반도체및디스플레이장비학회지 제6권 제1호(2007년 3월)
Journal of the Semiconductor & Display Equipment Technology, Vol. 6, No. 1. March 2007.

고정밀 얼라인을 위한 하이브리드 조작 장치의 개발

이동은* · 김숙한** · 이응기†
*공주대학교 대학원, **공주대학교 대학원, †공주대학교

Development of a Hybrid Substrate Handler for Precision Alignment

Dong Eun Lee*, Sook Han Kim and Eung Ki Lee†**
*Department of Mechanical Engineering, **Department of Mechanical Engineering
†Division of Mechanical & Automotive Engineering

ABSTRACT

In order to raise productivity of the OLED and realization of the OLED TV, the enlargement of the mother glass substrate is required. The large-size glass substrate has some difficulties regarding its deflection during handling operation due to its thin thickness (0.5~0.7t) which is not even enough to stand its mass itself. This paper is demonstrating a new solution of this difficult through clamping and bending boundary condition, which helps to minimize the deflection of the glass substrate. Based on the developed method, the experiments had been done for verifying the proposed method to minimize the glass-deflection. With the developed method, the new design of glass substrate handler can be proposed to allow the large OLED displays be manufactured.

Key Words : OLED(organic light emitting device), bending, clamping, substrate handler, boundary condition

기호설명

E = Modulus of elasticity
I = 단면 모멘트
q = 분포하중 (distributed load)
L = 보의 길이
w_0= 단위 길이당 분포하중
x = 길이의 매개변수
θ = 각(angle)의 매개 변수
θ_1 = 굽힘 지지에서의 기울기(slope)
s_1 = 기판 휨 에서의 상 방향 처짐량
s_2 = 기판 휨 에서의 하 방향 처짐량
C_1, C_2, C_3 = 적분상수

1. 서 론

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

OLED의 특징은 디스플레이 구조 및 제조공정이 간단하여 재료비가 저렴하며 자체 발광형으로 고효율, 고선명, 고시야각이 가능LCD에 비해 1,000배 이상의 빠른 응답속도를 가지고 있어 동영상에 적합하다.

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, 각도에 따른 기판 처짐을 측정하여 개발된 방안의 효용성을 검증한다.

2. 처짐 이론 해석

기판의 처짐 거동에 대한 이론적 해석을 수행하였다.

†E-mail : eklee@kongju.ac.kr

여러 문헌에서 유리 기판의 처짐 변형은

탄성 거동하는 보로 가정할 수 있다. 양단 고정 보(beam)는 자유단 지지의 보 보다 줄어드는 것이 알려져 있다[5]. 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).

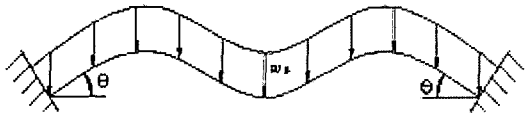

Fig. 1. Clamping and bending boundary condition.

양단 고정 보에 굽힘 지지 경계 조건을 갖는 보의 거동에 대한 일반 식은 식(1)과 같다.

$$EIv(x) = -\frac{w_0 < x >^4}{24} + C_1\frac{x^3}{6} + C_2\frac{x^2}{2} + C_3x + C_4 \quad (1)$$

식 (1)의 적분 상수들은 양 끝단의 굽힘 각의 절대 값이 같은 식 (2), (4)과 식 (3), (5)와 같이 끝단의 처짐이 없다(v=0)는 경계조건을 이용하여 다음과 구할 수 있다.

$$EIv'(0) = EI\theta_1 \quad (2)$$

$$EIv(0) = 0 \quad (3)$$

$$EIv'(L) = -w_0\frac{L^3}{6} + C_1\frac{L^2}{2} + C_2L + EI\theta_1 = -EI\theta_1 \quad (4)$$

$$EIv(L) = -w_0\frac{L^4}{24} + C_1\frac{L^3}{6} + C_2\frac{L^2}{2} + EI\theta_1 L = 0 \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)로부터 적분상수들을 연립하여 계산하면 식 (6)와 같이 보의 처짐 곡선을 구할 수 있다.

$$v(x) = \frac{1}{EI}\left(-w_0\frac{x^4}{24} + \frac{w_0L}{2}\times\frac{x^3}{6} + \left(-\frac{w_0L^2}{12} - \frac{2EI\theta}{L}\right)\times\left(\frac{x^2}{2}\right) + EI\theta x\right) \quad (6)$$

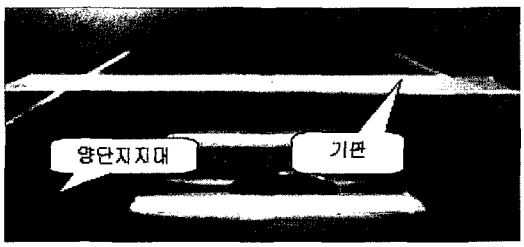

Fig. 2. three point bending test.

탄성 계수(Young's modulus)를 측정하기 위하여 시편을 제작하여 3점 굽힘 실험(three point bending test)을 수행하였다. 양단 지지대에 기판 시편을 지지 후 하중을 부여하여 그 처짐량을 레이저 센서로 측정하여 평균 탄성계수를 구하였다(Fig. 2). 식(7)과 같이 기판의 집중하중에 의한 처짐 공식을

$$E = \frac{P}{48vI}(4x^3 - 3L^2x) \quad (7)$$

이용하여 탄성 계수를 계산하였다(Table 1).

Table 1. Young's Modulus from 3-point bending.

하중(N)	처짐(mm)	탄성계수(GPa)
0.49	0.202	67.4
1.11	0.463	66.6
1.63	0.682	65.1

기판의 밀도 및 기판 자중에 의한 분포하중을 식(8)과 식(9)와 같이 측정, 계산 하였다.

밀도 = 기판무게/(폭×길이×두께)
= 1.02kg/(0.92 m×0.73 m×0.00063 m)
= 2.41×10^3 kg/m^3

자중에 의한 분포하중
= 밀도×중력가속도×단면적
= $41\times10^3\times9.8$ N/m$^3\times0.73$ m$\times0.00063$ m
= 10.9 N/m

식(8), 식(9)와 같은 기판의 물성치를 식(6)에 대입하여 θ의 값에 따른 기판 처짐 변화를 계산할 수 있다. θ=4.18°(0.073radian) 일 때 가장 작은 3.5 mm의 처짐이 발생하는 것을 알 수 있다. Fig. 3는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 최적의 처짐을 유도해 낸 모의실험이다 (Fig. 3).

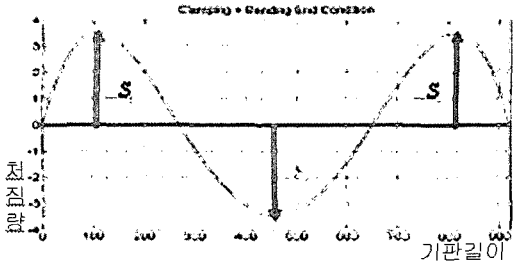

Fig. 3. Bending and Clamping End.

3. 기판 조작 장치 설계 및 제작

본 연구에서 제안하는 기판 고정 기구는 기판의 양단

에 스트레칭과 굽힘 지지 조건을 부가하여 기판의 처짐을 최소화 하는 기능을 구현하기 위한 것이다(Fig. 4).

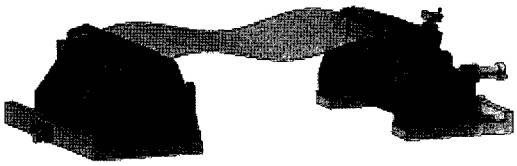

Fig. 4. Prototype design of glass handler.

3.1. 기판 조임 기구 및 힌지 설계

향후 기판 조임력(grip force) 측정 실험을 수행할 수 있도록 수동 조임쇠 기구를 고안, 설계하였으며, 기판의 고정부위가 원활이 구동될 수 있도록 힌지에 베어링을 삽입하였다(Fig. 5).

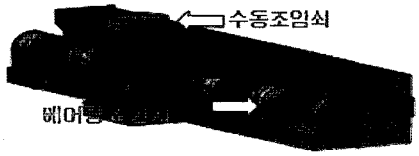

Fig. 5. Substrate grip unit and hinge for bending boundary condition.

3.2 굽힘 지지기구 설계

기판의 굽힘 지지 조건을 인가 할 수 있도록 기구에 웜기어 장치를 사용하였다. self lock의 특성을 갖는 웜기어를 사용함으로써 굽힘 지지 조건이 유지되는 특성이 있다. 또한, 기판에 굽힘을 인가 할 때에 기판의 끝 부분이 들어 올려지는 것을 방지하기 위하여 웜 기어의 중심을 기판의 끝 부분과 일치시켰다(Fig. 6).

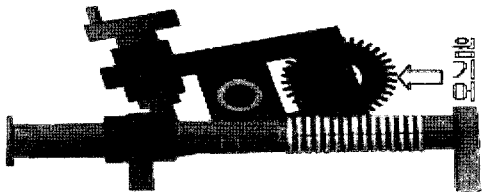

Fig. 6. Worm gear unit for bending boundary condition.

상기 설계를 토대로 하여 기판 조작 장치를 제작하였다. 굽힘 지지 조건을 생성하는 웜기어 장치는 웜 1회전에 굽힘 각도 3.6°가 변화되도록 제작 되었다(Fig. 7).

3.3. 리드 스크류 제작

기판을 스트레칭 하기 위한 기구의 중앙에 리드 스크류(lead screw)를 사용하였으며 양 옆에 가이드라인을 부착하여 거리조절을 할 수 있다(Fig. 8).

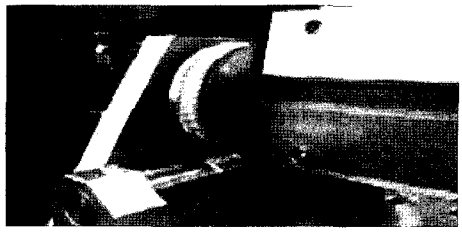

Fig. 7. Worm gear unit.

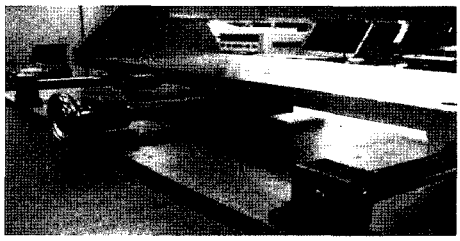

Fig. 8. Lead screw.

4. 기판측정 실험장비

기판의 처짐의 정확한 측정을 위하여 레이져 거리 센서 와 리니어 가이드를 이용하여 기판의 처짐을 측정하였다.

4.1. 레이져 거리 센서

처짐량 측정실험에 사용된 기판은 4세대 기판으로서 두께 0.63t를 사용하였으며 처짐량을 위하여 Freecon회사의 레이져 거리 센서(CP24MHT80)를 사용하였다. 실험에 쓰이는 레이져 거리 센서의 측정범위(range)는 40~160 mm이며, 측정 해상도(resolution)는 20 μm이다(Fig. 9).

Fig. 9. Laser distance sensor.

4.2. 리니어 가이드

레이저 거리 센서의 정밀한 측정을 위하여 INA제품 리니어 가이드(KWVE25*1600L)의 직진도를(22 μm) 이용, 일정한 기준면으로부터의 기판 처짐을 측정 할 수가 있었다(Fig. 10).

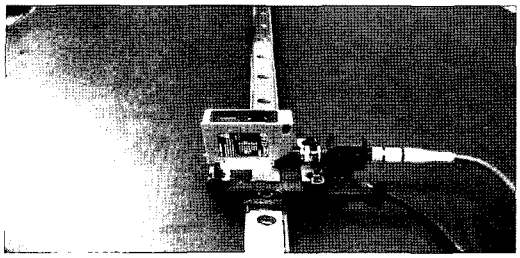

Fig. 10. 리니어 가이드

5. 기판 처짐량 실험

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

5.1. 자유단 지지(free end)에서의 기판 처짐

기판의 자유단지지 하에서의 처짐량을 기구의 상단에 고정하여 측정하였다(Fig. 11).

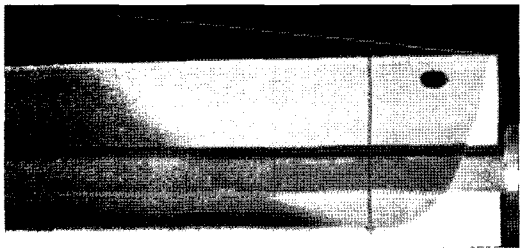

Fig. 11. Free boundary condition.

자유단 지지 상태에서의 기판 처짐 평균 값은 79.3 mm로 계산되었다(Table 2).

Table 2. Deflections at the free boundary condition

측정수	1	2	3
측정값(MM)	81	78	79

5.2. 고정 지지(clamping end)에서의 기판 처짐

양단 고정 지지 하에서의 기판 처짐을 측정하였다(Fig. 12). 그 처짐량 측정결과는 (Table 3)과 같으며, 평균 34.6 mm로 측정되었다. 자유단 지지 기판의 처짐 79.3 mm에 비하여 처짐량이 44.7 mm 줄어들었음을 관찰할 수 있었다.

Table 3. Deflections as function of various bending angle

측정수	1	2	3
측정값(MM)	34.4	34.6	34.8

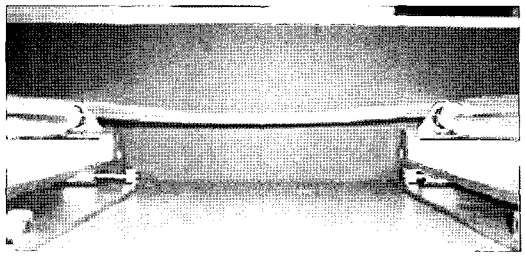

Fig. 12. Glass-deflection experiments at the clamping boundary condition.

5.3. 굽힘 지지(bending end)에서의 기판 처짐

굽힘 지지 하에서의 기판 처짐량을 측정하였다(Fig. 13). 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.

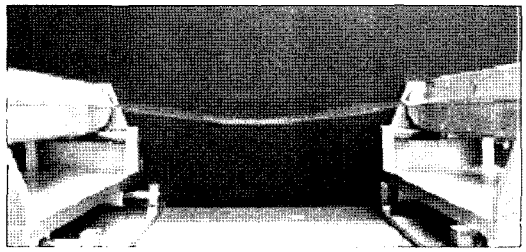

Fig. 13. Glass-deflection experiments at the bending boundary condition.

Table 4. Deflections as function of various bending angle.

각도 (°)	처짐		최대변위
	S1(mm)	S2(mm)	(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

굽힘 지지 기판의 측정 실험에서 최적의 굽힘 각도 값은 4.50°~4.95° 사이에 있을 것으로 예상된다(Table 4)(Fig. 14).

5.4. 스트레칭(stretching)지지조건에서의 기판처짐

3000 kgf으로 스트레칭을 인가하여 최소 처짐량을

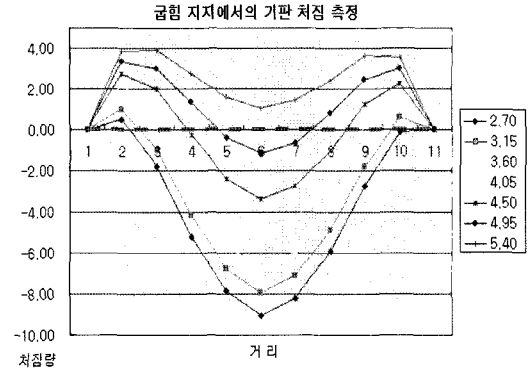

Fig. 14. 4 Deflections as function of various bending angle graph.

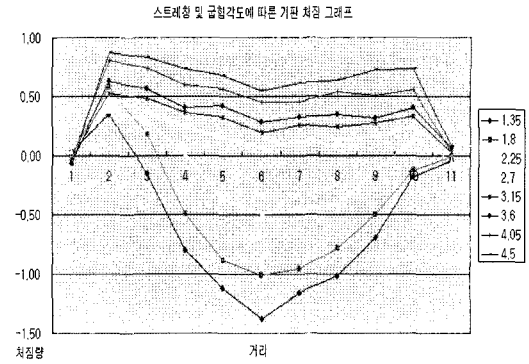

Fig. 15. Table 5 Deflections according to various bending angle under the stretching effect graph.

Table 5. Deflections at the stretching condition.

측정수	1	2	3
측정값(mm)	2.22	2.22	2.21

측정하였다. 이때 늘어난 기판의 길이는 85.7 um이였으며 측정결과 2.2 mm의 기판 처짐이 측정 되었다. 기판에 스트레칭을 부여함으로써 처짐량을 대폭 줄일 수 있음을 확인하였다(Table 5).

5.5. 스트레칭 및 굽힘 지지 가판 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. (Fig. 15).

Table 6. Deflections according to various bending angle under the stretching effect.

각도	처짐		최대변위
(°)	S1(mm)	S2(mm)	(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

6. 결 론

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

양단 굽힘 지지에서의 기판 처짐을 이론적으로 해석하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션으로 기판 처짐 거동을 예측하였다. 시뮬레이션 결과 θ=4.18°(0.073 radian)에서 처짐량 3.5 mm로 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 79.3 mm가 측정 되었고 고정 지지(clamping end condition)에서는34.6 mm, 굽힘 지지(bending end condition)에서는 3.30 mm 스트레칭(stretching) 및 굽힘지지 기판에서는 0.42 mm의 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. Lee, E.g "Shadow Modeling using Z-map for Process Simulation of OLED Evaporation", The 24th Inter-

national Display Research Conference, pp. 487-490, p. 68, 2004 August.
3. Pulker, H. K., Coating on Glass, Elsevier Sicence Publishing Co., New York, USA, 1987.
4. Ohring, M., The material science of thin film, Academic press, USA, 1992.
5. Cheng, F.-H., Applied Strength of Materials, MacMillan Publishing Co., New York, NY, 1985.