

주파수 변화에 따른 태양전지 전기적 특성 분석

김성걸^{1,a}, 홍창우¹, 이경섭¹

¹ 동신대학교 전기공학과

Analysis of the Electrical Properties of Solar Cell According to Variation of the Frequency

Seong-Geol Kim^{1,a}, Chang-Woo Hong¹, and Kyung-Sup Lee¹

¹ Department of Electrical Engineering, Dongshin University, Naju 520-714, Korea

(Received June 13, 2011; Revised November 21, 2011; Accepted November 23, 2011)

Abstract: This study focused on the performance characteristics of solar cell using the impedance technique. We measured an impedance according to frequency from 1 Hz until 1 MHz. It could know that the impedance was decreased according to the frequency increases in solar cell. The impedance of single crystal solar cell was 0.61Ω at 1 Hz, and kept almost settled value to 1×10^2 Hz. However, the impedance of polycrystal solar cell was $7 \times 10^3 \Omega$ at 1 Hz.

Keywords: Impedance meter, Solar cell, Frequency, Electrical characteristics, Imaginary part, Real part

1. 서론

현재 우리가 가장 많이 사용하고 있는 연료로써 원유, 석탄, 천연가스 등 화석연료를 주 에너지원에 의존해오고 있다. 70년대 후반 석유과동 이후 화석연료의 유한성을 인식하게 되었으며 화석연료 사용으로 인한 환경오염 또한 사회적 문제점으로 대두되면서 전 세계적으로 대체에너지 개발에 박차를 가하고 있는 실정이다. 화석에너지를 대체할 에너지원으로는 태양에너지, 바이오매스, 풍력, 소수력, 연료전지 등 여러 가지의 에너지원이 연구되어 오고 있다.

특히 태양광발전의 경우에는 무한정 청정에너지원으로 가장 많은 관심을 가지고 있으며 연구 및 개발이 가장 활발히 진행 중에 있다. 태양광발전은 태양 빛이 있는 한 계속해서 발전이 가능하며 다른 대체에너지원에 비해 소음이 적어 가장 친환경성을 가진 대

체에너지원이라고 볼 수 있다 [1].

이처럼 장점이 있는 반면 단점 또한 두드러지게 나타나고 있다. 태양전지의 경우 모듈의 면적에 비례하여 전력이 생산되므로 넓은 부지를 필요로 하며, 계절에 따라 발전량의 크기가 큰 차이를 보인다. 또한 실리콘의 경우 높은 단가를 나타내고 있어 이것 또한 하나의 문제점으로 지적되어지고 있다.

실리콘 태양전지의 효율을 증가시키기 위해 외부적 방법으로 수냉식 방식과 태양위치 추적 장치 등을 이용 효율을 좀 더 증가시키고 있다. 외부적인 방법을 이용하여 효율을 증가시키는 것 또한 중요하지만 이에 따른 비용 또한 증가한다 [2].

따라서 본 논문에서 임피던스 측정기를 이용하여 태양전지의 내부 전기적 특성을 분석하여 효율을 감소시키는 원인을 분석하여 개선점을 찾는 데 목표를 두었다.

2. 실험 방법

2.1 태양전지 원리 및 임피던스 측정법

2.1.1 태양전지의 동작 원리 및 구조

태양전지는 실리콘의 반도체 소자가 광 에너지를 받아서 전기에너지로 변환하는 특성인 광기전력 효과와 광전류 효과를 이용하는 다이오드접합 구조를 갖는 반도체 소자이다. 태양광발전 시스템은 사용 목적, 사용 장소, 부하의 규모, 시스템의 크기, 입지 조건에 따라 다르지만 가장 일반적인 실리콘 태양전지의 기본구조는 그림 1과 같이 빛 에너지를 전기 에너지로 변환해서 발전하는 태양전지 어레이 (array), 발전된 잉여 전기를 저장하는 전력저장 축전 장치, 발전한 직류를 교류로 변화하는 인버터 장치와 전력 품질 및 보호 기능 역할을 갖는 PCS (power conditioning system) 장치 등으로 구성된다 [3,4].

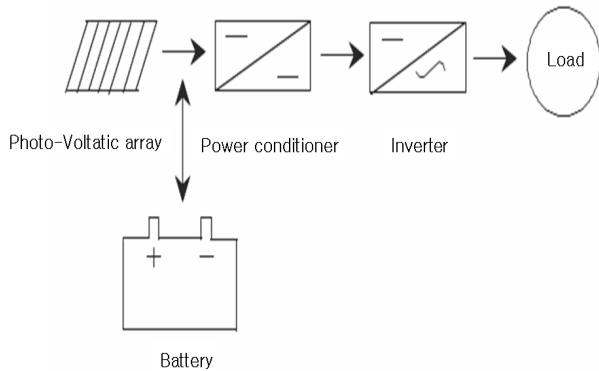


Fig. 1. Configuration of photovoltaic system.

태양전지의 전압의 세기는 여러 장의 태양전지를 직렬로 연결시켜 조정하며, 전류의 세기는 병렬연결이나 모듈의 면적으로 조정할 수 있다. 태양전지의 전기적 특성을 결정하는 요소를 보면 내부적인 변수로서 내부 직렬저항, 내부 병렬저항 그리고 다이오드 포화전류이고, 외부적인 변수로써는 일사량과 온도의 변화 등이 있다 [5]. 내부 직렬저항은 태양전지에 광전류가 흐를 때 이 전류의 흐름을 방해하는 저항 값으로는 N층의 표면저항, P층의 기판저항, 전극 접촉 저항 및 전극자체의 고유저항 등이 포함되어 있다 [6].

2.2 임피던스 측정법

직류에서의 저항은 교류에서도 존재하며, 축전기는 직/교류에 있어서 저항으로 분리된다. 태양전지 자체는 교류와 관계가 없다고 하더라도, 교류계를 적용해보면, 내부에 저항처럼 작용하는 것으로 직류에서는 나타나는 R, 축전기에서 오는 저항 X_C , 유도저항 X_L 이 있다. 교류에서 총 저항은 $R + j(X_L - X_C)$ 로 표시된다. j는 허수를 나타내는 것으로 직류에서 표현되는 저항과 다른 항들이 좌표에서 분리될 수 있음을 나타낸다. 임피던스에서 허수 부분을 잘 조절하여 회로에서 직렬, 병렬로 연결되어 있는 다른 저항들을 분리할 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 직류에서 직렬로, 병렬에서 병렬로 연결되어 있는 저항값들의 총합을 공존하는 허수 항들을 이용하여 각각의 값으로 분해해 낼 수 있다는 것이다. 그림 2는 태양전지의 등가회로도 나타내고 있다. 그림 2처럼 태양전지는 분명 R 성분과 C 성분이 존재한다. 전원에서 나온 전류는 R을 지나 C로 들어가는데, 교류가 얼마나 빠르냐에 따라 C 성분이 다를 수 있다. 매우 빠른 교류에서는 C 성분에 쌓이기 전에 반대방향으로 전류의 순환이 바뀌므로, 큰 저항이 없는 것처럼 보일 수 있다. 반면, 느린 교류에서는 C 성분에 전류가 쌓이고, 그 이후부터는 전류의 흐름이 없게 되므로, 매우 큰 저항체처럼 나타나게 된다. 시작 임피던스는 R이지만, 끝나는 임피던스는 거의 무한대로 커진다 [7,8].

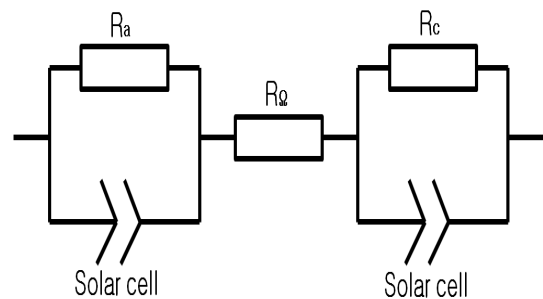


Fig. 2. Internal equivalent circuit of solar cell.

즉, 이러한 성분을 감소시키는 것 또한 효율을 높이는 데 중요한 조건이라 할 수 있다. 임피던스의 정의를 간단히 내리면 임피던스는 교류신호의 흐름을 방해하는 저항이다 [9]. 단어의 의미로는 '저항'과 큰

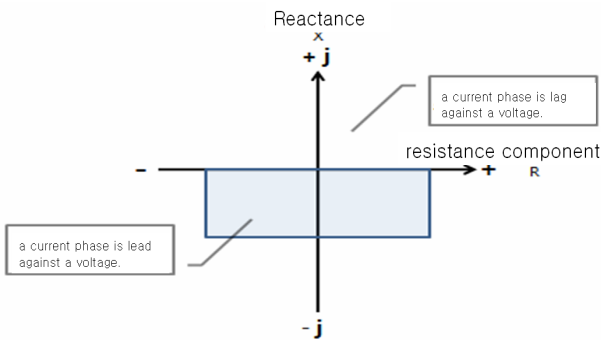


Fig. 3. Relationship between the imaginary and the phase.

차이가 없다. 임피던스에 있어서 실수성분과 허수성분으로 나눌 수 있다. 실수성분은 저항성분이고 허수성분은 리액턴스를 나타낸다 [10].

그림 3은 허수부와 위상의 관계를 나타내고 있다. 임피던스가 $+j$ 인 영역에 있을 때는 전압에 대해 전류의 위상이 지연되고, 반대로 $-j$ 의 영역에 있을 때는 전압에 대해 전류의 위상이 앞선다 [11,12].

본 실험은 단결정, 다결정 실리콘 태양전지의 임피던스 측정법에 의한 전기적 특성 비교분석 결과이다. 실험에 사용된 장치는 태양광 모듈과 할로겐램프, 임피던스 측정기, 조도계 (CEM, DT-1300)가 사용되었으며, 단결정 실리콘 태양전지의 크기는 297 mm[높이] × 200 mm[폭] × 100 mm[두께]이며, 단자전압은 21.6 V, 단락전류 0.305 A이다. 다결정 실리콘 태양전지의 크기는 187 mm[높이] × 350 mm[폭] × 100 mm[두께]이며, 단자전압은 21 V, 단락전류 0.33 A이다. 표 1은 실험에 사용된 태양전지의 성능을 나타내고 있다. 실험 조건은 실내온도 24°C를 유지하였으며, 태양전지와 할로겐램프의 거리는 30 cm로 고정하여 측정하였다. 이때 측정된 조도는 210 lx이었다. 그림 1은 본 실험에 사용된 장치를 나타내고 있으며, 임피던스 측정 방법은 고주파 영역에서 저주파 영역으로 주파수를 감소시키며 측정하였다. 주파수 크기는 1 MHz - 1 Hz까지 변화를 주었다. 그림 2는 본 실험에 사용된 장비를 나타내고 있다.

태양전지의 내부 전기적 특성의 반응식은 식 (1), (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_c = -\frac{j}{\omega c} \quad (1)$$

Table 1. Technical data.

Kinds of solar cells	Crystalline Silicon Solar Cell	Polycrystalline silicon solar cell
Open circuit Voltage [V]	21.6	21
Open circuit Current [A]	0.305	0.33
Peak Power [W]	5	5
Peak Voltage [V]	17	18
peak Current [A]	0.29	0.277

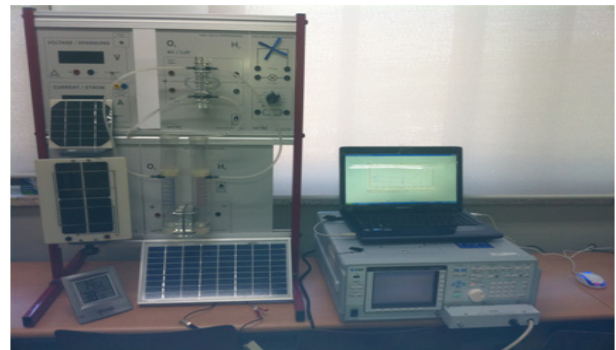


Fig. 4. Impedance meter and solar cell.

$$Z_{(\omega)} = R_{\Omega} + \frac{1}{\frac{1}{R_a} - \frac{\omega c_a}{j}} + \frac{1}{\frac{1}{R_c} - \frac{\omega c_c}{j}} \quad (2)$$

$$Z_{(\omega)} = R_{\Omega} + \frac{R_a}{1 + (\omega c_a R_a)^2} + \frac{R_c}{1 + (\omega c_c R_c)^2} - j \left[\frac{\omega c_a R_a^2}{1 + (\omega c_a R_a)^2} + \frac{\omega c_c R_c^2}{1 + (\omega c_c R_c)^2} \right] \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

그림 5와 그림 6은 단결정 실리콘 태양전지의 주파수 변수 변화에 따른 실수부와 허수부 변화를 나타내었다. 1 Hz에서 0.61 Ω이 측정되었으며 1×10² Hz까지는 거의 일정한 저항값을 나타낸 후 1×10² Hz 이상의 주파수에서 점차적으로 감소함을 보였으며, 2×10⁴ Hz에서 0.18 Ω이 측정되었다. 가장 낮은 저항치가 측

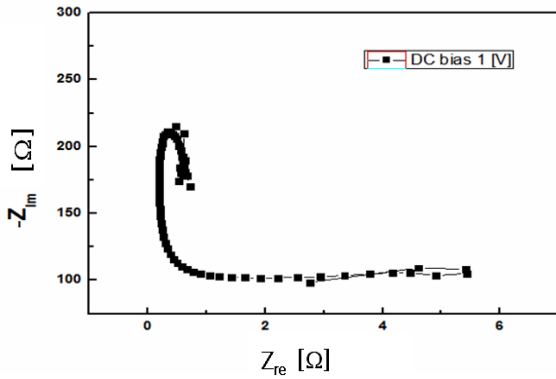


Fig. 5. Electrical characteristics of single crystal silicon solar cell according to frequency variation.

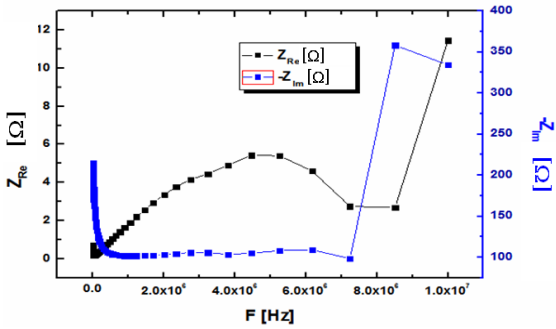


Fig. 6. Electrical characteristics of single crystal silicon solar cell according to frequency variation.

정된 후 점차적으로 증가함을 나타내었으며, 1×10^7 Hz에서 11 Ω의 가장 높은 저항을 나타내었다.

그림 7은 다결정 실리콘 태양전지의 주파수변화에 따른 전기적 특성을 나타내고 있다. 단결정 실리콘 태양전지와는 다르게 저주파 영역에서 무한대에 가까운 저항값을 나타내었으며, 주파수의 변화에 따라 저항값 변화가 큰 차이를 보이고 있다. 1 Hz에서 7×10^3 Ω이 측정되었으며, 가장 낮은 저항값을 나타낸 주파수는 9×10^5 Hz에서 3.61 Ω이 측정되었다.

그림 8은 주파수를 2 MHz까지 변화를 주며 측정하여 단결정 실리콘 태양전지와 다결정 실리콘 태양전지의 전기적 특성을 비교한 결과이다. 단결정 실리콘 태양전지의 경우 다결정 실리콘 태양전지에 비해 낮은 저항값을 나타내었으며, 주파수변화에 따른 전기적 특성 변화 또한 단결정 실리콘 태양전지가 보다 안정적인 모습을 나타내고 있다.

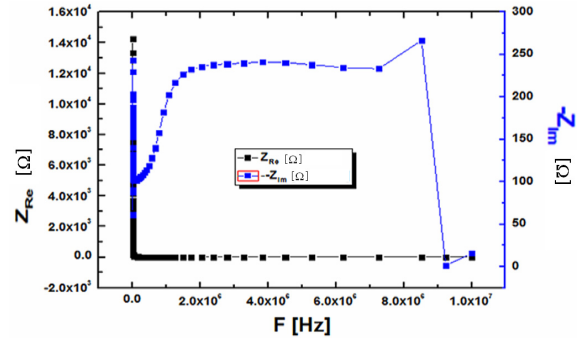


Fig. 7. Electrical characteristics of polycrystal silicon solar cell according to frequency variation.

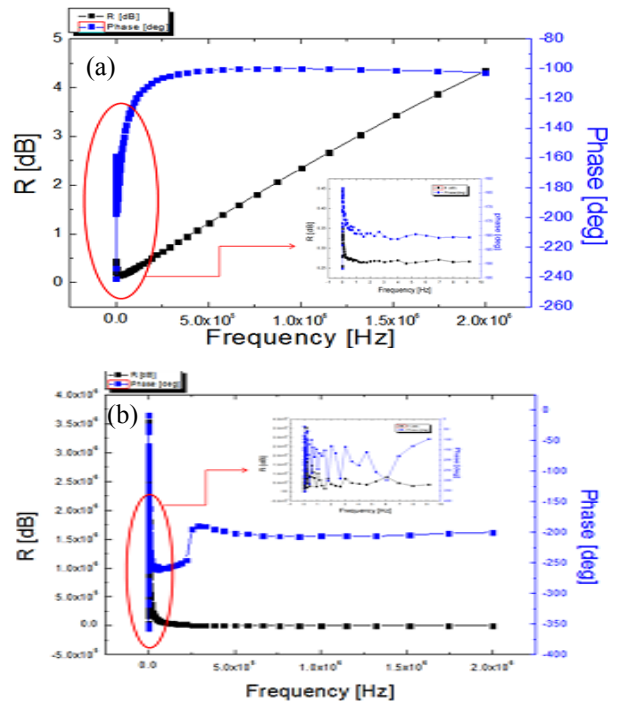


Fig. 8. Electrical characteristics of single crystal and polycrystal silicon solar cell according to frequency variation. (a) single crystal silicon solar cell, (b) polycrystal silicon solar cell.

4. 결론

본 논문에서는 단결정, 다결정 실리콘 태양전지의 전기적 특성을 분석하여 태양전지의 효율을 감소시키는 원인인 임피던스에 대한 연구이다. 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단결정 실리콘 태양전지는 1 Hz에서 0.61 Ω 이 측정되었으며 1×10^2 Hz까지는 거의 일정한 저항값을 나타내었다.
2. 다결정 실리콘 태양전지의 경우 1 Hz에서 7×10^3 Ω 의 저항값이 측정되었다.
3. 단결정 실리콘 태양전지와 다결정 실리콘 태양전지의 가장 낮은 저항 또한 각각 0.18 Ω , 3.61 Ω 으로 큰 차이를 나타내었다.
4. 주파수가 고주파에서 저주파로 변함에 따라 용량성 리액턴스와 유도성 리액턴스의 변화를 알 수 있다.
5. 고주파 영역에서는 유도성 리액턴스의 영향으로 반원을 그리며 변화한다는 것을 알 수 있었다.
6. 단결정 실리콘 태양전지와 다결정 실리콘 태양전지 모두 주파수 변화에 따라 임피던스 성분의 차이가 크게 나타나며, 다결정에 비해 단결정 실리콘 태양전지의 전기적 특성이 보다 안정적임을 볼 수 있다.

REFERENCES

- [1] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal, *Integration of Alternative Sources of Energy* (John Wiley & Sons, Inc., 2006) p. 415.
- [2] P. Campbell and M. A. Green, *J. Appl. Phys.*, **62**, 243 (1987).
- [3] R. Andoubi, A. Mami, G. Dauphin, and M. Annabi, *IEEE ICS*, **3**, 200 (2002).
- [4] J. O'Malleg, *Basic Circuit Analysis* (Mc Graw-Hill, 1992) p. 84.
- [5] R. E. Clarke, S. Giddey, F. T. Ciacchi, S. P. S. Badwal, B. Paul, and J. Andrews, *Int. J. Hydrog. Energy*, **34**, 2531 (2009).
- [6] J. Bisquert, G. G. Belmonte, F. F. Santiago, N. S. Ferriols, P. Bogda-noff, and E. C. Pereira, *J. Phys. Chem.*, **B104**, 2044 (2000).
- [7] L. Han, N. Koide, Y. Chida, and T. Mitate, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 2433 (2004).
- [8] Y. Jun and M. G. Kang, *J. Electrochem. Soc.*, **154**, B68 (2007).
- [9] K. Schwarzburg and F. Willig, *J. Phys. Chem.*, **B107**, 3352 (2003).
- [10] F. F. Santiago, J. Bisquert, G. G. Belmonte, G. Boschloo, and A. Hagfeldt, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **87**, 117 (2005).
- [11] T. Hoshikawa, R. Kikuch, K. Sasaki, and K. Eguchi, *Electrochemistry*, **70**, 675 (2002).
- [12] M. Kaneko, T. Hoshi, Y. Kaburagi, H. Ueno, *J. Electroanal. Chem.*, **572**, 21 (2004).