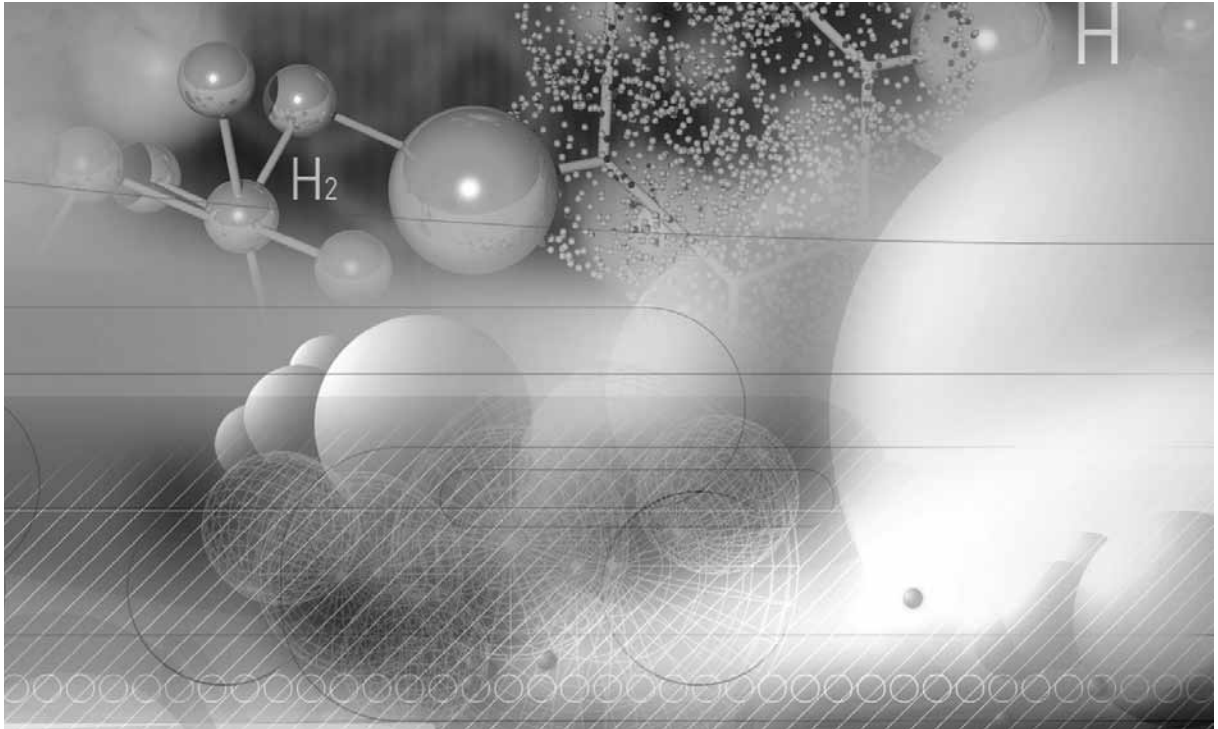


전력분야 수소에너지 이용 및 향후 전망



임희천
한국수소 및 신에너지학회 회장

1. 개황

현재 인류가 당면하고 있는 가장 큰 문제 중의 하나는 에너지 자원의 한계성과 화석에너지 사용에 의한 환경오염 문제이다. 전문가들 조사에 의하면 지구상의 화석연료는 그것이 만들어지는 속도에 비해 10만 배 이상이나 빠른 속도로 고갈되고 있으며, 석유 자원의 경우 이미 그 정점을 지나가고 있다고 여겨지고 있다. 이러한 이유로 선진국들은 석유를 대체할 새로운 에너지의 개발, 특히 신재생에너지 기술개발에 많은 노력을 집중하고 있다. 특히 기존 화석연료 중심의 에너지 시스템을 큰 충격 없이 흡수할 가능성이 있는 '수소에너지'에 대하여 크게 주목하고 있다.

수소는 지구상에 가장 많이 존재하는 물로부터 제조될 수 있어 자원의 제약이 없고, 연소생성물이 물 밖에 없는 청정연료

로서의 특징을 가지고 있다. 또한, 수소는 전기와 같이 타 에너지원으로부터 얻어지는 2차 에너지원이기 때문에 전기에너지와 아주 유사한 성격을 가지고 있다. 이러한 이유로 수소에너지는 궁극적으로 화석에너지를 기반으로 하는 에너지 시스템이 갖고 있는 에너지와 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 시스템으로 평가받고 있다.

2. 수소에너지 특성

수소는 지구상에서 가장 많이 존재하는 원소이며 (70%), 중요한 연료로 사용되고 있는 에너지 매체이다. 그러나 수소는 지구상에서 독립적으로 존재하지 않고 다른 원소와의 화합물 형태로만 존재하기 때문에 수소를 만들기 위해서는 또 다른 에너지원을 필요로 한다. 즉 수소는 전기에너지와 같은 2차 에너지원으로 물로부터 얻어질 수 있으며, 이를 연료로 사용하여 연소하게 되면 다시 물로 되돌아가는 청정자연계 내의 순환 공정의 일부가 된다(그림 1 참조).

이러한 수소를 생산하는 방법 중 가장 이상적인 방법은 태양광, 풍력, 광축매, 바이오 등과 같이 재생에너지를 사용하여 물로부터 수소를 생산하는 방법이다. 그러나 아직은 재생에너지 생산에 많은 비용이 들어가기 때문에 화석연료로부터 수소를 생산하는 방법

이 보다 경제적이다. 따라서 현재는 석유, 천연가스, 석탄 등과 같이 화석연료로부터 수소를 생산하는 방법이 많이 활용되고 있으나, 유럽의 독일과 재생에너지 보급을 크게 장려하고 나라에서부터 재생에너지를 이용한 수소생산량이 증가하고 있다. [그림 1]은 수소에너지 시스템의 순환 구조를 보여주고 있다.

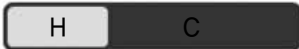
이러한 수소에너지 시스템의 특성을 좀 더 구체적으로 살펴보면 우선 수소는 공기 중에서 산소와 결합하여 연소하는 경우 생성물이 물로 되기 때문에 공해물질이 전혀 생성되지 않는다. 또한, 수소는 직접 연소하거나 연료전지의 연료로 활용하게 되면 가장 고급 에너지원인 전기에너지로 쉽게 전환하여 사용할 수 있다. 아울러 수소는 가스나 액체로 만들어 쉽게 수송할 수 있고 다양한 형태로 저장할 수 있는데, 저장 시에는 높은 에너지 밀도를 가지며, 운반 시에도 전기에너지 형태로 운송하는 것 보다 운송 손실을 1/10 정도로 줄일 수 있는 것으로 알려지고 있다. 즉 수소는 에너지원뿐만 아니라 저장, 수송 매체로도 활용이 가능하기 때문에 수소를 ‘에너지 매체(energy carrier)’라고도 부른다.

3. 수소에너지 시스템 구성과 필요성

가. 수소에너지 시스템 기술 개요

[그림 2]는 수소에너지 시스템 기술 체계도를 보여

1. Coal : C/H = Approx. 2.0



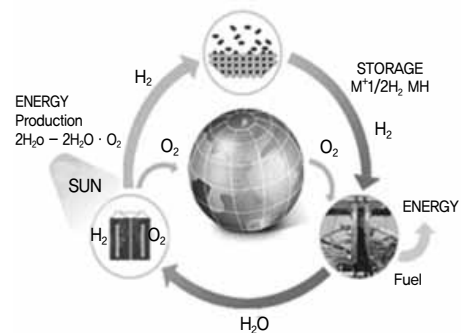
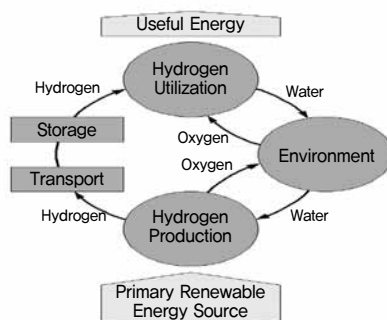
2. Oil : C/H = Approx. 0.45



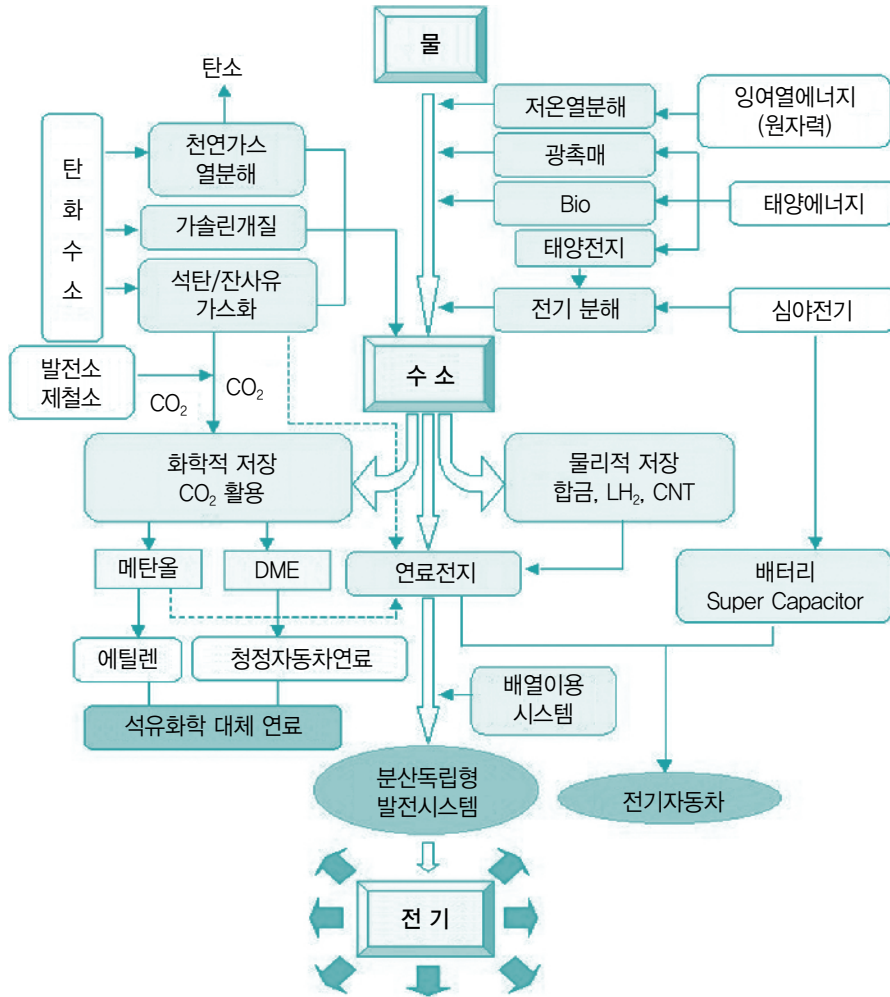
3. Natural Gas : C/H = 0.25



4. Hydrogen : C/H = 0,0



[그림 1] 에너지 변환의 변천 및 수소에너지 시스템의 순환 구조



[그림 2] 수소에너지 시스템 기술 체계도

준다. 수소에너지 시스템 기술은 수소의 제조, 저장 및 운반, 그리고 이용 기술로 크게 나눌 수 있다. 수소 제조기술은 수소의 생산과 관련된 기술로 수소제조 원료인 물, 화학연료, 바이오매스 등으로부터 수소를 생산하는 기술이다. 상용화된 수소 생산기술로는 수전해, 천연가스 수증기 개질, 탄화수소 부분산화, 석탄가스화 및 부생가스 등이 있다. 개발이 진행되고 있는 새로운 기술로는 천연가스 직접분해 기술, 수증기 분해, 열화학 분해, 광화학 분해, 광전기 화학 분해, 광생물학 분해, 바이오매스 열분해 등이 있다.

수소 저장기술로는 고압 수소저장기술, 액체수소 저장기술, 금속수소 화합물에 의한 저장 방법이 있다. 기타로 활성탄소 및 Carbon Nano structure를 이용하여 수소를 저장하는 방법 등도 개발되고 있다.

수소 이용기술로는 연소용 연료로 사용하기 위한 내연기관, 제트, 로켓 엔진 및 Steam turbine 연소기술이 있으며, 특수한 연소방법으로 촉매연소(Catalytic Combustion) 방법도 있다. 수소를 Heat Pump, Secondary Battery의 매체로 이용하기도 하지만 가장 중요한 이용 방법은 바로 연료전지발전이다. 이외에도 전기화학적 에너지 변환 장치로 전력생산 및 에



[그림 3] 수소에너지 현재 및 미래와 이용 형태(출처 : WHEC 2014)

너지 저장 등에 이용도 가능하다.

[그림 3]은 2040년까지 CO₂가 없는 수소공급 시스템 건설을 목표로 하고 있는 일본의 수소에너지 현재 및 미래와 그 시대의 이용 형태에 대한 내용을 보여 주고 있다.

나. 수소에너지 시스템 기술 필요성

불의 발견으로 시작된 인류의 에너지 변천사를 보면, 석기시대부터 시작된 나무에너지가 에너지의 주가 되던 시대에서, 석탄을 에너지원으로 한 동력원으로 증기기관이 개발되면서 석탄에너지 시대로 이어지며 산업혁명이 이루어졌다. 다음으로 등장한 석유 시대에는 내연기관이 개발되어 20세기의 산업발전을 주도하였고, 이어 현재 가스시대부터는 정보통신기술이 획기적으로 발달함에 따라 정보통신혁명을 이루고 있다. 역사를 살펴보면 이러한 에너지 혁명이 곧 산업의 혁명을 이루어 왔고, 이로부터 에너지는

연료에 들어있는 카본 고리가 점점 적어지는 방향으로 가고 있음을 알 수 있다. 즉 수소에너지 시대가 곧 도래할 수 있음을 보여주고 있다.

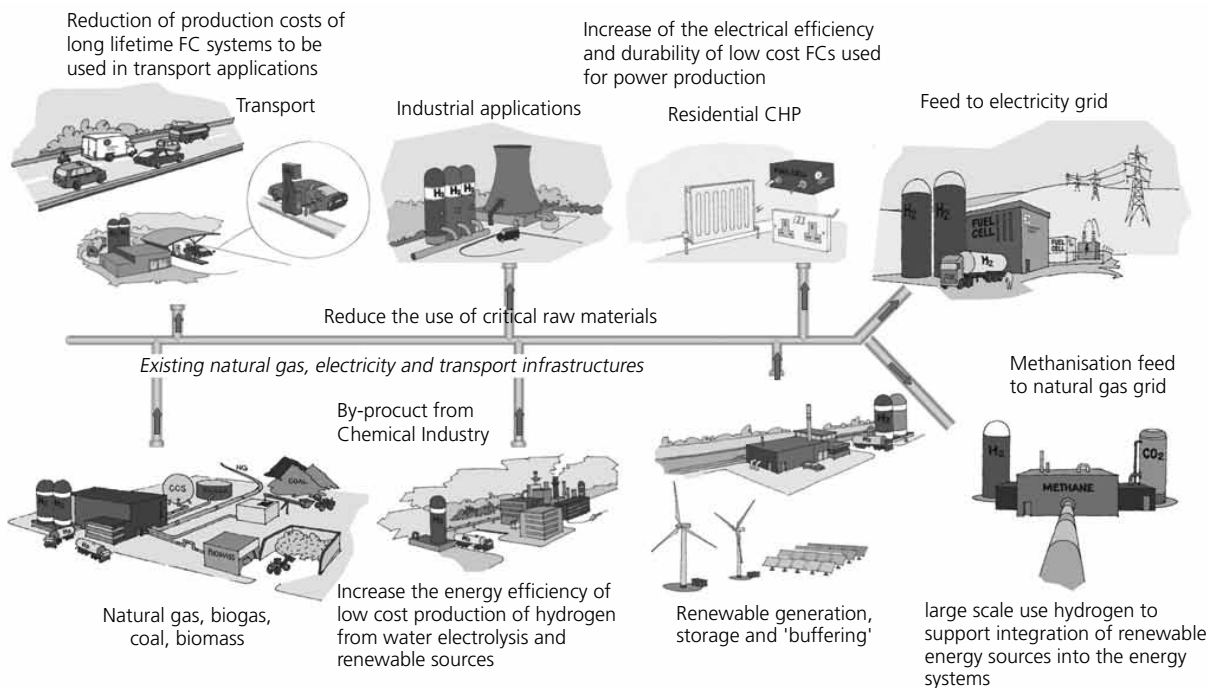
이러한 면에서 볼 때 다가오는 신기술 시대에는 수소에너지 시스템이 중심이 될 것이며, 연료전지 발전 기술이 상용화되어 환경친화적이고 지속가능한 수소에너지 사회가 급속히 이루어질 것으로 예상된다. 특히 신재생에너지가 기존의 화석에너지 시스템을 급속히 대체하는 경우, 수소에너지 기술은 기후 및 계절에 따라 영향을 받는 풍력, 태양에너지 등과 같은 자연에너지 수급상의 불균형 상태를 가장 경제적으로 조절, 보완할 수 있는 전력산업용 에너지 기술이 될 수 있다. 이외에도 수소 연료전지 발전기술을 통하여 분산형 전원 및 에너지 저장매체, 그리고 자동차 동력원 및 휴대전원용 등 그 응용 범위가 매우 넓어 수소에너지 기술은 향후 에너지 시장을 주도할 대표적 기술로 예측되고 있다.

4. 수소에너지 시스템의 전력사업 적용

화석연료에서 수소로 변화하고 있는 에너지 패러다임의 변화에서 수소는 전력사업 분야에서 전기를 매개로 하는 현대사회 문명을 유지시킬 수 있는 에너지 캐리어로서의 역할을 충분히 수행할 수 있다. 전력사업이 수행하고 있는 발전, 송전, 배전 및 그 이용 기술 면에서 수소에너지 시스템과 융합하여 활용하는 경우 전력사업이 갖고 있는 자원의 고갈, 환경 및 에너지 안보 면에서 많은 문제점을 해결할 수 있다. 예를 들면 수소는 연료전지를 통하여 쉽게 전기에너지로 변환 가능하기 때문에 태양광, 풍력과 같은 재생에너지원에서 발생된 전기를 전기분해하여 수소로 만들어 파이프 망을 통하여 운송할 수 있고, 운송된 수소는 저장도 가능하지만 필요시 다시 전기로 변환되어 수용가에 공급될 수 있다. 이와 같은 수소를 이용하여 전력망과 연계하여 이용하는 에너지 시스템을 'Hydrogen Electric Economy'라고 정의한다.

이와 같이 수소에너지를 이용하여 전기에너지 시스템과 융합하여 활용하는 경우, 수소 연료전지 기술은 이들 시스템을 운용하는데 있어 가장 중요한 기술이 된다. 연료전지 발전은 기저부하 뿐 아니라 분산전원으로 활용 가능하고 자동차 외에도 전동차 선박 등 전 수송 분야에서도 크게 활용될 수 있기 때문에 수소 연료전지를 기반으로 하는 에너지 시스템에서는 열, 전기, 가스를 모두 활용할 수 있는 시스템으로 구성할 수 있다.

수소 연료전지를 중심으로 하는 통합 전기에너지 시스템을 고려한다면 연료전지 열병합 발전소, 연료전지자동차, 전기자동차, 수소스테이션, 수소에너지 저장장치 등이 결합된다면 탄소제로의 고효율 에너지 타운 및 복합 단지를 건설하여 운영할 수 있다. [그림 4]는 이러한 수소 연료전지의 전기에너지 이용분야 개념을 독일에서 활용하고 있는 한 예이다. 수소를 전력분야에서 융합 활용할 수 있는 이용분야를 [표 1]에서 보여주고 있다. 전력분야에서 활



[그림 4] 독일의 수소 연료전지의 전기에너지 이용분야(출처 : WHEC 2014)

[표 1] 수소에너지 전력분야 이용 분야

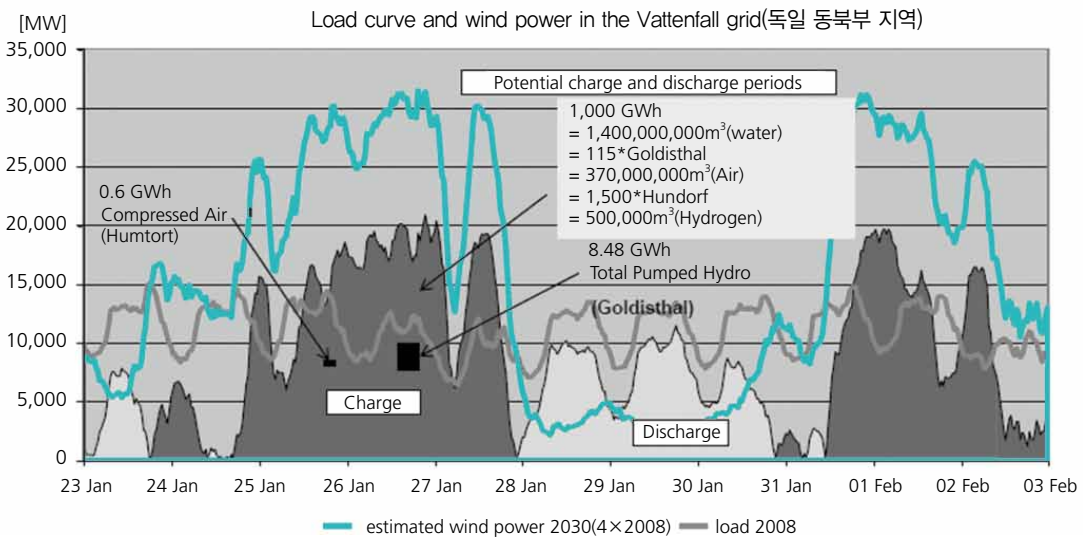
수소생산	수소 수송 및 분배	수소저장	수용가 활용
그리드 활용 전기분해	파이프라인 수송	수소액화 및 저장탱크	수소스테이션 수소 공급
석탄가스화 및 3-Generation	전력에너지 운송 (H2 활용)	재생에너지저장 (PV & Wind)	신규 송전용량 증대를 위한 수소 생산 및 저장
잉여 전력 활용	자동차용 연료	원격 및 Backup 전원 활용	전력품질 향상
메탄 개질	초전도 수송용 케이블 수소 냉각	천연가스 혼합연소	UPS 활용
-	-	비상전원 활용	연료전지 발전

용 가능한 수소에너지 이용 분야는 수소제조, 수송 및 분배, 저장 및 수용가 활용분야에서 찾아 볼 수 있다.

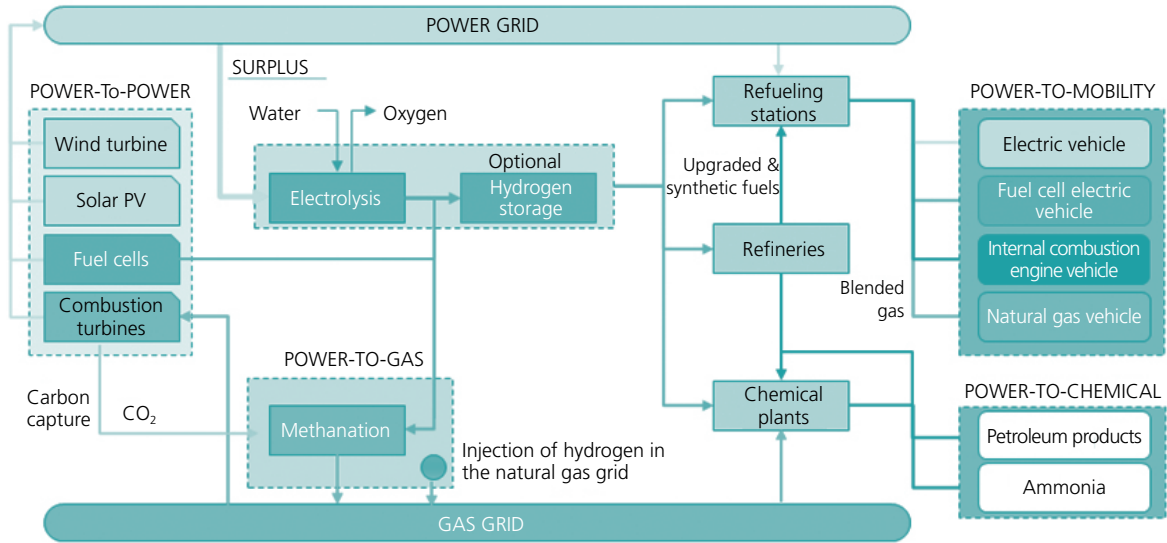
수소에너지를 전력분야에서 활용할 수 있는 또 다른 분야는 Power to Gas(P2G)를 활용한 전력시스템이다. 주지하는 바와 같이 재생에너지를 활용하는 경우 가장 큰 문제점은 공급 예측이 불가능하다는 점이다. 이미 독일의 경우 현재 재생에너지 비율이 25%를 넘고 있고 2050년 신규 전원 전체 중 50%를 재생에너지원으로 충당하려는 계획을 가지고 있다. 이때 나타나는 재생에너지원의 간헐적 전원을 해결

할 수 있는 방안은 에너지 저장매체의 활용이며, 가장 가능성 있는 저장방법으로 수소의 생산을 통한 저장방법을 제시하고 있다.

[그림 5]는 독일 Vattenfall 지역의 2030년 예상되는 부하곡선을 보여주고 있다. 2030년경 예상되는 독일의 풍력발전 공급량을 부하 수요에 맞추기 위해서는 1,000GWh의 에너지 저장용량이 필요하고, 이를 충분히 담당할 수 있는 에너지 저장장치의 용량을 보여주고 있다. 이 중 수소는 50만^{m³} 정도가 전환될 수 있는 양으로 검은 박스로 표시된 타 에너지 저장 매체에 비하여 충분히 그 역할을 수행할 수



[그림 5] 독일 Vattenfall 지역의 2030년 예상 부하곡선

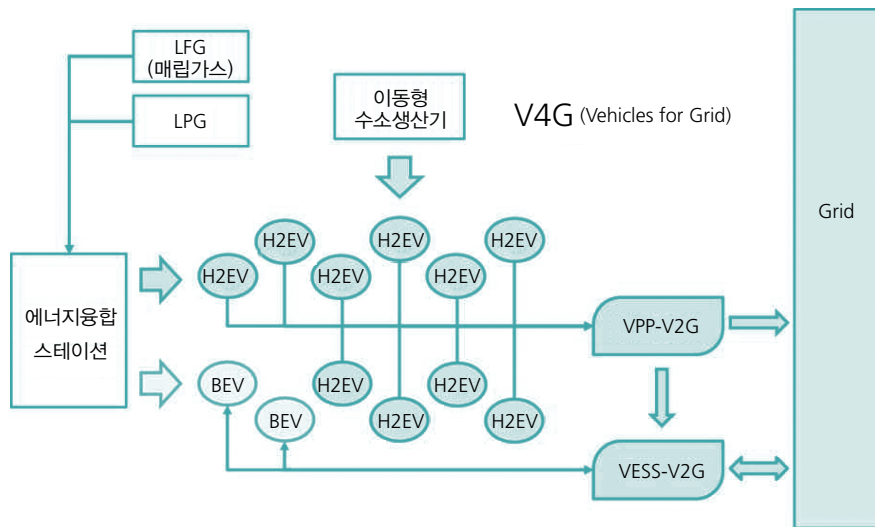


[그림 6] P2G(Power To Grid) 기술 개념도

있을 것으로 여겨진다. 따라서 수소는 전력저장의 에너지 매체로서 그 역할이 중요하며, 이들 기술의 중심에는 연료전지와 전기분해의 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 공급받는 전기를 활용하여 수소를 만

들고 이를 다시 메탄이나 암모니아로 전환하여 저장할 수도 있다.

이와 같은 전력저장과 전기분해, 그리고 연료전지와 연계된 기술이 P2G 기술이다. 풍력, 태양광 등에서 나오는 잉여전력, 혹은 그리드로부터 전기를 공급받아 전기분해를 통하여 수소를 만들고 생산된 수소와 이산화탄소, 공기 중의 질소 등과 결합하여 메탄



[그림 7] 연료전지 자동차를 활용한 V2G 개념도[출처 : KIST 기획보고서(2014)]

혹은 암모니아로 변환시켜 저장한 후 이를 파이프라인을 통하여 운송한 후 전력 또는 열, 화학 공정 재료로 공급하는 시스템이다(그림 6 참조). 실제 독일 Mainz에서는 Wind-Hydrogen-System 프로젝트를 수행하고 있으며, 풍력발전과 2MW 규모의 PEM Electrolyser를 연결한 Demo 프로젝트가 2015년 운전을 목표로 건설되고 있다(Dr. K. Bonhof, WHEC 2014, 광주).

이외에도 연료전지자동차를 이용한 V2G 기술도 수소의 전력분야 이용을 위한 한 방안이다. 연료전지자동차는 전기에너지로 구동되기 때문에 필요시 이를 활용하면 연료전지자동차에서 생산된 전기에너지를 외부에 공급할 수 있다. 특히 연료전지자동차는 수소의 공급이 지속될 경우 전력망의 전력 공급 없이도 전기 생산이 가능하다는 점에서 일반적인 배터리 전기자동차와 차별성이 있다.

이와 같은 연료전지자동차를 전원으로 활용하는 경우 전력수급 불안정에 대응이 가능하며, ESS(Energy Storage System)의 대체 효과를 거둘 수 있다. 이를 V2G(Vehicle to Grid)로 부르고 있다. 연료전지의 경우 HV2G로 부를 수도 있다. 연료전지자동차를 전원으로 활용하는 경우 EV와는 달리 추가적인 전력공급 부담이 없으며, 차량 1대 당 약 100kWh/day의 전력을 공급할 수 있어 300대가 될 경우 분산발전원으로 활용 가능한 30MWh/day의 전력공급이 가능하다. [그림 7]은 전기자동차 및 연료전지자동차를 V2G 개념으로 활용하는 예를 보여주고 있다.

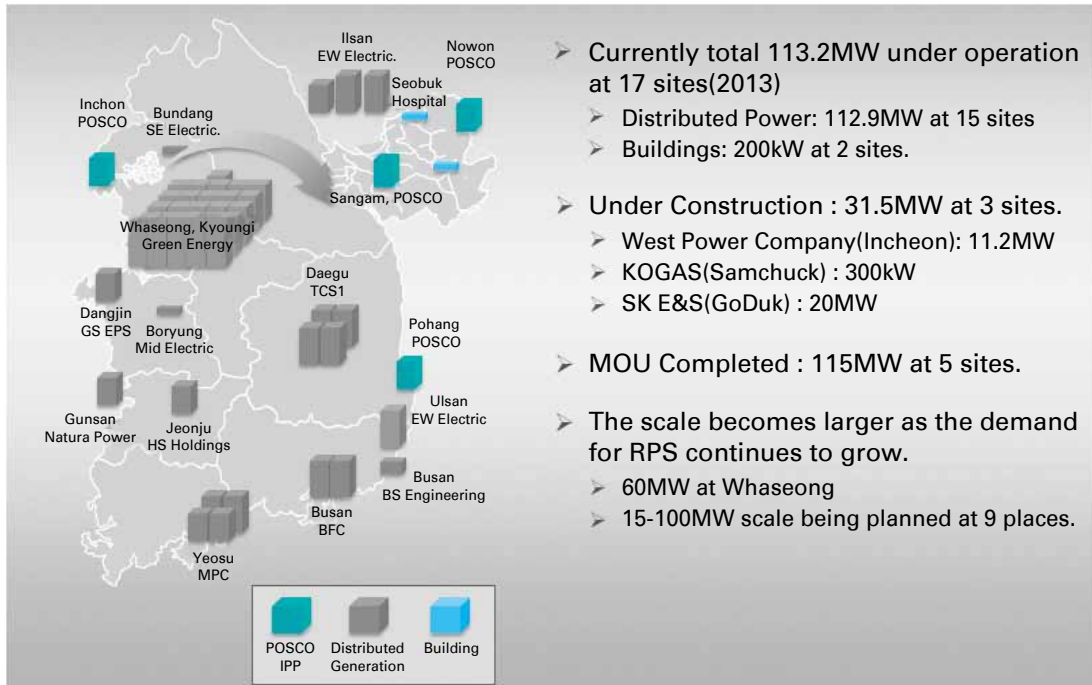
5. 국내 수소에너지 산업 현황 및 전망

수소 연료전지 산업의 현황을 살펴보면 국내에서 생산되는 수소 930만Nm³(130만 톤)의 거의 대부분은 정유 화학공정 및 제철에서 나오는 부생수소이다. 생산된 거의 모든 부생 수소는 석유 및 화학 분야에

서 자체적으로 소모되고 기타 산업분야에는 약 15% 정도가 소비되고 있다. 수소를 에너지로 이용한다는 점에서 보면 발전용 및 자동차 운수용, 보일러 등에 사용할 수 있는데 국내에서 수소의 해당 분야 수소 이용은 1% 정도로 아주 미미한 수준이다. 이런 면에서 수소산업의 발전은 수소를 어떻게 에너지 분야로 그 활용도를 확장하는 것에 달려 있다. 국내의 부생 수소 생산이 울산, 여수, 대산 등에 밀집되어 있다는 점도 부생수소를 에너지 분야에 이용할 수 있는 인프라 확보 차원에서 보면 아주 좋은 조건이다. 그러나 현재 국내 수소 제조는 대부분이 부생수소에 의존되는 틀을 벗어나 On-site 수소제조를 위한 투자가 이루어져야 할 것으로 보인다.

현재 국내 수소 연료전지산업을 살펴보면 연료전지자동차는 83대가 운용되고 있고 이러한 연료전지차량에 연료를 공급하기 위한 수소스테이션이 14곳이 있지만 가동되고 있는 곳은 3군데 정도로 알려지고 있다. 현대자동차의 경우 1990년 말부터 연료전지자동차 개발을 시작하여 2013년 말 연간 생산 1,000대 규모의 상용 생산 설비를 세계 최초로 갖추어 본격적인 상업화에 대비하고 있다. 현대자동차에서는 전 세계적으로 550여 대의 차량을 출고시켜 운행하고 있다. 현대자동차는 전 세계 시장에서 2020년경 39만 대(Pike Research), 국내 시장은 1만 8,000여 대의 연료전지자동차가 운행될 것으로 예측하고 있다. 이에 따라 국내 수소스테이션 보급도 168곳에 건설될 예정이다(그린카 로드맵, 2013).

발전용 연료전지의 경우 2013년 말 기준 발전용(126.1MW, 24개소), 가정용(1.5MW) 등 총 127MW 이상이 설치되어 운용되고 있고, 정치용 발전설비로는 세계 최대 연료전지 단지인 화성 경기그린에너지에서 60MW 규모의 연료전지 발전설비를 운용하고 있다. 포스코에너지의 경우 현재 연 300MW 규모의 발전용 연료전지 구성요소 공장을 건설하고 있으며, 2015년부터 본격적인 보급을 진행하려 하고 있다.

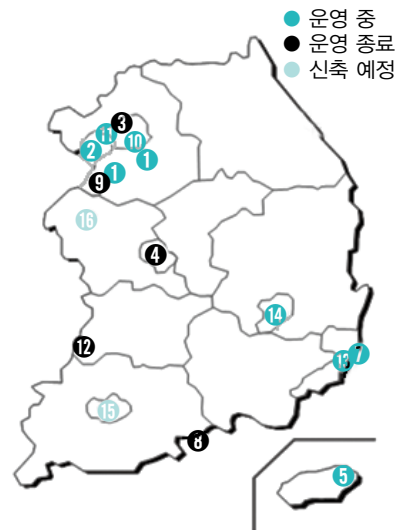


[그림 8] 국내 발전용 연료전지 용량 및 설치현황[출처 : 포스코에너지(2014)]

14기 중 8기 운영 중(700기압 사외충전소 울산, 대구)

● 700bar / ○ 350 bar

지역	기관명	운영여부	압력(bar)	수소공급	정부지원 사업명
1	경기, 용인	현대차	●	부생수소	-
2	인천, 송도	한국가스공사	○	NG개질	충전소 기술개발사업
3	서울, 신촌	GS칼텍스	○	NG개질	충전소 기술개발사업
4	대전, 유성	SK에너지	○	LPG개질	충전소 기술개발사업
5	제주, 김녕	현대차	○	수전해	연료전지차 실증사업 1단계
6	경기, 화성	현대차	●	부생수소	-
7	울산, 매암	동덕산업가스	○		연료전지차 실증사업 1단계
8	여수, 중흥	SPG케미칼	○		연료전지차 실증사업 1단계
9	경기, 화성	KATRI	●		안전설계연구
10	서울, 양재	현대차	○	연료전지차 실증사업 1단계	
11	서울, 상암	서울시	○	LFG개질	-
12	전북 무안	에너지기술연구원	○	수전해	-
13	울산, 매암	동적산업가스	●	부생수소	연료전지차 실증사업 2단계
14	대구 서변	이엠코리아	●	수전해	대경광역경제권 선도사업
15	광주, 진곡	-	●	부생수소	환경부 보급사업
16	충남, 내포	-	●	-	환경부 보급사업




[그림 9] 국내 자동차용 수소스테이션 설치현황[출처 : 현대자동차(2014)]

발전분야 연료전지 보급 예측을 보면 국내에는 2020년까지 1,450MW(제4차 신재생에너지 보급 계획)의 보급 계획을 가지고 있다. [그림 8]과 [그림 9]는 국내 연료전지 수소스테이션 및 발전설비 설치현황을 보여주고 있다.

6. 전망 및 결론

국내 수소 연료전지는 에너지산업 분야에서 아직은 산업과 학술적 기반이 취약하다. 그러나 향후 재생에너지를 기반으로 하는 저탄소 녹색사회로 접어들었을 때 전 세계에서 에너지 기술의 우위를 점하려면 반드시 필요한 기술이 수소 연료전지 기술이다. 이러한 점에서 수소 에너지 기술 선점은 실용화 기술이 필요하고, 이들 기술의 가장 중요한 부분은 수소, 연료전지 분야에 대한 기술개발이다. 아직도 기술 수준이 미약

한 수소 생산, 저장에 대한 기반기술 확보 및 연료전지 분야에서의 산업화 기술, 즉 장수명화 및 신뢰성에 대한 기술개발에도 적극 투자해야 한다. 이밖에 법 제도 정비, 교육 및 대중의 이해도 향상이 필요하고 마지막으로 수소에너지 기술의 실증을 위한 수소 연료전지 실증타운의 건설을 추진하는 것도 아주 중요하다.

몇 년 전부터 수소경제 구현 가능성에 대한 회의론이 제기되고 있지만 이는 수소 연료전지 분야의 연구 개발 사업을 통하여 충분히 해결될 수 있다. 향후 화석연료 중심의 에너지 시대에서 재생에너지 시대로 넘어가게 되면 수소에너지 시스템으로의 에너지 패러다임의 변환은 필연적이라고 생각된다. 향후 30~40년 내에 수소에너지 시대가 이루어질 경우 수소 연료전지 기술은 사회전반에 보편화되어 에너지 확보 및 환경문제 등으로 인한 에너지 문제 해결과 더불어 새로운 에너지 보급에 있어서도 크게 기여할 것으로 예측된다. 

[참고문헌]

1. 김종욱, 김종원외, “알기 쉬운 수소에너지지”, 수소에너지 사업단, 수소 및 신에너지학회, 한국에너지 기술연구소, 2005. 03
2. 정문선, 김종원, 김종원, “수소 연료전지 현황과 비전”, 수소에너지 사업단, 2013. 09
3. Hee Chun Lom, “Current status, Challenge and Opportunities of the Industry Based on Hydrogen and Fuel Cell Technology” WHEC 2014 Conference, Gwang Ju, Korea, June 16, 2014
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