工學碩士 學位論文

원격 다중 제어가 가능한 독립형 태양광 발전 시스템 제어기 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Controller for Stand-Alone Photovoltaic Power System with Remote Multiplex Control

指導敎授 吳 珍 錫

2005년 2월

韓國海洋大學校 大學院

메카트로닉스 공학과

郭 俊 浩

本 論文을 郭 俊浩의 工學碩士 學位論文으로

認准함

主　審　工學博士　李　相　泰　（印）

委　員　工學博士　李　鴻　燦　（印）

委　員　工學博士　吳　珍　錫　（印）

2005 年 2 月

韓國海洋大學校　大 學 院

메카트로닉스공학과　郭 俊 浩

목 차

Abstract iii

제 1 장 서 론 1
1.1 연구배경 1
1.2 연구목적 4
1.3 연구내용구성 6

제 2 장 태양전지 7
2.1 태양전지 7
2.2 MPPT Algorithm 12
2.2.1 일정전압 제어방식 알고리즘 12
2.2.2 Perturb & Observe(P&O) 알고리즘 12
2.2.3 Incremental Conductance(IncCond) 알고리즘 13
2.2.4 제안하는 MPPT 알고리즘 14

제 3 장 충전 제어 시스템 17
3.1 충전용 컨버터 개요 17
3.2 Buck Converter 18
3.3 컨버터의 구성 20
3.3.1 CPU 20
3.3.2 Converter 21
3.4 소프트웨어 27

제 4 장 데이터 통신 시스템 33
4.1 통신 시스템 개요 33
4.2 통신망 구성 34
4.3 통신 회로망 설계 36
4.4 통신 알고리즘 및 프로토콜 39

4.4.1 통신 알고리즘 39
4.4.2 통신 프로토콜 42

제 5 장 실험 및 고찰 44
5.1 실험장치 44
5.2 충전 제어기 46
5.3 데이터 통신 52

제 6 장 결론 57
참고문헌 59

A Study for Controller Development of Stand-Alone Photovoltaic Power System with Remote Multiplex Control

Jun Ho, Kwak

Abstract

Interests about clean energy is increasing steadily, especially solar power system. Generally solar power system is divided grid-connected power system with stand-alone power system.

This paper describes microprocessor-based control of photo -voltaic power conditioning system and remote multiplex control construction method in stand-alone power system.

We have designed a MPPT(Maximum Power Point Tracker) algorithm with environment factors and a PWM(Pulse Width Modulation) algorithm for high efficiency with microprocessor.

The controller has been tested in the laboratory and shown excellent performance.

Thus, recently demands regarding the monitoring system construction in stand-alone power system, proposing the construction method of remote multiplex control which used the modem of low price. It would be able to accomplish as repeater for each unit.

Two algorithms in this paper were programed by CCS-C and C++ for multi-control monitoring system. The algorithm of choosing unit was used 'select and poll method' and the course assignment algorithm was embodied with 'Bellman-Ford

algorithm′. In this paper, those algorithm used for the actual test and the good results is achieved without communication-data broken.

This proposed controlle with remote multiplex control algorithm will be applied such as monitoring system of PV light on the wayside, monitoring system of unmanned lighthouse and monitoring system of refrigeration container on vessel and so on, it can be applied in the field which is various.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

최근 화석연료 고갈로 인한 문제가 크게 대두되고 있으며 에너지원 고갈이란 문제는 97% 이상의 에너지를 수입해 쓰는 한국으로서는 매우 심각하게 다루어야 할 문제이다. 20세기에 전 세계 에너지의 대부분을 공급했던 에너지 자원 중 석유, 석탄, 천연가스의 매장량은 각각 40년, 170년, 65년 정도 사용할 양밖에 남아 있지 않다. 특히 현재 인류가 사용하는 에너지의 35.5%를 차지하는 석유는 가장 빨리 고갈될 것으로 보여 상당한 정치, 경제, 사회적 혼란을 초래할 것이 예상된다. 유럽과 미국 등지에서는 이러한 변화의 흐름에 빠르게 대처하는 모습을 보여주고 있다. 유럽에서는 덴마크, 독일, 스페인, 네덜란드를 중심으로 풍력발전이 급속히 증가하고 있고, 태양에너지, 바이오매스, 지열에 대한 관심과 이용도 크게 늘어나고 있다. 독일 정부에서는 '10만 태양지붕 프로그램'이라는 제도를 도입하여 태양광 에너지 발전을 지원하고 있고, 최근에는 발전된 전기를 1kWh당 0.99마르크(약 600원)로 매입하도록 재생가능전기법이란 법을 제정, 시행하여 제도 시행 목표를 조기 달성한 상태이다. 이러한 제도에 힘입어서 앞으로 최적의 조건에서 태양광 발전이 확대될 경우 2010년에는 태양광 발전으로 얻은 전력이 독일 전체전력의 약 1%, 2050년에는 6%를 차지할 것으로 예측된다. 미국에서도 태양광 에너지 이용을 활성화하기 위하여 '100만 지붕 프로그램'을 세워 이를 추진하고 있다.[1],[2]

이와 같이 자연 에너지로 나아가려는 움직임은 이들 국가의 정부 차원에서만 이루어지는 것이 아니다. 거대 다국적 석유기업들 중에서도 이와 같은 움직임을 거스를 수 없는 대세로 보고 적극적으로 방향전환 하는 기업들이 나타나고 있다. 이들 중에서 가장 주목할 만한 기업체는 다국적 석유기업인 셸(Shell)과 영국석유(BP)이다. 셸은 태양광 발전 부분을 새로운 사업영역으로 신설하여, 1999년 11월

에는 독일 루르지역의 겔젠키르헨에 연간 최대 생산용량 25MW인 태양광전지 공장을 설립했다. 또한 셸에서는 1994년에 자체 연구를 통해 2060년까지의 에너지 시나리오를 작성했다. 이 시나리오에 따르면 2060년까지 세계 에너지 수요는 3배가량 증가하는데, 그 중 60% 가량이 재생가능 에너지로 충족되고, 태양에너지의 비중은 재생가능 에너지 중에서 가장 높은 20% 정도로 늘어난다.[2]

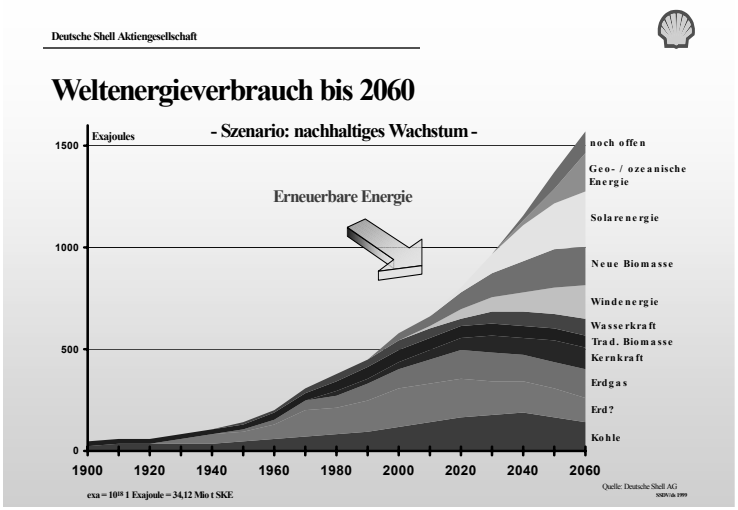


Fig. 1.1 Energy Scenario : Shell Proposed

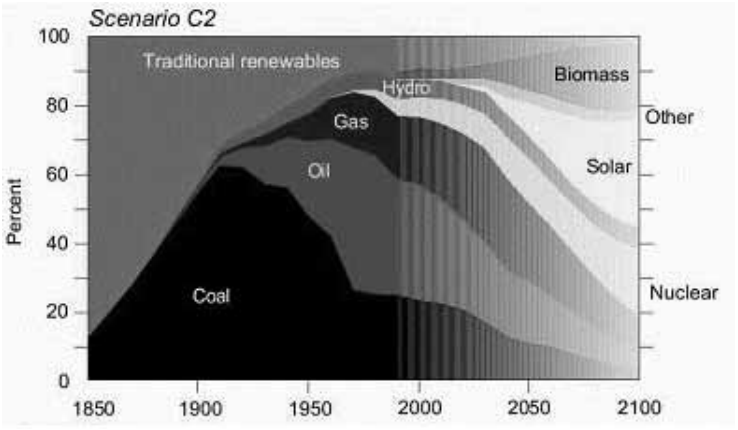


Fig. 1.2 Energy scenario : WEC(World Energy Council) Proposed

현재 Fig. 1.1 및 Fig. 1.2*와 같이 각종 선진적인 기관에서 여러 가지 에너지 시나리오를 내놓고 있는데, 이것들은 서로 약간의 차이가 나기는 하지만 모두 자연에너지의 비중이 해가 갈수록 늘어나리라는 예측을 하고 있으며, 이들 모두 태양광 에너지에 대한 비율을 가장 높이 예상하고 있다. 이러한 시대의 변화에 맞추어 우리나라에서도 자연에너지에 대한 연구가 요구되고 있으며, 우리나라의 환경조건에도 가장 알맞은 태양광 발전 시스템에 관한 연구가 이루어지게 되었다.

최근 연구 개발이 활발히 이루어지고 있는 태양광 발전 시스템은 계통선과의 연결 유무에 따라 크게 계통연계형(Grid-Connected) 발전 시스템과 독립형(Stand-Alone) 발전 시스템으로 나눌 수 있다. 계통연계형 발전 시스템은 태양광 발전으로 생성된 전력을 인버터를 거쳐 직접적으로 계통선에 공급하는 시스템으로 현재 시스템 구축에 대한 상용화된 패키지가 주택이나 기숙사 등지에 많이 보급되어 있다. 반면 독립형 발전 시스템의 경우, 계통선과의 연결부가 없어 고비용의 축적설비를 가지고 있으며 설치공간도 많이 차지하게 되어 계통연계형 발전 시스템 보다 설치 및 시공 단가가 높은 단점으로 인해 상용화가 활발하게 이루어지지 못하고 있다. 그러나 독립형 발전 시스템은 전력 계통선으로부터 전력을 공급받기 힘든 낙도나 산간 도서 지역, 무인등대, 무인중계소, 인공위성, 휴대용 시스템 또는 환경 친화적인 테마 공원 등에 주 발전 시설이나 비상용 발전 시설, 혹은 태양광 가로등 및 기타 조명시설 등으로 꾸준히 사용되고 있다. 이러한 독립형 태양광 시스템은 태양전지로부터 얻는 전력을 축전지에 충전하는 제어기를 포함하고 있으며 제어기의 성능에 따라 시스템의 효율성이 판가름 난다. 본 논문에서는 여기에 사용되는 제어기의 개발에 대하여 연구하고자 한다.

---

* 출처 : http://www.worldenergy.org/wec-geis

1.2 연구목적

태양광 발전 시스템을 이용하여 얻은 전력은 가정용, 해양시설물용, 산업 시설용 등 전력을 사용하는 어떠한 분야에도 적용할 수 있다. 이러한 태양광 발전 시스템의 주 발전원인 태양전지판은 태양의 일사량, 태양전지 판의 온도 등의 변화에 따라 출력전력이 민감하게 변화 하는 특징을 가지고 있다. 또한 실제 전력이 사용되는 일반적인 부하는 교류 부하이므로 직류 전류를 생산하는 태양광 시스템으로부터 부하 측에 전력을 공급하기 위해서는 인버터와 같은 전력변환기가 요구되는 것이 일반적이다.

현재 독립형 시스템에 이용되고 있는 제어기들은 대부분 외국에서 생산된 제품들이며, 국내에서는 아직 제어기 기술개발이 많이 이루어지고 있지 않다. 또한 현재의 시스템 구성으로는 시스템이 제대로 동작하고 있는지를 확인하기 위해서나 시스템에 문제가 발생하였을 때 설치된 시스템에 직접 가서 상태를 파악해야한다. 더군다나 독립형 시스템은 그 특성상 (외부로부터)독립적인 시스템을 구축하는 것이 일반적인 특징이므로 직접 가서 상태를 확인하기에는 많은 어려움이 따르게 된다. 최근 시스템의 유지 및 보수 관리 측면이 부각되면서 이러한 점이 더욱 문제시 되고 있으며 이에 따라 통합적인 모니터링 시스템 구축이 필요시 되고 있다. 즉, 독립형 시스템에 적용될 제어기는 기본적으로 충전제어기능이 우수하여야 하고, 가능한 소형이어야 하며, 동작 중이나 대기상태에서의 소비 전력이 적고, 부착된 제어기에 대한 신뢰성이 높아야 하며, 모니터링이 가능하기 위해서는 무선 통신도 포함되어야 할 것이다.

이러한 추세에 발맞추어 개발하고자 하는 제어기는

첫째, 태양전지의 전력을 대용량의 축전설비로 가능한 한 손실 없이 이송시키는 역할을 하기위해 Buck Converter 회로를 적용하고,

둘째, 선진국이 개발한 동일 목적의 충전제어기의 효율보다 우수한 효율을 갖도록 하기 위하여 급속한 환경변화에 추종할 수 있는 MPPT 알고리즘을 탑재하고 이를 PWM 기법으로 구현하며,

셋째, 디지털 스위칭 및 제어기 소형화를 위해 마이크로프로세서

기반으로 구성하며,

넷째, 최근 모니터링 시스템에 대한 요구가 많아지고 있는 추세를 감안하여 모니터링 및 제어가 가능하도록 저비용의 단거리 무선 통신 모듈과 Select and Poll Method, Bellman-Ford Algorithm을 이용하여 통신 체계를 구축하는 방법에 대해서도 연구하고자 한다.

마지막으로 제안된 제어기의 성능이 얼마나 우수한지 실험을 통하여 검증해 보기로 한다.

1.3 연구내용구성

본 논문은 총 6 장으로 구성되어 있으며 제 1 장에서는 본 논문의 연구배경과 연구목적, 논문구성이 포함되어 있다.

제 2 장에서는 태양광 발전 시스템에 이용되는 태양전지의 특성에 대해서 언급한다. 또한 이러한 특성에 맞추어 동작하는 제어 알고리즘인 MPPT에 대해 일반적인 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 차례로 설명한다.

제 3 장에서는 독립형 태양광 발전 시스템의 충전 제어기 부분에 대하여 설명한다. 충전 제어기의 핵심인 DC-DC Converter의 Buck Converter에 대해서 설명하며, 실제 시스템에 사용된 컨버터의 주요 부분에 대해서도 설명한다.

제 4 장에서는 원격 다중제어를 위한 데이터 통신 부분에 대하여 통신망 구성방법과 그 특성, 그리고 통신 알고리즘, 통신 프로토콜 등을 차례로 설명한다.

제 5 장에서는 2, 3, 4 장에서 구현한 제어기의 성능을 시험하기 위한 실험장치의 구성 방법과 그 구조, 실험 방법, 실험 결과들을 설명한다.

마지막으로 제 6 장에서는 본 연구를 통하여 얻어진 결론 및 추후 과제를 제시한다.

제 2 장 태양전지

2.1 태양전지

태양전지(太陽電池, Photovoltaic Cell)는 태양광 에너지를 직접 전기로 변환시키는 반도체 소자이다. 대부분의 반도체들은 광기전력효과(photovoltaic effect)를 나타내지만 태양전지의 대량생산으로 이어지는 반도체들은 주로 Si(silicon)과 GaAs(gallium arsenide)이며, Si가 가장 많이 활용되고 있다. 그러나 최근에는 CdTe(cadmium tellurium)와 $CuInSe_2$(CIS : cuprum indium selenium)반도체들이 활용되고 있기도 하다. Si가 반도체산업에서 가장 많이 사용되는 이유는 지구상에서 두번째로 보편화된 화학물질이고, 석영·모래로부터 쉽게 얻을 수 있기 때문이다. Si 태양전지는 결정 상태에 따라서 단결정실리콘(monocrystalline silicon) 태양전지, 다결정실리콘(polycrystalline silicon) 태양전지, 비정질 실리콘(amorphous silicon) 태양전지의 세 가지로 분류한다. 지금까지 개발되었거나 개발 중인 여러 형태의 태양전지들의 실험실 규모와 대량생산 규모에 따른 효율을 Table 1.1*에 나타내었다.

Table 1.1 Photovoltaic cell efficiency

형 태	실험실 규모		대량 생산	
	면적(㎠)	효율(%)	면적(㎠)	효율(%)
단결정	4	23.3	100	15~18
다결정	4	17.8	100	12~14
비정질	1	11.5	1,000	5~8
GaAs	0.25	25.7	4	17
CdTe	1	10.9	-	-
$CuInSe_2$	3.5	14.1	-	-
GaAs/GaSb	0.005	34	-	-

* 출처 : Friedrich Sick, Thomas Erge, “Photovoltaics in Buildings", James & James Science Publishers Ltd., 1996

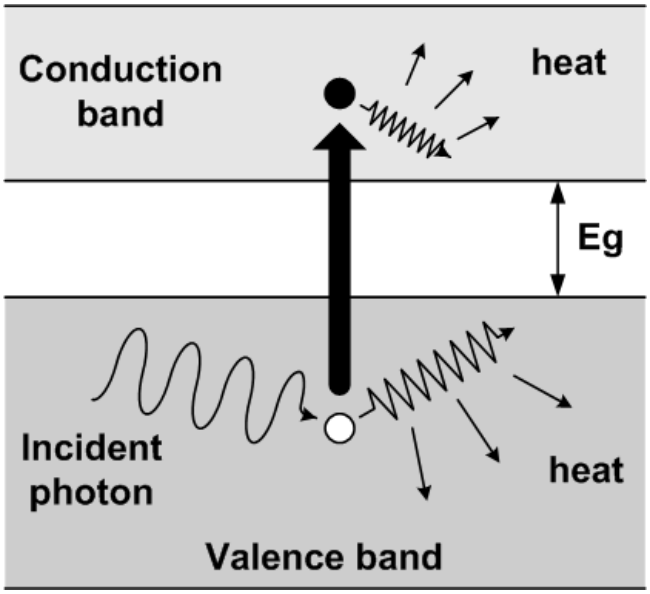


Fig. 2.1 The generation of electron-hole pairs by light

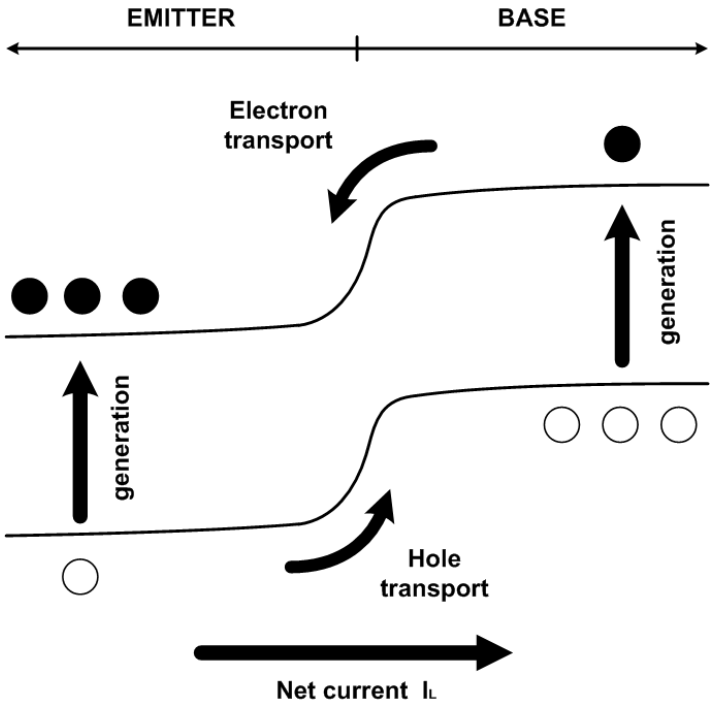


Fig. 2.2 Currents in a p-n junction under illumination

Fig. 2.1은 광에너지 흡수에 의한 전자-전공 쌍의 발생원리를 나타내고 있다. 금지대폭(E_g)이상의 광에너지가 흡수되면 가전자대(valence band)에 있는 전자가 여기되어 금지대폭을 건너뛰어 전도대(conduction band)로 이동하게 된다. 이와 같은 여기 상황으로 인하여 가전자대에 있었던 전자의 자리가 비게 되어 양전하처럼 행동하는 정공이 형성되므로 양전하(정공)와 음전하(전자)의 쌍이 생기게 된다. Fig. 2.2는 이렇게 생성된 전자-정공 쌍이 각각의 농도차와 전위차에 의하여 각각 전자는 n형으로, 정공은 p형으로 이동하여 외부회로에 의하여 전류(I_L)가 흐르게 되는 모습을 나타낸 것이다.[3],[4] 태양전지의 특성은 여기서 설계하고자 하는 제어시스템에 깊은 영향을 끼치므로, 그 특성에 대해서도 살펴보기로 한다. Fig. 2.3은 다른 빛의 세기 λ와 온도가 일정할 때의 전형적인 태양전지의 모듈(module)의 전압-전류($V-I$) 곡선[3]을 나타낸다.

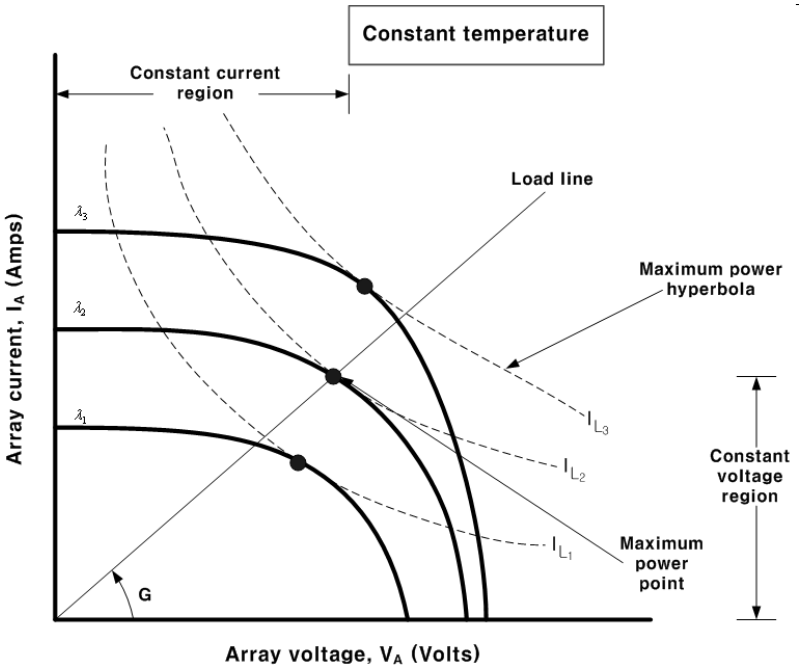


Fig. 2.3 Array volt-ampere curves showing maximum power and load line hyperbolas

일반적으로 빛의 세기와 온도에 따른 태양전지의 정적인 특성은 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다.[3]-[6]

$$I = I_G - I_{SAT}\left\{ \exp[\frac{q}{AKT}(V + I_A R_S)] - 1 \right\} \tag{2.1}$$

단, 여기서

$$I_{SAT} = I_T[\frac{T}{T_r}]^3 \exp[\frac{qE_{G0}}{BK}(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T})] \tag{2.2}$$

$$I_G = [I_{SC} + K_1(T_C - 28)]\frac{\lambda}{100} \tag{2.3}$$

이다.

I : cell output current
V : cell output voltage
I_{SAT} : cell saturation current
T : cell temperature in K
$\frac{K}{q}$: Boltzmann's constant divided by electronic charge
Tc : cell temperature in ℃
K_I : short circuit current temperature coefficient at I_{SC}
λ : cell illumination(㎽/㎠)
I_{SC} : cell short circuit current at 28℃ and 100㎽/㎠
I_G : light-generated current
E_{G0} : band gap for silicon
A, B : ideality factors

T_r : reference temperature

I_T : saturation current at T_r

R_S : series resistance

태양전지 양단의 터미널에 연결된 컨버터는 정적 상태에서 저항성 부하에 의해 나타내어진다. 컨덕턴스 경사도 G에 의한 부하선과 어레이 $V_A - I_A$곡선의 교차는 동작점을 의미하고, 일치하는 직류전력은 컨버터에 의해 병합된다. 일정한 전력 궤적은 쌍곡선으로 나타나고, 최대 전력 쌍곡선들은 Fig. 2.3에서 보는 것과 같이 각각의 $V_A - I_A$곡선의 MPP(Maximum Power Point)와 접한다. 만일 컨버터 손실이 없다고 가정하면, 전력 균형으로부터 유용한 선전압은 일정하고,[4]-[7]

$$P_L = V_L I_L = V_A I_A = P_A \tag{2.4}$$

$$I_L = \frac{V_A I_A}{V_L} = P_A \tag{2.5}$$

여기서 선전압과 선전류는 제곱평균 값이다. 식(2.5)는 각 최대 전력 쌍곡선은 선전류 I_L의 일정한 크기에 상응함을 나타낸다. MPP 위의 $V_A - I_A$곡선의 영역은 일정전류구간을 나타내고, 이에 반하여 아래 구간은 일정 전압 구간을 나타낸다. 태양전지의 출력 전력은 부하선의 경사각 G의 제어에 의해 제어할 수 있다. 어떤 $V_A - I_A$곡선에서, G가 0부터 증가함으로써, 출력 전력은 최대값에 도달할 때까지 증가한 후 감소하며, G값의 조절을 통해 최대 출력을 얻을 수 있게 된다. 일반적으로 태양전지 셀(cell)은 태양광 방사에너지를 조사했을 때 전기를 발생하는 반도체 소자를 일컫고 태양전지 모듈(module)은 복수의 태양전지 셀을 전기적으로 접속하고 내구환경을 고려하여 제작된 최소단위의 발전유닛을 말한다.

2.2 MPPT Algorithm

태양전지 모듈의 최대 전압은 일사량과 온도에 의해서 시시각각으로 변화하는 특성을 가지고 있으며, 부하상태에 의해서도 변하기 때문에 태양전지 특성이 변화하지 않아도 동작점이 변하게 되어 최대 출력을 얻을 수 없는 경우도 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 태양전지를 효율적으로 사용하기 위해서는 태양전지 모듈이 항상 최대 출력을 가지는 최대 전력점에서 동작 하도록 하는 제어가 필요하다. MPPT(Maximum Power Point Tracker)는 태양전지 모듈에 적절한 조치를 취하여 연결된 부하를 제어하여 임피던스 매칭을 최적화함으로서 최대 전력점 동작이 항상 가능하게 하는 것이다. 이를 구현하는 알고리즘으로 일반적으로 다음과 같은 알고리즘들이 이용된다.

2.2.1 일정전압 제어방식 알고리즘

태양전지 모듈의 출력 전압은 일사량의 변화에 대해 약간의 변화량을 가지는 정전압 특성을 가지고 있으므로, 어떠한 일정 전압을 설정한 후 그 전압값을 이용하여 제어하는 방법을 일정전압 제어방식이라고 한다. 이 방법은 전압값 만을 이용하여 제어가 이루어지므로 센싱부가 간소하나 일사량이 급변할 시에 MPP를 빠른 시간 안에 정확히 추종하지 못하여 출력효율이 감소하는 단점이 있다.[6],[7]

2.2.2 Perturb & Observe(P&O) 알고리즘

P&O 방법은 간단한 피드백 구조를 가지는 일반적으로 가장 많이 쓰이는 제어 방법 중 하나이다. Fig. 2.4의 순서도에 동작 알고리즘을 나타낸다. 이는 태양전지 모듈의 전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로서 동작하며, 이전의 샘플링 때 얻은 태양전지 모듈의 출력 전력과 함께 현재의 출력 전력을 비교하여 최대 전력의 상태를 연속적으로 추적하여 항상 최대 전력을 유지하게 하는 방법이다. 만약 전력이 증가하게 되면 다음번 샘플링 시간에 계속해서 같은 방향으

로 V_{ref}가 증가하게 될 것이며 그렇지 않다면 반대 방향으로 진행될 것이다. 그러나 이러한 방법은 태양전지 모듈의 전압이 MPP 지점에 도달하였을 경우 무한히 진동하는 모습을 보여주게 되며, 그 결과 MPPT 효율이 떨어지게 되는 단점이 있다.[6],[7]

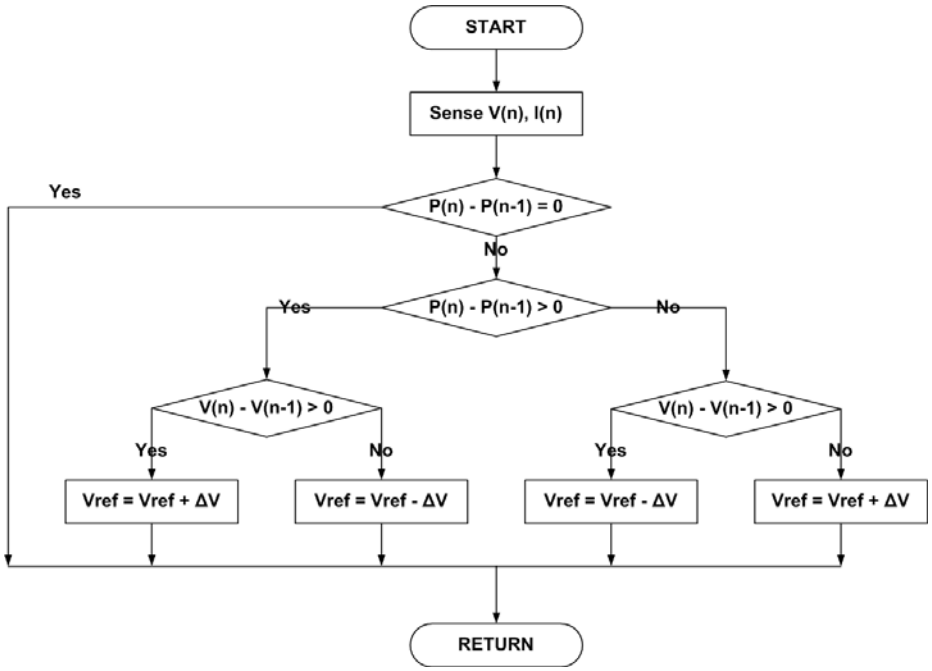


Fig. 2.4 Flowchart of perturb and observe MPPT algorithm

2.2.3 Incremental Conductance(IncCond) 알고리즘

IncCond 방법은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 모듈의 출력을 제어하는 방법이다. 이 방법은 빠른 환경 변화에 대한 MPPT성능이 매우 우수한 장점이 있으나 많은 데이터 처리 용량으로 인해 빠른 CPU가 필요하게 되므로 제어시스템의 단가를 상승시키는 단점이 있다.

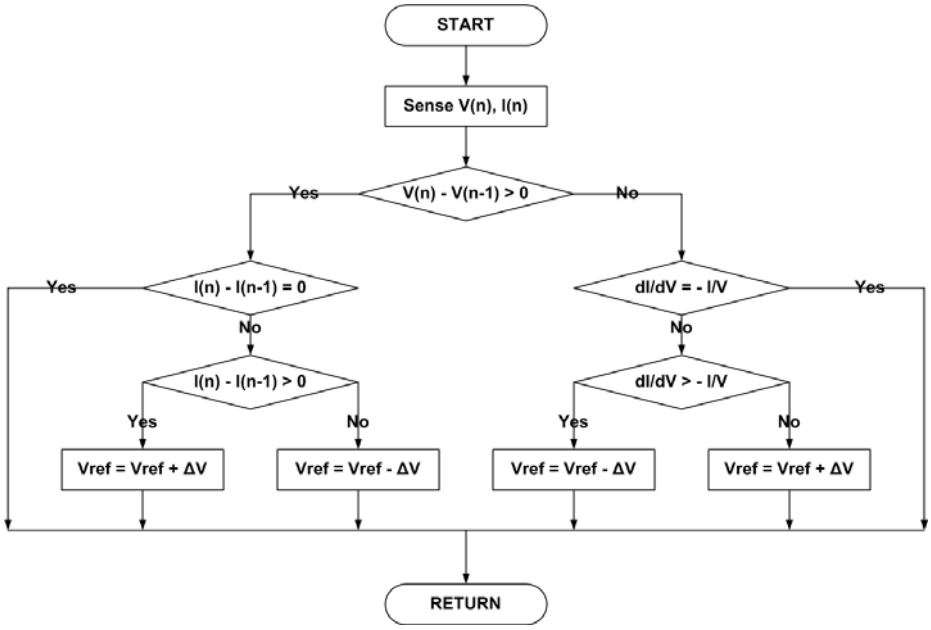


Fig. 2.5 Flowchart of incremental conductance MPPT algorithm

IncCond 방법은 Fig. 2.5와 같은 순서도에 의해 동작하게 되며 최대 출력점은 $-\frac{dP}{dV} = 0$ 이 되는 경우이므로 다음과 같이 된다.

$$IdV + VdI = 0 \tag{2.6}$$

$$-\frac{V}{I} = -\frac{dV}{dI} \tag{2.7}$$

식 (2.7)은 부하 임피던스가 최대 전력점에 있어서 태양전지 모듈의 $V-I$ 특성곡선에서의 기울기와 같다는 것을 나타내고 있다.[6],[7]

2.2.4 제안하는 MPPT 알고리즘

본 논문에서는 제안하는 MPPT 알고리즘은 위의 P&O 알고리즘을 응용하여 수정한 것으로 ANSI C 언어를 기본으로 한 마이크로

프로세서 C 언어로 구현하였으며, 태양전지 모듈의 파라미터를 입력하는 부분, 일사량에 따른 MPP 추적 부분, MPPT 구현 부분의 세 부분으로 나누어 구성하였다.

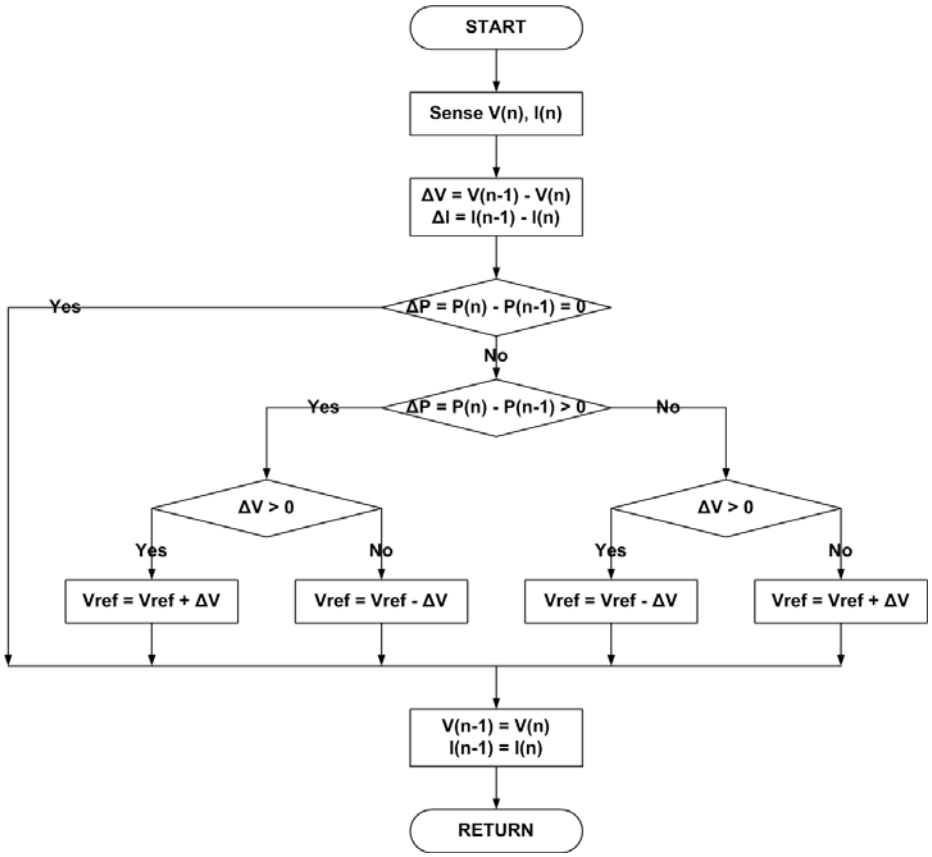


Fig. 2.6 Flowchart of proposed MPPT algorithm

Fig. 2.6은 제안하는 MPP 추적기법에 대한 알고리즘의 순서도이다. Fig. 2.6에서 $V_{(n)}$, $I_{(n)}$, $P_{(n)}$은 태양전지 어레이의 순간 전압, 전류 및 전력이다. 그리고 $V_{(n-1)}$, $I_{(n-1)}$, $P_{(n-1)}$은 측정값 직전의 전압, 전류 및 전력 값이다. 여기에서는 전력귀환제어 하에서 $\frac{dP}{dV} = 0$ 이 되도록 제어하고자 하였다. 제안된 MPPT 알고리즘을

구현하기 위해 식 (2.8)을 활용하였다. 여기서 V_{ref}은 제어를 위한 기준전압을 나타낸다.

$$dP = dV\,(I + \frac{dI \cdot V}{dV}) \tag{2.8}$$

제안된 MPPT 알고리즘은 전력 변화량 dP 에 따라서 수행된다. dP 가 “0”이 아닌 경우에는 ΔV 에 따라서 컨버터부의 PWM 스위칭을 통해 기준전압 V_{ref} 에 대한 제어를 함으로써 태양전지 모듈의 출력전압을 조절, 태양전지 모듈이 항상 최대 전력점에서 동작할 수 있게 제어한다.

제 3 장 충전 제어 시스템

3.1 충전용 컨버터 개요

제 3 장에서는 제어기 시스템의 충전제어 부분에 대해서 다루고자 한다. 연구 대상인 태양광 발전 시스템은 계통선과 연계되어 있지 않은 독립형 시스템으로 일정 수준 이상의 축전 설비를 갖추고 있는 것이 보통이다. 태양광 발전 시스템 설비 시설의 수명은 반영구적으로 추정할 수 있으나 오직 축전지의 사용 수명은 그보다 짧으며 또한 충·방전과 전지상태에 따라 달라지기도 한다. 이러한 축전지의 수명을 안정되게 유지하기 위해서는 주기적 점검 및 관리는 물론 축전지에 과방전이나 과충전이 되지 않도록 제어하여 축전지 시스템의 수명 연장을 기해야 할 것이다. 또한 태양광 충전 제어기의 측면으로는 일사량이 충분하지 않을 때를 대비하여 태양전지의 출력 전력을 낭비하지 않고 모두 저장할 수 있는 우수한 충전효율을 갖추어야 한다. DC-DC Converter에 PWM 제어방식을 적용한 충전 제어기를 설계하여 기존에 사용되고 있는 동일 시스템의 충전 제어기 보다 충전효율이 우수함을 확인하고자 한다.

3.2 Buck Converter

태양전지 모듈을 통하여 얻은 전력을 축전지로 저장하기 위해서 일반적으로 강압형 초퍼인 벅 컨버터를 사용한다. 다음의 Fig. 3.1에서 벅 컨버터의 기본회로를 나타내었다.[8]-[11]

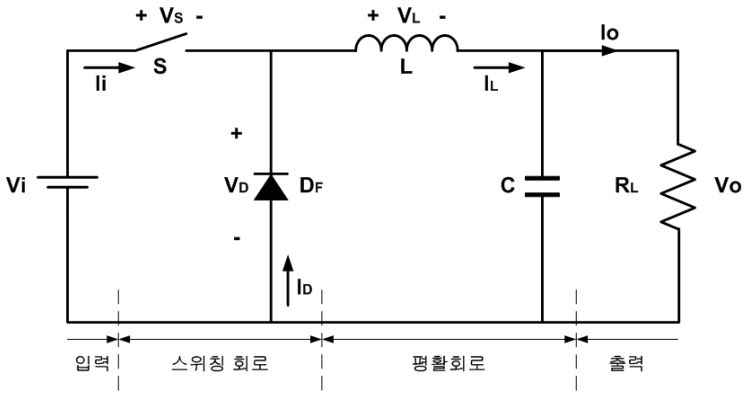


Fig. 3.1 Basic circuit of buck converter

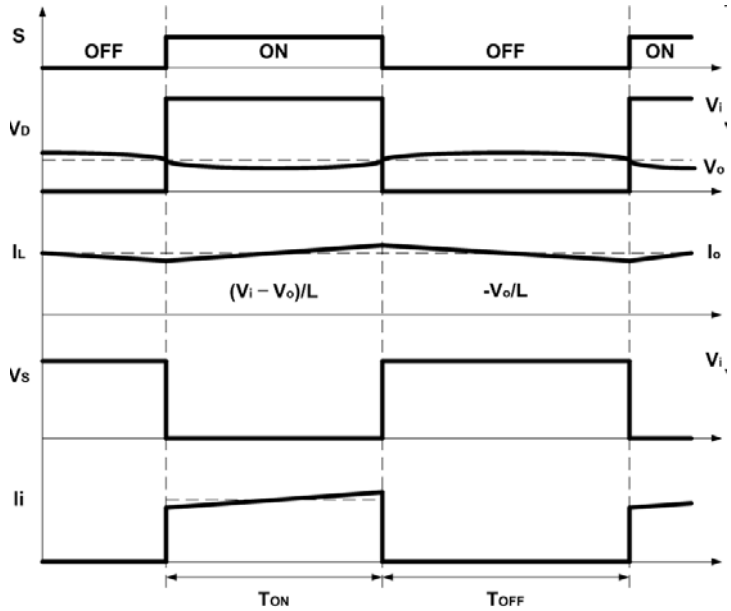


Fig. 3.2 Waveforms of buck converter

벅 컨버터의 동작 원리는 다음과 같다. 스위치 S가 도통일 때 입력 전압에 의하여 인덕터 L에 에너지가 축적되면서 입력측으로부터 에너지가 출력측으로 전달되고 이때 환류 다이오드 D_F는 차단된다. 다음 순간에 S가 차단되면 도통과정에서 L에 축적된 에너지가 D_F를 통하여 출력측으로 전달된다. 이와 같이 S의 도통과 차단의 시간비율을 조정하여 원하는 직류 출력전압을 얻을 수 있게 된다. Fig. 3.2는 벅 컨버터의 동작에 따른 파형들을 나타낸 것이다. 스위칭 주기를 T_s라 하고 스위치의 도통 상태의 주기를 T_{ON}이라 하면 $T_{ON} = kT_s$가 된다. 인덕터에 걸리는 전압은 V_L, 인덕터에 흐르는 전류는 I_L이므로 스위치를 닫는 순간($t = 0$)에 인덕터에 흐르는 전류를 I_0라 하면, $t = kT_S$인 순간에 I_L은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$I_L = \frac{1}{L}\int_0^t (V_i - V_o)dt + I_0 = \frac{V_i - V_o}{L} kT_S + I_0 \qquad (3.1)$$

스위치가 차단되는 순간($t = kT_S$)일 때에는 인덕터 전류가 최대가 되고, 이때의 전류를 I_1이라 하면 $t = T_S$인 순간의 I_L은 다음과 같이 표시된다.

$$I_L = \frac{1}{L}\int_{kT_s}^t (-V_o)dt + I_1 = \frac{-V_o}{L}(1-k)T_S + I_1 \qquad (3.2)$$

식 (3.1)에서는 $V_i > V_o$이므로 I_L이 상승하고, 식 (3.2)에서 k는 0에서 1사이의 값이므로 이 구간에서 인덕터 전류는 감소함을 알 수 있다.[8]-[11]

3.3 컨버터

3.3.1 CPU

충전 제어기는 CPU(Central Processing Unit)와 여기에 전원을 공급하는 전원 모듈, 클럭을 입력하는 오실레이터, 또한 주변소자로 데이터 기억모듈, PC와의 데이터 통신모듈, 디스플레이 모듈, 각종 입력 모듈 등으로 구성된다. 데이터 처리 장치에 사용되는 CPU는 Microchip사의 PIC16F877을 사용하였다. PIC16F877은 파이프라인(pipe line)구조를 가진 RISC 구조(Reduced Instruction Set Computer architecture)로서 실행시간을 효율적으로 줄일 수 있고 동시에 다음 명령을 패치할 수 있는 병렬처리가 가능하다. 또한 내부 A/D 컨버터를 가지고 있어 태양전지 모듈의 전압값과 전류값을 별도의 A/D 컨버터칩 없이 값을 측정하는데 유용하게 사용하였다. PIC16F877의 구성과 특징은 Table 3.1과 같다.[12]-[14]

Table 3.1 Microprocessor core features of PIC16F877

High-performance RISC CPU	
Programable-code Protection	
Program Memory	8K × 14 words
Data RAM	368Bytes
Max. Speed	20㎒
I/O	33 Ports(Port A, B, C, D, E)
10-bit A/D converter	8 input channels
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP
Capture/Compare/PWM Modules	2 EA
Timers	3 (Timer0, 1, 2) + WDT
Interrupt capability	up to 14 sources

Fig. 3.3은 PIC16F877의 내부 구조를 나타낸다. 오실레이터 클럭으로는 20㎒를 사용하여 고속의 동작이 가능하도록 하였으며, Port C의 CCP핀을 통하여 PWM 알고리즘을 통한 제어 신호를 출력하고, 하드웨어 버퍼를 가지고 있는 RX, TX핀을 이용하여 PC 또는 다른 제어기들과의 통신도 가능하도록 구성하였다.

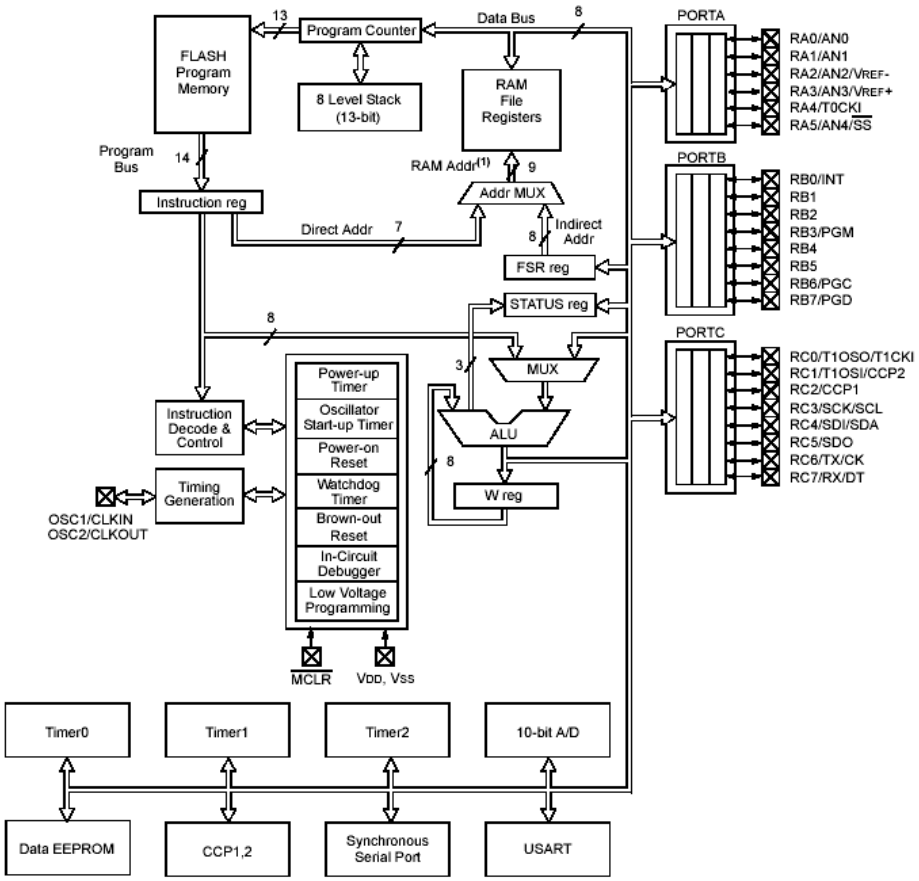


Fig. 3.3 PIC16F877 block diagram

3.3.2 Converter

Fig. 3.4는 본 논문에서 사용된 태양광 발전 시스템의 충전용 컨버터 부분의 회로도이다. 크게 태양전지 모듈이 있는 발전부와 발전된

전기를 충전하는 컨버터부, 충전된 전기를 보관하는 배터리로 나뉘어 지며 컨버터는 벅 컨버터(buck converter)특성을 갖는 것으로 PWM 알고리즘으로 운전된다.

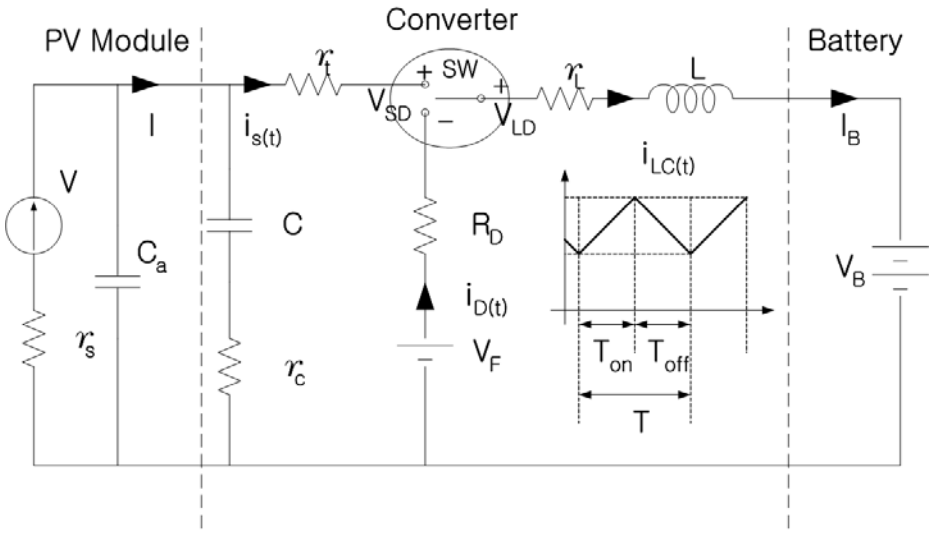


Fig. 3.4 Circuit for the PWM controlled converter

r_t는 스위칭 소자인 MOSFET의 저항이고, V_F는 다이오드의 스레쉬홀드(threshold)전압, R_D는 다이오드 순방향 저항, r_L은 L의 직렬등가저항, r_C는 C의 직렬등가저항, r_S는 태양전지 어레이의 등가저항이다. 회로도에서 SW(스위치)가 이상적인 스위치라고 하면, $T(T_{on}+T_{off})$는 제어주기, T_{on}/T는 시비율(Duty ratio)이고, $0 \le T_{on}/T \le 1$이며, 인덕터에 흐르는 전류 $i_{LC(t)}$를 나타내면 식 (3.3)과 식 (3.4)와 같다.

$$i_{LC(t)} = \frac{\Delta i_{LC}}{T_{on}} t + I_L - \frac{\Delta i_{LC}}{2} \quad \text{단, } (0 < t \le T_{on}) \tag{3.3}$$

$$i_{LC(t)} = -\frac{\Delta i_{LC}}{T_{off}} \cdot \frac{(t - T_{on})}{T} + I_L + \frac{\Delta i_{LC}}{2}$$

단, ($T_{on} < t \leq T$) (3.4)

여기서 Δi_{LC}는 인덕터의 리플전류의 피크치이다. 식 (3.3) 및 식 (3.4)의 전류가 연속전류상태에서 최적의 상태로 충전이 되도록 SW의 T_{on} / T의 비를 PWM 알고리즘으로 제어한다.

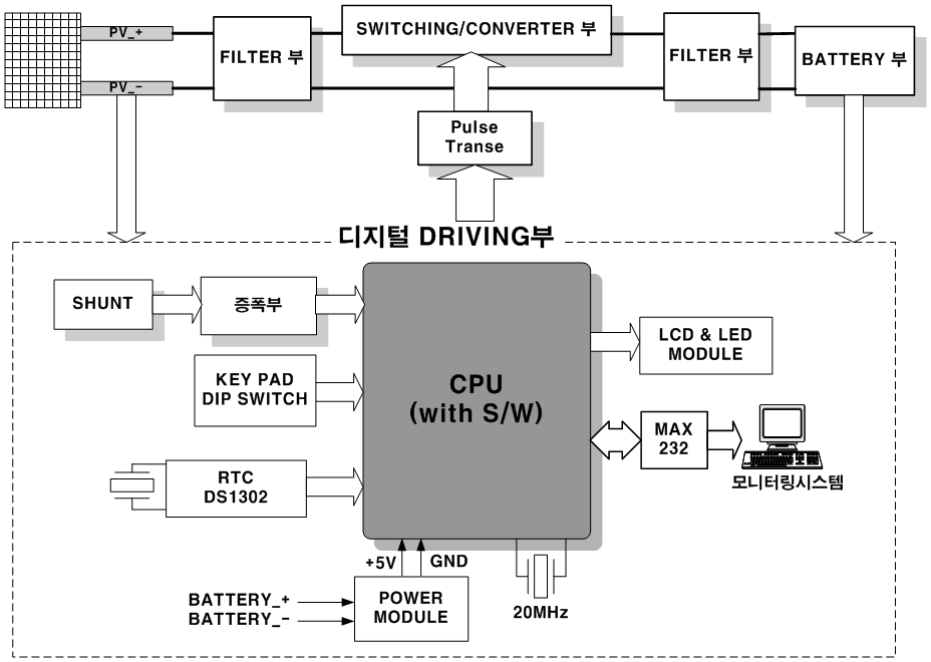


Fig. 3.5 Control block diagram

Fig. 3.5는 디지털 제어의 블록도이다. 마이크로프로세서에 의해 생성된 PWM 신호는 펄스트랜스에 전달되고, 이로 인해 스위칭/컨버터부가 구동되게 된다. A/D 컨버터를 이용하여 태양전지와 배터리로부터 전류값과 전압값을 검출하고, 검출 순간의 전력값과 이전의 전력값과의 차를 비교하여 동작점이 최대 전력점에 존재하는지를 판단한다. 전력차가 '0'이면 태양전지가 현재 최대출력이라 판단

할 수 있으므로, 이전의 전력값을 순간의 전력값으로 업데이트하여 저장하고 다음 제어 루프를 수행한다. 하지만, 전력차가 '0'이 아니면 '0'이 되도록 스위치의 시비율을 조절하여 동작점이 최대 전력점에 존재하도록 한다.

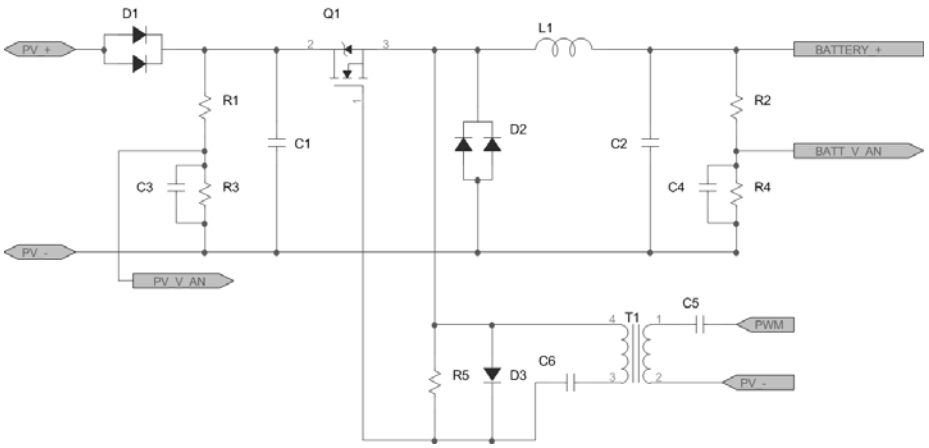


Fig. 3.6 Circuit of base converter

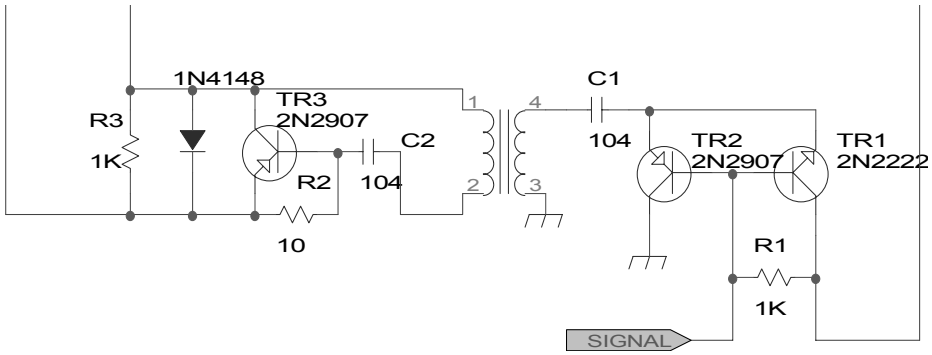


Fig. 3.7 Circuit of floating switch

Fig. 3.6은 실제로 구성된 기본 회로의 일부분을 나타낸 것이고 Fig. 3.7은 스위치 구동부분만을 확대하여 나타낸 것이다. 벅 컨버터의 주 스위치는 MOSFET을 사용하여 일정수준 이상의 대전류를 제어하는데 적합하게 하였으며, 실제 사용된 소자의 Datasheet를

Fig. 3.8에 나타내었다. 회로도에서 알 수 있듯이 MOSFET의 Source 단자가 Ground와 같은 일정한 레벨의 낮은 전위에 연결되지 않고 축전지의 (+) 단자에 연결되어 있기 때문에 Gate-Source 간 구동 전압이 일정하지 않다는 것을 알 수 있다. 실제로 Source 단자의 전위가 수시로 변화하게 되어 스위치의 구동이 원활치 못하게 되는 경우가 발생하는데 이러한 문제점을 Floating 스위치를 사용하여 안정하게 구동할 수 있도록 구성하였다.

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	42	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	30	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①③	140	
P_D @T_C = 25°C	Power Dissipation	160	W
	Linear Derating Factor	1.1	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②③	420	mJ
I_{AR}	Avalanche Current①③	22	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy①	16	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ②③	5.0	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.95	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 250µA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = 1mA⑤
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.036	Ω	V_{GS} = 10V, I_D = 23A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250µA
g_{fs}	Forward Transconductance	14	—	—	S	V_{DS} = 25V, I_D = 22A⑤
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	µA	V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V
		—	—	250		V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	110	nC	I_D = 22A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	15		V_{DS} = 80V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	58		V_{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13 ④⑤
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	V_{DD} = 50V
t_r	Rise Time	—	56	—		I_D = 22A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	45	—		R_G = 3.6Ω
t_f	Fall Time	—	40	—		R_D = 2.9Ω, See Fig. 10 ④⑤
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1900	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	450	—		V_{DS} = 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	230	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5⑤

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	42	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①③	—	—	140		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T_J = 25°C, I_S =23A, V_{GS} = 0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	180	270	ns	T_J = 25°C, I_F = 22A
Q_{rr}	Reverse RecoveryCharge	—	1.2	1.8	µC	di/dt = 100A/µs ④ ⑤
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Fig. 3.8 MOSFET datasheet

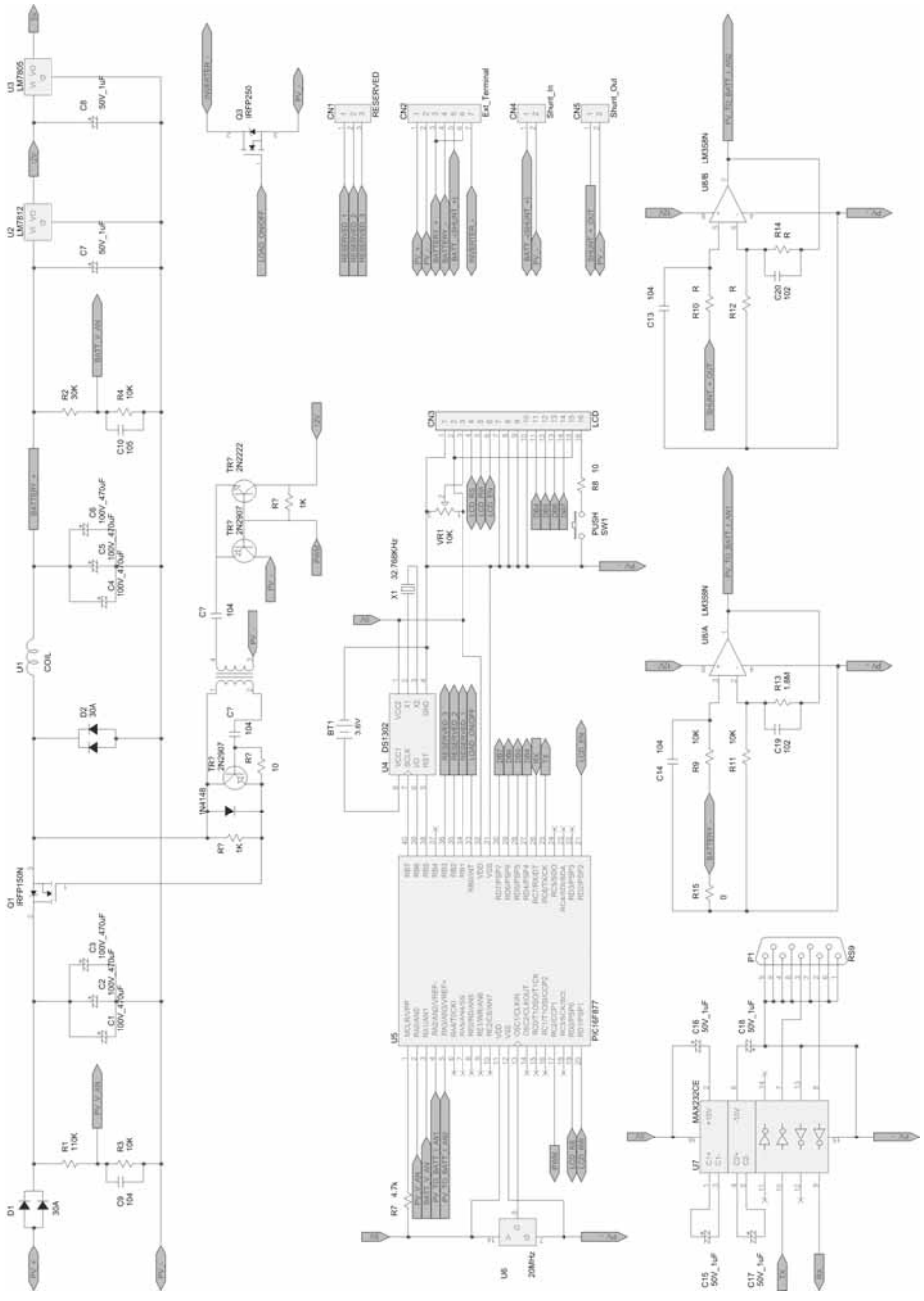


Fig. 3.9 Schematic diagram of MPPT controller

3.4 소프트웨어

충전 제어기에 사용된 마이크로프로세서 기반의 하드웨어를 구성하고 구동 알고리즘을 탑재하기 위해 PIC 마이크로프로세서용 CCS-C 언어를 사용하여 하드웨어 프로그래밍을 하였다. 프로그램은 크게 변수 선언부와 함수 선언부, 인터럽트 구문 등으로 이루어져 있으며, 각각의 함수는 모듈화되어 있다.[12]-[14] Fig. 3.10은 변수 선언부의 일부를 나타낸 것으로 프로그램의 헤더부분에 시스템 클럭과 통신에 필요한 하드웨어 포트를 설정하는 구문도 포함되어 있다. 또한 프로그램의 가장 핵심 부분인 MPPT 알고리즘 수행 부분을 위해서 변수 선언부에 float 형으로 필요한 변수들이 선언되어 있음을 알 수 있다.

```
#include <16f877.h>
#device pic16f877 adc=10
#use delay (clock = 20000000)
#use rs232 (baud = 9600, xmit = pin_c6, rcv = pin_c7)

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//  User Define Variable Number
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
#byte ad = 0x05
#byte b = 0x06
#byte c = 0x07
#byte e = 0x09

//      pin_e0  부하 ON/OFF 신호
//      pin_e1  Battery Low Voltage Disconnect 신호
//      pin_e2  LCD Back Light 알림용 스위치 램프 신호

int hr, min, sec, year, mth, day, dow;
// 시, 분, 초, 년, 월, 일, 요일
// DS1302에서 사용하기위한 날짜시간변수들

float v_pv, v_old, v_bt, i_pv_bt, i_old, p_pv, p_old;
// MPPT 알고리즘 시행을 위한 변수들

int duty_set;                   // pwm duty time 조정을 위한 변수

long int rtcc_sec;              // 타이머 인터럽트 시간 설정용 변수
#define rtcc_sec_set    763     // 인터럽트설정시간 초기화용 변수
                                // 10초간격으로 인터럽트 발생(10/0.0131072)
```

Fig. 3.10 Source program of defined variable number

```
#ifndef RTC_SCLK
#define RTC_SCLK     PIN_B7
#define RTC_IO       PIN_B6
#define RTC_RST      PIN_B5
#endif

void write_ds1302_byte(byte cmd)
{
    byte i;
    for(i=0;i<=7;++i)
    {
        output_bit(RTC_IO, shift_right(&cmd,1
        output_high(RTC_SCLK);
        output_low(RTC_SCLK);
    }
}

void write_ds1302(byte cmd, byte data)
{
    output_high(RTC_RST);
    write_ds1302_byte(cmd);
    write_ds1302_byte(data);
    output_low(RTC_RST);
}

byte read_ds1302(byte cmd)
{
    byte i,data;
    output_high(RTC_RST);
    write_ds1302_byte(cmd);
    for(i=0;i<=7;++i)
    {
        shift_right(&data,1,input(RTC_IO));
        output_high(RTC_SCLK);
        delay_us(2);
        output_low(RTC_SCLK);
        delay_us(2);
    }
    output_low(RTC_RST);
    return(data);
}
```

Fig. 3.11 Source program of DS1302 included file

충전 제어기에는 Real-time clock chip 인 DS1302를 사용하여 일정 시간마다 모니터링을 할 수 있도록 하고 제어 상태에 대한 데이터를 주기적으로 저장할 수 있게 하였다. Fig. 3.11은 DS1302 칩을 PIC로 구동하는 데에 필요한 C 소스를 나타낸 것이다.

Fig. 3.12는 LCD 제어에 필요한 프로그램 소스의 일부를 나타낸다. 제어기의 상태를 로컬에서도 알아볼 수 있도록 하기 위해서 LCD를 장착하였으며, 여기에서는 일반적인 마이크로프로세서에서 많이 사용되는 방법인 4bit 제어 방법을 사용하여 구동하였다. 또한 평상시 제어기의 전력소비를 줄이기 위해 LCD Back-Light 에 대한 ON-OFF 옵션을 두어 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있게 하였다.

```
void lcd_send_byte(byte address, byte n)
{
    lcd.rs = 0;
    while (bit_test(lcd_read_byte(),7));
    lcd.rs = address;
    delay_cycles(1);
    lcd.rw = 0;
    delay_cycles(1);
    lcd.enable = 0;
    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}

void lcd_init()
{
    byte i;
    set_tris_d(LCD_WRITE);
    lcd.rs = 0;
    lcd.rw = 0;
    lcd.enable = 0;
    delay_ms(15);
    for(i=1;i<=3;++i)
    {
        lcd_send_nibble(3);
        delay_ms(5);
    }
    lcd_send_nibble(2);
    for(i=0;i<=3;++i)
        lcd_send_byte(0,LCD_INIT_STRING[i]);
}

void lcd_gotoxy(byte x, byte y)
{
    byte address;
    if(y != 1)
        address=lcd_line_two;
    else
```

Fig. 3.12 Source program of LCD included file

```
void ad_convert()           // A/D 변환 한꺼번에 하는 함수(단위계산까지)
{
    set_adc_channel(0);
    delay_ms(10);
    v_pv = read_adc() / 17.166;

    set_adc_channel(1);
    delay_ms(10);
    v_bt = read_adc() / 47.266;

    set_adc_channel(2);
    delay_ms(10);
    i_pv_bt = read_adc() / 200;
}

void display_value()        // 전압,전류값등을 뿌려주는 함수
{
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "V_pv : %2.2f[V] \n", v_pv);
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "V_bat: %2.2f[V] ", v_bt);
    delay_ms(1500);
}

void pwm_on(long int x)     // PWM duty 설정하여 실행하는 함수
{
    set_pwm1_duty((long int)x);
    setup_timer_2(t2_div_by_1, 0x32, 1);        // 100Khz
    setup_ccp1(ccp_pwm_plus_3);
}

void pwm_off()
{
    setup_ccp1(ccp_off);
}
```

Fig. 3.13 Source program of user defined function

Fig 3.13에는 사용자 정의 함수 중 몇 가지를 나열하였다. 마이크로프로세서의 내부 A/D 컨버터를 사용함으로써 ad_convert()라는 함수를 이용하여 각 채널의 입력 값을 읽어 들이고 회로상의 전압 분배법칙을 이용한 비율을 계산하여 단위 변환에 필요한 상수 값을 계산, 적용하였다. pwm_on(), pwm_off()의 함수를 이용하여 충전제어기의 시비율을 조정한다. MPPT 알고리즘이 실행되면 결과적으로 pwm_on()함수의 파리미터를 조정하게 된다. Fig. 2.6의 순서도를 기반으로 MPPT 구문의 프로그램 소스를 Fig. 3.14에 나타내었다.

```
void mppt()                    // MPPT 알고리즘 실행 함수
{
    ad_convert();
    p_pv = v_pv * i_pv_bt;

    if ( ( p_pv - p_old ) != 0 )
    {
        if ( ( p_pv - p_old ) > 0 )
        {
            if ( v_pv - v_old > 0 )      duty_set++;
            else                         duty_set--;
        }
        else
        {
            if ( v_pv - v_old > 0 )      duty_set--;
            else                         duty_set++;
        }
    }
    pwm_on(duty_set);
}
```

Fig. 3.14 Source program of MPPT algorithm

```
void main()
{
    long int i = 5000;
    set_tris_e(0x00);
    e = 0x00;
    e = 0x04;
    delay_ms(1500);
    e = 0x02;
    delay_ms(1500);
    e = 0x00;
    e = 0x01;

    rtcc_sec = rtcc_sec_set;
    pwm_off();
    lcd_init();                    // LCD 초기화
    /* // 시간설정하는 부분으로 제어기 제작후 처음 한번만 실행하면됨
    rtc_init();
    rtc_set_datetime(0x03, 0x09, 0x03, 0x04, 0x01, 0x021);
    //  날짜 셋팅       (일,   월,   년,   요일, 시,   분)*/

    // A/D 변환 관련
    setup_adc_ports(a_analog);      // A/D 변환 A 포트만 입력으로 받음
    setup_adc(adc_clock_internal);  // A/D 변환 내부 클럭 사용

    // MPPT 변수값들 초기화하기 위해서..
    ad_convert();
    v_old = v_pv;
    i_old = i_pv_bt;
    p_pv = v_pv * i_pv_bt;
    p_old = p_pv;

    // 타이머 관련
    setup_timer_0(rtcc_div_256|rtcc_internal);
```

Fig. 3.15 Source program of main function

Fig. 3.15는 제어기 프로그램의 메인 함수 부분을 나타낸 것이다. 메인함수에는 프로그램 동작에 필요한 초기 변수들에 대한 기본값 설정이 이루어지고, 기본값을 이용하여 프로그램 루틴이 실행된다. 실제로 메인 함수에는 초기값을 설정하고 난 후에는 아무런 동작도 하지 않고 무한루프만 돌게 되며, 실질적인 일에 대한 처리는 인터럽트 구문을 이용하여 처리된다. 타이머 인터럽트에서는 시스템의 상태를 살피는 구문과 MPPT 알고리즘을 수행하는 구문이 포함되어있으며, A/D 변환완료 인터럽트는 MPPT 알고리즘 수행에 필요한 전류값과 전압값, 그리고 전력값을 계산하여 주는 루틴이 포함되어 있고, 수신 완료 인터럽트에는 데이터 통신 시 필요한 처리를 수행하는 구문이 포함되어 있다.

제 4 장 데이터 통신 시스템

4.1 통신 시스템 개요

독립형 시스템은 낙도나 산간 도서 지역, 무인등대, 무인중계소, 인공위성, 휴대용 시스템 또는 환경 친화적인 테마 공원 등에 주 발전 시설이나 비상용 발전시설, 혹은 태양광 가로등 및 기타 조명시설 등에 주로 사용되고 있다. 여기에는 필연적으로 축전설비가 필요하게 되는데, 축전설비의 수명 연장을 위해 앞서 구현하였던 적절한 충·방전 시스템의 설계 이외에도 지속적인 관리가 필요하다. 게다가 최근 시스템의 유지 및 보수 관리 측면이 부각되면서 통합적인 모니터링 시스템에 관한 요구가 생겨나기 시작했다. 그러나 일반적으로 많이 쓰이고 있는 모니터링 시스템은 유선 통신을 기반으로 하므로 독립형 시스템에 적용하기에는 적합하지 않다. 무선 통신을 이용하는 경우 장거리 무선모뎀을 사용하면 충분히 가능하나 비용적인 측면에서 많은 부담이 된다. 그 대안으로 저비용의 단거리 무선 모뎀을 다수 이용하여 장거리 무선 모뎀의 기능을 할 수 있도록 중계기 기능을 추가하여 무선 통신 시스템을 구성하고 이에 사용되는 프로토콜과 연관된 통신제어소프트웨어의 알고리즘을 제안하고자 한다.

4.2 통신망 구성

Fig. 4.1은 데이터 통신 실험에 사용된 시스템 구조를 나타내는 것이다. Fig. 4.1에 보이듯이 주 모니터링 컴퓨터 (U_0)는 모뎀과 연결되어 각 지역 $U_1, U_2, U_3 \cdot \cdot \cdot U_N$ 과 같은 소규모 발전 시스템의 모뎀과 통신하는 구조로 되어 있다.

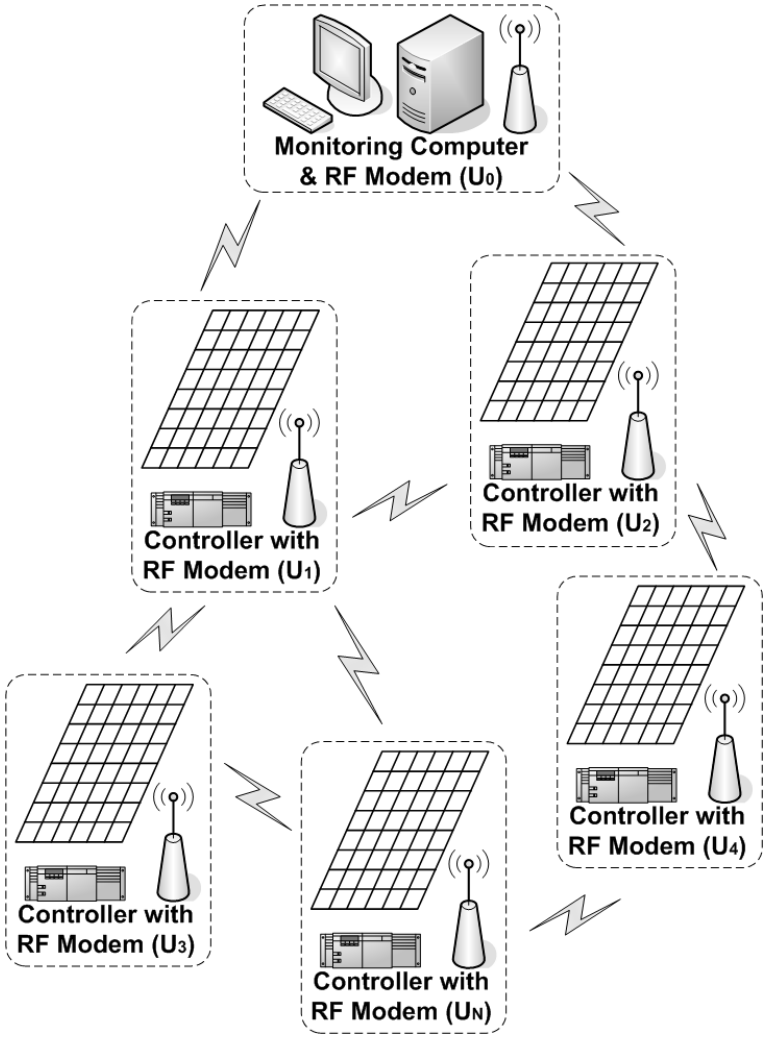


Fig. 4.1 Construction of target system

각각의 유닛은 60W급의 태양전지 모듈 하나와 60Ah의 축전지, 제어유닛으로 구성되어 있으며 무선 통신을 하기 위한 RF 무선 모뎀도 포함되어 있다. RF 무선 모뎀은 Table 4.1과 같은 특성을 가지며 이 모뎀은 전송거리 및 신뢰도가 중요시 되는 시스템에 적합한 모뎀으로 일반적으로도 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) System, Telemetry System 등에 많이 이용되고 있는 것이다.[18]

Table 4.1 RF modem specification

RF 출력	1 ㎃ / 10 ㎃
주파수	219.025 ㎒
전송거리	(Max) 1,000 m
전송속도	2,400 bps (Air, Max)
	19,200 bps (Line, Max)
동작전압	5 ~ 9 VDC
동작전류	(Max) 32 ㎃ / (Normal) 22 ㎃

RF 모뎀을 통한 데이터 통신은 각각의 소규모 태양광 발전 시스템의 발전현황, 충전 제어기의 MPPT 알고리즘 구동 상태, 컨버터부의 시비율 설정값, 축전지의 상태와 부하 제어 신호, 기타 제어 신호 등을 주고받는 일을 하며, 이 모든 상황은 주 모니터링 컴퓨터에서 알 수 있도록 한다.

4.3 통신 회로망 설계

비용을 절감하면서도 독립형 태양광 발전 시스템에 맞는 모니터링 체계를 구축하기 위해서 통신회로망은 다음과 같은 특성을 갖도록 설계하였다. 여기서 유닛(unit)은 통신을 하는 독립형 태양광 발전 시스템의 한 모듈을 일컫는다.

- 각 유닛은 회선의 안정성을 위해 무선 통신 전송거리 내에 최소 두개 이상의 유닛이 존재하게 구성한다.
- 무선 통신 전송 거리 내에 있는 유닛은 멀티 포인트 링크(multi point link)를 기본으로 구성된다.
- 각 유닛은 위치에 따라 직접적으로 연결될 수 없는 유닛들 사이에서 중계기 역할을 수행할 수 있도록 한다.
- 각 유닛은 인접한 유닛과의 관계가 담긴 링크 데이터를 서로 공유하여 유닛을 통신 상태를 알 수 있도록 한다.

이러한 특성을 갖추도록 시스템을 구현하여 단거리의 모뎀을 이용해서 장거리의 데이터 통신을 가능하게 하였다. 다중 통신을 위한 첫 번째로 멀티 포인트 링크에 셀렉트 앤 폴 기법(Select & Poll method)을 사용하여 다수의 유닛을 제어하는 것을 기본으로 하고 여기에 경로배정 알고리즘을 통하여 중계기로서의 역할도 충실히 실행할 수 있도록 하였다.[15]-[17] Fig. 4.2는 제안하고자 하는 시스템의 통신망 구조를 나타낸 것이다. Fig. 4.2에서 각 원의 중심은 유닛의 위치를 나타내며 원의 크기는 무선 통신 전송거리, 각 유닛을 이은 선은 실제 통신 경로의 최단거리를 나타낸다. 이와 같은 네트워크에서의 통신은 다음과 같은 구조로 이루어진다.

- 기본적으로 각각의 유닛은 일정 시간마다 자신의 고유 아이디를 송출함으로서 주변의 유닛에게 자신의 존재를 각인시킨다. (각각의 유닛은 인접한 유닛의 고유 ID를 인식하고 있다.)
- 각 유닛은 송·수신 가능한 고유 ID의 링킹 데이터의 DB를 구

축하여 호스트 PC (U_0) 쪽으로 전송한다.

- 호스트 PC는 각 유닛들로부터 전송 받은 DB를 이용하여 현재 망이 어떻게 구성되어 있는지 파악하고 있는 상태이며 일정 주기 시간마다 들어오는 데이터를 이용하여 각 유닛의 고장 유무를 판단한다.
- 특정 모듈이 송·수신 하는 경우 호스트 PC의 통신 제어 프로그램은 해당 모듈까지의 최소거리를 찾아 경로를 지정해 주고, 각 모듈은 그 지정된 경로를 통해 데이터를 전송한다.(집중 적응 경로 배정)

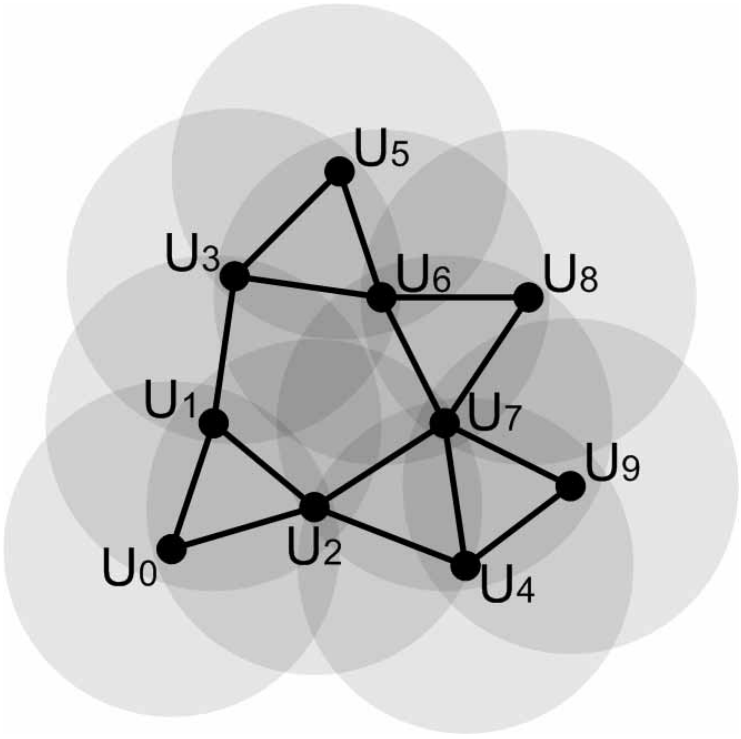


Fig. 4.2 The proposed-network diagram

이러한 통신 회로망은 장거리의 데이터 전송을 위해 중계기 역할을 함으로서 데이터 전송 시간이 길어지는 단점이 있는 반면 통신이 이루어지고 있는 두 유닛이 포함된 군을 제외한 나머지 유닛들

사이에는 별도의 통신이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점은 토폴로지(topology) 내에서 하나 이상의 서버-클라이언트 구조를 동시에 가질 수 있도록 한다. 이를 이용하기 위해 폴링 지연 시간 및 데이터 전송시간 등을 정확하게 파악할 필요가 있다. 일반적으로 셀렉트 앤 폴 기법의 평균 폴링 시간은 유닛의 수와 데이터 전송량에 비례하여 늘어나게 되며 평균 폴링 시간은 다음의 식으로 표현할 수 있다.[15]

$$T_{avr} = \frac{T_{poll} \cdot N}{1 - Mr \cdot T_D} \tag{4.1}$$

T_{avr} : 평균 폴링 시간

T_{poll} : 하나의 유닛을 폴링 하는 시간

N : 폴링 할 수 있는 유닛의 수

Mr : 전송할 데이터가 발생될 평균 비율

T_D : 평균적인 크기의 데이터 전송 시간

제안하고자 하는 통신 시스템은 하나의 무선국당 N의 값이 크지 않으므로 식 (4.1)에서 알 수 있듯이 평균 폴링 타임(T_{avr})을 줄일 수 있으며, Fig. 4.2의 U_3, U_4와 같이 별개의 무선국으로 분리되는 부분은 동시에 서로 다른 유닛을 폴링 할 수 있어 통신 회선의 이용률을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.

4.4 통신 알고리즘 및 프로토콜

4.4.1 통신 알고리즘

Fig. 4.2와 같은 시스템을 구현하기 위해서 통신 모듈에는 여러 가지 서브루틴이 프로그램에 포함되어 있다. 초기 설치시나 시스템 통신 회선의 업데이트를 위해 실행되는 서브루틴과 인접한 유닛 사이에서의 통신을 담당하는 데이터 전송 서브루틴은 C 언어로 작성되어 모뎀과 충전 제어기에 탑재되었으며, 현 시스템에서의 최단 경로를 찾아주는 서브루틴, 중계기 역할시 각 유닛의 상태 파악 및 제어를 담당하는 서브루틴, 데이터 전송의 에러 발생 시 이를 보정하는 서브루틴도 C 언어를 이용하여 호스트 PC에 탑재하였다. Fig 4.3은 인접한 유닛을 검색하는 루틴의 메시지 패싱을 나타내고 있다.[16],[17]

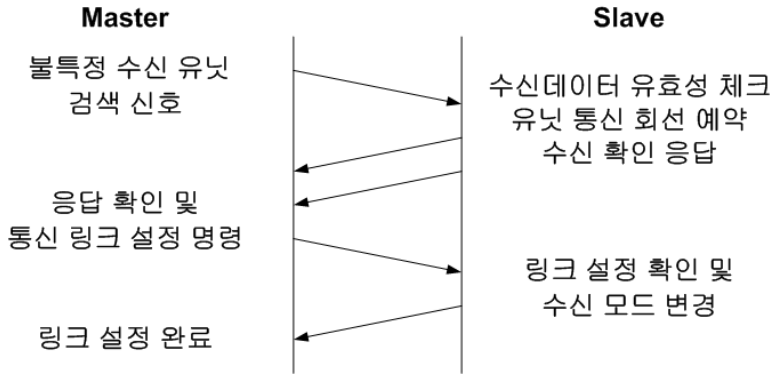


Fig. 4.3 Message passing for recognizing unit identification

Fig. 4.4는 일반적인 데이터 통신 시 사용되는 메시지들의 이동을 보여준다. Fig. 4.5는 Fig. 4.3이 실제로 프로그램에 적용되었을 때의 모습을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 여기서 마스터와 슬레이브는 고정된 유닛이 아니라 호스트 PC에서 지정되는 가변적인 유닛이며, 통신이 이루어지는 구역과 그렇지 않은 구역을 구분하기 위해서도 사용된다.

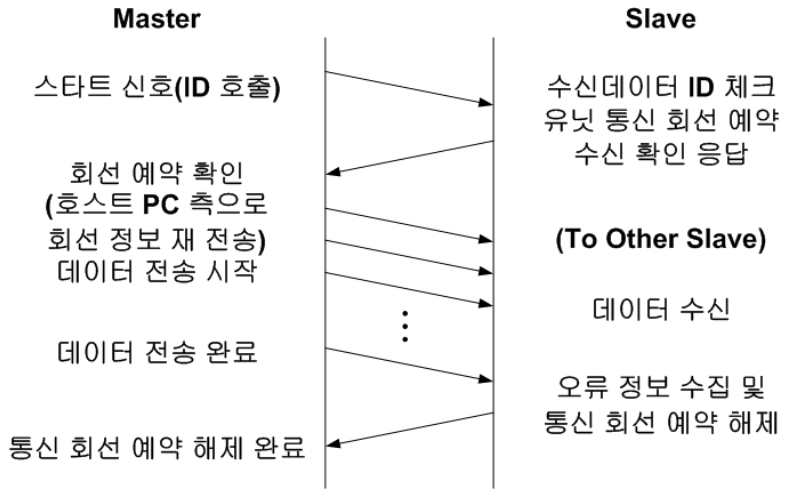


Fig. 4.4 Message passing for general data transfer

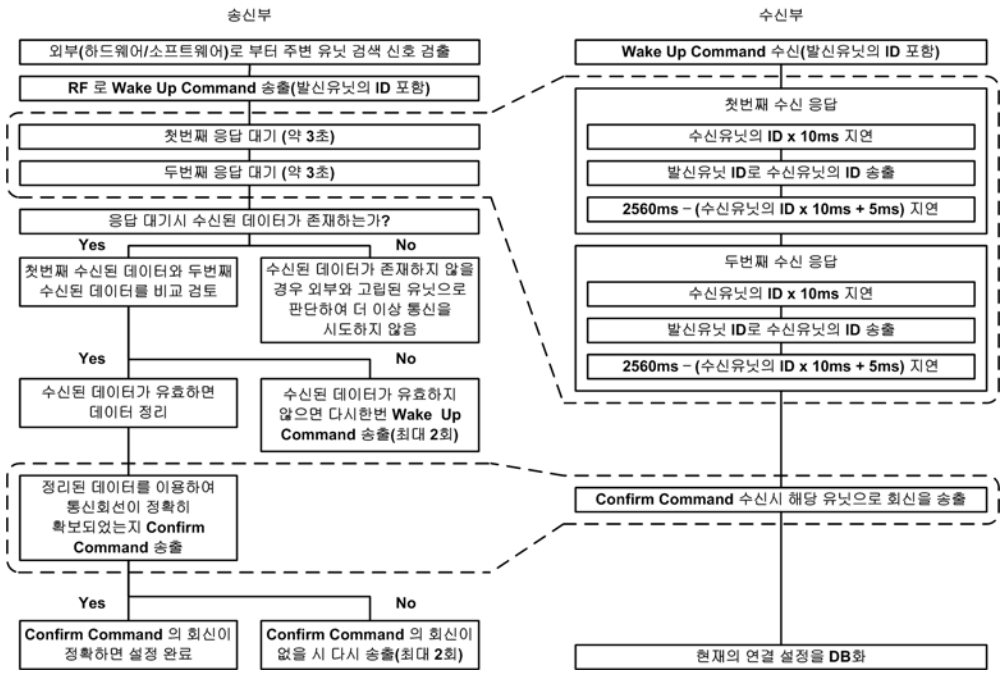


Fig. 4.5 Diagram of recognizing unit identification

업데이트된 DB를 이용하여 호스트 PC에서는 유효한 최단의 경로를 선택하여 데이터를 전송하게 된다. 최단 경로를 찾는 서브루틴은 다익스트라 알고리즘(Dijkstra Algorithm)과 벨만-포드 알고리즘(Bellman-Ford Algorithm)을 참고하였다. 실제 구성은 프로그래밍이 조금 더 간결한 벨만-포드 알고리즘을 이용하였다. 이 알고리즘은 주어진 소스 유닛에서 하나의 링크를 가지는 유닛을 찾고, 다음에 두개의 링크를 가지는 유닛을 찾는다. 이러한 방법으로 각 유닛에 대한 최단 경로를 찾아내는 것이다. 이는 단계별로 진행되며 일반적으로 다음과 같은 수식으로 정리된다.

$$L_0(n) = \infty, \text{ (모든 } n \neq s \text{ 에 대해서)} \tag{4.2}$$

$$L_h(s) = 0, \text{ (모든 } h \text{ 에 대해서)} \tag{4.3}$$

각 연속적인 $h \geq 0$ 에 대해서:

$$L_{h+1}(n) = \min_j [L_h(j) + w(j, n)] \tag{4.4}$$

s	:	소스 유닛(데이터전송 시작점)
$w(i, j)$	:	유닛 i 에서 j 로의 링크비용
h	:	현재 단계에서 경로상의 최대 링크수
$L_h(n)$	:	유닛 s 로부터 n 으로의 h개 이하의 링크를 가진 최소 비용 경로의 비용

소스유닛 s로부터 목적지 유닛 n까지의 최소경로는 다음과 같이 구해진다. $h = K$를 가진 반복에 대해, 또한 각 목적지 유닛 n대해 알고리즘은 전의 반복의 끝에서 존재했던 경로를 가지고 s로부터 길이 $K+1$까지의 잠재적 경로들을 비교한다. 만약 더 짧은 경로가 검출되었다면 새로운 경로로 저장되며, 그렇지 않은 경우에는 이

전의 정보가 그대로 유지된다.

4.4.2 통신 프로토콜

제안한 통신 시스템에서는 반이중식 데이터 통신을 하고 있으며, 통신 프로토콜로는 BSC(Binary Synchronous Control)을 사용하여 구성하였다.

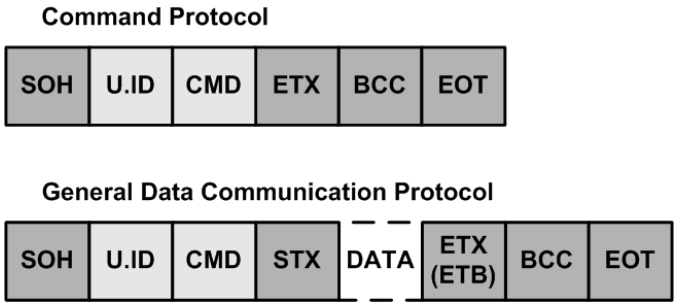


Fig. 4.5 Protocol format

Table 4.1. Transmission control character of BSC

Character	Function
SOH	Start of heading : used to indicate the start of the header (if one is present) of an information message (block)
STX	Start of text : used both to terminate a heading (if one is present) and to signal the start of a text string
ETX	End of text : used to signal the end of a text string
EOT	End of transmission : used to indicate the end of the transmission of one or more text (information)
ETB	End of transmission block : used to indicate the end of a block of data when a message is divided into a number of such blocks

Fig. 4.5는 사용된 프로토콜의 형식을 보여준다. Fig 4.5에서 U.ID와 CMD는 헤더부분으로 간단한 명령을 포함하고 있다. 실제 데이터는 STX메시지 이후에 전송되며 DATA에는 에러체크를 위한 정보도 포함되어 있다. 모든 통신은 ETX(ETB), BCC, EOT메시지를 마지막으로 종료된다. Table 4.1에 BSC에 이용되는 전송제어 문자에 대하여 정리해 놓았다.

실험에 사용된 통신 프로그램에서는 SOH문자는 HEX Code로 0x01, STX문자는 0x02으로 ASCII 문자표와 동일하게 구성하였다. U.ID는 유닛의 개별 아이디로서 2byte로 설정하여 총 65,536개의 유닛을 설정할 수 있게 하였다. 한 바이트씩 나누어 256개의 그룹과 256개의 세부 유닛으로 지정하여 사용할 수도 있다. CMD문자는 1byte 크기의 영문자로서, 프로그램안에서 지정한 영문자에 대해서 특별한 일을 수행할 수 있도록 구성하였다.

제 5 장 실험 및 고찰

5.1 실험장치

지금까지 연구한 제어기의 성능을 평가하기 위한 실험장치는 다음과 같이 구성되어 있다. 인공 태양 조명 장치와 충전 제어기 부분, 그리고 데이터 통신 부분이다. 기본적으로 인공 태양 조명 장치는 태양광과 흡사한 파장의 빛을 내는 50W의 할로겐 램프 80개를 사용하여 구현하였으며, 램프에 슬라이닥 전압 조정기와 트랜스포머를 연결하여 램프의 빛의 세기, 즉 일사량을 조절할 수 있게 하였다. 실험에 사용된 태양전지 모듈은 60W급을 직·병렬로 연결 혹은 단독으로 사용하여 실험하였다. Fig. 5.1은 인공 태양 실험 장치의 모습을 보여주고, Fig. 5.2는 실제 실험 시 오실로스코프를 이용하여 파형을 측정하고 있는 모습을 보여준다.

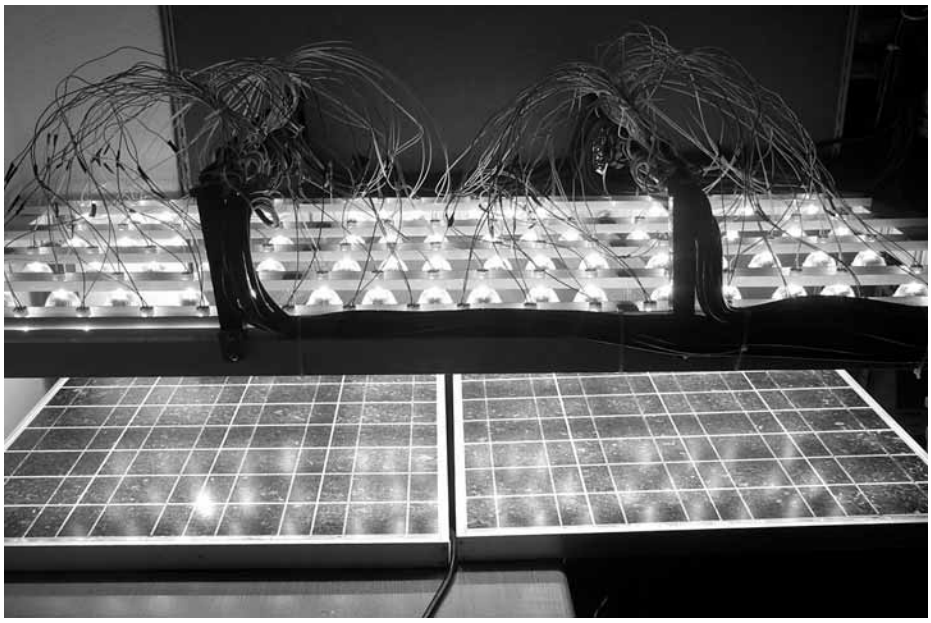


Fig. 5.1 Artificial solar illuminating system

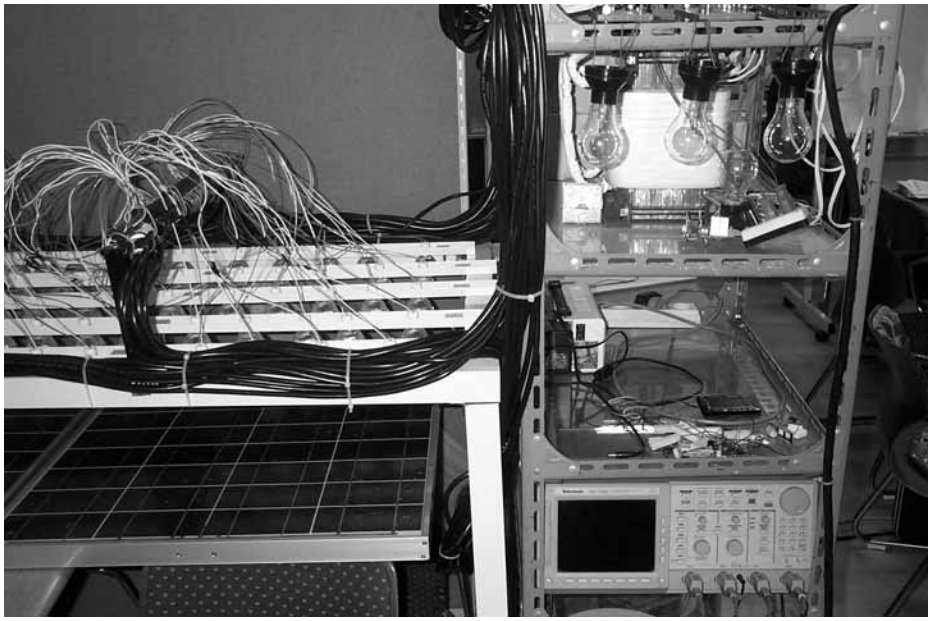


Fig. 5.2 Solar illuminating system and oscilloscope

인공 태양 조명 장치를 이용하여 변화하는 일사량에 따라서 제안한 MPPT 알고리즘이 얼마나 빠르게 최대 전력점을 추종하는지 실험하였으며 MPPT 알고리즘이 수행하고난 결과인 벅 컨버터의 스위칭 시비율의 변화를 오실로스코프를 통하여 살펴보았다.

5.2 충전 제어기

짧은 시간 안에 최대로 충전하기 위해서는 많은 전류량이 축전지로 유입되게 하여야 한다. 태양전지 모듈의 단자 전압은 스위칭 동작에 따라 축전지의 충전 전압에 영향을 미치는데 스위치가 닫혀있는 시간이 길어지면 축전지의 충전 전압이 떨어지게 되어 전류가 많이 흐르지 않게 되므로 스위치가 닫힌 시간을 적절히 조절하여 높은 전압을 유지한 상태에서 축전지에 충전을 하는 것이 중요하다.

충전 전압이 높으면 순간적으로 전류를 밀어 넣어 축전지에 보다 많은 전하를 축적할 수 있다. 이처럼 스위치가 닫힌 시간을 나타내는 시비율을 조절하여 최대의 충전효율을 얻는다. Fig. 5.3은 실험에 사용된 디지털 PWM 스위칭 기반의 충전 제어기이다.

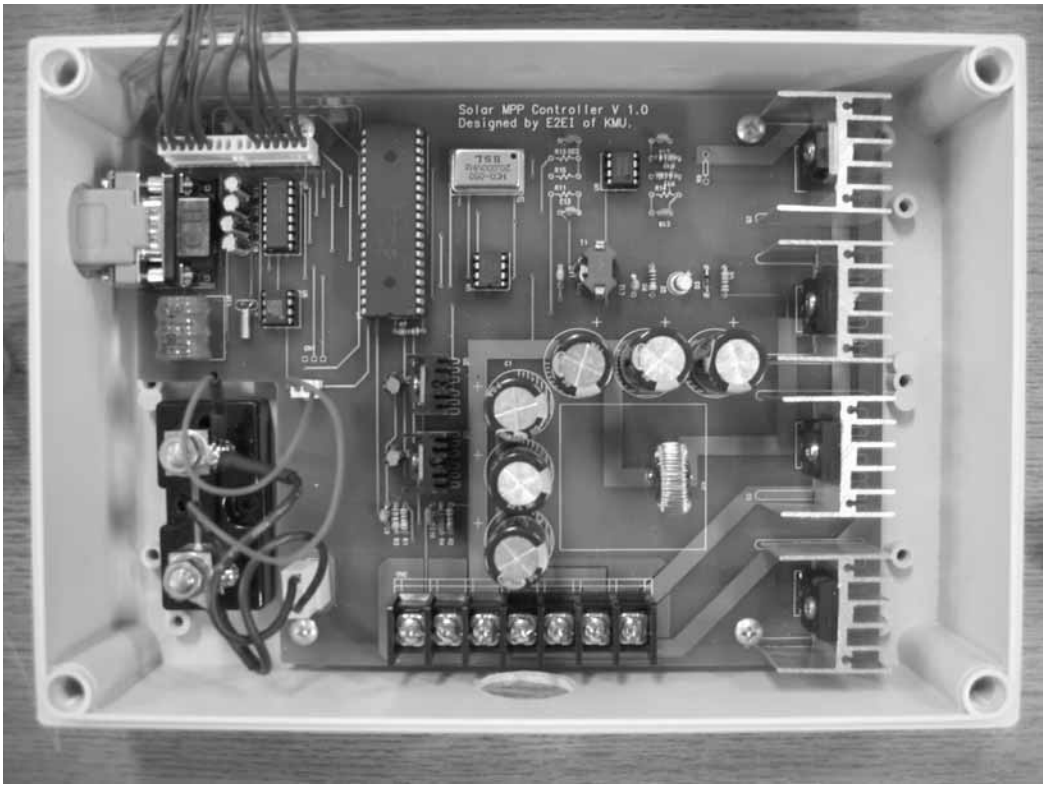
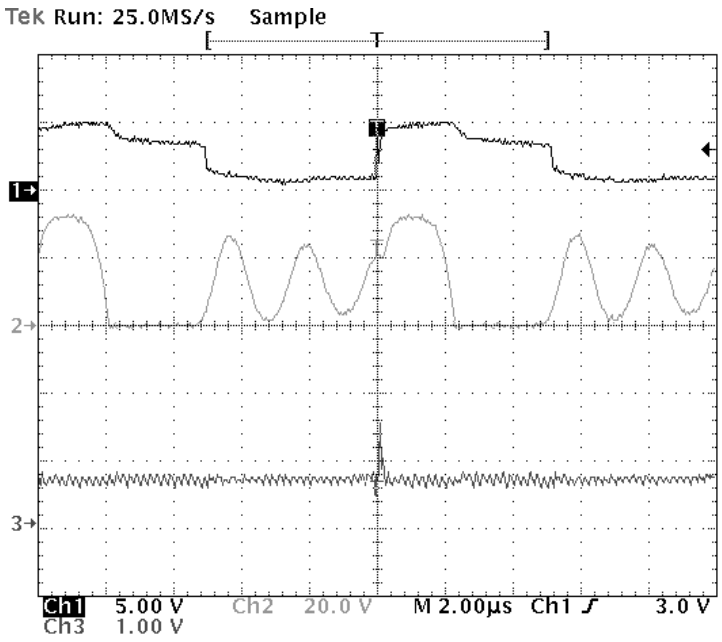


Fig. 5.3 Charging controller with MPPT algorithm

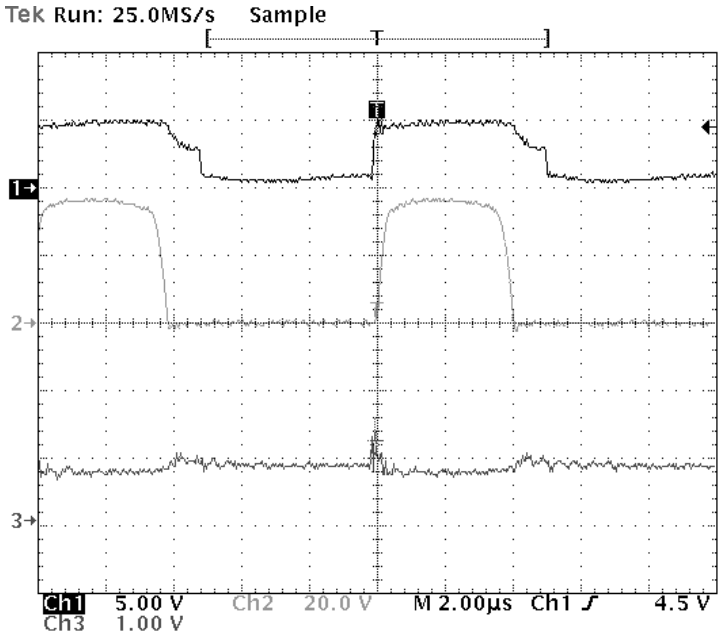
Fig. 5.3의 오른쪽에 보이는 부분이 태양전지 모듈에서 축전지로 전력이 이송되는 부분에 이용되는 소자들로 구성되어 있으며, 왼쪽 상단의 부분에 마이크로프로세서와 데이터 통신을 위한 칩들이 설치되어 있는 모습을 볼 수 있다.

제작된 충전 제어기의 성능을 살펴보기 위해 기존의 시스템에 사용되고 있던 아날로그 기반의 스위칭 회로를 구성하여 비교 실험을 하였다. 실험은 인공 태양 조명 장치를 이용하여 일사량을 100%에서 50%로 변화시켰을 직후에, 각각의 제어기가 MPPT 알고리즘을 수행하여 빠른 시간 안에 MPP를 추종하여 가는지 알아보았다.

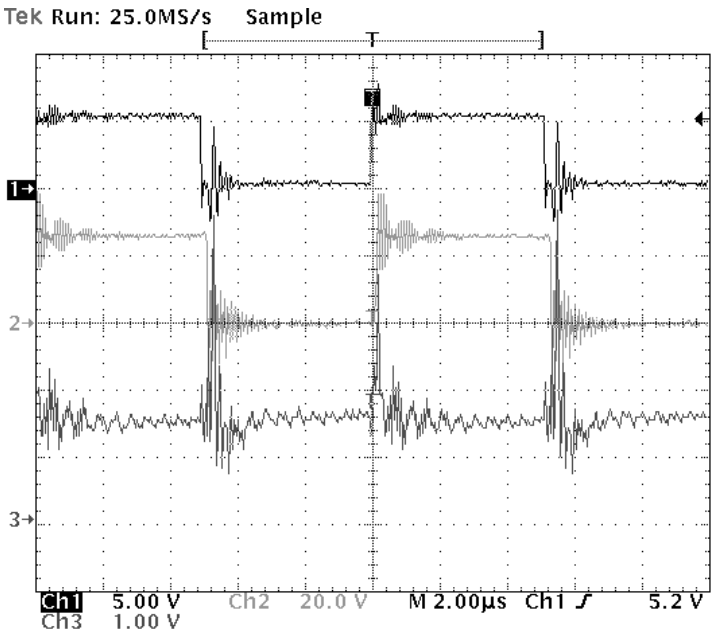
Fig. 5.4는 일사량이 변한 직후 스위칭 알고리즘의 변화에 따른 각각의 실험 측정 파형을 나타낸다. (a)는 기존에 사용되고 있는 아날로그 스위칭 회로를 임의의 값으로 구성한 후 측정한 파형이며, (b)는 각각의 아날로그 시스템의 부품들에 대한 최적값을 계산한 후 설계하여 재배치한 후 측정한 파형이다. (c)는 기존의 방식을 개선한 방식인 디지털 스위칭 알고리즘을 적용한 회로에서 측정한 것이며, (d)는 디지털 기반에 컨버터 스위칭 회로를 최적으로 설계(구성 소자의 용량을 실험을 통하여 결정함)하여 실험한 결과파형이다. Fig. 5.4의 (a), (b), (c), (d) 각 파형에서 오실로스코프의 Ch(채널) 1은 아날로그 및 디지털 PWM 스위칭 신호를 표시하며, Ch 2는 스위칭 소자인 MOSFET의 Gate 단자의 구동신호, Ch 3은 실제로 배터리에 저장되는 전류량을 션트를 거쳐 전압으로 변환한 후 증폭시켜 나타낸 것이다. (a)에서 Ch 1과 Ch 2의 파형이 일그러져 나타나는 것은 아날로그 기반의 스위칭 시스템이 급변하는 일사량에 따라 MPP 추종을 제대로 하지 못하여 일어나는 현상이며, (b)에서는 (a)와 같은 현상은 없지만 디지털 기반의 제어기 보다 뛰어난 성능을 보여주지는 못하고 있다. 반면 디지털 기반의 스위칭 회로를 사용한 (c)와 (d)에서는 기본적으로 충전되는 전류량은 아날로그 스위칭 회로보다 월등히 뛰어남을 알 수 있으나, (c)의 경우 각각의 신호에 노이즈가 심하게 발생하는 문제점이 드러났으며, 각 소자들의 값을 변경하여 노이즈를 억제한 (d)와 같은 파형을 얻을 수 있었다.



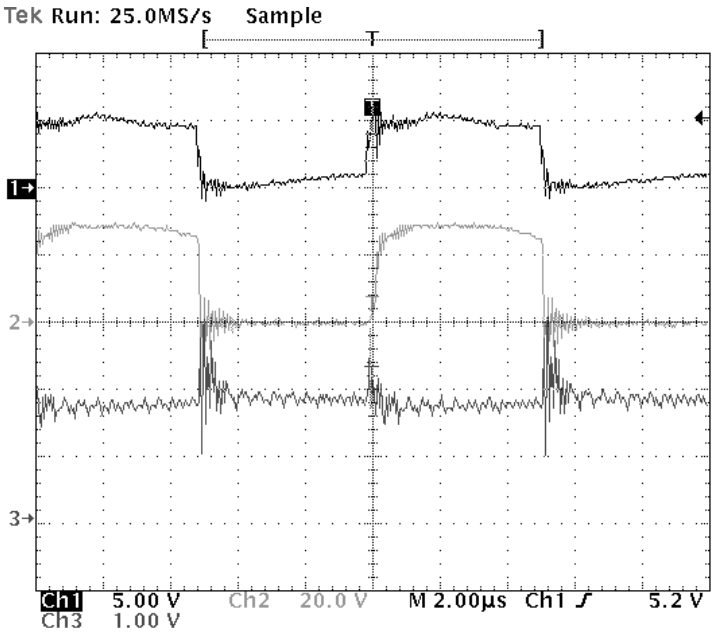
(a) Waveforms of analog circuit



(b) Waveforms of optimum analog circuit



(c) Waveforms with digital switching circuit



(d) Waveforms with optimum digital switching circuit

Fig. 5.4 Experimental results of the charging controller

Table 5.1은 각 컨버터의 실험 데이터인 전압(V_{PV}), 태양전지어레이의 출력전류(I_{PV}), 배터리전압(V_{BT}), 배터리 유입전류(I_{BT})를 나타낸다.

Table 5.1 V, I value with each converter

	$V_{PV}(V)$	$I_{PV}(A)$	$V_{BT}(V)$	$I_{BT}(A)$
Fig. 5.4 (a)	33.7	3.3	13.4	3.3
Fig. 5.4 (b)	33.5	3.4	13.4	3.4
Fig. 5.4 (c)	32.9	3.4	13.3	7.1
Fig. 5.4 (d)	33.2	3.4	13.3	7.9

Table 5.2는 Table 5.1의 실험 데이터를 바탕으로 계산한 태양전지 모듈의 출력전력(P_{PV}), 배터리 입력전력(P_{BT}), 컨버터의 전력이송효율($(P_{BT}/P_{PV}) \times 100$)을 나타낸다.

Table 5.2 Converter efficiency

	$P_{PV}(W)$	$P_{BT}(W)$	전력이송효율(%)
Fig. 5.4 (a)	111.21	44.22	39.76
Fig. 5.4 (b)	113.9	45.56	40
Fig. 5.4 (c)	111.86	94.43	**84.42**
Fig. 5.4 (d)	112.88	105.07	**93.08**

Table 5.2에서 보는바와 같이 아날로그 스위칭 회로로 구성한 Fig. 5.4 (a)와 (b)의 변환효율은 약 40%인 반면, 디지털 스위칭 회로로 구성한 Fig. 5.4 (c), (d)의 변환효율은 약 90%로 아날로그 방식 보다 두 배의 높은 효율을 나타냄을 알 수 있다. 실제 외부환경에서는 구름 한 점 없이 맑은 날의 경우를 제외하고, 일사량, 온도

등이 시시각각 변하는 경우가 많다. 아날로그 시스템의 경우 둔감한 PWM 시비율의 변화로 인해 빠르게 변화하는 MPP를 추종하여 동작하기 어렵다. 그러나 디지털 시스템의 경우, MPPT 알고리즘에 의해 일사량, 온도 등이 변하여도 항상 그때의 MPP를 추종하여 제어신호를 내보내므로 태양전지 모듈에서 축전지로 유입되는 전력은 항상 최대로 유지 할 수 있게 해준다. 따라서, 제안한 방식으로 충전제어기를 구성하면 아날로그 방식에 비하여 충전효율을 개선할 수 있고, 회로의 간략화로 신뢰성을 확보할 수 있음을 확인 할 수 있다.

5.3 데이터 통신

다중 제어 기능을 구현하기 위해 무선 데이터 통신 모뎀을 사용하였다. Fig. 5.5는 실제 사용된 RF modem이다.

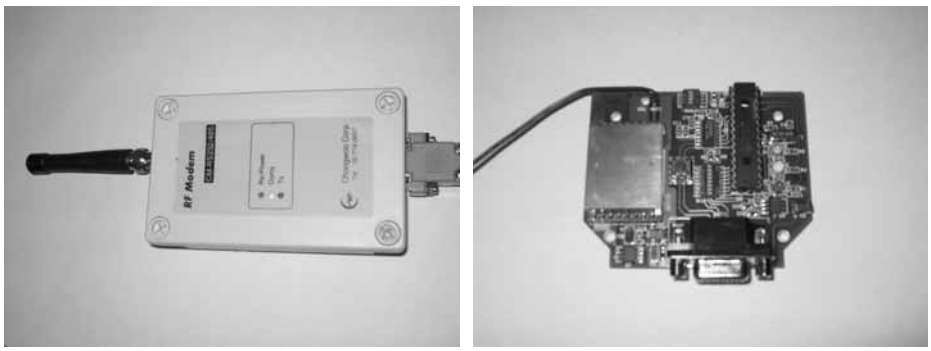


Fig. 5.5 RF modem

다음의 Fig. 5.7은 Fig. 5.6과 같은 네트워크 연결에서 U_2가 인접한 유닛을 검색하기 위한 루틴을 실행할 때 U_1와 U_4의 통신 파형을 오실로스코프를 이용하여 측정한 것이다. Fig. 5.7 (a)와 (b)의 Ch 1과 Ch 2는 U_2의 TX, RX단자를 표시한다. (a)의 Ch 3와 Ch 4는 U_1의 TX, RX 단자를 표시하며. (b)의 Ch 3와 Ch 4는 U_4의 TX, RX단자를 표시한다.

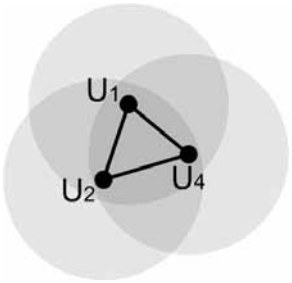
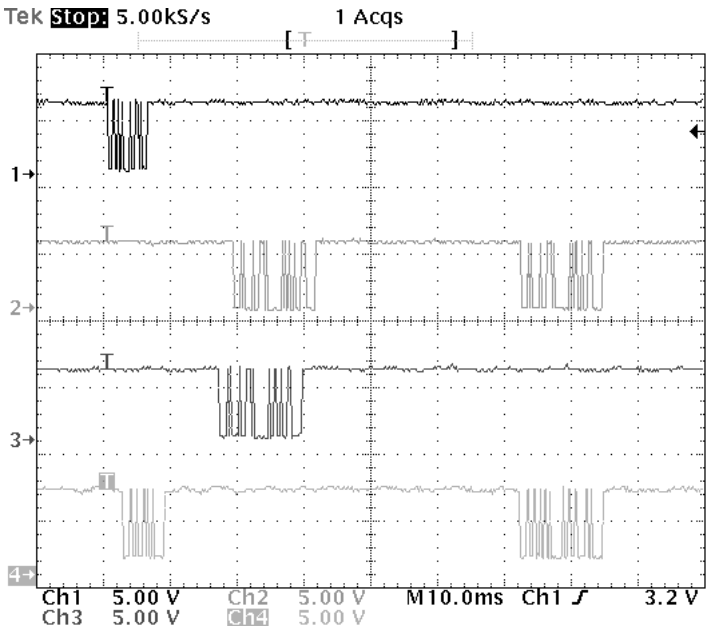
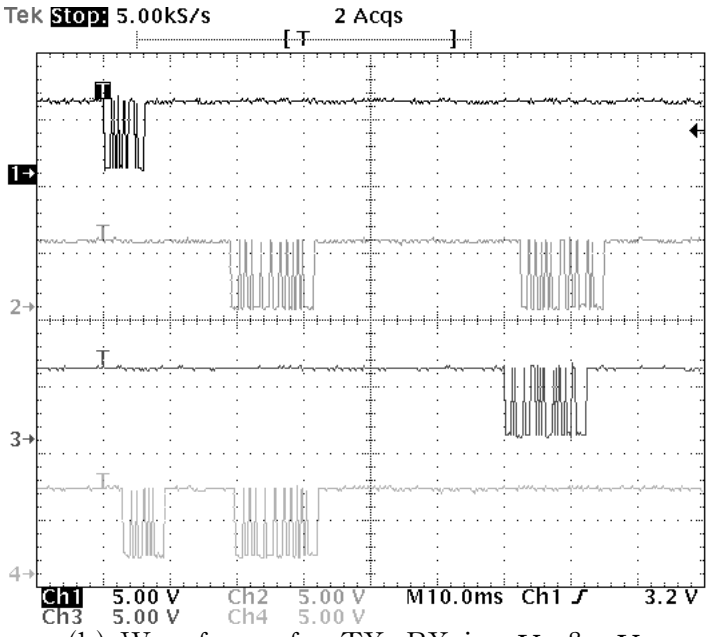


Fig. 5.6 Network diagram at Fig. 5.7



(a) Waveforms for TX, RX in U_2 & U_1



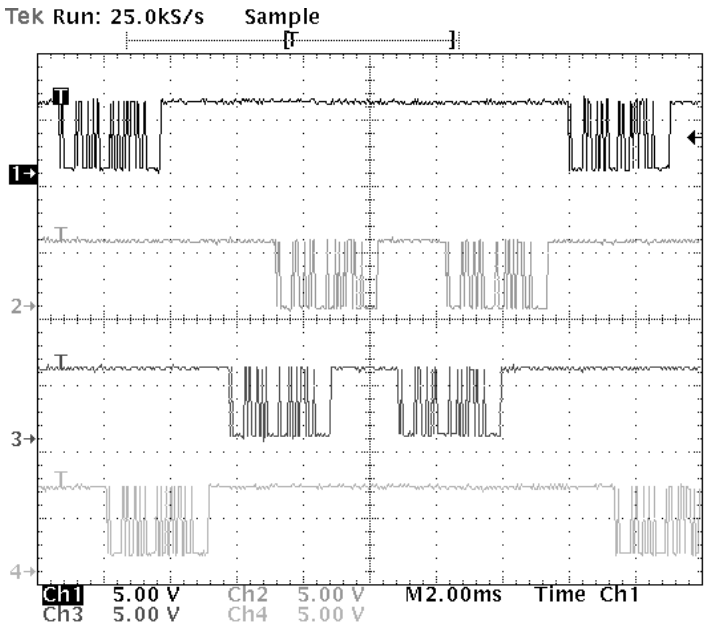
(b) Waveforms for TX, RX in U_2 & U_4

Fig. 5.7 Finding unit protocol communication

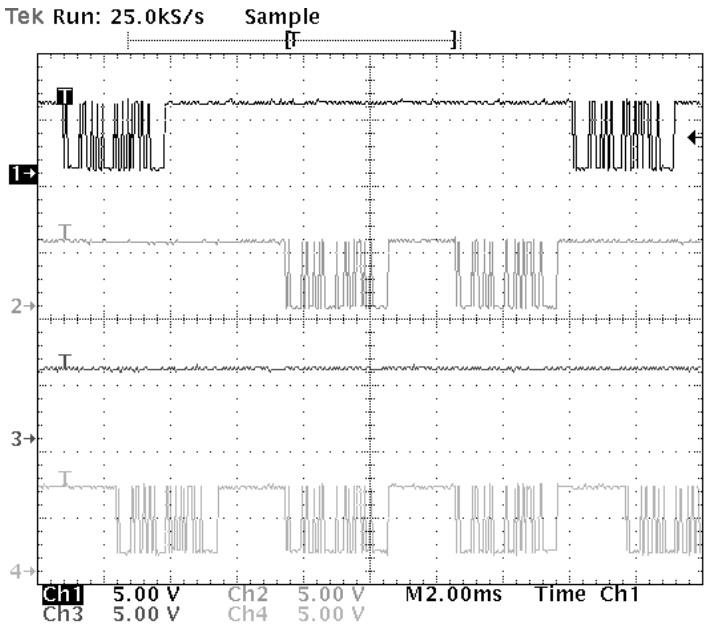
Fig. 5.7의 (a)에 나타난 바와 같이 U_2의 TX단자에서 신호가 송출되면 약간의 지연시간을 거쳐 U_1의 RX단자에 입력되는 것이 보이는데 이것은 RF 무선 통신이 2400bps의 비교적 늦은 속도로 이루어지며 무선 통신 모듈에서의 데이터 변환시 소모되는 시간이 필요하기 때문이다.

(a)에서 Ch 2의 앞부분에 나타나는 파형은 U_2가 응답한 것이고 뒷부분에 나타나는 파형은 U_4가 응답했을 때 나타난 파형이다. (a)의 Ch 4를 살펴보면 U_4가 응답한 파형이 U_1의 RX단자에도 잡히고 있으나 별다른 동작은 하지 않음을 알 수 있다. 다시 말해, (a)와 (b)를 비교하여 살펴보면 (a)의 Ch 3(U_1의 TX단자)에서 나타난 출력이 (b)의 Ch 4에 표시되었고, (b)의 Ch 3(U_4의 TX단자)에서 나타난 출력은 (a)의 Ch 4에 표시 되었으나 두 모듈 모두 오동작은 하지 않음을 확인할 수 있다.

다음의 Fig. 5.8과 Fig. 5.9는 앞의 Fig. 5.6과 같은 네트워크상에서 명령 프로토콜과 일반 데이터 통신 프로토콜을 이용하여 통신 하는 경우에 관한 파형을 측정한 것이다. U_2와 U_1이 통신을 하고 있을 때, U_2와 U_1의 통신 단자에서 측정한 파형을 나타낸 것이 (a)이고, 동일한 유닛인 U_2의 영향권에 있는 U_4의 통신 단자에서 측정한 파형을 나타내는 것이 (b)이다. 또한 Fig. 5.9는 범용 데이터 통신 프로토콜을 이용하여 U_2와 U_1이 통신할 때의 파형을 측정한 것이다. 마찬가지로 (a)는 U_2와 U_1의 단자에서 측정한 것이고, (b)는 U_2와 U_4의 단자에서 측정한 것이다. 위의 사항들로부터 알 수 있듯이 수신 대기 상태에 있는 모듈들에게서 회선이 사용 중이게 되면 데이터 충돌을 방지하기 위해 데이터 송출을 하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 이는 통신 프로그램에 탑재되어 있는 프로토콜에 따라 정상적으로 동작함을 의미한다.

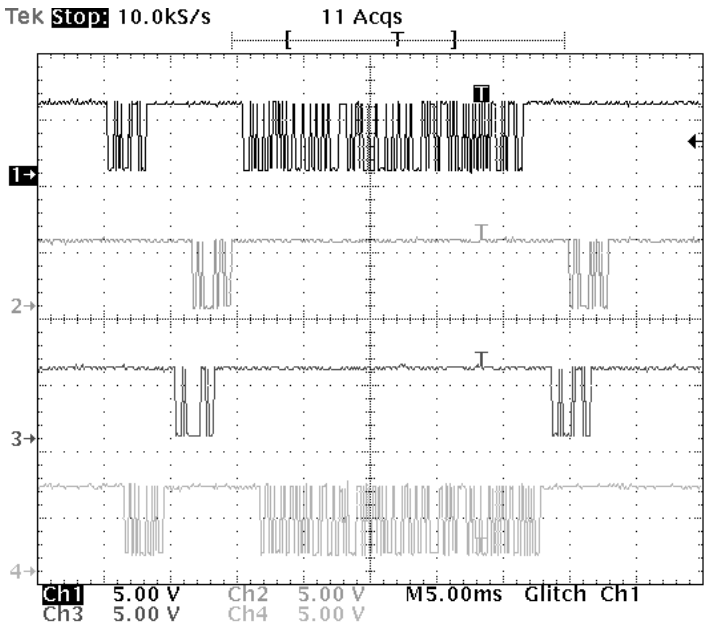


(a) Waveforms for TX, RX in U_2 & U_1

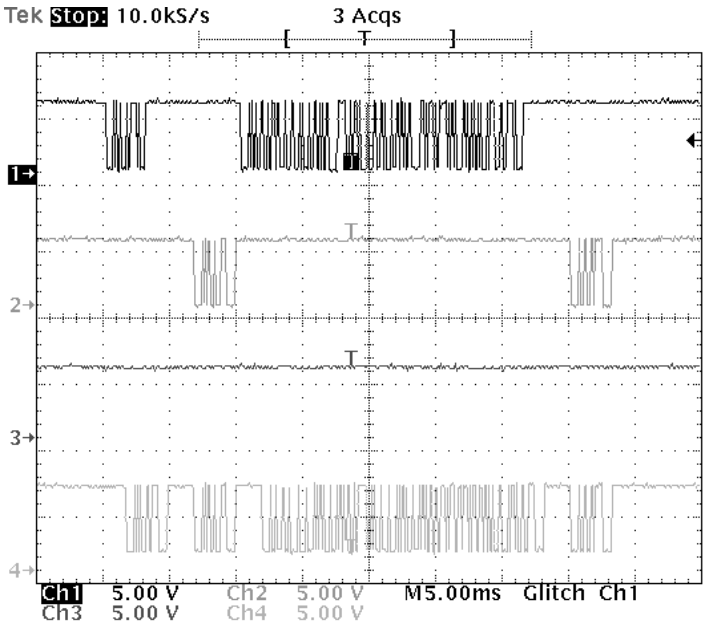


(b) Waveforms for TX, RX in U_2 & U_4

Fig. 5.8 Other unit status at command protocol communication



(a) Waveforms for TX, RX in U_2 & U_1



(b) Waveforms for TX, RX in U_2 & U_4

Fig. 5.9 General data protocol communication

제 6 장 결론

독립형 태양광 발전 시스템은 대부분 소규모의 시스템으로 구축되는 것이 일반적이어서, 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았다. 그러나 최근 에너지 고갈에 따른 자연 에너지에 대한 관심이 높아지고 무인 시스템에 대한 관심이 높아짐에 따라 연계형 시스템은 물론 독립형 시스템에 대한 관심도 높아지고 있다. 본 논문에서는 독립형 시스템에 필요한 제어 시스템에 대하여 기존의 MPPT 알고리즘을 개선한 새로운 MPPT 알고리즘을 제안하고, 아날로그 충전 시스템을 디지털 충전 시스템으로 바꾸었으며, 무선 통신 모뎀을 이용하여 원격 다중 제어가 가능하도록 설계, 구현 하였다. 이와 같은 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기존의 P&O 기법을 개선한 MPPT 알고리즘으로 저가의 마이크로프로세서를 이용하여 MPPT 성능이 뛰어난 제어기를 구축하는데 효과가 있음을 확인하였다.

2. 충전 제어 기법으로는 기존의 아날로그 충전 방식에 비아여 디지털 기반의 PWM 방식 스위칭 알고리즘을 이용하는 것이 충전효율이 훨씬 더 우수함을 확인하였다.

3. 중계기 역할을 수행하는 다중 제어 기법을 통해 저비용의 무선통신 모뎀으로 고비용의 무선통신 모뎀의 효과를 낼 수 있으며 실제로 충분히 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 얻은 기술로서 태양광 가로등 모니터링 시스템, 해상의 부표 제어 관리 시스템, 무인 등대 관리 시스템 등과 같은 독립형 태양광 발전 응용 시스템뿐만 아니라 선박의 냉동 컨테이너 모니터링 시스템, 컨테이너 부두의 야적 시스템 등 필드에서도 활용이 가능하다. 그러나 이를 위해서는 해양환경 변화에 따른 실험과,

시스템의 방염, 방습과 같은 연구가 병행되어야 하며 모니터링 측으로는 호스트 PC 측의 프로그램에 대한 비주얼적인 화면구성과 다수의 서브 유닛에 대한 DB 구축의 효율성 문제 등에 대한 연구가 추가로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] 오진석, 이지영, 곽준호, “자연에너지 발전 추세”, 한국박용기관학회지, 제 27권, 제 5호, pp.555-564, 2003

[2] F. Giraud, "Steady-state performance of a grid-connected roof-top hybrid wind-photo-voltaic power system with battery storage", IEEE transactions on energy conversion, Vol. 16, No. 1, pp. 1-7, 2001.

[2] Tomas Markvart, "Solar Electricity", JOHN WILEY & SONS, 1997

[3] R J Van Overstraeten And R P Mertens, "Physics, Technology and use of photovoltaics", Adam Hilger LTD, 1986

[4] Bimal K. Bose, Paul M. Szczesny, Robert L. Steigerwald, "Microcomputer Control of a Residential Photovoltaic Power Conditioning System", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. IA-21, No. 5, pp. 1182-1191, September/October 1985

[5] T. J. Liang, Y. C. Kuo and J. F. Chen, "Single-stage photovoltaic energy conversion system", IEE proc-electr. power appl., Vol. 148, No. 4, pp. 339-344, 2001.

[6] K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking : an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEEE proc.-gener. transm. distrib., Vol. 142, No. 1, pp. 59-64, 1995.

[7] H. Sugimoto, "A new scheme for maximum photovoltaic power tracking control", IEEE PCC-Nagaoka, pp. 691-696, 1997.

[8] 김철우, 송언빈, “실용전력전자공학”, 복두출판사, 2001

[9] Muhamad. H. Rashid, "Power Electronics Circuits, Devices,

and Applications", Prentice-Hall, Inc, 1988
[10] Daniel W. Hart, "Introduction to Power Electronics", Prentice-Hall, Inc, 1996
[11] Marian P. Kazmierkowski, Ramu Krishnan, J. David Irwin, "Control in Power Electronics: Selected Problems", Academic Press, 2002
[12] 오정원, "PIC마이컴용 C언어, CCS-C 실전가이드", 컴파일테크놀로지(주), 2001
[13] 차영배, "C언어로 배우는 PIC 마이컴 시뮬레이션 & 실습", 다다미디어, 2003
[14] 이희문, "PIC16F84의 기초+α", 성안당, 2002
[15] Fred Halsall, "Data Communications, Computer Networks and OSI", Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
[16] William Stallings, "Data and Computer Communications", Prentice-Hall, Inc, 2000.
[17] Hamad Rashid, "Wireless Application Protocol Programming", Hungry Minds, 2001.
[18] Carl J. Weisman, "The Essential Guide to RF and Wireless", Prentice-Hall, Inc, 2002.
[19] 김성수, 이승준, 문철홍, "USB와 임베디드 시스템의 다중 통신 프로토콜 구현", 대한전자공학회지, 제 25권, 제 1호, pp.215-218, 2002.
[20] 오진석, 곽준호, "독립형 태양광 발전 시스템 충전제어기 개발에 관한 연구", 한국박용기관학회지, 제 28권, 제 6호, pp916-921, 2004.