

PTCR을 이용한 3-D Glass 열성형 금형의 내부 온도 측정에 관한 연구

이호순*, 안해원*, 김시균*, 김기만**, 최성대**,#

*삼성전자 무선사업부, **금오공과대학교 기계시스템공학과

Study of Mold Internal Temperature Measurement Using PTCR for 3-D Glass Heat Forming

Ho-Soon Lee*, Hae-Won Ahn*, Si-Gyun Kim*, Gi-Man Kim** and Seong-Dae Choi**,#

*Samsung Electronics, Mobile Div.,

**Department of Mechanical Engineering, Kumoh Institute of Technology

(Received 30 November 2017; received in revised form 5 December 2017; accepted 8 December 2017)

ABSTRACT

In order to make 3-D glass from 2-D glass for mobile device windows, a mold is used for heat forming. In this process, the temperature of the glass is very important. However, measuring the temperature of the glass inside the mold is very difficult owing to the mold structure and the high temperature. The purpose of this study is to measure the temperature inside the mold by using Process Temperature Control Rings (PTCR) and to compensate for temperature differences in the heat forming machine and inside the mold. The measuring method uses the ceramic material's shrinkage characteristics, which makes it possible to measure the temperature inside the mold at various locations.

Key Words : PTCR(Process Temperature Control Rings), Heat Forming(열성형), 3-D Glass(3차원 유리), Relative Temperature(상대온도), Shrinkage Rate(수축률), Mold(금형)

1. 서 론

3-D Glass 열성형기는 고온에서 작동을 하고, Glass 열성형을 위해서 금형을 사용하고 있다.^[1,2] 금형을 사용하는 공법으로 인하여 실제 열성형 중 3-D Glass에 가해지는 온도를 측정하는 것이 난해하였다.

통상적인 온도 측정 방법^[3]으로는 접촉식 TC(Thermocouple)^[4]를 사용하여 내측을 통하여 TC

투입 후 금형 외부 접촉을 하는 방법과 비접촉식인 적외선^[5]으로 금형의 외부를 측정하는 방법 등이 대표적으로 사용되고 있다. 상기와 같이 적외선 온도 측정과 접촉식 TC를 활용한 온도 측정 시 금형 외부의 온도는 측정이 가능하였지만, 금형 내부의 온도를 측정하는 것은 불가능하였다. 또한, 적외선 투과 시 퍼짐 현상, 측정 위치 불일치, 대상물과 온도계 사이에 장애물^[6,7] 등의 문제점과 TC를 투입할 경우 Window를 투과하는 것으로 인한 온도 변화와 같은 변수로 인하여 정확한 온도 측정이 실제적으로 어려웠다.

그러나 3-D Glass 열성형을 균일하게 진행을 하

Corresponding Author : sdchoi@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7396, Fax: +82-54-478-7319

기 위해서는 내부 온도 분포를 확인하는 것이 매우 중요하였고, 금형 각 위치별로 온도도 함께 측정이 필요하였다.

본 연구에서는 금형 내부 각 지점의 온도 측정을 위하여 내부에 투입이 가능한 온도 측정 소재를 파악하고, 그 소재를 활용한 온도 측정을 진행하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에 활용된 온도 측정 소재는 세라믹 소재를 적용하였으며, 3-D Glass 열성형 공정 진행 시 쉽게 활용이 가능한 소재를 활용하였다.

2. 실험방법

2.1 온도측정

본 연구에 사용한 온도센서는 세라믹 소재로 PTCR^[8] (Process Temperature Control Rings) 이며, Ferro사가 개발한 소재이며, 일반적으로 전기로 (Electric Furnace)의 온도를 측정^[9,10]하는데 널리 사용이 되고 있다.

PTCR의 동작 원리는 세라믹 소재가 열을 받았을 때 자연스럽게 수축을 하는 성질을 이용하였다. 지르코니아(ZrO2)와 같은 일반적인 세라믹은 성형 시 상태에 따라 수축률이 영향을 받게 된다.

본 실험에 사용하는 PTCR은 온도 측정을 목적으로 측정을 하고자 하는 온도에서 일정 시간 유지 시 균일한 수축량을 가지도록 설계 및 제작이 되었으며, 그 수축량에 따라 외경-온도 Conversion^[11] 이 가능하도록 되어있다. PTCR을 사용하여 측정되는 온도는 절대온도가 아닌 상대온도로, 공정을 균일하게 관리를 하는 것이 주목적으로 사용되고 있다. 본 시험 시 평가에 적용한 PTCR은 Table 1에 명기된 제품 중 저온에서 사용이 가능한 PTCR-UTH^[12] 제품을 사용하였다.

Table 1 PTCR grade of temperature range

Product name	Temperature range
PTCR-UTH	600 - 900 °C
PTCR-ETH	850 - 1100 °C
PTCR-LTH	970 - 1250 °C
PTCR-STH	1130 - 1400 °C
PTCR-MTH	1340 - 1520 °C

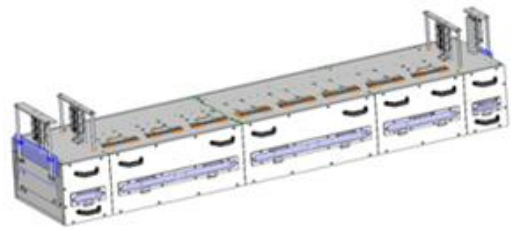


Fig. 1 Heat forming machine zone

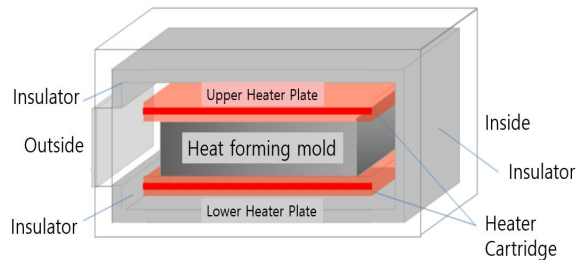


Fig. 2 Structure of heat forming mold

본 실험에 사용된 열성형 장비^[13-16]는 Fig. 1과 같이 삼성전자에서 사용하는 3-D Glass 제조용 열성형장비이며, 장비 구성은 Preheating Zone, Main Zone, Cooling Zone의 3구간으로 구성이 되어있다.

3-D Glass의 열성형에서 평판 Glass의 형태를 3-D 형태로 성형하기 위하여 온도 관리가 가장 중요한 Zone은 Main Zone으로, 본 실험 시 온도 측정은 Main Zone 구간에서 실험을 실시하였다.

열성형기 내부는 Fig. 2와 같이 Upper Heater Plate, Lower Heater Plate, 열성형금형, Heater Plate 내부에 Heater Cartridge가 위치하고 있으며, 외측으로는 Glass의 이송과 열성형 진행 확인 등의 목적으로 Window Glass를 부착하였으며, 내부는 단열재를 부착하여 열손실을 막는 구조로 되어있다. Heater Cartridge는 Heater Plate 내부에서 이동이 가능한 구조로 Fig. 2의 구조에서 Heater Cartridge를 Heater Plate 내 함몰형태로 비돌출하는 형태와, 외측으로 원하는 거리만큼 돌출이 가능하도록 되어있다. 본 실험에 사용된 금형 구조는 Fig. 3과 같이 삼성전자 휴대폰에 사용된 3-D Glass 금형이며, 소재는 열전달 효율이 좋도록 높은 열전도율을 가지는 소재를 사용하였고, 열성형을 단층으로 하는 구

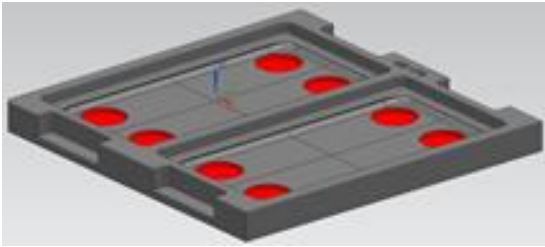


Fig. 3 3-D glass heat forming mold modeling



Fig. 4 Actual test specimen

조를 적용하였다. 온도 측정 지점은 3-D Glass 열성형 시 실제 Glass의 전반적인 온도를 파악하기 위하여, Glass 형태 기준으로 좌/우/상/하 4 지점에 PTCR을 안착 지점을 내부 가공하였으며, 2 Cavity 금형이므로 총 8 지점을 가공하였다.

Fig. 4에 실제 Test 시 활용한 금형 형상과 PTCR 안착된 구조에 대해서 기술을 하였다. 열성형기 내측 좌측부터 1~4, 외측 좌측부터 5~8 순으로 배치를 하였다.

2.2 온도 측정 조건

온도 측정을 위하여 세라믹 소재(이하 PTCR)가 자유롭게 수축을 할 수 있는 환경을 만들어 주었다. 즉, 수축 시 PTCR이 금형에 안착되는 지점에서 하측 금형과 PTCR과의 마찰로 인하여 수축률 차이가 발생할 수 있으므로, 마찰력을 줄여주는 작업을 하였다. 금형 내부 PTCR 안착부 가공 지점은 가공 표면에서 마찰력을 줄여주는 윤활역할을 하는 파우더가 소량 잔존할 수 있도록 표면 조도를 가지도록 하였다.

측정하고자 하는 온도에서 PTCR을 안착한 금형의 유지 시간은 PTCR의 일반적인 사용 조건인 60분을 유지시켰으며, 60분 경과 후 추가적인 수축을

방지하기 위하여 강제 냉각을 실시하였다.

본 실험에서 열성형기의 열성형 조건은 N₂분위기이므로 PTCR이 자유로이 수축을 할 수 없는 분위기로 구축이 되었다. PTCR은 일반 대기, 진공 조건 등 다양한 환경에서 원소재 그대로 사용이 가능하나, N₂ 분위기에서는 내부에 존재하는 유기바인더가 제대로 휘발을 하지 않음으로 인하여 원하는 온도 측정이 어려운 상황이다. 따라서 정확한 온도 측정을 위하여 사전 탈지 (Pre-Firing) 공정을 통하여 유기바인더를 사전에 제거를 하는 공정을 추가하였다. 본 실험 진행 전 실행한 탈지 조건은 일반 대기 분위기 하에서 550°C 온도 조건으로 30분 유지 후 자연 냉각을 시켰다.

2.3 PTCR 온도 측정의 재현성 확인

열성형기 내에서의 온도 측정을 위하여 밀폐된 금형 내에 PTCR을 투입하여 온도를 측정하는 것은 처음 시도하는 방법이어서, PTCR이 실제 제대로 상대 온도를 표현하는지를 확인하기 위하여, 동일 장비, 동일 금형, 동일 평가 조건에서 총 4회 온도 측정을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열성형 금형의 온도분포

금형 내부 온도 측정 결과는 총 3대의 장비에 대해서 평가를 진행을 하였으며, 평가 시 장비의 온도 및 기타 조건은 Setting Temperature는 750°C이며, 측정 Zone 좌/우 온도 Setting은 750°C로 유지하고 Heater Cartridge 온도는 Zone별 동일 온도로 유지하고 PTCR 투입 후 유지시간은 60분으로 하며, Heater Cartridge 위치는 장비 #1에서는 Heater Plate 에서 6mm 돌출하고, 장비 #2/#3에서는 Heater Plate 에서 미돌출 하였으며, 측정 반복 횟수는 장비별 2회를 실시하였다.

본 실험에서는 온도 측정을 위한 세부 장비 조건 설정 항목 중 Heater Cartridge Design, Heater Plate Design, Heater Cartridge 구간별 온도 셋팅 등을 모두 동일하게 적용하였으며, 각각의 설정 조건에 대해서는 세부적으로 기술을 하지 않았다.

Table 2에 각각의 평가에 대한 PTCR의 수축된 직경을 측정하였으며, PTCR 직경에 대한 상대온도는 Conversion Table을 활용하여 상대온도로 환산을 한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

3.2 장비 내측, 외측의 온도 차이

장비 내측(1, 2, 3 4번 지점)과 외측(5, 6, 7, 8번 지점)의 온도 차이는 5°C~15°C 분포를 가지며, 내측의 온도가 외측 온도 대비 높게 분포하고 있다. 또한, 장비 내측과 외측의 온도 차이는 장비별로 차이를 보이고 있다. Fig. 5에 나타난 것처럼 Equipment #1의 경우는 5°C 정도의 온도 차이를 보이고 있는 반면, Equipment #2, Equipment#3의 경우는 15°C 정도로 큰 온도 차이를 보이고 있다.

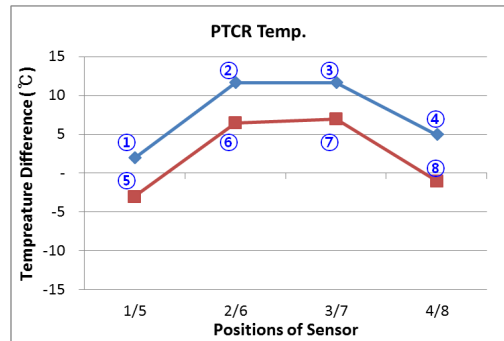
3.3 금형 중앙부와 외곽부의 온도 차이

금형 좌우측(1, 4, 5, 8번 지점)과 중앙부(2, 3, 6, 7번 지점)의 온도 차이가 발생을 하고 있으며, 좌우측 지점의 온도가 중앙부 대비 약 10°C정도 낮게 분포를 하고 있다.

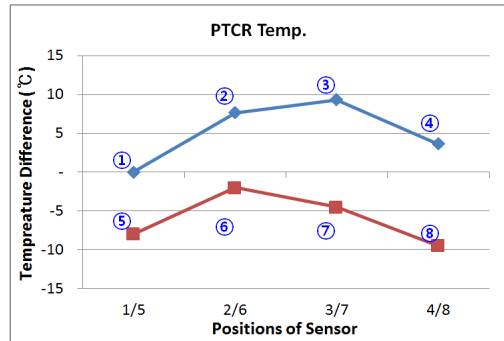
3.2절과 같이 내측/외측 온도 편차가 나는 현상은 열성형기 내부 구조에서 그 원인을 찾아볼 수가 있었다. Fig. 2와 같이 열성형기는 열손실을 방지하기 위하여 단열재로 최대한 둘러싸고 있는 구조로 되어있다. 하지만, 제품 투입 및 열성형 등과 같은 진행 현황을 관측하기 위한 외측부분 Window Glass 부분은 단열재가 부착되어 있지 않아서 단열재로 사방이 둘러싸인 내측 대비 열손실이 많이 발생을 하는 구조로 되어있다. 이러한 장비 구조적인 측면에서 내측과 외측의 온도 편차가 발생하는 것으로 볼 수 있다.

이러한 장비 구조적인 원인으로 인하여 발생하는 내측과 외측의 온도 차이를 줄이기 위하여, 본 실험에서는 Heater Plate와 Heater Cartridge의 위치 보정을 하는 방법으로 접근을 하였다. 초기에 장비에 대한 구조적인 분석을 진행하였고, 평가 시 Heater Cartridge 함몰 구조, 돌출 구조 2가지 구조로 평가를 진행하였다.

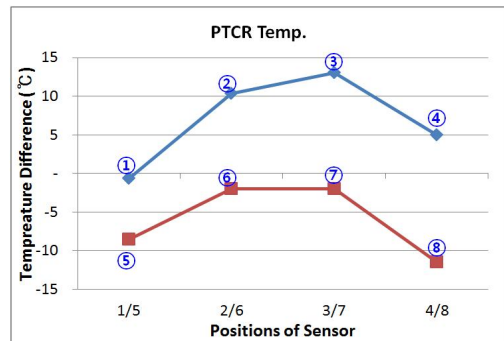
Heater Cartridge 위치 보정을 하는 방식은 Fig. 6.b)에서 표현한 것처럼 Heater Cartridge를 Heater



(a) Equipment #1



(b) Equipment #2



(c) Equipment #3

Fig. 5 Distribution of temperature in mold

Plate에서 외측으로 6mm 이동을 시켰다. 초기 열성형기 내부 Heater Plate와 Heater Cartridge 위치는 Fig. 6 a)와 같이 Heater Cartridge가 Plate 내부에 함몰되는 구조로 되어있었다.

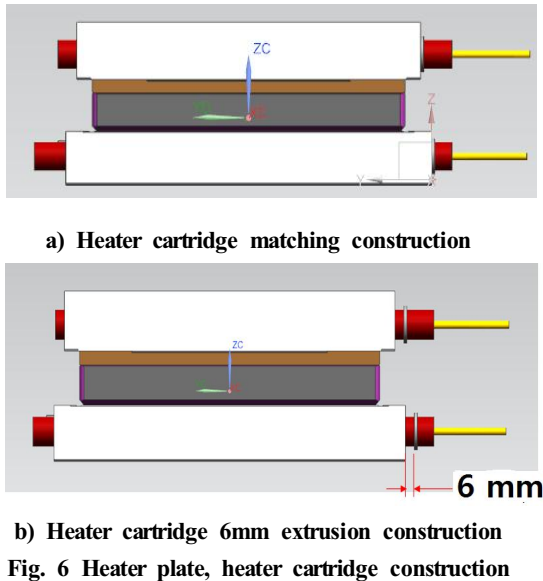


Fig. 6 Heater plate, heater cartridge construction

Heater Cartridge를 외측으로 이동시킴으로 인하여 기대하는 효과는 외측을 더 많이 가열시킴으로 인하여 외측에서 발생하는 열손실의 보상을 하고, 결과적으로 내측과 외측의 온도가 균일하게 분포토록 하는 기능을 하도록 하였다.

장비 #1은 Fig. 6 b)와 같이 6mm만큼 Heater Cartridge를 돌출시켰으며, Equipment #2, Equipment #3은 Fig. 6 a)와 같이 Heater Cartridge를 Heater Plate에서 돌출을 시키지 않은 내부에 전체가 장착된 상태로 평가를 하였다. 평가 결과는 Fig. 5에 나타나 있는 것처럼 Equipment #1은 5°C, Equipment #2, Equipment #3은 10~15°C 수준을 가지고 있다. 결과적으로 Heater Cartridge 이동을 통한 외측 온도 조절이 가능하였다.

금형 중앙부 대비 외곽부 온도가 낮은 현상은 열이 금형에 전달되는 방식에서 이유를 찾아볼 수 있다. 열이 금형의 좌우측 (1, 4, 5, 8번 지점)과 중앙부 (2, 3, 6, 7번 지점)에 전달되는 방식은 전도, 대류의 2가지 방식 중; 금형 중앙부는 전도의 형태로 전달이 되고 있으며, 금형의 좌우측부는 전도와 함께 복사열로도 함께 전달이 되고 있는 것으로 정의가 될 수 있으며, 열전달 Mechanism에 있어서 다소 차이를 보이고 있다. Fig. 6에 나타나있는 것처럼 금형 중앙부는 상/하 Heater Plate와 접촉을 통한

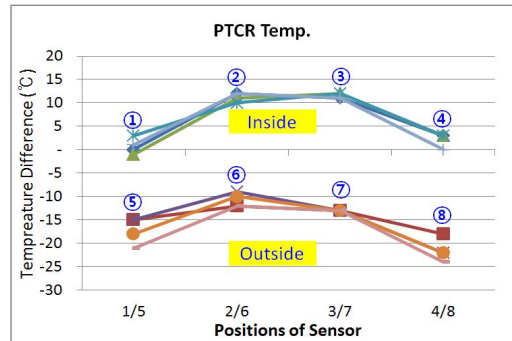


Fig. 7 Repeatability test result

전도방식이 주를 이루고 있고, 좌우측의 경우는 측면이 열린 상태로 전도를 통한 열전달과 복사를 통한 열전달이 되는 구조로 되어있다. 즉, 좌우측 측면에서는 하단부 Heater Plate와 접촉을 하지 않는 부분이 있어서 복사를 통한 열전달의 효율이 중앙부 대비 효율성이 떨어지는 경향을 나타내었다. 결과적으로 하부 Heater Plate를 동일한 온도로 가열할 경우 좌우측의 온도가 중앙부 대비 낮은 결과를 나타내었다.

3.4 PTCR 온도 측정 재현성 평가 결과

본 연구에서 실험의 재현성이 정확하게 나오는지 확인을 위하여 Setting Temperature는 750°C로 하고, 유지시간을 60분이며, 측정 Zone 좌/우 온도 Setting은 750°C, Heater Cartridge 온도는 Zone별 동일 온도로 하였으며, Heater Cartridge 위치는 미들출로 하며, 측정 반복 횟수는 장비 당 4회씩으로 평가를 진행하였다.

PTCR 자체적으로 가지고 있는 온도 편차와 장비 자체가 가지고 있는 온도 편차를 고려할 시 +/-5°C 수준의 오차를 가지고 있을 것으로 판단되며, 재현성의 판단기준은 +/- 5°C 수준으로 판단을 하였다. 금형 기준으로 좌/우측 온도 편차는 전도 외 복사에 의한 열전달이 있으며, 중간부위 대비 온도 편차가 클 것으로 판단하였다.

재현성 평가를 위한 총 4회의 평가를 진행하였으며, Fig. 7에 나타난 결과와 같이 내측/외측 모두 +/-2~3°C 수준이 온도편차를 보였으며, 특히 내측은 +/-2°C 수준의 온도 편차를 보였다. 하기 결과로 판

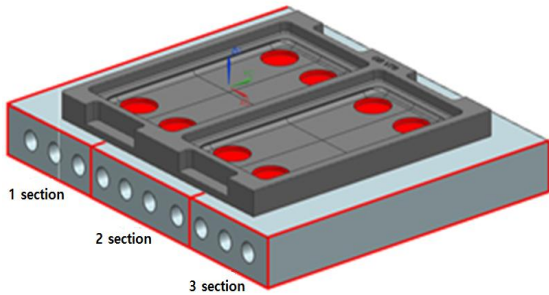


Fig. 8 Improvement test condition

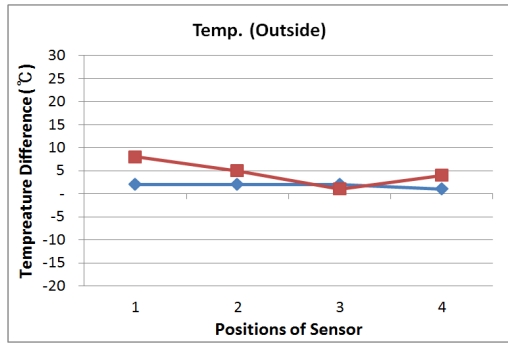


Fig. 9 Temperature results after heater cartridge modification

단 시 PTCR의 금형내 온도에 대한 측정 방법과 결과는 재현성이 있는 것으로 판단되었다.

3.5 금형 좌/우측, 중앙부 온도 구배 개선

온도 편차 개선을 위하여 Fig. 8과 같이 Heater Cartridge 중앙부 2구간을 좌우측 Heater Cartridge 1구간, 3구간 대비 15~25°C 저온으로 내려서 평가를 진행하였다. 외부 Heater Plate 온도를 높게 설정함으로써 인하여 금형 내부 전체적인 온도 균형이 맞도록 하였다. 즉, 1구간, 3구간 온도를 750°C로 설정 시 2구간은 725°C~735°C 범위의 온도분포를 가지도록 설정을 하였다.

평가 결과 금형 좌/우/중간 부위가 최대 5°C미만의 온도 편차를 얻게 되었다. Heater Cartridge 구간별 온도 차별화를 통한 평가 결과에 따른 PTCR 외경 측정 결과 및 온도 환산 결과에 따른 온도 결과는 Fig. 9에 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 3-D Glass를 만들기 위한 제조 공정 중 열성형 공정에 대하여 중요한 변수인 금형 내부 온도 분포를 파악하기 위한 평가를 진행하였으며, 기존 공법으로 측정이 어려운 부분을 PTCR이라는 새로운 방식을 적용하여 금형 내부 열분포를 확인한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 온도 측정 결과 외측과 내부 온도 차이는 최고 25°C까지 차이가 있음을 확인하였다.
- 2) 온도 분포 관리를 위해 Heater Cartridge 조건 최적화를 통한 Data 확보를 하였다. Heater Cartridge 위치 조정을 내측과 외측의 온도편차를 최소화하는 것이 가능하였으며, Heater Plate 내 Heater Cartridge 온도 설정값을 #1, #2, #3 다르게 함으로써 금형 내부 좌/우/중간 균일한 온도 편차를 얻는 것이 가능하였다.
- 3) 금번 평가는 3-D Glass 열성형 시 사용하는 금형 중 단층 금형 내부에 대한 온도 분포를 확인한 것이며, 향후 적층 금형에 대한 온도 분포를 확인하겠다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술지원 2017년도 국내 연구년 결과입니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lee, J. K., "Study on Optimization for Heating System of Sequential Feed-Type Mobile Smart Device Cover Glass Molding Machinen", Journal of the KSMPE, Vol. 14, No 5, pp. 75~80, 2015.
2. Han, S. R., "Improvement of Insert Molding for Refrigerator Glass Shelves Using Numerical Analysis", Journal of the KSMPE, Vol. 15, No 6, pp. 50~57, 2016.
3. "Temperature Measurement,"(2006)

- <https://web.mst.edu>(accessed 3, Dec., 2017)
4. Jeong, Y. T., "Temperature Measurement Technology(2)," C&I, May, pp. 55~65, 2014.
 5. Jeong, Y. T., "Temperature Measurement Technology(4)," C&I, July, pp. 76~89, 2014.
 6. Jeong, Y. T., "Temperature Measurement Technology(5)," C&I, August, pp. 67~77, 2014.
 7. Ruben, Usamentiaga., Pablo, Venegas., Jon, Guerediaga., Laura, Vega., Julio, Molleda. and Francisco G, Bulnes., "Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing," Sensors, 14(7), pp. 12305-12348, 2014.
 8. Ferro., "Process Temperature Control Rings (PTCR), Technical Information," Technical information of Ferro, IS04, pp. 2-4, 2012.
 9. Herbert, Danninger., Chen, Xu., Christian, Gierl., A, Avakemian. and M. Ch, Huemer., "In-Situ Characterizaion of the Sintering Process Through Process-Temperature Control Rings," Powder Metallurgy Process, Vol. 12, No 3, pp. 168~180, 2012.
 10. Herbert, Danninger., Chen, Xu. and Christian, Gierl., "Process-Temperature Control Rings as a Tool for Characterization of the Sintering Process," The European Metallurgy Association, Vol. 3, Issue 2, pp. 181~186, 2007.
 11. Ferro., "Process Temperature Control Rings (PTCR), Technical Information," Technical information of Ferro, IS05, pp. 3-4, 2012.
 12. Ferro., "Process Temperature Control Rings (PTCR), Technical Information," Technical information of Ferro, IS07, pp. 1, 2016.
 13. Shin, G. C. and Jung, J. H., "Method for Measuring Temperature Gradient of Chamber Using PTCR," KR20100077037A, KIPO, Republic of Korea, 2010.
 14. Jung, S. J., Min, D. O., Yea, J. S., Lee. J. D., Jang, S. J. and Choi, K. S., "Apparatus for Forming Glass Curve and Method using the Same," KR20150079682A, KIPO, Republic of Korea, 2015.
 15. Yea, J. S., Jung, S. J., Kang, K. R., Min, D. O., Seo, I. Y. and Jang, S. J., "Forming Machine of Glass," KR20150102880A, KIPO, Republic of Korea, 2015.
 16. Kim, Y. H., Kim, K. S., Park, J. K., Uh, S. C., Yeom, D. W., Jung, S. H., Jung, W. S., Jung, H. C., Jo, Y. K. and Chae, H. I., "Method and Apparatus For Forming Glass Curve By Laser Local Heating," KR20150098282A, KIPO, Republic of Korea, 2015.