

PV-수소제조 연구현황

Status of PV-Hydrogen Research

심규성

한국에너지기술연구원 수소에너지연구센터

1. 서론

최근의 유가인상 파동은 근본적으로 에너지 수급불안에 기인한 것으로 판단되고 있으며, 이는 장기적으로 석유 등의 화석연료 사용에 어두운 그림자를 드리우고 있다. 궁극적으로 신재생에너지를 비롯한 대체에너지의 사용으로 이를 극복하여야 할 것이며, 세계적으로 환경측면을 고려하여 에너지 매체로 수소의 사용이 적극 검토되고 있다.

이에 따라 앞으로 수소의 제조, 저장, 수송 및 이용기술을 포함하는 수소에너지 시스템의 활용전망은 상당히 밝은 것으로 평가되고 있으며, 여러 나라에서 PV(태양광발전)시스템과 같은 대체전원으로부터 수소를 제조하고, 이를 저장하여 연료전지나 수소보일러, 수소자동차에의 이용을 연결하는 파이프라인 시스템의 건설과 이의 적용연구를 수행하거나, 추진하고 있는 것은 미래의 에너지시스템으로 수소의 중요성을 보여주고 있다. 독일의 SWB project, 일본의 WE-NET 프로그램, 미국의 Solar Hydrogen Energy Vehicle Project 등은 PV시스템을 이용하여 얻은 전력의 저장수단으로 수전해로 수소를 제조하여 저장하고, 이 수소로 연료전지를 이용하여 전력을 공급하는 대표적인 실증연구이며, 최근에는 수소 station의 실증 방법으로 PV-수소제조 기술을 채택하는 경우도 늘어나고 있다.

장차 연료전지와 이의 이용기술 개발, 심야전력을 포함하여 태양광, 풍력 등의 대체전원 개발과 이를 이용한 수소의 제조기술 개발, 보다 효율적인 수소의 흡수와 방출이 가능한 수소 저장용 금속수소화물의 개발, 기타 수소의 이용기술 등의 개발이 이루어진다면 기존의 화석연료 시스템에 수소에너지 시스템이 혼합된 에너지시스템 시대가 멀지 않은 것으로 생각되고 있다.

PV시스템은 연료가 필요 없고 배기가스나 폐열도 없어 환경오염의 염려가 없으며, 시스템이 단순하여 유지보수가 용이하므로 장차 에너지 문제 및 환경문제 해결에 크게 기여할 것으로 판단되고 있다. PV시스템은 연구용 또는 실증 시스템들이 각국에 건설되어 운영되고 있으며, 이미 실용화 단계에 접어들어 상업적인 용도로 사용되고 있다. 앞으로는 태양전지의 가격을 낮추기 위한 신재료 개발 연구에 중점을 두고 추진되고 있다.

2. PV-수소에너지 시스템

일반적인 PV시스템은 PV array, 축전지 및 파워 콘트롤러로 구성되어 있다. 여기서 전력

저장부분은 태양광의 조사가 없는 기간의 전력공급을 위한 것으로, 지역과 전력수요에 따라 디젤발전기가 이를 보충하는 경우도 있다. 태양전지의 제조기술이 개발됨에 따라 PV시스템에서 태양전지가 차지하는 비용은 점차 감소되고 있는 반면에 저장을 위한 축전지 및 보조발전 부분의 비용은 점차 증가하고 있다. 현재 전체 PV시스템에서 축전지만을 저장수단으로 할 경우 축전지의 설치비용은 40% 정도로 많은 부분을 차지한다.

PV시스템을 이용하는 에너지시스템에서 잉여 태양에너지를 좀 더 오랜 기간동안 저장할 수 있다면, 이의 사용분야와 효율성이 증대하리라 보고 있다. 현재 상업적인 소규모의 전력저장 시스템은 주로 납축전지나 니켈-카드뮴 전지를 사용하고 있으며, 태양광 없이 수일동안만 전력공급이 가능하다. 전력소모가 많지 않은 경우에는 특별히 제작한 납축전지로 10일정도 자체공급이 가능하다. 이는 태양광이 풍부한 Sunbelt 지역에서는 독립적으로 전원을 공급하기에 충분한 용량이다. 그러나 위도가 점차 높아질수록 전기부하와 태양광 조사능력과의 불균형이 커지므로 전력저장 능력이 증대되어야 하며, 중부와 북유럽 같은 지역에서는 태양전지로 고정부하의 수요에 충족하기 위해서는 30 내지 60 일 정도의 저장능력이 필요하게 된다. 따라서 현재의 상업적인 PV시스템만을 에너지원으로 사용할 경우 겨울철을 대비한 보조발전 설비가 요구된다.

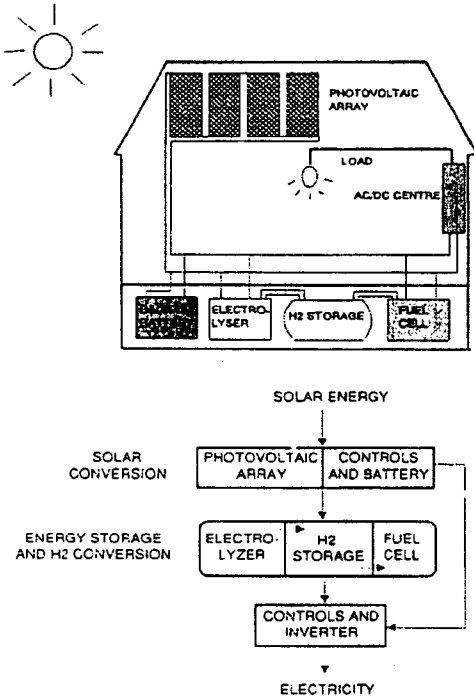


Fig.2 Schematic illustration of photovoltaic hydrogen system

PV-수소에너지 시스템 기술개발 초기의 기본적인 구상은 이같은 계절적인 전력저장의 수요에 대처하기 위하여 PV시스템에 수소의 제조, 저장 및 이용에 관련된 시스템을 추가하여 종합적인 에너지 시스템으로 구성한 것이다. 즉 여름철 동안의 잉여 태양광 전력을 전해수소의 형태로 저장하고, 이를 연료전지로 발전하여 겨울철 수요에 충족하는 것이다.

Fig.1은 PV-수소에너지 시스템을 보여주는 것으로, PV시스템을 독립형 원격전원으로 이용할 경우의 구성도를 나타낸 것이다.[1] 이는 일반적인 PV 이용시스템과 비교하면 전지저장 및 보조발전 시스템이 전해조, 수소저장 및 수소를 전기로 변환시키는 연료전지 시스템으로 대체된 것이다. 종전의 축전지는 시스템의 제어와 부시스템들을 연결하기 위하여 시스템에 포함되는 경우가 많다.

장기간 에너지저장이 필요한 경우에는 전체 시스템에서 출력과 에너지의 비가 낮으므로 전해조와 연료전지의 크기는 작아지게 된다. 따라서 수소 보조시스템의 출력비율은 태양전지의 최고 출력과 같아질 수 있으며, 드물게 나타나는 순간적인 고전력 수요는 축전지로 충당할

수 있을 것이다.

본 PV-수소에너지 시스템에서 각 부시스템의 효율을 포함하여 연료전지로 전력을 얻을 경우, 전체 에너지 시스템의 효율은 3.5 내지 7.5% 정도이다. 장차 각 분야에서 개발이 이루어진다면 12% 정도까지 개선되리라고 전망되고 있다.[2]

일반의 소규모 독립 태양광발전 시스템에서 태양전지 모듈과 축전지가 차지하는 비용은 전체 투자액의 80 내지 90% 이다. 자급할 수 있는 수소시스템에서 전해조와 연료전지를 에너지 저장의 부시스템으로 간주한다면 그 비율은 아주 크다. 따라서 PV-수소에너지 시스템에서는 주어진 부하와 기후조건에 대한 전체 투자비용을 최소화하기 위하여 태양광 array와 수소저장 능력의 크기를 최적화 하는 것이 필요하다. P.D. Lund는 수소부분의 출력비를 최소화 하여 최적 시스템 선정방법을 제시한 바 있다.[1]

3 PV-수소에너지 시스템 연구현황

가. HYSOLAR[3]

최초의 PV-수소에너지 시스템은 1980년대 초반에 독일의 Stuttgart 대학과 독일항공연구소(DLR)에 의해 추진된 HYSOLAR(HYdrogen from SOLAR energy) 프로그램으로 1986년 사우디아라비아와 공동합의로 시작되었으며, 이 프로그램의 목적은 에너지원으로 수소의 이용을 포함한 태양수소의 제조에 대한 연구, 개발 및 실증실험을 통하여 미래의 태양수소의 제조 및 수소이용에 대한 과학적이고도 기술적인 실증연구를 수행하는 것이었다.

이 연구로 다음의 여섯 가지의 과제가 추진되었다. ① 350kW 실증 플랜트의 설계, 설치 및 운전. ② 10kW 실험연구 시설의 설계, 설치 및 운전. ③ 2kW 실험연구 시설의 설계, 설치 및 운전. ④ 기초연구 프로그램의 수행. ⑤ 시스템 연구 및 이용 프로그램의 수행. ⑥ 교육과 훈련 프로그램의 이행 등이다.

이들 중 350kW 실증 플랜트의 예를 보면 다음과 같다. 1981년부터 사우디아라비아의 KACST(King Abdulaziz City of Science and Technology)에서 350kW 규모의 태양광발전 설비를 운영하고 있었는데, 이는 당초 태양광/축전지/디젤기관의 복합시스템으로 구성된 것이었다. 이 시스템의 전체 효율은 인버터의 손실을 포함하여 8%를 상회하여 대규모의 HYSOLAR 프로그램을 수행할 수 있는 이상적인 태양광발전 시설로 선정되었으며, 여기에 350kW 규모의 수전해 시설을 추가하여 태양광-수소의 실증 플랜트를 구성하였다.

나 Solar-Wasserstoff-Bayern Project[4]

HYSOLAR 연구와 마찬가지로 독일정부에서 재정지원을 받아 수행된 Solar Wasserstoff-Bayern(SWB) 프로젝트는 태양-수소에너지를 이용하기 위하여 태양전지, 수전해에 의한 수소제조, 저장, 수소이용(연료전지, 보일러, 액체수소, 연료전지, 촉매연소) 등 일관된 시스템기술 및 기기개발 연구를 수행하였다. 이 사업의 예산규모는 Phase 1&2(1986~1999)를 합쳐 145백만DM(약 60백만\$)가 소요되어 실증실험을 마친 단계이다. SWB 프로젝트의 시설 내용을 보면, 수소제조는 PV시스템을 이용하여 100kW급 전해조 3기로부터 연간

80,000Nm³의 수소를 제조하며, 수소저장은 30기압의 5,000Nm³ 용량의 고압 저장탱크와 3,000ℓ의 액화수소 저장탱크를 설치하였고, 수소의 이용을 위해서는 20kW 규모의 연소기, 17kW 규모의 흡수식 냉방기, 10kW와 7kW 규모의 연료전지, 수소자동차를 위한 연료공급 station 구성 등 다양한 장치를 설비하여 응용연구를 수행하였다.

다. Solar Hydrogen Production[5]

1990년부터 INTA(Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial)는 태양수소의 제조와 이용에 대한 과제에 착수하여 1992년 Andalucia 지방의 Huelva에 물의 전기분해에 의한 태양수소의 시험연구 설비를 완성하였다. 이 시설은 8.5kW의 태양광발전 설비와 5.2kW의 알칼리 전해조로 구성되어 태양수소의 제조와 관련된 여러 분야의 연구를 수행하고 있다.

라. The Schatz Solar Hydrogen Project[6,7]

미국의 Humbolt State University 부설 Schatz Energy Research Center에서는 1989년부터 Clean Energy from the Sun 이라는 주제로 Schatz Solar Hydrogen Project를 수행하여 태양전지로부터 얻은 전기로 전기분해에 의해 수소를 생산하고, 이를 기체상태로 저장한 후 연료전지로 이용하는 데모 플랜트를 완성하였으며, 현재까지도 이를 운전하고 있다. 태양전지의 규모는 8kW 이며, 1m³/hr 용량의 알칼리 수전해 장치로 수소를 생산하고, 이를 고압의 기체로 저장하고 있다.

마. New Sunshine Project, WE-NET Program[8,9]

비교적 활발한 수소에너지 관련 연구가 진행되고 있는 일본은 Sunshine계획의 일환으로 수소의 제조, 저장 및 이용기술의 각 분야에서 체계적인 연구가 수행되어 그간 많은 연구결과를 얻었을 뿐만 아니라 장치 실용화 연구에 대비하고 있다. 또한 1993년부터 추진되고 있는 New Sunshine 연구에서도 수소의 제조와 저장연구가 계속적으로 추진되고 있으며, WE-NET program으로 연구의 국제화를 추진하였다.

수소이용 국제 클린에너지 시스템기술로 불리는 이 프로그램은 세계적인 과제인 에너지문제와 지구환경문제를 근본적으로 해결하기 위한 대규모 프로젝트로서, 수력, 태양광, 지열, 풍력 등 재생 가능한 에너지를 이용하여 효율적인 수전해 기술로 값싼 수소를 생산하고, 액체수소 등의 형태로 변환하여 수송 저장 후 환경오염물질을 배출 없이 수소연소터빈을 이용한 발전이나 각종 기술을 조합하여 세계적 규모의 수소이용 네트워크를 구축하기 위한 연구개발이다. 대규모 실증시스템 구축의 기반을 얻는 것을 목표로 하고 있지만, 1993년부터 1단계 6년간은 수소 이용기술을 중심으로 하고, 출력 500MW급, 에너지효율 60%이상의 수소연소터빈, 에너지 변환효율 90% 이상의 고체고분자전해질 수전해법(PEM법)에 의한 수소제조, 용량 300톤/일 규모의 수소액화설비, 수송량 20만m³급 탱커, 저장량 25만m³급 저장시스템, 분산수송 및 저장용 수소저장합금, 액체수소 온도 수준의 저온재료, 2000℃급 고온재료 등의 개발에 관하여 필요한 기초적 기술 확립을 위한 조사 및 요소연구를 실시하였으며, 2002년 연구를 종결하였다.

바. Energy Conversion Devices, Inc.의 Generic System[10]

Energy Conversion Devices, Inc.는 flexible thin-film solar array를 사용하는 일체형의 이동식 수소제조, 저장장치를 구상하여 이의 개발을 추진하고 있으며, Hydrogen-fueled scooter, Fuel cell scooter, Cooking fuel, Stationary power, Portable power로의 이용을 목표로 하고 있다.

사. Solar Hydrogen Energy Vehicle Project[11]

미국 캘리포니아주는 대기정화법에 의하여 2005년까지 이 지역에 판매되는 새 자동차의 10%를 무공해 차량으로 의무화시킴에 따라 연간 판매되는 자동차중 약 5만대의 차량이 수소자동차나 전기자동차 등의 무공해 차량으로 교체되어야 하는 형편이다. 1999년 HyGen Industries, LLC는 이 같은 기회를 이용하여 수소자동차나 연료전지자동차에 수소를 공급할 목적으로 태양전지, 풍력, 조력 등의 대체에너지를 이용하여 물의 전기분해로 수소를 생산하고, 이를 자동차의 연료로 공급할 수 있는 인프라구축을 위한 개발에 착수하여 수소 station을 건설하였으며, 실증연구를 수행하고 있다.

아. DOE DER Distributed Power Program[12]

미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 수행하고 있는 DOE의 DER(Distributed Energy Resources) Distributed Power Program은 PV, 풍력, 연료전지, 마이크로 터빈, 에너지 저장장치 등의 분산에너지를 계통선과 연계하여 효율적인 전력시스템을 구축하는 것으로, 현재 덴버시 인근의 시험부지에서 분산에너지원의 시스템들을 설치하여 이의 실증연구를 수행하고 있다.

자. PV-hydrogen station[13]

앞서의 Solar Hydrogen Energy Vehicle Project에서 보는 바와 같이 수소자동차의 연료를 공급하는 station의 설치는 많은 나라에서 경쟁적으로 실증 플랜트로 연구가 진행되고 있으며, 현재까지 70여개의 수소 station 설치에 대한 연구가 진행되었거나 진행 중에 있다. 수소 station에서 수소의 공급은 많은 경우가 고압의 수소나 액체수소를 파이프라인이나 차량으로 수송하고 있으나, 현지에서 생산하는 on-site 수소제조 개념의 station 건설이 최근 증가하고 있다. 수소제조 방법은 수전해 방법이 대다수를 차지하고 있으며, 기타 천연가스, 메탄올, LPG 등의 개질방법이 사용되고 있다. 수전해를 위한 전력공급으로는 계통선 전력과 PV시스템을 이용한 실증 플랜트가 건설되고 있다.

4. 결론

대체전원으로 태양광발전, 풍력발전 및 심야전력은 발전시간이 태양광발전의 경우에는 주간 태양이 비치는 시간에, 풍력의 경우는 바람이 부는 시간에, 또한 심야전력의 경우에는 심야의 시간대에만 전력을 이용할 수 있으므로, 이들 시간대 외에 실제로 전력을 사용하여

야 할 시간에는 사용하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 축전지를 이용하여 전력을 저장하여 이용하는 시스템이 개발되어 부분적으로 이용되거나, 계통선 연결 등의 방법이 고려되고 있으며, 심야전력의 경우 양수발전소를 건설하여 이를 이용하거나 심야 전력 이용기기들의 보급을 추진하여 활용하고 있다.

그러나 이같은 방법이 모든 경우에 적용될 수는 없다. 축전지는 고가일 뿐만 아니라 수명이 짧아 주기적으로 교체하여야 하므로 유지비용이 과다하고, 계통선 연계도 대체발전의 규모나 지역적으로 적합하지 못한 경우가 있으며, 양수발전의 경우는 입지의 한계와 막대한 발전소 건설비용이 추가되어 그 실용성에 한계가 있다.

이상의 제반 여건에 따라 많은 연구자들에 의해 PV시스템과 같은 대체전원을 이용하여 수소를 제조하고 이를 수송, 저장하여 이용하는 수소에너지 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 앞서의 PV-수소에너지 시스템 연구개발 현황에서 보는 바와 같이 세계 각국에서 이들에 대한 실증연구가 수행되고 있다. 최근에는 수소의 이용기술 분야로 연료전지에 대한 연구결과 그 실용성이 증대되면서 수소에너지 시스템과의 결합으로 미래의 청정 에너지 시스템 체계를 구축할 것으로 전망되고 있다.

아직까지 PV시스템을 포함한 대부분의 대체전원은 기존의 화석연료에 의한 전력보다 고가이지만, 장차 화석연료의 고갈에 따른 수급 불안으로 이들의 가격상승은 필연적이다. 지속적인 태양전지의 개발로 현재보다 값싼 PV시스템의 기술개발이 이루어지면, 멀지 않은 미래에 PV시스템을 포함하여 대체전원을 이용한 수소에너지 시스템 경제체제가 실현될 수 있을 것으로 평가되고 있다.

참고문헌

- [1] P.D. Lund, Int. J. Hydrogen Energy, 16(11), 735-740 (1991)
- [2] P.D. Lund, Solar Energy, 42, 235-251 (1989)
- [3] W. Grass, F. Oster, and H. Aba-Oud, Int. J. Hydrogen Energy, 17(1), 1-7 (1992)
- [4] C.J. Winter and M. Fuchs, Int. J. Hydrogen Energy, 16(11), 723-734 (1991)
- [5] A.G. Garcia-Conde and F. Rosa, Int. J. Hydrogen Energy 18(2), 995-1000 (1993)
- [6] Brochure of Schatz Energy Research Center
- [7] <http://www.humboldt.edu/~serc/generationcenter.html>
- [8] <http://www.ena.or.jp/WE-net>
- [9] T. Hijikata, Int. J. Hydrogen Energy, 27(2), 115-129 (2002)
- [10] K. Sapru, Proceedings of the 13th World Hydrogen Energy Conference, Beijing, Vol.1, 168-172 (2000)
- [11] <http://www.hygen.com>
- [12] NREL DER Test Facility, NREL brochure
- [13] <http://www.h2cars.de/filling/h2fueling.html>