

<기술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2008.32.5.451

비접촉 평판 디스플레이 이송장치에서 양력을 고려한 평판 디스플레이의 처짐 해석

황성현* · 최현창[†] · 노태정* · 손태영** · 박범석***
(2007년 10월 8일 접수, 2008년 3월 19일 심사완료)

Flat Panel Display Deflection Analysis Considering Lift Force in Non-Contact Flat Panel Display Conveyer System

Sung Hyen Hwang, Hyeon Chang Choi, Te Jung Lho, Te Yong Son and Bum Suk Park

Key Words: Flat Panel Display Conveyer System(평판 디스플레이 이송 시스템), LCD Panel (LCD 판넬), Non-Contact (비접촉), Air-Floating Conveyer (공압 부상 이송)

Abstract

Flat Panel Display(FPD) is widely used a video display terminals to consumer products of LCD and PDP. The contamination and damage were affected by using the previous contact conveyor's method. In this paper, it analyzes the FPD deflection to develop the non-contact FPD transfer process using lift force. Each conveyor's equipment is called a horizontal conveyor, vertical conveyor and robot pick-up equipment. As result of an analysis of FPD panel's deflection, a robot pick-up equipment has performed according to under the present conditions like panel's weight and loaded glass to move FPD panel from one place to other places properly. Results of the analysis showed 0.474 mm, 0.424 mm and 1.237 mm. Those values are lower than a predicted optimum values : 2 mm for both horizontal and vertical conveyers; 5 mm for robot pick-up equipment. Therefore, those results verify each equipment have safety and reliability.

1. 서 론

평판 디스플레이(Flat Panel Display;FPD)는 현재 컴퓨터, 텔레비전 등에 널리 사용되는 영상표시장치로서 주요 제품으로는 LCD(Liquid Crystal Display)와 PDP(Plasma Display Panel) 등이 있다.

LCD 및 PDP의 대형 사이즈 시장이 큰 폭으로

증가함에 따라 제작에 사용되는 글라스(glass)의 크기는 더욱 커지고 있고 크기의 증대와 더불어 TFT(Thin Film Transfer)-LCD, PDP 성능을 더욱 개선시키려는 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁾

Table 1은 세대별 글라스의 사이즈와 자중의 변화를 나타내고 있다. 특히 글라스의 크기에 비해 두께가 매우 얇기 때문에 이송에 많은 어려움이 발생하게 된다.

Fig. 1에 나타난 기존의 일반적인 접촉식 컨베이어 방식은 글라스의 오염, 손상과 같은 문제점이 발생할 가능성이 높아짐에 따라 대형화된 LCD, PDP 제작에 사용되는 글라스를 이송하기 위한 새로운 장치가 필요하게 되었다. 7세대 이상의 대형 패널

[†] 책임저자, 회원, 동명대학교 메카트로닉스공학과
E-mail : hcchoi@tu.ac.kr

TEL : (051)610-8200 FAX : (051)610-8845

* 동명대학교 메카트로닉스공학과

** 동의과학대학

*** (주) M&L

Table 1 FPD glass features in 6th and 7th

Generation		6th		7th	
Glass	Size (mm)	1550 × 1750		1850 × 2100	
	Thickness (mm)	0.6	1.1	0.6	1.1
	Weight (N)	40.7	74.6	51.0	93.5
Cassette	Size (mm)	1570 × 1770		1870 × 2120	
	Weight (N)	1700		2500	

Table 2 Material properties of glass and aluminum plate

	Corning 1737 Glass	Aluminum Plate
Density	2.54 g/cm ³	2.75 g/cm ³
Young's Modulus	70.9 GPa	73.1 GPa
Poisson's Ratio	0.23	0.33
Size (mm ³)	2220 × 1870 × 0.7	2220 × 1223 × 0.8

을 손상 없이 카세트에 출납시키는 방법, 카세트 내에서 대형 패널을 지지하기 위한 방법,⁽²⁾ FPD 패널의 자동 저장 및 반출 시스템에 관한 연구,⁽³⁾ 운반 로봇^(4,5) 및 이송 로봇에 의한 오염 최소화, 이송 카세트 내의 대형 패널 처짐 현상 최소화 및 상호 패널의 최적 지지 관련연구, 카세트 이송 시 진동으로 인한 패널의 손상 최소화,^(6,7) 카세트 내부 및 공정상에서 패널의 불량 발생 시 이를 인식할 수 있는 방법,⁽⁸⁻¹⁰⁾ 클린 룸 공기 유동^(11,12)에 관한 연구 등 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 제조공정 상 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 비접촉 이송장치에서 양력을 고려하여 처짐해석을 수행함으로써 새로운 방식의 비접촉 이송 시스템을 구현하여 FPD 글라스에 발생 될 수 있는 오염 및 손상을 최소화 하였다.

2. 실험

2.1 실험 모델 및 과정

본 연구에서 다루어지는 모델은 수평 이송장치, 수직 이송장치, 로봇 픽업장치 3가지 형태의 이송장치가 사용된다. Fig. 3 (a) 수평 이송장치, (b) 수직 이송장치, (c) 로봇 픽업장치에 나타내고 있다.

이 3가지 형태의 장치는 프로토타입의 모델을 제작하여 실험을 실시하였다. Fig. 4는 FPD 처짐 측정 모습이다. 처짐 측정은 알루미늄 패널을 이용하였다. 원래 FPD 글라스를 이용하여야 하나 글라스를 통해 최대 처짐을 얻기 전에 글라스의 파괴가 발생하여 최대 처짐을 얻을 수 없고, 이송 실험 장치로 글라스 운반 및 장착에 있어서의 어려움으로 인해 글라스와 가장 유사한 알루미늄 판을 적용하였다. 글라스와 알루미늄 패널의 물성치 비교는 Table 2에 나타나 있다. Table 2에서 보여지는

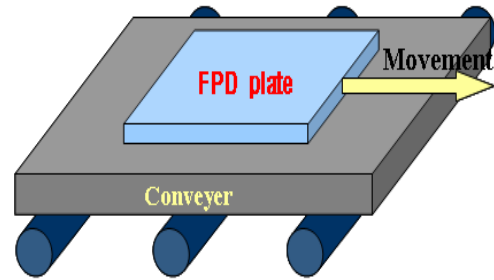


Fig. 1 Normal conveyor transfer equipment

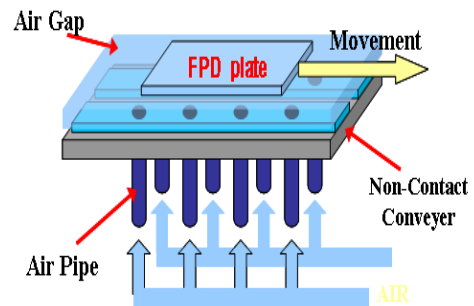
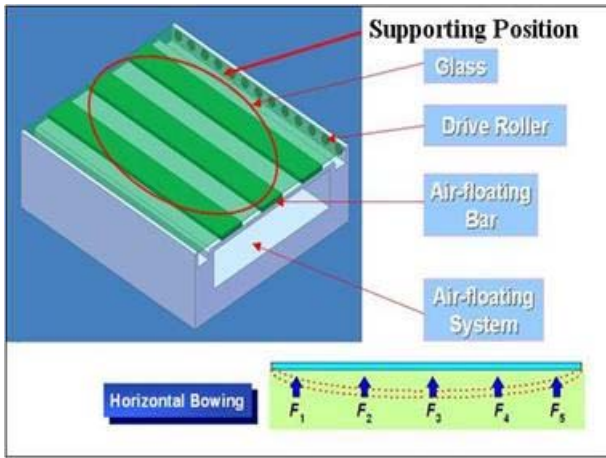


Fig. 2 Non-contact FPD conveyor system

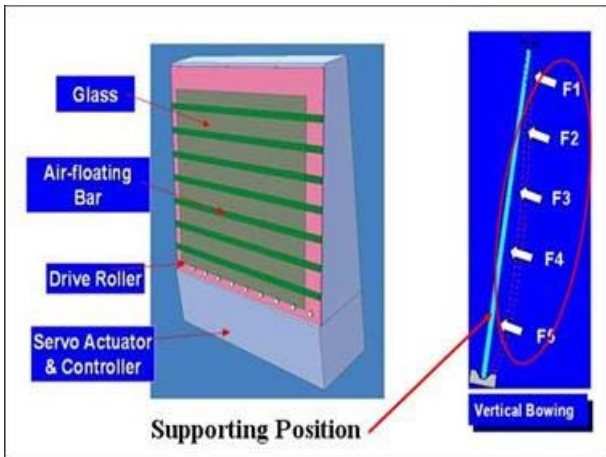
것과 같이 알루미늄 패널은 글라스와 물성이 유사한 특성을 가짐으로 실험의 안전과 편의를 위하여 알루미늄 패널을 대체 사용하였다. 이후 이송장치에서의 처짐해석에는 FPD 글라스는 7세대 글라스 Corning 1737 AMLCD Glass Substrate 가 사용되었다.

2.2 실험 결과

FPD 글라스의 처짐해석은 각각의 프로토타입 모델에서 알루미늄 패널을 이용하여 자중에 의한 최대 처짐의 양상을 얻고 이 결과를 상용해석 툴인 ANSYS v.10 을 이용한 결과와 비교하여 실제 현상과 유사한 구속조건을 시뮬레이션을 통해 얻어 이를 모델별 이송장치 해석에 적용하여 가장 유사한 해석을 수행하였다.



(a) Horizontal non-contact conveyor



(b) Vertical non-contact conveyor

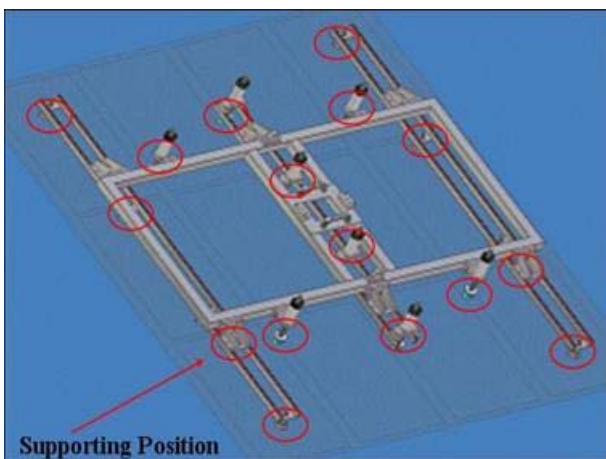


Fig. 3 (c) Robot pick-up equipment

수평 이송장치에서 처짐 측정은 알루미늄 판의 양 끝단이 단순 지지된 상태에서 자중에 의한 수직방향으로 최대 처짐량을 측정 하였다. 측정된 최

Table 3 Measurement and analysis results of aluminum plate deflection at horizontal conveyor and vertical conveyor

	Measurement	FEM value
Horizontal Conveyor	700.0 mm	881.0 mm
Vertical Conveyor	142.5 mm	166.7 mm

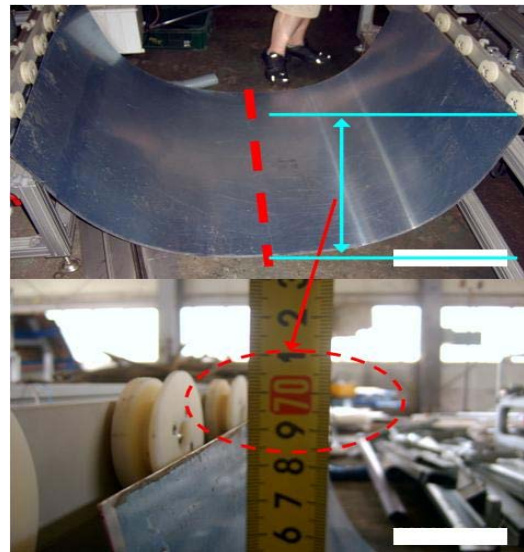


Fig. 4 Measurement of aluminum plate deflection

대 처짐량은 700.0 mm 이다. 연구에 사용된 알루미늄 패널과 처짐 측정값은 Fig. 4에 나타나 있다. 이는 이송장치와 바닥사이의 최대 높이이며 바닥면과 선으로 접촉하였다. 바닥면과 접촉이 발생한 부분은 약 300.0 mm 정도 이며, 이를 토대로 최대 처짐을 가정하면 처짐량은 약 850.0 mm로 예상할 수 있다. 측정된 결과는 이송 장치에서 FPD의 처짐 현상과 가장 유사한 구속조건을 얻기 위해 시뮬레이션과 비교하였다. 알루미늄 패널의 처짐 해석을 수행한 결과 수직 방향으로 최대 처짐량은 881.0 mm로 나왔다.

수직 이송장치의 자중에 의한 처짐 측정에서 최대 처짐은 약 142.5 mm로 나타났다. 이때 최대 처짐점은 수직 이송장치와의 최대 거리이며, 접촉된 양상을 고려하면 처짐량은 수평 이송장치와 마찬가지로 기기에서 측정된 처짐값은 실제보다 적게 측정되었다고 할 수 있다. 이를 토대로 처짐량은 약 160.0 mm로 예상할 수 있고 알루미늄 패널의 비교해석을 통해 얻은 처짐량은 166.7 mm 나타났

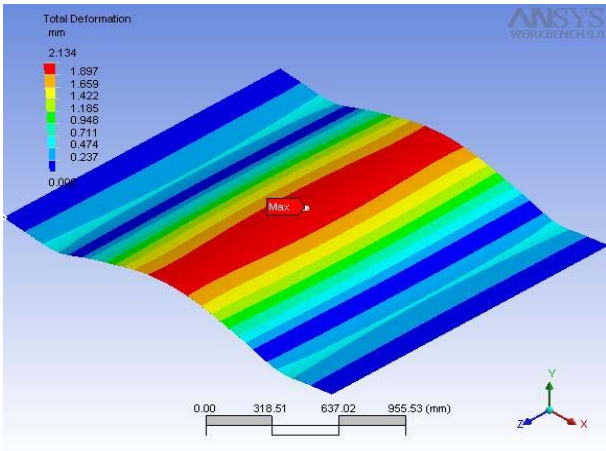


Fig. 5 Maximum deflection of FPD at horizontal transfer conveyor

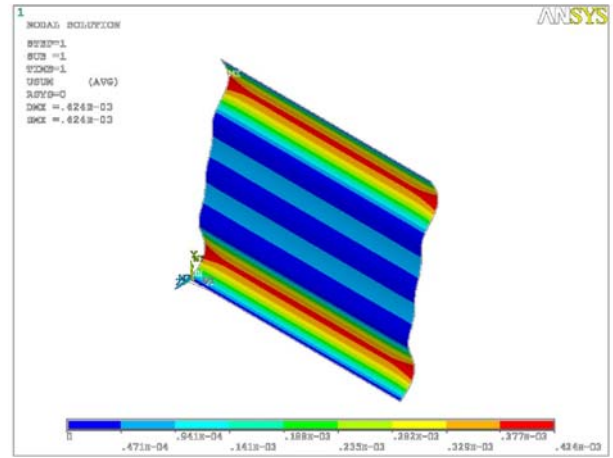


Fig. 6 Maximum deflection of FPD at vertical transfer conveyor

다. 비교해석 적용된 구속조건은 결국 이송장비에서 FPD의 처짐과 거의 유사하다고 볼 수 있다. 따라서 실험 및 비교해석에서 얻어진 구속조건은 7세대 Corning 1737 AMLCD Glass Substrate 글라스의 처짐해석에 동일하게 적용 할 수 있다고 판단된다. Table 3은 실험으로 얻어진 알루미늄 패널의 처짐량과 ANSYS를 통해 얻어진 비교해석 결과이다.

3. FPD의 처짐해석

3.1 해석 과정

실험과 비교해석을 통해 얻어진 자중에 의한 최대 처짐량을 비교한 결과 실제와 가장 유사한 구속조건을 얻었다고 판단하고, 이를 ANSYS를 이용한 7세대 FPD 글라스의 처짐해석에 적용하였다.

FPD의 처짐해석은 Corning 1737 AMLCD Glass Substrate 로 수행되었다. 수평 및 수직 이송장치 처짐해석에는 2D 쉘(Shell) 요소가 사용되었고, 로봇 픽업장치 해석에는 3D 솔리드 요소가 사용되었다. 해석에 사용된 각 모델별 요소 및 노드 수량은 수평이송의 경우 요소 440개, 노드 4014개이다. 수직이송은 요소 4032개, 노드 12533개이고 로봇 픽업 장치의 경우 요소 3256개, 노드 12910개이다.

알루미늄 패널을 이용한 비교해석에서 얻어진 구속조건을 Corning 1737 AMLCD Glass Substrate 글라스에 적용하면 수평 이송장치에서 FPD 글라스의 처짐해석 결과는 자중에 의한 최대 처짐이 1113.0 mm로 해석되었다. Fig. 3(a)에서 나타난 모델 F3 지점에서 자중에 의해 최대 처짐이 발생하

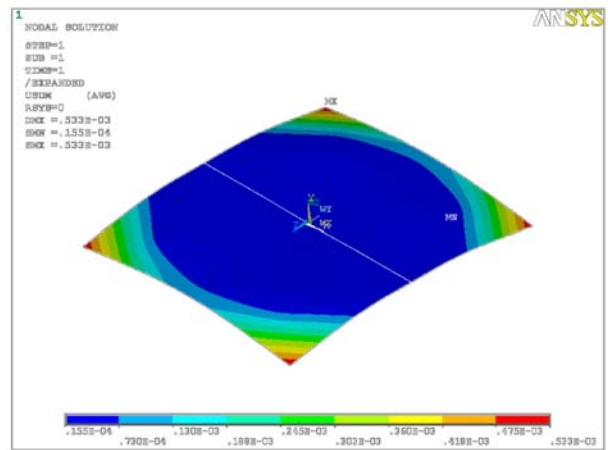


Fig. 7 Maximum deflection of FPD at robot pick-up equipment

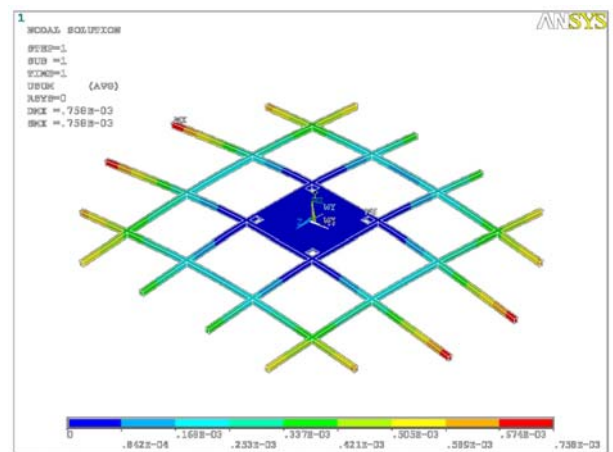


Fig. 8 Maximum deflection of turntable at robot pick-up equipment

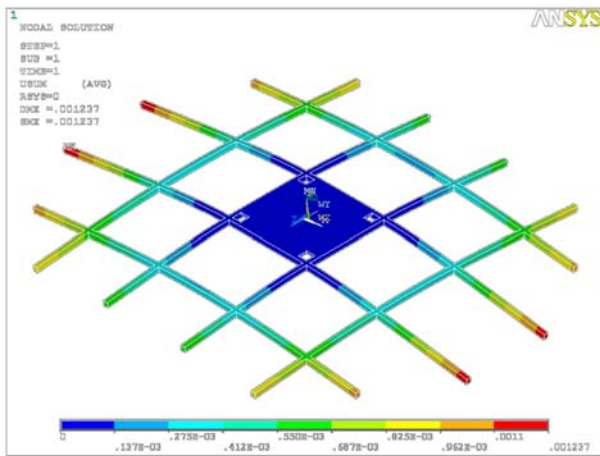


Fig. 9 Maximum deflection at turntable with loaded FPD

고 이 지점에서 공압 지지 바(air force supporting bar)의 지지 없이는 파손레벨(breaking level)인 20.0 mm를 넘게 되어 파손이 발생하므로 최대 처짐이 발생하는 지점을 중심으로 공압 지지 바를 대칭적으로 추가 시켜가며 최대 처짐을 줄이는 해석을 수행하였다.

수직 이송장치에서 FPD 글라스의 최대 처짐이 발생하는 지점은 수평 이송 시에 나타나는 현상과는 다른 수직 방향 Fig 3(b)의 F4, F5에 중력에 의한 최대 처짐과 휨 (bowing) 현상이 나타나기 때문에 수평 이송시의 해석과 다른 해석이 필요하다. Fig. 3(b)에서 보이는 바와 같이 F4, F5 지점에서 글라스의 처짐이 중력 방향으로 크게 발생함으로 해석 수행 시 이를 고려해 최대 처짐점에 더 많은 지지 바(bar)가 필요하다고 판단하였다. Fig. 3(a), (b)와 달리 (c)에서 보이는 로봇 픽업장치의 경우는 각 지지점에 집중적인 공압 지지 노즐을 적용시키고 해석 결과에 따라 최대 처짐을 보완할 수 있는 위치로 이동시켰으며, 지지노즐의 개수 또한 증가 시키면서 해석을 수행하였다.

각 이송장치에서 설계 목표 처짐량은 수평과 수직 이송장치의 경우 각각 2 mm 이내이고 로봇 픽업 장치의 경우 5 mm 이내이다. 따라서 해석에서 각 설계 목표치에 만족하는 처짐을 얻도록 지지바와 노즐의 위치를 변경하고 개수를 늘여 가면서 수행되었다.

3.2 해석 결과

수평 이송장치에서 양 끝단을 단순 지지한 경우 자중에 의한 FPD 글라스의 최대 처짐이 1113.0

mm로 해석되었다. 양 끝단이 단순 지지되고 글라스 중앙 최대 처짐점에 공압 지지 바를 1개 지지한 경우에 글라스의 최대 처짐은 28.8 mm로 해석되었다. 글라스 양 끝단과 폭 길이의 1/4, 2/4 3/4 지점에 3부분을 지지한 경우 10.073 mm 처짐이 발생하였고, 글라스의 폭 방향으로 5등분 된 각 지점에 5개의 지지 바를 지지한 경우에는 4.787 mm 처짐이 발생하였다. 위 같은 방법으로 수평 글라스의 이송방향으로 공압 지지 바 6개를 지지한 모델의 경우 최대 처짐량은 0.711 mm 나타났다. 해석 결과 처짐의 반대 방향으로 볼록한 부분이 나타났으며 그 값은 2.134 mm 이다. 이 부분은 실제 처짐량이 아닌 중력의 반대 방향으로 발생하고, 지지바에서 발생된 공압이 글라스의 가운데로 모아져 발생하는 부분이어서 본 장치의 설계 목적과 글라스의 파손에 미치는 영향은 거의 없다고 판단하였다.

따라서 본 연구에서 제시되는 처짐에 의한 설계 목표치인 2 mm 이내에 들어감으로 공압 지지 바 6개가 만족할만한 결과이다. 실험 라인상의 전체를 이용할 때는 적절한 내부 공기의 조절이 어려워 해석 결과보다는 많은 처짐이 발생할 수 있지만 실제 라인의 클린룸 내 공기흐름은 보다 적절하게 조절되므로, 이를 고려할 경우 0.711 mm 보다 더 적은 처짐이 발생 될 것으로 판단된다. Fig. 5는 지지 바를 6개로한 수평 이송 장치의 경우 처짐 해석을 수행한 결과이다. 수평이송장치의 처짐 해석 결과는 Table 4에 나타나 있다.

수직 이송장치의 경우 하단부분 끝단이 롤러에 의해 단순 지지되고 글라스는 80° 경사를 가진 수직 이송장치에서 FPD 글라스의 자중에 의한 최대 처짐량은 166.7 mm로 해석되었다. 글라스 폭의 중앙에 공압 지지 바 1개를 이송 방향으로 지지한 경우 최대 처짐은 4.917 mm로 해석되었다. 글라스 폭의 1/4, 2/4, 3/4 지점에 공압 지지바를 3개 지지한 경우 최대 처짐량은 0.424 mm로 해석되었다.

수직 이송장치에서의 경우도 연구에서 제시되는 처짐 설계 목표치인 2 mm이내에 들어감으로 공압 지지 바 3개는 만족할만한 결과이다. Fig. 6은 수직 이송장치의 처짐해석을 수행한 결과이다. 수직 이송장치의 처짐 해석 결과는 Table 5에 나타나 있다.

로봇 픽업장치의 경우 글라스의 자중 및 픽업 장치의 턴 테이블의 처짐이 동시에 고려되어야한

Table 4 Results of FPD deflection analysis at horizontal transfer conveyor

Number of Supporting Bar	Maximum Deflection (mm)
0	1113.0
1	28.8
3	10.073
4	4.787
6	0.711

Table 5 Results of FPD deflection analysis at vertical transfer conveyor

Number of Supporting Bar	Maximum Deflection (mm)
0	166.71
1	4.917
3	0.424

Table 6 Deflection analysis results at robot pick-up equipment

Analysis Type	Maximum Deflection (mm)
FPD Deflection which Loaded Tum table	0.533
Deflection of Tum Table	0.758
Deflection of Tum Table with Glass Load	1.237

다. 로봇 픽업장치에 글라스가 장착되었을 때 글라스의 최대 처짐은 Fig. 7에 나타나 있듯이 0.533 mm 이다. 수평 이송장치와 다른 지점인 네 모서리 부분에서 최대 처짐점이 발생한다. 구속은 로봇 픽업 장치에 공압 지지 노즐이 설치된 지점을 중력 방향으로 변위를 구속하였다. 또 로봇 픽업장치의 지지 노즐의 위치는 FPD 글라스의 가공 시 절취되는 부분으로 배치하여 손상의 가능성을 줄였다. Fig. 8은 턴 테이블 자체의 처짐 현상을 해석한 결과로 최대 처짐량은 0.758 mm이고, 최대 처짐이 발생하는 위치는 중앙의 각 지지부에서 가장 멀리 떨어진 끝단에서 발생한다. 턴 테이블은 중앙의 4부분이 로봇 픽업장치에 완전히 고정되어 있다.

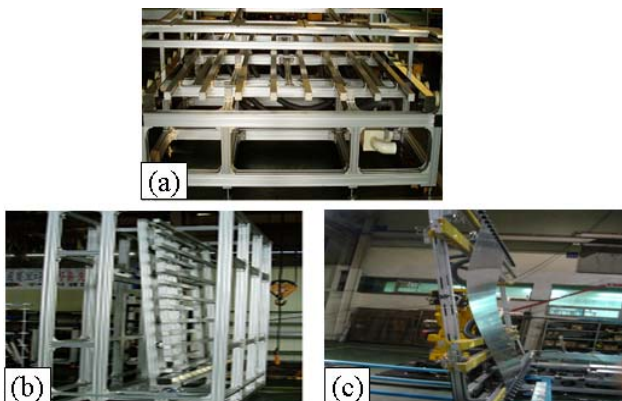
Fig. 9는 턴테이블에 실제 글라스를 하중으로 적용하고 있을 때 턴 테이블의 처짐 현상을 해석한 결과이다. 여기서 최대 처짐량은 1.237 mm이고 이 처짐량은 글라스와 턴테이블의 각각의 처짐량을 합한 값과 거의 비슷하다. 또 실제 로봇 픽업장치가 글라스를 들어서 이동 시 허용되는 글라스의 설계상 최대 처짐량은 5 mm이고 해석결과는 이를 만족하고 있다. 로봇 픽업장치의 처짐해석의 결과는 Table 6에 나타나 있다.

처짐해석에 사용된 실제 모델의 사진은 Fig. 10 (a) 수평 이송장치, (b) 수직 이송장치, (c) 로봇 픽업장치에 각각 나타나 있다. Table 4-6을 통해 각 모델별 처짐 해석의 결과 모두 각각의 설계목표치 2 mm와 5 mm 이내의 처짐을 보여 각 모델에서 FPD 글라스가 안전하게 이송될 수 있음을 보였다.

4. 결론

FPD 패널 이송장치는 오염과 손상을 유발할 수 있는 기존의 접촉 방식에서 비접촉 방식으로 변화되고 있다. 7세대 FPD 패널 이송장치를 개발함에 있어 신뢰성을 검증하기 위하여 실험과 해석을 수행하였다.

실험에서는 실제 FPD를 이용한 LCD 및 PDP 제조 공정에서 상용화된 Corning 1737 AMLCD Glass Substrate 대신 알루미늄 패널을 사용함으로써 안전하고 편리하게 실험하였다. 실험 및 비교해석에서 얻어진 구속조건을 Corning 1737 AMLCD Glass Substrate 글라스의 처짐해석에 적용시켰다. 각 이송장치에서 FPD의 처짐을 구한 결과 수평 이송장

**Fig. 10** (a) Horizontal transfer conveyor, (b) Vertical transfer conveyor, (c) Robot pick-up equipment

치의 경우 지지바가 6개 일때 0.711 mm, 수직이송 장치의 경우 지지바가 3개 일때 0.424 mm, 로봇 픽업장치의 턴 테이블에 글라스가 적재된 상태를 해석결과 1.237 mm 처짐량을 얻었다. 각 이송장치에서 처짐해석의 결과는 설계 목표치인 2 mm, 5 mm이하의 처짐을 충족하여 안전하다고 판단되었다.

본 연구의 결과가 앞으로 나올 8세대 이상의 FPD 글라스 이송장비 개발에 아주 중요한 자료가 될 것이며, 비접촉 방식의 이송장비 응용분야에 크게 활용될 것으로 보인다. 그러나 연구의 더 큰 도움을 제공하기 위해서는 7세대 대응 글라스인 Corning 1737 AMLCD Glass Substrate를 이용한 진동 및 기류 등에 대한 실험 및 추가적인 해석을 통해 검증할 필요가 있다.

참고문헌

- (1) Kim, J. S., 2001, "TFT-LCD Summary and Development Research Trend," *Journal of the KSME*, Vol. 41, No. 5, pp. 37~41.
- (2) Huh, J. S., 2006, "A Study on the Robust Optimal Supporting Positions of TFT-LCD Glass Panel," *Transactions of the KSME*, Vol. 30, No. 8, pp 1001~1007.
- (3) Kim, S. W., Beck, D. S., Kim, S. D. and Kim W. S., 2003, "Development of a FPD Stocker GUI," *Transactions of Semiconductor Equipment Technique*, Vol. 2000, pp. 31~37.
- (4) Choi, G. H., Han, C. W. and Lee, S. R., 2002, "The Study on the Development of Composite Robot Hand for TFT-LCD Glass Transport," *Transactions of the KSME*, Vol. 26, No. 7, pp. 1357~1365.
- (5) Oh, J. H. and Lee, D. G., 1999, "Composite Robot End Effector for Manipulating Large LCD Glass Panels," *Composite Structures*, Vol. 47, pp. 497~506.
- (6) Tak, T. O., Kim, H. Y., Chun, H. H and Oh, Y. B., 2004, "Vibration Attenuation Study for An LCD Pannel Handling Robot," *Journal of Industrial Technology*, Vol. 24, No. B, pp. 73~81.
- (7) Lee, J. G. and Choi, S. S., 2004, "The study of impact analysis of TFT-LCD module," *Transactions of the KSME*, Vol. 28, No. 5, pp. 571~577.
- (8) Park, S. J., Kim, M. S., Kim, J. S. and Joo, H. N., 2005, "A Study on the Design of Vision Inspection System for FPD Defects Detection," *The Journal of Research Institute for Engineering & Technology*, Vol. 24, pp. 123~136.
- (9) Kim, M. H., Yoon, J. H., Lee, T. Y. and Lee, S. R., 2006, "Development of Inference Technique for Non-uniformity of ITO coated Glass using Neuro-Fuzzy Method," *Proceedings of the KSME 2006 fall Annual Meeting*, pp. 67~71.
- (10) Jung, H. S., Lee, S. M., Hong, M. S., Lee, S. H., Park, J. H., Kang, D. W. and Lee, M. G., 2007, "A novel stylus profiler without nonlinearity and parasitic motion for FPD inspection system," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 21, No. 10, pp. 1491~1497.
- (11) Park, K. D., Lee, J. K., Ha, M. Y., Park, B. E., Oh, W. T. and Kim, G. J., 1996, "Contaminant Analysis in TFT-LCD Photolithography Process," *Proceedings of the KSME 1996 Fall Annual Meeting*, No. 2, pp. 402~407.
- (12) Seo, M. S., Kim, M. and Kim, H., 2005, "Study of Design Parameters for Semiconductor/FPD Cleanroom Focused on Airborne Contamination," *Key Engineering Materials*, Vol. 2005, pp. 277~279.