

도시가스 배관망 수소 혼입 관련 해외 선행 연구 및 도입 사례 분석

김지은 · 박기연 · 임대영 · 김태현 · 유철희[†]

한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

An Analysis of Overseas Cases of Hydrogen Mixed in Urban Gas Piping Network

JI-EUN KIM, KI-YOUN PARK, DAEYOUNG LIM, TAE-HEON KIM, CHUL-HEE YU[†]

Energy Safety Empirical Business Center, Korea Gas Safety Corporation, 1467-51 Songhakjucheon-ro, Jucheon-myeon, Yeongwol 26203, Korea

[†]Corresponding author :
gusari@kgs.or.kr

Received 4 October, 2024
Revised 20 October, 2024
Accepted 23 October, 2024

Abstract >> The injection of hydrogen into urban gas pipelines has established itself as an important strategy for achieving carbon neutrality and facilitating energy transition. By utilizing existing infrastructure, it reduces economic burdens, and the successful experimental results from various countries serve as positive signals for the activation of the hydrogen economy. These international case studies will be crucial references for enhancing the safety and efficiency of hydrogen blending technologies in the future.

Key words : Hydrogen(수소), City gas(도시가스), Test bed(테스트 베드), Empirical evaluation(실증 평가), Hydrogen blending technology(수소 혼입 기술)

1. 서론

현재 글로벌 기후 변화를 대응하기 위하여 미국, 유럽 등의 주요 국가는 ‘2050년 완전 탄소중립’이라는 목표를 설정하였으며 우리나라도 ‘2030 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC)’를 마련하여 추진하고 있다. NDC 달성을 위하여 정부는 ‘수소경제 로드맵 2.0’을 수립하면서 수소 사회로의 전환을 위해 인프라 구축 비용 대비 온실가스 저감 효율이 탁월한 도시가스 배관망 수소 혼입 공급이라는 이행 방안을 마련하였으나 이행을 위한 안전성 검증과 관련 안전기준이 미흡하여 정부

에서는 “도시가스 배관망 수소 혼입 전주기 안전성 검증 기술/실증”이라는 통합형 연구개발 과제를 마련하였다.¹⁾

한국가스안전공사도 정부 정책에 맞추어 향후 기존의 배관망에 수소 혼입 농도별(5, 10, 15, 20%) 실증 실험과 해외 사례 분석을 통하여 법규 규제를 마련하는 등 내구성과 신뢰성을 확보할 계획이다.²⁾ 연구 계획의 시행착오를 최소화하기 위하여 주요 국가들 중심으로 어느 정도까지 수소를 혼입할 수 있는지, 배관망 설비 및 최종 수용가 결과에 대한 안전성 등 어느 정도 영향을 미치는지에 대한 해외 사례를 분석하고자 한다.

본 논문에서는 NDC 달성을 위해 선진국 위주의 도시가스 공급 배관 수소 혼입 관련 해외 사례 분석을 통하여 국내 최초로 실시 예정인 대규모 수소 혼입 실증 설비의 신뢰성을 제고하고 연구 추진의 시행착오를 최소화하여 다가올 수소 혼입의 미래에 선제적으로 대비하고 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

최종적으로 해외 사례 분석 및 정부 R&D 연구 과제를 통한 실증 결과를 분석하여 2026년까지 수소 혼입비 산정, 도시가스 배관망 안전기준 및 배관망 수소 혼입 품질 기준 등 관련 법 규정 개정(안)을 마련하고자 한다.

2. 해외 수소 혼입 사례

2.1 주요 국가 수소 관련 정책 및 전략 분석

2.1.1 독일 수소 관련 정책 및 전략 분석

현재 독일에서는 그린수소 중심 자국 생산 및 해외 공급망 확보를 추진하고 있으며 2020년 ‘국가수소전략’을 발표하여 수소 산업 활성화를 위한 세부 이행 계획을 제시하였다. 독일은 수소 전략 발표 이전부터 국내 싱크탱크를 활용하여 수소 로드맵을 준비하였으며 2007년부터 수소산업 시장 경쟁력 제고를 위한 수소·연료전지 지원 정책 프로그램인 ‘수소·연료전지 국가혁신 프로그램(NIP)’을 시행하고 있다. 그리고 수소 생산 비용을 감소시키고 전반적인 산업 활용을 추진하기 위하여 ‘국가수소전략’을 통해 생산 비용 절감을 위한 그린수소 생산에 사용되는 전기요금 및 세금 등 감면, 규제 체제 개선, 기후 변화 자금 활용, 탄소 고배출 산업 부문(철강, 화학 등)의 수소 전환 지원 등의 4가지 조치를 다음과 같이 제시하였다. 그 외에 다른 추진 사항으로 수소 수요량 증진을 위해 해외 수소 생산기지 확보에도 주력 중이다. 독일 정부는 북아메리카, 중동, 호주 등 33개국의 수소 생산국을 조사하여 수소 수입 전략을 수립하였으며 중소기업의 해외 그린수소 생산 플랜트 건설 사업을 지원하는 ‘국제 수소 증산 프로그램(H2UPPP)’도 병행 추진하고 있다.

또한 독일은 철저한 이행 점검을 바탕으로 체계적인 추진을 위하여 ‘국가수소전략’이 수립된 2020년 6월 이전부터 국내 싱크탱크를 활용하여 해외 수소 공급망 확보 등의 주요 아젠다를 발굴해 전략 수립에 반영하고 있다. 독일 정부는 수소전략 전반을 관리하는 ‘수소내각위원회’와 정책 전문성을 위한 자문기구인 ‘국가수소위원회’를 두고 전략 이행 과정을 모니터링하고 있으며 연도별로 이행 보고서를 발간하여 전략 방향성을 검토하고 3년마다 전략을 개정 및 확장함으로써 정책의 일관성을 유지하고 있다.

2.1.2 미국 수소 관련 정책 및 전략 분석

미국에서는 대규모 보조금 정책을 활용한 시장 활성화 및 생산 단가 절감을 추진하고 있다. 미국은 2020년 ‘수소경제 로드맵’에 이어 2023년 ‘청정수소 전략 로드맵’을 발표하였다. 미국은 1970년대 오일 파동을 계기로 에너지 안보를 위한 수소에너지 개발에 착수하였으며 1990년 에너지부(Department Of Energy, DOE)가 주무부처로 지정되며 정부 주도의 연구 개발이 본격화되었다. 우선적으로 미국 정부는 청정수소 생산 단가 절감을 수소경제 활성화를 위한 주요 목표로 삼고 있다. 현재 미국에서는 1 kg당 5달러 수준인 청정수소 생산 비용을 2035년까지 1 kg당 1달러 수준으로 절감하는 것을 목표로 DOE는 R&D 확대, 관련 공급망 정비 등을 추진하고 있다. 또한 수요 증대 및 생산 단가 절감을 추진하기 위하여 청정수소 수전해 기술 개발에 10억 달러, 청정수소 제조 및 재활용 이니셔티브에 5억 달러, 청정수소 지역 허브 개발에 80억 달러 지원이 가능한 인프라법, 2032년 말까지 수소의 탄소 집약도에 따라 수소 생산자에게 최소 kg당 60센트에서 최대 3달러의 세액 공제를 제공할 수 있는 인플레이션 감축법 도입으로 수요 증대 및 생산 비용을 절감을 보이고 있다.

주력적으로 미국은 수소경제 활성화를 위해 풍부한 에너지원의 강점을 바탕으로 청정수소 생산 비용을 절감해 전반적인 수소경제 활성화를 추진하고 있다. 80개 수소 관련 미국 기업 연합은 ‘연료전지·수소연합(Fuel Cell & Hydrogen Energy Association)’

으로 각종 세제 혜택, 연구 개발 자금 확보 등을 위하여 활발히 활동 중이며 연도별 이행평가를 시행하여 정책 연속성을 유지하고 있다. 하지만 미국 기업 연합의 부처 간 협의체(Interagency Working Group)가 존재하지만 최근 활동은 미미하며 민간 대비 정부 차원의 협의체 활동 역시 최근 미미한 수준이다.

2.1.3 일본 수소 관련 정책 및 전략 분석

일본에서는 수소사회 실현을 위한 생산 단가 절감 및 지원 정책 추진을 위하여 2017년 세계 최초로 국가 차원의 ‘국가수소전략’을 발표하였고 2019년 ‘수소·연료전지 전략 로드맵’과 ‘수소·연료전지 기술개발 전략’을 통해 세부 방안을 제시하였으며 2023년 6월 ‘국가수소전략’을 개정하였다. 일본은 2020년 발표한 ‘2050 탄소중립 실현을 위한 그린성장전략’에서 14개 핵심 분야 중 하나로 수소를 선정하여 수소 사업 투자 기업 법인세 세제 감면 및 그린혁신기금(green innovation fund)을 조성하여 재정 지원 혜택을 제공하고 있으며 10 MW급 생산 시설인 ‘후쿠시마 수소에너지 연구단지(Fukushima Hydrogen Energy Research Field, FHERF)’를 건설하고 해외 미이용 에너지 활용 수소 공급망 구축을 위하여 호주, 브루나이, 사우디아라비아, 말레이시아, 인도네시아 등과의 협업을 추진하면서 자국 내 그린수소 생산 역량을 강화함과 동시에 해외 공급망 확충 정책을 병행 중이다. 2023년 일본의 경제산업성은 수소 생산기지를 확충하고 수소와 화석연료(천연가스, 석탄 등)의 발전 단가 차이를 15년간 보조금으로 지원하여 생산 비용 유량(Nm30)에 따라 2023년에는 30엔, 2050년에는 20엔으로 생산 단가를 낮추는 방안을 검토하였다.

이처럼 일본은 2017년 전 세계 최초로 국가 차원의 수소 전략을 수립하고 세부 액션 플랜을 세워 빠르게 수소경제 전략을 추진 중이며 총 32회의 수소·연료전지 전략협의회(2013-2023.05)와 총 8차례의 수소분과 위원회(2022-2023.05)를 개최하며 민간 협력을 지속적으로 진행하고 있다. 특히 338개 민간 기업이 참여하는 ‘수소밸류체인 추진협의회’는 정부

제언 활동, 각국 수소 협의체들과 MOU 체결 등 활발한 활동을 보이고 있다. 일본 정부는 민관이 협력하여 수소경제 전략을 수립, 추진 중이며 ‘수소·연료전지 전략 로드맵’에 대한 이행 점검을 시행한 바 있으나 이후 공식적인 이행 점검 활동은 부재한 것으로 보아 이행 관리는 다소 미비하다.

2.1.4 중국 수소 관련 정책 및 전략 분석

중국에서는 최대 수소 생산 국가 위치 유지 및 재생에너지 활용 그린수소 공급 확대를 추진하고 있다. 2020년 ‘에너지자원법’에서 수소를 주요 에너지원으로 편입시켜 본격적으로 논의하기 시작하였으며 2022년 최초로 중앙정부 차원의 ‘수소에너지 산업을 위한 중장기전략’을 발표하며 국가 주도로 수소경제의 급속한 성장을 추진 중이다. 중국은 2025년까지 그린수소 생산량을 20만 톤까지 확대하고 2035년까지 그린수소 생산 시스템을 조성하며 그린수소 소비 비중을 확대하여 그린 전환을 추진하고 그린수소 핵심기술 연구 개발 및 시범사업 추진을 강조하기 위하여 산업 전반 그린수소 활용도 제고를 위해 노력하고 있다. 중국수소에너지연맹은 2022년 6월 발표한 ‘2030년 그린수소 100 발전 로드맵’을 통해 그린수소 수저 내 생산 설비를 2030년까지 100 GW 확대하는 목표를 제안하였다.

하지만 중국 수소 산업은 여전히 발전 초기 단계에 머물러 있으며 업종, 지역별 정책 지원 체계가 부족하다는 평가이다.

2.1.5 호주 수소 관련 정책 및 전략 분석

호주에서는 2018년 ‘국가수소 로드맵(National Hydrogen Roadmap)’과 2019년 ‘국가수소전략(Australia’s National Hydrogen Strategy)’을 수립하고 풍부한 신재생에너지 자원을 활용해 세계 최대의 수소 생산과 수출 전략을 추진하고 있다. 2003년 호주 산업광자원부는 ‘국가수소연구(National Hydrogen Strategy)’를 통해 수소 기술 및 생산 분야에서 세계 선두에 위치할 것을 비전으로 설정하였다. 수소 생산과 수출 부문에서의 선도 국가를 목표로 수소 수출국 발돋움

을 위해 풍력, 태양광 등 풍부한 신재생에너지 활용 청정수소 생산에 집중 투자하고 있다. 그린수소를 생산하고 이를 한국, 일본, 중국 등 동아시아 국가에 수출하는 것을 목표로 하고 있으며 2030년 22억 달러, 2040년 57억 달러 규모의 수소를 수출할 것으로 전망된다. 2050년에는 호주 전체 수소 생산량의 75%를 수출할 것으로 전망하고 있다.

호주 수소 산업은 청정수소 공급망 확장을 위하여 독일, 일본, 한국 등 국가와 활발한 파트너십을 맺고 있으며 2021년 이행평가 보고서(State of Hydrogen 2021)를 발간하여 ‘국가수소전략’을 점검하였으며 풍부한 자원 수출국으로서의 강점을 활용해 수소 생산 및 수출 부문에서의 선도 국가 지위 확보를 추진하고 있다.

2.2 해외 기업별 수소 혼합 관련 선행연구 결과 분석

2.2.1 독일 수소 혼합 관련 선행연구 결과 분석

독일의 DVGW (Bonn, Germany)는 1859년에 독일의 가스 및 수자원 산업의 안전성과 기술 발전을 도모하기 위해 설립되었다. 초기에는 가스 공급의 안전성과 관련된 기술 표준을 제정하고 연구 및 교육 활동을 통해 산업 발전에 기여하였다. DVGW의 주요 프로젝트는 H2-20 Project (2019.07-2023.07)로 기존의 천연가스 배관망에 최대 20% 수소를 주입하는 현장 테스트이다. 주요 전제 조건으로는 현행 규정을

준수하는 가스망, 가스 기기가 있는 가스 설비, 가스 망 지역 내 소비자 제한이 없어야 하며(compressed natural gas [CNG] 충전소, 가스터빈, 사업용 열처리 플랜트 등), 중압 공급망 섹션, 20 ft 컨테이너 내 수소 주입 플랜트를 사용하여야 한다. H2-20 Project의 실증 결과 혼합 단계 10, 15, 20 vol%에서 20 vol% 수소 주입을 성공적으로 입증하였다.

Fig. 1에서는 시간에 따른 수소 및 천연가스 주입의 체적유량을 나타내며 Hydrogen feed는 수소 주입, Natural gas feed는 천연가스 주입, H₂ concentration은 수소 농도(vol%)를 나타낸 것이다. 주입 단계에서 안정적인 수소 공급을 볼 수 있으며 체적유량이 0-250 m³/h까지 광범위한 현장 점검에서 수소로 인한 문제는 발견되지 않았다는 것을 볼 수 있다. 단 수소 농도 0.28 vol%의 경우 오래된 기기에서 열음향 효과가 기록되었다. 이러한 리스크는 2022년 중반에 교체 및 난방 시스템을 업그레이드하는 것으로 조치하였다. 열음향 효과란 고온부에서 저온부로 열이 흐르면서 음파를 발생시키는 효과를 뜻한다.

Fig. 2에서는 Fig. 1과 마찬가지로 시간에 따른 수소 및 천연가스 주입의 체적유량을 나타내며 hydrogen feed는 수소 주입, natural gas feed는 천연가스 주입, H₂ concentration는 수소 농도(vol%)를 나타낸 것이다. 천연가스 최대 유량은 273 m³이며 수소 저장소가 없는 전해조의 경우 최대 251 kW이다. Figs. 1, 2의 실증 결과를 보아 가스의 CO₂ 배출량 대폭 감소

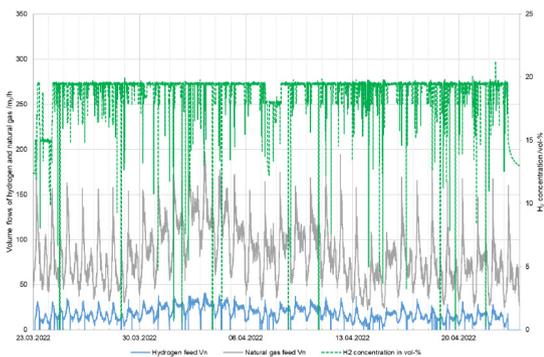


Fig. 1. Injection of 20% hydrogen by volume into an existing distribution grid successfully proven

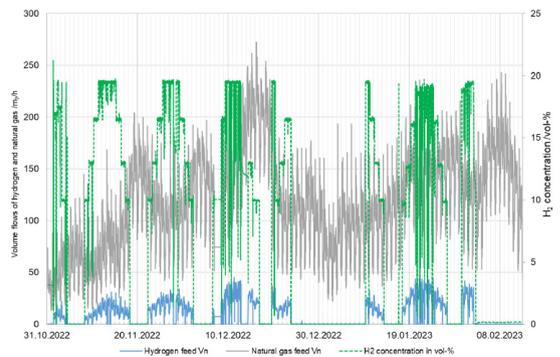


Fig. 2. Admixture phases 10, 15, 20 vol%. Focus on dynamic injection from 0 up to 20 vol% H₂ with samples

와 장비 설정을 변경하지 않고도 천연가스에 부피 기준 최대 20%의 수소를 공급하여 기존 플랜트를 안전하고 효율적으로 유연하게 운영하고 있다.³⁾

2.2.2 프랑스 수소 혼입 관련 선행연구 결과 분석

프랑스의 ENGIE (Courbevoie, France)는 2008년에 설립된 프랑스의 다국적 에너지 회사이며 과거 프랑스 정부 소유의 두 대형 에너지 회사인 가스 드 프랑스(Gaz de France, GDF)와 Suez가 합병하여 설립되었다. 전 세계적으로 전력, 천연가스, 에너지 서비스 등을 제공하며 특히 재생 가능 에너지와 에너지 효율화 분야에서 선도적인 역할을 하고 있다. 주요 프로젝트는 GRHYD Project (2018.06-2020.03)이다. 프랑스의 덩케르크 지역에서 진행된 이 프로젝트는 천연가스 배관망에 수소를 혼합하여 사용하는 파일럿 프로젝트이다. 전제 조건으로는 수소 백터를 통해 기존 가스 네트워크에 재생에너지를 저장 및 공급해야 하며 수소 함량은 변동이 있지만 20 vol%를 초과하지 않아야 한다.

GRHYD Project의 실증 결과는 Fig. 3과 같이 프랑스 최초의 power-to-gas-to grid 솔루션으로 덩케르크 지역의 약 200가구 및 운송 부분(CNG 버스 50대) 대상 시범사업을 진행하였으며 재생에너지를 통해 수소를 생산, 가스 네트워크에 최대 20%의 수소 혼입을 실증하였다.

시연은 22개월 동안 현장에서 수행되었으며 혁신적인 장비 설계 및 테스트(proton exchange membrane [PEM] 전해조, 고체수소 저장소, 주입 스테이션, 가스 분석기 등)를 시범 운영하였다. 그 결과 수소 함량은

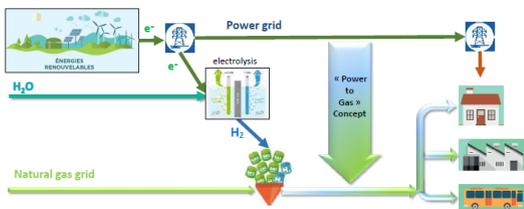


Fig. 3. Power-to-gas is a solution of flexibility and arbitration for the coupling between power grid and gas grid thanks to the hydrogen energy vector

변동이 있지만 20 vol%까지 균일하게 측정되었다.

Fig. 4에서 신규 주액에 공급되는 새로운 가스 공급망에 20% 수소 타당성을 검증하였다. 또한 Fig. 5의 실험실 및 현장 결과(Saunier boiler)에 따르면 가용 효율 증가 및 CO₂ 배출 6%, CO 배출 63%, NO_x 배출 42%가 감소된 것을 볼 수 있다.⁴⁾

2.2.3 영국 수소 혼입 관련 선행연구 결과 분석

영국의 Cadent Gas (Coventry, England)는 주요 가스 배관망 운영사로 영국 전역의 주거, 산업, 상업 고객에게 천연가스를 안전하게 공급하는 역할을 담당하고 있다. 가스 네트워크의 핵심적인 부분을 관리하고 있으며 약 1,100만 가구에 가스를 공급하고 있다. 주요 프로젝트는 HeDepoly Project (2017-2023)로 천연가스 네트워크에 안전하게 수소를 최대 20% 혼입할 수 있음을 입증하는 프로젝트이다. 전제 조건으로는 천연가스에 최대 20%의 수소를 혼합하여 사용 및



Fig. 4. The demonstration lasted 22 months, and applied the fluctuating H₂ content in gas during the winter 2019-2020

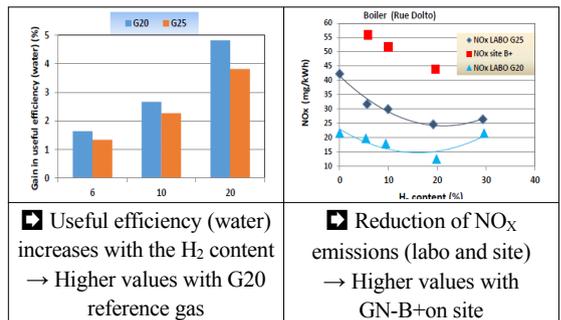


Fig. 5. Results in lab and on-site (Saunier boiler)

배관 종류(재질)별 수소 100%, 메탄 100%, 수소 20% 실증을 실시해야 한다.

HeDepoly Project의 실증 결과로는 Keels 지역 100가 구 및 50개 학부 건물, Winlaton 지역 668가구 수소 20% 혼합 실증 완료하였다.

먼저 가스 기기의 경우 Fig. 6과 같이 연구실 규모 시험 결과 28.4%까지 연소 상태가 안정된 것으로 나타났다. 두 번째, 연료의 경우 2019-2021년 Keels 대학에서 수행된 파일럿 실증으로 Figs. 7, 8과 같이 수소 20% 혼합까지 조리기구나 난방기구 교체가 필요 없음을 입증하였다. 마지막으로 2021-2023년엔 2021년부터 영국 북부에서 실증 규모를 더 키워 영국 전체를 대표할 수 있도록 다양한 네트워크 및 소비자를 실증을 진행하였다.

Fig. 9를 보면 가스를 연소시키지 않는다는 요구 사항을 고려하여 시운전 중 수소 혼합의 첫 번째 처리 생성된 가스가 하루 네트워크에 공급되는 방식으로 이루어져야 한다는 것을 알 수 있다.

증가하거나 감소하는 매우 빠른 천연가스 흐름 변화는 Fig. 10에 표시된 시간 내에서 수소 8% 혼합 시

급격한 변화가 발생하는 일반적인 현상임을 알 수 있다.⁵⁾

2.2.4 미국 수소 혼합 관련 선행연구 결과 분석

미국의 National Renewable Energy Laboratory (Golden, CO, USA)는 여러 대학들과 함께 수소 및 재생 가능 에너지 기술 연구에서 협력하고 있다. 주요 프로젝트는 HyBlend Project (2020년 이후 진행 중)



Fig. 8. Squeeze off demonstration

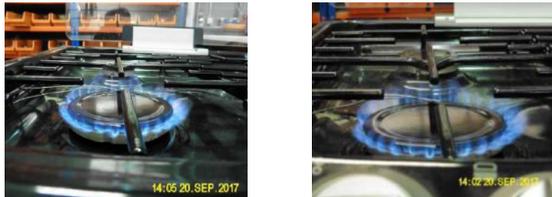


Fig. 6. Cooker hob flames (LHS-methane, RHS-28.4 vol% hydrogen)

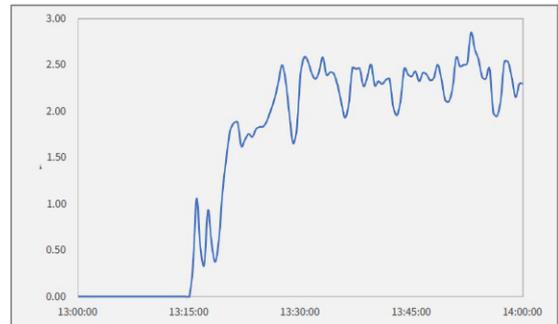


Fig. 9. Initial blend on the 30th October 2019



Fig. 7. Materials soaking chamber

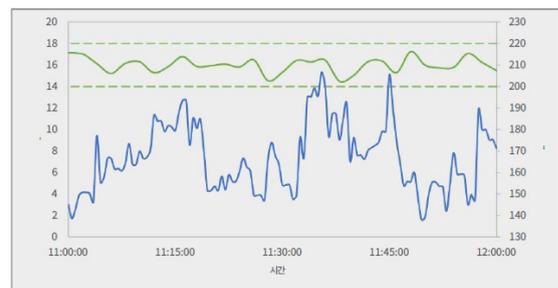


Fig. 10. Natural gas demand profile and blend percentage

가 있으며 이는 DOE의 주도로 진행되는 중요한 연구 프로젝트로 수소 혼합이 기존의 천연가스 배관망과 관련된 인프라에 미치는 영향을 중심으로 평가한다. 배관 및 파이프라인의 수소 호환성, 수명 주기 분석, 기술 경제 분석 등이 연구 과제로 구성된다. 전체 조건으로는 천연가스에 최대 20 vol%의 수소를 혼합하여 수소취성에 미치는 영향을 파악한다. 이때 사용하는 파이프라인 재료는 대부분인 API 강철과 소수인 폴리머 배관 모두 다르며 혼합물의 전체 공급망 전반에 걸쳐 각 단계(천연가스 회수 및 운송, 수소 생산 및 주입, 압축 수소/천연가스 혼합물의 최종 적용)와 관련된 온실가스(green house gas, GHG) 배출 식별이 가능해야 한다.

또한 금속 재료 테스트 및 분석 연구소(Sandia National Laboratories, SNL) 및 고분자 재료 시험 및 분석 연구소(Pacific Northwest National Laboratory, PNNL)와 협력하여 수소 재료 호환성 컨소시엄(H-Mat)을 활용해야 한다.

HyBlend Project의 실증 결과로는 폴리머 시간에 따른 수소의 형태학적 효과를 볼 수 있다. 또한 Fig. 11과 같이 초기 결정화도 및 밀도 감소 후 250 psi의 순수 수소에서는 시간이 지나도 큰 변화가 없다는 것을 알 수 있다.

폴리머 천연가스 네트워크에 수소 추가의 영향에 대한 갭 분석 결과 수소 환경에서 Fig. 12와 같이 파이프의 크리프 및 컴팩트 텐션 싱글 가장자리 노치(결함)의 영향 국소 모듈러스가 감소하는 것을 볼 수 있다.⁶⁾

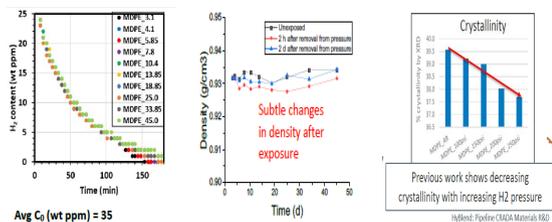


Fig. 11. Accomplishment: polymers morphological effects or hydrogen over time

2.3 수소 혼합 관련 실증시험 결과 법 규제 도입 사례

도시가스 배관망 수소 혼합 실증 결과 법과 규제의 발전에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 각국은 수소경제 활성화를 위하여 안전성과 효율성으로 확보하기 위한 법적 장치를 마련하고 있으며 이는 우리나라 NDC 달성을 위해 수소 혼합 기술과 관련된 정책 수립에도 기여할 수 있다. 영국은 수소를 도시가스에 혼합하는 프로젝트인 ‘H100 Fife’의 결과를 바탕으로 관련 규제를 강화하고 있다. 이 프로젝트는 수소의 안전성과 효율성을 평가하였으며 이를 통해 수소 혼합 비율에 대한 기준을 설정하고 인프라 안전성을 확보하기 위한 법적 근거를 마련했다. 독일은 ‘H2Ready’ 프로그램을 통해 수소 혼합에 대한 법적 규제를 정비하고 있다. 이 프로그램의 실증 결과를 활용하여 수소와 천연가스의 혼합 비율 그리고 이와 관련된 안전 기준을 마련하고 새로운 기술 도입을 위한 법적 장치를 강화하고 있다. 네덜란드는 수소 혼합을 위한 안전 기준을 설정하기 위하여 ‘Gasunie’ 프로젝트의 결과를 활용하고 있다. 이 프로젝트에서 얻은 데이터를 바탕으로 수소와 도시가스 혼합에 대한 규제 및 안전 지침을 마련하고 있으며 규제 기관과 협력하여 법적 체계를 구축하고 있다. 캘리포니아 주에서는 ‘Hydrogen Blending’ 프로젝트의 결과를 바탕으로 수소 혼합에 대한 법적 규제를 도입하고

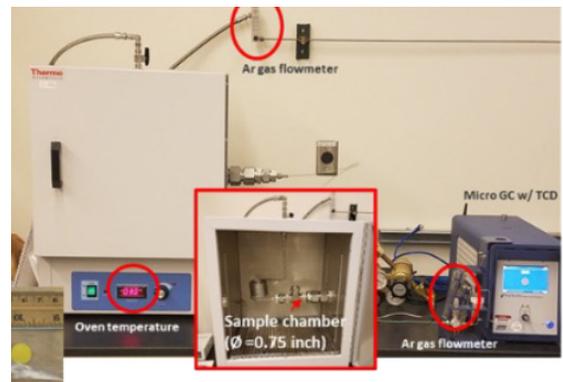


Fig. 12. Crystallinity by XRD-MDPE_AR

있다. 캘리포니아주 정부는 수소 혼합 비율 및 관련 안전 규정을 제정하여 수소경제 활성화를 위한 법적 기반을 마련하고 있다.

3. 결론

도시가스 배관망 수소 혼입은 탄소 배출 저감과 수소 경제 활성화를 위한 중요한 기술로 평가되지만 기술적 도전과 안전성 문제가 존재한다. 이를 해결하기 위해서는 해외 선행 사례 분석 결과 배관망 재질 개선, 안전 관리 시스템 구축, 경제적 타당성 평가가 지속적으로 필요하다. 여러 국가에서 진행된 시범 프로젝트는 이 기술이 상업적으로 도입될 수 있음을 시사하며 향후 에너지 전환 과정에서도 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 해외 사례 분석을 통한 종합 결론은 다음과 같다.

1) 기존의 도시가스 배관망에 수소를 혼입하면 화석연료 사용을 줄일 수 있으며 탄소 배출을 줄이는 데 매우 효과적이다. 영국과 미국의 HyDepoly 프로젝트와 HyBlend 프로젝트는 수소 혼입으로 약 7-10%의 탄소 배출 효과를 확인 할 수 있다. 이는 배관망에 수소 혼입 시 전 세계적으로 NDC 달성에 기여할 뿐만 아니라 실증시험 시 접목시킬 수 있는 중요한 기술로 판단된다.

2) 영국과 네덜란드의 사례에서는 수소 혼입 시 기존의 천연가스 배관망의 재사용이 비교적 강조되는 것을 볼 수 있다. 이는 대규모 인프라 교체 없이 탄소중립을 추진할 수 있으며 저비용으로 이산화탄소 배출량을 크게 절감할 수 있다는 장점으로 판단된다.

3) 각 나라별 수소 관련 수소 혼입 실증 결과 및 도입 사례를 바탕으로 도시가스 배관망 수소 혼입 실증 시에 안전/안정/호환성 확인 및 기존 설비들의 영향성 검토 및 실증시험을 위한 모델링 및 시스템 최적화(안)에 접목시켜 사고율 0%에 가깝도록 안전성을 높이고자 한다.

이러한 해외 사례 분석의 결론과 실증시험의 결과를 통하여 보다 안전성과 신뢰성을 높일 수 있는 수소 혼입비 산정, 도시가스 배관 안전기준 및 배관망 수소 혼입 품질 기준 등의 관련 법 규정 개정(안)을 추진하고자 해외 연구 실증, 운영, 사례를 분석하여 안전성 검증 및 국내 안전기준 정립과 관리 체계 개선에 활용하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었다(과제명: 도시가스 배관망 수소혼입 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발, 과제번호: RS-2023-00236237).

References

1. D. Kim, T. Kim, D. Lee, Y. Kim, K. Ahn, Y. Bae, J. Park, and Y. Kim, "Study on electrochemical hydrogen separation of hydrogen and nitrogen mixture gas", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 34, No. 2, 2023, pp. 149-154, doi: <https://doi.org/10.7316/JHNE.2023.34.2.149>.
2. C. Lee, J. Ryu, G. Sohn, and S. Park, "Technical review on liquid/solid (slush) hydrogen production unit for long-term and bulk storage", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 32, No. 6, 2021, pp. 565-572, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2021.32.6.565>.
3. DVGW, "H2-20", DVGW, 2023. Retrieved from <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-20>.
4. Engie, "The GRHYD demonstration project", Engie, 2020. Retrieved from <https://www.engie.com/en/businesses/gas/hydrogen/power-to-gas/the-grhyd-demonstration-project>.
5. HyDeploy, "HyDeploy project", HyDeploy, 2021. Retrieved from https://hydeploy.co.uk/app/uploads/2022/06/HyDeploy-Close-Down-Report_Final.pdf.
6. M. W. Melaina, O. Antonia, and M. Penev, "Blending hydrogen into natural gas pipeline networks: a review of key issues", National Renewable Energy Laboratory, 2013. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/51995.pdf>.