

수소제조시스템을 위한 새로운 태양광발전시스템 운전기법에 관한 연구

최종호*, 이동한*, 김종현*, 김재호*, 박민원*, 유인근*
 창원대학교*

A Novel Operational Method of PV Power Generation System for SPE

Jong-ho, Choi*, Donghan Lee*, Jong-hyun Kim*, Minwon Park*, In-Keun Yu*
 Changwon National University*

Abstract - To chase maximum power point at every moment under a conventional MPPT control method, a voltage and current coming out from PV-cell are needed to be feedbacked. So, the structure of control circuit becomes so complex and the MPPT control is in risk of control failure. In the newly developed control method, the current flowing into SPE cell is the only one considerable factor. So, the structure of control circuit becomes simple and the manufacturing cost of the control device decreases. Especially, in case of a huge system of PV-SPE system, because the voltage coming out from PV-cell is not needed to be feed backed, this system can be operated much more safely.

In this paper, the PV-SPE system was actually manufactured based on the simulation model of PSCAD/EMTDC program and the results tested were shown. Authors are sure that it is the most useful method to maximize power from PV to SPE with only a feedback of SPE input current.

1. 서 론

본 연구의 기본적인 배경이 되는 태양광 발전시스템과 SPE를 이용한 수소제조시스템(이하 PV-SPE시스템)은 태양광 발전시스템을 이용하여 저장과 수송이 용이하고 충·방전 손실이 적으며, 깨끗한 무공해 에너지, 무한계성의 에너지원, 그리고 환경친화적인 에너지인 수소에너지를 생산하는 메커니즘이다. 이 시스템의 핵심 기술은 태양광 출력의 최대 점을 추종함으로써 동시에 고체 고분자 수전해(SPE) 시스템으로 유입되는 전류를 최대화하여 수소제조 효율성을 증대하는데 있다. 최근 차세대 에너지원으로 각광받고 있는 수소에너지를 연료전지를 이용한 전기자동차의 보급과 가정용 연료전지 등의 확충으로 인해 급격한 수요증가세를 보일 것으로 예상된다. 이에 필자는 PV-SPE 시스템을 위한 새로운 MPPT 제어법을 제안하였고 기존의 MPPT 제어법과 시뮬레이션 [using PSCAD/EMTDC program]한 결과를 지난 논문에서 제시한 바 있다. 이 결과를 통해 제안된 제어법의 우수성을 증명하였고, 본 논문에서 제안된 제어법을 실제 제작된 PV-SPE 시스템에 적용하여 실험한 결과를 비교 분석하여 나타내었다. [1-4]

2. 최대입력전류제어법

태양광 발전시스템은 전압과 전류가 반비례하는 V-I 특성그래프를 가지며 항상 최적의 출력을 내기 위해 DC/DC 컨버터를 이용한 PWM 제어가 필수적이다. 이와 관련하여 다양한 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어법들이 개발되어 왔고 관련연구가 진행

중에 있다.

2.1 기존의 MPPT 제어법

기존의 MPPT 제어법 중 크게 전력비교법과 일정전압 제어를 이용한 방식으로 나눌 수 있다. 첫째, 전력비교법은 태양광 셀의 출력전압과 전류를 모두 피드백 전력과 전압의 증감을 비교함으로써 항상 최대의 출력을 추종하는 방식이다. 그러나 이 제어법은 제어 알고리즘이 복잡하여 추종제어의 실패의 위험이 크다. 반면, 일정전압 제어는 태양광 셀의 출력전압만을 피드백 받음으로써 제어 알고리즘을 단순화하여 이러한 추종제어 실패의 위험성을 최소화하였고 제어의 안정성을 극대화 하였다. 하지만 태양광 셀의 출력전압이 고정되어 있어 항상 최적의 출력을 내는 것은 아니다. 이처럼 기존의 MPPT 제어법은 각각 제어법에 대한 특정한 결점을 가지고 있는 것이 사실이다. 이에 필자는 예측할 수 없는 기상조건하에서 항상 최대 출력을 유지하면서 단지 하나의 피드백요소만을 고려하여 추종제어의 안정성 또한 갖춘 새로운 MPPT 제어법을 제안하게 되었다. [5]

2.2 제안된 최대입력전류제어법

제안된 최대입력전류제어법은 기존의 전력비교법과 제어의 알고리즘이 비슷하다. 그러나 피드백 요소로 단지 SPE cell의 입력전류 하나만을 고려함으로써 기존의 전력비교법이 가지고 있던 추종제어의 실패 가능성을 최소화 했고 제어구조 또한 간단화 하였다.

표 1 최대입력전류제어법의 개념설명

Course	Duty ratio	(V)	I=(P)	ΔDuty	(ΔV)
1(V ₀ -V ₁)	-	(+)	+ (+)	-	(+)
2(V ₁ -V ₂)	-	(+)	- (-)	+	(-)
3(V ₂ -V ₃)	+	(-)	+ (+)	-	(-)
4(V ₃ -V ₁)	+	(-)	- (-)	+	(+)

표1과 그림 1은 이 과정을 설명하고 있다. 제안된 제어법에서의 전류 I는 전력 P와 비례하므로 (P=V×I, 전압은 P-V특성곡선을 보면 비례하지 않는다는 것을 알 수 있다.) 전력비교법에서의 P성분과 동일하게 생각할 수 있게 된다. ΔDuty(Duty ratio의 변화량)는 ΔV 성분과 동일시되고 부호는 Duty ratio와 반대가 된다. 즉 시스템의 부하전류를 하나만을 피드백 받음으로써 전력비교법과 같이 최대 출력을 추종할 수 있게 되는 것이다. 과정 1에서 만약 Duty ratio가 감소하고 전류가 I가 증가하면 ΔDuty의 부호는 (-)이 된다. 이는 과정 2에서의 Duty ratio가 감소하는 것을 의미한다. 과정 2에서 Duty ratio가 감소하고 전류 I가 감소하게 되면 ΔDuty의 부호는

(+)이 되고 과정 3의 Duty ratio는 증가하게 된다. 이와 같은 과정을 표1과 같이 반복하게 되고 그림 1처럼 최대 전력점 위에서 동작되어 지게 된다.

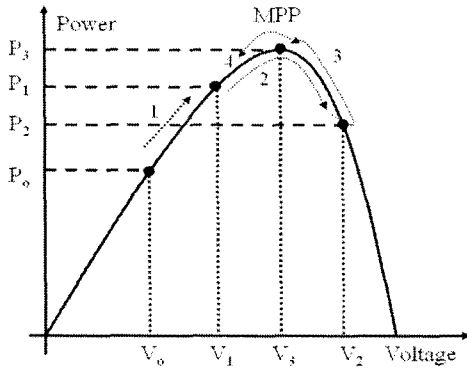


그림 1 P-V 특성곡선에 의한 최대입력전류제어법의 설명

3. 제작된 PV-SPE 시스템의 동작결과 분석

SPE 셀은 높은 전류밀도에서 고효율의 전기분해가 가능하며 전류 의존성 부하로서 소비전력은 셀 내의 순시 전류밀도와 비례하므로, DC/DC 컨버터부가 제한된 기상 조건하에서 태양광 array로부터 얼마만큼 많은 양의 전력을 SPE 셀에 공급해 주느냐가 관건이다. 이에 본 논문에서는 제작된 PV-SPE 시스템에 제안된 제어법을 적용하여 동작 결과를 분석하여 나타내었다.

3.1 PV-SPE 시스템

표 2 설치된 태양광 발전시스템의 구체적인 사양

Power	V_{oc} at 25℃	I_{sc} at 1.0kW/m ²	V_{op}	Connec-tion
300W	87.8[V] or 43.9[V]	5.23[A] or 10.46[A]	Around 70[V] or 35[V]	2*1 or 1*2

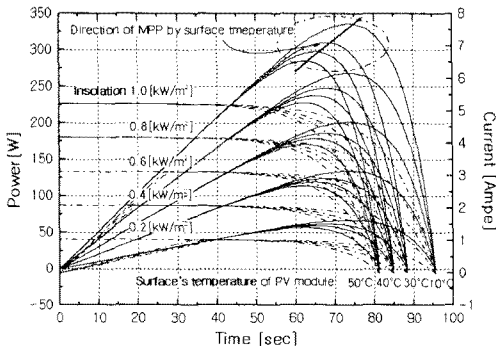


그림 2 실험에 사용된 PV array의 P-V 및 V-I 특성곡선

표2는 설치된 PV array의 구체적인 사양을 나타낸다. 태양광 셀의 특성은 V-I 특성방정식에 의해 표현되어질 수 있고 그림 2는 실제 제작된 PV-SPE 시스템의 이상적인 P-V 및 V-I 특성 곡선을 나타낸다. 그리고 그림 3은 SPE 셀의 R-I 특성 그래프를 나타냈다.[6,7]

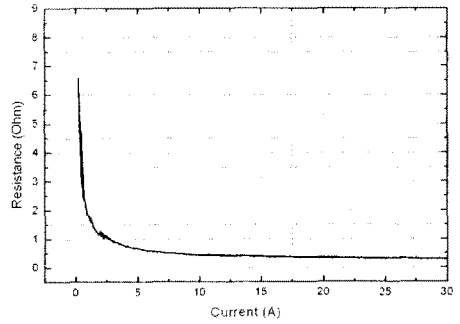


그림 3 SPE 셀의 R-I 특성그래프

3.2 실험결과 및 비교분석

본 논문에서는 최대입력전류제어법을 제작된 실제 PV-SPE 시스템에 적용하여 얻은 결과가 제시되었고 제안된 제어법의 우수성이 실제 실험결과를 바탕으로 증명 되어졌다. 그림 4는 제작된 PV-SPE 시스템을 보여 준다.

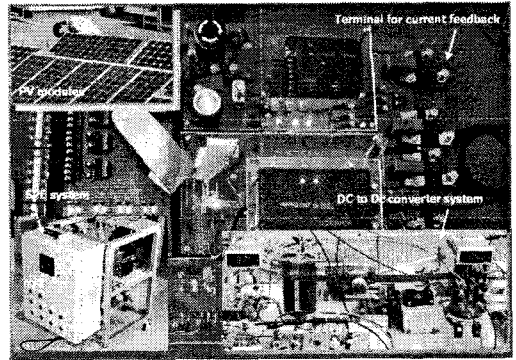


그림 4 실제 제작된 PV-SPE 시스템

3.2.1 최대입력전류제어법의 단시간 운전특성

실험 시 사용된 태양광 셀의 출력특성을 보면, 약 70[V]의 전압지점에서 최대 출력 특성을 가진다. 그래서 약 2초와 10초 동안 약 70[V]의 전압지점에서 일정전압 제어에 의한 결과와 최대입력전류제어에 의한 출력을 비교하여 그 특성 그래프를 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

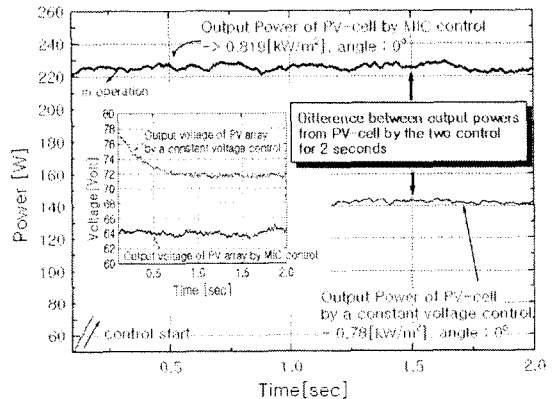


그림 5 2초 동안의 최대입력전류제어와 일정전압제어에 의한 태양광 셀의 출력전력 비교

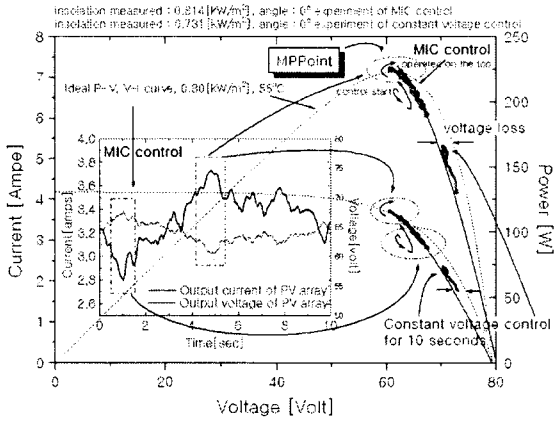


그림 6 10초 동안의 이상적인 P-V & V-I 특성곡선위의 태양광 셀의 출력전력 및 전류 비교

비슷한 일사량에서 2가지의 제어법에 의한 태양광 셀의 출력차이는 약 80[Watt] 이상 차이가 발생하였다. 또한 전류의 급격한 변화에도 최대출력지점을 추종하고 있는 것을 그림 6에 잘 나타나있다. 반면, 일정전압제어에 의한 출력 결과는 70[V] 부근에서 항상 일정한 출력을 내고 있으며 최대출력지점과 큰 차이를 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

3.2.2 최대입력전류제어법의 장시간 운전특성

위의 실험과 동일한 방법으로 약 200초 동안 각 실험시 측정된 일사량의 평균이 약 $0.75[kW/m^2]$, $0.78[kW/m^2]$ 일 때 PV-SPE 시스템을 운전하여 그 출력특성을 비교하여 그 결과를 그림 7과 그림 8에 나타냈다.

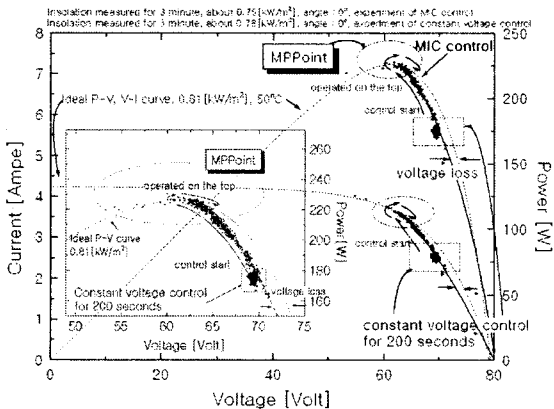


그림 7 200초 동안의 최대입력전류제어와 일정전압제어의 출력특성비교

P-V 특성곡선위에서 최대입력전류제어에 의한 출력이 최대 출력지점을 추종하는 반면, 일정전압제어는 70[V]의 전압지점에서 그 출력을 항상 일정하게 유지하는 것을 알 수 있다.

그림 8에서, SPE 시스템에 입력되는 전력 역시 최대입력전류제어에 의한 실험이 일정전압제어에 의한 실험보다 더 큰 전력을 생산한다는 것을 보여준다. SPE 셀에 유입되는 전류를 최대화 시키면서 태양광 셀의 출력전압을 최적상태로 유지하면서 태양광 셀의 출력을 최적화하고 동시에 SPE시스템으로 유입되는 전력을 최대화한다.

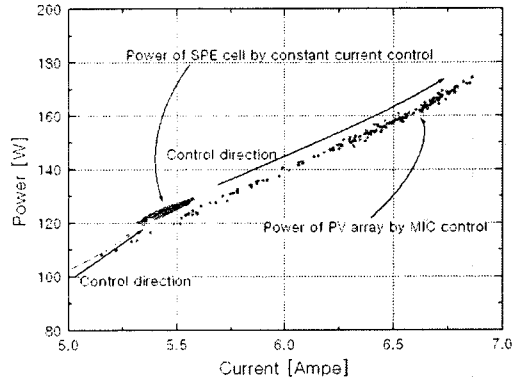


그림 8 200초 동안의 2가지 제어법에 의한 SPE 시스템의 입력전력 비교

4. 결론

현재까지 이론으로 증명된 최대입력전류제어법의 알고리즘을 실제 제작된 PV-SPE 시스템에 적용하여 기존의 MPPT 제어법보다 우수한 출력특성을 가진다는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 실제 PV-SPE 시스템에서 제어시 고려해야 할 요소를 SPE 시스템으로 유입되는 전류 하나로 줄임으로써 태양광 셀의 출력을 항상 최대로 추종하고 동시에 SPE 시스템으로 유입되는 전력 역시 최대로 유지한다는 것을 증명하였다. 또한, 기존의 MPPT 제어법 중 일정전압제어법과 그 출력특성을 비교하여 그 결과의 우수성을 나타내었다.

또한, 필자는 이 최대입력전류제어법을 부하의 종류에 관계없이 적용시킬 계획을 가지고 있다. 이와 관련된 내용은 다음 논문에 소개할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)의 지원에 의하여 수행된 것임.

[참고 문헌]

- [1] T. Tani, et al., "Optimization of solar hydrogen systems based on hydrogen production cost", Sol. Energy 68(2) (2000) 143-149.
- [2] P. A. Lehman, et al., "Design of a photovoltaic-hydrogen-fuel cell energy system", Int. J. Hydrogen Energy 16 (5) 349-352.
- [3] R. Muhida, et al., "A novel photovoltaic generation system for solid polymer electrolyte water electrolysis using reference voltage control", IEEJ National Conference, August 2000, p. 256.
- [4] [PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software Manual], Manitoba HVDC Research Centre
- [5] Min-Won Park, In-Keun Yu, "Photovoltaic Generation System Simulation using Real Field Weather Conditions", Journal of IKEEE, Vol. 5, No. 2, 2001.
- [6] Martin A. Green, "Solar Cells Operating Principles, Technology, and System Applications", 1982 by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 0763
- [7] K. Torigoe, Thermoelectric-hydrogen production system for CO2 recycle, Master Thesis, Osaka University, 1999.