

신재생 에너지 시스템을 위한 축전지 충방전 컨트롤러 설계 -태양광 발전 축전지 충방전 컨트롤러를 중심으로-

이재민^{1*}

Design of Battery Charge-Discharge Controller for Renewable Energy System

-Focusing on Solar Battery Charge-Discharge Controller -

Jae-Min Lee^{1*}

요 약 태양광 발전이나 풍력발전과 같은 신재생 에너지를 효과적으로 사용하기 위해서는 고성능 축전지 충 방전 컨트롤러가 필수적이다. 본 논문에서는 PIC 마이크로프로세서를 사용한 태양광 발전 축전지 충방전 컨트롤러를 설계, 제작하였다. 컨트롤러의 핵심이 되는 제어부는 정확하고 안정된 동작을 위해서 산업용 마이크로프로세서인 PIC16C711를 사용하였고 제어프로그램은 CCS-C 언어로 작성하였다. 사용자의 편리성을 향상시키기 위해 낮에도 축전지 전원을 사용할 수 있도록 설계 하였으며, 전류 조정 기능으로 향후 신소재 개발에 따른 다양한 축전지에 대응할 수 있게 하였다.

Abstract In order to utilize renewal energy such as solar power and wind power, high performance battery charge-discharge controller is essentially needed. In this paper, a PIC microprocessor-based battery charge-discharge controller for solar power system is designed and implemented. The PIC16C711 microprocessor and CCS-C compiler are used to realize stable and accurate operation of the battery controller. The proposed controller is designed to utilize the charged battery power during daytime to provide convenience to user. Current control function is included in proposed controller to cope with various type of new material energy system coming in the near future.

Key words : Renewal Energy, Solar Power System, Battery Charge-Discharge Controller, PIC16C711

1. 서 론

최근 지구 온난화와 각종 산업에서 배출되는 유해 물질로 인한 환경오염이 심각해지면서 환경 친화적 미래 에너지인 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 대표적인 신재생 에너지 시스템인 태양광 발전 시스템은 태양광을 전기에너지로 축전지에 저장하고 필요시 그 전력을 부하에 공급하는 장치로서 이 태양광 발전 시스템의 성능을 좌우하는 것은 태양전지와 축전지 및 부하를 제어하는 컨트롤러이다[1-4].

축전지 컨트롤러는 축전지의 전압 변동에 따라 태양전

지에 축전지로 그리고 축전지에 부하로 연결되는 전류 공급 경로의 스위칭 동작을 건실하게 제어해야 한다. 현재 국내에서는 비교적 저가의 중국 제품을 많이 사용하고 있으나 이들 대부분은 아날로그 방식으로 만들어져 있고 회로의 최적화가 충분하지 않아, 사용자 편의를 위한 디지털 기능과 정교한 제어동작 및 회로 최적화 등의 개선이 요구된다. 기존 제품들은 회로의 안정도가 높지 못하며 낮 시간대에는 충전 동작만 이루어지고 부하의 사용은 주로 밤에만 이루어지도록 설계되어 있어 낮 시간대에는 축전지에 충전된 전력을 사용할 수가 없다. 또한 축전지의 교체시기를 알지 못해 사용자가 불편함을 겪게 된다. 이러한 문제와는 별도로 대부분의 컨트롤러는 사용자 임의의 전류조정 기능을 갖고 있지 않아 다양한 축전지를 효율적으로 충방전하는 것이 쉽지 않다.

본 논문에서는 고성능 산업용 마이크로프로세서 PIC

이 논문은 2006년 관동대학교 교내연구비의 지원에 의하여 연구되었음

¹관동대학교 전자공학과

*교신저자: 이재민(leejm@kd.ac.kr)

을 사용한 태양광 발전을 중심으로 한 신재생에너지 축전지 충·방전 컨트롤러를 설계, 제작한다. 설계하는 컨트롤러는 축전지 전원으로 동작하며 축전지의 전압을 감지하여 태양전지와 축전지, 축전지와 부하 사이의 전력 공급 경로를 효과적으로 제어하게 된다.

또한 기존 제품의 단점을 보완하기 위해 낮 시간대에도 축전지에 저장된 전원을 이용할 수 있도록 하며, 사용자의 편의를 위해 축전지의 교환시기가 되면 비프음을 울려주도록 설계 한다. 또한 전류 조정 기능을 추가하여 다양한 신소재 축전지에 대한 활용도를 높인다. 시스템의 핵심 부분인 디지털 제어부는 PIC16C711 마이크로프로세서를 사용하였으며 PIC용 C언어인 CCS-C로 제어 프로그램을 작성한다. 설계, 제작한 컨트롤러는 실험을 통하여 유효성을 확인한다.

2. 컨트롤러 설계

2.1 컨트롤러의 구성

신재생 에너지 축전지 충·방전용 컨트롤러는 태양광 발전 시스템에서 축전지의 성능을 유지하기 위해 태양전지에서 축전지로 들어가는 전류 경로와 축전지에서 부하로 공급되는 전류 경로를 시스템 상태에 따라 적절히 제어하는 것이 주된 기능이다.

그림 1은 신재생에너지 축전지 충·방전 컨트롤러의 블록도를, 그림 2는 디지털부 전체 회로도를 나타낸 것이며 표 1은 이에 따른 스위치의 개폐동작을 나타낸 것이다. 과방전과 과충전은 축전지의 수명을 단축시키는 원인이 되는데 축전지의 상태를 정상으로 유지하기 위해 정상 동작 전압의 하한점(10.8V)과 상한점(14.4V)을 설정하고 이를 디지털 제어부를 통해 축전지로부터 입력되는 전압과 비교하여 스위치(Chg_SW, SW1, SW2)를 개폐시킨다.

낮에는 충전을 밤에는 방전을 하기 위해선 주·야 감시를 해야 하는데 이는 태양전지의 전압이 6V이상이면 낮으로 그 외의 경우는 밤으로 판단하도록 구현하였다.

부하1(SW1)은 밤에만 사용 가능하고 부하2(SW2)는 항시부하로 낮에도 사용자가 축전지의 전원을 사용할 수 있도록 해준다. Batt_CH는 축전지 교체 시기가 되면 ON이되어 비프음을 울리게 된다.

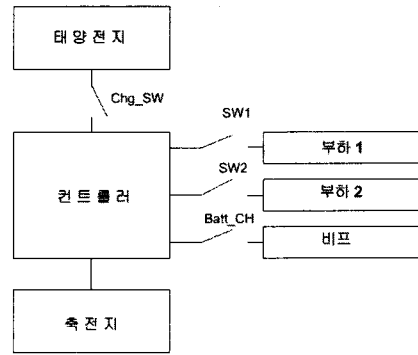


그림 1. 축전지 충방전 컨트롤러 블록도

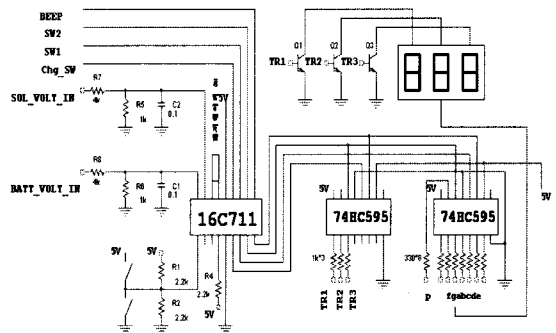


그림 2. 신재생에너지 축전지 충방전 컨트롤러 디지털부 회로도

표 1. 스위치의 개폐 동작

	축전지 전압	chg_sw	sw_1	sw_2
낮	10.8V 이하	on	off	off
	10.8V ~ 13.0V	on	off	off
	13.0V ~ 14.3V	on	off	on
	14.4V 이상	off	off	on
밤	14.4V ~ 10.8V	off	on	on
	10.8V 이하	off	off	off

신재생에너지 축전지 충·방전 컨트롤러는 보통 그림 3 (a)와 같이 아날로그 구동부, 인터페이스부, 디지털 제어부등으로 구성된다. 여기서 설계한 컨트롤러에서는 디지털부에 PIC16C711을 사용하게 되는데 이 PIC 마이크로프로세서는 내부에 A/D Converter(인터페이스부)가 포함 돼 있어 신재생에너지 축전지 충·방전 컨트롤러는 그림 3 (b)와 같이 구성할 수 있다.

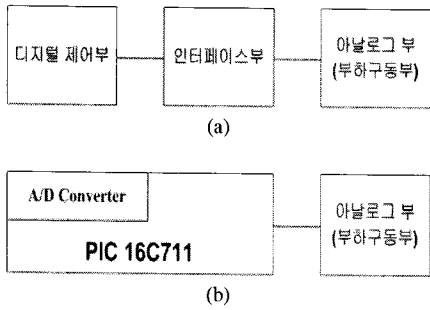


그림 3. 신재생에너지 축전지 충전전 컨트롤러 구성도
(a)기본 구성도 (b)내부 구성도

컨트롤러는 축전지의 전압을 감시하여 충·방전 경로를 개폐하는 스위치(Chg_SW) 회로에 신호를 보낸다. 아날로그 제어부는 디지털 제어부의 제어신호에 따라 아날로그 제어부와 연결된 태양전지와 축전지사이의 경로와 축전지와 부하사이의 전류 공급 경로를 제어한다. 디지털 제어부는 디지털 신호값을 미리 정해져 있는 기준 신호값과 비교하여 출력을 스위치(SW1, SW2)로 보내게 된다. 출력된 신호들은 아날로그 회로부를 통하여 스위치 동작을 하게 된다.

2.2 디지털 제어부

디지털 제어부에서 가장 중요한 스위치(Chg_SW, SW1, SW2) 개폐를 담당하는 부분은 PIC16C711 마이크로프로세서를 이용하였으며 PIC용 C언어인 CCS-C로 작성하였다[5,6]. PIC16C711은 단지 35개의 명령어로 동작하는 고성능 RISC 구조를 가지고 있으며 2K X 14 words의 프로그램 메모리, 128 X 8bytes의 데이터 메모리(RAM)을 갖추고 있다.

그림 4는 디지털 제어부의 블록도를 나타낸 것이며 그림 5는 디지털 제어부의 핵심 역할을 하는 PIC마이크로프로세서의 CCS-C 소스 메인부분이다.

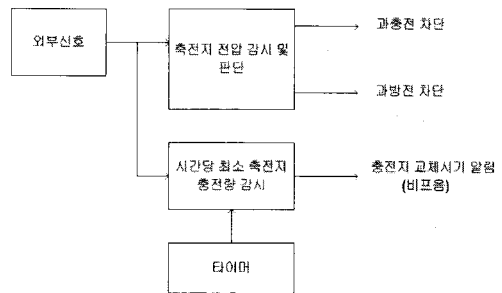


그림 4. 디지털 제어부의 블록도

```

/* 주,야 감지 */
if (sol_volt > 60) { day_sta = day; run_mode=0;
day_time=0; }
else { day_sta = night; run_mode=0; day_time=0; }
// 6V 이상이면
// 낮 아니면 밤으로 처리
/* 충전 제어 */
batt_volt_read();
// 낮일때의 충전 제어
if (day_sta == day)
{
b_port.s1=off; // 낮이면 s1 전원 차단
if (batt_volt < 109)
{ b_port.chg_sw=on; b_port.s2=off; }
else if (batt_volt < 130)
{ b_port.chg_sw=on; b_port.s2=off; }
else if (batt_volt < 144)
{ b_port.chg_sw=on; b_port.s2=on; }
else { b_port.chg_sw=off; b_port.s2=on; }
}
// 밤일때의 방전 제어
if (day_sta == night)
{
b_port.chg_sw=off; // 밤일때 충전 차단
if (batt_volt < 109) {
b_port.s1=off; b_port.s2=off; }
else if (batt_volt < 144) {
b_port.s1=on; b_port.s2=on; }
}
}

/* 축전지 이상(교체시기) 발견 루틴 */
if (day_str == day)
{
if (run_mode == 0) { batt_1 = batt_volt; hr_1
= hr; min_1 = min; sec_1 = sec; run_mode = 1; }
else {
if (hr_1<=19) { if (hr == (hr_1 + 4))
{
if (min == min_1) {
if (sec == sec_1) {
run_mode=0;
batt_2 = batt_volt;
batt_t = (batt_2 - batt_1) / 4;
if (batt_t <= 10) { b_port.batt_ch=on;}
} //sec
} //min
} //hr
}
else { if (hr == (hr_1+4)-24) {
if (min == min_1) {
if (sec == sec_1) {
run_mode=0;
batt_2 = batt_volt;
batt_t = (batt_2 - batt_1) / 4;
if (batt_t <= 10) { b_port.batt_ch=on; }
} //sec
} //min
} //hr
} //else
}
} // day
else { if (day_str == night) run_mode=0; }
}
}
    
```

그림 5. PIC 프로세서 제어 프로그램

CCS-C 소스는 컨트롤러에 입력되는 태양전지의 전압을 가지고 낮, 밤을 판단하는 부분, 축전지 전압을 기준전압과 비교하여 과충전인지 과방전인지를 판단하는 부분, 축전지의 교체시기를 판단하는 부분등 크게 총 3개 부분으로 이루어져 있다.

축전지의 교체시기를 판단하는 부분은 교체 시기를 판단하기 위해 4시간주기로 축전지의 시간당 충전량을 구한다. 여기서 구한 시간당 충전량이 1V이하가 되면 비프음을 울려 사용자에게 축전지 교체시기를 알려 주게 되는 것이다.

이렇게 시간당 충전량을 구하기 위해서는 타이머가 필요하다. 타이머는 다음과 같은 성질을 이용하여 작성하였다. 본 컨트롤러는 디지털부에서 4[Mhz]의 크리스탈 발진을 이용하는데 이는 1초에 40000번의 신호가 PIC 마이크로프로세서에 들어온다는 것을 뜻한다. 이는 반대로 생각하면 40000을 카운터 할 수 있다면 1초를 만들 수 있다는 뜻이다. 우리가 사용하는 PIC16C711은 8비트로 0-255까지 카운터를 할 수 있다. 즉, $160 * 250 = 40000$ 로 40000을 카운터 해 타이머를 구현하였다. 그림 6은 앞의 식을 그림으로 나타낸 것이고 그림 7은 타이머부 CCS-C 소스 프로그램이다.

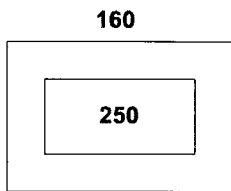


그림 6. 타이머

```
#INT_RTCC
rtcc_isr()
{
    clock = clock + 1;
    if (clock >= 160)
    {
        clock = 0;
        sec = sec + 1;
        if (sec >= 60)
        {
            sec = 0;
            min = min + 1; // 1분 증가
            if (min >= 59) {
                min = 0;
                hr = hr + 1; // 1시간 증가
                if (hr >= 24) hr=0;
            }
        }
    }
    set_rtcc(6);
}
```

그림 7. 타이머부의 CCS-C 프로그램

2.3 아날로그 제어부

그림 8 부하 구동을 위한 아날로그부 회로이다. 아날로그 제어부 회로에서는 디지털 제어부 Chg_SW, SW1, SW2의 신호에 따라서 표 2와 같은 동작을 하게 된다. 축전지의 전압이 14.4V를 초과(과충전)하면 트랜지스터 T1을 구동시켜 태양전지의 공급전압을 차단한다. 또한 10.8V이하(과방전) 이면 부하로 가는 전력을 차단한다. 부하는 S1, SW2 신호에 의해 T2, T3를 구동하여 부하를 사용자가 사용할 수 있도록 해준다. 디지털 제어부의 신호에 의해 T1, T2, T3가 스위치 역할을 해주는 것이다. D1, D2는 축전지의 역전류를 방지한다. 축전지와 태양전지 사이에 과전류가 흐를 것을 대비해 퓨즈를 사용하였다.

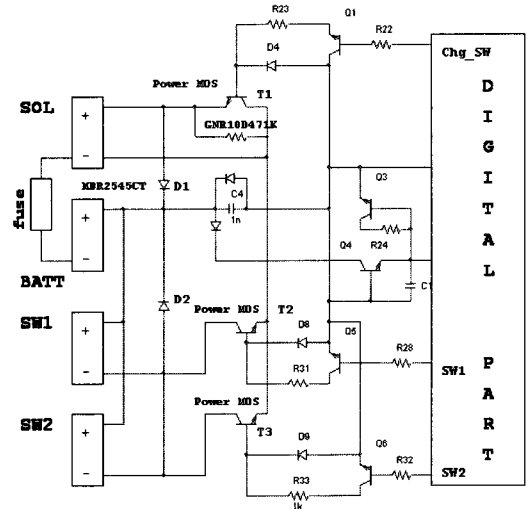


그림 8. 부하 구동 회로도

2.4 전류 조정부

저자가 제안한바 있는 기존의 축전지 충전전 컨트롤러 [7-8]에는 정밀 전류 조정기능이 포함되어 있지 않았다. 최근 다양한 성능과 특성을 갖는 축전지가 개발되고 있고 향후 첨단 신소재의 개발이 속속 이루어지면 보다 다양한 축전지가 등장할 것으로 예상되어 이를 수용할 수 있도록 제안하는 컨트롤러에 전류 정밀 조정기능을 추가하였다. 그림 9는 제안하는 전류조정부의 핵심회로를 나타낸 것이다.

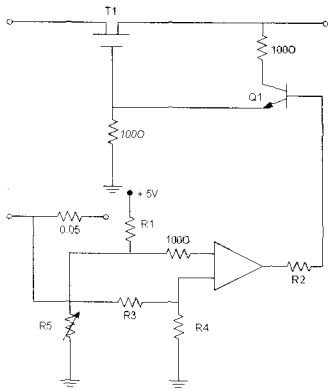


그림 9. 전류 조정부 회로

3. 컨트롤러 제작과 성능 테스트

설계한 컨트롤러를 제작하여 그 성능을 테스트하였다. 테스트한 결과 설계 사양과 충분히 일치하는 시스템 동작과 성능을 확인할 수 있었다. 표 2는 구현한 디지털 제어부의 동작을 검증을 위해 실험한 내용으로서 다양한 입력 변화에 따른 컨트롤러의 출력 스위칭 특성을 나타내고 있다.

입력 전압을 9V에서 15V까지 서서히 증가시켜가며 측정했을 때 축전지 충전 동작은 14.4V에서 멈추었고 이때 부하를 통해 축전지를 방전시키면 전압이 하강하다가 13.8V에서 재충전이 이루어진다. 부하에 의해 축전지가 방전될 때 축전지 전압이 10.8V에 이르면 축전지 보호를 위해 부하로 인한 방전이 차단되며 이 때 전력원으로 부터 전류가 다시 공급되면 축전지의 전압이 상승하다가 12.5V에 이르러서야 부하에 의한 재방전이 허용된다.(히스테리시스) 충·방전 시 그림 10과 같은 히스테리시스 특성을 갖도록 구현하였다.

표 2. 컨트롤러 동작 실험 결과

낮	축전지 전압	chg_sw	sw_1	sw_2
	9V	on	off	off
	10.8V ~ 13.0V	on	off	off
	13.0V ~ 14.3V	on	off	on
15V	off	off	on	

(a) 입력전압 증가 시

밤	축전지 전압	chg_sw	sw_1	sw_2
	15V	off	on	on
	14.4V ~ 10.8V	off	on	on
9V	off	off	off	

(b) 입력전압 감소 시

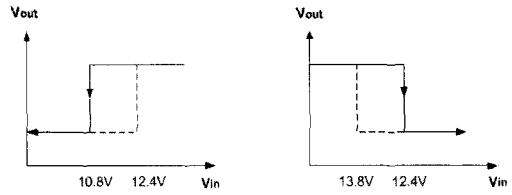
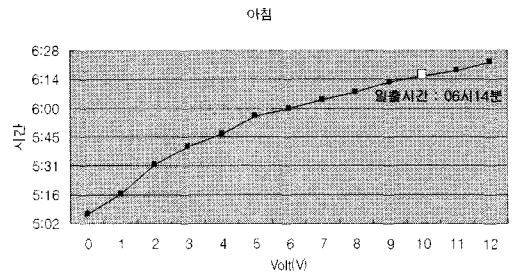


그림 10. 신재생에너지 축전지 충전전 컨트롤러 히스테리시스 특성

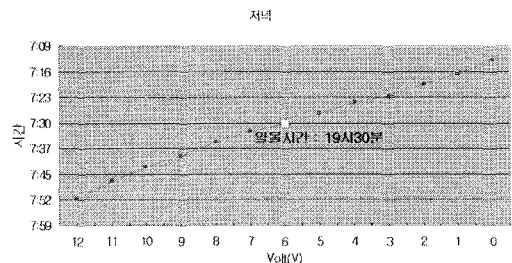
축전지 교체시기를 알려주는 비프음은 4시간동안 태양전지에 해당하는 부분에 1V의 전압만을 공급해 비프음이 울리는 것을 확인하였다.

한편 아날로그 회로로 구성된 부하 구동부는 태양전지의 전압과는 상관없이 축전지가 정상동작 범위에 있을 때 최대 12A의 전류를 부하에 공급한다.

PIC 프로그램 가운데 낮과 밤을 구별하는 조건으로서 태양전지의 전압을 이용하는데 실제 일출과 일몰 시간에 태양전지 전압을 얻기 위하여 실험을 실시하였다. 그림 11은 실험을 통해서 얻게 된 일출과 일몰 시 시간대에 따른 태양전지의 발생 전압을 나타낸 것이다.



(a) 일출 시의 전압 변화

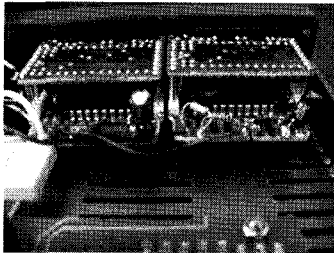


(b) 일몰 시의 전압 변화

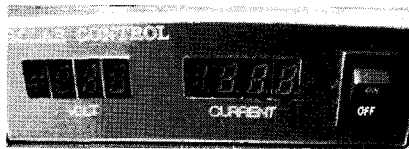
그림 11. 일출과 일몰 시 시간대에 따른 태양전지의 발생 전압

그림 11(a)로부터 태양전지로부터 들어오는 전압의 크기가 10V 이상이 되었을 때 육안으로 일출을 확인할 수 있었고 그림 11(b)로부터 태양전지 전압이 6V 이하가 되었을 때 일몰을 확인할 수 있었다. 기후의 급격한 변화로

낮에 강한 먹구름 등으로 태양전지 전압이 6V 이하로 떨어져 낮을 밤으로 인식하는 오동작이 있을 수 있는데 이런 문제는 계절별 타이머 등을 설치하여 극복 할 수 있다. 그림 12는 모듈화하여 제작한 완성된 축전지 충전전 컨트롤러를 나타낸 것이다.



(a)



(b)

그림 12. 전류제어 기능을 갖는 구현된 축전지 충전전 컨트롤러

(a) 모듈화된 시스템 구성 (b) 컨트롤러의 전면부

4. 결 론

본 논문에서는 전류제어기능이 있는 PIC 마이크로프로세서를 사용한 신재생에너지 축전지 충·방전 컨트롤러를 설계, 제작하였다. 제작한 컨트롤러에서는 기존 아날로그 컨트롤러의 단점을 보완하여 정확한 아날로그 전압 감지와 디지털적 신호 처리 및 항시부하, 축전지의 교체시기를 알려주는 기능등을 갖도록 하였다. 컨트롤러 동작의 주요부분의 하나인 히스테리시스 동작을 디지털적으로 설계 구현하였으며 낮 시간대의 상시 전력 공급 기능과 기존 시스템에 구현하지 않았던 차세대 신소재 축전지를 위한 정밀 전류 조정 기능을 추가하였다. 컨트롤러 시스템의 디지털 제어부 구성을 위해 PIC마이크로프로세서를 사용하였고 제어 프로그램은 CCS-C를 사용하였다. 제작된 컨트롤러의 성능 검증을 위하여 실험을 실시하였는데 축전지의 전압상태에 따른 출력 결과를 확인한 결과 동작 특성과 성능이 설계 사양대로 얻어졌으며 전류 조정 기능을 이용하여 납산축전지와 Ni-Cd 및 Ni-MH 축전지등을 효과적으로 충전할 수 있음을 확인할 수 있었다. 본 컨트롤러는 복합발전시스템이나 무인 가로

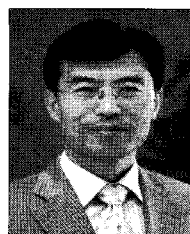
등의 분야를 포함한 신재생 에너지를 필요로 하는 다양한 분야에 응용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Sinhg et al., "Fuzzy Logic-Based Solar Charge Controller for Micro-batteries," Photovoltaic Specialists Conference, pp.15-22, 2000.
- [2] A.A.Qazalbash, T.Iqbal, and M.Z.Shafiq, "Design and Implementation of a Microcontroller-based Maximum Power Point Tracking Fuzzy Solar Charge Controller", Proceeding (539-017) Power and Energy Systems, 2007.
- [3] Mike Bryce, "The Micro M+ charger controller", QST, Newington Vol. 85, Iss. 10, pp. 28-31. 2001.
- [4] Masheleni, H, Carelse, X F. Solar Energy, "Microcontroller-based Charge Controller for Stand-alone photovoltaic Systems", Solar Energy, Vol. 61, Iss. 10, pp. 225-230, 1998.
- [5] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30272a.pdf>
- [6] John B. Peatman, Design with PIC Microcontrollers, Prentice-Hall, 1998.
- [7] 이재민, "PIC 마이크로프로세서를 사용한 고품위 복합발전용 자동 충·방전 제어기 설계", 산학연컨소시엄 과제 최종 보고서 2005.
- [8] 이재민, 장상훈, 이상성, "마이크로프로세서 기반의 태양광 축전지 자동 충전전 컨트롤러 설계", 한국산업융용학회 춘계학술대회 논문집, pp23-25, 2005.

이재민(Jae-Min Lee)

[정회원]



- 1979년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1981년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1987년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1990년 8월 ~ 1991년 8월 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign (Post-Doc.)

- 2001년 7월 ~ 2002년 8월 : State Univ. of New York at Buffalo, 방문교수
- 1986년 9월 : 관동대학교 전자정보통신공학부 교수

<관심분야>

SoCs 설계 및 테스트, 아날로그 및 혼합신호 회로 테스트, 신재생 에너지 시스템 등