

친환경소재 패러독스

- LCA 역풍을 우려하는 자동차 경량소재 -

박수항 수석연구원, 친환경미래소재연구실 (spark0326@posri.re.kr)

목차

1. 전기차 시대, 환경영향 평가 기준의 진화
2. LCA 역풍을 우려하는 경량소재
3. 주요 경량소재 및 기업의 대응방향
4. 종합 및 시사점

Executive Summary

- **全 Life Cycle 탄소배출량 중 제조단계에 약 60% 배출량이 집중되는 전기차**
 - 내연기관차는 탄소배출량의 75%가 운행단계에서 배출되기 때문에 지금까지는 연비규제를 통한 탄소 배출량 저감을 유도해 왔음
 - 반면, 전기차는 운행단계의 탄소배출량이 0%지만 배터리 무게보상을 위한 경량소재 채용 확대 등으로 인해 제조단계에서의 탄소배출량 비중이 부각
- **EU 등 주요국은 자동차 탄소 배출량에 따른 LCA 기준의 규제 도입에 대해 검토 중에 있는데, 제조단계 탄소배출량이 많은 경량소재에 불리할 가능성**
 - 알루미늄, CFRP 등 대표적인 경량소재는 제조 단계에서 범용 소재인 철강에 대비하여 4~18배의 이산화탄소를 배출하는 것으로 평가
- **경량소재 기업들은 탄소배출을 저감할 돌파구 마련을 위해 고심하고 있으며, 접근 방향은 크게 ① 재생에너지 도입, ② 재활용 원료 비중 확대, ③ 혁신공정 개발로 분류**
 - ① **[재생에너지]** 주요 설비와 공정을 유지하면서 단기적/직관적인 대응이 가능하고, 수요 기업이 재생에너지 사용을 계약요건으로 요구하는 사례 증가
 - ② **[재활용 원료]** 신제품 대비 약 80% 이상의 탄소 저감이 가능하나 현재 일정 수준의 품질 저하를 수반하는 'Cascade Recycling'이 주를 이루고 있어 고품질 소재로 순환사용(Closed-loop Recycling) 확대 여부가 관건
 - ③ **[혁신공정]** 탄소배출이 집중되어 있는 공정을 개발 및 대체하여 전체 배출량을 저감하기 위한 기술개발이 알루미늄을 중심으로 진행 중
- **산업 차원의 단기적 탄소저감 성과 확보는 쉽지 않을 것이나, 적극적인 구조 변화를 도모하는 상위기업 등을 중심으로 양극화 확대 가능**
 - 재생에너지 확대와 대규모 투자 수반에 따른 경제성 확보, 공급망 재편, 재활용 원료 확보 등 구조적인 이슈에 대한 선결이 필요
 - 일부 상위 기업들은 저탄소 소재의 프리미엄 선점을 위해 설비 재편, 저탄소 브랜드 론칭 등 적극적으로 대응 추진 중
- **원료소재에 대한 수입 의존도가 높은 국내 소재 및 부품 산업의 구조를 고려하여 가공단계에서의 저탄소 경쟁력에 집중할 필요가 있으며, 철강은 저탄소 소재로서의 장점을 부각시키는 동시에 경량화 솔루션에서도 추가적인 경쟁력 제고 노력이 필요**

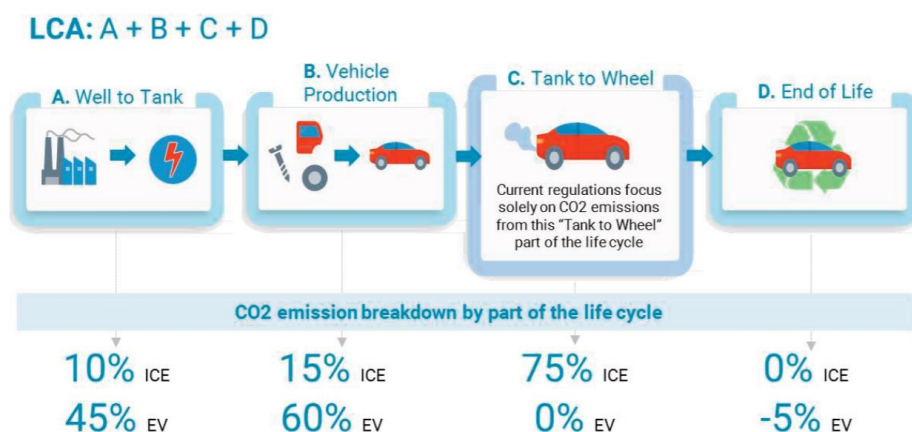
1. 전기차 시대, 환경영향 평가 기준의 진화

□ 전기차는 전체 Life Cycle 중 제조단계에서 탄소배출량이 집중

- 전통적인 내연기관차는 운행단계에서 탄소배출량이 집중(Life Cycle 중 75%)되어 있으며, 그동안 이를 줄이기 위한 연비규제에 집중해 왔음
 - 동일 조건 하에서는 상대적으로 가벼운 차가 연비가 높으므로, 자동차사의 경량소재 채용은 연비규제 대응을 위한 우선순위 전략 중 하나
- 반면, 전기차는 운행단계의 탄소 배출량은 명목상* “0%”지만 배터리 등 신규 부품 채용과 이에 따른 무게보상을 위한 경량소재의 채용이 확대됨에 따라 제조단계에서 탄소배출량 비중이 증가

* 운행단계에서도 발전원 구성 및 차량 전비(電費)에 따른 배출량의 차이가 존재하나 충전 시간 등 상황에 따른 변화로 실질적인 측정은 어려움

【 내연기관차와 전기차의 Life cycle별 CO₂ 배출량 비중 】



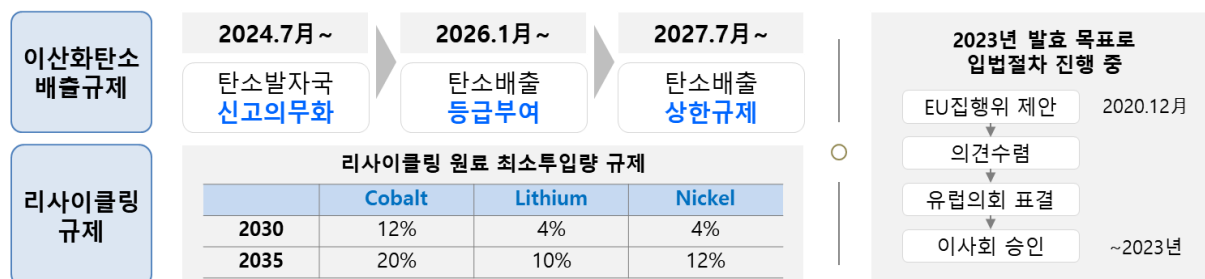
자료: Goldman Sachs Global Investment Research, '19

□ 기후변화에 대한 대응을 위해 주요국이 탄소중립 목표를 제시한 가운데, 자동차 탄소배출 규제방향도 LCA* 방식으로의 전환 가능성 확대

- * LCA(Life Cycle Assessment, 생애주기평가)는 에너지/원료의 생산, 제조, 제품사용, 폐기 및 재활용 전체를 포괄하는 평가 방식
- EU는 승용차 및 경상용차의 탄소배출 규제 방식에 대한 LCA 전환 가능성을 검토 중 ('19년~현재)

- 유럽 위원회는 늦어도 '23년까지 LCA 규제의 표준화 검토를 완료하고, 역내 적용을 위해 법제화 등 후속 정책 보고 예정 (Regulations(EU)2019/631)
- '24년부터 역내 유통되는 이차전지의 LCA 기준 탄소배출량 신고를 의무화할 계획이며, 수요 산업의 규모 고려 시 전기차가 가장 많은 영향을 받을 것으로 예상

【 EU의 이차전지 관련 Carbon Footprint 및 리사이클링 규제 방향 】



- 중국도 '25년 이후 LCA 기준을 도입하는 일정에 대해 검토하고 있는 것으로 알려졌으며, 미국 역시 바이든 정부의 강력한 친환경 정책 고려 시 도입 가능성이 충분히 높은 것으로 판단 (한국자동차연구원)

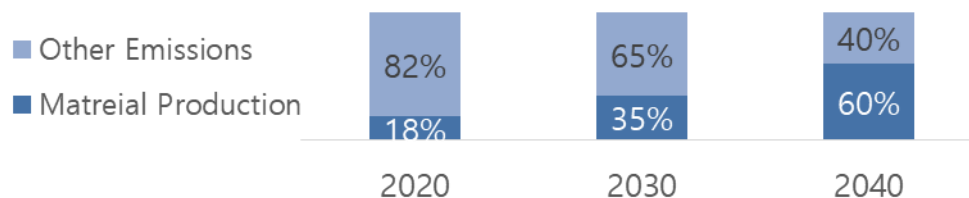
2. LCA 역풍을 우려하는 경량소재

□ 주요국의 LCA 규제가 현실화될 경우, 차량 운행단계로만 경쟁력이 집중된 경량소재에 대한 재평가가 이루어질 가능성이 있음

- 과거 일부 자동차 및 소재 기업들은 운행단계 연비 향상을 통한 탄소배출 저감 기능을 강조하기 위해 경량소재를 '친환경 소재'로 홍보하기도 함
 - 가솔린 자동차 기준, 중량 10% 감소 시 약 3~6%의 연비 향상 효과
- 장기적인 관점에서 친환경차 보급 확대의 영향으로 운행단계의 탄소 배출 비중이 감소하는 대신 소재 제조 단계에서의 배출량이 상대적으로 부각될 가능성이 높음(McKinsey)

- 자동차 생애주기 탄소 배출량 중 소재 책임 비중 : ('20)18% → ('40) 60%

【 자동차 Life Cycle 탄소배출 비중 변화 전망 】



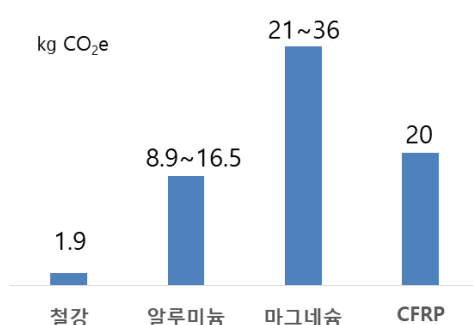
자료: McKinsey&Co.('20년)

□ 알루미늄, CFRP 등의 대표적인 경량소재가 제조 단계에서 경쟁소재인 철강 대비 4~18배의 이산화탄소를 배출하는 것으로 평가되어 LCA 적용이 확대될 경우 불리하게 작용할 가능성

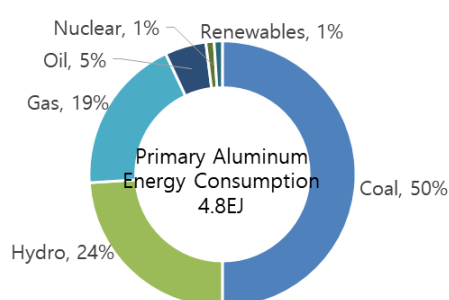
- 동일 소재 제조 시에도 지역과 전력 구성에 따라 단위 배출량 차이가 큰데, 특히 알루미늄/마그네슘 등과 같이 중국 생산비중이 높은 소재인 경우 석탄발전 의존도가 높아 탄소배출량이 또한 많은 것으로 평가

- 생산비에서 전력비의 비중이 높아 일부 메이저 기업들을 중심으로 비용경쟁력 확보 차원으로 수력발전 등 자가발전설비를 보유하는 경우도 있으나, 환경 영향 등으로 인해 제한적으로만 적용 가능

【 소재 1kg 제조 시 탄소배출량 비교 】



【 알루미늄 제조 에너지원 비중('20) 】



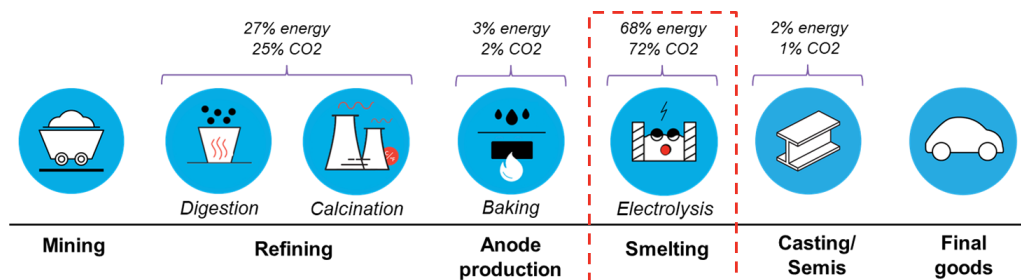
출처: Aluminum Association('13), Worldsteel('10), California Univ.('17), BloombergNEF('21)

□ 한편, 주요 경량소재는 전력을 주력으로 사용하는 공정 비중이 높으며, 그중 전력 사용량이 특히 많은 일부 공정에서 탄소 배출이 집중되는 경향을 보임

- 알루미늄은 원광석인 보크사이트로부터 추출된 알루미나(Al_2O_3)를 전기 분해하여 금속을 제련(Smelting)하는데, 이 과정에서 전체 탄소배출량의 70%가 집중

- 주조, 판재 등 제품 가공 단계에서 배출되는 탄소량은 약 1% 내외에 불과
- 자동차용으로 주로 사용되는 5천계, 6천계 합금은 추가 열처리가 필요함에 따라 약 2kg CO₂e/kg 내외의 탄소가 추가로 배출 (日 알루미늄협회)

【 알루미늄 제조 단계별 탄소배출량 비중 】



출처 : BloombergNEF, IEA

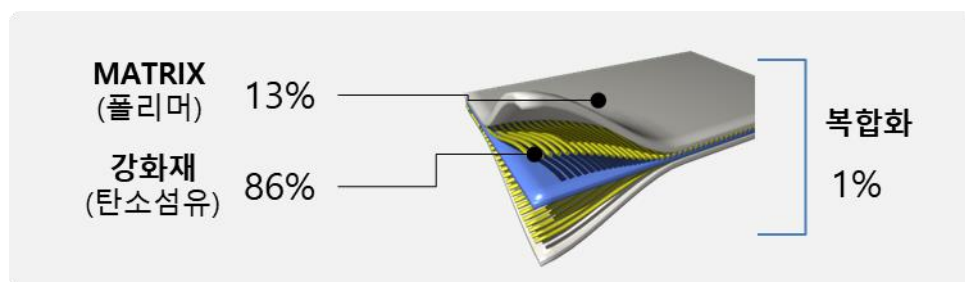
- 가볍고 강도 높은 소재로 주목을 받아왔던 CFRP(탄소섬유강화 폴리머)도 강화재 역할을 하는 탄소섬유 제조 단계에서만 약 80% 이상의 탄소 배출량이 집중

- 탄소섬유는 석유화학을 기반으로 생산되는 PAN* 섬유 등의 합성섬유를 고온, 고압 하에 ‘중합-방사-탄화’하는 일련의 과정에서 에너지를 집중적으로 소비

* Poly Acrylo Nitrile, 석유화학 기초소재인 프로필렌(Propylene)을 원료로 생산

- 에폭시 수지 등 Matrix로 사용되는 폴리머 역시 석유화학 원료를 기반으로 생산되나 탄소섬유에 비하면 탄소배출량 비중은 상대적으로 낮은 편

【 CFRP 제조에 필요한 원료/공정별 탄소배출량 추정* 】



* 각 원료의 제조 시 소요되는 에너지 기준으로 추정

출처: 美 DOE 보고서('17) Data를 기반으로 POSRI 재구성

3. 주요 경량 소재 및 기업의 대응 방향

□ 탄소 배출량 저감을 위한 경량소재의 대응전략은 크게 ① 재생에너지 도입, ② 재활용 원료 비중 확대, ③ 혁신공정 개발로 분류 가능

① 재생에너지 도입

- 주요 설비 및 기존의 제조법을 유지하면서 단기적, 직관적인 대응이 가능, 최근 자동차, 전자 등 글로벌 수요 기업이 재생에너지 사용을 공급 요건에 명시하는 사례 증가에 따른 직접적인 대응 방안
 - BMW는 중동 알루미늄 제조사인 Emirates Global Aluminum과 태양광 발전을 활용하여 제조하는 알루미늄의 구매계약 체결 ('21년 약 43천톤)
 - 러시아 알루미늄 기업인 Rusal은 수력발전 등 클린에너지를 활용하여 알루미늄 톤당 배출량을 2.5톤 수준으로 저감
- 日 CFRP 제조사 Teijin은 네덜란드 탄소섬유 제조 공정에 재생에너지를 우선적으로 도입하는 한편, 일본 内 설비도 저탄소화 전환을 위해 내부탄소가격(Internal Carbon Pricing)을 투자기준으로 판단
 - 재생에너지의 경제성 열위 때문에 투자결정에서 배제되지 않도록 이산화탄소 1톤당 6천 엔의 탄소가격을 부과하고, 경제성 기준으로는 추진되기 어려운 친환경 생산방식의 도입을 시스템적으로 유도하기 위한 방안

② 재활용 원료 비중 확대

- 신제품 대비 약 80~95% 수준의 탄소 저감 가능. 반면, 일정 수준의 품질 저하를 수반하는 'Cascade Recycling'이 주를 이루고 있어 고품질 소재로의 순환사용(Closed-loop Recycling) 확대 여부가 관건
 - 알루미늄은 재활용 시 신지금 대비 95%의 탄소 저감이 가능하나, 기존 재활용 원료는 대부분 엔진 등 다이캐스팅용 부품제조에 한정
 - 복합소재인 CFRP는 원소재로 분리가 어려워 스크랩을 잘게 잘라서 활용하므로 상대적으로 저성능 부품에 제한적으로 적용

【 재활용 탄소섬유를 활용한 제품 】



출처: Catack-H 홈페이지

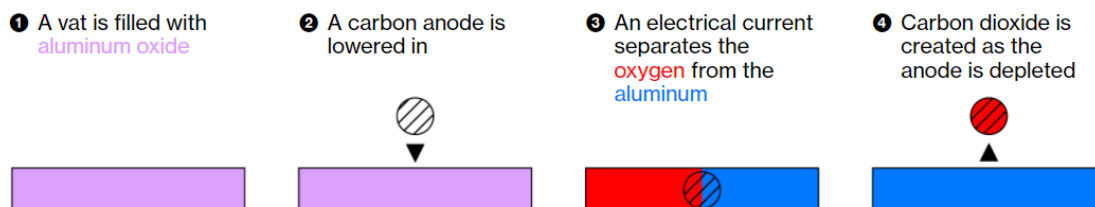
- 알루미늄 선도기업들은 스크랩 선별관리의 강화를 통해 외판 및 차체 등 고품질 소재가 필요한 부품까지 재활용 원료 사용 확대 추진
 - 아우디는 '17년 독일 네카르줄름(Neckarsulm)의 프레스 샵에 'Closed-loop 시스템'을 최초로 도입한 이후 독일, 헝가리 등 타 지역까지 확대 적용 중이며, 이를 활용해 누적 52.5만 톤의 탄소배출을 저감('22. 2월 기준)
 - * 프레스 공정 스크랩을 소재 공급사가 전담 수거해 판재로 재공급하는 시스템
 - 닛산도 UACJ, 코베, Arconic 등 글로벌 판재 공급사와 협력해 동일 시스템을 구축하는 한편, 합금 분별 강화를 위해 5천/6천계의 분별 장치를 개발하여 도입
- 반면, CFRP의 경우 원소재의 분류 및 재가공의 어려움으로 본격적인 재활용은 아직 이루어지지 않고 있으나, 소재 생존 차원에서의 절박함이 제기됨에 따라 일본 메이저사와 글로벌 스타트업 등이 관련 기술 개발 진행 중
 - 리사이클링을 통해 신품 대비 1/6~1/10까지 탄소배출 저감이 가능한 것으로 평가는 하고 있으나, 기술개발 단계 고려 시 본격적인 적용은 '30년 이후에나 가능할 것으로 판단(Nikkei Automotive)

③ 혁신공정의 개발

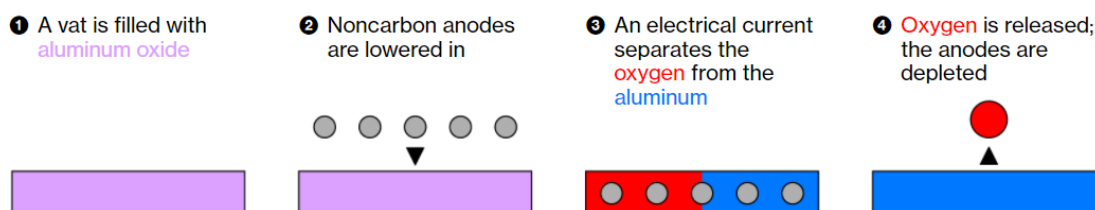
- 제련 등 탄소 배출이 집중된 공정을 개발 및 대체하여 전체 탄소 배출량을 낮추기 위한 기술개발이 알루미늄을 중심으로 진행 중
- 美 알루미늄 기업인 알코아는 탄소 배출이 집중된 제련 공정의 개선을 목적으로 기존의 탄소전극을 불활성(Inert) 전극으로 대체하는 신공정의 상용화 추진
 - 신공정은 세라믹, 금속, 서멧(Cermet*)의 조합으로 만든 전극을 활용하며, 전기분해 과정에서 환원되지 않고 폐가스로 이산화탄소 대신 산소를 발생
 - * 세라믹(Ceramic)과 금속(Metal)을 조합, 소결하여 만든 복합 소재
 - 전통적인 공정에서는 탄소 전극을 사용해 알루미나를 전기분해하는데 이 과정에서 탄소 전극이 환원되며 이산화탄소 발생
 - 전통 방식 대비 CO₂ 배출량 절감은 약 13% 수준(BNEF)
 - 알코아는 '18년 리오티토와 합작사 'Elysis'를 설립, '24년까지 동 기술의 상용화를 추진 중이며 아우디, 애플 등 알루미늄의 대규모 수요기업으로부터 지원을 받고 있음

【 알코아의 알루미늄 新 제련 공정 】

CONVENTIONAL PROCESS



ELYSIS PROCESS



출처: ALCOA

4. 종합 및 시사점

□ 경량 소재 기업들의 다각적인 시도에도 불구하고 산업 차원에서의 단기적, 본격적인 탄소저감 성과 확보는 많은 난관 예상

○ 경량 소재 중 사용량이 가장 많은 알루미늄의 경우, 이론적으로는 '재생에너지 도입'과 '재활용 확대'의 조합을 통해 약 95% 이상의 탄소배출 저감이 가능하나 현실적으로는 본격적인 확대가 쉽지 않음

- 경제성 고려 시 재생에너지 환경이 유리한 지역을 중심으로 대응이 가능하며, 이 경우 중국, 러시아 등에 집중된 현재 공급망에 대한 대대적인 재편 필요
- 태양광발전의 경쟁력이 높은 중동 등에서 알루미늄 생산이 단계적으로 확대될 가능성
- 경량소재의 재활용은 재활용 원료의 양적 제약으로 생산규모가 비약적으로 늘어나기는 어려운 태생적 한계도 보유
- 최근의 수요 성장에도 불구하고 철강소대 등에 비해 누적 유통량이 현저하게 적고, 사용연한에 미달된 유통 제품들이 많아 양적인 공급 확대에는 한계
- 재생에너지와 연계한 공급망 재편 고려 시, 수요지-공급지 분리에 따른 재활용 원료의 대규모 이송체계도 구축되어야 함

○ 현재 CFRP의 경우 재생에너지 확대가 탄소 저감의 유일한 해법이나 가격경쟁력에서 더욱 취약해질 가능성도 존재

- 현재까지 CFRP 보급의 가장 큰 장애요인은 소재 가격이 경쟁소재 대비 많이 비싸다는 것이었음
- CFRP의 핵심인 탄소섬유는 일본 3사(도레이, 토호테낙스, 미쓰비시케미컬)가 글로벌 시장의 50% 이상을 점유하는 과점시장으로, 공급망 재편은 이들 기업의 주도 하에서 가능하나 수요시장 연계 등을 고려한 장기적인 접근이 필요

○ 혁신공정은 알루미늄 중심의 적용이 예상되나 대규모의 설비 교체가 필요하며, 전기분해 공정에는 여전히 대규모 전력이 필요하다는 한계 존재

□ 그럼에도 일부 선도 기업들은 프리미엄 저탄소 소재시장 선점을 위해 적극적인 구조 변화를 추진하고 있으며, 'First Mover' 중심의 시장재편 가능성

○ 일례로 러시아 알루미늄 기업인 Rusal은 클린에너지를 중심으로 현존

설비를 재편하고, 나머지 고탄소 자산은 구조조정 추진

- Rusal은 중국 제품 대비 친환경이라는 경쟁력을 앞세워 유럽, 일본 등 저탄소 알루미늄 수요 시장에 적극적인 공략 추진
- 저탄소 브랜드('ALLOW')를 별도로 운영하는 동시에 탄소발자국 대외 인증 등을 활용해 글로벌 고객에게 어필 노력

○ 재활용 원료 등과 같은 저탄소 원료의 선제적, 안정적 확보 시, 부품 가공 등 다운스트림과 연계한 전략 확장도 가능

ex) '판재 → 다이캐스팅' 가공방식 전환으로 고품질 스크랩 조달 제약 보완, 부품 가공단계에서의 탄소배출 저감 가공을 통해 LCA배출량 저감 등

□ 국내 부품, 소재 산업의 높은 원료소재 수입 의존도를 고려 시, 가공단계에서의 저탄소 경쟁력에 집중할 필요

- 기업들은 저탄소 소재 확보를 위해 공급선 다변화를 추진해야 함. 또한, 기업들이 부품 가공단계에서 저탄소 경쟁력을 확보할 수 있도록 정부는 재생에너지 활용 등 정책적인 보조도 고려 필요

□ 원료소재부터 밸류체인이 잘 구축되어 있는 철강은 저탄소 소재로서의 장점을 부각시키면서 경량화 솔루션에서도 경쟁력 제고 노력 필요

- 장기적 탄소 저감 계획을 차질 없이 진행하는 동시에 저탄소 강재에 대한 별도 브랜드 론칭 등 고부가화 및 홍보 강화
 - 복합화를 통한 경량 소재 개발, 가공단계에서의 저탄소화 등 철강기반의 경량화 솔루션 개발에도 적극적인 대응 필요
 - 도요타용 프레스 부품 공급사인 日 후타바산업은 UHSS 소재를 냉간 가공하여 핫 스탬핑*(Hot Stamping)과 동일한 강도를 확보할 수 있도록 공정 개발 중
- * 핫 스탬핑은 강도 향상을 통해 20~30%의 경량화가 가능하지만 고온 가열 과정에서 탄소 배출량이 증가할 가능성이 있음

이 자료에 나타난 내용은 포스코경영연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.

[참고자료]

[보고서/논문]

BNEF, “Decarbonizing Aluminum - Technology and Costs” (’21. 5)

McKinsey&Co. “The zero-carbon car: Abating material emissions is next on the agenda” (’20.9)

Goldman Sachs, “New Era in CO2 regulation” (’19.12)

[홈페이지/기사]

HMG Journal, “더욱 강화되는 자동차 환경 규제, 전과정 평가란?” (’21. 4)

AUDI, www.volkswagenag.com

Catack-H, www.catack-h.com

후타바산업, www.futabasangyo.com

한국자동차연구원 산업동향, “車 환경규제의 새 길잡이, 전과정평가(LCA)” (’21. 1)

Department Of Energy, “Bandwidth Study on Energy Use and Potential Energy Saving Opportunities in U.S. Carbon Fiber Reinforced Polymer Manufacturing” (’17)

Green Car Congress, “Rio Tinto Alma smelter site for first commercial demo of ELYSIS GHG-free aluminum smelting technology” (’21. 4)

Nikkei Automotive, “역풍의 경량화소재”, (’21. 5)

ALCOA, www.alcoa.com