

# 유리의 레이저 접합

서 정·신 동 식

大韓熔接·接合學會誌 第27卷 第4號 別冊

2009. 8

# 유리의 레이저 접합

서정·신동식

## Laser-Based Glass Soldering

Jeong Suh and Dongsig Shin

### 1. 서론

최근 산업계의 다양한 분야에서 유리 기관들을 적층하고 부착하는 기술을 활용하고 있으며, 특히 디스플레이 기기 및 염료감응형 태양전지 소자에 활용이 되기 시작하였다. 디스플레이 기기는 통신, 정보, 가전의 모든 전자산업의 약 10%이상의 위상을 차지하고 있는 분야이며 염료감응형 태양전지는 차세대 태양전지로서 건물의 창에 설치가 가능하여 BIPV 소재로서 주목을 받고 있다. 그러나 이들 소자에 있어서 유기물 기반의 재료 사용량이 점차 늘어남에 따라 새로운 유리의 접합 접합에 관한 연구가 진행되고 있으며 특히 Frit을 이용한 유리의 접합공정이 각광을 받고 있다<sup>1-4</sup>. Frit을 이용한 유리의 접합공정은 기존의 금속솔더<sup>5,6</sup>를 이용한 공정에 비해 오염 및 부식에 의한 영향이 적으며 에폭시<sup>7</sup>를 이용한 접합공정에 비해서 밀봉성능이 우수한 장점이 있다. 또한, 모재인 유리와 열팽창계수가 비슷해 접합시 발생하는 응력문제를 해결할 수 있어 높은 밀봉성능이 요구되는 유리의 접합공정에 다양하게 적용이 되고 있다<sup>8</sup>. 그러나, 공정온도가 400~500°C가 되는 전기오븐의 사용은 OLED, 광통신용 광 도파로, 태양전지, 바이오칩 등 유기소재가 포함된 소자의 패키징 및 광학소자의 적용이 불가능한 단점이 있어 레이저를 이용한 frit의 국부적인 가열법이 최근 적용되기 시작하였다<sup>9</sup>.

본 기술강좌에서는 Fig. 1과 같이 레이저 빔을 이용

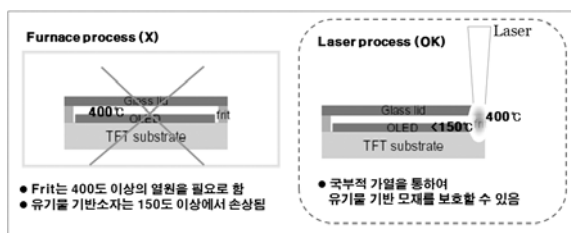


Fig. 1 Laser-based glass soldering for organic devices

하여 글라스 frit을 가열하고 밀봉하는 기술을 다루고 있으며 특히 열적한계(<150°C)로 인하여 오븐에 의한 접합이 힘들었던 유기재료와 결합된 형태의 유리소자의 접합에 적용을 위한 공정을 기술하고 있다. 특히 열응력에 의한 유리 및 frit의 크랙 방지를 위한 공정실험을 위주로 설명하고자 하며, 스캐너의 고속 조사공정, 가압/가열 지그를 이용한 온도구배 최소화 방법을 이용한 결과들을 소개한다.

### 2. 유리의 접합 실험

Fig. 2(a)는 유리모재에 frit을 도포하기 위한 한 도면 및 적용예로서, 127×127mm의 유리모재에 45×45mm의 크기로 frit을 4방향으로 도포한 결과이다. Frit 선폭은 1mm 이며, 사용된 유리는 코닝사 Eagle 2000으로서 300°C이내에서  $31.8 \times 10^{-7} \text{m}/^\circ\text{C}$ 의 열팽창계수를 유지하고 있으며 높은 광투과율 및 열적안정성으로 인하여 디스플레이용 유리로 각광을 받는 재료이다. Frit은 실크스크린을 통하여 도포되었으며 (주)Sealtech사 제품으로 PbO: 70%, ZnO: 10%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 10%, SiO<sub>2</sub>: 5% 및 ZrO<sub>2</sub>: 5%로 구성되어 있다. 또한, sealing 온도 450°C, transition 온도: 320°C 및 열팽창계수:  $89 \times 10^{-7} \text{m}/^\circ\text{C}$ 의 특성을 보유하고 있다. 레이

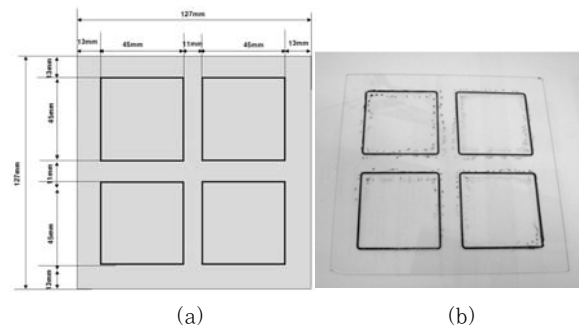


Fig. 2 Printed frit on the glass (a)pattern and (b)sample

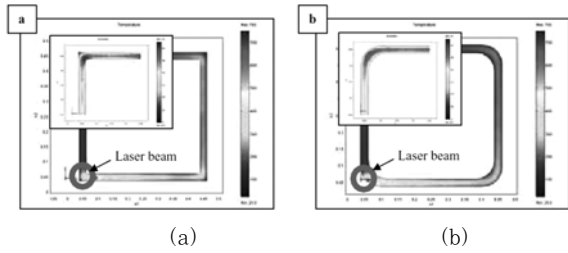


Fig. 3 Temperature distribution along the solder glass: (a) square and (b) radius corners<sup>9)</sup>

저를 이용한 frit의 가열시 온도의 집중에 의한 재료의 파괴를 막기 위해서는 코너부를 곡면처리 하여야 한다. Fig. 3은 사각형 코너와 곡면처리된 코너부의 레이저 가열시 열해석 결과로서 직각으로 구성된 코너부에 열이 집중된다는 것을 알 수 있다. 이를 방지하기 위해 본 실험에서는 반경 1mm를 갖는 코너부를 설계하였다.

또한 실험에서 frit의 뒷면에 레이저를 조사하기 위하여 바닥면에 홈이 형성된 지그를 사용하였으며 모재로서는 근적외선 영역에서 반사율이 높으며 가열시 열전도율이 우수한 구리가 적용되었다(Fig. 4(a) 참조). Fig. 4(b)는 유리접합을 위한 실험장면으로서 Robot(현대 HX130-02)과 스캐너(Scanlab사)를 이용하여 레이저 빔을 이송하였으며 사용된 레이저는 IPG Fiber 레이저(YLR-1600)이다. 한편 접합에 필요한 레이저 빔의 직경은 2mm로서 초점거리가 460mm인 F-theta 렌즈를 디포커싱(390mm)하여 실험하였다.

Fig. 5는 레이저 빔(출력: 150W, 초점크기: 2.5mm)의 가공속도에 따른 가공부의 최고온도 분포로서 고속으로 가공됨에 따라 최고점의 500°C이하로 내려온다는 것을 알 수 있다. 이에 따라 본 기술강좌에서는 크게 고속가공조건과 저속가공조건 그리고 예열가공 및 비예열가공으로 나누어서 실험결과를 분석하였다. 열화상 카메라(Fluke Ti25)는 가공부 전체의 온도분포를 측정하기 위해 사용하였다. 또한 응력 및 실링특성은 각각 광탄성 측정장치(Fig. 6 참조) 및 고압 챔버를 설계/제작하여 측정할 수 있었다.

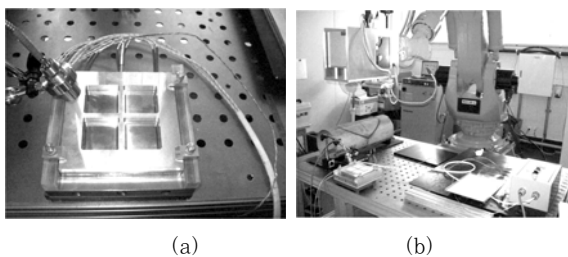


Fig. 4 Heating/pressing jig and experimental equipment

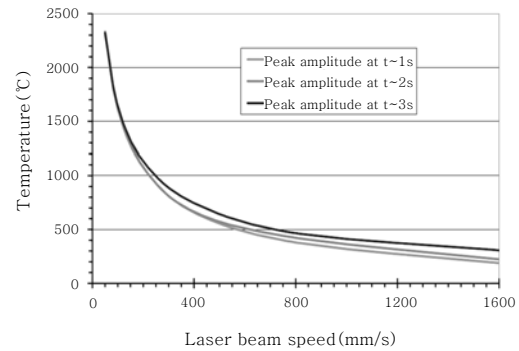


Fig. 5 Peak temperature as an increase of laser beam speed<sup>9)</sup>

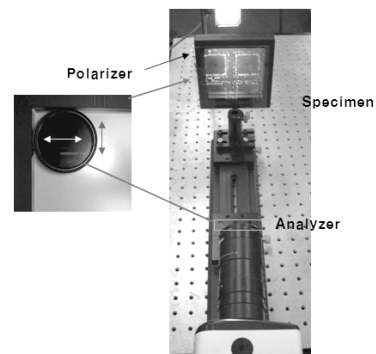


Fig. 6 photo-elasticity test device

### 3. 유리의 접합 특성 분석

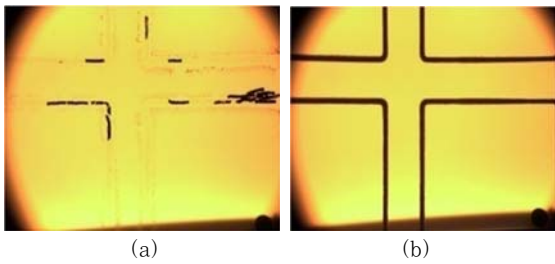
Table 1은 유리의 접합을 위한 실험조건 및 실험결과를 정리한 도표로서 가공속도, 레이저 출력, 예열온도 및 단위 길이당 주입된 에너지에 따른 실험결과로서는 Frit의 벗겨짐, 응력, 크랙, 젖음성, 가공온도 및 실링특성을 정성적으로 설명하고 있다.

Fig. 7은 Frit의 벗겨짐 현상을 나타내는 사진으로서 Frit의 벗겨짐 현상(delamination)은 저속공정보다는 고속공정의 경우에 발생하였으며 일반적으로 낮은 출력을 조사한 경우 발생하였다. 이유로서는 유리모재가 충분히 가열되기 전 Frit에 레이저 빔이 조사되어 국부적인 팽창과 수축이 진행되었기 때문이다. 그렇지만 이와 같은 결함은 출력을 높일 경우 유리에 열이 가해지며 사라지는 현상이 발견되었다.

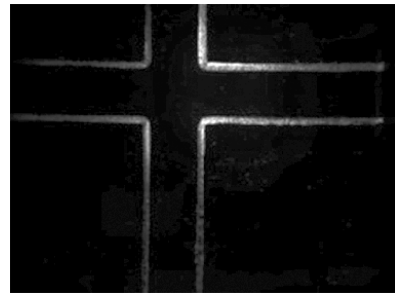
Fig. 8은 레이저 출력: 200W, 레이저 빔 조사속도: 100mm/s, cycle: 25의 조건에서 측정된 온도분포로서 코너부위에 온도가 비교적 집중되고 있다는 것을 보여주고 있다. 레이저를 이용하여 유리를 접합하는 경우가 가장 중요한 평가지표로서 응력의 발생유무가 있다. 이는 제품의 수명과 직접 연관이 되기 때문에 측정방법

**Table 1** Experimental result

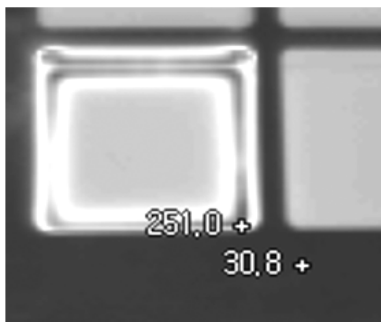
| Experiment variables |                     |       |                     |      | Experiment results |        |              |               |         |                   |                   |
|----------------------|---------------------|-------|---------------------|------|--------------------|--------|--------------|---------------|---------|-------------------|-------------------|
| Power (W)            | Scan Speed (mm/sec) | Cycle | Preheating Temp(°C) | J/mm | Delamination       | Stress | Crack (Frit) | Crack (Glass) | Wetting | Temp (uniformity) | Sealing (1/10bar) |
| 100                  | 100                 | 25    | 0                   | 25   |                    | **     | *            |               | ***     | *                 | **/*              |
| 200                  | 100                 | 25    | 0                   | 50   |                    | **     |              | ***           |         | **                | **/*              |
| 300                  | 100                 | 25    | 0                   | 75   |                    | *      |              | ***           |         | **                | */*               |
| 100                  | 1000                | 250   | 0                   | 25   | ***                |        |              |               |         | *                 | -/-               |
| 200                  | 1000                | 250   | 0                   | 50   |                    |        | ***          |               |         | **                | */*               |
| 300                  | 1000                | 250   | 0                   | 75   |                    | *      |              |               | **      | *                 | ***/**            |
| 500                  | 1000                | 250   | 0                   | 125  |                    | **     |              |               | **      | ***               | ***/*             |
| 100                  | 100                 | 25    | 100                 | 25   |                    | ***    |              |               | **      | **                | **/*              |
| 200                  | 100                 | 25    | 100                 | 50   |                    | ***    |              | ***           |         | **                | ***/*             |
| 100                  | 1000                | 250   | 100                 | 25   | ***                |        |              |               |         | ***               | -/-               |
| 200                  | 1000                | 250   | 100                 | 50   |                    |        |              |               | **      | ***               | ***/**            |
| 300                  | 1000                | 250   | 100                 | 75   |                    | *      |              |               | **      | ***               | **/*              |
| 500                  | 1000                | 250   | 100                 | 125  |                    | **     |              |               | *       | ***               | */-               |



**Fig. 7** Photos of delaminated specimens: (a) laser power: 100W, velocity: 1000mm/s, cycle: 250 and (b) laser power: 300W, velocity: 1000mm/s, cycle: 250



**Fig. 9** Stress distribution (laser power: 200W, velocity: 100mm/s, cycle: 25)



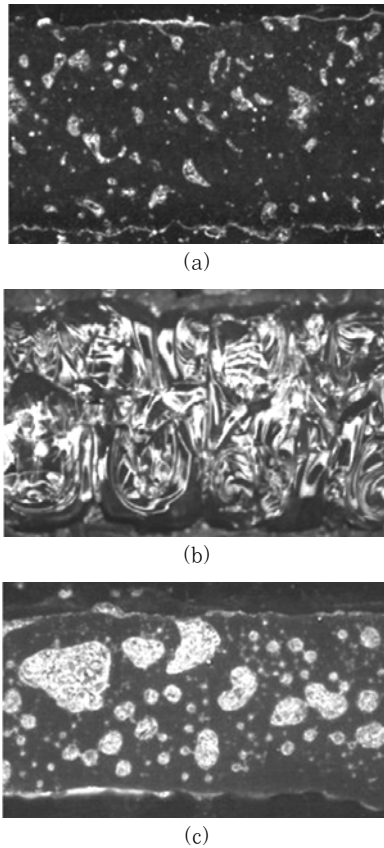
**Fig. 8** Temperature distribution (laser power: 200W, velocity: 100mm/s, cycle: 25)

의 고안이 매우 중요하다. 본 강좌에서는 편광기법을 이용한 광탄성 측정장치로서 가공부의 응력을 측정하였고 Fig. 9에서 밝게 보이는 직선은 응력이 존재한다는 증거로서 응력에 의해 편광이 변했음을 보여주고 있다.

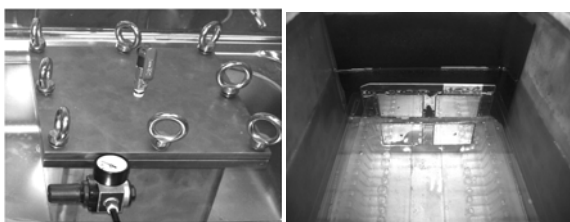
반대로 응력이 존재하지 않을경우는 편광에 의해 빛이 차단되어 Fig. 9에서 볼 수 있는 밝은 선을 볼 수 없게 된다.

이외에도 frit의 젖음성(wetting) 및 크랙의 유무도 수명과 연관된 중요한 측정변수중의 하나로서 darkfield 측정법(오염물 및 크랙의 측정이 용이)을 이용하여 관찰할 수 있다(Fig. 10 참조). 전체적으로 젖음성은 저속공정보다 고속공정의 경우 안정적으로 가열되어 우수하였으며 크랙의 발생은 저속공정에서 응력의 발생에 의해 자주 발생되었다. 이와 더불어 기포의 발생은 고출력 및 고속공정에서 발생하였는데 이는 저융점 재료인 아연 산화물이 포함되어 일어나는 현상으로 판단된다.

Fig. 11은 밀봉성능의 측정을 위한 가압형 테스트 장치를 나타내고 있으며 가공된 시편을 수중에서 10bar의 조건으로 24시간 이상 가압한 후 frit의 내부로의 수분 침투여부를 판단하였다. 전체적으로 실험



**Fig. 10** Experimental results by Darkfield method : (a)wetting of flit (laser power: 100W, velocity: 100mm/s, cycle: 25), (b) crack (laser power: 300W, velocity : 100mm/s, cycle: 25) and (c) pore (Power: 500W, velocity: 1000mm/s, cycle: 250)



**Fig. 11** Sealing test (a)equipment (b)experiment result

결과는 고속가공의 경우 접합특성이 뛰어나다는 것을 알 수 있었다.

4. 맺 음 말

본 기술강좌는 낮은 녹는점을 갖는 글라스 플릿(frit)의 레이저 솔더링 기술을 이용하여 유리 기판을 기계적/화학적 손상 없이 접합하는 기술에 대한 내용으로 공

**Table 2** Summary for laser based glass soldering

| 접합성능이 우수한 경우  | 접합성능이 낮은 경우  |
|---|--|
| - 저속공정(100mm/s)에 비해 고속공정(1000mm/s)인 경우<br>- 예열(100℃)을 통하여 지그와 모재의 온도구배를 최소화 한 경우<br>- 가공시 frit내에서 온도분포의 차가 적은 경우<br>- 가공후 wetting이 충분히 일어난 경우 | - Frit이 벗겨지는 경우<br>- 열응력이 발생한 경우<br>- Frit 및 모재에 크랙이 발생한 경우<br>- 온도가 지나치게 높은 경우<br>- 가공시 frit내에서 온도분포의 차가 큰 경우 |

정변수(레이저 출력, 레이저 빔 조사속도, 예열온도 등)와 밀봉성능의 상관관계를 설명하였으며, 온도, 크랙, 응력, frit의 젖음성 등 측정변수가 밀봉성능에 미치는 영향을 설명하였다. 전반적으로 고속가공공정의 경우 열응력이 낮아 밀봉성능이 우수하고, 동일한 속도 내에서는 예열공정(100℃)을 거친 경우가 온도의 균일도가 향상되어 밀봉성능이 뛰어나게 된다. 추가적인 실험/고찰을 통하여 신뢰성이 충분히 확보된다면 OLED, 광도파로, 바이오칩 및 태양전지에 이르기까지 적용이 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. J. Daimer, K. Mücke (1993) Joining borosilicate 3.3 with solder glass, in proceedings of 4th international conference Joining Ceramics, Glass and Metal, Königswinter, Germany, 302-309
2. D. Höhne, W. Dursdorf (1993) Solder glass for joining aluminium nitride ceramics, in proceedings of 4th international conference Joining Ceramics, Glass and Metal, Königswinter, Germany, 76-84
3. R.K. Brow, D.R. Tallant (1997) Structural design of sealing glasses, Journal of Non-Crystalline Solids 222, 396-406
4. M. Brochu, B.D. Gauntt, R. Shah, G. Miyake, R.E. Leohman (2006) Comparison between barium and strontium glass composites for sealing SOFCs, Journal of the European Ceramic Society 26, 3307-3313
5. R. L. Dietz (2004) Optical fiber sealing with solder glass, in proceedings of SPIE Vol. 5578, Bellingham, USA, 642-651
6. OzOptics, Glass solder preforms documentation, [http://www.ozoptics.com/ALLNEW\\_PDF/DTS0034.pdf](http://www.ozoptics.com/ALLNEW_PDF/DTS0034.pdf) (14/06/2007)
7. H.S. Daniel, D.R. Moore, V.J. Tekippe (1994), Glass soldering improves photonic component packaging, in Laser Focus World, Nov.94
8. P.E. Burrows, G.L. Graff, M.E. Gross, P.M. Martin, M. Hall, E. Mast, C. Bonham, W. Bennett, L.

Michalski, M. Weaver, J.J. Brown, D. Fogarty, L.S. Sapochak (2000) Gas permeation and lifetime tests on polymer-based barrier coatings, in proceedings of SPIE Vol.4105, 75-83

9. Cédric Chaminade, Alexander Olowinsky, Heidrun Kind, (2007) LASER-BASED GLASS SOLDERING FOR MEMS PACKAGING, in proceedings of ICALEO 2007, LIA, 143-148



- 서 정
- 1960년생
- 한국기계연구원 광응용생산기계연구실
- 레이저 및 전자빔 응용 가공기술 및 시스템
- e-mail : jsuh@kimm.re.kr



- 신동식
- 1973년생
- 한국기계연구원 광응용생산기계연구실
- 레이저 응용 복합가공 및 미세가공
- e-mail : dsshin@kimm.re.kr