

수소경제하에서의 전력시스템

원동준*, Chen-Ching Liu*, 문승일**

미국 워싱턴대학교 APT 센터*, 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부**

Power System Concerns in Hydrogen Economy

Dong-Jun Won*, Chen-Ching Liu*, Seung-II Moon**

University of Washington*, Seoul National University**

Abstract – Hydrogen, as a future energy source, can be a good alternative of fossil fuel in view of environment and energy security. Hydrogen can be both fuel and electricity so that it will greatly change energy paradigm. Therefore, researches on hydrogen in power system area are essential and urgent due to their huge effects. In this paper, the importances and meanings of hydrogen in power system are reviewed as energy storage, DC generator, dispersed generation (DG), and combined heat and power (CHP). Technical challenges in hydrogen economy are also listed.

1. 서 론

최근 들어 화석연료를 대체할 에너지원으로 수소 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 사용되는 1차 에너지원의 거의 대부분을 차지하는 화석연료는 다량의 환경오염물질을 배출하는 데다 언젠가는 고갈될 수밖에 없는 유한한 자원이기 때문에 대체에너지 개발의 필요성이 끊임없이 제기되어 왔다. 수소는 그 자체로 무한에 가까운 에너지 자원인 데다 환경오염이 없으며, 무엇보다 전기에너지, 기계에너지, 열에너지 등으로 전환이 자유롭다는 장점을 지니고 있다. 따라서 수소를 새로운 에너지원으로 개발하려는 노력은 이미 세계적인 추세이며, 이는 또한 유엔기후변화협약(1992년도)과 교토의정서(1997년도) 등 많은 환경적 제약으로 인한 요구이기도 하다.

수소경제(Hydrogen Economy)란 수소가 주요 에너지원이 되는 미래의 경제체제를 말한다. 미국의 펜실베이니아대학교 웨튼스쿨 교수인 리프킨(Jeremy Rifkin)의 저서 '수소경제'(The Hydrogen Economy, 2002)를 통해 널리 알려진 수소경제는, 현재의 에너지 위기를 극복할 수 있는 가장 유력한 대안일 뿐 아니라, 인터넷 정보가 자유롭게 유통되는 '월드와이드 웹'처럼 수소 에너지를 자유롭게 공유할 수도 있어 에너지 체계에 혁명적인 변화를 일으킬 것으로 예상되고 있다. 수소에너지는 기존의 화석연료를 대체하는 성질과 더불어 전기에너지를 대체하는 성격도 함께 가지고 있다. 이것은 마치 디지털 컨버전스가 디지털 기술의 패러다임을 바꾸었듯이 에너지 분야에 있어서 연료와 전기의 통합 즉, 에너지 컨버전스 (energy convergence)를 통해 미래의 인간사회를 크게 변화시킬 것으로 예상된다.

이에 따라 이미 선진국에서는 자동차 회사와 저장시스템 회사를 중심으로 수소에너지 및 저장 시스템과 연료 전지 등에 대한 기술개발을 진행하고 있으며, 미국, 일본, 아이슬란드 등 일부 국가에서는 국가적 차원의 프로젝트를 만들어 수소에너지의 전력시스템 적용에 관한 연구를 수행하고 있다. 최근까지 국내외 수소에너지 관련

연구개발은 기초적인 수준에 머물고 있어왔고 그 분야도 매우 한정되어 왔으나, 정부가 2005년 3월 11일 '신재생 에너지개발·보급정책'에서 수소에너지 분야를 체계적으로 육성할 계획을 밝히면서 우리나라에서도 바야흐로 수소에너지가 미래의 에너지 패러다임을 변화시킬 유력한 매체로 전 국민적 관심을 받으며 그 기술 개발도 활기를 띠고 있다.

세계적으로 수소에너지를 이용하여 전력을 생산하는 기술은 2002년, 미국 라스베가스에 소규모의 수소 스테이션에서 차량용 연료로 사용될 수 있는 수소를 생산하는 동시에 30가구에 50[kW]의 전력을 생산할 수 있는 시설을 가동한 것이 그 시초일 정도로 아직 실질적인 상용화는 이루어지지 않고 있다. 현재까지 수소에너지를 이용하는 기술 중 대부분은 선진 자동차 회사를 중심으로 차량용 연료전지 개발에 집중되고 있다. 따라서 연료전지를 포함한 수소에너지를 전력시스템에 적용하려는 연구는 아직까지 거의 전무한 실정이며, 연료전지의 실용화와 대형화가 진행되고 있는 지금이 수소에너지의 전력시스템 적용에 관한 논의를 시작해야 할 적절한 시기라고 하겠다.

따라서 본 논문에서는 먼저 수소에너지가 기존의 에너지 패러다임을 어떻게 변화시키는지 먼저 살펴보고, 이를 바탕으로 수소에너지가 전력시스템에서 가지는 의미를 다양한 각도에서 분석해 보도록 한다. 그리고 수소에너지의 적용 단계에 따라 전력시스템 측면에서 해결해야 할 기술적인 고려사항에 대하여 살펴봄으로써 앞으로 적극적으로 전개될 전력시스템에서의 수소에너지 관련 연구의 방향을 제시하도록 한다.

2. 본 론

2.1 패러다임의 변화

수소에너지는 기존의 화석연료를 대체할 수 있다는 의미에서 미래에 사용될 하나의 '연료'로서 생각될 수 있다. 또한 수소에너지는 연료전지를 통하여 쉽고 간단하게 전기로 변환될 수 있다는 의미에서 미래의 '전기'에너지로 등치될 수 있기도 하다. 이처럼 수소에너지는 연료로서의 성질과 전기로서의 성질을 모두 갖고 있는데, 수소를 매개로 한 에너지원의 통합이 가능해진다. 이것은 마치 각종 디지털 기기들의 통합을 통하여 디지털 컨버전스가 실현됨으로써 디지털 기술에 커다란 변화가 일어났듯이, 에너지 측면에서 수소에너지를 통하여 에너지 컨버전스가 실현되어 미래의 에너지 체계가 크게 변화할 것임을 암시한다.

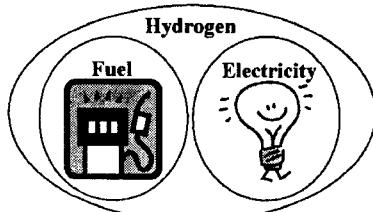


그림 1. 에너지 컨버전스(Energy Convergence)

특히 전력시스템의 관점에서 볼 때 수소를 보유하고 있다는 것은 동시에 전기도 보유하고 있다는 것으로 해석될 수 있다. 전기를 보유하고 있다는 것은 전기를 저장할 수 있다는 것으로서, 기존의 전력시스템에서 당연한 가정으로 여겨지던 '전기는 저장되지 않고 발생과 동시에 소비된다'는 가정을 무너뜨리는 의미를 갖는다. 바로 이점에서 기존의 전력시스템의 패러다임이 크게 변화하게 되며, 수소에너지의 중요성이 여기에 있다고 하겠다.

2.2 전력시스템에서 수소에너지의 의미

수소에너지는 연료전지를 통하여 전기에너지로 변환된다. 전력시스템에서 수소에너지를 활용하는 유일한 방법은 연료전지를 통하는 것이며, 따라서 전력시스템에서 수소를 이용한 연료전지 시스템이 가지는 의미를 분석하는 것은 수소에너지의 의미를 분석하는 것과 동일한 효과를 갖는다. 본 논문에서는 연료전지 시스템이 전력시스템에서 갖는 의미를 크게 다음의 네 가지로 구분하여 살펴보기로 한다.

2.2.1 대규모 전기의 저장장치

수소에너지를 이용한 연료전지 시스템은 전기를 저장할 수 있는 전기의 저장장치로서 기능할 수 있다. 이것은 기존의 소용량 배터리 수준이 아니라 대규모의 전력저장장치를 의미하며, 우리가 즉시 기동가능한 발전기를 보유하게 되는 것을 의미한다. 이는 기존의 전력시스템의 특징인 비저장성에 반하는 것으로 계통운용에 커다란 변화를 야기할 것이다. 특히 평상시에 전력을 수소형태로 저장하여 첨두부하를 이를 활용함으로써 전력피크를 shaving할 수 있어 계통 운용시 발생하는 여러 복잡한 문제들을 해결할 수 있는 가능성이 있다. 다음 표 1에서 이러한 장점들과 기술적인 고려사항들을 정리해 보았다.

표 1. 저장장치로서의 장점 및 고려사항

장점	고려사항
- 낮과 밤, 혹은 여름과 겨울 사이에 첨두부하량 경감 (Peak shaving)	- 전력시장 입찰 전략 변화
- 첨두부하를 대비한 여분의 설비(발전기, 송전선로 등) 감소	- 일반 입찰과 전력피크 shaving 입찰의 구분
- 설비비용 감소	- 낮과 밤의 전력가격 차이 감소 영향
- 선로혼잡 경감	- 불확실한 전력피크 shaving으로 인한 부하 수준 예측의 어려움

2.2.2 직류 발전기

수소에너지를 이용하는 연료전자는 직류의 전기에너지 를 생성한다. 따라서 연료전자는 전력시스템에서 직류전원으로 기능할 수 있다. 직류전원에서 발생하는 직류는 다시 교류로 변환되어 기존의 전력시스템에서 활용될 수도 있지만, 직류를 사용하는 직류 전력시스템에서는 직접 직류 전력을 활용할 수 있다. 직류 전력시스템이

전체 전력시스템 수준에서 구현되기는 아직 시기상조이지만, 하나의 빌딩이나 소규모 마이크로 그리드에서는 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

표 2. 직류발전기로서의 장점 및 고려사항

장점	고려사항
- 교류발전기 대체, 직류 전력시스템 구현	- 초기 인프라 구축비용 과다
- 전력 및 통신선로 집적화로 결선의 간소화	- 기존 기기와의 호환성 보장
- 대기전력, 기기의 크기 및 제작비 감소	- 전송 거리 증가시 손실문제 고려

2.2.3 분산전원

향후 전력시스템에는 소규모의 분산전원들이 다양으로 설치될 것으로 예상된다. 최근 들어 주목받고 있는 신재생에너지원 즉, 풍력 및 태양광뿐만 아니라 수소를 활용한 연료전지 시스템도 분산전원으로 활용될 것이다. 그러나 자연 환경을 활용하는 신재생에너지원보다는 연료전지 시스템이 수요밀집지역에 더욱 가까이 설치될 가능성이 높다는 점에서, 연료전지의 분산전원으로서의 의미가 더욱 중요하게 부각된다. 분산전원은 적절하게만 동작한다면 계통의 신뢰도, 안정도 및 전기품질 등을 향상시킬 수 있는 능력을 가지고 있다. 그러나 분산전원이 기존의 계통과 적절하게 연계되지 않았을 때는 오히려 전력시스템에 악영향을 미칠 수도 있다. 이러한 분산전원의 장점과 기술적인 고려사항을 다음 표 3에서 정리하였다.

표 3. 분산전원으로서의 장점 및 고려사항

장점	고려사항
- 대규모 발전소 및 송변전 설비 감소	- 분산전원 투입량의 불확실성
- 건설비용 경감	- 정밀한 부하예측 요구
- 송전손실 경감	- 보호기기와의 협조
- 계통의 신뢰도 향상	- 고립운전 문제
- 전기품질 보상 가능	- 마이크로 그리드 구성

분산전원의 전력시스템 연계와 관련한 문제를 다루기 위해 IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)에서는 IEEE Std. 1547을 통하여 표준화 작업을 진행하고 있지만, 아직까지는 소규모, 소량의 분산전원의 경우에 한정되고 있으며 대규모 대용량의 분산전원의 경우를 가정하고 있지 않아 이에 대한 연구가 필요한 실정이다. 그림 2는 IEEE Std. 1547의 구성을 나타낸다.

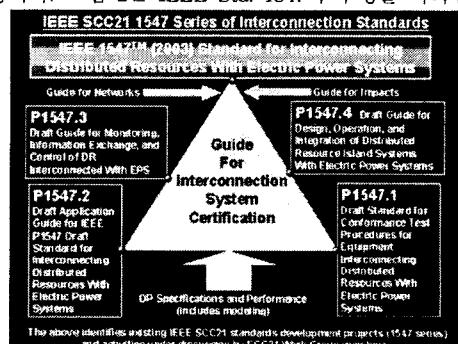


그림 2. IEEE 1547 Standard

2.2.4 열병합 발전

연료전지는 전기분해의 역반응으로 전기에너지를 생산하며 동시에 물을 생성하여 배출한다. 이 과정에서 열이 발생하며 이 열은 재활용될 수 있으므로 연료전지를 열병합 발전 시스템으로 기능할 수 있게 한다. 연료전지를 소형 열병합 발전 시스템으로 활용할 수 있음은 아이슬란드의 경우에서 이미 확인할 수 있으며, 뛰어난 효율을 보여준다. 특히 연료전자는 수용가에 균접하여 설치되는 특성을 보여주므로 수요지 근처에서 전기와 열을 동시에 공급하는 이상적인 열병합 설비가 될 수 있으며, 연료전지에서 생성되는 것은 물이므로, 물에서 수소, 그리고 다시 물로 이루어지는 순환 싸이클을 통한 재활용이 가능하다.

2.3 수소경제의 발전 단계 및 technical challenges

수소에너지를 전력시스템에 적용하는 단계는 다음과 같은 세 단계를 거칠 것으로 예상된다. 첫 번째 단계에서는 수소에너지를 활용한 연료전지 시스템이 소용량, 소규모로 배전계통에 연계되는 단계이다. 이 경우 연료전지 시스템은 분산전원으로서 계통에 연계되며, 발전 및 전력저장장치, 열병합 발전 시스템, 소규모 직류전력시스템 등에 활용될 수 있을 것이다. 두 번째 단계는 소용량의 연료전지 시스템이 계통에 다수 설치되는 단계이다. 연료전지가 수요밀집지역에 대규모로 계통에 연계됨으로써 상당량의 전력을 수요지역에서 자체로 공급하여 microgrid를 구성할 수 있게 된다. 마지막 단계에서는 연료전지 발전단지를 구축하여 기존의 발전소를 대체하고 궁극적으로는 수소에너지를 모든 에너지의 기본 매개에너지로 활용하여, 수소의 발생과 전송을 통해 에너지의 흐름을 제어하게 된다. 다음 그림 3에서 각 단계의 특징과 적용범위 그리고 technical challenges를 정리해 보았다.

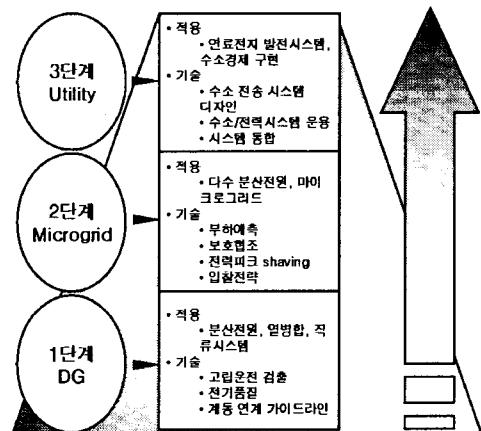


그림 3. 발전단계별 적용범위 및 필요기술

3. 결 론

본 논문에서는 앞으로 다가올 수소경제에 대비하여 수소에너지가 전력시스템에서 가지는 의미와 중요성 그리고 기술적으로 대비해야 할 사항에 대하여 기술하였다. 수소에너지는 기존의 에너지 체계의 근간을 뒤흔들 수 있는 커다란 패러다임의 변화를 야기할 것으로 보이며, 이는 전력시스템에도 적용된다. 수소는 연료와 전기의 두 가지 성질을 가짐으로써 에너지의 컨버전스를 유도하고, 전력시스템에서 전기의 저장장치, 직류발전기, 분산전원, 열병합 발전설비 등의 역할을 수행할 것으로 예상되기에 미래의 전력시스템에 커다란 변화를 가져올 것으로 예상된다. 이를 위해서 고려해야 할 기술적인 사항으로는 분산전원의 고립운전 검출, 보호회로 문제 해결, 전기품질 향상, 입찰전략의 수정, 수소 전력시스템 통합 등이 있을 것으로 생각된다. 비록 아직까지 수소관련 연구의 실용화에는 기술적으로 해결해야 할 문제와 더불어, 더 많은 시간을 요구하는 기술외적인 문제도 존재하지만, 수소에너지에 관한 연구는 결코 미룰 수 없는 시급한 과제이며, 이제부터라도 차근차근 미래의 수소에너지 사회에 대비한 연구를 진행해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] C.J. Andrews, S.A. Weiner, "Visions of a hydrogen future," IEEE Power and Energy Magazine, Volume 2, Issue 2, Page(s):26 - 34, Mar-Apr 2004
- [2] Ali T-Raissi and David L. Block, "Hydrogen: Automotive Fuel of the Future," IEEE Power and Energy Magazine, Volume 2, Issue 6, Page(s):40 - 45, Nov.-Dec. 2004
- [3] United States Department of Energy, Hydrogen Posture Plan - An Integrated Research, Development and Demonstration Plan, Feb. 2004
- [4] Chang Liuchen, C. Diduch, "Issues of interconnecting distributed power generators with electric grids," IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Volume 1, Page(s):675 - 678, 4-7 May 2003
- [5] M.T. Doyle, "Reviewing the impacts of distributed generation on distribution system protection," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Volume 1, Page(s):103 - 105, 21-25 July 2002
- [6] N.D. Hatziargyriou, A.P. Sakis Meliopoulos, "Distributed energy sources: technical challenges," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Volume 2, Page(s):1017 - 1022, 27-31 Jan. 2002
- [7] United States Department of Energy - Hydrogen: http://www.doe.gov/engineering/do?BT_CODE=ES_HYDROGEN
- [8] 수소연료전지사업단 홈페이지: <http://www.h2fc.or.kr/>
- [9] IEEE Standard 1547™-2003, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems