

태양전지 성능 분석 및 예측 시스템

김광휘 김소라, 조환규
부산대학교 컴퓨터공학부
e-mail : kwanghwi@pusan.ac.kr

A System for Analyzing and Predicting Performance of Solar Cell

Kwanghwi Kim, Sora Kim, Hwan-Gue Cho
Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

요 약

최근 친환경 에너지원으로 각광받고 있는 태양광을 이용하는 방법에 대하여 많은 연구가 이뤄지고 있다. 특히 염료 감응형 태양전지는 에너지 효율을 기존 태양전지 수준으로 유지하면서 생산 원가는 1/5 수준으로 낮춰서 차세대 태양전지로 주목 받고 있다. 이러한 새로운 태양전지의 효율을 높이기 위하여 다양한 실험이 이뤄지고 있으며 실험의 결과로 생성된 데이터들을 보다 효과적으로 분석할 수 있는 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 본 논문에서는 태양전지 성능측정 실험에서 측정된 결과 데이터들을 자동으로 분류, 시각화 할 수 있으며 기존 실험 데이터를 기반으로 일부 측정되지 않은 태양전지의 성능을 예측할 수 있는 Solar View 시스템을 제안한다. Solar View 시스템은 각 실험 결과를 샘플번호, 태양전지의 종류로 분류할 수 있으며 분류 알고리즘을 사용한 자동 분류 기능도 제공한다. 이를 위해 태양전지 실험 입력 파일, 자동 클러스터링 결과 파일, 실험 결과를 시각화 하고 예측 기능을 사용할 수 있는 사용자 인터페이스로 구성된 통합적인 시스템을 설계하고 이의 활용 방안에 대해 모색해본다.

1. 서론

친환경 에너지로 주목 받고 있는 태양전지는 구성하는 물질에 따라 무기물 태양전지와 유기물 태양전지로 나눌 수 있다. 무기물 태양전지는 실리콘, 화합물반도체와 같이 무기소재로 이루어진 태양전지로 대표적으로 실리콘 태양전지가 있으며, 유기물 태양전지로 나노결정 산화물 입자 표면에 염료분자가 흡착된 형태의 염료감응형 태양전지가 있다. 특히 염료감응형 태양전지는 기존 실리콘 태양전지에 버금가는 높은 에너지 효율을 보이면서 생산 원가는 1/5 수준으로 저렴하고 다양한 표면에 적용할 수 있어서 차세대 태양전지로 주목 받고 있다. 더 높은 효율을 내는 태양전지를 만들기 위해 다양한 염료와 새로운 광전극 등을 사용해 많은 실험들이 이루어지고 있다.

태양전지의 성능을 향상시키기 위해 수행되는 실험들의 규모와 내용이 점차적으로 커지고 복잡해지고 있기 때문에 다양한 실험결과를 저장하고 분석할 수 있는 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 측정 장비에 따라 다른 포맷의 데이터가 생성되고 장비의 성능에 따라 측정되지 못하는 특성들이 발생하기 때문에 각 결과를 정제하여 사용할 필요가 있다. 정제된 데이터는 클러스터링 과정과 시각화 과정을 통하여 유사한 특성을 가지는 실험으로 분류되어 각 실험의 변인의 영향을 나타낼 필요가 있다. 또한 측정 장비의 한계로 인하여 측정하지 못하는 성능들을 예측할 수 있는 기능이 요구된다.

태양전지의 효율을 높이기 위하여 수행되는 다양한 실험의 결과를 관리하기 위한 시스템으로 SoCID(Solar Cell Instrument Database)[1]이 연구되었다. 이 시스템은 각 실험에서 나오는 데이터를 체계적으로 관리하고 분석하기 위한 웹 기반의 통합형 데이터 관리 시스템으로 개발되었다. 다양한 측정 장비로부터 측정된 실험 결과를 원격지에 있는 서버로 가져와서 종합, 분석, 관리하기 때문에 실험자들이 원격지에 있는 해당 장치에 직접 접근하지 않고도 쉽게 데이터의 현황이나 분석 결과를 확인할 수 있도록 하였다[2]. 또한 Fuzzy C-mean 알고리즘과 최적 배정을 통한 태양전지 실험 관리 시스템도 제안된 바 있다[3][4][5].

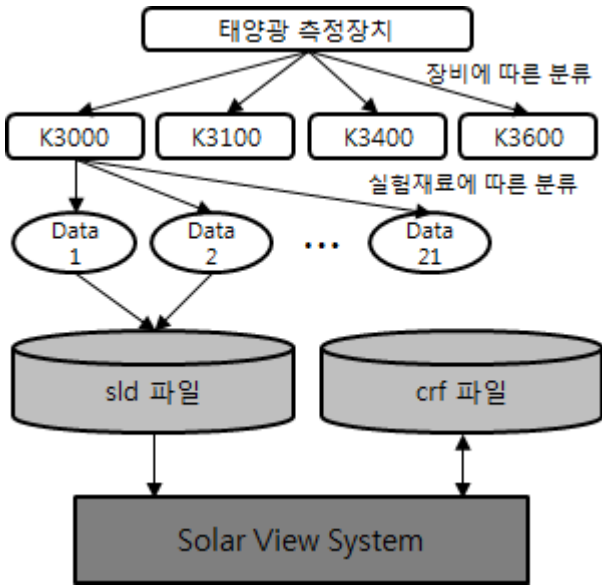
본 논문에서는 태양전지 성능측정 실험에서 측정된 결과 데이터들을 자동으로 수집하고 수집된 데이터를 다양한 기준에 따라 분류, 시각화하며 나아가 모든 성능이 측정되지 않은 새로운 태양전지의 성능을 미리 예측하는 기능을 제공하는 Solar View 시스템을 제안한다.

2. 시스템의 설계 및 구현

2.1 데이터 파싱 모듈

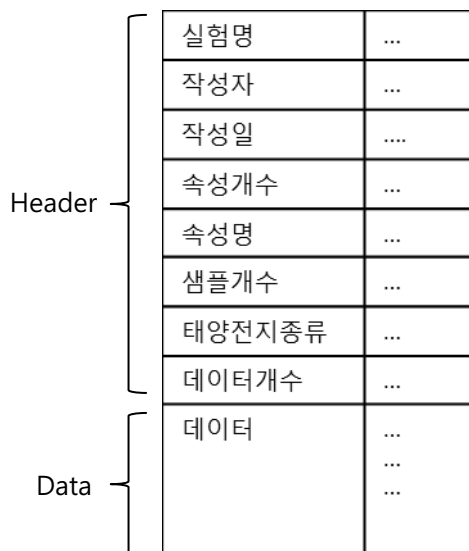
다양한 측정 장비에서 생성된 데이터를 정제하여 수집하기 위하여 데이터 파싱 모듈을 생성하였다. 데이터 흐름도는 (그림 1 과 같다. 측정 장비에서 생성된 측정 데이터를 수집하고 유효한 값들만 추출하여 Solar View 시스템의 입력으로 사용될 sld(Solar Cell

Data)파일을 생성한다. 생성된 sld 파일을 이용하여 Solar View 시스템에 태양전지 성능 측정데이터들을 입력하고 클러스터링, 시각화, 성능 추정 등을 수행한다. 클러스터링이 완료된 데이터는 crf(Clustering Result File)에 저장하여 추후 재사용한다.



(그림 1) Solar View 시스템의 데이터 흐름도

시스템의 입력파일로 사용되는 sld 파일의 구성은 그림 2 와 같다. Sld 파일은 해당 실험의 정보가 들어있는 헤더영역과 실제 데이터가 들어있는 데이터영역으로 나뉘어진다. 헤더영역에는 실험명, 작성자, 작성일, 측정된 속성의 개수, 속성의 종류, 샘플의 개수, 태양전지 종류와 총 데이터의 수를 저장한다. 데이터 영역에는 각 태양전지의 성능을 속성별로 저장한다.



(그림 2) sld 파일의 구조. 실험 정보를 저장하는 헤더영역과 측정값이 저장되는 데이터 영역으로 구분된다.

태양전지 성능을 나타내는 지표 중 대표적인 요소들의 이름과 의미, 단위를 표 1 에 나타내었다. 대표적으로 Voc, Isc, Jsc, Vmax, Imax, Pmax, Fill Factor, Efficiency, R Shunt, R Series 의 값이 측정된다. 측정된 지표들은 Sld 파일의 헤더영역의 속성명에 추가되며 각 속성의 측정값은 데이터영역에 기록된다.

<표 1> 태양전지 성능의 대표 지표 이름, 의미, 단위

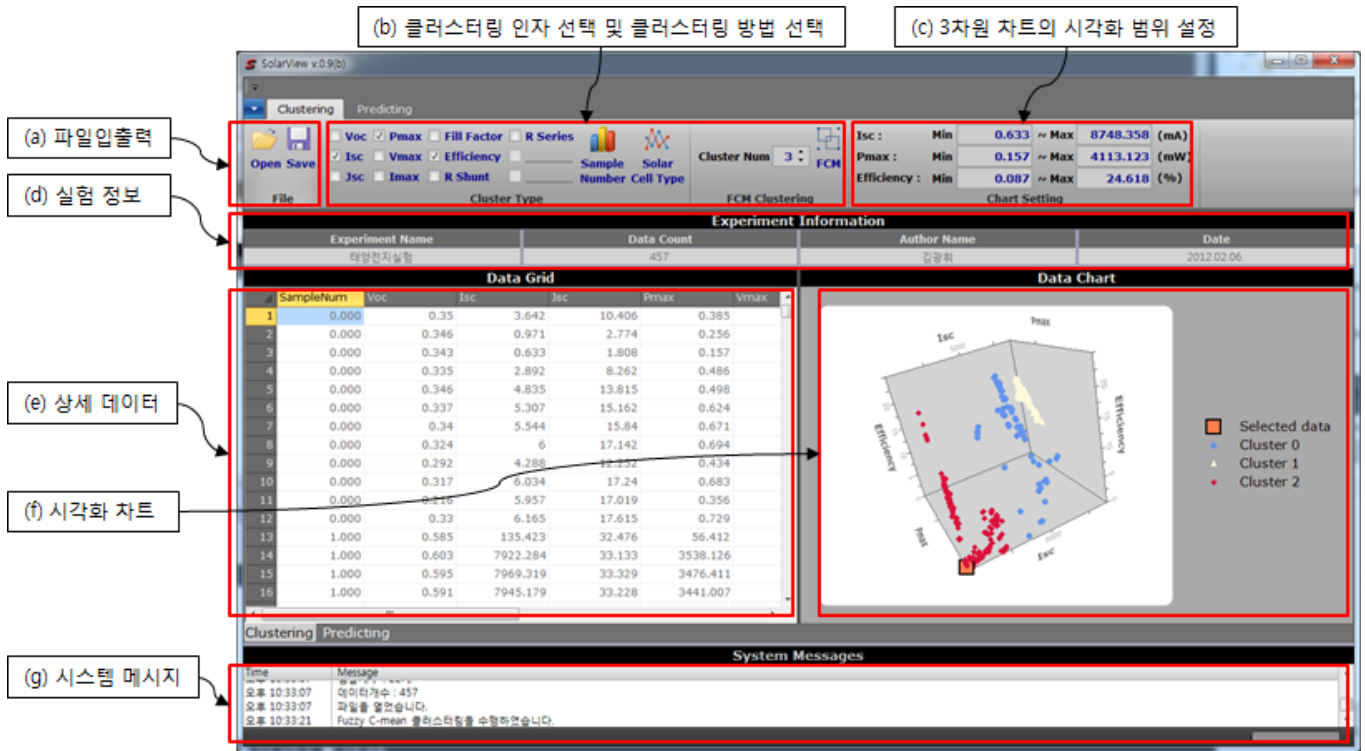
이름	의미	단위
Voc	1 sun 발전 하에 전류의 흐름이 0 이 되는 시점의 측정 전압값	V
Isc	전압이 인가되지 않은 환경에서의 전류값	mA
Jsc	단위 면적당 Isc 값	mA/cm ²
Vmax	0V 에서 Voc 까지 전압을 인가했을 때 출력이 최대가 되는 지점의 전압값	V
Imax	Vmax 에서 측정된 전류값	mA
Pmax	Vmax 에서 측정된 최대 출력값	mW
Fill Factor	이상적인 출력인 Voc × Isc 와 실제 출력인 Vmax × Imax 의 비율	%
Efficiency	전지에 조사된 광량 대비 출력된 전력량의 비율	%
R Shunt	태양전지의 Diode 회로 내에서의 직렬 저항값	Ω
R Series	태양전지의 Diode 회로 내에서의 병렬 저항값	Ω

2.2 데이터 클러스터링 모듈

태양전지 성능 측정 정보를 자동으로 분류하기 위해 데이터 클러스터링 모듈을 작성하였다. FCM(Fuzzy C-mean) 알고리즘은 입력된 데이터들을 각 클러스터에 대해 0 에서 1 사이의 값으로 소속 정도를 열거하는 데이터 분류 알고리즘이다[6]. 입력 받은 클러스터의 개수만큼 임의로 클러스터링한 후 데이터의 소속 점을 계산하여 각 클러스터에 얼마만큼 속하는지를 나타낸다. FCM 클러스터링 알고리즘을 수행하면 한 데이터가 각 클러스터에 속하는 확률을 알 수 있어서 어느 클러스터에 넣을지 판단할 수 있다.

2.3 시스템 인터페이스

Solar View 시스템의 인터페이스를 만들기 위하여 닷넷 프레임워크 기반의 컴포넌트인 ComponentOne 을 사용하였다. ComponentOne 은 다양한 컨트롤을 제공하여 인터페이스 구현시간을 단축시키고 보다 직관적인 디자인을 가능하게 한다. 또한 차트 컴포넌트, 그리드 컴포넌트 등을 통하여 데이터를 효과적으로 시각화할 수 있다. Solar View 시스템은 클러스터링 및 시각화



(그림 3) Solar View 시스템의 클러스터링 및 시각화 인터페이스. (a)입력파일로 사용되는 sld 파일을 로드하고 클러스터링 결과를 crf 파일로 저장한다. (b)클러스터링에 사용할 인자를 선택하고 클러스터링 방법을 선택한다. 샘플번호 기준, 태양전지 종류기준, Fuzzy C-mean 알고리즘 기준으로 클러스터링을 수행할 수 있다. (c)3차원 차트에 시각화할 범위를 설정한다. (d)로드한 sld 파일의 실험정보를 출력한다. (e)로드한 상세데이터를 테이블에 출력한다. (f)클러스터링 결과는 우측의 3차원 차트에 시각화되어 나타나며 사용자 인터랙션에 따라 시각화 범위와 방향을 조절할 수 있다. (g)시스템 메시지를 출력한다.

인터페이스와 태양전지 성능예측 인터페이스 구분된다. Solar View 시스템의 클러스터링 및 시각화 인터페이스는 그림 3 과 같다. 사용자는 sld 파일을 로드하고 클러스터링에 사용할 인자 및 방법을 선택하고 클러스터링 작업을 수행한다. 수행결과는 3 차원 차트에 시각화되며 마우스 인터랙션으로 시각화 범위와 방향을 조절하여 데이터의 분포를 살펴볼 수 있다. 태양전지 성능예측 인터페이스는 그림 4 와 같다. 클러스터링 인터페이스와 동일하게 파일을 로드하고 측정장비에서 측정되어 알고 있는 인자를 입력한다. 측정되지 않은 인자는 비워두고 추정하고자 하는 인자를 선택하면 추정된 인자의 값이 최대, 최저, 평균, 분산의 값으로 출력된다. 추정 인자의 값은 입력으로 받은 sld 파일의 데이터에서 가장 유사한 성능을 가진 태양전지 10 개를 사용하여 계산한다.

3. 시스템 평가

제안한 시스템의 성능을 평가하기 위하여 Fuzzy C-mean 알고리즘을 통해 자동으로 분류한 결과가 실제 데이터가 측정된 태양전지 종류를 분류할 수 있는지를 측정하였다. 성능 평가에서 n 개의 태양전지 종류 클러스터를 포함하는 집합 {S}는 다음과 같다.

$$\{S\} = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$$

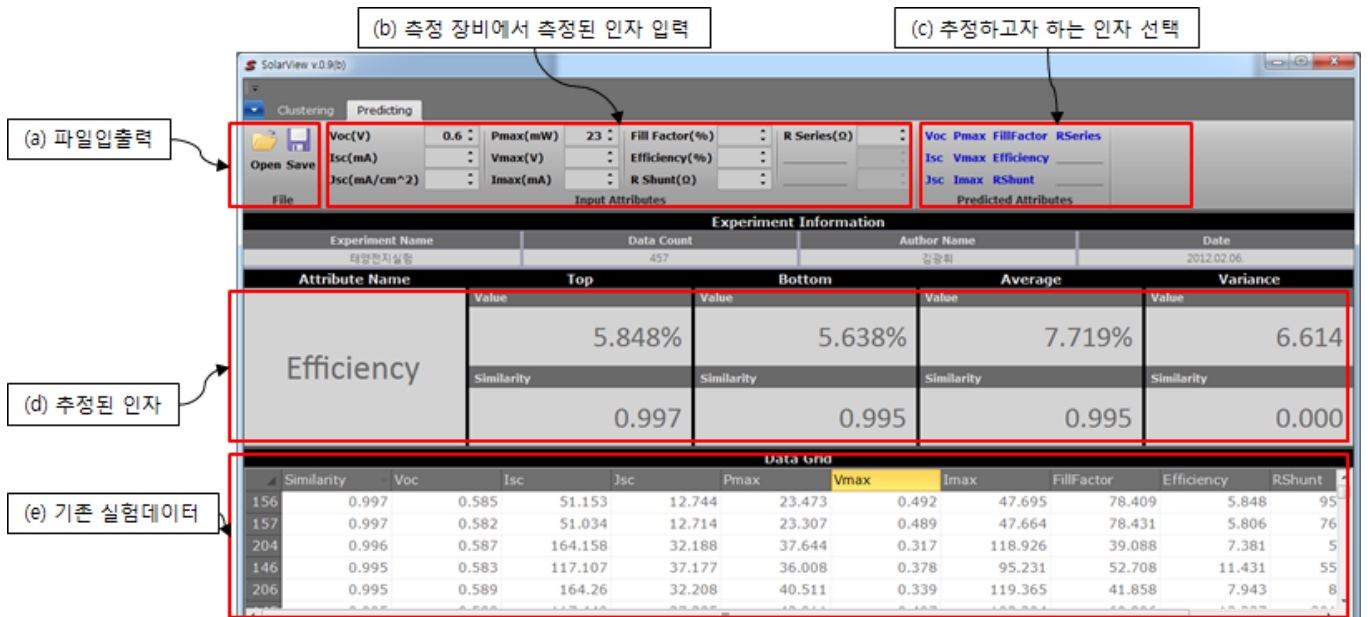
m 개의 FCM 알고리즘의 결과 클러스터를 포함하는 집합 {C}는 다음과 같다.

$$\{C\} = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$$

S와 C를 정점으로 가지고 가중치 W_{ij} 를 가지는 간선으로 연결하면 이분 그래프로 모델링 할 수 있다. W_{ij} 는 C_i 에 속하는 데이터 중에 S_j 와 같은 종류의 태양전지 데이터 개수를 S_j 에 속하는 데이터 개수의 비율로 나눈 값이다. 생성한 이분 그래프에서 최적 배정 문제는 FCM 클러스터링 결과 클러스터 각각을 특정 태양전지로 정하는 문제와 동일하다. 자동으로 분류한 결과와 실제 태양전지 종류의 정확도는 이분 그래프에서의 최적 배정에 사용된 간선들의 합으로 0에서 1 사이의 값으로 나오며, 1에 가까울수록 클러스터링이 잘 수행된 것이다. 사용한 인자의 개수에 따른 최적의 FCM 클러스터링 결과의 정확도와 조합을 표 2에 나타내었다. 실험 결과 Jsc, Vmax, RShunt를 입력 인자로 사용하였을 때 최대 70%의 정확도로 염료감응 태양전지와 실리콘 태양전지를 분류할 수 있었다.

<표 2> 염료감응 태양전지와 실리콘 태양전지를 분류하기 위한 FCM 클러스터링 결과의 정확도와 최적의 조합

인자 개수	정확도	인자 조합
2	0.69368	Voc Isc
3	0.70192	Jsc Vmax RShunt
4	0.69368	Voc Isc Jsc Pmax
5	0.69368	Voc Isc Jsc Pmax Vmax



(그림 4) Solar View 시스템의 성능 추정 인터페이스. (a)입력파일로 사용되는 sld 파일을 한다. (b)측정장비에서 측정되어 알고 있는 인자의 값을 입력한다.(c)추정하고자 하는 인자를 선택한다. (d)추정된 인자의 값을 최대, 최소, 평균, 분산의 값으로 출력한다. (e)로드한 sld 파일의 상세데이터를 테이블에 출력한다.

참고문헌

4. 결론 및 추후연구

본 논문의 목표는 태양전지의 성능을 향상시키기 위해 수행되는 실험들에서 생성되는 다양한 실험결과를 저장하고 분석할 수 있는 시스템을 구축하는 것이다. 제안한 시스템을 통하여 측정 장비에 따라 생성된 다른 포맷의 데이터를 sld 파일로 표준화하여 저장하였고 그 과정에 측정 장비의 한계로 발생하는 오류데이터를 여과하였다. 정제된 데이터는 클러스터링 과정과 시각화 과정을 통하여 유사한 특성을 가지는 실험으로 분류하여 각 실험의 변인의 영향을 볼 수 있도록 하였다. 실험을 통하여 본 논문에서 사용한 Fuzzy C-mean 알고리즘을 사용하였을 때 염료감응 태양전지와 실리콘 태양전지를 약 70%의 정확도로 분류할 수 있음을 보였다. 또한 측정 장비의 한계로 인하여 측정하지 못하는 성능들을 추정할 수 있는 기능을 추가하였다.

보다 효율적인 관리를 위하여 기존에 제안된 SoCID[1] 시스템의 기능인 원격 측정 장치의 실험 데이터를 처리하는 과정이 추가되면 사용자가 수작업으로 실험데이터를 로드하는 과정이 생략되어 보다 편리한 사용이 가능할 것이다. 또한 현재 사용하는 Fuzzy C-mean 알고리즘 이외에 SVM(Support Vector Machine)와 같은 새로운 분류 기술을 사용하면 보다 높은 정확도의 분류기능을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2009301001002A)

참고문헌

- [1] “SoCID(Solar Cell Instrument Database),” <http://164.125.34.86/xe/?mid=home/>.
- [2] 김선영, 조환규, “TCP/IP 소켓을 이용한 원격 측정 장치의 실험 데이터 통합 관리 시스템 개발,” 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, 37(1), pp. 397-400, 2010.
- [3] 김광휘, “C++/CLI 를 이용한 태양전지 실험 분석 시스템 개발,” Tech. Rep. REP-12-SOLAR, Graphics Application Lab., Pusan National University, April 2011.
- [4] 김광휘, “최적 배정을 이용한 태양전지 클러스터링 시스템,” Tech. Rep. REP-6-SOLAR, Graphics Application Lab., Pusan National University, July 2011.
- [5] 김광휘, “Fuzzy C-mean 알고리즘에 기반한 태양전지 성능 분석 및 예측 시스템 개선,” Tech. Rep. REP-1-SOLAR, Graphics Application Lab., Pusan National University, Feb 2012.
- [6] James C. Bezdek, Robert Ehrlich, William Full, “FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm,” Computers & Geosciences, 10(2-3), pp. 191-203, 1984.
- [7] “ComponentOne,” <http://www.componentone.com/>