

전력저장을 위한 수소 에너지 이용 및 향후 전망

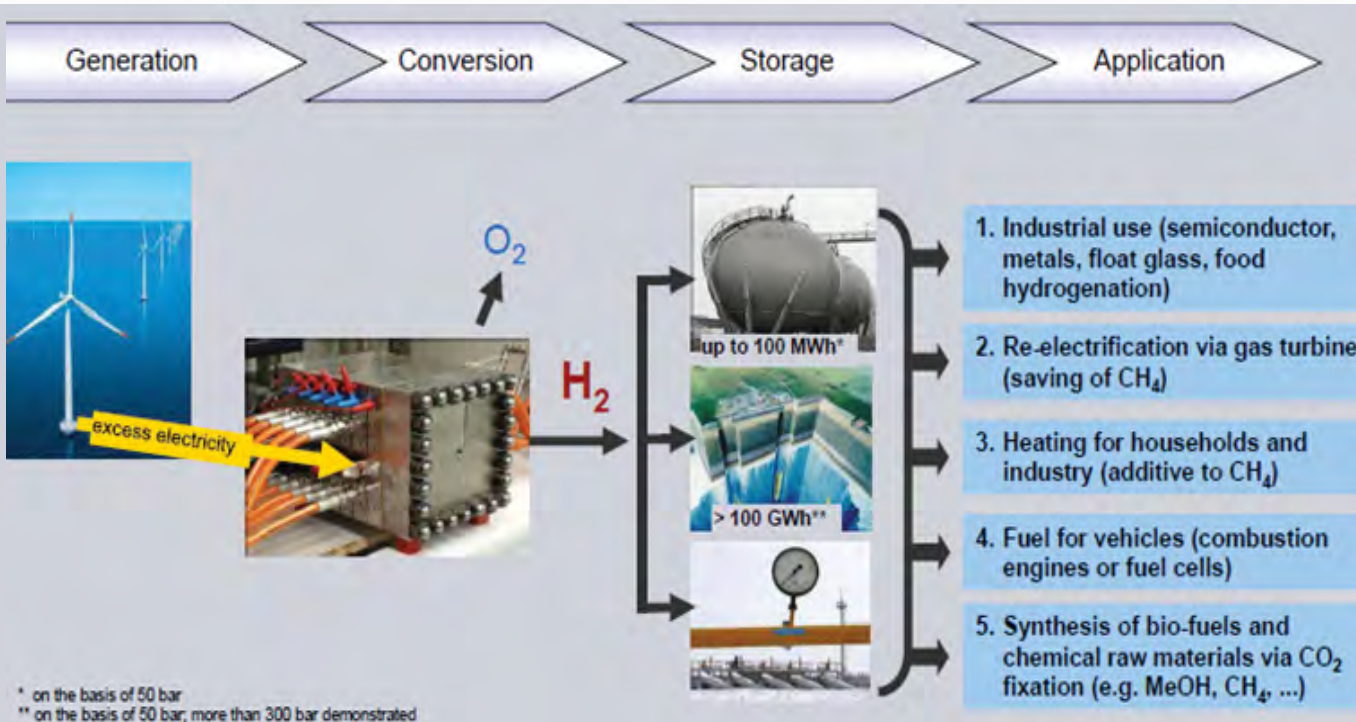


임희천

한전 전력연구원 수석연구원

1 개황

수소는 지구상에 가장 많이 존재하는 물로부터 제조될 수 있어 자원의 제약이 없고, 연소생성물이 물 밖에 없는 청정연료의 특징을 가지고 있다. 또한, 수소는 전기와 같이 타 에너지원으로부터 얻어지는 2차 에너지원이기 때문에 전기에너지와 아주 유사한 성격을 가지고 있다. 이러한 수소를 생산하는 방법 중 가장 이상적인 방법은 태양광, 풍력, 광촉매, 바이오 등과 같이 재생에너지원을 사용하여 물로부터 수소를 생산하는 방법이다. 생산된 수소는 직접 연소하거나 연료전지 연료로 활용하게 되면 가장 고급 에너지원이 전기에너지로 쉽게 전환하여 사용할 수 있다. 수소는 가스나 액체로 만들어 쉽게 저장할 수 있는데 저장 시에는 높은 에너지 밀도를 가지고 있으며, 전력에너지원의 저장 및 수송 매체로 활용이 가능하다. 때문에 수소를 우리가 에너지 매체(energy carrier)라고도 부르고 있다. 이



러한 수소를 에너지 저장매체로 사용한다면 간헐적 전원인 풍력 등과 같은 재생에너지원과 연계되어 운용될 때 발생하는 계통의 불안정성을 보완 해 줄 수 있는 최선의 방안이 된다. 본고에서는 수소의 에너지 저장능력과 이를 이용하는 시스템 그리고 향후 전망 등에 대하여 간략히 기술하고자 한다.

2 현황

수소는 지구상에서 가장 많은 원소이지만 2차 에너지원으로 1차 에너지원으로부터 얻어진다. 1차 에너지원인 화석연료, 원자력, 재생에너지원을 이용하여 수소를 만드는 것이 가능하다. 그러나 궁극적으로는 지구온난화 문제로 인한 화석연료의 대체에너지원으로 각광 받고 있는 태양광, 풍력과 같은 재생에너지원에서 발생된 전기를 이용해 물을 전기분해하는 방식으로 수소를 만드는 것이 이상적이다. 재생에너지원에서 얻은 전기를 이용하여 수전해를 통해 물로부터 수소를 제조한 후 다시 제조된 수소를 저장해 필요시 연료전지를 통해 전기로 변환시키는 수소에너지 시스템이 가능하게 된다. 그림 1은 이러한 수소에너지 시스템을 보여주고 있다.

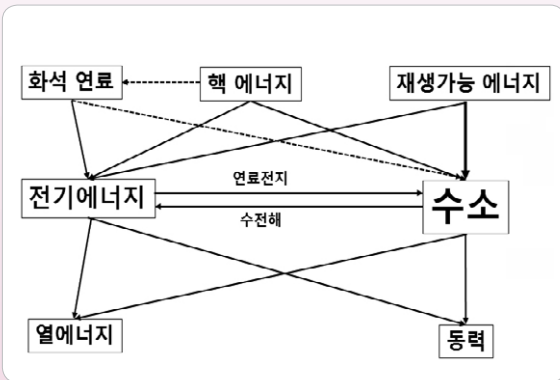


그림 1 수소에너지 시스템

가. 수소의 에너지 저장능력

수소에너지 시스템 기술은 크게 수소의 제조, 저장 및 운반 그리고 이용 기술로 크게 나눌 수 있다. 이 중 수소 저장기술로는 고압 수소저장기술, 액체수소저장기술, 금속수소 화합물에 의한 저장 방법이 있다.

표 1 수소와 타 기체 연료와의 물리적 특성 비교

연 료	밀도 (g/L)	체적 에너지 밀도(MJ/m ³)	중량에너지 밀도(MJ/kg)
수소가스	0.084	12	142
액체수소	71	10,000	142
천연가스(CH ₄)	0.72	39	54.5

표 2에서는 수소의 에너지 저장능력을 표시하고 있다. 밀도가 높은 액체 수소 저장 방법이 기체로 수소를 저장하는 것 보다 약 400배 이상의 저장 능력을 가지고 있음을 알 수 있다. 지상에서 압력용기에 수소를 저장하는 경우, 용기의 크기에 따라 다르겠지만 전형적으로 200bar로 가압한다. 고정식으로 저장하거나 12~16bar의 저 압력으로 대용량(15,000m³ 이상)을 저장하는 예도 있다. 고압기체의 저장은 인장강도가 크며 수소 투과성이 작은 압력 용기의 개발이 필요하다.

표 2 수소저장 방법에 따른 수소 저장능력

저장방법	중량밀도 (Mass %)	체적밀도 (kg H ₂ /m ³)	운전온도 (C)	운전압력 (bar)
고압기체실린더	13	<40	실온	800
액화저장	크기 종속적	70.8	-252	1
수소저장합금 저장	~2	150	실온	1

액화 저장은 수소를 -253°C 의 극저온 탱크에 액화시켜 저장하는 방법이다. 수소기체를 압축하여 열교환기를 통해 냉각한 후 단열 팽창(Joule-Thompson 팽창)시킨다. 수소 저장용기를 포함한 액체수소 중량에너지 밀도는 대략 25.9wt%(13.8 kWh/kg)이며, 최적 에너지밀도는 대략 2,760kWh/m³ 정도가 된다. 수소 저장합금 저장(Metal Hydride Storage)은 전이금속 또는 그 화합물이 일정한 온도에서 화학적으로 반응하여 수소화물을 형성하는 것을 이용한 것이다. 이와 같은 것을 금속 수소화물이라 하며 그 중 일부는 대기압 또는 그 이하의 압력에서 수소를 흡수하고 상당히 높은 압력에서 가열할 경우 수소를 방출한다. 현재까지 가장 높은 수소저장 중량밀도는 3%kgH₂/kg 미만이다. 그러므로 경량의 수소저장합금 개발이 가장 중요한 요소이다.

기술적으로 볼 때, 고압기체 실린더 저장방법 및 액화 저장방법 그리고 수소화합물 저장방법의 일부는 이미 상용화 되어 있는 방법이다. 수소 저장방법 선택은 생산방법, 이송방법 등이 고려되어야하나 일반적으로 수소를 대량 생산하는 플랜트의 경우 저장 에너지 밀도가 큰 액화저장 방법이 유리하다. 고압기체 실린더

저장방법은 수소 스테이션, On-board용 수소 저장방법으로 선택할 수 있다.

나. 수소 에너지를 이용한 전력 저장 시스템 필요성 및 구성

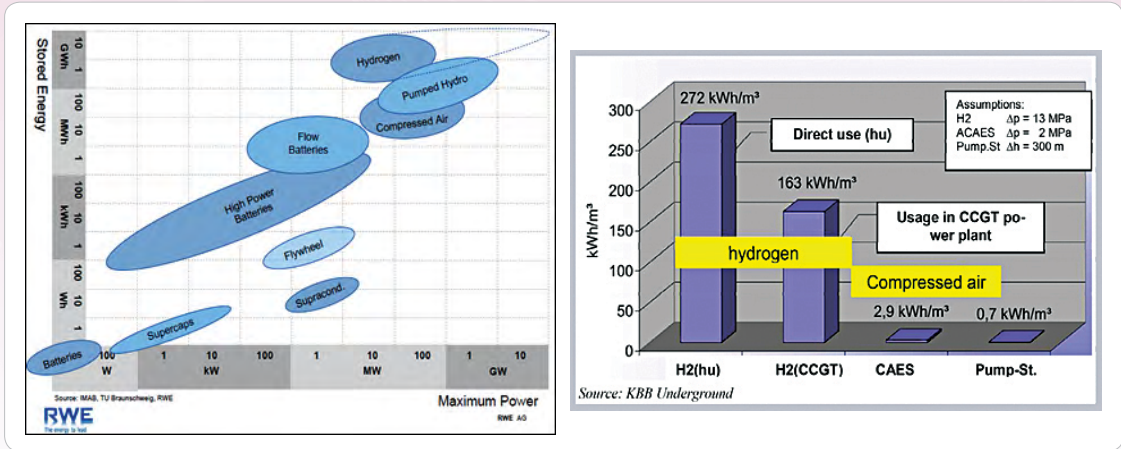
화석연료를 주 에너지원으로 사용하고 있는 현재의 에너지 패러다임에서 가장 큰 문제점은 지구온난화 문제이다.

이를 해결하기 위하여 선진국에서는 이산화탄소 저감을 위한 많은 노력을 경주하고 있으나, 실제 화석연료를 사용하는 에너지 시스템에서 태양광 풍력 등을 활용하는 재생에너지 시스템으로의 전환을 꾀하고 있다. 그러나 이러한 재생에너지가 계통에 넓게 보급되는 경우 가장 큰 문제점은 계절 및 날씨에 따라 공급량이 변하는 것이다. 이때 나타나는 예측 불가능한 재생에너지원을 어떻게 적절히 활용하여 계통을 안정적으로 유지하느냐가 중요한 문제이다.

계통을 안정적으로 공급하기 위해서는 피크부하를 커버할 수 있는 전원의 확보나 그리드를 확장하여 수요를 분산시키는 방법, 스마트그리드를 활용하여 수요를 조절하는 방법 및 에너지 저장장치를 활용하는 방법 등이 있다.



그림 2 부하 수요 공급의 불일치 극복 방안(RWE 자료 2011)



그러나 부하추종 속도가 빠른 전원 공급, 그리드 확장 방법은 많은 비용부담이 따르고, 수요 조절을 통한 방안 역시 수요에 따른 충분한 조절능력을 갖고 있지 못한 문제점이 있다. 따라서 전력저장을 통한 수요공급의 조정이 매우 중요하고, 이러한 문제로 전력저장을 통한 에너지저장 시스템의 활용이 최근 각광을 받고 있다. 전력저장 방법에는 여러 가지 종류가 있다. 현재까지 경제적으로나 기술적으로 가장 확실한 방법은 양수발전이다. 하지만 양수발전은 대용량 전력저장이 가능하지만 지역적인 제한과 설치 시 대면적이 요구된다는 문제점을 가지고 있다. 이외 공기압축 저장 방법(CAES)과 대용량 2차전지도 이에 대한 대응 방안으로 고려되고 있다.

수소에너지에 대한 저장은 독일에서부터 본격적으로 시작되었다. 독일은 총 발전량 대비 재생에너지의 비율을 35%(2020년), 80%(2050년) 달성하고, 이산화탄소 배출을 2050년까지 80% 감축하는 목표를 세우고 있다. 이에 따라 현재 5GW 규모의 풍력발전이 2050년에는 26GW까지 증가할 것으로 예측하고 있다. 독

일의 Vattenfall 지역의 경우, 풍력발전량 공급량을 부하 수요에 맞추기 위해서는 1,000GWh 에너지 저장용량이 필요하고, 이 중 수소는 500,000m³ 정도가 전환되어 에너지 저장 역할을 수행 할 수 있을 것으로 예측하고 있다.

이와 같이 수소는 전력에너지의 저장매체로서 그 역할이 기대되며 이들 기술의 중심에는 연료전지와 전기분해 기술이 필요함을 알 수 있다. 즉, OFF 피크 시간에 생산되는 잉여 전력을 전기분해 장치로 수소를 만들어 저장한 후 이를 다시 전력으로 만들어 공급할 수 있다. 이외에도 그리드로부터 공급 받는 전기를 활용하여 수소를 만들고 이를 다시 메탄이나 암모니아로 전환하여 저장 할 수도 있다.

다. 수전해 및 연료전지 기술

수소는 전력저장의 에너지 매체로서 역할이 기대되며, 이들 기술의 중심에는 수소저장 장치 외에도 연료전지와 전기분해 기술이 필요하다. 즉, OFF 피크 시간에 생산되는 잉여 전력을 전기분해 장치로 수소를 만

들어 저장한 후 이를 다시 전력으로 만들어 공급할 수 있는 연료전지 기술이 필요한 것이다.

수전해 기술은 20세기 초에 이미 실용화되어 수력에서 발생된 전력을 이용하여 수소를 제조하고, 암모니아제조 등의 비료제조에 사용되었다. 물의 전기분해는 흡열반응으로 열에너지 및 전기에너지를 필요로 한다. 이론적으로 상온에서의 1.2V 정도이고 700C 정도에서는 약 1V 정도가 된다. 이러한 수전해는 전해질 종류에 따라 세 가지로 나누어지고 있다. KOH 수용액을 이용하는 알카리인 수전해 고체 고분자막을 이용하는 고분자 수전해, 그리고 700C 이상에서 동작하는 고체 산화

물을 이용하는 고체 고온 수증기 분해법 등이 있다. 현재에는 알카리인 수전해가 가장 많이 보급되고 있는데 현재 가장 효율이 좋은 수전해조의 경우 1Nm³의 수소를 생산하는데 4.1~4.5kWh 전력을 소모하고 있다.

연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 직접 발전방식이다. 직접발전 방식이기 때문에 에너지 변환효율이 높아 이산화탄소 배출량을 획기적으로 줄일 수 있으며, 연소과정이 없어 오염 물질 발생이나 소음, 진동 등 공해요인도 없다. 연료전지 발전은 빠른 부하응답성 및 전 부하 영역에서의 높은 효율 등 양호한 전기적 특성도 함께 가지

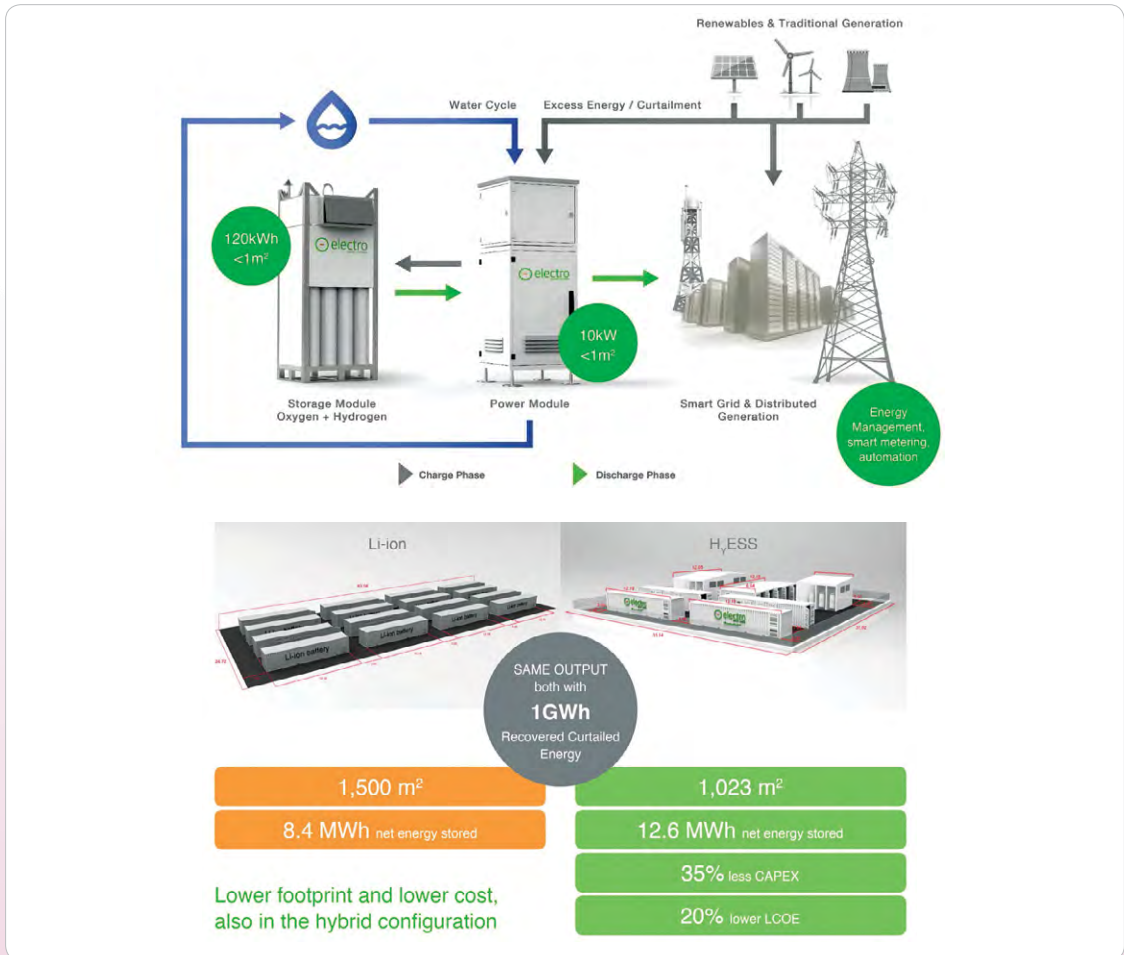


그림 4 수소에너지를 이용한 전력저장 시스템의 한 예

고 있다. 연료전지 역시 동작온도 및 전해질 종류에 따라 구분하며, 발전용으로 사용 될 수 있는 연료전지는 공급하는 규모 및 전기를 필요로 하는 수요 조건에 따라 구분할 수 있다. 일반적으로 수소 연료전지 시스템에 사용될 수 있는 발전용 연료전지는 저온 연료전지인 인산형(PAFC : Phosphoric Acid Fuel Cell), 고분자 전해질형 연료전지(PEMFC : Polymer Membrane Electrolyte Fuel Cell) 등 소규모 발전용 및 분산형 전원이다. 그리고 용융탄산염 연료전지(MCFC : Molten Carbonate Fuel Cell), 고체 산화물 연료전지(SOFC : Solid Oxide Fuel Cell) 등 고온 연료전지가 대형 발전용으로 이용될 것으로 예측하고 있다.

라. 재생에너지 이용 전력에너지 저장시스템

그림 4는 재생에너지원인 태양광에서 발전된 전기를 수전해 장치를 통해 수소 및 산소로 분해, 저장한 후 이를 PEMFC 연료전지를 이용하여 발전하는 실용화 시스템의 한 예를 보여주는 것이다. 이탈리아 벤처기업인 Electro Powr System에서 개발한 25kW Power System의 경우 Nm² 당 120kWh 전력저장과 10kW의 출력을 발생할 수 있다. 이들 시스템을 확장하여 MW급 시스템으로 증설시키는 경우 같은 출력의 Li-ion 전지와 비교하여 면적은 1/3로 줄이면서도 저장능력은 1/3 정도 더 증가시킬 수 있다고 주장하고 있다.

전력계통에서 수용할 수 없는 태양광, 풍력과 같은 재생에너지원에서 나오는 잉여 전력, 혹은 그리드로부터 전기를 공급받아 전기분해를 통하여 수소를 만들고 생산된 수소와 이산화탄소 공기 중의 질소 등과 결합하여 메탄 혹은 암모니아로 변환시켜 저장한 후 이를 파이프라인을 통하여 운송한 후 전력 또는 열, 화공 공정 재료로 공급하는 시스템을 우리는 P2G(Power to Gas)기술이라고 부른다. 이와 같은 P2G 개념은 기존 에너지 저장 형태를 전력에서 연료형태로 전환시켜 저

장 후 다시 발전하는 방식이다. 이 경우 연료화 된 가스를 수요지 근처에서 발전하여 송전손실 및 송전 비용을 줄일 수 있는 장점도 가지고 있다. 독일 Mainz에서는 Wind-Hydrogen-System 프로젝트를 수행하고 있으며, 풍력 발전과 2MW 규모의 PEM Electrolyser를 연결한 Demo 프로젝트가 2015년 운전을 목표로 건설되고 있다(Dr. K. Bonhof, WHEC 2014, 광주).

3 향후 계획

수소에너지 전력저장 시스템 기술은 출력변동성이 높은 태양광, 풍력과 같은 신재생에너지원의 보급 확대에 따른 필요성 때문이다. 특히, 높은 재생에너지 보급계획을 가지고 있는 독일은 수소의 높은 에너지 저장능력 전력 분야외 가스, 수송 및 화학분야 등에 대한 높은 호환성 때문이다. 독일 최대의 전력회사인 E-On사는 지난 2013년 풍력발전을 이용한 수소 생산을 목적으로 하는 2MW급 시스템의 상업 운전을 진행하고 있으며, 올해 또 다른 2MW급 시스템을 완성하여 운전을 진행하고 있다. 독일 자동차회사인 아우디에서도 6MWh 급 P2G 시스템을 상업 운전하고 있다. 이외 RWE 사에서는 수소를 에너지 저장 매체로 사용하기위한 다양한 방법의 타당성 연구를 진행하고 있으며, 30여개의 실증 플랜트를 활용하여 열병합, 메탄생산, 수소 터빈 운전 등 다양한 개념의 기술 개발을 진행하고 있다.

국내의 경우에도 온실가스 규제 대응과 지속가능한 에너지 시스템 구축에 대한 기대감이 증대됨에 따라 신재생에너지의 보급을 증대시키려는 노력을 경주하고 있다. 최근 발표된 제7차 전원계획에서는 신재생에너지의 보급을 2029년 발전량기준 11.7% 설비 기준 20.1%를 계획하고 있다(표 3 참조). 국내의 경우 간헐적 전원인 재생에너지원의 급격한 보급은 삼면이 바다에 접해있고 북쪽이 단절된 우리 계통은 통합된 유럽계통 보다 훨씬

표 3 제7차 전원계획 중 신재생 에너지 발전량 및 설비비중

(단위 : GWh, MW, %)


구 분	2015년		2020년		2025년		2029년	
발전량 비중	23,857	(4.5%)	50,655	(7.9%)	66,622	(9.7%)	83,090	(11.7%)
설비 비중	7,335	(7.5)	17,273	(12.9)	26,098	(17.3)	32,890	(20.1)

취약하기 때문에 전력저장의 필요성은 더욱 크다고 할 수 있다.

이러한 이유로 국내 역시 섬으로 이루어진 제주 계통의 경우 풍력발전에 대한 에너지 저장 시스템을 의무적으로 설치하는 방안이 고려되고 있다. 또한, 현재 서해안에 조성되고 있는 2.5GW 규모의 풍력발전 단지 외 최근 급격히 증가하고 있는 태양광 발전의 보급 확대 역시 계통안정화를 위한 전력저장 수단의 채택이 불가피하고, 이에 대한 대응 수단으로 전력저장용 대용량 에너지 저장 매체가 필요 할 것으로 예상된다. 수소에너지를 이용한 전력저장 시스템은 연료전지를 통하여 쉽게 전기에너지로 변환 가능하기 때문에 태양광, 풍력과 같은 재생에너지원에서 발생된 전기를 수소로 만들어 파이프 망을 통하여 운송할 수 있고, 운송된 수소는 저장도 가능하지만 필요 시 현지에서 다시 전기로 변환되어 수용가에 공급 될 수도 있다. 이와 같이 수소에너지를 전력저장 시스템으로 운용하는데 가장 중요한 기술인 연료전지 발전은 분산전원으로 활용 가능하고 자동차 외에도 전동차, 선박 등 전 수송 분야에서 크게 활용될 수 있다. 따라서 수전해, 연료전

지, 수소에너지 전력저장을 기반으로 하는 에너지 시스템에서는 열, 전기, 가스를 모두 활용할 수 있는 통합 시스템으로 구성할 수 있다. 향후 기존의 화석 연료 기반 에너지 시스템을 친환경 지속가능 에너지 시스템으로 전환 시킬 수 있는 중요한 수단이 될 수 있을 것으로 예상된다.

4 전망

국내 수소를 이용하는 에너지 저장 분야는 아직까지 경제적으로나 학술적 기반이 취약한 면이 있다. 그러나 향후 재생에너지를 기반으로 하는 새로운 에너지 기반산업으로 발전할 수 있는 필요한 기술이고 이미 수소 연료전지 기술은 일부 실용화되어 보급이 진행되고 있다. 이런 한 점에서 수소 에너지 사회를 향한 실용화기술이 필요하고 이들 기술의 핵심 요소인 수전해, 연료전지 및 수소저장에 대한 기술개발이 필요하다. 이러한 면에서 기술 수준이 미약한 수소 생산/저장에 대한 기반기술 확보 및 연료전지 분야에서의 산업화 기술개발에 적극 투자해야 할 것으로 판단된다. 

참고문헌

- [1] 김종욱, 김종원 외, "알기 쉬운 수소에너지지", 수소에너지 사업단, 수소 및 신에너지학회, 한국에너지 기술연구소, 2005. 03
- [2] Sakata Ko, "수소의 이용 및 향후 전망" 전기평론, 2015. 06
- [3] 고경호 "Power to Gas 기술 개요 및 현황" 전기저널 2014.10, Vol.456
- [4] Detlef Stolten, "Achievement and Issues of Fuel Cell Transportation at the brink of Market Introduction" WHEC 2014 Conference, Gwang Ju, Korea, June 17, 2014