

수소경제 활성화를 위한 개정에너지밸런스 구축 시사점¹⁾

박상규 에너지경제연구원 부연구위원(skpark@keei.re.kr)



1. 서론

전 세계적으로 탄소중립의 가장 강력한 수단으로 청정에너지의 운반체(Carrier)로써 전기와 수소의 역할이 강조되고 있으며, 관련 기술 개발 및 산업 육성을 위한 정책적 지원이 구체화되고 있다. 한국에서 에너지로서의 수소의 활용은 탈탄소화에 기여하고, 에너지 자립도를 높이는 점에 있다.

친환경 에너지로의 전환과 에너지원 다각화 등의 차원에서 수소의 역할이 강조되고 있으며, 에너지전환 과정에서 수소의 생산과 소비가 크게 증가할 것으로 전망하고 있다. 각 국가별 전략은 상이하지만 대부분 에너지 원으로써 수소에너지의 수요 증가, 수소차·연료전지 중심의 시장 성장을 달성할 것으로 예상되며 산업부문의 난감축 분야(철강, 시멘트 등)의 열원 및 환원제로의 수소의 활용을 기대할 수 있다.

이러한 흐름에 맞춰 대한민국 정부는 ‘제3차 에너지기본계획(3차 에기본, ’19.06.04)’²⁾에서 수소에너지 활성화 계획을 수립하고, ‘수소경제 활성화 로드맵(수소경제로드맵, ’19.01.17)’을 통해 신산업 육성의 일환으로 수소 산업생태계를 구축할 것을 계획하였다. 수소경제로드맵에서는 빠른 시일 내에 수소생태계가 구축·성장할 것으로 전망하였으며, 구체적인 수소에너지 활성화 계획을 공개했다. 2021년 중에 수소경제로드맵 2.0을 발표할 예정이며, 이를 통해 에너지 전환과정에서 신산업 육성, 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안을 마련할 예정이다. 수소산업의 하류생태계인 수소차와 연료전지는 우리나라에서 경쟁력을 갖고 있는 분야기 때문에 이를 중심으로 수소경제 선도국가로 도약하기 위한 기반을 조성 중에 있다.

정부는 2022년까지 수소경제 준비기, 2030년까지 수소경제 확산기, 2040년까지 수소경제 선도기로 구분하고 시기별 추진전략과 목표를 수립하여 중장기적인 정책 추진을 계획하고 있다. 수소의 에너지원으로서의 활용과 그 역할이 점차 확대되고 있지만, 이에 대한 에너지 흐름(생산, 전환, 저장, 수송, 최종이용 등)을 정확하게 파악할 수 있는 수소 수급통계 구축은 현재 구축되지 않고 있으며, 대부분의 선진국에서도 공신력 있는 수소의 생산·소비 통계는 작성이 되고 있지 않고 추정치만 공개되고 있다.³⁾

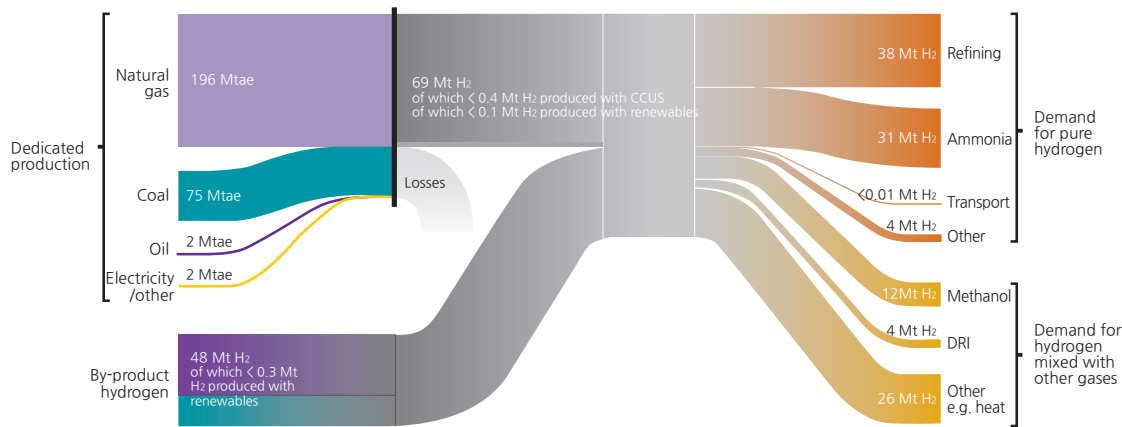
현재 수소 수급의 정확한 집계가 어려운 가장 큰 원인은 대부분의 수소가 생산현장에서 혼합가스 형태로 바로 소비되거나, 파이프라인으로 연결된 기업 간 직거래를 통해 유통되기 때문에 파악 가능한 유통량이 적다는 점에 있다. 또한 이 외에도 생산부문에서는 수소의 생산원과 생산방식이 다양하다는 점, 향후 수소 생산에 활용할 수 있는 기술의 종류가 많다는 점, 수소의 생산을 위해 소비되는 에너지를 정확하게 추적하기 어렵다는 점이 있고, 소비부문에서는 유통·소비부문에서 복잡한 가치사슬을 보이고 있다는 점에서 통계 작성의 장애요인으로 작용한다.

1) 본고는 박상규 (2021), 「수소경제 활성화를 위한 에너지 밸런스 구축방안」, KEEI 이슈페이퍼, 2021. 05. 와 박상규 (2020), 「수소부문 에너지통계 작성을 위한 기반연구」 산업통상자원부. 의 내용을 부분적으로 수정·보완한 것임.

2) 산업통상자원부, 「제3차 에너지기본계획」, 2019.06.

3) Isao Abe, 2009, *Energy carriers and Conversion Systems - Vol.1 - Statistics on Hydrogen Production and Consumption*

그림 1 현행 수소에너지 가치사슬(Value Chain)



자료 : IEA, June 2019. The Future of Hydrogen - Seizing today's opportunities.

대한민국 정부는 에너지 자립도 향상과 화석에너지에 대한 의존도를 낮추며, 미래 에너지산업을 육성하기 위하여 수소산업생태계를 조성하고 있다. 이에 대한 시기별 추진전략과 적절한 목표수립의 기반 강화를 위해 수소에너지 통계구축과 이를 전체 에너지 흐름의 관점에서 확인할 수 있도록 수소에너지의 통계체계 구축 및 에너지밸런스 산업이 필요하다. 이를 위해 수소 수급통계 작성체계 정비 및 국가 에너지밸런스 상 수소의 반영을 위해 수소통계 시스템의 고도화가 필요하며, 국가 차원에서의 생산-유통-저장-활용 전 주기의 수소 수급 흐름을 도출하기 위해 물질 특성에 기초한 수소 수급체계를 구축하고, 에너지밸런스에 반영하여 에너지원으로써의 위상을 정립할 필요가 있다.

2021년 기준, 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률(약칭 수소법)상 수소수급통계 작성 거버넌스 구축 중에 있으며, 수소수급통계에 관련하여 한국가스공사, 수소안전통계에 대하여 한국가스안전공사 그리고 산업전반에 대한 통계를 수소융합얼라이언스에서 수집 중에 있다. 다만, 수소관련 통계를 구축하기 위한 조사통계 기법, 수소 가치사슬 전 주기에 수집의 어려움 등의 문제로 정합성 있는 통계를 공개하고 있지 않고 있는 상황이다.

국가에너지통계종합정보시스템(KESIS)에 '수소'는 아직 에너지원이나 에너지저장 수단으로서 집계되지 않고 있다.⁴⁾ 향후 수소는 에너지 저장 및 운송 수단(Energy Carrier)인 동시에 재생에너지를 통한 수전해로 국내 생산에너지(Primary Energy)로 취급될 수 있으며 개정에너지 밸런스 상에 이를 반영하기 위한 사전연구들이 진행되어 있다.⁵⁾ 에너지 운반체로서 중요성이 높아지고, 관련 산업도 빠른 성장세를 보이기 때문에 에너지 및 산업원료로의 활용 관점에서 조속히 수소의 생산·유통·소비 전 주기에 걸친 수소에너지 국가통계 기반을 구축하여 탄소중립 및 관련 정책 목표를 달성할 수 있어야 할 것이다.

4) 김수일, 이보혜(2019). 국제기준에 부합하는 개정에너지밸런스 구축(3차). 산업통상자원부

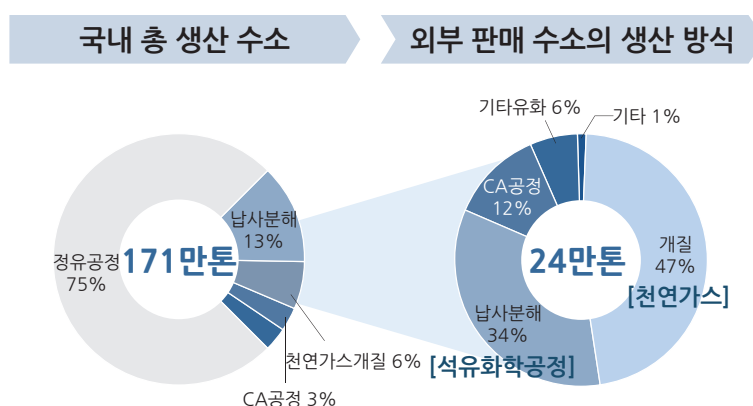
5) 반드시 국내생산 에너지가 아니라도 1차에너지에 포함될 수 있음(e.g. 원자력)

이에, 보고는 수소의 생산부터 소비까지의 전 주기를 검토하고, 통계 구축에 고려해야 할 사항을 도출하고, 결론적으로 개정에너지밸런스에 수소에너지 반영을 위한 시사점을 제시하는데 목적이 있다. 보고의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 수소의 생산과 소비 현황을 살펴보고, 3절에서는 수소 수급조사의 고려사항을 도출하며, 4절에서는 에너지밸런스에 수소반영 방안을 제시하고, 마지막으로 5절에서는 시사점을 제시하고자 한다.

2. 수소의 생산과 소비 현황

수소 통계를 집계하기 위해서 국내 수소 생산 및 소비의 대표적 기술과 그 현황을 검토할 필요가 있으며, 각 부문별 특징을 고려해 정합성 있는 수소의 수급통계를 구축해야 한다. 현재 대부분 활용되고 유통되는 수소는 정유, 석유화학 공정 등에서 부생적으로 발생하는 혼합된 가스를 포집하여 정제과정을 거쳐 수소를 추출해내는 부생수소 형태이다. 수소를 직접 생산하는 방식은 수증기 개질, 부분산화, 지열개질, 직접분해, 전기분해가 있으며, 현재로선 수증기 개질 방식을 제외하면 활용도가 낮다.<표 1>

그림 2 국내 수소 유통 현황



자료 : 한국에너지공단 (2018), 『신/재생에너지백서』 p. 207-219, 저자 재가공

표 1 수소생산기술의 분류

구분	방법	원료	에너지원	기술수준
화석연료 이용	수증기 개질	천연가스, LPG, 나프타	열	상용
	이산화탄소 개질	천연가스	열	-
	부분산화	중질유, 석탄	열	상용
	지열개질	천연가스, LPG, 나프타	열	상용
	직접분해	천연가스	열	상용
비화석연료 이용	전기분해	물	전기	상용
	열화학분해	물	고온열(원자력, 태양열)	연구중
	생물학적 분해	물, 바이오매스	열, 미생물	연구중
	광화학적 분해	물	태양광	연구중

자료 : 한국에너지공단 (2018), 『신/재생에너지백서』, p. 209

가. 국내 수소 생산기술 현황

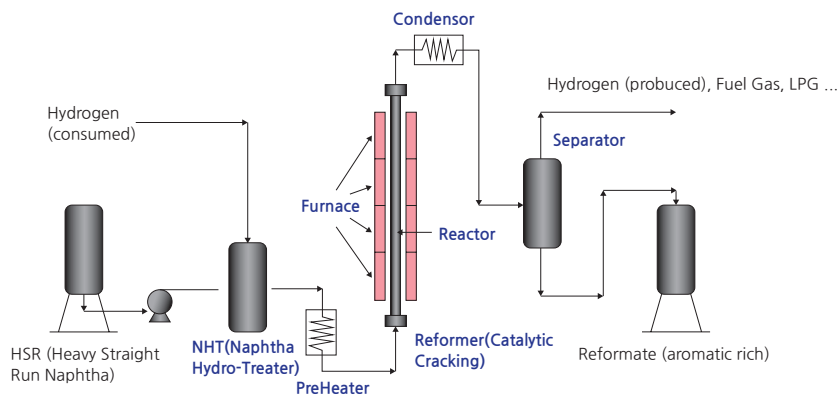
현재 국내 수소 생산의 큰 부분을 차지하는 수소는 공정에서 부가적으로 발생하는 부산물인 부생수소이며, 대표적인 부생수소는 정유, 석유화학 부문의 부생수소, 철강의 혼합가스(syn-gas)를 가공한 부생수소, CA(클로르-알칼리)공정에서 발생하는 부생수소가 있다. 대부분의 부생 수소는 최초 혼합가스 형태로 존재하며, 공정의 부산물에서 PSA(정제기)⁶⁾를 통해 고순도의 수소를 추출하여 활용하고 있다.

1) BTX, 휘발유 등의 공정에서의 부가적인 수소 발생(올레핀계 화합물, 방향족 화합물)

석유화학 공정과 정유공정에서 방향족 화합물을 처리하기 위한 BTX(Benzene, Toluene, Xylene)⁷⁾ 공정, 또는 휘발유 제조공정에서의 부가적인 수소생산, NCC(Naphtha Cracking Center) 공정의 에틸렌(Ethylene), 프로필렌(Propylene) 등 올레핀(Olefin) 제조 시 부생되는 수소생산이 있다.⁸⁾ BTX 또는 휘발유 제조공정에서의 수소 생산은 대개 C5~C11 유분을 사용하고, BTX 생산을 위한 공정에선 주로 C6~C9 까지의 유분을 원료로 하게 된다.([그림 3])

휘발유 생산공정의 경우는 대개 조업목적이 휘발유 유분의 최대화이기 때문에 원료납사 조성에 관계없이 일정 옥탄가를 갖는 접촉개질유(Reformate)를 생산하며, BTX 제조공정에서는 BTX 수율을 최대화하며, 이 과정에서 수소가 부가적으로 생산되게 된다. 개질공정의 수소 생산에 대한 수율⁹⁾은 대략 3~4%로 확인되며, 정유공장이나 석유화학공장에서의 개질공정에서의 투입되는 HSR¹⁰⁾처리량을 알 수 있다면, 부가하여 생산되는 수소 생산량을 추정할 수 있음을 확인했다.<표 2> 다만, 기업별 공정은 약간의 수율 차이가 있기 때문에 이에 대한 조사도 별도로 진행이 되어야 할 것으로 판단한다.

그림 3 HSR 개질공정(Reforming Process) 중 수소생산



자료 : 정유사 A 내부자료

- 6) 압력순환흡착(PSA, Pressure Swing Absorption)공정은 기체상태의 물질을 흡착물질이 들어있는 두 개 이상의 탱크에서 번갈아가며 순환시키며 원하는 기체의 순도를 올리는 공정임.
- 7) 벤젠, 톨루엔, 자일렌은 에틸렌 공장의 생산물로 건설, 가전, 섬유산업의 원재료로 활용되는 고부가가치 제품임.
- 8) 정유공정에는 부생되는 물량보다 탈황, 분해공정에서 더 많은 물량의 수소가 필요하기 때문에 가스개질을 추가하거나 수소를 공급받는 경우가 일반적임.
- 9) 수율이란 총 산출된 물량에서 수소의 산출 비중을 의미함.
- 10) 중질납사(Heavy Straight Run Naphtha), 개질기(Reformer)를 거쳐 휘발유 제조나 방향족 공정의 원료를 산출함.

표 2 개질공정(Reforming Process)의 물질수지(Material Balance)비율

Mass Balance	Unit	Reformer 1	Reformer 2
NHT Feed HSR ①	Kg/hr	251,226	211,322
NHT H2 Make up ②	Kg/hr	403	148
Net Gas Produced ③	Kg/hr	28,459	21,874
Wt.% of H2 in Net Gas ④	Wt. %	30.00%	34.00%
H2 Produced (③*④) ⑤	Kg/hr	8,537.7	7,437.16
Reformate	Kg/hr	198,570	193,851
H2 (Total, ⑤-②) ⑥	Kg/hr	8,134.7	7,289.16
Yield of H2 (⑥/①)	Wt. %	3.24%	3.45%

자료 : 정유사 내부자료

2) NCC 공정에서의 수소 발생

NCC(Naphtha Cracking Center)¹¹⁾ 공정은 원유에서 분리된 경질납사(Light Straight Run Naphtha, LSR)를 열분해하여 에틸렌, 프로필렌 등의 올레핀 화합물을 제조한다.([그림 4]) 생산공정 관점에서 NCC에서의 실제 운영데이터를 통해 수소 관련 물질수지 및 수소 생산을 위한 생산수율을 알 수 있으며, 투입되는 LSR 물량을 통해 대략적인 수소생산량을 추정이 가능하다. <표 3>은 시간당 약 230톤의 LSR(Light Straight Run Naphtha)을 처리하는 실제 운영되고 있는 NCC의 물질수지를 보여주고 있다. 이를 통해 NCC공정의 수소 생산에 대한 수율은 대략 질량을 기준으로 1~2%로 확인할 수 있으며 NCC에 투입되는 LSR 처리량을 통해 부가하여 생산되는 수소 생산량을 추정할 수 있다. 다만, 앞의 BTX 공정과 마찬가지로 기업별 공정의 차이에 따른 오차는 존재할 수 있다.

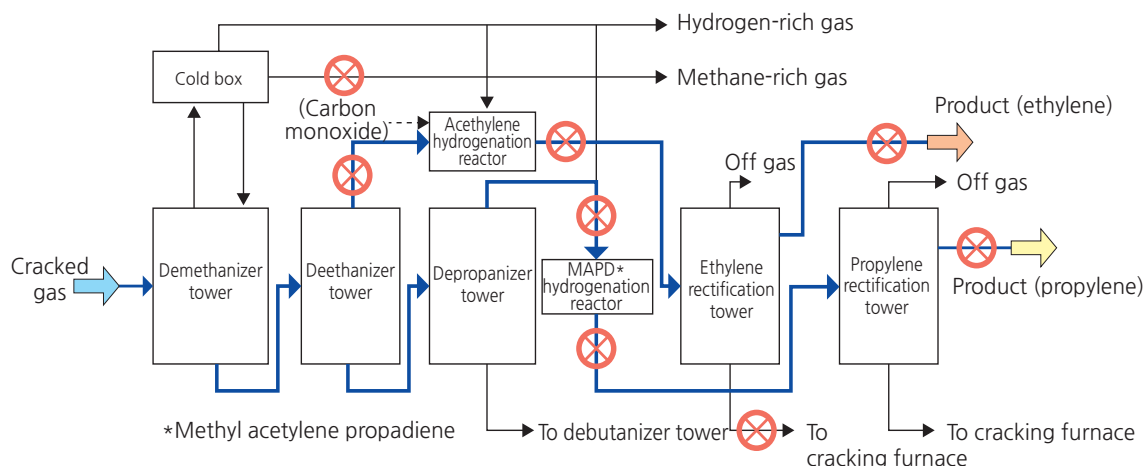
표 3 NCC(Naphtha Cracking Center) 물질수지(Material Balance)

Mass Balance	Unit	A NCC Unit
Feed LSR ①	Kg/hr	229,170
Raw H2+Methane(C1) ②	Kg/hr	7,600
H2 Purified ③	Kg/hr	3,000
Methane(C1) Returned ④	Kg/hr	4,600
Yield of H2 (③/①)	Wt. %	1.31%

자료 : 석유화학공장 내부자료

11) NCC 공정은 LSR을 열분해하여 에틸렌(Ethylene), 프로필렌(Propylene) 등 석유화학 기초유분 생산이 목적이고 수소는 부생 제품임.

그림 4 NCC(Naptha Cracking Center)공정에서 회수/정제 공정



자료 : yokogawa社 기술문서(www.yokogawa.com)

3) 수증기 개질 공정에서의 수소 생성

정유공장에서 공정상 부생적으로 나오는 수소에 더하여 추가로 필요한 수소를 공급하기 위해 천연가스(LNG) 수증기 개질 공정(Steam Methane Reforming; SMR)설비를 이용한다.¹²⁾ 현재 국내에서 목적물을 수소로 하는 대부분의 설비는 수증기 개질공정을 이용한다. 수증기 개질공정은 고온고압의 스팀과 촉매¹³⁾를 이용해 가스상태의 탄화수소 화석연료를 수소와 이산화탄소로 분리하는 공정이다.([그림 5])

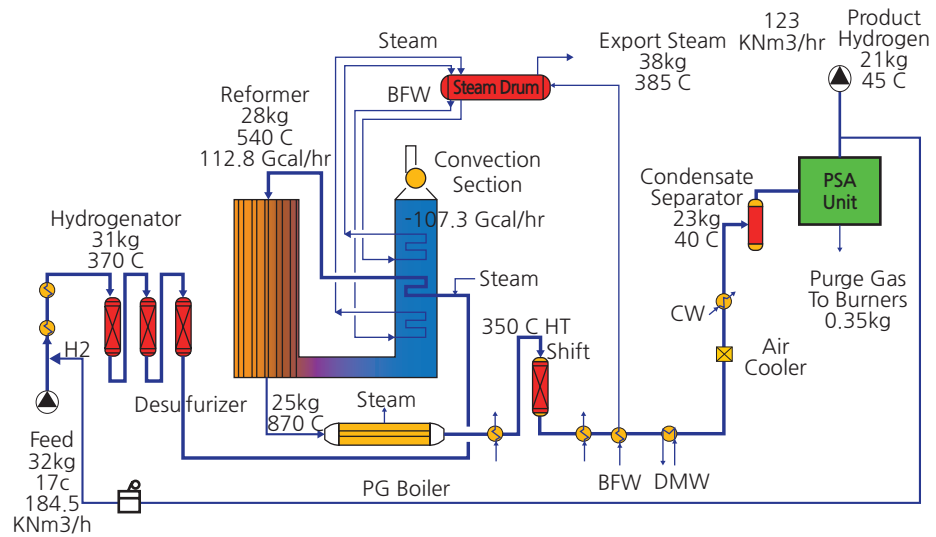
주 연료는 천연가스(LNG)를 이용하며 천연가스를 피드로 공급하여 수소를 생산하는 실제 정유/화학공장의 물질수지를 살펴보면, 약 184.5 kNm³/hr의 LNG가 투입되어, 123 kNm³/hr의 수소가 생산되고 있음을 확인할 수 있다.¹⁴⁾ LNG 개질 수소생산에 대한 실제 수율은 대략 표준몰량단위 기준으로 65~70%로 확인되며, 비교적 공정상에서 LNG 개질 수소생산 공정의 투입물량을 알 수 있다면 수소 생산량을 추정 가능하다.

12) 정유공장에서는 연료 규제(IMO2020)를 충족하기 위해 탈황공정 등에서 수소를 추가로 더 소비하고 있음.

13) NiO/Al₂O₃, NiO/Al₂O₃/CaO, NiO/MgAl₂O₄

14) LNG(천연가스)의 피드 조성(Components)은 C1 89.33, C2 6.50, C3 2.69, C4 1.25, C5 0.04, 기타 0.19 (단위: mol%); S (Sulfur, 황) 1.7 wtppm N (Nitrogen, 질소) 1.19 wtppmmol%는 분자의 개수 비중을 의미함.

그림 5 LNG 개질 수소생산 공정도와 물질수지

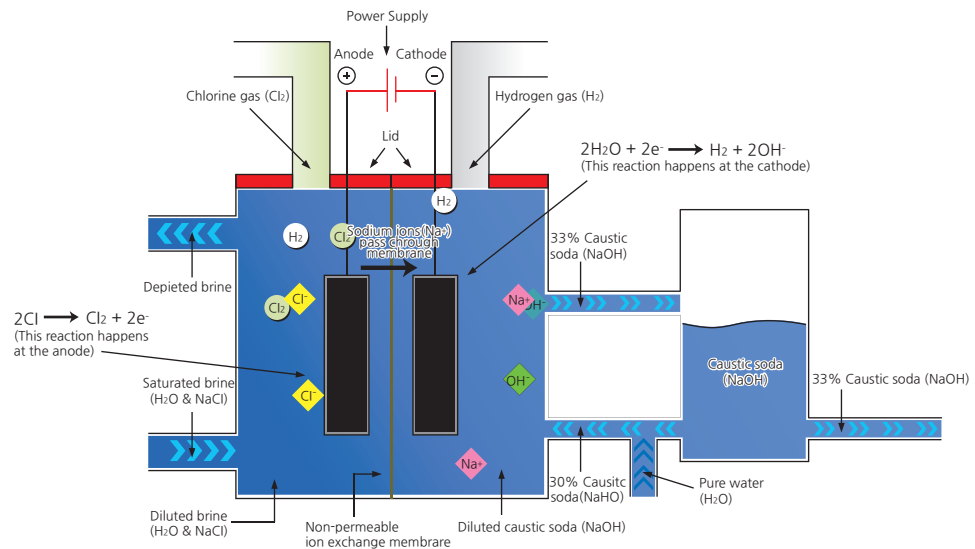


자료 : 정유/석유화학공장 LNG 개질 수소생산공장 운전데이터

4) 가성소다 생산공정(클로르 알칼리 공정)에서의 수소 발생

가성소다 생산을 위한 CA(Chlor-Alkali) 공정은 소금물의 전기분해를 통해 무기화학물질(염소, 수소, 수산화칼륨, 수산화나트륨)을 생산한다.([그림 6]) CA 공정은 에너지 집약적 생산방식으로 분해과정에서 전기를 이용하며, 수전해와 마찬가지로 고순도의 수소가 생산된다. CA 공정에 의해 나오는 수소는 다른 기체보다 밀도가 낮기 때문에 상방치환법에 의해 쉽게 분리되며, 현재 국내 수소판매량의 약 12%를 차지한다.

그림 6 멤브레인법에 기반한 CA 시스템 기본 구성



자료 : 박인기, 이창현 (2015). 클로알칼리 멤브레인법과 전망. 멤브레인 Vol. 25, No. 3 p. 205

CA 공정에서 투입되는 원료는 에너지원과 관련이 없고, 전기분해에 필요한 전력만이 에너지로 소비하기 때문에 환산기준을 투입원료 대신 전력을 이용하고자 한다. 미국 기준 CA 공정기술별 염소 1톤을 생산하기 위한 투입전력량은 수은법 3.7MWh, 격막법 2.9MWh, 멤브레인법 2.5MWh이다.¹⁵⁾ 즉, CA 공정에서 수소 1kg가 부산되어 나오는데 투입되는 전력량은 수은법, 격막법, 멤브레인법에 따라 각각 약 132.1kWh, 103.5kWh, 89.3kWh이며 CA 공정에 투입되는 전력량과 공정을 확인한다면, 대략적인 수소 생산량이 추정 가능하다.

나. 국내 수소 소비의 현황과 전망

수소 소비측면에서의 통계분류는 크게 원료용(비에너지), 연료용, 수송용으로 분류할 수 있다.

(비에너지용) 원료용 및 비에너지용으로는 현재 정유공정(탈황, 분해 등), 비료 생산(암모니아의 원료), 반도체 생산 등에서 많이 사용되고 있다. 이를 파악하기 위해 기존 산업현장에서 사용되고 있는 수소를 업종별/용도별로 파악해 비에너지원으로 사용되는 수소량을 도출해야 한다. 이를 통해 정부가 향후 수소경제의 활성화를 위한 지원제도를 설계함에 있어, 대상 물량을 정확하게 파악해야 향후 정교한 수소 보급 예측을 수행할 수 있다. 또한, 비에너지용 수소를 정확히 파악해야 하는 이유 중 하나는 만약 수소연료전지 발전이나 수소차에 사용되는 수소에 보조금이나 세제지원을 시행한다면 산업용 수소물량이 발전이나 수송용에 사용된 수소로 둔갑하여 부정으로 수소관련 보조금이나 세제지원을 수령하는 등으로 악용할 수 있기 때문이다. 수소경제가 완숙기에 접어들어 발전과 수송용 수소에 대한 과세제도를 설계할 경우에는 산업용 수소가 발전/수송용 수소로 불법전용될 가능성도 있기 때문에 비에너지용 수소에 대한 정확한 파악이 필요하다.

(에너지원, 열원) 현재는 수소를 에너지원으로 사용하는 양은 미미하게 수송부문에서 활용되거나, 산업부문에서 혼합가스를 정제하지 않고 그대로 열원으로 활용하고 있다. 하지만, 수소의 생산량이 충분해진다면 산업부문에서 고온 열원을 확보하기 위한 수소에너지의 직접연소로 수소가 활용될 가능성이 있다. 현재 고온·고압의 열원을 생성하기 위해 전통연료(석탄, 가스 등)를 활용하고 있지만, 탄소중립 시행에 따라 고온·고압의 열원을 생성하기 위해 수소를 활용할 가능성이 있으며, 산업부문에서 연료용으로 활용된 수소는 흐름 추적 후 최종소비에서 부문별로 직접 연소된 수소의 열량을 에너지통계에 포함할 수 있다.

(발전용) 분산전원의 보급 확대에 따라 연료전지가 늘어나거나 가스·수소 혼소터빈발전 혹은 순수수소 터빈발전이 보급될 예정이다. 현재 연료전지발전은 앞단에 개질장치를 설치해 수소를 직접 연료로 사용하는 외부개질형 연료전지발전 시스템과 천연가스, 액화석유가스, 메탄올 등 탄화수소 형태의 원료를 직접 연료전지 시스템에 투입하여 수소를 생산하고, 이를 통해 발전을 하는 내부개질형 연료전지발전 시스템으로 분류된다. 특히 국내에 보급된 연료전지 스택은 고체산화물 연료전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)나 용융탄산염 연료전지(MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell) 등 내부개질형 연료전지가 주류이다. 내부개질형 연료전지시스템에서는 수소의 생산량을 측정하기 어려우나 연료의 투입량을 통해 발전에 사용된 수소의 양을 계산할 수 있다. 현재 화석연료 기반 수소연료전지의 경우 화석연료를 투입해서 이를 통해 전력발전과 열을 생성하고 있는데, 이를 연료의 직접활용으로 볼지, 아니면 수소의 생산을 통한 전력과 열의 생산으로 봐야 할지 기준이 수립되어

15) 박인기, 이창현. (2015). 클로알칼리 멤브레인법과 전망. 멤브레인 Vol. 25, No. 3 p. 206

있지 않기 때문에 수소의 수급에 포함해야 할지 좀 더 논의가 필요할 것이다. 다만, HPS(수소발전의무화제도) 이행에 대한 담보와 정확한 효율 계산을 위해 외부개질형 연료전지 발전에 사용된 수소와 내부개질형 연료전지 발전기별 사용된 천연가스(조사를 통한 통계작성)와 내부 생성 수소(계산 물량 혹은 발전기 내 계측/측정을 통한 계산)를 모두 통계로 작성해야 할 필요가 있다.

(수송용) 현재 관용 및 자가용 수소차, 향후 육상수송, 해상수송, 항공수송까지 확대 예상되며, 보급망과 운송수단에 따라 수소 소비량 집계에 영향을 줄 것으로 판단된다. 말단의 수소 활용을 위한 공급망은 off-site¹⁶⁾ 방식과 on-site¹⁷⁾ 방식으로 나뉘어 공급될 것으로 전망된다. 수송용 수소는 튜브트레일러, 수소배관망, LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier, 액체유기수소저장),¹⁸⁾ 암모니아 방식으로 수소충전소에 공급하는 off-site 보급방식이 있다. 이 외에 천연가스(LNG/CNG), 액화석유가스(LPG), 나프타 및 등유 등의 석유/석유제품을 수소충전소에 이송 후 현장에서 직접 수소생산하거나 수전해를 통해 수소를 현장에서 생산하는 on-site 보급방식이 있다. 수전해방식 수소생산으로 수요처에 on-site로 보급할 경우 전기를 태양광, 풍력 등 재생에너지로 공급한다면, 수송부문의 탄소중립을 달성할 수 있기에 이에 많은 기대를 하고 있는 상황이지만, 현재 경제성이 충분하지 않아 보급되지 않고 있다. 따라서 수송용 수소의 소비에 대한 통계작성 시, on-site·off-site 기술방식에 대한 구분이 필요하다.

3. 수소 수급조사의 고려사항

가. 수소 수급조사의 거버넌스 구축

수소 수급조사를 위해 수소 수급조사를 위한 법·제도 상의 거버넌스 개선이 가장 우선적으로 필요하다. 현재 수소경제육성및수소안전관리에관한법률(이하 수소법¹⁹⁾)의 제5장(수소경제 이행을 위한 기반 조성)의 제28조(수소산업 관련 통계의 작성)에 따르면 산업통상부장관은 수소산업 육성을 위하여 수소산업에 관한 통계를 작성하여 관리할 수 있다고 명시하고 있다. 시행규칙에 따르면 ①수소 수급 현황에 관한 사항, ②국내외 수소산업의 동향 및 전망에 관한 사항, ③수소연료공급시설의 현황에 관한 사항, ④수소산업 관련 사업체의 경영 및 인력 등의 현황에 관한 사항, ⑤수소산업 관련 시설의 안전관리에 관한 사항, ⑥그밖에 수소산업 육성에 필요하다고 산업통상부장관이 인정하는 사항을 매년 조사하고 있다.

또한 수소관련통계의 작성 및 관리업무에 대하여 「에너지이용합리화법」에 따른 한국에너지공단, 법에 따라 지정받은 수소산업진흥전담기관, 「통계법」에 따라 지정된 통계작성지정기관으로 지정되어 있다. 현재 수소에너지 통계를 위한 거버넌스는 앞서 언급한 바와 같이 수급(한국가스공사), 안전(한국가스안전공사), 산업(수소융합얼라이언스)로 구분되어 통계 수집이 진행되고 있다.

일관된 통계 거버넌스 구축을 위해 각 기관 및 이해관계자들 간 협의체를 구성하여 복잡한 가치사슬을 일관

16) Off-site는 생산지에서 수소 생산 후 튜브트레일러나 배관을 통해 이송하여 활용하는 방식을 의미함.

17) On-site는 수요지(충전소 등)에서 바로 생산하여 활용하는 것을 의미함.

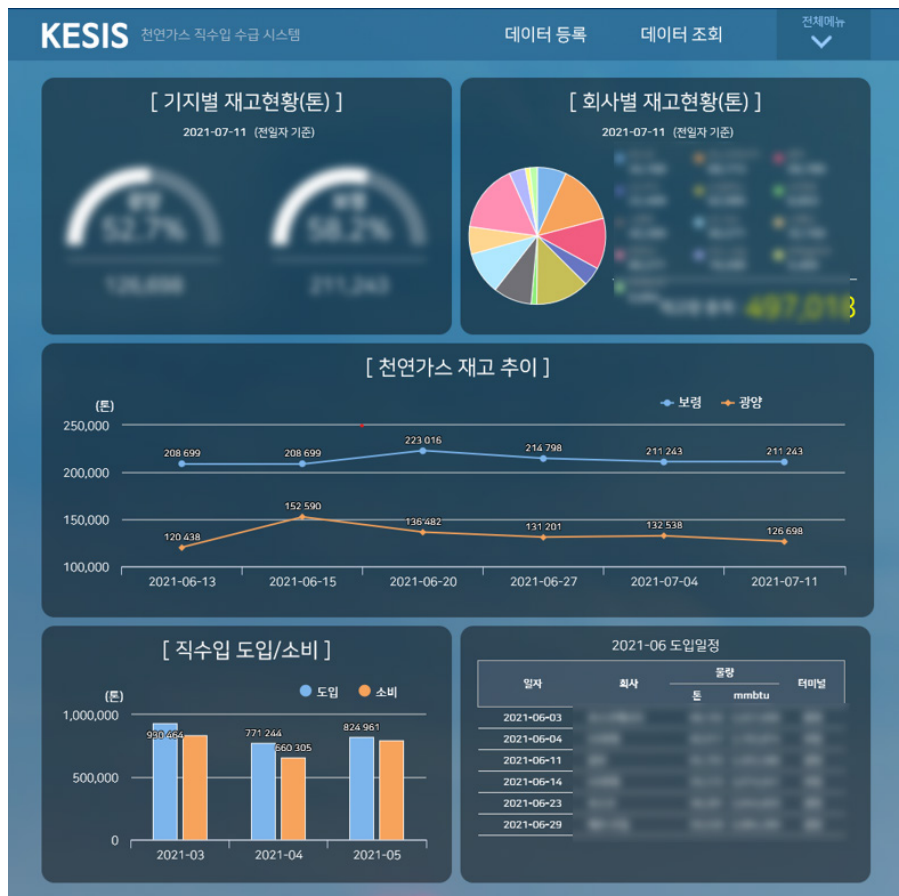
18) 톨루엔 등 방향족 유기물질에 수소를 결합하여 수소 보관의 용이성을 높인 유기화합물 매개체.

19) 수소경제육성및수소안전관리에관한법률(<https://www.law.go.kr/법령/수소경제육성및수소안전관리에관한법률/16942,20200204>)

성 있게 통계에 반영할 수 있는 조사항목을 우선적으로 구축해야 한다. 수소에너지 통계 수집에 대한 법적 근거는 마련되어 있으나, 통계작성의 목적, 통계의 작성 및 관리업무에 대하여 현재 명확한 거버넌스가 정립되어 있지 않다. ‘에너지 캐리어’로서 수소활용과 수소산업의 활성화를 목표로 한다면 수소 통계 작성의 목적은 에너지의 흐름 파악이 주가 되어야 하며, 통계작성의 원칙에 이를 명시적으로 구체화하고, 정확한 에너지 흐름 추적을 위해 다른 에너지원과 종합적으로 검토할 수 있어야 한다.

또한, 지속가능한 조사체계 구축을 위해 천연가스 직수입 수급시스템이나 국내석유 정보시스템(PEDSIS), 에너지다소비 사업장 신고와 같은 보고 시스템 구축이 필요하다. 에너지경제연구원은 천연가스 수급상황을 수집하기 위해 천연가스 직수입 수급시스템을 운영하여 직수입 업체로부터 M-1²⁰⁾의 수급량을 수집하고, 가스공사(M-1)와 도시가스협회(M-2)로부터 수급량을 수집한다. 이와 동시에 무역협회로부터 받은 수입량을 종합적으로 검토하여 오차를 최소화하여 천연가스의 수입부터 소비까지의 흐름을 통계로 정리하고 있다. 규격화된 스프레드시트를 주기별로 업로드하면 자동으로 재고, 도입계획, 수급 소비 등이 정리되어 분산된 천연가스 직도입통계를 관리하고 있다.

그림 7 KESIS 천연가스 직수입 수급 시스템 개요



자료 : KESIS 천연가스 직수입 수급시스템(kesis.net)

20) 전월의 경우 M-1, 전전월의 경우 M-2

석유의 경우에도 한국석유공사는 PEDSIS를 통해 정유기업이 매달 원유수입, 제품수출입, 국내소비, 석유수급, 유통정보 등의 정보를 직접 보고하고, 이를 통해 월간통계를 생성하며 검증절차를 통해 석유 및 석유제품의 수입부터 소비까지의 흐름을 통계로 정리하고 있다. 마찬가지로 수소 관련 통계의 월별 수급통계의 작성과 안정적 통계 공급을 위해 수소 수급수집시스템을 운영하고, 지속가능한 조사체계를 구축해야 한다.

나. 수급체계상의 고려사항

수소를 에너지원으로 통계에 반영하기 위해 (1)수소의 정의(순도 등)에 대한 고려사항, (2)비에너지용 수소 포함 여부, (3)추정을 통한 수소 생산량의 도출, (4)유통손실의 반영 여부, (5)에너지 제품의 분류 및 국제무역의 처리를 고려해야 한다.

수소의 순도는 기체의 혼합비중에 따라 혼합가스(Synthetic gas, 수소 약 50% 포함)와 같이 다양한 물리적 순도를 가질 수 있으며, 파생물질 또한 유통될 수 있다. 다만, 수소를 ‘에너지원’으로 사용할 수 있는 상태(ISO/TC 197)는 일반적으로 연료전지 전기자동차용 수소²¹⁾를 기준으로 한다. 또한 혼합비중 이외에도 암모니아, 메탄올, LOHC 등 수소캐리어로서의 파생제품에 대한 수소에너지 포함 여부 혹은 분리식별 여부를 정의해야 한다. 비에너지 용도로 사용되는 수소는 원료용 사용(정유, 석유화학 등), 암모니아 제조용(비료 등) 등이 있으며 향후 Net-Zero 달성을 위한 철강분야 수소환원제철 등에 수소가 사용될 것으로 전망된다. 수소의 수급 예측을 위해서는 비에너지용 수소의 수급 또한 조사가 되어야 할 것으로 판단된다.

통계조사에 있어 집계·검증 목적으로 추정을 적극적으로 활용할 필요가 있다. 기업 내에서 자체 생산·소비된 수소 집계 여부 또한 고려대상이며, 석유화학·정유사의 동일 계열사 내의 이동량과 정유사 내에서 재투입(Feed-in)되는 소비량도 파악해야 정확한 수소에너지 통계 집계가 가능할 것이다. 다만, 해당 물량을 전부 조사하기 위해 업체별 공정이 상이하여 표준화된 조사법을 구축하기 어려우며, 정확도가 떨어지고, 비용이 많이 투입되는 한계점이 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 수소는 투입 원료나 에너지에 따라 산출량을 대략적으로 산출할 수 있지만, 이를 통해서는 에너지효율을 도출할 수 없으므로 보조도구로서 활용할 수 있다.

모든 에너지원은 유통과 보관과정에서 손실이 발생하며, 이를 현재 밸런스 상에서 손실로 처리하고 있다. 수소는 휘발성이 가장 높은 기체이고, 보관성이 어렵기 때문에 유통손실과 보관손실에 대한 조사와 추정도 함께 작성되어야 정확한 에너지 흐름을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 전기는 송전손실로 인한 유통손실을 반영하고 있으며,²²⁾ 가스, 열에너지 또한 자가소비 및 손실량을 에너지통계에 반영하고 있다. 수소 또한 마찬가지로 유통손실과 보관손실에 대한 조사가 이루어져야 정확한 에너지 흐름 및 거시적 에너지 효율을 측정할 수 있다.

국내생산의 경우 현재 국내무연탄, 천연가스, 원유, 신·재생에너지가 있으며, 직접생산, 혹은 수전해·개질을 통한 전환에 따라 수소를 국내생산분과 전환부문의 수소생산으로 구별해 작성해야 한다. 또한 국제무역을 통해 수

21) 수소연료지표(Hydrogen Fuel Index)의 수소 순도는 99.97%이고 이산화탄소 2ppm, 일산화탄소 0.2%, 암모니아 0.1%, 모든 할로겐 화합물 0.005ppm 이하 등의 순도를 유지(ISO/DIS 14687-2).

22) 김수일, 이보혜. (2020). 국제기준에 부합하는 개질에너지밸런스 구축(4차). 산업통상자원부

입되는 수소, 국제병커링(수소, 암모니아 선박 등)에 대한 통계를 취득하여 에너지밸런스의 왜곡을 피해야 한다. 이 외에도 탄소통계 구축을 위해 수소 출처(그린수소, 그레이수소 등)의 탄소배출 여부를 구별할 필요가 있다. 수소는 최종소비단에서는 전기에너지처럼 다양한 생산원의 수소가 혼합되어 쓰일 것이기 때문에 탄소통계 구축을 위해서는 생산부문에서 생산원에 대한 분류가 필요하다.

다. 조사통계에서의 고려사항

앞서 검토한 바와 같이 수소의 수급조사는 전통에너지원 대비 가치사슬의 복잡성을 가지고 있고, 비에너지용으로 상당 부분 활용되고 있기 때문에 조사통계를 통한 수급조사에 어려움이 많을 것으로 보인다. 대표적으로 표본 설정의 문제, 공정의 상이함, 기준시점, 가치사슬의 문제, 효율계산의 어려움이 있다. 수소통계는 복잡한 가치사슬로 조사통계가 우선적으로 수집되고, 행정자료 등을 통해 이를 보완하는 방식으로 수집되어야 할 것이지만, 조사통계는 응답자의 전문성과 정보접근성에 따라 조사의 품질이 매우 달라질 수 있다. 관리가 잘 되는 기업의 경우에는 큰 문제가 없지만, 그렇지 못한 중소기업의 업체를 통해 응답받는 경우 조사의 품질이 떨어져 수급이 일치하지 않는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 행정자료, 추정, 측정 등의 조사방법 연계를 통해 조사통계의 단점들을 보완해야 하며, 그럼에도 수소의 가치사슬 특성상 다음과 같은 문제점들이 발생할 것으로 보인다.

(표본 설정의 문제) 법인의 차이, 같은 법인 내 위치 차이, 동일 위치 내 복수 법인 등으로 조사대상(표본 설정)의 어려움이 있을 것이다. 동일 법인 내 자회사의 형태로 수소를 생산하는 공장을 분리한 경우도 있고, 동일 부지 내에 다른 회사가 수소를 생산하는 경우도 있다. 또한 동일 법인이라도 여러 수소 생산 사이트가 존재하는 경우 등이 있기 때문에 조사대상, 수급흐름 조사 등의 어려움이 존재한다.

(공정의 상이함) 동일한 업종이라도 공정의 차이가 있다. 동일한 업종이라도 기업마다 목표로 하는 수율과 목적생산물의 비율이 다르기 때문에 목적물과 부생물의 비율이 차이가 있다. 또한 공정의 목적물이 수소인지, 부생물이 수소인지에 따라 차이가 있고, 공정에서 생산되는 수소의 순도도 상이하기 때문에 일관성 있는 조사의 어려움이 있다. 유통업체의 입장에서는 유통과정에서 이미 PSA를 거쳐서 나온 순도 높은 수소 상태로 공급받을 수도 있고, 아니면 부산물로 나온 혼합기체 상태로 유통되어 유통업체에서 재가공해서 판매하는 경우도 있다.

(기준시점의 문제) 통계는 기준시점이 중요하다. 기준시점이 잘 선정되면 통계를 통해 비교가능성을 높일 수 있기 때문이다. 현재 기업마다 수소 수급 집계 시점의 차이가 있어 정합성 있는 기간별 수소 수급 현황과 재고 현황을 도출하기 어렵다. 다만 수소 특성상 재고보관의 어려움으로 재고는 큰 문제가 되지 않으나 수급현황은 시점별 오차가 상당히 발생하기 때문에 기간조정이 필요하다.

(유통구조의 문제) 기업마다 유통 구조가 상이 하기 때문에 정확한 유통구조 파악이 어렵다. 튜브트레일러의 경우 규격화(200bar, 450bar)되어 있기 때문에 비교적 오차가 없지만 수소배관의 경우 공급압력, 배관두께, 배관길이 등에 따라 공급량이 달라질 수 있다.

(효율 계산의 어려움) 현재의 조사로는 수소의 원재료가 되는 물질 이외에 투입되는 에너지량을 확인하기 어려운 점이 있다. 수소의 생산 혹은 부산물로서 수소가 생산되는 과정에서 열, 전기 등이 투입되는데, 이는 해

당 목적물질이 수소나 아니냐에 따라 수소 생산에 투입된 에너지로 포함해야 하는지, 아니면 제품 생산에 투입된 에너지로 포함하는지 구별이 어려워 일반적인 개정에너지밸런스 상 전환손실을 정확히 추정하기 어렵다.

4. 에너지밸런스에 수소반영을 위한 시사점

현재 개정에너지밸런스 상 수소관련 에너지는 [기타전환, 기타에너지원]에 반영되어 있다(<표 4>). 확장에너지밸런스(연간)에서 [기타전환, 기타에너지원]에 반영되어 있으며, 이는 대부분 개질수소를 기반으로 한 연료전지의 열병합 발전에 투입된 연료량이다.²³⁾ 현재 투입열량도 작고, 자가소비 이외의 비에너지용 수소의 사용비중이 낮기 때문에 문제가 없지만, 개정에너지밸런스에 에너지용 수소만을 추가하는 것은 에너지 효율의 왜곡을 불러올 수 있기 때문에 비에너지용 수소도 함께 반영해야 할 것이다.²⁴⁾

표 4 개정에너지밸런스 형태 요약

	석탄 ¹⁾	석유 ²⁾	가스 ³⁾	전기/열 ⁴⁾	신재생/폐기물 ⁵⁾	합계
국내생산						
수출입(수입, 수출)						
국제방커링(국제해운방커링, 국제항공방커링)						
재고변화						
일차에너지공급						
제품이동						
통계오차						
일차에너지소비						
전환공정						
발전전용(사업, 자가), 열병합(사업, 자가), 열전용(사업, 자가)						
화학반응열						
코크스로						
고로						
연탄제조						
석유정제						
석유화학						
가스제조						
석탄합성가스제조						
기타전환						
에너지산업자체소비(석탄광업, 원유 및 천연가스채굴, 발전 및 열생산, 양수투입, 코크스로, 고로, 연탄제조, 석유정제, 가스제조, 석탄합성가스제조, 기타전환)						
손실						

23) 김수일, 이보혜. (2020). 국제기준에 부합하는 개정에너지밸런스 구축(4차), 산업통상자원부

24) 같은 이유로 밸런스 상 비에너지용 석유제품을 포함하고 있음.

석탄 ¹⁾	석유 ²⁾	가스 ³⁾	전기/열 ⁴⁾	신재생/폐기물 ⁵⁾	합계
최종소비					
최종에너지소비					
산업					
농림어업(농림업, 어업), 광업(석탄광업 제외), 제조업(식품 및 담배, 섬유 및 가죽, 목재 및 나무제품, 제지 및 인쇄, 화학 및 석유화학, 비금속광물, 철강, 비철금속, 기계류, 수송장비, 기타제조), 건설업					
수송(철도, 도로, 국내해운, 국내항공)					
가정/상업/공공					
최종비에너지소비(산업 및 에너지, 수송, 가정, 상업, 공공, 메모: 석유화학원료)					
전기생산(발전전용(사업, 자가), 열병합(사업, 자가), 기타발전)					
열생산(열병합(사업, 자가), 열전용(사업, 자가), 기타열생산)					

- 주 : 1) 석탄 : 국내무연탄, 수입무연탄, 원료탄, 기타유연탄, 아역청탄, 갈탄, 토탄, 고형연료, 코크스, 콜타르, 코크스로가스, 고로가스, 기타석탄가스
 2) 석유 : 원유, 정제원료, 첨가물, 기타탄화수소, 정제가스, 프로판, 부탄, 휘발유, 항공휘발유, 휘발유형항공유, 등유형항공유, 등유, 경유, BA, BB, BC, 납사, 용제, 윤활유, 아스팔트, 파라핀왁스, 석유코크, 기타석유제품
 3) 가스 : 천연가스, 도시가스,
 4) 전력/열 : 원자력, 전기, 열
 5) 신재생 및 폐기물 : 고형바이오매스, 바이오가스, 매립지가스, 바이오휘발유, 바이오경유, 기타바이오연료, 목탄, 수력, 지열, 태양광, 태양열, 해양, 풍력, 기타에너지원, 산업폐기물, 도시폐기물(재생), 도시폐기물(비재생)

자료 : 박상규 (2020). 수소부문 에너지 통계 작성을 위한 기반연구

표 5 개정에너지밸런스 수소통계 반영 구조

	석유	가스	수소	전기	열
국내생산			수전해(+)		
수입			수입(+)		
전환과정					
발전			수소투입(-)	전력(+)	
열병합			수소투입(-)	전력(+)	열(+)
열전용			수소투입(-)		열(+)
석유정제	부생, 재투입(±)		부생(+)		
석유화학			부생(+)		
수소제조		가스(-)	개질(+)		
에너지산업자체소비					
석유정제_자체소비			원료투입(-)		
수소제조_자체소비				수전해(-)	
최종에너지소비					
수송					
육상			수소 (+)		
최종비에너지소비					
비에너지_산업 및 에너지			부생(+)		

자료 : 박상규 (2020). 수소부문 에너지 통계 작성을 위한 기반연구

개정에너지밸런스에 수소에너지통계를 반영하기 위해서는 다음과 같이 처리할 수 있다(<표 5>).

(국내생산) 물을 전기분해하여 수소를 생산할 경우, 물은 에너지원이 아니므로 이때 생산된 수소는 전환공정이 아닌 국내생산(+)으로 취급하고, 사용된 전기는 에너지산업자체소비 중 수소제조_자체소비에서 소비된 것으로 처리할 수 있다.

(수입) 해외 유입된 수소를 수입으로 포함해야 한다.

(석유정제) 정유과정에서 부산물로 생산되는 수소는 원유 및 정제원료가 투입되어 휘발유, 경유 등과 같은 석유제품이 생산될 때 부생되는 것이기 때문에 전환공정 부문의 석유정제에서 생산(+)되는 것으로 표시한다.

(석유화학) 기초유분 등을 생산하는 석유화학 공정 중에 생산되는 수소는 전환공정 중 석유화학에 생산(+)된 것으로 산정한다.

(수소제조) 천연가스와 수증기를 원료로 투입하여 수소를 생산하는 개질 공정으로, 이때 생산되는 수소는 (+)로, 투입되는 천연가스는 (-)로 산정한다. 수소제조는 현재 개정에너지밸런스에는 없는 항목이나, 개질 공정의 통계 수집 현황과 안정성을 검토하여 반영할 예정으로 현재 진행 중에 있다.

(발전·열병합·열전용) 개질된 수소를 연료로 발전하는 연료전지는 투입된 수소는 (-)로 생산된 전기나 열은 (+)로 투입과 산출을 표시할 수 있다.

(석유정제_자체소비) 석유정제 과정에서 생산된 수소가 탈황공정, 분해공정 등 석유정제 공정에 대부분 재사용 되는 양을 표시(-)한다.

(육상) 수소 자동차에서 사용되는 수소의 양(+)을 표시한다. 추후 자동차 이외에 해상 및 항공 분야에서도 수소를 연료로 사용할 경우 해당 항목에도 수소 소비량을 집계해야 할 것이다. 수소를 연료 사용하는 운송수단이 국경을 출입하게 되면 국제빙커링 부분에도 이를 반영해야 한다. 또한 수소 충전소로의 수소 공급 방식(on-site, off-site)에 따라, 충전소에 공급되는 수소의 생성 과정을 밸런스에 반영해야 한다.

(비에너지_산업 및 에너지) 산업공정에서 원료용으로 사용되는 수소의 양(+). 유통 혹은 자가소비되는 수소는 대부분 석유화학업에서 원료용으로 사용되나, 반도체 공장 등 석유화학이 아닌 업종에서도 소비되는 만큼 업종별 소비량을 파악하여 반영해야 한다.

5. 시사점(향후 추진과제, 정책 제언 등)

본고에서는 현재 국내 수급되는 수소에너지 통계 집계를 위한 고려사항을 제시한다. 수소는 다양한 분야에서 쓰이며, 특성 요소별로 나누어 보면 기존 에너지원과 유사한 특성을 가지는 면이 있으나, 기존 수집하던 에너지원들과는 전혀 다른 특성을 보이고 있다. 수소는 석유, 가스, 전력으로부터 생산되며 각각의 특성을 고루 반영하고 있다. 비에너지용으로 상당 부분 활용되고, 공정 내 재투입된다는 점에서 석유제품의 특성을 일부 가

지며, 기체형태로 존재한다는 점에서 가스제품과 유통, 소비가 밀접한 관련이 있고, 에너지 캐리어로서 역할을 한다는 점과 보관이 어렵고, 다양한 원(source)로부터 생산된다는 점에서 전력의 특성을 가지고 있다. 이에 더하여 여러 분야에 걸쳐 가치사슬이 퍼져있기 때문에 다양한 이해관계자의 특성도 고려해야 한다. 복잡한 가치사슬이 수소에너지 통계의 집계를 어렵게 하며 정합성 있는 에너지 소비 흐름을 구축하기 위해 조사과정의 개선과 에너지밸런스 반영을 위한 연구가 필요할 것이다.

국내 수소수급통계와 관련하여 집계를 시도하고 있으나 현재 미흡한 수준이고, 앞서 고려할 점에서 제시한 문제점이 있지만, 현재 수소경제의 태동기이기 때문에 수소 수급 관련된 공급 정책을 수립하기 위해 주로 공급 측면에 대하여 우선적으로 통계를 집계해야 할 것이다.²⁵⁾ 수소통계협의체를 구성하여 각 출처별 공정을 정확하게 파악하고, 에너지원에 반영하기 위한 구체적 필요항목을 포함하여 조사를 수행해야 한다. 향후 탄소중립 사회로의 이행을 위한 기반을 마련하기 위해 정확한 수소에너지 통계의 집계가 필요하며, 이는 수소경제로드맵과 탄소중립로드맵의 기초자료로 활용될 것이기 때문이다.

IEA는 아직 수소통계 집계방안에 대해 고려하고 있지 않으며, 전 세계 어느 국가도 수소통계에 대한 구체적 수집결과를 도출하지 못하고 있다. 네덜란드가 최근 구체적으로 수소통계를 집계하기 위한 관련 고려사항을 제시하여 수소통계 수집의 가능성을 제시하고 있으나 이 또한 집계방안을 명확하게 제시하고 있지 못하고 있을 만큼 현재 수소수급통계 집계는 어려움을 갖고 있다.²⁶⁾

대한민국의 국제시장선도를 위해 수소통계 집계에 대한 연구가 빠른 시일 내에 이루어져야 할 것이며, 이를 통해 수소통계 구축의 세계 표준을 수립할 수 있을 것이다. 상류(생산)부터 하류(소비)까지의 수소의 흐름을 정확하게 파악하여 선도적으로 통계 집계방안 마련한다면 효과적인 탄소중립사회로의 이행을 위한 초석이 될 것이다.

25) 수소에너지의 말단 소비는 주로 수송(육상, 해상, 항공), 발전용(수소연료전지)에서 발생할 것이며 이는 추후 고려해야 함.

26) TNO. (2020). The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics

참고문헌

국내 문헌

- 김수일, 이보혜(2019). 국제기준에 부합하는 개정에너지밸런스 구축(3차). 산업통상자원부
- 김수일, 이보혜. (2020). 국제기준에 부합하는 개정에너지밸런스 구축(4차), 산업통상자원부
- 박상규 (2020). 수소부문 에너지 통계 작성을 위한 기반연구, 산업통상자원부
- 박인기, 이창현. (2015). 클로알칼리 멤브레인법과 전망. 멤브레인 Vol. 25, No. 3 p. 206
- 한국에너지공단 (2018), 『신/재생에너지백서』, p. 209

외국 문헌

- IEA (2019). The Future of Hydrogen - Seizing today's opportunities.
- Isao Abe (2009). Energy carriers and Conversion Systems. Vol.1. Statistics on Hydrogen Production and Consumption
- TNO (2020). The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics

법령

- 수소경제육성및수소안전관리에관한법률(<https://www.law.go.kr/법령/수소경제육성및수소안전관리에관한법률/> (16942,20200204))

