

모바일 스마트 기기 덮개 유리 순차이송형 성형기기의 가열시스템 최적화에 관한 연구

이준경*[#]

*경남대학교 기계공학부

Study on Optimization for Heating System of Sequential Feed-Type Mobile Smart Device Cover Glass Molding Machine

Jun Kyoung Lee*[#]

[#]Department of Mechanical Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

(Received 16 June 2015; received in revised form 13 July 2015; accepted 12 August 2015)

ABSTRACT

Nowadays, flat-shaped cover glass is widely used for mobile devices. However, for its good design and convenience of use, curved cover glass has been demanded. Thus, many companies have tried to produce curved cover glass through the shaving technique, but the production efficiency is very low. Therefore, the molding technique has been adopted to increase the efficiency for the curved-glass production system. For a glass-molding system, several heating blocks are installed, and the flat cover glass is sequentially heated and molded. The production time for the cover glass is very different depending on the heating conditions; thus, the prediction of the production time for different heating conditions should be needed. Therefore, in this study, the computations were performed with different heating conditions (uniform and non-uniform) in the present cover glass-molding machine. For uniform and non-uniform heating conditions, the simple correlation between the heating time and the heater capacity and the heating time to achieve higher durability can be suggested, respectively.

Key Words : Glass Molding System(유리 성형 시스템), Thermal Analysis(열해석), Heating Time(가열시간)

1. 서론

이전까지 스마트폰 등 모바일 Smart 기기는 하드웨어적 성능 향상을 목표로 발전되어왔다. 현재 시장에 출시되고 있는 제품들의 성능은 평준화 되고 있으며, Fig.1 과 같이 앞으로 출시될 제품은 성능뿐만 아니라 차별화된 디자인도 요구되고 있다. 현재 Smart 기기 제조사에서는 플렉시블 디스플레이를 사용하여 차별화된 디자인의 제품들이 개발 또

는 출시 되고있다. 이에 대부분의 모바일 기기 입력 장치인 TSP(Touch Screen Panel)덮개 유리를 현재의 평면 직사각형 형태가 아닌 곡면 형상을 가지는 덮개유리가 필요한 실정이다. 현재 NC를 이용한 황삭-정삭-Polising 세단계의 가공 공정을 거쳐 극히 일부 곡면을 가지는 덮개유리가 사용되고 있다. 하지만 가공공정의 특성상 가공 Tool이 지나간 흔적이 남아 있어 면조도 등 가공면의 품질이 떨어지며, 가공 중 유리의 파손 및 흠집 등이 발생하여 생산수율이 20% 이내로 매우 낮은 단점이 있다. 반면에 가공이 아닌 성형 공법을 사용하면 복잡한 곡면 형상의 생산이 가능하고, 곡면부의 면조

Corresponding Author : jkleee99@kyungnam.ac.kr

Tel: +82-55-249-2613, Fax: +82-55-249-2617

도가 탁월하며, 곡면부의 추가 가공도 불필요하다. 그리고 기존 가공 공법에 비해 생산 수율을 80% 이상 향상 시킬 수 있을 것으로 예상된다.⁽¹⁾ 이에 성형을 사용하여 곡면유리를 생산하는 곡면유리성형시스템의 개발이 진행중이다. 성형시스템에서 고품질의 곡면 덮개 유리생산을 하기 위해서는 덮개 유리가 들어있는 금형에 균일한 온도조건을 공급할 수 있는 가열블록의 온도분포 파악이 매우 중요하다. 이에 가열블록의 온도분포를 균일하게 해 줄 수 있는 성형시스템 설계가 필요하며, 이를 위해 열해석을 수행하여 최적의 시스템을 설계해야 한다.

현재 1개의 금형에서 가열, 성형, 냉각을 하여 성형을 수행 하는 방식의 성형시스템이 개발되었다. 하지만 성형에 많은 시간이 소요되는 단점이 존재하였고, 이를 개선하기 위해서 1개의 금형이 여러개의 가열블록 위를 순차적으로 이동하며, 유리를 단계적으로 가열하여 성형하는 순차이송형 덮개 유리 제조 시스템의 개발이 수행되고 있다. 이러한 순차이송형 시스템은 곡면덮개유리 생산 시간을 줄이는 효과와 그로 인한 생산을 향상을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해 열해석을 통해서 새로운 시스템을 개발하고자한다. 하지만 열해석 결과의 정확도가 검증되어야 해석 결과를 신뢰할 수 있기 때문에, 현재 개발된 Prototype 성형시스템 가열블록의 온도분포를 열화상 카메라와 열전대를 이용하여 측정하고 그 결과를 열해석과 비교하는 연구를 수행하였다⁽²⁾. 이를 통해서 가열블록의 온도측정 실험결과와 열해석 결과가 유사함을 확인 할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 열해석을 활용하여 순차이송형 덮개유리 제조 기기의 가열 시스템에 대해 기존에 개발된 성형시스템의 9개의 가열블록을 배치하고, 이들의 열적조건에 따른 생산시간을 예측하는 열해석을 수행하여, 요구 생산시간에 대한 최적 가열 조건을 제시하고자 한다.

2. 순차이송형 금형시스템의 열해석

현재 개발중인 순차이송형 금형시스템의 구조

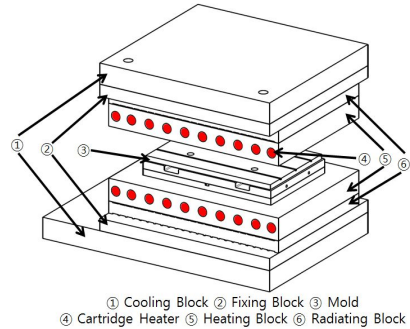


Fig. 1 Curved cover glass molding system

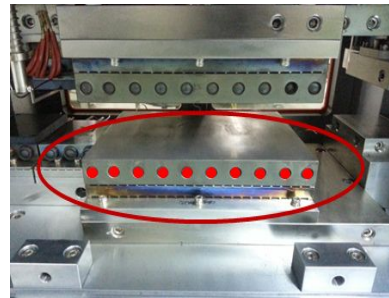


Fig. 2 Picture of Curved glass molding system

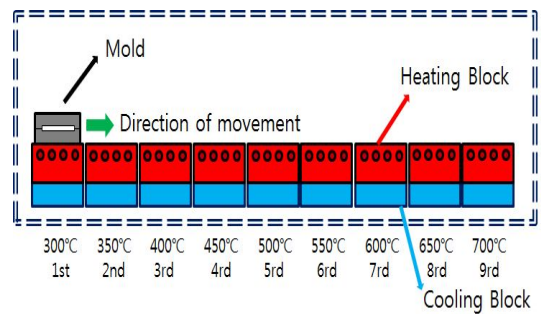


Fig. 3 Sequential transfer type molding system

는 Fig. 3 과 같다. 금형은 이동하며 각 구간의 온도에 도달시 다음 구간으로 이동하게 되며, 이러한 순차이송형 금형시스템의 가열방법에는 균일 가열과 비균일 가열 조건이 있다. 균일가열 조건은 각 블록에 대해 동일 용량의 히터를 배치하여 가열하는 방식으로 제작이 용의하다. 비균일조건은 각 구간의 가열블록의 최고온도를 설정하고, 그것을 달

성할 수 있는 히터의 용량을 산정하여 가열블록 개별로 히터를 설치하여 에너지를 절약할 수 있는 방법이다.

순차이송형 가열 시스템에 대해 가열 조건에 대한 소요시간을 계산하기 위해 다음과 같은 순서로 해석을 수행하였다. 첫 번째로, 가열블록에 대해 가열조건에 대한 정상상태 해석을 수행하여 가열면의 온도와 열유속 조건을 계산한다. 두 번째로, 금형의 아래면에 가열면이 접촉하는 것을 모사하기 위해 첫 번째 계산에서 얻은 가열면의 온도 및 열유속 조건을 금형(Fig. 4) 아래면의 경계조건으로 두고 비정상 해석을 수행하였다. 즉, 1번 가열블록에 대해 유리의 성형발생부(Fig. 5)의 최고 온도가 300°C가 넘어가면(사실 온도 분포가 거의 균일함을 Fig.5를 통해 확인할 수 있다) 계산을 멈추고 가열 시간 정보를 획득하고, 2번 가열블록의 가열면 온도 및 열유속 조건을 경계조건으로 두고 계산을 이어나가 350°C가 넘어가면 계산을 멈추고 가열 시간 정보를 획득하는 형태로 해석을 수행하여 9번 가열블록에서 700°C가 될 때까지 해석을 수행하였다. 균일 가열 조건의 경우, 가열조건이 각 가열블록에 대해 동일하기 때문에 계산이 용이하고, 비균일조건은 가열블록이 바뀌면 경계조건도 계속 바뀌게 되어 계산이 어려워진다. 본 연구에서는 계산의 용이성을 위해 가열블록에 425W 용량의 히터 10개가 장착되어 있는 균일가열 조건에 대한 계산을 우선 수행하였다.

2.1 열해석 조건

가열블록에 대해 히터에서 발생하는 열은 하부 시스템의 위와 아래로 전달된다.(Fig. 6) 위로 전달된 열(\dot{Q}_{mold})은 가열블록 위에 위치한 금형을 가열하며, 아래로 이동한 열(\dot{Q}_{loss})은 20°C의 냉각수가 15 L/min의 유량으로 공급되는 냉각블럭에 의해 외부로 배출된다. 챔버 내부에는 20°C의 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.

Ansys R14⁽³⁾를 활용하여 열해석을 수행하였으

며, 해석을 위해 Fig. 7과 같이 요소(element)를 약 113만개 생성하였고, 요소의 크기에 상관없는 결과를 얻을 수 있었다. 각각의 구성요소 소재에 대한 물성값은 Matweb⁽⁴⁾을 참고하여 설정하였다. 냉각블럭 내부의 냉각유로 표면에 냉각수의 온도조건(20°C)과, 냉각유로 내부의 유동이 층류유동으로 Edwards et al.⁽⁵⁾가 제안한 대류열전달 식을 활용하여 냉각수에 의한 열전달 계수 값(500 W/m²·°C)을

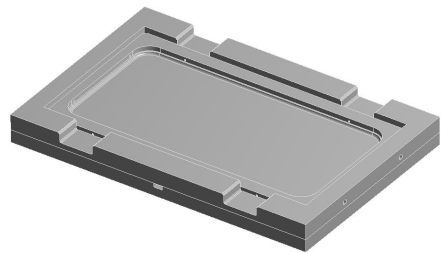


Fig. 4 Mold of cover glass

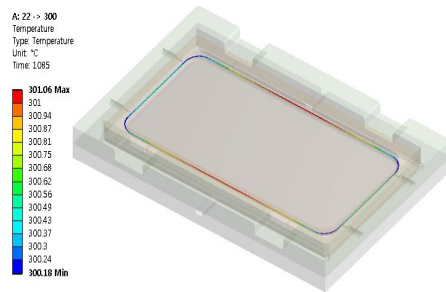


Fig. 5 Temperature measurement area of Mold (Colored part)

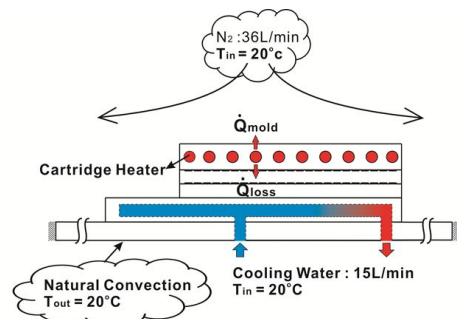


Fig. 6 Boundary conditions of molding system

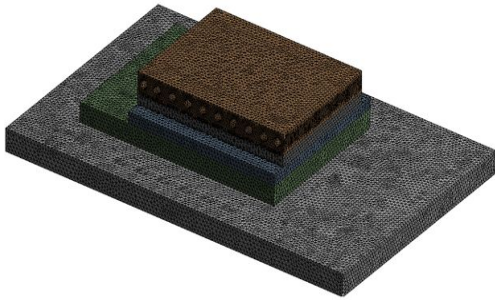


Fig. 7 Mesh generation

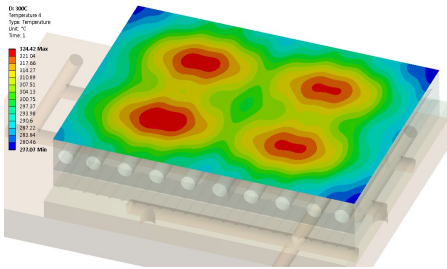


Fig. 8 Temperature distribution of heating block upper surface

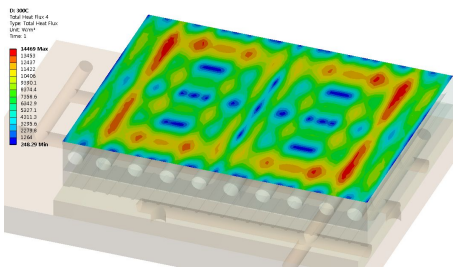


Fig. 9 Heat flux distribution of heating block upper surface

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⁽⁶⁾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. 8, 9와 같은 온도와 열유속 분포를 얻을 수 있었다.

2.2 균일 열량 가열시간

균일 가열에 대해 앞에서 얻은 온도와 열유속을 가열면 조건으로 하여 각 구간별 가열시간을 비정상 해석을 통해 구했고, 그 결과를 Table 1과 Fig. 10에 나타내었다. 해석 결과 초기 금형 가열에 전체 가열에 소요시간의 3분의 1 이상 소요(334 sec)되나, 2번 구간부터는 모든 구간에 고용량의 Heater를 일정하게 사용하므로 각 구간에는 높은 값의 열유속이 일정하게 발생함으로 금형 가열에 일정한 시간(63 sec)이 소요되는 것을 볼 수 있다. 300 °C에서 700 °C까지의 총 9단계 가열 조건에 대해 838 sec의 총 가열시간이 소요됨을 확인할 수 있다.

2.3 히터 용량에 따른 가열 시간

각 구간의 가열블럭의 히터 용량을 기존 해석에 적용한 425W 이상으로 증가시켰을 때의 금형 가열 시간을 추가 해석을 통해 알아 보았다. Fig. 11에는 기존의 가열 구간의 히터 용량을 증가시켜 열해석을 수행하여 금형의 온도가 700°C까지 도달하는 금형의 가열 시간을 그래프로 나타내었다. 히터 용량이 증가 할수록 가열블록에서 발생하는 열유속의 증가로 인해 금형 가열 시간이 단축된 것을 확인할 수 있었다. Fig.11의 결과를 바탕으로 히터 용량과 700 °C 도달시간에 대한 관계를 나타내면 다음과 같다.

Table 1 Required Heating time for constant heating condition

Step	Temp. (°C)	Heater (W)	Heat Flux (W/m ²)	Time (sec)
1st	300	425	22,785	334
2nd	350	425	22,785	63
3rd	400	425	22,785	63
4th	450	425	22,785	63
5th	500	425	22,785	63
6th	550	425	22,785	63
7th	600	425	22,785	63
8th	650	425	22,785	63
9th	700	425	22,785	63
Total				838

Table 2 Required Heating time for non-uniform heating conditions

Step	Temp. (°C)	Heater (W)	Heat Flux (W/m ²)	Time (sec)
1st	300	135	7,245	1085
2nd	350	165	8,868	170
3rd	400	195	10,461	145
4th	450	226	12,124	121
5th	500	260	13,948	110
6th	550	295	15,825	95
7th	600	331	17,754	85
8th	650	370	19,841	75
9th	700	408	21,876	70
Total				1,956

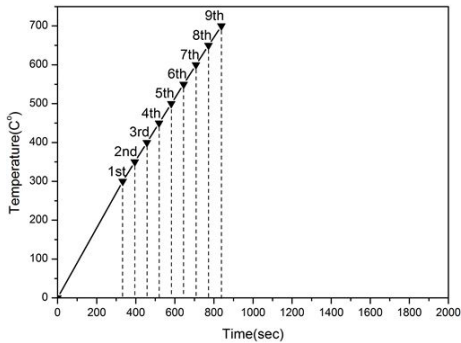


Fig. 10 Mold heating time for each step (Uniform Case)

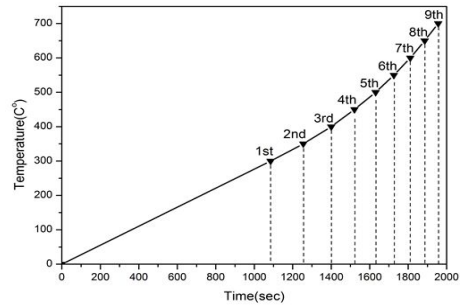


Fig. 12 Mold heating time for each step (Non-uniform Case)

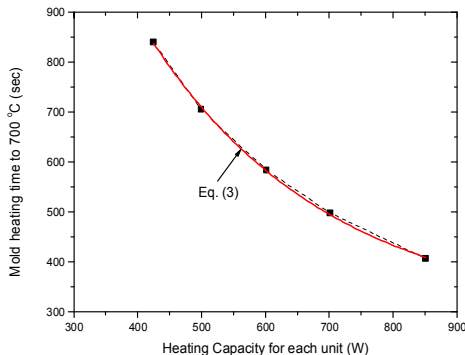


Fig. 11 Mold heating times with different heater capacities

$$t_{mold, 700^{\circ}\text{C}} = 286 + 2460 \times \exp(-0.0035 \times \dot{Q}) \quad (3)$$

이 때 \dot{Q} 은 히터 1개당 가열량(W)을 의미한다.
식 (3)을 활용하면 균일 가열 방식 이용시 제품의 생산 시간을 예측할 수 있다.

2.4 비균일 열량 가열시간

빠른 생산을 위한 히터선택도 중요하지만, 수요자의 요구에 따라 내구성 및 에너지 절약을 위한 시스템 구성이 필요하다. 그러기 위해서는 균일 히터용량이 아닌 가열블록 표면의 중심부 온도가 각 구간의 최고온도에 도달할 때에 산정한 히터용량을 열해석을 수행하여 구하였고, Table 2에 각 단계에서의 용량값을 기술하였다. Fig. 12는 Table 2의 값을 활용하여 도시화하였다. 각 구간의 최고온도를 유지하는 Heater의 용량 선정으로 인해, 각 구

간의 가열블록에서 발생하는 열유속이 구간마다 차이가 난다. 이로 인해서 초기 금형 가열에 전체 가열시간의 절반이상이 소요되는 것을 알 수 있었으며, 이로 인해 목표 온도로 금형을 가열하는데 상당한 시간이 소요되는 것을 알 수 있다.

이상적인 상태에서의 균일 및 비균일 가열 시스템에 대해 금형의 온도를 700 °C로 올리는 데에 3561.5 kJ의 에너지가 소모되는 것은 비슷하나, 실제 운용시에는 높은 열량의 가열 시스템 사용시 같은 단열 시스템에 대해 열손실이 크고, 유리의 각 단계 이동시 같은 시간에 대해 열손실도 크게 된다. 따라서 비균일 시스템이 열손실의 감소 측면에서 에너지 절약에 대해 유리하다고 할 수 있다. 그리고 고열유속을 사용하는 시스템의 경우 가열 시스템의 내구성에 문제가 발생할 확률이 상대적으로 크므로 비균일 가열 시스템이 시스템의 내구성 확보에는 도움이 될 수 있다. 그러나 금형 가열에 소요되는 시간은 2배 이상이 되므로 이를 고려하여 시스템을 구성하여야 한다.

3. 결론

순차이송형 덮개유리 제조 기기의 가열시스템에 대해 균일 및 비균일 가열 조건에 대해 목표 온도에 도달하는 가열 시간을 열해석을 통해 예측 할 수 있었다. 특히 균일 가열 시스템에 대해서는 열용량에 따른 가열 시간을 예측할 수 있는 식을 제안하여 유리 성형에 있어서의 Cycle Time을 수요자의 요구에 맞도록 설정할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 에너지 손실 저감 및 내구성 향상을 위한 히터의 비균일 분포를 제안하였다.

향후에는 가열 시스템 뿐만 아니라 냉각 및 성형을 보다 효율적으로 수행 할 수 있는 시스템을 제안하고자, 가열, 성형, 냉각 시스템을 모두 고려한 열해석을 통해 금형 이송형 성형 기기의 최적화된 Cycle Time을 제시하고, 시스템을 개선하는 기초 데이터로 활용하고자 한다.

후 기

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

REFERENCES

1. Deahotek Co. LTD, Curved Glass manufacturing Technology Analysis Report, 2012.
2. Shin, H. J. and Lee, J. K., "Study on Thermal Analysis for Heating System of Mobile Smart Device Cover Glass Molding Machine," J. of Kor. Soc. of Manufact. Proc. Eng., Vol. 13, No. 4, pp. 50-55, 2014.
3. ANSYS, ANSYS User's Manual Version 14.0, ANSYS Inc., 2013.
4. MatWeb., www.Matweb.com.
5. Edwards, D. K., Denny, V. E. and Mills, A. F., Transfer Process, 2nd ed., Hemisphere, 1979.
6. Churchill, S. W., and Bernstein, M., "A Correlating Equation for Forced Convection from Gases and Liquids to a Circular Cylinder in Cross Flow," J. Heat Transfer, Vol. 99, pp. 300-306, 1977.