한국기계가공학회지, 제21권, 제2호, pp. 46～53(2022.02) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 21, No. 2, pp. 46~53(2022.02) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2022.21.02.046

유리 성형기의 무접점릴레이(SSR) 수명 예측장치 개발

양성규*, 김갑순*,#

*경상국립대학교 제어계측공학과

Development of Solid State Relay(SSR) Life Prediction Device for Glass Forming Machine

Sung-Kyu Yang*, Gab-Soon Kim*,#

*Department of Control & Instrumentation Engineering(ERI), Gyeongsnag National UNIV.

(Received 5 December 2021; received in revised form 9 December 2021; accepted 11 December 2021)

ABSTRACT

This paper presents the design and manufacture of a Solid State Relay (SSR) life prediction device that can predict the lifetime of an SSR, which is a key component of a glass forming machine. The lifetime of an SSR is over when the current supplied to the relay is overcurrent (20 A or higher), and the operating time is 100,000 h or longer. Therefore, the life prediction device for the SSR was designed using DSP to accurately read the current and temperature values from the current and temperature sensors, respectively. The characteristic test of the manufactured non-contact relay life prediction device confirmed that the current and temperature were safely measured. Thus, the SSR lifetime prediction device developed in this study can be used to predict the lifetime of an SSR attached to a glass forming machine.

Keywords : Life Prediction Device(수명예측장치), Solid State Relay(무접점릴레이), Tempered Glass(강화유리), Edge Tempered Glass(에지강화유리), Glass Forming Machine(유리 성형기)

1. 서 론

휴대폰의 강화유리(덮게 유리)는 전체가 평면인 평면강화유리와 평면유리의 끝면을 곡면으로 구부린 에지강화유리로 구분할 수 있다. 에지강화유리는 두꺼운 평면유리를 기계장치를 이용하여 그라인딩하여 가공하여 제작하는 방법이 있다.[1,2] 이방법은 유리가 취성이 강해 가공 성공률이 매우 낮으므로 최근에는 활용하지 않는다. 최근에는 유리 성형기를 사용하여 비구면유리 및 에지강화유리를 제작한다.[3-12] 유리 성형기는 에지강화유리의 모형을 두 개의 상부와 하부 금형에 평면유리를 넣고, 상하 금형에 히터를 이용하여 열을 가하여 유리의 용융온도(800 ℃) 근처가 되었을 때 상부 금형의 윗면을 눌러 에지강화유리를 제작한다. 유리 성형기를 이용하여 에지강화유리를 제작할 때에는 성형기 내부의 온도가 실온보다 높게 된다. 이로 인해 유리 성형기의 핵심부품인 무접점릴레이(SSR : Solid State Relay)가 고장이 빈번하게 발생하게 된다. 다수의 무점접릴레이 중 1개라도 고장이 발생되면, 상부 및 하부 금형에 열이 균일하게 분포되지 않으므로 금형 안에 들어있는 평판강화유리가 균일하게 용융온도 근처로 유지되지 않으므로 원하는 에

Corresponding Author : gskim@gnu.ac.kr
Tel: +82-55-772-1745, Fax: +82-55-772-1749

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지강화유리를 제작할 수 없다. 그러므로 무접점릴레이의 고장이 발생되기 전에 수명을 예측하여 무접점릴레이를 교체할 필요가 있다.

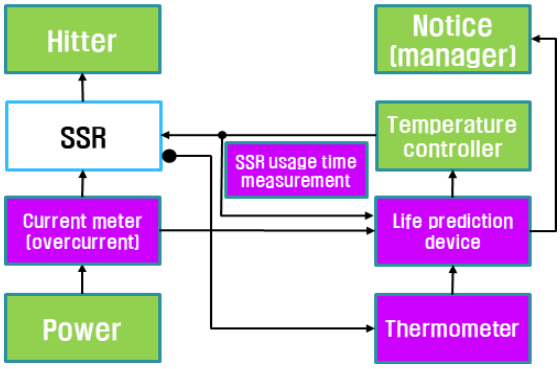
본 논문에서는 유리 성형기의 핵심부품인 무접점릴레이의 수명예측장치를 설계 및 제작하였다. 수명예측장치를 개념설계를 수행하였고, 이를 토대로 전자회로를 설계하였으며, PCB를 설계 및 제작하였다. 그리고 수명예측정치를 제작하였고, 이것을 유리 성형기에 부착하여 수명예측을 위한 특성실험을 실시하였다.

2. 무접점릴레이 수명예측장치 설계

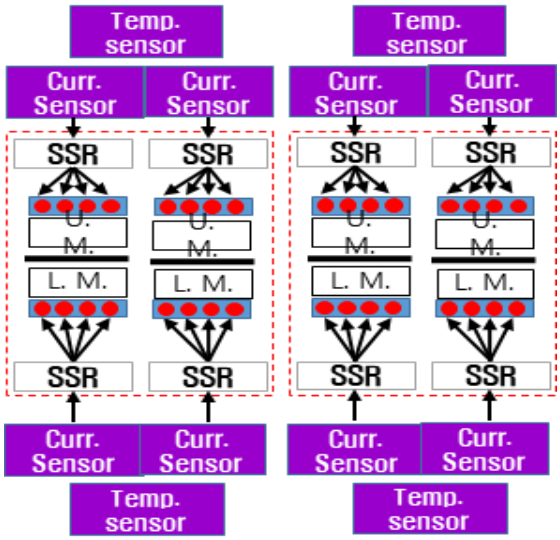
2.1 무접점릴레이의 수명예측장치의 원리

Fig. 1은 무접점릴레이(SSR)의 수명예측장치의 원리를 나타내고 있고, (a)는 수명예측장치의 블록도를 나타내고 있다. Fig. 1의 (a)에서 나타내는 것과 같이 수명예측장치는 수명예측장치(life prediction device), 전류측정기(current meter), 온도측정기(thermometer) 등으로 구성된다. 그리고 성형기의 온도공급장치는 히터(heater), 온도제어기(temperature controller), 전원 등으로 구성된다. 무접점릴레이의 수명예측은 첫째, 수명예측장치에서 전류센서를 이용하여 무접점릴레이로 공급되는 전류를 측정하여 과전류(20A 이상: 무접점릴레리이(SRH1)의 허용 전류(사양))인지를 측정하여 학인, 둘째, 무접점릴레이의 사용허용시간(100,000hour : 무접점릴레이의 사용허용시간(사양)) 인지를 무점점릴에이의 동작시간을 계산하여 확인하는 방식으로 수행한다. 그리고 온도측정기로 성형부 내부의 온도를 측정하여 무접접릴레이의 허용온도(70℃ 이상: 무접점릴레리이(SRH1)의 허용온도(사양)) 이상인지를 측정하여 유리 성형기의 전체를 점검한다.

Fig. 1의 (b)는 수명예측을 위한 성형부 내부와 각종 센서의 배치도를 각각 나타내고 있고, 유리 성형기의 내부는 상부금형(upper mold), 하부금형(lower mold), 히터(heater), 무접점릴레이(SSR), 평면강화유리(flat tempered glass) 등으로 구성되어 있다. 에지강화유리 성형은 편면강화유리를 상부금형과 하부금형 사이에 넣고 각 금형에 부착된 히터에 열을 가해 유리가 용융상태에 가까워 지면 상부금형에 압력을 가하는 방식으로 제작된다.



(a) Block diagram



(b) Layout

Fig. 1 Principle of SSR life prediction device

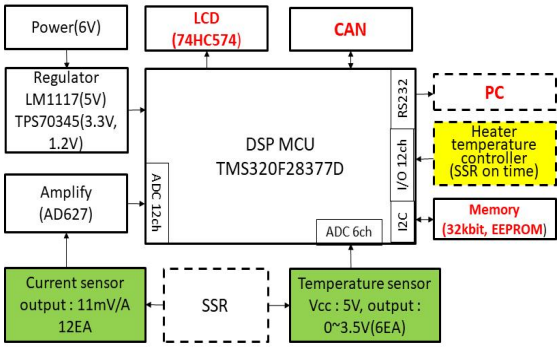


Fig. 2 Conceptual diagram of SSR

2.2 무점점릴레이 수명예측장치의 전자회로설계

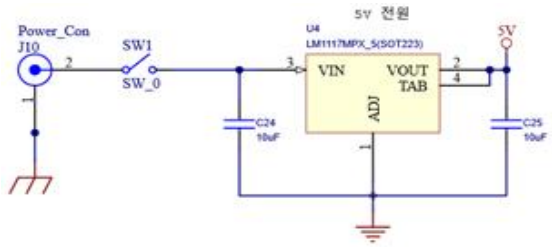
Fig. 2는 무접점릴레이의 수명예측정치의 개념도를 나타내고 있고, 이것은 전원(power), 레귤레이터(regulator), 증폭기(amplify), 마이크로프로세서(DSP: Digital Signal Processor), 메모리(memory), CAN (Controller Area Network)통신, 표시장치(LCD) 등으로 구성되며, 주변장치는 컴퓨터, 전류센서(current sensor), 무접점릴레이(SSR), 온도센서(temperature sensor), 히터 온도제어기(heater temperature controller) 등으로 구성된다. 전원은 배터리 6V이고, 이것을 레귤레이터로 보내면, 여기서 3.3V와 1.2V위 전원으로 다운시켜 각종 전자부품들에 공급한다. 전류센서는 무접점릴레이에 공급되는 전류를 측정하여 증폭기로 증폭한 후 DSP 내부의 아날로그/디지털변환기를 이용하여 DSP가 읽고, 이 값은 수명을 예측하는데 사용된다. 온도센서는 성형기 내부의 무접점릴레이 주위의 온도를 감지하고 이것을 아날로그/디지털 증폭기를 이용하여 DSP가 읽고, 이 온도값(70℃)은 성형기 내부 온도를 조절하는데 사용된다. 메모리는 무접점릴레이의 시간 데이터를 저장하고, CAN 통신은 유리 성형기의 예열부 및 냉각부의 수명예측장치와 연결하여 정보를 송수신하기 위해 사용된다. 컴퓨터는 RS232 통신을 통해 DSP가 가지고 있는 정보를 받아 모니터에 표시한다.

무접점릴레이의 수명예측은 전류측정센서로 읽은 과전류(20A)와 공급되는 전류를 측정하여 무접점렐리이를 동작되는 사용허용시간(100,000hours)을 계산하여 각각의 기준값을 기준으로 판단한다.

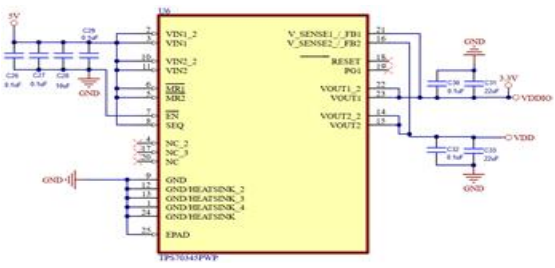
Fig. 3은 무접점릴레이의 수명예측정치의 전자회로도를 나타내고 있고, (a)는 전원회로(LM108518)이며, 이것은 3개의 커패시터, 스위치 등으로 구성되었다. 전원회로는 배터리로부터 6V의 전원 전압을 받아 5V의 안정된 전압으로 출력한다. 이 5V 전압은 여러 전자부품의 전원으로 사용될 뿐만 아니라 레귤레이터로 공급된다. Fig. 3의 (b)는 레귤레이터(TPS70345) 회로를 나타내고 있고, 이것은 커패시터로 주위 회로를 구성하였다. 레귤레이터는 5V원 전압을 공급받아 안전된 3.3V와 1.2V의 전압으로 변환하여 DSP 등의 여러 전자부품의 전원으로 공급한다.

Fig. 3의 (c)는 DSP(TMS320F28377D) 회로도를 나타내고 있고, 이것은 회로도가 너무 커서 4개 부분으로 나누어 나타냈으며, 커패시터와 다이오드 등으로 주위 회로를 구성하였다. DSP는 200MHz로 구동되되도록 외부에 크리스탈 등의 회로가 구성되며, 3.4V와 1.2V의 전압으로 구동된다. DSP는 내장되어 있는 증폭기(ADC : Analog to Digital Converter)를 이용하여 전류센서와 온도센서의 아날로그값을 디지털값으로 변환하여 읽고, I/O(Input/Output) 포트(port)를 이용하여 SSR을 제어하는 온도제어기의 동작시간을 읽는다. Fig. 3의 (d)는 메모리(AT24C32E) 회로도를 나타내고 있고, 이것은 저항으로 주위 회로를 구성하였으며, SSR 사용시간 등을 저장한다. Fig. 3의 (e)는 RS232 통산회로를 나타내고 있고, 이것은 저항과 커패시터로 쥐위 회로를 구성하였고, 컴퓨터로 측정된 데이터를 송신하는데 사용된다.

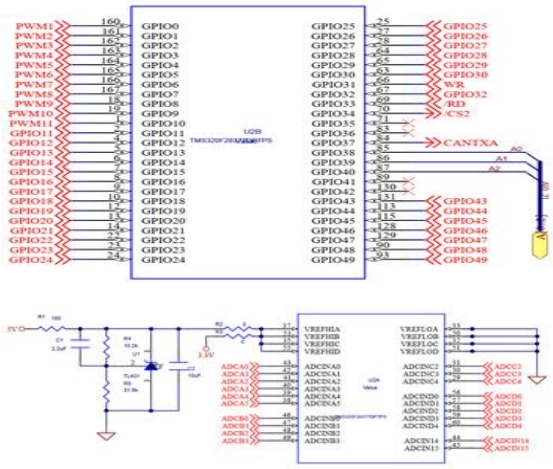
Fig. 4는 무접점릴레이 수명예측정치의 PCB 설계를 나타내고 있고, 이것은 총 4층으로 구성되었고, 1층과 4층은 각종 전자부품을 부착하고 그것들이 연결되는 신호선으로 사용되고, 2층은 5V, 3.3V, 1.2V 등의 전원선으로 사용되며, 3층은 접지선으로 사용된다. PCB의 크기는 200mm × 120mm이고, PCB를 시스템에 고정하기 위해 4개의 모서리에 각 변으로부터 5mm 떨어진 위치에 직경 3.2mm의 구멍(hole)을 뚫었다.



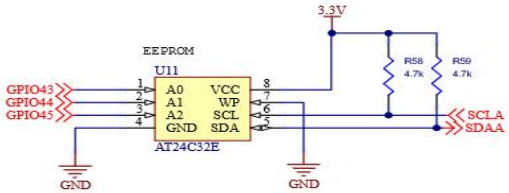
(a) Power circuit



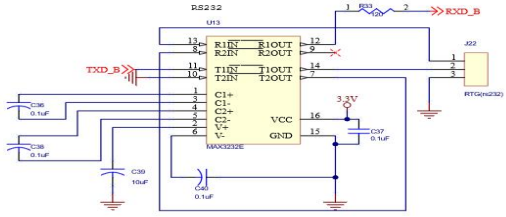
(b) Regulator circuit



(c) DSP circuit



(d) Memory circuit



(e) RS232 circuit

Fig. 3 Circuit of life prediction device of SSR

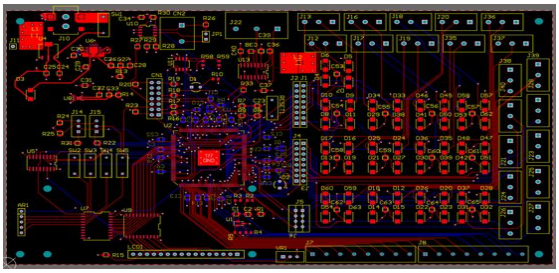


Fig. 4 PCB design of SSR life prediction device

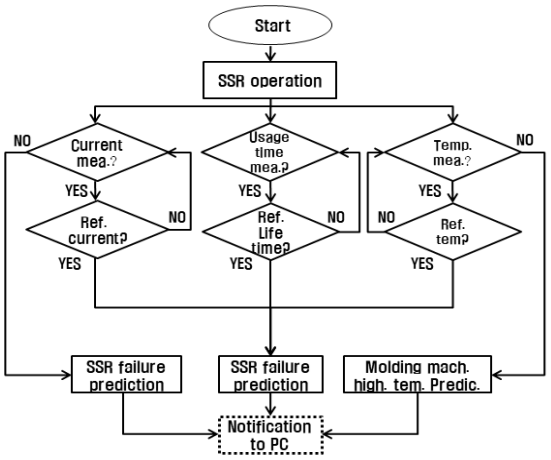


Fig. 5 Control flowchart of SSR life prediction device

2.3 무접점릴레이 수명예측장치의 프로그램제작

Fig. 5는 무접점릴레이 수명예측장치의 제어 흐름도를 나타내고 있고, 이것은 유리 성형기와 무접점릴레이를 동작시키고, 무접점릴레이의 공급전류, 무접점릴레이의 사용동작시간, 무접점릴레이 주위온도(성형기 내부 온도)를 각각 측정한다. 그리고 각 측정된 것들이 그것의 기준값을 기준으로 비교하여 기준값 이상일 경우에는 그 결과를 컴퓨터로 전송하여 담당자에게 알린다. 무접점릴레이의 수명예측 알림은 첫째, 무접점릴레이의 공급전류 측정값이 20A 이상일 때, 둘째, 무접점릴레이의 사용시간이 100,000시간 이상일 때이고, 유리 성형기 내부 온도조절이 필요함을 알릴 때는 측정온도 값이 70℃ 이상일 때이다.

3. 무접점릴레이 수명예측장치의 제작

Fig. 6은 제작한 무접점릴레이의 수명예측장치이고, 이것은 어뎁터 컨넥터, 제이테그(J-tag), 아날로그/디지털컨버터(ADC jumper), 캔 컨넥터(CAN connector), 시리얼통신 컨넥터(TS232 connector), 레귤레이터(TPS70345), 시리얼통신(RS232: FT232 RL), 다이오드(diode), DSP(TMS320F377D), 전류센서 및 온도센서 컨넥터(connector), 스위치, 고정핀 등으로 구성되었다. 무접점릴레이 수명예측장치는 어뎁터를 통해 직류 6V를 받아 정밀 레귤레이터로 5V, 3.3V, 1.2V로

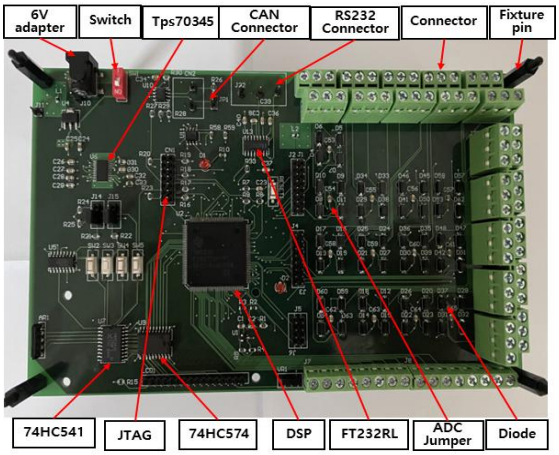
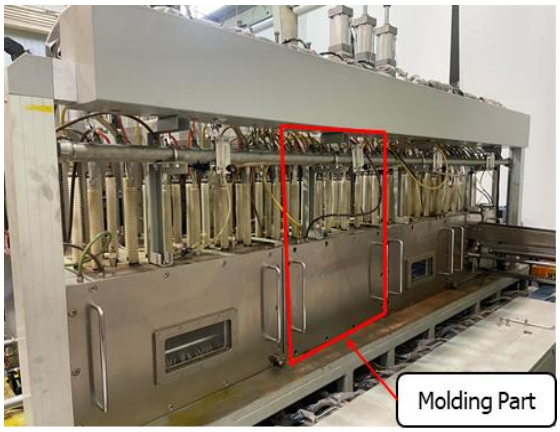


Fig. 6 Fabricated SSR life prediction device

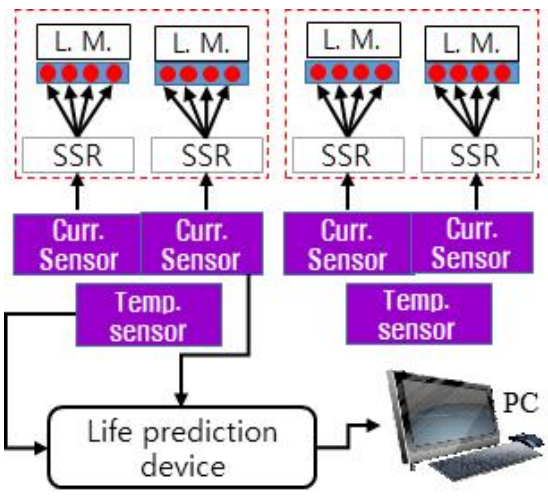
안정된 전압을 발생시켜 각 전자부품으로 전원전압으로 사용되고, 전류센서와 온도센서는 컨넥터와 연결되고 DSP에 내장되어 있는 아날로그/디지털 컨버터를 통해 DSP가 읽는다. 시리얼통신인 RS232는 컴퓨터와 연결되어 DSP의 측정정보 등을 컴퓨터에 보내고, 갠통신은 유리 성형기의 예열부와 냉각부의 수명예측장치와 연결되어 정보를 상호 교환할 때 사용된다. 제이테크는 수명예측을 위한 작성된 프로그램을 DSP에 저장할 때 사용된다.

4. 무접점릴레이 수명예측장치의 실험 및 고찰

Fig. 7은 무접점릴레이 실험장치의 개념도를 나타내고 있고, (a)는 유리 성형기의 성형부 외부를 나타내고 있다. 이것은 성형부 좌측과 우측에는 각각 예열부와 냉각부로 구성되었다. 예열부에서는 200℃ 정도로 평면강화유리를 예열하여 성형부로 이동시키고, 성형부에서는 800℃ 정도로 열을 올린 후 상부 피스톤으로 힘을 가해 에지간화유리를 성형하며, 냉박부에서 냉각시킨다. 성형부의 온도를 높게 올려야 하므로 무접점릴레이의 동작시간이 매우 많으므로 성형부에 설치된 무접점릴레이가 고장이 많이 발생되므로 수명예측을 실시하고자 한다. Fig. 7의 (b)는 무접점릴레이 실험장치의 개념도를 나타내고 있고, 이것은 무접점릴레이 수명예측장치, 무접점릴레이(SSR: SRH1),



(a) Molding machine



(b) Conceptual diagram

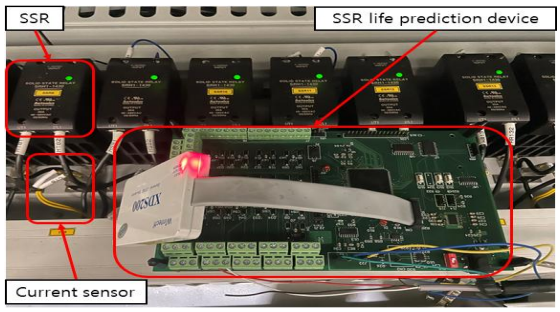
Fig. 7 Conceptual diagram of experimental equipment of SSR life prediction device

전류센서(E54- CT1), 온도센서(HIH-4000-001), 컴퓨터 등으로 구성된다. 전류센서는 무접점릴레이에 공급되는 전선에 설치하여 전류를 측정하고, 온도센서는 무접점릴레이 주위에 설치하여 온도를 측정하며, 측정된 전류와 온도는 무접점릴레이 수명예측장치에 보내지고, 수명예측장치는 아날로그/ 디지털 변환기를 이용하여 읽으며, 동작시간은 전류를 측정하였을 때 무접점릴레이가 동작될 때의 시간을 누적 계산한다.

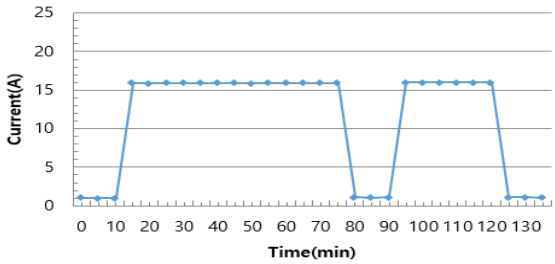
그리고 무접점릴레이의 측정된 전류값이 20A 이상이거나, 무접점릴리를 사용한 총 동작시간이 100,000

시간 이상일 경우에 수명이 95% 이상되었다고 예측하고, 이것을 무접점릴레이의 교체시기로 결정한다. 또한, 온도측정값이 70℃ 이상일 경우에는 유리 성형기 전체를 점검한다.

Fig. 8은 무접점릴레이 수명예측장치의 전류측정 실험을 나타내고 있고, (a)는 전류측정 실험장치를 나타내고 있으며, 이것은 무접점릴레이(SSR), 전류센서, 무접점릴레이 수명예측장치 등으로 구성되었다. 무접점릴레이의 전류는 유리 성형기를 동작시켜 무접점릴레이가 동작되도록 하고, 전류센서와 무접점렐레이 수명예측장치를 이용하여 측정하였다. Fig. 8의 (b)는 무접점릴레이의 전류측정 결과를 나타내고 있고, 초기 10분정도는 무접점릴레이가 동작되지 않고, 즉, 상부 및 하부 히터를 가동하지 않아 약 1A 이하의 낮은 전류가 측정되었다. 이것은 무접점릴레이가 동작하기 위한 가본 전류이다. 그 이후 약 60분정도 16A정도로 유지된 것은 금형 내부에 있는 평면강화유리에 열을 가하기 위해 히터가 가동되었을 때이고, 다시 10분 정도 1A 이하로 유지된 것은 유지강화유리 성형을 마치고 냉각부로 이동되는 시간이며, 약 30분 정도 16A 정도로 유지된 것은 두 번째 평면강화유리에 열을 가하는 시간이고, 첫 번째보다 시간이 단축된 것은 금형 등에 열이 가해져 있는 상태이기 때문이다. 유리 성형기는 히터가 가동되어 열을 평면유리에 전달하는데 히터를 가열하기 위해서는 무접점릴레이에 전류가 공급되어야 하며, 이 전류가 20A 이상의 과전류일 때 무접점릴레이의 수명이 95% 이상 진행되었다고 판단하고 교체시기로 결정한다. 그리고 무접점릴레이의 사용동작시간은 전류가 16A 정도로 유지된 시간을 누적으로 계산하여 100,000시간 이상이 되었을 때 무접점릴레이의 수명이 95% 이상이 되었다고 판단하여 교체시기로 결정한다. 무접점릴레이의 사용동작시간은 유리 성형기 구동시 에너지가 많이 소요되므로 장시간 수행할 수 없어 실험할 수 없었다. Fig. 9는 무접점릴레이 수명예측장치의 온도측정실험을 나타내고 있고, (a)는 온도측정 실험장치를 나타내고 있으며, 이것은 무접점릴레이(SSR), 온도센서, 무접점릴레이 수명예측장치 등으로 구성되었다. 무접점릴레이의 온도는 유리 성형기를 동작시키고, 온도센서와 무접점렐레이 수명예측장치를 이용하여 측정하였다. Fig. 9의 (b)는 무접점릴레이의

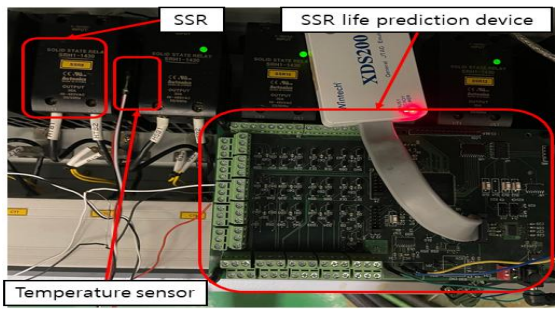


(a) Experimental equipment

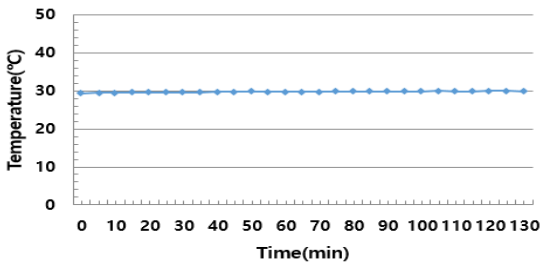


(b) Result of current measurement

Fig. 8 Current measurement experiment of SSR life prediction device



(a) Experimental equipment



(b) Result of temperature measurement

Fig. 9 Temperature measurement experiment of SSR life prediction device

온도측정 결과를 나타내고 있고, 측정온도는 약 30℃ 정도를 유지하고 있으며, 이 온도는 무접점릴레이의 허용온도 80℃보다 매우 낮게 유지되고 있다. 측정온도가 70℃ 이상일 경우에는 유리 성형기 전체를 점검하여 온도 상승원인을 분석하여 조치한다.

5. 결론

본 논문에서는 유리 성형기의 무접점릴레이의 수명예측장치를 설계 및 제작하였다. 제작한 무접점릴레이 수명예측정치를 특성실험한 결과, 첫째, 유리 성형기의 히터가 가동될 때 전류측정은 16A 정도로 안정되게 측정되었고, 이 때의 무접점릴레이의 사용동작시간을 계산할 수 있었다. 그리고 온도 측정실험 결과는 30℃ 정도로 매우 안정되게 측정됨을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문에서 개발한 무접점릴레이 수명예측장치는 유리 성형기로 에지강화유리를 성형 생산할 때 실제 생산라인에서 성형기의 핵심부품인 무접점릴레이의 수명을 예측하고 성형기 내부의 온도를 측정하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

"이 논문은 산업통상자원부 · 중소벤처기업부의 '월드클래스 300 기술개발 지원사업'의 지원을 받아 연구되었음. (No. S2563256)."

REFERENCES

1. Baek, S. Y., Lee, H. D., Kim, S. C. and Lee, E. S., "Development of intelligent grinding system for aspherical surface machining," The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 1099-1104, 2004.
2. Suzuki, H., Kodera, S., Maekawa, S., Morita, N., Sakurai, E., Tanaka, T., Takeda, H., Kuriyagawa, T., and Shoji, K., "Study on precision Grinding of Micro Aspherical Surface," Journal of the Japan society for precision engineering, Vol. 64, No. 4, pp. 619~623, 1998.
3. Kim, J. K., Choi, Y. S., Ahn, J. H., Son, B. R. and Hwang, Y. K., "Compression Molding of Diffractive-Aspheric Lense Using Chalcogenide Glasses," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 6, pp. 43-48, 2020.
4. Yoo, S. M. and Kim, H. J., "Experimental Study of the Aspheric-plano Lens Fabrication using Compression Glass Molding," Transactions on Electrical and Electronic Materials, Vol. 9, No. 6, pp. 237-242, 2008.
5. Kim, H. J., Cha, D. H., Lee, J. G., Kim, S. S. and Kim, J. H., "A Study on Pressing Conditions in the molding of Aspheric Glass Lenses for Phone Camera Module using Design of Experiments," Journal of the Korean institute of electronic material engineers, Vol. 20 No. 8, pp. 720-725, 2007.
6. Seong, M. R. and Kim, H. Y., "Experimental Study of the Aspheric-plano Lens Fabrication using Compression Glass Molding," Transactions on Electrical and Electronic Materials, Vol. 19, No. 6, pp. 237-242, 2008.
7. Lu, X. and Kim, L. S., "A statistical experimental study of the injection molding of optical lenses," Vol. 113, PP. 955, 2005.
8. Kim, H. J., Cha, D. H., Lee, J. K., Kim, S. S. and Kim, J. H., "A study on pressing conditions in the molding of aspheric glass lenses for phone camera module using design of experiments," J. of KIEEME(in Korean), Vol. 20, No. 8, P. 720, 2007.
9. Kamano, T. and Katsuki, M., "Compensation technology of glass molding accuracy," inMedical Imaging 2003, Dev. P. Chakraborty and E. A. Krupinski, eds., Proc. SPIE TD02, pp. 4-6, 2003.
10. Kim, H. U., Cha, D. H., Kim, H. J. and Kim, J. H., "Rhenium-Iridium Coating Effect of Tungsten Carbide Mold for Aspheric Glass Lens," International journal of precision engineering and manufacturing, Vol. 10 No. 3, pp. 19-23, 2009.
11. Kim, H. O., Cha, D. H., Lee, D. G., Kim, S. S., Kim, J. H. and Jong, S. W., "Optical Properties of

Aspheric Glass Lens using DLC Coated Molding Core," Korean journal of optics and photonics Vol. 18 No. 5, pp. 362-366, 2007.

12. Zu, Y. S. and Lin, S. T., "Optimizing the mechanical properties of injection molded W-4.9 % Ni-2.1 % Fe in Debinding," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 71, pp. 337, 1997.