

파우더 블라스팅에 의한 OELD용 유리캡의 가공 및 크랙 특성

박동삼*, 강대규⁺, 김정근⁺, 성은제⁺, 한진용⁺

(논문접수일 2006. 4. 7, 심사완료일 2006. 7. 10)

Machining and Crack Characteristics of the Glass Cap for OELD by Powder Blasting

Dong Sam Park*, Dae Kyu Kang⁺, Jeong Keun Kim⁺, Enu Je Seong⁺, Jin Yong Han⁺

Abstract

The old technique of sandblasting which has been used for paint of scale removing, deburring and glass decorating has recently been developed into a powder blasting technique for brittle materials, capable of producing micro structures larger than 100 μ m. Recently, this technique is applied to fabrication of the glass cap for OELD packaging. But, micro crack is generated on the blasted glass, which cause to decrease fracture strength. In this paper, we investigated the effect of blasting parameters on surface characteristics, surface shape and fracture strength of the powder blasted glass surface.

Key Words : Glass Cap(유리캡), Powder blasting(파우더 블라스팅), Surface characteristics(표면특성), Crack(크랙)

1. 서론

평판 디스플레이(flat panel display, FPD)산업은 성장 잠재력이 큰 산업으로서 반도체 산업을 이어갈 차세대 핵심산업의 하나로 여겨진다. 현재 FPD 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 LCD는 획기적인 기술적 발전을 기반으로 FPD 시장의 80% 이상을 차지하고 있으나 40 inch 이상의 대화

면에서 응답속도의 저하, 좁은 시야각 등의 결정적 단점으로 인하여 이를 극복하기 위한 새로운 디스플레이의 필요성이 대두되었다. 현재 차세대 디스플레이로 가능성을 인정받는 유기 EL(organic electroluminescent display, OELD)은 시장규모가 2002년 1억 달러 정도에 불과하였으나 2007년에는 30억 달러까지 성장할 것으로 예측되고 있다. 유기 EL 디스플레이는 전류를 흘려주면 스스로 발광하는 유기 발광

* 인천대학교 기계공학과 (dspark@incheon.ac.kr)
주소: 402-749 인천광역시 남구 도화동 177번지
⁺ 인천대학교 대학원 기계공학과

소자를 이용하여 문자와 영상을 표시하는 디스플레이로 FPD 중에서도 저전압 구동, 자기발광, 박막형, 넓은 시야각, 빠른 응답속도, 높은 콘트라스트 등의 많은 장점을 가지고 있어 차세대 FPD 가 갖추어야 할 모든 조건을 갖춘 유일한 디스플레이 방식으로, 최근 유기 EL 디스플레이의 상용화가 급속히 이루어지면서 가장 주목받는 FPD이다^(1,2).

한편, 유기 EL에서 패키징(packaging) 기술이 아주 중요한데 특히, 유기소재가 수분과 산소에 매우 취약하여 진공이나 불활성 기체 내에서 밀봉성 패키징을 하지 않으면 신뢰성과 수명이 문제가 될 수 있다. 현재에는 흡습제가 설치된 금속캔(metal can)을 유기 EL의 뒷면에 부착하는 방식을 취하고 있는데 이는 여러 가지 문제점을 발생시킬 뿐만 아니라 생산성도 낮아 무반응성, 밀봉성 및 일광공정을 갖춘 패키징 기술의 개발이 필수적으로 요청된다.

한편, 평판 디스플레이의 급격한 발전에 따라 수십 혹은 수백 마이크로미터 단위의 구조물 성형을 위한 고밀도도의 기계적 에칭기법이 연구되고 있는데 파우더 블라스팅법이 아주 효율적 방법으로 인식되기 시작했으며 연구 또한 활발히 진행되고 있다⁽³⁻⁹⁾.

최근, 유기 EL의 패키징 개발과정에서 금속캔을 대체하여 유리소재 이용한 캡(glass cap)을 파우더 블라스팅을 이용하여 성공적으로 시제품을 제작하였으나 유리에 대한 분사가공 시 나타나는 미세 크랙(crack) 때문에 제품의 강도 저하 현상이 발생하여 실용화에 문제점이 있었다. 그러나, 이러한 관점에서의 연구는 전혀 이루어지지 않고 있으며 단지 LCD의 유리 패널 자체의 파괴특성 해석 연구⁽¹⁰⁾ 등만 수행되고 있을 뿐이다. 이러한 상황에서 유리캡의 제작은 화학적 에칭(etching)에 의존하고 있는데 에칭의 특성상 생산성과 정밀성 및 친환경성 측면에서 분사가공법보다 열등한 것으로 판단되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 파우더 블라스팅을 이용하여 유리의 가공 시 가공조건이 유리의 미세크랙 발생이나 표면 거칠기 등 표면 성상에 미치는 영향을 규명하고, 크랙의 생성 형태가 파단 강도와 밀접한 관계를 가지고 있다는 가정 하에서 가공 조건에 따른 가공 유리시편의 파단력 및 AE 발생 상태를 분석함으로써 파단강도를 높일 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 유기 EL의 기본구조

Fig. 1은 유기 EL의 기본구조를 도식적으로 나타낸 것이다. 패키징을 위하여 현재는 주로 스테인레스강을 소재로 하여

캔 형상으로 만든 금속캔을 사용하고 있다. 그림에서 보듯이 불활성 기체 내에서 BaO와 같은 흡습제가 설치된 금속캔을 유기 EL에 부착하는 방식을 취하고 있는데 이는 무게와 부피에 문제가 있을 뿐만 아니라 유리나 플라스틱 등 종류가 다른 기판과 부착되므로 잔류응력이 발생하기 쉬우며 생산성에도 문제가 된다. 또한, 금속의 특성상 성형시에 평탄도나 미세진류의 발생 측면에서 문제가 될 수도 있다.

2.2 파우더 블라스팅의 기본원리

파우더 블라스팅에 의한 가공법은 고속의 공기나 가스에 의하여 가속된 수 μm -수십 μm 의 미립 분사재들이 80-200m/s의 고속 고밀도로 시편에 충돌되면서 미세가공을 하는 것으로, 기본적으로는 기계적 에칭의 한 가공법이다.

Fig. 2는 파우더 블라스팅의 기본 가공원리를 나타낸 것으로 피삭재가 마스크 필름(mask film)으로 덮여있는 상태에서 노즐의 전후 혹은 좌우 주사(scanning)에 의하여 가공이 이루어지게 된다. 이때, 피삭재는 마스크의 형태에 따라서 가공이 이루어지므로 복잡한 형상이나 아주 작은 형상도 쉽게 가공할 수 있다. 가공조건 변수로는 분사압력, 분사속도, 분사재의 재질과 크기, 분당 분사량, 노즐의 주사속도나 주사 횟수,

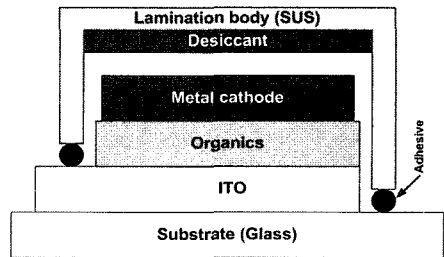


Fig. 1 Schematic structure of OLED

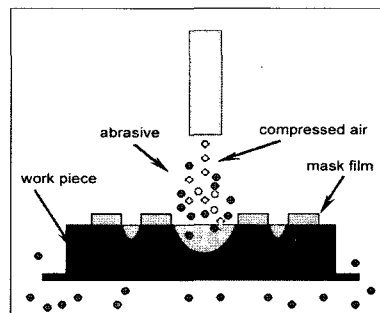


Fig. 2 A schematic impression of powder blasting

노즐과 피삭재와의 거리 등이 있으며 가공의 정밀도와 가공능률 향상을 위해서 적절한 조건을 선택하지 않으면 안된다.

이 가공법은 각각의 미립분사재의 충돌에 의한 미세가공의 집적된 형태이기 때문에 칩핑이나 크랙 및 열발생이 적으므로 유리나 세라믹, 실리콘 및 수정 등 경취재료의 정밀 미세가공에 적합한 가공법이다.

3. 실험 방법 및 조건

3.1 가공장치

본 실험에서 사용된 장비는 일본 신토(Sinto)에서 제작된 마이크로 블라스터(MB-1)이며 정량공급 장치가 장착되어 있어 일정량의 분사재를 공급할 수 있는 장비이다.

3.2 가공용 시편 및 실험조건

시편은 일반적인 SLIDE GLASS로 Menzel사 제품으로 규격은 ISO Norm 8037/1에 근거하여 제작된 시편을 사용하였으며 시편 크기는 26mm x 76mm x 1.0mm이다.

미립분사재는 알루미늄의 일종인 WA로서 입자의 크기는 #600이다. Fig. 3과 4는 분사재의 SEM 사진과 시편의 형상을 나타낸 것이다.

가공조건은 Table 1과 같이 분사압력을 각각 0.1MPa, 0.25MPa, 0.4MPa, 분당 분사량을 60g, 100g, 노즐 이송속도(nozzle scanning speed)를 50mm/sec, 100mm/sec 및 150mm/sec로 변화시키면서 유리표면을 분사가공하였다.

각 조건에서 7개씩 가공하여 표면형태는 미세형상측정기 (Veeco NT1000)와 공구현미경(KT100 High Scope)으로,

분사가공 전후 무게는 0.01mg 분해능을 갖는 정밀천칭을 이용하여 제거된 무게를 측정하였다.

두 번째 실험단계로 각 조건에서 시편을 10초, 20초, 30초 동안 화학적 에칭을 수행한 후 에칭표면을 관찰하였다.

3.3 파단실험 방법

파단시험을 위하여 CNC 머시닝센터(SIRUS-2, 화천)의 테이블에 공구동력계(Kistler 9272)를 고정하고 특별 제작된 시편 고정용 지그와 AE 센서(NF Co.)를 그 위에 부착한 후, 머시닝센터의 주축부 드릴척에 끝단이 구인 환봉을 고정하여 주축에 아랫방향으로 100mm/sec의 속도로 이송을 주며 유리 시편을 파단시켰다. 파단시험 동안 Z 축 방향의 파단력과 AE 신호를 노트북용 A/D 변환기(PCMCIA DAQ-Card 1200)를 통해 저장하였다. Fig. 5는 시편의 파단력과 파괴시 발생하는 AE 신호를 측정하기 위한 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다.

파단력 측정을 위한 공구동력계(Kistler 5011)의 증폭기

Table 1 Blasting parameter for glass sample

Abrasive	WA #600
Blasting pressure	0.1MPa, 0.25MPa, 0.4MPa
Amount of abrasive	60, 100g/min
Angle of impact	90°
Distance of nozzle	100mm
Nozzle diameter	8mm
Nozzle scanning speed	50, 100, 150mm/s
Nozzle Y speed	100mm/s
Nozzle pitch	5mm/s
Number of pass	3

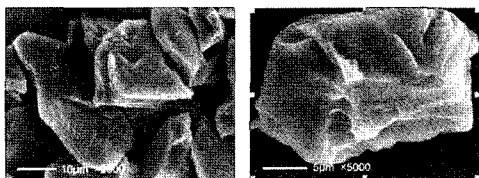


Fig. 3 SEM photographs of abrasive WA #600

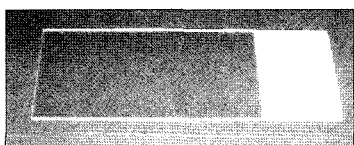


Fig. 4 Experimental sample



Fig. 5 Set-up of experimental equipments

셋팅은 LP 필터는 100Hz, Time constant는 0.01sec로 하였으며, AE 신호는 포락선 신호(envelop signal)를 검출하는데 필터는 300KHz~1MHz로, gain은 30dB로 하였다.

유리 시편의 파단시 파단력과 AE 포락선 신호의 표본화 주기(sampling frequency)는 5KHz로 하였으며 사용된 프로그램은 LabVIEW 6.1이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 재료 제거량

Fig. 6은 재료 제거량과 블라스팅 가공의 공정변수와의 관계를 나타낸 것으로 Fig. 6 (a)는 미립 분사재의 분사량이 60g/min 일 때, Fig. 6 (b)는 100g/min일 때 노즐 이송속도와 분사압력이 재료 제거량에 미치는 영향을 도시한 것이다. 이들 그림에서 입자의 분사압력이 증가함에 따라 재료의 제거량이 거의 선형적으로 증가하나, 동일 분사압력에서 노즐

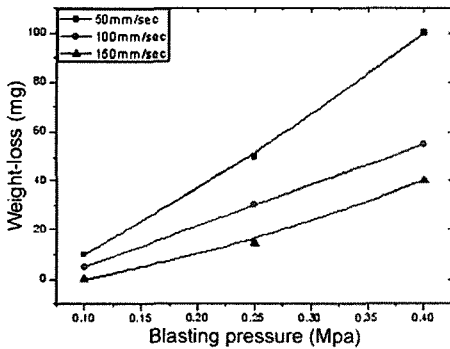
이송속도가 증가함에 재료 제거량이 줄어든다는 것을 알 수 있다. 특히, 이송속도가 50mm/sec로 낮을 경우 특히 압력이 증가함에 따라 재료 제거량이 급속히 커지고 있다.

한편, 분사량의 영향을 분석하면 동일 이송속도와 분사압력에서 분사량이 60g/min에서 100g/min으로 증가하면 재료 제거량은 거의 2배 이상으로 증가함을 알 수 있다.

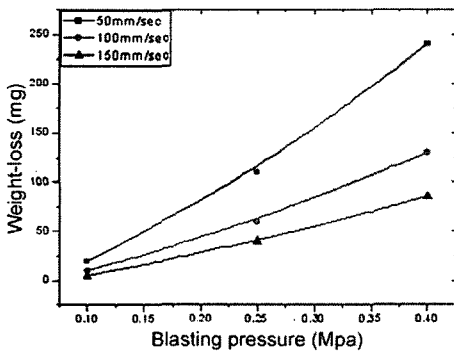
이러한 실험 결과로부터 유리에 대한 가공능률을 높이기 위해서는 분사재의 분사량과 분사 압력은 크게, 노즐의 이송속도는 작게 해야함을 알 수 있다.

4.2 표면거칠기

Fig. 7은 분사량이 100g/min일 때 블라스팅 공정변수에 따른 유리 시편의 표면거칠기 변화를 도시적으로 나타낸 것이다. Fig. 7 (a)는 일정한 이송속도에서 분사재의 분사압력과 표면거칠기와의 관계를 나타낸 것으로 분사압력의 증가에 따라 표면거칠기가 증가하는 양상을 나타내고 있다. Fig.

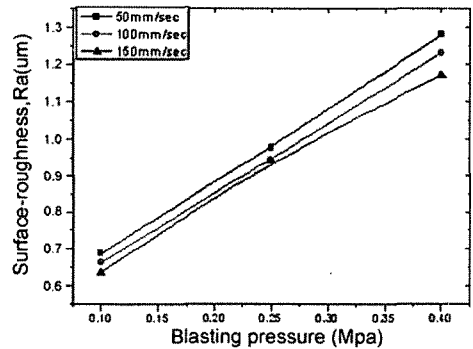


(a) mass flow rate : 60g/min

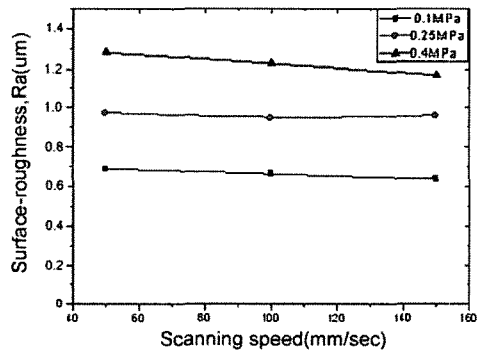


(b) mass flow rate : 100g/min

Fig. 6 Relationship between weight loss and blasting parameters



(a) Effect of blasting pressure



(b) Effect of nozzle scanning speed

Fig. 7 Relationship between surface roughness and blasting parameters

7 (b)는 일정한 분사압력에서 이송속도와 표면 거칠기의 관계를 나타낸 것으로 분사속도가 증가함에 따라 표면 거칠기가 좋아지는 경향을 나타내고 있으나 압력 변화에 비하여 미미하다. 이는 분사압력이 노즐 이송속도에 비하여 시편의 표면 거칠기에 더 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

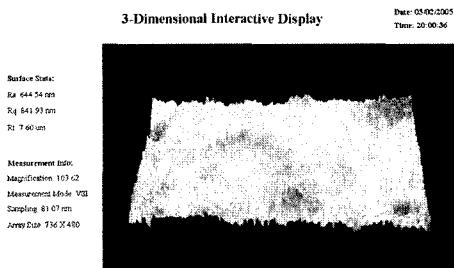
4.3 가공표면 형상과 미세 크랙

앞의 실험결과에서 블라스팅 가공 시 소재 제거량이나 표면 거칠기 등의 가공현상에 가장 큰 영향을 미치는 가공인자는 분사압력이라는 것을 알 수 있는데 여기서는 분사압력을 주요 변수로 하여 0.1MPa, 0.25MPa 및 0.4MPa로 변화시

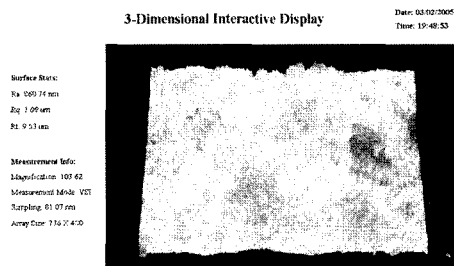
킬 때 블라스팅한 시편의 표면 미세형상을 분석하였다.

분당 분사량이나 노즐 이송속도 등의 실험조건별로 가공면의 형상을 전반적으로 모두 분석하였으나 여기서는 분당 분사량을 100g/min, 노즐 이송속도를 50mm/sec로 가공했을 때 시편 표면을 미세형상측정기(Vecoo NT1000)에서 100배율로 촬영한 결과들만을 Fig. 8에 나타내었다.

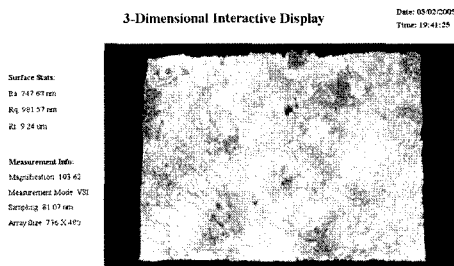
그림을 보면 분사압력이 증가할수록 표면의 기복이 더욱 심해지고 깊이 패인 흔적이 발생한다는 것을 알 수 있는데 이는 미세 크랙의 크기가 증가함을 의미하며 이 크랙은 재료의 제거에는 영향을 미치지 않지만 가공시편의 강도를 저하시키는 결과를 초래하게 된다.



(a) 0.1MPa

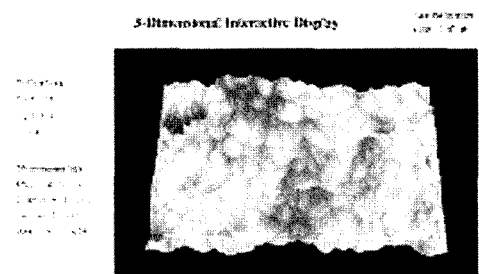


(b) 0.25MPa

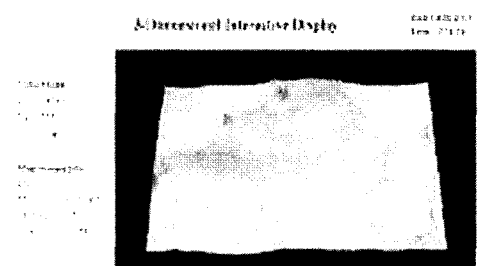


(c) 0.4MPa

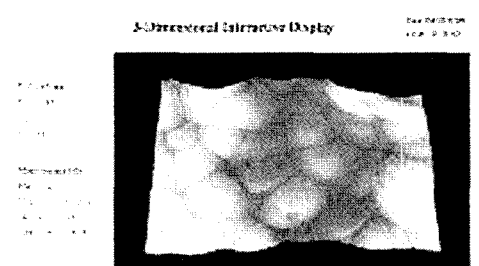
Fig. 8 Effect of blasting pressure on blasted surface (mass flow rate 100g/min, scanning speed 50 mm/sec)



(a) 10sec



(b) 20sec



(c) 30sec

Fig. 9 Effect of etching time on blasted surface (pressure 0.25MPa, mass flow rate 100g/min)

이러한 미세한 크랙을 줄이기 위하여 가공된 시편 표면에 불산 50% 용액을 사용하여 화학적 에칭을 하였으며 Fig. 9는 각각 10초, 20초 및 30초간 부식한 표면 형상을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 10초간 부식을 한 경우 원래 가공표면과 어느 정도 유사한 형태를 보이거나 부식시간이 30초가 될 경우는 과도 에칭에 의하여 전체적으로 평면도가 많이 저하되는 현상이 발생하고 있다. 이러한 결과로부터 약 20초 정도의 부식 시간이 최적일 것으로 판단된다.

4.4 기계적 특성과 미세 크랙의 영향

분사가공과 파단시험은 18가지 가공조건에 따라 행하여졌으며 여기서는 분사량이 100g/min일 경우에 한정하여 분사재의 분사압력과 이송속도가 파단력과 AE 신호에 미치는 영향을 고찰하였다.

Fig. 10은 각 분사압력에 대하여 노즐의 이송속도를 변화시킬 때 나타난 파단력의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 분사압력이 높아질수록, 노즐이송속도가 느릴수록 파단력도 감소하나 전반적으로 파단력은 분사압력에 크게 의존하며 노즐 이송속도에는 거의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

모든 가공 조건에 대한 분석결과 분사압력이 시편의 파단시 파단력과 AE 신호에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 드러났는데 Fig. 11 (a), (b) 및 (c)는 분사량 100g/min, 이송속도 50mm/sec의 조건하에서 분사압력의 변화에 따라 파단력과 파단시 발생하는 AE 신호의 형태를 나타낸 그림이다. 전반적으로 나타나는 두 신호의 형태는 유사하나 Fig. 10에서 나타난 바와 같이 파단력의 경우 분사압력이 커질수록 파괴순간의 최대 하중이 점점 줄어든다는 것을 알 수 있다.

AE 신호의 경우 유리 시편의 파단 순간 AE가 방출되기

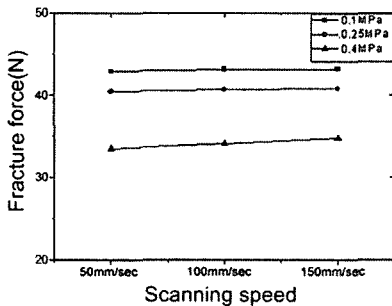
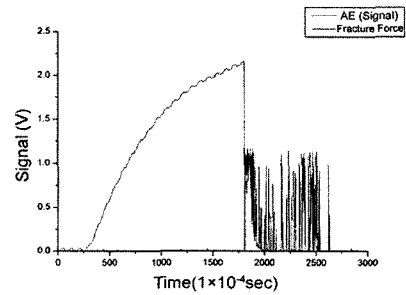
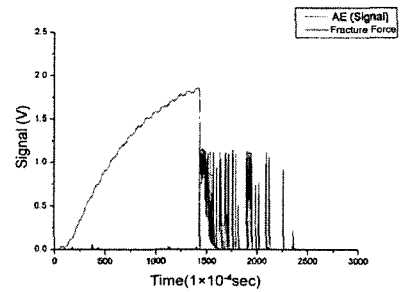


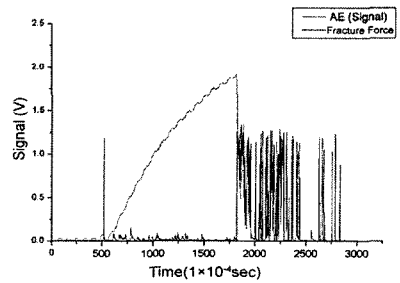
Fig. 10 Fracture strength variation(mass flow rate 100 g/min)



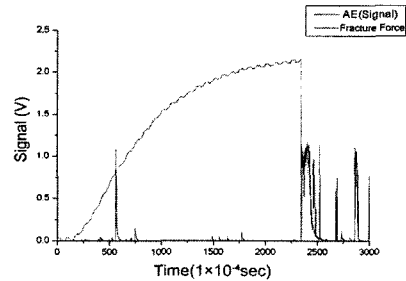
(a) 0.1MPa



(b) 0.25MPa



(c) 0.4MPa



(d) 0.4MPa(etched for 30 seconds)

Fig. 11 Effect of blasting pressure on the AE and fracture force(mass flow rate 100g/min, scanning speed 50mm/sec)

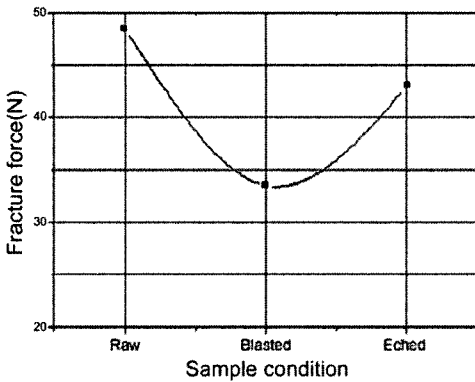


Fig. 12 Fracture strength variation(mass flow rate 100 g/min, scanning speed 50mm/sec, pressure 0.4 MPa)

시작하나 분사압력 변화에 따라 큰 변화를 찾아볼 수 없는데 이는 분사가공된 시편에 크랙이 전반적으로 아주 미세한 형태로 남아 있어 이들 크랙의 크기가 AE 에너지에 영향을 줄 정도는 아니기 때문에 나타난 현상으로 판단된다.

한편, 분사가공 후 발생하는 미세 크랙을 감소시키기 위하여 불산 50% 용액으로 30초간 부식 후의 시편에 대한 파단력과 AE 신호 형태를 Fig. 11 (d)에 나타내었다.

Fig. 11 (d)의 결과를 보면 동일 조건에서 분사가공한 Fig. 11 (c)의 경우보다 에칭 후 파단력이 크게 증가하며 AE 신호도 그 에너지가 아주 작는데 이는 크랙의 감소에 기인한다고 판단된다.

Fig. 12는 원래 상태의 유리 시편과 분사가공 후의 시편 및 분사가공 후 그 가공면에 대하여 30초간 에칭 후의 각 시편에 대한 파단 시험 결과로 나타난 파단력의 변화를 나타낸 것이다. 분사가공 후 파단력이 크게 감소하나 에칭을 추가할 경우 미세 크랙의 감소로 인하여 파단력이 다시 증가함을 볼 수 있다.

이러한 실험 결과는 유기 EL의 유리캡을 분사가공으로 성형한 후 화학적 에칭으로 유리 시편에 남아있는 미세 크랙들을 감소시켜 현재 문제가 되고 있는 파단강도 저하 현상을 어느 정도 극복하는데 도움이 될 수 실제 유기 EL용 유리캡의 실용화에 응용될 수 있으리라 판단된다.

5. 결론

유기 EL용 유리캡 성형용 유리 시편에 대하여 파우더 블라스팅 공법을 이용하여 분사가공시 가공조건 변화에 따른

가공면의 형상과 기계적 성질에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시편 표면의 제거량은 전반적으로 노즐 이송속도에 반비례하며 분사압력에 비례하는데, 이송속도보다는 분사압력이 더욱 큰 영향을 미친다.
- (2) 가공 표면을 관찰한 결과 표면거칠기는 노즐 이송속도에 거의 영향을 받지 않으나 분사압력에는 큰 영향을 받는다. 분사압력이 증가함에 따라 큰 기복현상과 미세 크랙으로 볼 수 있는 깊이 패인 흔적이 나타나는데 이는 유리의 파괴강도를 떨어뜨리는 요인이 된다.
- (3) 파단 실험 결과 분사압력이 높아질수록 파괴강도가 크게 감소하는데 분사량이나 분사노즐의 이송속도가 파괴강도에 미치는 영향은 미미하다.
- (4) 분사가공 후 남아 있는 표면의 미세 크랙을 제거하기 위하여 불산을 이용한 화학적 에칭으로 표면을 부식한 결과 20초 정도 부식할 경우 미세 크랙이 현저히 줄어드는 최적의 표면이 나타났다.
- (5) 분사가공 후 에칭 시 표면형상은 전반적으로 평활해지면서 파단강도가 증가하여 기계적 성질은 향상되며 발생하는 AE 신호의 에너지도 적어지는데 이는 분사가공 후 발생된 크랙이 어느 정도 감소되었다는 것을 의미한다.
- (6) 파괴강도를 높이기 위해서는 가능한 한 저압으로 분사하는 것이 좋으나 그 경우 가공효율이 낮아지는 문제점이 발생하는데 가공 효율을 높이면서 크랙 발생을 최소화시키는 방법은 분사압력은 작게, 분사재의 분당 분사량은 크게 해야 된다.
- (7) 파우더 블라스팅과 에칭의 가공 공정을 동시에 도입하여 유기 EL용 유리캡의 성형이 어느 정도 가능함을 확인하였다.

후 기

이 논문은 인천대학교 2004년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Jeong, H. K. and Kweon, J. H., 2001, "Summary and Research Trend of OELD," *Journal of KSME*, Vol. 41, No. 5, pp. 47-52.
- (2) Jang, J., 2001, "Trend and Prospect of Flat Panel

- Display,” *Journal of KSME*, Vol. 41, No. 5, pp. 30~36.
- (3) Slikkerveer, P. J., Bouten, P. C. P. and de Haas, F. C. M., 2000, “High quality mechanical etching of brittle materials by powder blasting,” *Sensors and Actuators* 85, pp. 296~303.
- (4) Lighthart, H. J., Slikkerveer, P. J., In’t Veld, F. H., Swinkels, P. H. W. and Zonneveld, M. H., 1996, “Glass and Glass Machining in Zeus Panels,” *Philips J. Res.*, Vol. 50, No. 3/4, pp. 475~499.
- (5) Izawa, M., 2000, “The Trend and Application of the Abrasive Jet Machining,” *Journal of the Society of Grinding Engineers*, Vol. 44, No. 1, pp. 11~14.
- (6) Kim, K. H., Choi, J. H. and Park, D. S., 2002, “Effect of Nozzle Scanning in Micro Grooving of Glass by Powder Blasting,” *Journal of the KSME, Part A*, Vol. 26, No. 7, pp. 1280~1287.
- (7) Park, D. S., Cho, M. W., Lee, H. and Cho, W. S., 2004, “Micro-grooving of glass using micro- abrasive jet machining,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 146, Issue 2, pp. 234~240.
- (8) Park, D. S., Cho, M. W. and Lee, H., 2004, “Effects of the impact angle variations on the erosion rate of glass in powder blasting process,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 23, No. 5~6, pp. 444~450.
- (9) Jin, Q. Q., Seong, E. J., Han, J. Y., Park, D. S. and Yoo, W. S., 2006, “A study on the predictive modeling of material removal and surface roughness in powder blasting of glass by design of experiments,” *Transactions of the KSMTE*, Vol. 15, No. 2, pp. 66~72.
- (10) Park, S. H., Lee, B. Y. and Earmme, Y. Y., 2000, “Analysis on the Fracture of a Panel Glass in a Liquid Crystal Display Module under Mechanical Shock,” *Journal of the KSPE*, Vol. 17, No. 12, pp. 76~81.