

PV모듈 제조공정에서 Interconnection에 따른 전기적 손실 특성 분석

이진섭*, 강기환**, 박지훈*, 유권중**, 안형근*, 한득영*
 건국대학교*, 한국에너지기술연구원**

The Analysis of electrical loss characteristics by interconnection during PV module fabrication process

Jin-Seob Lee*, Gi-Hwan Kang**, Chi-Hong Park*, Gwon-Jong Yu**, Hyunggun Ahn*, Deuk-Young Han*
 Konkuk University*, Korea Institute of Energy Research**

Abstract - In this study, we analyzed the electrical loss characteristics between ribbon and output terminal of constituent material according to electrical resistance during interconnection process of PV module. From this result, the electrical output power reduction rate caused by interaction between ribbon and cell's interconnection was 2.88%. There was 1W electrical output power reduction through the 16 solar cells. So it is expected that the wider size of PV module gives the higher loss in electricity production. Also, the average output power of PV module passed lamination process was increased by 0.081W per one solar cell and the increase rate was 3.7%. PV module's electrical loss before and after lamination process according to constituent material's terminal was 0.49W and 0.50W, respectively.

Connector에서의 전기적 손실률을 분석하기 위하여 Junction Box를 부착하여 구간별 전기적 출력을 측정하였다.

2.2.2 실험방법

Ribbon과 셀의 접촉저항에 의한 전기적 손실률을 분석하기 위하여 1⇌2, 1⇌3, 1⇌4, 1⇌5, 1⇌6, 1⇌7, 1⇌8, 1⇌9, 1⇌11, 1⇌12, 1⇌13, 1⇌14, 1⇌15, 1⇌16, 1⇌17, 1⇌18번 사이의 출력을 측정하여 전기적 손실률을 분석하였고, +측 출력단자용 Busbar의 고유저항에 의한 손실은 17⇌18과 17⇌19, -측 출력단자용 Busbar의 고유저항에 의한 손실은 1⇌2, 20⇌2, 그리고 String과 String의 Interconnection용 Busbar의 고유저항에 의한 손실률을 분석하기 위하여 8⇌9, 8⇌10의 전기적 출력을 비교 하였다.

또한, Junction내부에서의 Busbar와 Connector Cable의 접촉저항에 의한 손실률을 분석하기 위하여 21⇌22, 23⇌24의 출력을 비교하였고, Connector Cable의 고유저항에 의한 손실률을 분석하기 위한 실험으로 21⇌22, 23⇌24, 25⇌26, 27⇌28의 출력을 비교하였으며, Connector Cable과 Connector Cable의 접촉저항에 의한 손실률을 분석하기 위하여 23⇌24, 25⇌26사이의 출력을 비교분석 하였다.

1. 서 론

태양전지 모듈의 용량은 단위 셀의 출력과 셀의 개수에 의해 결정되어 지게 되지만 모듈화 시키게 되면 셀의 총 출력에 비해 모듈의 출력이 감소하게 된다. 하지만 단위셀의 경우 모듈화 시키게 되면 셀의 출력에 비해 단위모듈의 출력이 증가하게 된다. 이와 같이 단위모듈의 경우 모듈화 시키게 되면 출력이 증가함에도 불구하고 대면적 모듈의 경우 출력이 감소하게 되는데 이는 셀 Grade의 분균일과 Interconnection공정에서의 접촉저항증가 및 구성 재료가 가진 고유저항에 의해 출력이 감소하는 것으로 볼 수 있으며, 본 논문에서는 Interconnection에 따른 전기적 손실요인을 실험을 통하여 분석하였다. Interconnection과정에서 전기적 출력 손실을 최소화하기 위해서는 셀과 리본을 납땀하는 Soldering공정에서 전극과 전극 간에 연결하는 도체 리본의 접촉저항을 최소화 하여야 하고 String과 String을 연결해주는 Busbar와 출력 단자로 사용되는 Connector의 저항을 감소시킴으로써 전기적 출력 손실을 최소화 할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 외부의 환경에 노출되어 장시간 발전하게 될 경우 전극부분에서 열화현상 등에 의하여 전기적 출력이 감소하게 되는데 직렬저항 증가의 원인을 분석하여 저항을 최소화 한다면 태양전지 모듈의 수명도 늘어나게 될 것이다. 본 실험에서는 구성재료인 Sn/Pb 도체리본과 Bus bar 그리고 Junction Box와 Connector를 사용한 시료를 제작하여 라미네이션을 하기 전의 구간별 출력특성과 라미네이션을 한 후의 구간별 출력특성을 측정하여 전기적 출력 변화율을 비교 분석 하였다.

2. 구성재료 및 실험방법

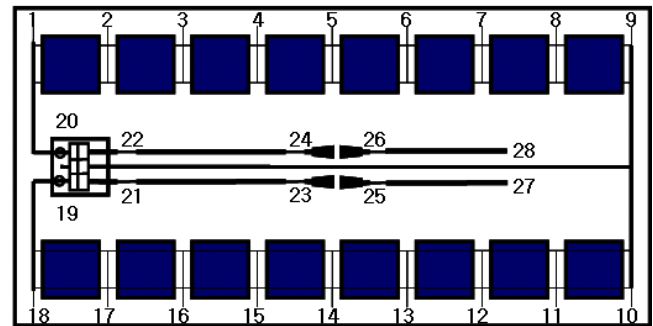
2.1 측정장치 및 구성재료

본 실험에서는 PasanIIIb Sun simulator(Baval S.A)를 사용하여 STC 조건(AM1.5, 25°C, 1kW/m²)에서 인공광원법에 의해 출력을 측정하였다. 구성재료를 보면 셀은 MOTECH사의 5인치 다결정 셀을 사용하였고, Ribbon은 폭 2mm의 60Sn/40Pb(SANKO METAL), Busbar는 폭 6mm의 60Sn/40Pb(SANKO METAL)를 사용하였다. 또한 Junction Box와 Connector를 사용하였으며 라미네이션 공정후의 시료를 제작하기 위하여 1200×600크기의 5mmT저철분 강화 유리를 사용하였다.

2.2 제작시료 및 실험방법

2.2.1 제작시료

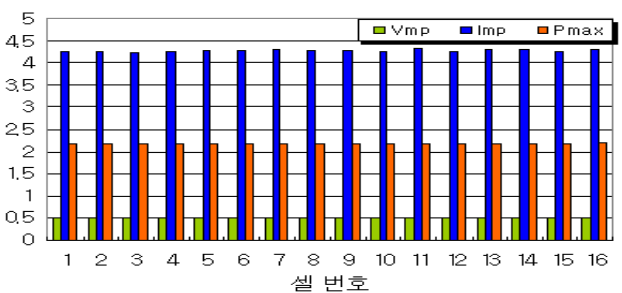
〈그림 1〉은 본 실험을 위해 제작한 시료에 대한 그림으로서, 정확한 손실률을 비교하기 위하여 라미네이션을 하지 않고 유리판 위에 셀을 Interconnection하여 측정하는 방법과, 라미네이션을 한 후에 측정을 하여 두 시료의 전기적 손실률을 비교분석 하였으며, 측정오차를 줄이기 위하여 2.16W(4EA), 2.17(4EA), 2.18W(7EA), 2.19W(1EA)의 균일도 0.78%인 셀을 이용하여 시료를 제작하였다. 또한 Junction Box와



〈그림 1〉 제작시료

3. 결과 및 고찰

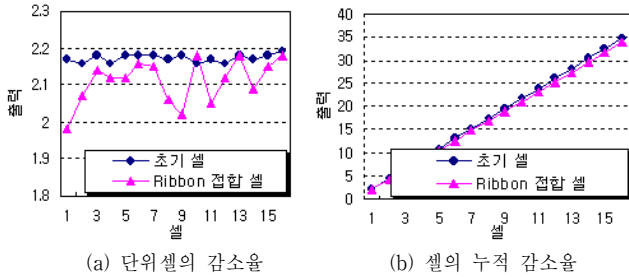
본 논문은 현재 지상용 모듈로 가장 많이 사용되며 또한 가장 많이 제작되어지고 있는 결정질 5인치 72셀의 170W~180W급 PV모듈의 전기적 손실률을 분석하기 위한 실험으로서 〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 실험의 정확성을 높이기 위하여 50장의 단위 셀을 측정 후 16장의 균일한 셀을 적용하였다.



〈그림 2〉 초기 셀의 균일도

3.1 라미네이션 공정 전의 Ribbon의 접촉저항에 의한 손실을 분석

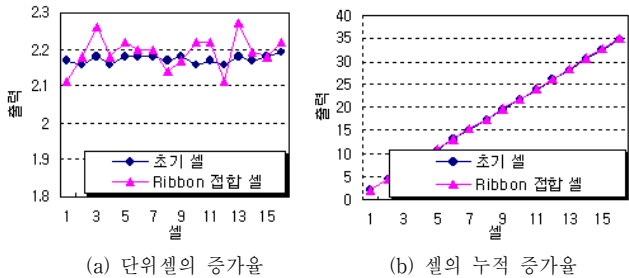
Ribbon과 셀을 납땜하는 과정에서 접촉저항을 줄이기 위하여 셀의 전극부분에 Flux나 Solder Paste를 사용하여 납땜을 하며 Sn/Ag/Cu의 Ribbon보다는 접촉저항이 작은 Sn/Pb의 Ribbon을 사용했지만 접촉저항에 의한 손실을 완전히 줄이기는 불가능하므로 직렬저항에 의한 손실을 최소화 하는 것이 모듈의 효율을 높게 할 것이다. <그림 3>의 (a)는 초기 단위 셀의 출력과 Ribbon을 연결 하였을 때의 단위 셀의 출력 감소율을 보여주고 있는 그림으로서 셀 1장당 평균적으로 0.0625W의 출력감소폭을 보였으며, <그림 3>의 (b)는 Ribbon과 셀의 Interconnection에 의한 누적 출력 감소율을 나타낸 그림으로서 셀의 이론적인 출력의 합인 그래프에 비해 실제적인 Ribbon과 셀을 납땜하는 과정에서 직렬저항의 증가로 인하여 출력의 감소폭이 증가하게 된다. 평균출력 2.173W의 16장의 배열인 모듈에서는 1.00W의 출력이 감소함으로서 2.88%의 감소율을 보였다.



<그림 3> 라미네이션 공정 전의 출력 변화율

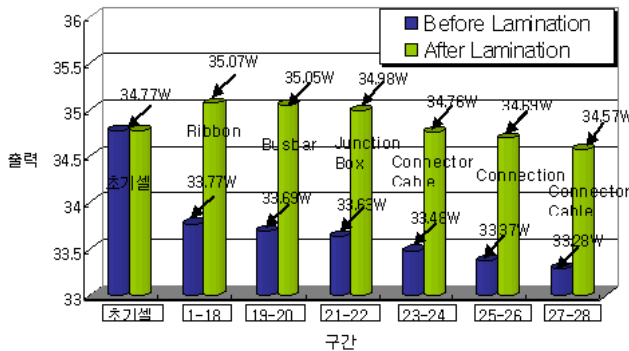
3.2 라미네이션 공정 후의 Ribbon의 접촉저항에 의한 손실을 분석

<그림 4>의 (a)는 초기 단위 셀의 출력과 Ribbon을 연결 하여 라미네이션 공정 후의 단위 셀의 출력 증가율을 보여주고 있는 그림으로서 셀 1장당 평균적으로 0.0188W의 출력증가폭을 보였다. <그림 4>의 (b)는 라미네이션 공정 후 전기적 출력의 증가율을 나타낸 그림으로서 Ribbon과 셀의 Interconnection에 의해 출력이 감소해야 하지만 라미네이션 공정에 의하여 전기적 출력이 증가하게 된다. 이는 Ribbon의 Interconnection에 의한 출력 감소율에 비해 라미네이션 공정에 의한 전기적 출력의 증가율이 크기 때문에 전체적인 출력은 증가하게 되는 것이다. 평균출력 2.173W의 16장의 배열인 모듈에서는 0.3W의 출력이 증가하게 되었고 0.86%의 증가율을 보였다.



<그림 4> 라미네이션 공정 후의 출력 변화율

3.3 출력 단자용 구성 재료에서의 손실을 분석

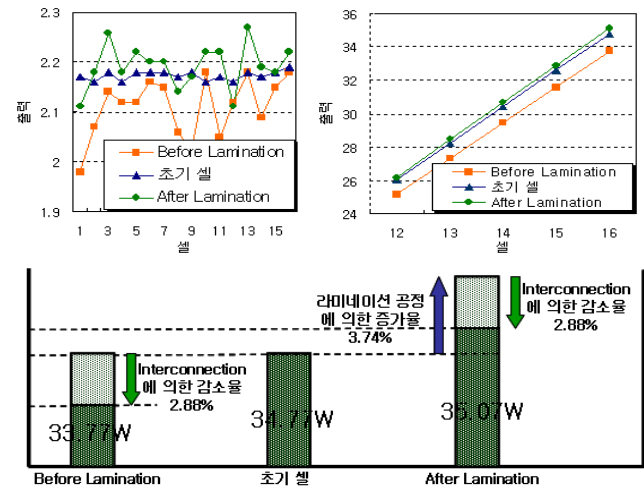


<그림 5> 출력단자용 구성 재료에서의 전기적 손실

PV모듈에서 전기적 손실을 주는 요인은 Ribbon과 셀을 연결해주는 Interconnection과정 이외에도 +,-의 출력 단자로 사용되는 Busbar가 있으며, Junction Box와 Connector, Connector Cable로 인한 전기적 손실 또한 클 것으로 예상된다. 이에 따른 전기적 손실에 대한 실험으로 <그림 5>에서 보논바와 같이 Busbar에서 Connector Cable까지의 라미네이션 전과 후 시료에서 각각 0.49W와 0.50W가 전기적 출력이 손실 되는 것으로 비교적 재연성 있는 실험 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 출력단자용 구성재료에 비해 Ribbon과 셀의 Interconnection에 의한 전기적 손실이 크다고 할 수 있고 이는 대면적 모듈일수록 증가하게 될 것이다.

3.4 라미네이션 공정 전후의 출력 비교

<그림 6>은 라미네이션 공정의 전·후를 비교한 그림으로, 라미네이션 공정 후의 단위셀 평균은 2.192W로서 라미네이션 공정 전의 단위셀의 평균인 2.111W에 비해 0.081W가 증가하였고 3.74%의 증가율을 보였다. 또한 라미네이션 공정후의 시료에서 Ribbon의 Interconnection에 의한 2.88%의 출력 감소율을 적용한다면 본 실험에서 제작된 라미네이션 공정 후 시료의 경우 이론적인 누적 출력량은 36.07W로서 초기 셀의 이론적인 출력에 비해 1.3W증가하게 되었다고 볼 수 있지만, 리본과 셀의 Interconnection에 의한 전기적 손실과 출력단자용 구성재료에 의한 전기적 손실 그리고 셀의 Grade의 분균일도에 의한 손실로 인하여 결과적으로 대면적 모듈의 총 출력은 감소하게 될 것으로 예상된다.



<그림 6> 출력 비교

4. 결 론

본 논문에서는 Interconnection공정에서 Ribbon과 출력단자용 구성재료의 저항에 따른 전기적 손실을 라미네이션 공정전의 시료와 공정후의 시료를 제작하여 비교분석 하였다. 그 결과로부터 Ribbon과 셀의 Interconnection에 의한 전기적 출력 감소율은 2.88%로서 실험에 적용된 16셀의 시료에서 1W의 전기적 출력 감소폭을 보였으며 이는 대면적 모듈도 갈수록 손실되는 전력량은 증가할 것으로 예상된다. 또한 라미네이션 공정을 한 시료의 경우는 라미네이션 공정전의 시료에 비해 단위셀의 경우 평균적으로 0.081W가 증가하였고 3.7%의 증가율을 보였다. 출력단자의 구성재료에 따른 전기적 손실은 라미네이션 전과 후의 시료에서 각각 0.49W와 0.50W의 전기적 손실을 나타냈으며, 비교적 재연성 있는 실험 결과를 얻을 수 있었다. 제조공정과 측정방법에 따라서 측정값에 대한 결과는 다소 차이가 있을 것으로 사료되며, 태양광 산업에서 고효율의 Cell을 개발하는 것 못지않게 모듈을 제작하는 과정에서 저항에 의한 손실을 최소화 하는 것 또한 태양광 산업의 발전에 크게 기여하게 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강기환외, "태양전지모듈에서 Interconnection용 SnPbAg paste가 전기적 특성에 미치는 영향", 한국전기전자재료학회 하계 학술대회, 2003.
- [2] Alan F. Carroll et al, "ADVANCES IN PV METALLISATION TECHNOLOGY", 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005.
- [3] NREL, "Innovative Approaches to Low Cost Module Manufacturing of String Ribbon Si PV Modules", NREL/SR-520-36908, 2004.