

환경변화에 강인한 태양광 발전의 최적전류 MPPT 제어

(Optimal Current Detect MPPT Control of PV System for Robust with Environment Changing)

최정식* · 고재섭 · 정동화**

(Jung-Sik Choi · Jae-Sub Ko · Dong-Hwa Chung)

Abstract

This paper proposes the optimal current detect(OCD) maximum power point tracking(MPPT) control of photovoltaic(PV) system for robust with environment changing. The output characteristics of the solar cell is a nonlinear and affected by a temperature, the solar radiation and temperature. Conventional MPPT control methods are tracked the maximum power point by constant incremental value. So these methods are slow the response speed and generated the vibration in steady state and cannot track the MPP in environment condition changing. And power loss is generated because of the self-excitation vibration in MPP region. To solve this problem, this paper proposes the novel control algorithm. Proposed algorithm is detected the optimal current in two control region using the output power and current curve. Detected current is used the converter switching for tracking the MPP. Proposed algorithm is compared output power error to conventional algorithm with radiation and temperature changing. In addition, the validity of the algorithm is proved through the output error response characteristics.

Key Words : PV, MPPT Algorithm, Output Error, Optimal Current, Radiation, Temperature

1. 서 론

최근 전 세계적으로 에너지 자원이 고갈되어 유가가 상승하고 지구의 온난화가 지속되는 등 환경문제가 심각하게 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위

하여 태양, 지열, 풍력 및 조력 등 대체 에너지인 신재생 에너지에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. PV(Photovoltaic)는 친환경적이고 동작단가가 낮으며 에너지원이 청정, 무제한이며 원거리의 필요한 장소에서 발전이 가능하고 유지보수가 용이하며 긴 수명 등의 장점이 있다. PV 시스템은 양수 펌프, 가정과 도로 조명, 전기 자동차, 하이브리드 시스템, 군사와 항공, 냉동과 진공 저장 및 발전소 등 독립 또는 계통연계 설비로 다양하게 적용되고 있다[1].

PV 모듈에서 발생하는 전력은 일사량, 온도 및 그

* 주저자 : 전자부품연구원
** 교신저자 : 순천대학교 전기 제어공학과
Tel : 061-750-3543, Fax : 061-752-1103
E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr
접수일자 : 2011년 7월 18일
1차심사 : 2011년 7월 20일
심사완료 : 2011년 8월 30일

림자 조건에 의해 좌우된다. PV 판넬은 비선형 특성이며 어떠한 동작 조건에서도 최대전력점이 나타난다. 최대전력점은 일사량과 셀 온도에 의해 결정되며 이는 실시간으로 변한다. 따라서 급변하는 파라미터를 추적하여 최대전력점을 얻기 위한 연구가 필요하며 이를 해결하기 위하여 다양한 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 제어가 제시되었다[2]. 이 방식 중에서 PO(Perturbation and Observation) 기법은 간단하고 구현이 용이하기 때문에 MPPT 제어기로 가장 광범위하게 적용되어 왔다[3-7]. 그러나 급변하는 환경조건에서는 속도 응답이 늦고 정상상태에서는 진동이 나타나며 최대전력점을 추적하는데 어려움이 있다. 이는 두 MPPT 샘플링 순간 사이에 일사량의 변동이 MPPT의 전압증분에 의해 야기된 일사량 보다 클 경우에 나타난다. 이 경우에는 전력변화가 자신의 전압증분인지 또는 일사량의 변화인지 결정할 수 없다. 또한 IC(Incremental Conductance) 기법도 다양하게 연구되고 있으나 계산량이 많아 고성능 CPU가 요구되며 추적효율이 낮다는 단점이 있다[8-11].

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 최적전류 검출을 이용한 새로운 MPPT 제어 알고리즘을 제시한다. 제시한 MPPT 제어 알고리즘은 태양광 모듈의 전력과 전류의 관계를 이용하여 두 가지 영역으로 구성하여 이에 적절한 제어규칙을 통하여 제어를 수행한다. 최적전류 검출 기법은 날씨 등의 파라미터 변화에 무관하게 출력전류는 동작점이 항상 예측선에서 최대로 도달하기 위하여 적절하게 제어하는 방법이다. 본 논문에서 제시한 MPPT 제어 알고리즘은 종래의 PO 및 IC 제어방법과 정상상태 및 과도상태 등의 파라미터 변화에 대한 응답성능을 비교하여 타당성을 입증한다.

2. 태양전지 모델링

빛이 조사될 때 광기전력 효과를 이용한 태양전지의 등가회로를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다[12-13].

여기서 I_{ph} 는 광전류, I_d 는 다이오드 포화전류이다.

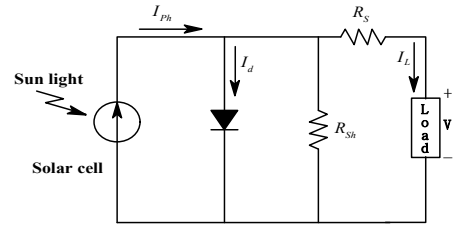


그림 1. 태양전지의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of solar cell

태양전지의 등가회로부터 단락전류 I_{sc} 는 이상적으로 광전류 I_{ph} 와 일치하고, 다이오드 포화전류 I_d 에 의해서 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식과 같다.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{I_{ph} + 1}{I_d} \right] \quad (1)$$

여기서 V_{oc} 는 개방전압, k 는 볼츠만 상수, q 는 전하 [C], T 는 태양전지 동작온도[K]를 나타낸다.

또한 온도변화에 따른 단락전류와 개방전압의 관계식은 다음과 같다.

$$I_{sc} = I_o \left[\exp \left(\frac{qV_{oc}}{kT} \right) \right] \quad (2)$$

태양전지의 전류-전압 특성곡선을 얻기 위한 수식은 다음과 같이 표현된다.

$$I_{ph} = I_{sc} S_N + I_t (T_c - T_r) \quad (3)$$

$$I_d = I_o \left[\exp \left(\frac{q(V_L + I_L R_s)}{A k T} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

$$I_o = I_{or} \left[\frac{T_c}{T_r} \right]^3 \cdot \exp \left(\frac{qE_g}{Bk} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right) \right) \quad (5)$$

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V_L + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

여기서 S_N : 단위 일사량, B : 제조상수
 I_t : 표면온도 1°C 상승 시 단락 전류 온도계수[A/K]
 T_c : 태양전지 온도[K], T_r : 태양전지 동작 기준온도[K]
 I_{or} : 태양전지 동작 기준온도에서 역포화전류[A]
 E_g : 에너지 밴드 갭 (Si PN 접합 에너지 Gap, 1.12[eV]),

식 (3)~(6)을 이용하면 태양전지 어레이의 출력특성을 얻을 수 있으며, 그림 2는 3.2[kW]급 태양전지 어레이의 PSIM 모델과 DLL(Dynamic Link Library)을 이용하여 일사량과 온도의 영향을 고려한 PSIM 회로도이다.

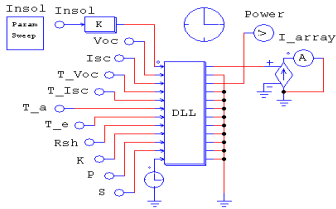


그림 2. 태양전지 어레이의 PSIM 모델
 Fig. 2. PSIM model of solar cell array

그림 3은 태양전지 어레이의 시뮬레이션 결과 파형이다. 태양전지로부터 최대전력을 얻기 위해서는 동작 전압 또는 전류를 신중히 제어할 필요가 있다.

태양전지의 특성곡선은 셀의 온도와 일사량 등 여러 가지 환경적인 요소에 크게 영향을 받는다. 이는 일사량과 태양전지 단락전류와의 관계에 기인하게 되며 태양전지의 모델링으로 나타낼 수 있다. 또한 온도가 상승할수록 개방전압이 하강하여 $P-V$ 곡선이 온도 상승에 따라 왼쪽으로 이동한다.

그림 4는 일사량을 200[W/m²]에서 1,000[W/m²]까지 200[W/m²]씩 증가시켰을 때 일사량에 따른 태양전지의 출력특성을 나타내고 있다. 일사량 변동에 태양전지의 최대전류와 전력은 일사량에 비례하여 변화되지만 전압은 일사량이 60~100[%]의 범위에서는 큰 변화가 없으나, 낮은 일사량인 30[%]미만에서는 크게

감소되는 것을 알 수 있다.

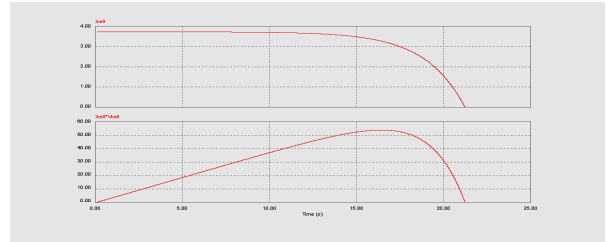


그림 3. 태양전지 어레이의 $I-V$, $P-V$ 특성곡선
 Fig. 3. $I-V$, $P-V$ characteristic waveform of solar cell array

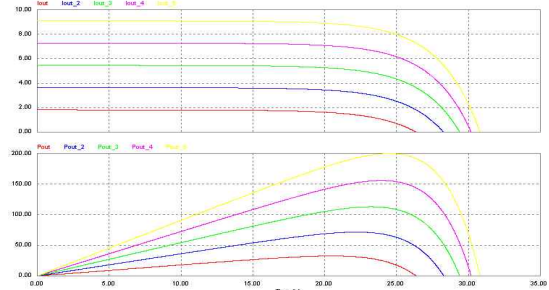


그림 4. 일사량에 대한 태양전지의 출력특성
 Fig. 4. Output characteristics of solar cell by radiation

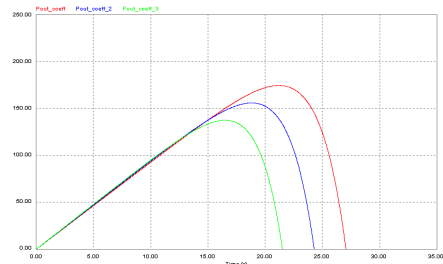


그림 5. 온도에 대한 태양전지의 출력특성
 Fig. 5. Output characteristics of solar cell by temperature

그림 5는 온도에 따른 태양전지의 출력특성으로 온도를 25[°C]에서 75[°C]까지 25[°C]씩 증가하였을 때의 변화를 나타내고 있다. 개방전압 V_{oc} 는 20~100[°C] 사이에서 $2[mV^{\circ}C^{-1}]$ 씩 감소하고, 광전류는 온도가 상승함에 $0.1[\%^{\circ}C^{-1}]$ 씩 증가하고, 최대전력은 $0.35[\%^{\circ}C^{-1}]$ 씩 감소되며, 최대효율은 지수 함수적으로 감소한다. 그

림에서는 셀 표면의 온도가 증가할 때 출력이 크게 변화되고 있음을 알 수 있다. 즉 태양전지의 출력은 온도와 일사량에 의해서 영향을 받으며 특성분석을 위해서는 온도와 일사량을 반드시 고려하여야 한다.

3. 종래의 MPPT 제어 알고리즘

MPPT의 제어방법은 하드웨어적인 분류방식으로 아날로그방식과 디지털방식이 있으며, 알고리즘 측면에서는 PO, IC 및 CV 제어방법 등이 있다. 또한 새로운 방식의 MPPT 제어방법에 대해 현재까지 많은 연구 성과가 보고되고 있다. MPPT 제어방법은 일사량과 표면온도의 변화에 영향을 받는 태양전지의 MPP를 추종하여 V_{ref} 값으로 출력된다.

MPP는 동일 일사량에서 발생하는 전력이 출력전압에 따라 변하기 때문에 MPPT 제어를 하지 않을 경우 태양전지는 MPP에서 발전하지 못하여 태양전지의 발전효율이 저하되고 손실이 발생된다. 따라서 일사량 조건과 부하조건에 따라 최적의 동작전압을 추종하는 MPPT 제어가 필요하다.

3.1 PO 제어방법

PO MPPT 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력전력과 함께 현재 어레이의 출력전력을 비교하여 MPP를 연속적으로 추적하며 찾는다. 이 방법은 그림 6과 같은 순서도에 의해 동작한다.

그림 6의 제어방법은 다음과 같이 설명할 수 있다. 전력이 증가하면 교란은 다음 주기 동안 계속해서 같은 방향으로 증가할 것이며 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 될 것이다. 이것은 어레이 단자전압이 모든 MPPT 주기 동안 교란된다는 것을 의미한다. 그러므로 MPP에 이르렀을 때 PO 제어방법은 급변하는 환경조건에서 자려진동할 것이며, 그 결과 태양전지 어레이에서 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 MPP에

도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기 동안 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 PO 제어방법의 개선으로 해결할 수 있다.

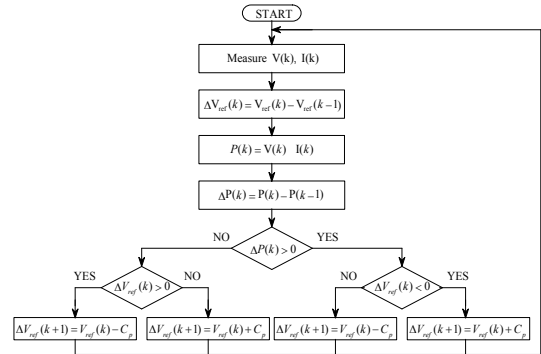


그림 6. PO MPPT 방법의 순서도
Fig. 6. Flowchart of PO MPPT Method

전력손실을 줄이기 위한 다른 방법으로는 교란 스텝의 감소가 있다. 그러나 이 방법은 환경조건이 급하게 변할 경우 MPP 추적속도가 늦어지게 되므로 스텝의 결정이 중요하게 된다. 여기서 C_p 값을 0.1[V]로 설정하여 각각의 MPPT 제어방법을 시뮬레이션 하였다.

3.2 IC 제어방법

IC MPPT 제어방법은 임피던스 비교법, 증분 컨덕턴스방법으로 불린다. 이 방법은 태양전지 어레이 출력의 컨덕턴스와 증분 컨덕턴스를 비교하여 MPP를 추종하는 방법이다. 그리고 PO 제어방법에서 간과하고 있는 일정온도에서 일사량이 증가할 경우, 전압의 변동폭이 '0'이 되도록 제어 알고리즘이 추가되어 있으므로 좀 더 향상된 방법이라고 할 수 있다. 특히 빠르게 변하는 일사량에서 효과적인 방법이며 MPP에 도달할 경우 태양전지 어레이의 출력전력이 안정한 특징이 있다. PO 제어방법의 문제점을 개선하기 위한 IC 제어방법은 전압과 전류를 측정하여 전력 대 전압의 기울기를 계산한 후 기울기의 부호 즉, 양과 음을 판단하여 기준전압을 증가 혹은 감소시켜 MPP를 추종하는 방법이다. 많은 문헌을 통하여 IC 제어방법이 PO 제어방법보다 향상된 알고리즘임을 실험으로 증

명하였으며, 특히 빠른 일사량 변동할 경우에 유리한 제어방법으로 알려져 있다. 이 방법은 그림 7과 같은 순서도에 의해 동작한다.

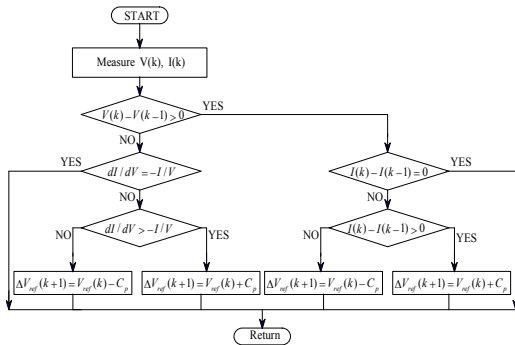


그림 7. IC MPPT 방법의 순서도
Fig. 7. Flowchart of IC MPPT Method

MPP는 $\frac{dP}{dV} = 0$ 이 되는 경우이므로 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$IdV + VdI = 0 \tag{7}$$

$$\frac{V}{I} = -\frac{dV}{dI} \tag{8}$$

위 식은 부하 임피던스가 MPP에 있어서 태양전지 어레이의 V-I곡선의 기울기에 동등하다는 것을 나타내고 있다. MPP의 최대전력곡선에서 MPP의 왼쪽은 전력의 증가(즉, $dP/dV > 0$)이며, MPP의 오른쪽은 전력의 감소(즉, $dP/dV < 0$)를 나타낸다. 태양전지의 전류와 전압으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{dIV}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \tag{9}$$

MPP 조건 $V = V_{mp}$ 를 만족하는 아래의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{10}$$

IC 제어방법은 빠른 환경변화에서 MPPT 성능이 매우 좋은 장점이 있으나, 많은 계산량으로 인해 고성능 CPU가 필요하므로 결국 시스템 단가를 상승시키는 단점이 있다.

4. 최적전류 검출 제어 알고리즘

출력전류와 출력전력의 특성곡선에서 최적점이 일사량을 따라 이동할 때 그려지는 궤적과 일치하는 선이 예측선이다. 출력전류는 P-I 특성에서 출력전력을 발생하는 태양전지 어레이를 위한 능력을 결정한다. 날씨의 변화에 무관하게 출력전류는 동작점이 항상 예측선에서 최대로 도달하기 위하여 적절하게 제어해야 한다. 출력전류를 제어하는 방법은 예측선의 하측(영역 I)과 상측(영역 II) 사이가 다르기 때문에 출력전류의 제어는 두 영역으로 구분하여 제어한다. 그림 8에서 최대출력점은 전류의 증가에 의해 영역 II에 도달하고 전류의 감소에 의해 영역 I에 도달한다.

먼저 동작점이 존재하는 영역은 샘플링 k에서 태양전지 어레이로부터 발생한 출력전력 P(k)과 샘플링 k에서 검출한 출력전류 I(k)에 일치하는 예측선에서 최대전력 P_m(k) 사이를 비교하여 판단한다. 즉 P(k)가 P_m(k)보다 작을 경우 영역 I에 존재하는 동작점이고 반대로 P(k) > P_m(k)일 경우 영역 II에 존재하는 동작점이다.

여기서 출력전력 P_n(k)는 출력전류 I(k)와 출력전압 V(k)에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$P_n(k) = V(k) \times I(k) \tag{11}$$

샘플링 k에서 태양전지 어레이로부터 흐르는 출력전류 I(k)와 일치하는 최대전력 P_m(k)은 다음 식과 같이 사전에 얻어진 예측선으로부터 추정할 수 있다.

$$P_m(k) = a \times I(k) + b \tag{12}$$

여기서 a, b는 HCM(Hill Climbing Method)를 사용

환경변화에 강인한 태양광 발전의 최적전류 MPPT 제어

하여 제어기에 의해 자동적으로 결정하는 파라미터이다. PV 발전 시스템이 설치될 때 고정되고 날씨, 특히 계절에 따라 온도 변동을 고려하여 보상한다.

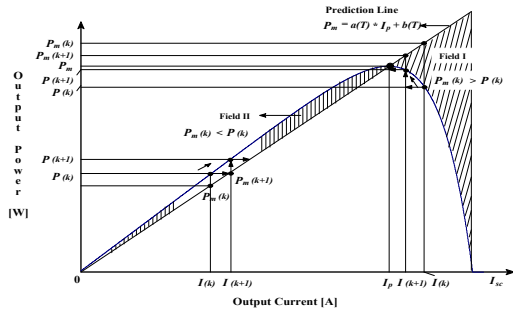


그림 8. $P-I$ 특성에서 영역정의
Fig. 8. Definition of field in $P-I$ characteristic

여기서 출력전력 $P_n(k)$ 는 출력전류 $I(k)$ 와 출력전압 $V(k)$ 에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$P_n(k) = V(k) \times I(k) \quad (11)$$

샘플링 k 에서 태양전지 어레이로부터 흐르는 출력전류 $I(k)$ 와 일치하는 최대전력 $P_m(k)$ 은 다음 식과 같이 사전에 얻어진 예측선으로부터 추정할 수 있다.

$$P_m(k) = a \times I(k) + b \quad (12)$$

여기서 a , b 는 HCM(Hill Climbing Method)를 사용하여 제어기에 의해 자동적으로 결정하는 파라미터이다. PV 발전 시스템이 설치될 때 고정되고 날씨, 특히 계절에 따라 온도 변동을 고려하여 보상한다.

A. 영역 I에서 제어규칙

$P_n(k)$ 가 $P_m(k)$ 보다 작다고 판단될 때 영역 I을 위한 다음 과정을 수행한다. 이 영역에서 지령전류 $I_{pr}(k)$ 는 $\Delta I(k)$ 에 의해 저감된 출력전류를 형성하는 동안 최대전류 $I_p(k)$ 에 도달하도록 제어해야 한다. 그런 다음 허용하는 최대량은 목표 최대치에 매우 빠르게 도달할 수 있는 동작점을 위하여 여기서 시험한다.

그림 9는 OCD 방법의 최대전력점 제어를 나타낸다.

$$I_{pr}(k) = I(k) - \Delta I(k) \quad (13)$$

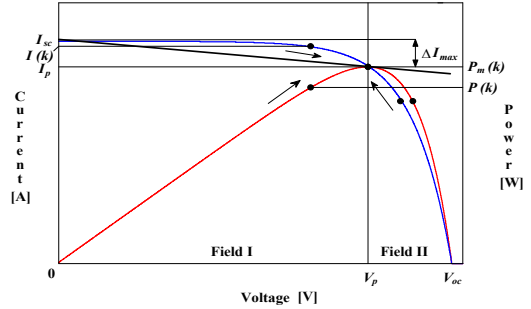


그림 9. OCD 방법의 최대전력점 제어
Fig. 9. MPPT control of OCD method

그림 9에서 단락전류 I_{sc} 와 최적전류 I_p 사이에 대한 출력전류의 제어범위는 다음 식과 같다.

$$I_p \leq I(k) \leq I_{sc} \quad (14)$$

온도가 변화하더라도 I_p 는 I_{sc} 에 비례하며 비례인자는 약 0.9이다.

$$I_p = 0.9 I_{sc} \quad (15)$$

지령전류의 저감률 $\Delta I(k)$ 은 다음 식과 같다.

$$I(n) < (\Delta I(k))_{\max} (= I_{sc} - I_p) \quad (16)$$

식 (15)를 식 (16)에 대입하면 다음 식을 얻는다.

$$\Delta I(k) < 0.1 \times I_{sc} \quad (17)$$

그러므로 $\Delta I(k)$ 는 식 (17)의 오른쪽 항보다 작으면 $0.1 \times I(k)$ ($0.1 \times I_{sc}$)는 $\Delta I(k)$ 로 적용되며 식 (17)을 만족한다. 이 과정은 최대 가능한 저감률 $\Delta I(k)$ 을 사용하여 형성되는 최적 지령전류로서 최소시간 내에 최대점에 도달하도록 출력전류를 이용한다. 결과적으로

지령전류 $I_{pr}(k)$ 는 다음 식과 같다.

$$I_{pr}(k) = I(k) - \Delta I(k) = 0.9 \times I(k) \quad (18)$$

B. 영역 II에서 제어규칙

이는 예측선에서 출력전류가 최적전류가 될 때까지 태양전지 어레이의 출력전류를 증가시켜 출력전력이 최대에 도달하는 영역이다. 최대 출력전력을 근사화하면 다음 식과 같다.

$$P_{max} = 34.6 \times I_p + 2.1 \quad (19)$$

출력전류 $I(k)$ 는 최적전류 $I_p(k)$ 와 일치하면 예측선에서 최대 출력전력 $P_m(k)$ 는 다음 식과 같다.

$$P_m(k) = 34.6 \times I(k) + 2.1 \quad (20)$$

그러나 이 경우 실제 동작점이 영역 II에 존재하고 $P_m(k)$ 가 출력전력 $P(k)$ 보다 더 작아지면 다음 식을 적용한다.

$$P(k) \geq P_m(k) \quad (21)$$

따라서 목표 최대전력은 $P_m(k)$ 보다 더 커야 한다. 그런 다음, 출력전류가 전력 오차 $\Delta P(k) = P(k) - P_m(k)$ 의 주어진 오차보다 더 작게 되는 점에 도달하기 위하여 최적 기준전류 $I_{pr}(k)$ 를 다음 식에 의해 증가시킨다.

$$I_{pr}(k) = (P(k) - 2.1) / 34.6 \quad (22)$$

이 과정은 검출전류 $I(k)$ 가 예측선에서 최적전류와 일치한다. 이 과정에서 최적 지령전류는 동작점과 예측선 사이의 가능한 가장 짧은 거리에 의해 결정되며 출력전류는 최소시간 내에 최대 전력에 도달할 수 있다.

OCD 방법의 제어과정은 그림 10의 흐름도에 나타난다. 먼저 태양전지 어레이에서 출력된 발전전력 $P(k)$ 는 태양전지 어레이의 출력전류 $I(k)$ 와 전압

$V(k)$ 를 검출하여 추정한다. 다음은 제어영역, 즉 영역 I 과 II에서 검출 출력전류 $I(k)$ 는 청명시간에 얻어진 일사량의 평균치와 일치하는 정격전류의 반값 I_{ph} 와 비교하여 판단한다. $I(k)$ 가 I_{ph} 보다 작을 경우 예측선의 전압계수 $a(T)$ 는 $I(k)$ 가 I_{ph} 근방에 있을 때 HCM에 의하여 이미 추정한 a_0 에서 거의 유지하고 있다고 가정한다. a_0 를 사용하여 MPPT 제어의 출력전력 $P(k)$ 는 $P-I$ 곡선에서 영역 I 과 II로 나누어진 최대 출력전력 $P_m(k)$ 방향으로 이동하고 앞에서 설명한 예측 제어법을 기반으로 수행한다. $I(k)$ 가 I_p 보다 클 경우 단지 $\Delta a(T)$ 는 미분 $\Delta P_m(k) / \Delta I_p(k) = (P_m(k-1) - P_m(k-2)) / (I_p(k-1) - I_p(k-2))$ 를 기반으로 추정한다.

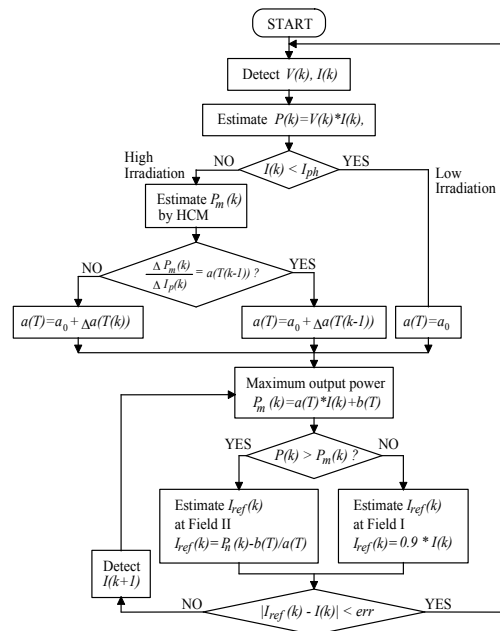


그림 10. 최적전류 검출 제어방법의 흐름도
Fig. 10. Flowchart of optimal current detect control method

이 미분의 전압계수 $a(T)$ 는 태양전지 어레이의 온도에 따라 변하기 때문에 샘플링 $(k-1)$ 과 $(k-2)$ 에서 이미 얻어진 최대전력과 최적전류에 관한 오차의 비이다. 일반적으로 온도 변화는 파라미터를 동정하는

환경변화에 강인한 태양광 발전의 최적전류 MPPT 제어

속도보다 늦다. 이와 같이 샘플링 k 에서 얻어진 변화 $a(T(k))$ 는 단지 온도의 변화에 의해 발생하는 파라미터로서 적용한다. 이 때 $a(T(k))$ 는 샘플링 $(k-1)$ 에서 이미 얻어진 $a(T(k-1))$ 와는 다르다.

5. 시스템 성능결과

그림 11은 본 논문에서 제시한 최적전류에 의한 MPPT 제어의 성능분석을 위한 PSIM 회로도를 나타낸다. PV 모델링은 PV.dll을 통하여 수행하였으며, CON.dll은 최적전류를 얻기 위한 프로그램 수행부분을 나타낸다. 표 1은 제시한 MPPT 알고리즘의 성능 분석을 위한 태양전지 모듈의 파라미터를 나타낸다.

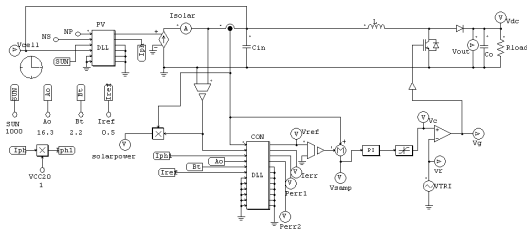


그림 11. PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로도
Fig. 11. Simulation Circuit Using PSIM

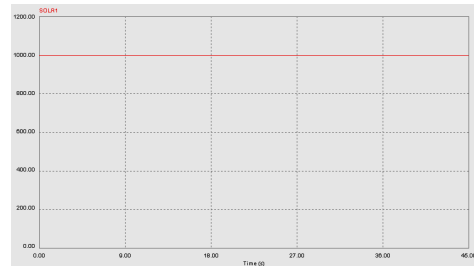
표 1. 태양전지 모듈의 파라미터
Table 1. Parameter of solar cell module

파라미터	기호	측정값	단위
개방전압	V_{OC}	42.8	$[V_{dc}]$
단락전류	I_{SC}	8.42	$[A]$
최대전력 전압	V_{mp}	34.6	$[V_{dc}]$
최대전력 전류	I_{mp}	6.5	$[A]$
최대전력	P_{mp}	225	$[W]$

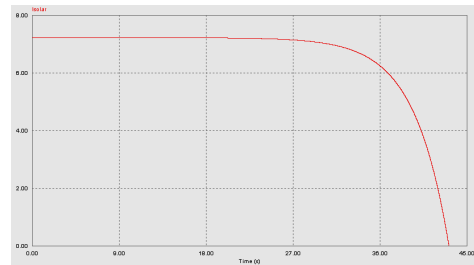
5.1 일사량이 일정한 경우

그림 12는 일사량이 $1000[W/m^2]$ 으로 일정한 경우를 나타내며, 그림 12 (a)는 일사량과 그림 12 (b)는 태양전지의 전류 및 그림 12 (c)는 태양전지의 전력을 나타내고 있다.

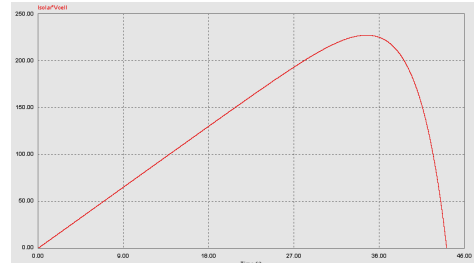
일사량이 일정한 경우에 태양전지 모듈의 최적전압은 $34.6[V]$, 최적전류는 $6.5[A]$ 및 최대전력은 약 $225[W]$ 로 나타나고 있다.



(a) Radiation



(b) $I-V$ characteristic curve of solar cell module



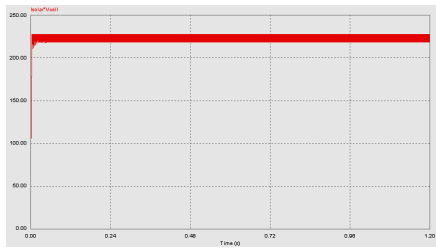
(c) $P-V$ characteristic curve of solar cell module

그림 12. 일사량이 일정한 경우의 태양전지 모듈의 특성곡선

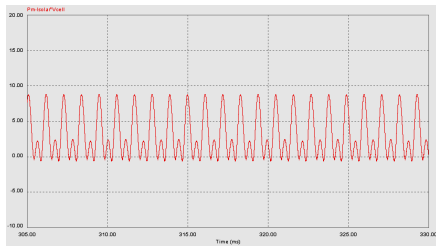
Fig. 12. Characteristic curve of solar cell module with constant radiation

5.1.1 PO 제어방법

그림 13은 PO MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 13 (a)는 PO 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 출력전력 및 13 (b)는 이론적인 최대전력의 오차를 나타내고 있다. PO 제어방법의 최대전력 오차는 약 $8.5[W]$ 에서 자려 진동하고 있다.



(a) Output power of solar cell module



(b) Error of output power with PO method

그림 13. 태양전지 모듈의 응답특성(PO 방법)
Fig. 13. Response characteristic of solar cell module (PO method)

5.1.2 IC 제어방법

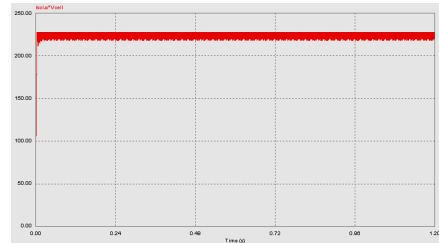
그림 14는 IC MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 14 (a)는 IC 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 출력전력 및 14 (b)는 이론적인 최대전력의 오차를 나타내고 있다. IC 제어방법의 최대전력 오차는 약 7~9[W] 사이에서 자러 진동하고 있다.

5.1.3 최적전류 검출 제어방법

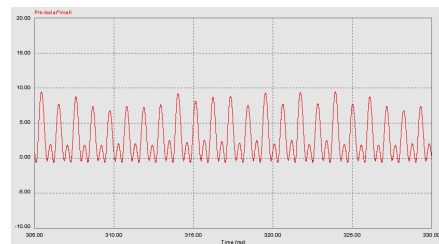
그림 15는 최적전류 검출 MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 마찬가지로 그림 15 (a)는 최적전류 검출 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 출력전력 및 15 (b)는 이론적인 최대전력의 오차를 나타내고 있다. 최적전류 검출 제어방법의 최대전력 오차는 약 2~5[W] 사이에서 자러 진동하고 있으며 기준 전류 제어방식으로 진동 폭이 작게 나타난다.

5.2 일사량과 온도가 변동할 경우

그림 16은 일사량이 400[W/m²]->1,000[W/m²]->600

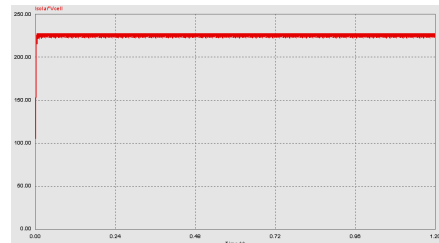


(a) Output power of solar cell module

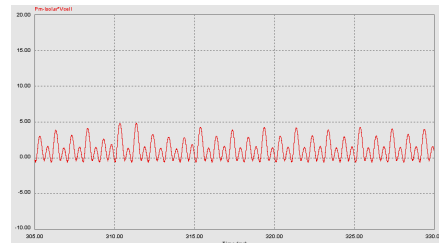


(b) Error of output power with IC method

그림 14. 태양전지 모듈의 응답특성(IC 방법)
Fig. 14. Response characteristic of solar cell module (IC method)



(a) Output voltage of solar cell module



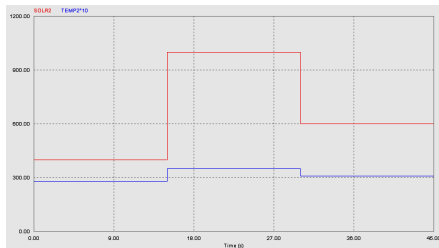
(b) Error of output power with OCD method

그림 15. 태양전지 모듈의 응답특성(최적전류 검출 방법)
Fig. 15. Response characteristic of solar cell module (OCD method)

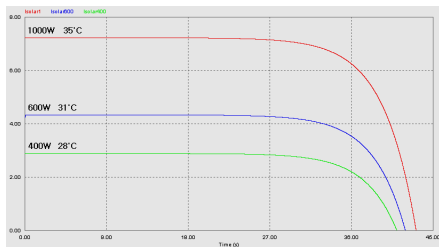
[W/m²]으로 변동함에 따라 온도가 28[°C]->35[°C]->31[°C]로 변화할 경우를 나타낸다. 그림 16 (a)는 일사

환경변화에 강인한 태양광 발전의 최적전류 MPPT 제어

량 및 온도의 변화, 그림 16 (b)는 일사량과 온도 변화에 따른 태양전지의 $I-V$ 특성곡선 및 그림 16 (c)는 같은 조건에서 태양전지의 출력전력을 나타내고 있다.



(a) Changed radiation and temperature



(b) $I-V$ characteristic curve of solar cell module



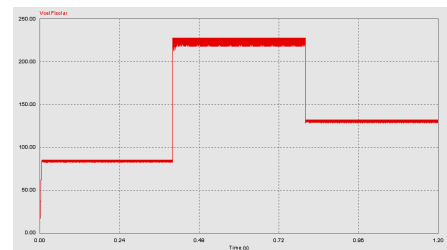
(c) $P-V$ characteristic curve of solar cell module

그림 16. 일사량 및 온도가 변동할 경우의 태양전지 모듈의 특성곡선

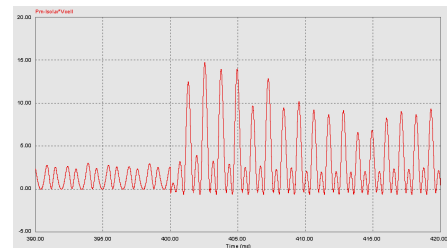
Fig. 16. Characteristic curve of solar cell module with changed radiation and temperature

5.2.1 PO 제어방법

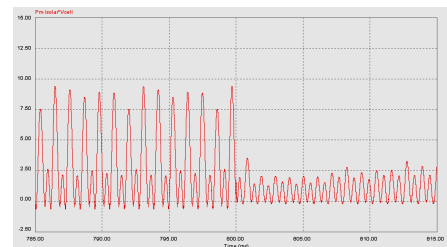
그림 17은 일사량과 온도가 변화할 경우의 PO MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 17 (a)는 PO 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 출력전력 및 17 (b), (c)는 이론적인 최대전력의 오차를 나타내고 있다. 일사량 및 온도 변화에 대한 PO 제어방법의 최대전력 오차율은 약 3.9[%]를 나타내고 있다.



(a) Output power of solar cell module



(b) $400[W/m^2]$, $28[^\circ C] \rightarrow 1000[W/m^2]$, $35[^\circ C]$



(c) $1000[W/m^2]$, $35[^\circ C] \rightarrow 600[W/m^2]$, $31[^\circ C]$

그림 17. 일사량과 온도변화에 대한 태양전지 모듈의 응답특성(PO 방법)

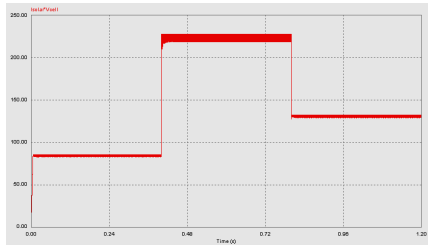
Fig. 17. Response characteristic of solar cell module with changing of radiation and temperature (PO method)

5.2.2 IC 제어방법

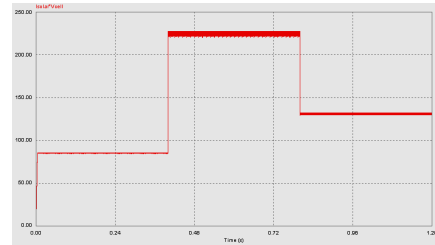
그림 18은 일사량과 온도가 변화할 경우의 IC MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 18 (a)는 태양전지 모듈의 출력전력 및 18 (b), (c)는 이론적인 최대전력의 오차를 나타내고 있다. IC 제어방법의 최대전력 오차율은 약 3.6[%]을 나타내고 있다.

5.2.3 최적전류 MPPT 제어방법

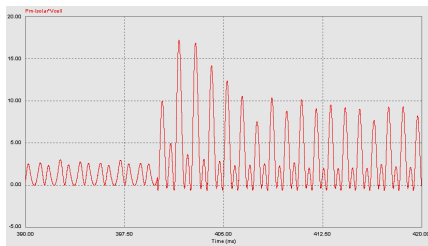
그림 19는 일사량과 온도가 변화할 경우의 최적전류 검출의 MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 19 (a)는 태양전지 모듈의 출



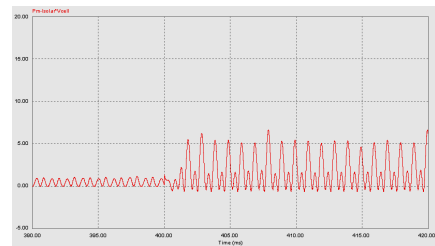
(a) Output power of solar cell module



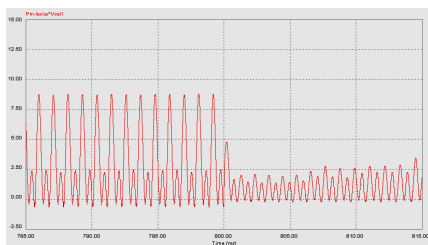
(a) Output voltage of solar cell module



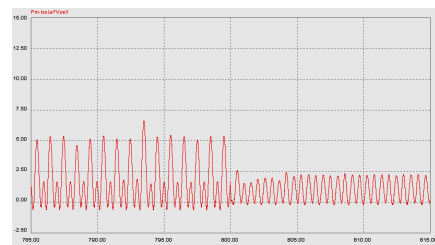
(b) 400[W/m²], 28[°C]→1000[W/m²], 35[°C]



(b) 400[W/m²], 28[°C]→1000[W/m²], 35[°C]



(c) 1000[W/m²], 35[°C]→600[W/m²], 31[°C]



(c) 1000[W/m²], 35[°C]→600[W/m²], 31[°C]

그림 18. 일사량과 온도변화에 대한 태양전지 모듈의 응답특성(IC 방법)

Fig. 18. Response characteristic of solar cell module with changing of radiation and temperature (IC method)

력전력 및 19 (b), (c)는 이론적인 최대전력의 오차를 나타내고 있다. 제시한 제어방법인 최적전류 검출 제어방법의 최대전력 오차는 약 2[%]로 전압 기준 제어에 비해 전력소모가 적게 나타남을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 일사량 및 온도 등의 환경 파라미터 변화에 대한 강인한 새로운 MPPT 제어를 제시하였다. PV의 최대전력점은 일사량과 온도에 따라 변하기 때문에 출력 효율을 증가시키기 위해 최대전력점에서 동작하도록 최대전력점을 추적하는 기술은 매우 중요

그림 19. 일사량과 온도변화에 대한 태양전지 모듈의 응답특성(최적전류 검출 방법)

Fig. 19. Response characteristic of solar cell module with changing of radiation and temperature (OCD method)

한 부분으로 인식되고 있다. 제시한 MPPT 제어 방법은 태양전지 모듈의 출력과 전류 곡선을 이용하여 두 가지 제어영역으로 구분하였다. 구분된 제어영역에 따라 최적 전류를 검출하는 함수를 이용하여 최대전력점을 추적하는데 적절한 알고리즘을 이용하였다.

종래의 MPPT 제어방식들은 지속적인 자려진동을 통하여 최대전력점을 찾아가는 방식이며 최대전력점에 도달한 경우의 정상상태에서도 증분된 값의 크기에 의해 자려진동하게 된다. 또한 출력이 급격하게 변동하는 일사량과 온도가 변화할 경우에는 자려진동뿐만 아니라 추적 실패의 문제점을 나타나게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 기준

전류 제어 기반의 파라미터 변화에 강인한 최적전류 검출 기법의 MPPT제어를 제시하였다. 제시한 제어 알고리즘은 종래의 PO 및 IC 제어 기법과 일사량이 일정한 경우 및 일사량, 온도 등이 변화하는 경우에 대해 응답특성을 비교하였다. 일사량이 일정한 경우 종래의 PO 방법은 전력오차가 약 8[W], IC 방법은 약 7[W] 정도로 나타났으나 제시한 방법은 약 2.8[W] 정도로 매우 낮게 나타났다. 또한 일사량 및 온도가 변화할 경우에는 PO 방법은 3.9[%], IC 방법은 3.6[%]의 전력 오차율이 나타났으나 제시한 알고리즘에서는 약 2[%]로 매우 양호한 오차율이 나타났다. 따라서 본 논문에서 제시한 알고리즘은 태양광 발전시스템의 MPPT 제어에 적용되어 전력오차를 감소시킴으로써 전체적인 출력전력의 향상을 기대할 수 있다.

이로써 본 논문에서 제시한 최적전류 검출에 의한 MPPT 제어 방법의 타당성을 입증할 수 있었다.

References

[1] T. L. Kottas, Y. S. Boutalis and A. D. Karlis, "New maximum power point tracker for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive networks," IEEE Trans. on EC, vol. 21, no. 3, pp. 791-803, 2006.

[2] T. Eswam and P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques," IEEE Trans. on EC, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, 2007.

[3] W. Swieger and J. Enslin, AN Integrated Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic panel, Proceeding of IEEE Power international Symposium on Industrial Electronics, Vol. 1, pp.40-44, 1998.

[4] 이상용, 외란에 강인한 최대 전력점 추종기를 갖는 태양광 발전 시스템에 관한 연구, 건국대학교 대학원, 석사학위 청구논문, 2003.

[5] 강안중, 김태우, 김학성, 일사량 급변에 대한 P&O 알고리즘의 개선, 전력전자학회 전력전자학술대회 논문집, pp.117-120, 2004.

[6] 설재웅, 장재정, 김동민, 이승혁, 김진오, 증분컨덕턴스 MPPT 제어 기반 계통연계형 태양광 발전시스템의 전력 품질 평가, 대한전기학회 논문지, 제56권, 제1호, pp.8-13, 2007.

[7] 문성창, 최적의 MPPT 알고리즘에 관한 연구, 경남대학교 대학원, 석사학위 청구 논문, 2004.

[8] N. Femia, G. Petron, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 20, no. 4, pp. 963-973, Jul. 2005.

[9] E. Roman, P. Ibanez, S. Elorduizapatarietxe, R. Alonso,

D.Goitia, and I. Martinez de Alegia "Intelligent PV module for grid-connected PV systems," in Proc. IEEE 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 3082-3087, Nov. 2004.

[10] J. A. Abu-Qahouq, H. Mao, H. J. Al-Atrash, and I. Batarseh, "Maximum efficiency point tracking (MEPT) method and digital dead time control implementation," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 21, no. 5, pp. 1273-1281, Sep. 2006.

[11] R. Kiranmayi, K. Vijaya Kumar Reddy and M. Vijaya Kumar "Modeling and a MPPT method for solar cells" J. Eng. Applied Sci., 3(1) pp. 128-133, 2008.

[12] H. S. Kim, J. M. Park, K. B. Jo, H. W. L, "A Study on the Boost Converter for MPPT Using Micro-controller in PV System", KSES CNF, pp.51-60, 2003.

[13] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV model", IEAust, vol. 21, pp. 49-56, 2001.

◇ 저자소개 ◇



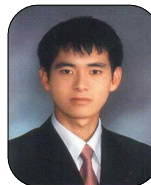
최정식 (崔正植)

1980년 2월 9일생. 2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2011년 1월~현재 전자부품연구원 선임 연구원.

Tel : (062)975-7038

Fax : (062)975-7039

E-mail : cjs1108@keti.re.kr



고재섭 (高在涉)

1980년 2월 2일생. 2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (061)750-3540

Fax : (061)752-1103

E-mail : kokos22@scnu.ac.kr



정동화 (鄭東和)

1955년 8월 15일생. 1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수.

Tel : (061)750-3543

Fax : (061)752-9841

E-mail : hwa777@scnu.ac.kr