

적외선 램프를 이용한 비접촉식 태양전지셀 솔더링 장치 개발에 관한 연구

노태정^{1*}, 김선진¹, 박민용²

¹동명대학교 메카트로닉스공학과, ²에버테크노(주) 에너지사업팀

A Study on the Development of Noncontact Soldering Device of PV Cells Using Infrared Lamp

Tae-Jung Lho^{1*}, Seon-Jin Kim¹ and Min-Yong Park²

¹Dept. of Mechatronics Eng., Tongmyong University

²Division of Energy Business, Evertechno Co. Ltd.

요 약 *Photopia*를 활용하여 적외선 램프 반사부의 각 형상에 대한 조도 분포를 해석하여 최적인 원호 형상으로 설계하였다. 적외선 온도센서를 통해 태양전지셀의 솔더링 온도를 피드백 받아서 설정된 솔더링 온도 프로파일과의 오차를 제어값으로서 IR 램프의 전류를 실시간으로 제어하는 솔더링 온도의 페루프 제어시스템을 구현하였다. HMI 조작반에 의해 쉽게 운전되고, PLC와 IR 램프 제어기에 의하여 강인하게 제어되는 IR 램프 열원을 사용한 태양전지셀의 비접촉식 솔더링 장치를 개발하였다.

Abstract The reflector of infrared lamp is designed to the optimal circular shape through the analyses of lumination distributions with a triangular, rectangular and circular configurations of infrared lamps respectively by using *Photopia*. PLC is used to compare and amplify the difference between soldering temperature profile and feedback value. It is fed to IR lamp controller which adjusts the soldering temperature of PV cell. The soldering temperature measured using an infrared temperature sensor is then fed back to the PLC. The closed control loop of soldering temperature on a PV cell is implemented. The noncontact soldering device of PV cells using infrared lamp which is easily operated by HMI operation panel and controlled robustly by PLC and IR lamp controller is developed.

Key Words : Infrared(IR) Lamp, IR Temperature Sensor, Noncontact Soldering Device, *Photopia* Software, Photovoltaic(PV) Cell, Soldering Temperature Profile

1. 서론

지구 온난화와 CO₂ 문제에 대한 관심의 증가와 석유 자원 고갈, 그리고 에너지 소비증가 등으로 전 세계 신재생에너지 시장이 급성장을 하고 있다. 반면 태양광 발전의 경우 타 발전에 비해 높은 생산단가가 문제시 되고 있으며 그 가운데에서도 태양전지셀(Photovoltaic(PV) cell)은 높은 원자재 가격과 웨이퍼 절단 손실과 같은 수급문

제로 단가 하락에 큰 어려움을 겪고 있다.

이에 태양전지셀은 원가절감을 위한 기술개발 추세에 따라 원재료인 실리콘의 소비를 줄이기 위해 두께가 점차 얇아지는 추세가 가속화되고 있으며 이로 인해 기존 장비들의 운용한계 이하의 제품으로 제작이 되면서 태양전지셀의 파손이나 솔더링 공정에서 발생하는 셀의 휨, 마이크로 크랙과 같은 문제가 발생하고 있으며, 이와 같은 제조 공정상의 한계를 극복하고 다양한 원재료의 변

본 논문은 2012년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(한국연구재단-2012-R1A1A-2002701)

*Corresponding Author : Tae-Jung Lho (Tongmyong University)

Tel: +82-51-629-1533 email: tjlho@tu.ac.kr

Received October 23, 2012

Revised January 9, 2013

Accepted January 10, 2013

화에 빠르게 대응할 수 있는 모듈 제조 장비의 개발이 필요한 실정이다.[1]

특히 모듈 전체 제조공정 중 도체리본과 태양전지셀의 상호 연결을 위한 솔더링 공정은 불량발생확률이 가장 높으며, 수정이 불가능한 영구적인 불량이 발생한다는 점에서 생산비용 손실이 발생하는 주원인이기도 하다.[2]

솔더링 공정은 접합부 가열을 위해 초음파, 레이저빔, 열풍(hot air), 적외선램프(Infrared(IR) lamp) 등의 다양한 방식의 열원이 도입되고 있으나 높은 생산단가로 인해 현재는 접촉식 heating bar를 이용한 soft-touch soldering 이 가장 많이 사용되고 있는 실정이다. 그러나 이는 태양전지셀의 두께가 얇아지는 추세를 고려할 때 접촉으로 인한 셀의 파손과 같은 불량에 취약할 수밖에 없다.[3]

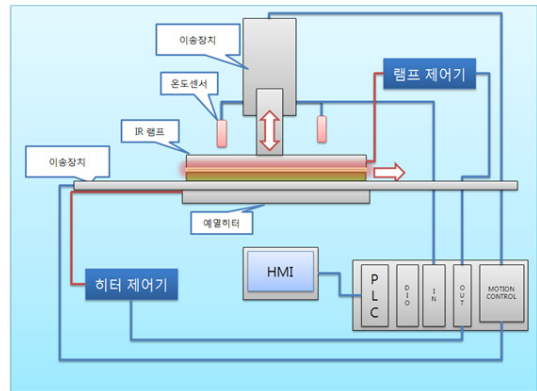
열풍 방식은 셀 상부면은 hot air를 이용하고 하부면은 hot plate를 이용하여 솔더링하는 방식으로서 상부면 솔더링 온도의 균일성은 여러 개의 air blow의 유량을 각각 조절하여 온도가 균일하도록 한다. 이 방식은 온도 조절을 위하여 공기의 유량을 조절하여야 하는 어려움이 있지만 빠른 시간에 솔더링을 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 PV cell의 많은 부위에 열이 가해져 큰 열영향부(Heat Affected Zone: HAZ)로 인해 열응력이 발생하게 되므로 PV cell의 두께가 얇아지면 사용이 불가능한 우려가 있다.[4]

독일의 DILAS사에서 공급하는 Diode Laser Soldering System은 0.65mm의 스폿 사이즈로 열이 PV cell에 국부적으로 가해지므로 PV cell의 HAZ가 상대적으로 적어 점점 얇아지는 PV cell에 대응하기에 적합하지만, 3-bus bar인 경우에 적용할 경우 설비가격이 고가로서 설비의 초기 투자비가 과다한 것이 단점이다.[5]

따라서 본 연구에서는 PV cell 상부면은 IR 램프를 이용하고 하부면은 hot plate를 이용하여 솔더링하는 방식은 PV cell의 열변형이 적게 발생하는 장점이 있으므로 IR 램프를 이용한 비접촉식 태양전지셀 솔더링 장치를 개발하고자 한다.

2. 전체 시스템 구성

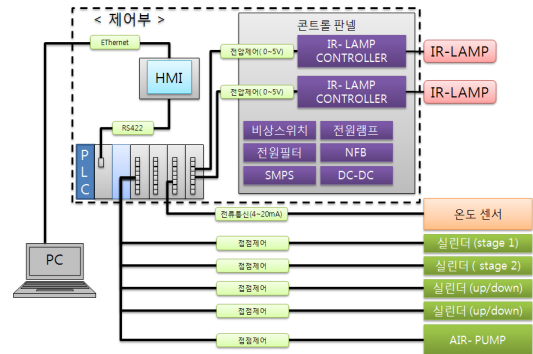
Fig. 1과 같이 솔더링 장비의 기구부는 적외선 램프와 램프부의 높이 조절을 위한 상하 이동과, PV cell의 이동을 위한 이송장치로 구성되며, 제어부는 시스템 운전 및 각종 운전조건 입력을 위한 HMI 운전조작반과 PLC, IR 램프 제어기 및 히터 제어기로서 주로 구성된다.



[Fig. 1] Configuration of PV-cell soldering system

기구부는 구동을 위한 액츄에이터로서 공압 실린더가 사용되었으며 태양전지셀의 이송을 위한 X축 이송부는 158mm 스트로크(stroke)를 가지는 2개의 단동실린더에 의해 LM-Guide를 따라 PV cell의 loading, soldering, unloading의 3개의 위치로 제어된다. 램프 상하 이동을 위한 Z축 up/down은 솔더링하기 전에 수동으로 조절한다.

태양전지셀이 공급되어 이송되는 파트는 heating plate가 내장되어 태양전지셀이 투입됨과 동시에 후면 가열을 진행하여 솔더링 공정에 들어가기 전 약 80℃ 온도로 예열되며 156×156mm 크기를 가지는 2개의 태양전지셀을 직렬로 솔더링할 수 있도록 최대 배열(string)은 2개로 구현하였다.



[Fig. 2] Control system configuration

Fig. 2와 같이 솔더링 장비의 전반적인 조작은 HMI touch panel을 통해 이루어지며 RS422 포트를 통해 PLC로 제어신호를 전송하고 센서로부터 측정된 램프와 셀 후면의 heating plate의 온도데이터를 수신하여 표시한다.

HMI touch panel의 조작을 통해 솔더링 온도 프로파

일 설정, 램프의 on/off, 대기상태에서의 램프출력, 셀 하부의 예열히터 on/off 및 온도제어 등 시스템의 모든 제어기가 가능하며 현재 작업상황과 주요 파라미터를 표시하여 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다. 또한 매 공정마다 시간에 따른 온도 프로파일을 자체 저장하며 필요한 경우 PC로 전송할 수 있다.

3. 조도분포 해석 및 반사부 설계

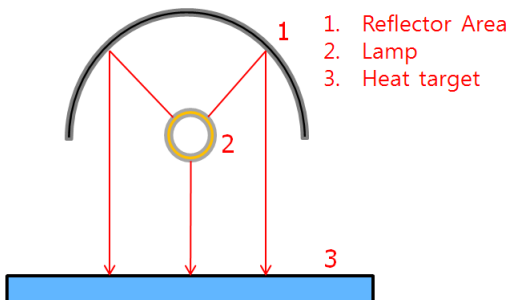
IR 램프 가열 방식은 태양전지셀의 bus bar당 1개, 총 2개의 램프로 동시 가열되는 방식으로 가열 면적은 유한 요소 해석을 통해 폭 30mm 정도의 가열면적을 선정하였다. 즉, 최적의 조사면적은 태양전지셀의 길이를 고려할 때 30*156mm가 된다.

램프의 효율향상과 양호한 솔더링 품질을 얻기 위해서는 조사면적의 균일한 온도분포가 필요하다. 이는 램프와 조사면적의 거리, 램프 설치부 주변의 반사면 형태에 따라 달라진다. IR lamp 솔더링 시스템의 최적 조도 분포를 가지게 하는 반사부 형상 및 조사거리 결정을 위해 *Photopia*를 이용하여 가장 우수한 조건을 고찰하였다. 본 연구에서 선정한 IR 램프의 주요 사양은 Table 1과 같다.

[Table 1] Main spec. of IR lamp

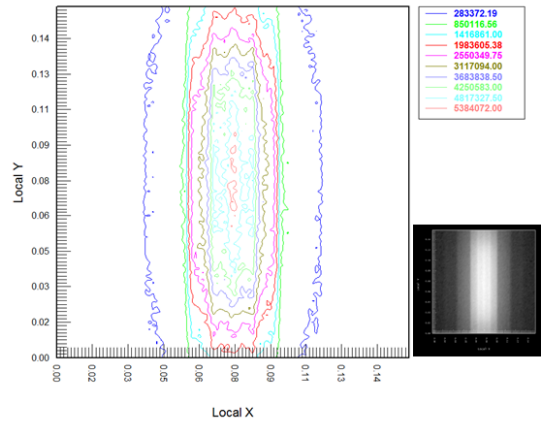
Halogen lamp clear bar-type			
전압	220V	size	10*12*158 [mm]
용량	1,800W	Luminous flux	44,000 [lm]

IR 램프와 조도측정 지점 사이의 거리를 30mm로 하고 반사부를 원호 형상(Fig. 3), 삼각 형상, 사각 형상의 반사부의 기하학적 형상에 대한 조도 분포를 해석하였다.



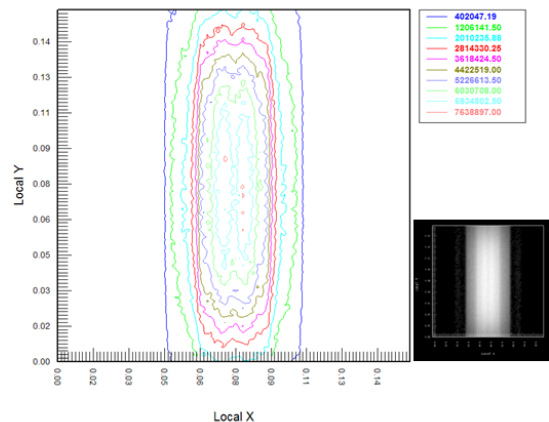
[Fig. 3] Structure for illuminance distribution analysis

Fig. 4와 같이 절대적인 수치만을 고려했을 때 가장 높은 광플럭스(luminous flux)는 7,638,897[lm]인 삼각 형상이며 광플럭스만을 고려했을 시 가장 높다고 할 수 있지만 조사범위의 분포가 긴 타원형이고 중심부위에 집중되어 길이방향의 끝단으로 갈수록 광플럭스가 줄어드는 경향이 강하여 두 지점간 조사되는 빛의 편차가 큰 편으로 균일성이 떨어진다.



[Fig. 4] Illuminance distribution for triangular reflector

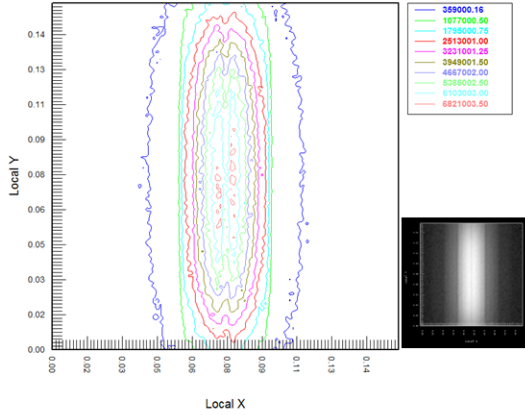
Fig. 5와 같이 사각 형상의 경우 삼각 형상과 유사한 경우로 역시 중심부위에 광플럭스가 집중되어 길이방향의 끝단 쪽으로 갈수록 둥근 분포를 보이고 있으며, 중심에서 멀어질수록 광플럭스의 감소폭이 큰 편으로 고르지 못한 편차를 보이고 있다.



[Fig. 5] Illuminance distribution for rectangular reflector

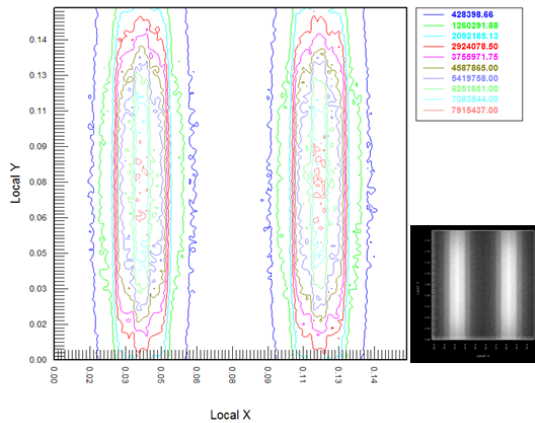
Fig. 6과 같이 원호 형상의 경우 다른 경우와 달리 중심부위의 광플럭스 수치는 다른 형태에 비해 다소 낮으

나 긴 타원형이 아닌 직사각형에 가까운 형태로 광플럭스가 부족한 조사범위의 양 끝부분과 광플럭스가 높은 중심부위의 차이가 작아 균일한 조도분포를 보이고 있다.



[Fig. 6] Illuminance distribution for circular reflector

조도분포의 해석 결과로부터 반사부의 형상은 가장 균일한 조도 분포를 보이는 원호 형상으로 결정하였으며, 램프와 반사부 간의 거리를 좀 더 줄임으로써 최종적으로 Fig. 7과 같이 피사체의 조사 면적(30×156mm)에 가장 근사하고 균일한 조도분포를 보이는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 램프와 피사체 간의 거리는 25mm, 램프와 반사부 간의 거리는 15mm로 설계하였다.



[Fig. 7] Illuminance distribution for optimal reflector

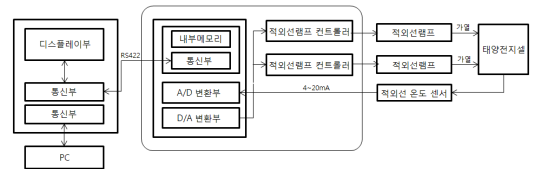
4. 솔더링 온도 제어부 설계

피가열 대상인 태양전지셀의 온도는 적외선 온도센서 (Table 2 참조)를 통해 측정되어 4~20mA 출력으로 PLC

의 A/D 변환부로 실시간으로 피드백된다. PLC의 솔더링 온도 제어 알고리즘을 통해 설정 온도와 현재 측정된 온도와의 오차에 의해 결정된 값은 PLC의 D/A 변환부에서 0~5V 사이의 전압으로 변환되어 IR램프 컨트롤러로 출력되는 PV cell의 솔더링 온도 페루프 제어를 Fig. 8과 같이 구성하였다.

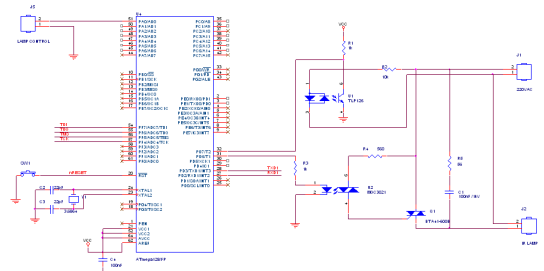
[Table 2] Main spec. of IR temperature sensor

Temperature Range	-40℃ to 1000℃
Field-of-view	30:1
Output	4 to 20 mA (Linear with temperature)
Configuration	Via PC port conforming to USB 2.0
Accuracy	±1% of reading or ±1℃ whichever is greater
Repeatability	±0.5% of reading or ±0.5℃ whichever is greater
Emissivity	0.1 to 1.0
Response Time, t ₉₀	240ms (90% response)
Spectral Range	8 to 14μm
Supply Voltage	24V DC (28Vdc max)
Sensor Voltage	6V DCmin
Max Loop Impedance	900Ω



[Fig. 8] Soldering temperature control system

Fig. 9와 같이 ATmega128 기반의 IR램프 컨트롤러는 PLC의 D/A 변환부로부터 출력되는 0~5V의 아날로그 전압을 입력받아 IR램프의 전류를 제어한다.



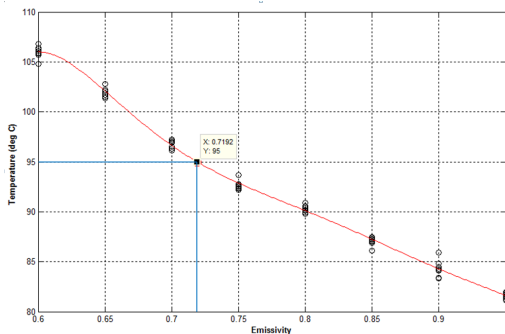
[Fig. 9] IR-lamp controller circuit

교류전원을 사용하는 IR 램프의 출력을 제어하기 위해서는 시간에 따라 크기와 방향이 주기적으로 변하는 교류전원의 제어가 가능하도록 트라이악(triac) 소자를 이용한 위상제어 방식을 사용하였다. 안정적인 교류전력 제어를 위해 AC정현파가 0을 지나는 지점에서 트라이악의 스위칭이 이루어질 수 있도록 제로크로스(zero cross) 검출회로를 구현하였으며, 이 검출회로는 양방향 포토트랜지스터(photo-transistor)를 사용하여 AC정현파가 0을 지나는 지점에 대한 펄스신호를 얻을 수 있으며 이 펄스신호를 동기신호로 하여 트라이악의 게이트 단자 트리거 주기를 조절하여 IR 램프의 출력을 제어한다. 이때 제어기와 적외선램프 부하사이에 절연을 위한 포토트라이악을 사용하여 두 회로는 전기적으로 분리된다.

솔더링시 태양전지셀의 솔더링 온도를 측정하는 비접촉 적외선 센서는 측정대상의 재질과 표면상태에 따른 방사율(emissivity) 셋팅을 필요로 하며 이 방사율은 온도 데이터 획득시 직접적인 영향을 주는 중요한 인자이다. 피 측정물의 재질과 표면상태에 따라 방사율은 달라지므로 조건에 맞는 방사율 셋팅이 필요하다.

태양전지셀을 가열하여 더 이상 온도가 변하지 않는 정상상태 구간에서의 온도를 기준으로 설정하고 이때, 기준온도의 측정은 K-type 열전대로 측정되어 PC의 DAQ 보드를 통해 획득되며 Labview를 통해 측정된다. 열전대로 측정된 온도와 적외선 열화상 카메라로 측정되는 온도의 차이가 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이내일 때 열화상 이미지를 촬영하여 PC로 전송한다. 전송된 이미지는 Thermoteknix社의 후처리 프로그램인 VisIR을 이용하여 데이터를 획득하였다.

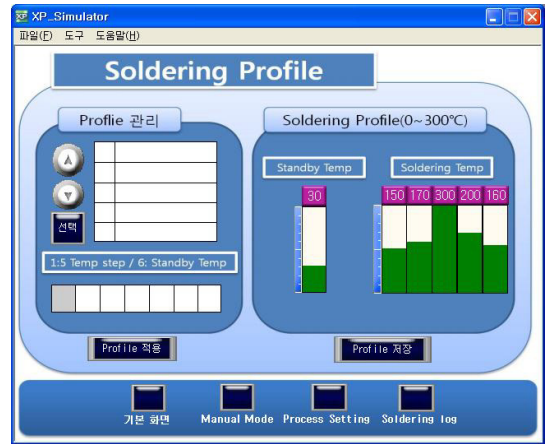
기준온도를 $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였으며, 방사율은 0.6~0.95 범위에 0.5 단위로 총 8개 구간에 대해 한 구간에서 10번 측정을 한 후 적외선 열화상 카메라의 방사율을 다음 구간으로 변경하여 동일한 데이터 획득과정을 반복하였다.



[Fig. 10] Emissivity measurement experiment

Fig. 10과 같이 획득한 데이터를 Matlab을 이용하여 최소자승으로 보간하였으며 그 결과 적외선 센서의 방사율은 0.7192로 확인하였으며, 실험결과 확인된 방사율 값을 비접촉 적외선 센서에 적용하여 솔더링실험 시 정확한 온도 측정이 가능하도록 하였다.

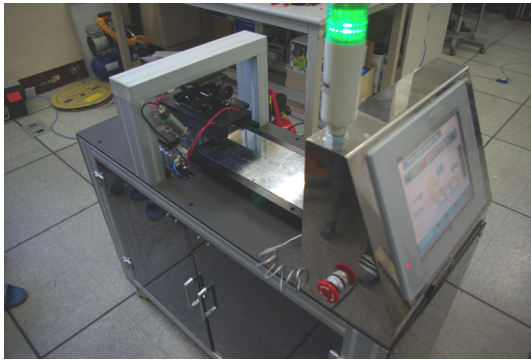
Fig. 11과 같이 운전 조작반을 통해 설정한 솔더링 온도프로파일에 기초하여 정확한 온도제어가 이루어질 수 있도록 솔더링 공정 중 온도변화를 적외선 온도센서를 통해 측정하고 실시간으로 피드백하여 적외선 램프의 전류출력을 정확히 제어함으로써 가열로 인한 온도변화에 따른 현재 온도와 온도프로파일과의 오차를 줄일 수 있도록 하였다.



[Fig. 11] Soldering temp. profile display of op. panel

5. 결론

IR 램프의 반사부는 Photopia를 활용하여 각 형상에 대한 조도 분포를 해석하여 최적인 원호 형상으로 설계하였다. 태양전지셀의 솔더링 온도를 적외선 온도센서를 통해 피드백 받아서 설정된 솔더링 온도 프로파일과의 오차에 대한 제어값으로 적외선 램프의 전류를 실시간으로 제어하는 솔더링 온도의 폐루프 제어시스템을 구현하였다. HMI 운전 조작반에 의해 쉽게 운전되고, 적외선 램프 전류 제어기에 의해 IR 램프 열원이 제어되고, PLC에 의하여 이송부가 제어되는, IR 램프 열원을 사용한 태양전지셀의 비접촉식 솔더링 장치를 개발하였다. Fig. 12는 본 연구에서 개발한 태양전지셀의 비접촉식 솔더링 장비의 모습이며, 그 주요 사양은 Table 3과 같다.



[Fig. 12] Appearance of PV cell soldering device developed using IR lamp

[Table 3] Main spec. of PV cell soldering device developed

PV Cell	size(mm)	156×156
	Thickness	0.2mm
Lead (Ribbon)	Lead width	2.0mm
	Lead thickness	0.2mm
String Cell 수	2 cells	
	size (mm)	312×156
제어방식	Operation	HMI touch panel
	Motion control	PLC 제어 system
전기 및 공압	전기	AC220V 60Hz, 1 phase
	공압	1.0HP, 8bar

References

- [1] G. H. Kang, et al., "Development of PV Module Process Using Automatic Arrangement Tool", Vol. 23, No.4, *J. of KSES*, pp.1-9, 2003.
- [2] S. J. Kim, et al., "Soldering Process of PV Module Manufacturing and Reliability", *Proc. of 2011 KSES Fall Conference*, pp. 303-306, Nov., 2011.
- [3] G. H. Kang, et al., "Development of PV Module Process Using Automatic Arrangement Tool", Vol. 23, No.4, *J. of KSES*, pp.1-9, 2003.
- [4] B. M. Kim, et al., "A Study on Manufacturing Process of PV Module According to Solar Cell Thickness", *Proc. of 2010 KSEE Summer Conference*, pp. 1255-1256, July, 2010.
- [5] D. H. No, "Development of New Laser Tabbing Process of Modulation of Thin Solar Cell", *Proc. of 2010 KWJS Fall Conference*, p.131 Nov., 2010.

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : KAIST 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 제어.자동화, 신재생에너지 등

김 선 진(Seon-Jin Kim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학학사)
- 20011년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 자동화 등

박 민 용(Min-Yong Park)

[정회원]



- 2009년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 동명대학교 기계시스템공학과(공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 에버테크노(주) 에너지사업팀(과장)

<관심분야>

Mechatronics, 유체구조연성해석, 신재생에너지 등