EMTDC를 이용한 수소제조용 SPE 셀의 모델링

김세헌*, 박민원**, 유인근*
창원대학교*, 차세대초전도응용기술개발사업단**

ModelingofSPEcellforhydrogenproductionusingEMTDC

Se-Heon Kim*, Min-won Park**, In-Keun Yu*
Changwon National University*, Center for Applied Superconductivity Technology**

Abstract - This paper presents an effective modeling scheme of SPE cell system for hydrogen production. As oxygen and hydrogen produced by water electrolysis using SPE are high purity, we can use oxygen in biomedical and hydrogen could be used in many ways. Recently, it is under the eye as a surplus power storage system.

PSCAD/EMTDC model of SPE cell system for hydrogen production to efficiently utilize Solar cell energy which produces effectively hydrogen energy is showed in this paper. The simulated results are then verified by comparing them with the actual values obtained from the data acquisition system. Authors are sure that it is a useful method to the researchers who study SPE cell system for hydrogen production.

1. 서 론

세계 10위의 에너지 소비국인 동시에 석유 수입 4위국인 우리나라는 신·재생에너지 개발이 무엇보다 시급한 실정이다. 다행히 우리나라도 정부의 10대 차기주력 산업 선정에 수소연료전지 개발사업이 선정되어 내년부터 이 분야의 대대적인 연구개발지원이 예상된다. 신·재생에너지는 석유나 석탄, 천연가스 등 화석연료 수준의 효율성을 발휘하면서도 질소화합물, 황산화합물, 분진 같은 대기 요염물질을 배출하지 않는 청정에너지라야 한다는 난제까지 떠안고 있으며, 이런 면을 고려할 때 차세대 대체에너지로 가장 유력한 것은 바로 수소이다.

연구의 기본적인 배경이 되는 에너지의 흐름도 및 태양광 발전시스템과 SPE를 이용한 수소제조시스템의 원리는 그림 1과 같다[1, 2].

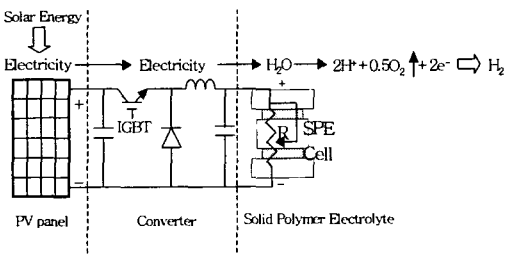

그림 1. 수소제조 원리

깨끗한 무공해 에너지, 무한계성의 에너지원, 그리고 환경친화적인 에너지로 여러 가지 장점을 가진 태양광 발전시스템[3]을 이용하여, 저장과 수송이 용이하며 충방손실이 적은 새로운 에너지원으로서 각광을 받고 있는 수소에너지를 생성하는 메카니즘이다[4].

본 논문에서는 최근 신·재생에너지원으로 주목을 모으고 있는 수소에너지의 생산에 태양광에너지를 효율적으로 활용하기 위한 고효율·고안정성 수소제조용 태양광 발전시스템의 모델을 제시하기 위해 우선적으로 SPE cell의 PSCAD/EMTDC[5] 모델을 제시한다.

2. SPE(Solid Polymer Electrolyte)

SPE를 이용한 물 전기분해로 생산한 산소와 수소는 고 순도이므로 산소는 의료용으로, 수소도 여러 가지 용도로 사용할 수 있다. 최근에는 잉여 전력 저장 시스템으로 주목받고 있다.

25℃, 1기압에서 이론적인 물 전기분해 전압은 1.23V이나 실제 전기 분해 반응이 일어날 때에는 이보다 높은 전압을 가하여야 하는데, 그 이유는 전극에서의 반응저항 및 전해 장치의 내부저항 등으로 인한 전압손실(과전압)이 발생되기 때문이다. 이 과전압의 크기는 물 전기분해 장치의 운전비용에 큰 영향을 미치며 작동 전류밀도는 장치비와 관련이 있다. 따라서, 물 전기분해는 과전압이 낮으면서 높은 전류밀도로 운전 가능하고 고효율을 기대할 수 있어야 한다.

SPE를 이용한 물 전기분해는 SPE의 양면에 전극촉매를 접합시켜 전해셀에 걸어서 물을 전기분해 시키는 공정이며, 높은 전류밀도에서도 고효율의 전기분해가 가능하다.

PV-SPE 시스템에서 전기적인 요구사항은 얼마만큼 다량의 전류를 SPE에 흘러 보내느냐 하는 것이며, 그림 2는 단일 SPE 셀의 전압전류 특성곡선을 나타낸 것이다[6]. 그림과 같이 SPE 셀은 전압 의존성 부하로서

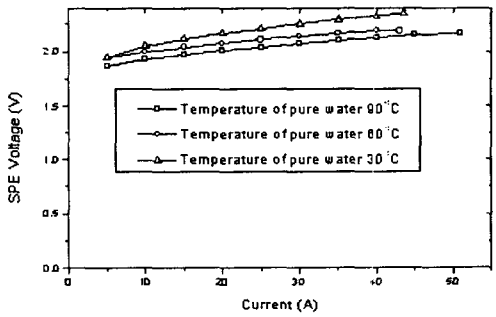

그림 2. SPE의 전압-전류 특성곡선

소비전력은 셀내의 순시전류밀도와 비례하므로, DC/DC 컨버터부가 제안된 기상조건하에서 얼마만큼

많은 양의 전력을 SPE 셀에 공급해 주느냐가 관건이다.

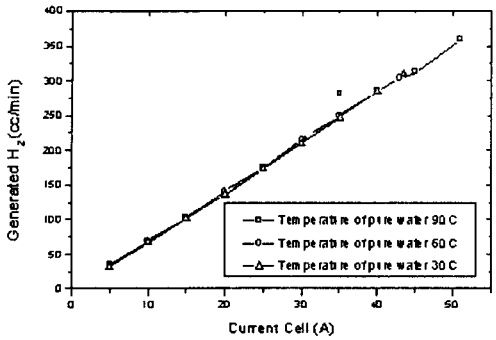

그림 3. SPE의 전류에 의한 수소발생 곡선

그림 3에서 나타난 바와 같이 수소의 생산량은 셀내에 흐르는 전류량과 정비례함으로 DC/DC 컨버터에 의한 MPPT 변환효율이 수소생산량과 비례적인 상관관계를 유지함을 알 수 있으며, 또한, SPE 셀은 그림 2에서 나타난 것과 같이 공급 물의 온도를 높여주면 셀의 단자 동작전압이 낮아지고 그로인해, 같은 전력하에서는 보다 높은 전류를 흘릴 수 있음으로 인해 물의 온도가 낮은 때 보다 많은 양의 수소를 발생시킨다. 그러나, 자연적인 상태에서 물의 온도를 40℃로 올리기란 직사광선을 이용한 태양온수 시스템 이외에는 불가능하므로 높은 온도의 물을 공급하는 것 또한 해결되어야 할 문제이다. 그림 4는 수소발생 장치의 개념을 나타낸 것이다.

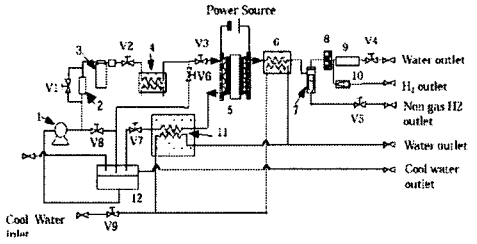

그림 4. SPE 셀을 이용한 수소제조시스템의 개념도

3. EMTDC를 이용한 SPE 셀 모델링

그림 5는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링 한 SPE 셀 회로도이다. 수소발생량은 PV시스템으로부터 나오는 전류의 영향만을 받으므로 사용자가 임의로 조작할 수 있게 하였다. 또한, SPE 셀에 흐르는 전류에 영향을 미치는 물의 온도도 임의로 조작할 수 있게 하였다.

먼저, 공급되는 물의 온도는 SPE 셀의 전압을 변화시키고, 변화된 SPE 셀의 전압은 전력이 일정하다면 전류에 영향을 미친다. 그러므로, 물의 온도와 SPE 셀의 전압, 전류에 따른 SPE 셀의 저항식이 필요하였다.

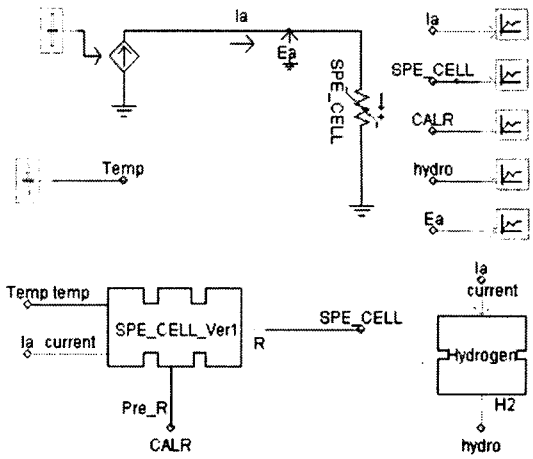

그림 5. EMTDC를 이용한 SPE 셀 회로도

그림 2의 SPE의 전압-전류 특성곡선으로부터 그림 5의 가변저항 R(=SPE_CELL)을 물의 온도에 따라 구하면 표 1과 같다.

표 1. 물의 온도에 따른 가변저항 R

온도(℃)	30		60		90	
전류(A)	전압(V)	R(Ω)	전압(V)	R(Ω)	전압(V)	R(Ω)
10	2.047	0.2047	2	0.2	1.944	0.1944
20	2.164	0.1082	2.08	0.104	2.011	0.10055
30	2.256	0.0691	2.144	0.07147	2.073	0.0691
40	2.342	0.05305	2.191	0.05477	2.122	0.05305

여기서, R의 방정식은 식(1)과 같다.

$$R = (0.03838 + 7.26 \times 10^{-6} e^{(TEMP/13.97537)}) + 0.8531 e^{(-Ia/3.056)} + (0.24904 + 0.0002 \times TEMP) e^{(Ia/14.306)} \quad (1)$$

$TEMP$: 물의 온도
I_a : SPE 셀에 입력되는 전류

식(1)을 PSCAD/EMTDC 내부 컴파일 프로그램인 Fortran 언어로 적용시켜 SPE 셀 컴포넌트(SPE_CELL_Ver1)를 모델링 하였다.

다음으로, 그림 3의 SPE의 전류에 의한 수소발생 곡선으로부터 수소발생량을 구하면 식(2)와 같다.

$$H_2 = -2.81714 + 7.21043 I_a \quad (2)$$

식(2)을 PSCAD/EMTDC 내부 컴파일 프로그램인 Fortran 언어로 적용시켜 수소발생량을 알 수 있는 Hydrogen 컴포넌트를 모델링 하였다.

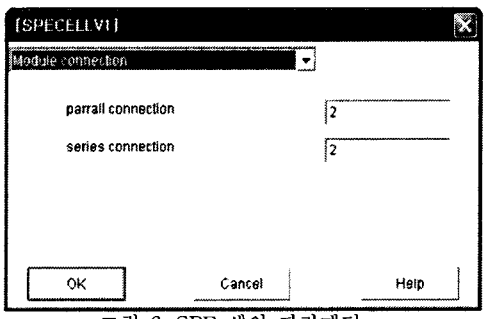

그림 6. SPE 셀의 파라메터

그리고, 그림 6에서 보는바와 같이 SPE 셀 컴포넌트의 파라메터에 PV 셀의 직렬/병렬연결을 설정할 수 있게 하여서 PV 셀의 용량에 따라 시뮬레이션 할 수 있게 하였다.

4. 시뮬레이션

최초 모듈이 SPE 셀로 동작하는데 걸리는 시간을 2초로 하고, SPE의 정격저항을 0.2Ω으로 하여 10초 동안 시뮬레이션 하였다. 또한, 물의 온도를 30℃, 60℃, 90℃에서 각각 전류값을 변화시키면서 data를 추출하였다.

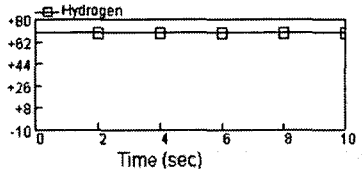

그림 7. SPE 셀에서 생성된 수소량(cc/min)

그림 7은 EMTDC 시뮬레이션에 의한 SPE 셀에서 생성된 수소량을 그래프로 나타낸 것이다.

그림 8은 EMTDC 시뮬레이션에 의한 SPE 셀의 data로 그려진 전압-전류 특성곡선이다. 40[A]까지의 입력전류에서는 실험값과 완벽하게 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 정밀한 변수 보정을 통해, 보다 실험값과 일치하는 SPE 셀의 EMTDC 모델을 업데이트할 예정이다.

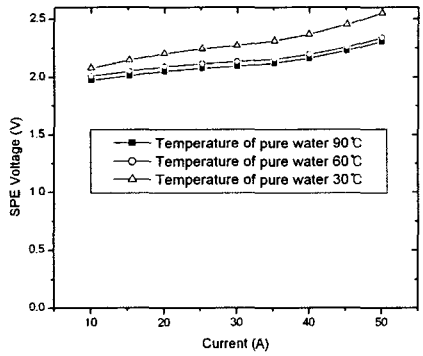

그림 8. 시뮬레이션에 의한 SPE 셀의 전압-전류 특성곡선

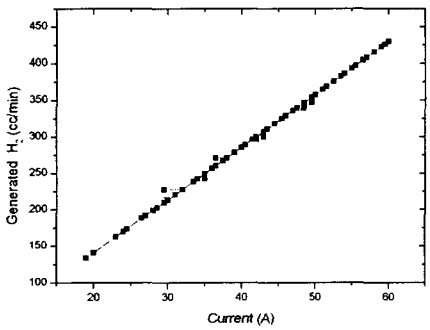

그림 9. 시뮬레이션에 의한 SPE 셀의 전류 대비 수소발생곡선

그림 9는 EMTDC 시뮬레이션에 의한 SPE 셀의 data로 그려진 전류에 의한 수소발생 곡선이다. 이 그림 역시 SPE의 수소발생 곡선과 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 과도현상 분석용 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 SPE cell을 모델링 하였다. SPE 전압-전류 특성곡선의 방정식을 통해 컴포넌트(SPE_CELL)를 구성하였고, SPE의 전류에 의한 수소발생곡선을 통해 전류에 따른 수소발생량을 알 수 있는 컴포넌트(Hydrogen)를 구성하였다. 이 컴포넌트들로 구성된 SPE 시뮬레이션은 실험에 의한 SPE 시스템의 동작 특성과 일치되는 결과를 확인할 수 있었다. 또한, 개발된 SPE 셀 컴포넌트의 전력 시스템 응용 시뮬레이션 분석에 대한 적용 가능성을 확인하였다.

앞으로, PV 시스템과 SPE 시스템의 시뮬레이션 모델을 통합한 제안시스템의 시스템 모델개발이 다음 과제라 하겠다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2003-B-342) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

[1] T. Tani et. Al. "Optimization of Solar Hydrogen Systems Based on Hydrogen Production Cost", Solar Energy, Vol. 68, No. 2, pp. 143-149, 2000

[2] PA Lehman. et. Al. "Design of A Photovoltaic-Hydrogen Fuel Cell Energy System", Int. J. Hydrogen Energy, Vol 16, No. 5, pp. 349 352, 1991

[3] Min-Won Park, In-Keun Yu, "Photovoltaic Generation System Simulation using Real Field Weather Conditions", Journal of IKEEE, Vol. 5, No. 2, 2001

[4] Kazuo Murata, Shuichi Izuchi, "An Overview of The Research and Development of Solid Polymer Electrolyte Batteries", Electrochimica Acta 45, pp. 1501-1508, 2000

[5] [PSCAD/EMTDC Power System Simulation Soft-ware Manual], *Monitoba HVDC Research Centre*, 2001

[6] P. Millet, H. Andolfatto, "Design and Performance of a Solid Polymer Electrolyte Water Electrolyzer", Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 21, No. 2, pp. 87-93, 1996