

# 태양의 추적 오차를 줄이기 위한 BIPV용 태양광 추적 시스템의 개발

최준기\*

요약

본 논문은 저가의 반사형 광학장치를 이용한 경제적인 BIPV 저집광 태양광 모듈 시스템에 대한 연구로, 화상인식 장치와 프로그램 계산 방식을 병행하여 태양광 추적 시스템을 향상시킴으로써 태양광 추적 정확도가  $\pm 0.1^\circ$ 이내가 되도록 하였다. 이 시스템은 한 광원에서 발산된 빛의 명도를 추적하고, 명도의 분포 속에서 광원의 중심을 추적하는 트래킹방식이다. 그리고, 이를 통해 얻어진 데이터를 이용하여 다수개의 태양광발전장치를 동시에 구동시키는 제어방법을 갖추었으며, 발전장치의 동작결과 데이터를 수집해서 명령이행의 결과를 검증하는 네트워크 기반의 광원트래킹 다중제어 임베디드 시스템이다. 또한, 이를 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 구현하였다.

## A Development of Solar Tracking System with BIPV to Reduce of Solar Tracking Error

Joon-Kee Choi\*

ABSTRACT

In this paper, We developed the economic BIPV solar module system with the reflection-type optical devices. In conjunction with the image recognition device and program calculation method enhanced the solar tracking accuracy. It's accuracy can be within  $\pm 0.1^\circ$ . In this study, we made the system. This system traces the brightness of light emitted from the light source. And, in the distribution of brightness, we can find the center of the light source. Then, using the obtained data, the system can move a plurality of photovoltaic devices at the same time. Also, it is light source tracking multi-control embedded system of network-based with the results of operation of the device to collected data and to verify the results of fulfillment the command. In addition, it implemented to allow real-time monitoring.

Key Words : BIPV, Solar Tracking System, Real-Time, Solar Energy, Tracker

---

\* 인덕대학교 비서과 (✉jkchoi@induk.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 최준기 · 교신저자(Correspondent Author) : 최준기

· 접수일(2013년 8월 28일), 수정일(1차 : 2013년 9월 16일), 게재확정일(2013년 10월 10일)

### 1. 서론

태양광 발전 기술은 신재생에너지 중에서 중장기적 잠재력이 가장 높고 급성장 중인 매우 유망한 분야이다. 그래서, 저가격화를 위해 다양한 태양전지의 고효율화가 추진되고 있다. 또한 건물의 단열재로 건물 일체형 태양광 시스템을 활용하는 등의 BIPV(Building Intergrated Photovoltaic) 방식을 통해, 임야나 다른 지목인 아닌 유휴지를 사용함으로써 환경 파괴를 최소화하고 공간 활용을 최대화하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있다[1]. 이러한 연구들은 아직 초기 단계이기 때문에 공간 활용의 문제와 입지 조건 등의 여건이 일반 태양광 발전 방식보다 좋지 못해서 효율 면에서 많은 손실을 보고 있다. 그리고, 기존 태양광 시장은 중국과 미국, 유럽 등에서 이미 많은 기술 개발과 특허가 등록되어 있어 우리는 많은 어려움을 겪고 있다.

태양광발전의 핵심 기술은 태양광 추적시스템의 정확도이다. 그 중에서도 저집광형 태양광 추적시스템은 매우 세밀하고 정밀한 정확도를 요구한다. 기존의 태양광 추적시스템은 크게 프로그램 방식과 광센서를 이용하는 방식 그리고 명도차를 이용한 화상인식 추적 시스템으로 분류할 수 있는데 저집광형 발전 시스템에 적용 가능한 추적 시스템의 개발이 시급하다[2][3][4].

국내에 소개된 추적방식의 분류를 보면 크게 센서방식과 프로그램 계산방식으로 구분되고, 센서방식은 다시 사용하는 센서의 수 또는 배치 방법에 따라 미국과 독일의 방식으로 구분된다. 미국의 바늘구멍을 이용한 광센서방식은 좁은 입구를 통해 들어오는 빛이 센서를 벗어나는 정도를 추적하는 방식으로 외부로 노출된 부분이 없이 튼튼하게 구성되었으나 오차범위가 비교적 넓어 정확도 보다는 보급에 치중한 제품으로 평가 받는다[5].

독일 제품은 두 개의 센서를 배치하여 회전과

고도 조절에 사용하는데 정확도는 높으나 민감도 역시 높아서 오동작에 대한 문제점이 있다. 독일제품을 벤치마킹한 국내 제품 역시 두 개의 센서를 같은 위치에 설치하되 감도를 무디게 조절한 제품으로 오동작을 막기 위해 반응시간에 간격을 두는 특징이 있다. 센서를 사용하지 않는 형태로는 계산방식이 있는데 컴퓨터가 내장된 형태이다. 24시간 전원 공급이 필수적이어서 낭비라는 지적이 있지만 오차가 적고 고장의 우려가 낮다는 장점이 있고, 또한 현장에서 매뉴얼로 제어가 불가능한 센서방식의 문제점이 계산방식에는 없다는게 장점이다.

일부에서는 광센서를 사용하여 동작여건을 확인하고 계산방식으로 운전시키는 절충안도 사용되고 있으나, 각 방식의 단점을 해결할 수 있다는 장점보다 운영체계를 이중으로 설치하게 되어 발생하는 비용 상승이 큰 단점으로 지적되어 활용도가 낮다[6].

다음 <표 1>을 통해 해외 광센서 방식과 국내 광센서 방식, 계산방식의 특징을 간략히 비교 하였다.

표 1. 제품 특성 비교  
Table 1. Compares of the Product Specification

| 비교항목                              | 미국<br>센서<br>제품 | 독일<br>센서<br>제품 | 국내<br>센서<br>제품 | 계산<br>방식<br>제품 |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 태양추적 장치(센서)의 수                    | 1개             | 2개             | 2개             | 1개             |
| 추적 오차(최적 환경)                      | 1°             | 1°             | 1°             | -              |
| 추적 오차(부적합 환경)                     | 15°            | 6°             | 6°             | -              |
| 환경에 의한 추적실패<br>(구름, 안개, 황사, 건물 등) | 발생             | 발생             | 발생             | -              |
| 오염에 의한 센서 오작동                     | 발생             | 발생             | 발생             | -              |
| 설치장소별 변수조정                        | -              | -              | -              | 필요             |
| 추적 가능 범위                          | 30°            | 180°<br>(2개)   | 180°<br>(2개)   | -              |
| 추적 실패 대처 방안                       | -              | 있음             | 있음             | -              |
| 설치운영 편의성                          | 좋음             | 중음             | 중음             | 나쁨             |
| 관리(계산)용 PC                        | -              | -              | -              | 1개             |

〈표 1〉에서 보는 것처럼 각 제품 및 방식은 장 단점을 가지고 있다. 계산방식 중 명도차 광원트래킹 방식은 광원에서 발산된 빛이 거리에 따라 명도의 분포를 형성하며 약해지는 특징을 광원의 전개된 형태로 규정하고 이를 역추적하여 광원의 유무 또는 간섭에 관계없이 광원의 방향을 추적하는 방법이다. 이것은 CCD카메라 모듈로부터 확보한 이미지를 이용하여 각 픽셀을 센서와 같이 사용하는 것을 특징으로 하며[2], 구름이 많고 습도가 높아 태양광의 왜곡이 심하며 안개나 장마가 있는 까다로운 날씨 조건 하에서도 광원추적에 실패가 없다는 장점이 있다. 또한, 데이터를 개별 유닛이 상호 공유하여 태양의 위치 풍속, 데이터 변경 등의 상황에서 동일한 움직임을 보일 수 있다. 그러나, 임베디드 과정에서 예상치 못했던 메모리 한계와 낮은 처리 속도가 문제가 되었기 때문에 본 연구에서 이를 개선한 최적의 시스템을 구현하고자 한다.

2장에서는 제안하고자 하는 태양광 추적 시스템 전반적인 개요와 알고리즘을 설명하고, 태양광 추적 시스템 보정 그리고 모니터링 시스템에 대해 논하고 3장에서는 결론을 맺는다.

## II. 태양광 추적 시스템

### 2.1 화상인식

아래 〈그림 1〉은 명도차에 의한 태양광 추적 결과표를 나타낸다. 각 화소들은 명도를 256단계로 표시하는 센서역할을 하게 되어 기존제품에서 활용되었던 센서에 비하여 정확도가 높은 데이터를 추출해내는 것이 가능하였다[7][8][9].

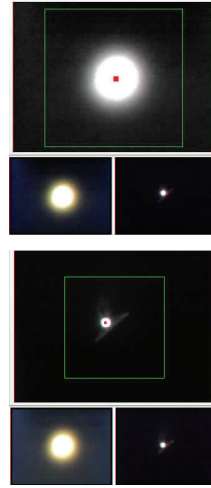
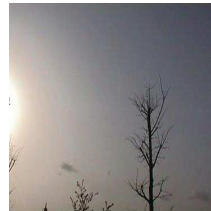


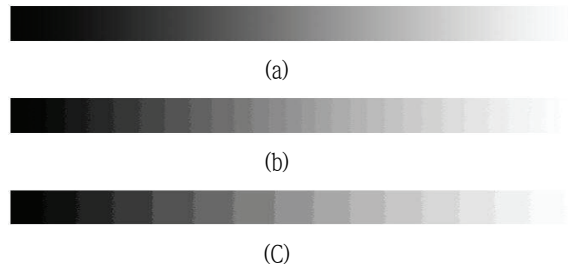
그림 1. 명도차에 의한 태양광 추적 결과  
Fig. 1. Solar Tracking Results of Brightness Differences

태양광 추적 장치에서 사용하는 태양인식 알고리즘은 다음과 같다.

① 카메라로 천구의 화상을 촬영한다.



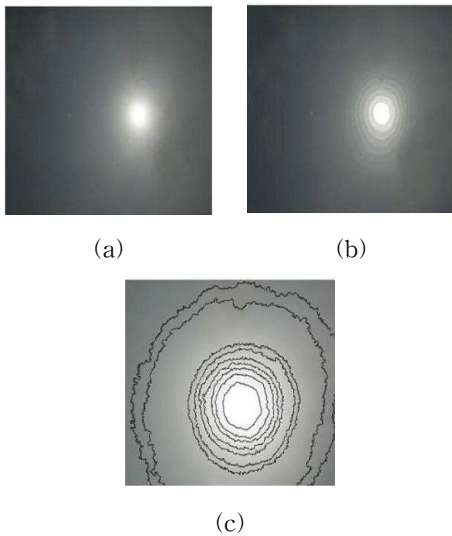
② 카메라에서 입력받은 화상의 명도를 산출하고, 명도의 단계에 기초하여 산출된 화상을 복수의 명도 구간으로 분할하여 화상을 복수 영역으로 구별하고 각 영역의 경계선을 규정한다.



상기 그림의 (a)는 화상의 명도를 가장 밝은 부분부터 가장 어두운 부분까지 256단계로 구분한 사진이다. 그림 (b)는 상기 그림 (a)의 화상을 명도가 유사한 단계끼리 같이 묶어서 명도 30단계로 표현한 것이며, 그림 (c)는 그림 (b)보다 명도의 단계를 더 단순화시켜 명도 16단계로 표현한 것이다.

태양의 중심부근은 명도가 가장 높고 태양 중심으로부터 멀어질수록 그 명도가 떨어지게 된다. 상기 분할된 명도 구간은 각 영역으로 구별하게 되어, 상기 친구의 화상 전체를 각각의 영역으로 나눌 수 있게 된다.

③ ②에서 규정된 경계선에 기초하여 화상에서의 태양 위치를 산출한다.

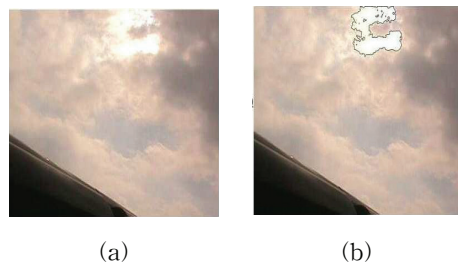


경계선에 기초하여 원이 형성되고 각 영역에 대한 원 중에 명도가 가장 높은 영역을 포함하는 원이 소정의 면적이 되는 경우, 우선 원에 대한 오차범위를 산정하고 상기 오차범위가 허용범위를 초과하는가를 판단하는 과정을 거쳐 오차범위가 허용범위 내이면 태양위치를 확정해 원 안에 태양이

위치하는 것으로 인식하고, 오차범위가 허용범위를 초과하면 다시 ①로 돌아가 태양의 위치를 추적하는 과정들을 반복한다. 또한, 상기의 경우처럼 원이 형성되지 않는 경우 영역의 경계선 및 경계선의 연장선이 일정한 방향성을 가지고 있고 각 영역에 대한 경계선들 및 경계선의 연장선들의 교차점들이 소정의 범위 내에 형성되는 경우 역시 범위 안에 태양이 위치하는 것으로 인식한다. 이렇게 산출된 태양의 위치는 출력부를 통해 출력된다.

태양 광원으로부터 빛이 간섭물체나 구름 뒤에 가려지면 그로인해 태양빛이 산란되어 일그러진 왜곡현상으로 인해 산출된 영역에 근거하여 원의 형성이 힘들고, 이런 경우에 적합하지 못한 원을 여러 개로 찾는 오류가 발생하게 된다. 따라서, 이와 같은 경우에는 또 다른 과정을 거쳐 태양의 중심을 찾는다. 빛은 직진하는 특성이 있으므로 포착된 빛줄기를 역추적하여 모든 빛줄기가 모여지는 교차점을 찾으면 그 교차점에 광원이 위치함을 알 수 있다. 이렇듯 빛의 직진성을 이용하여 태양의 위치를 추적하기 때문에 구름이나 이상 기상 현상 또는 물리적인 간섭 등이 있는 경우에도 오차범위를 최소화하면서 태양의 위치를 추적할 수 있게 된다.

다음 <그림 2>는 부적합환경에서의 태양 추적 과정을 보여준다.



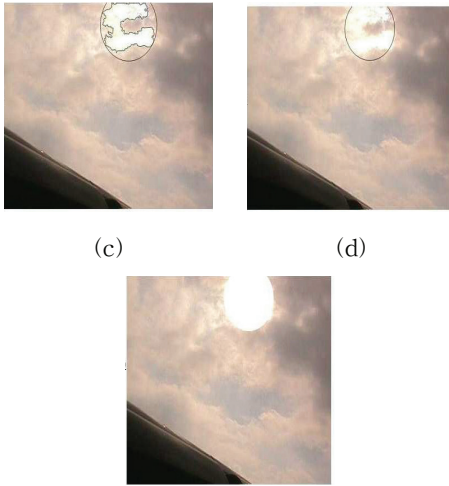


그림 2. 부적합환경에서의 태양광 추적 방법  
Fig. 2. Solar Tracking Method of the unsuitable Environment

## 2.2 저 집광용 태양광 추적 시스템

본 논문에서 제안하고자 하는 것은 화상인식 장치와 프로그램 계산 방식을 병행한 태양광 추적 시스템의 효율을 향상시키는 것으로 태양광 추적 정확도를 오차범위  $\pm 0.1^\circ$  이내가 되도록 하는 태양광 추적 시스템이다. 또한 네트워크 기반의 광원 트래킹 다중제어 임베디드 시스템을 기반으로 한 저집광 태양광 추적장치 모니터링 시스템이다. 이것은 광원에서 발산된 빛의 명도를 추적하고, 명도의 분포 속에서 광원의 중심을 추적하는 트래킹방식과 이를 통해 얻어진 데이터를 이용하여 다수개의 태양광 발전 장치를 동시에 구동시키는 제어방법 및 발전장치의 동작결과 데이터를 수집해서 명령이행의 결과를 검증하는 시스템이다. 그림 3은 전반적인 시스템을 보여준다.

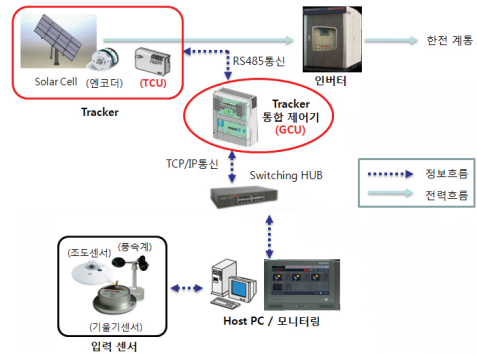


그림 3. 저집광용 태양광 추적 장치 모니터링 시스템  
Fig. 3. The Overall System Environment

<그림 3>에서 보는 것처럼 태양광 추적 장치는 태양 추적 트래커, 터미널 보드(TCU, Tracker Control Unit) 그리고 그룹 관리 시스템(GCU, Group Control Unit)으로 구성되어있다. 태양 추적 트래커는 태양 영상 카메라 수신을 통해 태양을 추적하는 장치로 원격제어를 통해 트래커를 동작하는 것이 가능하며 태양이 흐려 카메라에 잡히지 않을 경우에도 위도 및 경도에 따라 계산된 수식에 기준하여 동작이 가능하다.

터미널 보드(TCU, Tracker Control Unit)는 트래커와 함께 현장에 설치되어 1~2축으로 태양광을 추적하도록 제어하는 시스템으로, 마이크로프로세서를 이용하여 시스템 보드 내의 RTC(Real-Time Clock)칩을 통해 취득한 현재의 시각으로 방위각(Pan), 고도각(Tilt)을 계산해내며 그 값을 이용하여 트래커가 향할 각도를 계산해낸다. 또한, 산출해낸 각도에 맞추어 모터를 이동하며 그룹 관리 시스템과의 통신을 통해 영상 추적 값을 따라 태양을 추적한다.

그룹 관리 시스템(GCU, Group Control Unit)은 RS-485 시리얼 포트를 이용하여 터미널 보드의 각종 정보 및 데이터를 수집, 관리, 보관, 제어 등을 하는 시스템으로 2개의 영상장치를 통해 태양을 분석해내

고 트래커의 추적 정밀도를 높이는 역할을 한다.

〈그림 4〉는 태양광 위치 제어기의 순서도이다. 저집광 태양광발전 장치의 실시간 발전량과 태양 추적 이상 유무를 확인 가능한 모니터링 시스템을 개발하여, 실시간으로 발전 상태를 확인하고 이상 유무를 판단하여 필요한 조치를 할 수 있도록 하였다. 모니터링 시스템과 연동이 가능한 추적제어기 개발을 위해서는 광량센서를 통하여 날씨 변화를 감지하고 태양광 추적 장치의 움직임을 동작 감지기를 이용하여 감지한 후에 프로그램을 통해 오차 범위를 수정해야 한다.

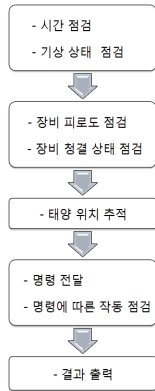


그림 4. 태양광 추적 장치 제어기 순서도  
Fig. 4. Flowchart of the Solar Tracking Device Controller

### 2.3 추적 시스템 보정과 모니터링 시스템

프로그램 방식과 화상인식을 병행한 태양광 추적 시스템을 동작한 결과 태양광 추적 오차는 ±1° 이내였다. 오차의 범위를 더 줄이기 위해 태양광 트래커 시스템에서 태양광 판넬 위치를 실제로 구동하는 액추에이터의 문제점을 보완하였다. 〈그림 5〉는 액추에이터 길이별 각도 측정 데이터로 그림에서 보는 바와 같이 액추에이터의 각도에 따른 오차가 발생하였고 이를 해결하기 위하여 액

추에이터 길이 보정을 위한 수식을 작성하여 펌웨어를 수정하였다.

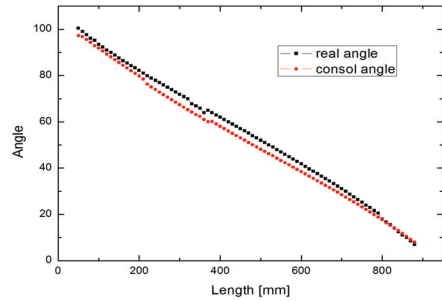


그림 5. 액추에이터 길이별 각도  
Fig. 5. Angle of the Actuator Length

다음은 오차를 줄이기 위한 트래커 수식이다. 수식에서 1) ~ 10)의 수치는 실험 데이터의 평균값이다.

$$: \text{Stroke} - \text{Angle} = Ax^4 - Bx^3 + Cx^2 + Dx + E$$

$$1) A = 5.1563e - 011$$

$$2) B = 2.3713e - 008$$

$$3) C = 1.806e - 005$$

$$4) D = 0.10979$$

$$5) E = 0.04565$$

$$: \text{Angle} - \text{Stroke} = Ax^4 - Bx^3 - Cx^2 + Dx - E$$

$$6) A = 1.483e - 007$$

$$7) B = 0.00012855$$

$$8) C = 0.002995$$

$$9) D = 8.9779$$

$$10) E = 0.028754$$

적용된 수식으로 펌웨어를 설정하고 각도를 테스트 했을 때 오차각도가 평균 ±0.1° 이하로 정확한 영상 추적 시스템을 개발할 수 있었다.

〈그림 6〉은 태양광 추적 모니터링 시스템(GCU, Group Control Unit)의 메인 화면이다. 메인 화면에서 확인 할 수 있듯이 현재 날씨, 실시간 태양 방위/고도, 트래커의 상태정보 등 사용자가 원하는 대로

설정이 가능한 각종 설정 항목으로 구성되어 있다.



그림 6. 태양광 추적 모니터링 메인화면  
Fig. 6. Capturing of the Main Solar Tracking

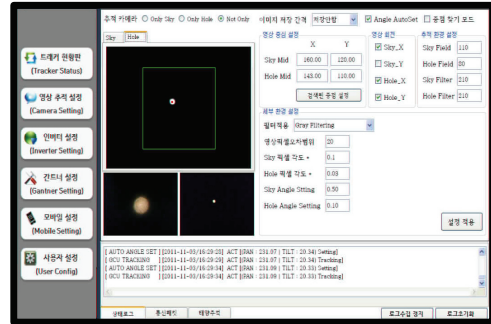


그림 8. 영상 추적 화면  
Fig. 8. Capturing of the Solar Image Tracking

태양광 추적 장치의 모니터링 시스템은 여러 개의 터미널 보드(TCU) 제어가 가능하다. 각 터미널 보드(TCU)는 GCU와 서로 다른 COM 포트로 연결되어 제어가 되도록 구성되어 있으며, 원격을 이용한 전체 수동 제어, 개별 수동 제어가 가능하다. 또한 영상 추적 화면, 트래커의 상태 정보, 인버터 정보 등에 문제가 발생하면 모바일로 관리자께 이상 징후를 전송하게 되어 관리자의 빠른 조치가 이루어지도록 하였다.

아래 <그림 7>은 트래커의 상세 정보 및 수동 제어 화면이고, <그림 8>은 태양광 추적 장치 모니터링 시스템의 영상 추적 화면이다.



그림 7. 트래커의 상세 정보 및 수동 제어  
Fig. 7 Detail information of Tracker and Manual Control

### III. 결론

미래의 에너지 자급자족을 위하여 태양광을 이용한 발전시스템의 개발은 대단히 중요하다. 우리 주거형태에서 APT나 가정에 BIPV의 발전 효율성을 높이기 위해서는 태양추적시스템을 구성하여 태양 에너지를 최대로 모으는 것이 중요하다.

본 연구는 BIPV 시스템의 건물의 창이나 벽에 수직으로 설치 되어있어 효율이 떨어짐으로 태양 전지를 이용한 이축식 태양광 발전장치의 태양추적시스템을 위한 프로그램방식과 영상시스템 방식을 결합하여 고효율의 추적 장치를 개발하였다. 이 시스템으로 태양 추적 오차를  $\pm 0.1^\circ$  이내의 정확성을 갖는 추적 시스템을 개발하였다.

이축식 태양광 발전장치에 제어장치를 활용 한다면 성능대비 투자비용을 낮출 수 있다. 이것은 기존의 수직으로 모듈을 놓는 것보다 효율이 향상 될 것으로 기대되어 이에 대한 연구가 또한 필요하다.

## 참고문헌

- [1] Park Kyung-Eun, Kim Jin-Hee, Kim Jun-Tae, "Performance Evaluation of BIPV Systems Applied in School Buildings," *KIEE*, Vol.11 No.5, pp.14 ~ pp.23, 2004.
- [2] Choi Joon-Kee, Hong Jin-Woo, "A Study on a Sun Tracking Method to the Solar Power Generation," *KKITS*, Vol. 2 No. 1, pp.57 ~ pp. 64, 2007.
- [3] An Jun-Sik, Heo Nam Euk, Kim Il Whan, "Design of Sun Tracker System for Solar Power Generation," *CICS' 06*, pp.330 ~ pp.331, 2006.
- [4] J. H. Kwon, D. S. Kim, S. H. Lee, "Understanding and industry trend of photovoltaics," *Conf. of KSES*, pp. 31 ~ pp. 37, 2003.
- [5] Seo Dong-Hyeok, *A Study on the Analysis of Sun Tracking Performances for Various Sun Tracking Systems*, M. S. Thesis, 2010.
- [6] Jang Mi-Geum, Ko Jae-Sub, Choi Jung-Woo, Kang Sung-Jun, Chung Dong-Wha, "Comparison study of PV tracking system with sensor and program method," *Conf. of KIEE*, pp. 222 ~ pp. 224, 2009.
- [7] Alper Yilmaz, Xin Li, Mubarak Shah, "Contour-Based Object Tracking with Occlusion Handling in Video Acquired Using Mobile Cameras," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp.1531 ~ pp.1536, Nov. 2004.
- [8] Jim Adams, Ken Parulski, Kevin Spaulding, "Color Processing in Digital Cameras," *IEEE Micro*, pp.20 ~ pp.30, Nov. 1998.
- [9] Shoji Kawamura, "Capturing Images with Digital Still Cameras," *IEEE Micro*, pp.14 ~ pp.19, Nov. 1998.

## 감사의 글

본 연구는 2013년도 인덕대학교 연구비에 의해 수행되었음.

## 저자소개



최준기(Joon-kee Choi)

1995년 순천향대학교 대학원 전산학과(공학석사)

1999년 순천향대학교 대학원 전산학과(공학박사)

1999년~현재 인덕대학교 비서과 교수

※ 관심분야: 병렬처리, 임베디드 시스템, 영상처리