

# 소형 휴대용 추적식 태양광 충전시스템의 상품화를 위한 실증 연구

이만근

분석기간동안 PV 시스템 운전특성 분석결과

## 요 약

현대문명의 총아로 각광받는 노트북, Mobile 컴퓨터는 날로 소형화 또는 경량화 되고 있다. 그러나 이와 같은 휴대용 전자기기는 전력소비가 비교적 많은 관계로 옥외에서 사용시에 추가적인 전력 공급이 없이는 사용시간이 제한된다. 따라서 주간에 태양전지를 이용하여 휴대용 전자기기에 적합한 직류전원을 직접 공급할 수 있다면 지속적인 활용이 가능하다. 따라서 야외에서 장시간 사용할 시에는 태양전지의 발전량을 최대로 얻기 위하여 저 전력 소모형태의 태양 추적장치를 개발하여 활용할 필요가 있다. 이와 같은 제품이 개발될 경우에는 야외훈련이 많은 군부대의 작전시에 많이 사용되는 무전기, 휴대용 컴퓨터(Notebook 또는 Mobile Computer) 등의 충전용 전원으로 활용할 수 있다. 동시에 태양에너지인 청정에너지를 활용함으로써 환경공해를 최소화 할 수 있게 된다.

## 1. 서 론

근래에 들어서 급속 신장을 하고 있는 휴대용 컴퓨터의 전원을 태양전지를 이용하여 얻을 수 있다면, 상용전원이 공급되지 않는 옥외지역에서 사용할 경우에 우려되는 사용시간의 제한을 보완할 수 있다. 그러나 태양전지가 비교적 많은 전력을 소모하는 휴대용 전자기기 전원으로 사용하기 위해서는

첫째, 고효율의 태양전지를 활용하여 면적당 발전효율을 높여야한다.

둘째, 휴대용 제품의 사용하기 위해서 휴대하기 간편해야 한다.

셋째, 단위 면적당 최대출력을 얻을 수 있도록 태양 추적장치를 부착하되 자체 전력소모는 최소가 될 수 있도록 설계해야 한다.

아울러 태양전지 모듈은 부하측인 휴대용 컴퓨터의 축전지에 충전하여 사용될 수 있도록 제작되어야 한다. 그러나 태양전지 자체의 변환효율 향상은 태양전지 제조분야에 속하고, 본 사업은 기존의 태양전지를 이용하여 최대 발전량을 얻도록 소형 추적장치를 개발함과 아울러 휴대하기 간편하도록 가볍고 충격에 강한 태양

전지 모듈 제작에 역점을 두고 상품화된 제품을 만들었다.

태양 추적장치의 종류는 태양추적신호의 생성 방식에 따라서 다시 크게 4가지 방식으로 나눌 수 있는데, 자연형 추적 방식(passive tracking), 태양 위치를 계산하여 시스템을 구동시키는 프로그램 방식, 광 감지부를 이용하여 태양의 위치를 찾아 구동시키는 광센서식 및 이 두 가지를 혼합한 프로그램/센서 복합방식으로 나눌 수 있다.

대형 추적장치의 경우 중고온 태양열발전인 경우에는 반드시 추적장치가 필요하고 태양광발전의 경우에도 발전효율을 높이기 위하여 추적 장치를 위용한 수 MWp의 대규모 태양광발전소가 설치되고 있으며, 이때 추적 장치는 수십 kWp를 기본 단위로 하여 대형 발전시스템을 구축한다.

소형 제품용 태양 추적장치의 경우에는 그 선례를 찾아보기 힘들으나 직달일사량 측정을 위하여 사용되는 정밀성을 높이기 위하여 추적장치에 많은 양의 전력을 소모하는 교류 모터를 이용하여 사용하고 있다. 그러나 본 과제의 특성상 발전 효율을 높이기 위해서는 저전력 소형 DC 모터를 태양광 추적장치에 이용하는 기술적인 문제가 남아 있다. 그리고 저가의 휴대용 태양광 추적장치에 대한 연구는 제품의 수요에 따라서 여러 가지 형태로 개발이 가능하다.

현재까지 휴대용 태양전지 모듈을 추적장치를 이용하여 활용하는 경우에는 구조적인 안정성의 문제되고, 이용범위의 한계로 인하여 사용용도가 극히 제한되었다. 따라서 휴대용 태양전지를 이용한 추적장치의 경우에는 소형 직류모터를 사용하여 소형 태양전지 모듈 단위로 직접 태양을 추적하는 추적장치에 대한 제품이 상용화되지 않았으며, 따라서 휴대용 충전기의 경우에는 소형 직류모터를 사용하여 추적기능을 살리면 많은 발전량을 얻을 수 있으며, 구조적인 문제점도 쉽게 해결된다.

태양전지를 전력을 많이 소모하는 휴대용 전자기기 전원으로 이용하기 위해서는 첫째, 고효율의 태양전지를 활용하여 변환효율을 높여야한다. 둘째, 휴대용 제품의 경우 공통적으로 부피가 작고 가벼워서 휴대하기에 간편해야 한다. 셋째, 단위 면적당 최대출력을 얻을 수 있도록 태양 추적장치를 부착하되 추적장치 자체 전력소모는 최소가 될 수 있도록 설계되어야한다. 넷째, 구조적으로 안정된 형태를 유지하여 야외에 설치시에 외부의 기상 조건에 적절히 대처할 수 있어야한다. 아울러 태양전지 모듈은 부하측인 휴대용 컴퓨터의 축전지에 언제든지 충전될 수 있도록 태양전지 충전기 내부 축전기가 확보되어 있어야 한다. 그리고 태양전지 자체의 발전량 향상을 위하여 현 시장에서 가장 높은 21%의 고효율 태양전지인 미국의 SunPower 태양전지를 이용하여 모듈을 제조하였다. 그 결과 같은 면적에서 33%의 발전량 향상을 가져왔으며, 모듈 제작시에 효율 감소를 방지하기 위하여 태양의 수광 표면을 특수 처리하였다.

## 2. 본 론

### 가. 추적시스템 설계

태양 추적 장치(solar tracking system)는 태양 전지 모듈로 입사되는 태양 광선의 방향을 태양 전지 모듈 집광면 법선 방향과 일치시키기 위하여 태양 전지 모듈에 부착하는 자동 제어 장치를 의미한다. 즉 태양 추적 장치는 계절과 시간에 따라 중 변화하는 태양의 위치에 따라 항상 태양 전지 모듈이 태양을 향하도록 하여 태양 전지 모듈이 태양광선과 수직으로 놓여있지 않음으로 인하여 발생하는 손실 즉 cosine 손실을 최소화하여 태양 에너지를 가능한 많이 이용할 수 있도록 하는 제어 장치이다.

이러한 태양의 위치를 추적하기 위하여 태양의 위치가 계절 및 시간에 따라 어떻게 변하는지 또 좌표를 어떻게 나타내는지 등을 살펴보고 태양의 위치를 계산하는 알고리즘에 대하여 살펴보고 간단한 태양 위치 계산 프로그램을 작성하여 그 결과를 살펴보고 이를 이용하여 태양 추적 장치를 구성한다.

정확한 태양 추적 장치는 태양의 고도각과 시간각 (또는 방위각)을 추적하는 이축 태양 추적 장치이다. 이축 태양 추적 장치는 구동축 배열 방식에 따라 polar 추적 방식과 방위각-고도 (azimuth-elevation) 추적 방식으로 나눌 수 있다. polar 추적 방식은 지구의 자전축과 평행한 축 즉 polar 축에 대하여 시간당  $15^\circ$  씩 회전하고 동시에 이와 수직인 적위 (declination) 축을 기준으로  $\pm 23.5^\circ$  (시간 당 최대  $0.0016^\circ$  이내)에서 회전하는 방식이다. 방위각-고도 추적 방식은 지표면과 수직인 방위각 (azimuth) 축을 중심으로 회전하고 동시에 이에 수직하며 동서로 배열한 고도 (elevation) 축을 기준으로 회전하는 방식이다. <표 1>은 이 두 가지 방식의 장단점을 정리한 것이다. 그 외에도 두 구동축을 직각으로 배열하지 않는 외심 짐벌 (exocentric gimbal) 태양 추적 방식도 일부에서는 채택하고 있으며 간단한 장치에서는 태양의 고도각 또는 방위각만을 추적하는 일축 태양 추적 장치를 사용하기도 한다.

태양 추적 장치의 태양 추적 신호 발생 방식에 따라서는 크게 자연형(passive) 방식, 프로그램 방식, 센서 방식 및 프로그램/센서 복합 방식 등 4 가지 방식으로 나눌 수 있다. <표 2>는 태양 추적 장치의 태양 추적 신호 발생 방식에 따른 분류와 각각의 방식의 장단점을 정리한 것이다.

현재 구미 각국에서 사용 중인 대표적 집광형 태양 전지용 추적 장치 및 운영상의 문제점은 산업자원부 보고서 200N-PV01-P-02에 정리되어 있다.<sup>[이만근2001, p.6]</sup>

<표 1 : 이축 태양 추적 장치 구동축 배열 방식에 따른 분류와 장단점>

추적 방식	추적 구동축 배열	장점	단점
polar 추적 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• polar 축 : 지구 자전축과 평행</li> <li>• 적위(declination) 축 : polar 축과 수직</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구동 범위가 작음</li> <li>• 추적 속도가 균일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설치 및 조정이 복잡</li> </ul>
방위각-고도 (azimuth-elevation) 추적 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방위각 (azimuth) 축 : 지표면과 수직</li> <li>• 고도 (elevation) 축 : 지표면과 평행 (동서 방향으로 정렬)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설치 및 조정이 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구동 범위가 큼 (동력 손실이 큼)</li> <li>• 연중 또는 일중 추적 속도의 변화가 큼</li> </ul>

요즈음 태양 추적 장치는 위치와 시간 자료를 바탕으로 태양 벡터의 방향을 계산하는 open-loop 국지 컨트롤러를 사용하는 경향이다. 이렇게 함으로써 중앙 제어 장치와 많은 양의 정보를 주고받을 필요가 없어서 효과적이다. 이러한 태양 추적 장치의 가격을 낮추기 위하여 보통 컨트롤러로 마이크로프로세서를 사용하여 태양의 위치를 계산하고 추적 장치의 다른 기능도 제어할 수 있다.

<표 2 : 추적 신호 발생 방법에 따른 태양 추적 장치의 분류와 장단점>

추적 방식	추적 신호 발생 방법	장점	단점
자연형 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전자 회로 및 구동 모터없이 추적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조가 간단</li> <li>• 유지 보수 비용이 적음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정확한 추적 불가능</li> </ul>
프로그램 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양 위치 계산</li> <li>• 계산된 위치로 태양 전지 모듈 구동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정확한 추적 가능</li> <li>• 지속적 추적 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조 복잡</li> <li>• 최초 설치시 정확성이 필요</li> </ul>
센서 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양 위치 판별 센서사용</li> <li>• 센서로 부터의 제어신호를 구동 모터에 직접 전달</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조가 간단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산란 태양광에 의한 오동작 우려</li> </ul>
프로그램/센서 복합 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 프로그램 방식과 센서 방식의 복합 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 프로그램 방식 및 센서 방식의 단점 보완</li> <li>• 정확한 추적 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조 복잡</li> </ul>

## 나. 태양 추적장치(solar tracking system) 제작

태양추적방식에는 태양추적신호의 생성 방식에 따라 자연형 방식, 태양위치를 미리 계산하여 시스템을 구동시키는 프로그램 방식, 광센서를 이용하여 태양의 위치를 실시간으로 추적하는 센서식 방식 그리고 프로그램 방식과 센서 방식을 혼합하여 사용하는 방식이 있다.

첫째, 방위각과 경사각을 모두 제어하는 방식이다. 이것은 방위각을 제어하는데 모터 하나를 사용하며 경사각을 제어하는데 모터 하나를 사용함으로써 모두 2개의 모터를 이용하는 방식이다. 또한 정확성을 기하기 위해서 추적장치 위쪽에 광센서를 달아서 태양의 빛의 강도를 비교하여 태양을 추적할 수 있는 방식이다. 이 방식의 특징은 방위각은 물론 경사각을 조절할 수 있어 정확한 태양의 추적이 가능하며 이에 따라 보다 높은 태양전지의 효율이 증가 될 수 있다. 하지만 방위각과 경사각을 제어하기 위한 모터가 2개가 필요하며 방위각 제어 시에는 적당한 토크면 가능하지만 경사각 제어 시에는 모터의 강력한 토크가 요구된다. 또한 센서와 2개의 모터를 써야함으로 전력소모가 클 것으로 생각되며 무게가 부피가 커지므로 휴대용으로 제작하는데 많은 어려움이 있을 것으로 생각된다.

둘째, 모터를 1개만 사용하여 방위각만을 제어하는 방식이다. 이것은 광센서가 없이 시간에 따라 추적하는 방식이다. 즉, 태양은 시간에 따라 10분에 약 2.5°씩 일정하게 움직이므로 미리 프로그램화하여 방위각을 추적 제어하는 방식이다. 이것은 모터를 1개만 사용함으로써 첫 번째 방식에 비해 무게와 부피를 줄일 수 있으며 전력 소모도 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 경사각을 한번만 초기에 조절하면 됨으로 제어가 용이하다. 하지만 경사각을 제어함으로써 얻어지는 효율의 증가를 기대할 수 없으며 경사각과 방위각을 초기에 조절하는 값에 의해 상당히 의존하게 되는 단점을 보여준다.

셋째, 참고해야할 방식으로 태엽스프링을 이용하여 방위각만을 제어하는 방식이다. 태양은 일정하게 한 방향으로만 움직이므로 태엽을 감았다가 풀어놓으면 일정하게 회전하여 방위각을 조절하게 하는 것이다. 이것 또한 광센서가 필요 없으며 전력소모가 전혀 발생하지 않는다. 또한 첫 번째와 두 번째 방식에 필요한 회로 등 부가적인 장치가 필요 없으며 또한 회로부가 필요 없게 되어 프레임과 구동장치를 분리하지 않고 일체형으로 제작할 수 있다. 하지만 두 번째 방식과 마찬가지로 경사각을 제어함으로써 얻어지는 효율의 증가를 기대할 수 없으며 초기 조정치에 따라 효율이 변화할 수 있다. 또한 태엽을 수동으로 감아주어야 하는 번거로움이 있게 된다.

결국 두 번째와 세 번째 방식에 중점을 두어 연구해할 것으로 생각된다. <표 3>에 본 태양 추적장치에 이용될 3가지 방식을 비교 분석하여 나타냈다. 세 번째인 태엽장치는 첫 번째 방식과 유사해 참고하여 포함시켰다.

<표 3 : 3가지 추적방식의 비교>

추적형식	방위각과 경사각 제어	방위각만 제어-모터 1개 이용	방위각만 제어 - 태엽장치 이용
추적신호	센서	초기 값	초기 값
구동장치	모터2개	모터 1개	태엽스프링
제어회로	제어회로 2	회로1	없음
감속비	1/91, 1/102.5	1/102.5	감속 기어 없음
삼각대와 본체	분리형	분리형	일체형

우리는 방위각만 제어하여도 높은 효율의 증가를 가져올 수 있다는 것을 보기 위하여 태양전지 모듈이 방향을 다르게 하여 설치되어 있는 조선대학교 공대에서 올해 6월 8일에 수집한 자료를 분석하여 보았다. [그림 2-1]에 일일 시각 변화에 따른 태양전지의 효율의 변화를 나타낸 것이다. 경사각과 방위각을 3가지 경우로 한정하여 고정해 놓고 태양이 시간에 따라 변화해 갈 때 고정된 태양전지로부터 얻은 값들인데 그 차이점을 명백히 볼 수 있다. 방위각이 180°로 같고 경사각이 30°와 50°로 다르게 태양전지를 배열했을 경우 경사각 변화에 따른 효율의 변화는 일정한 시간대에서만 상당한 차이를 보여주고 있다. 하지만 경사각을 30°로 일정하게 고정해 놓고 방위각을 180°와 230°로 달리하여 측정한 경우에는 모든 시간대에 있어 상당한 값의 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 물론 위의 값들은 태양전지모듈을 일정한 위치에 고정해 놓고 측정한 값이라 추적했을 때와 비교해 정확한 결정은 어렵지만 방위각과 경사각을 달리했을 경우에 대한 어느 정도의 결과는 예측할 수 있다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 경사각을 최적의 상태로 조절한다면 경사각 변화에 따른 효율의 감소를 몇 퍼센트 안에서 최소화할 수 있을 것이다. 따라서 방위각만을 추적하여도 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 추적기를 제작하는데 있어 경사각과 방위각을 모두 추적하여 좋은 결과를 얻는다면 그 이상 바랄 것이 없겠지만 정확한 추적을 위하여 센서 및 두 개의 모터, 전력소모 그리고 회로의 추가 등을 고려해야 할 것으로 생각된다. 소형 추적장치에서 위와 같은 여러 가지 장치가 필요하고 부피도 커진다면 각각의 장단점을 비교하여 상황을 극대화할 수 있는 방법을 찾는 것이 유리할 것이다. 따라서 각각의 추적장치를 만든 다음 실제로 추적하여 얻은 결과를 비교해 보았다.

#### 다. 추적 회로 동작

본 실험에서 구현한 전체 알고리즘은 태양전지의 위치를 파악하여 구동부에 발전된 전원의 일부를 추적시스템의 에너지로 사용하고 나머지는 부하에 공급하게 된다. 발전된 전력을 추적 시스템의 구동부에서 최대한 전력소비를 줄이기 위하여 주제어 소자인 마이컴을 제외한 나머지의 시스템은 다운상태로 대기하도록 10분에 1회 추적작용을 수행하게 하였다.

태양전지 추적시스템은 크게 센서부, 센서드라이브부, 마이컴 주제어 회부, 모터 드라이브부, 가동부, 본체로 이루어져 있다.

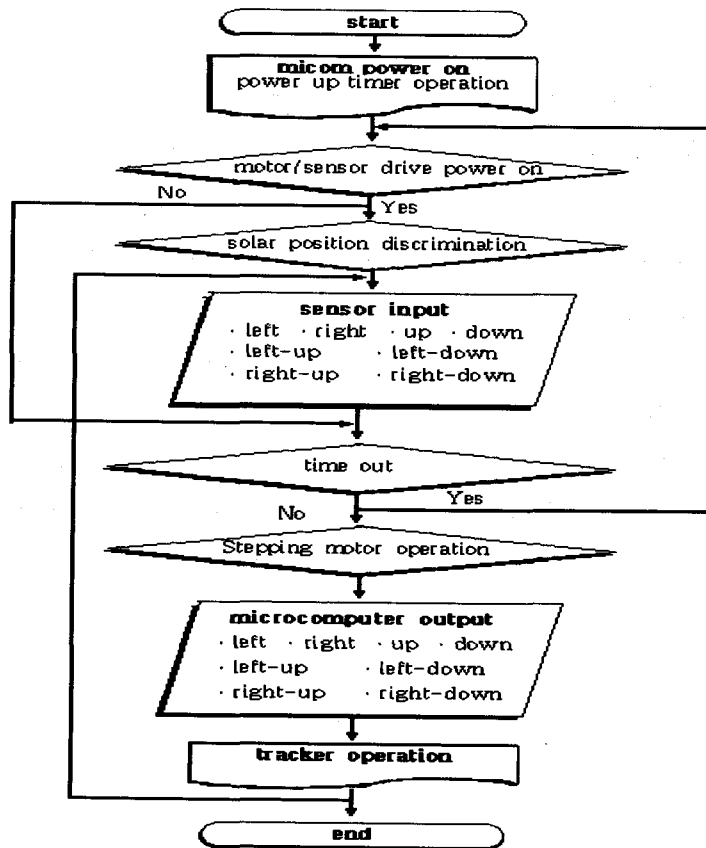
센서부에서는 광도전소자(CdS)의 특성을 이용하여 태양과 이루는 각에 따른 빛의 밝기를 인위적으로 입사하도록 하여 소자 양단의 저항값의 변화를 검출하여 구성하였다. 센서드라이브부에서는 검출된 저항 값과 고정된 저항의 입력전압분배에 의해서 각각 5방향에서의 검출전압을 비교부에 입력하여 센서 중심부를 기준으로 태양의 위치를 판별하도록 신호 값을 출력한다.

마이컴 주회로부는 원칩 마이컴 PIC16F84를 사용하여 센서 드라이브부의 입력과 이를 프로그램적으로 논리기능을 수행한 후 출력 신호를 발생하게 되고 이 신호가 모터 드라이브부에 입력하게 된다. 이 부분에서 전력소비를 최소한으로 하기 위해 10분에 1회 꼴로 마이컴 부를 제외한 나머지 시스템의 전원을 온-오프 시킨다. 또한 입력신호의 조건에 따라 구동 신호를 발생하며 일사량의 변화에 대응한 여러 가지 조건에 대한 설정이 프로그램화 되어있다.

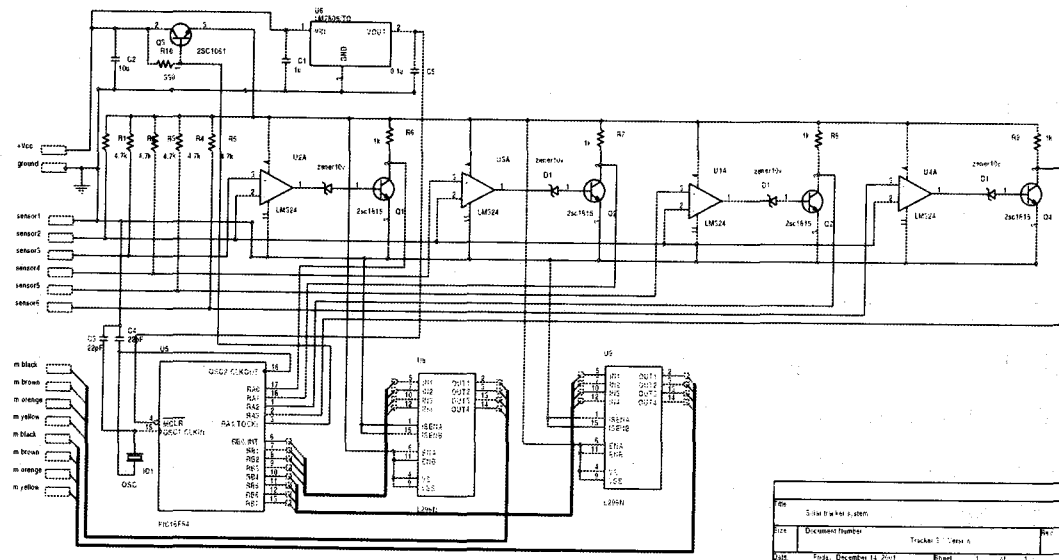
모터 드라이브부는 모듈화된 단일 칩으로 구성하였고 방위각과 경사각구동용 드라이브로 구성되어있다.

가동부는 스텝 모터 2조로 되어있고 각각 방위각과 경사각으로 구동한다. 스텝모터는 한 펄스 당 0.4 회전하며 감속기어를 사용하였으므로 정지토크는 무한대이다.

태양광 추적시스템의 제어 알고리즘과 전체 회로도 는 각각 [그림 1]과 [그림 2]와 같다. 전원입력단자, 센서입력단자, 방위각제어 모터출력단자, 경사각제어 모터출력단자와 마이컴회로 및 주변회로, 드라이브부, 센서검출 및 증폭 비교판별부분으로 구성되어있으며 TR 2sc1061이 마이컴을 제외한 나머지 회로의 메인 차단 스위칭소자로 사용되었다. 마이컴은 PIC16F84를 사용하였고 신호검출 및 증폭 비교판별부는 LM324와 c1815 및 저항소자의 조합으로 구성하였다. 모터드라이브 IC는 단일칩으로 구성된 L298N이 두 개가 사용되었으며 마이컴 전원의 안정화를 얻기 위해 7805레귤러 IC를 채용하였다.



[그림 1 : 태양광 추적제어 알고리즘 순서도]



[그림 2 : 태양광 추적기 제어 회로도]



### 3. 결 론

효율적이고 실용적인 태양추적 장치의 제작을 위하여 고려되었던 사항은 다음과 같다.

첫째, 태양의 정확한 위치계산, 태양센서로부터 입력되는 신호를 판별하기 위하여 PC를 이용한 태양추적 프로그램 개발. 둘째, 태양의 위치 판별을 위한 태양센서 및 세서 제어기능. 셋째, 태양의 추적을 위한 기계적인 구동 부분인 모터를 이용한 운동 제어기능. 넷째, 모터 및 감지부인 센서 등에 적절한 전력을 공급하기 위한 전원공급부. 다섯째, 추적시스템의 원활한 운영을 위한 소프트웨어 개발.

태양전지의 단위 모듈은 7watt를 기준으로 각각 14watt, 21watt, 28watt 모듈을 제작하였다. 이때 사용된 태양전지 모듈은 미국의 SunPower Co.에서 개발된 태양전지 변환효율 20%의 뒷면 전극 태양전지를 사용하였다. 아울러 태양전지 출력의 다양성을 유도하기 위하여, 12volt에서 사용되는 노트북 충전을 위한 16.5volt 출력단자 외에도 3.7volt을 이용하는 휴대폰, PDA, 캠코더 등의 충전을 위한 4.2~5.5volt 출력단자와 군용 무전기를 충전하기 위한 28volt 출력단자를 준비하였다.

방위각 조정은 프로그램 조정방식으로 1 ~ 10분마다 적정한 각도를 회전하도록 제작하였다. 그리고 실제 가장 적합한 추적시각은 10분에 2.5도씩 움직이는 것이 효율적이었다. 특히 경사각의 경우에는 하루 중에 변화하는 각도가 작은 점을 이용하여 적절한 guide를 지지대로 고안하여 추적장치가 방위각을 추적하는 동안에 태양의 경사각을 추적할 수 있도록 고안된 궤도로 태양전지 판이 이동되도록 설계할 수 있음을 추정하였다. 아울러 태양전지의 출력의 효율적인 이용을 위하여 추적동력인 모터에서 사용되는 전력을 최소화하기 위하여 10분 주기로 순간적으로 모터가 단위 클릭인 2.5도씩 이동하고 나머지 시간에는 대기모드로 변환하여 추적에 소모하는 전력 손실을 최소로 하는 데에 성공하였다. 즉 대기모드에서 전력 손실을 0.07watt 모터회전 시 8초간에 전력소모를 0.12watt로 하였다.

상품화를 목적으로 산업디자인 전문가에게 용역을 주어 상품화를 통한 태양광 충전기의 제품으로서의 가치를 꾀하였다.

### 참 고 문 헌

1. [이만근2001] 이 만근, 정 금면, 윤 정택, 김 종선, 류 승필, 문 광웅, "휴대용 소형 추적식 태양 전지 모듈 제작 및 응용에 관한 연구", 산업자원부 보고서 200N-PV01-P-02 (2001) p. 6.