

기후변화 해법 프로파일 / 살기 좋은 기후의 잃어버린 연결고리

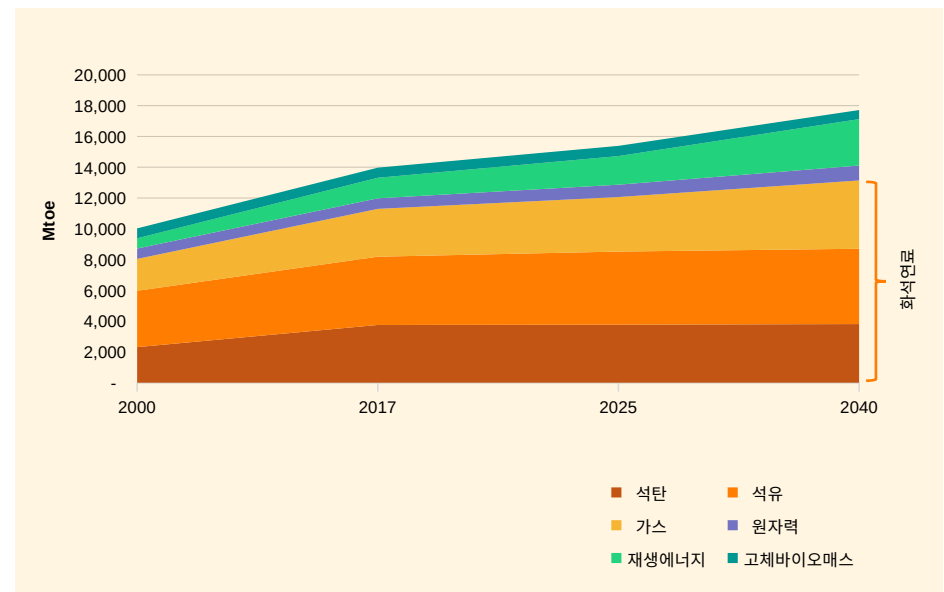
2021년 3월

세계는 2050년까지 지구의 온도상승을 1.5°C로 제한하자는 파리협약의 목표에서 많이 벗어나 있다. 현재 예측에 따르면 재생에너지를 활용한 발전량이 크게 증가한다 하더라도 21세기 중반까지 화석연료가 여전히 전 세계 에너지 사용의 대부분을 차지할 것으로 보인다.¹ 이는 지구 온도를 4°C까지 상승시킬 위험을 높이고 지구의 상당 부분을 인간이 거주하기 적절하지 않은 지역으로 만들 수 있다. 또한, 전기에 대한 접근성이 부족한 인구가 현재 8억4천만명에서 2050년 10억명까지 증가할 것이다.²

기후변화 관련 정부간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)에 따르면 오버슈트 없이 1.5°C 목표를 달성하기 위해서는 인간이 발생시키는 이산화탄소를 2030년까지 절반으로 줄여야 하고 2050년까지 탄소 순배출 제로, 즉 “탄소중립”을 달성해야 한다. 2°C 목표를 위해서는 탄소중립을 2070년까지 달성해야 한다.

현재 예상에 따르면 21세기 중반까지 여전히 전세계 에너지 사용의 대부분을 화석연료가 차지할 것으로 보인다(그림 1). 항공, 중공업, 해운, 비전기 가스 사용 등 ‘탈탄소가 어려운’ 산업에서는 석유 및 가스 사용량이 여전히 많다. 이 문제를 해결할 현실적인 해법이 부족하다는 점이 전 세계를 4°C 온도상승 경로로 향하게 하고 있다.

그림 1. 국제에너지기구(IEA)의 공표 정책 시나리오: 자원별 전 세계 에너지



주요 연구결과

- 전 세계 에너지 시스템, 특히 연료 산업과 탈탄소가 어려운 산업을 탈탄소화하기 위해서는 대량의 청정 전기 및 수소가 필요할 것이다. 수소는 에너지 함량이 매우 높은 에너지 운반체이며 여러 탄소배출 없는 합성 드롭인 연료의 주요 성분이다. 탈탄소가 어려운 산업의 에너지 사용량은 2050년 350EJ에 달할 것으로 예상된다 (그림 2).
- 이 보고서는 21세기 중반까지 항공, 해운, 시멘트 산업, 기타 공업 부문을 완전하고 비용 효율적으로 탈탄소화하기 위해 석유 및 가스 산업의 현재 산업 역량을 신세대 신형모듈원전(이후 “신형열원”)과 결합하여 어떻게 재배치 할 수 있는지 보여준다.
- 이를 달성하기 위해서는 수소기반 연료를 탄소배출 없이 화석연료 대비 경쟁력 있는 가격으로 생산할 필요가 있다. 이 보고서는 생산성 높은 환경에서 제작한 신형열원이 어떻게 대량의 수소를 \$1.10/kg에 공급하고, 2030년까지 비용을 대폭 줄여 \$0.90/kg 까지 낮출 수 있는지 보여준다.
- 신형열원은 모듈형으로 건설·제작하는 기가팩토리 방식(그림 4)을 활용하거나 기존의 세계 최상급 조선소(그림 5)를 활용하여 필요한 규모로 빠르게 건설할 수 있다.
- 하루 1억 석유환산 배럴을 대체하기 위해서는 2020년부터 2050년까지 30년간 \$17조의 투자가 필요하다. 이 투자액은 향후 몇 십 년간 화석연료 공급을 계속 유지하는 경우에 필요한 투자액 \$25조보다 적고, 비슷한 규모의 재생에너지 연료화 전략에 필요한 투자액 \$70조와도 비교된다(그림 3).

그림 2. ‘탈탄소가 어려운’ 부문의 에너지 사용량

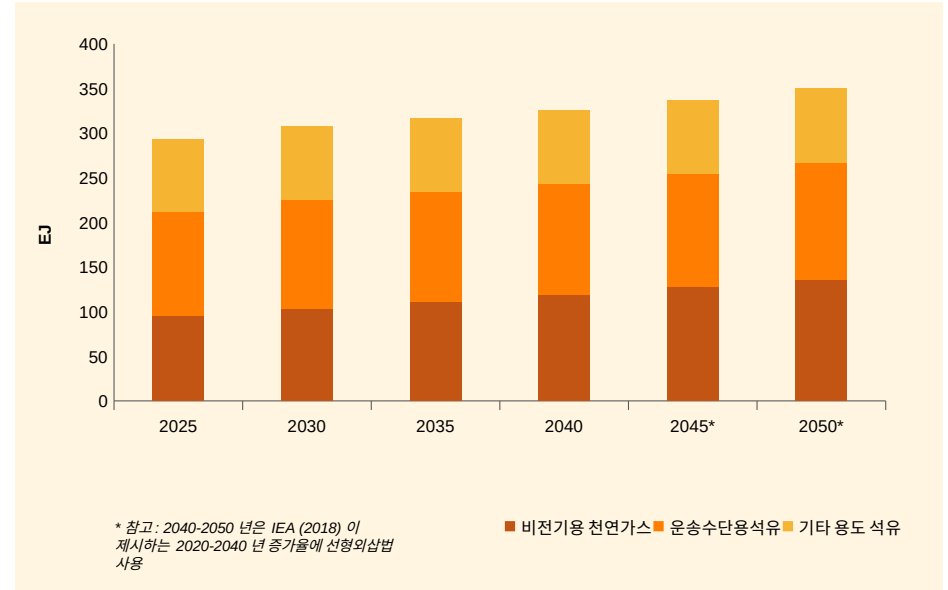
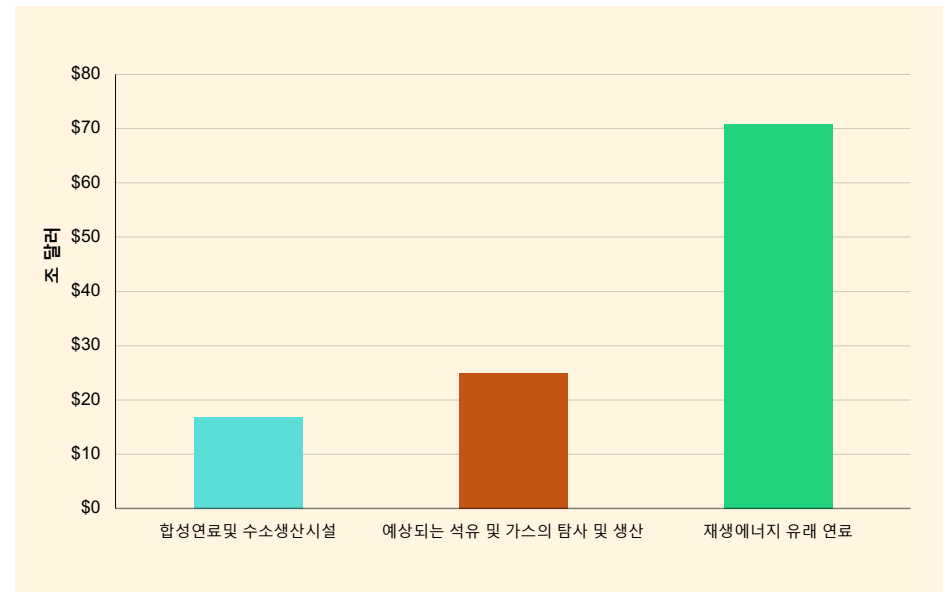


그림 3. 2050년까지 연료대체를 위한 투자액 비교



수소기반 연료: 잃어버린 연결고리

탈탄소화 노력의 많은 부분이 (태양광, 풍력, 원자력, 수력 등 탄소 제로 자원을 사용하여 생산한 전기를 사용하는) 전력화를 통해 실행될 수 있지만, 가까운 미래에 전력화의 혜택을 받을 가능성이 낮은 몇몇 에너지 최종용도가 있다. 수소기반 액체연료는 파멸적 기후변화를 피하기 위해 필요한 기간 내에 탈탄소가 어려운 부문의 문제를 해결할 수 있는 보완적 경로를 제시한다. 이 확장가능하고 깨끗한 연료를 기존의 탄소저감 전략에 추가함으로써 우리는 제 때 탈탄소화를 하지 못할 위험을 낮출 수 있다.

암모니아 등 수소기반 합성연료는 수소를 최종용도 연료로 사용하는 경우에 수반되는 밀도, 저장, 운반 문제를 해결할 수 있다. 암모니아는 대기압에 가까운 압력에서 액체상태로 존재하며 입방미터당 액화수소 대비 2배에 가까운 수소를 저장한다. 암모니아는 또한 새로운 최종용도나 저장 및 운반 인프라에 최소한의 투자만 하는 선박과 가스터빈 등 디젤 발전기 및 엔진의 청정 대체연료로 사용될 수 있다.

암모니아 등 드롭인 대체연료를 경쟁력 있는 비용으로 생산하는 것은 새로운 관련 인프라에 대한 추가적인 투자·계획·공급 필요성을 상당히 낮춤으로써 신속한 청정에너지 전환에 대한 세계적 전망을 바꿔 놓는다.

저비용 청정 수소를 향한 경로

오늘날 사용되는 수소의 1% 이하가 '청정' 수소이며, 그 나머지는 저감장치를 갖추지 않은 화석연료에서 생산되기 때문에 '회색' 수소로 간주된다.³ 국제에너지기구(IEA)는 현재 전 세계 수소생산 과정에서 연간 8억3천만 톤⁴의 이산화탄소가 배출되고 있다고 추정하고 있으며, 이 규모를 볼 때 수소생산 만으로도 지구온난화에 상당한 기여를 하고 있음을 알 수 있다.

30년 이내에 전 세계의 석유 및 가스를 대체하기 위해서는 탄소배출 없는 수소 기반 연료가 현재의 석유 및 가스 대비 비슷하거나 더 낮은 가격에 비슷한 에너지 성능을 보여야 한다.⁵ 최종 사용자들이 쉽게 전환하도록 하기 위해서는 이 드롭인 대체연료들이 상대적으로 저렴해야 한다. 그림 6은 수소생산 가격이 일반 범위에 해당하는 유가 대비 가격경쟁력이 있는 합성연료를 만들 수 있도록 할 필요가 있음을 보여준다. 세 개의 대각선은 두 가지 이산화탄소 가격을 가정한 합성탄화수소와 암모니아의 대략의 비용을 나타낸다. 이들 합성연료를 경쟁력 있는 비용으로 생산하기 위해서는 수소 가격이 \$1.50/kg 아래로 내려가야 한다. 현재 재생에너지를 이용한 수소의 가격은 대량으로 전용 생산하는 경우 \$3/kg가 훌쩍 넘어가고, 이 가격은 그림6의 그래프 안에 들어가지도 않는다.

그림 4. 정유공장 규모의 수소 기가팩토리



그림 5. 조선소에서 제작하는 수소생산시설



수소 비용동인

블룸버그 뉴에너지 파이낸스(BNEF: Bloomberg New Energy Finance)⁶에 따르면, 재생에너지 전기로 생산한 수소는 21세기 중반까지 가격 경쟁력 있는 합성연료에 사용하기에는 지나치게 비싸고, 따라서 이 대안이 큰 역할을 하기는 어렵다. 대량으로 생산하는 고온 신형열원은 완전한 탈탄소화를 추진해야 하는 중대한 기간인 2030-2050년 간 모든 주요 시장에 최저가격으로 수소를 공급하도록 생산할 수 있는 잠재력이 있다(그림 8).

재생에너지 수소의 생산비용을 최대한 낮추기 위해 풍력과 태양광을 같이 설치하는 방법도 가능하다. 태양광-풍력 복합발전은 태양광과 풍력 자원을 최적으로 결합해 설비이용률을 높이고 수소를 2030년까지 \$2/kg에 공급할 수 있다. 그러나 복합발전이 가능한 장소 대부분은 주거지 및 시장과 멀리 떨어져 있다. 예를 들어 호주에서 일본으로 운송하는 경우 원거리 지역 간 운송 비용을 추가하면 비용이 \$2/kg에서 \$3.3/kg로 상승한다. 이는 경제적 경쟁력을 확보할 수 있는 비용 한도(\$0.90/kg)를 넘어서는 가격이다. 이 보고서는 대규모의 화석연료 대체를 위해서는 이 경제적 경쟁력 확보가 필수적이라고 본다.

설비이용률은 수소 생산비용의 가장 큰 비용동인이다(그림 7). 다른 인자들이 일정하다고 가정할 때, 설비이용률이 90%에서 20%로 내려가면 수소비용은 거의 3배 높아진다. 설비이용률이 90%에서 40%로 내려갈 때 비용은 2배 높아진다.

신형열원은 장소에 구애 받지 않는 높은 설비이용률과 대량의 전기와 고온증기를 안정적으로 생산할 수 있는 출력밀도를 가진다. 이러한 신형열원의 특성은 세계적 규모의 저비용 수소생산에 비교대상이 없을 정도로 적합하다.

그러나 지리적 제약을 받지 않는 저비용의 대규모 수소생산 가능하게 하기 위해서는 자본비용 및 운영비를 현저하게 낮추기 위해 신형열원의 공급모델을 근본적으로 변화시켜야 한다. 또한, 프로젝트 실행과 관련한 재정적 위험을 줄이기 위해서는 건설 프로젝트를 더 빨리 더 낮은 비용으로 더 간략하고 능률적으로 운영해야 한다.⁷ 이러한 조건 하에서 신형열원은 충분히 낮은 비용으로 탄소중립적인 수소기반 연료를 충분한 규모로 만들으로써 탄화수소 화석연료에 대한 현실적인 단기대안을 제공한다(그림 8).

그림 6. 수소경제의 유가 '가드레일'

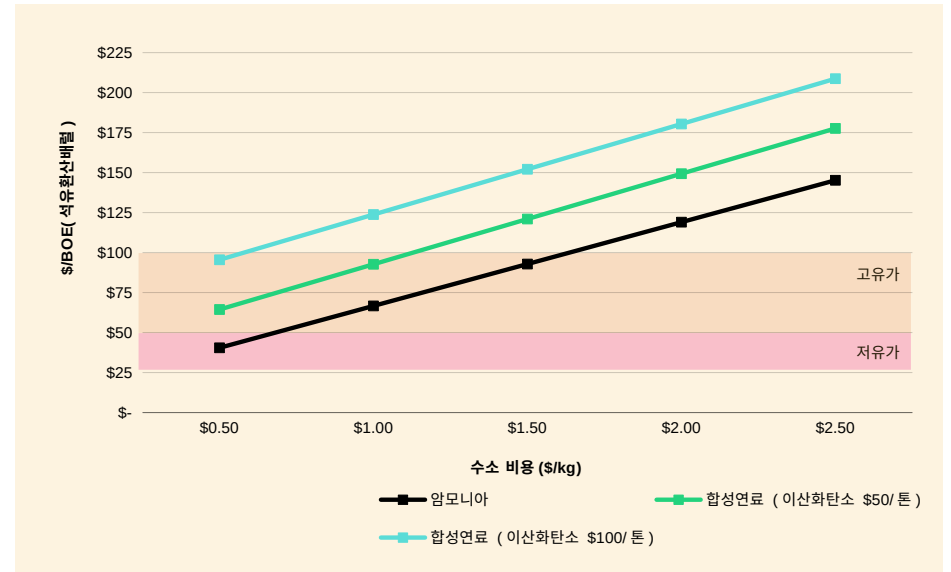
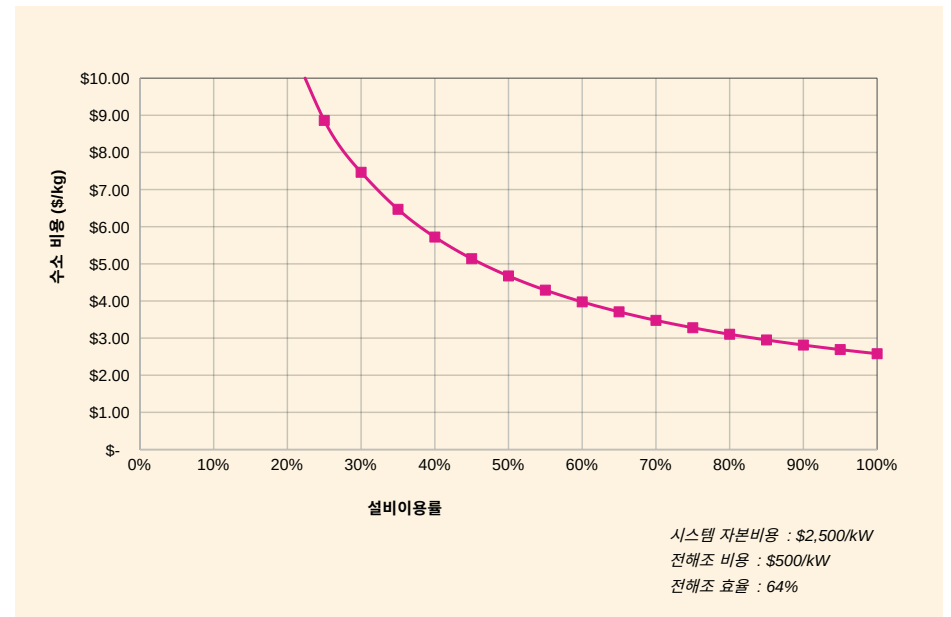


그림 7. 설비이용률과 수소비용의 관계



청정 수소/합성연료 생산을 위한 석유 및 가스 공급역량 재배치

석유·가스산업은 규모가 크고, 이미 가격경쟁력 있는 에너지를 공급하고 있다. 이 산업은 기술을 통합하고 사업을 개발하고 상품을 생산하여 이 상품을 소비자에게 유통시킬 자본과 공급망, 비즈니스 모델을 현재 가지고 있다.

2030년까지 시장진입에 필요한 수소의 잠재적 최저비용을 달성하기 위해서는 조선소와 팩토리 환경에서 사용되고 있는 세계적 수준의 제조역량과 기존 역량을 결합시켜야 한다. 조선소와 정유공장 규모의 생산시설을 통해 이 쉽지 않은 목표비용을 달성하는 것뿐만 아니라 2050년까지 석유·가스산업을 완전히 탈탄소화하는데 필요한 규모와 속도로 충분한 수소와 합성연료를 신속하게 공급할 수 있다(그림 12).

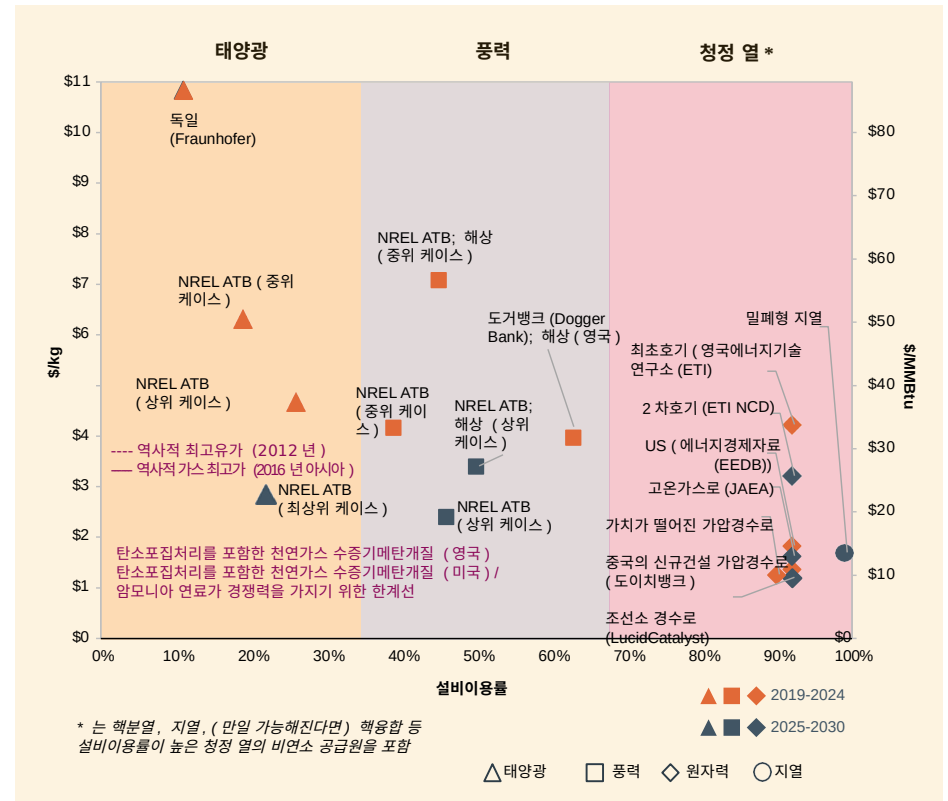
다음으로 우리는 목표로 하는 수소 비용 및 생산규모를 달성하기 위한 두 가지 공급·배치 모델, 즉 (1) 기가팩토리와 (2) 조선소 제작 생산플랫폼을 설명하고자 한다.

수소 기가팩토리

수소 기가팩토리(그림 4)는 정유공장 규모의 수소 생산시설이다. 기가팩토리에는 수소 및 합성연료 생산 인프라의 제작, 설치, 자동가동을 위한 생산성이 매우 높은 팩토리 기반 시스템이 포함되어 있다.

- 열원의 설계와 팩토리 환경을 간략하게 만들면 설치노동 비용을 최소화하고 고품질의 제작기술을 빠르게 적용할 수 있다.
- 고정된 팀이 관리하고 계속적으로 가동되는 표준화된 팩토리 환경에서 재사용 가능한 설계와 반복적인 공정을 통해 라이선싱 절차가 간소화될 수 있다.
- 저비용 수소(\$1/kg 이하)는 기존 가스 파이프라인 인프라에 직접 투입하거나 합성연료 생산 등 다른 용도로 사용할 수 있다.
- 수소 기가팩토리는 해안가의 예전 정유공장 또는 공업용지에 위치할 수 있다. 예를 들어, 예전 정유공장 용지에 위치한 12개의 기가팩토리만으로 현재 영국 전체의 석유 및 가스 수요를 공급할 수 있다(필요한 토지면적 관련 지도는 그림 14 참조).

그림 8. 에너지 기술별 수소생산비용의 현재 실제비용과 2030년 예상비용



출처: 별도 표시가 없으면 태양광과 풍력의 자본비용과 운영비, 설비비용은 미국 국립재생에너지 연구소(NREL) 연례기술기준(ATB) 자료이다. 원자력 비용동인과 설비비용은 “The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Full Technical Report,” (by LucidCatalyst) September 2020와 NREL ATB 자료이다. 전해조 비용의 출처는 맥킨지(McKinsey), 블룸버그 뉴에너지파이낸스(Bloomberg New Energy Finance), 국제에너지기구(IEA), 미국국립재생에너지연구소(NREL), 아이다호국립연구소(Idaho National Laboratory)의 출판물이다.

조선소 제작 연료생산 플랫폼

부유식 해상 연료생산 플랫폼은 석유·가스산업에서 흔하다. 고품질의 가격 경쟁력 있는 플랫폼을 예정된 시간 내에 대량으로 생산하는 세계적 수준의 조선소에서 이러한 플랫폼이 제작된다. 세계적 수준의 기존 조선소 제작 인프라를 활용하여 수소 및 합성연료를 해상에서 생산함으로써 충분히 낮은 가격으로 탄소배출 없는 드롭인 연료를 필요한 시간 내에 전 세계적으로 확대시킬 수 있다.

그렇다면 이러한 배치 규모와 속도가 실제로 달성 가능한가? 설득력 있는 증거들이 가능하다고 말해주고 있다. 이 전환을 주도하는 산업은 지금부터 2050년까지 30년간 14,000개의 플랫폼을 배치해야 한다(그림 11). 이는 현재 전 세계 원자력 발전소 규모 보다 더 큰 규모의 생산플랫폼을 매년 배치하는, 즉 2025-2050년간 매년 약 60개의 생산플랫폼에 해당하는 규모이다. 전세계 조선소는 한 해 1,500 내지 3,500척의 선박을 생산하며 현재 생산용량의 약 50%만 가동되고 있다. 더욱이, 이들 조선소에서 현재 생산되고 있는 많은 제품들이 페트로나스 FPLNG 두아호(이 보고서에서 제시하는 생산플랫폼 보다 훨씬 복잡한 선박)와 같이 석유·가스산업을 위한 생산플랫폼이다. 유희 생산용량을 활용할 수도 있고, 석유 및 가스 인프라가 전용하던 조선소 생산용량을 합성연료 생산플랫폼이 사용하도록 재배치할 수도 있다.

지난 5년간 효율성 낮은 몇몇 소규모 조선소를 폐쇄함으로써 상당 규모의 조선소 생산용량이 통합되었다. 2019년 현재 세계적으로 281개의 조선소가 운영 중이다. 그림 12에서 볼 수 있듯이 64개 대형 조선소의 전용 생산만으로도 석유·가스산업을 청정합성연료로 완전히 대체할 수 있다(그림 10). **이렇게 청정연료와 수소를 공급함으로써 같은 규모의 석유 및 가스 공급을 유지하는 데 필요한 투자액 보다 적은 재원으로 석유·가스산업의 이산화탄소 배출을 완전히 억제할 수 있다(그림 3).**

설계표준화와 고도로 통제된 생산성 높은 환경에서의 생산을 통해 비용이 상당히 낮아질 수 있다. 세계적 수준의 조선소들은 세계에서 가장 생산적인 제작환경을 가지고 있다. 이 조선소들은 엄격한 품질관리 및 품질보증 프로그램을 정기적으로 개발하고 유지·준수한다(원자력 및 항공산업도 다르지 않다). 동급 최고의 조선소들은 비용절감과 고품질의 반복생산을 가능하게 하는 기술과 자동화, 공급망 추적에 상당한 투자를 해왔다.

생산플랫폼을 개발도상국 등 적절한 여러 시장 근처에 정박시키고 저비용의 전기, 수소, 암모니아, 합성탄화수소, 담수 등 다양한 상품을 대량으로 생산할 수 있다.

그림 9에서는 암모니아 생산플랫폼에서 선박이나 다른 소비자들에게 공급하기 위하여 냉각된 액화암모니아를 더 작은 운송병커에 하역하는 것을 볼 수 있다.

해상에 위치한 다중제품 플랫폼

다중제품 플랫폼의 해상 설치에는 몇가지 장점이 있다.

- 전기와 암모니아, 담수에 대한 시장수요를 충족시킬 수 있도록 플랫폼을 설계하여 이 제품들을 필요한 규모로 결합하여 생산할 수 있다.
- 인프라 프로젝트를 위한 육지에서의 추가적인 대규모 투자 없이 해안가 대도시에 다중제품(전력, 연료, 담수)을 공급할 수 있다.
- 다중제품 플랫폼은 태양광의 보완재 역할을 하는 전력이나 수소연료를 가변적으로 생산할 수 있다.

그림 9. 조선소에서 제작한 해상 암모니아 생산플랫폼



- 해상에 위치함으로써 인구밀집지역과의 근접성과 관련한 토지이용 이슈와 부지선정 문제를 제거할 수 있다.
- 원자료가 냉각수(예. 해수)로 둘러싸여 있기 때문에 안전과 관련한 우려를 상당히 해소할 수 있다.
- 전 세계적으로 약 6,000개의 해양 석유 및 가스 플랫폼⁸ 과 440개의 원자로⁹ 가 가동 중이며, 잘 확립되어 있는 해상원자로 규제 등과 같이 필요한 관련 법적·규제적·재정적 인프라가 이미 자리를 잡고 있다. 생산플랫폼은 한 자리에서 연료를 공급받고 가동되는 동안 이동하지 않음으로써 규제 이슈를 간소화할 수 있다.

이러한 생산플랫폼은 국제적 또는 지역적으로 균일한 규제와 허가제도 없이도 여러 국가에 청정에너지를 대량으로 공급할 수 있다. 아주 소수의 국가들은 이런 종류의 생산플랫폼 건설 허가를 위해서는 준비작업이 필요하지만, 풍부한 청정연료는 전 세계 어디에나 공급할 수 있다.

조선소 제작을 통한 비용절감

최근 미국과 유럽의 경험을 보면 원자력 에너지가 기후변화 문제를 해결하는데 의미 있는 기여를 할 것이라고 기대하기에는 너무 비싸고 느리다는 것을 알 수 있다. 그러나 원자로 건설비용의 동인에 관한 광범위한 연구에 따르면 원자력 에너지가 재생에너지와 함께 경쟁력을 확보할 믿을만하고 검증된 경로가 있다.¹⁰ 전 세계의 경험과 수많은 연구가 제시하는 증거에 따르면, 시의적절하고 효과적인 추진절차 배열작업뿐만 아니라 사업설계 표준화 관련 검증된 우수사례를 따름으로써 경쟁력 있는 신규 원자력 발전소 건설이 가능하다. 또한 (위에서 설명한 바와 같은) 새로운 배송·배치모델은 지속적인 재정 접근성과 결합하여 신기술의 더 빠르고 비용효율적인 배치를 가속화하여 궁극적으로 초저비용으로 대량생산에 가까워질 수 있다.

그림 13은 최초호기 및 세대 최초호기에서부터, 연속건설 관련 비용(미국/일본 우수사례), 조선소 제작을 통해 절감한 비용(경수로 조선소), 조선소에서 제작한 신형열원 기술 관련 비용(신형 조선소), 마지막으로 대량생산과 관련한 비용(대량생산)까지의 진화를 보여준다.

저비용의 생산성 높은 조선소 제작환경으로 옮겨감으로써 많은 범주의 비용(예. 콘크리트와 관련한 모든 비용)을 제거할 수 있게 된다. 예상비용은 조선소에서 제작하도록 설계된 플랜트에 대한 상세한 분석에 기반한다. 조선소의 제작공정상 비용은 잘 알려져 있으며, 따라서 신뢰도 높은 비용예측을 가능하게 한다.

그림 10. 시장에 진입하는 조선소와 누적 가동 조선소 수

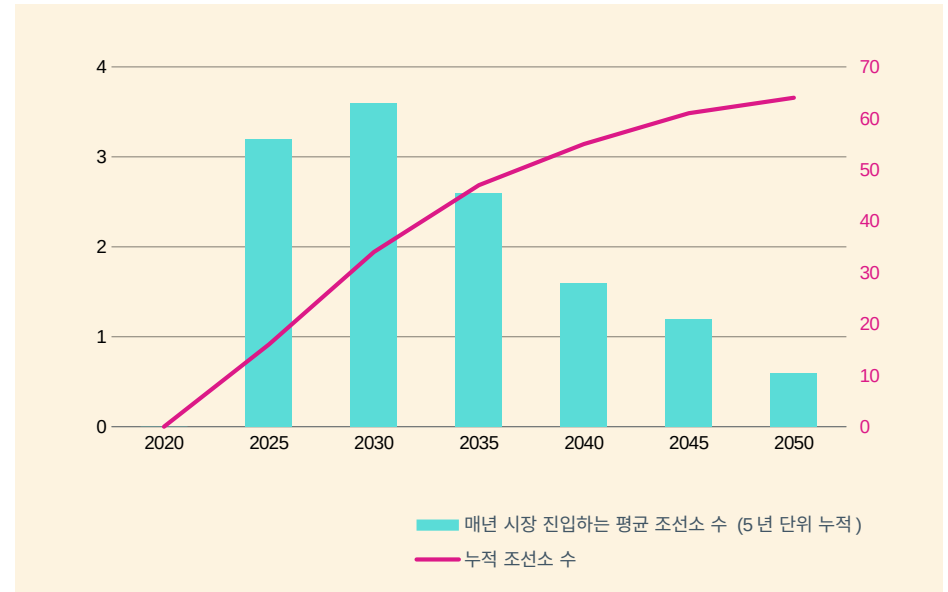
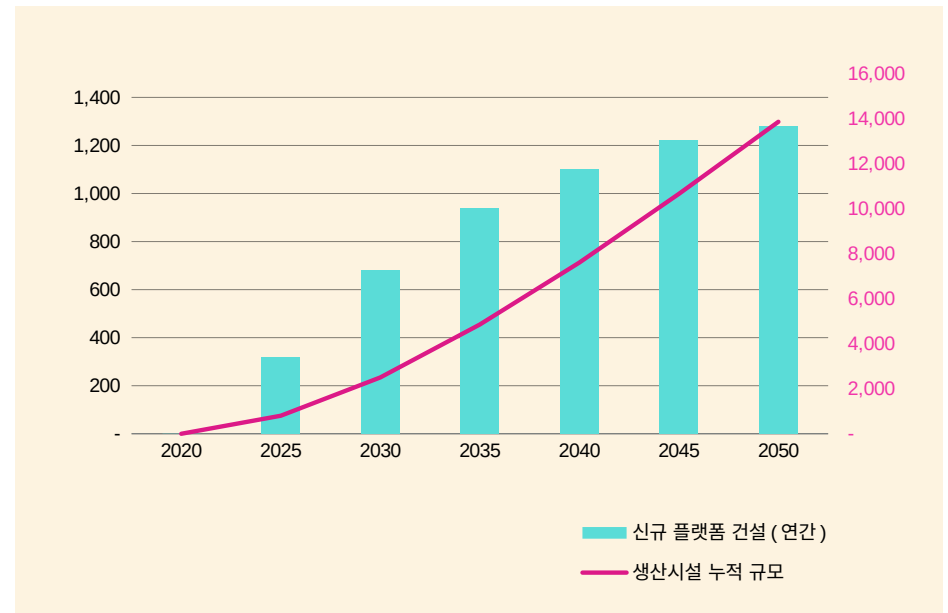


그림 11. 신규 플랫폼과 생산시설 누적 규모



규모: 현실 확인

발전기술별로 완전히 다른 단위면적당 에너지 생산량을 가지고 있다. 에너지 생산량은 아래 표에 나타나듯이 출력밀도와 설비이용률의 함수이다. 따라서, 풍력이나 태양광으로 수소를 생산하기 위해 필요한 지리적 면적은 신형열원보다 훨씬 넓다. 출력밀도 격차가 중요하다. 태양광이 50MW/km²의 출력밀도를 가지고 있는 반면, 해상풍력은 2MW/km² 밖에 공급하지 못한다. 좀 더 현실적인 계산을 위해 터빈 사이의 공간도 계산에 포함하였다. 반대로, 신형열원은 2,080MW/km²의 출력밀도를 가진다. 이는 태양광의 약 500배, 해상풍력의 1,200배에 달한다. 표 1에서는 예시적으로 토지가 한정되어 있고 인구밀도가 높으며 1인당 에너지 사용량이 많은 고소득 국가 3개국, 영국과 일본, 한국이 필요로 하는 토지면적 계산결과를 보여준다(그림 14).

에너지 밀도가 높은 화석 에너지를 대량으로 대체하기 위해 밀도가 낮은 재생에너지를 사용할 때, 재생에너지가 필요로 하는 규모가 엄청나게 증가할 것이고 이는 질적으로 다른 경관 측면의 영향과 지역의 반대, 토지를 확보하기 위한 경쟁을 야기할 것이다. 이러한 영향은 에너지 생산의 상당 부분 대체를 재생에너지에 의존하고 있는 탈탄소화 경로에 상당한 위험요소이다.

표 1. 영국, 일본, 한국의 풍력, 태양광, 신형열원을 통한 에너지와 수소생산

	태양광	해상풍력	신형열원
출력밀도(MW/km ²)	50	2.3	2,080
설비이용률	12%	50%	90%
특정 연간 에너지 생산량 (GWh/km ² /년)	52.6	9.1	16,399
특정 연간 수소생산량 (톤/km ² /년)	968	167	466,979

계산 출처: 태양광은 위키피디아(Wikipedia)의 “최대규모 태양광발전소 목록(the list of the largest photovoltaic power stations, Wikipedia)”을 사용하여 계산; Andrew ZP Smith, ORCID: 0000-0003-3289-2237; “UK offshore wind capacity factors” (참고: 영국 해상풍력의 출력가중평균 설비이용률은 40%이지만 신규 프로젝트는 좀 더 높은 설비이용률이 예상되므로 우리는 50%를 사용); 신형열원은 힝클리 유닛(Hinkley Units) A, B, C (2,427 MWe/km²)와 한국의 한빛원자력발전소(1,733 MWe/km²)의 평균 값 사용. 해상 생산플랫폼과 육상 기가팩토리는 둘 다 출력밀도가 높다는 점 참조

그림 12. 2020-2050년 신형열원에서 생산된 초저가격 수소를 활용한 탈탄소가 어려운 부분의 연료대체

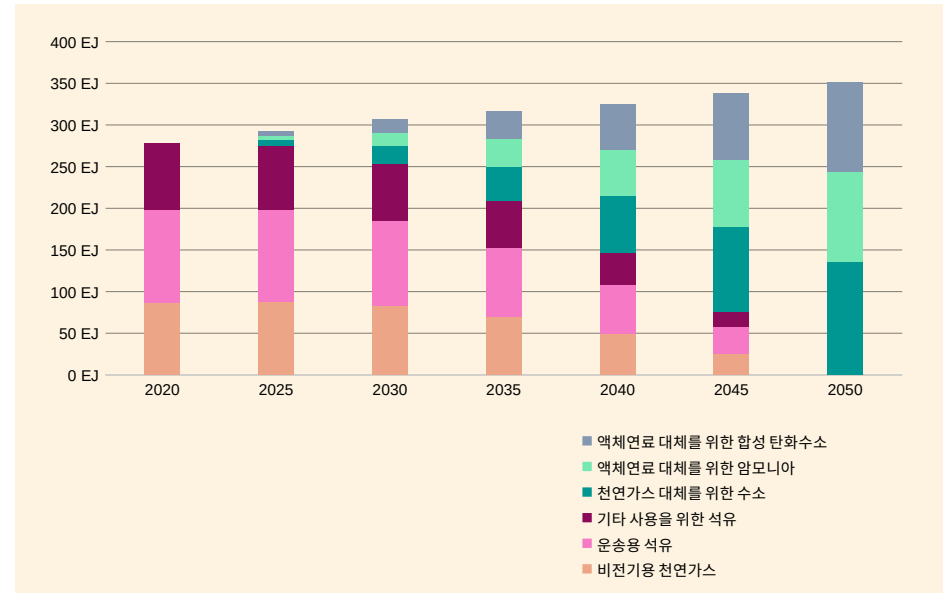


그림 13. 최초호기 건설 프로젝트에서 대량생산으로 전환을 통한 비용 절감

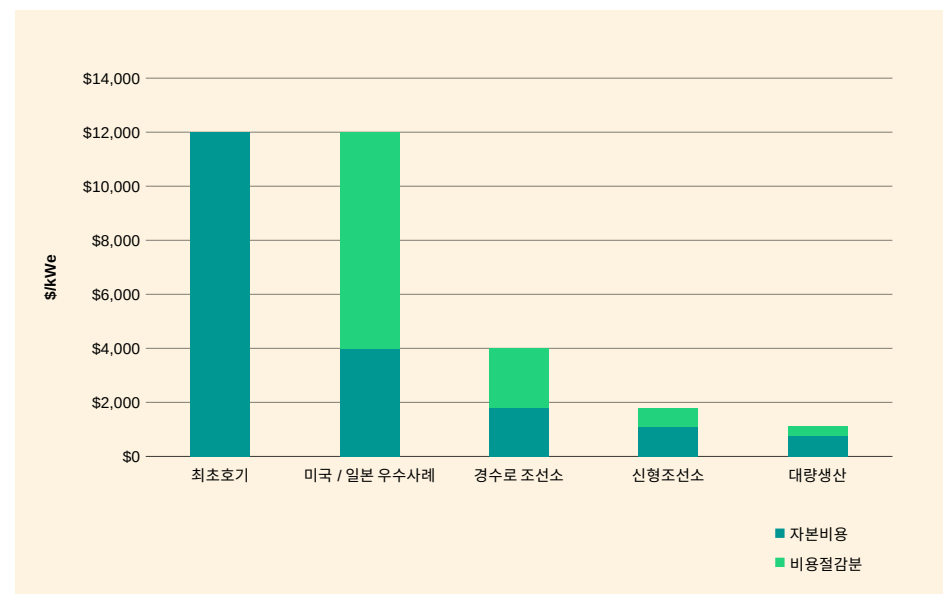


그림 14. 현재 영국의 석유소비를 풍력, 태양광, 신형열원으로 생산한 수소로 대체하는데 필요한 면적

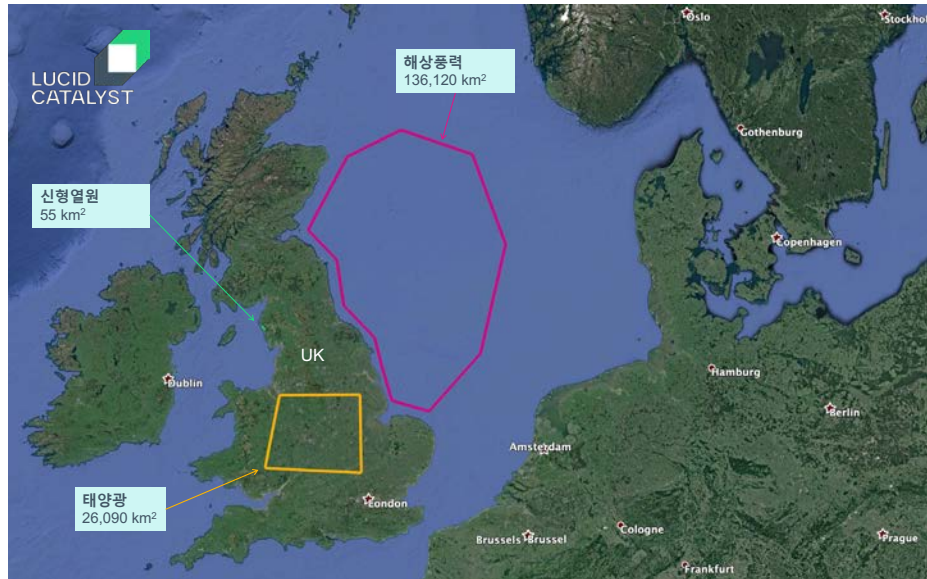
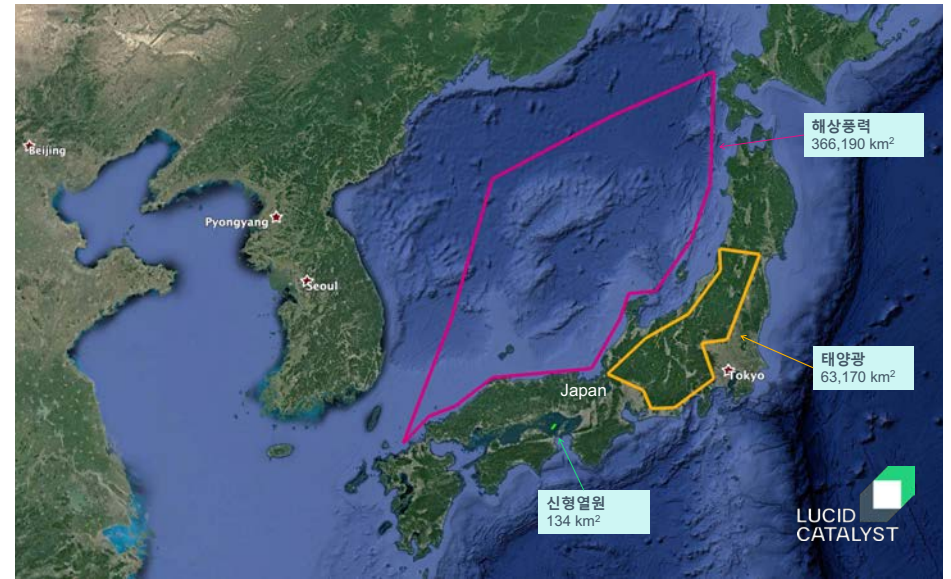


그림 15. 현재 일본의 석유소비를 풍력, 태양광, 신형열원으로 생산한 수소로 대체하는데 필요한 면적



수소 생산에 필요한 지리적 면적에 관한 사례 연구

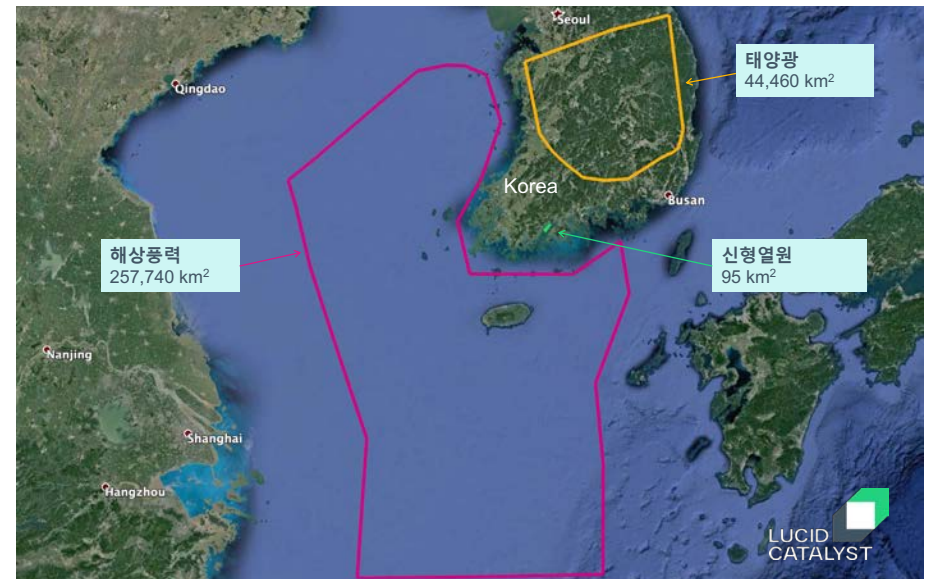
그림 14, 15, 16에서 보여주는 세 개의 지도에는 에너지원별로 영국, 일본, 한국 각각의 현재 석유소비를 대체하기에 충분한 수소를 생산하기 위하여 필요한 총 면적이 서로 다른 색깔의 선으로 표시되어 있다.

영국은 1인당 에너지 사용량이 많고 인구밀도가 높은 고소득 국가이다. 영국이 현재 석유소비를 태양광으로 생산한 수소로 대체하기 위해서는 26,090km²의 면적이 필요하다. 같은 규모의 수소를 해상풍력으로 생산하는 경우 필요한 면적은 136,120km²이다. 이 면적은 북해의 대부분을 차지하는 면적이다. 분홍색 선으로 표시된 면적은 해당 규모의 수소를 생산하기 위한 단일 풍력발전소의 크기이다. 만일 영국이 기가팩토리나 생산플랫폼의 신형열원으로 액체연료를 대체하기 위한 동일한 규모의 수소를 생산한다면, 필요한 토지면적은 55km²로 상당히 줄어든다. 간신히 보이는 녹색으로 표시된 부분이다.

일본은 특히 인상적인 사례이다. 국토에 산이 많고 인구밀도가 높아서 태양광으로 수소를 생산하기 위해 필요한 대규모 태양광 발전소에 할애할 수 있는 토지가 매우 작기 때문이다. 육상 풍력도 비슷한 지리적 제약에 직면하고 있다. 그림 15에서 보듯이 태양광은 그야말로 불가능한 수준이다. 일본의 현재 석유기반 액체연료 소비를 대체하기 위해 태양광을 활용하여 수소를 생산하려면 63,170km²의 면적이 필요하다.

일본은 얇은 대륙붕 면적이 충분하지 않아 해상풍력 자원이 제한적이다. 부유식 해상풍력도 터빈은 해저에 고정시켜야 하기 때문에 수천 미터 깊이의 수심은 결코 적합하지 않을 것이다.

그림 16. 현재 한국의 석유소비를 풍력, 태양광, 신형열원으로 생산한 수소로 대체하는데 필요한 면적



한국도 1인당 에너지 사용량이 많고 인구밀도가 높은 고소득 국가이다. 그림 16의 노란색 선은 태양광으로 생산한 수소로 한국의 현재 석유사용량 전체를 대체하기 위하여 필요한 면적, 44,460km²를 보여준다. 만일 한국이 해상풍력을 대신 선택하는 경우 분홍색 선으로 표시된 면적 257,740km²가 필요하며 이는 남중국해까지 차지하는 면적이다. 신형열원이 차지하는 토지면적과의 차이는 극명하다. 거의 보이지 않는 녹색으로 표시된 신형열원이 필요로 하는 토지면적은 95 km²이다.

우리가 국제적 비교를 지도로 그리지 않는 이유는 수소생산이 이루어지는 위치는 실제 여러 지역에 분산될 것이기 때문이다. 우리는 국가들이 대규모 청정에너지 투자를 계획할 때 가능한 한 이 투자를 통제하려고 할 것이라는 점을 염두에 두어야 한다.

그러나 수치를 보면 놀랍다. 태양광으로 생산한 수소로 전 세계 석유 사용량을 대체하기 위해서는 터키의 국토 면적과 비슷한 770,900km²의 면적을 태양광 패널로 덮어야 한다.

해상풍력으로 전 세계 석유 사용량을 대체하기 위해서는 심지어 더 넓은 면적이 필요하다. 해상풍력의 경우 브라질의 국토 면적(8,460,000km²)과 비슷한 8,380,000km²가 필요하다.

이 보고서에서 제안하는 신형열원을 사용한 생산플랫폼의 경우 전 세계 석유 사용량을 대체하기 위해 가로와 세로가 각각 58km인 3,414km²의 면적이 필요하다.

결론

전 세계 에너지 시스템이 성장함에 따라 필요해진 청정에너지로의 전환 규모와 긴급성을 고려할 때, 탄소 제로 수소를 생산하기 위한 모든 대안이 추진되어야 한다. 대량의 저비용 수소와 수소기반 연료를 생산하는데 동력을 제공하는 신형열원의 잠재력은 탈탄소화와 번영에 대한 전 세계의 단기적 전망을 바꿀 수 있다. 현재는 전 세계 에너지 시스템의 탈탄소화를 위한 실행 가능한 대안이 없지만, 이 보고서는 전 세계 에너지 시스템 상당 부분을 탈탄소화 하기 위한 경로를 제시한다.

필요한 규모로 생산하기가 벅차 보일 수도 있지만 신형열원의 확장성과 출력밀도는 중요한 장점이다. 모듈형 설계의 대량생산 모델로 옮겨감으로써 매년 전세계 여러 시장에 수백 개의 유닛을 공급할 수 있다.

이 유닛에서 생산한 청정에너지는 **공격적인 재생에너지 배치와 결합하여 우리가 매우 제한된 시간 내에 온난화를 1.5°C로 제한하는 파리협약목표를 달성할 가능성을 높여준다.**

기회를 극대화하기 위해서는 신속한 행동이 필요

지금 행동하라. 이 보고서는 확장 가능하고 비용 효율적인 수소를 단기적으로 어떻게 생산할 수 있는지 보여준다. 신형열원과 관련한 위험성은 너무 오랫동안 다른 기술과 함께 위험성의 맥락 밖에서 고려되어왔다. 그뿐만 아니라, 모든 청정에너지 투자는 탈탄소화에 실패할 위험성을 충분히 고려하여 검토해야 한다. 이 보고서는 지도자들이 위험성의 맥락을 고려하고, 대안들을 충분히 평가한 후 정보와 증거에 근거하고 결과에 초점을 맞춘 결정을 내리도록 행동할 것을 요청한다. 정부와 산업계는 지금 당장 정보를 요청하고, 조선소 제작 플랜트의 견적을 청구하고, 정유공장 규모의 청정연료 생산을 의뢰하기 시작해야 한다.

조선소는 비용, 규모, 엔지니어링 통합의 전문가들이다. 우리는 능력 있는 조선소들의 참여를 열심히 촉구해야 한다. 긴밀하게 통합되어 있는 조선소의 설계 및 제작공정은 현장 제철소 및 오랜 기간 만들어진 공급망과 결합되어 필요한 중공업 제조 부품과 장비를 정확하게 공급한다. 조선소는 정확한 원가계산과 일정관리를 지속적으로 제공하고, 조선소의 첨단 제작시설은 세계 표준을 만족시키는 것으로 입증받았다. 조선소는 규제를 강하게 받는 복잡한 제품을 정기적으로 공급한다.

정책 결정. 국내·국제 탄소 제로 수소 관련 기존 정책 및 새로운 정책뿐만 아니라, 국내·국제 탄소 제로 수소시장의 발전 과정에는 기술이 관여해야 한다. 제품의 비용 및 규모, 탄소 제로 수소시장 조성, 탄소 제로 연료의 시장점유율 확대 등과 관련한 주요 성과에 초점을 맞추어야 한다.

재원에 대한 접근성. 투자자들이 위험에 대한 노출을 줄이기 위하여 포트폴리오식 접근법을 취하는 것처럼, 기후변화에 대응하기 위한 국제적 노력도 여러 기술대안으로 이루어진 포트폴리오에 분산시켜야 한다. 재원에 대한 지속적이며 기술 포용적인 접근이 이를 현실화하는 데 있어 중요하다.

산업계 동원. 정부와 산업계는 적정 가격의 탈탄소화와 번영을 향한 자신들의 각오와 역량을 증명하기 위해 선제적으로 협력할 필요가 있다. 이는 혁신적인 기술·공급·배치 모델을 빠르게 비용 효율적으로 상업화하기 위한 국가적·국제적 노력에 적극적으로 참여하는 것뿐만 아니라 전통적인 발전소에서 시범적으로 수소 프로젝트를 시행하는 것을 포함한다.

기후 및 에너지 모델링에 포함. 놀랍게도 신형열원 기술은 오늘날 전 세계적으로 사용되는 주요 에너지 모델링 프로그램에서 제외되어 있다. 우리는 정책결정권자들이 이 입증된 기술대안을 모델링에 포함시키는 것을 고려하도록 권고한다.

참고문헌

- 1 [BP Statistical Review of World Energy 2019; DNV GL Energy Transition Outlook 2019; IEA. "World Energy Outlook 2019," November 2019; IEA \(2019\), "World Energy Model," IEA, Paris, 2019.](#)
- 2 [Sustainable Energy for All 2019.](#)
- 3 [Anouti, Yahya, Raed Kombargi, Shihab Elborai, and Ramzi Hage. "The Dawn of Green Hydrogen." Abu Dhabi, 2020.](#)
- 4 [IEA. "The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities," \(IEA 2019\).](#)
- 5 [Kirsty Gogan and Eric Ingersoll, "We Need More of Our Climate Solutions to Be Impossible™ Burgers," Business Green, December 2, 2019.](#)
- 6 [Bloomberg New Energy Finance \(2020\). Hydrogen Economy Outlook. Key Messages. March 30, 2020.](#)
- 7 [OECD-NEA. "Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders," 2020.](#)
- 8 [Bull, Ann Scarborough, and Milton S. Love. "Worldwide Oil and Gas Platform Decommissioning: A Review of Practices and Reefing Options." Ocean and Coastal Management. Elsevier Ltd, February 1, 2019.](#)
- 9 [Tiseo, Ian. "Number of Operable Nuclear Power Plants by Country 2020." Statista, September 2, 2020.](#)
- 10 [Energy Technologies Institute "Nuclear Cost Drivers Study," LucidCatalyst, 2018.](#)

이 간략한 인사이트 리포트는 훨씬 더 길고 자세한 사고 리더십 연구인 『살기 좋은 기후의 잃어버린 연결고리: 수소 기반 합성연료가 파리기후변화협약 목표 달성에 도움이 될 수 있는 방법』(2020.9월)을 요약한 보고서이며 해당 연구는 lucidcatalyst.com에서 찾아볼 수 있다. 인사이트 리포트에 언급된 통계의 출처는 『살기 좋은 기후의 잃어버린 연결고리』 보고서를 참조하기 바란다.

Copyright © 2021 TerraPraxis

저자: Eric Ingersoll and Kirsty Gogan

무단 전재와 무단 복제를 금함. 짧은 구절을 인용하는 경우 외에는 이 보고서의 어떤 부분도 TerraPraxis의 서면 허가 없이는 정보저장 및 검색시스템 등 어떠한 형태, 어떠한 전자 또는 기계적 수단으로도 재생산 될 수 없음.

terrapraxis.org

**WE DESIGN SCALABLE SOLUTIONS
FOR CLIMATE PROSPERITY**
PRO-HUMAN, PROTECTING NATURE —
A NON-PROFIT ORGANIZATION FOCUSED
ON ACTION FOR CLIMATE & PROSPERITY

**TERRA
PRAXIS**