

## LCD 유리기판 폴리싱 가공특성에 관한 연구

이상민\*, 이충석\*, 채승수\*, 김택수\*, 박휘근\*, 이종찬#

### A Study on the Polishing Characteristics of LCD Glass

Sang-Min Lee\*, Choong-Seok Lee\*, Seung-Su Chae\*, Taeck-Su Kim\*, Hwi-Keun Park\*,  
Jong-Chan Lee#

(Received 3 March 2009; received in revised form 26 March 2009; accepted 28 March 2009)

#### ABSTRACT

This paper reports a kinematic analysis and experimental results for the polishing process of G7 LCD glass. A kinematic analysis for the relative motion of the upper plate and lower plate has been done and computer simulation has been programmed. A series of polishing experiments has also been carried out and compared with analytical data. The experimental results agreed well with analytical ones. The experimental results indicate that the polishing removal is proportional to the relative speed and pressure.

**Key Words** : Polishing(연마), LCD(액정표시장치), Kinematic Analysis(기구학적해석), Relative Motion(상대운동)

#### 1. 서 론

국내 첨단산업은 반도체를 비롯한 IT산업의 발달을 기반으로 하루가 다르게 급성장 하고 있으며, 특히 그 중에서 FPD(Flat Panel Display) 제조기술은 Global Top의 자리에 있을 만큼 그 기술력을 인정받고 있다. 현재 FPD(Flat Panel Display)는 크게 PDP(Plasma Display Panel), LCD(Liquid Crystal Display), LED(Light Emitting Diode)로 크게 나뉘며, 특히 이 중에서 가장 비약적인 발전을 이룬 것이 LCD이다. LCD는 액정의 특정한 분자배열에 전압을

가하여 다른 형태의 분자배열로 변환시키고, 이러한 분자 재배열에 의해 발광하는 액정셀(Cell)의 복굴절성, 성광성, 2색성, 광산란성 등의 광학적 성질의 변화를 시각화 시키는 비발광형 디스플레이 장치이다.

LCD에 사용되는 유리기판의 크기는 Panel의 Size와 생산수율을 결정짓는 매우 중요한 소재이며, 그 Size는 과거 1세대(300×350mm)에서 최근 10세대(3,000×3,200mm)에 이르기까지 급성장을 해오고 있다.<sup>[1],[2]</sup>

일반적으로 LCD용 유리기판을 생산하는 공법에는 주로 플로팅(Floating) 공법과 퓨전(Fusion) 공법이 사용되고 있다. 퓨전 공법은 용해로에서 유리용융액을 Overflow시켜 공기 중에서 냉각됨에 따라 유리의 표면에 공기 이외에는 어떠한 물질도 접촉이 되지 않아 표면의 품질이 매우 우수한 반면, 플로팅 공법으로 제조된 유리기판은 제조공정의 특성상 롤러와

\* 금오공과대학교 대학원 기계설계공학과

# 교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : jcleee@kumoh.ac.kr

유리표면의 접촉으로 인해 유리표면의 정밀도가 떨어지기 때문에 Display용으로 사용되기 위해서는 반드시 2차 가공을 필요로 하게 된다. LCD에 사용되는 유리기판은 Display의 특성상 우수한 평탄도와 표면 Clearness, 대형화에 따른 열적 치수 안정성, 우수한 광학 특성이 요구됨에 따라 플로팅 공법으로 제조된 유리기판의 크기가 증가 될수록 2차 가공이 난해해지고 있어 큰 문제점으로 부각되고 있다.<sup>[3],[4]</sup>

폴리싱 가공은 가공온도, 연마패드의 종류, 슬러리의 종류, 가압력, 공작물과의 상대속도에 따라 매우 민감하게 가공성향이 나타남에 따라 이러한 가공변수조건 최적화가 이루어져야한다. 따라서 본 연구논문에서는 LCD용 유리기판의 표면상태 개선을 위한 폴리싱 가공에 있어서 표면 평탄도에 영향을 미치는 상대속도장 분석을 통해 계산되어진 이론적인 값과 실제 실험데이터를 비교하여 가공경향을 분석하였다.

## 2. 관련이론

### 2.1 폴리싱 가공

폴리싱 가공은 Fig 1과 같이 상정반에 부착된 폴리싱 패드의 돌기가 미세 가공입자를 가압함과 동시에 가공물과의 상대속도를 통해 가공이 이루어지는 초정밀 가공이다.

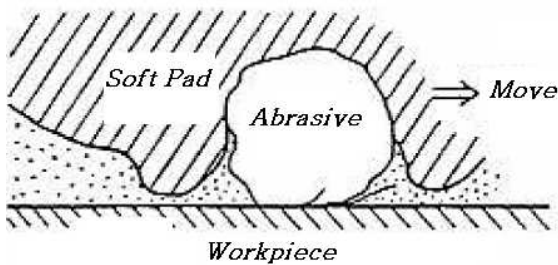


Fig. 1 The Schematic of Polishing Process

폴리싱 가공에 있어서 공작물(LCD용 유리기판) 제거량은 Preston Equation에 의해 결정되며 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\delta = K \cdot P \cdot t \cdot v \quad (1)$$

위 식에서 K는 Preston 상수, P는 가공압력, t는 가공시간, v는 상대속도를 나타낸다.<sup>[5],[6]</sup>

### 2.2 상대속도장 분석

본 실험에 사용된 Machine은 일정한 회전속도로 구동하며 유리기판을 회전시키는 Turn Table과 일정 구동궤적을 갖고 유리기판과의 마찰로 인해 회전하는 상정반(Polishing Plate)으로 가공이 이루어진다. 아래 Fig 2~3에는 상정반과 Turn Table의 속도장과 궤적에 관해 개략적으로 나타내었다.

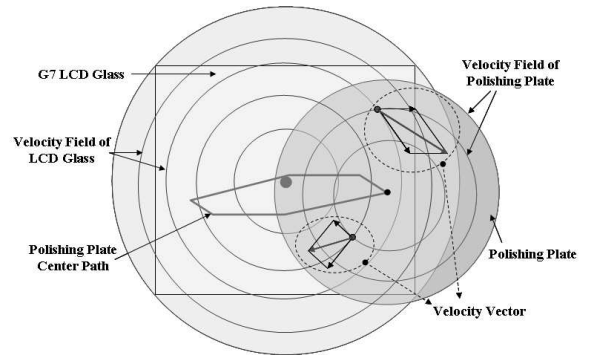


Fig. 2 The Schematic of Plate Path

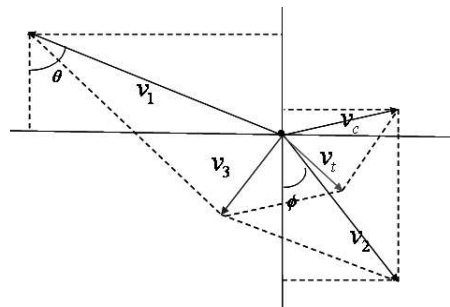


Fig. 3 The Velocity Vector of Plate Path

$V_1$ 은 Turn Table(하정반)의 중심에서 어느 한 질점의 속도 벡터이며,  $V_2$ 는 상정반 Center 궤적에서의 속도 벡터,  $V_3$ 는  $V_1$ ,  $V_2$ 의 합속도 벡터,  $V_c$ 는

중심궤적의 속도,  $V_t$ 는 계의 전체 합속도 벡터로서 중심궤적과  $V_3$ 의 합속도를 나타낸다. 아래 식에서  $N_1$ 은 하정반 회전속도,  $N_2$ 는 상정반 회전속도,  $r_1$ 은 하정반 중심에서 질점까지의 거리,  $r_2$ 는 상정반에서 질점까지의 거리를 나타낸다.  $\theta, \varnothing$ 는 각각의 속도벡터와 직교좌표계의 각을 나타내고  $V_{tx}$ 와  $V_{ty}$ 는 합속도 벡터  $V_t$ 의 x, y 성분을 나타낸다. 속도벡터를 수식으로 나타내면 아래와 같이 정립된다.

$$V_1 = 2\pi r_1 N_1 \quad (2)$$

$$V_2 = 2\pi r_2 N_2 \quad (3)$$

$$V_{1x} = -2\pi r_1 N_1 \sin\theta \quad (4)$$

$$V_{2x} = 2\pi r_2 N_2 \sin\varnothing \quad (5)$$

$$V_{1y} = 2\pi r_1 N_1 \cos\theta \quad (6)$$

$$V_{2y} = -2\pi r_2 N_2 \cos\varnothing \quad (7)$$

$$V_{tx} = -2\pi r_1 N_1 \sin\theta + 2\pi r_2 N_2 \sin\varnothing + V_{cx} \quad (8)$$

$$V_{ty} = 2\pi r_1 N_1 \cos\theta - 2\pi r_2 N_2 \cos\varnothing + V_{cy} \quad (9)$$

$$\therefore V_t = \sqrt{(V_{tx})^2 + (V_{ty})^2} \quad (10)$$

위 식(2)~(10)을 이용하여 상·하정반의 중심궤적의 합속도를 표현하기 위하여 C언어를 이용하여 별도의 프로그램을 작성하였다.

본 프로그램은 상정반의 구동궤적과 상·하정반(Turn Table)의 회전수를 임의로 조정하여 가공 시물레이션을 수행할 수 있도록 제작하였다.

아래 Fig 4와같이 본 시물레이션 프로그램은 유리기관의 두께측정 System의 위치와 동일하게 하기 위해 총 161개 포인트를 지정하여 상정반이 마찰로 인해 회전을 하며 Center 궤적을 1회전할 때 산출되는 상대속도의 합을 나타내었으며, 상대속도의 합은 색깔로 표현된 시각화 Display와 각 포인트별 Data를 나타내게 하였다.

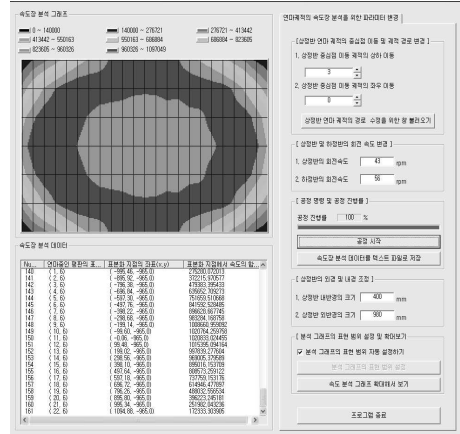


Fig. 4 The Simulation Program (C Language)

### 3. 실험장치 및 조건

#### 3.1 실험장치 구성도

Polishing Machine은 Glass를 지지하고 일정속도로 회전을 하는 하정반(Turn Table), Glass와의 마찰을 통해 일정궤적을 따라 운동하는 상정반(Polishing Plate), 상정반의 상하이동을 위한 Cylinder, 슬러리 공급배관, 전·후 및 좌·우 이송을 위한 기어와 Motor, 그리고 적정궤적을 따라 구동할 수 있도록 하는 위치 센서로 구성이 된다.

Fig.5는 Polishing Machine의 형상을 나타낸다.

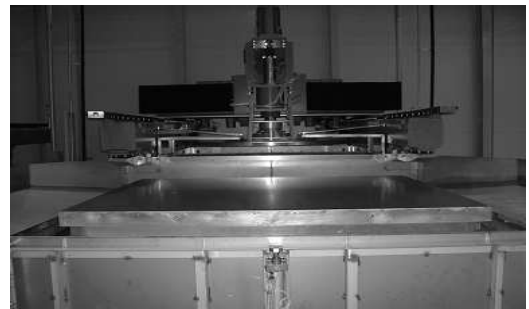


Fig. 5 The Glass Polishing Machine

Polishing 가공 이후 Glass 두께측정을 위해 사용되어진 장치는 비접촉식 측정기로서 7개의 센서와 센서를 고정시킨 Shaft와 센서의 직선운동의 안정성을 위한 Guide Rail 및 적정속도 유지를 위한 Timing Belt로 구성된다.

PC에 Set-up된 Control System을 통해 일정속도로 Motor를 구동시키면 7개의 비접촉식 Laser Sensor가 직선운동을 하면서 총 161개 포인트의 위치에서 두께를 측정하게 된다. 본 측정 장비의 신뢰성(반복성, 재현성)을 검토하기 위해 동일 Sample을 각 2회씩 총 5 Set를 측정한 결과 Tolerance 평균 2%의 값이 나와 두께측정에 적합함을 확인했다.

Fig 6은 Glass Thickness System의 전체적인 형상(C)과 Laser Detector(a)의 배열(b)을 나타내었다.

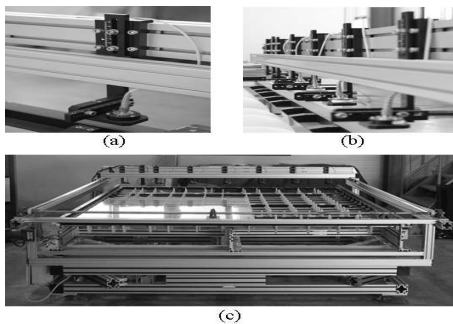


Fig. 6 The Measurement System for Glass Thickness

Fig 7에는 본 연구에 사용된 폴리싱 패드의 SEM촬영한 것을 나타내었다.

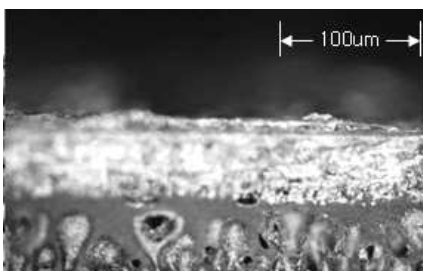


Fig. 7 The SEM Photograph

### 3.2 실험방법 및 조건

아래 Table 1은 실험 조건을 나타낸 것이다. 본 실험에 사용된 유리기판은 7세대 LCD 용 Glass를 사용했다. 또한 연마시 유동방지와 이송 및 평탄도 보정을 위해 Glass를 직접 Setting하는 Carrier를 제작하여 사용하였다.

Table 1 Experimental Conditions

Polishing Machine	SPV-02	
Workpiece	Free-alkali Glass (G7 1950×2250mm)	
Polishing Plate	Material	Al6061
	Size	∅1960mm,
	Velocity	43rpm, CCW
	Pad	SK-1
	Pad Donut	∅1000mm
	Pressure	0.04 MPa
Setting Plate	Path	Full, Half (CW)
	Pad	KNP66
Slurry	Velocity	Average 56rpm, CCW
	Flow Rate	15~20 ℓ/min
	Abrasive	Cerium Oxide, Particle Size 1.7 μm
Mixing Rate	Dispersion Liquid(A550) 2ℓ : Water 500ℓ : Cerium Oxide 40kg	
Running Time	30 mins	

Table 2 The Compositions of LCD Glass

Oxides	Mass(%)
SiO <sub>2</sub>	61
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16
MgO	2.7
CaO	8.2
BaO	3.6
SnO <sub>2</sub>	0.1~0.5

## 4. 실험결과

### 4.1 궤적 : Full Path, 정반곡률 2 $\mu\text{m}$

상정반의 Center 궤적 Full Path, 그리고 정반곡률 2 $\mu\text{m}$ 에서 Test한 결과값과 상대속도장 시뮬레이션 결과 값은 아래와 같이 나타났다.

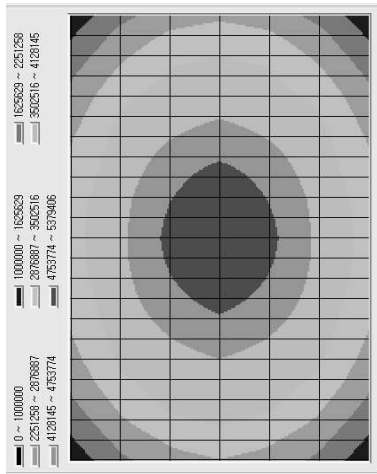


Fig. 8 Simulation Data  
(Path : Full, Concave : 2 $\mu\text{m}$ )

-0.01	4.01	6.11	2.96	5.87	2.65	0.01
0.41	2.56	4.37	3.39	4.05	2.46	0.24
1.51	2.9	3.94	3.05	3.15	2.79	0.23
1.4	3.13	4.03	3.21	2.96	1.94	4.01
7.55	3.28	4.85	3.55	3.06	1.85	2.86
8.73	4.17	5.3	3.78	3.68	2.12	5.09
9.79	4.51	5.89	3.8	4.19	2.45	7.17
2.97	4.19	5.9	3.98	4.07	2.48	4.35
8.86	3.91	5.58	5.56	5.11	2.59	2.67
8.39	5.82	6.02	4.84	5.9	4.63	3.66
5.21	5.8	7.48	5.13	5.91	5.03	5
1.71	5.9	6.14	5.46	6.9	5.48	5.15
6.15	5.61	5.32	5.54	6.13	4.3	3.65
5.36	5.77	6.63	5.36	7.1	5.41	3.54
3.85	5.48	6.58	4.56	6.73	4.89	4.02
5.21	4.33	5.41	4.13	5.34	3.15	5.26
5.58	3.36	3.57	3.1	3.62	2.36	8.56
1.75	2.76	3.39	2.87	3.05	2.05	4.58
1.99	3.14	3.93	3.11	3.85	1.98	4.53
1.1	2.89	3.92	3.5	4.14	2.22	3.71
0.23	2.78	3.5	2.86	3.65	2.45	1.17
0.02	2.82	4.16	3.71	3.91	2.53	0.18
-0.03	4.55	6.3	3.61	5.85	3.16	0.01
				Max		9.79
				Min		-0.03
				Average		4.04
				FRV		9.82

Fig. 9 Experimental Data  
(Path : Full, Concave : 0 $\mu\text{m}$ )

실험결과 값에 나타난 숫자는 가공량을 나타내 주고 있다.

상대속도 시뮬레이션 결과값을 살펴보면 센터부분의 합속도가 가장 높고 외곽부로 갈수록 합속도가 낮게 나왔다. 가공중 상정반이 Glass의 중앙부와 접촉시간이 외곽부 보다 상대적으로 길어지기 때문이며, 특히 상정반과 접촉시간이 가장 짧은 구역은 Glass의 모서리 부분임을 알 수 있었다. 이러한 경향은 실제 가공 Test에서도 유사한 결과를 얻었는데, Glass의 각 모서리 부위는 합속도 시뮬레이션 결과와 같이 가공이 거의 이루어지지 않았으며, 중앙부로 갈수록 연마량이 증가하였다.

### 4.2 궤적 : Half Path, 정반곡률 10 $\mu\text{m}$ , 폴리싱패드 Donut : 1000 mm

상정반의 Center Path, 그리고 정반곡률 10 $\mu\text{m}$ 에서 시뮬레이션 Data를 살펴보면 상대속도 장 분포가 Full Path보다 낮은 편차와 최대값이 보다 낮게 나올 수 있다. 그 원인은 상정반의 Center부위가 Donut의 형태로 패드가 부착되어 있지 않아 Glass와 접촉되는 시간적 여유가 충분하지 않기 때문이라 판단된다.

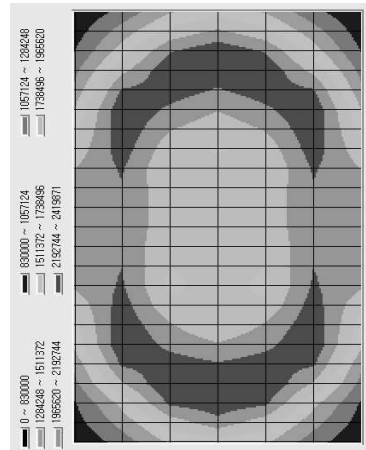


Fig. 10 Simulation Data  
(Path : Half, Concave : 10 $\mu\text{m}$ ,  
Donut : 1000 mm)

3.2	2.7	0.4	2.6	0.6	1.9	2.1
7.6	1.5	1.5	1.5	3.7	0.4	3.3
6.9	1.5	2.6	2.1	2.2	0.5	6.0
4.3	2.6	3.9	2.9	4.0	2.8	6.8
1.8	2.3	3.9	3.4	3.1	5.9	9.0
2.5	2.2	2.3	5.6	4.0	2.6	9.2
4.4	1.7	1.7	2.4	2.5	3.5	8.7
5.2	1.8	1.6	1.6	1.8	1.3	9.6
6.2	1.2	1.1	2.1	1.7	1.3	9.1
5.7	2.2	2.0	1.6	3.3	2.5	10.3
8.1	3.9	3.8	1.2	2.7	3.6	12.0
9.2	5.3	5.2	3.2	3.5	4.6	11.4
11.3	4.1	4.7	1.6	2.0	3.6	10.1
9.3	3.1	3.1	0.8	1.1	2.8	9.2
7.4	2.8	3.1	1.6	1.2	2.1	8.0
7.9	2.5	3.7	1.6	1.3	1.6	4.9
8.4	2.8	3.4	2.2	2.3	2.2	5.1
7.7	2.1	2.7	2.3	2.1	1.1	3.3
6.4	1.6	3.0	2.7	2.9	0.8	2.1
4.6	1.6	2.9	1.3	2.4	0.6	4.6
7.2	1.0	3.0	1.8	1.2	0.4	6.6
6.1	0.8	2.7	1.6	1.8	0.6	8.5
5.4	4.0	3.6	6.8	4.7	5.3	3.8
				Max	12.0	
				Min	0.4	
				average	3.7	
				RRV	11.6	

**Fig. 11 Experimental Data**  
 (Path : Half, Concave : 10 $\mu$ m, Donut : 1000 mm)

실제 가공Test와 상대속도장 시물레이션을 비교해 보면 전체적으로 상대속도장의 합이 낮게 나와 가공량이 비교적 적음을 알 수 있으며, 상대속도가 비교적 높게 나온 Donut 형상으로 가공량이 분포됨을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 LCD용 유리기판의 폴리싱가공에 있어서 상정반과 하정반(Turn Table)의 상대속도 계산 프로그램을 이용한 이론적인 접근과 실 가공Test를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 상대속도장 분석 프로그램이 나타내는 합속도의 분포 경향은 실제 가공에 있어서 비교적 유사한 경향의 결과를 유추해 주었다.
- (2) 실험결과 LCD용 유리기판의 폴리싱 가공은 Prestont's Equation이론과 부합됨을 알 수 있었다.
- (3) G7 LCD Glass의 Polishing에 있어서 Glass에 작용하는 상대속도는 Polishing에 직접적으로 가장 큰 영향을 미치는 인자임을 확인하였다.
- (4) Polishing 가공성 및 경향을 파악하는데 있어 상

대속도 해석 Program의 활용가능성을 확인하였다.

## 후 기

본 연구논문은 금오공과대학교 학술연구비를 지원받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 권오경, 최병덕, 이신두, 김재훈, 김용석, 도이미, 문태규, “디스플레이공학 개론”, 청범출판사, pp12-29, 2006
2. 이준신, 김도영, “평판 디스플레이 공학”, 홍릉과학출판사, pp109-151, 2005
3. 전재목, “평판 디스플레이용 유리 절단 거동에 관한 연구”, 금오공대 대학원, pp20-23, 2007
4. 김병호, “유리공학”, 청문각, pp137-138, 1996
5. 과학기술부, “유기EL용 모듈의 성능개선을 위한 ITO 표면 연마장비 개발”, 과학기술부보고서, pp20-26, 2003
6. 이정택, “대구경 웨이퍼 폴리싱의 가공 조건에 따른 표면특성에 관한 연구”, 인하대 대학원, pp9-18, 2008