

Mobile Smart Device Cover Glass 성형기기의 가열시스템 열해석에 관한 연구

신환준*, 이준경#

(#, * 경남대학교 기계공학부)

Study on Thermal Analysis for Heating System of Mobile Smart Device Cover Glass Molding Machine

Hwan June Shin*, Jun Kyoung Lee#

(Received 16 May 2014; received in revised form 23 June 2014; accepted 21 August 2014)

ABSTRACT

Currently, flat cover glasses are widely applied to mobile devices. However, for a good design and for convenience of use, curved cover glasses are in demand. Thus, many companies are attempting to produce curved cover glasses using a shaving technique, but the production efficiency is very low. Therefore, a molding technique has been adopted to increase the efficiency of curved glass production systems. For a glass molding system, a uniform temperature distribution of the mold is crucial to produce high-quality curved cover glasses. Before setting the heating conditions of the molding system for a uniform temperature distribution by a thermal analysis, verification is required. Therefore, in this study, temperature measurements were conducted for a prototype molding system and the experimental results were compared with simulation computations. The temperatures of the heating block surface were in good agreement with the computational results for transient and steady conditions.

Key Words : Molding System(성형 시스템), Temperature Distribution(온도분포), Thermal Analysis(열해석)

1. 서 론

지금까지 스마트폰 등 Mobile Smart 기기는 하드웨어적 성능 향상을 목표로 발전되어왔다. 그런 결과로 현재 시장에 출시되고 있는 제품들의 성능은 평준화 되고 있으며, Fig. 1과 같이 앞으로 출시될 제품은 성능뿐만 아니라 혁신적인 디자인도 요구되고 있다.⁽¹⁾ 이에 대부분의 모바일 기기 입력

장치인 TSP(Touch Screen Panel)덮개 유리를 현재의 평면 직사각형 형태에서 벗어나 자유곡면 형상을 가지는 덮개유리로 만들고자하는 시도가 계속되고 있다. 현재 가공 공정을 거쳐 곡면을 가지는 덮개유리가 생산되고 있지만, 공정의 특성상 가공 Tool이 지나간 흔적이 남아 있어 높은 면조도 등 가공면의 품질이 떨어지며, 가공 중 유리의 파손 및 흠집 등이 발생하여 생산수율이 20% 이내로 매우 낮은 단점이 존재한다. 이를 극복하기 위해 가공이 아닌 성형 공법을 사용하는 방법이 개발중에 있으며, 이를 잘 구현하면 복잡한 곡면형상의 생산이 가능하고, 곡면부의 면 조도가 탁

* Dept. of Mechanical Engineering, Kyungnam Univ.

Corresponding Author :

Dept. of Mechanical Engineering, Kyungnam Univ.

E-mail : jklee99@kyungnam.ac.kr



Fig. 1 Trend of mobile device⁽¹⁾

윅하며, 곡면부의 추가 가공도 불필요하다. 더욱이 기존 가공 공법에 비해 생산 수율을 80% 이상 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 성형기법을 활용하여 고품질의 곡면 덮개유리 생산을 하기 위해서는 덮개유리가 들어있는 금형에 균일한 온도조건을 공급할 수 있는 가열블럭이 필수적이다. 이를 개발하기 위해서는 가열블럭의 온도분포를 균일하게 해줄 수 있는 가열시스템 설계가 필요하며, 열해석을 활용하여 접근하고자 한다. 그를 위해서 가장 먼저 선행되어야 할 것은 열해석 결과에 대한 정확도의 검증이며, 현재 개발중인 곡면 덮개유리 성형 Proto 시스템의 가열블럭에 대해 온도측정실험과 열해석을 수행하여 그 결과를 비교하는 연구를 수행하였다.

2. 성형시스템의 구성

2.1 성형시스템의 구조

곡면 형상유리 생산을 위한 성형시스템은 Fig.2와 같이 구성되어 있다. 덮개유리의 성형은 하부 금형에 유리를 장착시키고 상부 금형이 하향운동을 하여 이루어진다. 성형시스템은 가열블럭(Heating Block), 방열블럭(Radiating Block), 냉각블럭(Cooling Block), 고정블럭(Fixing Block)이 하나의 구조물로 이루어진다. 가열블럭 내부에는 히터(Cartridge Heater)가 각각 10개씩 장착되며, 냉각블럭 내부에는 냉각수가 공급되어 성형시스템의 온도를 제어하며, 챔버 내부에 질소가 공급되어 고온에 의한 성형시스템과 금형의 산화를 막는다.

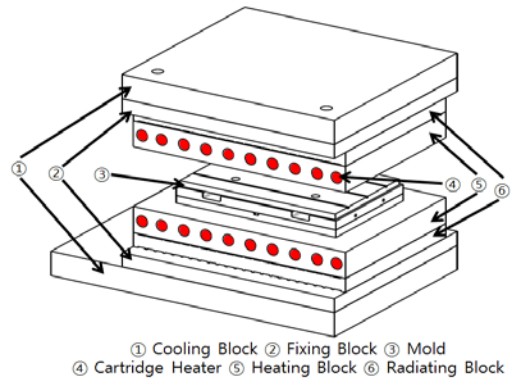


Fig. 2 Curved cover glass molding system

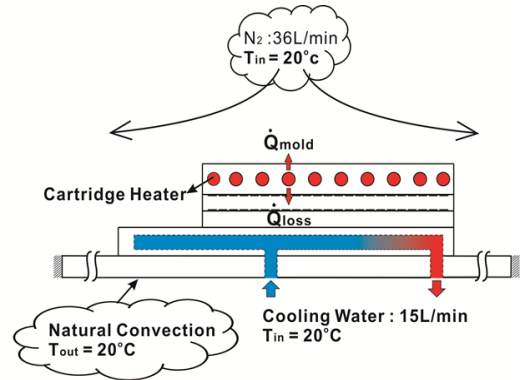


Fig. 3 Boundary conditions of molding system

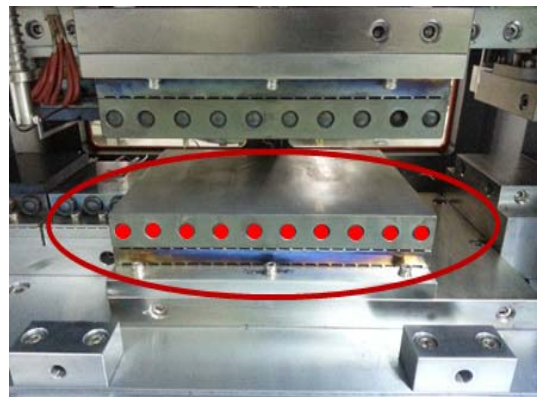


Fig. 4 Picture of Curved glass molding system

2.2 성형시스템의 열적조건

성형시스템에는 Fig. 3과 같은 열적조건이 적용된다. 성형시스템의 상부·하부는 대칭 구조이기 때문에 하부의 시스템만 Fig. 3에 도시하였고, 열적조건을 잘 보여주기 위해 하부 시스템의 단면을 나타내었다. 가열블록에는 425W 용량의 히터 10개가 장착되며, 히터에서 발생하는 열은 하부 시스템의 위와 아래로 전달된다. 위로 전달된 열(\dot{Q}_{mold})은 가열블럭 위에 위치한 금형을 가열하며, 아래로 이동한 열(\dot{Q}_{loss})은 20℃의 냉각수가 15 L/min의 유량으로 공급되는 냉각블럭에 의해 외부로 배출된다. 챔버 내부에는 20℃의 질소가 36 L/min으로 균일하게 공급되어, 유리의 성형시 고온에 의한 산화를 막아준다. 시스템 구성요소의 소재는 열전도성과 내열 성능 및 용도를 고려하여 SUS와 Carbon Steel을 선정하였다.

3. 성형시스템의 온도분포 측정

Fig. 4의 Prototype 성형시스템에 대한 가열블럭의 온도분포를 측정하고, 그 결과와 열해석 수해 결과를 비교해 보고자 한다.

우선 성형시스템의 실험에 대해, 성형시스템에 장착된 히터를 모두 최대용량으로 사용할 경우 고온에 의한 성형시스템의 산화 및 히터의 고장 등 문제가 발생할 수 있어, 이를 방지하기 위해서 10개 히터의 각각의 열량을 27.5 W(총 열량 275 W)로 일정하게 유지하여, 실험을 진행하였다. 온도측정은 열화상카메라(Testo, 875)와 열전대(T type)를 사용하였으며, 온도 기록은 시스템 가동 후, 1분단위로 동시에 측정하였다.

Fig. 5는 열화상 카메라를 이용하여 측정한 시스템 시작 80분 후의 온도분포를 나타낸다. 가열블럭의 중앙 부분이 가장 뜨거우며, Fig. 6은 1분단위로 측정한 Fig. 5의 가열블럭 표면 위 M1 ~ M5까지의 온도분포 측정결과를 5분 간격으로 나타내었다. 가열블럭은 초기 급격한 온도 상승을 보이고, 측정 시작 후 약 40 분후에 가열블럭의

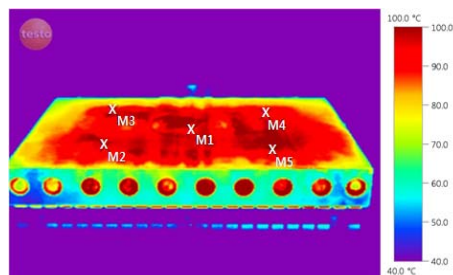


Fig. 5 Temperature distribution measurement results of heating block surface

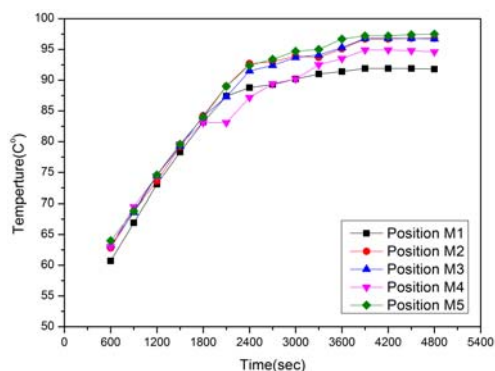


Fig. 6 Temperature distribution measurements of Heating block surface

온도상승이 더더지다 60 분경에는 온도 변화가 거의 없는 정상상태에 도달함을 관측할 수 있었다.

4. 성형시스템 해석 결과 비교

4.1 정상상태

온도분포 측정결과와 열해석 결과를 비교하기 위하여 성형시스템에 대한 열해석을 Ansys R14⁽²⁾를 사용하여 수행하였다. 해석을 위해 Fig. 7과 같이 요소(element)를 약 113만개 생성하였고, 요소의 크기에 상관없는 결과를 얻을 수 있었다. 각각의 구성요소 소재에 대한 물성값은 Matweb⁽²⁾을 참고하여 설정하였다. 그리고 Fig. 3에 주어진 조건을 성형시스템에 적용하기 위해서 가열블럭의 히터장착부에는 10개의 히터표면 각각에 실험치와 동일

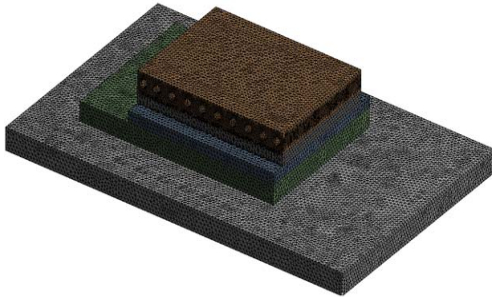


Fig.7 Mesh generation

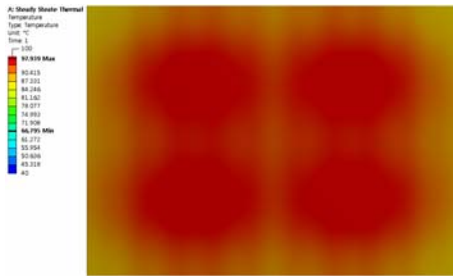


Fig. 8 Temperature calculation result of heating block surface (Steady state)

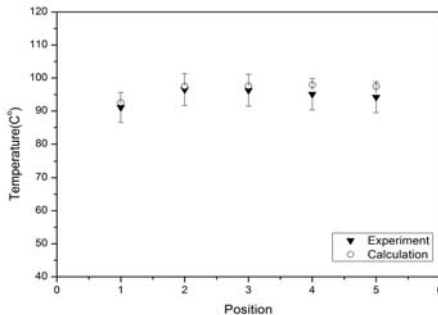


Fig. 9 Temperature differences for steady state experiments and calculations

한 27.5W의 열용량조건을 대입하였으며, 냉각블럭 내부의 냉각유로 표면에 냉각수의 온도조건(20°C)과, 냉각유로 내부의 유동이 층류유동으로 Edwards et al.⁽⁴⁾가 제안한 대류열전달 식을 활용하

여 냉각수에 의한 열전달 계수 값(500W/m².°C)을 적용하였다.

$$Nu = 7.54 + \frac{0.03(D_h/L)RePr}{1 + 0.015[(D_h/L)RePr]^{2/3}} \quad (1)$$

또한 챔버 내부에 공급되는 질소에 의한 대류열 전달을 적용하기 위해서 챔버 내부로 유입되는 질소의 속도, 챔버의 크기를 등을 고려하여 Churchill and Ozoe⁽⁵⁾가 제안한 대류열전달 식을 사용하여, 열전달 계수값(20 W/m².°C)을 성형시스템 표면에 적용하였다.

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = \frac{0.3387Pr^{1/3}Re_x^{1/2}}{[1 + (0.0468/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \quad (2)$$

정상상태에 대한 열해석을 수행하였고, 가열블럭 표면은 Fig. 8과 같은 온도분포를 얻을 수 있었으며, Fig. 5의 측정온도분포와 유사한 경향을 보이는 것으로 판단할 수 있다. 가열블럭 온도측정 결과와 열해석결과의 보다 면밀한 비교 분석을 위해 가열블럭 표면의 5지점을 지정(Fig. 6의 M1 ~ M5)하여 열해석 모델과 비교를 해보았으며, Fig. 9에 그 결과를 그래프로 나타내었다. 그 결과 두 경우 온도차는 5 °C 미만인 것을 볼 수 있었다.

4.2 과도상태

정상상태에 대한 비교 결과 온도의 측정값과 계산값이 유사함을 알 수 있었다. 그 결과를 바탕으로 1분마다 측정된 온도분포 측정결과를 과도 열해석 결과와 비교해 보았다. 과도 열해석의 경계조건은 앞서 수행한 정상해석 조건과 동일하며, 해석수행 시간은 온도분포 측정시 가열블럭의 온도분포가 정상상태에 도달한 이후인 80분 동안 1초 간격으로 해석을 수행하였다. Fig. 10에는 성형시스템의 히터 운용 후 20분, 40분, 60분 후의 측정결과와 과도 열해석 수행결과를 비교하여 나타내었으며 온도분포가 유사함을 확인할 수 있었다.

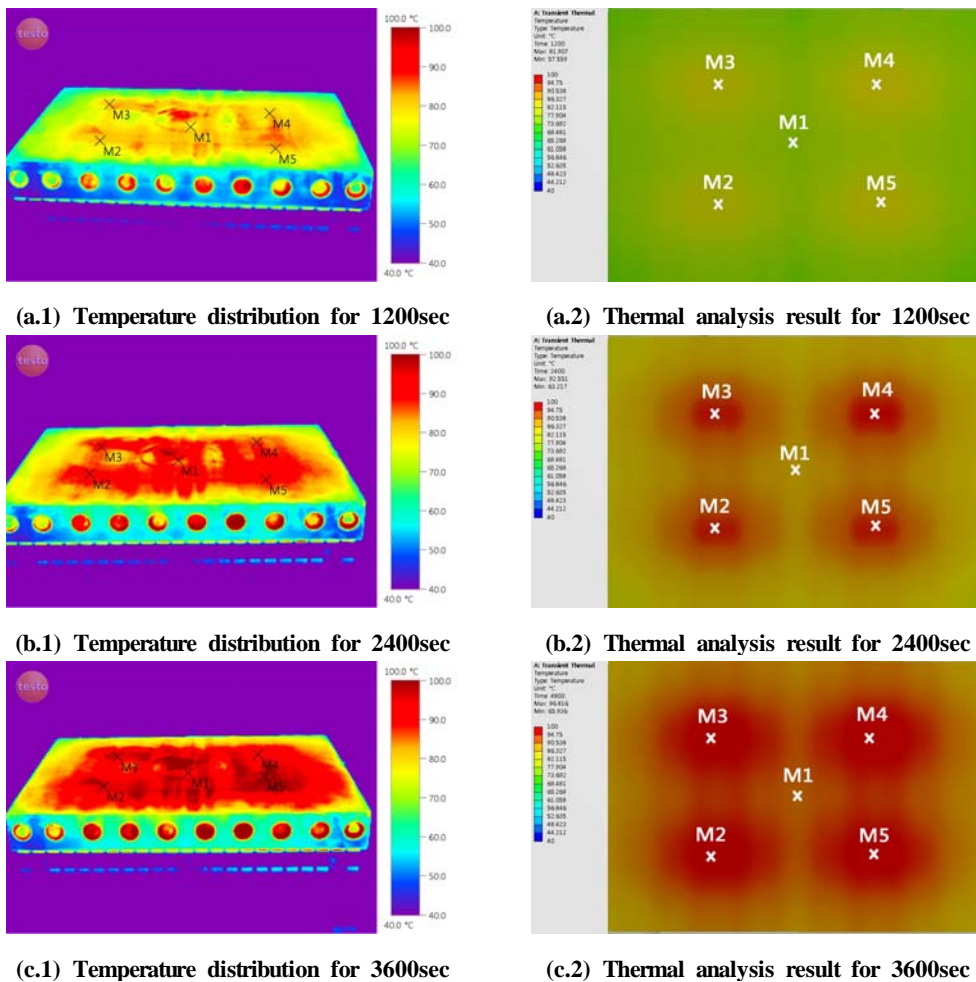


Fig. 10 Temperature distribution measurement and analysis results by lapse of time

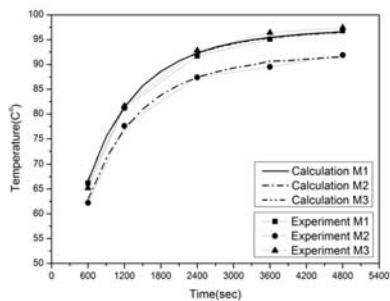


Fig. 11 Comparison results between experiments and calculations for transient temperature variations

Fig. 11에는 보다 자세한 비교를 위해 시간의 변화에 대한 가열블럭 표면의 3지점(M1, M2, M3)에 대해 열해석 결과와 측정값을 비교하였다. M1 지점과 M3 지점에서의 시간에 따른 온도측정결과가 매우 유사하였고, 계산 결과도 그를 잘 반영하고 있었다. 따라서 과도상태에 있어서의 온도해석 결과가 실험결과를 잘 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Heat Transfer, Vol.99, pp.300-306, 1977.

5. 결 론

모바일 기기의 곡면덮개유리 정밀 성형시스템에 대해 일정 열유속 공급시 성형부 온도의 분포를 측정하였고, 동일 조건에 대한 열해석을 수행하여 그 결과를 비교하였다. 정상 상태 및 과도 상태에서의 온도 분포 비교 결과가 비교적 우수함을 확인할 수 있었다. 이에 다양한 형상 및 열적 조건에 대한 열해석을 수행하여 성형시스템의 가동에 대한 최적 조건을 제시하고, 성형부 온도 분포에 대한 정보를 제공하여 곡면덮개유리의 품질 안정화에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 우수제조기술연구 센터(ATC)사업으로 수행된 연구결과이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) DEAHOTECK CO. LTD, "Curved Glass manufacturing Technology Analysis Report," 2012.
- (2) MatWeb. www.Matweb.com.
- (3) Ansys R14 Manual.
- (4) Edwards, D.K., Denny, V. E. and Mills, A.F., "Transfer Process," 2nd edi., Hemisphere, 1979.
- (5) Churchill, S. W., and Bernstein, M., "A Correlating Equation for Forced Convection from Gases and Liquids to a Circular Cylinder in Cross Flow," J.