

## 무 알칼리 유리의 연마 조건에 따른 영향

박영희<sup>a</sup>, 홍민성<sup>b\*</sup>

## Effect of Polishing Grinding Conditions on Alkali-free Glass

Younghee Park<sup>a</sup>, Minsung Hong<sup>b\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, Ajou University,  
206, World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 16499, Korea<sup>b</sup> Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Ajou University,  
206, World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 16499, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 7 November 2016  
Revised 12 December 2016  
Accepted 14 December 2016

## Keywords:

TFT LCD panel  
Alkali-free glass  
Grinding wheel  
Roughness  
Chipping

## ABSTRACT

Owing to the introduction of various IT devices with emphasis on portability and design, the TFT (thin film transistor liquid crystal display) panel applied to IT devices has the same shape as the product, and the portability requirement of IT devices has resulted in a need for panels with higher rigidity. In this study, the effect of grinding conditions such as the feed rate and edge speed of edge grinding on the surface roughness and chipping of the machined surface is investigated using a metal bond wheel. During edge grinding of alkali-free glass, weak mechanical property of glass results in big chipping owing to generation of tensile stress at the end of grinding operation. The results of this study show that the grinding characteristics of alkali-free glass are obtained and meet industry requirements.

## 1. 서론

IT(information technology) 기술 발전으로 인하여 2010년 이후 휴대성 및 디자인(design)이 강조된 다양한 IT 기기들이 등장하면서 손에 쥐는 느낌이 좋게 하거나 제품만의 독특한 디자인을 위하여 IT 기기에 채용되는 TFT LCD (thin film transistor liquid crystal display) 패널(panel)은 제품의 외형과 동일하게 기존의 직사각형 모양이 아닌 모서리가 둥근 모양을 띠는 등 다양한 모양을 띠고 있다. 휴대성이 강조됨에 따라 IT기기의 경량화 및 슬림(slim)화로 패널이 얇아짐에 따라 외부의 충격으로부터 IT기기를 보호하기 위한 패널의 강성 요구가 커지고 있다. TFT LCD 패널의 제조 과정에서 봉지 및 경화 공정 이후에 기판에서 각각의

셀(cell)로 절단하여 분리하는 절단 공정이 이루어진다.

절단 공정은 기판보다 경도가 높은 다이아몬드(diamond) 재질의 펜(pen)으로 기판 표면에 절단선을 형성하는 금긋기(scribe) 공정과 힘을 가하여 절단하는 파단(break) 공정으로 이루어진다<sup>[1]</sup>. 이러한 절단 공정에 의해 TFT LCD 패널의 에지(edge)부에는 미세 크랙(crack) 등의 결함이 발생하고 이러한 결함 등에 의해 TFT LCD 패널의 강성을 저하시키며, 절단 공정에 사용되는 다이아몬드 공구에 의해 절단면은 날카롭게 된다.

에지부에 발생한 미세 크랙은 후 공정으로의 이송 시 발생하는 응력집중 등에 의하여 TFT LCD 패널의 파손을 유발하며, 날카로운 에지는 인쇄 회로 기판과 TFT LCD 패널의 단자부를 연결하는 플렉시블(flexible) 커넥터(connector)의 절단을 유발하여 TFT

\* Corresponding author. Tel.: +82-31-219-2526

Fax: +82-31-219-1611

E-mail address: mshong@ajou.ac.kr (Minsung Hong).

LCD 패널의 품질을 저하시킨다.

TFT LCD 제조 공정에는 외부 충격 강화 등의 목적을 위해 제품의 마무리 가공 공정으로 치수 정밀도 및 표면 성상이 우수한 제품을 얻을 수 있는 표면 가공 방법인 연삭 가공 장비 에지 그라인더 (edge grinder)를 통하여 위에서 설명한 제품의 디자인 및 패널의 강성 문제들을 해결하며, TFT LCD 패널의 품질을 향상시키고 있다<sup>2)</sup>.

에지 그라인더에 적용된 연삭 가공은 슛돌을 고속으로 회전시켜 무수히 많은 예리한 입자로 피삭재를 제거하여 정확한 치수를 만들고, 거울과 같은 고운 면을 얻을 수 있는 절삭 공정으로 널리 이용되고 있는 가공법이다. 그러나 연삭 가공은 다른 가공과는 달리 동일한 가공 조건에서도 재현성을 얻기가 힘들고, 다양한 파라미터 (parameter)들 사이의 직접적인 상관관계의 규명뿐만 아니라 상호간의 정량화에도 많은 어려움이 많다. 따라서 최적의 연삭 조건 설정을 위한 연구가 오래전부터 광범위하게 이루어지고 있다<sup>3)</sup>.

이에 본 연구에서는 패널의 유리 기판에 널리 사용되는 무 알칼리 유리의 기초적인 연삭 특성을 파악하기 위하여, 칩핑(chipping) 크기 및 표면 거칠기(surface roughness)에 영향을 미치는 연삭스들의 원주 속도 및 이송속도의 영향을 고찰하며, 효과적인 가공 조건을 파악하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용한 연삭스들은 주로 TFT LCD 패널의 에지 가공에 주로 사용되는 합성 다이아몬드 입자와 메탈 본드를 사용한 연삭스들을 사용하였으며, 사양은 Table 1과 같다.

공작물은 TFT LCD 패널의 유리 기판에 널리 사용되는 무 알칼리 유리를 80×110×0.5(폭×길이×높이) 절단하여 사용하였다. 이는 유리 기판에 알칼리 성분이 존재하게 되면, 액정에 알칼리 이온이 녹아 나와 액정의 특성을 변화시키거나, 색이 균일해지지 않아 TFT LCD 패널의 안정성에 큰 문제를 초래하게 되어 무 알칼리를 사용하고 있다.

본 실험에서는 무 알칼리 유리를 공작물로 채택하였다<sup>5)</sup>. 실험에

Table 1 Specification of grinding wheel

Abrasive	Artificial diamond
Bond	Metal
Mesh	#800
Concentration	100
Hardness	N
Diameter	Φ150 (mm)

사용한 연삭 장치는 TFT LCD 패널용 에지 그라인더를 사용하였으며, Fig. 1은 실험에 사용된 에지 그라인더의 연마 가공부 이미지 (image)이다. 연마 방식은 수직연마 방식이며, 공작물의 최대 이송 속도는 1,000 mm/s, 연삭스들의 허용 최대 회전수는 12,000 rpm 이다.

### 2.2 실험방법

수직형의 에지 그라인더를 사용하여 무 알칼리 유리를 테이블 위에 진공을 사용하여 고정된 후 CCD(charge coupled device) 카메라(camera)를 이용하여 공작물인 무 알칼리 유리를 이송방향과 평행하게 보정하였다. 이후 동일한 연마량으로 가공이 가능하도록 한 후 Table 2의 연마 조건으로 상향 연마를 하였다.

연마가 완료된 무 알칼리 유리는 DIW(deionized water)를 사용하여 세정한 후 공초점 주사레이저 현미경을 사용하여 표면 거칠기 및 칩핑을 측정하였다. 표면 거칠기는 조건별로 각기 다른 지점을

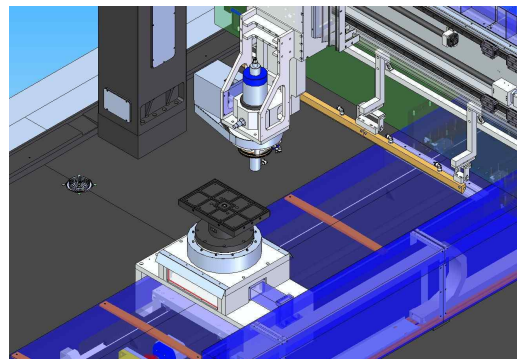


Fig. 1 Grinding unit

Table 2 Grinding condition

Grinding method	Vertical grinding, Up cut
Grinding wheel	SD800N50M
Grinding wheel speed (rpm)	2000, 4000
Table feed speed (mm/min)	500, 1000
Depth of grinding (μm)	150 ~ 250
Grinding fluid	DIW

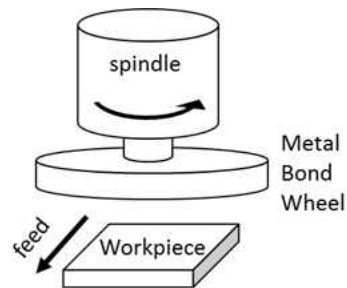


Fig. 2 Experimental setting

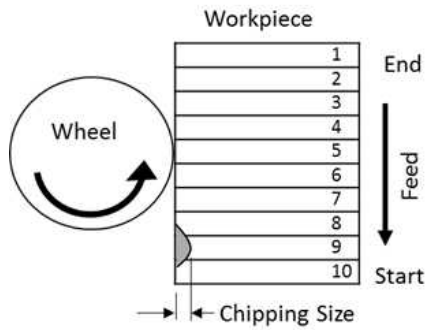


Fig. 3 Measurement point of chipping

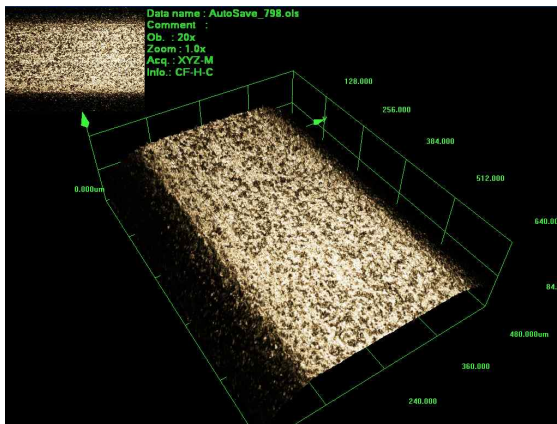


Fig. 4 Grinding surface shape of after grinding

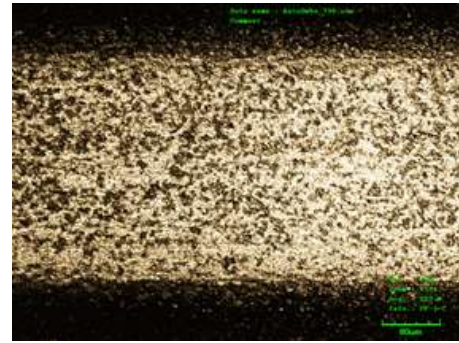
5곳을 측정하였으며, 산업 현장에서 주로 사용하는 중심선 평균 거칠기(Ra)를 기준으로 비교하였다. 치핑은 Fig. 3과 같이 연삭 방향과 수직인 치핑의 폭을 각 조건별로 총 연삭 거리를 10 등분하여 각 지점별 최대값 기준으로 10개를 측정하여 치핑의 크기를 비교하였다.

### 3. 결과

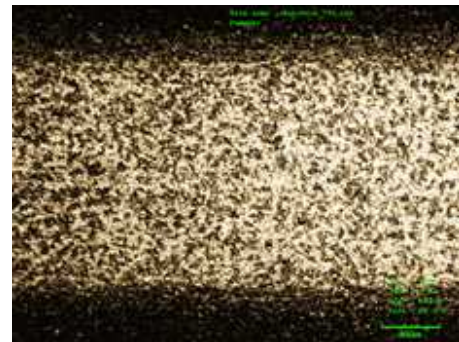
#### 3.1 표면 거칠기

Fig. 4는 본 실험에서 실시한 연마 완료 후의 무 알칼리 유리의 에지 형상이며 Fig. 5는 각 연마 조건별로 가공 표면을 OLYMPUS사의 공초점 주사레이저 현미경(confocal scanning laser microscope, OLS3000)을 이용하여 측정한 이미지이다. Table 3과 Fig. 6을 통해 주속 4,000 rpm, 이송속도 500 mm/min에서 가장 우수한 표면 거칠기 결과를 나타냄을 알 수 있다. 연삭숫돌의 주속도가 증가하고, 이송속도가 감소할수록 연삭 시 가공 저항 즉, 연삭 저항력이 다른 연마 조건에 비해 적게 작용하여 이와 같은 결과를 나타내는 것으로 보인다.

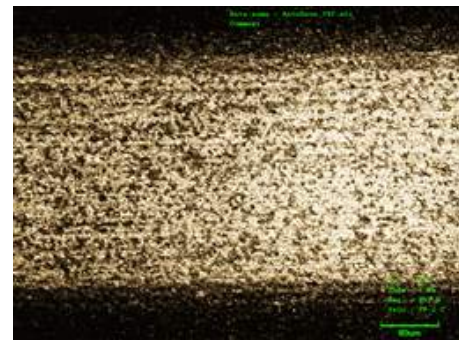
일반적으로 유리와 같은 취성재료는 충격력에 약하기 때문에 가공 시 발생하는 가공 저항 즉, 연삭 저항력의 크기가 커질수록



(a) 2000 rpm, Feed 500 mm/min



(b) 2000 rpm, Feed 1000 mm/min



(c) 4000 rpm, Feed 500 mm/min



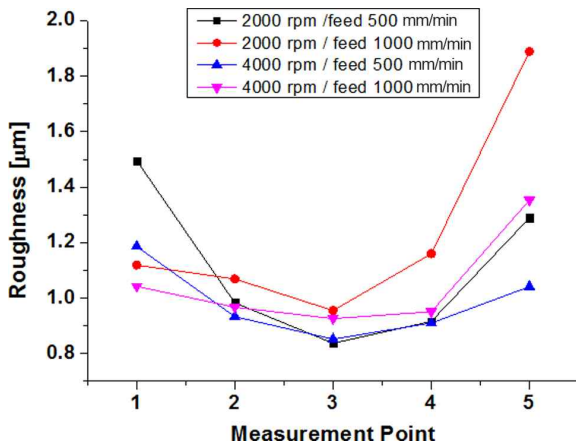
(d) 4000 rpm, Feed 1000 mm/min

Fig. 5 Grinding surface by each grinding conditions

취성파괴를 일으키며, 표면 거칠기에 영향을 미친다<sup>4,6)</sup>. 이는 일반적인 금속 연삭 가공 시에 나타는 특징과 비슷한 경향을 나타낸다. 그러나 본 실험 결과 중 특이한 사항은 연마 조건별 동일 조건으로 가공 시에도 측정 위치에 따라 연마 조건별로 유사한 결과를

**Table 3 Surface roughness measurement data**

Rpm / Feed rate [mm/min]	min [ $\mu\text{m}$ ]	max [ $\mu\text{m}$ ]	avg. [ $\mu\text{m}$ ]
2000/500	0.839	1.495	1.104
2000/1000	0.955	1.189	1.238
4000/500	0.852	1.186	0.984
4000/1000	0.926	1.353	1.048



**Fig. 6 Surface roughness**

보이고 있다.

Fig. 6에서와 같이 측정점 1, 5에서 상대적으로 높은 표면 거칠기를 나타내는데, 이는 연삭숫돌의 형상이 변하는 변곡점에 가까이 위치하고 있는 측정 지점이기 때문이다. 즉, 원통형 연삭숫돌이 아닌 그루브(groove) 형태의 형상을 가진 연삭숫돌을 이용한 연삭 가공 시에 나타나는 현상으로 연마 시 작용하는 배분력과 주분력 사이의 합성 분력이 연삭숫돌 형상에 따라 서로 다르게 작용하여 이러한 결과가 나타난 것으로 생각되며, 연삭숫돌의 형상에 따른 표면 거칠기에 영향을 미친다고 판단된다.

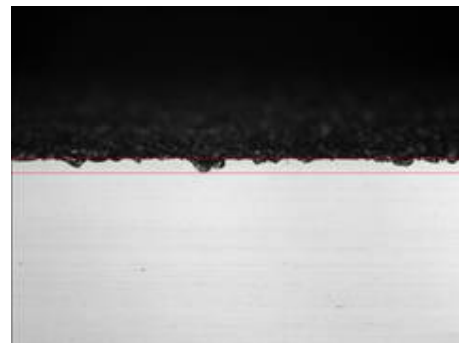
### 3.2 치핑 변화

Fig. 7은 본 실험에서 실시한 연마 조건별 최대 치핑을 공초점 주사레이저 현미경을 이용하여 측정된 것이다. Table 4와 Fig. 8을 통해 주속 4,000 rpm, 이송속도 500 mm/min에서 치핑 크기가 가장 우수한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 이는 표면 거칠기와 동일하게 가공 시 발생하는 연삭 저항력의 크기가 다른 연마 조건에 비해 적어 이와 같은 결과를 나타낸 것으로 보인다.

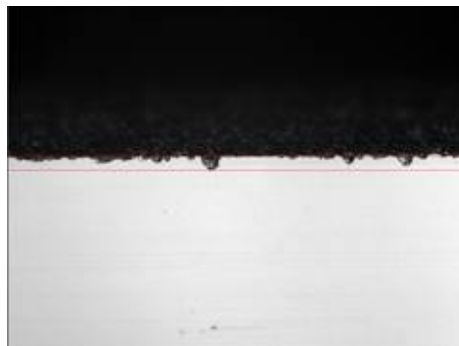
Fig. 8의 연삭 시작(측정점 1)과 종료지점(측정점 10)을 통해 연마 위치에 따라 치핑 크기가 경향을 나타냄을 알 수 있다. 연마 시작과 종료 지점에 가까운 지점에서 각 연마 조건별 평균 치핑 크기보다 큰 값을 나타내고 있다는 것이다. 이것은 무 알칼리 유리와의 특성에 따른 결과로 생각된다. 유리와 같은 취성재료는 충격에 약하며, 압축응력에는 강하고 인장응력에는 약한 특성을



(a) 2000 rpm, Feed 500 mm/min



(b) 2000 rpm, Feed 1000 mm/min



(c) 4000 rpm, Feed 500 mm/min



(d) 4000 rpm, Feed 1000 mm/min

**Fig. 7 Max chipping size by each grinding conditions**

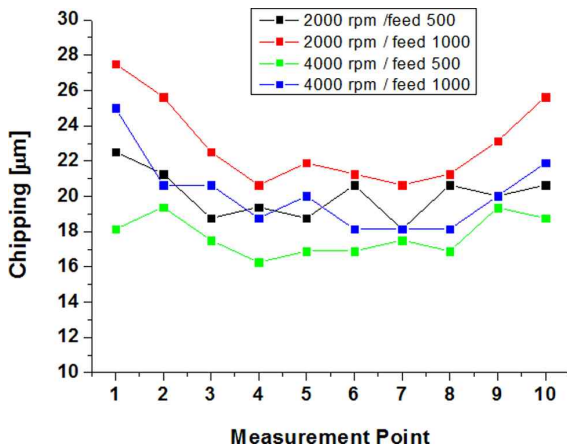
가지고 있다<sup>[7,8]</sup>.

이를 통해 연마 시작 지점의 치핑은 가공 초기 무 알칼리 유리의 진입 시 발생하는 충격력의 영향으로 치핑의 크기가 크게 나타나고, 연마 종료 측의 치핑은 인장응력에 약한 유리의 특성으로 인하



**Table 4 Chipping size measurement data**

Rpm / Feed rate [mm/min]	min [ $\mu\text{m}$ ]	max [ $\mu\text{m}$ ]	avg. [ $\mu\text{m}$ ]
2000/500	18.14	22.52	19.89
2000/1000	20.64	27.52	23.02
4000/500	16.26	29.39	17.76
4000/1000	18.14	25.02	20.14



**Fig. 8 Chipping size**

여 무 알칼리 유리 진출 시에 발생하는 인장응력에 의해 치핑의 크기가 크게 나타나는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 TFT LCD 패널의 기관으로 많이 사용되는 무 알칼리 유리의 에지 가공 시 연마 조건에 따른 표면 거칠기 및 치핑의 영향에 대해 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

연삭숫돌의 주속도가 증가하고, 이송속도가 감소할수록 연삭숫돌의 입자당 절입 깊이가 감소하게 되어 가공물의 제거량이 감소하여, 연삭숫돌과 가공면 사이의 가공 저항 감소로 인하여 표면 거칠기는 양호하며, 치핑(chipping)의 크기는 감소하였다.

연삭숫돌의 형상 변곡점 주위에서 배분력과 주분력 사이의 합성분력의 차이로 동일 연마 조건에서도 상대적으로 큰 표면 거칠기가

나타났다. 무 알칼리 유리의 에지 가공 시 연마 시작 측에서 알칼리 유리의 연삭 지점에서의 진입에 의한 충격력에 의해 동일 연마 조건에서도 충격력에 약한 무 알칼리 유리와 같은 취성재료의 특성에 의해 상대적으로 큰 치핑이 발생하였다.

무 알칼리 유리의 에지 가공 시 연마 종료 측에서는 인장응력의 발생으로 인장응력에 약한 유리의 기계적 성질에 의해 상대적으로 큰 치핑이 발생하였다.

에지 가공 시 연마 조건에 따른 결과 값을 분석한 본 연구를 바탕으로 비슷한 소재에서의 가공성 향상이나 실제 제품 가공 시 품질 향상에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

#### References

- [1] Kim, W. S., Choi, B. D., 2008, LCD Fabrication Process and Equipment, Naeha, Seoul.
- [2] Kim, T. S., 2009, A Complete of Edition of Grinder, Meere Company.
- [3] Kwak, T. K., Kwak, J. S., Ha M. K., Koo, Y., Ryoo, I. I., 2001, Evaluation of Grinding Characteristics on the Hardened-Brittle and Difficult-to-Grind Materials, Korean Society for Precision Engineering Conference Proceeding, 1101-1104.
- [4] Yoo, J. B., Lee, S. W., Jeong, H. D., Choi, H. Z., 1999, On the Paradox of the Destabilizing Effect of Damping in Non-conservative Systems, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 16:1 18-25.
- [5] KISTI, 2009, LCD Glass, KISTI, 6-10.
- [6] Kim, C.S., Seo, Y. I., Choi, H., Jeong, S.H., Lee, J. C., 1997, A Study on the Side-cut Grinding using the Machining Center, Korean Society for Precision Engineering Conference Proceeding, 900-904.
- [7] Kim, S. -C., Lee, J. -W., 1997, Study on Grinding Force and Ground Surface of Ferrite, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 6:3 17-25.
- [8] Moon, Y. S., Gong, H. S., 2008, An Experimental Study on the Fire Investigation to the Broken Plane Types of Glass, Journal of the Korea Safety Management & Science, 10:4 105-109.