

NMGC(No Margin Glass Cutting)의 열응력해석

The Thermal Stress Analysis of NMGC

LG생산기술원 강형식 , 백만인 , 송민규* , 백광열 , 홍순국

I. 서론

최근 다양한 종류의 평판 디스플레이(FPD, Flat Panel Display)에 사용되는 유리는 생산비용의 절감을 위하여 원판 유리를 일정 생산 공정을 거친 후 절단하여 사용을 하고 있다.

원판 유리를 절단하는 방법으로 기존의 생산공정에서는 주로 다이아몬드나 초경 휠에 의해 유리 표면에 기계적인 충격을 주어 절단하였다. 이 경우 절단면이 날카롭게 되고, 절단된 단면에 미세 균열 등이 존재하여 후공정으로 연마와 세정이 필수적으로 수반되었다. 이런 기계적인 충격을 이용하여 원판 유리를 절단할 경우, 공구와 유리 표면사이에 마찰에 의한 유리 파편이나 부스러기 등이 발생하게 되며, 이들은 고청정도를 요구하는 평판 디스플레이 장치의 제조 공정에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 최근의 연구 동향은 이러한 단점을 보완하고 절단면을 매끄럽게 유지하기 위해 레이저를 이용한 방법에 대해서 다양한 연구가 진행되고 있다. 레이저를 유리의 녹는점 이하까지만 가열한 후 강제 냉각에 의해 순간적으로 유리 표면에 열 충격을 주어 균열을 진전시키는 방법(NMGC, No Margin Glass Cutting)으로 유리를 절단하면, 기존의 기계적 충격에 의한 유리의 절단 방법보다 절단면이 매끄러우며, 유리에 기계적인 접촉이 일어나지 않으므로 유리 파편이나 부스러기 등이 발생하지 않는다. 이를 평판 디스플레이 장치의 제조 공정에 적용할 경우, 유리의 절단 공정 다음에 후공정이 최소화될 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 이와 같이 대형 평판 유리를 레이저빔을 이용하여 효과적으로 절단할 수 있는 방안에 대해 해석적으로 고찰하였으며, 절단 성능향상을 위해 레이저빔의 형상과 다양한 인자에 대한 다구찌 해석을 통해 최적 절단 조건의 선정에 대하여 검토하였다.

II. 열응력해석

1. NMGC 개념

아래 Fig.1 은 본 연구에서 검토한 레이저의 열과 냉각제를 이용한 열 충격에 의한 유리의 절단 방법의 개념이다.

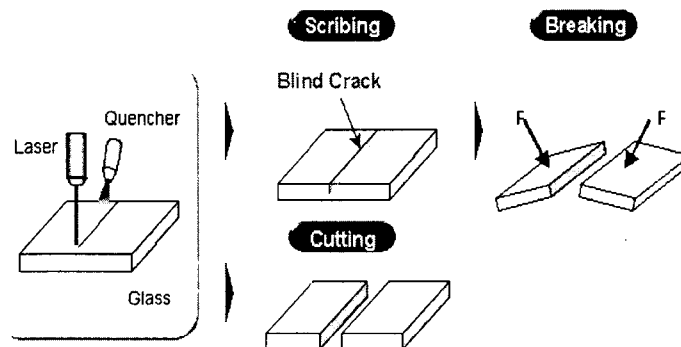


Fig.1 Laser Glass Cutting 개념도

2. 해석 모델링

Fig.1 의 NMGC개념을 바탕으로 한 해석 모델은 2D-Shell element와 3D-Solid Element의 방식으로 구현하여 응력을 비교하였다.

본 해석에서 사용되는 유리의 물성정보는 PD-200의 기계적 물성정보를 이용하였으며, 원판유리에 레이저와 냉각제가 이송되는 과정을 해석적으로 모사하기 위하여 MSC-MARC의 User Subroutine을 작성하여 해석 모델을 생성하였다. 이 때 레이저빔은 타원형의 형상을 가지며, 레이저에서 유리 원판에 조사되는 열량은 단위면적 당 입사되는 Heat Flux값으로 입력하였고 냉각제는 원형의 형상을 가지며, 이동 속도에 따른 대류 열 전달 계수($W/m^2 K$)값으로 입력하였다.

Fig.2 는 MSC-MARC의 해석 모델이며, Fig.3 은 본 해석의 결과 원판 유리에 걸리는 인장응력 값을 나타낸 것이다.

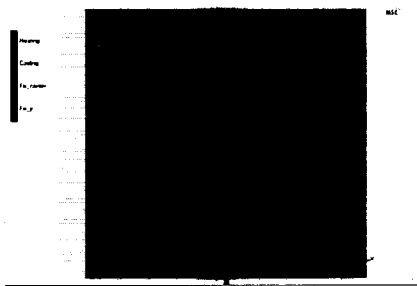


Fig.2 Laser Glass Cutting 해석모델

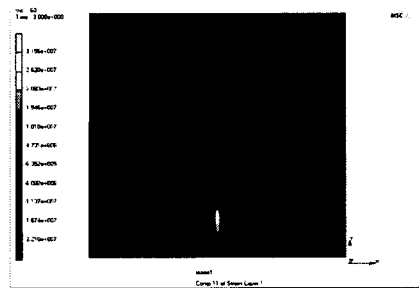


Fig.3 유리 상면에서의 인장응력 분포

3. 다구찌 해석 설계인자

NMGC 방법에서는 유리에 순간적인 인장응력이 최대로 걸리게 하는 것이 가장 유리하다. 공정상의 다양한 인자들이 레이저의 절단 성능을 향상시킬 수 있는 인장응력 값의 증가에 어떤 영향을 미치는지를 검토하기 위해, 변경 가능한 설계인자들을 선정하여 다구찌 해석을 수행하였다.

본 다구찌 해석은 각 설계인자들의 수준을 임의로 정하고 각 설계인자의 변동에 따른 인장응력 값의 변동을 계산하여, 인장응력 값의 변동에 기여하는 기여율을 계산하였다.

Table.1 은 본 다구찌 해석에서 사용되는 설계인자들을 나타내며, 이 설계인자들을 이용하여 L18 Matrix의 다구찌 해석을 위한 경우의 수를 결정하고 결정된 경우의 수에 대한 해석을 수행하였다.

No	주요설계인자	No	주요설계인자
A	Heat transfer co-efficient of cooling	E	Width of cooling zone
B	Heat flux of laser beam	F	Length of cooling zone
C	Width of laser beam	G	Distance of cooling and laser beam
D	Length of laser beam	H	Moving velocity

Table.1 다구찌해석에 사용되는 설계인자

II. 결과 및 고찰

1. 빔 형상에 따른 응력 해석

인장응력이 최대가 되는 지점은 레이저가 원판 유리에 조사된 후 이어서 오는 냉각제의 선단에서 최대 인장응력이 나타남을 Fig.3 에서 알 수 있다.

NMGC 방법에서 특히 중요한 인자는 레이저의 입사 면적, 즉 레이저빔의 형상이다. 이 레이저빔의 형상에 대한 해석 결과는 Fig.4 과 Fig.5 에서 보는 바와 같으며, 레이저빔의 길이와 폭이 증가할수록 유리에 걸리는 인장응력의 값은 증가함을 알 수 있다.

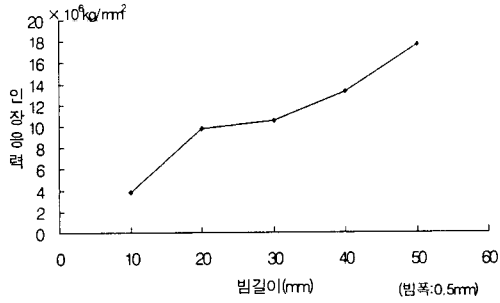


Fig.4 빔길이에 따른 응력변화

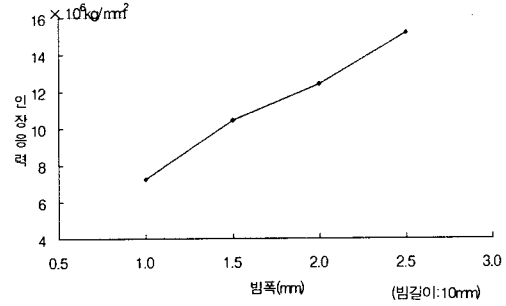


Fig.5 빔폭에 따른 응력변화

2. 다구찌 해석

Fig.6 과 Fig.7은 Table.1 에서의 설계 인자들을 이용하여 다구찌 해석을 수행하였을 때 각각의 설계 인자들이 인장응력 값의 변화에 기여하는 기여율을 나타낸다.

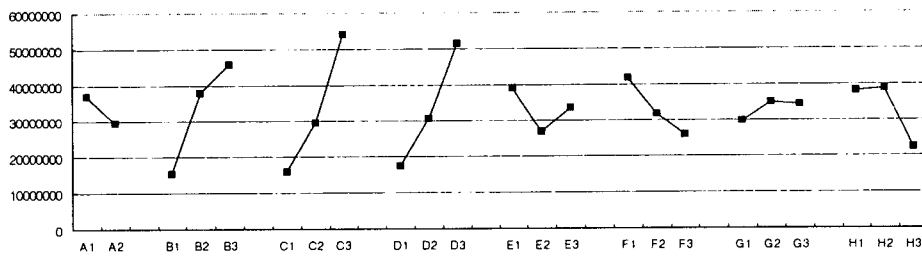


Fig.6 인장응력 변화에 따른 감도

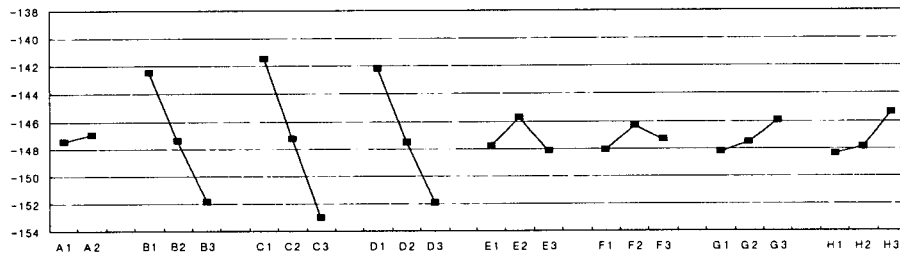


Fig.7 인장응력 변화에 따른 S/N비

Fig.6 과 Fig.7 에서 보는 바와 같이 가장 중요한 설계 인자들은 레이저빔의 폭과 길이 및 입사되는 에너지량으로, 상기 3가지 구성 요소가 인장응력 값 변화의 64 %를 차지하고 있으며, 인장응력 값의 변화에 영향을 미치는 그 이외의 요소는 이송속도, Cooling Zone의 형상이다.

실험적으로 레이저빔이 유리 표면을 조사하면서 이동할 때 유리 표면에 흡수되는 레이저 에너지가 낮을 경우에는 노치 선단에서의 균열 진전이 이루어지지 않으며, 에너지가 유리의 녹는점 이상으로 과도하게 높을 경우에는 유리 표면이 용융되어 임의 방향으로 균열이 급격하게 진전되거나 유리가 깨어지는 등의 불규칙한 균열이 발생된다. 따라서 레이저빔이 이동하는 속도와 동일하게 노치 선단에서 균열이 진전될 수 있도록 레이저의 빔의 형상과 에너지를 적절하게 조절해 주는 것이 매우 중요하다.

IV. 결론

본 연구에서는 레이저를 이용한 유리의 절단 설비의 제작시 주요 설계 인자들에 대해 해석적 방법을 이용하여 설계 인자들의 수준을 결정하는데 주요 목적이 있었다. 따라서 설비의 제작시 유리에 미치는 인장응력 값이 최대가 되도록 설계 인자들을 결정하였다.

또한 해석적 방법을 이용하여 레이저를 이용한 유리의 절단 설비에서 유리 표면에 미치는 인장 응력 값의 변화에 각각의 설계 인자들이 어떠한 기여를 하는지를 분석하였다.

레이저를 이용한 유리의 절단시 유리의 표면의 인장응력 값의 변화에 가장 크게 기여하는 설계 인자는 레이저빔의 형상과 입사되는 에너지량이다. 이 설계인자는 초기 설비의 제작시 결정되는 인자들이기 때문에 적절한 절단면의 품질 및 프로세스의 안정화를 위해서는 어떤 수준의 값을 선택해야 하는지를 설비의 제작 전에 검토하여야 한다.

V 참고문헌

1. Christoph Hermanns, Laser cutting of thin glass in production technology , DMTC 99, pp.33-36, (1999).
2. Brian Hoekstra, Advanced glass separation , DMTC 99, pp.37-41, (1999)
3. Mitsuboshi 다이아몬드, 레이저 스크라이브 장치 , 月刊 FPD Intelligence, pp.26-28, (1999.8)
4. Kondratenko, Method of splitting non-metallic materials , USP (1997)
5. Heinrich Ostendarp, Method and apparatus for cutting through a flat workpiece made of brittle material, especially glass , USP (1999)
6. 黒部利次, 液晶 디스플레이 表示用 基板 ガラス의 YAG 레이저による 割斷 , 日本精密工學會誌 Vol.63, No.7, pp.1018-1022, (1997)
7. 池田正幸, 板ガラス의 레이저브레이크킹에 關する 研究 , 日本精密工學會誌, pp.413-417, (1996)
8. Broek, D., The practical use of fracture mechanics
9. Brian Lawn, Fracture of brittle solids, 2nd edition
10. 이상복, MINITAB을 이용한 다구찌기법활용, 이레테크, (2001)