

LCD 패널 유리의 마모거동에 관한 연구

Investigation of Wear Behavior of LCD Panel Glass

곽지후*, 신동갑*, 김대은†

Ji Hoo Kwak, Dong Gap Shin and Dae-Eun Kim

(2014년 9월 12일 접수; 2014년 9월 22일 심사완료; 2014년 9월 23일 게재확정)

Abstract

LCD panels are used widely in all sorts of devices. Since glass is the main material used to make the panels, scratch resistance is an important issue in acquiring high quality LCD panels. In this work the wear behaviors of three types of commercially available LCD panel glasses were investigated. A pin-on-reciprocating tribotester was used to perform the wear tests using the glass specimens against a stainless steel ball. The hardness of the specimens was initially obtained. It was shown that the wear amount varied with respect to the applied load as well as the type of glass. The wear pattern of the glass specimen was also characterized using confocal microscopy. It is expected that the results of this work will aid in improving the tribological properties of LCD panel glass.

Key Words : Wear, Scratch, LCD, Panel, Friction, Hardness

1. 서론

현대 사회에서 LCD 디스플레이를 사용하는 제품은 점점 늘어나는 추세이다. LCD 패널은 제품의 제일 바깥부분을 담당하는 부분으로서, 외부의 충격을 직접적으로 받기 때문에 손상 위험이 가장 큰 부분이다. 충격을 받아 굽힘 및 파손이 일어나면 사용자에게 직접적으로 시각적인 불편함을 끼치기 때문에 LCD 패널의 손상은 사용자들의 제품 만족도에 큰 영향을 미치는 요소이다. 따라서 LCD 패널의 마찰 및 파손특성을 파악하는 것은 차후 LCD 패널의 굽힘이나 파손 발생을 줄이는 데에 필수적이라고 할 수 있다 [1]. 그럼에도 불구하고 LCD 패널에 사용되는 유리의 마모거동에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

유리의 Vickers 경도에 대한 정보와 특정 유리 소재의 스크래치(Scratch)에 대한 저항성과 연관되는 마모특성을 확보하면 LCD 패널의 내구성을 향상시키는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다 [2-

3]. 이에 본 연구에서는 3개사 LCD 패널 유리의 경도와 마모특성을 확보하기 위하여 마찰 및 마모 실험을 수행하고 유리 시편의 마찰계수, 마모량, 그리고 마모형태를 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 서로 다른 3개 회사의 LCD 패널 유리시편을 확보하여 각 시편에 대한 마찰 및 마모특성 평가를 수행하였다. 경도 측정 실험, 마찰 실험, 공초점 현미경(Confocal microscope)을 이용한 마모 트랙(Track) 관찰의 순서로 진행되었으며 마찰 실험에서는 3개 회사의 시편으로 각 시편 당 50gf, 100gf, 200gf의 하중에서의 마찰 특성 비교실험을 하였다. 마찰 실험을 위해서 pin-on-reciprocating tribotester를 사용하였으며 이 장치의 사진은 Fig. 1에 나타나 있다. Tribotester는 마찰력 센서가 장착되어 있어 실험 중에 마찰력 측정이 가능하도록 설계되어 있다[4]. 하중을 수직으로 가하며 시편은 왕복운동을 하면서 마찰 현상을 유발한다. 본 실험에서 사용한 하중, 속도, 거리 등의 조건은 Table 1에 제시하였다.

† School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

E-mail : kimde@yonsei.ac.kr TEL : (02)2123-2822

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

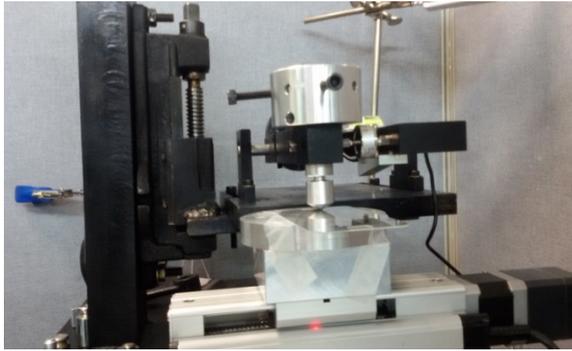


Fig. 1 Friction Tester

Table 1 Friction test conditions with different specimens and different normal load

Specimen	A, B, C
Load (gf)	50, 100, 200
Sliding Distance(Cycle)	500
Sliding Speed(mm/s)	8
Stroke(mm)	4

2.1 마이크로 경도 시험

Zwick roell 社의 마이크로 경도 시험기 (Microhardness tester)를 이용하여 3 개 시편의 Vickers 경도를 측정하였다. 경도 시험에서는 500gf 의 힘으로 시편을 압입하였으며, 압입 후 10 초간의 dwelling time 을 가졌다. 세 번의 실험을 하여 시편별 평균 경도를 구하였다.

2.2 마찰 시험

마찰실험을 진행하기 위해 pin-on-recipocating 방식의 tribotester 를 이용하였다. 유리시편과 상대운동을 하는 Ball 로는 5 mm 크기의 Stainless Steel Ball 을 이용하였다. 마찰 실험 중 미끄럼 거리에 따른 마찰계수를 확보하였으며 평균마찰 계수를 구하였다. 마찰계수는 하중에 대하여 구하였으며 마찰시험 후에는 표면을 현미경으로 관찰하여 마모정도를 파악하였다.

2.3 공초점 현미경 관찰

500 cycle 의 마찰 실험 후 파손된 형상을

Keyence 社의 공초점 현미경을 이용하여 관찰하였다. 마모량은 마모자국 중 11 개 지점의 단면적을 측정하여 (단면 마모면적의 평균)X(마모자국의 길이)로 계산하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 마이크로 경도 시험 결과

Table 2 Microhardness Vickers hardness test result

Specimens	1st	2nd	3rd	Avg. (HV)
A	574	522	608	568
B	600	608	579	596
C	579	615	586	593

3 사 시편별 경도측정 결과는 Table 2 와 같다. 평균값을 이용하여 비커스 경도를 측정한 결과, B 사의 비커스 경도가 가장 높았으며 C 사의 경도는 B 사와 비슷한 값을 가진다. A 사는 다른 두 사에 비해 비커스경도가 비교적 낮다.

3.2 시편 A 의 마찰 및 마모특성

시편 A 의 평균 마찰계수와 마모량을 Fig. 2 와 Fig. 3 에 표시했다. 시편 A 는 마찰계수의 경향과 마모량의 경향이 비슷했다. A 50gf 는 마모가 거의 없었던 것으로 보아 파괴가 거의 일어나지 않았고 그 때문에 마찰계수가 낮게 나온 것으로 보인다. 각 실험의 편차는 타 시편에 비해 크게 나왔다.

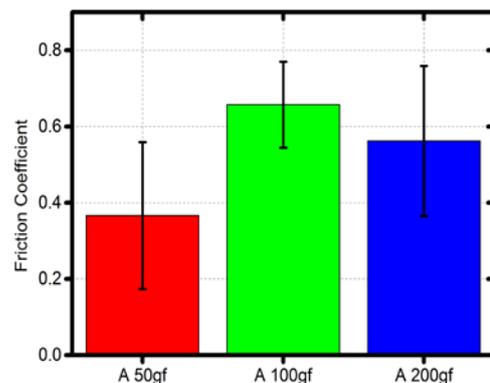


Fig.2 Friction coefficients of specimen A

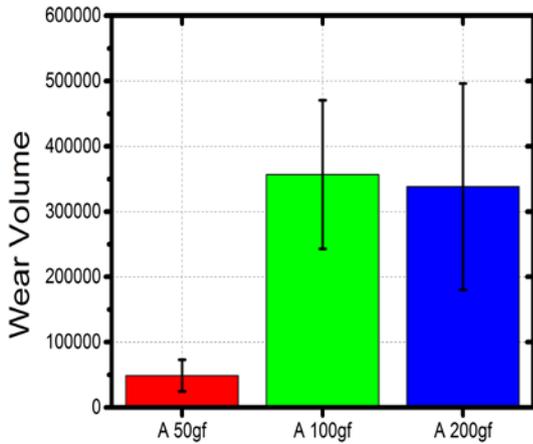
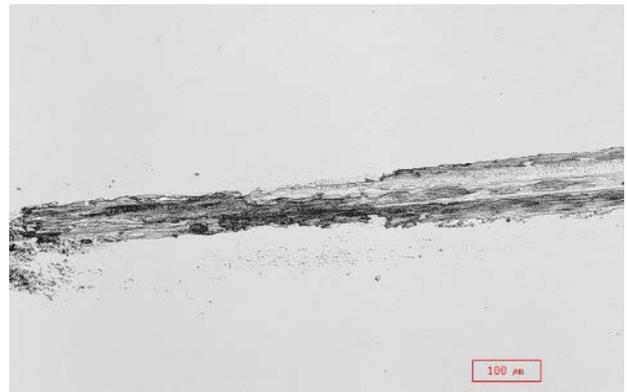


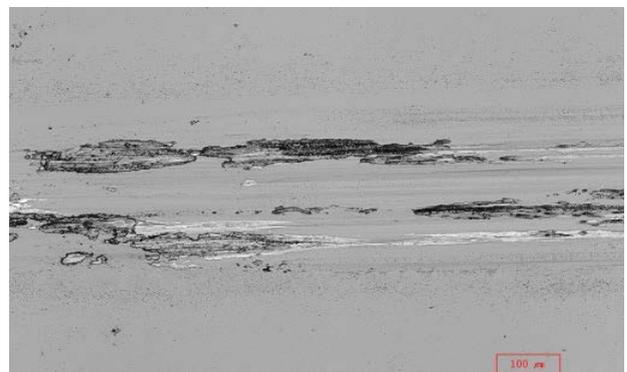
Fig. 3 Wear loss of specimen A (in μm^3)

마모자국을 관찰하면 50 gf 실험에서의 마모는 100 gf 와 200 gf 실험에서보다 마모보다 훨씬 적음을 확인할 수 있다. 세 실험에서의 마모 트랙을 Fig. 4 에 나타냈다. 세 경우 모두 검게 된 변색된 마모트랙부분은 시편의 색과는 매우 다른 것으로 보아 심한 파손이 발생하였으며 Ball 의 마모입자가 응착된 것으로 사료된다. 100gf 실험에서의 변색된 부분은 검게 변색된 Ball 성분의 응착 마모뿐 아니라 하얗게 변색된 부분도 확인할 수 있는데 이 부분의 높이를 확인 해본 결과 시편 표면보다 높게 쌓여있었기 때문에 시편 마모 입자가 응착된 부분으로 판단된다.

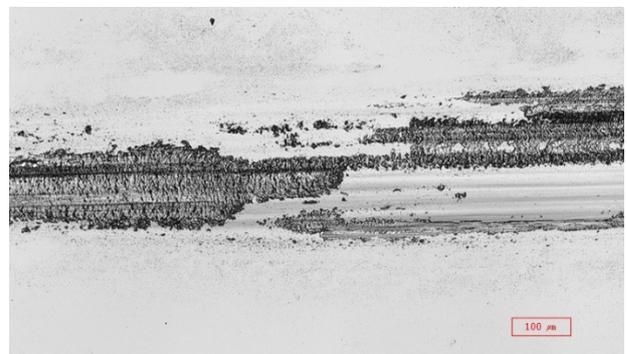
50gf 에서의 마모트랙(Fig.4-(a))은 다른 두 하중에 의한 마모트랙(Fig.4-(b),(c))에 비해 넓이가 약 반정도 되는 것을 확인할 수 있다. 또한 100 gf, 200 gf 실험과 다르게 검게 변색되지 않은 부분은 깨끗한 것을 볼 수 있다. 이는 마찰에 의한 시편 파괴가 거의 일어나지 않았다는 것을 보여준다. 100 gf, 200 gf 실험의 트랙에서는 검게 변색되지 않은 부분에 가로방향의 긴 연삭마모 자국이 생긴 것을 확인할 수 있다. A 시편의 파괴는 50 gf 와 100 gf 사이 하중에서 일어난다고 볼 수 있다. Burr 의 응착부분 이외의 연삭 마모자국에서 100 gf 실험의 마모자국은 비교적 밝은색의 줄무늬로 나타난 반면 200 gf 실험의 마모자국은 짙은 줄무늬 형태로 나타났다. 이런 자국들의 깊이를 측정해본 결과, 200 gf 마모트랙은 100 gf 에 비해 연삭 마모의 깊이가 더 깊은 것을 볼 수 있다. Fig. 2, 3 의 100 gf 와 200 gf 실험의 마모량 측정 결과를 봤을 때 200gf 실험이 연삭깊이는 더 깊음



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Wear tracks of specimen A at (a) 50gf (b) 100gf (c) 200gf experiment

에도 마모량이 100 gf 실험보다 더 적게 측정되는 것을 보면, 이런 높은 하중에 의해 마모된 시편과 Ball 의 응착이 발생하여 마모량은 더 적게 측정된 것으로 판단된다.

3.3 시편 B 의 마찰 및 마모특성

시편 B 의 평균 마찰계수와 마모량을 Fig. 5 와 Fig. 6 에 표시했다.

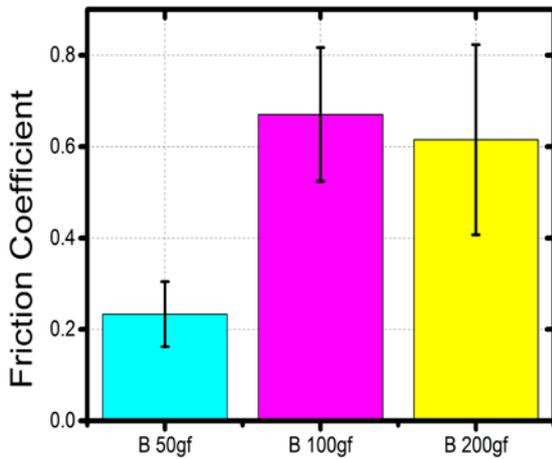


Fig. 5 Friction coefficients of specimen B

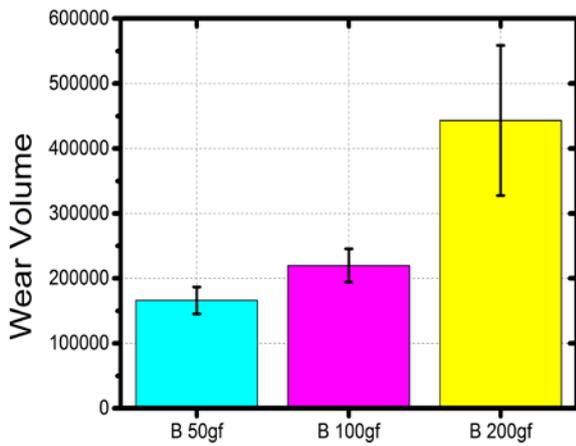
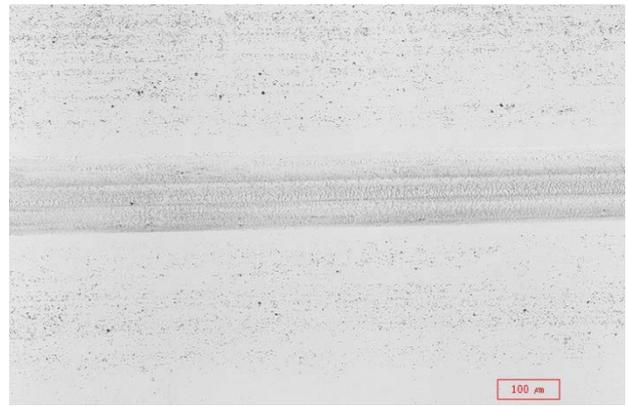
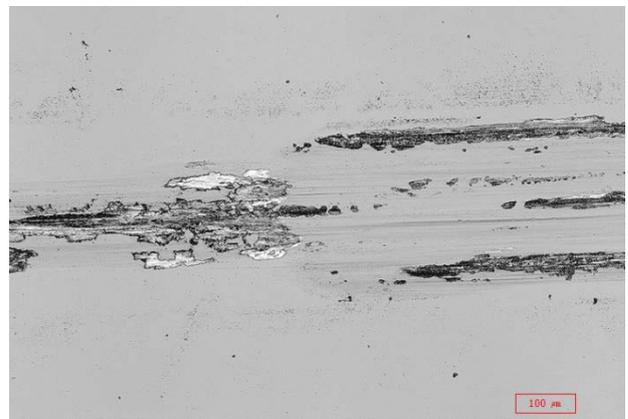


Fig. 6 Wear loss of specimen B (in μm^3)

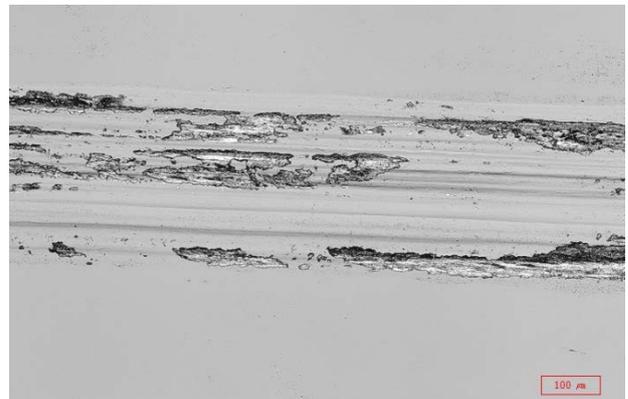
B 시편은 마찰계수의 증가양상과 마모량의 증가양상이 일치하지 않았다. 마찰계수가 급증하는 구간은 50 gf 와 100 gf 사이지만, 마모량이 급증하는 구간은 100 gf 와 200 gf 사이였다. 또한 B 시편은 A 에 비해 경도가 높음에도 마모량이 높게 나왔다. 일반적으로 경도가 높은 물질이 마모가 적게 발생하는데 이와 상반된 결과가 나타났다. 각 하중별 마모트랙을 Fig. 7 에 나타내었다. 마모 트랙을 보면 A 시편의 경우와는 달리 burr의 자국에 좀 더 흰 부분이 많음을 알 수 있다. 검은 부분이 Ball 의 마모입자가 응착된 부분임을 생각해보면 시편 B 가 A 에 비해 Steel 의 응착이 잘 일어나지 않음을 알 수 있다. 이는 재료 특성에 의한 것이라고 생각되며 이러한 특성에 의해 A 시편의 50 gf 실험과는 달리 B 시편의 50 gf 실험의 마모트랙은 깨끗하게 하나의 직선형태를 나타내는 것으로 사료된다. 연삭마모자국 주변에는 검은색 가루가 쌓여있는데 이는 트랙에 응착되지



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Wear tracks of specimen B at (a) 50gf (b) 100gf (c) 200gf experiment

못한 Ball 입자가 붙은 것이라고 생각된다. 50 gf 실험의 마모트랙의 단면을 확인한 결과, 마모 깊이는 시편 B 가 A 에 비해 더 깊었다. 경도가 시편 B 가 A 에 비해 약간 더 높음을 고려할 때 경도가 낮음에도 A 가 마모가 적게 나타나는 이유는 A 가 B 에 비해 마모량이 비슷하거나 더 많아

도 Ball 과 시편 마모입자의 응착을 통해 측정되어지는 마모량이 적게 나타난 것이라 사료된다. 시편 B 는 시편 A 와 달리 100 gf 의 마모량이 200 gf 실험에서의 비해 매우 작았다. 100 gf 실험에서 시편 A 와 B 를 비교했을 때, 두 시편간 마모 깊이는 큰 차이가 없었으나, 시편 A 의 경우 마모 단면 형태가 반원모양에 가깝게 넓은 면적에 걸쳐 마모되었다. 하지만 시편 B 의 경우 마모 단면 형태가 송곳모양처럼 좁은 면적만이 마모 되었다. 이로 미루어보아 시편 B 는 50gf 하중과 100 gf 사이의 하중에서 마찰계수는 증가하였지만, 100gf 이하의 하중에서는 시편의 파괴가 제대로 이루어지지 않아 마모형태는 좁고 깊은 형태를 나타내며, 마모량 또한 작게 측정된다고 사료된다. 이후 100 gf 와 200 gf 사이의 하중에서 시편의 파괴가 제대로 시작되어 마모량이 급증한 것이라고 생각된다.

3.4 시편 C 의 마찰 및 마모특성

시편 C 의 평균 마찰계수와 마모량을 Fig. 8 와 Fig. 9 에 표시했다. 시편 C 는 다른 두 시편에 비해 마찰계수의 편차가 작은 것으로 나타났으나, 예외적으로 100gf 의 하중 실험에서는 마찰계수 및 마모량의 편차가 크게 나타났다. 50 gf 와 100 gf 실험에서의 평균 마모량은 앞선 두 시편에 비해 큰 편이었다. 한편 200 gf 실험에서의 마모량이 50 gf 와 비슷하게 나왔는데 다른 시편과 다른 마모양상을 나타낸다. 세 실험의 마모트랙을 Fig. 10 에 나타냈다. 50 gf 실험에서는 Fig.7(a) 에 나타낸 시편 B 와 비슷한 마모 트랙이 나타났다.

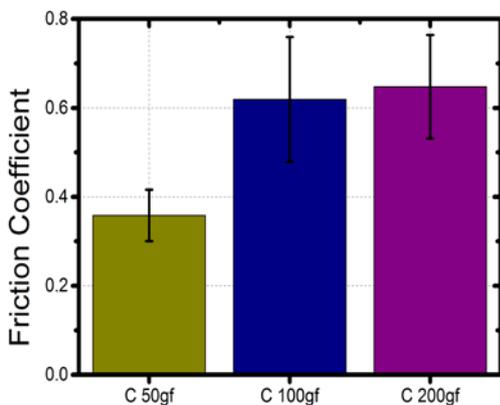


Fig. 8 Friction coefficients of specimen C

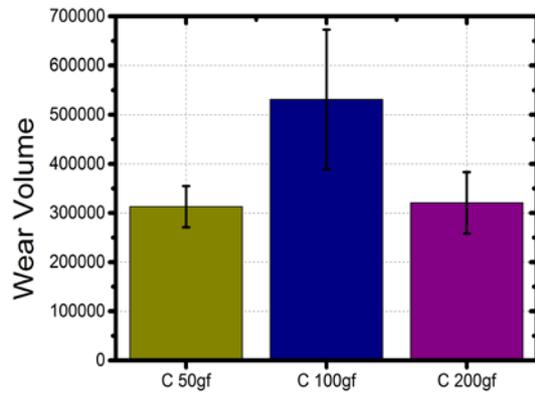
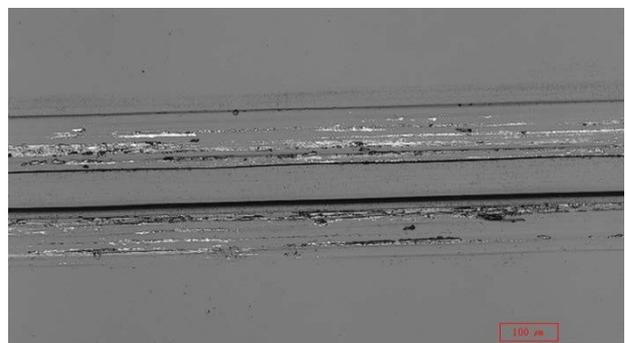


Fig. 9 Wear loss of specimen C (in μm^3)



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 Wear tracks of specimen C at (a) 50gf (b) 100gf (c) 200gf experiment

경도는 시편 B 와 비슷하지만 시편 B 의 마모트랙에 비해 트랙 주변에 마모입자가 붙어있는 것이 적었고, 마모량이 컸다. 100 gf 와 200 gf 실험에서는 앞서 시편 A, B 에서 보았던 깊은 마모트랙이 마찬가지로 발생했는데, 이런 깊은 마모가 더 넓게 나타난 100 gf 하중에서 앞선 시편들처럼 마찰계수는 더 낮게 측정됐다. 다만 앞선 시편 A, B 에서는 더 높은 하중인 200 gf 에서 이런 깊은 마모가 크게 발생한 반면, 시편 C 에서는 100 gf 에서 더 크게 발생했다.

200 gf 실험에서는 100 gf 에서 보다 깊은 연삭 마모도 훨씬 적게 발생하였고, 마모트랙을 보면 50 gf, 100 gf 에서보다 Ball 입자의 응착 또한 매우 활발했다. 이 때문에 일부 마모된 부분마저 응착으로 채워져, 50 gf 하중의 마모량과 비슷한 낮은 마모량이 측정된 것으로 사료된다.

3.5 시편별 일반적인 마모거동

실험을 통해 LCD 패널 유리의 일반적인 마모 거동을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 공통적으로 일정 하중 이하에서 시편의 마모가 매우 적다. 때문에 저하중에서 마찰시, 패널 재료에 따라 패널과 마찰을 가하는 물질간의 응착정도가 고하중에서 보다 마모량에 더 큰 영향을 미친다.
- (2) 일정 하중이상에서 마찰계수의 급격한 상승이 발생한다. 그러나 마찰계수의 상승이 곧바로 마모량의 상승을 의미하지 않는다. 마모량과 마찰계수가 증가하는 임계하중은 시편마다 다르게 나타났으며 경도가 높을수록 마모량이 증가하는 임계하중이 높은 것으로 사료된다.
- (3) (2)의 마찰계수가 증가하는 임계 하중이상으로 더 큰 하중에서 연삭 마모에 의한 깊은 마모가 발생한다. 마모형태가 깊어지면 마찰계수는 감소하는 경향을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 LCD 패널 유리의 마모특성을 파악하기 위하여 3 개 회사의 유리시편을 이용하여 마찰 및 마모 실험을 진행하였다. 실험결과를 통해서 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 유리의 마찰계수는 하중에 따라 변하였으며 50gf 에서 200gf 하중범위에서의 마찰계수 값은 최소 0.23 에서 최대 0.67 로 측정되었다.

(2) 마찰실험 후에는 모든 유리시편에 대하여 마모트랙을 관찰할 수 있었으며 마모량은 하중에 따라 선형적으로 증가하지 않았으며 마모트랙에 쌓인 입자의 영향으로 인하여 높은 하중에서의 마모량이 낮은 하중에서는 마모량 보다 적게 측정되는 특이한 현상이 발견되었다.

(3) 유리시편의 마모 메커니즘은 연삭과 응착마모가 혼합된 것으로 파악되었다.

(4) 본 연구결과는 내구성이 더 우수한 LCD 패널을 개발하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0018289).

REFERENCES

- [1] Moon-Sub Won, Auezhan Amanov, Hae-Jin Kim, Wan-Sub Yun, Won-Gu Joo et al, 2014, "Evaluation of the Mechanical and Tribological Properties of a TFT-LCD Panel", Tribology International, Vol.73, pp. 95-100
- [2] Shin-Sung Yoo and Dae-Eun Kim, 2013, "Minimum Lubrication Technique Using Silicone Oil for Friction Reduction of Stainless Steel", INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING(IJPEM), Vol. 14, No. 6, pp. 875-880
- [3] Hae-Jin Kim, Shin-Sung Yoo, Dae-Eun Kim, 2012, "Nano-scale Wear: A Review", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing(IJPEM), Vol. 13, No. 9, pp. 1709-1721
- [4] S. H. Lee, S. S. Yoo, D. E. Kim, B. S. Kang, H. E. Kim, 2012, "Accelerated Wear Test of FKM Elastomer for Life Prediction of Seals", Polymer Testing, Vol. 31, Issue 8, pp. 993-1000