Transactions of KSAE, Vol. 30, No. 10, pp.793-799 (October, 2022)

Check for updates

Copyright ⓒ 2022 KSAE / 203-03
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2022.30.10.793

그린수소 사용처에 따른 전과정 온실가스 감축효과 분석: 수송부문과 타 부문의 비교

최 원 재*

이화여자대학교 휴먼기계바이오공학부

Life Cycle Greenhouse Gas Reductions According to Sectors Using Green Hydrogen: Comparison of Transportation Sector and Other Sectors

Wonjae Choi*

Division of Mechanical and Biomedical Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea
(Received 8 August 2022 / Revised 22 August 2022 / Accepted 22 August 2022)

Abstract : This study evaluates the life cycle greenhouse gas reductions using hydrogen in the load transportation sector as well as the power generation and steel industry sectors. The life cycle greenhouse gas emissions of coal, gasoline, diesel, natural gas, and electricity have been referenced from the author's previous studies for calculation purposes. Results showed that using hydrogen in light-duty and heavy-duty vehicles reduce 21.4 and 12.5 kg-CO_2-eq./kg-H_2, respectively. Using hydrogen in the steel industry can reduce 24.2 kg-CO_2-eq./kg-H_2, which is larger than the load transportation values. Using hydrogen in fuel cell power generation can reduce 10.0 kg-CO_2 -eq./kg-H_2, which is smaller than the load transportation values, when the generated power replaces the national average electricity. Finally, the life cycle greenhouse gas reductions were compared with the life cycle greenhouse gas emissions of various hydrogen production methods.

Key words : Green hydrogen(그린수소), Greenhouse gas(온실가스), Life cycle analysis(전과정분석), Transportation sector(수송부문), Light duty vehicle(승용차), Heavy duty vehicle(상용차)

Nomenclature

ICEV : internal combustion engine vehicle
FCEV : fuel cell electric vehicle
GHG : greenhouse gas
FE : fuel economy
NG : natural gas
CC : combined cycle
LHV : lower heating value

1. 서 론

기후위기는 코로나 사태 이후 전지구적 대처가 가장 시급한 문제로 꼽히고 있다. IPCC의 보고서에 따르면, 전지구적 재앙을 막기 위해서는 지구의 온도를 산업화 이전보다 1.5 °C 오르는 것으로 제한하여야 하고, 이를 위해서는 2050년에는 탄소중립을 실현하여야 한다.[1] 이에 따라 미국, 유럽연합, 중국, 일본, 영국 등 세계의 주요 국가들이 2050년 탄소중립을 선언하였고, 우리나라도 2050년 탄소중립 목표를 법제화하고, 이를 실현하기 위한 2050 탄소중립 시나리오를 발표하였다.[2]

2050 탄소중립 시나리오에 따르면, 수소는 탄소중립을 이루기 위해 반드시 필요한 연료로, 다양한 부문에서 수소를 사용해 온실가스를 감축해 나갈 계획을 가지고 있다. 먼저 수송부문에서는 승용차부문 뿐만 아니라 상용차부문에서도 수소차를 보급하여 온실가스 배출량을 감축할 계획을 가지고 있다. 이에 따라 현대자동차의 넥쏘와 같은 승용차 뿐 아니라 버스나 트럭과 같은 상용차에 대한 연구개발도 지속적으로 이루어지고 있다.[3] 전환

*Corresponding author, E-mail: wj_choi@ewha.ac.kr
*This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

부문에서는 화력 발전을 축소하고, 재생에너지 및 수소 발전을 확대할 계획을 가지고 있다. 산업부문에서는 철강업에서 발생하는 대량의 온실가스배출량을 줄이기 위해 수소환원제철로 고로공정을 대체하고자 계획하고 있다.

수소의 온실가스 저감효과는 그 생산 방법에 따라 달라진다. 수소생산 방법으로는 지금까지 천연가스 개질 방법이 가장 많이 사용되어왔다. 이 방법의 수소생산단가는 약 $2/kg-$H_2$[4]정도로, 매우 경제적이나 그 과정에서 필연적으로 온실가스를 배출하여 이 방법으로 생산된 수소는 소위 그레이수소로 명명된다. 그린수소는 재생에너지를 기반으로 생산된 수소로, 그 생산과정에서 온실가스를 배출하지 않지만 수소생산단가가 약 $6/kg-$H_2$[4]로 아직까지는 가격이 비싼 단점이 있다. 즉, 온실가스 감축효과를 극대화하기 위해서는 그린수소를 사용해야 하지만, 경제성을 고려하면 그린수소의 양은 그레이수소에 비해 한정적이다.

그린수소를 각 부문에서 사용할 때 생기는 온실가스 감축효과를 분석하는 것은 제한된 양의 그린수소를 잘 활용하기 위해 반드시 필요하다. 수소의 생산에서 배출되는 전과정정 온실가스 배출량은 지금까지 많은 전과정분석 연구에서 분석되었다. 그러나 수소가 각 부문에서 사용됨으로 인해, 기존 대비 감축할 수 있는 전과정적 온실가스 배출량에 대해서는 아직까지 많은 연구가 진행되지 못하였다.

따라서 본 논문에서는 수소의 사용이 가장 활발하게 논의되고 있는 수송부문과 이외에 산업부문 및 전환(발전)부문에서 단위 그린수소가 사용될 때 얻을 수 있는 온실가스 감축 효과를 분석하고 비교하는 것을 목표로 한다. 분석 결과를 바탕으로 우리나라에서 그린수소를 어느 부문부터 공급하는 것이 온실가스감축효과를 극대화할 수 있는지 분석하고자 한다.

2. 분 석

2.1 분석의 범위

본 논문은 그린수소가 수송부문과 산업 및 전환부문에서 사용될 때 각각 어떠한 전과정적 온실가스양 저감효과를 가지는지를 분석하여 비교한다. 수송부문에서는 가장 대표적인 도로수송부문 중 승용차와 상용차의 경우에 대해 분석한다. 산업부문에서는 온실가스 배출량이 가장 큰 철강산업부문에 대해서 분석한다. 전환부문에서는 그린수소가 연료전지발전에 사용되는 경우와 가스터빈에서 사용되는 경우에 대해서 분석한다. 논문의 분석범위는 Fig. 1에 요약되어 나타나 있다.

그린수소의 각 부문에서의 사용에 따른 전과정적 온실가스양 저감효과를 분석하기 위해 저자의 선행연구에서 분석한 석탄, 천연가스, 휘발유, 경유, 전기의 전과정적 온실가스 배출량을 참조하였다.[5] 선행연구에서는 세 가지 대표적인 온실가스인 CO_2, CH_4, N_2O의 배출량을 계산하고, 이를 온난화지수(Global warming potential)을 고려해 합쳐서 최종적인 온실가스 배출량을 도출하였다. CH_4와 N_2O의 온난화지수는 각각 25와 298을 사용하였다. 저자의 선행연구에서 도출한 석탄, 천연가스, 전기의 전과정적 온실가스 배출량은 Table 1과 같다.

아울러, 본 논문에서는 그린수소의 전과정 온실가스 배출량을 0으로 가정하였음을 밝힌다. 이는 그린수소의 생산과 압축 및 운송 등의 전과정에서 배출되는 온실가스 배출량을 0으로 가정함을 의미한다.

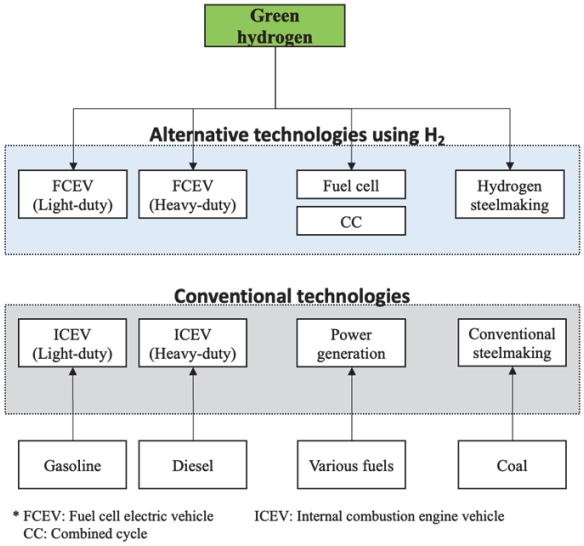

Fig. 1 Conventional and alternative technologies using hydrogen

Table 1 Life cycle greenhouse gas emissions of coal, gasoline, diesel, and electricity

Life cycle greenhouse gas emissions	CO_2 (g-CO_2/GJ)	CH_4 (g-CH_4/GJ)	N_2O (g-N_2O/GJ)	Total (g-CO_2-eq./GJ)
Coal	96994	126.4	0.014	100160
Gasoline	83206	103.5	8.022	88184
Diesel	82451	81.1	3.923	85648
Natural gas	66086	180.2	0.111	70625
Electricity	170288	261.3	0.079	176843

2.2 수송부문

도로수송부문에서 그린수소 사용에 따른 전과정적 온실가스감축효과계산은 아래식을 기반으로 계산되었다.

$$\begin{aligned} &Life\ cycle\ GHG\ reduction(g-CO_2-eq./kg-H_2) \\ &= FCEV\ FE(km/kg-H_2) \div ICEV\ FE(km/l) \\ &\quad \times Life\ cycle\ GHG\ of\ petroleum(g-CO_2-eq./GJ) \\ &\quad \times\ petroluem\ LHV(GJ/l) \end{aligned} \tag{1}$$

식에서 FCEV는 Fuel cell electric vehicle(수소차)을, FE는 Fuel economy(연비)를, Petroleum은 석유기반연료로 휘발유 혹은 경유를, ICEV는 Internal combustion engine vehicle(내연기관차)를 의미한다. 위의 식은 그린수소 1 kg가 FCEV에서 사용되었을 때의 차량의 주행거리를 내연기관차로 주행하게 되면 발생하는 전과정적 온실가스 배출량을 계산하여, 1 kg의 그린수소가 수송부문에서 저감할 수 있는 전과정적 온실가스양을 도출한다.

2.2.1 승용차부문

승용차의 경우 내연기관차(휘발유)가 가장 많이 사용되므로, 내연기관차(휘발유)를 대체하여 수소차에서 그린수소가 사용될 때 감축할 수 있는 전과정적 온실가스양을 계산한다. 식 (1)에 대입할 수소차 및 내연기관차(휘발유)의 승용차 연비는 에너지공단의 '2020 자동차 에너지소비효율 분석집'을 참고하여 계산한, 2019년 우리나라 내연기관차(휘발유)와 수소차의 평균연비를 사용한다.[6] 우리나라 복합연비 표기 기준에 맞게 보정한 5-cycle 보정 후의 평균도심, 고속도로, 복합연비는 모두 Table 2에 표시하였다. 우리나라의 경우 복합연비는 도심 55 %, 고속도로 45 %를 주행한다 가정하여 도출한다. 휘발유의 전과정 온실가스 배출량은 Table 1에 표기한 값을 참고해 계산한다. 휘발유의 발열량은 에너지기본법을 참고해 30.3 MJ/l를 사용한다.[7]

Table 2 Fuel economy of light-duty and heavy-duty vehicles

Vehicle class	Type	Fuel economy		
		City	Highway	Combined
Light-duty vehicle	ICEV gasoline	10.6 km/l	13.5 km/l	11.7 km/l
	FCEV	98.9 km/kg-H_2	88 km/kg-H_2	93.7 km/kg-H_2
Heavy-duty vehicle	ICEV diesel	2.0 km/l	3.2 km/l	2.4 km/l
	FCEV	11.4 km/kg-H_2	8.8 km/kg-H_2	10.1 km/kg-H_2

2.2.2 상용차부문

상용차의 경우 내연기관차(경유)가 가장 많이 사용되므로, 내연기관차(경유)를 대체하여 수소차를 사용하고 그린수소로 이를 운행하는 경우의 전과정 온실가스감축효과를 계산한다. 상용차의 연비는 고시되는 바가 없어, 미국 아르곤 국가연구소의 Autonomie 프로그램에서 제시하고 있는 상용차의 연비를 사용해 계산한다.[8] 상용차의 경우 그 크기에 따라서도 연비의 값이 많이 변화한다. 본 논문에서는 승용차와 그 크기가 가장 크게 차이나는 상용차를 분석하는 것이 승용차와 상용차의 효과를 비교하기에 적합하다고 판단해, 상용차 중 가장 큰 종류인 Class 8 트럭(미국분류법에 따름)의 상용차를 사용할 때에 대해서 계산한다. 참고로 수소트럭업체인 니콜라에서도 Class 8 트럭을 목표로 제품개발을 하고 있다. Autonomie 프로그램에 따르면 Class 8 트럭의 2020년 연비는 고속도로 주행은 의미하는 EPA-55 Cycle을 가정할 시 경유트럭이 0.131 gallon/mile, 수소트럭이 0.127 gallon-diesel-eq./mile이다. 도심 주행을 의미하는 ARB cycle을 가정할 시 경유트럭이 0.211 gallon/mile, 수소트럭이 0.164 gallon-diesel-eq./mile 이다. 이를 환산하여 나타내면 Table 2에 있는 값과 같다. 복합연비의 경우 승용차와 마찬가지로 도심 55 %, 고속도로 45 % 주행을 가정하여 산정하였다. 경유의 발열량은 에너지기본법을 참조해 35.3 MJ/l를 사용한다.[7]

2.3 전환부문

전환부문에서 그린수소 사용은 크게 다음의 두 부분에서 가능하다고 생각하였다: 1) 연료전지에서 사용돼 전기생산, 2) 가스터빈에서 사용돼 전기생산.

그린수소가 연료전지에서 사용되는 경우 그 온실가스 감축량은 식 (2)을 이용하여 계산되었다. 연료전지의 효율은 우리나라 전기발전에 대해 분석한 선행논문을 참고해 47.0 %를 사용하였다.[5] 가스터빈 복합화력발전에서 사용되는 경우에는 온실가스 감축량을 식 (3)을 이용하여 계산하였다. 이때 효율은 선행논문을 참고해 46.2 %를 사용하였다.[5]

$$\begin{aligned} &Life\ cycle\ GHG\ reduction(g-CO_2-eq./kg-H_2) \\ &= LHV\ H_2(GJ/kg-H_2) \times\ eff_{fuel\ cell} \\ &\quad \times Life\ cycle\ GHG\ of\ electricity(g-CO_2-eq./GJ) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} &Life\ cycle\ GHG\ reduction(g-CO_2-eq./kg-H_2) \\ &= LHV\ H_2(GJ/kg-H_2) \times\ eff_{combined\ cycle} \\ &\quad \times Life\ cycle\ GHG\ of\ electricity(g-CO_2-eq./GJ) \end{aligned} \tag{3}$$

2.4 산업부문(제철)

제철산업은 국내에서 온실가스 배출량이 가장 큰 산업으로, 수소환원제철의 도입을 통해 온실가스 배출량을 크게 감축하려는 계획을 가지고 있다. 제철과정에서 발생하는 기본 화학공정은 아래와 같다. 석탄이 먼저 코크스(C)로 변환되고, 이 과정에서 Coke oven gas(COG)가 발생된다. COG는 제철소에서 다양한 공정에 열을 공급하는데 사용된다. 코크스는 고로에 들어가 뜨거운 공기와 반응하여 CO를 생성한다. 생성된 CO는 환원제 역할을 하여 철광석(Fe_2O_3)을 철(Fe)로 환원한다.

$$Coal\ (s) \rightarrow C\ (s) + COG\ (g)$$
$$C\ (s) + 1/2\ O_2\ (g) \rightarrow CO\ (g)$$
$$Fe_2O_3\ (s) + 3CO\ (g) \rightarrow 2Fe\ (l) + 3CO_2\ (g)$$

포스코의 '2019 기업시민보고서'에 따르면 포스코는 2019년 38백만톤의 철을 생산하기 위해서, 석탄 26백만톤, 외부전력 5,067 GWh, 그리고 LNG 1,086 MNm^3의 에너지를 사용하였다.[9] 따라서 위의 에너지 사용량과 Table 1에 나와있는 각 에너지원의 전과정적 온실가스 배출량을 이용하여, 철 1 kg을 생산할 때 배출되는 전과정적 온실가스 배출량에 대해서 계산하면, 1.77 kg-CO_2-eq./kg-steel이다.

한편, 수소환원제철의 경우 아래와 같은 공정으로 반응이 진행된다.

$$Fe_2O_3\ (s) + 3H_2\ (g) \rightarrow 2Fe\ (s) + 3H_2O\ (g)$$
$$2Fe\ (s) \rightarrow 2Fe(l)$$

수소가 고로의 일산화탄소를 대신하여 환원제 역할을 하고, 먼저 철광석을 환원시킨다. 이후 철을 액체로 만들기 위해 전기로에서 철을 가열하여 액화시킨다. 수소환원제철은 아직 상용화되지 않은 기술로 실제 우리나라 조강실적을 기반한 분석은 불가능하지만, 해외 논문에 보고된 값을 기반으로 분석을 수행한다. Otto 등의 논문에 보고된 값에 의하면, 1 kg의 철을 생산할 때 수소는 0.058 kg, 전기는 2.07 MJ이 사용된다.[10] 따라서 그린수소 1 kg으로 생산할 수 있는 철의 양은 17.24 kg이고, 이를 위해 사용된 전기의 양은 35.69 MJ이다.

$$\begin{aligned} &Life\ cycle\ GHG\ reduction(g - CO_2 - eq./kg - H_2) \\ &= Life\ cycle\ GHG\ of\ steel(g - CO_2 - eq./kg - steel) \\ &\quad \times 17.24(kg - steel/kg - H_2)\ - 0.03569(GJ/kg - H_2) \\ &\quad \times Life\ cycle\ GHG\ of\ electricity(g - CO_2 - eq./GJ) \end{aligned} \tag{4}$$

따라서 제철산업에서 1 kg의 그린수소가 사용될 때 감축할 수 있는 전과정적 온실가스배출량은 식 (4)와 같이 계산한다. 식 (4)에서 Life cycle GHG of steel은 앞서 구한 고로와 석탄을 이용할 때 철 1 kg을 생산하는 과정에서 배출되는 전과정적 온실가스 배출량인 1.77 kg-CO_2-eq./kg-steel을 사용한다. Life cycle GHG of electricity는 Table 1에 있는 값을 사용한다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 2장의 내용을 바탕으로 계산한 각 부문의 전과정적 온실가스 감축량 나타낸다. 먼저 수송부문에서는 승용차에서 사용되는 경우가 상용차(Class 8 트럭)에서 사용되는 경우에 비해서 약 1.7배 가까운 감축효과를 보인다. 이는 분석한 상용차의 경우 이에 들어가는 내연기관도 매우 크고, 그 효율도 비교적 높기 때문으로 생각할 수 있다. 즉, 상용차의 경우 비교적 높은 효율의 내연기관을 대체하여 연료전지를 구동한다고 하였을 때 얻을 수 있는 전과정 온실가스 감축량이 비교적 줄어든다고 볼 수 있다.

수송부문의 값과 타 부문의 값을 비교하면, 수송부문의 감축 양이 전환부문의 감축 양보다는 큰 것을 볼 수 있다. 이는 두 가지 이유에 기인한다. 첫째로, 일반적으로 동일한 화석연료를 사용한다고 하더라도 전력의 발전효율은 수송부문의 효율보다 일반적으로 더 높다. 따라서 그린수소의 사용에 따른 화석연료 사용량 감소와 이에 따른 전과정적 온실가스감축이 수송부문이 더 크게 나오는 것이다. 둘째로, 전환부문의 경우 그린수소사용으로 대체되는 전력은 먼저 우리나라 평균전력으로 가정하여 계산한 것으로, 여기에는 온실가스 배출이 없는 원자력(평균 전력의 약 20 % 차지) 및 재생에너지로부터 생산되는 전력도 포함된다. 즉, 그린수소로부터 생

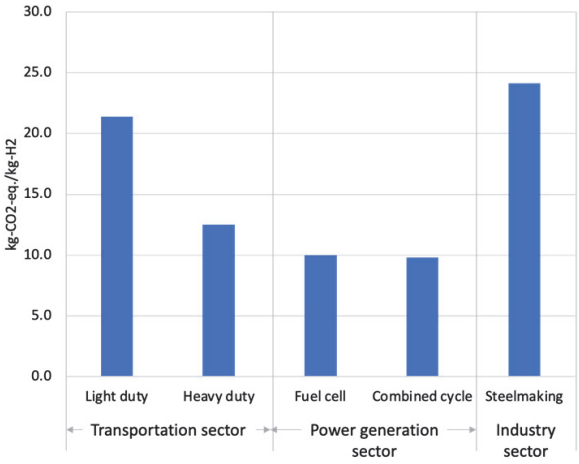

Fig. 2 Life cycle GHG reductions by sectors

산된 전력이 우리나라 평균전력을 대체하는 경우 애초에 온실가스배출이 없는 원자력 및 재생에너지전력도 일부 대체하고, 이에 따라 전과정적 온실가스 감축량이 비교적 작아진다. 그린수소로부터 생산된 전력이 우리나라 평균전력이 아닌 특정전력생산방법을 대체하는 경우에 대해서는 뒤에서 Fig. 4와 함께 다룬다.

제철산업부문의 온실가스 감축량은 수송부문의 값에 비해 더 크다. 이는 현재 제철산업이 사용하고 있는 연료가 화석연료 중에서도 발열량 대비 온실가스 배출량이 가장 큰 석탄에 크게 의존하고 있기 때문이다. 석탄은 제철산업에서 연료 뿐 아니라 환원제로도 사용되고 있는데, 이를 대신해 그린수소를 투입하여 환원제 역할을 담당하게 하는 것은 현재로서는 온실가스 감축효과가 가장 큰 부문이라고 볼 수 있다.

Fig. 3은 수송부문에서 도심주행, 고속도로주행, 복합주행을 하였을 때 각각 그린수소의 사용에 따른 전과정적 온실가스 감축량을 보여준다.

그래프에서 볼 수 있듯이 승용차 상용차 모두 고속도로주행을 하는 경우 그린수소사용에 따른 전과정적 온실가스 감축량이 감소한다. 이는 내연기관의 경우 열기관이어서 로드가 증가하는 고속도로 주행일수록 효율이 증가하나, 연료전지는 전기화학장치로 로드가 증가하는 고속도로 주행일수록 효율이 감소하기 때문이다. 거꾸로, 같은 이유로 도심주행을 하는 경우 전과정적 온실가스 감축량이 증가한다.

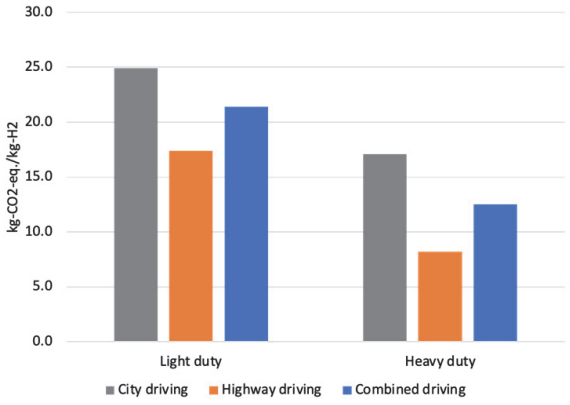

Fig. 3 Life cycle GHG reductions by driving cycles

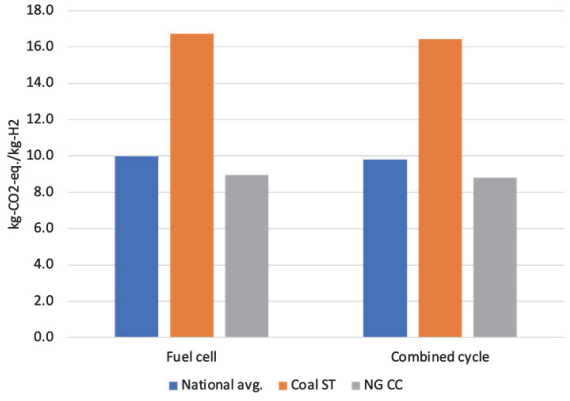

Fig. 4 Life cycle GHG reductions according to electricity types

Fig. 4는 전환부문에서 그린수소로 생산된 전력으로 인해 대체되는 전력의 종류를 우리나라 평균전력으로 간주하였을 때와, 천연가스 복합화력발전으로 간주하였을 때, 그리고 석탄화력발전으로 간주하였을 때의 각각 얻을 수 있는 전과정적 온실가스 감축량을 보여준다. 이때 석탄화력발전 및 천연가스 복합화력 발전으로부터 생산된 전기의 전과정적 온실가스 배출량은, 저자의 선행연구를 참고해, 각각 158785, 296452 g-CO_2-eq./GJ을 사용하였다.[5] 그래프에서 알 수 있듯이, 그린수소생산으로 인해 비교적 효율이 낮은 석탄화력발전을 대체한다면, 평균전력을 대체하는 것보다 훨씬 더 큰 전과정적 온실가스 감축량을 가지는 반면, 효율이 높은 천연가스 복합화력발전을 대체하는 경우에는 비교적 더 낮은 전과정적 온실가스 감축량을 갖는다.

마지막으로, Fig. 5는 그린수소가 아닌 다른 수소생산방식으로부터 생산된 수소를 사용하는 경우 그 생산과정에서 발생하는 전과정 온실가스배출량과 수소의 사용과정에서 줄일 수 있는 전과정 온실가스 감축량을 모두 한 번에 비교한다. 그린수소가 아닌 타 수소생산방식은 나프타 크래킹에 의한 수소생산(화학 정유공장에서 부산물로 생산되는 부생수소), 천연가스 개질에 의한 수소생산, 일반 그리드 전기를 사용한 수전해에 의한 수소생산 방식을 비교하였다. 각 생산방식에서 발생하는 전과정적 온실가스 배출양은 선행연구들을 참고해 부생수소, 천연가스 개질 수소, 일반 그리드 전기를 사용한 수전해 수소 순으로 각각 5.0, 15.1, 32.3 kg-CO_2-eq./kg-H_2를 사용하였다.[5,11] 참고로, 천연가스개질 수소 및 수전해 수소의 경우 오프사이트(Off-site)생산의 값을 참조하였으며, 세 방식의 수소 모두 수소차에 충전할 수 있는 고압까지 압축한 수소에 해당하는 값을 참조하였다. 전환부문의 경우 연료전지발전과 복합화력발전이 거의 비슷한 값을 가지므로, 연료전지발전의 값만 표시하였다.

그래프를 보면, 나프타분해 수소를 사용하는 경우에는 분석한 어떤 부문에서 사용되던지 전과정적 온실가스 감축량이 수소 생산과정에서 발생하는 전과정적 온실가스 배출량보다 커서 온실가스 감축효과가 있음을 확인하였다. 그리드 전기를 이용한 수전해 수소의 경우 모든 부문에서 그 사용이 전과정적 온실가스 배출량을 줄여주는 것이 아닌 오히려 증가시키는 효과를 주는 것

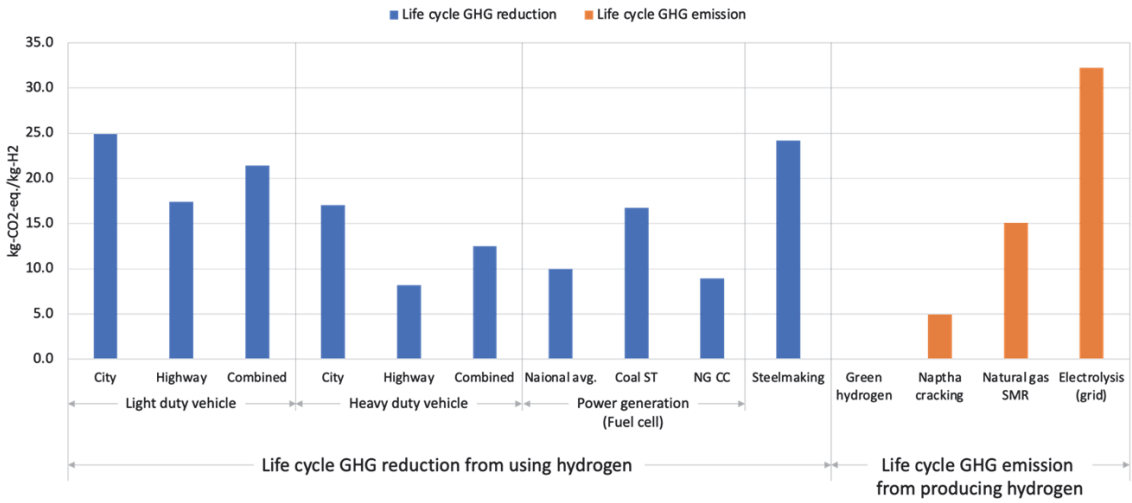

Fig. 5 Life cycle GHG reductions by sectors and life cycle GHG emissions by hydrogen production methods

을 확인하였다. 천연가스 개질 수소의 경우 여전히 제철산업이나 전환부문에서 석탄화력발전을 대체할 때, 그리고 승용차에서 사용될 때에는 온실가스 감축효과를 주었으나, 상용차에서 사용될 때나 전환부문에서 우리나라 평균전력이나 천연가스 복합화력발전을 대체하기 위해서 사용하는 것은 오히려 온실가스 배출량을 증가시키는 것을 확인하였다.

4. 결 론

1) 본 논문은 그린수소가 수송부문과 전환(발전)부문 및 제철산업부문에서 사용될 때 생기는 전과정적 온실가스 배출량 감축효과를 분석하였다.
2) 수송부문의 경우, 승용차에서 사용되는 것은 21.4 kg-CO_2-eq./kg-H_2의 감축효과를, 상용차(Class 8)에서 사용되는 것은 12.5 kg-CO_2-eq./kg-H_2의 감축효과를 내는 것으로 확인되었다. 승용차에서 사용될 때 상용차에서 사용되는 것에 비해 약 1.7배에 해당되는 전과정적 온실가스감축효과를 가지는 것을 확인하였다.
3) 전과정적 온실가스 감축효과는 제철산업부문에서 사용될 때 24.2 kg-CO_2-eq./kg-H_2로 가장 크게 나타났고, 전환부문에서 연료전지에 투입되어 우리나라 평균전력을 대체할 때 10.0 kg-CO_2-eq./kg-H_2로 수송부문에 비해서는 감축효과가 적은 것이 확인되었다.
4) 수송부문에서는 고속도로주행시 도심주행시보다 수소사용에 따른 온실가스 감축효과가 적어지는 것을 확인하였다. 이는 내연기관의 경우 고속도로주행에서 효율이 더 좋아지고, 연료전지의 경우 도심주행에서 더 효율이 좋기 때문이다.
5) 전환부문에서 우리나라 평균전력이 아닌 석탄화력발전전력을 대체하는 경우 감축효과가 16.7 kg-CO_2-eq./kg-H_2로 증가하고, 천연가스복합화력발전을 대체하는 경우 9.0 kg-CO_2-eq./kg-H_2로 그 감축효과가 감소함을 확인하였다.
6) 그린수소 외의 수소생산에 따른 전과정적 온실가스 배출량과 각 부문에서 수소사용으로 얻을 수 있는 전과정적 온실가스 감축량을 최종적으로 비교하였다.

후 기

본 연구는 한국에너지공단(20017624)과 한국연구재단(NRF-2021R1F1A1063229)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1) IPCC, An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, 2018.
2) Korean Government, 2050 Carbon Net-zero Scenario, 2021.
3) J. Woo, Y. Kim and S. Yu, “A Study of Cooling System Control of Fuel Cell Truck,” Transactions of KSAE, Vol.30, No.1, pp.9-18, 2022.
4) IEA, Hydrogen Production Costs by Production Source, https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/hydrogen-production-costs-by-production-source-2018, 2018.

5) W. Choi, E. Yoo, E. Seol, M. Kim and H. H. Song, “Greenhouse Gas Emissions of Conventional and Alternative Vehicles: Predictions Based on Energy Policy Analysis in South Korea,” Applied Energy, Vol.265, Paper No.114754, 2020.
6) Korea Energy Agency, 2020 Vehicle Fuel Economy and CO_2 Emissions: Data and Analyses, 2020.
7) Ministry of Trade, Industry and Energy of Korea, Energy Act Section 5, 2013.
8) R. Vijayagopal, D. N. Prada and A. Rousseau, Fuel Economy and Cost Estimates for Medium- and Heavy-Duty Trucks, U.S. DOE, 2019.
9) POSCO, POSCO Corporate Citizenship Report, 2019.
10) A. Otto, M. Robinius, T. Grube, S. Schiebahn, A. Praktiknjo and D. Stolten, “Power-to-Steel: Reducing CO_2 through the Integration of Renewable Energy and Hydrogen into the German Steel Industry,” Energies, Vol.10, No.4, 2017.
11) M. Kim, E. Yoo and H. H. Song, “Well-to-Wheel Greenhouse Gas Emissions Analysis of Hydrogen Fuel Cell Vehicle - Hydrogen Produced by Naphtha Cracking”, Transactions of KSAE, Vol.25, No.2, pp.157-166, 2017.