

저궤도 인공위성용 Regulated Peak Power Tracking(RPPT) 시스템을 위한 단순화된 직-병렬 구조

梁正煥[†], 裴鉉修^{*}, 李載昊^{*}, 趙普衡^{**}

A Simplified Series-Parallel Structure for the RPPT (Regulated Peak Power Tracking) system

Jeong-Hwan Yang, Hyun-Su Bae, Jea-ho Lee and Bo-Hyung Cho

요 약

기존의 저궤도 인공위성 전력계 시스템에 사용된 직렬 구조, 병렬 구조는 공전 주기 동안 두 번의 전력변환 과정을 거쳐 시스템의 효율을 감소시킨다. 직-병렬 구조는 한 번의 전력변환 과정을 거쳐 시스템의 효율을 향상시키지만 레귤레이터가 추가됨으로써 시스템의 비용과 무게, 크기를 증가시킨다. 본 논문에서는 레귤레이터의 추가없이 시스템의 효율을 향상시키는 단순화된 직-병렬 구조를 제안한다. 인공위성이 지구를 공전하는 동안 상황에 따라 변화하는 제안한 구조의 동작을 네 가지 모드로 분류하고, 각 모드마다 제안한 시스템을 안정적인 동작을 확인하기 위하여 대신호 분석을 수행하였다. 실험을 통하여 기존의 직렬구조와 제안한 구조의 효율을 비교하였다. 제안한 구조의 안정적인 동작을 검증하기 위해 200W급 태양전지와 TMS320F2812 DSP로 제어되는 100W급 전력조절기 두 모듈을 병렬로 구성하여 실험하였다.

ABSTRACT

The regulated peak power tracking (RPPT) systems such as the series structure and the parallel structure are commonly used in the satellite space power system. However, this structure processes the solar array power to the load through two regulators during one orbit cycle, which reduces the energy transfer efficiency. The series-parallel structure for the RPPT system can improve the power conversion efficiency, but an additional regulator increases the cost, size and weight of the system. In this paper, a simplified series-parallel space power system that consists of two regulators is proposed. The proposed system has the similar energy transfer efficiency with the series-parallel structure by adding one switch to the series structure, which reduces the cost, size and the weight. The large signal stability analyses is provided to understand the four main modes of system operation. In order to compare the energy efficiency with a series structure, the simulation is performed. The experimental verifications are performed using a prototype hardware with TMS320F2812 DSP and 200W solar arrays.

Key Words : LEO(Low-Earth-Orbit) satellite, Space power system, Series structure, Parallel structure

1. 서 론

[†]교신저자 : 정회원, 서울대 전기컴퓨터공학부 석사과정
E-mail : jerry369@snu.ac.kr

^{*}정회원, 서울대 전기컴퓨터공학부 박사과정

^{**}정회원, 서울대 전기컴퓨터공학부 교수

접수일자 : 2007. 12. 21 1차 심사 : 2008. 1. 23

심사완료 : 2008. 2. 5

저궤도 인공위성 전력계 시스템의 에너지 원은 주 에너지 원인 태양 전지와 보조 에너지 원인 배터리로 구성되어 있다. 전력계 시스템의 주 에너지원으로 사용되는 태양 전지는 부하가 요구하는 전력을 공급하고,

배터리에 에너지를 저장한다. 배터리는 인공위성이 식구간에 있는 동안에 에너지원으로 쓰일 뿐만 아니라 일광구간에 에너지 저장용으로도 쓰인다. 현재의 인공위성은 과거보다 다양한 임무를 수행하기 때문에 전력 요구량이 증가 하였다. 따라서 인공위성의 에너지 원인 태양전지와 배터리 또한 그 용량이 증대 되었다. 이에 따라 태양전지와 배터리의 용량을 줄여 인공위성의 경량화에 기여할 수 있는 고효율의 인공위성 전력계 시스템이 요구된다. 본 논문에서는 시스템의 경량화, 고효율화를 위해 적은 소자를 사용하여 인공위성 전력계 시스템의 전체 효율을 증대시키는 단순화된 직-병렬 구조를 제안한다.

2. 기존의 인공위성 전력계 시스템의 구조 분석

2.1 직렬 구조

그림 1-(a)는 인공위성 전력계 시스템에 주로 쓰이는 직렬구조이다. 태양전지와 배터리 사이에 위치하여 태양전지의 전압을 제어하거나 배터리 만충 시 배터리 전압을 제어하는 태양전지 레귤레이터, 배터리와 부하 사이에 위치하여 부하의 전압을 제어하는 배터리 방전 레귤레이터로 이루어져 있다. 직렬구조는 부하의 전력 용량 수정 시 해당하는 컨버터 용량만 수정하므로 모듈변경이 유리하며, 인공위성 전력계 시스템에 필요한 최소한의 레귤레이터를 사용하므로 경량급 소형위성에 유리하다. 그러나 일광구간 동안 태양전지에서 발전된 전력이 부하로 이동할 때 태양전지 레귤레이터와 배터리 방전 레귤레이터를 통과하므로 두 번의 전력 변환 과정을 거친다. 이에 따라 태양전지는 부하가 요구하는 전력과 추가적으로 전력 변환 과정에서 손실되는 전력을 공급해야 하므로, 전체 시스템 측면에서 효율이 감소한다^[1,2].

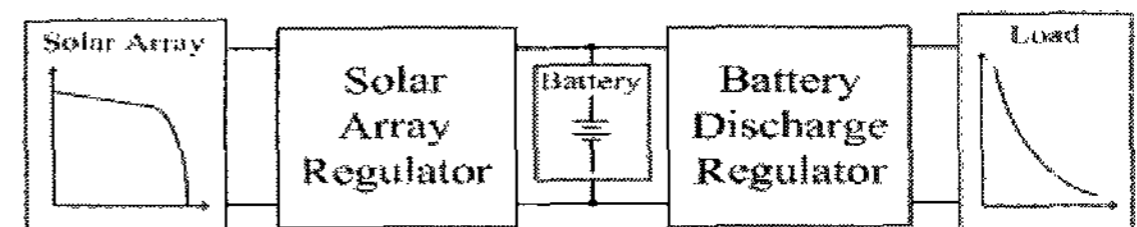
2.2 병렬 구조

그림 1-(b)는 병렬구조 시스템을 나타낸다. 병렬 구조 시스템은 태양전지와 배터리 사이에 위치한 태양전지 레귤레이터, 태양전지와 부하 사이에 위치한 버스 레귤레이터로 이루어져 있다. 인공위성이 식구간에 들어가면 배터리의 에너지가 태양전지 레귤레이터와 버스 레귤레이터를 통과하므로 두 번의 전력손실이 생긴다. 일반적으로 식구간이 일광구간보다 짧기 때문에 직렬구조 시스템에 비해서 효율이 높다. 그러나 양방향 태양전지 레귤레이터를 사용해야 하고, 주변 환경 및

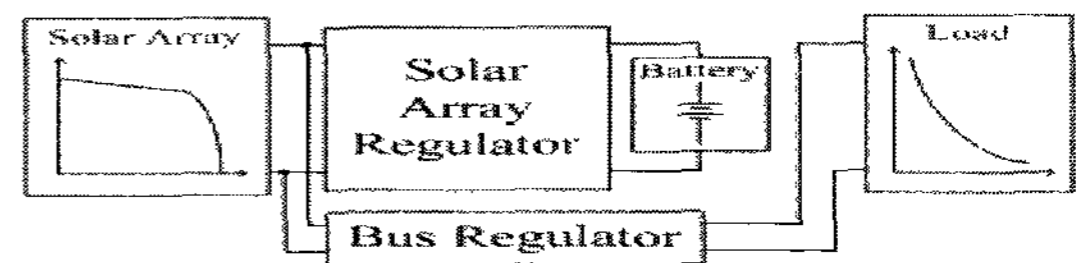
부하변동에 따른 운용 알고리즘의 추가로 인해 제어가 직렬구조에 비해 복잡하다^[3].

2.3 직-병렬 구조

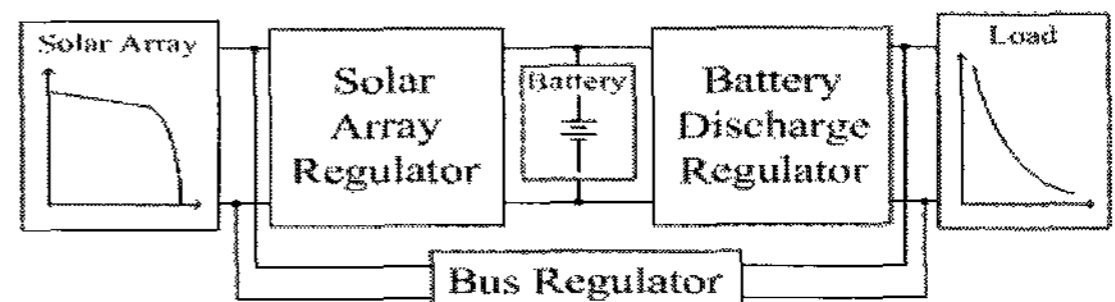
그림 1-(c)는 직-병렬 구조 전력계 시스템을 나타낸다. 직-병렬 구조는 일광구간에서 태양전지에서 발전된 전력이 부하로 이동할 때 두 번의 전력 변환 과정을 거쳐 효율이 낮아지는 직렬구조의 단점을 해결한 구조로써, 태양전지에서 부하까지 전력을 전달해주는 버스 레귤레이터가 추가된 구조이다. 태양전지에서 부하까지 전력이 이동할 때, 하나의 레귤레이터만 거치므로 효율이 높다. 그러나 직렬구조에 비해 레귤레이터의 개수가 늘어나므로 추가적으로 비용이 들고, 전력계 시스템의 부피가 커져 소형의 인공위성에서 적용하기 어렵다. 또한 제어가 복잡해진다^[3].



(a) 직렬구조형 인공위성 전력계 시스템
(a) A series configuration of the space power system



(b) 병렬 구조형 인공위성 전력계 시스템
(b) A parallel configuration of the space power system



(c) 직-병렬 구조형 인공위성 전력계 시스템
(c) A Series-parallel configuration of the space power system

그림 1 저궤도 인공위성의 태양전지 전력시스템
Fig. 1 The solar array power system for the LEO satellite

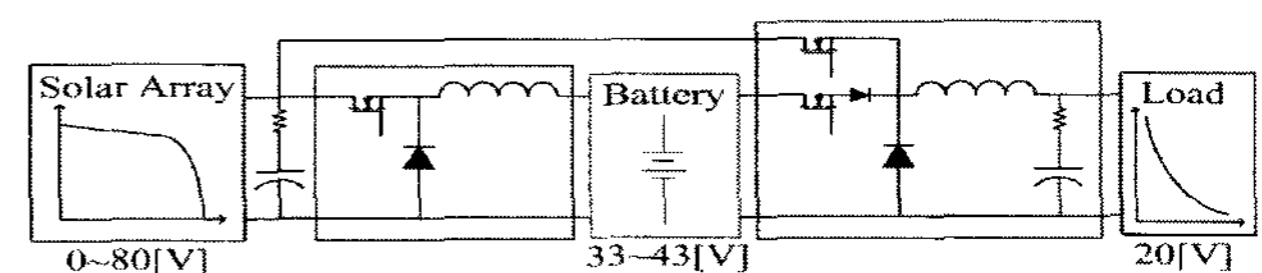


그림 2 단순화된 직-병렬 구조형 인공위성 전력계 시스템
Fig. 2 A Simplified Series-Parallel structure for space power system

3. 단순화된 직-병렬 구조

그림 2는 단순화된 직-병렬 구조를 나타낸다. 이 구조는 기존의 직렬구조의 버스 레귤레이터에 스위치 하나를 추가하여 이를 태양전지에 연결한 것이다. 직렬 구조, 병렬 구조에 레귤레이터가 하나 더 추가되는 직-병렬 구조에 비해 간단하며, 비용과 무게, 부피를 줄일 수 있다. 일광구간에서 배터리에 연결된 스위치는 동작하지 않고, 태양전지에 연결된 스위치가 동작하여 태양전지의 에너지가 버스 레귤레이터를 거쳐 부하로 전달된다. 따라서 기존의 직렬구조의 태양전지 에너지가 태양전지 레귤레이터와 버스 레귤레이터, 두 개의 레귤레이터를 통과함에 따라 생기는 전력 손실을 줄여 전력계 시스템의 효율을 증가시킨다. 그러나 버스 레귤레이터의 두 개의 스위치 중 어떤 스위치를 동작시켜야 하는지 결정하는 제어가 필요하다. 따라서 제어가 복잡해지나 디지털 컨트롤러로 제어 알고리즘을 구현할 수 있다.

4. 단순화된 직-병렬구조의 동작 모드

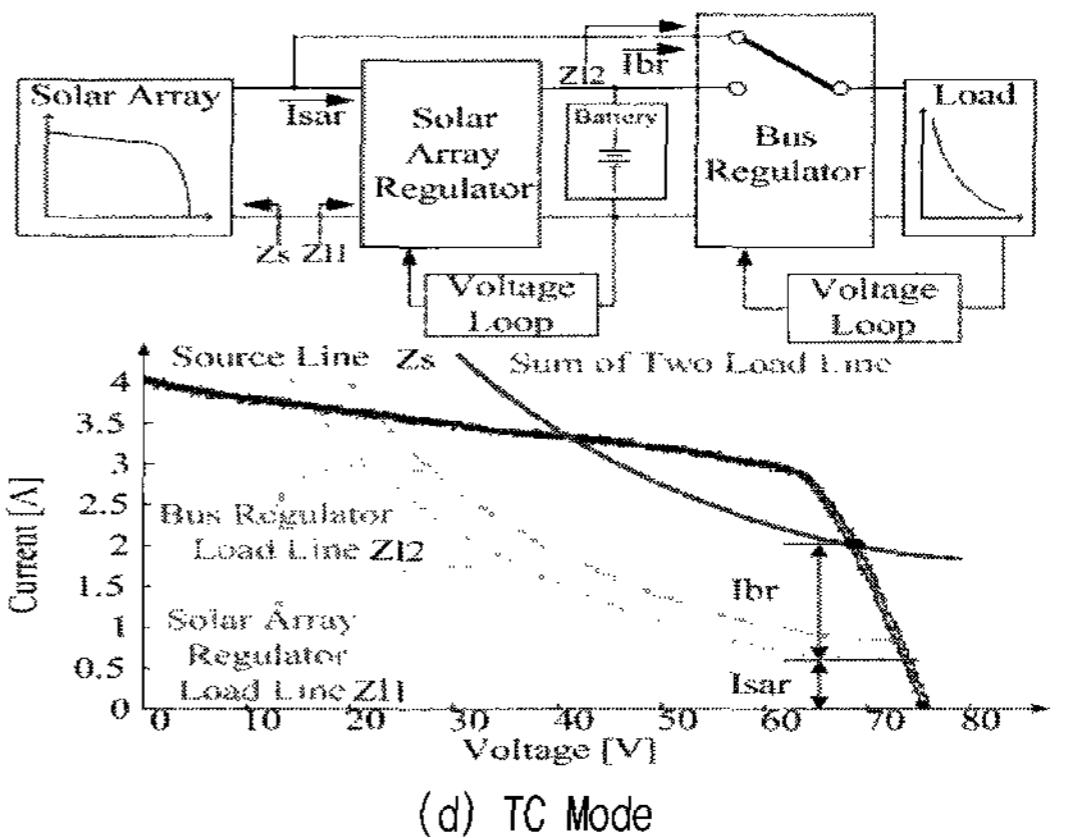
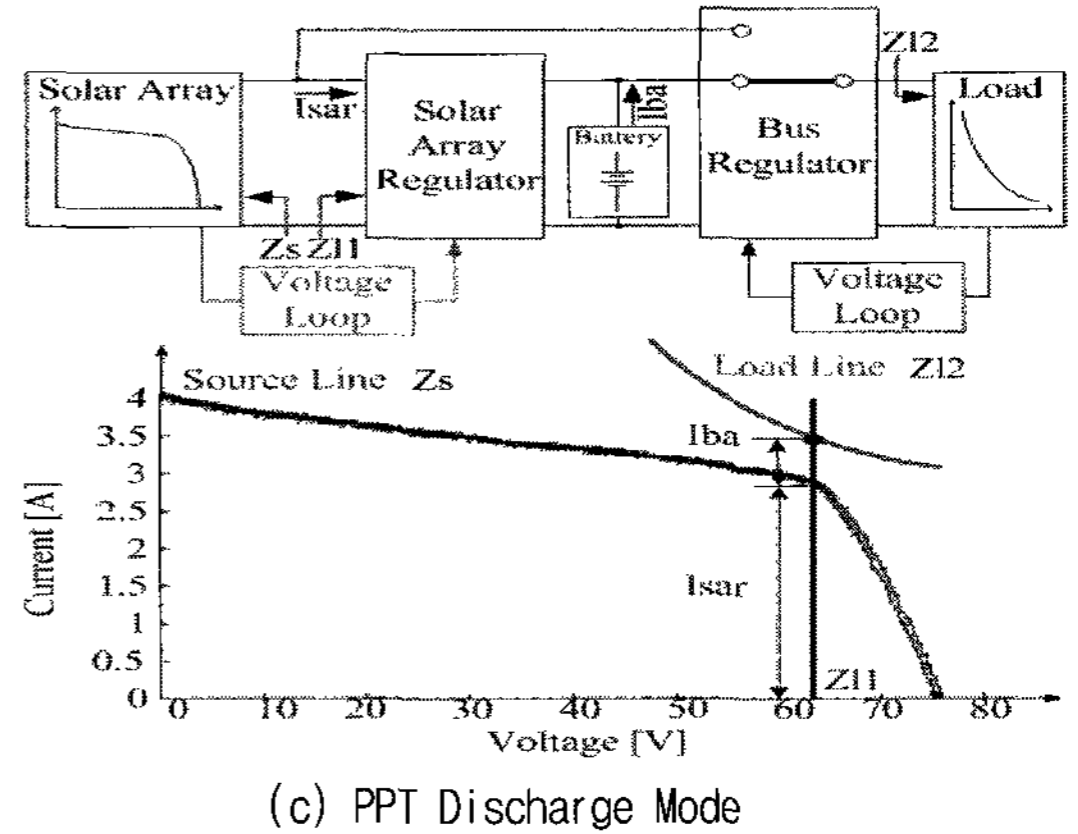
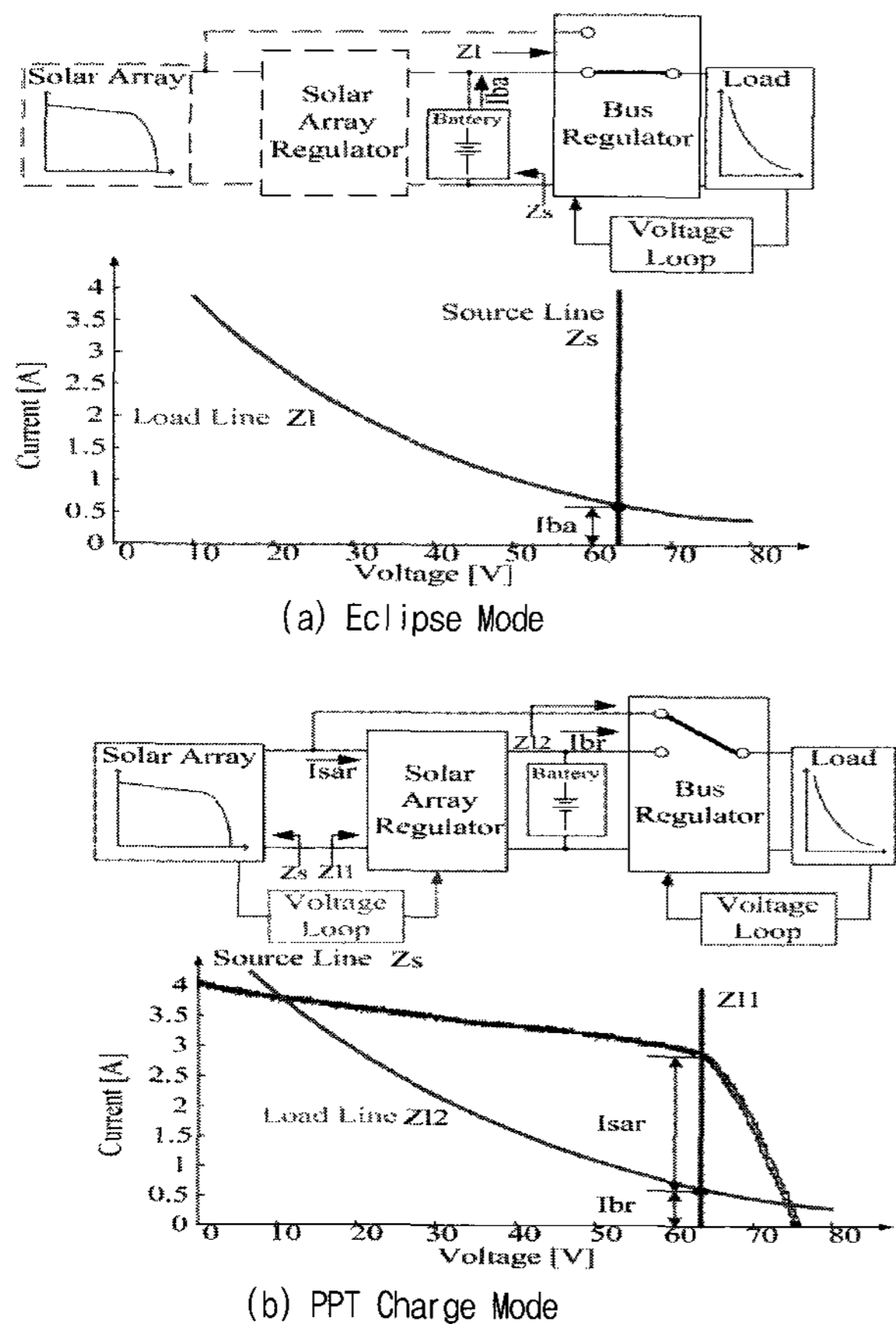


그림 3 단순화된 직-병렬 구조의 각 모드별 동작
Fig. 3 Modes of the Simplified Series-Parallel structure

4.1 Eclipse Mode

인공위성이 식구간에 들어가면 태양전지는 전력을 발전하지 못하므로 배터리만이 부하가 요구하는 전력을 공급하는데 이를 Eclipse Mode라 한다. 그림 3-(a)과 같이 버스 레귤레이터의 배터리에 연결된 스위치가 동작하고 버스 레귤레이터는 부하 전압을 제어한다. 태양전지는 전력을 발전하지 못하므로 태양전지 레귤레이터는 동작하지 않는다.

대신호적으로 배터리는 정전압원의 특성을 가지고, 버스 레귤레이터는 부하 단을 정전압으로 제어하여 배터리에서 바라본 버스 레귤레이터는 정전력원 특성을 가진다. 따라서 안정하게 하나의 동작점이 형성된다.

4.2 Peak Power Tracking(PPT) Charge Mode

태양전지의 최대 출력 전력이 부하가 요구하는 전력보다 큰 경우, 태양전지에서 발전된 전력을 배터리와 부하가 나누어 쓰게 된다. 그림 3-(b)와 같이 태양전지

레귤레이터는 태양전지 최대 전력점 추적을 위해 태양전지의 전압을 제어한다. 버스 레귤레이터는 태양전지에 연결되고, 부하 전압을 제어한다.

태양전지 레귤레이터는 태양전지의 최대 전력점 추적을 위해 태양전지 전압을 제어하므로 태양전지에서 바라본 태양전지 레귤레이터는 정전압의 특성을 가진다. 버스 레귤레이터는 부하 단을 정전압 제어하므로 태양전지에서 바라본 버스 레귤레이터는 정전력원의 특성을 가진다. 태양전지는 대신호 특성 곡선에서 태양전지 레귤레이터가 정한 동작점에 해당하는 전류를 공급하고, 버스 레귤레이터는 대신호 특성 곡선에서 태양전지 동작점에 해당하는 전류를 부하로 전달한다. 부하로 전달되고 남은 전류는 태양전지 레귤레이터로 전달되어 배터리를 충전한다.

4.3 Peak Power Tracking(PPT) Discharge Mode

태양전지가 발전할 수 있는 최대 전력보다 부하가 요구하는 전력이 클 때는 태양전지와 배터리가 동시에 부하로 전력을 공급해 주어야 한다. 태양전지와 배터리에 연결되어 있는 버스 레귤레이터의 스위치는 동시에 동작할 수 없으므로, 그림 3-(c)와 같이 배터리에 연결된 스위치가 동작한다. 태양전지 레귤레이터는 최대 전력점 추적을 위해 태양전지 전압을 제어하고, 버스 레귤레이터는 부하의 전압을 제어한다. 이 모드에서 단순화된 직-병렬 구조는 기존의 직렬구조와 동일하게 동작한다.

태양전지 레귤레이터는 태양전지의 최대 전력점 추적을 위해 태양전지 전압을 제어한다. 태양전지는 전류를 모두 태양전지 레귤레이터로 전달해주고, 배터리는 부족한 전류를 방전하여 버스 레귤레이터를 통해 부하로 전달한다.

4.4 Trickle Charge(TC) Mode

그림 3-(d)는 TC Mode를 나타낸다. PPT Charge Mode에서 배터리의 충전 상태가 증가하면 배터리의 과충전을 방지하기 위하여 배터리의 전압을 정전압으로 제어한다. 배터리 전압을 정전압으로 제어하면 배터리로 인가되는 전류가 간접 제어된다.

태양전지 레귤레이터가 배터리 전압을 제어하므로, 태양전지에서 바라본 태양전지 레귤레이터는 정전력원 특성을 가지고, 버스 레귤레이터는 부하 전압을 제어하므로 역시 정전력원 특성을 가진다.

태양전지는 대신호적으로 이 두 가지 정전력원의 특

성 곡선을 합한 특성곡선을 바라보게 된다. 태양전지 특성곡선과 새로운 특성곡선은 두 가지 동작점을 형성하게 되는데, 대신호적으로 태양전지의 전류원 영역은 불안정한 영역이므로, 태양전지의 전압원 영역에 안정하게 동작점이 형성된다^[4,5]. 태양전지는 부하가 요구하는 전류를 버스 레귤레이터를 통해 부하에 전달하고, 배터리의 누수 전류를 태양전지 레귤레이터를 통해 배터리에 전달한다.

5. 시스템 운용 알고리즘

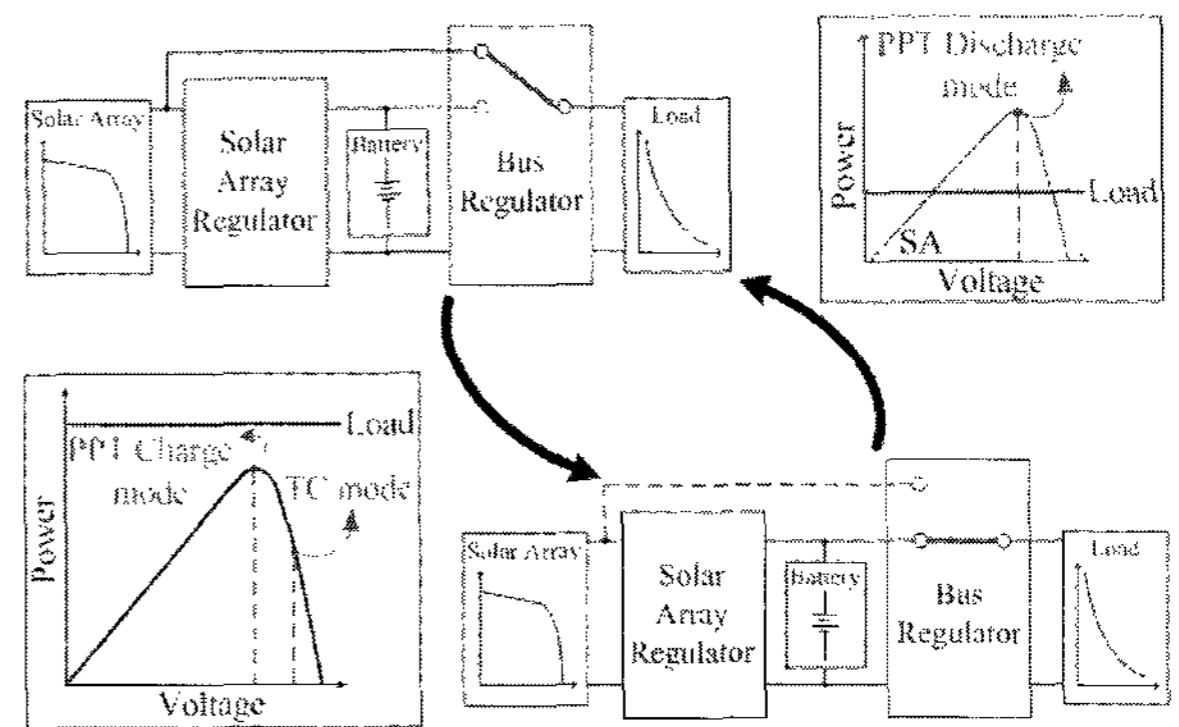


그림 4 버스 레귤레이터의 입력을 교체하기 위한 조건
Fig. 4 Condition of changing the input of the bus regulator

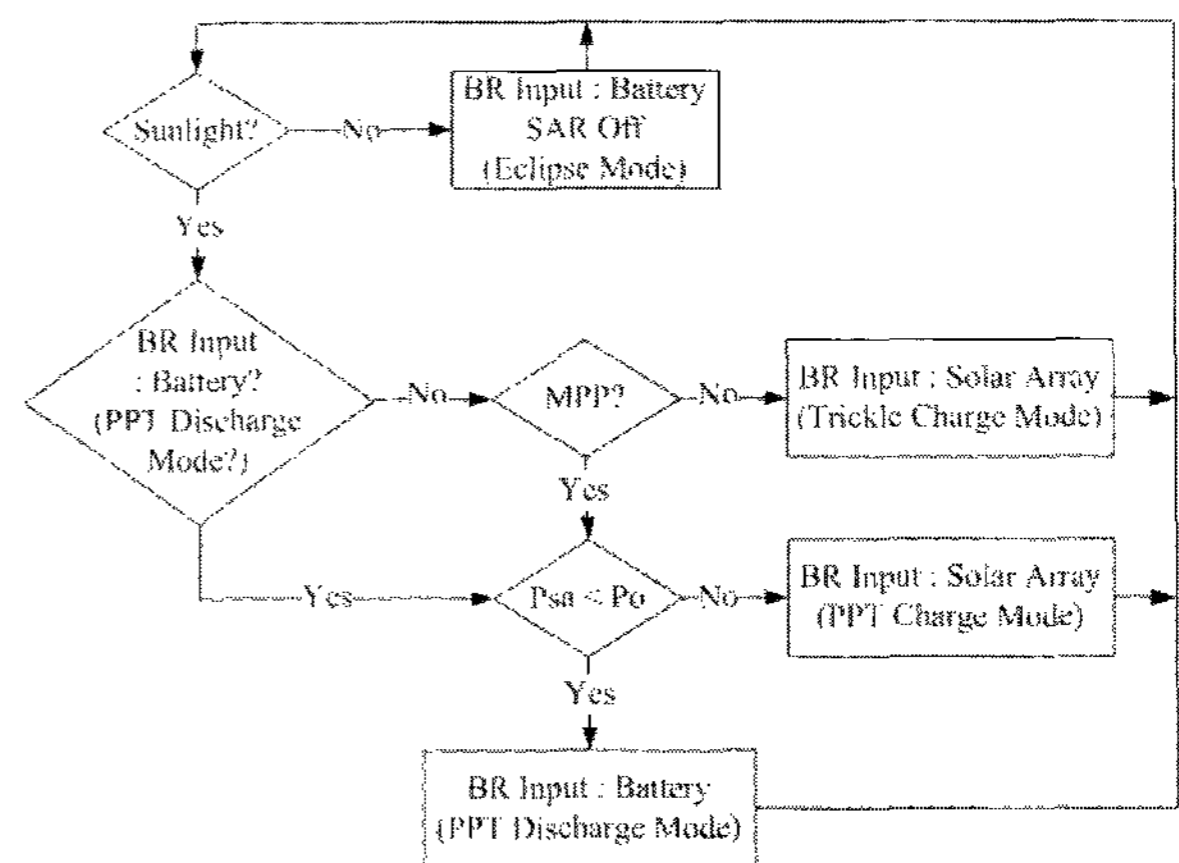


그림 5 단순화된 직-병렬 구조의 운용 알고리즘 순서도
Fig. 5 Flowchart of the system operation algorithm

버스 레귤레이터의 입력은 태양전지와 배터리로 교체된다. 따라서 주변 환경 변화와 부하상황에 따라 이를 결정해주는 운용 알고리즘이 필요하다. 버스 레귤레이터가 태양전지에 연결되어 있을 때, 부하가 태양전지가 발전할 수 있는 전력보다 큰 전력을 요구할 경우

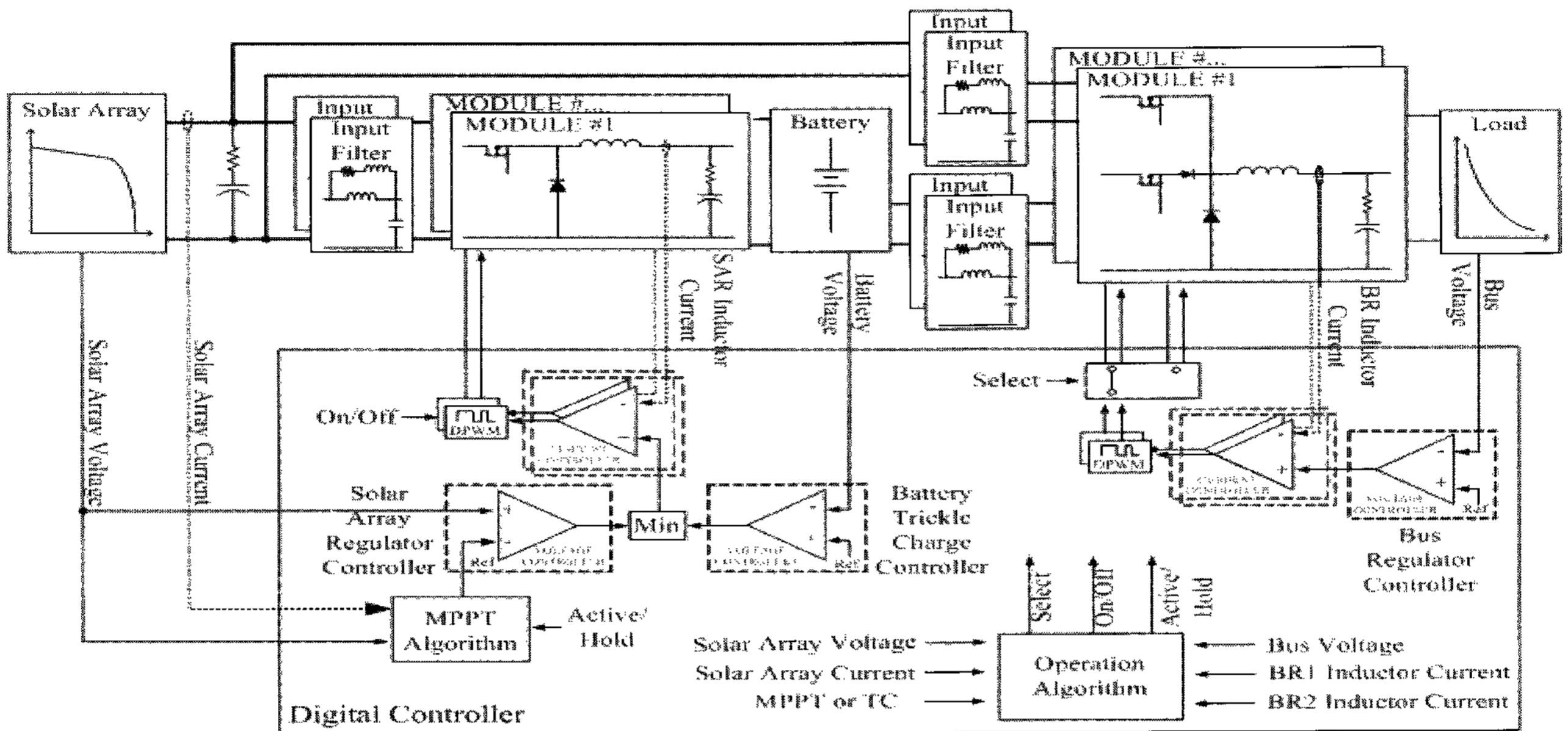


그림 6 단순화된 직-병렬 구조 제어 블록도
 Fig. 6 Control scheme of simplified series-parallel structure

버스 레귤레이터는 배터리에 연결되어 태양전지와 배터리가 모두 부하에 전력을 공급해야 한다. 그러나 TC Mode로 동작할 때, 부하가 태양전지의 최대 전력 보다 낮은 전력을 요구하면 태양전지만으로도 부하에 전력을 공급할 수 있다. 따라서 버스 레귤레이터가 태양전지에 연결되어 있을 때는 태양전지가 발전하는 전력과 부하가 요구하는 전력을 비교하고, 추가로 태양전지가 최대 전력점에서 동작하는지를 판단해야 한다.

일광구간에서 버스 레귤레이터가 배터리에 연결되는 경우는 PPT Discharge Mode 뿐이다. 이 Mode에서 태양전지는 최대 전력점에서 동작한다. 따라서 버스 레귤레이터가 배터리에 연결되어 있는 경우 태양전지가 발전하는 전력과 부하가 요구하는 전력을 비교한다. 이를 그림 4에 나타내었다. 태양전지가 최대 전력점에서 동작하는지는 태양전지 레귤레이터의 제어권을 태양전지 레귤레이터 제어기가 가지고 있는지 아닌지로 판단한다. 그림 5는 제안한 시스템의 운용 알고리즘의 순서도를 나타내었다. 인공위성이 일광구간에 있는지 식구간에 있는지는 태양전지의 전압이 미리 설정한 기준전압 이상인지 아닌지로 판단한다. 기준전압보다 태양전지의 전압이 낮으면 식구간에 있다고 판단하고 버스 레귤레이터는 배터리에 연결되고, 태양전지 레귤레이터는 동작하지 않는다(Eclipse Mode). 인공위성이 일광구간에 있다면 버스 레귤레이터의 입력을 어느 쪽으

로 연결해야 할지 다시 정해야 한다. 현재 버스 레귤레이터의 입력이 배터리라면(PPT Charge Mode) 부하가 요구하는 전력이 태양전지가 내는 전력보다 큰 경우 그대로 유지하고, 그렇지 않으면 버스 레귤레이터의 입력을 태양전지로 바꾼다(PPT Charge Mode). 버스 레귤레이터의 입력이 태양전지라면(PPT Charge Mode) 현재 태양전지의 동작점을 판단하여, 태양전지가 최대 전력점에서 동작하지 않는다면 그대로 유지한다(TC Mode). 태양 전지가 최대 전력점에서 동작한다면, 태양전지의 전력과 부하가 요구하는 전력을 비교하여 부하가 요구하는 전력이 작으면 그대로 유지하고(PPT Charge Mode), 부하가 요구하는 전력이 크면 버스 레귤레이터의 입력을 배터리로 바꾼다(PPT Discharge Mode).

6. 단순화된 직-병렬 구조의 제어

그림 6은 단순화된 직-병렬 구조의 제어 블록도를 나타낸다. 버스 레귤레이터는 2 모듈로 병렬 운전하므로, 모듈 간 전류 분배를 위해 내부 전류 제어기가 각 모듈을 제어한다. 버스 레귤레이터는 부하 전압을 제어하므로 부하 전압을 제어하기 위한 전압 제어기의 출력이 각 모듈마다 존재하는 내부 전류 제어기의 제어 기준 값으로 인가된다. 버스 레귤레이터의 입력은 배터

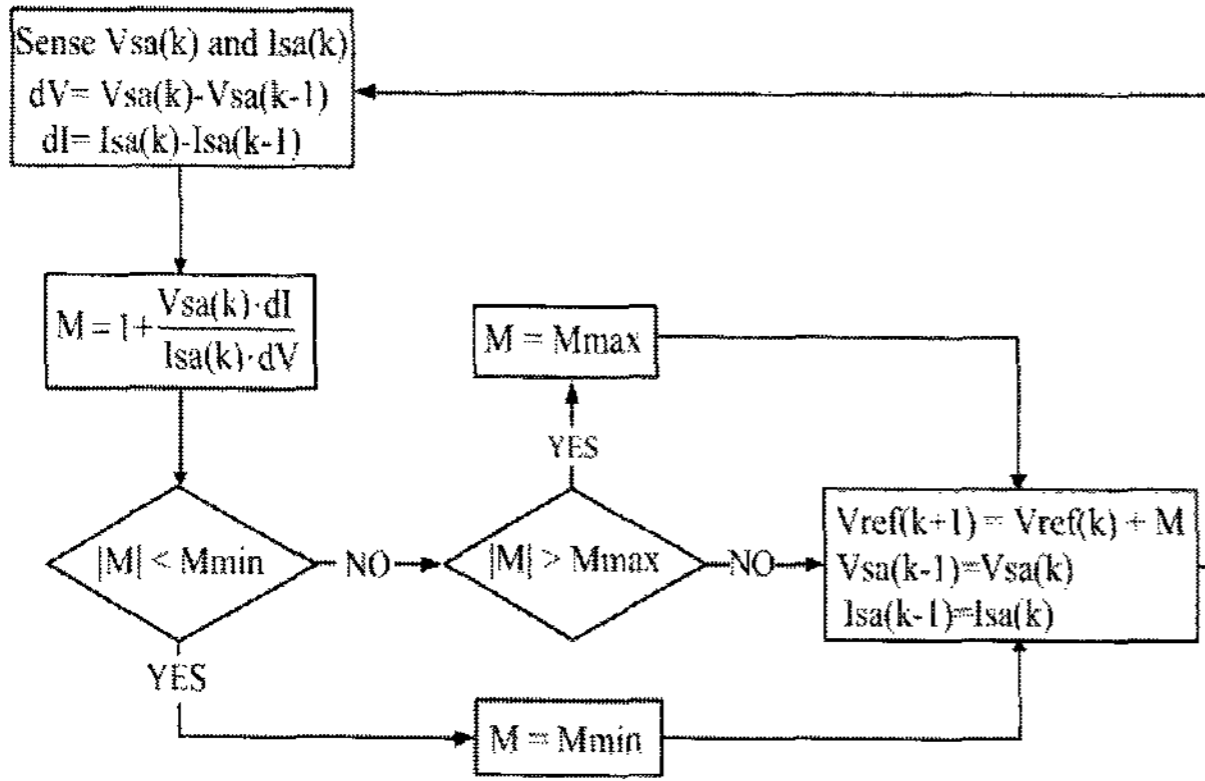


그림 7 Advanced incremental conductance MPPT 알고리즘의 순서도
Fig. 7 Flowchart of advanced incremental conductance MPPT Algorithm

리 또는 태양전지로 바뀌므로, 입력 전압의 급격한 변화에도 안정적으로 부하 전압을 제어하기 위해 전압 제어기에는 오디오 보상기가 포함되어 있다^[6].

태양전지 레귤레이터도 2 모듈이 병렬 운전하므로, 전류 분배를 위한 내부 전류가가 각 모듈을 제어한다. 태양전지 레귤레이터는 최대 전력점 추적을 위해 태양전지 전압을 제어하는 태양전지 레귤레이터 제어기와 배터리 과충전을 막기 위한 배터리 누수 충전 제어기가 있다. 태양전지 레귤레이터 제어기의 출력 값과 배터리 누수 충전 제어기의 출력 값 중, 작은 값이 태양전지 레귤레이터의 내부 전류 제어기의 입력으로 인가된다. 태양전지의 동작점이 최대 전력점 추적 제어기에서 연산된 최대 전력점 부근이라면 태양전지 레귤레이터 제어기의 출력 값은 배터리 누수 충전 제어기의 출력 값에 비해 매우 작아진다. 따라서 태양전지 레귤레이터 제어기의 출력 값이 내부 전류 제어기에 인가되어 태양전지 레귤레이터의 제어권을 가진다. 배터리가 충전되어 잔존용량이 만충 상태로 증가하면 배터리 누수 충전 제어기의 출력 값이 태양전지 레귤레이터 제어기의 출력 값에 비해 매우 작아져, 배터리 누수 충전 제어기가 태양전지 레귤레이터의 제어권을 가지게 된다. 이와 같이 태양전지 레귤레이터 제어기와 배터리 누수 충전 제어기의 제어권은 상황에 따라 자동으로 변화한다.

최대 전력점 추적 제어기에서 연산된 태양전지의 최대 전력점은 태양전지 레귤레이터 제어기의 제어 기준 값으로 인가된다. 태양전지의 최대 전력점 추적 제어기에 대한 연구는 P&O(perturbation and observation) 방식과 Incremental conductance 알고리즘 등 많은 연구

가 수행 되었다^[7-14]. 이러한 알고리즘은 최대 전력점을 빠르게 추적하나 최대 전력점 부근에서 진동하고, 최대 전력점 부근에서 진동을 줄이려면 최대 전력점 추적 속도가 늦어지는 단점이 있다. 제안한 시스템에서는 Advanced incremental conductance 알고리즘을 사용하였다^[15]. 이 알고리즘은 최대 전력점에서 멀리 떨어진 지점에서 빠르게 최대 전력점 추적을 수행하고, 최대 전력점 부근에서는 거의 진동하지 않는다. 그림 7에 순서도를 나타내었다.

운용 알고리즘은 버스 레귤레이터의 입력 전원을 상황에 따라 교체하며, 인공위성이 식구간에서 동작할 때, 태양전지 레귤레이터를 멈추는 역할을 한다. 또한 Eclipse Mode나 Trickle Charge Mode로 동작하기 직전에 최대 전력점 추적 제어기의 최대 전력점을 저장하는 역할을 한다.

7. 모의 실험 및 하드웨어 실험 결과

직렬구조는 일광구간에서 병렬 구조는 식구간에서 전력변환과정이 두 번 일어난다. 제안한 단순화된 직-병렬구조는 일광구간과 식구간에서 전력 변환이 한 번만 일어나 다른 구조에 비해 효율이 높다. 본 모의실험에서는 직렬 구조와 제안한 구조의 효율을 비교하였다. 태양전지에서 발생한 전력은 부하로 전달되고 남은 전력은 배터리를 충전하는데 쓰인다. 따라서 태양전지에서 발생한 전력과 부하가 요구하는 전력이 같다면, 배터리에 많은 에너지를 저장할 수 있는 구조가 전력변환과정에서 손실이 적다고 할 수 있다. 그림 8은 모의 실험 결과 나타낸다. 배터리에 남은 최종 에너지는 제안한 구조가 38338J로, 직렬구조 34436J에 비해 약 11% 많음을 확인하였다. 따라서 제안한 구조가 직렬 구조에 비해 에너지 변환 효율이 높다고 볼 수 있다.

운용 알고리즘과 각 스위칭 레귤레이터의 제어를 검증하기 위하여 그림 10에 나타나있는 하드웨어를 이용하여 실험하였다. 그림 11에 나타나있는 180W급 태양전지를 사용하였고, 일사량을 대신하여 HID램프를 사용하였다. 실험에 사용된 하드웨어의 리스트를 표 1에 나타내었다. 시뮬레이션에 사용한 동일 부하 조건과 거의 비슷한 태양전지 발전 프로파일을 이용한 전체 시스템 실험 결과는 그림 9와 같다. 인공위성이 식구간에 있으면 태양전지 레귤레이터는 동작하지 않고 배터리만 버스 레귤레이터를 통해 부하로 방전된다(I). Eclipse Mode에서 동작하지 않던 태양전지 레귤레이터는 최대 전력점 추적을 시작하여, 시스템은 PPT

Discharge Mode로 동작한다. 태양전지만으로 부하에 충분한 전력을 전달하지 못하므로 배터리가 방전함을 확인할 수 있다(II). 인공위성이 일광구간으로 완전히 들어갔을 때, 부하가 요구하는 전력(100W)보다 태양전지가 발전할 수 있는 전력(180W)이 많으므로 버스 레귤레이터는 태양전지에 연결되어 PPT Charge Mode로 동작한다(III). 부하가 요구하는 전력(200W)이 태양전지가 발전하는 전력(180W)보다 많아지면, 버스 레귤레이터는 배터리에 연결되어 PPT Discharge Mode로 동작하며, 배터리는 방전한다(IV). 부하가 요구하는 전력(100W)이 태양전지가 발전하는 전력(180W)보다 다시 작아지면, 버스 레귤레이터는 태양전지에 연결되어 PPT Charge Mode로 동작하며, 배터리는 다시 충전된다(V). 인공위성이 식구간으로 들어가 태양전지가 발전할 수 있는 최대 전력이 서서히 줄어들어, 부하가 요구하는 전력(100W)보다 작아지면, 버스 레귤레이터는 배터리에 연결되어 PPT Discharge Mode로 동작한다(VI). 인공위성이 식구간으로 완전히 들어갔을 때 제안한 구조는 Eclipse Mode로 동작하여, 버스 레귤레이터는 배터리에 연결되고, 태양전지 레귤레이터는 동작하지 않는다(VII).

실험결과 인공위성이 지구를 한 바퀴 공전하는 동안 제안한 구조는 제안한 운용 알고리즘과 설계한 제어기에 따라 안정적으로 동작함을 확인할 수 있다.

8. 결 론

기존의 인공위성 전력계 시스템의 구조를 효율, 비용 면에서 분석하였다. 기존 구조의 장단점을 비교하여 단순화된 직-병렬 구조의 인공위성 전력계 시스템을 제안하였다. 인공위성이 지구를 공전하는 동안 일어날 수 있는 상황에 따라 Mode별로 제안한 구조의 동작을 설명하였고 대신호적으로 안정성을 확인하였다. 일어날 수 있는 상황에 따라 제안한 구조가 안정적으로 동작할 수 있도록 운용 알고리즘을 제안하였다. 직렬 구조와 제안한 구조를 모의 실험을 통해 비교하였고, 시스템 전체 효율 향상을 확인하였다. 200W급 하드웨어를 제작하여 제안한 구조의 안정적 동작과 제안한 운용 알고리즘을 검증하였다.

이 논문은 한국항공우주연구원(KARI)의 연구비 부분지원에 의하여 연구되었음

표 1 하드웨어 리스트

Table 1 Hardware list

Solar Array (Two Panel connected in series)	
Model	Symphony Energy SE S 173×2
Operating Voltage	0 ~ 80V
Maximum Power Point	61 V ~ 63 V
Maximum Power	200W
Illumination System (HID Lamp)	
Lamp	Phillips 150W HID ×30
Ballast	Interpower HID ballast × 30
Battery	
Battery	GS 36V

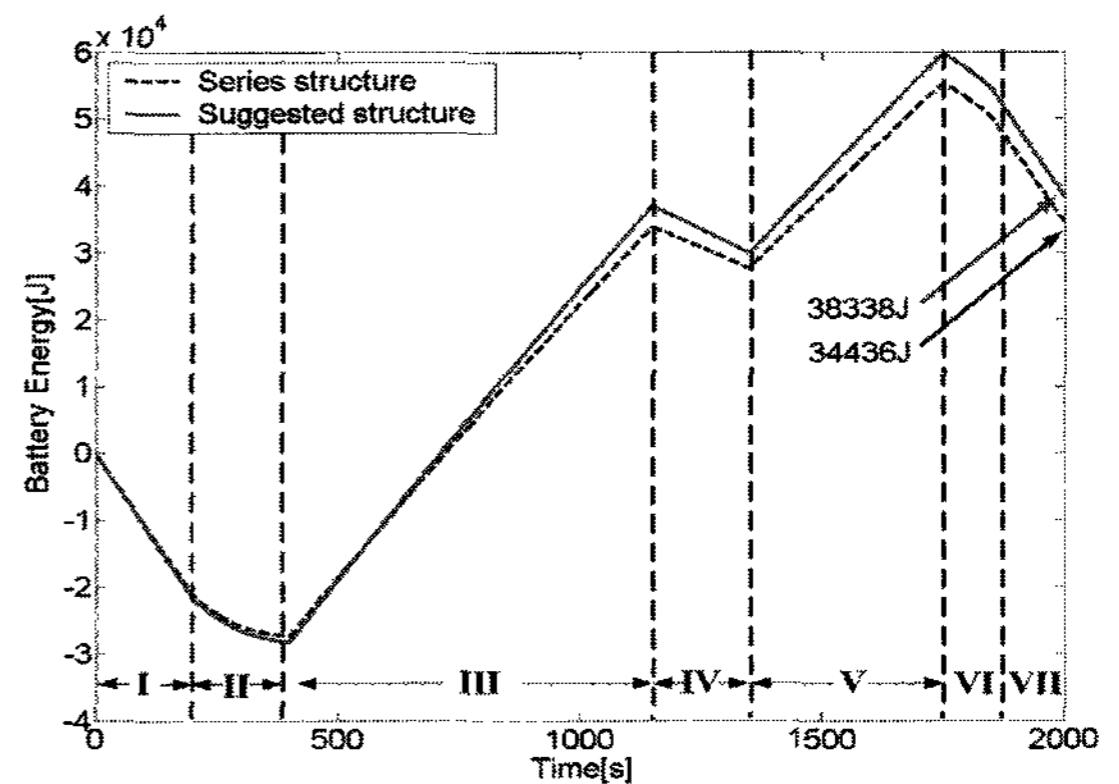
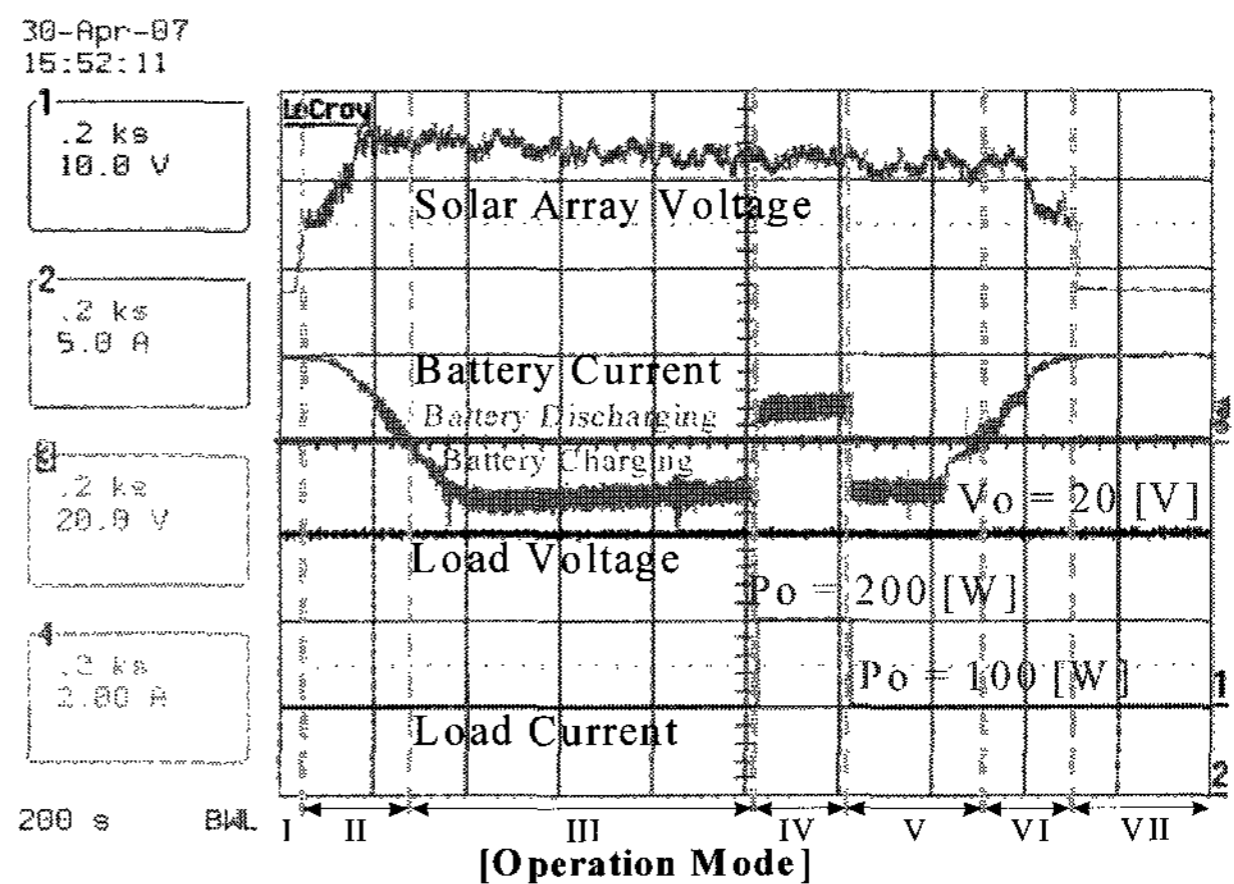


그림 8 모의실험 결과

Fig. 8 Simulation result



- MODE I : Eclipse Mode
- MODE II : Peak Power Tracking Discharge Mode
- MODE III : Peak Power Tracking Charge Mode
- MODE IV : Peak Power Tracking Discharge Mode
- MODE V : Peak Power Tracking Charge Mode
- MODE VI : Peak Power Tracking Discharge Mode
- MODE VII : Eclipse Mode

그림 9 하드웨어 실험 결과

Fig. 9 Hardware experiment result

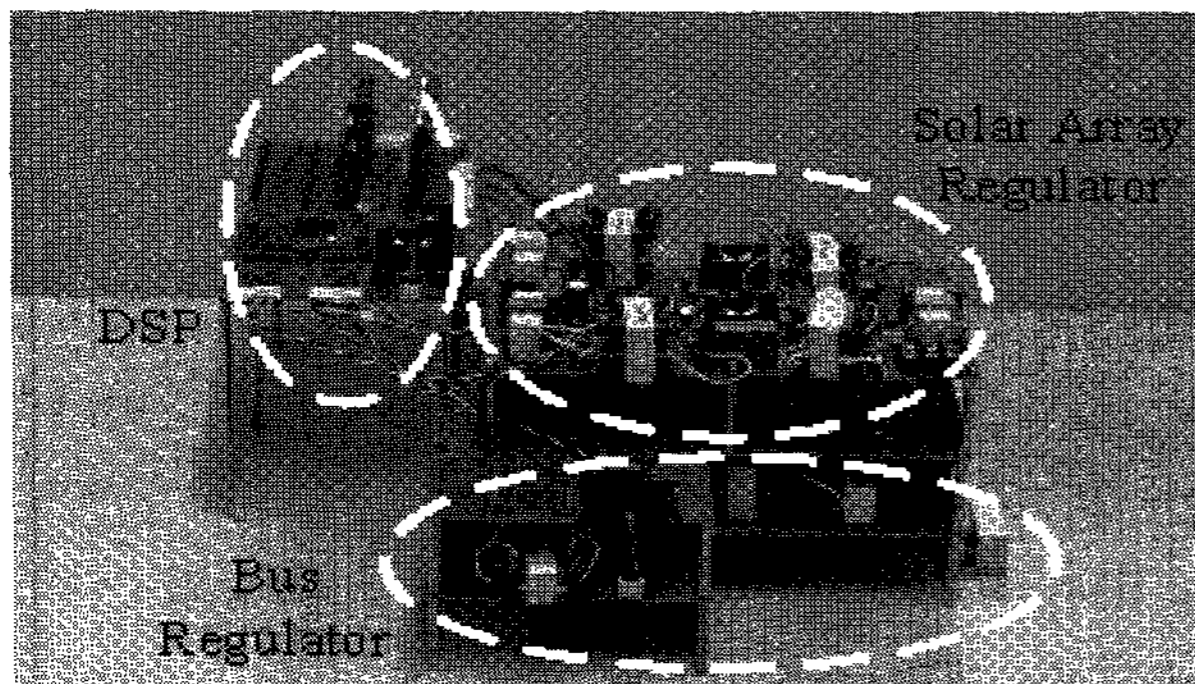


그림 10 단순화된 직-병렬 구조의 하드웨어
Fig. 10 A prototype hardware of simplified series-parallel structure

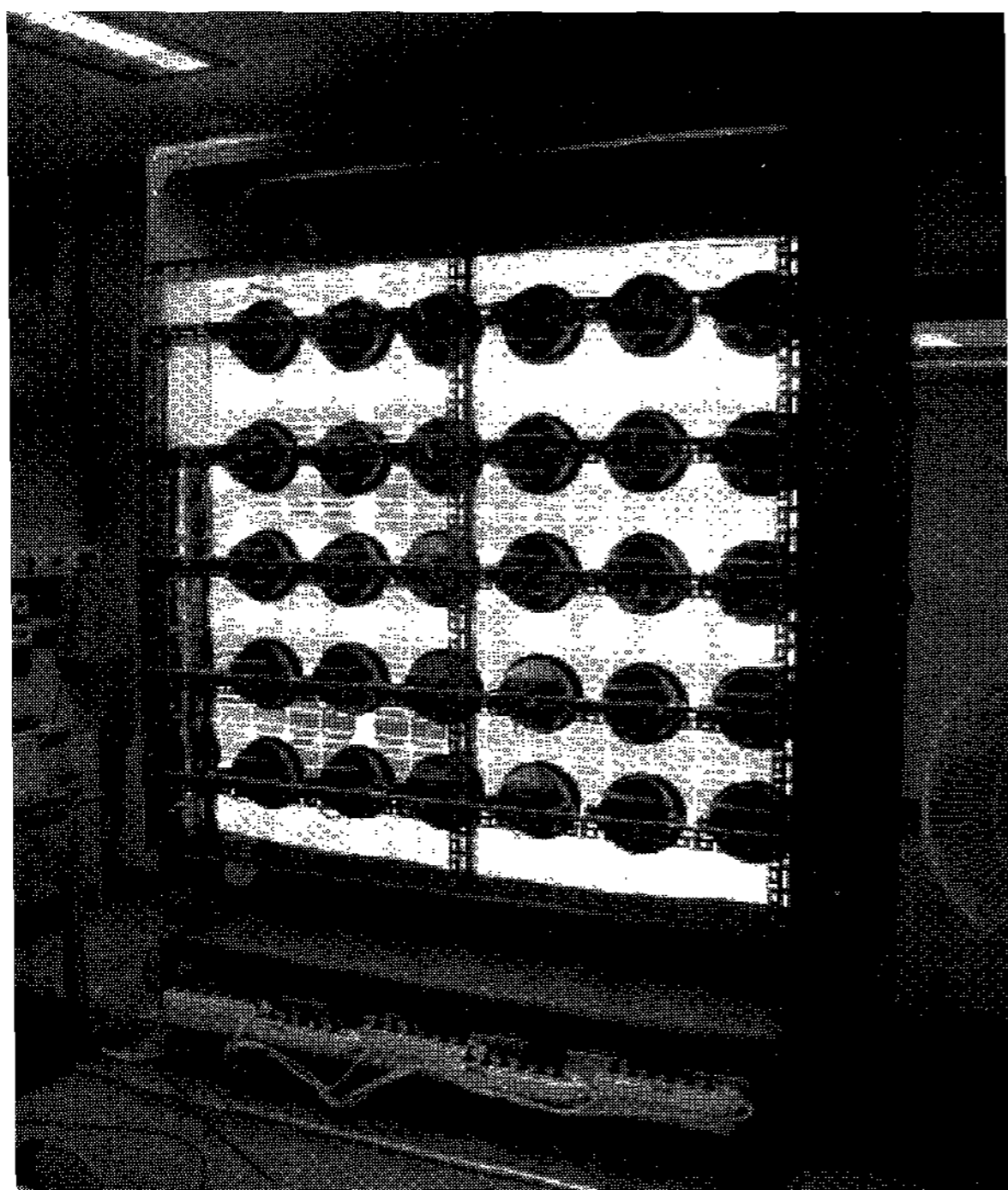


그림 11 태양전지 모듈
Fig. 11 Solar Array Module

참 고 문 헌

- [1] Huynh, P., and B.H. Cho, "Design and Analysis of a Regulated Peak-Power Tracking System", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System*, Vol. 35, No. 1, pp. 84-91, 1999, July.
- [2] Huynh, P., and B.H. Cho, "Analysis and Design of a Microprocessor Controlled Peak-Power Tracking System", IECEC, 1992.
- [3] 조보형, 인공위성 전력계 시스템 설계 및 모델링(III), 서울대학교 기초전력공동연구소(제 5차년도 연차 보고서), 1997 전력계 구조
- [4] Hyunsu Bae, Jaeho Lee, Sanghyun Park and Bo Hyung Cho, "Large Signal Stability Analysis of the Solar Array Power System Using the Controlled Load Characteristic", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, to be published.
- [5] B.H. Cho, and F.C. Lee, "Large Signal Stability Analysis of Spacecraft Power System", *IEEE PESC*, 1987.
- [6] H.S. Bae, J.H. Yang, J.H. Lee and Bo.H. Cho, "Digital state Feedback Control and Feed-Forward Compensation for a Parallel Module DC-DC Converter using the Pole Placement Technique", *IEEE AEPC*, to be published.
- [7] Johan H. R. Enslin, Mario S. Wolf, Daniel B. Snyman and Wernher Swiegers, "Integrated Photovoltaic Maximum Power Tracking Converter", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 44, No. 6, pp. 769-773, 1997, Dec.
- [8] Toshihiko Noguchi, Shigenori Togashi and Ryo Nakamoto, "Short-CurrentPulse-Based Maximum-Power-Point Tracking Method for Multiple Photovoltaic-and Converter Module System", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 49, No. 1, pp. 217-223, 2002, April.
- [9] Tsai-Fu Wu, Chien-Hsuan Chang and Yu-Kai Chen, "A Fuzzy-Logic-Controlled Single-Stage Converter for PV-Powered Lighting System Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 47, No. 2, pp. 287-296, 2000, Feb.
- [10] Weidong Xiao, Nathan Ozog and William G. Dunford, "Topology Study of Photovoltaic Interface for Maximum Power Point Tracking", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 54, No. 3, pp. 1696-1704, 2007, June.
- [11] Kimiyoshi Kobayashi, Hirofumi Matsuo and Yutaka Sekine, "An Excellent Operating Point Tracker of the Solar-Cell Power Supply System", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 53, No. 2, pp. 495-499, 2007, April.
- [12] Tomonobu Senjyu, Tomiyuki Shirasawa and Katsumi Uezato, "A Maximum Power Point Tracking Control for Photovoltaic Array without Voltage Sensor", *Journal of Power Electronics*, Vol. 2, No. 3, pp. 155-166, 2002, July.
- [13] Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo and Massimo Vitelli, "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method",

- IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 20, No. 4, pp. 963-973, 2005, July.
- [14] K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino and M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric condition," *IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 142, No. 1, pp. 59-64, 1995, Jan.
- [15] Jae Ho Lee, Hyunsu Bae and Bo hyung Cho, "Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size," *12th International Power Electronics and Motion Control Conference(EPE-PEMC2006)*, pp. 603-607, 2006, Aug.

저 자 소 개



양정환(梁正煥)

1983년 6월 7일생. 2006년 서울대 전기컴퓨터공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전기컴퓨터공학부 석사과정.



배현수(裴鉉修)

1976년 1월 15일생. 2001년 창원대 제어계측공학과 졸업. 2003년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2004년~현재 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부 박사과정.



이재호(李載昊)

1973년 3월 17일생. 1997년 서울대 전기컴퓨터공학부 졸업. 1999년 동 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 박사과정.



조보형(趙普衡)

1952년 2월 11일생. 1978년 California State Polytechnic University 전기공학과 졸업. 1980년 California Institute of Technology 전기공학과 졸업(석사). 1985년 Virginia Institute of Technology 전기공학과 졸업(공학박). 1980년~1982년 MTS in TRW Space and Technology group. 1995년~현재 서울대 전기컴퓨터공학부 교수. 2005년~2006년 당 학회 회장 역임.