

한국의 탄소제로를 향한 전진

저탄소 경제로의 전환과
알루미늄의 역할

목차

3	약어 설명
4	요약
6	도입: 한국의 저탄소 궤도 적응적 감축에서 능동적 대응으로
8	제1장: 친환경 전환에 기여하는 저탄소 알루미늄 친환경적 목표와 일치하는 원자재 사용 알루미늄에 대한 수요 증가
11	제2장: 차별화 요소로서 저탄소 알루미늄의 출현 저탄소 경제를 위한 저탄소 원자재 저탄소 원자재에 대한 수요 창출: 공공부문 조달의 영향 무배출 차량 시대의 저탄소 알루미늄 수요 친환경 건축 기조와 저탄소 알루미늄 수요
19	제3장: 결론 및 제언 한국 알루미늄 생산업체에 대한 권고 사항 정책 입안자에 대한 권고 사항
22	참조 문헌

약어 설명

BREEAM – 영국 친환경 건축물 인증제도

CT – Carbon Trust (영국 카본 트러스트)

EV – 전기차

IAI – 국제알루미늄협회

ICE – 내연기관 엔진

GHG – 온실가스

GPP – 친환경 공공 조달

GRK – 대한민국 정부

G-SEED – 한국 녹색건축 인증제도

KEITI – 한국환경산업기술원

K-ETS – 한국 배출권 거래제도

LEED – 미국 친환경 건축물 인증제도

MoE – 환경부

MOLIT - 국토해양부

MOTIE - 산업통상자원부

NDC – 국가 온실가스 감축목표

UNEP – UN 환경계획

WEF – 세계경제포럼

WGBC – 세계그린빌딩협의회

ZEB – 제로에너지빌딩

요약



2050년 탄소중립 전략에서, 한국 정부는 전기 자동차, 친환경 건물, 분산형 재생에너지와 같은 분야에 공공 및 민간 자본을 투입해 탈탄소화를 지원하는 야심찬 로드맵을 세웠다. 그러나 친환경 경제 전환에 대규모 투자가 쏟아지면서 이러한 엄청난 경제 변화에 투입될 원자재로 인해 상당한 양의 내재된 탄소 배출이 심화될 위험이 있다. 이러한 숨겨진 기후 영향을 해결하지 않으면 한국의 경제 변화는 자국의 목표 이행을 약화시켜, 국내 친환경 산업을 건설하기 위해 해외로 오염물질을 반출하게 할 것이다.

알루미늄, 저탄소 경제의 필수 요소 - 생산공정에 따른 탄소 집약도 차별성

한국은 프라이머리 알루미늄(primary aluminium) 생산국이 아니지만, 주요 수입국으로서 이를 다운스트림 생산업체가 가공해 다양한 분야에 걸쳐 사용하고 있다. 알루미늄은 친환경 전환에 있어 중요한 역할을 담당한다.

- 알루미늄의 경량 특성은 전기차의 효율성 향상에 핵심 요소로, 국내 자동차 분야에서는 2020-2025년 알루미늄 수요가 27% 증가할 것으로 전망된다.
- 건설 분야에서도 알루미늄의 경량 특성 및 내구성, 반사율, 압출 용이성에 주목하면서, 국내 건설업 성장에 따른 알루미늄 수요는 2020-2025년 18% 증가할 것으로 전망된다. 이러한 추세는 알루미늄이 태양광 패널 부품의 약 85%를 구성하는 점을 감안할 때, 한국의 탄소중립 전략에 따라 주택 및 상업건물에 분산형 신재생에너지 인프라를 구축하는 사례가 증가함에 따라 더욱 촉진될 것이다.

그러나 이러한 기회 뒤에는 한국의 다운스트림 알루미늄 산업에 대한 도전이 도사리고 있다. 알루미늄 생산의 높은 에너지 집약도는 한국으로 수입되는 원자재의 내재적 배출량이 제품별로 크게 다를 수 있다는 것을 의미한다. 예를 들어, 신재생 에너지를 사용하여 생산된 프라이머리 알루미늄은 1톤 생산당 4톤 미만의 이산화탄소(tCO_2/tAl)를 배출해 전세계 평균인 $12.6tCO_2/tAl$ 에 비해 탄소 배출량이 적고, 불활성 양극 생산과 같은 혁신적인 공정은 이보다 훨씬 낮은 수치의 탄소를 배출한다.

한국 다운스트림 알루미늄 생산업체에 대한 도전 및 기회 요소

평균적인 알루미늄과 저탄소 알루미늄의 차이는 한국의 알루미늄 산업에 위험과 성장 기회를 모두 제공한다. 한국이 탈탄소화 계획을 시행하기 시작하면서, 저탄소 자재에 대한 수요는 특히 한국의 친환경 공공 조달 시행, 배출량 공개 기준 강화, 탄소중립 전략의 수명주기 평가 통합에 의해 더욱 증가할 것이다. 또한, 알루미늄 주요 고객의 수요 동향은 저탄소 제품에 대한 선호도가 증가하고 있다는 것을 보여준다. 예를 들어, 자동차 산업에서는 배기가스에 기반한 경쟁이 심화하고 있다. 현재 글로벌 자동차 업체의 83%가 차량의 수명주기 배출량을 줄이겠다는 약속을 밝히고, 이들 기업의 4분의 3은 목표 수치를 이미 설정했다. 한편, 국내 건설업계에서는 자재와 자원 평가에 20% 포인트를 배분하는 G-SEED 건물 표준 채택이 늘면서 저탄소 자재 수요가 몰리고 있다.

제언

한국의 다운스트림 알루미늄 생산업체들은 선택의 문제에 직면해 있다. 업체들은 능동적으로 저탄소 자재를 공급해 수요를 앞서고 기후 영향을 줄이려는 고객들 사이에서 경쟁 우위를 확보할 수 있다. 이와는 대조적으로, 현상 유지를 고집하는 일부 생산자들은 고객의 기대에 너무 늦게 반응하고 먼저 대응한 업체들이 선점한 시장에서 밀려날 수 있다. 이 백서에서는 친환경 전환의 기회를 포착하기 위해 한국 알루미늄 생산업체에게 다음의 사항을 제언한다:

1. 공급업체와 협력하여 공급망의 배출량 공개를 강화한다
2. 단계적 탈탄소화 계획을 세우고 공급업체에게 저탄소 생산 구조로 전환하도록 권장한다
3. 연구개발, 투자, 긍정적 여론 형성 등 가치 사슬 전체에서 탈탄소화 노력을 가속화한다

또한 이 백서에서는 한국 정부가 친환경 저탄소 경제로의 전환에 투자를 늘리고 있어 알루미늄 분야에서 상당한 성장을 촉발할 수 있는 기회가 존재한다는 것을 제시하고 있다. 이러한 잠재력을 실현하기 위해 정책 입안자에게 다음의 사항을 고려할 것을 제안한다:

1. 내재된 배출량 공개 의무 및 이행 준수에 대한 지원을 제공하기 위한 규정을 마련한다
2. 카본 트러스트(Carbon Trust) 등의 기관에서 정한 벤치마크를 기반으로 저탄소 알루미늄에 대한 벤치마크 표준을 제정한다. 한국 정부는 해당 표준을 공공 조달 시스템에 반영해 이의 시행을 권장할 수 있다.
3. 저탄소 알루미늄에 대한 차별화된 수입관세를 적용한다

급성장하는 친환경 산업과 이를 지원할 효과적 인증 시스템을 갖춘 한국은 자국의 알루미늄 생산업체에게 전 세계적인 저탄소 전환 속에서 기회를 포착할 수 있는 강력한 환경을 제공한다. 저탄소 자재에 대한 수요에 선제적으로 대응한 기업은 이윤을 창출하고 환경을 보호하는 것, 두 가지 목표에서 윈-윈(win-win)할 수 있다.

도입: 한국의 저탄소 궤도

적응적 감축에서 능동적 대응으로

“2050 탄소중립은 기후 변화를 새로운 국제 경제 질서로 다루려는 전 세계 공동의 목표가 되었다. 한국도 이런 패러다임 변화에 동참해 ‘적응적 온실가스 감축’에서 ‘능동적 기후 대응’으로 전환해야 한다”(GRK 2020, 128)

획기적인 탄소중립 전략에서 한국 정부는 기후 위기에 대처하기 위한 접근방식의 근본적인 변화를 시사했다. 한국은 이미 30년 동안 평균 기온이 1.4°C 상승하고(GRK 2020, 6), 1세기 전에 비해 평균 강수량이 거의 160mm 증가하는 등(GRK 2020, 16) 가속화하는 온난화를 경험했다. 그러나 한국의 2050 탄소중립 전략은 최악의 기후 영향을 완화하는 것 이상이었다. 가장 최근의 국가 감축목표(NDC)에서 한국은 2030년까지 온실가스(GHG) 배출량을 2017년 수준보다 낮은 24.4%로 줄이겠다고 약속하고 2021년 하반기에 더 전향적인 목표 발표를 예정했다(Lee 2021). 동시에, 한국 정부는 경제를 세계적인 친환경 초강대국으로 성장시키는 것을 목표로 하고 있다.

탄소중립 전략 하에 친환경 경제로의 전환 일부는 탄소 가격 책정과 같은 시장 솔루션에 의해 추진될 것이라는 것은 명백하다. 정부 당국은 민간 부문이 가장 효율적인 솔루션을 찾아 대응해야 할 규칙과 규정을 제정할 것이다. 국내 탄소거래 제도인 K-ETS에 따르면 2015년 t당 8000원이던 탄소 가격이 현재 약 2만원으로 꾸준히 오르고 있다(GRK 2020, 38). 정부도 탄소중립 전략에서 2030년까지 경매 크레딧 비중을 10%로 늘려 향후 수년간 꾸준히 탄소 가격을 인상하기로 했다(GRK 2020, 38).

이러한 시장 메커니즘과 더불어, 한국 정부는 경제를 저탄소 미래로 이끄는 데 있어 보다 적극적인 역할을 할 것을 시사하고 있다. 정부는 탄소 중립 전략에서, “공공 부문이 온실가스 감축에 대한 의지와 진전을 보여줄 수 있는 최적의 위치에 있다”고 언급했다(GRK 2020, 110). 공공 부문에서의 성과로서, 국가는 2011년부터 온실가스 배출 목표 관리 시스템을 운영하고 있다(GRK 2020, 110). 한편, 정부는 지난해 그린 뉴딜 계획에 따라 73.4조 원을 동원하겠다는 공약을 통해 저탄소 경제로의 전환에 시동을 걸고 있다 (GRK 2020, 111).

친환경 전환을 향한 정부의 전향적인 노력은 한국 경제의 지형에 지대한 영향을 미칠 것이다. 한국 정부는 혁신적인 친환경 산업을 국가 성장 비전의 중심에 두었다. 이러한 혁신 추진은 탄소중립 전략 전반에 걸쳐 거듭 강조되고 있으며, 정부의 비전 발표에서 뚜렷이 드러난다.

“한국은 친환경 혁신과 첨단 디지털 기술을 활용하여 한국 뉴딜의 두 기둥인 그린 뉴딜과 디지털 뉴딜 간의 시너지를 창출할 것이다. 한국은 탄소중립 달성을 위한 혁신 기후 기술 개발 지원과 투자에도 과감한 조치를 취할 것이다.”(GRK 2020, 7).

한국 정부는 이러한 접근방식을 전략 후반부에서 보다 구체적으로 언급한다:

“국내 전기 자동차(EV)와 에너지저장시스템(ESS) 등, 고도로 발달한 ICT와 선도적 기술력은 친환경 혁신과 4차 산업기술 간 융합이 가능한 환경을 제공한다. 이런 융합으로 기존의 에너지 집약적 산업을 대체할 저탄소 산업의 새로운 물결이 일 것으로 예상된다.”(GRK 2020, 24).

정부는 이미 이 계획에 상당한 지원을 하고 있다. 예컨대, 환경부는 지난해 말 미래산업환경육성융자금 예산을 2020년 2000억원에서 2021년 3111억원으로 50% 이상 늘린다고 발표했다(MoE, 2020a). 또한, 한국은 올해 4월 해외 석탄 화력 발전소의 공적 자금 조달을 중단하겠다고 발표하면서 글로벌 차원에서 전략을 실행하고 있다(Lee 2021).

정부 정책은 소비자들이 녹색 산업을 적극 지지함에 따라 강력히 추진되고 있다. 다른 선진국 시장과는 달리, 한국은 코로나19 팬데믹 상황에서도 내연기관이 없는 전기차에 대한 소비자

구매 수요가 지속되고 있다. 한국 소비자의 57%가 향후 전기차 구매 의사를 밝혔으며, 이는 미국, 인도, 독일, 중국, 일본 보다 높아 전기차 산업에 대한 한국 정부의 지속적인 지원 정책에 정당성을 부여한다 (Deloitte, 2021). 마찬가지로 일회용 플라스틱에 대한 소비자의 심리적 저항으로 인해 정부는 2030년까지 플라스틱 폐기물 양을 절반으로 줄이고 재생자원 이용률을 두 배까지 늘린다는 목표를 설정했다. 이러한 흐름에 발맞춰 환경부는 순환경제 활성화를 위해 민간 부문과 직접 협력해 나가고 있다. 대표적인 예로, 환경부는 올해 1월 대한화장품협회(KCA), 한국포장재재활용사업공제조합(KPRC)과 함께 화장품 용기를 판매점, 백화점, 대형 마트 등에서 자체 회수하도록 하는 플라스틱 용기 회수와 재활용 캠페인을 시작했다 (Lim 2021).

한국의 저탄소 전환은 정부 부양책의 대상이 되는 소규모 혁신 부문을 넘어서 폭넓은 영향을 미칠 것이다. 공급망들은 원자재의 공급 방식에서부터 순환 경제의 확립에 이르기까지 새로운 수요에 적응해야 할 것이다. 또한, 저탄소 경제의 구축이 세계 기후 위기에 대처하는 궁극적인 목표와 일치한다면 친환경 산업은 그들의 제품의 전체 수명주기 지속가능성을 추구하는 기업 경영자, 행정공무원, 고객 주도하에 더욱 성장할 것이다.

본 백서는 한국 알루미늄 업계에 미칠 이러한 잠재적 영향을 고찰한다. 한국의 알루미늄 산업은 전세계로부터 가공되지 않은 자재 수입에 의존하고 있으며, 가공 생산한 제품을 국내 판매 및 수출하고 있다. 전기 자동차에서 친환경 건물, 재활용 가능한 포장, 재생에너지 기반 시설까지, 이 알루미늄은 저탄소 경제에서 기업에 필수적인 요소이다. 다만 공급망 한복판에 있는 한국 생산자 입장에서는 어려움이 존재한다. 이들 기업은 친환경 산업에 종사하는 고객들로부터 저탄소 자재를 공급하라는 압력에 점점 더 직면하게 될 것이다. 그러나 이러한 기대를 충족하기 위해 업체들은 공급망의 업스트림 생산자에게 영향력을 행사해야 한다. **저탄소 자재를 인증하고 검증하는 데 필요한 시스템은 단기간에 확립될 수 없기 때문에 한국 생산업체들은 친환경 전환 가속화를 앞두고 공급업체들과 협력하는 것이 시급하다.** 이는 공동의 노력이 되겠지만, 본 백서는 낮은 탄소 발자국에 기초하여 자재를 선택할 때 얻을 수 있는 중요한 보상을 설명한다.

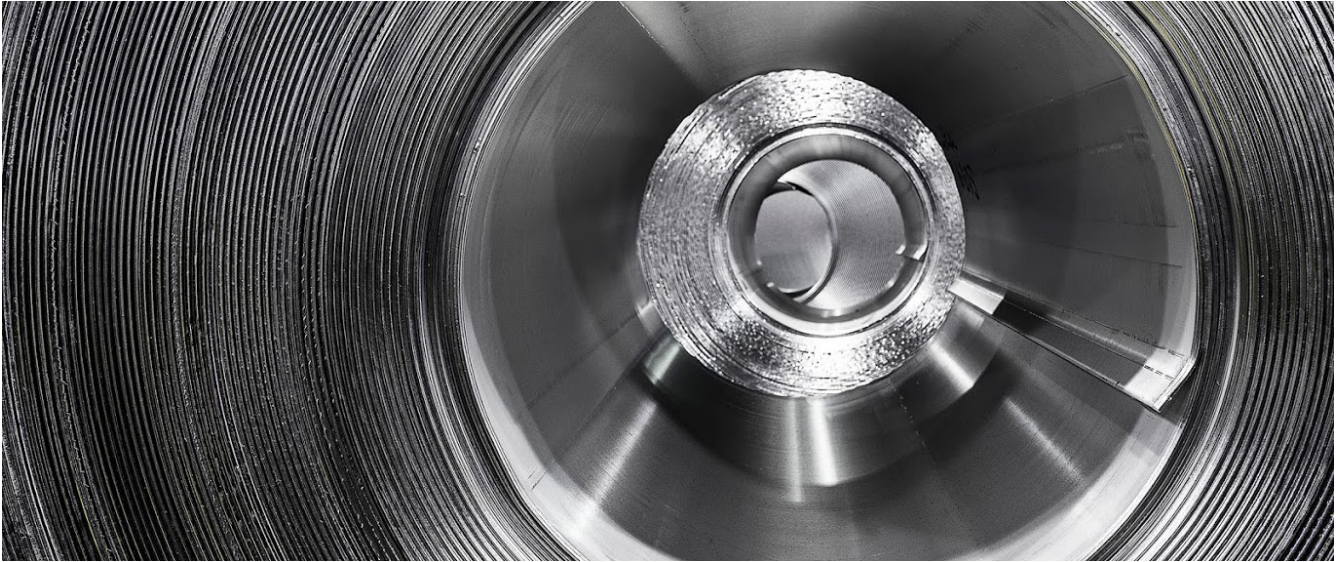
제1장은 전세계와 한국에서 진행 중인 저탄소 전환의 결과로서 알루미늄 수요 예측과 향후 전망을 제시한다. 한편, 늘어난 알루미늄 수요가 계속해서 고탄소 전력으로 생산한 자재 사용으로 이어질 경우 잠재적 기후 피해가 발생할 수 있다는 것을 강조한다. 또한, 저탄소 알루미늄 구성 요건을 제시하고, 저탄소 알루미늄이 이미 충분히 공급되고 있는 시장 현황을 살펴본다.

제2장에서는 저탄소 알루미늄 수요의 동인을 분석한다. 공공 부문 조달 관행과 저탄소 조달 원칙을 강화하는 정책 방향을 검토하고, 자동차 및 건설 업계에서 진행 중인 혁신이 알루미늄 수요에 미칠 영향과 이에 부응해 저탄소 자재 사용에 대한 요구가 커지고 있음을 보여준다.

마지막으로, 제3장에서는 한국의 알루미늄 생산업체들에게 공급업체와 협력하여 저탄소 조달로 전환할 수 있는 방법에 대해 권고하고, 정책 입안자들이 이러한 지속 가능한 기반으로서의 산업 전환을 지원할 수 있는 방법에 대해 논의한다.

본 백서는 알루미늄 산업에 초점을 맞추고 있지만, 여기서 다룬 많은 연구 결과는 저탄소 경제에 필수적인 여러 다양한 원자재에 적용 가능하다. 무엇보다도, 이 백서는 한국 제조업체들이 친환경 전환의 기회를 포착하고 공급망에 대한 영향력을 확산해 지속 가능한 미래를 확보할 수 있도록 경제와 환경을 위한 윈-윈 시나리오(win-win scenario)를 제안한다.

제1장: 친환경 전환에 기여하는 저탄소 알루미늄



배출원을 없애지 않고 다른 곳으로 옮기는 것은 한국의 저탄소 전환의 목표를 저해하는 심각한 결과를 초래할 수 있다.

친환경적 목표와 일치하는 원자재 사용

한국 정부는 “국가 경제의 신 성장 동력으로 환경 기술과 친환경 산업 육성”에 초점을 맞춘 저탄소 산업구조로의 전환을 약속했다(GRK 2020, 36). 친환경 혁신 추진은 많은 주목을 받고 있지만 그 과정에는 세밀하게 검토해야 할 여러 쟁점들이 있다. 빠르게 성장하는 산업으로부터의 수요 증가로 인해 원자재 배출량이 최종 제품의 저탄소 인증과 일치하지 않을 위험이 있다. 이런 경우, 한국의 친환경 전환은 완전한 실행으로 볼 수 없다. 한국이 클린 에너지, 친환경 자동차, 깨끗한 도시로 비쳐질 수는 있다. 그러나 이러한 혁신으로 저감한 것으로 보이는 많은 배출량은 다른 국가로 오염물질을 이전한 것에 불과하다. 일반 대중에게 보여지는 것과는 별개로, 고탄소 의존적인 산업들은 겉보기에 친환경적 제품에 필요한 원자재를 생산하면서 기후에 계속 영향을 미칠 것이다.

배출원을 없애지 않고 다른 곳으로 옮기는 것은 한국의 저탄소 전환의 목표를 저해하는 심각한 결과를 초래할 수 있다. 저탄소 경제로부터의 번영은 누릴 수 있지만 지속되지는 않을 것이다. 어디서 배출되든지 배출량은 전 세계적으로 기후 악화를 지속하게 하는 결과를 초래한다. 친환경 산업들이 기후 위기를 초래하는 일부 배출량을 완화할 것이지만, 악화된 기후 영향을 막기에는 충분하지 않을 것이다. 이는 한반도에 기온 상승, 홍수 증가, 그리고 더 파괴적인 태풍의 위험을 촉발하고 엄청난 경제적 피해를 초래해 한국 국민들의 삶에 상당한 영향을 미칠 가능성이 있다.

이를 피하는 유일한 방법은 저탄소 자재를 사용하여 저탄소 경제의 요구를 충족시키고 기업이 공급망 전체에 협력적 참여를 이끌어 탈탄소화를 이행하는 것이다.

알루미늄에 대한 수요 증가

한국의 알루미늄 산업은 숨겨진 배출 위험과 저탄소 자재로의 전환 기회에 대한 매력적인 사례 연구를 제시한다.

전 세계적으로 친환경 전환으로 인해 알루미늄 수요가 전례 없는 수준으로 증가하고 있다. 국제알루미늄협회(IAI)는 다음과 같이 제시한다:

“경량, 강도, 내구성, 전도성 및 재활용이 가능한 알루미늄 제품은 저탄소 미래를 위한 필수 요소이다. 이들은 에너지, 운송, 건물, 식품 및 의약품 등 배출량이 높지만 중요한 서비스 제공 부문에 에너지 효율적인 탄소 저감 솔루션을 제공한다.”(IAI 2021a, 1)

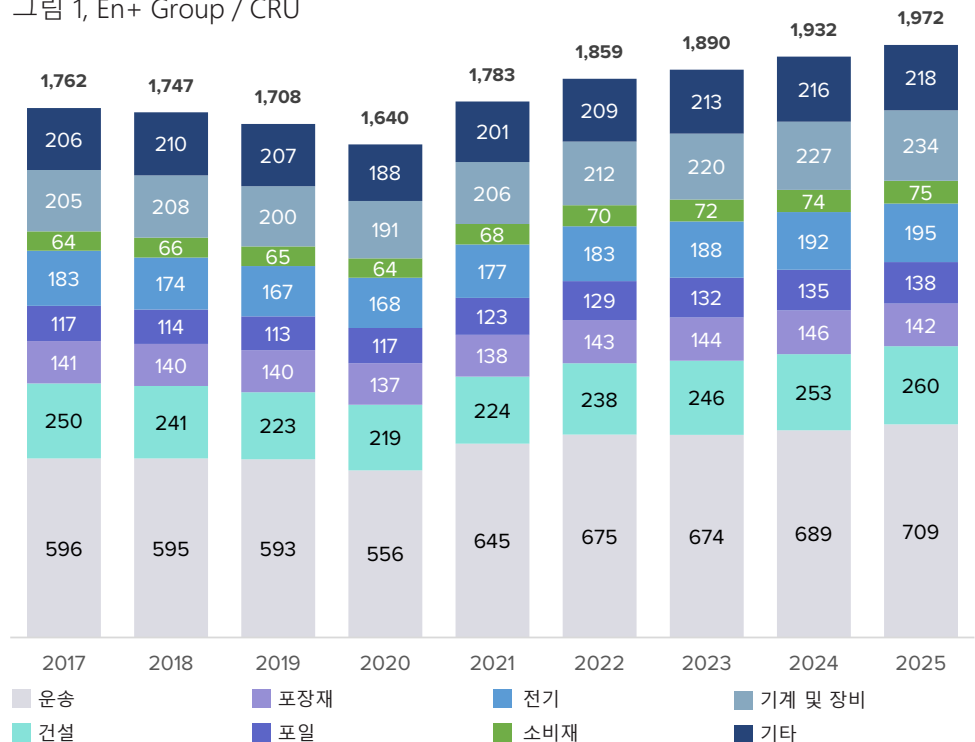
2018년에 전세계 알루미늄 수요는 9천 5백만 톤으로, 이 중 3분의 2는 일반 자재와 3분의 1은 재활용 자재로 충족되었다(IAI 2021b, 8). 하지만 저탄소 경제 전반에 걸쳐 알루미늄이 중심 역할을 하고 있기 때문에, 전세계 친환경 전환의 가속화는 세계 GDP 성장과 인구 증가와 함께 2050년까지 그 수요가 80% 증가할 것으로 예상된다(IAI 2021b, 3). 이 기간 동안 재활용 공급이 증가할 것으로 예상되지만, 수요를 충족시키기 위해서는 연간 7500만 톤에서 9000만 톤의 알루미늄 생산이 계속해서 필요하다(IAI 2021b, 9).

이러한 세계적인 성장은 한국 수요 동향에 반영되어 있다. 특히 자동차 산업의 변화에 따라 알루미늄 반제품의 수요는 2020년 1640kt에서 2025년 1972kt로 20% 증가 할 것으로 보인다. 이를 종합해보면, 2017-2019년 수요가 1762kt에서 1708kt로 소폭 감소했다(En+ Group / CRU 2021).¹ 따라서 한국 알루미늄 산업은 국가 및 세계 경제가 저탄소 기반으로 빠르게 전환함에 따라 비교적 안정적인 수요 추세에서 가속화 추세로 수요가 변화하

는 양상을 보이고 있다.

최종 수요처별 한국 알루미늄 소비량, kt

그림 1, En+ Group / CRU



1 달리 명시되지 않은 한, 본 백서에서 언급된 국내 알루미늄 수요 동향은 En+ Group이 CRU의 데이터를 사용하여 집계한 것이다.

1.1기가톤
알루미늄 산업 전체
연간 온실가스 배출량

2%
알루미늄 산업의
온실가스 배출 비중

알루미늄에 대한 수요 증가는 저탄소 경제의 성장에 있어 잠재적인 모순을 야기한다. 금속의 생산은 에너지 집약적이어서 산화알루미늄(알루미나)을 알루미늄으로 변환하기 위해 고충전 양극이 필요하다. IAI의 데이터에 따르면, 이 전력의 약 60%는 석탄 에너지원에서 나온다.² 그 결과, 알루미늄 산업 전체가 연간 약 1.1기가톤의 온실가스를 배출하고 있으며, 이는 전세계 인위적인 배출량의 2%를 차지하고 있다(IAI 2021b, 3). 다른 변화가 없다면, 이 수치는 2050년까지 1.6기가톤에 도달할 수 있는 반면(IAI 2021b, 7), 유엔의 지구 온난화 경로가 2°C 미만인 시나리오에서는 배출량을 250메가톤으로 줄여야 한다(IAI 2021b, 8). 알루미늄 업계에서 요구하는 배기가스 배출 감축 중 일부는 재활용률을 높이면 달성할 수 있지만 IAI는 2050년까지 매년 7500만톤에서 9000만톤의 프라이머리 알루미늄이 필요할 것으로 전망하고 있다(IAI 2021b, 9).

현재 한국으로 수입되는 알루미늄의 평균 탄소 배출 강도가 높은 것으로 조사되어, 한국에서 기후 행동을 추진하는 것과 상충한다. 한국에서 사용되는 프라이머리 알루미늄(합금 및 비합금 모두)의 평균 이산화탄소 배출(tCO₂/tAl)은 알루미늄 1톤당 11.4톤이다.³ 한국은 최근 몇 년 동안 재활용 금속(스크랩 포함)의 수입량이 늘었지만, 이는 여전히 국내에 수입되는 모든 알루미늄의 평균 배출 강도를 6.86 tCO₂/tAl로 낮췄을 뿐이다(En+ Group / CRU 2021).

다행히도, 프라이머리 알루미늄의 탈탄소화에 대한 명확한 경로가 이미 세워져 있다. 알루미늄 업계가 방출하는 배출량의 60% 이상이 전기 에너지 사용으로 인해 발생하므로 재생 가능한 전력원으로 전환하면 생산자의 기후 영향을 크게 낮출 수 있다(IAI 2021b, 10). 이러한 방식으로 생산된 알루미늄은 이미 상당한 규모로 시장에 공급되고 있으며 Hydro, Rio Tinto, Alcoa 및 Rusal 등의 글로벌 생산업체는 전세계 평균 12.6tCO₂/tAl에 비해 탄소 발자국이 4tCO₂/tAl(CT 2020, 3) 미만인 금속을 제공한다. 기업마다 탄소 발자국 측정에 다른 방법론을 적용하지만, Carbon Trust는 알루미늄 전기 분해, 알루미늄 잉곳 주조, 양극/페이스트 생산 및 이러한 공정에서 소비되는 전기 및 열 생성으로 인한 배출을 포함하는 IAI의 레벨 1 지침과 대체로 일치한다고 말한다. 따라서 본 백서는 저탄소 알루미늄을 IAI 지침의 레벨 1에 따라 측정된 4tCO₂/tAl 미만의 배출 강도로 제조된 금속으로 정의함으로써 Carbon Trust의 선례를 따른다.

재생에너지와 알루미늄 생산의 통합이 계속 진행됨에 따라, 국내 다운스트림 알루미늄 생산업체들은 저탄소 또는 고탄소 알루미늄에서 선택해야 하는 상황에 직면하고 있다. 다음 장에서 의미 있게 다루듯이, 저탄소 전환을 주도하는 공공 및 민간 부문은 알루미늄에 대한 전반적인 수요를 진작시킬 뿐만 아니라, 한국 생산자들에게 저탄소 조달을 기반으로 자사 제품을 차별화할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

2 IAI, 기본 알루미늄 제련 전력 소비량, <https://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-power-consumption/#data>
3 수입된 미가공 알루미늄의 배출 강도에 대한 정보는 CRU의 데이터를 사용하여 En+ Group에 의해 작성되었다

제2장: 차별화 요소로서 저탄소 알루미늄의 출현



저탄소 경제를 위한 저탄소 원자재

세계가 친환경 혁신을 수용함에 따라, 정부, 기업 및 소비자들은 환경적 가치에 부합하는 원자재 사용을 점점 더 지지하고 있다. 이러한 움직임은 한국에서 이미 진행 중이지만 한국 정부가 그린 뉴딜 정책을 시행하고 있고 저탄소 산업이 계속 성장함에 따라 앞으로 수년간 가속화할 전망이다.

이번 장에서는 저탄소 자재로의 전반적인 전환을 추진하기 위해 한국 정부가 이미 수립한 정책을 중점적으로 살펴본다. 더 나아가, 자동차와 건설 부문에서 저탄소 알루미늄이 한국 생산업체의 차별화 요인이 된 구체적 사례를 보여준다.

저탄소 원자재에 대한 수요 창출: 공공부문 조달의 영향

앞서 언급했듯이, 한국 정부는 “공공 부문이 온실가스 배출 감축에 대한 의지와 진전을 보여줄 수 있는 최적의 위치에 있다”는 소신을 분명히 밝혔다(GRK 2020, 110). 이러한 약속은 이미 저탄소 자재로 공공 조달을 유도하는 강력한 시스템에 의해 뒷받침되고 있는데, 이는 경제에 광범위하고 강력한 영향을 미치는 접근방식이다.

2005년 통과된 한국의 친환경 제품 구매촉진에 관한 법률은 친환경 공공 조달(GPP)의 모범사례로 세계적으로 인정받고 있다(UNEP, KEITI 2019, x). 이 법에 따라 정부기관이 매년 한국환경산업기술원(KEITI)에 GPP 시행계획을 제출하고 자발적 목표치를 설정해 GPP 성과를 보고하도록 하고 있다. 이들 기관은 대규모 예산과 성과급을 포함한 GPP 개선을 위한 재정적 인센티브를 받는다. 또한 환경부는 5년마다 친환경 제품 구매촉진을 위한 실천계획을 의무적으로 발간한다. 공공 부문에서 GPP의 이행을 지원하기 위해, 한국 당국은 제품의 수명주기 배출량을 공개해야 하는 탄소 발자국 표시 마크부터 평균보다 낮은 배출량의 제품에 부착하는 저탄소 제품 라벨 및 우수 재활용(Good Recycled) 마크에 이르기까지 일련의 친환경 제품 표준 및 인증을 제정했다.

USD 759m

2006년 한국 공공조달 규모

USD 2,945m

2017년 한국 공공조달 규모

한국의 GPP 정책은 2030년까지 “온실가스 감축으로 인한 비용 절감 측면에서 5600만 달러에서 1억 1700만 달러 범위의 거시 경제적 이익을 창출할 수 있다

“저탄소 기술 개발에 있어 전반적인 환경 영향에 대한 종합적인 평가가 필요하다”

한국의 GPP 시스템은 환경적, 경제적 관점에서 모두 상당한 성공을 거두었다. 2006-2017년 GPP는 7억5900만 달러에서 29억4500만 달러로 증가했으며, 총 지출 대비 친환경 제품 조달 비중은 47.5%에 달했다(UNEP, KEITI 2019, x). 같은 기간 인증 제품 수는 2721개에서 1만4647개로 증가하였다(UNEP, KEITI, 26) 또한 이 정책은 녹색 신용카드를 통해 소비자에게까지 확대되어, 인증 상품 구매 포인트 제도에 가입한 2천만 한국인들에게 혜택을 준다.

현행 GPP 제도의 성공에 이어 한국 정부는 친환경 정책 발전에 더욱 박차를 가하고 있다. 유엔환경계획(UNEP)과 KEITI의 연구에서 언급한 바와 같이, 한국의 GPP 정책은 2030년까지 “온실가스 감축으로 인한 비용 절감 측면에서 5600만 달러에서 1억 1700만 달러 범위의 거시 경제적 이익을 창출할 수 있다.” 한국 정부는 2022년까지 GPP 90% 달성을 목표로 더 적극적인 행보를 이어가고 있다.

한국 정부는 GPP 확대와 더불어 탄소중립 전략에서 친환경 제품, 기업, 프로젝트에 더 많은 민간자본을 투입할 계획을 세웠다. 정부는 유럽연합이 제안한 것과 유사한 친환경 분류 체계를 개발하기 위해 노력하고 있으며, 이는 투자자들이 지속 가능한 투자 기회를 식별하고 그린워싱(greenwashing)을 일축하는 데 도움이 될 것이다. 또한, 탄소중립 전략을 통해 “환경정보 공개제도”를 재정비하고, 특히 상장기업에게 환경정보를 공개하도록 장려하기 위한 계획”을 수립한다(GRK 2020, 120).

저탄소 자재의 수요에 따른 친환경 전환의 결과를 고려할 때, 한국 정부는 탄소중립 전략에서 수명주기 기후 영향을 평가하는 접근방식에 의해 정책을 뒷받침할 것을 분명히 한다. 정부는 “저탄소 기술 개발에 있어 전반적인 환경 영향에 대한 종합적인 평가가 필요하다”고 지적했다. 이를 토대로 정부는 “R&D 단계에서 기술의 전반적인 환경 영향을 평가하는 공통 [수명주기 평가(Lifecycle Assessment)] 모델을 확립하여 R&D 전략을 개발하고 기술을 촉진하기 위한 정책 결정에 사용할 수 있도록 한다.”(GRK 2020, 124).

수명주기 평가를 GPP 정책 및 공개 표준의 중심에 두면 저탄소 자재 소싱이 정부 계약을 성사시킬 뿐만 아니라 민간 투자 및 지속적인 수익을 창출하는 데 중요한 부분이 될 것이다. 수명주기 배출량 공개가 확대됨에 따라, 한국의 알루미늄 생산업체들도 다른 모든 산업과 마찬가지로 공급망의 기후 영향을 공개하게 될 것이며, 투자자들과 고객들에게 가장 지속 가능한 자재에 대한 새로운 데이터를 제공할 것으로 기대된다.

무배출 차량 시대의 저탄소 알루미늄 수요

운송 부문에서 지속 가능한 미래를 설계하는 것은 전 세계적인 주요 과제이다. 운송은 현재 전세계 CO2 배출량의 약 1/4을 차지하고 있으며, 도로 운송만으로도 18%의 배출 영향을 미치고 있다(Winkler et al. 2020, 4).

기후 위기에 대응하는 자동차 제조업체들은 내연기관에서 벗어나 새로운 형태의 운송수단, 특히 전기차(EV)로 이동하고 있다. 2020년 EV는 전체 자동차 판매량 14% 감소에도 불구하고 40%의 매출 성장과 4% 이상의 기록적인 시장 점유율을 달성했다(Gorner & Paoli 2020). 작년 9월 맥킨지(McKinsey)가 발표한 자료에 따르면, “중국과 유럽에서 전기차에 대한 현재의 순풍이 지속된다면, 전기차 부문은 팬데믹 이전 추정치보다 훨씬 더 강력한 잠재력으로 COVID-19 위기에서 회복될 수 있다”(Gersdorf et al. 2020). 이러한 수요 증가에 힘입어 연간 전기차 판매량은 지난해 3백만 대에서 2030년 2천300만 대에 이르러 전기차 총 운행대수는 1억 3000만 대에 이를 것으로 예상 된다(Gorner & Paoli 2020).

전기차의 성장을 촉진하는 것은 배기가스 무배출 차량에 프리미엄을 지불하겠다는 소비자 의지이다. 딜로이트(Deloitte)가 실시한 전세계 설문 조사에서는 40%의 응답자가 전기차에 최대 2500유로를 더 지불할 의사가 있다고 답했다(Deloitte 2020, 30). 이 수치는 Y/Z 세대일수록 높았으며 이들 중 거의 20%가 2500유로 이상을 지불할 의향이 있다고 말했다(Deloitte 2020, 31).

14%

전체 자동차 판매량 감소율

1/3

2030년 신차 판매량의 전기차와 수소연료전지차 비중

0.5x

강철 대비 가벼운 알루미늄 1톤당 차량 수명주기 동안 13-23톤 CO2 저감

72020-2025년 기간에 자동차 부문의 알루미늄 수요가 두 배로 커질 것으로 전망

“기본 자재 배출량이 더 높은 전기차의 시장 점유율이 증가하고 있고, 이를 구동하는 데 필요한 에너지 사용량이 변화함에 따라 현재 차량 수명주기 배출량의 18%인 자재 배출량이 2040년까지 60% 이상으로 증가할 것”

이러한 추세는 한국 내수시장에서도 관찰된다. 지난 3년 동안 비내연기관 차량의 점유율은 4배 증가했다(GRK 2020, 42). 2020년 전기차 수출은 12만 1825대로 60.1% 증가했고 내수 판매는 2만 5691대로 62% 증가했다(MOTIE 2021). 내국인의 57%가 다음 자동차로 비내연 엔진 차량을 구입할 계획이라고 답하는 등 국내 전기차 시장은 더욱 성장할 것으로 보인다(Deloitte 2021,5).

교통 수단이 한국 온실가스 배출량의 14%(GRK 2020, 9) 그리고 대기 미립 물질의 13%(GRK 2020, 74)를 차지하는 가운데 무공해 차량으로의 전환은 한국 정부의 친환경 전환 계획의 중심 축을 형성한다. 탄소중립 전략에서 정부는 “친환경 자동차에 대한 내수 수요를 높이기 위한 다양한 인센티브 프로그램을 마련하면서 친환경 자동차 생산에 대한 기술 혁신에 집중 투자해 2030년까지 세계에서 가장 경쟁력 있는 미래 모빌리티 산업”을 구축한다는 목표를 세웠다(GRK 2020, 42). 지난 5년 동안 전기차 구매 보조금은 63억 3000만원으로 9배 가까이 증가했으며(GRK 2020, 42), 2021년에는 전기차 및 충전 인프라를 지원하기 위해 1 조 2000억원 이상이 배정되었다(MoE 2021a). 정부는 이러한 차량이 새로운 공공 부문 구매의 80%를 차지할 것이며 민간 기업은 차량의 100%를 저공해 및 제로 배출 차량으로 전환하는 K-EV100 프로젝트에 참여하도록 유도할 것이라고 말했다 (MoE 2021b). 한국 당국의 최종 목표는 전기차와 수소 연료 전지차가 2030년까지 신차 판매량의 3분의 1을 차지하고, 전기차 3백만 대와 수소차 85만 대가 도로를 운행하는 것이다(GRK 2020, 76).

이 목표를 달성하기 위해, 한국 정부도 2025년까지 50만 곳의 충전소를 갖추는 것을 목표로 전기차 충전 인프라에 대규모 투자를 하고 있다(Kang 2020). 2022년부터는 신규 건물에 의무적으로 정해진 수의 충전소를 설치해야 한다(Kang 2020).

전기차로의 글로벌 전환은 알루미늄 수요의 주요 동인이 될 것으로 예상되는데, 이는 알루미늄의 경량 특성에 기인한다. 자동차 생산에 사용되는 알루미늄 1kg이 강철 2kg을 대체할 수 있다(Fitzpatrick, Hyondowitz & Snowdon 2020, 9). 이것은 차량 무게가 100kg 줄면 전기차의 주행 거리는 10-11% 증가하고 배터리 비용은 20% 감소한다는 점을 고려할 때 중요한 요소이다(Stall 2020). 기후 측면에서 볼 때, 알루미늄의 경량 특성은 차량 수명주기 동안 강철을 대체한 알루미늄 1톤당 13-23톤의 CO2를 저감할 수 있다는 것을 의미하고(Fitzpatrick, Hyonowitz & Snowdon 2020, 9), 차량 크기가 증가함에 따라 환경적 영향은 더욱 뚜렷해진다. 이러한 요인을 조합해보면, 전기차에 사용하는 알루미늄의 평균 양이 내연 엔진 차량보다 30% 더 많다는 것을 의미한다(Desai 2020).

전기차에 필요한 알루미늄의 양이 많아지면 수요 역학에 상당한 영향을 미치게 된다. Wood Mackenzie는 자동차 부문의 알루미늄 수요가 2020년에서 2025년 사이에 거의 두 배가 될 수 있으며, 자동차 업계가 전체 프라이머리 알루미늄의 3.3%를 소비할 것으로 예측했다(Desai 2020). 이 같은 성장 추세는 2020년대 후반기에 가속화되어 오는 2030년 자동차 제조업체의 알루미늄 수요가 2017년 대비 10배 이상 늘어날 것으로 전망된다(Dinsmore 2018). 이 시나리오를 따르면, 도로 운송 부문은 지금부터 2030년까지 알루미늄 총 수요 증가의 약 1/4을 차지할 수 있다(Jones et al. 2019, 19). 글로벌 알루미늄 수요 추세를 반영할 때, 2020-2025년 국내 자동차 분야의 알루미늄 소비가 709kt로 27% 이상 증가할 것으로 예상된다(En+ Group / CRU 2021).

저탄소 자재가 사용되지 않은 경우, 자동차 부문의 알루미늄 수요가 가속화되면 기후에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 현재 자동차 산업 배출량의 18%가 자재 생산에서 발생한다. 그러나 맥킨지가 지적한 바와 같이, 전기차로의 전환에 따른 배기관 배출 감소는 “차량 자재에서 배출되는 배출량이 절대적으로 그리고 상대적으로 증가하면서 조만간 수명주기 배출량의 더 큰 부분을 차지하게 될 것”을 의미한다. 맥킨지는 “기본 자재 배출량이 더 높은 전기차의 시장 점유율이 증가하고 있고, 이를 구동하는 데 필요한 에너지 사용량이 변화함에 따라 현재 차량 수명주기 배출량의 18%인 자재 배출량이 2040년까지 60% 이상으로 증가할 것”이라고 추정한다(Hannon et al. 2020).

27%
2025년까지 한국
자동차 부문 알루미늄
소비 증가율 전망

자동차 부문의 자재 사용에서 발생하는 배출 증가는 상당한 위험이지만, 잠재적 기후 영향을 완화하기 위한 효과적이고 실용적인 경로가 존재한다. 맥킨지가 분석한 결과에 따르면, 2030년까지 업계는 자재 생산에서 배출되는 66%를 추가 비용 없이 줄일 수 있을 것으로 보인다. 또한 맥킨지는 이러한 비용에 긍정적인 탈탄소화 접근방식의 60%는 알루미늄 또는 플라스틱을 사용하며, 재활용 자재나 저탄소 제련소에서 생산한 알루미늄을 사용하면 배출량의 73% 이상을 줄일 수 있다고 언급한다(Hannon et al. 2020). 주요 영향은 현재 En+ Group과 Rio Tinto-Alcoa의 합작 투자에 의해 개발되고 있는 불활성 양극 제련 기술에서 나올 수 있다. 이러한 제련 방식은 탄소가 아닌 백금 또는 흑연으로 만든 양극을 사용하므로 알루미늄 생산 공정에서 열화되지 않는다. 그 결과, 산소는 이산화탄소가 아닌 부산물로 생성된다. 이 기술이 산업 전체에 미칠 잠재력은 올해 4월 En+ Group이 공정 배출량이 0.01tCO₂/tAl에 불과한 알루미늄을 생산하면서 입증되었다(En+Group 2021). 맥킨지는 불활성 양극 기술이 출시되면 차량당 0.4톤의 CO₂를 제거할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 맥킨지 분석에 따르면, 저탄소 자재로 전환하는 데 드는 비용이 상대적으로 낮기 때문에 자동차 제조업체에게 이로 인한 인센티브가 주어진다면 공급업체에 저탄소 자재를 요구하도록 촉진할 수 있다.

90%
소비자는 지속가능한
자재를 전기차의
중요한 요소로 인식

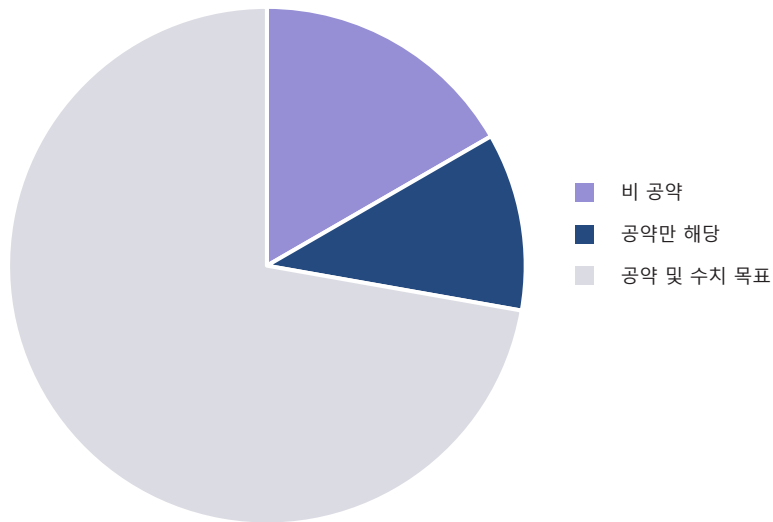
전환에 대한 인센티브는 이미 소비 심리 변화에서 뚜렷하게 나타나고 있다. 맥킨지가 실시한 글로벌 설문 조사에 따르면, 소비자의 90% 이상이 지속 가능한 자재를 전기차의 중요한 요소로 간주한다고 답했으며 이중 약 60%는 이에 대해 보통 또는 매우 중요하다고 답했다(Garibaldi et al 2021). 저배출 제조 및 폐자재 재활용보다 지속 가능한 재료를 중요하게 평가한 응답자 비율이 아시아에서 더 높게 나타났다(Garibaldi et al 2021). 이와 대조적으로, 지속 가능한 소싱을 입증하지 못하면 전기차가 내연 엔진 차량과 비슷하거나 더 나쁜 환경 영향을 미친다고 생각하는 소비자 39%는 전기차 도입에 대한 심리적 기존의 저항을 강화할 수 있다(Deloitte 2020).

소비자 심리를 인식한 자동차 업계 경영자들은 소싱에 대한 접근방식을 빠르게 전환하고 있다. 이는 향후 장기간 경쟁력을 유지하고자 하는 한국의 알루미늄 생산업체들에게 중대한 영향을 미칠 것이다. KPMG는 전 세계 자동차 업계 경영진들을 대상으로 실시한 설문조사에서는 응답자의 98%가 지속가능성이 핵심 차별화 요소라고 생각하는 것으로 나타났다(KPMG 2020, 25). 또한, 경영진의 48%는 지속가능성을 제품 기능으로 본다고 답했으며, 이는 지속가능성 인증을 입증하는 것이 마케팅이 아닌 제품 자체에 필수적 요소라는 것을 의미한다(KPMG 2020, 24). 지속 가능한 제품 자체가 차별화의 핵심이 된다는 것은 차량은 전 수명주기에 걸쳐 지속 가능해야 하고 그렇지 않으면 그린워싱(Greenwashing)으로 비난 받을 위험이 있다는 것을 의미한다. 이러한 견해는 캡제미니(Capgemini)가 실시한 연구에 의해 뒷받침되고 있으며, 여기에서 글로벌 자동차 경영진은 지속 가능한 공급망을 5대 우선 순위로 꼽았다(Winkler et al. 2020, 11).

83%
 자동차 제조사가
 차량의 전체
 수명주기에 걸쳐 환경
 영향을 줄일 것을 약속

전 세계적으로, 이러한 경영진의 인식이 자동차 공급망을 저탄소 자재로 전환하고자 하는 가시적 행동으로 이어지고 있다. 본 백서에서 글로벌 자동차 제조업체의 지속가능성 정책을 조사한 바에 따르면, 83%가 자동차의 수명주기 영향을 줄이기 위한 구체적인 약속을 포함하고 있는 것으로 나타났다. 더불어, 이들의 약 3/4은 이에 대한 수치 목표를 가지고 있었다.⁴

수명주기 배출 저감을 위한 글로벌 OEM의 약속



업계의 궤적을 분명히 보여주는 일례로 재규어 랜드로버와 다임러와 같은 회사들은 탄소중립 공급망에 전념해왔다. 한편, 폴스타(Polestar)의 지속가능경영 책임자인 Fredrika Klarén은 비즈니스 그린(Business Green)과의 인터뷰에서 소싱에서의 완전한 투명성, 공급망 전반에 걸친 재생에너지로의 전환, 순환적이고 혁신적인 자재로 전환하려는 의지를 언급했다. Klarén이 언급한 바는, “우리는 고객이 솔루션을 요구하기를 기다리지 않고, 고객에게 매력적이고 지속가능한 제안을 제공하고 설명하는 적극적인 접근방식을 취할 것이다”(Klarén 2021).

이러한 장기적인 약속을 뒷받침하기 위해 자동차 제조업체들은 현재 알루미늄을 대상으로 한 수많은 이니셔티브를 통해 지속 가능한 소싱의 비중을 높이고자 노력하고 있다. 아우디는 올해 1월 자동차 제조업체로는 처음으로 알루미늄 스튜어드십 이니셔티브의 CoC(Chain of Custody) 인증을 받았다(Audi 2021). 독일 BMW는 올해 초 자사의 공급망에서 배출량을 20% 줄이려는 목표의 일환으로 태양전기를 이용해 알루미늄을 생산할 것이라고 발표했다. 이 회사는 재생에너지를 사용하여 제조된 알루미늄이 250만톤의 CO2를 줄일 수 있다고 믿고 있으며 이는 공급망 배출량의 3%에 해당한다(BMW 2021). 한편, 재규어 랜드로버는 음료수 캔과 폐자재의 재활용 알루미늄을 사용하여 배출량을 최대 26%까지 줄일 계획이라고 밝혔다(Meace 2020). 볼보는 유사한 접근방식을 추구하고 있으며, 알루미늄 가공업체인 노벨리스(Novelis)와 파트너십을 맺고 폐쇄 루프 재활용 시스템을 구축하여 알루미늄 시트의 배출을 78% 줄일 수 있기를 희망한다(Bloxome 2019).

이런 추세는 국내까지 확대되어 2020년 12월 현대차 그룹의 주력 파트너인 현대성우가 저탄소 알루미늄 생산업체 루살(Rusal)을 알루미늄 합금에 대한 장기적이고 우선적인 공급사로 선정했다(Rusal 2021년). 국내에서 주요 제조공장을 운영하고 있는 GM은 2035년까지 자사 차량에 최소 50%의 지속 가능한 자재 부품을 사용하겠다고

4 조사 대상 OEM 업체로는 도요타, 폭스바겐, BMW, 볼보, GM, 미쓰비시, 포드, 혼다, 다임러, 현대, 닛산, 마즈다, 스즈키, JLR, 스텔란티스, 르노, 타타 모터스, 마힌드라 등이 포함된다

약속했다.⁵ 한편 국내 제조업체인 르노삼성자동차의 지분 80%를 보유하고 있는 르노는 2010-2022년 차량 수명주기 배출량을 25% 줄이겠다고 약속하면서 2050년까지 순배출량 제로를 목표로 하고 있다.⁶

지속 가능한 소싱 이니셔티브에 전념하는 글로벌 자동차 제조업체는 국내 내수만큼 수출 시장이 중요한 한국 알루미늄 생산업체들에게 특히 중요한 고객이다. 2020년 생산량의 81%를 차지하는 플레이트와 스트립 알루미늄의 판매량은 내수시장 597kt와 수출 426kt이었다(En+ Group / CRU 2021). 수출하지 않는 알루미늄 생산업체 역시 지속 가능한 자재를 찾는 자동차 산업의 추세를 간과할 수 없다. 글로벌 경쟁 속에서 기후에 대응하는 한국 및 전세계 고객 수요에 부응해야만 하는 국내 자동차 및 자동차 부품 제조업체들 사이에서도 저탄소 자재로의 전환이 증가할 것이 예상된다.

자동차 분야에 공급하는 국내 알루미늄 생산업체의 경우, 철강 업계와의 경쟁에서 저탄소 알루미늄을 공급하기 위한 노력을 더욱 강화하고 있다. 앞서 언급했듯이, 알루미늄은 경량 특성 면에서 고강도 강철보다 우수하여 일부 자동차 부품에서 무거운 금속을 대체했다. 그러나 재료의 탄소 발자국에 초점이 맞춰짐에 따라 평균 배출 강도가 낮은 철강으로 시장의 선호가 돌아설 수도 있다. 저탄소 알루미늄만이 강철과 경쟁할 수 있는 탄소 발자국을 제공한다. 이는 자동차 제조사가 차량의 무게가 가벼울 경우 배터리가 덜 필요하므로 오염도가 높은 배터리 구성품이 덜 필요하다는 점을 고려하게 되면 저탄소 알루미늄의 환경적 성능 이점이 될 가능성이 있다. 이때 핵심 결정 요인은 기본 자재의 저탄소 생산이 될 것이다. 이를 간과하면 경량화의 장점만으로는 알루미늄이 강철류의 탄소 발자국과 경쟁할 수 없다.

한국과 해외 전기차 산업의 급속한 성장은 전세계 알루미늄 산업에 중요한 성장 기회를 제공한다. 최근 자동차 제조사들이 내놓은 시책에서 저탄소 자재가 핵심 차별화 요소가 될 것이라는 점은 분명하다. 따라서 한국의 알루미늄 생산업체들이 국내외에서 경쟁력을 유지하려면 저탄소 배출 공급망을 확보해야 한다.

친환경 건축 기조와 저탄소 알루미늄 수요

21세기의 중반을 향해 나아가는 현재 세계 인구가 100억 명에 근접함에 따라, 2060년까지 전 세계 건물 수는 두 배로 많아질 것으로 예상된다(Adams et al. 2019, 7). 현재 건물의 에너지 사용에서 배출되는 온실가스가 전세계 배출량의 39%를 차지하고 있으며, 새로운 건물의 급격한 증가는 지구 환경에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 기후 위기에 대응하기 위해 세계그린빌딩협의회(WGBC)는 건설사들에게 2050년까지 산업 전반에 걸쳐 84기가 톤의 CO2 절감을 실현하도록 압력을 가하고 있다.⁷

건물에서 발생하는 운영 배출량을 줄이고자 에너지 효율을 제고하는 데 상당한 초점을 맞추고 있지만, 건설 자재에서 배출되는 기후 영향을 줄이는 것도 시급하다. 건물과 관련한 배출량의 약 28%가 건설 자재로 내재되어 전세계 에너지 관련 총 탄소 배출량의 11%를 차지한다(Adams et al. 2019, 16). WGBC는 지금부터 2050년까지의 신규 건설로 인해 건물 에너지 배출이 계속 증가해 전체 탄소 발자국의 절반을 차지할 것으로 예측하고 있다(Adams et al. 2019, 17). 결과적으로, WGBC는 2030년까지 내재된 탄소 배출량을 40% 줄이고 2050년까지 건물, 인프라 및 개보수 작업을 통해 내재된 탄소 배출량을 0%까지 줄일 수 있도록 세계그린빌딩협의회 네트워크를 활용하고 있다(Adams et al. 2019, 16).

건설 업계의 의사 결정권자와 여러 국가의 소비자를 대상으로 한 설문 조사 결과, 내재 배출량 감소에 대해 세계그린빌딩협의회 비전과 일치하는 것으로 나타났다. 건설 업계의 설계업체, 시공업체 및 유통업체로부터 얻은 정보를 토대로 Saint-Gobain은 이들의 76%는 공급업체가 제품의 환경 영향에 대해 투명하기를 원하고 72%는 제조업체가 지속 가능한 제품을 제공하기를 원한다는 사실을 발견했다(Saint-Gobain 2018). 한편, 영국, 미국 및 독일의 소비자들을 대상으로 한 조사에서, 이들 소비자의 절반 이상이 정부가 탄소 발자국이 더 큰 건축 프로젝트에 대해 신규 허가를 거부해야

경량화의 장점만으로는 알루미늄이 강철류의 탄소 발자국과 경쟁할 수 없다.

28%

건물 관련 배출량 중 건설 자재에 내재된 탄소배출 비중

5 제너럴 모터스의 "지속가능성"에 대해서는 <https://www.gm.com/citizenship/sustainability.html>의 사이트를 참조.
 6 르노의 "탄소 발자국"에 대해서는 <https://group.renault.com/en/our-commitments/respect-for-the-environment/carbon-footprint/>의 사이트를 참조.
 7 세계 그린 빌딩 협의회의 "그린 빌딩의 혜택"에 대해서는 <https://www.worldgbc.org/benefits-green-buildings>의 사이트를 참조.

10,000
2002-2018년 G-SEED
인증 건물 수

한다고 답한 것으로 나타났다(En+ Group 2020, 10).

친환경 건축에 대한 세계적인 추세가 한국 시장에도 반영되고 있다. 건설 부문이 국내 전체 배출량의 약 7%를 차지한다(GRK 2020, 10)는 점을 인식한 한국 정부는 친환경 건축 사업을 장려할 수 있는 효과적인 시스템을 구축했다. 그 중심에는 에너지 효율과 저탄소 자재에서 물 관리 및 방음에 이르기까지 각 배점을 매겨 건물을 평가하는 국가 고유의 인증 제도인 G-SEED가 있다. G-SEED는 건물재산세과 등록세 감면, 환경개선비 지원 등 인센티브와 연계되어 있다. KEITI에 따르면, 2002년부터 2018년까지 G-SEED 인증을 받은 건물은 1만 채에 이른다. 2019년까지 다주택 건축물의 인증 비율은 28%에 달하고 학교와 상업시설이 각각 27%, 15%에 달했다(Kim et al. 2020, 2).

25%
건물의 탄소배출
감축을 목표

한국 친환경 건축의 성장은 향후 10년 동안 가속화할 전망이다. 국토교통부(MOLIT)는 2021년부터 2025년까지 시행할 제3차 건축정책기본계획에 따라 건물의 탄소 배출량을 25% 줄이는 것을 목표로 하고 있다(MOLIT 2021a). 이 계획의 핵심은 에너지 효율성과 자급식 발전을 우선시하는 건축 접근방식인 '제로에너지빌딩(ZEB: Zero-Energy Buildings)' 건설을 늘리는 것이다. 2020년부터 모든 새로운 공공 건물은 ZEB 표준에 따라 건설되며 2030년부터 500m² 이상의 개인 건물은 인증을 받아야 한다(GRK 2020, 10). ZEB의 자급자족적 측면을 지원하기 위해 2040년까지 분산형 에너지 자원 활용을 40% 증가하는 것도 목표로 하고 있다(GRK 2020, 61). 또한, 한국토지주택공사, 한국부동산공사, 한국에너지공사, 한국건설기술연구원 등으로 구성된 ZEB혁신기구가 설립되어 태양광 패널 설치와 에너지 소비 분석 등의 분야에서 연구개발을 추진하고 있다. 기존 건축물에 대해 한국 정부는 감세와 친환경 재개발 보조금을 검토하고 있다. 공공기관이 이 분야에서 앞장서서 22만 5000채의 공공주택, 학교건물 2890채, 의료센터 2000채, 문화시설 1000여 채를 재생에너지 솔루션, 개선된 건물 단열, "친환경" 건설자재로 정비한다(GRK 2020, 111).

24%
알루미늄 전체
수요량의 건설 부문
비중

글로벌 건설이 계속 확장됨에 따라 알루미늄에 대한 수요가 증가할 것으로 예상되며, 친환경 건축 기조는 점점 더 저탄소 자재로 옮겨 갈 것으로 보인다. 가볍고, 압출하기 쉽고, 내구성이 뛰어난 알루미늄은 커튼월 프레임, 창 및 파티션과 같은 분야에서 널리 사용되는 자재이다. 알루미늄의 반사 특성으로 인해 에너지 효율적인 건물에서 외장재로도 인기가 있다. 햇빛을 반사하는 외장재는 전기 조명의 필요성을 줄이고, 햇빛이 강할 때 건물을 시원하게 유지하며, 추운 날씨에 단열층을 제공해 자연광을 활용한 에너지 관리에 도움을 줄 수 있다. 또한 알루미늄 포일은 단열에서 널리 사용되는 구성 요소로서, 적외선 열을 반사할 수 있는 기능 그리고 빛과 습기에 대한 불침투성 차단 기능을 모두 제공한다.

알루미늄의 다양한 기능성으로 인해 건설 부문이 알루미늄 전체 수요의 24%를 차지한다(WEF 2020, 9). 한국에서 건설업 수요는 2020년부터 2025년까지 18% 이상 증가하여 자동차 산업 다음으로 높은 수요인 260kt에 이를 것으로 예상된다(En+ Group / CRU 2021). 한국 정부가 ZEB를 위해 에너지 자급자족에 초점을 맞춘 결과로 알루미늄의 사용은 더 늘어날 전망이다. 알루미늄은 대부분의 태양광 패널 구성요소의 85%를 차지하므로(WEF 2020, 9) 신규 및 기존 건물에 재생 가능한 발전 용량을 설치하는 데 있어서 필수적인 요소이다.

42%
목재 프레임 건물의
알루미늄 자재
탄소배출 비중

전기차의 부상과 마찬가지로 성장하는 건설 부문의 알루미늄 수요 증가는 한국의 친환경 전환에 대한 열망과 모순될 가능성이 있다. 현재 알루미늄 제조는 건설 자재 부문에서 세 번째로 높은 온실가스 배출원이다(BioNova 2020, 8). 그러나 BioNova의 최근 연구에서는 저탄소 알루미늄 선택을 통해 상당한 배출 감축을 달성할 수 있다고 시사했다. 알루미늄은 목재 프레임 건물에서 내재된 탄소 배출량의 42%를 차지하지만, 저탄소 자재로 전환하면 기후 영향을 최대 5분의 1까지 줄일 수 있다는 사실이 드러났다(BioNova 2020, 2). BioNova는 저탄소 알루미늄이 상업용 건물의 배출량을 7% 줄일 수 있고(BioNova 2020, 11) 건물 개보수로 배출량 11% 감축이 가능하다(BioNova 2020, 3)는 것을 발견했다. 또한 BioNova 연구는 알루미늄으로 만들어진 개별 건물 구성

20%

G-SEED 인증제도의
자재 및 자원 평가
배점

요소의 내재된 배출량을 조사했다. 파티션 벽, 커튼월 및 창의 경우 기존 알루미늄을 저탄소 알루미늄으로 교체하면 내재된 탄소 배출량이 각각 29%, 32%, 43% 감소했다 (BioNova 2020, 16-18).

저탄소 자재의 배출 감축 잠재력은 이미 한국의 친환경 건물 기준에 반영되어 있으며, 인증 제도의 활용이 증가함에 따라 알루미늄 생산업체의 저탄소 자재 확보가 더욱 중요해질 것이다. 현재, G-SEED 인증제도에서 자재와 자원에 대한 배점은 20%를 밑돌고 있다(Wang et al. 2019, 5). 이로 인해 저탄소 자재는 정부 조달 계약을 체결하는데 특히 중요하며, 건축 자재는 총 GPP의 거의 50%로서 가장 큰 비중을 차지한다 (UNEP/KEITI 2019, 26). 또한 건설 분야의 글로벌 고객에게 수출하는 국내 알루미늄 생산업체의 경우, 자재로 인한 배출량을 최대한 낮추는 것이 필수적이다. BioNova 연구는 “내재 탄소를 측정하고 최적화하는 것은 친환경 건물 등급 제도의 표준 요건”이며 “특히 LEED 및 BREEAM과 같은 국제 인증제도에 적용된다”(BioNova 2020, 12).

건설 부문의 지속적 성장 그리고 에너지 효율 및 분산 발전의 중요성이 증대됨에 따라 국내 알루미늄 생산업체들은 자재에 대한 강력한 시장 수요를 확보할 수 있게 되었다. 그러나 친환경 건축이 공공 부문과 민간 건설 부문에서 점점 더 확산함에 따라, 국내 생산자들은 기후 영향을 고려하는 사회 비전에 걸맞은 저탄소 자재를 확보해 차별화를 꾀해야 할 것이다.

제3장: 결론 및 제언



전기차의 부상부터 친환경 건축 붐까지, 저탄소 전환은 전세계의 알루미늄 생산업체들에게 전례 없는 기회를 제공한다. 한국 정부가 저탄소 경제에 대한 분명한 약속을 하고 산업 혁신과 공공 조달 시스템을 확립하는 등 국내 환경은 알루미늄 업계에게 특히 긍정적이다. 이런 맥락에서 볼 때, 한국의 다운스트림 알루미늄 생산업체들은 급성장하는 국내 시장과 전세계 친환경 산업으로부터의 수요 증가를 통해 이익을 얻을 수 있는 유리한 위치에 놓여 있다. 그러나, 수명주기 지속가능성과 내재적 배출을 고려하는 자동차와 건설 산업의 움직임에서 알 수 있듯이, 한국 생산업체들은 자사 제품의 기후 영향이 전세계 고객, 각국 정부 및 소비자의 환경 비전과 부합하도록 해야 할 것이다. 신속히 행동하지 않으면 경쟁에서 뒤처질 위험이 있다.

한국 알루미늄 생산업체에 대한 권고 사항

1. 공급업체와 협력하여 공급망 전체 배출량 공개를 강화한다

알루미늄 공급망에서 배출을 낮추는 것은 용이하지 않다. 공급망의 협력과 고객에게 명확한 설명이 필요하고, 즉각적인 변화가 없더라도 자재의 탈탄소화와 저탄소 경제를 향한 여정을 세우고 실행해 나가야 한다. 시작점은 알루미늄 생산업체가 공급업체에게 탄소 배출에 대한 투명성을 요구하는 것이다. Carbon Trust가 권장하는 바와 같이, 이는 알루미늄 전기분해, 알루미늄 잉곳 주조, 양극/페이스트 생산 과정에서 나오는 배출, 그리고 이러한 공정에서 소비되는 전기 및 열 발생에 따른 배출을 다루는 IA1 레벨 1 지침에 따른 배출량 공개를 전제해야 한다(CT 2020, 14). 업스트림 생산업체에서 향후 수년 내에 배출 측정에 필요한 정보를 축적하게 되면 전체 수명주기 배출량으로 공개 요건을 확대할 수 있다.

2. 공급업체에게 저탄소 생산 구조 전환을 권장하는 단계적 탈탄소화 경로를 설정한다

탄소배출 공개의 단계적 확대와 병행하여, 탈탄소화 경로는 다운스트림 알루미늄

생산업체와 공급업체 간에 협동적으로 확립될 수 있다. 업스트림 생산업체의 제련소 및 에너지 자산에서부터 전환을 시작하면서 생산업체의 외부 에너지 공급업체뿐만 아니라 알루미늄 또는 보크사이트 공급업체로 그 협력 범위를 확대할 수 있다. 석탄으로 발전한 전기를 사용해 금속을 생산하지 않는다는 명확한 기본 요건에서 더 나아가 배출 강도 그리고 궁극적으로는 알루미늄 스텐더드십 이니셔티브(ASI) 인증과 같은 지속가능성 전반에 대한 통합적 평가에 이르기까지 보다 투명한 배출 공개를 고려할 수 있다.

알루미늄 산업이 저탄소 생산 구조로 성공적으로 전환될 수 있다는 점에서 공급업체와의 협력이 바람직하다. 그러나, 공급업체들이 탈탄소화 경로를 제공하지 않는 경우, 한국의 알루미늄 생산업체들은 다수의 글로벌 공급업체가 생산하는 저탄소 자재를 공급받음으로써 친환경 전환에 대한 그들의 의지를 분명히 표명할 수 있을 것이다.

3. 가치 사슬 전체의 협업을 통해 탈탄소화를 가속화한다

탈탄소화를 향한 진전은 한국 알루미늄 업계와 공급업체 간 더욱 공고한 협력을 바탕으로 가속화할 수 있다. 주요 협력할 분야로는 공동의 연구개발, 혁신분야에 대한 투자, 재생에너지 확대와 재활용 인프라 구축에 대한 긍정적 여론 조성 등을 들 수 있다. 이러한 일련의 노력이 알루미늄 고객사의 참여를 이끄는 동력이 될 수 있다. 이러한 협력적 모델이 될 수 있는 AB인베브의 '100+ 엑셀러레이터(100+ Accelerator)⁸' 프로그램에는 유니레버, 코카콜라, 콜게이트 파몰리브 등 다수의 소비자 기업이 함께 참여하고 있다.

정책 입안자에 대한 권고 사항

한국의 알루미늄 생산업체들이 공급업체들과 협력할 수 있도록 하는 시장 인센티브가 있지만, 한국의 정책 입안자들이 이러한 전환을 돕기 위해 취할 수 있는 조치들도 있다.

1. 내재된 배출량 공개 기준을 제정하고 규정 준수에 대한 지원을 제공한다

첫째, 한국 당국은 알루미늄 구매자가 기존의 자재와 저탄소 자재를 더욱 쉽게 구별할 수 있도록 할 수 있다. 이는 특정 규모 이상의 기업에 대해 권고 또는 의무적인 배출량 공개 지침을 설정함으로써 시작할 수 있다. 여기에는 내재된 배출량과 관련된 요건이 포함되어야 하며 이를 계산하는 방법에 대한 지침도 포함되어야 한다. 이러한 정책은 자동차 산업과 같이 내재된 배출이 많은 주요 수출 산업부터 단계적으로 시행될 수 있다. 기업이 보다 투명하게 배출 정보를 공개하도록 하기 위해서는 영향도가 높은 산업에서 내재된 배출 감축 조치를 장려하는 동시에 글로벌 저탄소 수출 시장에서 경쟁할 수 있도록 지원해야 한다.

2. 공공 조달 및 친환경 인증을 통해 저탄소 알루미늄에 대한 벤치마크 표준을 제정한다

또한 당국은 공공 조달 규칙을 사용하여 저탄소 알루미늄에 대한 명확한 벤치마크 표준을 설정할 수 있다. 예를 들어, 현재 한국의 수명주기 재고 데이터베이스(LCI DB)는 제품별로 평균 배출 강도를 제공하여 수명주기 배출량 계산을 지원하는 데 사용되고 있다. 데이터베이스에는 현재 재활용 자재로 만든 알루미늄 잉곳 및 칩에 대한 특정 분야가 포함되어 있으며 저탄소 알루미늄을 포함하도록 데이터베이스를 확장할 수 있다. 이는 저탄소 알루미늄 사용에 따른 배출량 저감을 강조할 뿐만 아니라 현재 알루미늄 조달에 대한 평가 기준을 제시할 수 있다.

LCI DB 확대와 더불어, 한국 당국은 저탄소 알루미늄에 대한 특정 벤치마크를 저탄소 제품 라벨의 기존 표준과 향후의 친환경 분류법에 통합하는 것을 고려할 수 있다. 일관성을 위해, 이러한 벤치마크는 Carbon Trust가 제안한 권고안을 준수하여, IAI의 레벨 1 지침에 따라 탄소 발자국 4tCO₂/tAl을 저탄소 알루미늄에 대한 초기 표준으로 설정하고 3년 동안 의무 공시의 범위를 확대해야 한다.

종합하면, 위의 정책은 저탄소 알루미늄에 대한 차별화된 시장 구축을 지원할 것이다. 저탄소 시장의 창출은 한국 기업들이 저탄소 자재를 조달하도록 장려하고 어떤 공급업체가 올바른 기준을 충족하는지 확인하는 시간과 노력을 상당히 덜어줄 것이다.

3. 차별화된 저탄소 알루미늄 수입관세를 적용한다

마지막으로, 한국 당국은 위에서 설명한 벤치마크를 충족하는 주요 자재의 수입 관세를 철폐함으로써 한국의 알루미늄 생산업체와 최종 사용자 모두에게 저탄소 알루미늄을 더 쉽게 공급할 수 있게 할 수 있다. 현재, 무역 협정이 적용되지 않은 국가의 알루미늄 수입에 대한 관세는 비합금 알루미늄 1%에서 와이어 로드 8%까지 다양하다.⁹ 저탄소 알루미늄에 대한 관세를 낮추거나 철폐하면 한국 기업의 구매 비용을 낮출 뿐만 아니라 생산업체들에게 탄소 감축을 유도하고 지속 가능한 자재의 전반적인 가용성을 높일 수 있다.

친환경 물결은 기후 오염을 유발하는 오래된 시스템 중 많은 것을 휩쓸고 그 자리에 새로운 혁신, 즉, 지구 생태계를 강화하고 환경을 개선하며 경제적 번영을 증진시킬 수 있는 놀라운 잠재력을 가져 올 것이다. 그러나 진정한 지속 가능한 전환을 위해서는 전기차 및 친환경 건설 프로젝트를 넘어서는 협업이 필요하다. 친환경 혁신으로 인해 알루미늄과 같은 자재에 대한 수요가 급증할 것이고 이것이 지속 가능한 방식으로 공급되지 않으면 기후 정책의 많은 노력들이 무산될 수 있다. 탈탄소화에 있어서 수명주기 접근방식의 중요성은 각국 정부와 글로벌 기업에서 점점 더 인식하고 있다. 급성장하는 친환경 산업과 이를 지원하는 지속가능하고 효과적인 인증 시스템을 갖춘 한국은 자국의 알루미늄 생산 업체에게 글로벌 저탄소 전환의 기회를 포착할 수 있는 강력한 환경을 제공한다. 친환경 경제는 한국 알루미늄 산업의 성장 동력이 될 것이다. 한편 지속 가능한 사업을 위해 기업들이 저탄소 비전에 부합하는 자재를 더 많이 요구함에 따라, 생산업체들은 이러한 수요를 충족시키기 위해 공급업체들과 협력해야 할 것이다. 민간 부문이든 공공 부문이든 고객의 기후 목표와 일치하지 않으면 생산업체는 경쟁력을 잃을 수 있다. 그러나 이러한 수요를 성공적으로 주도하고 저탄소 자재를 공급할 준비가 된 기업들은 이윤을 창출하고 환경을 보호하는 데 필수적인 것이 무엇인지를 파악하여 윈-윈(win-win)할 수 있다.

참조 문헌

- Adams, Matthew, Victoria Burrows, Stephen Richardson, James Drinkwater, Christine Collin, Xavier Le Den, Lars Ostenfeld Riemann, Samy Porteron, Andreas Qvist Secher, “내재된 탄소 배출 투명성 도입(Bringing embodied carbon upfront)”, 세계그린빌딩협회, 2019, 영국 런던
- 아우디, “아우디, 자동차 제조사로는 최초로 ASI(Aluminium Stewardship Initiative)의 CoC(Chain of Custody)인증 획득”, 2021-04-01, 독일 잉골슈타트, <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/audi-is-the-first-car-manufacturer-to-be-awarded-the-chain-of-custody-the-certificate-of-the-aluminium-stewardship-initiative-13543>
- BioNova, “저탄소 알루미늄: 지속가능한 구조물 및 개조용 솔루션”, 2020, 핀란드 헬싱키
- Bloxome, Nadine, “노벨리스와 볼보 자동차, 자동차 폐쇄 루프 재활용 시스템 개발”, 알루미늄 인터내셔널 투데이, 2019-12-13, 영국 레드힐, <https://aluminiumtoday.com/news/novelis-and-volvo-cars-create-automotive-closed-loop-recycling-system>
- BMW, “사막의 태양을 가르는 힘: BMW 그룹, 태양 에너지로 생산된 알루미늄 사용”, 2021-02-02, 독일 뮌헨, <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0325353EN/harnessing-the-power-of-the-desert-sun:-bmw-group-sources-aluminium-produced-using-solar-energy?language=en>
- Carbon Trust, 저탄소 프라이머리 알루미늄 제품 사례, 2020, 영국 런던
- Deloitte, “2020 글로벌 자동차 소비자 연구”, 2020, 미국 뉴욕
- Deloitte, “2021 글로벌 자동차 소비자 연구”, 2021, 미국 뉴욕
- Desai, Pratima, “자동차 부품업체, 전기차에서 알루미늄의 역할에 주목, 로이터, 2020-07-27, 영국 런던, <https://www.reuters.com/article/us-aluminium-electric-autos-analysis-idUSKCN2451QM>
- Dinsmore, Eoin, “알루미늄 수요를 이끄는 전기차”, CRU, 2018-02-15, 영국 런던, <https://www.crugroup.com/knowledge-and-insights/insights/2018/electric-vehicles-to-transform-aluminium-demand/>
- En+ Group, “탄소 투명성”, 2020, 러시아 모스크바, <https://enplusgroup.com/en/company/glance/carbon-clarity/>
- En+ Group, “En+ Group 금속 부문, 세계에서 가장 낮은 탄소 발자국의 고순도 알루미늄 생산”, 2021-04-13, 러시아 모스크바, <https://enplusgroup.com/en/media/news/press/en-group-metals-segment-produces-record-breaking-high-purity-aluminium-with-world-s-lowest-carbon-fo/>
- Fitzpatrick, Liam, Bastian Synagowitz, Nick Snowdon, “RIO의 캐나다 알루미늄 사업에 숨겨진 가치”, Deutsche Bank Research, 2020, 독일 프랑크푸르트
- Garibaldi, Matias, Eric Hannon, Kersten Heineke, Emily Shao, “넥스트 노멀 시대에 모빌리티 투자”, McKinsey, 2021-03-04, 미국 뉴욕 <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mobility-investments-in-the-next-normal>
- Gersdorf, Thomas, Russell Hensley, Patrick Hertzke, Patrick Schaufuss, “위기 이후의 전기차: 자동차 시장 침체에도 전기차 수요가 견재한 이유”, McKinsey, 2020-09, 미국 뉴욕, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/electric-mobility-after-the-crisis-why-an-auto-slowdown-wont-hurt-ev-demand>

Gorner, Marine, Leonardo Paoli, "2020년 COVID-19 상황에서도 세계 전기차 판매가 증가한 비결", International Energy Association, 2021-01-28, 프랑스 파리, <https://www.iea.org/commentaries/how-global-electric-car-sales-defied-covid-19-in-2020>

한국 정부, 2050 탄소중립 추진전략, 2020, 한국 서울

Hannon, Eric, Tomas Nauc ler, Anders Suneson, Fehmi Yuksel, "탄소 제로 자동차: 자재 배출을 줄이는 것이 다음 과제", McKinsey, 2020-09-18, 미국 뉴욕, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-zero-carbon-car-abating-material-emissions-is-next-on-the-agenda>

국제알루미늄협회, 2050년까지의 알루미늄 부문 온실가스 배출 경로, 요약본, 2021a, 영국 런던

국제알루미늄-협회, 2050년까지 알루미늄 부문 온실가스 배출 경로, 정책 방침서, 2021b, 영국 런던

강윤승, 더 많은 전기차 충전소를 건설하고 구매에 대해 인센티브를 제공하는 한국, Yonhap, 2020, 한국 서울, <https://en.yna.co.kr/view/AEN20201030002500320>

김한기, 전상섭, Amina Irakoze, 손기영, "부동산 가격에 따른 공동주택의 친환경 건물 편익에 관한 연구: 한국의 비수도권 사례", 지속가능성, MDPI, 12(6), 2206, 2020, 스위스 바젤

Klarén, Fredrika, "자동차 산업 재창조: 변화의 동인으로서의 투명성", Business Green, 2021-02-16, 영국 런던, <https://www.businessgreen.com/opinion/4027232/reinventing-car-industry-transparency-driver-change>

KPMG, "2020 글로벌 자동차 경영진 설문 조사", 2020, 캐나다 토론토,

이희수, "한국, 미국의 압력 상승으로 석탄 발전 자금 조달 중단", Bloomberg, 2021-04-22, 한국 서울, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-22/south-korea-shuns-coal-power-financing-amid-rising-u-s-pressure>

Lim, Amanda, "'플라스틱 용기 회수와 재활용 캠페인: 한국의 2025년까지 전체 화장품 용기의 10% 재활용 목표 계획", Cosmetics Design Asia, 2021-01-13,

<https://www.cosmeticsdesign-asia.com/Article/2021/01/13/Korea-actions-new-scheme-to-aid-goal-of-recycling-10-of-cosmetic-packaging-by-2025>

Mace, Matt, "알루미늄 재활용을 통해 재규어 랜드로버가 배출량을 1/4까지 줄일 수 있습니다.", edie, 2020-08-21, 영국 이스트그린스테드, <https://www.edie.net/news/5/Recycled-aluminium-to-help-Jaguar-Land-Rover-reduce-emissions-by-a-quarter/>

한국 환경부, "환경부 2021년 예산 및 기금: 11조 1715억 원 편성", 2020-12-02, 한국 서울, <https://eng.me.go.kr/eng/web/board/read.do?pagerOffset=10&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=461&orgCd=&boardId=1427370&boardMasterId=522&boardCategoryId=&decorator=>

환경부, "2021년 정부 업무 보고서: 『회복포용도약, 대한민국 2021』 - 국민이 체감하는 성과, 미래를 준비하는 탄소중립", 2020-12-01, 한국 서울, <https://eng.me.go.kr/eng/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=461&orgCd=&boardId=1431530&boardMasterId=522&boardCategoryId=&decorator=>

한국 국토교통부, "건축 정책을 통해 일상생활의 가치를 높이고 삶이 행복한 도시를 만들겠습니다", 2021-02-16, 한국 서울, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmepage=7&id=95085181

한국 국토교통부, "제로에너지건물(Zero Energy Building: ZEB) 혁신을 위한 전담조직

(TF) 발족”, 2021-02-02, 한국 서울, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=10&id=95085140

한국 통상산업자원부, “2020년 친환경차, 내수 수출 모두 역대 최대 판매 기록”, 2021-01-14, 한국 서울, https://english.motie.go.kr/en/pc/pressreleases/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=826&bbs_cd_n=2¤tPage=1&search_key_n=&search_val_v=&cate_n=

Rusal, “Rusal, 현대성우의 우선 공급사로 선정”, 2020-12-17, 러시아 모스크바, <https://rusal.ru/en/press-center/press-releases/rusal-becomes-a-preferred-supplier-to-hyundai-sungwoo/>

Saint-Gobain, “Saint-Gobain의 점수”, 2018, 프랑스 파리

Stall, Robert, “모빌리티 발전이 광업 및 금속 부문에 어떻게 변화시키는가”, EY, 2020, 영국 런던
유엔환경계획, 한국 환경산업기술원, 한국의 친환경 공공 조달: 10년간의 발전과 습득된 교훈, 2019, 프랑스 파리

왕성조, 태성호, 김낙현, “한국 G-SEED 자재 · 자원 기반 녹색건축 자재 통합 플랫폼 개발”, 지속가능성, MDPI, 11(23), 6532, 2019, 스위스 바젤

Winkler, Markus, Caroline Segerstéen Runervik, James Robey, Philippe Vié, Sebastian Tschödrich, Florent Andrillon, Amol Khadikar, Jerome Buvat, Shahul Nath, Gaurav Aggarwal, “지속가능성 시대의 자동차 산업”, Capgemini, 2020, 프랑스 파리

세계경제포럼, “기후 영향을 줄이는 알루미늄: 알루미늄 산업의 탈탄소화 경로 탐색”, 2020, 스위스 제네바