

## 부생수소 활용을 통한 온실가스 감축량 산정방법론 연구

김현창\* · 박승준\*\*†

\*한국공학대학교 생명화학공학과 박사과정, \*\*한국공학대학교 생명화학공학과 교수

### A methodology for greenhouse gas emission reduction using by-product hydrogen

Kim, Hyun-Chang\* and Park, Seung Joon\*\*†

\*Doctor Student, Department of Chemical Engineering & Biotechnology, Tech University of Korea, Siheung, Korea

\*\*Professor, Department of Chemical Engineering & Biotechnology, Tech University of Korea, Siheung, Korea

#### ABSTRACT

In response to the energy supply chain crisis, the world has scrambled to announce a Net-Zero policy: in line with this, the Korean government is also looking to select hydrogen as a new growth engine and transition to a hydrogen economy. In this regard, this study aims to help companies that use hydrogen as a raw material, especially those located in petrochemical complexes where by-product hydrogen is generated, to re-use by-product hydrogen in place of the hydrogen extraction process, thereby securing raw materials and reducing greenhouse gas emissions. This study aims to develop a methodology that can reduce greenhouse gas emissions and analyze the economic effects expected when applying this methodology. A greenhouse gas reduction methodology that uses by-product hydrogen to replace hydrogen obtained through extraction was developed and applied to I chemical to calculate the expected greenhouse gas reduction and analyze the economic effect of securing greenhouse gas emission rights. The final amount of greenhouse gas reduction was 55,792 tCO<sub>2</sub>-eq. The profit from securing greenhouse gas emission rights was estimated to be about 1,156 million Korean won when reflecting the KOC's average transaction price of 20,728 won in 2022. Re-use of by-product hydrogen can contribute to a smooth transition to a hydrogen economy in Korea.

*Key words: By-Product Hydrogen, Extracted Hydrogen, Methodology, Greenhouse Gas*

### 1. 서론

날로 심각해지는 기후위기 및 러시아-우크라이나 전쟁 등으로 인한 에너지 공급망 위기에 대응하기 위해 전 세계는 앞다투어 탄소 중립(Net-Zero) 및 그린 뉴딜 정책을 발표하였으며, 특히 미국, EU 등 주요 선진국들은 국가수소전략/로드맵을 발표하며 수소경제를 선점하고자 총력을 펼치고 있다. 이에 발맞추어 우리 정부도 수소를 새로운 성장동력으로 낙점하고, 수소경제로의 전환을 위해 다양한 노력을 경주하고 있다.

정부는 그 노력의 일환으로 2019년 1월 수소경제 활성화

화 로드맵(Joint Ministries, 2019)을 통해 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약하겠다고 발표하였으며, 2021년 2월 5일에는 세계최초로 '수소경제 육성 및 수소 안전 관리에 관한 법률'(약칭:수소법)이 본격 시행되었다.

수소는 탄화수소(Hydrocarbon), 암모니아(NH<sub>3</sub>) 등 다양한 석유화학 제품의 원료로 사용되며, 이에 우리나라의 많은 석유화학업체는 수소개질설비를 통해 수소를 추출하여 공정에 투입하고 있다. 이 과정에서 가장 큰 문제는, 1 kg의 수소를 생산하는데 이산화탄소 약 10 kg을 배출해 탄소중립에 역행한다는 점이다. 이에 비해 부생수소는 석유화학이나 철강 제품 생산 과정에서 부산물로 발생하는

†Corresponding author : sjpark@tukorea.ac.kr (15703, Engineering Building D312, 237 Sangdaehak-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do Tech University of Korea, Siheung, Korea. Tel. +82-31-8041-0618)

ORCID 김현창 0000-0002-8240-1419

박승준 0000-0001-5130-1741

수소이므로 추출(개질)수소에 비해 수소 생산을 위한 추가설비 투자비용 등이 없어 경제성이 높으며, 그로인해 추가적인 에너지 투입도 필요없어 추출수소에 비해 온실가스 배출이 적다는 장점이 있다.

정부의 수소경제 활성화 로드맵에 따르면, 수소 생산 로드맵은 부생수소 → 추출수소 → 수전해수소 순이며, 이중 부생수소는 수소경제 활성화 초기의 마중물 역할을 담당하고 있다(Joint Ministries, 2019). 또한 부생수소는 친환경 수소인 그린수소(수전해수소)의 상용화 전까지 우리나라 수소생태계의 선제적 조성을 위해 필수불가결한 전략적 자원이다.

이에 본 연구는 수소를 원료로 사용하는 기업체, 특히 부생수소가 많이 발생하는 석유화학단지(울산, 여수 등) 내 위치하고 있는 업체가 부생수소를 활용하여 추출수소 공정을 대체함으로써 원료를 안정적으로 확보함과 동시에 온실가스를 감축할 수 있는 외부사업 방법론을 개발하고, 이를 적용 시 예상되는 온실가스 감축량 및 경제적인 효과를 분석하고자 한다.

본 연구와 유사연구로 Lee et al. (2022)에서는 제철소의 코크스 오븐가스 부생수소의 전과정 온실가스 배출량을 분석하였다. Jang (2022)에서는 LCA (Life Cycle Assessment: 전과정평가)를 이용한 부생수소의 온실가스 배출계수를 연구하였다. 상기 연구들은 주로 LCA방법을 활용하여 부생수

소의 온실가스 배출량 및 배출계수를 연구하였으나, 부생수소의 감축량을 산정하는 연구가 아니라는 점에서 본 연구와 차별성을 가진다. 또한 본 연구는 부생수소를 활용하여 추출수소 공정 대체를 통한 온실가스 감축량을 산정하는 외부사업 방법론을 개발하는 과정을 포함한 것이 기존 연구와 차별화되는 특징이다.

## 2. 연구절차 및 내용

본 연구는 추출수소 제조공정의 온실가스 배출 특성 및 부생수소 활용을 통해 추출수소 제조공정을 대체하여 온실가스를 감축하는 사업에 대한 산정방법론을 제시하는 것이 주된 목적이며, 연구 방법론은 Fig. 1과 같다.

첫째, 추출수소 제조공정 확인을 통해 온실가스 배출 특성을 조사하였다.

둘째, 부생수소를 활용한 온실가스 감축사업에 대해 분석하였다.

셋째, 국내 온실가스 배출권거래제도에서 인정하는 외부사업 방법론 기준을 검토하여 해당 감축사업의 적용 기준을 도출하였다.

넷째, 부생수소를 활용한 온실가스 감축사업을 국내 외부사업 기준에 부합하는 방법론으로 개발하였으며, 절차는 Fig. 2와 같다.

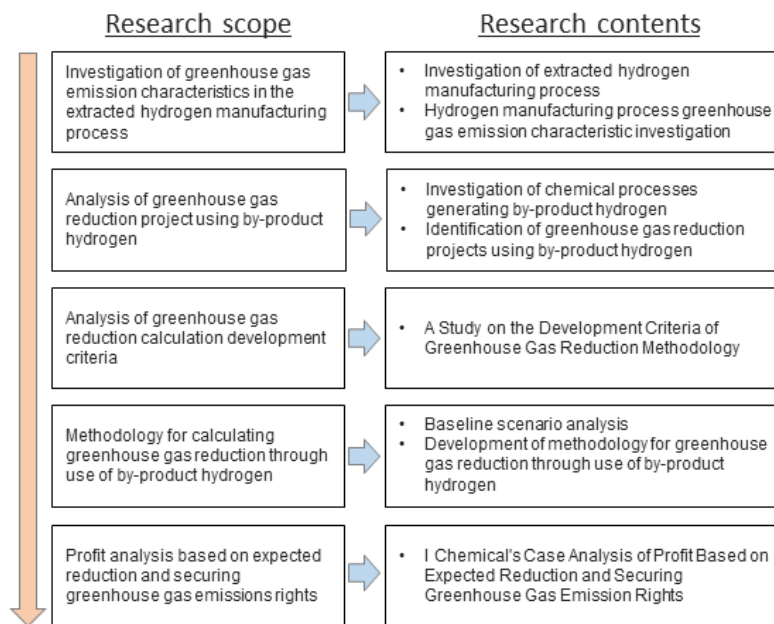


Fig. 1. Research methodology flowchart

마지막으로 부생수소 활용으로 인한 추출수소 제조공정 대체사업의 예상 온실가스 배출량 및 감축사업 추진 시 가능한 예상 감축량을 추정하였으며, 온실가스 배출권 (KOC: Korean Offset Credit) 가격을 고려한 예상 수익에 대한 효과를 분석하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1. 추출(개질)수소 제조공정에서의 온실가스 배출 특성 조사

추출(개질)수소는 다양한 방법으로 가스 중 추출된 수소 또는 천연가스, 나프타(Naphtha) 등 산업공정에서 발생하는 탄화수소와 스팀을 원료로 고온 조건에서 개질 촉매를 이용해 생산된 수소를 말한다. 본 연구에서는 국내 석유화학 공장에서 흔히 볼 수 있는 형태 중 하나인 나프타의 개질반응으로 수소를 추출하는 공정에서의 온실가스 배출특성을 울산 소재의 I화학 사례를 통해 살펴보고자 한다. I화학은 제품의 주요 원료인 수소를 생산하기 위한 시설을 보유하고 있으며, 본 연구의 방법론을 적용할 수 있는 사업장 중 하나이다. I화학은 NP (Normal Paraffin), Special Solvent, TDM, IPA 등 다양한 석유화학제품을 생산하고 있는 업체이다. 회사의 대표 생산품목인 NP의 제조공정은 Fig. 3과 같다.

수소 제조 공정에서는 원료인 경질나프타를 투입하여 반응과 개질을 거쳐 수소를 생산하며, 개질 반응을 위해 LNG를 연료로 사용한다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다.

해당 공정에서는 ‘온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침, [별표 6] 배출활동별 온실가스 배출량 등의 세부산정방법 및 기준’에 의거하여 총 3가지의 온실가스가 배출되며, 그 종류는 다음과 같다(Ministry of Environment, 2023, pp. 45-318).

첫째, 고정연소(기체연료) 배출: 기체연료 연소 배출활동은 특정 시설에 열을 제공하고 이를 열 혹은 기계적인 일로 공정에 제공하기 위해 설계된 장치 내에서 LNG, LPG, 프로판, 부탄 및 기타 부생가스 등 기체연료의 의도적인 연소로부터 발생하는 온실가스 배출을 말한다. 동 활동에서는 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 발생한다. 수소제조 공정에서는 개질 반응을 위해 LNG를 개질로(Reformer)에 연료로 투입하여 온실가스가 배출된다.

둘째, 간접(전기) 배출: 수소제조설비 가동을 위해 사용된 구매전력에 의한 온실가스 배출을 말한다.

셋째, 수소제조공정 배출: 경질나프타를 촉매 존재 하에서 수증기와와 접촉반응에 의해서 약 70% 순도의 수소를 제조하고, PSA (Pressure Swing Adsorption) 공정을 거쳐 불순물을 제거함으로써 순도 99.9% 이상의 수소를 제조하는 공정이며, 이때 CO<sub>2</sub>가 배출되고, 그 양은 원료

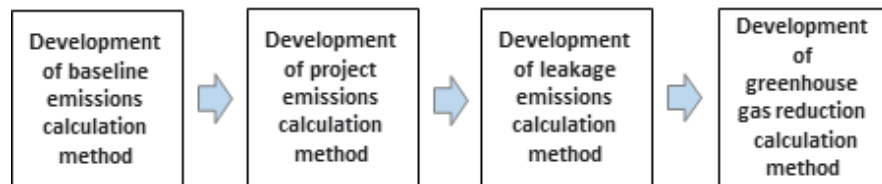


Fig. 2. Methodology development process that meets Korean offset standards

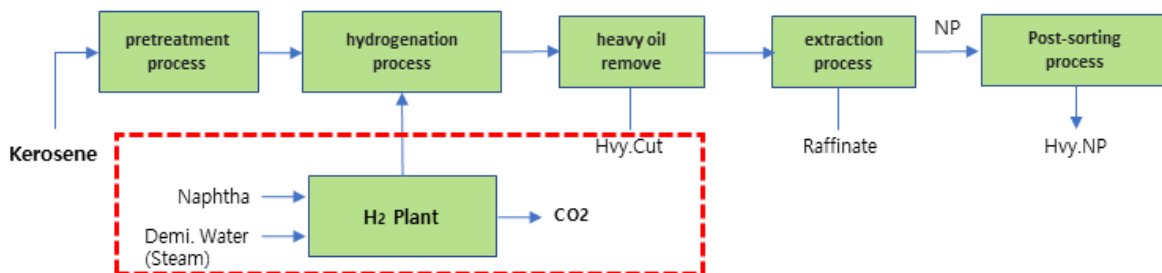


Fig. 3. NP (Normal Paraffin) production process

Source: I chemical

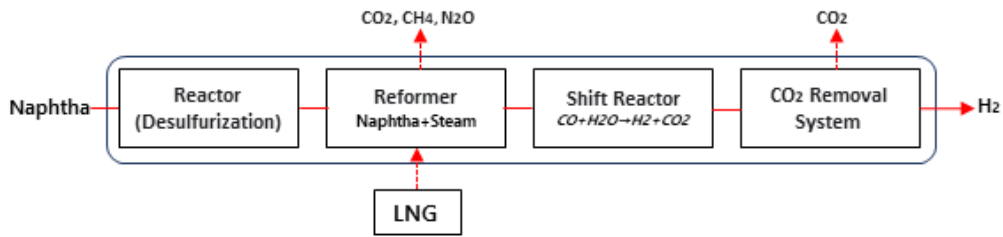
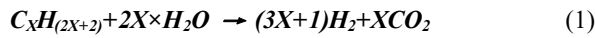


Fig. 4. Extracted (reformed) hydrogen production process

Source: I chemical

중의 수소와 탄소의 비율에 따라 달라진다. 반응식은 Eq. 1과 같다(Ministry of Environment, 2023, p. 120).



Eq. 1. Formula of CO<sub>2</sub> emission from extractive hydrogen production process

수소제조공정에서 배출되는 온실가스 종류를 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

**3.2. 부생수소를 활용한 온실가스 감축사업 분석**

I화학은 온실가스 감축을 위해 수소유통업체로부터 부생수소를 공급받아 기존 수소공정을 대체하였다. 부생수소 공급사인 H사, S사의 경우 PDH (Propane DeHydrogenation)공정에서, L사의 경우 초산의 원료인 CO (Carbon monoxide)제조 공정에서 각각 부생수소가 발생하며, 이것은 각사의 제품생산중 필연적으로 생산되는 부산물로서 추가적인 온실가스 발생이 없다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 6과 같다.

부생수소 대체사업과 동시에 I화학은 수소의 자가생산을 위한 기존 수소제조설비를 가동중지하였으며, 이로 인해 기존에 발생하던 온실가스 전량을 감축하였다 (Ministry of Environment, 2020). 이를 그림으로 나타내면 Fig. 7과 같다.

**3.3. 온실가스 감축량 산정방법론 개발 기준 분석**

방법론이란 온실가스 감축량 또는 흡수량의 계산 및 모니터링을 하기 위하여 적용하는 기준, 가정, 계산방법 및 절차 등을 기술한 문서를 말한다. 방법론은 베이스라인 배출량, 사업 후 배출량, 누출량으로 구성되어 있으며 각각에 대한 의미는 다음과 같다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2023).

베이스라인 배출량(Baseline Emission)이란 감축사업 사업자가 감축사업을 하지 않았을 경우, 사업경계 내에서 발생가능성이 가장 높은 조건을 고려한 온실가스 배출량을 말한다.

사업 배출량(Project Emission)이란 감축사업 활동이 진행됨에 따라 인위적으로 발생되는 온실가스 배출량을 의미한다.

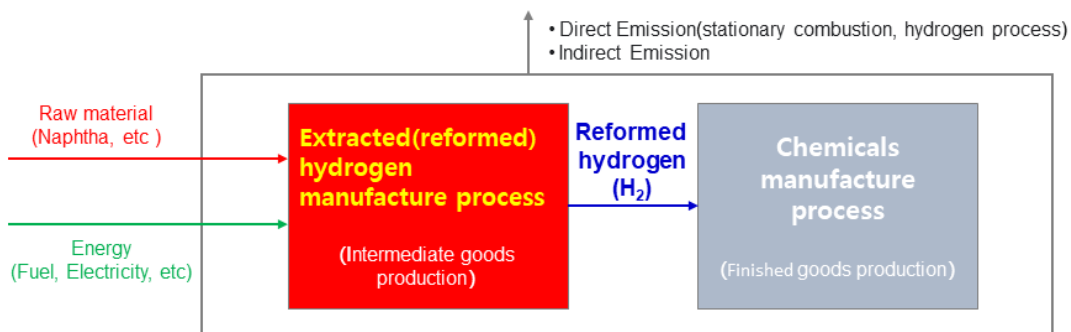


Fig. 5. GHG emissions in the extraction hydrogen production process

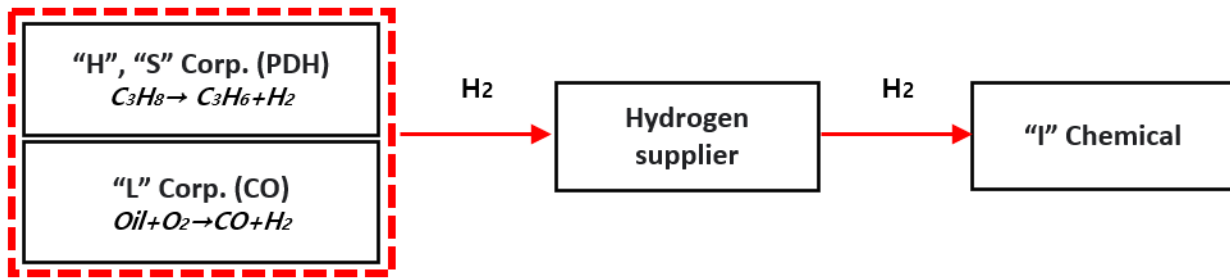


Fig. 6. By-product hydrogen supply project

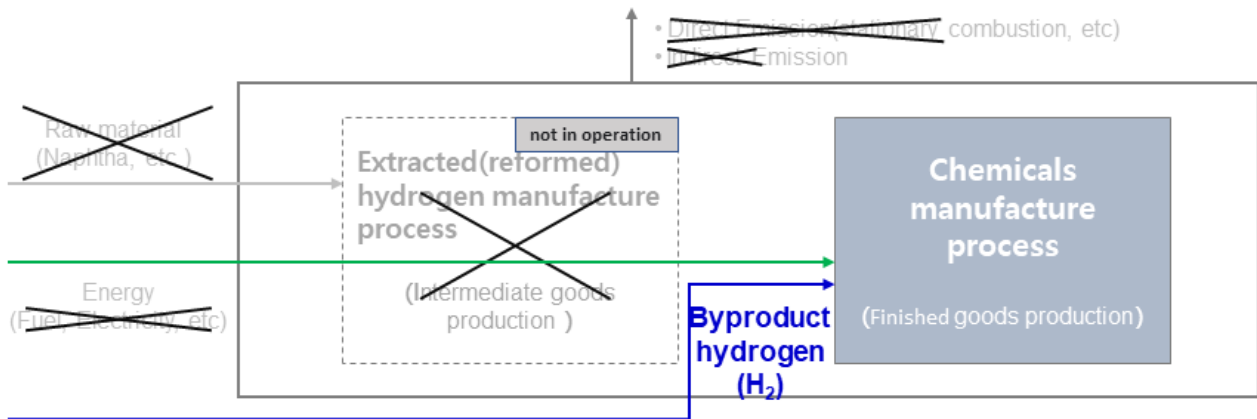


Fig. 7. GHG reduction project using by-product hydrogen

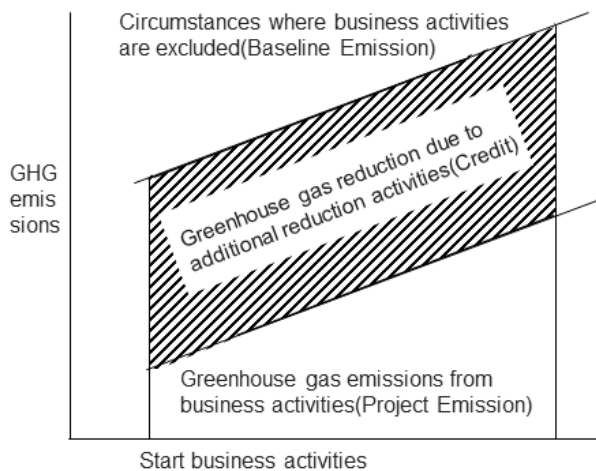


Fig. 8. GHG emission reduction methodology

누출(Leakage)은 사업경계 밖에서 발생하는 온실가스의 인위적인 순배출량 변화로 감축사업 활동에 측정되고 감안될 수 있다.

온실가스 감축량은 베이스라인 배출량에서 사업 배출량 및 누출량을 제외한 값으로 산정한다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 8과 같다(Choi et al., 2018, p. 402).

### 3.4. 부생수소 활용을 통한 온실가스 감축량 산정방법론

본 연구를 통해 제시하는 감축량 산정방법론은 사업 이전에 화석연료를 사용하여 수소를 자체 생산 및 이용하던 사업장에서 부생수소를 공급받아 수소 제조공정을 대체함으로써 온실가스를 감축하는 사업에 적용 가능한 방법론이다. 본 방법론의 베이스라인 시나리오는 본 사업을 시행하지 않았을 경우, 사업장에서는 기존의 화석연료를 이용하여 수소를 생산 및 이용하였을 것이다.

#### 3.4.1. 베이스라인 배출량(BE<sub>y</sub>) 산정방법

베이스라인 배출량(BE<sub>y</sub>)은 사업 전·후 화석연료, 열 및 전력사용량 그리고 수소 제조 공정배출량을 적용하여 산정하며, 산정식은 (2) ~ (5)와 같이 제시될 수 있다.

$$BE_y = (BE_{FH} + BE_{EL} + BE_{H_2}) \times \frac{(Q_{PJ,B_0H_2,y} \times r_{B_{yi}} + Q_{PJ,H_2,y} \times r_{i,y})}{Q_{BL,H_2} \times r_i} \quad (2)$$

단,  $\frac{(Q_{PJ,B_0H_2,y} \times r_{B_{yi}} + Q_{PJ,H_2,y} \times r_{i,y})}{Q_{BL,H_2} \times r_i} \leq 1$   
 (베이스라인을 초과한 수소 사용량은 불인정)

기호	정의	단위
$BE_y$	y년도 베이스라인 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$BE_{FH}$	베이스라인 화석연료 및 열사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$BE_{EL}$	베이스라인 전력사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$BE_{H_2}$	베이스라인 수소 제조 공정에서의 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$Q_{BL,H_2}$	수소사용시설에서 사업 전 연간 추출수소 사용량	천m <sup>3</sup> /년
$Q_{PJ,B_0H_2,y}$	수소사용시설에서 사업 후 y년도 부생수소 사용량	천m <sup>3</sup> /년
$Q_{PJ,H_2,y}$	수소사용시설에서 사업 후 y년도 연간 추출수소 생산량	천m <sup>3</sup> /년
$r_i$	추출수소(H <sub>2</sub> )의 순도	0에서 1사이의 소수
$r_{B_{yi}}$	부생수소(H <sub>2</sub> )의 순도	0에서 1사이의 소수
$r_{i,y}$	사업 후 y년도 추출수소(H <sub>2</sub> )의 순도	0에서 1사이의 소수

1) 화석연료 및 열사용에 따른 연간 배출량

$$BE_{FH} = \sum_i (FC_{BL,i} \times NCV_i \times EF_{FF,i}) + \sum_i (HC_{BL,i} \times EF_{H,i}) \quad (3)$$

기호	정의	단위
$BE_{FH}$	베이스라인 화석연료 및 열사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$FC_{BL,i}$	베이스라인 화석연료 i의 연간 사용량	kg,L,Nm <sup>3</sup> /년
$NCV_i$	사용된 화석연료 i의 순발열량	MJ/kg,L,Nm <sup>3</sup>
$EF_{FF,i}$	사용된 화석연료 i의 이산화탄소 배출계수	tCO <sub>2</sub> /TJ
$HC_{BL,i}$	베이스라인 열원 i의 연간 사용량	GJ/년
$EF_{H,i}$	사용된 열원 i의 이산화탄소 배출계수	tCO <sub>2</sub> /GJ

2) 전력사용에 따른 연간 배출량

$$BE_{EL} = EC_{BL} \times EF_{EL} \quad (4)$$

기호	정의	단위
$BE_{EL}$	베이스라인 전력사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$EC_{BL}$	베이스라인 연간 전력사용량	MWh/년
$EF_{EL}$	전력배출계수	tCO <sub>2</sub> -eq/MWh

3) 수소 제조공정에 따른 연간 배출량

수소 제조공정에 따른 배출량 산정방법론의 경우 ‘온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침’에 의거 수소생산량을 기반으로 하여 산정하도록 하고 있다.

$$BE_{H_2} = (Q_{BL,H_2} \times r_i) \times \frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2} \times 1.963 \quad (5)$$

기호	정의	단위
$BE_{H_2}$	베이스라인 수소 제조 공정에서의 연간 CO <sub>2</sub> 배출량	tCO <sub>2</sub> /년
$Q_{BL,H_2}$	수소 사용시설에서 사업 전 연간 추출수소 사용량(베이스라인 연간 수소생산량)	천m <sup>3</sup> /년
$r_i$	추출수소(H <sub>2</sub> )의 순도	0에서 1사이의 소수
$\frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2}$	반응식 $C_xH_{(2x+2)} + 2xH_2O \rightarrow (3x+1)H_2 + xCO_2$ 에 따른 수소 1몰 생산량 당 CO <sub>2</sub> 발생 몰 수	-
1.963	CO <sub>2</sub> 의 분자량(44.010)/표준상태 시 몰당 CO <sub>2</sub> 의 부피(22.414)	-

3.4.2. 사업배출량( $PE_y$ ) 산정방법

사업 배출량( $PE_y$ )은 사업 후 실제로 소비된 화석연료, 열 및 전력사용량 그리고 수소 제조 공정배출량이며, 산정식은 (6)~(9)와 같이 제시될 수 있다.

$$PE_y = PE_{FH,y} + PE_{EL,y} + PE_{H_2,y} \quad (6)$$

기호	정의	단위
$PE_y$	y년도 사업 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$PE_{FH,y}$	사업 후 y년도 화석연료 및 열사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$PE_{EL,y}$	사업 후 y년도 전력사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$PE_{H_2,y}$	사업 후 y년도 수소 제조공정에서의 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년

1) 화석연료 및 열사용에 따른 연간 배출량

$$PE_{FH} = \sum_i (FC_{P,i,y} \times NCV_i \times EF_{FF,i}) + \sum_i (HC_{P,i,y} \times EF_{H,i}) \quad (7)$$

기호	정의	단위
$PE_{FH}$	사업 후 y년도 화석연료 및 열사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$FC_{P,i,y}$	사업 후 y년도 화석연료 i의 연간 사용량	kg,L,Nm <sup>3</sup> /년
$NCV_i$	사용된 화석연료 i의 순발열량	MJ/kg,L,Nm <sup>3</sup>
$EF_{FF,i}$	사용된 화석연료 i의 이산화탄소 배출계수	tCO <sub>2</sub> /TJ
$HC_{P,i,y}$	사업 후 y년도 열원 i의 연간 사용량	GJ/년
$EF_{H,i}$	사용된 열원 i의 이산화탄소 배출계수	tCO <sub>2</sub> /GJ

2) 전력사용에 따른 연간 배출량

$$PE_{EL,y} = EC_{P,y} \times EF_{EL} \quad (8)$$

기호	정의	단위
$PE_{EL,y}$	사업 후 y년도 전력사용에 따른 연간 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$EC_{P,y}$	사업 후 y년도 연간 전력사용량	MWh/년
$EF_{EL}$	전력배출계수	tCO <sub>2</sub> -eq/MWh

3) 수소 제조공정에 따른 연간 배출량

수소 제조공정에 따른 배출량 산정방법론의 경우 ‘온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침’에 의거 수소생산량을 기반으로 하여 산정하도록 하고 있다.

$$PE_{H_2,y} = (Q_{P,H_2,y} \times r_{i,y}) \times \frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2} \times 1.963 \quad (9)$$

기호	정의	단위
$PE_{H_2,y}$	사업 후 y년도 추출수소 제조 공정에서의 연간 CO <sub>2</sub> 배출량	tCO <sub>2</sub> /년
$Q_{P,H_2,y}$	수소사용시설에서 사업 후 y년도 연간 추출수소 생산량	천m <sup>3</sup> /년
$r_{i,y}$	사업 후 y년도 추출수소(H <sub>2</sub> )의 순도	0에서 1사이의 소수
$\frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2}$	반응식 $C_xH_{(2x+2)} + 2xH_2O \rightarrow (3x+1)H_2 + xCO_2$ 에 따른 추출수소 1몰 생산량 당 CO <sub>2</sub> 발생 몰 수	-
1.963	CO <sub>2</sub> 의 분자량(44.010)/표준상태 시 몰당 CO <sub>2</sub> 의 부피(22.414)	-

3.4.3. 누출량(LE<sub>y</sub>)

본 방법론에서 누출량은 고려하지 않는다.

3.4.4. 온실가스 배출 감축량(ER<sub>y</sub>)

온실가스 배출 감축량은 베이스라인 배출량에서 사업 배출량 및 누출량을 제외한 값으로 산정하며, 산정식은 (10)과 같다.

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (10)$$

기호	정의	단위
$ER_y$	y년도 온실가스 배출 감축량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$BE_y$	y년도 베이스라인 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$PE_y$	y년도 사업 배출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년
$LE_y$	y년도 누출량	tCO <sub>2</sub> -eq/년

3.5. 예상 감축량 및 온실가스 배출권 확보에 따른 수익분석 - I화학 사례

Table 1은 I화학이 부생수소를 공급받아 기존의 추출수소 제조공정을 대체 시 본 외부사업 방법론을 적용한 베이스라인 배출량, 온실가스 감축량 및 외부사업으로 연계 시 확보 가능한 온실가스 배출권(KOC)수익 분석 결과를 정리한 것이다(Ministry of Environment, 2020).



Table 1. Analysis of I Chemical's GHG emissions, reductions and KOC revenue

Year	Baseline Emissions				Project Emissions			GHG Reduction (tCO <sub>2</sub> -eq)	Credit revenue (million won)
	Fuel/ Energy	Unit	Usage/Value	GHG Emission (tCO <sub>2</sub> -eq)	Emissions of LNG	Emissions of Electricity	Emissions of H <sub>2</sub> Production		
2011~13 (Baseline)	Naphtha	ton	11,805	34,235	-	-	-	34,235	709.623
	LNG	Nm <sup>3</sup>	9,696,607	21,557	-	-	-	21,557	446.833
2017 (Project)	By-product H <sub>2</sub>	thousand m <sup>3</sup>	75,000	-	-	-	-		
	Purity of By-product H <sub>2</sub>	0~1	1	-	-	-	-		
Total								55,792	1,156.456

I화학의 예상 온실가스 감축량 산정을 위해 기준연도는 2011~2013년으로, 감축사업 연도는 2017년으로 설정하였다. 대상시설은 수소 제조 시설로 외부에서 구입하는 원료인 Naphtha를 반응과 개질을 거쳐 수소(H<sub>2</sub>)를 생산하며, 개질 반응을 위해 LNG를 개질로에 투입한다. 베이스라인 배출량 산정을 위한 나프타 및 LNG사용량은 Table 1과 같으며(Ministry of Environment, 2020, p. 21), 사업 배출량 산정을 위한 부생수소 사용량 및 순도는 가정하였다. 베이스라인 배출량 산정결과 55,792 tCO<sub>2</sub>-eq, 사업 배출량은 기존 추출수소 제조공정을 가동중지 하였으므로 0 tCO<sub>2</sub>-eq, 최종 감축량 산정결과는 55,792 tCO<sub>2</sub>-eq로 나타났다. 온실가스 배출권 확보에 따른 수익은 환경부 온실가스종합정보센터에서 발간한 ‘2022 배출권거래제 운영결과보고서’에서 제시하고 있는 KOC의 '22년 평균 거래가격인 20,728원을 반영하여 분석하였으며(Choi et al., 2023, p. 69), 위 감축량이 전량 한국거래소의 배출권 거래시장에서 거래될 경우 예상되는 수익은 약 11.5억 정도로 평가되었다.

#### 4. 결론

우리나라는 중화학공업이 많이 발전하였으며, 특히 주요 석유화학단지(울산, 여수, 대산 등)에서는 다양한 석유화학제품 생산 과정에서 부생수소가 많이 발생한다. 부생수소는 제품 생산 과정에서 부산물로 발생하는 수소이므로 추출수소에 비해 온실가스 배출이 적으며, 수소 생산을 위한 추가설비 투자비용 등이 없어 경제성이 높다는 장점이 있다. 또한 부생수소의 활용은 자원순환 측면에서

도 좋은 대안이 될 수 있다.

본 연구에서는 부생수소를 활용하여 추출수소 공정을 대체하는 온실가스 감축방법론을 개발하고, 이를 I화학에 적용하여 예상 온실가스 감축량 산정 및 온실가스 배출권 확보로 인한 경제적인 효과를 분석하였다. 분석결과 베이스라인 배출량은 55,792 tCO<sub>2</sub>-eq, 사업 배출량은 0 tCO<sub>2</sub>-eq, 최종 감축량은 55,792 tCO<sub>2</sub>-eq로 나타났다. 그리고 온실가스 배출권 확보에 따른 수익은 KOC의 '22년 평균 거래가격인 20,728원을 반영한 결과(Choi et al., 2023, p. 69) 약 11.5억 정도로 평가되었다.

정부의 수소경제 활성화 로드맵에 따르면, 2017년 현재 국내 부생수소 생산능력은 약 191만톤(울산50%, 여수 34%, 대산11%, 기타5%)이며, 그 중 실제 생산량은 약 164만톤에 달한다(Joint Ministries, 2019). 현재 석유화학 산업단지에서 발생하는 부생수소는 수소 인프라 구축에 즉시 활용 가능하다. 이에 현재 시점에 부생수소를 적극적으로 활용하여 수소 인프라 구축을 서두르는 것은 당장의 국가 온실가스 총량 감소 영향은 크지 않으나, 향후 수소 인프라 조기 활성화를 통한 수소 산업 경쟁력 강화효과 및 국가 온실가스 감축목표 달성시점을 앞당기는 효과가 있다는 점에서 의미가 있다. 단, 부생수소 생산을 통한 배출권 확보를 위해 본 제품 생산을 증가시키는 것은 과거 울산화학의 HFCs 생산을 통한 CDM사업과 같은 주객전도의 가능성이 있으므로 주의할 필요가 있다.

'23.9.9일, 윤석열 대통령은 인도 뉴델리에서 열린 G20 정상회의에서 “수소 에너지를 중심으로 청정에너지로의 전환을 주도해 나가겠다”고 선언하였다. 에너지 대전환시



대의 핵심자원인 수소, 그 중에서도 부생수소는 우리나라 수소생태계의 선제적 조성을 위해 필수불가결한 전략적 자원이다. 본 연구의 의의는 부생수소가 많이 발생하는 산업단지 내 위치하고 있는 업체가 부생수소를 활용하여 추출수소 공정을 대체함으로써 원료를 안정적으로 확보함과 동시에 이를 온실가스 외부사업 방법론으로 개발하여 국내 온실가스 배출권거래제 상쇄제도와 연계를 통해 국가 온실가스 감축목표 달성에 기여가 가능하다는 것이다.

수소경제의 미래를 선도하고 수소 산업기반을 선제적으로 육성하기 위해 본 연구 결과와 같이 부생수소를 활용한 감축사업을 활성화한다면, 수소경제 활성화 초기의 마중물 역할 뿐만 아니라 나아가 우리나라 수소생태계의 원활한 조성 및 정부의 2050 탄소중립 목표 달성에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- Choi JW, Kim JM, Ahn JK. 2018. A study on the methodology of calculating greenhouse gas emission reduction by HFCs reduction - Focusing on the foam industry -. *J Clim Change Res* 9(4): 399-406. doi: 10.15531/KSCCR.2018.9.4.399
- Choi HW, Lee SW, Ahn KA, Yeo KB, Lee JH, Jung YM, Cho MJ. 2023. 2022 Korean emissions trading system report. Cheongju, Korea: Greenhouse Gas Inventory and Research Center. 11-1480906-000001-10.
- Jang DW. 2022. Development of GHG emission factor of by-product hydrogen with life cycle assessment -Focused on LPG steam reforming process- [dissertation]. Sejong University.
- Joint Ministries. 2019. Hydrogen economy revitalization roadmap.
- Lee Y, Shin W, Yu Y, Song H. 2022. Life cycle analysis of greenhouse gas emissions of by-product hydrogen produced from coke oven gas in steel mill. *Trans Korean Hydrog New Energy Soc* 33(6): 636-642. doi: 10.7316/KHNES.2022.33.6.636
- Ministry of Environment. 2020. Reduction opportunities discovered by expanding views. Greenhouse gas reduction technology domestic conference presentations. pp. 3-25.
- Ministry of Environment. 2023. Guidelines for reporting and certification of greenhouse gas emissions trading scheme. Sejong, Korea: Author.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2023. Guidance on external project feasibility assessment and reduction certification. Sejong, Korea: Author.

