

플럭스가 점착된 솔라 리본 건조 연구

A Study on the Drying Performance of the Flux Adhered to Photovoltaic Ribbon

조남철*† · 전용한** · 한상필** · 김동춘*** · 이채문**** · 전택종*****

Cho Nam-Cheol*† *, Jeon Young-Han**, Han Sang-Pil**,
Kim Dong-Choon***, Lee Chae-Moon****, Jeon Taeg-Jong*****

(Received 1 December 2014; accepted 23 February 2015)

Abstract : The photovoltaic ribbon attached the flux reduces the solar module manufacturing process and the pollution. This paper presents an analytical method for solving the continuous flux drying system of photovoltaic ribbon. Also, some experiments of the drying of photovoltaic ribbon are carried out in order to design the drying system. Numerical results indicate the air temperature, the air velocity, the air pressure and the timewise temperature variation of ribbon during drying process. In case of the drier process length is short, 400mm, the photovoltaic ribbon is wet. Thus, another study of drying system is necessary to improve the drying ability. As a result, multi-stage drier system is proposed and shown to be good drying ability.

Key Words : Photovoltaic Ribbon(태양전지용 리본), Cu-Ribbon(구리리본), Flux drying(용제 건조), Soldering(솔더링)

1. 서 론

2050년에 이르면 태양 에너지가 설치단가의 하락에 힘입어 가장 주요한 발전원으로 자리매김할 것이라 예측이 2014년 세계 에너지기

구 IEA 보고서로 발표되었다.¹⁾ 이에 따르면 앞으로도 각국 정부의 에너지 공급원 확보 및 이산화탄소 배출과 같은 환경 문제 해결 노력에 힘입어 태양에너지 투자 규모는 더욱 증가할 것으로 보인다.²⁾

*† 조남철 (교신저자) : 신안산대학교 기계과
E-mail : chonc@sau.ac.kr, Tel : 031-490-6052
**전용한, 한상필 : 상지영서대학교 소방안전과
***김동춘 : 국제대학교 자동차 기계계열
****이채문 : 유한대학교 기계공학과
*****전택종 : (주)미르솔라

*† Cho Nam-Cheol(corresponding author) : Department of Mechanical Engineering, Shin Ansan University
E-mail : chonc@sau.ac.kr, Tel : 031-490-6052
**Jeon Yong-Han, Han Sang-Pil : Department of Fire Protection and Safety, Sangji Youngseo College
***Kim Dong-Choon: Dept.of Mechanical Eng. Kookje College
****Lee Chae-Moon : Department of Mechanical Engineering, Yuhan University
*****Jeon Taeg-Jong : Mirsolar Co., Ltd.

특히 전 세계 태양광 발전 총 설치 용량은 2009년 23GW, 2013년 135GW로 매년 급신장되고 있다. 이와 함께 최근 태양광발전 산업에서는 수요와 공급의 불균형으로 커다란 변화가 닥쳐오고 있으며, 그 중 태양광발전 모듈 산업에서는 태양전지뿐만 아니라 저철분 강화유리, EV Sheet, 후면 Sheet, Cu Ribbon, 단자박스 등 대다수의 태양광발전 모듈 관련 부품 소재들의 수급에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한, 신뢰성이 확보되지 못한 제품이 사용됨으로써, 국내 태양광 발전 산업에서 사용되고 있는 태양광발전 모듈 분야의 향후 내구성과 품질에 커다란 문제점이 발생할 수 있을 것으로 우려된다.³⁾

태양광발전 모듈은 태양전지가 외부에 설치되었을 때 외부환경 즉 온도, 습도, 눈, 비, 바람, 우박 등 다양한 악조건에서도 태양전지의 파손 및 부식 등을 방지하고 오랫동안 사용할 수 있어야 하며, 태양광발전 모듈에서 사용되는 리본재의 수입품을 전량 국산화함으로써 경제적으로 원가저감 및 수입대체를 하는데 그 산업적 중요성이 있다. 특히 리본재는 태양광 모듈 조립공정에서 없어서는 안 되는 중요한 소재이며 태양전지의 수명은 태양광발전 모듈의 제조공정과 재료에 따라서 좌우될 수 있으므로 가볍게 넘길 수 없다.

솔라 리본은 2010년 전에는 해외에서 전량 수입하여 사용하고 있는 실정이었으나, 최근 국산화가 활발히 이루어지고 있다. 이에 플렉스가 점착된 솔라 리본은 공정단축을 통한 경쟁력 제고와 국산화 기술을 토대로 기술력을 확보하는데 그 목적을 가지고 있다.

본 논문에서는 플렉스가 점착된 솔라 리본의 건조관련 열 해석을 예측하기 위하여 건조로 관련 전산해석을 수행하고 이를 바탕으로 실제 건조로를 제작한 후 솔라 리본 성능 평

가 시험을 행하였다.

솔라리본의 제조를 위하여 초기 검토된 건조로의 내부 열 유동 특성을 파악하였다. 또한, 이를 바탕으로 수정된 건조로를 제작하였으며, 실제 설비 제조 시스템에서 생산되는 솔라 리본 및 건조로의 열 기초 성능 평가를 수행하였다.

2. 솔라 리본

Fig. 1 은 본 연구에서 사용된 솔라 리본 제조 설비를 나타낸 것이고, Fig. 2 는 설비를 통하여 완성된 플렉스가 점착된 솔라 리본 단면도를 나타낸 것이다. Fig. 2 에서 보는바와 같이 태양광 발전 모듈에서 전극 재료로 사용되는 플렉스가 점착된 태양전지용 리본은 모듈 조립의 작업 공정 단축(플렉스를 제공할 필요 없이 도포 공정의 생략)과 솔더 작업 과정의 VOC(휘발성 유기화합물)방출로 인한 분해 증발의 감소로 설비의 오염을 방지 할 수 있다.

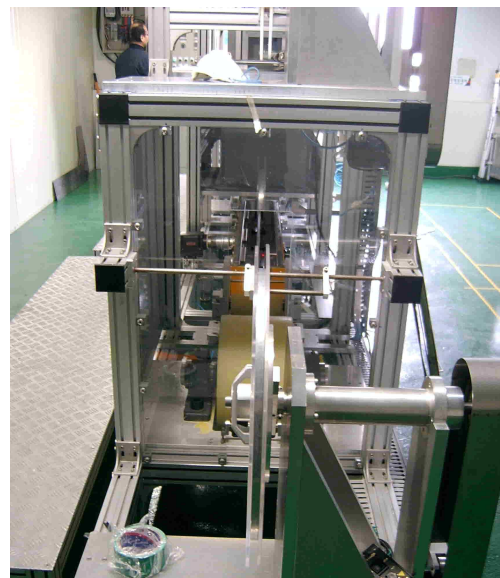


Fig. 1 solar ribbon manufacturing facility

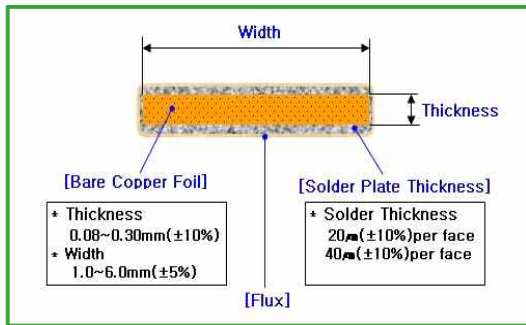


Fig. 2 solar ribbon adhered flux

3. 솔라 리본 열유동해석

3.1 이론적 배경

본 해석에서는 Fig.1의 연속공정으로 생산되는 솔라 리본의 건조로 내 열 유동특성을 파악하고 설계 기준 만족도와 설계자료 및 솔라 리본의 건조성능을 평가하는데 그 목적이 있다.

CFD 해석 기법을 활용하여 실제 측정하기 어려운 연속 건조로 내의 온도 및 속도분포의 정보를 구해내고 이 같은 물리값으로 장비의 성능 평가, 설계 조건 및 운전 조건의 최적화 등을 위한 보조 자료로 활용 가능하다. 반면에 솔라 리본 solder에 대한 정확한 물성치와 건조로 관련 운전조건들이 정확히 주어지지 않은 상태에서 솔라 리본의 건조성능에 대한 모든 것을 표현하기에는 현재의 수치 모델이 한계가 있기 때문에 정확히 해석하기가 쉽지 않은 것이 현실이다.⁴⁾ 따라서, 솔라 리본용 건조로를 정확히 해석하기 위해서는 해석하고자 하는 건조로의 운전현황과 전후처리 시설을 충분히 이해하는 것이 해석의 정확도를 보장하는 중요한 요인이 된다.

이에 본 연구에서는 솔라리본 건조로 내부의 열, 유동분포 등을 해석하기 위하여 질량 보존방정식, 운동량보존방정식, 에너지보존방

정식, 난류방정식 (standard $k-\epsilon$ 난류모델)을 적용하였다. 수치해석 기법은 계산영역을 임의의 모양의 셀로 나누어 셀 중심에 압력과 속도 성분을 모두 저장하는 셀 중심 유한체적법을 사용하였다.

3.2 연속 건조로 형상 및 해석조건

솔라 리본 연속 건조로 형상은 Fig. 3 과 같이 열풍이 건조로 전후 각 5개 총 10개의 입구로 부터 인입되어 하부 4개의 출구로 토출되는 구조이다. 이때 리본은 연속공정으로 건조로를 일정속도로 통과하며 건조된다. 이때 리본은 구리 재질로 가정하였으며, 리본의 건조로 입구 초기온도는 20℃, 건조로 열풍 및 공기 온도는 180℃, 고열용 터보송풍기송풍기는 1HP(풍량 560m³/h, 정압 265mmAq) 2HP(풍량 2400m³/h, 정압 285mmAq)를 각기 사용하였다.

3.3 솔라리본 열풍 건조 해석 결과

1HP 송풍기를 사용하였을 때의 건조로 내 온도분포 및 속도 및 압력분포, 솔라리본의 건조 온도분포 등은 다음과 같다.

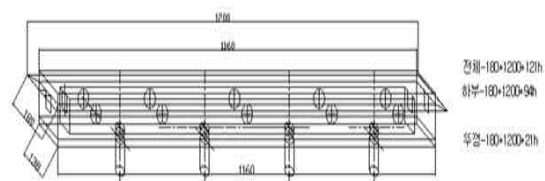


Fig. 3 continuous drying furnace

Fig. 4, 5로부터 건조로 중앙부 수직방향 온도와 건조로 중앙부 수평방향의 온도분포는 120℃ ~ 180℃ 의 온도분포를 이루며 건조로 내부의 온도편차는 최고 53℃를 나타내고 있음을 알 수 있다.

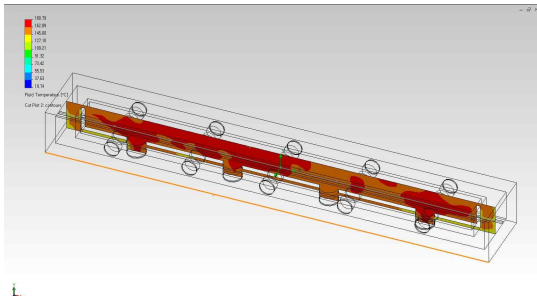


Fig. 4 vertical temp. profile of the middle part drier

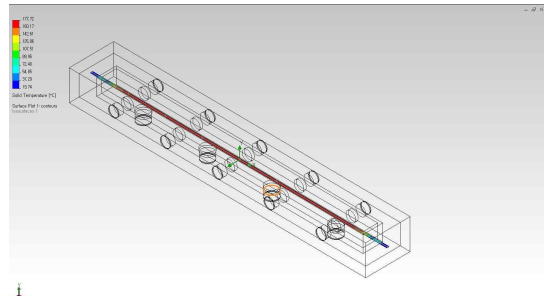


Fig. 8 solar ribbon temperature profile

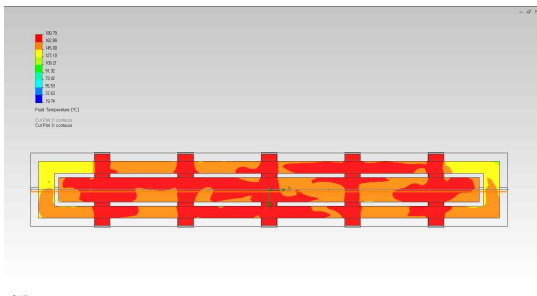


Fig. 5 horizontal temp. profile of the middle part drier

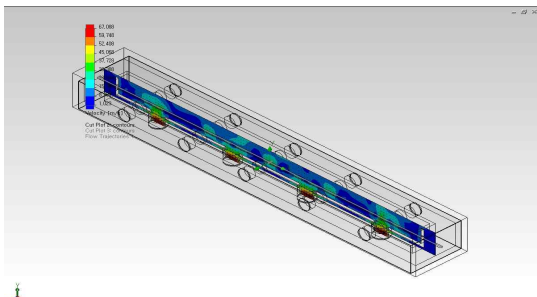


Fig. 6 vertical velocity profile of the middle part drier

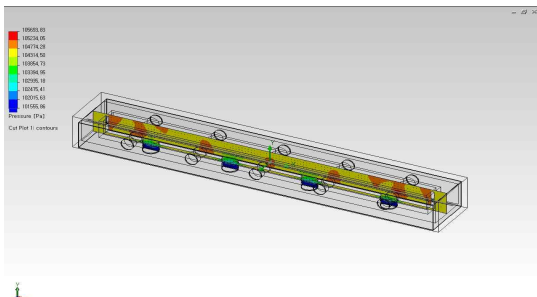


Fig. 7 vertical pressure profile of the middle part drier

Fig. 6, 7 은 건조로 중앙부의 수직방향 속도분포 및 압력분포를 나타낸 것으로 건조로 중앙부 수직방향 속도는 평균 6m/s의 분포를 이루고 있으며, 건조로 중앙부 수직방향 압력분포는 104kPa~105kPa로 형성되었다.

Fig. 8은 솔라 리본의 온도 분포를 나타낸 것으로 솔라 리본의 입 출구 첨단 부근에서는 160℃, 그 외 영역에서는 평균 175℃로 비교적 일정하게 온도분포가 나타남을 알 수 있다. 솔라 리본 바로 위(1mm)에서의 열풍은 벽면부 국부 최소유속 1m/s에서 유입부 국부 최대 유속 24m/s, 평균 13m/s로 비교적 빠른 유속이 나타났으며, 건조로 내의 열풍 순환이 원활하여 열 유동이 건조로 내에 비교적 균일하게 분포하였다.

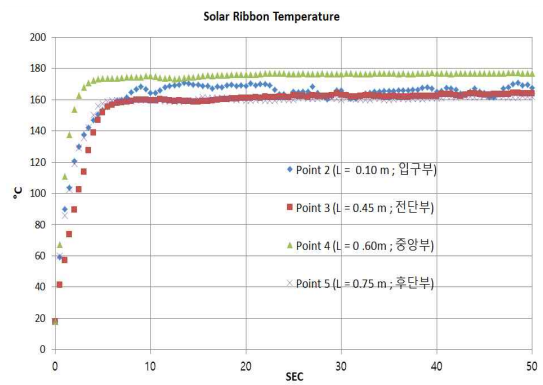


Fig. 9 temperature variation of solar ribbon

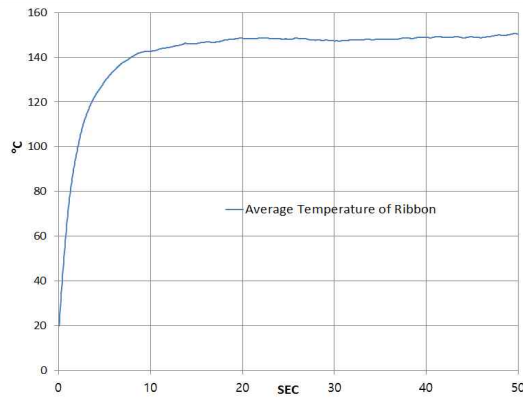


Fig. 10 mean temperature variation of solar ribbon

Fig. 9, 10은 시간 경과에 따른 솔라 리본 길이방향 온도와 평균온도 변화를 나타낸 것으로 열풍건조 4초 후부터 건조 입구에서는 160°C, 건조부 중앙에서는 170°C로 나타났으며, 솔라 리본 평균온도는 건조 초기부터 건조 약 7초 140°C까지 급격히 증가하다가 그 이후에는 완만하게 증가하였다.

4. 솔라리본 열풍건조 실험

플릭스가 도포된 솔라 리본 건조를 위하여 제조설비에 맞춰 초기 건조길이를 약 400mm로 제작하여, 열풍건조기를 제작한 후 건조 성능 실험을 수행하였다. 리본의 건조는 젖음 상태, 솔라리본 표면형상, 플릭스 건조 상태 등을 검사하여 건조 정도를 판단하였다.

솔라리본 연속공정상의 최소 공정속도하에서 제조건조로의 내부 열풍 온도 및 유량을 변화하며 솔라 리본 솔더의 건조를 수행하였으나 건조 길이(시간)가 매우 짧은 원인으로 솔더의 건조가 제대로 이루어지지 않아 젖음 현상이 크게 나타났다.

이에 건조기는 솔라리본 연속공정 시스템의 전체 크기 및 형상을 고려하여 소형이어야 하

며, 건조 성능이 유지되어야 하는 이유로 3단 열풍 건조기가 설계 제작되었다.

솔라 리본은 건조로로 투입되기 전 235°C ~ 240°C로 유지되는 솔더링조(탕)에서 미리 예열된 후 160°C ~ 170°C의 열풍 건조로에서 일단 건조되고 이후 다시 2차, 3차 건조 되는 다단 건조 방식이다.

이에 본 다단 열풍 건조 시험에서는 솔더링 온도, 공정속도, 건조로 공기온도 변화에 따른 연속 건조 성능평가를 실시한 결과 Fig. 11에서 보는 바와 같이 솔더링온도 240°C, 공정속도 4m/min., 건조로 공기온도 170°C인 경우 솔라 리본의 건조 상태가 우수하게 나타났다.

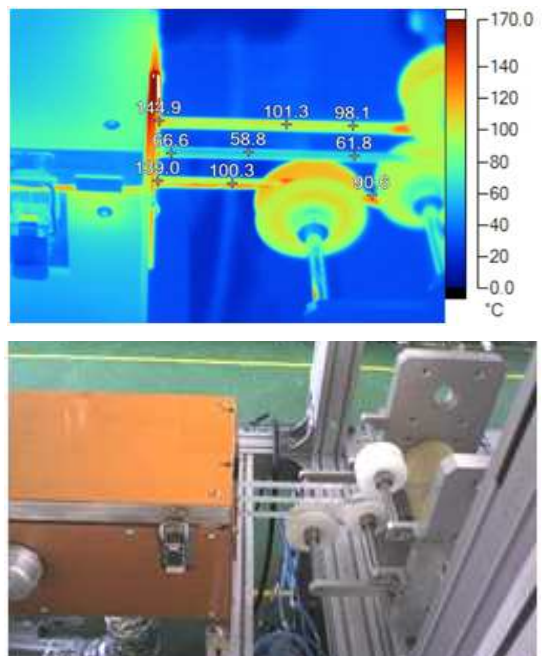


Fig. 11 thermal image of the drying solar cell

5. 결 론

플릭스가 도포된 솔라 리본 건조성능을 예측하기 위하여 건조로 관련 열유체 전산해석

을 수행하고 이를 바탕으로 실제 열풍식 건조로를 제작한 후 솔라 리본 성능 평가 시험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 해석결과 열풍방식의 연속 건조로 내 IHP 송풍기 사용 건조로 중앙부 수직방향 온도와 건조로 중앙부 수평방향의 온도분포는 120°C ~ 180°C 의 온도분포를 이루며 건조로 내부의 온도편차는 최고 53°C를 나타내고 있음을 알 수 있다.
- (2) 해석 결과는 솔라 리본 위(1mm)에서의 속도분포는 국부 최소 속도 1m/s에서 최대 속도 24m/s, 평균 13m/s 로 비교적 빠른 속도분포가 형성됨을 나타내었다.
- (3) 실제 솔라리본 제조공정 라인상의 이유로 건조공정 0.40m인 경우, 건조시간이 짧아 솔라리본의 연속건조가 불가능하였다.
- (4) 솔라리본 제조라인을 유지하며, 건조성능을 향상시키기 위하여 다단 열풍 건조기가 제안되었다. 또한, 솔더링온도 240°C, 공정속도 4m/min., 건조로 공기온도 170°C 인 경우 리본의 건조가 우수함을 실험적으로 알 수 있었다.

Reference

1. Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy - 2014 edition, OECD/IEA, September 2014.
2. 김동춘, 신용호, 조남철, “지구환경과 에너지 이용기술”, 도서출판 명원, 2010
3. 전택중, 조남철, 이채문, “적층구조로 형성된 PC B형 태양전지용 BusBar의 성능에 관한 연구”, 2012 한국태양에너지학회 춘계학술 논문집, pp. 102-107, 2012
4. Jen Y, Liu, “Drying of Porous Materials in a Medium With Variable Potentials” Journal of Heat Transfer(ASME), Vol. 113, pp.757-762, 1991
5. Ausgar mette, New Concepts for Front Side Metallization of industrial Silicon Solar Cell, Fraunhofer-Institut fur Solare Energie systems, 2007
6. 최은지, 송영훈, 김경수, 강기환, 유권중, 안형근, 한득영, “리본성분과 soldering 조건에 따른 모듈의 전기적 특성”, 2010 한국태양에너지학회 춘계학술 논문집, pp. 189-193, 2010
7. 김효재, 이영은, 이구, 강기환, 최병호, “태양전지 모듈용 솔드 합금의 산화 특성”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.34 No.1 pp. 99-105, 2014.