포고립과 산화물 분포

- 제품 리브로 인하여 기포 고립 및 압력이 높게 분포하고, OF 배출 되지 못한 산화물이 잔류함.
- Chill Block [SCS 60-1]을 사용하여, 진공도는 약 587mbar 나타남.



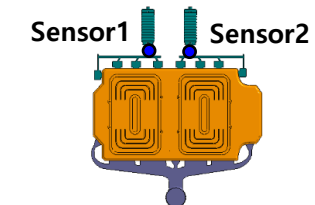
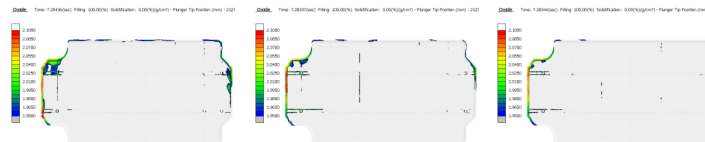
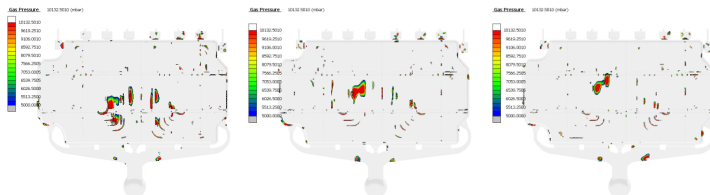
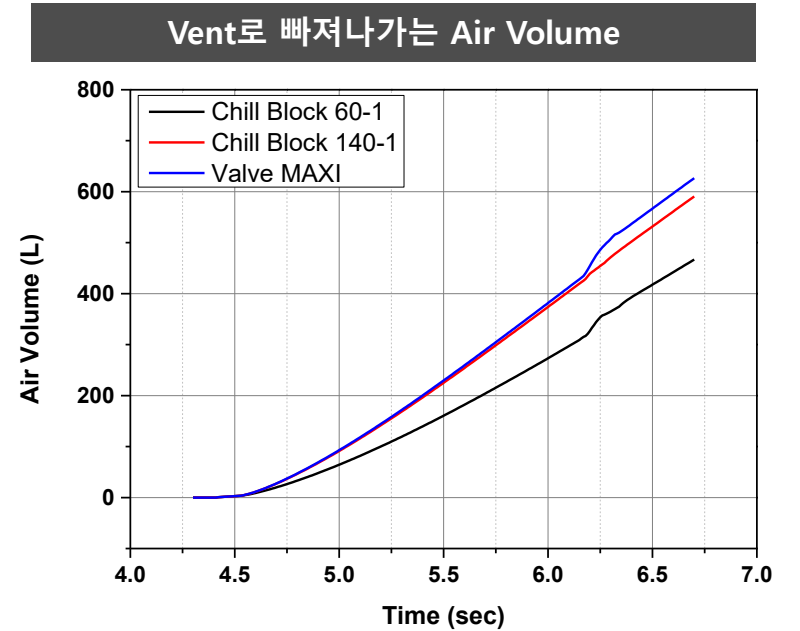
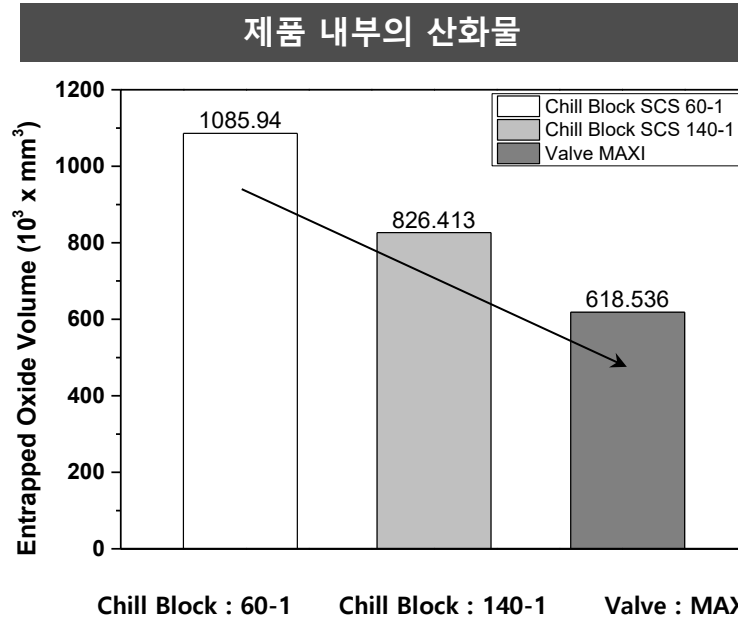
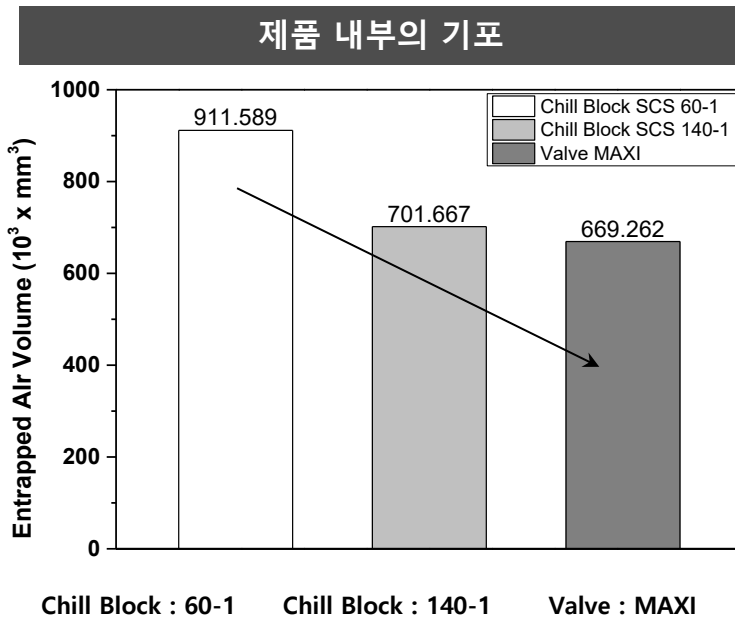
▶ Vacuum System 분석 [Chill Block / Valve] (1)

- 효율이 좋은 벤트를 사용할수록 벤트 부위의 진공도는 감소함
- 진공도의 효과가 좋을수록 제품 내부의 기포 및 산화물이 감소됨.

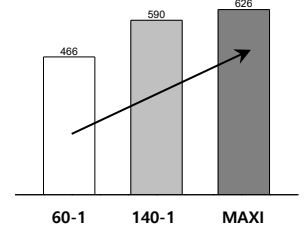


▶ Vacuum System 분석 [Chill Block / Valve] (2)

- 효율이 좋은 벤트를 사용할수록 제품 내부의 기포 및 산화물이 감소됨.
- Vent로 빠져나가는 Air의 부피가 증가할수록 제품 내부의 기포가 가장 감소됨.



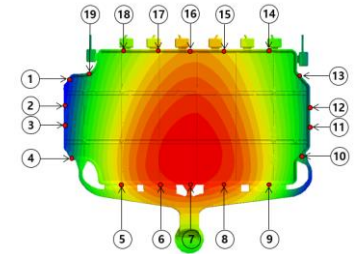
Vent로 빠져나가는
Air Volume 측정 위치



4. 주조방안 설계 검증

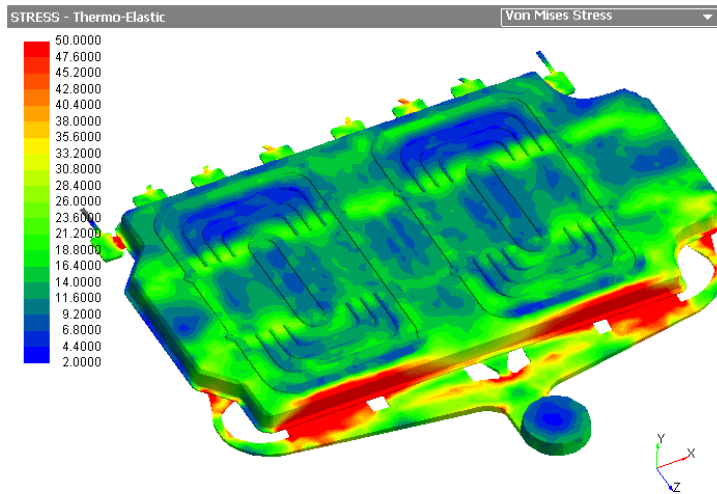
▶ 변형 분포 분석 [Displacement]

- 인게이트 지역에서 Stress가 높게 분포함.
- 제품 중앙 지역은 (+) 방향으로, 제품 사이드 지역은 (-) 지역으로 변형 됨.

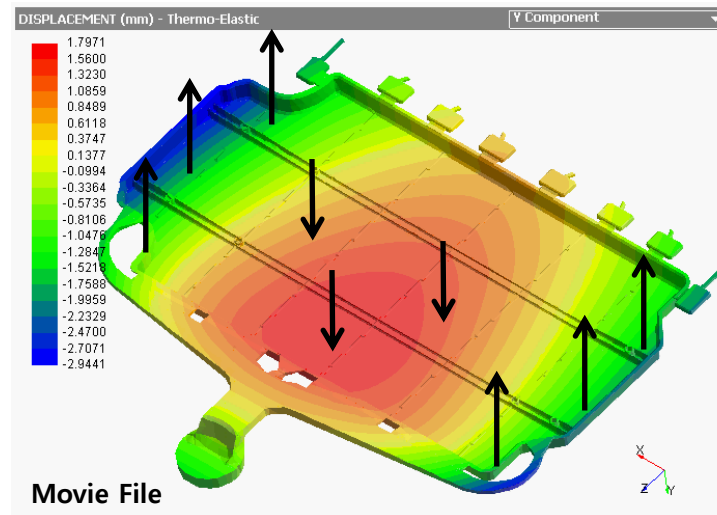


Material	Mass Density	Poisson Ratio	Shear Modulus	Thermal exp. Coef.	Yield Stress	Young's Modulus
CASTASIL37	2.69 g/mm ³	0.314	2.7 x 10 ¹⁰ N/m ²	2.10 x 10 ⁻⁵ /K	1.50 x 10 ⁸ N/m ²	7.0 x 10 ¹⁰ N/m ²

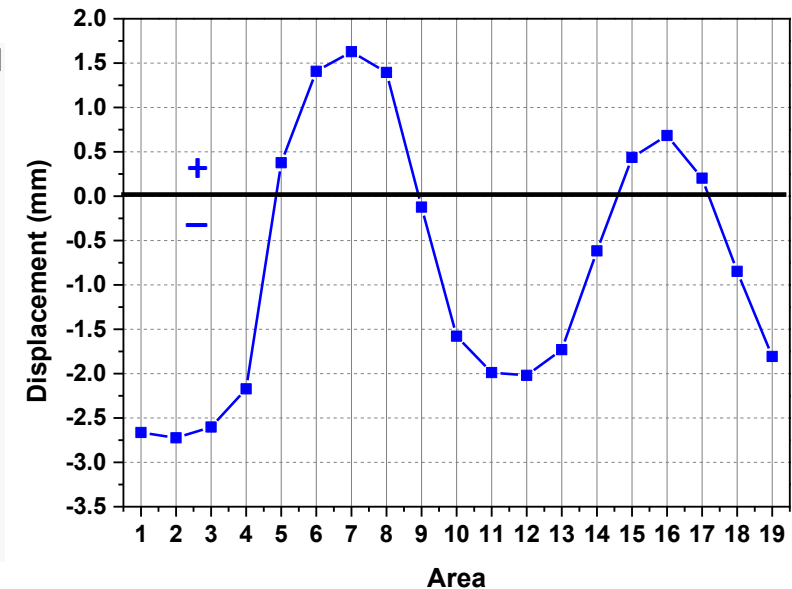
Stress



Displacement (Y 축 변형)

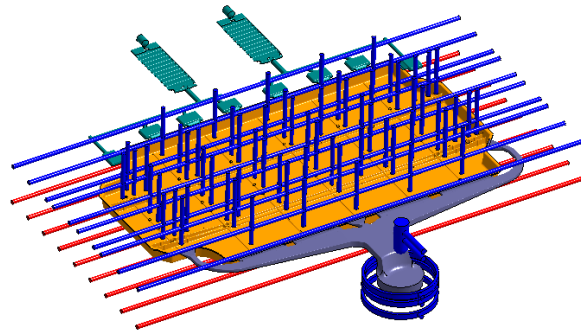


Y 축 변형



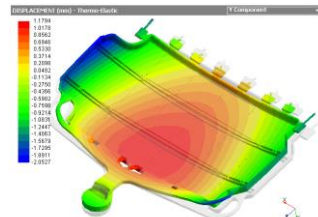
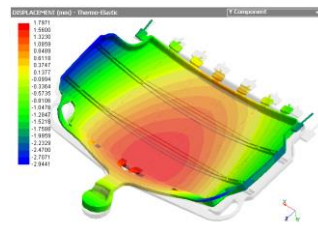
▶ 변형 개선 방안 비교

기존 냉각 채널 [CASE1]

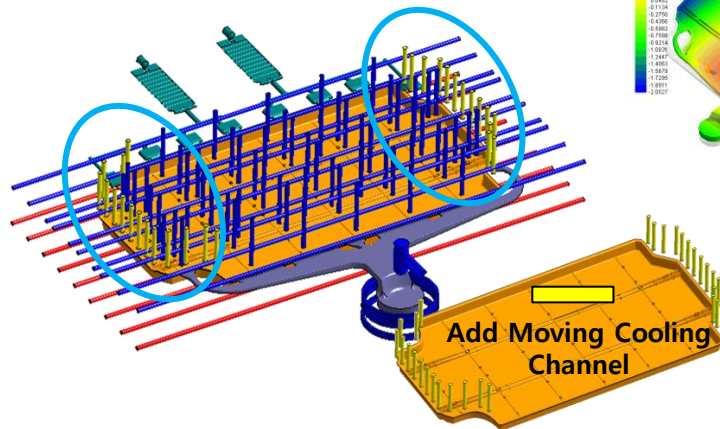


— Moving Cooling Channel
— Fixed Cooling Channel

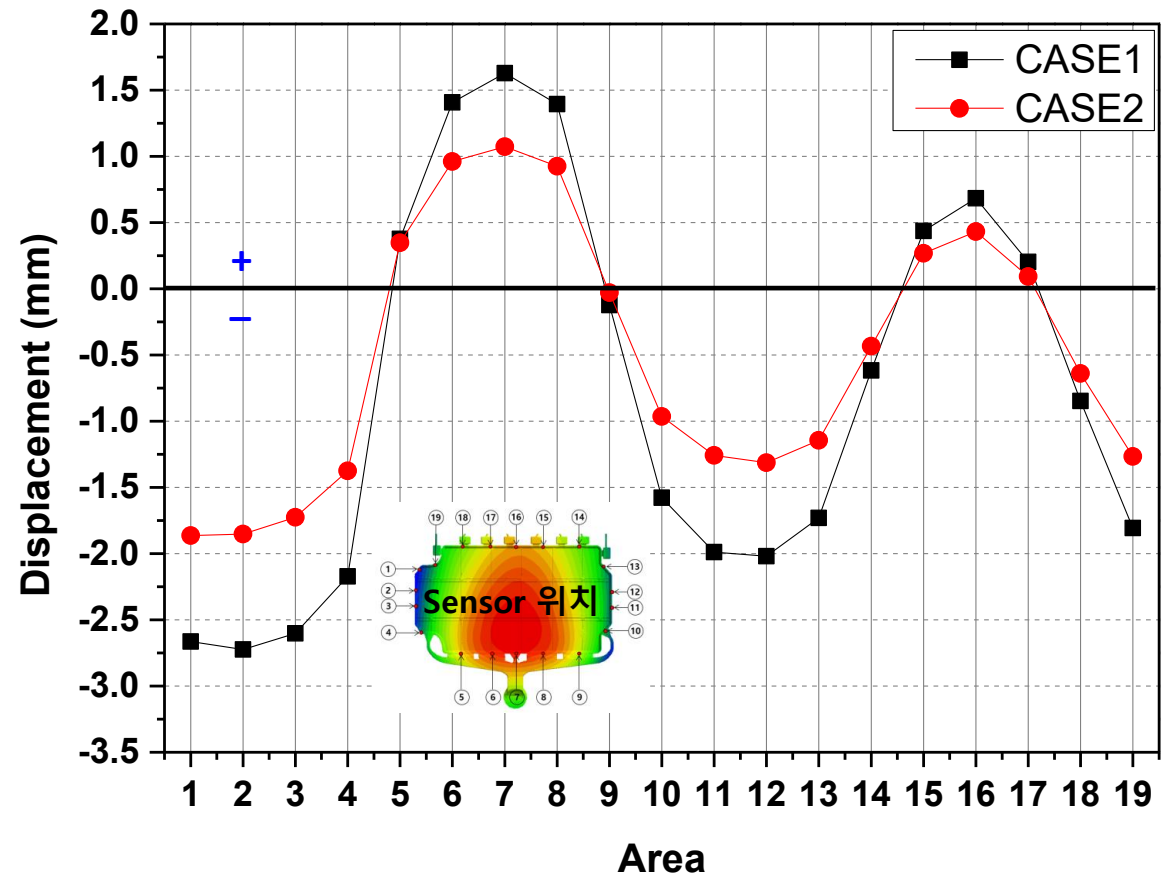
Displacement (Y 축 변형)



개선 냉각 채널 [CASE2]

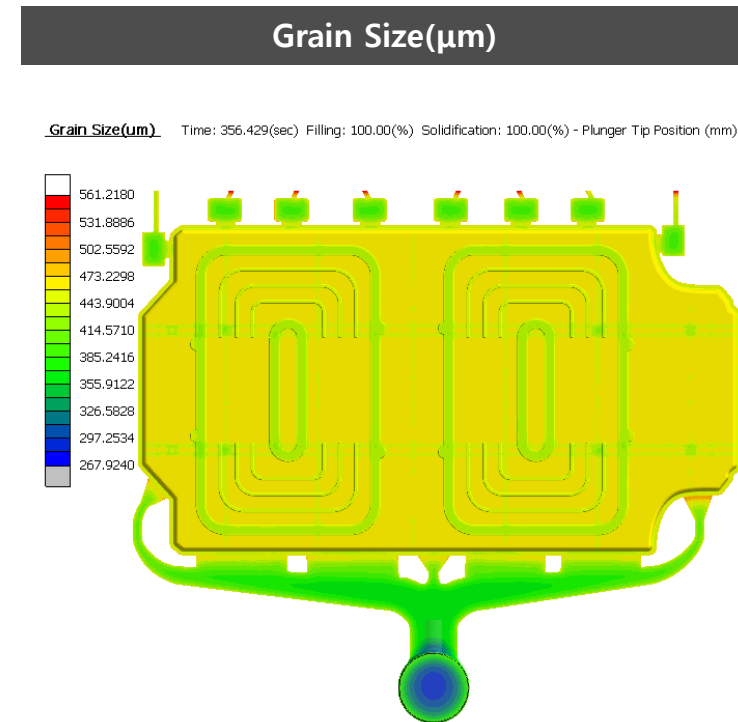
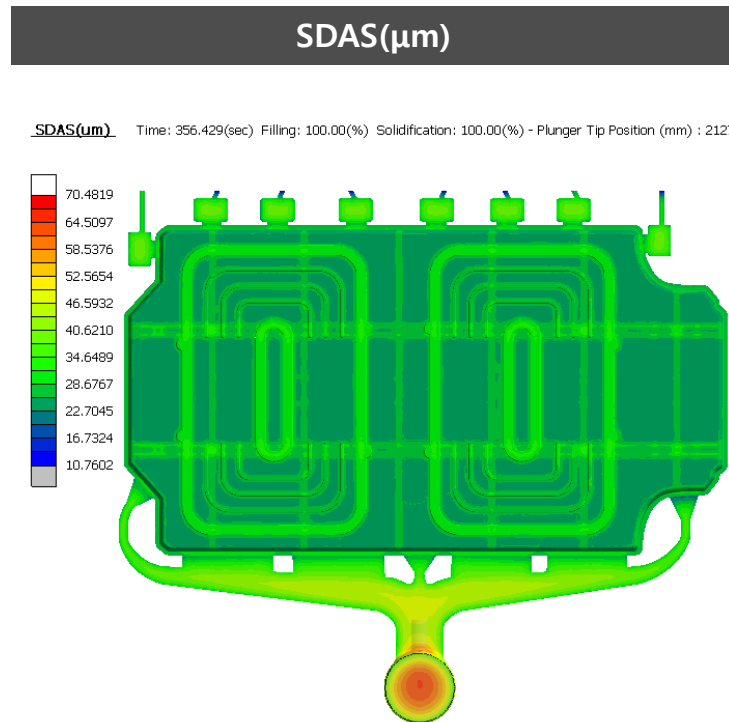


냉각 채널을 추가한 개선방안에서 변형량이 감소함.



▶ 미세조직

- 주조, 취출 및 상온 냉각까지의 온도 이력에 따른 합금의 미세조직 변화 예측
- 제품 부위의 SDAS는 21 ~ 36 μm , Grain size는 410 ~ 500 μm 로 분포됨

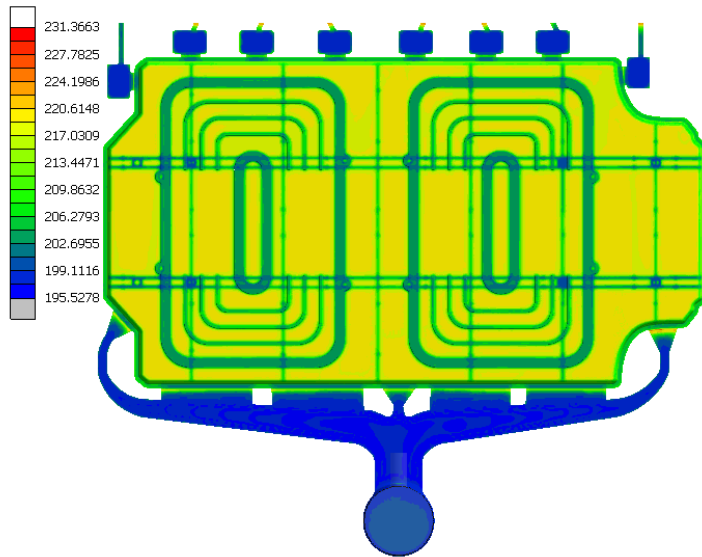


▶ 기계적 물성

- 미세조직 변화에 따른 항복강도, 인장강도, 연신율 예측
- 제품 부위의 인장강도는 196 ~ 220Mpa, 항복강도는 89 ~ 96Mpa, 연신율은 9.5 ~ 13.3%

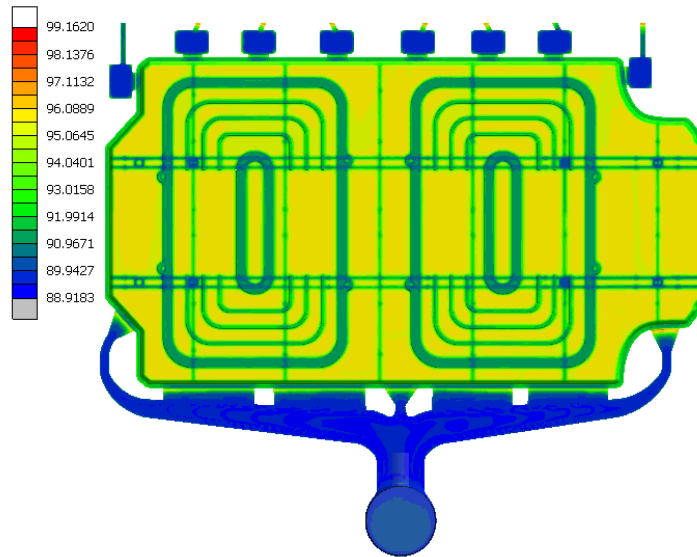
Tensile Strength(MPa)

Tensile Strength(MPa) Time: 356.429(sec) Filling: 100.00(%) Solidification: 100.00(%) - Plunger Tip Position



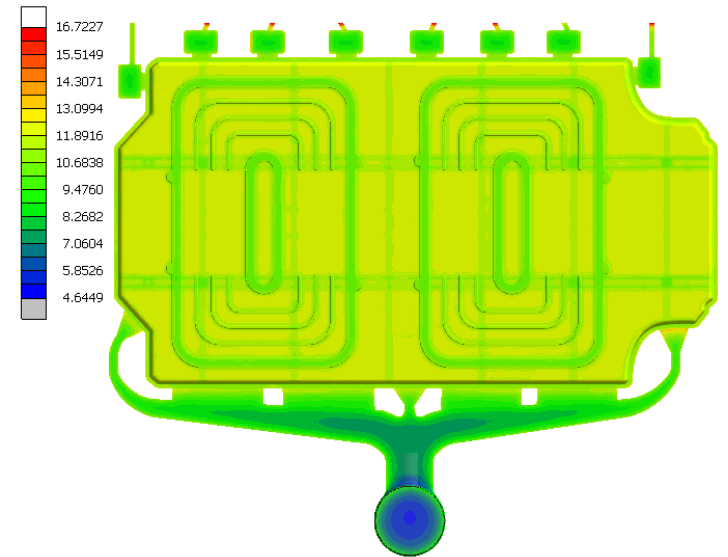
Yield Strength(MPa)

Yield Strength(MPa) Time: 356.429(sec) Filling: 100.00(%) Solidification: 100.00(%) - Plunger Tip Position (



Elongation(%)

Elongation(%) Time: 356.429(sec) Filling: 100.00(%) Solidification: 100.00(%) - Plunger Tip Position (mm) :



감사합니다.

만족도 조사

- **1분** 소요되오니 꼭 참여 부탁드립니다.

