

태양광 배터리 충전기를 위한 개선된 충전 알고리즘

김정현¹, 주성탁¹, 이교범[†]

An Improved Battery Charging Algorithm for PV Battery Chargers

Jung-Hyun Kim¹, Sung-Tak Jou¹, and Kyo-Beum Lee[†]

Abstract - In this paper, the proposed charging algorithm is converted from the charging mode to compensate the transient state in the solar battery charging system. The maximum power point tracking (MPPT) control methods and the various charging algorithms for the optimal battery charging are reviewed. The proposed algorithm has excellent transient characteristics compare to the previous algorithm by adding the optimal control method to compensate the transient state when the charging mode switches from the constant current mode to the constant voltage mode based on the conventional constant-current constant-voltage (CC-CV) charging algorithm. The effectiveness of the proposed method has been verified by simulations and experimental results.

Keywords: photovoltaic (PV), maximum power point tracking (MPPT), battery charger, renewable energy, constant-current, constant-voltage

1. 서 론

최근 전 세계적으로 에너지고갈 및 환경오염의 문제로 에너지의 효율적인 사용이 필요하고 이 문제에 대한 대안으로 신재생 에너지가 이슈가 되어 이에 대한 많은 연구개발이 이루어지고 있다^[1]. 다양한 신재생 에너지 중에서 태양광 에너지는 소규모 주택용부터 대규모 발전용까지 다양하게 적용 할 수 있으며 기계장치가 필요하지 않고 유지보수가 필요 없고 수명이 길다는 장점 등의 이유로 전 세계적으로 연평균 약 40%로 꾸준히 성장하고 있다^[2]. 이러한 태양광 에너지 시스템은 크게 상용전력과 연계하여 운전하는 계통 연계형과 태양광 시스템이 상용전력과 분리되어 단독으로 사용되는 독립형으로 구분되어 진다^{[3]-[5]}.

독립형 태양광 시스템은 계통에 연결할 수 없는 곳이나 소규모 태양광 발전 시스템에서 주로 사용되고 있다. 독립형 태양광 발전 시스템은 태양광 패널, 전력조절 시스템 그리고 배터리로 구성된다. 지속적으로 일정한 전

력을 발전할 수 없는 태양광 발전의 특성상 최근 개발되는 독립형 태양광 시스템에는 에너지를 저장할 수 있는 배터리가 필수 요소로 여겨지고 있다. 최근 태양광 충전기로 불리어지는 독립형 태양광 시스템은 기존의 태양광 PCS의 최대 전력점(MPPT)제어뿐만 아니라 배터리를 효율적으로 충전하기 위한 충,방전 알고리즘 및 제어기 설계가 추가적으로 고려되어야 한다^{[6][7]}. 배터리를 최적으로 운용하기 위하여 다양한 충전 알고리즘들이 연구되었다^[8]. 배터리 충전 알고리즘은 크게 정전압 충전, 정전류 충전 그리고 정전류-정전압 충전으로 구분할 수 있다^{[9][10]}. 정전류 충전은 배터리가 충전될 때까지 정전류로 충전하는 방법으로 짧은 시간내에 배터리를 충전하는데 유리하지만 정격 SOC부근에서 충전효율이 좋지 않고 충전시간을 정확하게 설정하지 않으면 과충전 문제가 발생할 수 있다. 정전압 충전은 설정된 전압으로 일정하게 유지되도록 충전하는 방법이지만 초기구간에서 배터리 전압이 낮으면 과전류가 발생할 가능성이 있고 충전시간이 과도하게 길어질 수 있다. 정전류-정전압 충전 방법은 배터리를 안정적으로 충전하기 위해 일반적으로 적용되는 충전 알고리즘으로 추정된 SOC를 이용하여 일정 구간까지는 정전류로 배터리를 충전하다가 정전압모드로 변경하여 정전압으로 배터리를 충전하는 방법이다^[11]. 하지만 충전모드가 변경되는 시점에서 과도 상태가 발생할 수 있는 문제점이 있다^[12]. 과도상태에 발생은 시스템의 정지나 파손이 될 수 있으

Paper number: TKPE-2013-18-6-1

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: kyl@ajou.ac.kr, Dept. of Electrical and Computer Eng., Ajou University

Tel: +82-31-219-2376 Fax: +82-31-212-9531

¹ Dept. of Electrical and Computer Eng., Ajou University

Manuscript received July 18, 2013; accepted Sep. 10, 2013

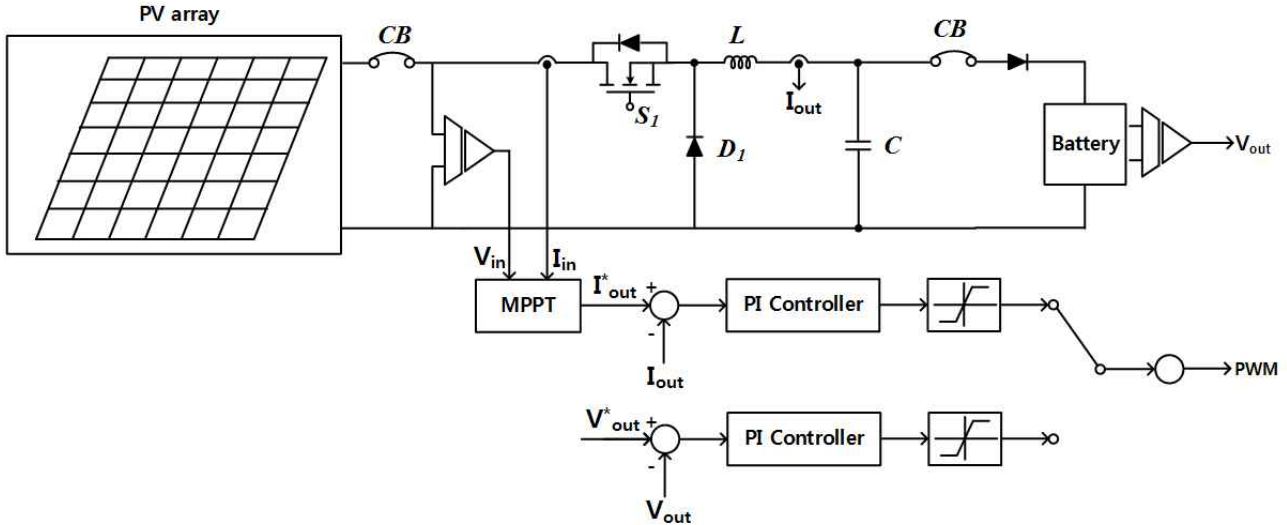


Fig. 1 Block diagram of PV Battery Chargers

므로 과도 구간에 개선이 필요하다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 기존에 사용한 PI제어기를 대신하여 퍼지-신경망 회로를 적용하는 방법과 전압제어기와 전류제어기를 직렬로 설계하여 제어모드가 자연스럽게 변경되도록 하는 충전 알고리즘이 제안되었다. 하지만 퍼지 신경망 회로를 적용하는 방법은 CPU의 연산량이 증가하는 문제점이 있고 제어기를 직렬로 설계하는 방법은 모드변경 시점을 최적의 SOC 구간에서 선정할 수 없고 시스템의 차수가 증가하여 복잡한 제어기 설계 과정이 필요하다는 단점이 있다^{[13][14]}.

2. 태양광 배터리 충전기 시스템

태양광 배터리 충전기는 일반적으로 그림 1과 같이 태양전지, 전력을 조절하는 강압형 컨버터, 그리고 에너지를 저장하는 배터리로 구성된다. 강압형 컨버터는 태양전지의 출력전압을 배터리 전압으로 강압시키는 한편 제어기의 정전류, 정전압 충전 및 MPPT제어를 통해 출력되는 통유율로 동작하여 전체적인 시스템의 제어를 담당한다. 태양전지는 빛에너지를 전기에너지로 변환시키며 일사량, 셀의 온도, 부하와 같은 외부 조건이 변화할 때 출력 특성이 변화하는 특징을 가지고 있다. 그러므로 주어진 외부조건에 대하여 태양전지는 항상 최대 전력점 근처에서 동작하도록 최대전력추종제어(MPPT)가 이루어져야 한다. 최대전력점을 추종하는 방법은 대표적으로 P&O알고리즘, IncCond 알고리즘 등으로 분류할 수 있다^{[15][16]}.

본 논문에서는 최대전력점을 추종하기 위해서 P&O (perturbation and observravion)제어를 사용한다. P&O 제어방법은 간단한 피드백 구조를 가지고 있고 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 그림 2와 같이 태양전지 어레이 출력 전압과 함께 현재 어레이

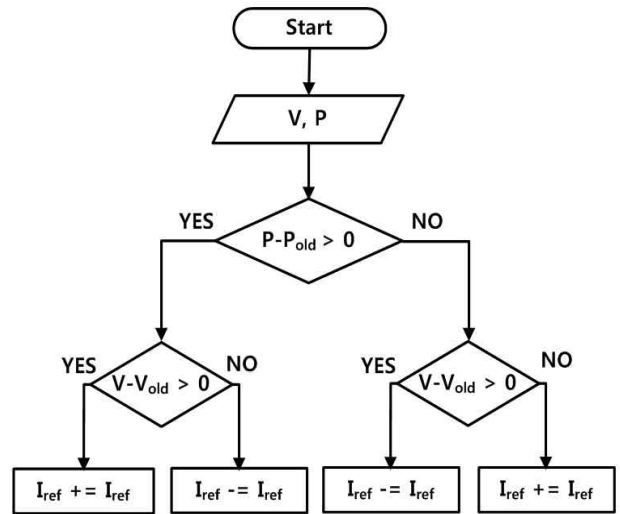


Fig. 2 P&O MPPT algorithm

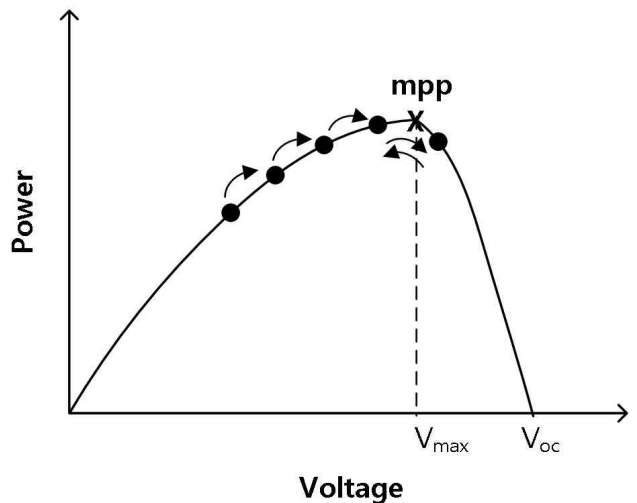


Fig. 3 Power-Voltage characteristics curve of solar array

출력 전력을 순시적으로 비교하여 최대 전력의 상태를 연속적으로 추적하게 된다. 그림 3과 같이 동작점은 전력이 상승하는 방향으로 계속해서 유지한다.

3 배터리 충전 알고리즘

3.1 기존의 배터리 충전 알고리즘

정전압 충전 알고리즘은 그림 4와 같이 배터리에 전압을 일정하게 인가되도록 하는 충전방법이다. 그림 5와 같이 정전압으로 배터리 전압을 유지 하면서 충전하므로 충전시간이 비교적 길고 초기에 배터리 전압과 설정 전압에 차이가 많을 경우에 과전류가 발생할 가능성이 있다.

그림 6은 배터리에 전류가 일정하게 인가되도록 하는 정전류 충전 알고리즘을 보인다. 본 충전 방법은 그림 7과 같이 배터리가 완전충전 되는 시점까지 일정한 전류로 충전하는데 계속해서 일정전류로 배터리를 충전하면 과충전이 발생하여 배터리의 수명 단축 및 파손 등의 문제가 발생할 수 있으므로 충전 전류값과 충전 시간을 정확하게 제어해야 한다.

그림 8은 정전압 충전 제어와 정전류 충전 제어를 직렬로 구성한 정전류-정전압 충전 알고리즘을 보인다. 그림9와 같이 출력 전류는 전압제어기 출력이 제한값보다 높으면 정전류로 충전하다가 배터리 전압의 증가에 따라서 점진적으로 감소되고 설정한 전압이 되면 정전압 충전과 동일하게 정전압으로 배터리 전압이 유지되면서 충전하는 방법이다. 본 방법은 앞서의 두가지 충전

알고리즘의 문제를 모두 해결할 수 있지만 충전모드의 전환을 최적으로 설정할 수 없다는 단점이 있다.

3.2 제안하는 배터리 충전 알고리즘

정전류-정전압 제어를 직렬로 구성한 충전 알고리즘은 배터리 전압이 증가하면서 충전전류가 서서히 떨어지게 되므로 충전 시간이 길어지게 되고 충전모드의 전환을 최적으로 설정할 수 없다는 단점이 있다. 하지만 그림 10과 같이 정전압 충전 제어와 정전류 충전 제어를 병렬로 구성한 정전류-정전압 충전 알고리즘은 배터리를 정전류 모드에서 일정한 전류로 원하는 SOC까지 충전하므로 배터리를 빠르게 충전할 수 있다. 한편 정전압 모드에서는 충전전류가 급속하게 줄어들므로 정전류 충전에는 부족한 부분만 충전하게 되어 효과적인 충전이 가능하다. 그러므로 그림 11과 같이 일정 전압까지는 정전류 모드로 배터리를 충전하고 일정 SOC가 되었을 때 정전압 모드로 변경되어 충전하는 방법이 충전시간을 줄일 수 있는 정전류-정전압 충전 알고리즘이다.

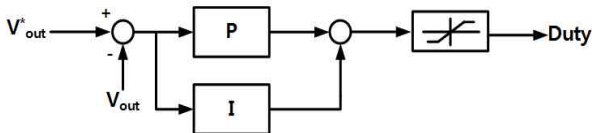


Fig. 4 Constant-voltage (CV) charging algorithm

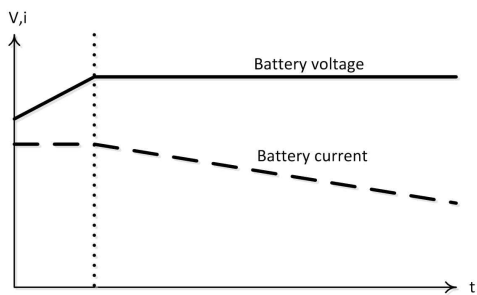


Fig. 5 Characteristic curve of the CV charging algorithm

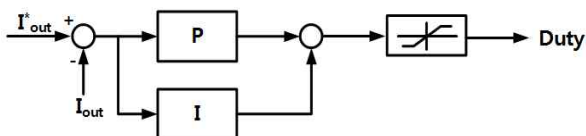


Fig. 6 Constant-current (CC) charging algorithm

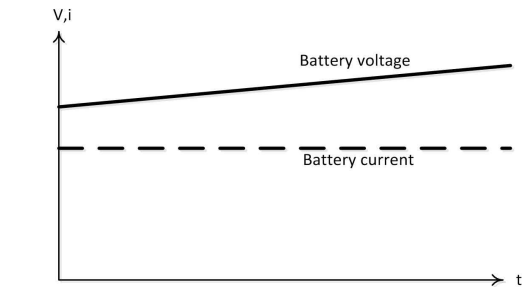


Fig. 7 Characteristic curve of the CC charging algorithm

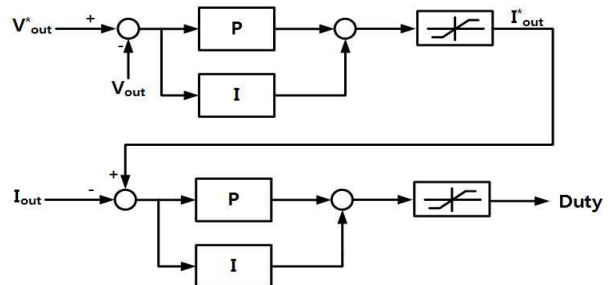


Fig. 8 Serial-type CC-CV charging algorithm

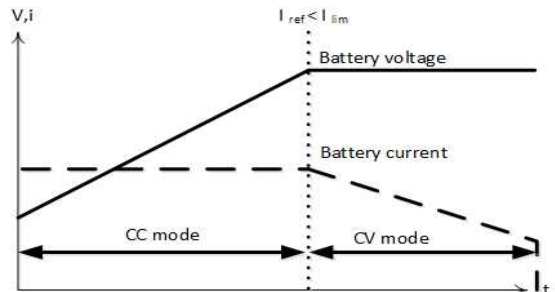


Fig. 9 Characteristic curve of the serial-type CC - CV charging algorithm

정전류-정전압을 병렬로 구성한 배터리 충전 알고리즘은 기존 충전 알고리즘보다 빠르게 배터리를 충전할 수 있는 장점이 있지만 정전류 모드에서 정전압 모드로 변환되는 구간에서 과도 구간이 발생하는 문제점을 가진다. 이와 같은 과도 구간이 발생하는 문제점은 식(1)과 같이 강압형 컨버터의 출력전압 방정식에서 초기 듀티가 0부터 시작한다면 출력전압도 0부터 서서히 증가하게 된다. 하지만 배터리 충전기의 출력은 배터리와 연결되므로 출력에는 일정전압이 인가되어 있는 상태이다. 이때, 듀티가 0부터 시작하게 된다면 실제 배터리전압과 출력전압이 차이가 발생한다. 그러므로 식(2)와 같이 출력전압이 배터리라면 듀티의 초기값이 필요하다. 이와 같은 이유로 모드 변환 시 기존의 제어기의 출력을 반영하지 못하면 듀티가 기존값과 다르게 되므로 과도 상태가 발생한다. 과도상태를 제거하기 위하여 모드가 변경 될 때 투입되는 제어기의 출력을 보상하면 듀티의 초기값을 넣어주는 효과가 발생하므로 시스템에 안정적인 운용이 가능하다. 보상방법은 전압제어기는 식 (3)과 같은 PI제어기로 구성되는데 정전류에서 정전압으로 변환 될 때 정전압 제어기의 적분값이 기존 전류제어기 적분값과 큰 차이가 발생한다. 이를 보상하기 위하여 정전류 제어기에서 출력된 듀티 정보와 정전압 제어기의 P제어기의 출력값을 이용하여 정전압 제어기에 I제어기의 초기값을 보상하므로 기존 전류제어기와 동일한 듀티로 정전압 제어를 시작하게 되어 충전 모드가 변환될 때 과도구간이 개선된다. 그러므로 과도 구간을 보상하는 알고리즘이 적용하여 안정적인 제어가 가능하다.

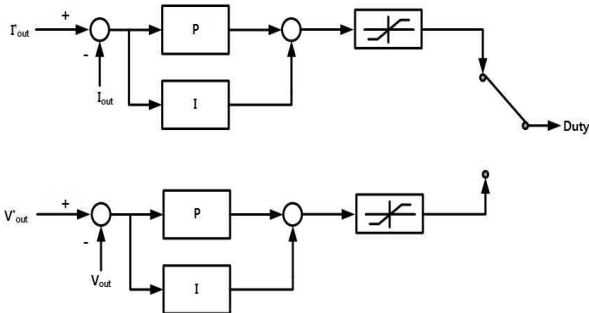


Fig. 10 Parallel-type CC-CV charging algorithm

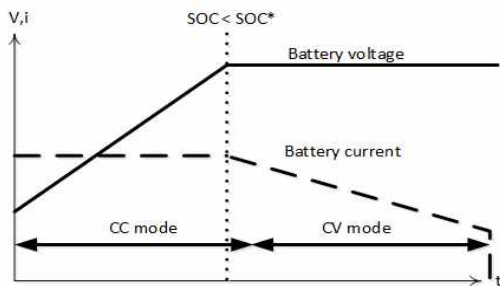


Fig. 11 Characteristic curve of the parallel-type CC-CV charging algorithm

그림 12는 모드 변환 시 보상 알고리즘을 포함하여 정전류-정전압 충전 알고리즘을 플로우차트(Flow-Chart)로 표현한 것이다. 정전류 모드로 동작 시에는 모드변환 보상 알고리즘이 동작하지 않고 정전류 모드에서 정전압 모드로 변환되는 시점에서 보상 알고리즘이 동작하도록 설계 되었다. 보상 알고리즘은 한번만 동작하여 과도구간을 보상하고 다음부터는 보상 알고리즘은 적용되지 않고 정전압 모드로 충전하게 된다. 그림 13은 정전류-정전압 알고리즘에서 모드 변환 시 과도구간을 개선하는 알고리즘을 포함한 블록다이어그램을 나타낸다. 이와 같은 방법은 기존에 PI제어기를 대신하여 뉴로-퍼지를 적용한 것보다 연산량이 증가하지 않으면서 과도 상태를 크게 줄일 수 있는 장점이 있는 보상방법이다.

$$V_{out} = DV_i \tag{1}$$

$$V_{bat} = (D + D_0) V_i \tag{2}$$

$$Duty = K_p (V_{dc}^* - V_{dc}) + K_i \int_0^T (V_{dc}^* - V_{dc}) dt \tag{3}$$

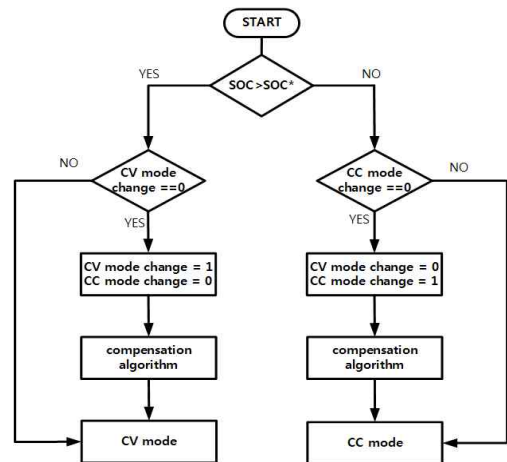


Fig. 12 The flowchart of Improved CC-CV charging algorithm

CC MODE

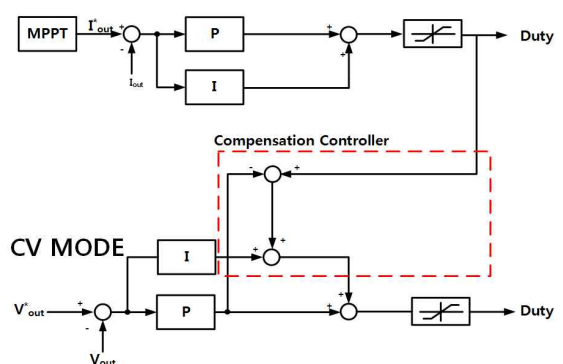


Fig. 13 The block diagram of the proposed charging algorithm

Table 1 The parameters of the solar cell and the buck converter

Parameter	Value
Maximum power (P_{max})	3[kW]
Maximum power point voltage (V_{mpp})	120 [V]
Maximum power point current (I_{mpp})	25 [A]
Temperature	25 [°C]
L1	120 [uH]
C1	1980 [uF]
C2	940 [uF]

4. 시뮬레이션

제안한 알고리즘의 검증을 위해 PSIM을 이용하여 3kW급 태양광 배터리 충전기를 모의하고 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 14는 시뮬레이션에 사용된 회로도를 보이며 표 1은 태양전지와 강압형 컨버터의 파라미터를 나타낸다.

그림 15와 그림 16은 정전류-정전압 충전 알고리즘에서 모드 변환 시에 과도상태 개선 알고리즘이 적용되기 전에 성능을 나타낸다. 초기에는 MPPT알고리즘을 수행하여 3kW까지 전력이 상승하게 되고 정전류로 배터리를 충전하면서 서서히 배터리 전압이 상승하게 된다.

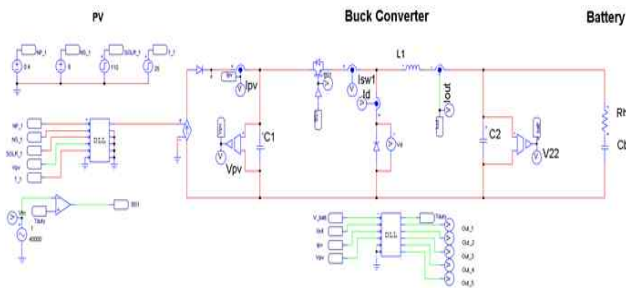


Fig. 14 The schematic of the simulation model

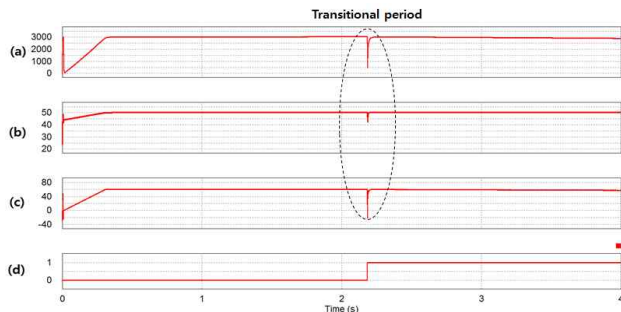


Fig. 15 Simulation results of conventional CC-CV charge algorithm (a) PV Power (b) Battery voltage (c) Battery current (d) Charge mode

그리고 SOC가 90%가 되었을 때 충전 모드가 정전류 모드에서 정전압 모드로 변환된다. 모드변환 구간에서 과도구간 보상 알고리즘이 적용되지 않아서 배터리의 전압은 10V, 전류는 50A 그리고 태양전지 전력은 2kW로 큰 맥동이 생기는 것을 확인하였다.

그림 17과 그림 18은 위와 동일한 조건에서 정전류-정전압 충전 알고리즘에서 모드 변환 시에 과도상태 개선 알고리즘이 적용된 후에 성능을 나타낸다.

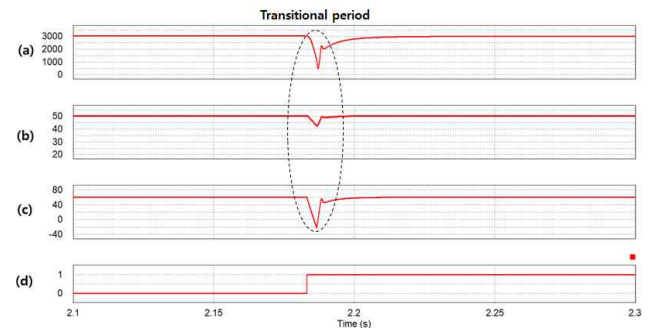


Fig. 16 Simulation results of conventional CC-CV charge algorithm (expanded waveform) (a) PV Power (b) Battery voltage (c) Battery current (d) Charge mode

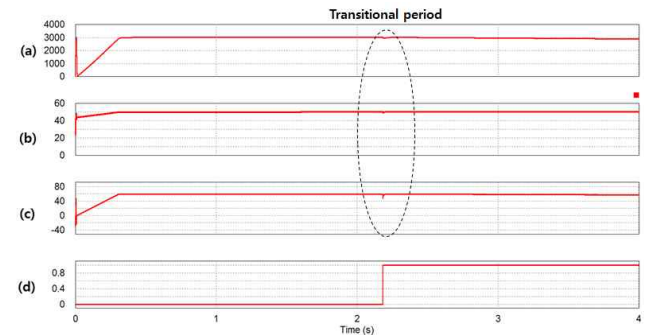


Fig. 17 Simulation results of improved CC-CV charge algorithm (a) PV Power (b) Battery voltage (c) Battery current (d) Charge mode

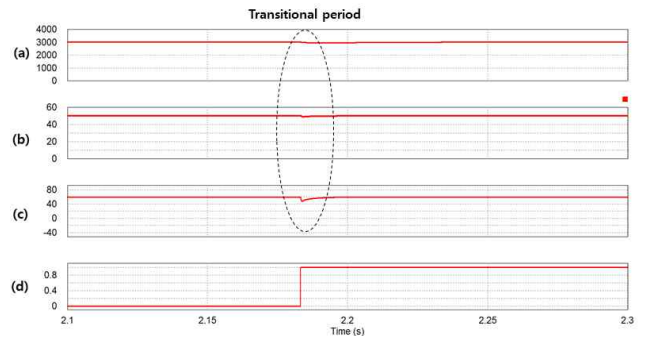


Fig. 18 Simulation results of improved CC-CV charge algorithm (expanded waveform) (a) PV Power (b) Battery voltage (c) Battery current (d) Charge mode

초기에는 위와 동일한 방식으로 정전류 제어를 수행하고 SOC가 90%가 되었을 때 정전류 모드에서 정전압 모드로 변환된다. 본 과형에서는 모드 변환 시에 과도상태를 개선하는 알고리즘이 추가되어서 기존에 발생하던 큰 맥동이 저감 되므로 배터리 전압은 1V, 전류는 10A로 그리고 태양전지 전력은 100W로 상당부분 저감된 것을 확인하였다.

5. 실험결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 실험하기 위하여 그림 19와 같은 배터리 충전기를 이용하여 실험하였다. 제어부는 TMS320F28069를 이용하였고 전력변환부는 강압형 컨버터로 구성되었다. 그림 20은 태양전지를 모의하기 위한 태양전지 시뮬레이터를 나타내고 그림 21은 배터리 충전기 시험에 사용한 납축전지로 4개를 직렬 연결하여 48V, 60AH 정격으로 구성하였다.

그림 22와 23은 정전류-정전압 충전 알고리즘에서 모드 변환 시 과도상태 개선 알고리즘이 적용되기 전의 실험 파형을 나타낸다. 시뮬레이션과 동일하게 초기에는 MPPT 알고리즘을 수행하여 전력이 상승하고 정전류 모드로 배터리를 충전한다. 그리고 SOC가 90%가 되었을 때 충전모드가 정전류 모드에서 정전압 모드로 변환

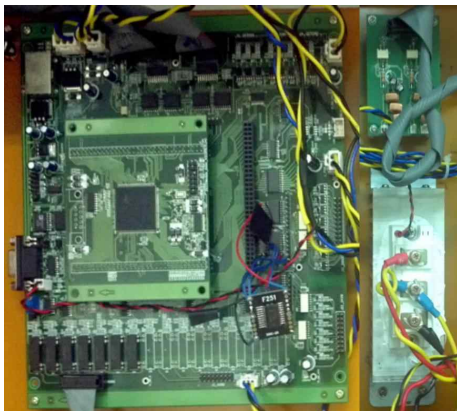


Fig. 19 Experimental set-up of the 3kW PV battery charger



Fig. 20 The PV simulator



Fig. 21 The lead-acid battery(12V, 60AH)

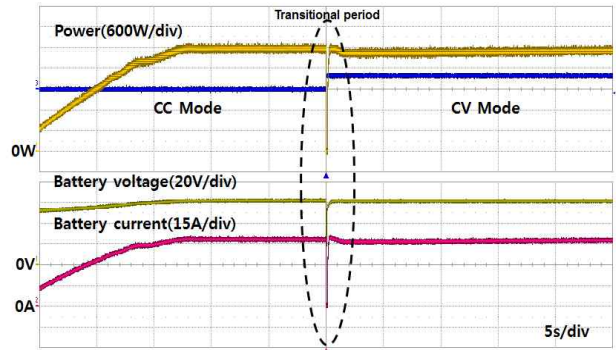


Fig. 22 Experimental results of conventional charge algorithm

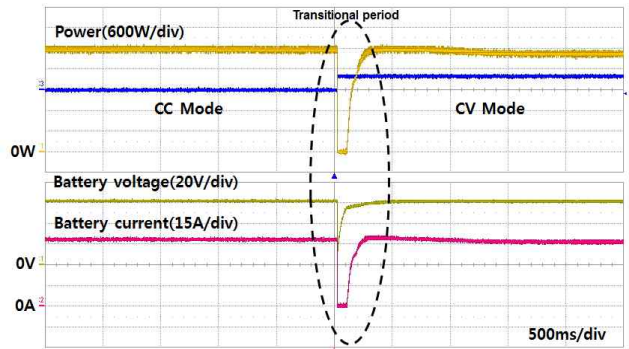


Fig. 23 Experimental results of conventional charge algorithm (expanded waveform)

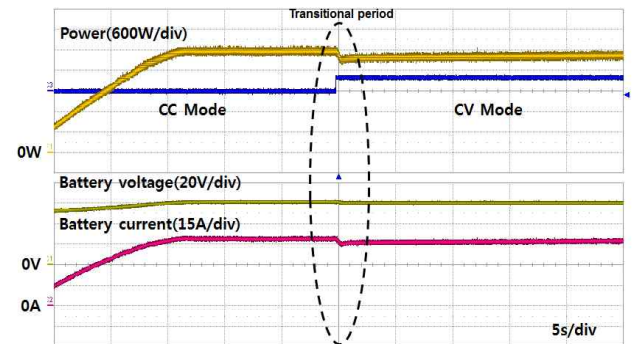


Fig. 24 Experimental results of the proposed charging algorithm

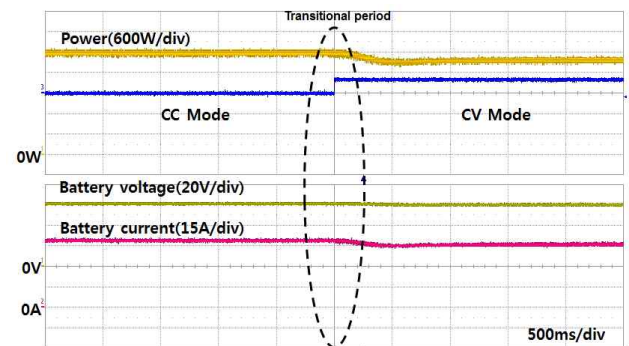


Fig. 25 Experimental results of the proposed charging algorithm (expanded waveform)

된다. 모드변환 구간에서 시뮬레이션과 동일하게 전압은 20V, 전류는 50A 그리고 전력은 3kW의 큰 맥동이 발생하는 것을 확인하였다.

그림 24와 25는 정전류-정전압 충전 알고리즘에서 모드 변환 시에 과도상태를 개선하는 알고리즘을 적용한 실험 파형이다. MPPT를 수행하여 전력이 상승한 후에 정전류 모드에서 정전압 모드로 변경 될 때 정전류 모드의 통유율이 효과적으로 정전압 제어기에 보상 됨으로써 그림 22 및 23에서 발생하던 전압, 전류 및 전력의 맥동이 제거되는 것을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 태양광 배터리 충전기를 위한 개선된 충전 알고리즘을 제안하였다. 기존 정전류-정전압 충전 알고리즘에서 충전모드가 변환되는 구간에서 발생하는 전압, 전류 및 전력의 과도구간을 개선하기 위하여 기존의 충전 알고리즘에서 모드 변환 시에 과도구간을 개선하는 알고리즘을 추가하여 제안하였다. 이러한 개선된 태양광 배터리 충전 알고리즘은 과도 상태를 최소화하는 최적의 성능을 보여주었다. 이를 통하여 과도 구간이 개선되므로 배터리를 안정적으로 사용 가능하고 배터리 충전기의 성능 또한 크게 개선되었다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션과 실험으로 검증하였다.

본 연구는 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (20114010203030)

References

- [1] F. Blaabjerg, F. Iov, T. Kerekes, R. Teodorescu, "Trends in powerelectronics and control of renewable energy systems," in *14th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC)*, pp. 1-19, 2010.
- [2] Yan H, Zhou Z, Lu H, "Photovoltaic industry and market investigation," *IEEE Sustainable Power Generation and Supply*, 2009.
- [3] Pichlík P, Zděnek J "Converter Regulation of Stand-Alone Photovoltaic System at Low Solar Radiation," *Applied Electronics (AE), 2012 International Conference on*, pp. 207-201, 2012.
- [4] B. S. Lee, J. S. Lee, and K. B. Lee, "Performance Improvement of a Grid-Connected Inverter System using a Sliding-Mode Based Direct Power Control with a Variable Gain," *Journal of the Korean Institute Power Electronics*, Vol. 17, No. 1, pp. 57-66, Feb. 2012.
- [5] H. Y. Lee, D. K. Choi, and K. B. Lee, "Sensorless MPPT Control of a Grid-Connected Wind Power System Using a Neuro-Fuzzy Controller," *Journal of the Korean Institute Power Electronics*, Vol. 16, No. 4, pp. 396-404, Aug. 2011.
- [6] V. Salas, E. Olias, A. Barrado, and A. Lazaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 90, No. 11, pp. 1555 - 1578, Jul. 2006.
- [7] D. K. Choi, and K. B. Lee, "Variable Step-Size MPPT Control based on Fuzzy Logic for a Small Wind Power System," *Journal of the Korean Institute Power Electronics*, Vol. 17, No. 3, pp. 205-212, June. 2012.
- [8] H. G. Jeong, and K. B. Lee, "A Controller Design for a Stability Improvement of an On-Board Battery Charger," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 8, No. 4, pp. 951-958, July. 2013.
- [9] Chanakya B. Bhatt, Vinod P. Patel and Nimit K. Sheth, "High Battery Charger," *International Conference on Electrical Machin Syetem 2007*, pp. 1772-1777, Oct 2007.
- [10] K. Kim, S. Park, S. Lee, and T. Lee, "Battery charging system for PHEV and EV using single phase AC/DC PWM buck converter," in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 1-6, 2010.
- [11] J. S. Moon, Y. S. Lee, Y. R. Kim C. Y. Won. "Fast charging technique for EV battery charger using three-phase AC-DC boost converter," *IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 4577-4582, Nov. 2011.
- [12] J. S. Moon, J. H. Lee, I. Y. Ha, Taeck-Kie Lee, C. Y. Won, "An efficient battery charging algorithm based on state-of-charge estimation for electric vehicle," *Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011 International Conference on*, pp. 1-6, Aug 2011.
- [13] K. Y. Kim, S, H. Park, S. K. Lee, T. K. Lee, C. Y. Won, "Battery charging system for PHEV and EV using single phase AC/DC PWM buck converter," *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 1217-1226, Sept. 2010.
- [14] F.-J. Lin, M.-S. Huang, P.-Y. Yeh, H.-C. Tsai, and C.-H. Kuan, "DSP-based probabilistic fuzzy neural network control for li-ion battery charger," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 27, No. 8, pp. 3782 - 3794, Aug. 2012.
- [15] T. ESRAM and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," *IEEE Trans. Energy Convers.*, Vol. 22, No. 2, pp. 439-449, Jun. 2007.
- [16] R. Kadri, J. P. Gaubert, and G. Champenois, "An Improved Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Grid-Connected Inverter Based on Voltage-Oriented Control," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 58, No. 1, pp. 66-75, Jan. 2011.



김정현(金正賢)

1983년 6월 19일생. 2011년 충주대 정보제어공학과 졸업. 2012년~현재 아주대 전자공학과 대학원 석사과정.



주성탁(朱成鐸)

1979년 12월 18일생. 2005년 아주대 전자공학부 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전자공학부 석박사통합과정.



이교범(李敎範)

1972년 6월 30일생. 1997년 아주대 공대 전자공학부 졸업. 1999년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2003년 고려대 전기공학과 졸업(공학박). 2003년~2006년 The Institute of Energy Technology, Aalborg University in Denmark. 2006년~2007년 전북대 전자정보공학부 조교수. 2007년~현재 아주대 전자공학부 부교수. 당 학회 JPE 편집위원.