

고정밀 얼라인을 위한 기판 조작장치 기구설계

이동은**, 김숙한***, 김준철****, 이응기(책임저자)*

공주대학교 기계공학과 대학원, *공주대학교 기계공학과 대학원

**** 공주대학교 자동차 공학부, *공주대학교 기계자동차 공학부

초록

OLED TV의 실현뿐만 아니라 생산성 향상을 위한 OLED의 유리기판의 대면적화가 요구되고 있다. 그러나 대면적 유리 기판은 얇은 두께로 인해 조작이 매우 어렵다. 이 연구는 굽힘지지의 새로운 대면적 유리 기판의 조작방법으로 유리 기판의 처짐을 최소화 하려 한다. 또한 대면적 유리기판의 최소 처짐을 위해 다양한 실험이 수행되고 있다. 이 새로운 유리 기판의 조작방법은 OLED 디스플레이의 제조과정에 사용될 수도 있다.

1. 서론

디스플레이의 최근 산업동향은 높은 해상도의 고화질과 대면적, 그리고 통신기기들의 소형화가 이루어지고 있다[1]. OLED(organic light-emitting diode)의 경우 높은 해상도를 특징으로 하며 대면적과 대량생산을 통한 가격경쟁 강화를 위한 노력이 주장되고 있다.[2,3]

OLED의 특징은 유리 기판에 적, 녹, 청색 등의 빛을 내는 유기화합물을 사용해 자체 발광을 하며, 디스플레이 구조 및 제조공정이 간단하여 재료비가 저렴하며 자체 발광형으로 고효율, 고선명, 고시야각이 가능 LCD에 비해 1,000 배 이상의 빠른 응답속도를 가지고 있어 동영상에 적합하며, 백라이트가 필요 없어 저 소비 전력(LCD의 1/2 배)의 초박형 디스플레이이다.

평판 디스플레이의 대면적화에서의 생산 공정에서 발생하는 문제점 중의 하나는 기판(glass substrate)의 대형화로 인한 상당한 처짐의 발생이다.[4] 본 논문은 대면적 OLED 증착 공정에서 기판 처짐을 최소화하기 위한 방안을 제안하고 제안된 처짐량 최소화 방안에 대한 실험 장비를 설계·제작하고 처짐을 측정하여 개발된 방안의 효용성을 검증한다.

2. 실험 방법

2.1 기판 조작 장치 설계 및 제작

본 연구에서 제안하는 기판 고정 기구는 기판의 양단에 스트레칭과 굽힘 지지 조건을 부가하여 기판의 처짐을 최소화 하는 기능을 구현하기 위한 것이다.

2.1-1 웹기어 설계

기판의 굽힘 지지 조건을 인가 할 수 있도록 기구에 웹기어 장치를 사용하였다. self lock의 특성을 갖는 웹기어를 사용함으로써 굽힘 지지 조건이 유지되는 특성이 있다. 또한, 기판에 굽힘을 인가 할 때에 기판의 끝부분이 들어 올려지는 것을 방지하기 위하여 웹 기어의 중심을 기판의 끝 부분과 일치시켰다.

2.2 레이저 거리 센서

처짐량 측정실험에 사용된 기판은 4세대 기판으로서 두께 0.63t를 사용하였으며 처짐량을 위하여 레이저 거리 센서를 사용하였다. 실험에 쓰이는 레이저 거리 센서의 측정범위(range)는 40~160mm이며, 측정 해상도(resolution)는 20um이다.

2.3 기판 처짐 이론 해석

기판의 처짐 거동에 대한 이론적 해석을 수행하였다. 여러 문헌에서 유리기판의 처짐 변형은 탄성 거동하는 보로 가정할 수 있다. 양단 고정 보(beam)는 자유단 지지의 보 보다 줄어드는 것이 알려져 있다. 이에 기판에 양단 고정 조건을 부여하고 여기에 굽힘을 추가로 인가 함으로서 자유단 지지 상태에서의 처짐에 비교하여 보다 적은 처짐량을 갖도록 할 수 있다(Fig. 1).



Fig. 1 양단이 고정된 보

양단 고정상태에서 굽힘 조작을 가하는 일반 공식과 보의 경계조건을 이용하여 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$v(x) = \frac{1}{EI} \left(-w_0 \frac{x^4}{24} + \frac{w_0 L x^3}{12} + \left(-\frac{w_0 L^2}{12} - \frac{2EI\theta}{L} \right) \cdot \frac{x^2}{2} + EI\theta \right) \quad (1)$$

탄성 계수(Young's modulus)를 측정하기 위하여 시편을 제작하여 3 점 굽힘 실험(three point bending test)을 수행하였다. 양단 지지대에 기판 시편을 지지 후 하중을 부여하여 그 처짐량을 레이저 센서로 측정하여 평균 탄성계수를 구하였다.(Table. 1)

식(2)과 같이 기판의 집중하중에 의한 처짐 공식을 이용하여 탄성계수를 계산하였다.

$$E = \frac{P}{48vI} (4x^3 - 3L^2x) \quad (2)$$

Table. 1 3 점 굽힘 실험 결과

Length (m)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
처짐량 (yc,m)	0.004545	0.005555	0.005675	0.005765	0.005595	0.005005
Load (g)	349.02	427.734	371.048	433.492	371.048	371.048
E (GPa)	66.5	65.9	65.1	64.6	65.7	63.6
Average (E)	65.233					

기판의 물성치를 식(1)에 대입하여 \$\theta\$ 의 값에 따른 기판 처짐 변화를 계산할 수 있다. \$\theta=4.18^\circ\$ (0.073radian) 일 때 가장 작은 3.5 mm의 처짐이 발생하는 것을 알 수 있다. Fig. 2 는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 최적의 처짐을 유도해 낸 모의실험이다.(Fig. 2)

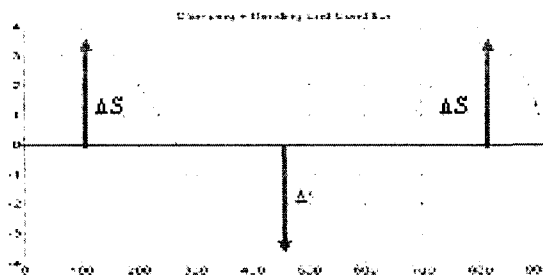


Fig. 2 Bending and Clamping End 의 처짐 곡선

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기판 조작 장치 실험

기판의 처짐량을 알아 보기 위해 자유단지지, 양단 고정 지지, 굽힘 지지, 스트레칭 지지, 스트레칭 및 굽힘 지지를, 실험하여 기판의 최소 처짐을 알아보았다.

3.1-1 자유단 지지(free end)에서의 기판 처짐

기판의 자유단지지 하에서의 처짐량을 기구의 상단에 고정하여 측정하였다. 자유단 지지 상태에서의 기판 처짐 평균값은 79.3mm로 계산되었다. (Table. 2)

Table. 2 자유단 지지의 기판처짐 평균값

측정수	1	2	3
측정값(mm)	81	78	79

3.1-2 고정지지(clamping end)에서의 기판 처짐

양단 고정 지지 하에서의 기판 처짐을 측정하였다. 그 처짐량 측정결과는 (Table. 2)과 같으며, 평균 34.6mm 로 측정되었다. 자유단 지지 기판의 처짐 79.3mm 에 비하여 처짐량이 44.7mm 줄어들었음을 관찰할 수 있었다. (Table. 3)

Table. 3 양단고정 지지의 기판 처짐 평균값

측정수	1	2	3
측정값(mm)	34.4	34.6	34.8

3.1-3 굽힘 지지(bending end)에서의 기판 처짐

굽힘 지지 하에서의 기판 처짐량을 측정하였다. 굽힘 각도(bending angle)를 변화시켜 가면서 기판 처짐량의 변화를 측정하였으며, 기판의 처짐 측정은 기준선에 윗부분으로 볼록 한 부분의 처짐량을 S1, 아랫부분으로의 처짐량을 S2로 정의하여 측정하였다.

굽힘 지지 기판의 측정 실험에서 최적의 굽힘 각도 값은 4.50° ~4.95° 사이에 있을 것으로 예상된다.(Table. 4)

Table. 4 굽힘 지지 기판의 각도별 처짐량 측정

각도 (°)	처짐		최대변위 (mm)
	S1(mm)	S2(mm)	
2.70	0.61	9.05	9.05
3.15	0.96	7.98	7.98
3.60	1.40	6.78	6.78
4.05	2.49	5.05	5.05
4.50	2.59	3.36	3.36
4.95	3.30	1.11	3.30
5.40	4.07	0	4.07

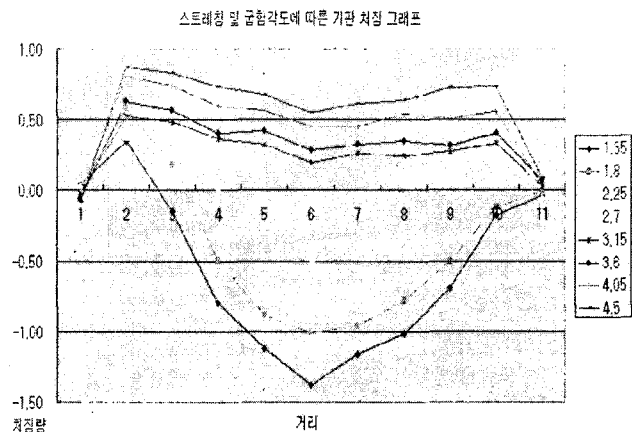


Fig. 3 굽힘 지지 기판처짐 측정 그래프

3.1-4 스트레칭(stretching)지지조건에서의 기판처짐

스트레칭을 인가하여 최소 처짐량을 측정하였다. 측정결과 2.2mm 의 기판 처짐이 측정 되었다.

기판에 스트레칭을 부여함으로써 처짐량을 대폭 줄일 수 있음을 확인하였다.(Table. 5)

Table. 5 스트레칭 지지의 기판처짐 평균값

측정수	1	2	3
측정값(mm)	2.22	2.22	2.21

3.1-5 스트레칭 및 굽힘 지지 기판 처짐

스트레칭 및 굽힘 지지의 기판 거동을 관찰하였다. 스트레칭 하에서 굽힘 각도(bending angle)를 부여하였을 때 기판의 처짐이 줄어드는 효과가 있음을 실험에서 확인할 수 있었다. (Table. 6) 굽힘 각도 2.70° 일 때 기판 처짐이 가장 줄어들었음을 확인할 수가 있었다.

Table. 6 스트레칭 및 굽힘지지 기판의 처짐 측정

각도 (°)	처짐		최대변위 (mm)
	S1(mm)	S2(mm)	
1.35	0.40	1.38	1.38
1.80	0.49	1.01	1.01
2.25	0.62	0.50	0.62
2.70	0.42	0.07	0.42
3.15	0.54	0.19	0.54
3.60	0.75	0.29	0.75
4.05	0.82	0.45	0.82

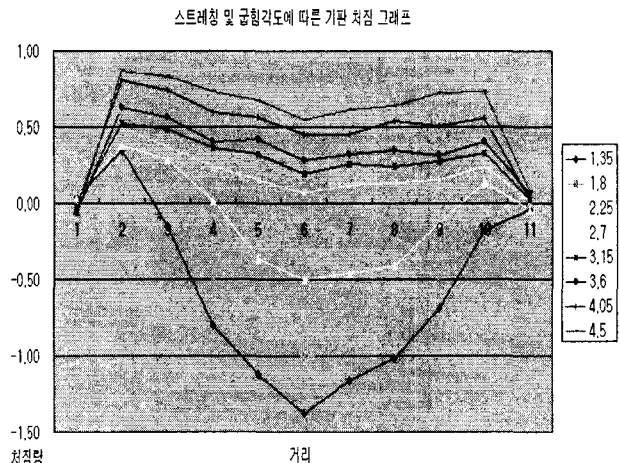


Fig. 4 스트레칭 및 굽힘 지지 기판처짐 측정그래프

4. 결론

본 연구에서 OLED의 증착 공정에서 대형 기판의 처짐을 최소화하기 위하여 기판의 양단에 굽힘 및 스트레칭 지지 조건을 부여할 수 있는 기판 조작 방안을 제안하였다.

탄성계수를 측정하기 위해 3점 굽힘 실험을 반복 수행하여 평균 탄성계수 65.233GPa를 구하였다. 양단 굽힘 지지에서의 기판 처짐을 이론적으로 해석 하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션으로 기판 처짐 거동을 예측하였다. 시뮬레이션 결과 $\theta=4.18^\circ$ (0.073 radian)에서 처짐량 3.5mm로 기판 처짐이 최소화됨을 확인하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 바탕으로 기판 조작 장치(glass substrate handler)를 설계 제작하였다. 제안된 기판 조작 장치를 사용하여 각 지지 조건 변화에 따른 기판 처짐량을 측정 하였다. 자유단 지지(free end condition)에서의 기판 처짐은 79.3mm가 측정 되었고 고정 지지(clamping end condition)에서는 34.6mm, 굽힘 지지(bending end condition)에서는 3.30mm 스트레칭(stretching) 및 굽힘지지 기판에서는 0.42mm의 기판 처짐을 가짐을 측정하였다.

본 연구에서 기판 지지 방식 중에 스트레칭 및 굽힘 지지를 동시에 작용하였을 경우 기판 처짐량이 최소화됨을 확인하였다. 이로써 본 논문에서 제안한 기판 조작 장치가 기판 처짐을 최소화하는데 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

[1] Maissel Glang, Handbook of the thin film technology, McGraw-Hill, USA, pp. 1-55, 1970
 [2] Eungki Lee, "Shadow Modeling using Z-map for Process Simulation of OLED Evaporation", The 24th International Display Research Conference, pp.487-490, p. 68, 2004 August.
 [3] H. K. Pulker, Coating on Glass, Elsevier Science Publishing Co., New York, USA, 1987
 [4] M. Ohring, The material science of thin film, Academic press, USA, 1992