이슈페이퍼

KEEI
ISSUE PAPER

이슈페이퍼 23-05

그린에너지 통합 시스템(섹터커플링)의 탄소중립 기여도 분석:P2G 기술을 중심으로

이태의·이수민·임정민

에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

이슈페이퍼 23-05

그린에너지 통합 시스템(섹터커플링)의 탄소중립 기여도 분석:P2G 기술을 중심으로

이태의·이수민·임정민

1. 연구의 필요성 및 목적

□ 한국 정부는 2020년 10월 탄소중립을 선언했으며, 2021년 COP26(The 26th United Nations Climate Change Conference of the Parties)에서 상향된 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 발표함.

○ 2017년 수준 대비 2030년까지 온실가스 24.4% 감축이라는 기존 NDC에서 2018년 수준 대비 40% 감축이라는 목표로 상향 조정함.

○ 성공적인 탄소중립 달성을 위해 사회 전반에 걸친 온실가스 감축 노력이 필요하며, 이를 위해 화석연료 사용을 축소하고 클린 에너지로 대체하는 것이 더욱 중요해짐.

□ 효과적인 에너지 전환에 있어 화석연료의 사용비중 축소 및 재생에너지 비중 확대를 위해 부문 간 결합이 가능한 에너지시스템 구축 필요

○ 섹터커플링은 독일에서 발전한 개념으로 가변성 있는 재생에너지 전력을 다른 형태의 에너지로 변환하여 사용 및 저장하고 부문 간 결합을 통해 장기적으로 화석연료의 비중을 줄여나가는 데 핵심이 되는 개념임.

- 섹터커플링은 Power-to-X(P2X) 기술에 의해 이루어지는데, 냉·난방 및 수송 등 최종 사용부문에서의 전력화와 수전해 기술을 이용해 재생에너지 기반 전력을 수소 및 메탄으로 변환하여 공급과 수요 부문을 결합하는 것을 의미

○ 섹터커플링을 통해 장기적으로 화석연료를 재생에너지 기반 전력으로 대체할 경우 산업 전반에 걸쳐 온실가스 감축을 기대할 수 있음.

- 에너지 생산 및 사용과 관련된 온실가스 배출은 대부분 산업, 운송 및 건물 부문의 최종사용에서 발생하기에 최종사용 부문의 전력화를 통해 재생에너지 비중을 늘리는 것이 중요함.

□ **특히, 우리나라의 탈탄소화 전략의 핵심 요소인 수소 이용의 활성화를 위해서는 섹터커플링 기술 중 재생에너지 잉여 전력을 수소로 변환하는 Power-to-Gas (P2G) 기술에 주목 필요**

○ P2G를 통한 전기와 가스의 섹터커플링은 가변적이고 분산적인 재생에너지 기반 전기화(electrification)의 안정적 달성과 미래 수소경제의 이행을 위한 핵심 수단으로 관심 증대

○ 산업계의 수소 수요 증가 고려 시, P2G 기반 수소가 생산되어 공급된다면 산업계 탈탄소화에 기여하는 바가 클 것으로 사료

□ **본 연구는 P2G 기술을 활용해 생산된 수소의 탄소중립 기여도를 분석하는 것을 목적으로 하여, 다음에 대한 분석을 수행함.**

○ 첫째, 수소 기반 온실가스 감축 기술을 적용하여 탄소중립을 달성하고자 하는 철강, 석유화학, 시멘트 산업의 수소 기반 감축 기술 도입 로드맵과 그에 따른 수소 수요를 분석함.

○ 둘째, 산업별 수소 기술로의 전환 로드맵에 따라 기존 화석연료 기반 기술을 수소가 대체함에 따라 저감하게 되는 배출량을 분석함.

○ 셋째, 산업별 중장기 수소 수요 중 국내 P2G 생산 수소로 공급 가능한 양과 그 비중을 파악하여, P2G 기술의 산업부문 온실가스 감축 잠재량을 추정함.

○ 마지막으로, P2G 수소의 산업부문 활용에 따른 탄소중립 기여도를 추정함.

2. 섹터커플링의 개념 및 현황

□ 섹터커플링에 대한 관심과 중요성이 증가함에도 불구하고, 아직까지 섹터커플링의 정의, 범위 및 유사 개념(예: 통합에너지시스템, integrate energy system)과의 차이점 등을 명확히 정립하기 위한 노력은 아직 미비한 상황

□ 본 연구에서 정리하는 섹터커플링의 개념은 크게 두 가지 부문 간 통합을 의미하는데, 첫 번째는 에너지 부문(energy sector)의 통합이고, 두 번째는 경제 부문(economic sector)의 통합을 의미함.

○ 석유, 가스 등 전통적 에너지원을 포함하는 에너지 부문에서는 각 에너지원의 수요와 공급에 따라 생산과 소비가 결정되며, 1차 에너지원을 활용하여 에너지 부문의 최종재로 전환되어 수요단에 직접 공급되는 전력과 열도 포함

○ 경제 부문은 1·2차 에너지원을 공급하는 주체를 포함하는 에너지 공급 부문과 수송, 가정, 산업 등 에너지를 소비하는 주체를 포함하는 수요 부문을 포함하며, 에너지원 사이에서는 화석연료가 공급, 전력과 열이 수요부문으로 구분될 수 있음.

○ 본 연구에서는 우리나라에서 논의가 진행되고 있는 “그린에너지 통합 시스템”이 섹터커플링 기술을 활용한 부문 간 통합을 의미한다고 보고, 단방향 시스템으로 이루어진 에너지 부문과 경제 부문의 에너지 흐름을 양방향 통합 시스템으로 구성하는 것으로 논의를 진행

□ 섹터커플링의 핵심은 P2X 기술로 이는 전력을 다른 형태의 에너지로 변환하여 사용하거나 저장하는 기술들을 의미

○ P2X 핵심 요소 기술에는 전기를 활용하여 수전해를 통해 수소, 메탄 및 액화연료를 제조·저장·전환하는 기술인 P2G(Power-to-Gas), P2L(Power-to-Liquid)기술, 전력을 히트펌프 등을 통해 열로 변환하여 사용하는 기술로 냉난방 부문을 전력화하는 P2H(Power-to-Heat) 기술, 전력을 전기차 배터리 등 ESS에 저장하여 운송부문을 전력화하는 V2G(Vehicle-to-Grid) 기술이 포함

3. 국내 생산 P2G 잠재량 분석

□ P2G의 핵심 기술을 활용하기 위해 전력계통에서 나타나는 초과발전량을 분석하고 이를 흡수할 수 있는 P2G설비의 규모를 파악하여 이를 통해 국내에서 공급가능한 수소생산 잠재량을 분석

○ 첫 번째로, 전력계통의 초과발전량을 도출함. 전력계통의 출력제한 분석을 위해 우선 재생에너지 발전량을 추정했으며, 2030년과 2050년의 재생에너지 발전량 전망은 2019년 8,760시간의 실제 재생에너지 발전량[1]을 확장하여 도출

○ 본 분석의 설비규모 및 발전믹스는 최근 정부에서 논의된 NDC 상향안과 2050년 탄소중립 A 안을 기준 시나리오로 설정하고, 이를 토대로 재생에너지 설비규모를 도출

○ 제9차 전력수급 기본계획과 제3차 에너지 기본계획을 기준으로 전망한 수요에 재생에너지를 반영하여 순수요를 도출

○ 초과발전량 산정을 위한 마지막 단계는 기저발전의 최소발전용량이 필요하며, 앞서 도출한 순부하와 함께 기저발전량(원자력+수도권 열병합+운영예비력 확

1) 전력거래소 제공

보+최소 석탄발전량 기준), 전력계통의 안정적 운영을 위해 확보해야 하는 운영예비력까지 고려하여 재생에너지 출력제한을 분석

〈표 1〉 재생에너지 출력제한 분석 결과

태양광·풍력 기준	2030 재생에너지 30%	2050 재생에너지 72%
연간 태양광·풍력 발전량	163TWh	743.82 TWh
시간단위 출력제한 발생 빈도 (총 발생시간대/8760시간)	1,425시간(16.3%)	2,572시간(26.4%)
연간 출력제한량	14,501GWh	188.956TWh
출력제한 비율 (출력제한/총발전량)	8.9%	25.4%

자료: 저자 작성

○ 최종적으로, 초과발전량 흡수가 가능한 수전해 설비규모를 통해 국내에서 P2G 기술로 공급 가능한 수소생산량 도출

〈표 2〉 출력제한 3% 허용 기준 수전해 설비 및 수소생산량

		2030년	2050년
재생에너지 출력제한 허용 3% 기준		12.2GW	111.7GW
위 용량의 25% 적용 시		**3.0GW**	**28GW**
수소 생산량	예방정비 고려 96.2% 이용률	50.6만 톤	548.6만 톤
	50% 기준 계통대응 운영	**29.9만 톤**	**363만 톤**
50% 기준 계통대응 운영 시 실제 이용률		56.9%	63.6%

자료: 저자 작성

4. 산업부문 온실가스 배출 현황 및 감축 목표

□ **수소 활용 3대 업종인 철강, 석유화학, 시멘트 산업은 화석에너지에 대한 의존성이 높아, 국가 및 산업부문에서의 에너지 사용량 및 온실가스 배출 비중이 높음.**

○ 철강 산업의 온실가스 배출량은 총 1억 1,662만 8,000tCO_2eq.로 추정(2019년 기준, 직접 및 공정배출과 간접배출 모두 포함), 국가 총 배출량의 16.6%, 산업부문 총 배출량의 약 30%를 차지

- 전기로 제강 과정에서의 에너지 소비는 전력 중심(81%), 조강 생산의 주된 생산 방식인 고로 기반 제선 공정을 수반하는 전로 제강공정에서 석탄과 코크스 소비 비중이 총에너지 소비의 약 90%를 차지하며 매우 탄소집약적

○ 석유화학 산업의 2019년 총 배출량은 약 5,502만 tCO_2eq.(간접배출 포함)

- 고온의 열을 가해 납사를 분해하는 NCC(Naphtha Cracking Center) 열분해 공정에서의 직접배출이 석유화학 전체 배출량의 대부분을 차지함. 석유류와 전력 사용에 의한 배출량이 석유화학 산업 전체 배출량의 약 49%와 32%를 차지함.

○ 시멘트 산업의 총 배출량은 약 4,206만 tCO2eq.로(2019년 기준, 간접배출 포함), 국가 총 배출량의 약 6%, 산업부문 총 배출량의 약 11%를 차지함.

- 시멘트 생산의 핵심 원료인 클링커 생산을 위한 소성 공정의 연료로 유연탄, 석유코크스 등의 화석연료가 사용되고, 소성 공정에서 석회석이 탈탄산화반응을 거쳐 분해되는 과정에서 다량의 원료 및 연료 기원 CO_2가 발생함.

□ 2030 NDC 상향안과 2050 탄소중립 시나리오에 따르면, 산업부문은 2018년 배출량(2억 6,050만 톤CO_2eq.) 대비 2030년까지 14.5% 감축, 2050년까지 80.4% 감축하는 것을 목표로 함.

○ 산업부문에서 가장 높은 배출 비중을 차지하는 철강은 기준연도 배출량 1억 120만 톤으로부터 2030년까지 2.3%, 2050년까지 95.5% 감축 필요

○ 배출 2위 업종인 석유화학의 경우, 기준연도 배출량 4,590만 톤으로부터 2030년까지 20.2% 감축을 목표로 하여, 3대 다배출 업종 중 감축률이 가장 높음. 또한, 2050년까지 석유화학과 석유화학의 후방산업인 정유산업이 함께 기준연도 배출량(6,280만 톤) 대비 73.1% 감축 필요

○ 시멘트 업종은 기준연도 배출량 3,410만 톤으로부터 2030년까지 12%, 2050년까지 52.8% 감축하는 것으로 목표로 함.

○ 2050 탄소중립 시나리오에서는 철강 산업의 수소환원제철 기술, 석유화학·정유 산업의 수소 기반 연료·원료 전환, 시멘트 산업 수소열원 등 산업부문 감축 수단으로서 수소의 활용 가능성이 다양하게 논의됨.

5. 산업별 수소 기술 활용 방안 및 도입 로드맵

□ 산업부문 탈탄소화를 위한 수소의 활용 가능성은 크게 둘로 구분

○ 1) 화석에너지 기반 공급원료를 수소로 대체하여 탈탄소화, 2) 고온 가열처리를 위한 공정 연료를 대표적 그린에너지인 수소로 대체하는 방안으로 구분

○ 정부는 『제1차 수소경제 이행 기본계획』(관계부처합동, 2021b) 등을 통해 산업부문의 수소 활용 방안을 구체적으로 제시

○ 수소가 에너지 다소비 산업에 중요한 탄소저감 수단을 제공하여, 산업부문의 탄소중립 달성에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대

○ IEA(2020)는 2070년 수소의 전 세계 총 온실가스 감축 잠재량이 연간 3GtCO_2/년까지 늘어날 것으로 전망하였으며, 수소의 감축 기여도는 약 8%에 달함. 산업부문에서 수소를 통한 온실가스 저감량이 가장 클 것으로 전망

□ 연료 및 원료 전환을 통해 높은 화석연료 의존도를 줄여나갈 필요성이 가장 큰 철강, 석유화학, 시멘트 산업은 수소 기반 감축기술 도입을 적극 추진 중

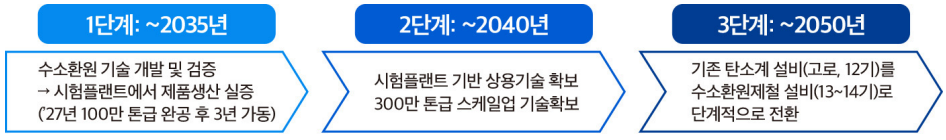
□ 철강 산업의 수소 활용 방안 - 수소환원제철

○ 철강 산업의 탄소 배출 저감 및 탄소중립 달성을 위해서는 혁신적 탄소중립 기술 개발과 산업 적용이 필수적이며, 기존 고로 기반 공정을 대체할 수 있는 새로운 무탄소 기술로서 가장 많은 관심을 받고 있는 기술은 수소환원제철법

○ 2050 탄소중립 시나리오에서도 철강 산업의 2018년 대비 약 95%의 온실가스 감축을 위한 가장 핵심적인 감축 수단으로 수소환원제철 공정의 도입을 제시

○ 수소환원제철(H2 DRI-EAF) 공정에서는 기존 석탄 기반 고로를 대신하여 수소환원 유동로에서 직접환원철(DRI)을 생산하고 이를 전기로(EAF)에서 용융하는 방식으로, 탄소중립에 가장 근접한 기술임.

[그림 1] 철강 산업의 수소환원제철 개발 및 도입 추진 계획



자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021) 및 한국철강협회(2022) 기반 저자 작성

□ 석유화학 산업의 수소 활용 방안 – 연료 및 원료 대체

○ 석유화학 산업에서 탄소중립 수준으로 온실가스 감축을 유도하기 위해서는, 화석연료 기반 원료와 연료의 전환을 동반한 생산구조의 변화가 필수적

- 석유화학제품 생산의 원료로서 원유 기반 납사가 사용되고, NCC 가열로 연료로서 석유. 석탄 등의 화석연료가 투입됨.

○ 2050 탄소중립 시나리오 및 『제1차 수소경제 이행 기본계획』(2021)은 석유화학의 연료 및 원료를 수소로 대체하는 방안을 핵심 마일스톤으로 포함

- 탄소중립 시나리오에는 기존 화석연료 기반 원료를 바이오·수소로 전환하는 원료전환이 주요 감축 전략으로 제시됨.
- “석유화학산업 탄소중립 추진 계획”(한국석유화학협회, 2022)에 의하면, NCC 공정개선과 산업 내 기타 연료전환을 통해 수소 활용 감축을 계획함.

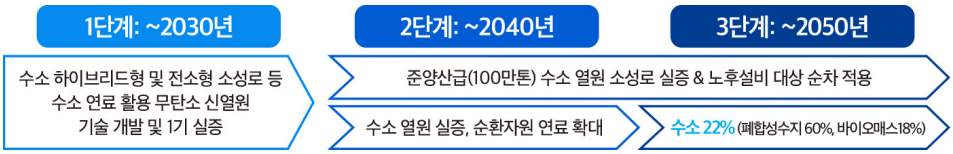
○ (석유화학 수소 연료 활용 감축 방안 1) 석유화학산업 NCC의 열분해 공정에서 납사를 800℃ 이상 고온에서 탄화수소 화합물로 열분해하기 위해 가열로의 열원으로 사용하는 석유계 연료를 수소 등 친환경 에너지로 전환

- 수소 혼소, 수소 NCC, 전기 NCC, 저에너지 촉매공정, 부생메탄 활용 등이 NCC 공정 개선을 위한 주요 기술

○ (석유화학 수소 연료 활용 감축 방안 2) 석유화학 산업 전반에서 사용되는 화석연료인 석탄·원유·도시가스 연료를 수소나 녹색전력 등으로 전환

- 연료 대체 시 수소를 천연가스와 혼소하는 방식으로 활용함으로써 설비투자 비용을 최소화할 수 있는 장점 보유

[그림 2] 시멘트 산업 친환경 연료 활용 기술 개발 및 도입 계획



자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021) p.46 및 한국시멘트협회(2022) 기반 저자 작성

□ 시멘트 산업의 수소 활용 방안 – 연료 대체

○ 시멘트 제조 과정에서 투입되는 원료 및 연료 모두 온실가스의 주요 배출 요인으로, 탄소중립을 위해서는 원료 및 연료 기인 배출량의 저감 노력이 필수적

○ 2050 탄소중립 시나리오 및 『제1차 수소경제 이행 기본계획』(2021)에서는 시멘트 산업의 수소 연료 활용 가능성에 주목함.

- 친환경 연료 전환 수단으로 활용 가능성이 높은 기술은 소성 공정의 열원으로 수소를 활용하는 방안임.
- (수소 활용 방안1) 클링커를 생산하는 소성로의 연료를 친환경 연료로 대체, 폐합성수지, 바이오매스, 수소로 연료 구성
- (수소 활용 방안2) 수소 하이브리드형 및 전소형 소성로 등 수소 기반 친환경 열원 신공정 개발을 통해 수소 연료를 전면적으로 활용

6. P2G 활용에 따른 산업별 온실가스 감축기여도

□ 산업별 수소 기술 도입에 따른 감축 효과 정량화 및 수소 수요 분석

○ 각 산업에서 수소 활용 기술이 기존 화석연료 기반 생산기술을 대체함에 따라 유도할 수 있는 온실가스 감축량을 추정

- 수소 활용 기술로의 전환에 따른 감축량을 추정하기 위한 기초 자료로서 산업별 2050년까지의 생산 계획, 수소 기술 도입 계획, 배출계수 등을 활용

○ 수소 활용 기술이 3대 산업에서 기존 화석연료 기반 생산기술을 대체함에 따라 유도할 수 있는 온실가스 감축량은 2050년 기준 총 1억 1,000만 $tCO_2eq.$로 분석됨.

- 이는 기준연도(2018년) 산업부문의 총배출량인 2억 6,050만 $tCO_2eq.$의 약 40%

○ 2050년 철강·석유화학·시멘트 산업의 총 수소 수요는 총 682만 톤으로 추정

- 51%는 철강 산업의 수소환원제철에 투입되는 환원제로서, 나머지 27%는 석유화학 산업의 연료로서, 18%는 납사 대체원료로, 4%는 시멘트 연료로 활용

〈표 3〉 산업부문 수소 도입에 따른 2050년 온실가스 감축량 및 수소 수요 결과 종합

산 업	수소 활용 방안	구 분	분석 결과	비중	수소 1톤당 감축량
철강	수소환원제철 기술 수소 환원제 활용	온실가스 감축량	8,630 만 tCO_2	78%	24.9 tCO_2/tH_2
		수소 환원제 필요량	346 만 tH_2	51%	
석유화학	NCC 및 기타 공정 수소 연료 활용	온실가스 감축량	1,249 만 tCO_2	11%	6.8 tCO_2/tH_2
		수소 연료 필요량	185 만 tH_2	27%	
	납사 대체 수소 원료 활용[1)]	온실가스 감축량	952 만 tCO_2	9%	7.7 tCO_2/tH_2
		수소 원료 필요량	123 만 tH_2	18%	
시멘트	소성 공정 수소 열원 활용	온실가스 감축량	252 만 tCO_2	2%	9.0 tCO_2/tH_2
		수소 연료 필요량	28 만 tH_2	4%	
3대 산업 종합		**온실가스 감축량 합계**	**11,083** 만 tCO_2	100%	16.3 tCO_2/tH_2
		수소 필요량 합계	**682** 만 tH_2	100%	

자료: 저자 작성

주: 1) 수소 원료 활용에 따른 온실가스 감축량과 수소 수요는 석유화학업종 장기저탄소 로드맵 수립 연구(한국석유화학협회, 2021)의 결과를 인용함

□ P2G 수소의 산업부문 감축 잠재량

○ 수소 1톤이 투입되어 가져올 수 있는 온실가스 감축 효과는 산업 및 기술에 따라 큰 편차를 보임.

- 수소 1톤당 감축 효과는, 철강 24.9tCO_2, 시멘트 9.0tCO_2, 석유화학 원료 대체 7.7tCO_2, 석유화학 연료 대체 6.8tCO_2로 추정됨.
- 철강 산업에서는 수소환원제철이 석탄과 코크스 소비 비중이 높은 탄소집약적 고로 공정을 전면적으로 대체. 석유화학 산업에서의 수소 연료는 배출계수가 상대적으로 낮은 부생가스 및 LNG 등을 우선적으로 대체하기 때문

○ P2G 생산 수소의 산업별 투입량이 각 산업의 수소 수요의 비중에 비례할 것이라는 중립적인 시나리오를 설정하여 감축잠재량 분석

- P2G 잠재량 분석 결과에 의하면, 기준 시나리오(출력제한 3%)에서 도출된 P2G 수소 생산량은 363만 tH2으로, 산업부문 수소 수요의 절반가량에 해당
- P2G 수소 생산 규모의 크고 작음과 관계없이 업종별 수소 수요 비중이 그대로 유지되어 수소가 활용된다고 가정
- 수소 활용 기술별 수소 1톤당 감축량과 P2G 수소 사용량을 이용해, 산업부문 탄소중립 수단의 하나로서 국내 P2G 수소가 가지는 감축 잠재량 추정

〈표 4〉 P2G 수소 활용에 따른 산업별 온실가스 감축 효과

(단위: 만 톤CO_2eq.)

수소 활용 방식	수소 수요 비중	업종별 P2G 수소의 온실가스 감축 효과			
		출력제한 불허용	출력제한 허용 1%	출력제한 허용 3%	출력제한 허용 5%
철강 수소환원제철	51%	8,630	5,882	4,593	3,784
석유화학 수소 연료	27%	1,249	851	665	548
석유화학 수소 원료	18%	952	649	507	417
시멘트 수소 연료	4%	252	172	134	110
온실가스 감축량 합계		11,083	7,553	5,899	4,859

자료: 저자 작성

□ P2G의 탄소중립 기여도 추정

○ P2G의 탄소중립 기여도는, 탄소중립을 위해 저감해야 할 총 온실가스의 규모(즉, 감축 필요량) 중 P2G 수소로 감축 가능한 비중을 구하여 추정

- 온실가스 감축 필요량은 '기준배출량'과 탄소중립 배출량의 차이를 의미
- 탄소중립 달성 시 국가 차원의 순배출량은 0, 즉, Net-Zero가 되므로, '기준배출량' 자체를 곧 온실가스 감축 필요량으로 간주할 수 있음.
- 다음 두 가지 '기준배출량'을 고려하되, 기준의 합리성과 자료의 가용성을 감안하여 P2G 수소의 탄소중립 기여도를 다각도로 분석

〈표 5〉 감축 기여도 평가를 위한 기준배출량 설정

기준배출량			본 연구	판단 근거
1	기준연도 (2018년) 배출량	국가	V	▪ 파리협정 하 우리나라 국가 감축목표(NDC, 탄소중립)의 공식적 기준배출량 ▪ 2050 WOM 배출량과 기준연도 배출량의 차이로 감축 기여도 추정에 편향 발생 가능
		산업	V	
2	2050년 WOM[1] 배출전망치	국가		▪ 온실가스 감축 노력의 평가를 위한 합리적 기준 ▪ 신뢰할 만한 국가 및 부문별 WOM 배출전망치의 가용성 및 접근성 문제 ▪ 3대 업종에서 개별적으로 제공한 전망치 활용 가능
		산업	V	

자료: 저자 작성
주: 1) WOM: Without Measure (특별한 조치를 취하지 않을 경우 배출될 것으로 예상되는 미래 전망치)

○ 분석(1)과 분석(2)는 기준연도 배출량 대비 P2G 감축 잠재량의 비중을 분석

- 3대 업종의 P2G 수소 활용에 따른 2050년 감축 잠재량은 기준연도 국가 배출량 7억 2,760만 tCO_2eq.의 약 6.7~15.2% 규모로 추정
- 산업부문 기준배출량 2억 6,050만 tCO_2eq. 대비 18.7~42.5%로 추정
- P2G 기술이 산업부문과 국가 전체의 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 수단이 될 것으로 평가됨.

○ 분석(3)은 산업부문의 2050년 WOM(Without Measure) 배출전망치를 기준으로, P2G 수소 활용에 따른 감축 잠재량의 산업부문 탄소중립 기여도 분석

- 분석 결과, P2G 수소의 생산 규모와 업종별 활용 규모에 따라 P2G의 산업부문 탄소중립 기여도가 16.5%에서 37.6% 수준에 이를 것으로 추정

〈표 6〉 철강·석유화학·시멘트 산업 P2G 수소 활용에 따른 탄소중립 기여도

구 분	P2G 잠재량 분석 시나리오			
	출력제한 블허용	출력제한 허용 1%	출력제한 허용 3%	출력제한 허용 5%
분석 (1)	기준연도 산업부문 배출량 대비 P2G의 감축 잠재량			
기준배출량[1)]	2018년 산업부문 배출량: 2억 6,050만 $tCO_2eq.$			
철강 수소환원제철	33.1%	22.6%	**17.6%**	14.5%
석유화학 수소 연료	4.8%	3.3%	**2.6%**	2.1%
석유화학 수소 원료	3.7%	2.5%	**1.9%**	1.6%
시멘트 수소 연료	1.0%	0.7%	**0.5%**	0.4%
총 비중	42.5%	29.0%	**22.6%**	18.7%
분석 (2)	기준연도 국가 배출량 대비 P2G의 감축 잠재량			
기준배출량[1)]	2018년 국가 전체 배출량: 7억 2,760만 $tCO_2eq.$			
철강 수소환원제철	11.9%	8.1%	**6.3%**	5.2%
석유화학 수소 연료	1.7%	1.2%	**0.9%**	0.8%
석유화학 수소 원료	1.3%	0.9%	**0.7%**	0.6%
시멘트 수소 연료	0.3%	0.2%	**0.2%**	0.2%
총 비중	15.2%	10.4%	**8.1%**	6.7%
분석 (3)	P2G의 산업부문 탄소중립 기여도[2)]			
기준배출량[1)]	산업부문의 2050년 배출전망치[3)] : 약 2억 9,000만 $tCO_2eq.$			
철강 수소환원제철	29.3%	20.0%	**15.6%**	12.8%
석유화학 수소 연료	4.2%	2.9%	**2.3%**	1.9%
석유화학 수소 원료	3.2%	2.2%	**1.7%**	1.4%
시멘트 수소 연료	0.9%	0.6%	**0.5%**	0.4%
총 비중(기여도)	37.6%	25.6%	**20.0%**	16.5%

자료: 저자 작성

주: 1) 분석(1)과 (2)에서는 산업부문 및 국가 전체의 기준연도(2018년) 배출량을 기준배출량으로 설정하였으며, 분석(3)에서는 2050년 산업부문 WOM 배출전망치를 적용하였음. 기준배출량 설정 관련 자세한 논의는 〈표 6-12〉와 본문 3.3소절 참조

2) 산업부문 Without Measure(WOM) 배출전망치 대비 P2G의 감축잠재량

3) 산업부문의 2050년 WOM 배출전망치 (간접배출 제외) 추정치. 철강, 석유화학, 시멘트 업종으로부터 개별적으로 수집한 배출전망치 정보 및 기타 업종의 2018년 배출 비중 정보를 활용하여 추정함.

○ 본 연구는 P2G 기술로 생산된 수소가 산업부문에서 활용됨에 따라 국가 전체와 산업부문의 탄소중립 달성을 위해 어느 정도로 기여할 수 있는지를 평가함.

○ 분석 결과, 3대 업종의 수소 활용은 주요 다배출 산업의 탈탄소화를 가능케 함으로써, 2050년 탄소중립에 크게 기여할 수 있을 것으로 평가됨

- 철강의 감축 기여도가 가장 높게 나타났으며, 현재 철강 산업의 탄소집약적 배출 구조와 배출 규모, 미래 수소 활용 기술의 감축 잠재력에 기인함.
- 수소환원제철의 감축 잠재량 규모와 석유화학 및 시멘트 산업에서의 수소 연·원료 도입 확대 가능성 등을 고려했을 때, 수소 활용 기술은 우리나라 산업과 국가 전체의 탄소중립 달성에 중요한 역할을 하게 될 것으로 기대

○ 본 분석에서는 탄소중립이라는 목적 달성을 위해 '온실가스 감축' 측면에서 P2G 수소 활용이 어느 정도로 효과적인가에 주목함.

- 탄소중립 달성에 활용 가능한 많은 대안적 감축 수단 중 어떤 감축 수단을 우선적으로 도입할 것인지를 결정할 때, 각 수단의 감축 효율성과 기술 도입의 비용효율성을 함께 고려할 필요가 있음.
- 또한, 수소환원제철 기술, 수소의 석유화학 원료 대체 기술, 시멘트 수소 열원 활용 기술 등은 아직 기술개발 초기 단계로서, 활용 가능성에 있어서 불확실성이 존재