IRENA
International Renewable Energy Agency

재생에너지를 통한

탄소 배출 제로 달성 방안

지구 온도 1.5 °C 상승 억제 목표에 따른
산업 및 수송 부문의 탄소 배출 제거

요약본

☞ 국제재생에너지기구(IRENA)의「Reaching Zero with Renewables - Summary」보고서('20.9월 발표)를 **한국에너지정보문화재단에서 번역**한 내용입니다.

☞ 출처 : IRENA (2020), A summary of Reaching zero with renewables: Eliminating CO2 emissions from industry and transport in line with the 1.5°C climate goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. (https://bit.ly/2Jlum0N)

IRENA
International Renewable Energy Agency

KEIA 한국에너지정보문화재단
Korea Energy Information Culture Agency

주요내용

지구의 평균 기온 상승을 1.5 ℃ 이내로 제한하려면 2050년 초까지 경제 모든 부문에서 이산화탄소(CO_2) 배출 제로(0) 목표를 달성해야 한다. 그렇게 하려면 특히 에너지 집약 산업 및 수송 부문에서 상당한 기술적, 경제적 도전과제가 야기된다.

이제 더 이상 이 도전과제를 간과할 수 없다. 신속한 탈탄소화를 촉구하는 파리 협정은 전 세계 탄소 배출의 주요 원천인 에너지 부문에 주목해 왔다. 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 최신 연구에 따르면, 전 세계 기후 위협에 의미 있게 대응할 수 있는 기회가 급속히 사라지고 있다고 한다.

그렇기 때문에 부분적 탄소 배출 감축안만으로는 충분하지 않다. 정책 입안자와 산업 투자자는 배출 제로 목표 달성을 위한 방안을 확대하는 데 집중해야 한다. 이는 대부분 재생에너지 기술에 달려있다.

탈탄소화 추진에 가장 큰 장애물은 에너지 집약도가 가장 높은 4개의 산업 및 3개의 주요 수송 부문이다. 주요 정책이 지금 당장 바뀌지 않는다면 이 7개 부문은 2050년 에너지 및 산업 공정 관련 탄소 배출량의 38%, 최종 에너지 소비의 43%를 차지할 수 있다.

에너지 집약 산업 부문

철강 | 화학 및 석유화학 제품 | 시멘트와 석회 | 알루미늄

에너지 집약 화물 및 장거리 수송 부문

도로 화물 | 항공 | 해운

재생에너지를 통한 탄소 배출 제로 달성 방안(*Reaching zero with renewables*) 보고서는 해당 부문에 적용 가능한 최적의 심층적인 탈탄소화 방안에 대한 개요서이다. 국제재생에너지기구(International Renewable Energy Agency, IRENA)에서 작성한 이 보고서는 산업화 이전 수준과 비교하여 21세기 지구의 기온 상승을 1.5℃이내로 제한하려는 목표를 지원하는 데 그 목적이 있다.

오늘날까지 해당 부문의 탈탄소화는 더디게 이뤄졌다. 그러나 최근 몇 년간 두 가지 변화를 통해 탄소 배출 감축량과 속도가 개선되었다. 먼저, 관련 도전과제에도 불구하고 전 세계에서 모든 부문 전반에서 심층적인 탈탄소화가 필요함을 인식하게 되었다.

둘째, 재생에너지 비용이 꾸준히 지속적으로 절감됨에 따라 선택할 수 있는 기술 선택의 범위가 확대되고 있다.

배터리 및 다른 활성화 기술(enabling technology)과 함께 재생에너지 기술이 모든 국가에서 탈탄소화 적용 범위를 확대하는 데 효과적이고 비용합리적임이 입증되었다. 에너지로 직접 사용되든 공급원료로 사용되든 재생에너지는 그 어느 때 보다 큰 잠재력을 보여주고 있다. 이에 따라 재생에너지는 탄소 배출 제로 달성에 있어 결정적인 역할을 하게 되었다.

5가지 방안을 조합하여 적정 규모로 적용하면 산업 및 수송 부문의 CO_2 배출량을 제로(0)로 감소시킬 수 있다.

그러나 이중 어느 방안도 상업적으로 성숙되거나 광범위하게 활용될 단계에 있지 않다. 잠재력과 최적의 활용은 여전히 불확실하며 어느 것도 규모를 확장하기가 쉽지 않다. 그 이유는 다양하고 복잡하다. 새로운 기술과 공정에 소요되는 높은 비용, 수요에 앞서는 인프라 구축 필요성, 고도로 통합된 기업체와 오랜 관행, 비균등한 대규모 장기 투자 요구, 탄소 측정 방법 간 격차 외에도 선발주자(First-movers)는 추가비용과 그에 따른 "탄소 누출(carbon leakage)" 로 인해 (경쟁사에 유리하게 작용할 수 있는) 사업 리스크 부담을 지게 된다는 점을 들 수 있다.

이 도전과제들을 다루려면 지금보다 훨씬 더 많은 관심과 창의성이 필요하다. 또한 부문별 및 전 부문을 아우르는 전반적 조치가 시급히 마련되어야 한다. '탄소 배출 제로'라는 명확한 최종 목표를 달성하기 위해서는 산업 및 수송 부문의 재생에너지 기반 전략이 첫번째 단계가 되어야 한다.

이는 결국 ❶수요 감축과 에너지 효율, ❷재생에너지, ❸재생 열에너지와 바이오연료, ❹그린수소와 합성연료(e-fuel) 및 ❺탄소 제거 기술을 기반으로 하는 지역·국가·국제 차원의 상호연계된 부문별 전략이 필요하다. 우리가 목표로 하는 CO_2 배출 감축량의 80% 이상을 수요 감축 및 에너지 효율 향상을 접목한 재생에너지로 해결할 수 있다 .

재생에너지를 통한 탄소 배출 제로 달성 방안

정책 입안자를 위한 개요

재생에너지를 통한 탄소 배출 제로 달성 방안 정책 입안자를 위한 개요

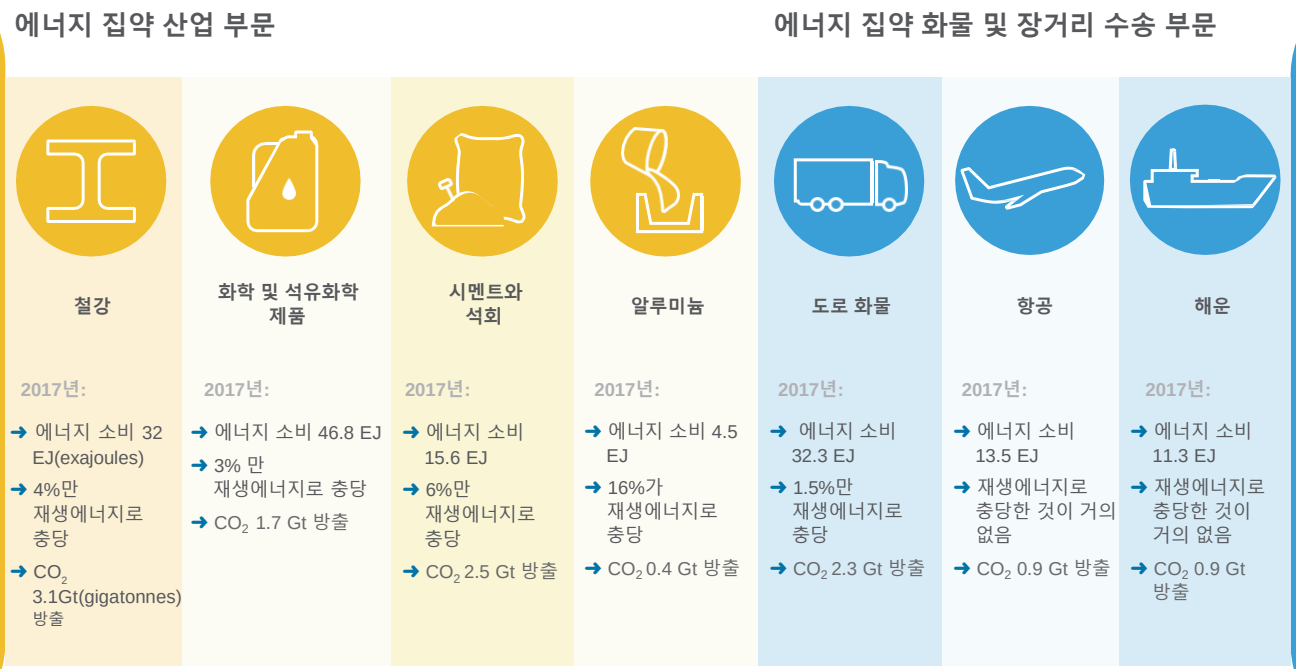
목표에 집중하기

지구 평균 기온 상승을 산업화 이전 수준 대비 1.5 ° C 이하로 제한하려면, 2050년 초반까지 경제 모든 부문의 이산화탄소(CO_2) 배출 제로(0)를 달성해야 한다. 이는 특히 일부 산업 및 수송 부문에서 매우 어려운 도전과제가 될 것이다. 탄소 배출 제로를 달성하려면 지금까지와는 완전히 다른 사고방식이 필요하다. 부분적 감축 조치만으로는 충분하지 않으며 이 중 일부는 제로(0) 달성에 오히려 방해가 될 수도 있다. 정책 입안자와 산업 투자자는 배출 제로 목표 달성을 위한 몇 가지 방안을 점진적으로 확장하는 데 차질 없이 주력해야 한다.

이 보고서에서 논의된 옵션 대부분은 20년 이상 논의와 실험의 대상이 되어왔지만 대부분 보급되지 못했고, 일부 개선만 이루어졌다. 그러나 최근 (최소 향후 10년 내) 패러다임을 변화시키고 훨씬 더 빠른 성과를 이루어낼 것으로 기대되는 두 가지 변화가 일어났다. 첫째, 그 실행 과정의 난관이 예상됨에도 불구하고 모든 부문에서의 심층적인 탄소배출 감축이 필요하다는 것에 대한 강력하고 광범위한 인식이 생겨나고 정치적 합의가 확대되고 있다. 둘째, 재생에너지 및 배터리 등 일부 활성화(enabling) 기술이 상당히 발전했으며 모든 국가와 다수 응용 분야에서 신뢰 가능하고 점차 적용가능한 옵션으로 입증되었다는 점이다.

재생에너지와 재생공급원료는 탄소 배출 제로 목표 달성을 위한 경로의 핵심이 될 것이다. 지난 10년간 급격히 감소한 재생에너지 비용 뿐만 아니라 추가적인 비용 절감과 규모 확장에 대한 잠재력으로 재생에너지 활용은 이전에는 고려되지 않았던 옵션으로도 확장될 것이다. 이 보고서에서 보여주듯이 재생에너지의 잠재력은 기존의 분석보다 훨씬 더 많이 확인되고 있다. (태양광, 풍력, 해양에너지, 지열 에너지에서 생산된) 재생에너지 전력 및 (바이오매스와 합성 연료를 생산하는 재생에너지 전력에서 발생한) 재생 열에너지 및 재생 연료 는 산업 및 수송 부문의 에너지 수요를 해결할 수 있으며, 바이오매스 및 합성 재생 연료는 산업용 공급원료를 제공하여 화석 연료를 대체할 수 있다. 재생에너지 기반 해결책은 지금까지 필요한 만큼 충분히 엄격하고 긴급하게 검토되지 않았다.

전력, 승용차 등 일부 부문에 대한 해결책과 정책안은 (여전히 도전과제이긴 하지만) 비교적 분명해보이는 반면, 그외 7개의 산업 및 수송 부문의 탈탄소화는 가장 실행하기 어려운 과제로 보인다. 주요 정책이 바뀌지 않는다면 해당 7개 부문(아래 그림 참조)은 2050년까지 에너지 및 공정 탄소 배출량의 38% 및 최종 에너지소비의 43%를 차지할 것이다. 모든 경우에 재생에너지의 역할은 앞으로 훨씬 확대될 것이다. 재생에너지 부문은 향후 수십 년 내 에너지와 공급원료의 주요 원천으로 성장할 것이고, 이 7개 부문 전반에 요구되는 직접 배출 감축량의 약 2/3에 기여할 수 있을 것이다.



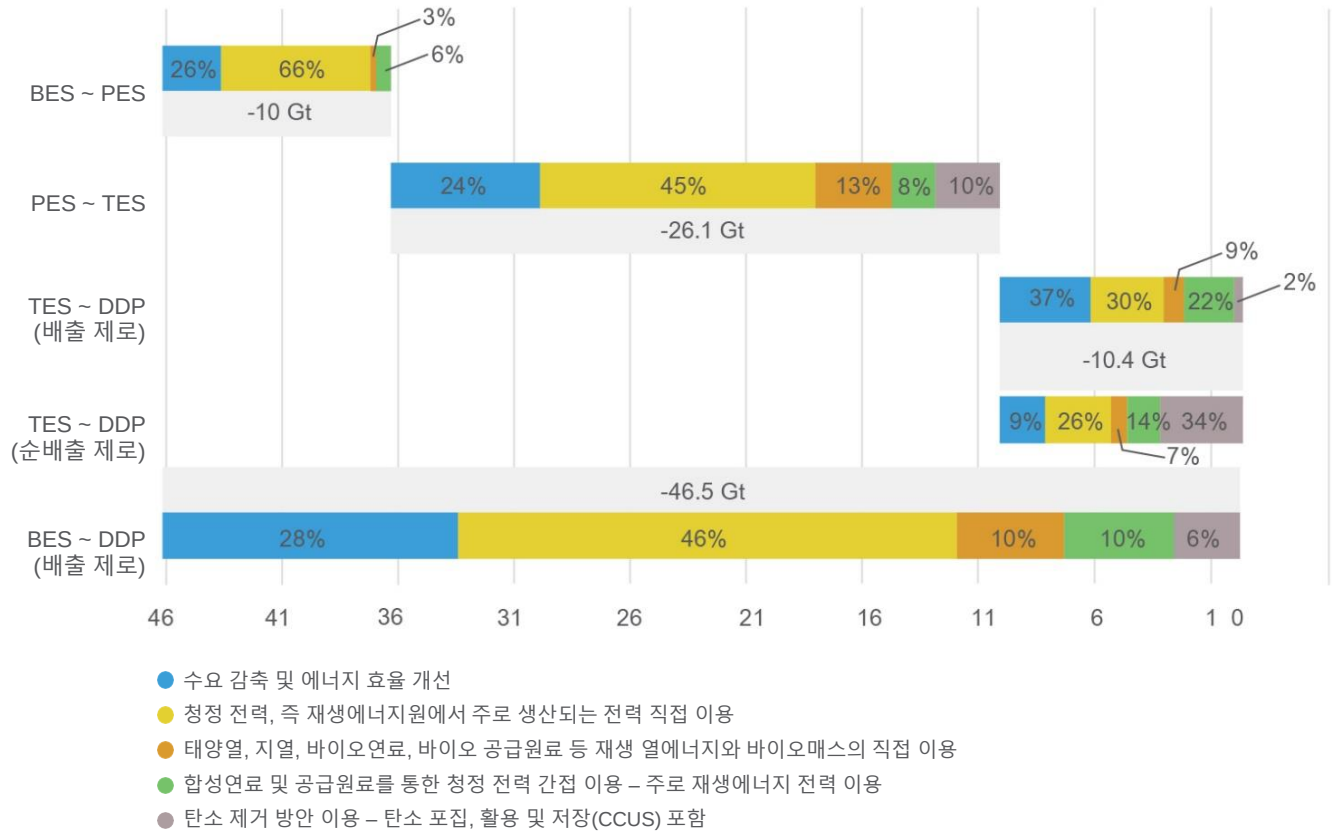
부문별 잠재적 해결책은 어느 것도 상업적으로 성숙되거나 광범위하게 적용될 단계에 이르지 못했으며, 잠재력과 최적의 이용에 있어서도 불확실성이 다수 남아있다. 제품의 전수명주기를 적절히 고려하지 않아 옵션 분석이 종종 너무 단절되어 있고, 부문간 상호의존성, 시너지 및 상충 효과에 대한 이해가 부족하다. 심층 분석과 토론 외에도 증거와 경험을 구축하기 위한 시범 프로젝트를 늘려야 한다. 향후 10년간 모든 이해관계들이 이러한 프로젝트를 더욱 우선시하고, 더욱 신속하게 규모를 확대해 나가야 한다.

이 보고서에서는 무엇이 가능한지에 초점을 맞춰 살펴보고 있다. 즉, 전 세계가 2060년까지 주요 산업 및 수송 부문에서 탄소 배출 제로를 달성할 수 있는 방법을 검토하고 이를 수행하기 위한 재생에너지 기반 기술의 잠재적 역할을 평가하는 데 주력한다. 또한 기술 내용을 이해하기 쉽게 개괄적으로 설명하고, 최신 주요 인사이트와 데이터를 제공한다. 현재까지 IRENA의 기술 분석 전반에 걸친 인사이트와 함께 옵션의 현황, 도전과제, 비용과 잠재력 등 주요 세부정보에 대한 현 전문가들의 의견을 통합하여 요약 소개한다. 또 세부적 논의가 추가로 필요한 곳과 추가 세부 작업을 위해 주목해야 하는 지식 격차를 명시한다. 그렇게 함으로써 이 보고서는 정책입안자와 기타 이해관계자 간에 필요한, 더욱 포괄적이고 정보에 입각한 논의의 출발점이 될 수 있다.

2060년까지 탄소 배출 제로 달성

2020년 4월에 발표된 IRENA의 글로벌 재생에너지 전망(*Global renewables outlook*) 보고서 (IRENA, 2020a)는 지구 기온 상승을 2℃ 미만으로 제한하는 목표에 입각한 2050년 에너지전환 시나리오(TES)에 초점을 맞추었다. 그러나 이 보고서는 이를 넘어서 에너지 관련 및 산업 공정 CO_2 배출 제거에 필요한 추가적 저감 방안도 모색하였다. 이러한 심층 탈탄소화 관점(Deeper Decarbonisation Perspective, DDP)은 완전한 시나리오는 아니지만 2060년까지 에너지와 산업 공정 관련 CO_2 배출 제로(0)를 달성하기 위해 촉진해야 할 행동 영역에 관한 지침을 제공한다. 아래 그림에서 하단의 막대 표시는 다양한 탄소 배출 감축 방안에 대한 DDP 분석을 요약한 것이다. 이 보고서는 산업화 이전 수준 대비 지구 기온 상승을 1.5 ℃로 제한하기 위한 전제조건인 DDP를 실현할 수 있는 방법을 모색한다.

재생에너지를 통한 탄소 배출 제로 달성 방안



(재단 주)
1) BES(Baseline Energy Scenario) : 기준치 에너지 시나리오('15년 파리협약 2℃ 이하 억제를 목표로 한 소극적 시나리오로, 금세기 후반 지구 기온은 3℃ 이상까지 상승 예측)
2) PES(Planned Energy Scenario) : 계획된 에너지 시나리오(BES를 기반으로 각 국가에서 세운 시나리오, 금세기 후반 지구 기온 약 2.5 ℃ 까지 상승할 것으로 예측)
3) TES(Transforming Energy Scenario) : 에너지전환 시나리오(IRENA에서 제시하는 재생에너지 확대 기반의 공격적인 시나리오, 1.5 ℃ 제한을 목표로 하며 2100년 지구 기온 상승 2 ℃ 를 훨씬 밑돌 것으로 예측),
4) DDP(Deeper Decarbonisation Perspective) : 보다 심층적인 탈탄소화 관점(에너지 관련 및 산업 공정에서 발생하는 모든 탄소배출을 제로화하는 전망으로 빠르면 2050년 또는 늦어도 2060년까지 탄소 배출량을 제로(0)로 감소시키게 되며, 2100년까지 지구 평균기온 상승을 1.5 ℃ 미만으로 억제)

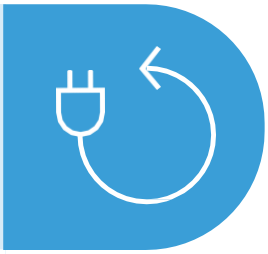
이 보고서에 논의된 각 부문은 배출 감축 전략을 모색하는 초기 단계에 있지만, 검토 중인 다수 옵션은 탄소 배출을 부분적으로 감축할 것이며, 궁극적으로 제로(0)에 도달하는 데 충분하지 않다. 자원과 시간을 낭비하거나 탄소 배출량 고착화를 방지하기 위해 수행해야 할 옵션을 평가할 때 CO_2 배출 제로라는 최종 목표에 더 명확히 주목할 필요가 있다. 궁극적으로 배출 제로 또는 배출 근접 제로로 이어질 수 없는 기술과 공정은 배출 제로로 이어지는 솔루션의 도전과제를 해결하는 데 도움이 되거나 향후 40년 내 대체되는 등 성공적인 배출 제로 솔루션 구현에 발판이 되는 경우에만 추진할 가치가 있다.

이 기준이 적용될 경우, 각 부문에서 현재 구상된 옵션 중 극소수만이 CO_2 배출 제로 목표와 일치한다. 해당 옵션은 다음의 부문별 장(chapter)을 참조한다.

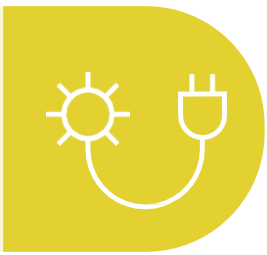
접근방식은 부문별로 다르지만 대부분의 탄소 배출량은 5가지 "배출 감축 방안"의 조합을 통해 감축되며, 그 중 3가지는 주로 재생에너지에 의존한다.

보고서에서 부문별 해당 방안의 적용을 살펴보겠지만, 다양한 다른 요인과 동향 또한 방안 실행에 도움이 될 수 있다. 그 중 핵심은 재생에너지 비용의 지속적 감소 외에 더욱 폭넓은 전기화(electrification)의 가능성을 열어주는 급속히 확장 중인 보급(deployment) 부분이다. 동시에 산업 및 수송 부문 탄소 배출 감축에 기여하는 태양광 및 풍력 등 가변재생에너지(VRE) 공급원의 비중을 높이기 위한 수단으로서 수요 부문 유연성(flexibility)의 가치 또한 점차 주목받고 있다. (해당 유연성에 대한 잠재력은 IRENA의 2019년 *재생에너지 미래를 위한 혁신 전망*(*Innovation landscape for a renewable-powered future*)(IRENA, 2019a) 보고서 및 곧 발표될 *재생에너지를 통한 전기화*(*Electrification with renewables*): *에너지 서비스 전환 추진*(*Driving the transformation of energy services* (IRENA, 출간 예정 a) 보고서에서 다룬다.)

수요 감축 및 에너지 효율 개선
에너지 효율, 행동과 공정 변화, 재배치 및 순환 경제 원칙 적용 등 광범위한 조치를 통해 에너지와 연료에 대한 수요 및 이용 강도를 감소시킨다.

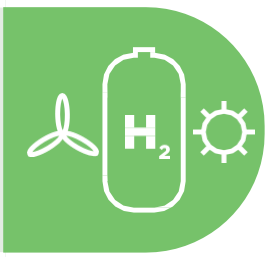


청정 전력 직접 이용 –
재생에너지 공급원에서 주로 생산
전적으로 재생에너지에서 공급되는 청정 전력을 직접 사용한다. 기존 화석 연료 기반 전력 사용을 대신하고, "전기화(electrification)"를 통해 기타 에너지 수요를 대체할 수 있다.

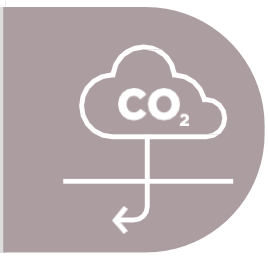


재생 열에너지와 바이오매스 직접 이용–
태양열, 지열, 바이오연료 및 바이오 공급원료 포함
에너지 및 공급원료 목적으로 재생에너지를 직접 활용한다. 일부 열에너지로써 태양열과 지열 이용뿐만 아니라 열에너지로서 바이오 에너지 직접 이용 및 바이오연료와 바이오 공급원료의 생산과 이용을 통한 지속가능한 바이오매스 이용도 포함한다. 탄소 포집 저장 기술과 바이오매스 조합(BECCS)도 이에 포함될 수 있다.

합성연료 및 공급원료를 통한 청정 전력 간접 이용 –
주로 재생에너지 전력 이용
수소로부터 에너지와 공급원료를 공급 받거나, 비(非) 화석연료 공급원에서 포집된 CO_2를 이용해서 생산한 수소로부터 연료나 공급원료를 공급 받는다. 수소는 "청정"해야 하며 가능한 재생에너지로부터 공급되는 "그린수소" 여야 한다.



이산화탄소 제거 방안 활용 –
탄소 포집, 활용 및 저장(CCUS) 포함
화석 연료 기반 에너지 생산 또는 기타 공정에서 발생하는 대부분 또는 모든 CO_2 배출을 포집하고 포집된 CO_2 를 영구적으로 저장하거나 향후 방출되지 않는 방식으로 CO_2 를 활용해야 한다. 특히 화학 공급원료나 연료 생산용으로 "블루" 수소 생산 또는 공정이나 대기로부터 CO_2 포집을 들 수 있다.



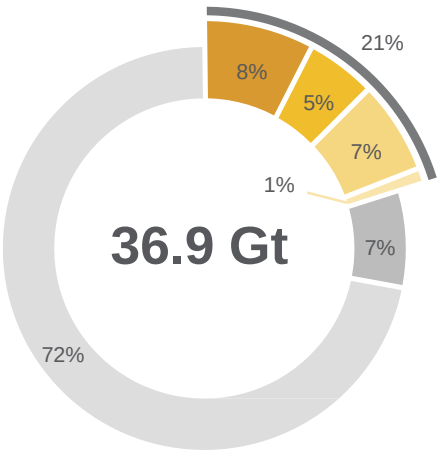
비고: 일부 특정 부문에서는 기타 다른 전략도 도움이 될 것이다. 가령, 클링커(clinker) 교체, 대안 건축 자재 이용 또는 재생에너지 자원 활용을 높이기 위한 공장 이전 등을 들 수 있다.

기타 긍정적 요인과 동향은 다음과 같다. 일부 산업 공정 유연성의 재배치, 저비용 재생에너지로의 접근이 가장 용이한 곳으로 이전 가능성을 확장, 지속적인 기술 개선과 꾸준한 비용 절감 잠재력을 가진 그린수소의 성장 동력, 배터리 가격 하락과 급성장하는 전기 승용차 공급망 그리고 전기차 공급망 성장이 전기 트럭에 미칠 잠재적 파급 효과 등이 있다.

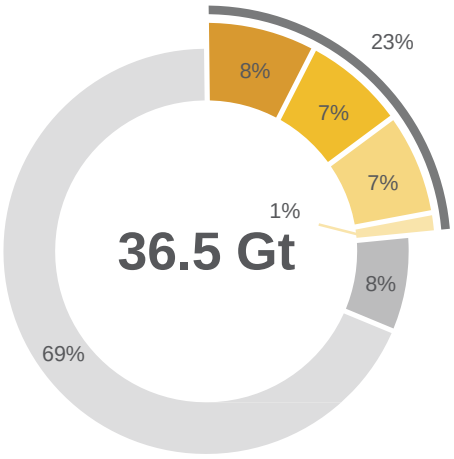
보고서에서 살펴본 이러한 동향은 산업과 수송 부문의 탄소 배출 제로 목표 달성 가능성을 더욱 높여준다.

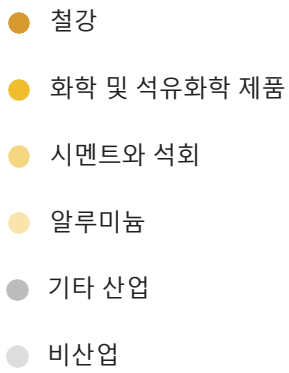
산업 개요

에너지와 산업 공정 관련
전체 CO_2 배출량의 산업별 비중
(2017년, Gt)



PES 기준 에너지 및 산업 공정 관련
전체CO_2배출량에서 산업별 비중
(2050년, Gt)



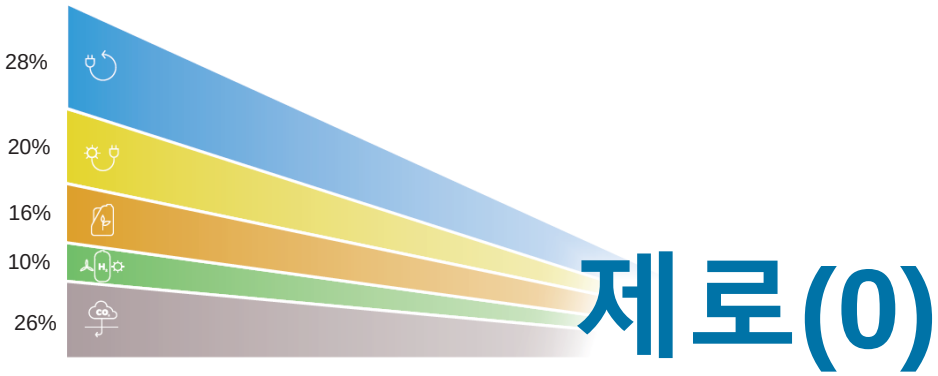


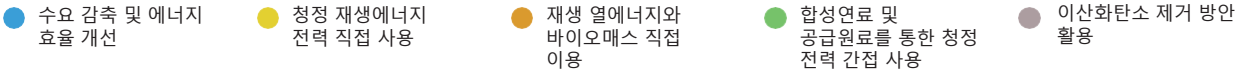
출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES : 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario, PES)는 현재 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공한다.

에너지 집약 산업: 탄소 배출 제로 달성을 위한 옵션

2050년 에너지 및 공정을 통한
직접 CO_2 배출량
(PES 기준)

주요 산업 부문의 배출 제로 달성





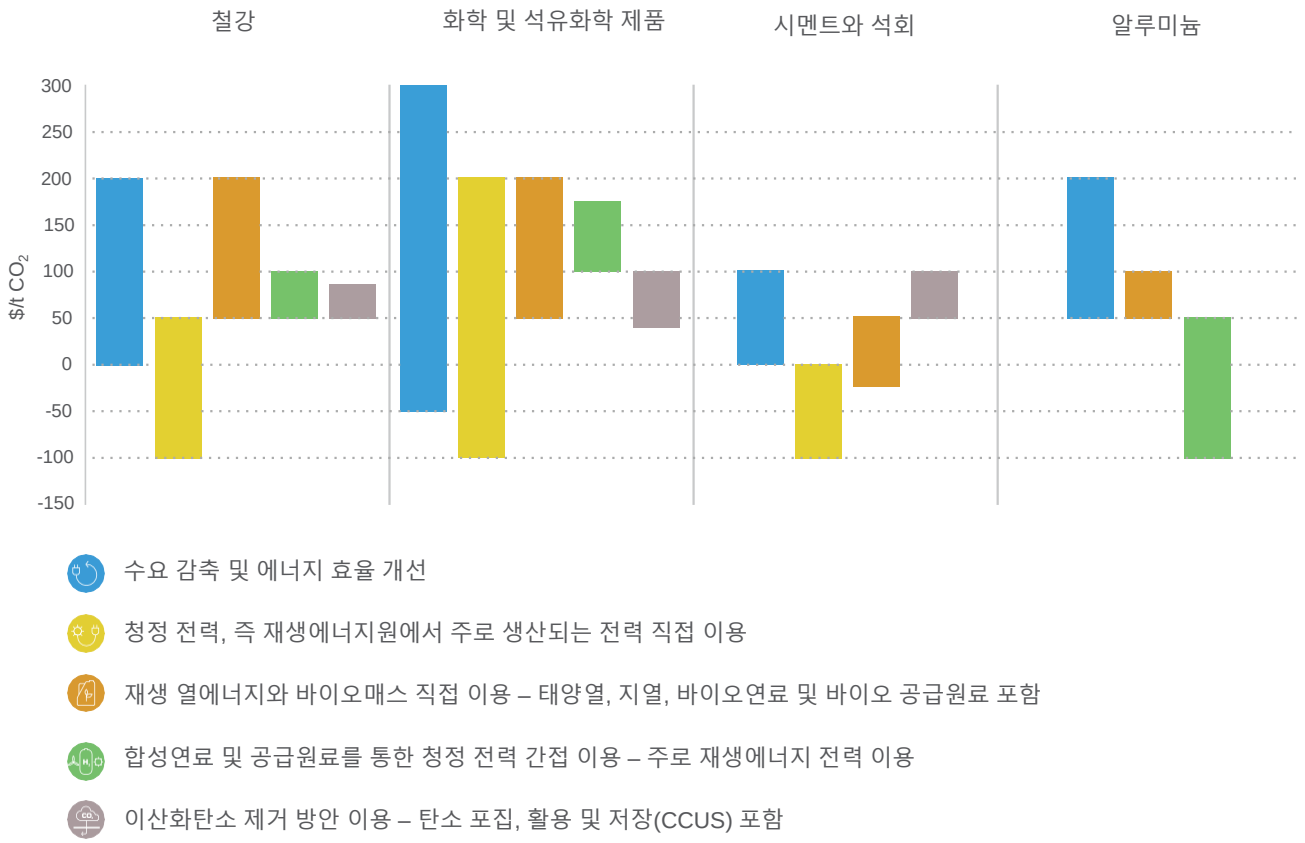
핵심 자재의 산업 생산은 현대 경제의 필수요소이다. 국가 발전으로 해당 자재에 대한 수요는 계속 증가하고 있다. 그러나 이 생산은 현재 CO_2 배출 증가의 원인이 된다. 산업은 전 세계 전체 CO_2 배출량의 약 28%를 차지하는데, 특히 철강, 화학 및 석유 화학 물질, 시멘트와 석회 및 알루미늄의 4개 산업 부문이 전체 산업 배출량의 약 ¾을 차지한다.

현재 산업용 에너지 대부분은 화석 연료로부터 공급된다. 그러나 에너지 이용이 산업 부문의 유일한 배출원은 아니다. 생산 공정 및 제품의 수명주기에서 비롯되는 CO_2 배출물도 반드시 제거되어야 한다.

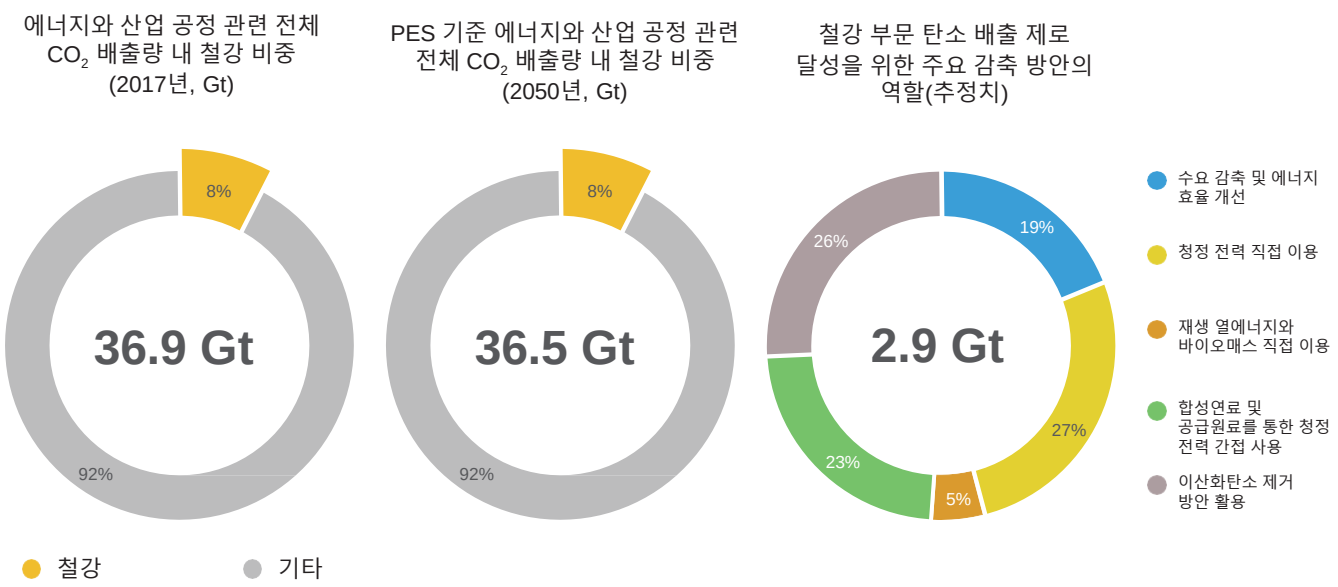
탄소 배출량을 줄이고 궁극적으로 배출 제로를 달성하려면 이런 자재의 생산, 소비 및 폐기 방식에 근본적인 변화가 필요하다. 그러나 이 4개 산업 부문에 대한 장기적인 배출 감축 정책의 필요성은 지금까지 주목을 받지 못했다.

수많은 이유 때문에 실행 방안이 마련되지 않고 있다. 특히 다음 두 가지가 핵심 이유이다. 첫째, 현재 이 산업 부문에서 경제적으로 실행 가능한 CO_2 배출 감축 솔루션이 몇 안 되고, 가장 적합한 옵션에 대한 합의조차 없다. 둘째, 탄소 누출, 즉 배출 감축 요구사항이 낮은 다른 장소로 생산 공정을 이전하는 현상은 탈탄소화 노력을 방해한다.

산업 부문별 비용 저감 범위 및 방안



철강



출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

철강은 공학 및 건축 자재로 널리 이용되는 철과 탄소의 합금이다. 철강 부문은 주요 에너지 소비자이며 주요 CO_2 배출원이다. 2017년 해당 부문은 최종 에너지 소비 중 32 EJ를 차지하고 전 세계 에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량의 8%를 생산했다. 2017년 글로벌 제철 산업 공정에 사용된 에너지 및 공급원료의 약 3/4이 석탄, 코크스 및 기타 석탄 제품이었다(IEA, 2020a).

전 세계 강철의 70% 이상이 화학 환원제인 야금용 석탄에 주로 의존하는 용광로/순산소전로(BF-BOF) 경로를 통해 생산된다. 그 밖의 강철 대부분은 직접환원철(direct reduced iron, DRI)로 생산되거나 전기로(electric arc furnace, EAF) 속 강철의 부스러기로 생산되며, 직접환원철과 전기로에 쓰일 전력에 공급되는 환원제와 에너지는 대체로 화석 연료를 통해 제공된다.

공정과정의 에너지 효율 개선, 자재 효율 향상 및 강철 부문 순환경제 원칙 적용 (선철 재활용률 증가 보장)은 모두 탄소 배출 감축에 유용한 역할을 할 수 있다.

그러나 이 방안만으로는 충분하지 않다. 에너지와 환원제용 화석 연료를 대체할 재생에너지를 이용한 제철 산업의 구조적 변화가 필요하다.

이를 위한 두 가지 주요 옵션이 있다. 즉, 재생에너지와 가급적 청정 그린수소를 활용할 수 있는 대체 공정으로 전환하거나 가급적 재생에너지를 활용하고 탄소 포집, 활용 및 저장(CCUS) 기술을 이용해 기존 공정에서 CO_2 배출물을 포집하는 것이다. 일부 기타 배출 감축 경로의 예로, 용광로에 바이오매스, 재생에너지 기반 수소 및 폐플라스틱의 이용을 들 수 있지만, 이 경로는 단·중기적으로 도움이 될 수는 있지만 장기적으로 배출 제로 또는 배출 근접 제로 달성에 충분치 않아 보인다.

배출 제로 달성에 적합한 2가지 옵션

수소 기반 직접환원제철 및 전기로 기반 철강 생산

- ➜ 가급적 청정 그린수소를 환원제로 이용하는 직접환원공정을 통해 철을 생산
- ➜ 전기로를 이용하여 철강 생산
- ➜ 재생에너지로부터 모든 열에너지와 전력 수요 공급

공정 및 폐기물 탄소 배출 포집 및 저장과 재생에너지 이용

- ➜ 기존 철강 생산 공정에 CCUS를 적용
- ➜ 재생에너지로부터 모든 열에너지와 전력 수요 공급

핵심 인사이트

➜ 그린수소를 이용한 DRI-EAF 경로가 진전을 보이고 있다. 6개 이상의 공장이 주로 유럽에서 시범 운영 중이다. 재생수소 기반 DRI는 CO_2 1톤당 미화 약 67달러의 탄소가격(저렴한 재생에너지 전력 이용 가능성에 따라 변동)으로 기존 용광로의 대안이 될 수 있다.

➜ BF-BOF 경로가 계속 이용되려면 비용효율적인 CCUS 기술과 결합해야 한다. 현재 가동 중인 한 철강 공장에서 CCUS가 이용되고 있다(아랍에미리트(UAE)에 위치, CCUS가 장착된 천연가스 기반 DRI-EAF 철강 시설)

➜ 호주 등 재생에너지원이 풍부하고 저렴한 곳에서 철광석 채굴과 그린 제철을 결합하고, 중국, 일본, 한국 등 화석 연료에 크게 의존하는 국가에서 제철과 제강 공정을 분리하면, 새로운 가치와 공급망을 구축하면서 탄소 배출 감축을 달성할 수 있다.

➜ 현 세계 제강업에서 중국이 우위를 차지하고 있고 일부 기타 개발 도상국 또는 신흥 경제국의 생산능력이 증가할 것으로 예상됨에 따라, 해당 국가의 대책 방안이 철강 부문의 전 세계 이산화탄소 배출 감축에 중요한 역할을 할 것이다.

행동 우선순위

➜ 실현 가능한 것이 무엇인지 보여주고 학습 내용을 수집/분석하고 공유하기 위한 시범/등대 프로젝트(demonstration lighthouse project)를 더 많이 추진해야 한다(현재 해당 사업은 전 세계적으로 소수만 존재함).

➜ 초기 단계 비용이 높음에도 불구하고 공공 조달, 기업 소싱, 최소 비율 요구사항 등을 통해 그린 철강에 대한 '초기' 수요를 창출해야 한다. 시장이 생성되면 기술과 비용 개선이 장려되고 탄소누출(carbon leakage) 위험이 감소될 수 있다.

➜ CCUS를 이용한 수소 기반 DRI 및 BF-BOF 기반 설계에 대해 연구개발 및 보급(RD&D)을 위한 공공/민간 자금조달 및 국경 간 협업을 늘려야 한다.

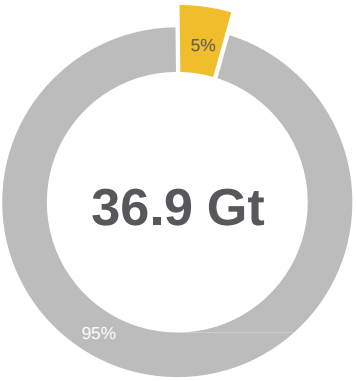
➜ 그린수소 비용을 줄이기 위해 부문 간 시너지 효과를 활용해야 한다. 다양한 부문에 저비용 그린수소가 도입되어야 한다. 전해조 개선, 수요 확대 및 유통 인프라 창출 또한 이에 도움이 될 것이다.

➜ 저비용 재생에너지를 공급할 수 있는 지역으로 제철 공정을 이전할 기회를 모색해야 한다. 이는 새로운 가치와 공급망을 생성하면서 탄소 배출 감축에도 기여할 수 있다.

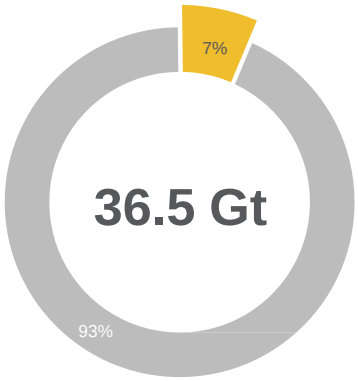
➜ 대규모 또는 확장 중인 철강 생산 국가는 배출 제로에 적합한 생산 기술을 활용할 수 있어야 한다. 신흥 경제국이 향후 생산에 높은 비중을 차지할 것이다.

화학 및 석유화학 제품

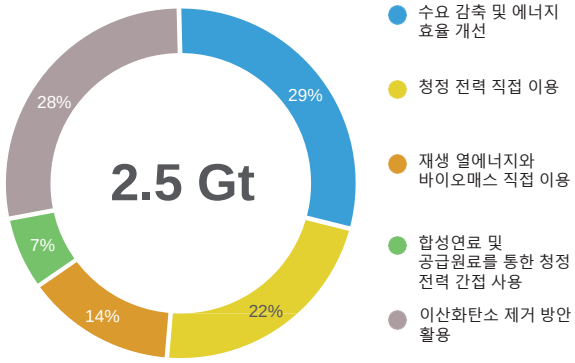
에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량 내 화학 및 석유화학 제품 비중(2017년, Gt)



PES 기준 에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량 내 화학 및 석유화학 제품 비중 (2050년, Gt)



화학 및 석유화학 제품 부문 탄소 배출 제로 달성을 위한 주요 감축 방안의 역할(추정치)



화학 및 석유화학 제품
기타

출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

석유화학 부문에서는 플라스틱, 합성유기섬유(나일론), 기타 중합체 등 다용도 소재의 "구성 요소"(building block)가 되는 광범위한 "1차 석유화학 제품"을 생산하는 데 화석 연료 공급원료가 사용된다.

석유화학 부문은 2018년 전 세계 생산량이 약 644 메가톤(Mt)에 달했으며, 계속해서 급성장 중이다. 생산량 측면에서 제품 대부분을 차지하는 플라스틱은 지난 50년간 20배 증가하여 2018년 말 기준 360Mt에 달했고 무제한 사용(unrestricted use) 시나리오에 따르면 2050년까지 전 세계적으로 3배 증가할 수 있다.

석유화학 제품의 CO_2 배출은 생산 공정에서 직접 에너지와 산업 공정 관련 배출(연간 약 1.7 Gt), 제품 사용 단계 배출(연간 0.2Gt), 분해/소각 공정을 통한 배출(연간 약 0.24 Gt) 등 다양한 단계에서 나타난다.

또한 연간 1 Gt이 추가로 (폐기 처분에 따라 탄소 방출이 될 수 있는) 탄화수소 제품으로 저장된다. 방치되면 총 배출량이 2050년까지 연간 2.5 Gt까지 증가할 수 있다.

석유화학 제품에 대한 수요 감축, 생산 공정에 사용되는 에너지 배출 감소, 화석 연료 공급원료를 재생에너지 기반으로 전환, 그리고 폐기 제품에 내장된 탄소를 영구적으로 저장하면 탄소 배출량을 줄일 수 있다. 순환 경제 원칙을 채택하면 도전과제의 규모가 줄고 기타 접근방식의 구현을 지원할 수 있으며 플라스틱 폐기물이 지역 생태에 미치는 영향 등 기타 환경 문제도 관리할 수 있다.

배출 제로 달성에 적합한 3가지 옵션

바이오매스를 공급원료로, 재생에너지를 에너지로 이용

➜ 재생에너지로부터 모든 열에너지와 전력 수요 공급

➜ 바이오매스를 화학 공급원료로 이용. 즉, 1차 석유화학 제품을 바이오 기반 화학 물질로 대체하거나 화석 연료 유래 중합체(특히 플라스틱)를 바이오매스로 생산된 대안 제품으로 대체

합성 탄화수소를 공급원료로, 재생에너지를 에너지용으로 이용

➜ 재생에너지로부터 모든 열에너지와 전력 수요 공급

➜ 그린수소와 청정 CO_2 공급원에서 생산된 합성 탄화수소를 화학 공급원료로 이용

산업 공정 및 폐기물 관련 탄소 배출 포집과 저장 및 에너지용 재생에너지 이용

➜ 기존 생산 공정에 CCUS 적용

➜ 재생에너지로부터 모든 열에너지와 전력 수요 공급

➜ 고효율 순환 경제, 폐기물 장기 보관 또는 폐기 연소에 CCUS 활용 등 탄소를 제품에 영구 저장하는 방안을 적용

핵심 인사이트

➜ 화학 및 석유화학 부문의 CO_2 배출 감축 진전은 제한적이다. 그 이유는 에너지 효율 잠재력이 이미 대부분 실현되었고, 다수 변환 공정이 대규모 노후 산업 단지에 통합되면서 남은 에너지 효율 개선 잠재력이 제한되었고, 석유화학 생산이 정유기업에 점차 통합되고, 바이오 플라스틱 등 저탄소 대안 비용이 현재 높기 때문이다.

➜ 탄소 제로 화학 및 석유화학 산업을 달성하려면 복잡한 과정이 따를 것이다. 완전한 온실가스 배출 영향과 모든 완화 기회를 잡으려면 수명주기 접근방식이 필요하다. 소비자, 정부, 화학 및 석유화학 클러스터 및 기업 등 선두 주자들은 이 변화를 강요해야 할 것이다.

행동 우선순위

➜ 해당 부문의 배출량을 고려할 때 전수명주기 접근방식을 채택해야 한다. 가령 화학 기반 제품의 탄소와 그 사용 및 폐기 처분을 설명하는 방식을 들 수 있다.

➜ 진정한 순환 경제로 전환하고, 재활용과 재사용률을 높여 새로운 화학물 생산 수요를 줄여야 한다.

➜ 보다 많은 시범/등대 프로젝트(demonstration lighthouse project)를 시행하여 어떤 것들이 이행 가능한지를 보여주고, 이를 통해 학습된 것을 수집/분석하고 공유한다 (현재 이러한 사업은 전 세계적에 소수만 존재함).

➜ "그린" 화학 물질과 제품에 대한 초기 수요를 창출해야 한다(필요한 경우 의무화). 시장이 생성되면 공정 효율성과 비용 개선이 장려되고 "탄소 누출" 위험이 감소될 수 있다. 녹색공급망 인증이 필요할 수 있다.

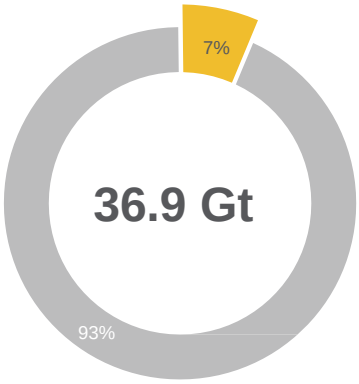
➜ 기존 제품에 대한 드롭인(drop-in) 교체품 또는 대안 대체품으로 바이오 기반 화학 물질 또는 합성 화학 물질에 대한 RD&D가 필요하다. 이를 위한 공공/민간 자금조달 및 국경 간 협업을 늘려야 한다.

➜ 화석 연료 정제를 화학 생산에서 분리하고 화학 산업과 청정 에너지 부문 간의 강력한 협업을 구축하여 보완 전략과 재생에너지에 대한 접근을 보장해야 한다.

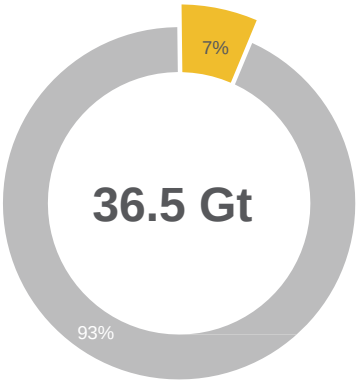
➜ 탄소 배출량 측정 및 처리 방법에서 여러 사안, 가령 탄소를 저장하는 방안, 폐기물 소각으로 인한 탄소 배출 이슈 검토 등을 다뤄야 한다.

시멘트와 석회

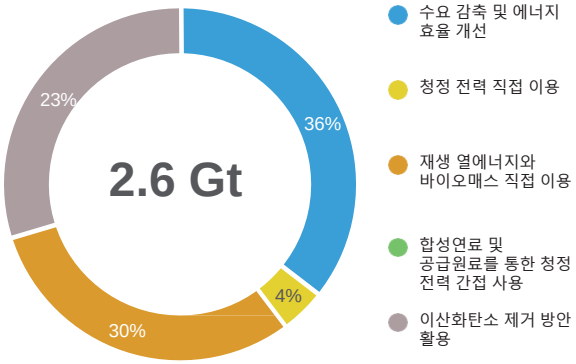
에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량 내 시멘트 비중(2017년, Gt)



PES 기준 에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량 내 시멘트와 석회 비중 (2050년, Gt)



시멘트와 석회 부문 탄소 배출 제로 달성을 위한 주요 감축 방안의 역할(추정치)



시멘트 기타

출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

시멘트는 미세하고 부드러운 분말 형태의 물질로, 콘크리트에서 고운 모래와 거친 골재를 결합하는 데 주로 사용된다. 다양한 유형의 시멘트가 존재하지만 "포틀랜드 시멘트"(Portland cement)가 가장 일반적이며, 클링커에 석고, 석회석분말 등 소량의 기타 첨가제를 혼합하여 만든다.

전 세계 시멘트 생산량은 1990년과 2019년 사이 3.5배 증가하여 2019년에 4.1 Gt에 달했고 중국이 전 세계 생산량의 54%를 차지하였다. 시멘트와 석회 생산량은 2017년 전 세계 에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량의 6.7%를 차지했다. 이 비중은 기타 부문의 급속한 탈탄소화 증가에 따라 7.2%로 약간 증가할 것으로 예상된다.

시멘트의 주요 구성물인 클링커의 생산은 시멘트 부문 탄소 배출의 대부분을 차지한다.

시멘트와 석회 부문의 어떤 옵션도 배출 근접제로를 달성할 수 없다. 완전 탈탄소화는 시멘트의 전 수명주기를 고려해야 하며 동시에 여러 전략도 모색해야 한다. 관련 전략으로 기존 시멘트에 대한 수요 감축(콘크리트 내 시멘트 양 감소 및 건설 분야에 콘크리트 사용 저감), 에너지 관련 탄소 배출물 제거(재생에너지로 연료 변경), 생산 공정 관련 탄소 배출 감소(시멘트의 클링커 양 저감) 및 잔여 공정 관련 배출물 제거 또는 상쇄 (CCUS 및 탄소포집저장기술을 접목한 바이오에너지 사용(BECCS)) 등을 들 수 있다.

배출 제로 달성에 적합한 4가지 옵션

클링커 이용 감소

➜ 고로재(blast furnace slag) 플라이 애시(fly ash) 등 대안 결합제로 부분적으로 클링커 대체

기존 시멘트에 대한 수요 감축

➜ 대안적 건축 기술을 활용하여 시멘트 이용을 줄이거나 시멘트 대신 목재 등 재생 건축 자재를 사용

➜ 대안적 시멘트 배합을 이용하여 클링커 배출 방지

재생에너지로 연료 변경

➜ 직접 전기화 또는 공정 에너지용으로 바이오매스와 폐기물 이용

CO_2 배출 포집 및 저장

➜ CCUS를 적용하여 잔여 에너지 및 공정 관련 배출 저감

➜ 탄소포집저장기술을 접목한 바이오매스(BECCS)을 이용해 일부 포집되지 않은 클링커 배출을 상쇄시킬 수 있는 역배출(negative emission) 생산

핵심 인사이트

➜ 재생에너지원은 시멘트 부문에서 활용률이 떨어진다. 재생에너지는 에너지 관련 배출의 약 40 ~ 50%를 제거할 수 있다. 잔여 공정 배출은 소재 효율, 소재 교체 및 탄소 포집과 저장(CCS)을 통해 다뤄야 한다.

➜ 전체 수요를 절감하고, 클링커 이용을 줄이며, 기타 부문 내 역배출 접근방식(BECCS, 콘크리트 재흡수, 목재 사용)을 통해 일부 공정 배출을 상쇄하면 필요한 CCS의 양이 감축될 것이다.

➜ 탄소 제로 시멘트 생산 비용은 현재 표준 시멘트의 약 2배이다. 클링커와 시멘트 대체품에 대한 연구는 이루어지고 있으나, 가동 중인 공장에서 혁신으로 실현되고 있지는 않다. 개발 및 시범 프로젝트가 더 많이 필요하다.

➜ 현재 중국의 역할은 매우 중요하며, 다수 개발도상국의 중요성도 확대될 것으로 보인다. 이들 국가의 생산은 탄소 제로에 적합한 올바른 방향으로 나아가야 한다. 주요 선진국은 해당 프로젝트 뿐 아니라 수요, 규제, 탄소국경세와 관련하여 리더십을 발휘해 본보기가 되고 도움도 될 수 있다.

행동 우선순위

➜ 접근방식의 조합을 통해 해당 부문의 탄소 배출을 제거하기 위한 옵션 포트폴리오를 모색해야 한다. 타 부문의 탄소 제거 방안을 통해 일부 공장의 배출을 상쇄시킬 필요가 있다.

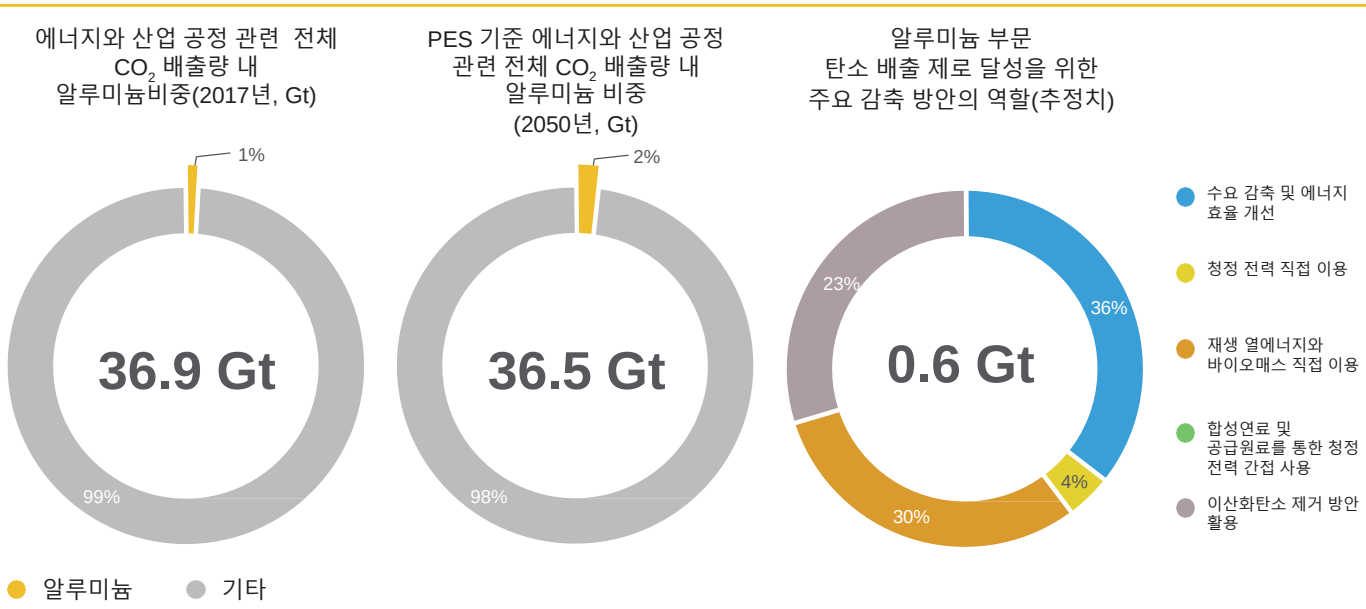
➜ 수행 가능한 것을 보여주고 학습을 수집/분석하고 공유하기 위한 시범/등대 프로젝트(demonstration lighthouse project)를 더 많이 구축해야 한다(현재 해당 사업의 사례는 전 세계적으로 거의 존재하지 않음).

➜ 초기 단계 비용이 높음에도 불구하고 공공 조달, 기업 소싱, 최소 비율 요구사항 등을 통해 그린 시멘트에 대한 수요를 창출하고 대안적 건축 자재 이용을 장려해야 한다. 시장이 생성되면 기술과 비용 개선이 장려되고 탄소누출(carbon leakage) 위험이 감소될 수 있다.

➜ 클링커 대안물, 대안적 건설 기술과 자재 외에 CCUS, BECCS 등 탄소 제거 기술 이용에 대한 RD&D를 장려해야 한다. 이를 위해 공공/민간 자금조달 및 국경 간 협업을 늘려야 한다.

➜ 대규모 또는 확장 중인 시멘트 수요 및 생산 국가는 탄소 배출 제로에 적합한 생산 기술을 활용할 수 있어야 한다. 신흥 경제국은 현 생산에 높은 비중을 이미 차지하고 있고 향후에도 그럴 것이다.

알루미늄



출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

알루미늄은 알루미나를 생산하기 위해 보크사이트 하소(바이어(Bayer) 공정)를 먼저 거친 다음 제련(홀-에루(Hall-Héroult) 공정)을 통해 생산된다.

알루미늄 생산으로 인한 직접 배출은 전 세계 CO_2 배출의 약 1%를 차지하고, 알루미늄 수요는 2050년까지 44% 증가할 것으로 예상된다. 전력 생산으로 인한 간접 탄소 배출은 알루미늄 관련 전체 CO_2 배출의 90%를 차지한다.

나머지 10%는 산업 공정 관련 직접 배출이며, 그 중 2/3는 홀-에루 공정의 탄소 양극 이용과 관련이 있다. 따라서 알루미늄 생산에서 탄소를 제거하려면 재생에너지 공급원으로 전환하여 알루미나와 알루미늄 생산 단계에 이용되는 에너지의 탈탄소화를 진행하고, 탄소 양극의 이용도 제거해야 한다. 그러나 후자에 대한 옵션은 완전히 개발되거나 입증되지 않았다.

배출 제로 달성에 적합한 1가지 옵션

재생에너지 및 비활성 양극

➜ 재생에너지로부터 모든 열에너지와 전력 수요 공급
➜ 비활성 양극 개발 및 이용 채택

행동 우선순위

➜ 재생에너지 전력원을 알루미늄 생산과 결합시키는 시범/등대 프로젝트(사업 모델 포함)를 더 많이 구축하여 무엇이 실현 가능한 지를 보여주고 학습된 것은 수집/분석하고 공유해야 한다. (현재 해당 사업은 전 세계적에 소수만 존재함)

➜ "그린" 알루미늄에 대한 초기 수요를 창출해야 한다(필요한 경우 의무화). 시장이 생성되면 공정 효율성과 비용 개선이 장려되고 탄소 누출 위험이 감소될 수 있다. 녹색공급망 인증이 필요할 수 있다.

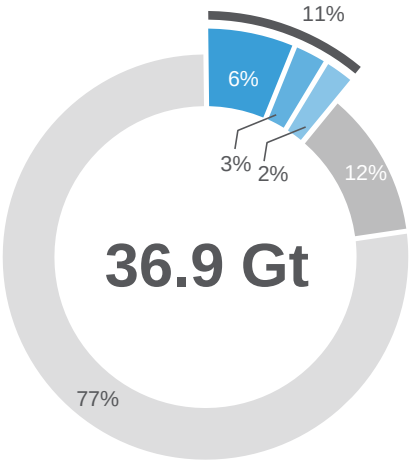
➜ 알루미늄과 전력 부문 기업들 간 더욱 긴밀히 협력하여, 계획의 적합성을 보장하고 특히 수요의 유연성을 통한 가치 창출로 태양광과 풍력 등 가변 재생에너지의 보급 증가를 관리하는 데 도움이 되는 새로운 비즈니스 모델을 중심으로 시너지 효과를 창출해야한다.

➜ 대안적 "비활성"(inert) 양극 설계에 대해 RD&D를 위한 공공/민간 활동 및 국경 간 협업을 늘려야 한다.

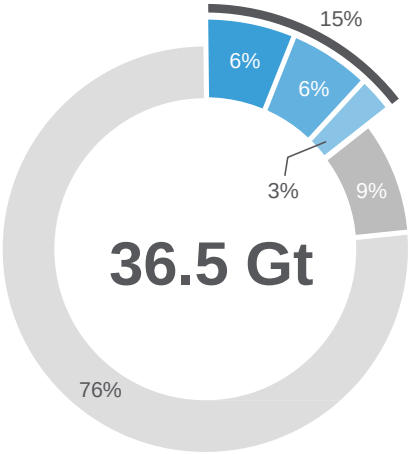
➜ 저비용 재생에너지 전력을 공급할 수 있는 지역으로 더 많은 알루미늄 생산 시설을 이전할 기회를 모색해야 한다. 이는 비용을 절감하는 동시에 탄소 배출 감축에 기여할 수 있다.

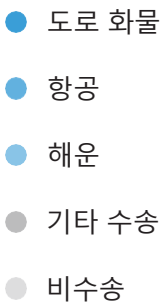
수송 개요

에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량의 수송 부문 비중 (2017년, Gt)



에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량 내 수송 부문 비중 (2050년, Gt)

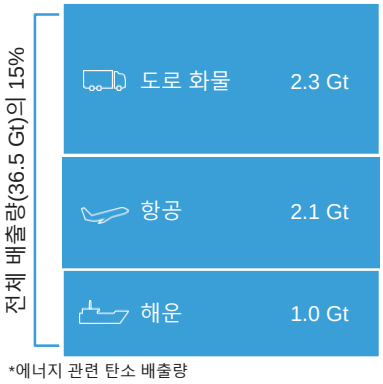




출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

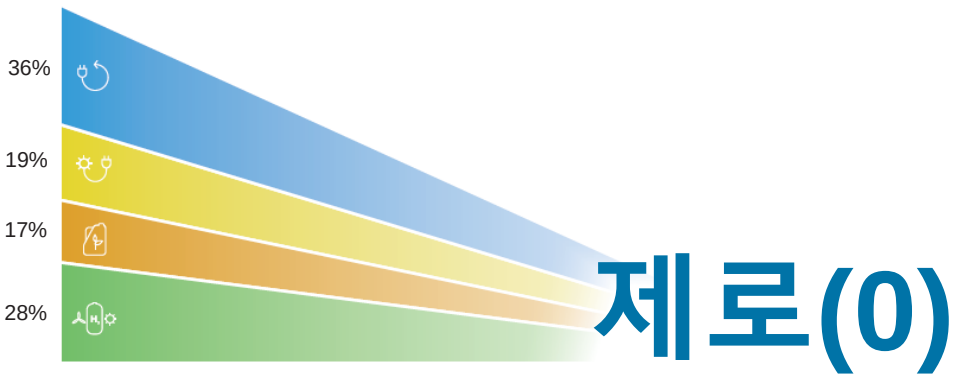
화물 수송 탄소 배출 제로 달성을 위한 옵션

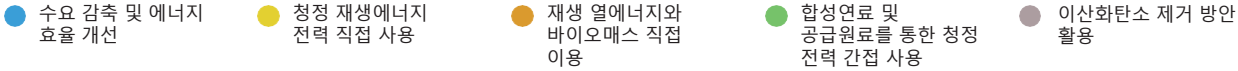
PES 기준 2050년 에너지 및 산업 공정 관련 직접 CO_2 배출량



*에너지 관련 탄소 배출량

주요 수송 부문의 배출 제로 달성





수송업은 세계 경제에 중요한 역할을 한다. 전 세계 사람과 제품의 이동을 촉진하고 우리에게 익숙한 현대 생활을 가능하게 한다. 그러나 수송 부문은 현재 화석 연료에 의존도가 높은 주요 탄소 배출원이기 때문에 이에는 대가가 있다. 수송 서비스에 대한 글로벌 수요가 향후 증가할 것으로 예상됨에 따라, 탄소 배출량 감축 및 완전 탈탄소화를 위한 방안 모색이 시급하다.

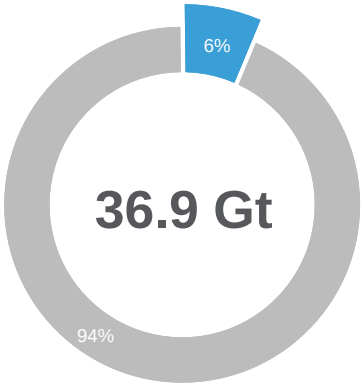
수송 관련 탄소 배출은 내연기관과 터빈 내 화석연료의 연소에서 발생한다. 이 연료를 연소할 때 CO_2, 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소, 기타 미립자 물질 등 다양한 온실가스와 오염물질이 배출된다. 수송 부문은 2017년 전 세계 에너지 관련 CO_2 배출의 약 1/4을 차지했으며, 전체 CO_2 배출량이 8.5 Gt에 달했다. 수송 관련 배출량의 약 97%는 도로, 항공 및 해운에서 발생하고 나머지 3%는 철도 수송 및 기타 수송 수단에서 비롯된다.

CO_2 배출 감축을 향한 바람직한 방식은 전체는 아니지만 일부 수송 방식에서 명확해졌다. 철도와 경량 도로 수송(자동차, SUV, 소형 트럭)에서 재생에너지를 통한 전기화가 실행 가능하다. 철도 수송의 경우, 특히 여객 수송용으로 전기가 이미 널리 이용되고 있다. 경량 도로 수송의 경우, 배터리식 전기자동차는 최근 몇 년간 주행거리(킬로미터/충전), 비용, 시장 점유율에서 크게 향상되었다.

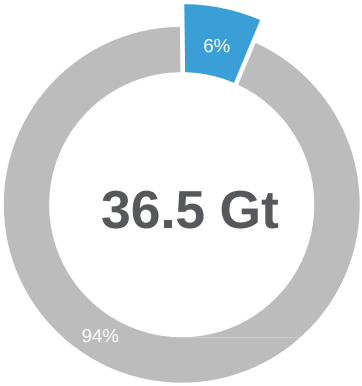
그러나 기타 수송 수단의 경우 최적 경로가 아직 명확하지 않다. 도로 화물 수송, 항공 및 해운 산업은 에너지 주요 소비자이고, CO_2 다배출원이기 때문에 2060년까지 배출 제로 달성은 어려운 과제가 될 것이다. 이 보고서는 탈탄소화가 어려운 3가지 하위부문의 탄소 직접 배출을 줄이고 궁극적으로 제거하기 위한 도전과제와 가용한 옵션을 검토한다.

도로 화물

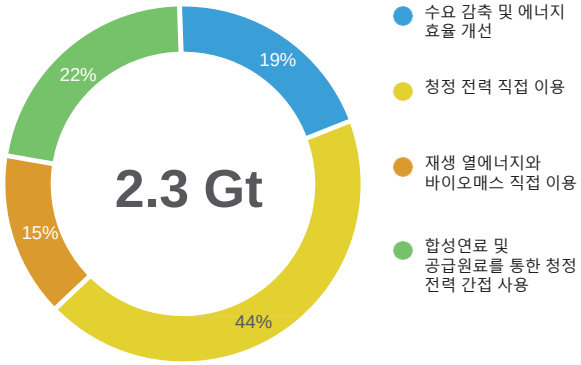
에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량 내 도로화물 비중(2017년, Gt)



PES 기준 에너지와 산업 공정 관련 전체 CO_2 배출량 내 도로 화물 비중(2050년, Gt)



도로 화물 부문 탄소 배출 제로 달성을 위한 주요 감축 방안의 역할(추정치)



도로 화물
기타

출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

도로 화물 수송은 2017년 모든 수송 관련 탄소 배출량의 27% 또는 전 세계 에너지 관련 탄소 배출량의 6% 이상을 차지했다. 화물 트럭은 전 세계 차량의 9%에 불과했지만 2017년 도로 차량에 의한 수명주기 온실가스 배출량의 약 39%를 차지했다.

배출 제로 달성에 적합한 3가지 옵션

배터리식 전기자동차
➜ 재생에너지 전력으로 충전되는 배터리 팩으로 구동되는 전기 모터 이용

연료전지 전기자동차
➜ 압축 (그린) 수소로 구동되는 연료 전지에서 생산된 전기 이용

첨단 바이오연료
➜ 바이오디젤, 재생 디젤 등 바이오매스 기반 연료 대체물 이용

배터리식 전기자동차는 경량 화물 수송(가령, "라스트마일" 배송 차량)을 위한 실현 가능한 탈탄소화 옵션이다. 도로 화물 수송은 하중과 전력 수요가 높기 때문에 배러티 도입이 더 어렵다. 도로 화물 수송은 1.1 ~ 1.3 kWh/km가 필요한 반면 경량 차량은 0.2 kWh/km가 필요하다.

수소연료전지차는 배터리식 전기 자동차보다 주행 거리가 더 길기 때문에 대형 도로 수송을 위한 새로운 옵션이 된다. 배터리식 전기 트럭의 1,100 km와 비교해, 기존 연료전지 전기 장거리 트럭의 주행 거리는 400 ~ 800km 정도이다. 운행 중인 대형 연료전지 전기자동차의 대수는 한정되어 있다. 바이오연료는 이미 일부 시장에서 상업적으로 이용되고 있다. 그러나 제한된 생산과 비교적 높은 비용이 여전히 장벽으로 남아있고 공급원료 가용성 이슈도 잠재적 한계로 작용한다.

행동 우선순위

➜ 100% 탈탄소화를 향한 부문별 경로에 대한 명확한 이정표와 함께 광범위한 이해관계자가 참여하는 국내 및 국제 로드맵을 공동 개발해야 한다. 산업 비전 공유와 그 궤도에 대한 폭넓은 승인(buy-in)이 투자의 핵심 원동력이다.

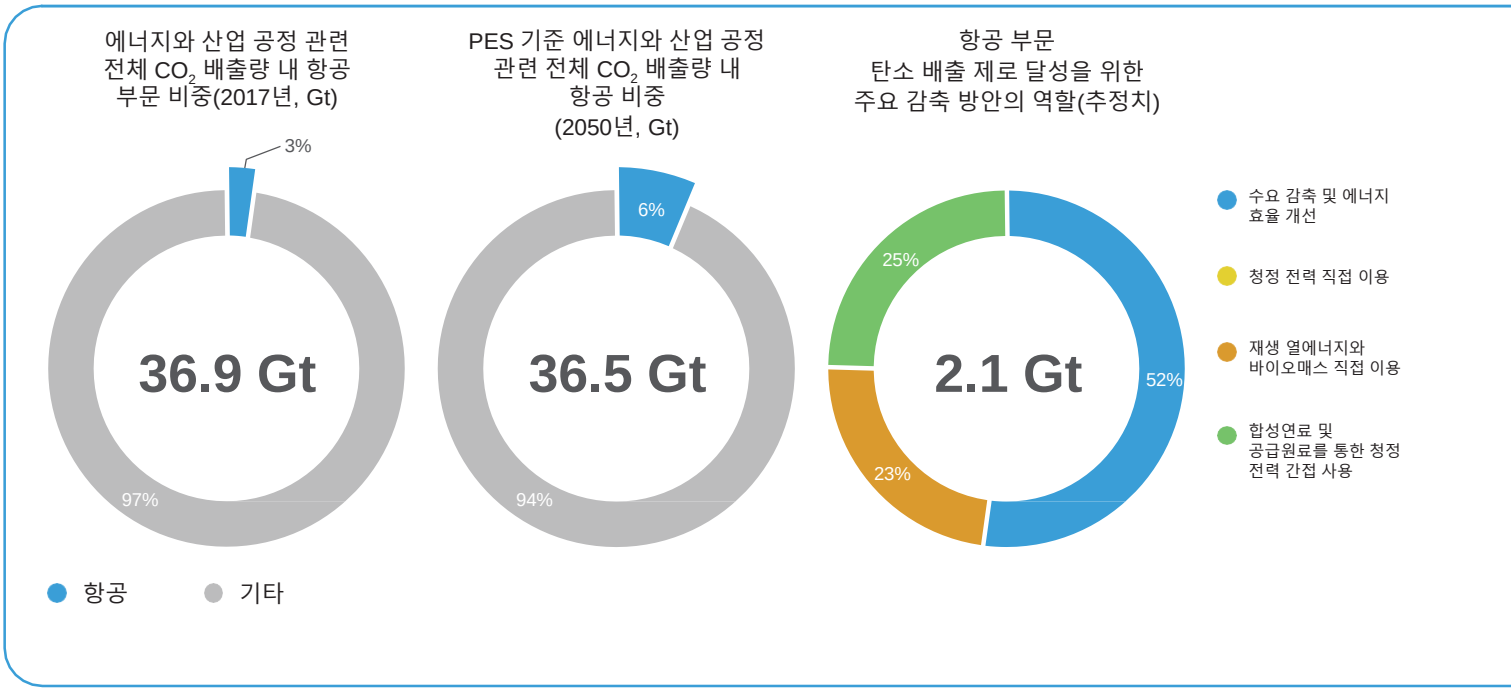
➜ 소규모 차량군을 포함한 시범/등대 프로젝트를 더 많이 진행하여 무엇이 실현 가능한 지를 보여주고 학습된 것은 수집/분석하고 공유해야 한다. (저탄소 화물차 설계가 일부 등장하고 있지만, 여전히 틈새시장으로 남아있음).

➜ 점진적으로 기준을 강화하고 기업의 책무(corporate commitments)를 부여하여 저탄소 도로 화물 배송에 대한 인센티브를 제공해야 한다. 수요가 발생하면 기술 투자가 장려되고 따라서 비용이 절감될 수 있다.

➜ 배터리 성능 개선과 비용 절감, 차량 설계, 수소, 합성연료 및 바이오연료 생산과 공급 관련 RD&D를 추진하기 위해 공공/민간 자금조달 및 국경 간 협업을 늘려야 한다.

➜ 저비용 배터리의 필요성, 저비용 그린수소와 수소 공급망에 대한 요구, 바이오매스와 바이오연료의 지속가능한 공급원 확대의 필요성 및 연관된 공급망 인프라 등 부문 간 시너지를 활용해야 한다.

항공



비고: 에너지 효율은 모달 시프트(Modal Shift)와 행동 변화를 포함한다.
출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
(재단 주 : 모달시프트(Modal Shift)는 도로 운송을 철도운송이나 연안운송으로 전환하여 온실가스 배출량 감축 효과를 내는 정책을 의미한다.)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

항공은 수송 부문 탄소 배출량의 11% 또는 전 세계 에너지 관련 탄소 배출량의 2.5%를 차지한다. 항공 수요가 2040년까지 2배 이상 증가할 것으로 예상됨에 따라, 탈탄소화가 시급한 부문이다. 항공기의 질량과 부피 제한으로 항공은 고에너지밀도 연료에 의존한다. 이로 인해 현 항공기 설계 상으로는 제트 연료를 일부 첨단 바이오연료와 합성 드롭인(drop-in) 연료로 대체하는 데 적합한 옵션이 제한적이다.

바이오제트 형태인 첨단 바이오연료는 항공 부문의 탈탄소화를 위해 기술적으로 가장 간단한 경로이지만 현재 생산량은 전 세계 제트 연료 수요의 0.004%에 불과하다.

규제 결점, 자금조달 가용성 및 공급원료 비용과 접근성 이슈가 바이오연료에 대한 장벽으로 인식된다. 그린수소에서 생산된 합성 항공 연료는 드롭인(drop-in) 연료의 역할을 할 수 있지만 현재 생산이 매우 제한적이고 비용이 너무 높아, 현 가격대의 연료에 대한 수요 부족으로 이어지고 있다. 전기 항공 추진은 복잡성과 유지보수 비용이 낮은 점 등 제트 엔진에 비해 여러 장점을 가지고 있다. 그러나 질량, 무게 및 부피와 관련된 기술적 한계로 인해 이 기술은 현재 소형 비행기와 단거리 비행에서만 실현 가능하다.

배출 제로 달성에 적합한 3가지 옵션

바이오항공유

➜ 지속가능한 공급방식의 바이오매스에서 생산되는 연료 이용

e-연료(E-fuels)

➜ 청정하게 공급된 CO_2 및 그린수소에서 생산된 합성연료를 이용

배터리식 항공기

➜ 재생에너지 전력으로 충전된 배터리로 구동되는 추진 시스템을 이용

행동 우선순위

➜ 탄소 배출 감축 메커니즘에 대한 업계 전반의 국제 협약에 대한 지원을 유지하고 이행하며, 이를 기반으로 공유된 배출 제로 비전과 항공 전략을 수립해야 한다.

➜ 탄소 배출 제로 달성을 위해 모든 이해관계자가 참여하여 항공 목표를 개발하고 로드맵을 구축해야 한다. (가능하면 이를 의무화한다.)

➜ 저탄소 연료 사용 또는 항공기 설계를 포함한 시범/등대 프로젝트를 더 많이 구축하여 무엇이 실행 가능한 지를 보여주고, 학습된 것은 수집/분석하고 공유되어야 한다. (일부 저탄소 항공기 설계가 등장하고 있지만 소형 항공기 전용임).

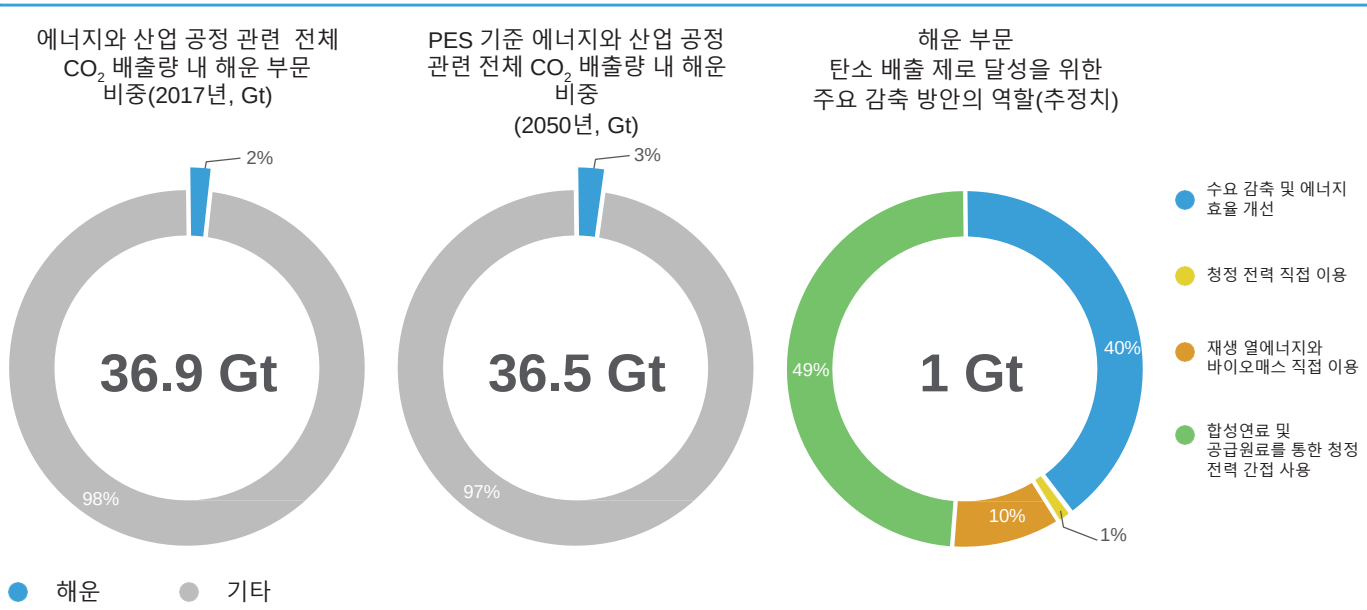
➜ 점진적 표준 강화, 기업의 약속 및 소비자 지원을 통해 저탄소 비행에 대한 인센티브를 만들어야 한다. 수요가 생성되면 기술 투자가 장려되고 따라서 비용 절감을 위한 규모 확대가 지원될 수 있다.

➜ 지속가능한 바이오매스 공급, 바이오연료 생산, 합성연료 생산, 전기 저장 및 대안 항공기 설계를 위한 RD&D를 추진하기 위해 공공/민간 자금조달 및 국경 간 협업을 늘려야 한다(특히 장기간의 대형 항공기 개발 기간, 인허가 기간을 고려하면 지금 당장 착수해야 함).

➜ 다부문·다용도의 핵심 연료(즉, 바이오항공유, 합성연료)에 대한 실질적인 잠재적 향후 가용성에 대해 보다 상세한 분석을 통해, 항공 부문 및 기타 부문에서의 가능한 선택지와 상충점에 대한 정보를 알려야 한다.

➜ 바이오매스와 바이오연료의 지속가능한 공급원 확대의 필요성, 저비용 그린수소와 합성연료 생산에 대한 요구 및 연관된 공급망 인프라 등 부문 간 시너지를 활용해야 한다.

해운



비고: 에너지 효율은 구조적 변화를 포함한다.
출처: IRENA (2020a) 및 IEA (2017)
PES: 현 정부 에너지 계획 및 계획된 목표와 정책만 구현되고 추가 방안이 없는 경우 에너지 시스템에 대한 전망을 제공하는 계획된 에너지 시나리오(Planned Energy Scenario)

국제 해운은 세계 무역(ICS, 2020)의 90%를 담당하며, 2017년 전 세계 연간 CO_2 배출량의 2.3%, 또는 전 세계 수송 부문 탄소 배출량의 약 10%를 차지했다. 전 세계 해운 선단의 약 20%가 해운 부문 순 온실가스 배출의 85%를 차지한다. 따라서 부분적인 개입만으로도 해운 부문의 탈탄소화에 큰 영향을 미칠 수 있다.

에너지효율을 개선하면 탄소 배출을 일부 완화할 수 있지만, 무역량의 증가로 결국 이 부문은 재생 연료와 대안적 추진 수단으로의 변화를 필요로 할 것이다. 이 부문은 저렴한 저등급 정제 잔류물에 크게 의존하고 있으며, 기술적으로 효과가 좋은 저탄소 대안이 여럿 존재하지만 모두 상당한 비용이 든다.

배터리 또는 연료전지를 통한 전기화는 단거리 선박(즉, 연락선 및 연안과 강을 이용한 해운)에 중요한 역할을 할 수 있다. 바이오연료는 혼합물로 또는 드롭인 연료로 수송 부문의 탈탄소화에 즉시 이용 가능한 옵션이다. 그러나 가용성, 지속가능성 및 비용 관련 불확실성으로 인해 현재 제한적으로만 사용되고 있다. 재생에너지 기반의 수소와 e-연료는 중요한 역할을 할 수 있지만 이를 채택하려면 기존의 선상 및 육상 인프라를 상당히 개조해야 되고 결국 비용이 발생하게 된다. 재생에너지 또는 바이오매스에서 생산되는 암모니아, 메탄올과 바이오메탄은 가장 실현 가능한 저탄소 연료 경로로 떠오르고 있다.

배출 제로 달성에 적합한 2가지 옵션

첨단 바이오연료

➜ 바이오디젤, 재생 디젤, 바이오메탄올, 바이오연료유 및 액화 바이오가스 등 바이오매스 기반 연료 이용

e-연료

➜ 그린수소 또는 그린 메탄올, 암모니아, 메탄 등 합성연료 이용

행동 우선순위

➜ 탄소 배출 감축 메커니즘에 대한 업계 전반의 국제 협약에 대한 지원을 유지하고 이행하며, 이를 기반으로 공유된 배출 제로 비전과 해운 전략을 수립해야 한다.

➜ 탄소 배출 제로 달성을 위해 모든 이해관계자가 참여하여 해운 경로 목표를 개발하고 로드맵을 구축해야 한다. (가능하면 이를 의무화한다.)

➜ 특정 선박 또는 특정 해운 경로에 대한 저탄소 연료 사용 및 새로운 선박 추진 설계를 포함한 시범/등대 프로젝트를 더 많이 구축하여 무엇이 실행 가능한 지를 보여주고 학습된 것은 수집/분석하고 공유되어야 한다. (일부 프로젝트가 등장하고 있지만 여전히 틈새 시장에 불과함).

➜ 점진적으로 기준을 강화하고 상품 배송 기업을 포함한 관련 기업의 책무를 통해 저탄소 해운에 대한 인센티브를 제공해야 한다. 수요가 발생하면 기술 투자가 장려되고 비용 절감을 위한 규모 확대가 지원될 수 있다.

➜ 지속가능한 바이오매스 공급, 바이오연료 생산, 합성연료 생산 및 대안적 선박 추진 관련 RD&D를 위해 공공/민간 자금조달 및 국경 간 협업을 늘려야 한다.

➜ 다부문·다용도의 핵심 연료(즉, 바이오항공유, 합성연료)에 대한 실질적인 잠재적 향후 가용성에 대해 보다 상세한 분석을 통해, 해운 부문 및 기타 부문에서의 가능한 선택지와 상충점에 대한 정보를 알려야 한다

➜ 바이오매스와 바이오연료의 지속가능한 공급원 확대의 필요성, 저비용 그린수소와 합성연료 생산에 대한 요구 및 연관된 공급망 인프라 등 부문 간 시너지를 활용해야 한다.

탄소 배출 제로 달성을 위한 재생에너지 기반 전략 실현

1	**최종 목표인 탄소 배출 제로 달성을 위해 최종 에너지소비 부문에 대한 재생에너지 기반 전략 수행**	수요 감축/에너지 효율, 재생에너지 전력, 재생 열에너지와 바이오연료, 그린수소와 e-연료, 탄소 제거 기술 등 5가지 기술을 기반으로 하여 지역, 국가, 국제 수준에서 연계된 부문별 전략을 개발한다.
2	**공유된 비전과 전략을 개발하고 모든 이해관계자가 참여하는 실질적 로드맵을 공동 개발**	참여가 보장되려면 부문별 국내 및 국제 비전과 로드맵은 정당 및 경쟁 기업 전반의 모든 핵심 주자, 소비자 그리고 대중의 지원을 받아야 한다. 국제 및 정부 간 조직과 이니셔티브는 합의를 구축하는 데 조력할 수 있다.
3	**의사결정자들 간 신뢰와 지식 구축**	의사결정자는 위험에 대한 이해를 높여야 한다. 시범 및 등대 프로젝트가 더 많이 마련되어야 한다. 선진국, 주요 경제국, 대기업, 공공/민간 부문의 "유지연합"(coalitions of the willing) 등 선도주자들은 가능한 선택지를 더욱 강화하고 이를 제시해야 한다.
4	**활성화(enabling) 인프라를 초기에 계획하고 보급**	새로운 접근방식은 다량의 재생에너지, 바이오연료 및 e-연료를 생산하고 제공하기 위해 상당한 신규 인프라를 요구한다. 인프라 투자는 수요를 앞서야 한다. 인센티브 대상을 정하고 계획을 신중히 조정해야 한다.
5	**녹색 제품과 서비스에 대한 초기 수요 촉진**	공공 조달, 기업 소싱, 최소 비율 요구사항 규제 등을 통해 그린 연료, 소재 및 제품과 서비스 수요의 초기 공급원을 창출하면 필요한 생산 규모가 구축되고 비용 절감에도 도움이 될 것이다. 몇 가지 모범 사례와 나쁜 사례를 통해 이를 배울 수 있다.
6	**재원 접근을 보장하기 위한 맞춤형 접근방식 개발**	높은 CAPEX(설비투자), 장기 자금회수 기간 등 부문의 특수성을 고려하여, 전체 혁신 주기에 따른 맞춤형 금융 상품이 필요하다. 공공 및 민간 금융 기관 간의 협력이 도움이 될 수 있다.
7	**국경을 초월한 협업**	탄소 배출 제로는 전 세계적 도전과제로, 복잡하고 고비용의 솔루션이 필요하다. 국가 단독으로 필요한 심층적 옵션을 모두 모색하는 것은 불가능할 것이다. 국제 협업을 통해 국가 부담을 덜 수 있다.
8	**글로벌 관점에서 생각하되, 국가별 강점을 활용**	저비용 재생에너지에 접근성이 높은 곳으로 산업 생산을 이전하면 비용을 줄이고 새로운 무역 기회를 창출할 수 있다. 대규모 또는 확장 중인 생산 국가가 초기에 탄소 제로에 적합한 올바른 궤도에 오를 수 있도록 지원해야 한다.
9	**규제 및 국제 표준의 발전을 위한 경로 확립**	규정과 표준은 변화의 핵심 원동력이지만 장벽이 될 수도 있다. 기술 변화 속도에 맞출 수 있도록 신중한 계획이 필요하다.
10	**RD&D 및 체계적인 혁신 지원**	신규 재생에너지와 기존 화석 연료 옵션 간의 역량 격차와 비용 차이는 여전히 크다. 비용 절감, 성능 개선 및 적용 가능성 확대를 위해 다양한 기술 전반의 연구개발 및 보급(RD&D)에 대한 투자가 이뤄져야 한다. 혁신은 체계적이어야 한다. 즉, 기술 혁신은 비즈니스 모델, 시장 설계, 시스템 운영 및 규제의 혁신과 함께 진행되어야 한다.

재생에너지를 통한 탄소 배출 제로 달성 방안(*Reaching zero with renewables*) 보고서에서 소개한 어느 방안도 상업적으로 충분히 성숙되거나 광범위하게 활용될 단계에 있지 않으며, 잠재력과 최적의 활용에 대한 불확실성이 다수 남아 있어 채택하기 쉽지 않을 것이다. 그 이유는 다양하고 복잡하다. 새로운 기술과 공정에 소요되는 높은 비용, 수요에 앞서는 인프라 구축 필요성, 고도로 통합된 기업체와 오랜 관행, 비균등한 대규모 장기 투자 요구, 탄소 측정 방법 간 격차 외에도 선발주자(First-movers)는 추가비용과 그에 따른 "탄소 누출(carbon leakage)" 로 인해 (경쟁사에 유리하게 작용할 수 있는) 사업 리스크 부담을 지게 된다는 점을 들 수 있다.

이 도전과제들을 다루려면 지금보다 훨씬 더 많은 관심과 창의성이 요구된다. 보고서를 통해 부문별 조치를 살펴보았지만, 더 높은 수준에서 다수의 교차횡단적 행동이 시급히 마련되어야 한다.

세계는 최근 10년간 재생에너지 개발에서 현저한 진전을 이루었고, 전력 시스템의 탈탄소화에 있어 긍정적 성과를 만들어왔다. 이제 최종 에너지소비 부문의 탄소 배출 문제에서도 비슷한 진전을 이루기 위해 총체적 노력이 필요하다. 그 40년 간의 전환은 아직 거의 시작되지 않은 상태로, 성과를 충분히 빨리 이루어내기 위해서는 지금보다 훨씬 더 큰 규모의 관심, 계획, 독창성 및 자원이 필요하다. 많은 도전과제들이 산재해 있지만, 저비용의 풍부한 재생에너지 자원을 이용하는 옵션 등 유망한 옵션도 다양하다. 올바른 계획과 충분한 지원이 있다면, 주요 수송 및 산업 부문의 탄소 배출 제로 목표는 달성 가능하다.

이 주제에 대해 더 자세히 알아보려면 :

아래 웹사이트에서 10월 5 ~ 8일에 개최되는 IRENA의 온라인 혁신주간 2020 (Innovation Week 2020)에 참여하거나 녹화자료를 확인하세요(http://innovationweek.irena.org).

이 주제에 대한 추가적인 보고서는 다음 웹사이트를 방문하세요: http://irena.org/industrytransport

☞ 국제재생에너지기구(IRENA)의「Reaching Zero with Renewables - Summary」보고서('20.9월 발표)를 **한국에너지정보문화재단에서 번역**한 내용입니다.

☞ 출처 : IRENA (2020), A summary of Reaching zero with renewables: Eliminating CO2 emissions from industry and transport in line with the 1.5°C climate goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. (https://bit.ly/2Jlum0N)

IRENA
International Renewable Energy Agency