

# 벅-부스트 형 태양전력 조절기의 디지털 제어

양정환\*, 윤석택\*, 박성우\*

## Digital Control for BUCK-BOOST Type Solar Array Regulator

JeongHwan Yang\*, SeokTeak Yun\*, SeongWoo Park\*

### 요 약

디지털 제어를 사용하면 태양전력 조절기의 전력변환 시 아날로그 회로로 구현이 불가능한 전력변환 제어 기법을 적용할 수 있으며 태양전력 조절기의 복잡한 운용 알고리즘을 구현할 수 있다. 디지털 제어를 사용하여 태양전력 조절기의 입력 등가 임피던스를 저항 특성을 가지도록 정저항 제어하면 단일 정저항 제어기만으로 태양전력 조절기의 전류를 제어할 수 있다. 한편, 태양전지는 전압원 영역에서 저항이 큰 쪽으로 변하며, 전류원 영역에서 작은 쪽으로 변한다. 따라서 태양전력 조절기를 정저항 제어기로 제어하는 경우, 이러한 태양전지의 특성에 적합한 가변 진폭 최대 전력점 추적 기법을 적용하는 것이 유리하다. 그러나 가변 진폭 최대 전력점 추적은 태양전지의 대신호 저항과 소신호 저항을 이용하므로 태양전지가 출력하는 전력량을 계산하여 제한할 수 없다. 본 논문에서는 디지털 제어를 사용하여 태양전지가 생성하는 최대 전력을 제한하는 운용 알고리즘을 제안하고 모의실험을 통해 디지털 제어기로 제어되는 태양전력 조절기를 검증한다.

**Key Words** : Solar array regulator(SAR), Digital Control, Maximum Power Point Tracking(MPPT), Power Limit, Solar Array, Digital Resistive Control(DRC)

### ABSTRACT

A digital controller can simply realize a complex operation algorithm and power control process which can not be applied by an analog circuit for a solar array regulator(SAR). The digital resistive control(DRC) makes an equivalent input impedance of the SAR be resistive characteristic. The resistance of the solar array varies largely in a voltage source region and slightly in a current source region. Therefore when the solar array regulator is controlled by the DRC, the Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size(AIC-MPPT-VSS) is suitable. The AIC-MPPT-VSS, however, using small signal resistance and large signal resistance of the solar array can not limit the absolute value of the solar array power. In this paper, the solar array power limiter is suggested and the BUCK-BOOST type SAR which is fully controlled by the digital controller is verified by simulation.

## I. 서 론

태양전력 조절기의 병렬 운전을 위해서 병렬 운전하는 각각의 태양전력 조절기에 동일한 전류를 분배시키는 전류제어기가 필요하다. 아날로그 회로로 구현되는 Peak current mode control, Average current mode control 방식의 전류제어기는 태양전지에서 바라본 태양전력 조절기가 정전력원 특성을 가지도록 하여 안정적인 제어가 불가능하다. 따라서 추가 제어기가 필요하다. 그러나 디지털 제어를 사용하여 정저항 제어기를 사용하면 태양전지에서 바라본 태양전력 조절기가 정저항 특성을 가지므로 추가 제어기 없이 안정적

인 제어가 가능하다. 태양전지의 최대 전력점 추적을 위해 최대 전력점 추적이 정저항 제어기에 제어 기준 저항 값을 인가한다. 최대 전력점 추적을 위해 제어 기준 저항 값을 변화시켜야 하는데 전압원 영역에서 태양전지의 저항 값은 전류원 영역에서의 값보다 크다. 따라서 최대 전력점 추적이 같은 진폭으로 저항을 변화시키면 태양 전력점 추적기의 성능이 현저히 떨어지게 된다. 따라서 태양전지의 각 영역에 따라 진폭이 변화하는 가변 진폭 최대 전력점 추적 제어를 사용해야 한다. 한편 인공위성이 식구간에서 일광구간으로 이동하는 동안에는 태양전지의 온도가 가장 낮은 상태에서 전력을 생성하게 된다. 경우에 따라서 태양전지가 태양전력

\*한국항공우주연구원 (yangjh@kari.re.kr), 교신저자 : 양정환  
접수일자 : 2012년 12월 8일, 수정완료일자 : 2012년 12월 12일, 최종 게재 확정일자 : 2012년 12월 17일

조절기가 처리할 수 있는 전력량을 초과하여 전력을 출력할 수 있다. 이때 태양전지가 출력하는 전력을 제한해야 한다. 가변 진폭 최대 전력점 추적 제어기는 태양전지의 대신호 저항 값과 대신호 저항 값을 이용하므로 태양전지가 출력하는 전력의 절대 값을 제한할 수 없다. 따라서 가변 진폭 최대 전력점 추적 제어기를 운용하는 운용 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 정저항 제어기에 인가되는 저항 값을 이용하여 전력을 제한하는 태양전지 전력 제한기를 제안한다. 모의실험을 통해 정저항 제어 및 가변 진폭 최대 전력점 추적기가 적용된 벡-부스트 형 태양전력 조절기에 태양전지 전력 제한기를 적용하여 검증한다.

## II. 벡-부스트 컨버터의 디지털 제어

### 1. 디지털 정저항 제어

벡-부스트 형 태양전력 조절기를 태양전지에서 바라볼 때 등가적으로 저항 특성을 가지도록 제어한다. 정저항 제어는 디지털 제어기로 간단하게 구현할 수 있다. 비선형성이 강한 태양전지에 적용하면 태양전지의 동작점이 하나만 형성되는 이점이 있다. 또한 전압과 전류 정보만으로 제어하므로 회로 상수의 영향을 받지 않는다.

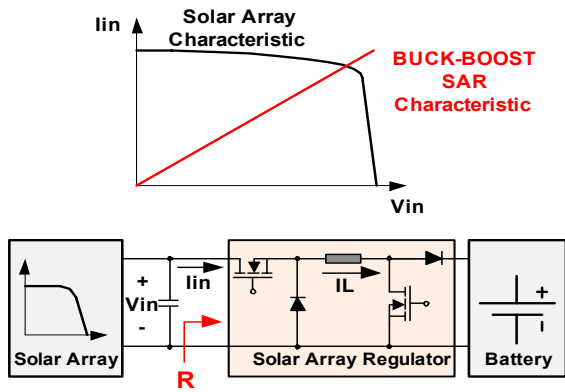


그림 1. 벡-부스트 형 태양전력 조절기의 정저항 제어 개념도

그림 1은 벡-부스트 형 태양전력 조절기의 정저항 제어 개념도를 나타낸다. 태양전지에서 바라보는 벡-부스트 형 태양전력 조절기의 전압과 전류를  $v_{IN}(t)$ ,  $i_{IN}(t)$ 라 두면 태양전력 조절기를 제어하는 듀티 비  $d(t)$ 와 등가저항  $R(t)$ 의 관계는 아래 식과 같다[1-2].

$$R(t) = \frac{v_{IN}(t)}{i_{IN}(t)} = \frac{v_{IN}(t)}{d(t)i_L(t)}$$

따라서  $n$ 개로 병렬 운전하는 벡-부스트 형 태양전력 조절기의 임의의 저항  $R$ 에 대한 듀티 비는 아래와 같이 다시 정

리할 수 있다. 아래 식과 같이 인덕터 전류와 입력 전압을 측정하여 연산을 통해 벡-부스트 형 태양전력 조절기가 원하는 등가 입력 저항을 가지도록 듀티 비를 조절할 수 있다.

$$d(t) = \frac{v_{IN}(t)}{i_L(t)} \frac{1}{nR}$$

### 2. 디지털제어기를 이용한 최대 전력점 추적 제어

태양전지는 동작점에 따라 전류원, 최대전력점, 전압원으로 나눌 수 있다. 태양전지의 대신호 저항은 전압원 영역에서 급격히 변하지만 전류원 영역에서는 작게 변한다. 따라서 정저항 제어되는 벡-부스트 형 태양전력 조절기를 이용하여 태양전지의 최대 전력점을 추적할 경우, 태양전지의 전압원 영역에서는 큰 폭으로 최대 전력점을 추적하고 전류원 영역에서는 작은 폭으로 최대 전력점을 추적해야 한다. 따라서 가변 진폭 최대 전력점 추적을 사용하는 것이 유리하다. 가변 진폭 최대 전력점 추적기의 수식은 아래와 같다[3].

$$\begin{aligned}
 -\infty < M < 0 & \quad \text{at Voltage source region} \\
 M = 0 & \quad \text{at MPP} \\
 0 < M < 1 & \quad \text{at Current source region}
 \end{aligned}$$

where  $M = 1 + r/r_s$ ,  $r = \frac{v_{sa}}{i_{sa}}$ ,  $r_s = \frac{dv_{sa}}{di_{sa}}$

$$r_{ref}[k+1] = r_{ref}[k] + M$$

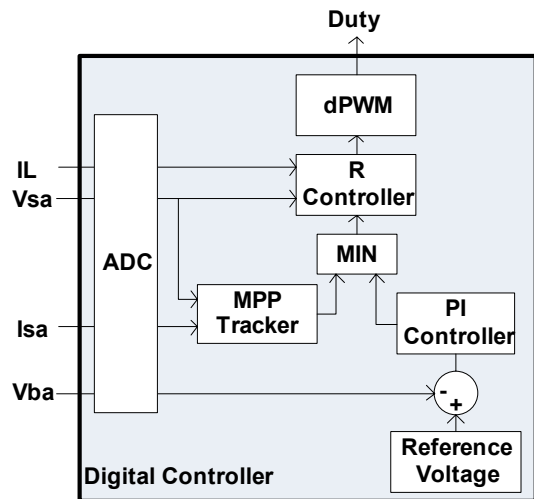


그림 2. 최대 전력점 추적기와 배터리 정전압 제어기의 제어 블록선도

### 3. 배터리 정전압 제어

배터리가 완전히 충전되면 과충전을 방지하기 위해서 태양전지에서 출력되는 전력을 감소시켜 배터리가 필요한 전력만 공급해야 한다. 이를 위해 배터리의 전압을 정전압으로 제어한다. 배터리 정전압은 PI제어기로 간단히 구현할 수 있다. 태양전지의 최대 전력점을 추적하는 최대 전력점 추적기

와 배터리를 정전압으로 제어하는 PI제어기의 출력 중 작은 값이 정저항 제어기의 제어 기준 저항 값으로 인가된다. 이를 그림 2에 나타내었다. 최대 전력점 추적이 동작하여 태양전지가 최대 전력점에서 동작하면 배터리가 충전되어 배터리 전압이 증가한다. 배터리 전압이 PI제어기의 입력인 제어 기준 전압 값에 가까워지면 PI 제어기의 출력이 줄어들어 정저항 제어기의 제어 기준 저항으로 PI 제어기의 출력이 인가된다.

#### 4. 태양전지 전력 제한기

외부 환경에 따라 태양전력 조절기에 설계된 전력보다 태양전지가 높은 전력을 출력하는 경우가 나타난다. 이러한 경우를 대비하여 태양전지가 출력하는 전력을 제한해야 한다. 태양전력 조절기가 정저항 제어기로 제어되므로 제한되는 전력량을 저항으로 변환하여야 한다. 제한되는 저항은 아래 식과 같다.

$$R_{lim} = \frac{v_{SA}^2}{P_{lim}}$$

최대 전력점 추적이 출력하는 저항 값보다 태양전지 전력 제한기가 출력하는 저항 값이 커지면 태양전지 전력 제한 알고리즘이 정저항 제어기를 제어한다.

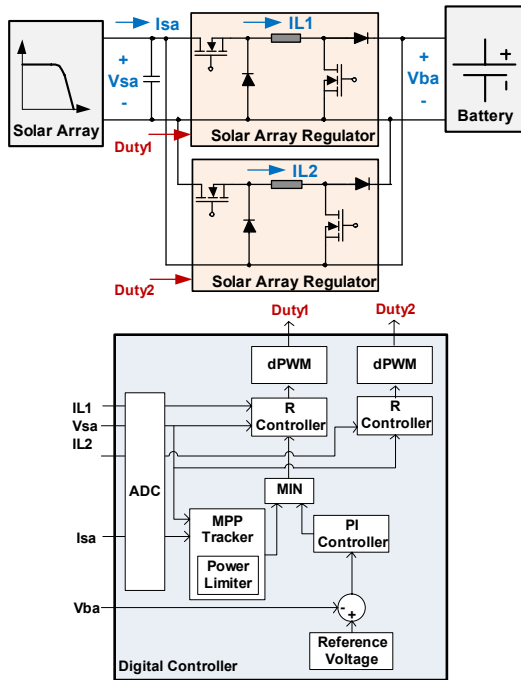


그림 3. 병렬 운전하는 벽-부스트 형 태양전력 조절기의 블록 선도

태양전지 전력 제한 알고리즘이 정저항 제어기를 제어하는 순간 최대 전력점 추적이 출력하는 제어 기준 저항

값을 그대로 유지시켜 외부 환경에 의해 태양전지 전력 제한기가 제한하는 전력보다 태양전지의 최대 출력이 감소하는 경우를 대비한다. 그림 3은 병렬 운전하는 벽-부스트 형 태양전력 조절기의 전체 블록선도를 나타내었다.

### III. 모의실험

MATLAB SIMULINK로 그림 4와 같이 Software Testbed를 구성하여 모의실험을 진행하였다. 모의실험에 사용한 입출력 및 태양전력 조절기 파라미터를 표1에 나타내었다. 태양전력 제한 알고리즘의 모의실험결과는 그림5에 나타내었다. 태양전력 제한 알고리즘의 동작을 확인하기 위해 정해진 시간에 따라 동작시키고 다시 중지시켰다. 0.05[sec]까지 가변 진폭 최대 전력점 추적을 수행하여 태양전지가 약 275[W]의 최대 전력을 출력함을 확인할 수 있다. 0.05[sec]에서 0.07[sec]까지 태양전지 전력 제한 알고리즘을 동작시켜 태양전지가 출력하는 전력이 200[W]로 제한됨을 확인할 수 있다. 0.07[sec]이후에 태양전지 전력 제한 알고리즘을 중지시켜 다시 최대 전력점 추적이 태양전지의 최대 전력점을 추적함을 확인할 수 있다.

### IV. 결론

이 논문에서는 디지털 제어기로 정저항 제어기를 구현하여 벽-부스트 형 태양전력 조절기를 병렬 운전하였다. 정저항 제어에 적합한 가변 진폭 최대 전력점 추적을 적용하였으며, 태양전지의 전력 제한 알고리즘을 제안하였다. 모의실험을 통해 디지털 제어기로 제어되는 벽-부스트 형 태양전력 조절기를 검증하였다.

표 1. 태양전력 조절기의 입출력 파라미터

태양전지			
	전류원	최대전력점	전압원
전압	63[V]	72[W]	80[V]
전류	4.0[A]	3.8[A]	2.5[A]
배터리			
전압	60[V]		
태양전력 조절기			
	SAR #1		SAR #2
$L(R_L)$	140[μH],(10[mΩ])		145[μH],(11[mΩ])
$C(R_C)$	20[μF],(10[mΩ])		

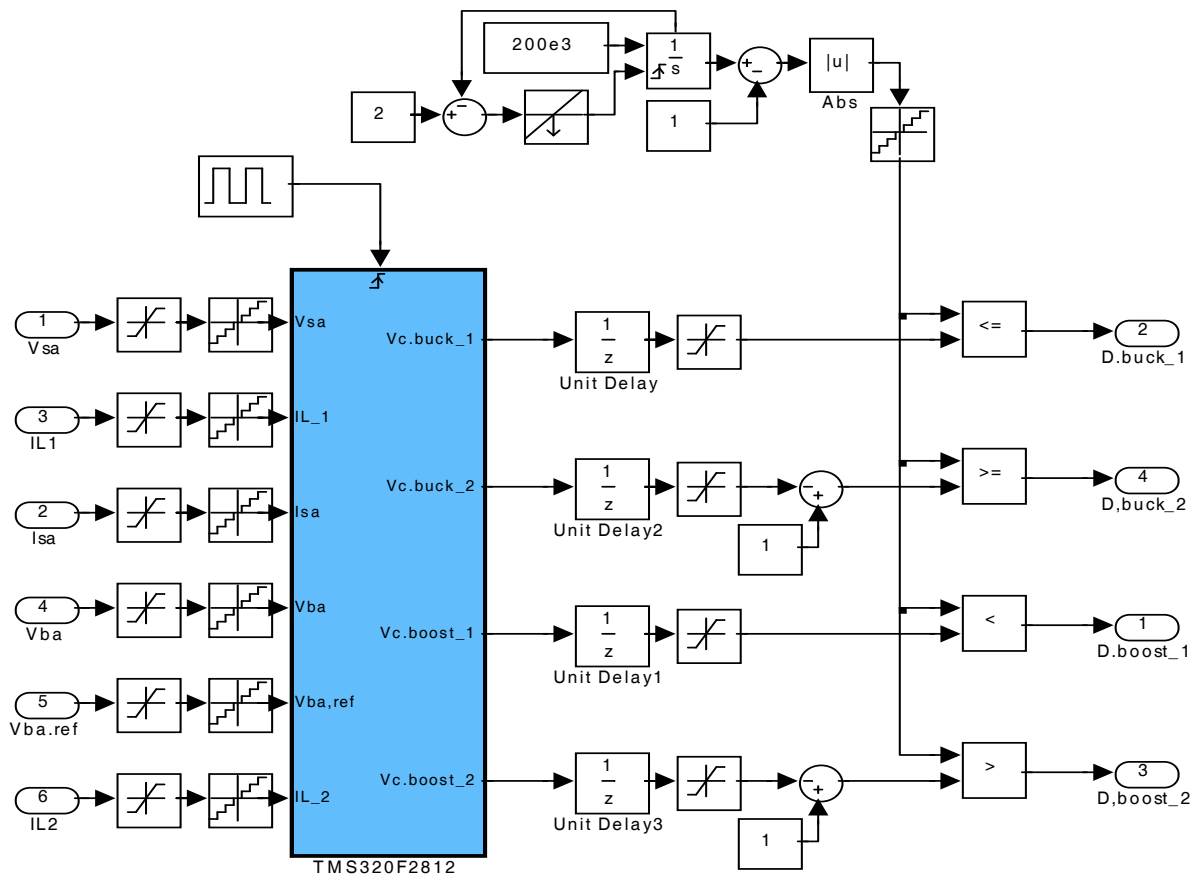
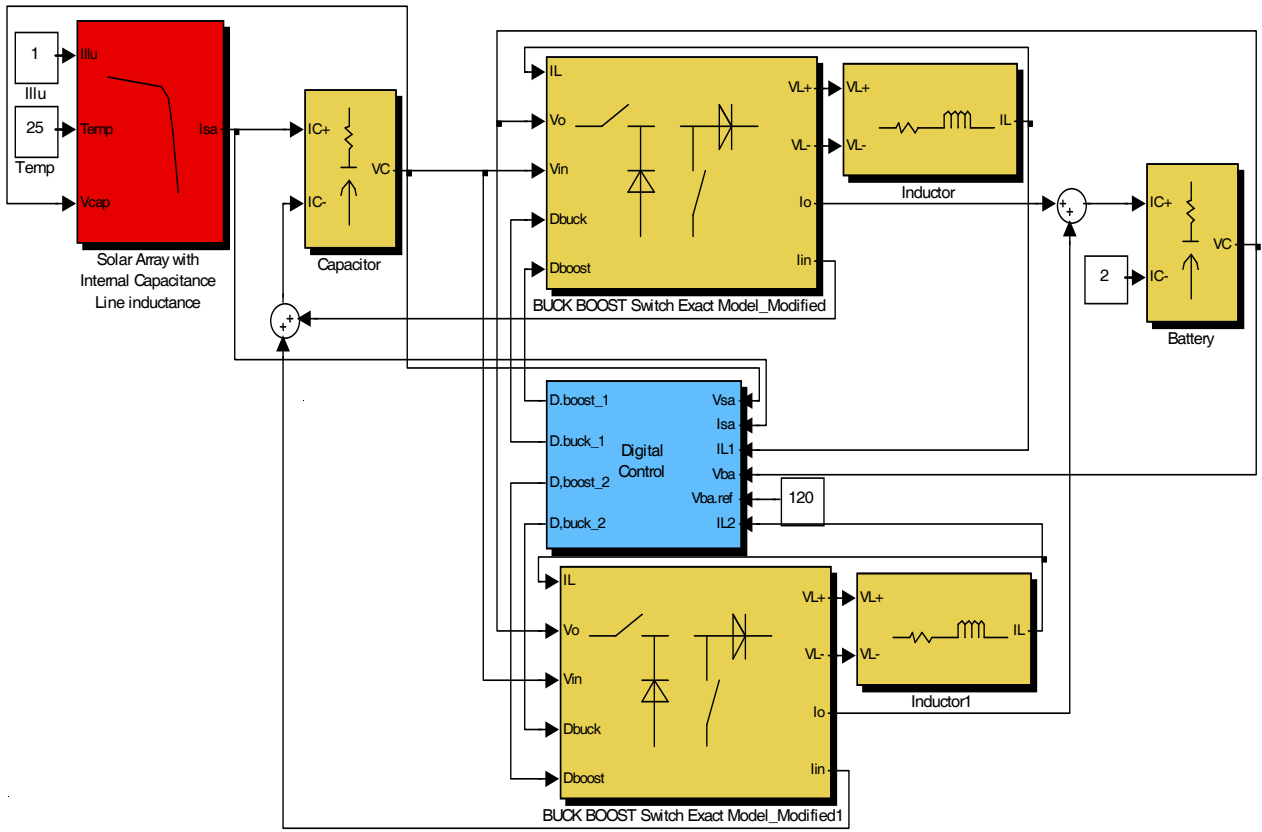


그림 4. 모의 실험을 위한 Software Testbed

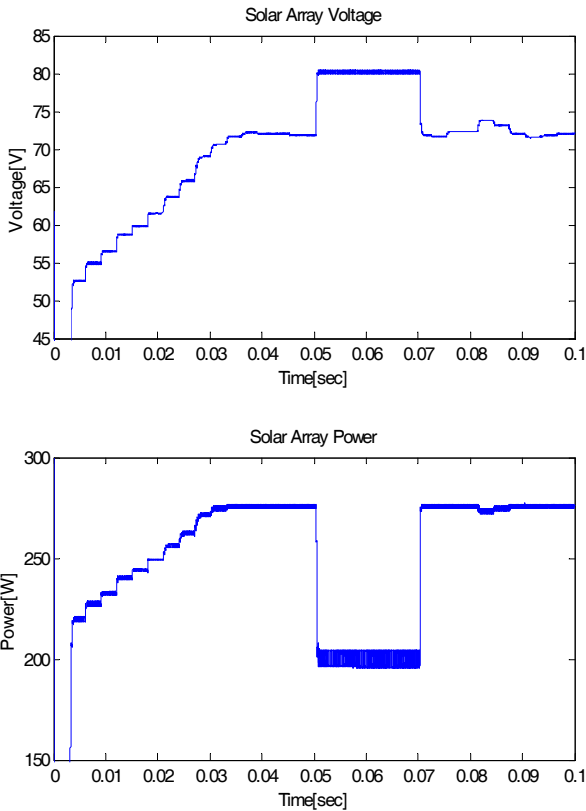


그림 5. 태양전력 조절기의 모의실험 결과

**윤 석 택(SeokTeak Yun)**



- 2005년 7월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 학사졸업
- 2007년 8월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사졸업
- 2007년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

<관심분야> : 위성 설계/운용, 위성용 전력회로

**박 성 우(SeongWoo Park)**



- 1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사졸업
- 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사졸업
- 1999년 ~ 2001년 : LG전자
- 2002년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

<관심분야> : 위성 설계/운용, 위성용 전력회로 설계/제어

**참 고 문 헌**

- [1] Hyunsu Bae, Jaeho Lee, Jeonghwan Yang, Bo Hyung Cho, "Digital Resistive Current(DRC) Control for the Parallel Interleaved DC-DC Converters", Power Electronics, IEEE Transaction on, vol.23, No.5, Sep. 2008, pp. 2465-2476.
- [2] J.H. Lee, H.S. Bae, B.H.Cho, "Resistive Control for a Photovoltaic Battery Charging System Using a Microcontroller", Industrial Electronics, IEEE Transaction on, vol. 55, No.7, July 2008, pp. 2767-2775.
- [3] Jae Ho Lee, HyunSu Bae and Bo Hyung Cho, "Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size", EPE, Aug 2006, pp. 603-607.

**저자**

**양 정 환(JeongHwan Yang)**



- 2006년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 학사졸업
- 2008년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사졸업
- 2011년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

<관심분야> : 위성용 전력회로, 전력회로 제어/모델링