

## Master-Slave 방식을 적용한 가정용 PV Charging Module 개발에 관한 연구

정도영<sup>1)</sup> · 차인수<sup>2)†</sup> · 정경환<sup>3)</sup> · 김성민<sup>4)</sup> · 김락준<sup>5)</sup> · 강병복<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>동신대학교 에너지시스템경영공학전공 교수, <sup>2)</sup>동신대학교 대학원 에너지환경공학과 교수,  
<sup>3)</sup>동신대학교 대학원 에너지환경공학과 박사과정, <sup>4)</sup>동신대학교 대학원 에너지환경공학과 석사과정,  
<sup>5)</sup>(주)명성계전, <sup>6)</sup>(주)루젠

(2019년 12월 24일 접수, 2020년 2월 7일 수정, 2020년 2월 10일 채택)

### A Study on Development of PV Charging Module for Home Using Master-Slave Method

Doyoung Chung · Insu Cha<sup>†</sup> · kyunghwan Jung\* · Sungmin Kim\* · Rakjun Kim\*\* · Byungbok Kang\*\*\*

\*\*Department of Energy System Management Engineering, Dongshin University, \*Department of  
Energy Environment Engineering, Dongshin University, \*\*Myngsung Co., \*\*\*Ruzen Co.

(Received 24 December 2019, Revised 7 February 2020, Accepted 10 February 2020)

#### 요 약

ESS의 중요성은 네트워크 신뢰성 저하 및 재생 가능 에너지원의 확장으로 인한 전력 수요의 안정화로 인해 강조되었다.

ESS (Energy Storage System)는 남은 전력을 저장하고 전력 수요를 충족시키기 위해 필요할 때 이를 사용하며 주로 태양 광 및 풍력과 연계하여 ESS 시스템을 구축한다.

본 논문에서는 낮은 일사량에 효과적인 Master-Slave 방법을 이용한 가정용 PV 충전 모듈을 제안한다. 모듈을 설계 한 후 고속 MPPT 알고리즘이 적용되어 PV 모듈의 비선형 출력 특성에서 최대 출력을 생성한다.

PV 충전 모듈의 입력에 대한 평균 전력 값은 296.90 W, 출력 전력은 289.60 W로 평균 97.54 %의 전력변환 효율을 보인다.

**주요어** : 에너지저장장치, 충전시스템, 전력변환장치, 태양광

**Abstract** - The importance of ESS has been emphasized due to stabilization of power demand due to deterioration of network reliability and expansion of renewable energy sources.

ESS (Energy Storage System) stores the remaining power and uses it when necessary to meet the power demand, and build the ESS system mainly in conjunction with solar and wind power.

In this paper, we propose a home PV Charging Module using the Master-Slave method which is effective for low insolation. After designing the module, Fast MPPT algorithm is applied to generate the maximum output from the nonlinear output characteristics of the PV modules.

The average power value for the input of PV Charging Module was 296.90 W and the output power was 289.60 W, which averaged 97.54%.

**Key words** : ESS, Charging Module, Power conversion device, PV

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
Tel : 061-330-3230 E-mail : ischa@dsu.ac.kr

## 1. 서론

태양광 발전시스템은 무한정, 무공해 등 많은 장점 때문에 에너지원으로 주목받고 있다. 최근 일본의 원전사태로 인하여 대규모 정전사태가 발생하였는데 기존에 설치된 태양광 발전시스템(주택, 상용, 발전소)도 동시에 정지되어 에너지를 생산하지 못해 문제점으로 인식됨에 따라 계통연계운전과 독립운전을 만족하는 시스템적인 요구가 증가하고 있다. 계통 연계형 태양광발전시스템은 정전 시 계통을 보호하기 위하여 단독운전방지장치를 필수적으로 포함하고 있기 때문에 정전 시에는 에너지 발전이 정지되어 태양광에너지를 효과적으로 활용할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

이에 대한 방안으로 정전시도 태양광발전시스템을 효과적으로 활용할 수 있는 에너지저장시스템(ESS)이 개발되고 있으며, ESS는 다양한 발전원에서 생산된 전력을 수요가 적을 때 저장했다가 필요할 때 공급함으로써 에너지 효율을 높이는 것으로 전력 공급 안정화, 신재생에너지 확산 등 부가가치를 창출하는 녹색분야 핵심 기술로 급성장할 것으로 예상되는 신산업 분야이다.

ESS는 비상 전원, 분산 전원, 전력품질 개선 등과 같은 사회적인 이점도 있지만, 무엇보다도 선진국을 중심으로 가정용 ESS가 보급이 확산되고 있는 이유는 Buy Low, Sell High에 있다. 특히 독일과 같이 Grid Parity에 도달한 지역에서는 전기를 구매하는 것 보다 생산-저장-소비 또는 저장-판매 구조가 경제적이다.

가정용 ESS 시장은 태양광을 비롯한 신재생에너지 보급률이 높은 유럽시장을 중심을 지속 성장하고 있다. 시장조사기관 B3 발표에 따르면, 올해 전 세계 가정용 ESS 시장은 1,259 MWh 규모이며, 2020년 약 1,889 MWh로 연평균 15% 가량 성장할 것으로 전망했다. 현재 유럽은 독일과 영국을 중심으로 주택용 소형 ESS에 대한 수요가 동시에 나타나고 있으며, 국내 기업들도 신제품 출시 등 시장 확대에 본격 대응하고 있다.

가정용 ESS에 적용된 대부분의 태양광 전력변환 시스템은 전 영역에 걸쳐 85~95%의 시스템 효율을 가지고 있으며, 최적동작상태가 아닌 저 일사량의 경우에는 최대 10~15%의 효율 손실이 발생한다.

이에 본 논문에서는 태양광과 ESS를 연계한 고수익 확보 방안으로 태양광발전에 대한 최대 에너지 생산 및 저장 기술(MPPT, 병렬운전 등) 및 태양광 전력변환장치 기술 중 저일사량에 효과적인 Master-Slave 구조적용을 통한 Master-Slave 방식을 적용한 가정용 PV Charging Module을 제안한다.

## 2. Master-Slave 이론

### 2-1. 2.1 Master-Slave 이론

태양광 전력변환장치 기술은 크게 센트럴 구조와 멀티 스트링구조, 스트링 구조, Master-Slave 구조로 나눌 수 있으며 아래 표 1은 각 구조의 동작 방법과 장단점을 나타내었다.

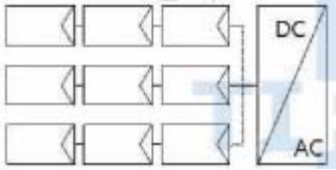
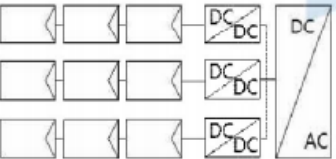
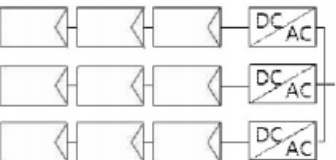
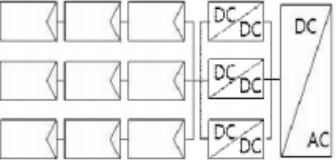
그 중 Master-Slave 구조는 전체 모듈을 여러 대의 DC/DC PCS로 변환 후 단일 DC/AC PCS로 처리하는 방식이며 비교적 낮은 설치비용과 유지보수 비용을 가지고 높은 효율을 보인다. 특히 다른 구조들에 비해 저일사량에 효과적이다. 아래 그림1은 기존 방식과 Master-Slave 방식의 효율을 비교한 것이며, Fronius의 Modular system은 Master-Slave 토폴로지를 적용하여 저출력 영역에서 기존 단상 토폴로지 대비 5% 이상 효율이 상승되었다.

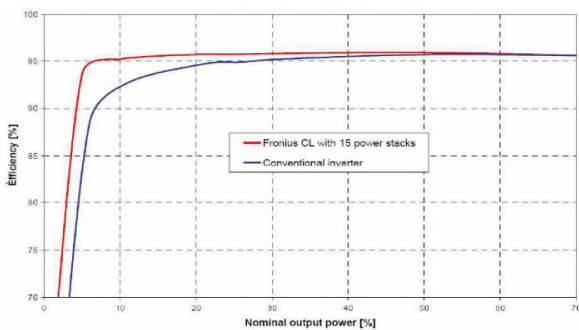
### 2-2. Charging Module 회로 설계

그림 2는 Charging module 블록도를 나타내고 있다. 태양광모듈로부터 센싱된 전압과 전류를 이용한 MPPT 알고리즘을 통해서 태양광발전량이 항상 최대가 되도록 하고, 배터리의 충전상태를 통해서 OPPT 제어를 함으로써 배터리를 보호하고 충전량이 최대가 되도록 charging module을 구성하였다. 디스플레이창을 통해서 태양광모듈의 전압-전류, 충전 전압-전류, 부하 전압-전류를 모니터링 하고, 배터리의 사용 범위를 스위치를 통해서 설정 가능하도록 구성하였다. Charging module 설계를 위한 주요 검토 사항은 다음과 같다.

charging module 설계에 필요한 관련 범주로는 메인 제어기, MOSFET 및 PWM 드라이버, 전원부, 릴레이와 다이오드, 인덕터와 커패시터 그 외, 시스템 설계 사양으로 분류할 수 있다. 메인 제어기는 알고리즘 및 제어 명령 처리를 고려하여 선정하였고, VCC는 3.3~5 V 이내, 클럭 주파수는 32 Mhz 이상, PWM 주파수는 100 kHz 이상으로 하였다. MOSFET 및 PWM 드라이버는 안정성 확보를 위하여 입력 전압 및 전류 범위보다 20% 이상 여유를 갖도록 선정하였고, 주파수는 100 kHz 이상, 듀티 사이클은 95% 이상, 전압범위는 100 V 이상으로 하였다. 전원 부는 배터리의 과방전 모드에서도 제어기가 동작하도록 태양광/배터리로 구성된 이중전원부로 구성하였고, 입력 전압은 50 V 이내, 출력 전압은 3.3 V, 5 V, 12 V로, 소스는 태양광 모듈과 배터리로 하였다. 릴레이와 다이오드를 통해 역전류와 돌입전류로부터 회로를 보호하고, 역극성에 의한 회로 소손을 방지하도록 설계하였으며, 대전류에서의 다이오드를 바이패스 하도록 하여 소비

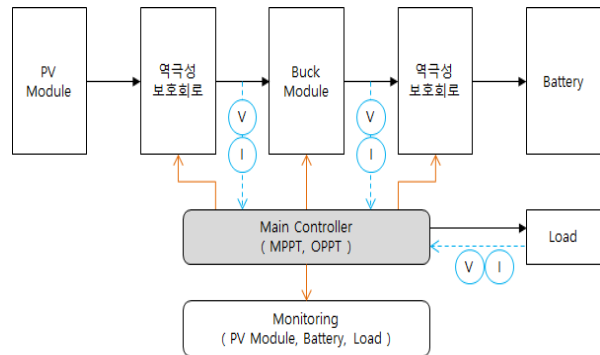
**Table 1.** Comparison of solar power inverter technology

Category	Operation	Pros and cons
<p>Central structure</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treat entire module as a single DC / AC PCS</li> <li>• MPPT control from one unit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation cost : Low</li> <li>• Maintenance cost : high</li> <li>• System efficiency : medium</li> <li>• Installation capacity : high</li> <li>• Output at low insolation : Low</li> <li>• System stress : high</li> </ul>
<p>Multistring Structure</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• After DC / DC conversion per module</li> <li>• Process with a single DC / AC PCS</li> <li>• MPPT control per string</li> <li>• Effective for partial shading</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation cost : high</li> <li>• Maintenance cost : medium</li> <li>• System efficiency : high</li> <li>• Installation capacity : medium</li> <li>• Output at low insolation : medium</li> <li>• System stress : medium</li> </ul>
<p>String structure</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Process with multiple DC / AC PCS per module group</li> <li>• MPPT control per string</li> <li>• Effective for partial shading</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation cost : high</li> <li>• Maintenance cost : low</li> <li>• System efficiency : high</li> <li>• Installation capacity : medium</li> <li>• Output at low insolation : medium</li> <li>• System stress : medium</li> </ul>
<p>Master-Slave structure</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• After converting the entire module into multiple DC / DC PCS</li> <li>• Process with a single DC / AC PCS</li> <li>• Effective at low insolation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation cost : medium</li> <li>• Maintenance cost : Low</li> <li>• System efficiency : high</li> <li>• Installation capacity : Mid-low</li> <li>• Output at low insolation : high</li> <li>• System stress : Low</li> </ul>



**Fig. 1.** Efficiency coparison between conventional and master-slave methods

전력을 감소시키고자 하였다. 인덕터는 허용전류와 내부 DC 저항을 고려하여 제작하였다. 커패시터는 ESR 낮은 전해 커패시터를 적용하되 MLCC를 병렬로 연결하여 리플을 저감하고 효율을 개선하였다. 시스템 설계 사양은 입력전압과 충전전압 범위를 50 V 이상으로, 충전전류 범위는 30 A 이상으로

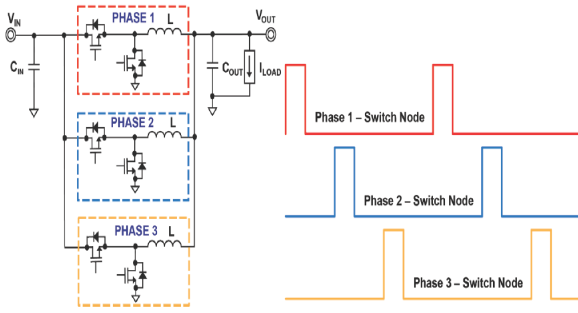


**Fig. 2.** Charging module block diagram

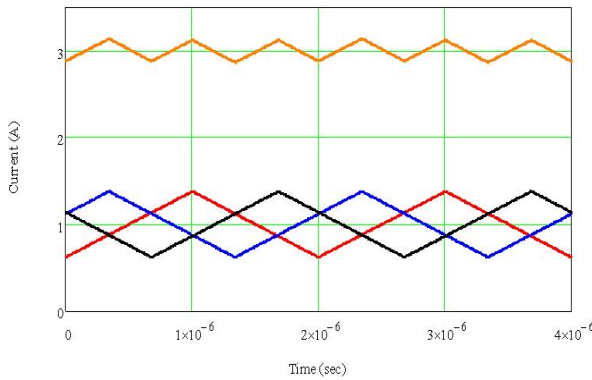
하였으며, Fast MPPT (Maximum Power Point Tracking) 전력변환 알고리즘을 적용하였다.

**2-3. 인터리브드 Buck 컨버터 회로 설계**

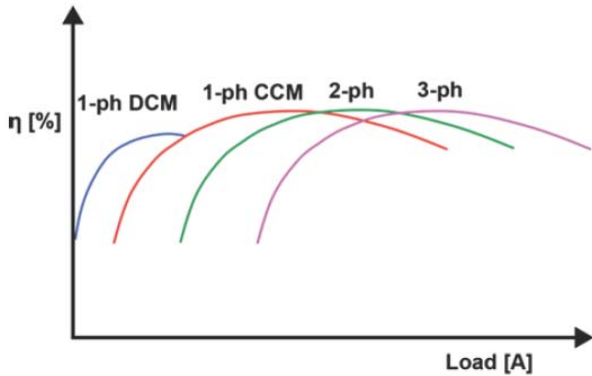
- 그림 3은 삼상 인터리브드 벅 컨버터 모듈 구성도와 각 상별 스위치 노드별 PWM 제어 신호를



**Fig. 3.** Three-phase interleaved buck converter module diagram and pwm control signal per phase switch node



**Fig. 4.** Inductor current waveform



**Fig. 5.** Correlation of output current and number of phases

나타내고 있다.

각 스위치 노드는 120도의 위상차를 가지고 병렬 전력단으로 동작하기 때문에 단일 전력단에 비해서 입/출력 커패시터 상에서 보다 낮은 전류 리플, 로드 스텝의 빠른 과도응답, 향상된 전력처리 성능 및 높은 시스템 효율 등의 장점을 가지고 있다. 인터리브드 회로의 경우에는 각 상으로 전류가 분배되기 때문에

PCB 설계에 유리하고, 열 방출에도 유리하다.

PWM 컨트롤 신호를 서로 페이즈 이동시키면 각 전력단의 전류들은 그림 4와 같이 서로 상쇄되고, 리플 전류의 소거량은 동작 듀티 사이클, 즉  $V_{out}/V_{in}$ 의 비율에 의해 좌우된다. 단일 전력단일 경우에는 FET와 인덕터에 대전류가 흐를 때 발생하는 열을 해소하기 위하여 작은 영역의 PCB에 주의가 필요하고 이러한 원인으로 인하여 효율 저하가 발생한다. 따라서 출력 전류가 높을수록 그림 5와 같이 인터리브드 회로가 유리하다.

**(1) 인터리브드 회로 주요 소자 선정**

인터리브드 회로에 필요한 주요 소자값을 계산하기 위해 아래 방정식(1)~(4)을 이용하고, 약 20 %의 여유율을 갖도록 소자값을 선정한다.

각 상의 인덕턴스 최소값을 식(1)을 적용하여 계산한다.

$$L_{1(min)} = \frac{V_{out} \times (1 - D)}{I_{pp(max)} \times f_{sw}}$$

$$= \frac{V_{out}}{I_{pp(max)} \times f_{sw}} \times \left(1 - \frac{V_{out}}{V_{in(max)}}\right)$$

$$I_{pp(max)} = \frac{I_{out}}{Phase\ Number} \times Current\ ripple\ ratio$$
(1)

입력 커패시터는 식(2)을 적용한다. 여기서,  $\eta$ 은 보수적인 효율로 낮게 설정하여 85 %로 가정한다.

$$C_{in} = \frac{I_{max} \times D_{ADJ} \times (1 - D_{ADJ})}{f_{sw} \times \Delta V_{in}}$$

$$D_{ADJ} = \frac{V_{out}}{V_{in} \times \eta}$$
(2)

출력 커패시터는 출력 리플 전압과 인덕터의 리플 전류만 고려했을 경우, 식(3)과 같이 나타낼 수 있지만, 부하변동 시에는 불안정하다. 따라서 부하변동까지 고려한 식(4)을 적용하여 출력 커패시터를 계산한다. 여기서,  $V_{ov}$ 는 출력 전압에 1% 오버슈트 값이다.

$$C_{out(min)} = \frac{V_{out} \times (1 - D) \times T_s^2}{8 \times L_1 \times \Delta V_{out}}$$

$$C_{out(min)} = \frac{L_1 \times I_{pk}^2}{(V_{ov} + V_{out}) - V_{out}^2}$$
(3)

$$I_{pk} = I_{out(max)} + \frac{I_{pp(max)}}{2}$$
(4)

**Table 2.** Interleaved circuit key device selection

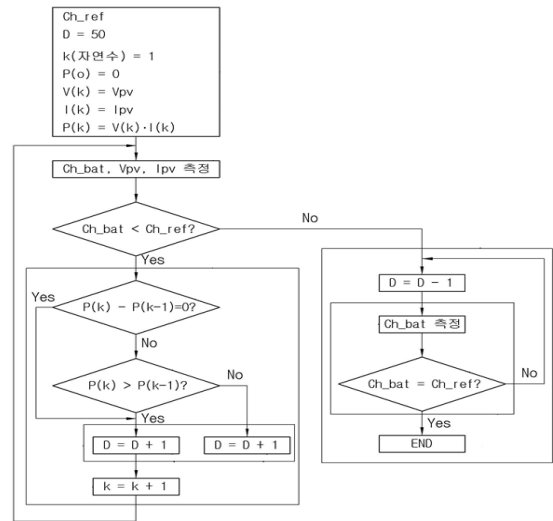
Category	Device value
Input voltage	> 50 V
Input current	> 30 A
Output voltage	> 50 V
Output current	> 30 A
Output voltage ripple	1 %
Output current ripple	20 %
Inductor for each phase	25 uH
Input capacitor	2,040 uF
Output capacitor	17,860 uF
MOSFET	150 V, 85 A, Rdson : 12 mΩ
External communication port	4 pin (Tx, Rx, GND, 3.3 V)

Table 2는 선정된 소자값을 나타낸다.

**2-4. MPPT 알고리즘 설계**

기존 P&O, IncCond 방법은 전력 비교, 전압 비교, 전류 비교, 기울기 분석 등 많은 연산량 처리를 위하여 고가의 DSP와 보조 회로가 필요하다. 이를 개선하기 위하여, 저가의 MCU를 이용해 연산 처리량을 감소시키고 데이터 처리 속도를 개선하도록 MPPT 알고리즘을 아래 그림 6과 같이 간소화하였다. 태양의 일사량이 급변하면 MPP(최대출력점)를 이탈하는 현상이 발생할 수 있고, 발전량 저하를 불러올 수 있다. 따라서 일정 기준 이상으로 태양광 전력이 급변하면 현재의 태양광 전압과 출력 전압(배터리 충전전압)을 이용해 PWM 신호를 직접 제어한 후, MPPT 알고리즘 단계로 넘어가도록 하여 MPPT 이탈에 따른 발전량 저하를 빠르게 회복할 수 있도록 하였다. 동작순서는 다음과 같다.

태양광모듈의 전압 및 전류 센싱을 통해 현재 전력을 체크한 후, 현재전력이 이전전력과 동일할 경우 듀티비를 증가시켜 전력을 상승시킨 후 리턴한다. 현재전력이 이전전력보다 클 경우에는 듀티비를 증가시켜 전력을 상승시킨 후, 현재전력이 이전전력보다 높은지 비교한다. 여전히 현재전력이 높으면 한번 더 듀티비를 증가시켜 현재전력을 증가시킨 후 리턴한다. 반대로 현재전력과 이전전력 중 이전전력이 높다면 듀티비를 감소시켜 현재전력을 감소시킨 후 리턴하는 방식을 취한다.



**Fig. 6.** MPPT algorithm block diagram

**3. Charging Module 시스템 실험조건**

**3-1. 3.1 Charging Module 실험장치**

설계한 300W 급의 단상 Charging Module 3set를 대상으로 태양광시뮬레이터, 전력분석기, 배터리의 장비를 활용하여 전자부품연구원에서 MPPT(최대출력점) 효율 및 전력변환 효율 실험을 진행하였다. 시험 구성은 입력단-태양광모듈 대신 태양광시뮬레이터를 연결하였고, 출력단-DC 부하 또는 배터리 시뮬레이터를 연결하였다. 측정 장비로는

태양광시뮬레이터, DC 부하기, 전력분석기를 사용하였다.

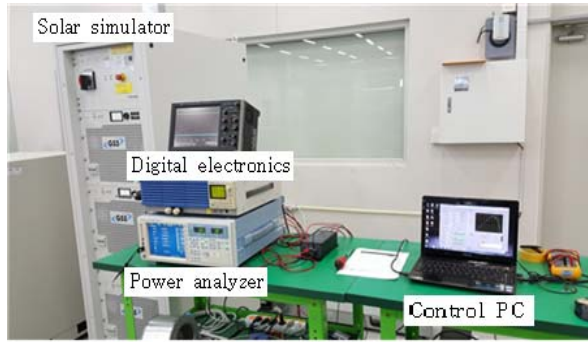


Fig. 7. Experiment and measuring device

### 3-2. Charging Module 시험조건

본 논문에서 제안한 Master-Slave방식의 가정용 PV Charging Module의 효율을 측정하기 위해 300 W급의 Charging module 3개 시료를 대상으로 시험하였다. 각 시료는 배터리 전압 25.9 V, 일사량 100 %의 시험조건 아래 성능실험을 실시하였으며, 아래 그림 8~10은 각 시료에 대한 MPPT 측정값과 전력 변환 효율 측정값을 나타낸다. 그림 8의 왼쪽 사진은 제어 PC의 SAScontrol V0.3.2.2, SASCore V0.3.8.2 프로그램을 이용하여 MPPT 효율을 측정하는 것이다. 전력분석기를 통해 실제 전류(8.920 A), 전압(33.375 V), 파워(0.288 kW)와 MPP(최대 전력점)에서의 전류(9.160), 전압(32.625 V), 파워(0.288)를 파악한 후 위의 프로그램에 기입하여 MPPT 효율(98.92 %)을 측정하는 방식이다. 그림 8의 오른쪽 사진은 실효 전압, 전류, 파워값을 통해 전력변환 효율을 측정하는 것이다. 그림 9, 10에 대한 설명은 위와 같다.

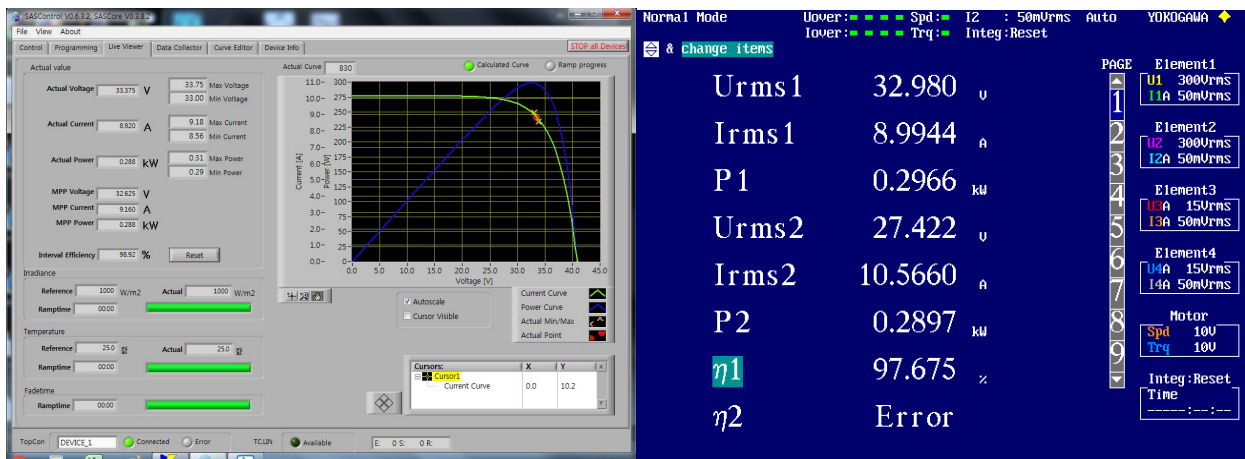


Fig. 8. MPPT efficiency and power conversion efficiency of sample 1

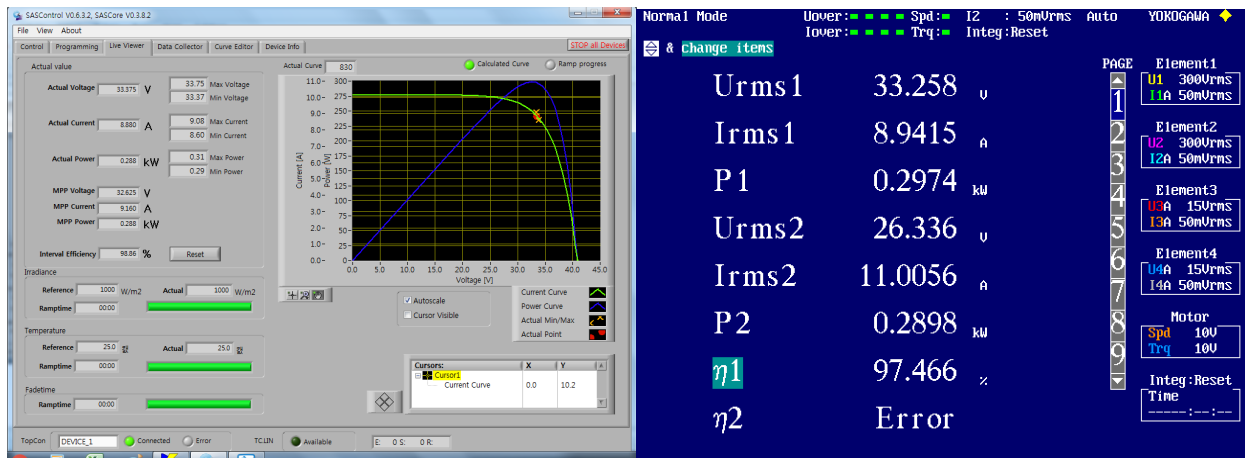


Fig. 9. MPPT efficiency and power conversion efficiency of sample 2

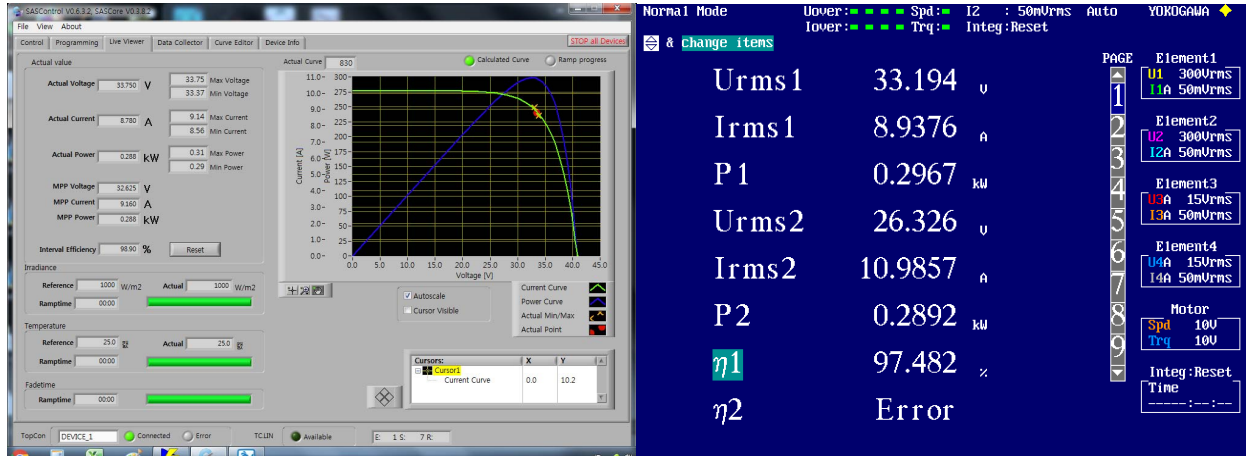


Fig. 10. MPPT efficiency and power conversion efficiency of sample 3

Table 3. Measurement of MPPT efficiency

Sample Number	Test condition (battery)		Solar simulator input and output							
	Voltage (V)	Insolation (%)	MPPT			Actual output			Calculation MPPT (%)	Interval MPPT (%)
			Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	power(W)		
1	25.90	100	32.63	9.16	298.85	33.38	8.92	297.71	99.62	98.92
2	25.90	100	32.63	9.16	298.85	33.38	8.88	296.37	99.17	98.86
3	25.90	100	32.63	9.16	298.85	33.75	8.78	296.33	99.16	98.90
Average statistics			32.63	9.16	298.85	33.50	8.86	296.80	99.32	98.89

Table 4. Power conversion efficiency measurement

Sample Number	Test condition (battery)		Solar charger input and output							
	Voltage(V)	Insolation(%)	Input			Output			Calculation efficiency (%)	Display efficiency(%)
			Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)		
1	25.90	100	32.98	8.99	296.64	27.42	10.57	289.74	97.68	97.68
2	25.90	100	33.26	8.94	297.38	26.34	11.01	289.84	97.47	97.47
3	25.90	100	33.19	8.94	296.68	26.33	10.99	289.21	97.48	97.48
Average statistics			33.14	8.96	296.90	26.70	10.86	289.60	97.54	97.54

#### 4. 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 Master-Slave방식을 적용한 가정용 PV Charging Module의 효율 측정을 위해 3

개의 시료시험한 결과 평균적으로 MPPT 효율은 98.89 %, 전력변환 효율은 97.54 % 이상을 달성하였다. 아래 표3은 3개의 시료를 대상으로 태양광 시뮬레이터를 통해 MPPT(최대 전력점) 제어를 했

을 경우의 출력값과 하지 않았을 경우의 실제 출력값을 나타내었다. MPPT 제어를 했을 경우 실제 출력값인 296.80 W보다 2.05 W 높은 298.85 W의 출력값을 보였으며, MPPT값은 계산을 통한 값(99.32%)보다 다소 0.43% 낮은 98.89%의 MPPT 값을 보였다.

표 4는 3개의 시료를 대상으로 태양광충전기를 통하여 전력변환 효율을 측정한 값을 나타내었다.

시험조건은 위와 동일하며, 입력에 대한 전력값은 평균 296.90 W, 출력에 대한 전력값은 평균 289.60 W로 평균 97.54%의 전력변환 효율을 보였다. 분석결과 Charging module을 삼상으로 병렬 운전할 경우에는 리플이 저감되기 때문에 효율은 더 높아 질 것으로 예상된다.

## 5. 결론

본 논문을 통해 개발한 Master-Slave 방식을 적용한 가정용 PV Charging Module의 성능과 운영 방법의 타당성을 시뮬레이션과 성능 시험을 통해 확인하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) Master-Slave 교차 제어로 개별 Power Block의 스트레스 저감 및 고장을 저감이 가능하다.

(2) 300 W Power Block으로 구성하여 용량 확장성과 A/S 용이성을 확보하였다.

(3) Fast MPPT 알고리즘 개발을 통해 전력 비교에 의한 Duty 직접 제어를 함으로서 데이터 처리 속도를 개선하고 일사량 급변에 대한 빠른 응답 확보가 가능하다.

본 논문에서 제안한 Master-Slave 방식을 적용한 가정용 PV Charging Module은 저 일사량에도 효과적인 Module을 기존 제품 대비 10~20% 낮은 비용으로 구축할 수 있게 함으로써 향후 가정용 ESS 시장 활성화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부의 지원을 받아 수행한 연구 과제임(과제번호: S2469921)

## References

1. P. Nezamabadi, G.B. Gharehpetian, 2011, "Electrical energy management of virtual power plants in distribution networks with renewable energy resources and energy storage systems," in Proc. EPDC '11.
2. J. Anyeol, L. Jonhyun, M. Sol, P. Jounghu, J. Heejong, 2011, "DC-Link ripple reduction of series-connected module integrated converter for Photovoltaic systems," Power 57 Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International Conference on pp. 1618-1621.
3. 김진희, 2018.06.24., 21:45, "삼성 SDI, 가정용 ESS 모듈 신제품으로 유럽 시장 공략" [첨단 헬로티].
4. 김락준, 차인수, 김동묵, 김성민, 정경환, 2018, "M/S 제어를 적용한 PV-ESS 충전시스템에 관한 연구", 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집.
5. 정경환, 차인수, 김동묵, 김락준, 김성민, 2018, "ESS 최적운영을 통한 고효율 에너지 향상에 관한 연구", 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집.
6. 김락준, 차인수, 김동묵, 김성민, 정경환, 2018, "고효율 PV-ESS 충전시스템에 관한 Master/Slave 제어기 설계", 대한전기학회추계학술대회 논문집.