

PV-SPE 시스템을 위한 새로운 최대입력전류 제어기법 개발

이동한\*, 이석주\*, 박민원\*, 유인근\*  
국립창원대학교\*

Development of a novel maximum input current control for PV-SPE system

Dong-han Lee\*, Suk-Ju Lee\*, Minwon Park\*, In-Keun Yu\*  
Changwon National University\*

**Abstract** - This paper presents a newly developed MPPT method for PV-SPE system. To chase maximum power point at every moment under conventional MPPT control method, voltage and current coming out from PV-cell are needed to be feedbacked. In this newly developed Maximum Current Control method, however, current flowing into SPE cell is only one considerable factor. To verify the theory, simulated results are compared and shown in this paper. Authors are sure that it is the most useful method to the maximum power from PV to SPE with only a feedback of SPE input current.

1. 서 론

본 논문은 태양광 발전시스템과 SPE를 이용한 수소제조 장치에 관한 것으로, 태양광출력이 최대가 될 때 SPE입력전류가 최대가 되는 특성을 이용하여 스위칭비(Duty ratio)를 이용 최대의 출력값을 추종함으로써 SPE에 최대의 전류를 공급하여 수소의 생산 효율을 높일 수 있도록 하는 PV-SPE시스템의 개발을 목적으로 한다. 또한 최근 신·재생에너지원으로 주목을 모으고 있는 수소에너지의 생산에 태양광에너지를 효율적으로 활용하기 위한 고효율·고안정성 수소제조용 태양광발전시스템의 EMTDC를 이용한 시뮬레이션 해석 모델 및 새로운 최대출력 제어법을 기존의 방법과 비교·제시하려고 한다.

2. MPPT(Maximum Power Point Tracking)

태양광 발전시스템과 SPE의 커플링은 직접연결방식과 DC/DC컨버터를 이용한 간접연결방식으로 나눌 수 있다. 직접연결방식은 제어회로의 구성이 필요없으며, DC/DC컨버터의 설치비를 절약할 수 있고 또한 고안정성을 지닌 시스템이라는 장점이 있으나, 태양전지의 최대출력점 최적전압과 SPE의 입력전압간에 생기는 불일치로 인해 효율이 낮아지는 단점이 있고, DC/DC컨버터를 이용한 간접연결방식은 MPPT 제어방식을 이용한 방법(전력비교방식)과 컨버터의 입력부의 일정전압제어를 이용한 방식으로 나눌 수 있다. 그림 1과 2는 각각 일정전압방식과 전력비교방식의 개념도를 나타낸다. 본 논문에서는 2장에서 설명한 기존의 MPPT제어의 장점을 살린 새로운 SPE용 MPPT법을 3장을 통해 제안한다.

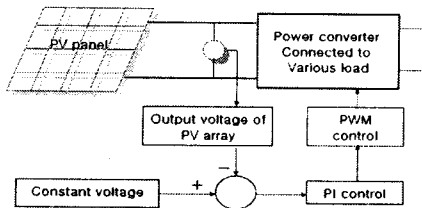


그림 1 일정전압제어 방식의 개념도

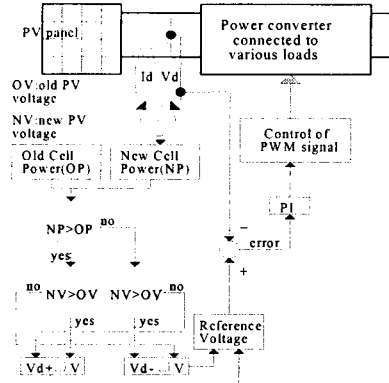


그림 2 전력비교방식의 개념도

3. PV-SPE 시스템을 위한 최대전류제어법

3.1 PV-SPE 시스템의 개요

본 연구의 기본적인 배경이 되는 에너지의 흐름도 및 태양광 발전시스템과 SPE를 이용한 수소제조시스템(이하, PV-SPE 시스템)의 원리는 그림 3과 같다[1, 2]. PV-SPE 시스템의 기본원리는 그림에서 보는 것과 같이 태양광 셀에서 발생한 전력을 이용 SPE의 양극에 전극 촉매를 접합시켜 전해셀에 걸어서 물을 전기분해 시키는 시스템이다.

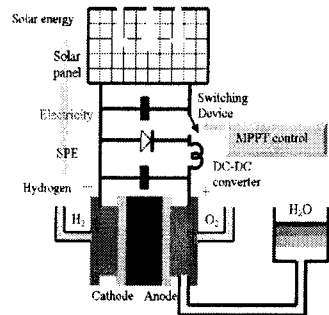


그림 3 태양광 발전 시스템을 통한 수소제조 원리 개념도

SPE셀은 높은 전류밀도에서도 고효율의 전기분해가 가능하며 그림4에서 보는 것과 같이 SPE 셀은 전류 의존성 부하[6]로서 소비전력은 셀내의 순시전류밀도와 비례하므로, DC/DC 컨버터부가 제안된 기상조건하에서 얼마만큼 많은 양의 전력을 SPE 셀에 공급해 주느냐가 관건이다.

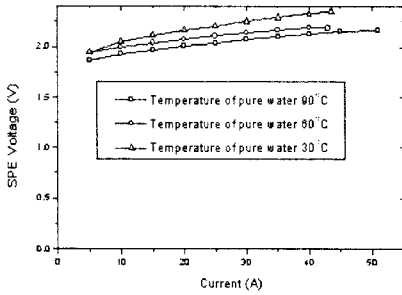


그림 4 SPE의 전압-전류 특성곡선

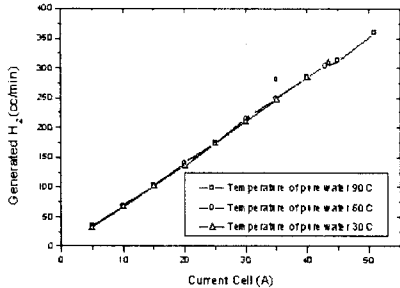


그림 5 SPE의 전류에 의한 수소발생 곡선

그림 5에서 나타난 바와 같이 수소의 생산량은 셀내 흐르는 전류량과 정비례하므로 DC/DC 컨버터에 의한 MPPT 변환효율이 수소생산량과 비례적인 상관관계를 유지함을 알 수 있으며, 또한, SPE 셀은 그림 4에서 나타난 것과 같이 공급 물의 온도를 높여주면 셀의 단자 동작전압이 낮아지고 그로인해, 같은 전력 하에서는 보다 높은 전류를 흘릴 수 있으므로 인해 물의 온도가 높을 때 보다 많은 양의 수소를 발생시킨다.

### 3.2 최대 전류 제어법 소개

기존의 MPPT 방법은 전류와 전압을 피드백해서 최대 출력력을 추종한다. 표1과 그림6은 이 과정을 설명하고 있다. 과정 1에서 전압과 전력이 증가하면  $\Delta V$ (전압의 변화량)가 증가하고 과정 2에서는 전압은 증가하나 전력이 감소하게 되므로  $\Delta V$ 를 감소시킨다. 과정 3에서는 전압은 감소하나 전력이 증가하므로  $\Delta V$ 를 계속 감소시키게 되고 과정 4에서는 전압과 전력이 동시에 감소하므로 다시  $\Delta V$ 를 증가시킨다. 그러나 최대 전류 제어법은 전류 성분 하나만을 피드백해서 최대출력력을 추종할 수 있다. 즉 SPE와 커플링된 DC/DC 컨버터의 스위칭 시간이 길어질수록 SPE에 유입되는 전류는 증가하고 전압은 감소하게 된다. 다시 말하면 Duty ratio가 증가하면(스위칭 시간이 길어지면) 전압은 감소하고 Duty ratio가 감소하면 전압은 증가하게 된다. 여기서 Duty ratio는 PWM control에 의해서 스위칭 속도가 조정된다. 즉 전압 성분의 증감을 따로 피드백 할 필요가 없게 되는 것이다. 전류 I와 전력 P가 비례하므로 ( $P=V \cdot I$ , 전압은 P-V 특성곡선을 보면 비례하지 않는다는 것을 알수있다.) 표2에서 전류 I를 기존 MPPT의 P성분과 동일하게 생각할 수 있게 된다. 다시 기존의 그림을 빌려서 설명하면  $P=I$ ,  $V=\text{duty ratio}$ ,  $\Delta V=\Delta \text{duty ratio}$ , 여기서 듀티비는 PWM 신호에 의해 조절 되므로( $\Delta V$ 의 증감역시 마찬가지) 제어해야 할 요소는 전류 하나가 된다.

표 1 기존의 MPPT 제어법 설명

과정	V	P	$\Delta V$
1(0→1)	+	+	+
2(1→2)	+	-	-
3(2→3)	-	+	-
4(3→4)	-	-	+

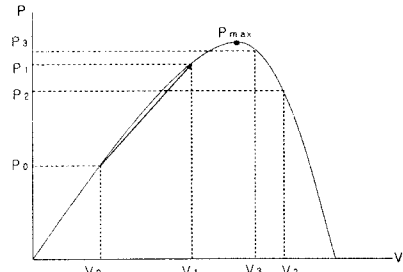


그림 6 기존의 MPPT 제어법 설명(전력-전압 곡선)

표2 새로운 제어법의 설명

Duty ratio	(전압)	I	$\Delta \text{Duty}$	$\Delta V$
+	-	+	+	-
+	-	-	-	+
-	+	+	-	+
-	+	-	+	-

## 4. 시뮬레이션을 통한 최대전류제어법의 비교 평가

### 4.1 시뮬레이션 조건

PSCAD/EMTDC를 이용해 기존의 MPPT 제어법과 새로운 전류 제어법을 비교, 분석해 보았다. 그림7은 시뮬레이션에 사용된 일사량 데이터를 나타낸다.

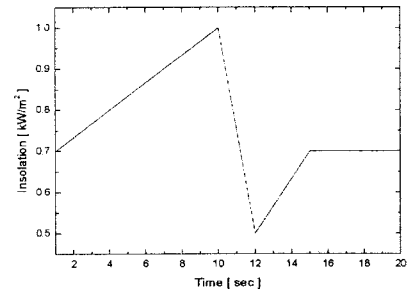


그림 7 시뮬레이션에 적용된 일사량 데이터 [20초간]

PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링한 PV array 모델은 여러 논문[5~7]을 통해 이미 자세히 소개된 바 있다. 단락전류는 3[A], 개방전압은 20[V], 2×4(직·병렬)연결, 제한전압은 35[V]로 설정하였고 슬라이더를 통해서 일사량과 셀의 표면온도를 조절할 수 있으며, 또한 실제기상 조건 데이터를 입력할 수도 있도록 구성되어 있다. SPE 셀에서 공급되는 물의 온도는 SPE 셀의 전압을 변화시키고, 변화된 SPE 셀의 전압은 전력이 일정하다면 전류에 영향을 미친다. 그러므로 전류와 저항의 관계를 알기 위해, 물의 온도와 SPE 셀의 전압, 전류에 따른 SPE 셀의 저항식이 필요하다[8~10]. 이상과 같이 언급된 SPE 셀의 특성 방정식과 온도에 따른 전압-전류 특성을 적용하여 SPE 셀 모델을 EMTDC상에서 구현하였다. 그림 8은 EMTDC상에서 구현된 모델 component의 개념도이다.

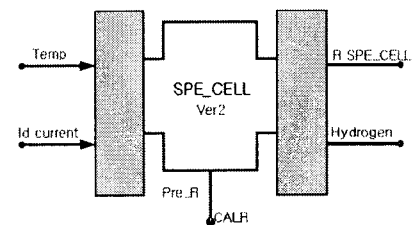


그림 8 SPE 셀의 EMTDC 모델 component

#### 4.2 시뮬레이션 비교분석

그림 9, 10, 11은 각각 일정전압법, 전력비교법, 최대전류법에 의해 SPE셀 측으로 유입되는 전류 및 전력 발생량을 나타내는 그래프이고 그림 12는 각 제어법에 의한 태양광 패널의 전압 값을 나타내고 있다.

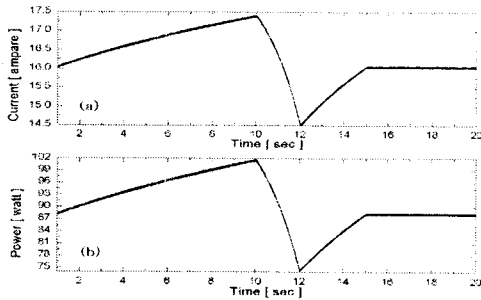


그림 9 일정전압법에 의한 결과 (a)전류,(b)전력

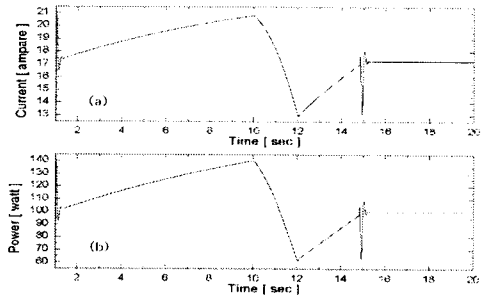


그림 10 전력비교법에 의한 결과 (a)전류,(b)전력

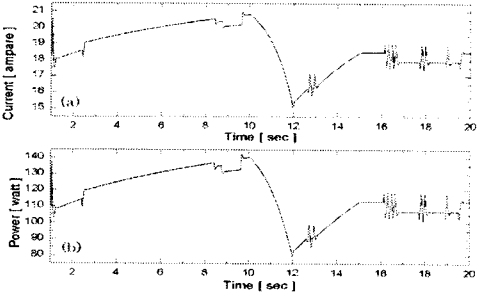


그림 11 최대전류법에 의한 결과 (a)전류,(b)전력

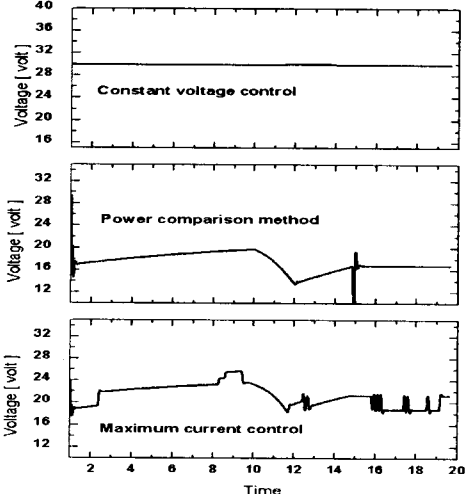


그림 12 태양광 셀의 출력전압 값 결과

#### 4.3 각 제어법의 특성 비교

표3은 각 제어법 하에 SPE셀에 유입되는 전력량과 피드백되는 성분을 나타내고 있다. 표에서 보는 것과 같이 최대 전류 제어법과 전력비교법이 동일한 출력 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

표 3 각 제어법의 특성비교

Control method	SPE cell input energy	Required feedback data	Hydrogen production
Maximum current control	2218.4 [J]	current	$2.22 \times 10^{-1} [Nm^3]$
Power comparison method	2057.2 [J]	voltage current	$2.058 \times 10^{-1} [Nm^3]$
Constant voltage control	1726.1 [J]	voltage	$1.74 \times 10^{-1} [Nm^3]$

#### 5. 결 론

본 논문에서는 과도현상 분석용 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 PV-SPE 시스템의 최대전류 제어법과 기존의 MPPT 제어법을 모의 분석, 비교하였다. 최대 전류제어법은 기존의 MPPT 방식(전력비교법)이 전압과 전류 두 가지 성분을 피드백해 제어할 필요가 있는 반면에 전류성분만을 제어함에 따라 제어가 훨씬 간단해지고 제어가 간단해 짐에 따라 제어부 제작에 따른 비용이 줄어들게된다(예를 들어 기존 제어부에서 쓰이는 소자나 회로 구성 등이 필요 없게 됨). 또 대용량 태양광 발전 시 전압 피드백이 필요 없게 되므로 보다 안정적인 시스템 운영이 가능하게 된다는 이점이 있다. 앞으로는 실제 시스템에 최대전류 제어법을 적용하고 그 특성을 분석, 시뮬레이션 결과와 비교할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자문부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)의 일부지원과, 산업자문부의 지원에 의하여 기초 전력연구원(02340-17, R-2003-B-342)주관으로 수행된 것임.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 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
- [2] K. Scott, W.Taama, "Performance and Modelling of a Direct Methanol Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell", Journal of Power Sources 65, pp. 159-171, 1997
- [3] [PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software Manual], Manitoba HVDC Research Centre
- [4] Min Won Park, In Keun Yu, "Photovoltaic Generation System Simulation using Real Field Weather Conditions", Journal of IKEEE, Vol. 5, No. 2, 2001
- [5] Signe Kjelstrup Ratkje, Magnar Ottov, "Thermoelectric Power Relevant for The Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell", Journal of Membrane Science 107, pp. 219-228, 1995
- [6] Kazuo Murata, Shuichi Izuchi, "An Overview of The Research and Development of Solid Polymer Electrolyte Batteries", Electrochimica Acta 45, pp. 1501-1508, 2000
- [7] P. A. Lehman, C. E. Chamberlin, "Operating Experience with a Photovoltaic Hydrogen Energy System", Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 22, No. 5, pp. 465-470, 1997