



신재생 여유전력¹⁾을 활용한 수소 생산의 경제성 분석²⁾

김지희 한전경영연구원 선임연구원 iam_jihui7@kepco.co.kr

김영욱 한전경영연구원 선임연구원 youngwook.kim@kepco.co.kr

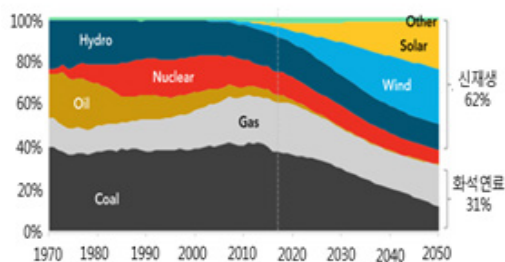
박정연 한전경영연구원 선임연구원 joy.park@kepco.co.kr

1. 서론

전세계적으로 1992년 리우 유엔 환경개발회의에서부터 1997년 교토협정과 2015년 파리협정을 통해 온실가스 감축노력이 급속도로 확대되고 있다. 또한 태양광 및 풍력 발전비중은 2018년 7%에서 2050년 48%로 증가되는 반면, 발전설비 건설비용은 2018년

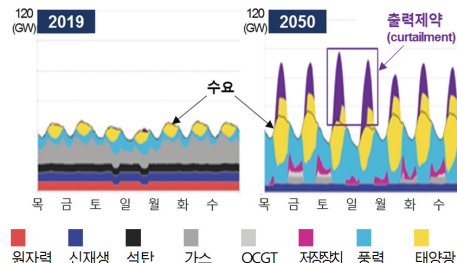
대비 2050년 태양광은 63%, 풍력은 40% 각각 하락할 것으로 예상된다. 이와 같이 온실가스 규제가 확산됨과 동시에 신재생에너지의 경제성 확보가 가능함에 따라 신재생 보급 확대가 가속화 되고 있는 상황이다. 아래의 그림은 글로벌 전원구성 전망 및 이베리아 지역의 하계 일간 발전 패턴 예시를 나타내었다.

[그림 1] 글로벌 전원구성 전망



자료: BNEF(2019)

[그림 2] 일간 발전 예시(하계, 이베리아 지역)



1) 본고에서 '신재생 여유전력'은 신재생 발전량의 일부가 수요 또는 송전용량 등의 제약으로 인해 발생하게 되는 발전제한량(Curtailment)을 의미
2) 본고는 김영욱, 박정연, 김지희, 신재생 여유전력을 활용한 수소 생산의 경제성 분석, KEMRI 전력경제 Review(2019)의 주요내용을 요약한 것임.



논단

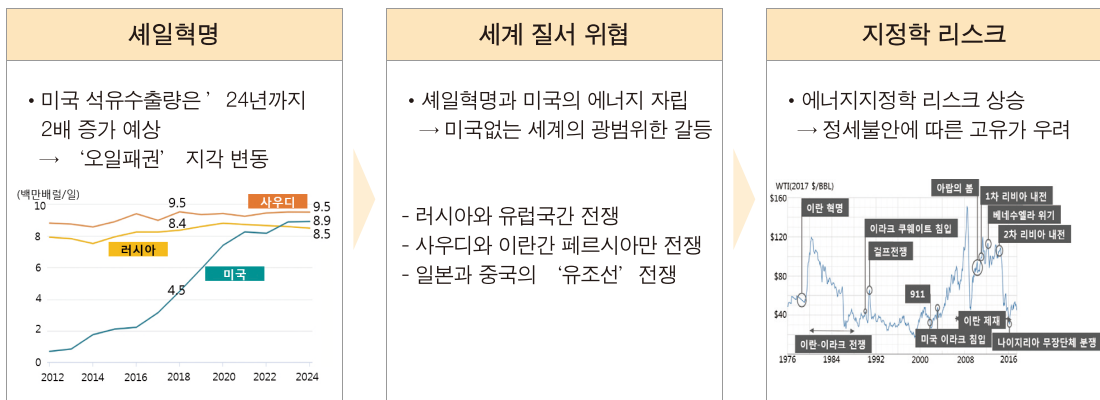
신재생 여유전력을 활용한 수소 생산의 경제성 분석

이렇게 신재생 보급이 확대됨에 따라 신재생 발전원의 출력 간헐성으로 인한 에너지 공급 과잉 및 부족 현상이 심화될 것이라 전망된다. 이러한 신재생에너지 과잉 및 부족 발생 시의 대안으로 수소의 에너지저장 기술³⁾이 부각되고 있다.

신재생 에너지 확대 뿐만 아니라 셰일혁명 또한 수소경제를 가속화하는 원인이다. 즉, 셰일혁명으로 미국의 석유 생산량이 증가하면 미국의 에너지자립 가능성 또한 점점 고조되며, 만약 미국이 에너지자립 달

성 시 중동산 원유의 안전한 자국 내 수입선 확보를 위해 지금까지 수행해 온 세계의 경찰 역할을 그만두고 신고립주의로 돌아설 가능성이 존재한다. 최근 미국의 이란 핵협정 탈퇴 선언, 이스라엘의 수도로 예루살렘을 인정할 점 등이 미국의 입장변화를 보여주는 대표적인 사례라 할 수 있다. 이러한 경우 전 세계적으로 에너지를 둘러싼 광범위한 갈등이 발생할 수 있다는 우려가 제기된다. 이와 같은 내용을 아래의 그림에서 나타내었다.

[그림 3] 셰일혁명에 따른 향후 에너지 관련 이해관계 변화



자료: IEA(2019); P.Zeihan(2018)등을 바탕으로 재구성

화석에너지 고갈과 환경 문제 또한 수소에너지 기반의 경제시스템을 가속화시킨다. 화석연료의 경제적 가채년수는 50~100년 내외로 전망되고 있어, 많은 전문가들은 전력, 수송, 산업 등 다양한 부문에서 탄소감축 효과가 예상되는 수소 에너지에 대한 가능성을 제시하

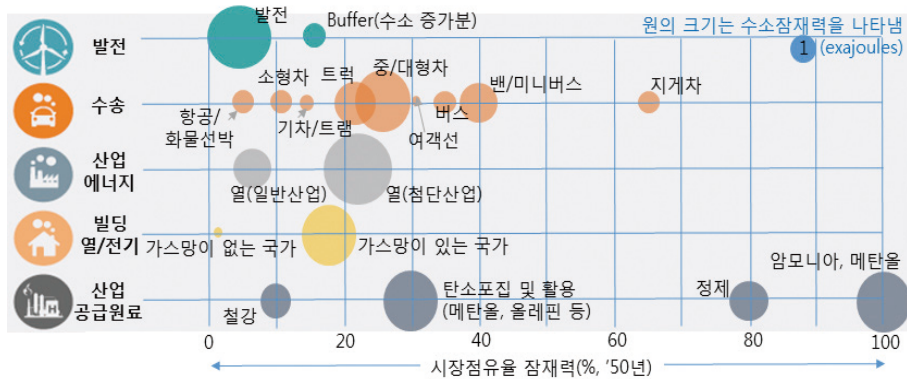
고 있다.

이렇듯 신재생에너지 확대, 고유가 및 화석연료 고갈위험 등으로 인해 친환경에너지 기반의 수소경제가 확산되고 있다. 아래의 그림은 2050년 수소 활용 분야 및 시장점유율 잠재력 전망을 나타낸다.

3) P2X(Power-to-X) : 풍력과 태양광 등 재생에너지를 활용해 다양한 연료를 생산하는 기술



[그림 4] 수소 활용 분야 및 시장점유율 잠재력 전망(2050년)

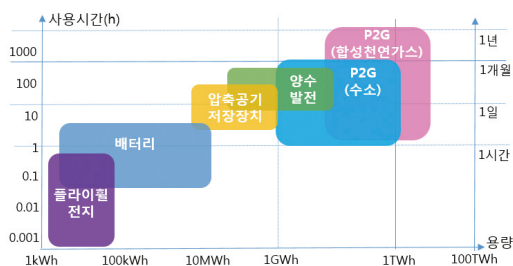


자료: McKinsey(2017)

대규모·장기적 저장이 가능한 수소에너지는 유연성 (Flexibility) 잠재력이 크나, 아직은 가격이 높은 에너지라는 한계가 존재한다. 아래의 그림은 에너지 저장

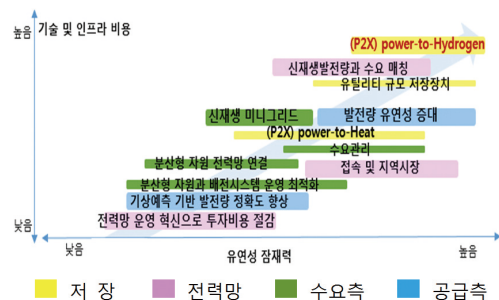
기술 비교 및 유연성 기술별 잠재력과 비용의 상관관계를 나타내고 있다.

[그림 5] 에너지 저장기술 비교



자료: IRENA(2019)

[그림 6] 유연성 기술별 '잠재량' vs. '비용'



이에, 본고는 국내의 수소경제 현황을 파악하고, 향후 국내에 수소경제 활성화 시 관련사업의 참여 여건을 분석하는데에 목적이 있다. 본고의 구성은 다음과

같다. 2장에서는 수소경제 글로벌 추진현황을 살펴보고, 3장에서는 국내 수소에너지 사업의 참여 여건을 분석하고자 한다.



논단

신재생 여유전력을 활용한 수소 생산의 경제성 분석

2. 수소경제 글로벌 추진 동향

국가별로 수소경제 추진 동향을 살펴보면, 유럽, 미국, 일본 등 주요 국가들은 수소경제 산업을 기술적

경제적 초기 단계로 인식하고 정부가 주도하는 R&D 및 실증 프로젝트에 민간기업이 참여하는 형태로 추진 중이다. 아래의 표는 각 국가별 수소경제 추진동향을 나타낸다.

[표 1] 글로벌 수소경제 추진동향

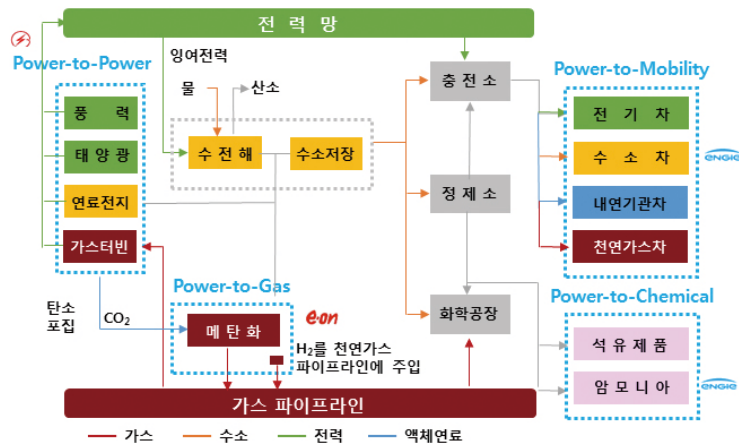
	 유럽	 미 국	 일 본
배경	신재생의 여유전력 활용방안 모색	- 세일혁명, 천연가스 가격 하락 - 풍력 여유전력 발생	- 연료전지 기술 선도 - 수소차 수요 확대 대응
생산	신재생 여유전력 활용 수소 집중형 대량 생산	- 대규모 풍력단지 중심 생산 - 천연가스 개질, 부생수소 활용	- 부생수소 활용 - 해외 수소 대량 수입
저장	- 대용량 지하저장소 구축 - 열병합 발전소와 연계 - 복합형 클러스터 구축 (수소/CNG/전기/열)	- CNG 충전소 활용 - 주유소 연계방식(수소탱크 활용)	- 대용량 저장소 구축 - 수소 탱크 활용
운송	- 천연가스 파이프라인 활용 - 수소 파이프라인 활용	- 천연가스 파이프라인 활용 - 튜브 트레일러 활용	- 튜브 트레일러 활용 - 수소 파이프라인 활용
정책	(독일) 국가수소 및 연료전지 기술혁신 프로그램('08), H2 Mobility('09) (프랑스) 국가재산업화계획('06), H2 Mobility France('13) (영국) UK H2 Mobility('12)	- 수소경제 이행을 위한 국가비전('02) - 국가 수소에너지 로드맵('02) - Hydrogen Posture Plan('06) - Transportation Energy Future('13)	4차 에너지기본 계획('14) - 수소 연료전지 전략 로드맵('14) - 수소 스테이션 보급확대 전략('14) - 수소기본전략 시나리오('17)

다음으로, 글로벌 전력회사는 신재생 여유전력으로 생산된 수소를 전력, 가스, 수소차, 화학공정에 활용하는 것을 추진하고 있다. 일본의 토호쿠전력의 경우 여유전력을 수소로 전환해 저장하고 필요시 연료전지나 가스발전에 활용하는 P2P(Power-to-Power) 모델을 적용하여 10MW 태양광발전을 이용해 150가구에 공급가능한 수소를 생산, 전력망 안정화에 활용하고 있다. 또한 e.on은 여유전력을 수소로 전환 후 기존의 가

스망에 주입하여 소매사업에 활용하는 P2G(Power-to-Gas) 모델을 적용하고 있다. 마지막으로 Engie의 경우 여유전력을 이용하여 수소 생산 후 수소 충전소를 구축하여 수소차에 보급하는 P2M(Power-to-Mobility) 및 수소를 암모니아 생산 등과 같은 산업공정에 활용하는 P2C(Power-to-Chemical) 모델을 운영하고 있다. 아래의 그림은 각 전력회사별 신재생 여유전력을 활용한 수소 활용 분야를 나타낸다.



[그림 7] 신재생 여유전력을 활용한 수소 활용 분야



3. 국내 수소 에너지의 경제성 검토

가. 정부정책

정부는 2019년 1월 수소차와 연료전지를 중심으로 하는 수소경제 활성화 로드맵을 발표하였다. 본 로드맵은 2040년까지 수소차 620만대 및 15GW 규모의

발전용 연료전지를 보급하고 2035년까지 수소터빈을 상용화하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 2022년 대비 2040년까지 수소 공급량은 11배 늘리고 가격은 절반인 kg당 3,000원까지 낮추겠다는 구체적인 목표를 제시하고 있다. 수소경제 활성화 로드맵의 주요내용이 아래의 표에 정리되어 있다.

[표 2] 국내 수소경제 활성화 로드맵의 주요내용

수소 활용 기술 보급 계획				수소 공급 계획				
구분	'18년	'22년	'40년	구분	'18년	'22년	'30년	'40년
수소차	1,8천대	8,1만대	620만대	공급량	13만톤/연	47만톤/연	194만톤/연	526만톤/연
연료전지	307.6MW	1.5GW	15GW	공급 가격	-	6천원/kg	4천원/kg	3천원/kg
수소터빈	'30년까지 기술개발 완료 → '35년 상용 발전			공급 방식	부생·추출수소 중심 → 수전해 수소 및 해외생산 확대			

* 수소차와 연료전지 목표는 내수와 수출 포함

* '40년 수소 공급량의 70%를 수전해 생산 및 해외 수입으로 확보

자료: 정부 관계부처 합동(2019), '수소경제 활성화 로드맵'을 바탕으로 재구성



논단

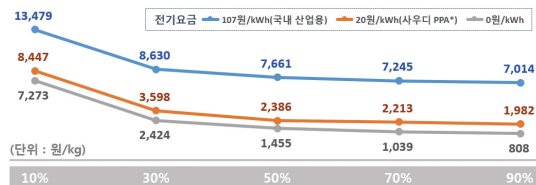
신재생 여유전력을 활용한 수소 생산의 경제성 분석

나. 생산원가

수소에너지의 생산원가는 신재생 여유전력 구입가격과 발생시간(=이용률)에 따라 큰 폭으로 변동한다. 현재 기술수준에서 전기요금 및 수전해 설비 이용률에 따라 수소 생산원가는 13,479(전기요금 107원/kWh, 설비

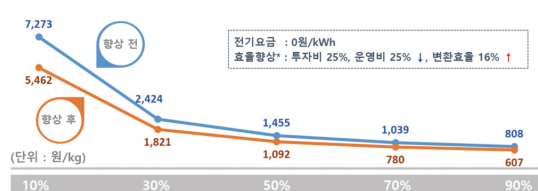
이용률 10%) ~ 808(전기요금 0원/kWh, 설비 이용률 90%)원/kg 수준으로 큰 차이를 보인다. 아래의 그림은 전기요금과 신재생 설비이용률, 그리고 수전해 기술 효율 향상에 따른 수소에너지 생산원가 수준을 나타낸다.

[그림 8] 수전해 수소 생산원가(알카라인 방식)⁴⁾



주1. '17년 사우디가 UAE Masdar와 체결한 태양광 사업 PPA 가격 준용
주2. '18년 호주 CSIRO의 알카라인 수전해 기술 효율 향상 전망지 적용

[그림 9] 수전해 기술 효율향상 영향(알카라인 방식)



다. 공급원가⁵⁾⁶⁾

수소에너지의 공급원가는 원가 개선과 수송비용 관점으로 분류하여 분석하였다. 먼저 원가 개선의 관점에서는, 수소 생산 및 저장 효율을 향상시키고 이동 시

튜브트레일러의 가동률을 증가시킬 경우 공급원가는 약 51% 하락할 것으로 예상되므로 '규모의 경제'와 '기술개발'을 통해 원가 절감을 추구할 수 있을 것이다. 아래의 표는 효율 향상을 통한 비용 절감 가능성을 나타내었다.

[표 3] 효율향상을 통한 비용 절감 가능성

(단위: 원/kg)

구분	향상 전	향상 후('25~'30년)
생산원가(수전해)	2,424~7,273	1,821~5,462 (25% ↓)
저장비용(압축저장)	285	217 (24% ↓)
수송비용(튜브트레일러)	7,656	2,615 (66% ↓)
공급원가	10,365~15,214	4,653~8,294 (51% ↓)

주. 여유전력 요금 0원/kWh, 신재생 이용률을 10~30%(2.4~7.2시간)로 가정
자료: CSIRO(2018); H2KOREA(2017)

4) 알카라인 방식 : 순수한 물을 전기분해하여 수소를 제조하는 방식

5) 이하에서는「신재생 여유전력 구입가격 = 0원/kWh」가정 하에서 경제성 분석을 진행하였다.

6) 수소 공급원가 : 본 고에서는 LNG와 동일한 열량단가(원/Gcal)를 가지는 수소의 kg당 공급가격으로 '생산원가 + 저장비용'로 정의
예) [공급] 4,418원 = [생산] 4,201원(요금 0원, 이용률 13%) + [저장] 217원



다음으로 수송비용 관점에서는 수송비용이 전체 공급원가의 최대 56%를 차지하므로 수전해 수소가 발전 설비와 동일지역에서 생산 및 활용되는 사업모델이 필

요할 것이다. 수송비용 발생 유무에 따른 공급원가 차이는 다음의 표와 같다.

[표 4] 수송비용 발생 유무에 따른 공급원가

(단위: 원/kg)

	생산원가		저장비용(압축)		수송비용		공급원가
수송비용 포함	1,821~5,462	+	217	+	2,615	=	4,653~8,294
수송비용 미포함	1,821~5,462	+	217	+	-	=	2,038~5,679

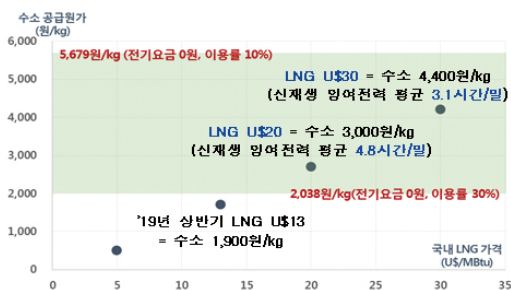
결론적으로 수소에너지의 공급원가를 개선하기 위해서는 수소 가치사슬의 효율향상을 통한 원가 개선 및 수송비용을 최소화하는 사업모델 개발이 필요하다.

라. LNG 대비 경제성

본 절에서는 LNG 가격 수준에 따라 수소에너지의 경제성을 평가하였다. LNG 가격이 '19년 상반기 평균인 U\$13/MBtu일 경우 이에 상승하는 수소 공급원가는 1,900원/kg으로, 연간 4개월(평균 7.2시간/일) 정도의 신재생 여유전력이 필요하기 때문에 당분간 달성이 어려운 수준이다. 다음으로 LNG 가격이 U\$20/MBtu에 해당하는 수소 공급원가는 정부 로드맵의 '40년 목표에 해당되는 3,000원/kg인데, 해당 원가에 수

소를 생산하기 위해서는 연간 1,700시간(평균 4.8시간/일)의 신재생 여유전력 발생이 필요하다. '08년 글로벌 금융위기와 '11년 후쿠시마 원전사고 발생 이후 국내 발전용 LNG 가격이 U\$20/MBtu까지 상승한 사례가 있으며 국내 태양광 발전량이 낮 시간대에 일평균 약 4시간 동안에 집중된다는 점을 감안할 때, 3,000원/kg은 신재생 보급 확산에 따라 달성 가능한 수준이다. 마지막으로 LNG 가격이 U\$30/MBtu일 경우 경쟁 가능한 수소 공급원가는 4,400원/kg 수준으로 신재생 여유전력이 13%(평균 3시간/일)만 발생해도 달성 가능하다. 아래의 그림은 LNG 가격 수준별 대체 가능한 수소가격 및 국내 LNG 가격 추이를 나타낸 것이다.

[그림 10] LNG 가격 수준별 대체 가능한 수소가격



[그림 11] 국내 LNG 가격 추이





논단

신재생 여유전력을 활용한 수소 생산의 경제성 분석

결론적으로 '12년, '14년 최고 U\$20/MBtu인 과거 LNG 도입가격 추이를 감안 시, 신재생 여유전력이 연간 1,700시간 발생하고 수송비와 전기요금을 최소화 하면 경제성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다(여유 전력 요금은 0으로 가정).

마. 여유전력 활용 : 발전

본 절에서는 신재생 여유전력을 ESS로 저장하는 경

우와 수소로 전환하여 저장하는 P2P의 경우를 비교하였다.

1) ESS 저장 활용(여유전력 발생시간에 충전)

여유전력 발생시간에 맞추어 ESS 용량을 가정할 경우⁷⁾ ESS-EMS 융합시스템 우수사례집(2018)을 참조하여 내부적으로 산정, ESS 여유전력 저장원가는 아래와 같이 141~147원/kWh 수준으로 도출된다.

[표 5] ESS 활용 시

여유전력 발생 전기요금	ESS 충전 → 방전	
	여유전력 발생시간	방전원가
0원/kWh	7.2시간/일	141원/kWh
	2.4시간/일	147원/kWh

2) 수전해 기반 P2P 활용(수소 전소발전)

30% 수소 혼소 시 균등화 발전원가(LCOE : Levelized Cost of Electricity) 내 수소 기여분을 구분하여 원가를 추정하였다. 이 때, 원거리 생산 시에는 튜브 트레일러를 활용하기 때문에 '생산+저장+수송+

발전'으로 수소 공급원가를 가정하였으며, 발전소 인접 생산 시에는 장거리 수송이 불필요하여 '생산+저장+발전'으로 수소 공급원가를 가정하여 수송비용 포함 유무에 따른 수소 전소발전 원가를 비교하였다. 이러한 원가 비교 내용은 아래와 같다.

7) 여유전력 2.4시간/일 → ESS 용량 1MW/2MWh, 여유전력 7.2시간/일 → 2MW/7MWh

자료: 한국에너지공단, ESS-EMS 융합시스템 우수사례집(2018)을 참조하여 내부적으로 산정



[표 6] 수전해 기반 P2P 활용 시

	여유전력 발생	수전해→저장→수송		수소 전소발전	
	전기요금	여유전력 발생시간	공급원가	여유전력 발생시간	발전원가
수송비용 포함	0원/kWh	7.2시간/일	4,653원/kg	7.2시간/일	230원/kWh
		2.4시간/일	8,294원/kg	2.4시간/일	398원/kWh
수송비용 미포함	0원/kWh	7.2시간/일	2,038원/kg	7.2시간/일	109원/kWh
		2.4시간/일	5,679원/kg	2.4시간/일	277원/kWh

위와 같이 ESS와 P2P를 비교할 경우, 신재생 여유 전력 비중이 낮을 때는 ESS 활용이 유리하나, 비중이 일정 수준 이상으로 증가(예 : 일평균 7.2시간)하면 수송비가 최소화되는 경우 P2P가 유리하다.

바. 여유전력 활용 : 수송

본 절에서는 수소차와 전기차의 경제성을 비교하였다.

1) 수소차(충전소 수소 공급 → 차량 충전)

공급원가는 수전해 수소 생산·저장·수송 원가의 합계로 4,700~8,300원/kg 수준이며, 판매원가는 수소 충전소 가동률⁸⁾과 보조금 지급여부에 따라 8,000~53,000원/kg 이다. 이를 반영하여 산정한 수소차의 주행단가는 차량 연비를 96.2km/kg('19년 현대 넥쏘)로 가정할 경우 83~546원/km으로 도출되었다.

[표 7] 수소차 주행단가

수소 공급원가	수소충전소	차량주행
수전해 수소 생산·저장·수송	판매원가(가동률) [수전해 → 충전소]	주행단가
4,653 ~ 8,294원/kg (7.2시간/일) (2.4시간/일)	7,948 ~ 52,557원/kg (250kg/일) (50kg/일)	83~546원/km

8) 수소충전소 판매량 : 가동률 100%일 경우 250kg/일, 20%일 경우 50kg/일
자료: H2KOREA, 수송용 수소연료의 가격 설정 및 공급체계 구축방안 (2017)



논단

신재생 여유전력을 활용한 수소 생산의 경제성 분석

2) 전기차(충전소 전기 송전 → 차량 충전)

전기차의 방전원가는 ESS 방전원가 141~147원/kWh에 송배전원가 15원/kWh을 반영하였으며 판매

원가는 가동률에 따른 충전소 비용 44~441원/kWh을 반영하였다. 이에 따른 주행단가는 차량 연비를 6.3km/kWh('19년 현대 아이오닉)이라 가정할 경우 32~96원/km 수준이다.

[표 8] 전기차 주행단가

ESS 방전원가	전기충전소	차량주행
ESS 방전 + 송배전(15원/kWh)	판매원가(가동률) [ESS → 충전소]	주행단가
156 ~ 162원/kWh (7.2시간/일) (2.4시간/일)	200 ~ 603원/kWh (20%) (2%)	32~96원/km

결론적으로 주행비용은 전기차가 수소차에 비해서 유리하나, 대형·장거리 운행차량은 수소차가 전기차에 비해서 유리하므로 차량 간 선택은 소비자 선택에 따라 결정될 수 있다. 또한 수소차의 경우 수소충전소가동률의 변화가 주행비용의 핵심 결정 요인이며, 수전해 수소를 수소 차량에 활용 시 수송·충전 비용이 총 주행비용의 74%로 해당 부문의 혁신적 기술진보가 필요하다. 뿐만 아니라 주행비용 측면에서 전기차가 수소차에 비해서 유리하나, 대형차량(버스, 화물차) 활용 및 장거리 운행 측면에서는 수소차가 강점을 보유하고 있음으로, 향후 수소차 가격이 전기차 보다 하락 시 상용화 여지가 존재함을 알 수 있다.

사. 해외수입

장기적으로 화석연료 고갈 및 가격 급등에 대비하

여, 국내 대비 신재생 사업 여건이 우수한 해외국가에서 신재생 사업과 연계하여 국내로 수소를 도입하는 방안도 고려해야 할 것이다.

일본은 호주의 갈탄 개질수소를 액화형태로 수입하는 프로젝트를 진행 중이며 중동으로부터의 신재생 연계 수입방안 또한 검토중이다. 일본-호주 프로젝트의 수소 공급원가는 5,169원/kg(생산원가⁹⁾ 2,078원/kg + 액화저장 2,430원/kg + 해상운송 661원/kg)으로 추정된다. 이러한 일본-호주 사례를 참고하여 사우디 태양광에서 생산되는 전기(신재생 이용률 30% 가정)로 수소 생산 후 국내 수입 시 수소 공급원가를 현재 및 향후 기술수준 하에서 각각 추정하였다.

먼저 현재의 경우 사우디 현지에서의 수소 생산원가는 3,600원/kg, 국내 수입 시 공급원가는 6,800원/kg으로 국내 생산(신재생 이용률 10%, 7,300~13,500원/kg)보다 저렴하다.

9) 갈탄 → 가스화 → 수소 전환 시 소요되는 비용



[표 9] 현재 기술 수준에서 사우디 수소 수입 시

(단위 : 원/kg)

공급원가	생산원가	액화저장	해상운송
6,791	3,598	2,430	763

반면 향후 기술 효율 향상시에는 2,800원/kg에 수소 생산이 가능하며, 국내 수입 시 예상되는 공급원가는 4,600원/kg이다. 이 때, 공급원가 4,600원/kg은 설비 이용률 13%, 전기요금 0원/kWh 가정 시 LNG 국내 가격 U\$30/MBtu 수준이다.

[표 10] 향후 기술 효율 향상 시 사우디 수소 수입 시

(단위 : 원/kg)

공급원가	생산원가	액화저장	해상운송
4,574	2,813	1,502	259

주. 2018년 호주 CSIRO의 기술 효율 향상 전망치 적용

4. 결론

수소는 물 또는 유기물질을 변화시켜 생산할 수 있는 가스로서, 에너지 생산 시 탄소가 발생하는 화석연료와는 달리 수소에너지는 물을 생성한다. 여기서 물은 다시 수소를 생산할 수 있기 때문에 궁극적으로 수소는 무한정 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 수소자동차의 경우 소음이 거의 발생하지 않으며 수소에너지를 연료로 사용할 경우 극소량의 이산화질소와 일산화질소를 발생하는 것을 제외하고는 오염물질도 거의 배출되지 않는다. 게다가 재생에너지의 여유전력을 활용하여 수소에너지를 생산한다면, 환경적 관점에서의 수소에너지의 가치는 극대화 될 것이다. 하지만 본

고에서 제시한 바와 같이 국내 재생에너지 여유전력 활용 P2P의 경우 아직까지는 경제성이 있다 확정하기 이른 감이 있다. 하지만 전세계적인 재생에너지 확대, 천연가스 고갈 또는 가격급등에 대비한 기술확보 관점에서 중장기적으로 수소에너지 관련 기술을 개발하는 것이 바람직하다 판단된다. 뿐만 아니라 이러한 기술개발과 더불어 수전해 및 P2P 설비의 경제적인 운용을 위한 사업모델 개발이 필수적일 것이다.



참고문헌

〈국내 문헌〉

수소융합얼라이언스추진단(H2KOREA), 수송용 수소
연료의 가격 설정 및 공급체계 구축방안, 2017
(사)한국수소산업협회, 국내·외 수소산업 정책/기술
동향 소개 및 P2G 사업 소개, 2018
정부 관계부처 합동, 수소경제 활성화 로드맵, 2019
한국에너지기술연구원, 수소경제활성화 정책과 R&D
방향, 2019
한국에너지공단, <http://www.energy.go.kr>

〈외국 문헌〉

BNEF, New Energy Outlook, 2019
CSIRO, National Hydrogen Roadmap, 2018
FCH, Hydrogen Roadmap Europe : A Sustainable
Pathway for the European Energy
Transition, 2019
IEA, Oil 2019 Analysis & Forecast to 2024, 2019,
____, The Future of Hydrogen : Seizing Today's
Opportunities, 2019
IRENA, Hydrogen from Renewable Power :
Technology Outlook for the Energy
Transition, 2018
____, Innovation Landscape for a Renewable-
Powered Future, 2019
Kawasaki Heavy Industries, Liquefied Hydrogen
Supply Chain and Carrier Ship to Realize
Hydrogen Economy, 2019
McKinsey, Hydrogen: The Next Wave for Electric
Vehicles?, 2017

P.Zeihan, The Absent Superpower, 2018
RWE, Power-to-Gas Demonstration Plant
Ibbenburen : Project Description and
Background Information, 2015