

## 고정식과 방위추적식 태양열 급탕시스템의 집열성능 비교<sup>§</sup>

이 종 석\*†

강릉원주대학교 정밀기계공학전공

### Comparison of Heat Collection Performance of Water Heating System Using Fixed and Azimuth-Tracking Solar Collectors

Jong Suk Lee\*†

\* Dept. of Precision Mechanical Engineering, Gangneung-Wonju Nat'l Univ.

(Received June 24, 2013 ; Revised December 24, 2013 ; Accepted December 24, 2013)

**Key Words:** Azimuth-Tracking(방위추적식), Fixed(고정식), Heat Collecting Performance(집열성능), Solar Collector(태양열 집열판), Water Heating System(급탕시스템)

**초록:** 강릉원주대학교는 캠퍼스 내에 저탄소 녹색기술 아이템들을 설치하였다. 그 중에 태양열 급탕시스템은 태양열 집열판을 고정식과 방위추적식의 두 가지 방식으로 설치하였으며, 기존의 고정식 집열판과 새로운 방위추적식 집열판을 사용하는 급탕시스템의 집열량을 비교하기 위해 모니터링을 실시하였다. 본 논문에서는 태양열 급탕시스템의 구성 및 모니터링 시스템을 소개하고 모니터링 결과를 통해 고정식과 방위추적식 태양열 집열판을 사용한 두 가지 급탕시스템의 집열성능을 비교하였다. 방위추적식의 집열량이 고정식보다 맑은 날에는 19%, 비온 날에는 23%, 평균 21% 만큼 더 크다는 것을 보여준다.

**Abstract:** The solar water heating system is one of the seven green campus items installed at the Gangneung campus of Gangneung-Wonju National University. The solar water heating system has two types of solar collectors, four storage tanks and monitoring equipment. Fixed and azimuth-tracking solar collectors were installed to collect heat from the sun. The amount of heat collected by the two different types of solar collectors was calculated from the temperature of the monitored storage tanks. Our results showed that the amount of solar heat collected by the azimuth-tracking solar collector was 19% greater on a sunny day and 23% greater on a rainy day than that collected by the fixed solar collector; therefore, the azimuth-tracking solar collectors are, on an average, 21% more efficient than the fixed solar collectors.

- 기호설명 -

- $C_w$  : 물의 비열 [kcal/kg<sup>o</sup>C]
- $m_{tank}$  : 축열탱크내 물의 질량 [kg]
- $Q_d$  : 일일 집열량 [kcal/d]
- $Q_h$  : 매시간 축열량 [kcal/h]
- $T_{tank}$  : 축열탱크내 물의 평균온도 [°C]

### 1. 서론

에너지원의 대부분을 수입하는 우리나라로서는

에너지 절약과 대체 에너지 개발이 중요한 과제이다. 신재생에너지 중에서도 태양에너지, 풍력에너지, 연료전지 등의 개발 및 실용화에 국가적인 관심이 증가하고 있다.

태양에너지는 태양광을 이용하는 태양전지와 태양열을 이용하는 난방 및 급탕시스템으로 나누어진다. 태양열 난방 및 급탕시스템은 평판, 단일진공관, 이중진공관 등 여러 종류의 집열기를 사용하여 태양에너지를 집열하는데, 집열판의 경사각과 방위각을 고정한 고정식이 주로 사용되고 있다.

집열기의 열성능에 영향을 미치는 집열기 변수는 크게 설계변수, 운전변수, 환경변수로 나눌 수 있다.<sup>(1)</sup> 설계변수로는 덮개 유리의 갯수, 집열판

§ 이 논문은 대한기계학회 강원지회 2013년도 춘계 학술대회(2013. 5. 31., 강릉원주대학교) 발표논문임.

† Corresponding Author, [jslee@gwnu.ac.kr](mailto:jslee@gwnu.ac.kr)

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

의 흡수율, 방사율, 집열관의 두께 및 열전도율, 소관과 소관 사이의 간격, 소관의 내경 및 외경, 단열재의 열전도율과 두께, 집열관과 소관을 접착시키는 bond의 conductance, 집열기의 폭 및 길이 등과 같이 집열기 설계시에 그 값이 정해지는 것들이다.

운전변수는 운전 중에 인위적으로 그 값이 조절될 수 있는 것들이며 유량, 먼지의 정도, 집열기의 경사각 등이 여기에 속한다. 환경변수는 기상조건을 나타내며, 일사량의 크기 및 집열기에 대한 입사각, 바람의 속도, 대기온도 등이다.

국내에서 태양열 집열기의 설치각에 대한 연구는 대부분 표준기상데이터와 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 이루어졌다. 최정민<sup>(2)</sup>은 평판형 태양열 집열기 설치각인 방위각과 경사각 중에서 어느 각의 변화가 연간 입사열량에 더 큰 영향을 미치는지를 파악하기 위해 부산지역의 경우 권장범위 내에서 중심에 위치하는 방위각 0°, 경사각 35°를 기준으로 삼아, 방위각을 0°로 고정하고 경사각을 20~50°로 변화시켰을 경우와 경사각을 35°로 고정하고 방위각을 15°E~15°W로 변화시켰을 경우의 입사열량값을 비교한 결과 경사각이 집열기 입사열량에 더 큰 영향을 미치는 것으로 보고 경사각을 방위각보다 더 신중하게 조절해야 할 것으로 판단하였다.

김영민 등<sup>(3)</sup>은 고정식과 추적식의 태양열집열기 일사량 차이를 비교하기 위하여 국내 10개 지역의 표준 기상데이터를 이용하여 집열관의 경사각이 45°일 때와 일사량이 최대가 되도록 시간에 따라 집열관의 경사가 움직이는 추적식에 대한 일사량을 계산한 결과, 태양열 추적 시스템(경사 추적식)을 이용할 경우 평균 26% 정도의 총 일사량 값이 더 크다는 것을 확인하였다.

조영욱 등<sup>(4)</sup>은 전국 7개 지역의 2000-2007년의 자료를 연도별, 5-9월(여름), 11-3월(겨울)별로 나눠 집열방식을 고정식과 방위추적식으로 구별하여 최적 집열각도를 도출하였다. 각 지역별로 8년간 집열판을 남향, 수평으로 고정하여 태양열을 집열한 경우의 연도별 전 지역의 평균 일사량은 13.2 MJ/d/m<sup>2</sup>였다. 고정식일 경우의 최적집열각도는 23~40°, 방위추적식일 경우에는 47~57°로 방위추적식의 최적집열각도가 고정식 대비 평균 18.8° 높았다. 전체 평균 일사량을 비교하면, 고정식 대비 방위추적식을 사용했을 때 평균 4.0

MJ/d/m<sup>2</sup>, 26.7% 만큼 일사량이 높았다.

윤성은 등<sup>(5)</sup>은 태양 추적형 evacuated CPC 태양열 집열기의 성능을 알아보기 위해 태양을 추적한 경우와 고정시킨 경우의 성능을 수치해석을 통해 비교한 결과, 흡열관에 흡수되는 열량과 열유속은 입사각이 클수록 고정형과 태양추적형의 차이가 벌어지며, evacuated CPC 태양열 집열기의 효율면에 있어서 제작상의 경제성이 고려된다면 고정시키는 것보다 태양을 추적하는 것이 효과적이라는 결론을 얻었다.

이상의 연구들은 기상데이터와 시뮬레이션을 이용하여 수행되었는데, Abdallah and Nijmeh<sup>(6)</sup>는 고정된 집열면과 비교하여 태양추적 집열면에서의 집열에너지가 증가함을 실험으로 보여주었다. 그들은 요르단의 위도에 맞게 남향 32°로 고정시킨 집열면과 세 가지의 축 방향으로 태양을 추적하는 집열면에서의 집열량을 비교하였는데, 고정 집열면에서의 일일집열량에 비해 동-서 축 회전이 19.7%, 남-북 축 회전이 23.3%, 수직축 회전은 24.5%가 증가하였다. 한편 2축 추적시스템에서의 집열량 증가는 평균 41.3%로서 1축 추적시스템의 두 배에 달한다는 것을 보였다.

강릉원주대학교는 그린빌 프로그램의 일환으로 그린캠퍼스 조성사업을 통해 강릉캠퍼스 내에 저탄소 녹색기술 아이템들을 설치하였다. 그 중에 태양열 급탕시스템은 학생회관 옥상에 설치되어 아래층에 있는 건강체력센터의 샤워실에 온수를 공급하고 있다. 이 태양열 급탕시스템은 태양열 집열판을 고정식과 방위추적식의 두 가지 방식으로 설치하였으며, 기존의 고정식 집열판과 새로운 방위추적식 집열판을 사용하는 급탕시스템의 집열량을 비교하기 위해 모니터링을 실시하였다.

본 논문에서는 태양열 급탕시스템의 구성 및 모니터링 시스템을 소개하고, 모니터링 결과를 통해 고정식과 방위추적식 태양열 집열판을 사용한 급탕시스템의 집열성능을 비교해보고자 한다.

## 2. 태양열 급탕시스템 구성 및 모니터링

### 2.1 시스템 구성 및 설치

Fig. 1은 태양열 급탕시스템의 계통도를 보여준다. 두 가지 방식(고정식, 방위추적식)의 집열판(각각 3.96 m<sup>2</sup> X 4개)에 각각 2개의 축열탱크(800리터)를 병렬로 연결하여, 하루씩 교대로 축

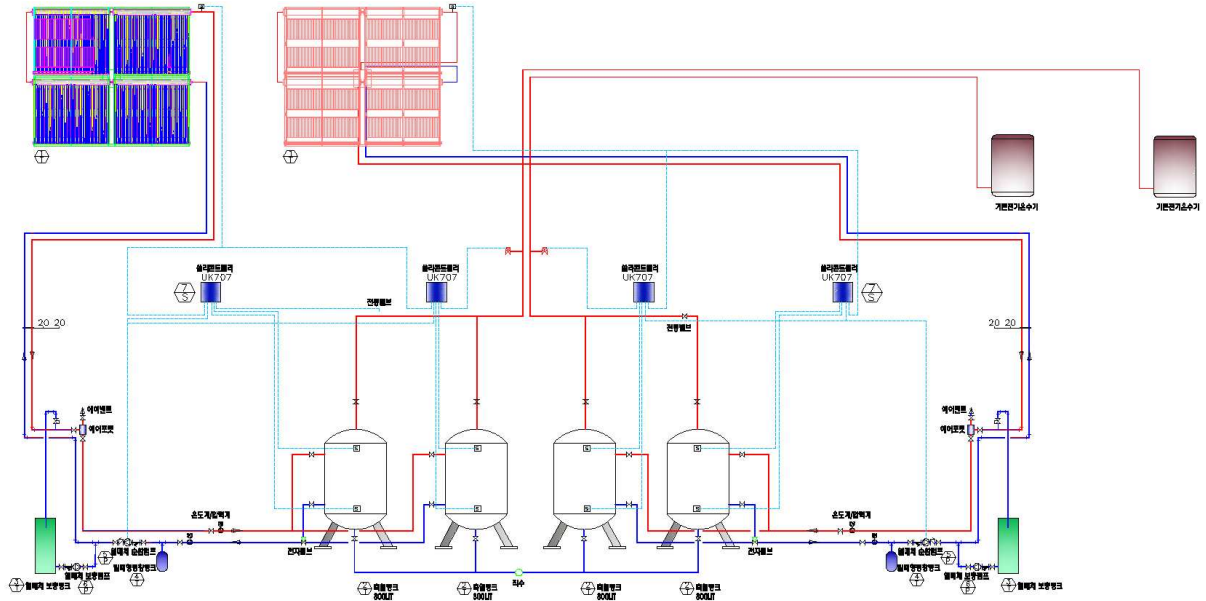


Fig. 1 Schematic diagram of the solar water heating system



(a) Fixed



(b) Azimuth tracking

Fig. 2 Types of solar collectors

열과 온수 공급을 반복하도록 시스템을 구성하였다. 집열판은 중국 Sunpower사의 단일진공관 히트파이프식인 SPA-70/1700-25 모델을 사용하였다.

Fig. 2는 고정식과 방위추적식 집열판의 설치 모습을 보여준다. 고정식 집열판은 경사각 45°, 정남향으로 설치하였으며, 방위추적식은 경사각을 45°로 고정하고 집열판 중앙에 광센서를 부착하여 광센서로부터의 신호에 의해 감속모터가 설치된 수직축이 회전함에 따라 집열판이 항상 태양방향을 향하도록 구성하였다.

Fig. 3은 4층건물 옥상에 두 가지 방식의 집열판이 설치된 모습이다. 왼쪽 뒤편에 있는 기계실에 위치한 4개의 축열탱크들은 4층에 있는 건강체력센터 샤워실에 설치되어 있는 기존의 2개의 전기온수기에 2개씩 각각 병렬로 연결되어, 전날에 축열된 탱크로부터 온수를 공급하게 된다.



Fig. 3 Overview of the solar system

## 2.2 급탕시스템 모니터링

당초에는 태양열 급탕시스템에 적산열량계를 설치하고, 적산열량과 유량을 측정함으로써 집열

량을 계산하려고 하였으나, 설치된 적산열량계의 측정단위(MWh)가 너무 커서 모니터링 대상인 급탕시스템의 정확한 집열량을 측정할 수가 없었다. 따라서 집열판에서의 집열량을 직접 측정하는 대신에 축열탱크 내부의 수온 변화를 측정함으로써 시간대별 축열량과 하루 동안의 축열량을 산출하여 집열량으로 간주하였다. 이는 집열판으로부터 축열탱크까지의 배관에서와 축열탱크에서의 열손실을 무시할 수 있다고 가정한 결과이다.

오전 7시부터 오후 6시까지 매 시간마다 날씨, 기온, 그리고 두 가지 방식 각각의 집열판 출구 온도, 탱크 상부온도와 하부온도를 측정하였다. 매시간의 축열량은 1시간 동안 탱크 상·하부의 평균온도 변화와 탱크 용량(800리터) 및 물의 비열을 곱하여 계산하였다. 그리고 일출부터 일몰 시각까지 매시간의 축열량을 합산하여 일일 집열량을 산정하였다.

집열량 산정에 사용된 식들은 다음과 같다.

$$\text{일일 집열량} : Q_d = \sum_{h=\text{일출시각}}^{\text{일몰시각}} Q_h \quad (1)$$

$$\text{매시간 축열량} : Q_h = m_{\text{tank}} C_w \Delta T_{\text{tank}} \quad (2)$$

여기서  $m_{\text{tank}}$ 는 축열탱크 내 물의 질량[kg],  $C_w$ 는 물의 비열[kcal/kg°C],  $\Delta T_{\text{tank}}$ 는 매시간 축열탱크 내 물의 평균온도 변화[°C]를 나타낸다.

매시간 축열탱크내 물의 평균온도 변화는 1시간 간격의 탱크 상·하부의 평균온도 변화를 의미하며, 다음 식과 같다.

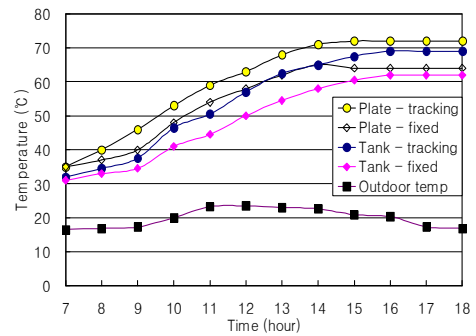
$$\Delta T_{\text{tank}} = T_{\text{tank},h} - T_{\text{tank},h-1} \quad (3)$$

식 (1)에 의해 계산된 일일 집열량을 집열판의 총면적으로 나누어줌으로써 집열판 단위면적당 일일 집열량[kcal/d/m<sup>2</sup>]을 산정하였다.

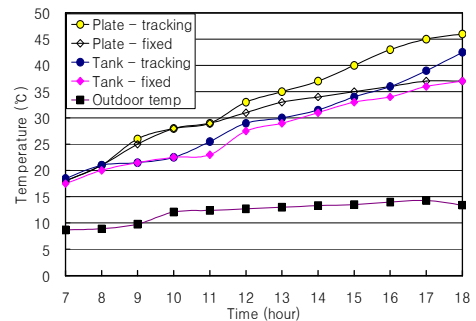
### 3. 모니터링 결과 및 고찰

#### 3.1 온도 변화

Fig. 4는 모니터링 기간(2011년 4월 10일~5월 26일) 중에서 대표적으로 맑은 날(4월 21일)과 비 온 날(4월 28일)에 매시간 측정된 두 가지 방식(고정식과 방위추적식)의 집열판 출구온도와 축열탱크 내부의 평균 수온 그리고 외기온도의 변화를 보여준다. 4월 28일의 강수량은 3.5 mm로서 그리 많지 않았다. 집열량 차이에 따라서 탱크



(a) 2011/4/21 (Sunny day)



(b) 2011/4/28 (Rainy day)

Fig. 4 Temperature variations in time

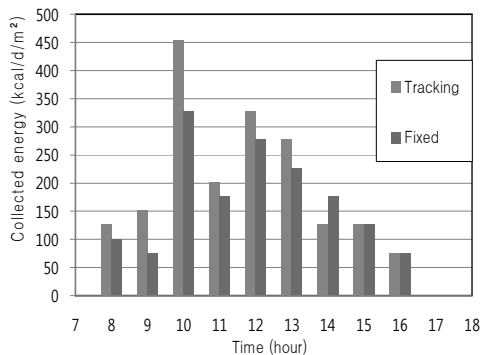
내부의 수온은 매일 달라지지만, 일출시각 이전에 두 축열탱크의 온도를 같게 만들어주었다.

Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 4월 21일에 외기의 최고온도는 12시에 23.5°C, 집열판 출구의 최고온도는 방위추적식이 오후 3-6시에 72°C, 고정식이 오후 2시에 65°C에 도달하였다. 고정식 집열판의 출구온도는 태양이 집열판 설치 방향인 정남을 지난 이후 점차로 감소하는 반면에, 방위추적식 집열판의 출구온도는 그 이후에도 계속 오르거나 유지되고 있는 것을 볼 수 있다. 탱크의 평균온도는 방위추적식이 오전 7시에 32°C에서 오후 4시에 69°C까지 상승하였고, 마찬가지로 고정식은 31°C에서 62°C까지 상승하였다. 오후 4시 이후의 탱크내부 물의 온도 변화는 없었다.

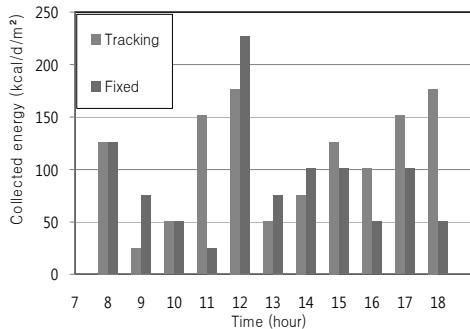
Fig. 4(b)에 나타난 바를 보면 4월 28일에 외기의 최고온도는 오후 5시에 14.3°C, 집열판 출구의 최고온도는 방위추적식이 오후 6시에 46°C, 고정식이 오후 5시에 37°C에 도달하였다. 탱크의 평균온도는 방위추적식이 오전 7시에 18.5°C에서 오후 6시에 42.5°C까지 상승하였고, 마찬가지로 고정식은 17.5°C에서 37°C까지 상승하였다.

**Table 1** Comparison of collected solar heat

Date	Weather	Collected solar heat (kcal/d/m <sup>2</sup> )		
		Fixed(A)	Tracking(B)	B/A
4/21	Sunny	1566	1869	1.19
4/28	Rainy	985	1212	1.23
Average		1275.5	1540.5	1.21



(a) 2011/4/21 (Sunny day)



(b) 2011/4/28 (Rainy day)

**Fig. 5** Solar heat collected for each hour

4월 28일(비온 날)의 일교차는 5.6℃로 4월 21일(맑은 날)의 일교차 7℃와 큰 차이가 없었지만, 비온 날 집열판 출구온도의 변화는 방위추적식이 28℃, 고정식이 19℃로서 맑은 날의 방위추적식 37℃, 고정식 30℃보다 많이 낮았다. 탱크의 평균 온도 변화도 비온 날 방위추적식이 24℃, 고정식이 19.5℃에 비해, 맑은 날에는 방위추적식 37℃, 고정식 31℃로 맑은 날의 집열량이 비온 날에 비해 많이 높은 것을 알 수 있다.

### 3.2 집열량

Fig. 5는 4월 21일과 4월 28일에 측정된 데이터를 이용하여 계산된 두 가지 방식의 시간대별 축열량을 보여준다.

Fig. 5(a)에 나타낸 맑은 날인 4월 21일의 시간당 축열량은 오전 10시에 가장 높은 값을 보이는데, 이것은 오전 9시부터 10시 사이에 탱크의 평균온도가 가장 많이 상승한 결과이다. 하루 중 햇살이 강한 오전 10시~오후 2시 사이의 축열량이 대체로 크며, 전반적으로 방위추적식이 고정식보다 매시간 더 큰 축열량을 나타내고 있다.

Fig. 5(b)는 비온 날인 4월 28일의 시간당 축열량이 맑은 날처럼 햇살이 강한 한낮에 집중되어 있지 않고 전시간대에 걸쳐 분포하고 있는 것을 보여준다. 특히 오후 3시 이후에는 방위추적식이 고정식보다 더 큰 축열량을 나타내는데, 이는 방위추적식 집열판이 태양을 추적한 효과를 잘 보여주고 있는 것이다.

Table 1은 고정식과 방위추적식 집열방식에 따른 집열판 단위면적당 일일 집열량을 비교한 표이다. 방위추적식의 집열량이 고정식보다 맑은 날에는 19%, 비온 날에는 23%, 평균 21% 만큼 더 크다는 것을 보여주고 있다.

## 4. 결론

강릉원주대학교 녹색기술산학협력중심사업단이 그린캠퍼스 조성사업의 일환으로 강릉캠퍼스에 설치한 태양열 급탕시스템은 태양열 집열판을 고정식과 방위추적식의 두 가지 방식으로 설치되었다. 기존의 고정식 설치 방식과 새로운 방위추적식 설치방식의 집열량을 비교하기 위해 모니터링을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 고정식 집열판의 출구온도는 태양이 집열판 설치 방향인 정남향을 지난 이후에는 점차로 감소하는 반면에, 방위추적식 집열판의 출구온도는 그 이후에도 계속 상승하거나 유지되고 있는 것을 볼 수 있다.

(2) 맑은 날의 경우 하루 중 햇살이 강한 오전 10시~오후 2시 사이의 시간당 축열량이 대체로 크며, 전반적으로 방위추적식이 고정식보다 매시간 더 큰 축열량을 나타내고 있다.

(3) 비온 날의 경우 시간당 축열량이 맑은 날처럼 햇살이 강한 한낮에 집중되어 있지 않고, 전시간대에 걸쳐 분포하고 있는 것을 보여준다. 특

히 오후 3시 이후에 방위추적식이 고정식보다 더 큰 축열량을 나타내는 것은 방위추적식 집열판이 태양을 추적한 효과를 잘 보여주는 것이다.

(4) 방위추적식의 집열량이 고정식보다 맑은 날에는 19%, 비온 날에는 23%, 평균 21% 만큼 더 크다는 것을 보여주고 있다.

본 논문에서는 모니터링기간 동안에 맑은 날과 비온 날의 대표적인 경우에 대해서만 비교를 하였는데, 고정식과 방위추적식의 두 가지 방식에 대해 시간별 온도 변화와 집열량의 비교가 중심이었다. 현재 태양열 추적식 시스템에 대한 추가 연구가 진행 중이며, 향후에 집열성능에 대한 더 나은 비교가 이루어질 것이다.

### 후 기

본 연구는 강릉원주대학교 녹색기술산학협력중심사업단의 3차년도 그린캠퍼스 모니터링 사업의 일환으로 수행되었으며, 태양열 급탕시스템을 설치해 준 (주)부광이엔지와 모니터링을 지원해 준 녹색기술산학협력중심사업단에 감사드립니다.

또한 본 논문은 교육과학기술부의 출연금으로 수행한 강릉원주대학교 산학협력선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

### 참고문헌

- (1) Chun, M. H., Yoon, S. B. and Choo, G. M., 1984, "A Study of Parametric Effects on the Thermal Performance of Flat-Plate Liquid-Heating Solar Collectors," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.*, Vol. 8, No. 2, pp. 145~153.
- (2) Choi, J-M, 2002, "A Study on the Setting Angle for the Flat-Plate Solar Collector Using Typical Meteorological Year Weather Data," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 14, No. 12, pp. 1084~1091.
- (3) Kim, J-M, Kim, Y. and Chung, K-S, 2007, "Study of Solar Radiation of Fixed and Tracking Solar Collectors for Various Locations in Korea," *Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference*, pp. 949~954.
- (4) Cho, Y., Kim, Y. and Chung, K-S, 2010, "A Study of Optimum Slope Angles of Fixed and Azimuth Tracking Solar Collectors by Region, Period and Year," *Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference*, pp. 1012~1017.
- (5) Yun, S. E., Kim, Y. and Seo, T. B., 2004, "Numerical Study of Thermal Performance of the Sun Tracking Evacuated CPC Collector," *Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference*, pp. 445~450.
- (6) Abdallah, S. and Nijmeh, S., 2003, "Two axes Sun Tracking System with PLC Control," *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp. 1931~1939.

(1) Chun, M. H., Yoon, S. B. and Choo, G. M., 1984, "A Study of Parametric Effects on the