

## 태양광 시뮬레이터의 최적 제어기 설계

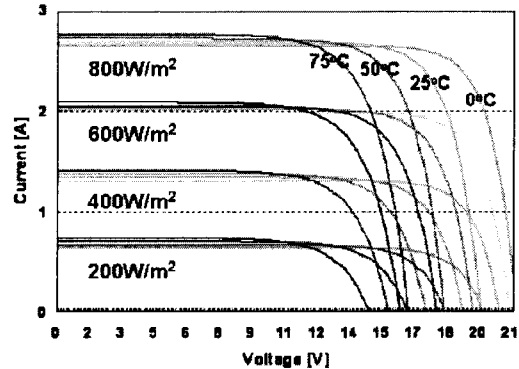
이 윤      전영환      이종수  
홍익대학교 전기정보제어학과

### Design of a Optimizing Controller for the Photovoltaic System Simulator

Lee Youn      Chun Yeong-Han      Lee Jong-Soo  
Hongik University

**Abstract** - 본 논문은 계통연계형 태양광발전 시스템의 Power Conditioning System의 성능 테스트를 위한 태양광 시뮬레이터의 제어기 최적 설계에 관한 내용이다. 태양광 시뮬레이터 기술의 핵심은 정확한 에너지원의 모델링과 빠르고 안정적인 전력증폭기 제어기술에 있다. 종래의 제어기인 비례-적분제어기를 사용하는 과정에서 비례-적분 제어기 특유의 응답속도가 빠르고 안정적인 제어기법인 H<sub>∞</sub>제어 이론을 적용하였다. 태양광 시뮬레이터의 제어기 성능평가를 위해서 태양광 시뮬레이터의 출력을 결정하는 DC Power Amplifier의 성능실험을 하였다. DC Power Amplifier를 정전압에서 부하의 투입/제거시 비례-적분 제어기와 H<sub>∞</sub>제어기의 응답속도와 변동전압의 크기를 비교하여 제어기의 성능을 비교하였다.

기 위해서는 시뮬레이터 제어기의 강건성이 매우 중요하다.



〈그림 1〉 온도, 광량에 따른 태양전지의 전압-전류 특성 그래프

## 1. 서 론

연일 급등하는 국제유가, 기후변화협약에 따른 이산화탄소 배출량 규제, 님비(NIMBY, Not In My Back Yard)현상으로 건설계획조차 세우지 못하는 원자력 발전소 그리고 증가하는 전력소모량 등으로 인해 신재생에너지의 중요성을 재인식되었다. 이렇듯 신·재생에너지 사업은 새로운 성장동력으로 주목받고 있다. 신·재생에너지중 다양한 연구가 진행중인 태양광 발전은 태양광에 의한 반도체의 광기전효과를 이용한 기술이다. 무한한 청정 에너지를 지닌 태양을 이용한 기술이기에 세계 각국의 연구와 투자가 활발히 진행중이다. 세계시장은 2005년까지 태양광 발전 설치용량은 총 3.7GW이며, 1995년 이후 매년 약 33%의 성장을 하고 있고 앞으로도 매년 30% 정도의 성장을 이룰 것으로 전망된다. 국내의 경우, 2005년 설치보급용량이 17MW, 생산규모 5MW로 매년 30%이상급 성장하고 있다.[1-2] 태양광 발전 시스템에서 가장 중요한 부분인 Power Conditioning System의 제어 성능 및 보호기능의 평가는 실제의 에너지원인 태양전지로는 운전 조건의 가변 등의 이유로 불가능하며, 통상 에너지원 시뮬레이터를 이용하게 된다. 태양광 시뮬레이터는 정확한 에너지원의 모델링과 빠르고 안정적인 전력 제어 기술이 필요하다 한다.

태양광 발전 시스템에서 필수적인 요소는 태양전지에서 나오는 최대전력을 발생할 수 있게 하는 Power Conditioning System이다. 전력변환장치의 성능은 곧 태양광 발전의 효율성을 결정하기에 매우 중요한 요소이다. 정확한 성능 평가를 위해서 가변적으로 조작 가능한 에너지원 시뮬레이터가 필요하며, 에너지원 시뮬레이터는 에너지원 즉, 태양전지의 특징을 정확히 모델링해야 할 것이며, 그 특징에 맞추어 정확한 전력을 구현할 수 있어야 한다. 태양전지는 p-n접합으로 이루어진 반도체이기에 주변 환경의 변화소스에 민감하게 반응하기에 출력 역시 급변한다. 급변하는 출력을 정확히 모의하기 위해서는 강건성을 지닌 뛰어난 제어기가 필요하다.

본 논문에서는 태양광 에너지원의 특징을 구현하는 시뮬레이터의 제어기 최적설계에 목적이 있다. 비례-적분제어와 H<sub>∞</sub>제어로 설계된 제어기는 각각의 성능비교를 통하여 최적화된 제어기를 설계하고자 한다.

## 2. 본 론

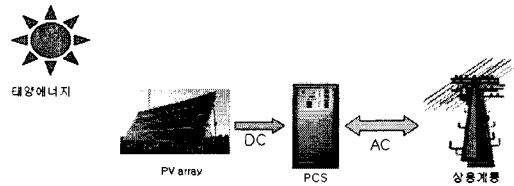
### 2.1 태양광 발전

태양광 발전의 에너지원인 태양은 지름 140만km, 지구 질량의 약 33만배나 되는 거대한 항성이다. 매초 약 500만톤의 수소가 헬륨으로 바뀌는 과정을 겪는 태양의 핵융합반응은 약 3.9×10<sup>26</sup>kw의 엄청난 에너지를 방출하고 있다. 이중 1.77×10<sup>14</sup>kw의 에너지가 태양으로부터 1억5천만Km 떨어진 지구에 도달하게 된다. 태양광이 지구 표면에 입사시 오존층과 대기중 수증기에 의해 자외선과 적외선이 흡수 감소된다. 그밖에 대기중 먼지, 구름 등에 의해 에너지가 감쇠된다. 맑은 날 정오에 도달하는 태양광의 에너지는 1kW/m<sup>2</sup>이며 보통 기상, 계절 그리고 시간에 따라 크게 변화하며 우리나라의 경우 평균 0.27~0.37kW/m<sup>2</sup> 정도가 된다.

태양광발전은 태양광에너지를 태양전지를 통해 전기에너지로 변환하여 사용하는 발전방식이다. 실리콘에 첨가하는 물질에 따라 p형 반도체와 n형 반도체를 분류할 수 있다. 이 두 반도체를 p-n 접합하였을 때 접합면에 태양광이 입사되면 전자가 발생하여 전류가 흐르게 된다. 이 현상을 광기전력 현상이라고 부르며, 태양전지의 원리가 된다. 태양전지는 온도와 광도에 의해 전압-전류 그래프가 급격히 변화한다.[3-4] 이런 급격한 변화를 모의하

### 2.2 Power Conditioning System

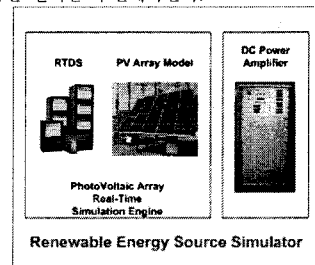
태양전지의 에너지를 적절한 형태로 변화시키고 부하에 공급하는 역할을 하는 부분을 Power Conditioning System(이하 PCS)이라고 한다. PCS는 태양전지에서 생산되는 직류전력을 상용가능한 교류전력으로 변환시키는 동시에 태양전지에서 공급되는 전력의 양이 최대한이 될 수 있도록 제어한다. 그밖에 자동운전 정지기능, 단독운전방지기능 등의 기능을 지니고 있다. 이런 PCS의 성능이 곧 태양광 발전시스템의 성능으로 볼 수 있다.



〈그림 2〉 태양광 발전 시스템의 개요

### 2.4 태양광 시뮬레이터

태양광 시뮬레이터는 PCS의 성능을 검증하기 위한 장치이다. PCS의 제어 성능 및 보호기능의 평가는 태양전지의 운전조건 (광량, 온도 등) 가변 등의 이유로 실제 태양전지로 모의가 불가능하다. 통상 태양광 시뮬레이터를 사용하게 되고, 사용되는 태양광 시뮬레이터의 성능이 뛰어난수록 PCS의 성능이 정확한 검증이 가능하다. 태양광 시뮬레이터는 태양전지의 가변적인 운전요소를 변수로 가진 태양광전지의 모델을 내장하며, 그 모델의 특징에 맞추어 정확한 전력을 구현해야 한다.

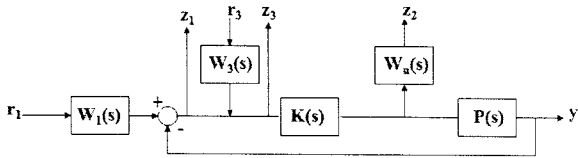


〈그림 3〉 태양광 시뮬레이터의 구성

### 2.5 H<sub>∞</sub>제어기법

H<sub>∞</sub>제어이론은 미지의 외란과 잡음 등의 영향에도 전체시스템의 성능을 유지하는 제어기법이다. 각 불확실성을 지닌 요소들이 존재하는 주파수 영역이 다르다는 것에서 착안하여 각 주파수별 Gain을 조절함으로써 시스템

의 성능을 유지한다. 기존의 비례-적분 제어의 경우 Gain의 변화가 특정주파수가 아닌 전체적인 주파수영역에서 변화함으로 불확실성을 지닌 요소에 영향을 주는 것에 비해 불확실성을 지닌 요소의 영향을 줄일 수 있다. 그림 4는 일반적인 시스템에서 주파수별 Gain을 조절하기 위한 가중함수를 도입한 예시이다.



〈그림 4〉 H<sub>∞</sub>제어 최적화를 위한 가중함수 도입의 예시

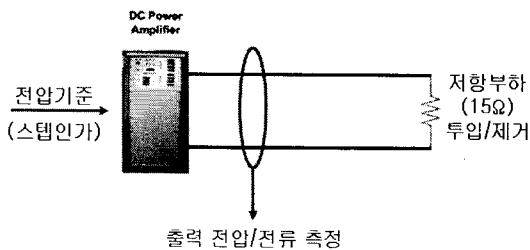
위와 같이 가중함수  $W_1(s)$ ,  $W_3(s)$ ,  $W_a(s)$ 는 주파수 도메인에서 Signal에 대한 정보를 나타내며,  $W_1(s)$ 는 제어기의 성능을 결정,  $W_3(s)$ ,  $W_a(s)$ 는 제어기의 강인성을 나타낸다. Tracking문제에서 성능을 발휘하기 위해서는 저주파수 영역에서 높은 이득을 가지도록 설계하며, 고주파잡음이나 모델링 오차에 대해서 강인성을 가지기 위해서 고주파수 영역에서 낮은 이득을 가지도록 설계를 한다.[5]

이와 같은 제어기를 설계하기 위해서 가중함수  $W_1$ 은 단조감소함수, 그리고 가중함수  $W_3$ ,  $W_a$ 는 단조증가함수가 되도록 선정하였으며, 구체적인 수치는 몇 번의 시행 착오를 거쳐 결정하게 된다.

### 3. 실험 및 결론

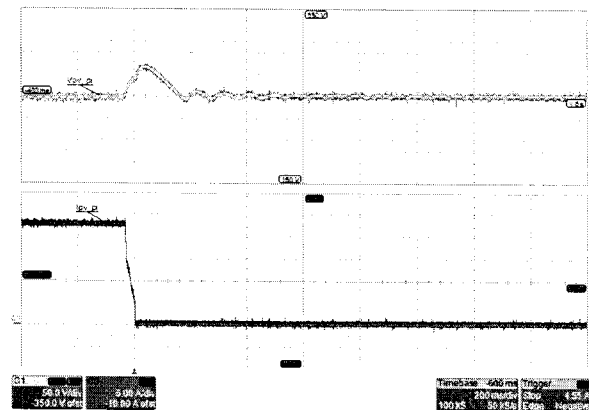
실험은 제어기의 알고리즘에 따른 태양광 시뮬레이터의 DC Power Amplifier의 응답 특성 실험을 통해 제어기의 성능을 검증하였다.

DC Power Amplifier의 제원은 10kW, 400Vdc 이며 TMS320C33 기반의 제어장치를 지녔으며, Easy DSP6.1 USB Emulator로 Emulation을 하였다. 정전압 제어상태에서 정격부하(15Ω)의 투입/제거에 따른 전압변동 실험을 통해 비례-적분제어기와 H<sub>∞</sub>제어기의 성능을 비교하였다.

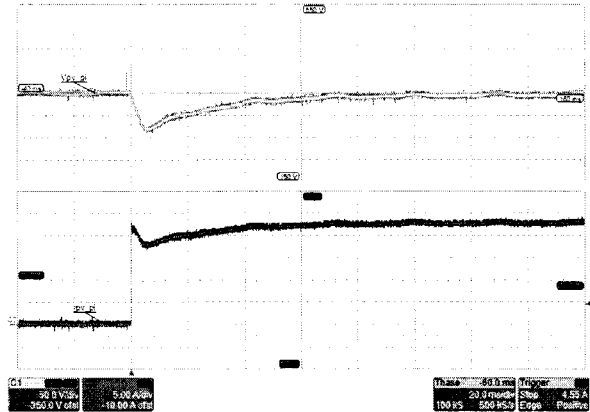


〈그림 5〉 제어기 성능측정을 위한 실험 구성도

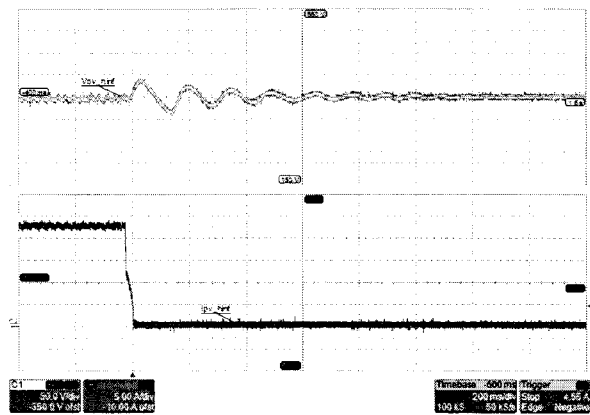
350Vdc 정전압하에서 정격부하 15Ω의 투입과 제거를 하였을 때 비례-적분 제어기와 H<sub>∞</sub>제어기의 전압-전류 그래프를 보았을 때, H<sub>∞</sub>제어기가 과도 전압변동(40Vdc)이 비례-적분제어기의 전압변동(70Vdc)에 비해 작은 것을 확인할 수 있다. 그리고 비례-적분제어기(응답속도 40ms)에 비해 DC Gain이 큼으로 응답속도(20ms)도 빠른 것을 확인하였다. 그러나 H<sub>∞</sub>제어기를 사용시 위상 마진의 부족으로 전체적인 시스템의 과도 감쇄특성이 떨어지는 것으로 판단된다. 이로 인해 전압 및 전류변동이 심하게 나타나며 차후 Capacitor 부하를 이용하여 시스템의 극점/영점을 변화를 주어 보완할 수 있을 것으로 판단된다.



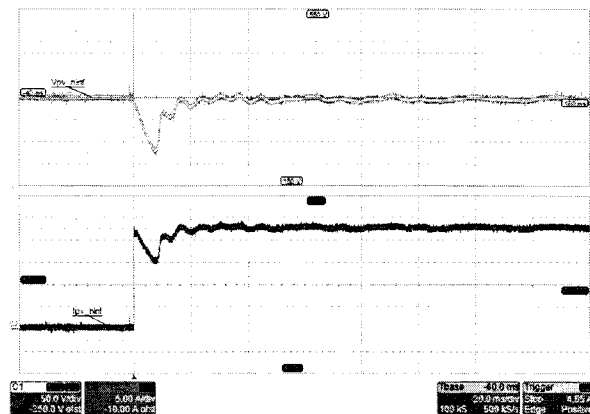
〈그림 6〉 비례-적분제어기를 이용한 DC Power Amplifier의 부하 제거시 전압-전류 그래프



〈그림 7〉 비례-적분제어기를 이용한 DC Power Amplifier의 부하 투입시 전압-전류 그래프



〈그림 8〉 H<sub>∞</sub>제어기를 이용한 DC Power Amplifier의 부하 제거시 전압-전류 그래프



〈그림 9〉 H<sub>∞</sub>제어기를 이용한 DC Power Amplifier의 부하 투입시 전압-전류 그래프

기존의 태양광 시뮬레이터에는 용이한 사용, 간단한 구성 등의 이유로 비례-적분 제어기를 사용하였으나, 비례-적분제어기의 응답 지연 현상으로 외부 조건에 따른 급변하는 태양전지의 동적특성을 완벽하게 구현할 수 없었다. 이에 강건성이 뛰어난 H<sub>∞</sub>제어이론을 적용한 제어기를 사용하였고, 빠른 응답속도와 작은 전압변동을 확인할 수 있었다. 그러나 H<sub>∞</sub>제어이론을 적용시 시스템의 위상마진의 부족을 보완할 수 있는 해결책이 필요하다. 추후 위상마진 부족을 해결한 H<sub>∞</sub>제어기를 적용할 필요성이 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 에너지관리공단, '지역에너지정보지', 23호, 2007
- [2] 에너지관리공단 '2005년도 신재생에너지백서' 2006
- [3] Dr.F.Lasnier, Tony Gan Ang, 'Solar Photovoltaic Handbook' Energy Technology Division Asian Institute of Technology, 1988.
- [4] 소정훈, '계측데이터를 이용한 태양광발전시스템의 성능특성 평가분석' 광주대학교 박사논문 2006
- [5] 전영환, "General Performance Index and Weighting Function Design for H<sub>∞</sub> Optimization and Its Application to Motion and Power System Control, 일본 동경대학교원, 1996년도