

LCD 검사 장비용 패드형 에어베어링 설계

오현성*, 이득우#, 이상민*, 박정우**, 김용우**

Design of Pad Type Air-Bearing for LCD Inspection

Hyun Seong Oh*, Deug Woo Lee#, Sang Min Lee*, Jeong Woo Park** and Yong Woo Kim**

ABSTRACT

LCD (Liquid Crystal Display) is widely used electronic product. It needs too many processes such as PECVD (Plasma Enhanced Vapor Deposition), Sputtering, Photo-lithography, Dry etch. Each process is important but inspection process is more important because most companies emphasis on the six sigma. Recently, LCD inspection system is composed with inlet, inspector, outlet air pads. LCD is inspected on air pad which is shooting air from air hole. This paper studies on pad design of air bearing for LCD inspection to minimize LCD fluctuation. This design is able to reduce fluctuation and then satisfies CCD inspectional range. Also inspection pad needs to adequate stable area.

Key Words : LCD (액정표시장치), Air-bearing (에어베어링), Air Pad (에어패드), Glass fluctuation (유리요동), Air guide (에어가이드)

기호설명

Γ = injection coefficient
 μ = viscosity coefficient
 n = number of the injection hole
 d = diameter of the injection hole
 R = air constant
 T_0 = air temperature
 P_S = injection air pressure
 P_a = atmospheric pressure
 A = area of the bearing
 h = Bearing Clearance
 W = load

k_S = stiffness of bearing

1. 서론

LCD(Liquid Crystal Display)는 액정 표시 장치라고 불리는 모니터이다. 액정 모니터는 우리 생활에서 본격적으로 사용된 것은 얼마 되지 않았지만 근래에 들어서는 다양한 제품들에서 사용되고 있다. LCD 패널에 존재하는 각종 결함은 LCD의 성능에 지대한 영향을 미친다. 따라서 제작된 LCD를 검사하는 것은 중요한 공정 중에 하나이다. LCD 검사는 검사 장비를 설계하는 방식에 따라 다음과 같이 세 가지로 분류된다.¹

☞ 접수일: 2006년 11월 10일; 게재승인일: 2007년 7월 2일

* 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대학교 나노융합기술학과

E-mail: dwoolee@pusan.ac.kr Tel. (055) 350-5666

** 부산대학교 나노융합기술학과

- 1) 매크로 검사 전용장비 :육안검사 전용장비
- 2) 마이크로 검사 전용장비 :현미경검사 전용장비
- 3) 매크로-마이크로 복합장비 :복합설계 장비

마이크로(Micro) 검사 장비는 정밀검사가 가능하나 국부적으로 검사를 수행하기 때문에 많은 시간이 소요되며 복합장비의 경우는 고가이다. 따라서 일반적으로 매크로한 방법을 채택한다. 육안검사를 통해 LCD 패널에 존재하는 스크래치 혹은 화학 및 세척공정에서 발생하는 각종 얼룩을 해독하기 위한 목적으로 매크로 검사를 수행한다.

스크래치와 같은 표면손상에 의한 결함은 부분적인 빛의 난반사 특성을 이용하여 검사하며, 일반적인 조명상태에서도 비교적 쉽게 판독이 가능하지만 화학 처리 및 세척공정에서 발생하는 얼룩은 특수한 빛의 조건하에서만 관찰되거나 판독이 가능하다. 이러한 일련의 작업과 검사의 효율을 높이기 위해 개발된 장비가 매크로 검사장비이다.

현재 사용 중인 LCD 검사장비는 LCD 유리가 반입부, 측정부, 반송부로 구성된 베드를 따라 에어패드(Air pad)의 공기압과 흡착 시스템이 조화를 이루어 이송하며 이때 CCD 를 통해 검사하게 된다.² 하지만 에어패드의 공기압과 외란의 영향으로 LCD 유리가 이송되면서 요동 현상을 일으켜 CCD의 측정 시야를 벗어나는 등 문제를 발생시켜 검사하는 과정에서 어려움을 겪고 있다.^{3,4}

에어패드는 미세 구멍을 통해 토출되는 공기압을 사용하며 유리를 부상하게 하여 이송체의 베어링으로 사용하는 장치로써, 공기를 토출하는 구멍의 형태와 크기, 배열 등에 의해 부상되는 간극과 공기압, 진동 등이 달라진다.⁵ 그러므로 이송시 발생하는 Z 축 변위의 요동현상을 최소화하기 위해 에어패드의 최적 설계 기술을 개발하여 정확한 LCD 유리 측정을 가능하게 하고자 한다.

2. 에어패드 성능 평가 시스템

Fig. 1 은 에어패드 성능평가 시스템을 나타내었다.

2.1 이송부

테이블의 고정밀 구동을 하는 경우 종래까지 쓰여 왔던 이송기구로는 마찰구동기구와 볼스크류를 사용하는 것이 대부분이었다. 그 외에도 유정압스크류, 공기정압스크류 등이 이용되고 있으나 이

송방향의 강성이 낮고 제작이 어려운 단점이 있어서 실제로 사용되는 예는 드물다.

에어패드 시스템에서는 다양한 장점을 가진 에어 가이드웨이(Air guideway)를 적용하였으며 이송은 스텝핑 모터(Stepping Motor)를 이용하였다. Fig. 2 는 제작된 에어가이드이다.

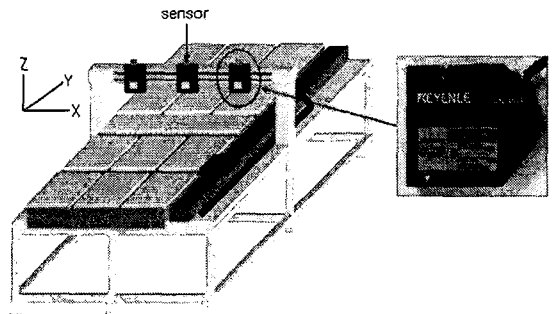


Fig. 1 Inspection System & Sensors

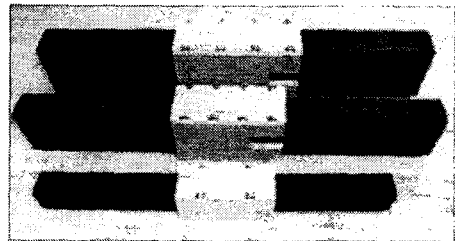


Fig. 2 Manufactured air guide

2.2 측정부

측정부에는 3 개의 레이저 변위 센서를 이용하여 유리가 이송할 때 변하는 Z 축 변위를 측정하였다. 즉 에어에 의한 유리의 요동(fluctuation)을 실시간 측정하여 컴퓨터에서 신호처리 하였다. 또한 3 개의 레이저 변위 센서는 유리의 양 끝단, 중심에 위치하고 있으며 유리의 동일 축(X 축 이송 방향)에 대한 Z 축 변위를 측정하여 유리의 배플림 현상을 측정하였다.

에어패드는 크게 자기 보상형, 표면 보상형, 다공질 보상형의 3 가지 형태로 나누어진다. 본 문에 사용된 자기 보상형은 제작이 용이한 반면에 반복오차와 배기진동이 문제가 될 수 있으며 표면 보상형의 경우는 형태가 다양하고 베어링의 간극을 매우 작게 할 수 있는 장점이 있다. 다공질 보

상형의 경우는 에어해머현상 방지를 위한 다층구조로 되어 있고, 세라믹 재료나 카본, 금속 등 다양한 재료를 쓸 수 있지만 적합한 소재를 구하기가 어렵고, 가공 및 제작이 비교적 어려운 단점이 있다.⁶

에어패드의 설계는 급기계수와 무차원 부하용량과 무차원 강성, 무차원 유량의 실험적 상관관계에 의존하게 되는데 특히 자기 보상형의 경우에는 MTI 도표와 다음의 식들에 의해 최대 강성계수를 구하고 각각의 설계변수들을 결정할 수 있다.⁷

$$\Gamma = \frac{6\mu nd^2 \sqrt{gRT_0}}{p_s h^2} \quad (1)$$

$$W = A\bar{W} \quad (2)$$

$$k_s = \frac{1}{h} A(p_s - p_a)\bar{k}_s \quad (3)$$

위의 계산식을 이용하여 최대강성을 가질 수 있는 n, A 를 정하여 급기홀만을 도입한 에어패드를 설계하였으며 가로, 세로의 바둑판 배열로 에어의 급기에 따른 유리의 처짐을 측정하였다.⁸

3. FEM 을 통한 에어패드 해석

3.1 급기홀과 흡기홀의 분포

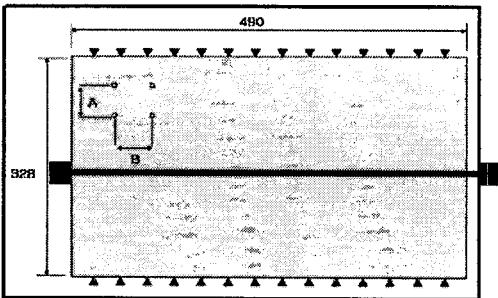
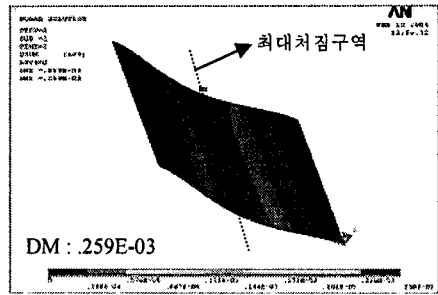
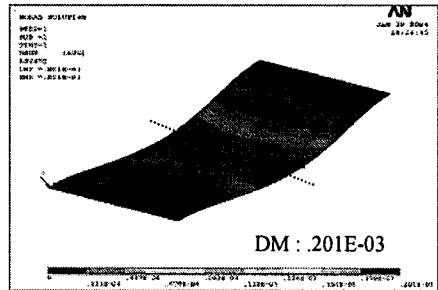


Fig. 3 Pad size and hole distance(injection)

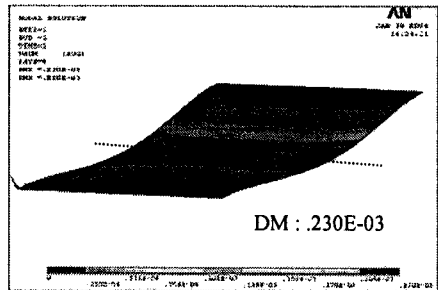
Fig. 3 에서 보듯이 A 방향은 패드의 세로방향이고 B 방향은 패드의 가로방향의 홀 생성방향이다. A, B 의 간격을 적절히 조절함으로써 홀의 가공 수를 줄이려고 한다. 그림의 상하부분의 삼각형은 유리를 50 μm 높이로 지지하고 있는 부위를 나타낸다.



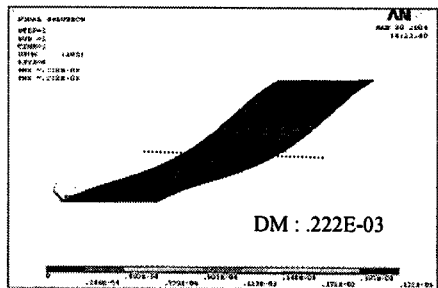
(a) 43x40mm (BxA) Self load



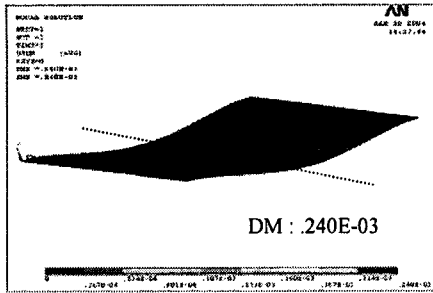
(b) 43x40mm (BxA) injection



(c) 43x80mm (BxA) injection



(d) 86x40mm (BxA) injection



(e) 86x80mm (BxA) injection

Fig. 4 Fluctuation by air injection with self load

패드 설계시 경향을 알아보기 위해서 FEM 해석을 통해 급기홀의 배치 및 수에 따른 압력 분포 형성과 그에 따른 LCD 유리의 요동상태를 알아보았다. 검은색 가로줄은 유리의 최대 처짐이 일어나는 구간으로 유막 두께 이하로 처짐이 발생되어야 한다.

최초 43×40mm(B×A)에서 A 혹은 B 를 고정시키고 다른 방향의 간격을 증가시켜 해석해보았다. 초기조건으로 모든 홀(φ3)의 급기압력을 일정하게 0.98 kgf/cm² 부여하였으며 중력 9.81kgf/m² 이 적용되었다. 유리의 물성치는 탄성계수 324kPa, 피아송비 0.29, 밀도는 54e⁻⁵kg/m³ 이다.

Fig. 4 는 해석이 완료된 상태의 유리 모습으로 자중에 의한 처짐과 급기압이 적용되었을 때의 처짐이 점차 감소되는 경향을 보이고 있으나, 단순히 급기홀만의 적용으로는 유리의 요동 범위가 CCD 측정범위를 초과하였다.

급기홀의 적용으로 발생할 수 있는 처짐을 제거하는 방안으로 급기홀과 흡기홀을 같이 적용하여 해석을 수행하였다. 동일 조건에 흡기압력 0.86 kgf/cm² 을 적용하였다.

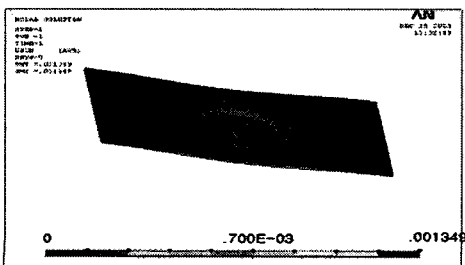


Fig. 5 Deflection analysis result

4 개의 급기홀(14x14, φ=0.3)과 대각선 중심 1 개의 흡기홀(φ=0.5)일 경우 Fig. 5 와 같이 패드 국부의 변형은 수 nm 의 계산 값이 나왔다. 그러므로 급기홀만 적용했을 경우에 발생하는 변형이 많이 없어졌다.

3.2 압력의 평형

흡기압력을 적용할 경우 급기압력과 압력 분포가 일정하게 되어야 일정두께로 유리를 지지할 수 있다. 즉, 압력이 상대적으로 평형이 이루어져야 특정압에 대한 유리의 변형이 최소화 된다.

급기, 흡기, 오리피스홀의 직경을 변화시켜 여러 가지의 경우를 해석을 해본 결과, 급기홀과 흡기홀의 직경은 φ 4 이고 오리피스의 직경은 φ 0.3 이며 급기와 흡기가 바둑판 배열로 했을 경우 Fig. 6 에서 보듯이 압력 프로파일이 대칭적으로 나타났다.

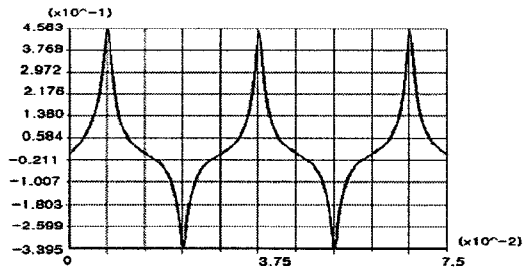


Fig. 6 Orifice pressure profile

실제로는 정확한 평형을 이루지 못하는데 이는 미세한 압력을 제어하지 못해서 나타나는 현상으로 유리를 강제 구속하는 그리퍼를 통해서 유리의 높이를 미세조정 함으로서 해결될 수 있다.

4. 에어패드 성능 실험

Fig. 7 은 검사장비에 유리가 이동하는 경로를 크게 세 가지로 구분하여 나타내었다. 반입부, 측정부, 반출부로 나누어 지며 세 개의 레이저 변위 센서가 유리의 이송시 발생하는 요동을 측정하게 되어 있다.

4.1 Prototype 1

급기홀은 동일한 그루브(groove)상에 존재하며

각 그루브 사이에 흡기홀을 가공하였다. 급기홀과 흡기홀의 간격은 44mm, 급기홀의 간극은 56mm 이며, 급기홀과 흡기홀의 직경은 $\phi 4$ 로 구성하였다.

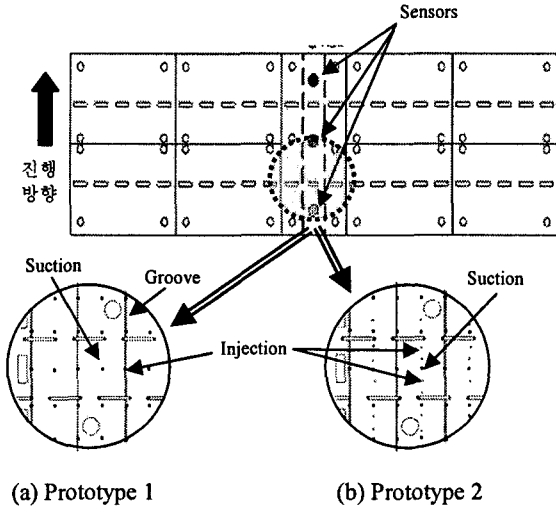


Fig. 7 Air pad of whole area

이송속도에 따른 유막 두께 변화와 급기방식에 따른 유막 두께 변화를 측정하였다. 또한 반입부, 측정부, 반출부 패드 각각의 영향을 파악하기 위해 조건을 달리하여 실험을 하였다. 다음으로 흡기를 적용하여 실험을 수행하였으나 작은 흡기압력에서도 유리가 붙어 버리는 현상이 일어나기 때문에 흡기는 하지 않고 급기홀만 적용하여 실험을 수행하였다.

흡기압력을 적용하지 않고 급기만으로 유리의 이송시 발생하는 변형을 제거하고자 하였다. 0~2 atm 까지 측정부 급기압을 변화시켰으나 유사한 패턴의 변형을 제거하지는 못했으며 급기압력 증가에 따른 유리의 부상 높이만 변화하였다.

이러한 일련의 급기 실험으로 얻게 된 데이터를 분석해 보면 유리의 이송시에 발생하는 변형을 제거하기 위해서는 단순히 급기압력 변화로는 해결을 하기 어려우며 흡기홀을 적용해야 하는 방향으로 도출되었다.

4.2 Prototype 2

Prototype 1 에서의 유리이송에 있어 불안정성과 유리가 패드에 붙어버리는 현상을 해결하기 위해 Fig. 7 (b)와 같이 흡기홀 위와 아래 13mm 지점에

흡기홀을 가공하였다. 급기압력을 조절하여 급기압과 흡기압의 압력분포의 일정함을 이루고자 했다. Prototype 1 의 실험과는 달리 흡기의 효과로 인한 안정화가 현저히 나타났다.

4.3 Prototype 3

앞서 수행된 실험데이터를 바탕으로 세 번째 에어패드를 제작하였다. 급기홀과 흡기홀은 동일한 직경이며 각 홀 간의 간격 역시 동일하다. 새롭게 제작된 측정부 패드의 성능은 크게 측정부 센서의 위치 변화, 급기홀과 흡기홀의 간격 변화, 급기홀과 흡기홀의 배열 변화와 같이 세 가지 방법으로 실험을 수행하였다. 최종적으로 흡기를 적용하였을 때 측정부 패드를 12 등분하여 유리의 형상 변화를 확인하고자 하였다.

Fig. 8 처럼 센서의 위치를 ①, ②, ③으로 이동시키며 유리를 이송시켜 변형을 측정하였다. 변형은 각 측정위치에 따라 다르게 나타난다. 센서 ① 위치에서 초기에 불안정한 현상을 나타내었으나, 센서 ② 위치에서는 급기와 흡기의 균형(약 20 μ m 이하의 변형)을 보이고 다시 센서 ③ 위치에서 불안정한 현상을 나타낸다. 이는 유리를 지지하는 면적이 넓을수록 부하지지 능력이 커지게 되며 유리의 요동 정도가 안정화 되는 것을 의미한다.

Fig. 9 는 측정부 패드에서 급기홀과 흡기홀의 배열 변화를 다르게 하여 다시 실험하였다. 왼쪽

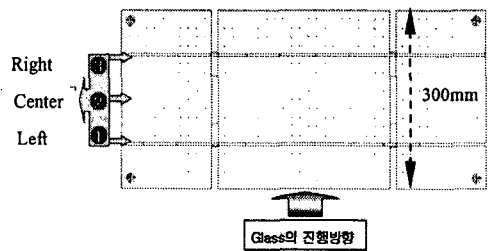


Fig. 8 Sensor position

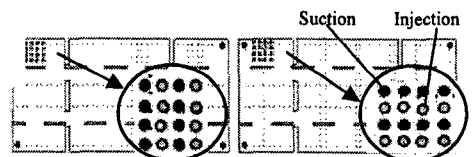
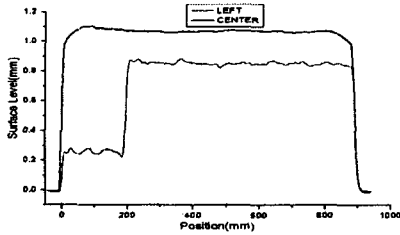
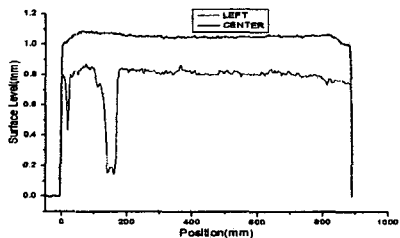


Fig. 9 Change the arrangement

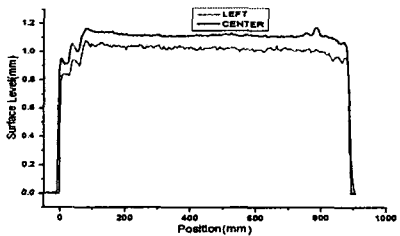
그림은 세로방향으로 동일한 홀을 설치하였고, 오른쪽 그림은 가로 방향으로 동일한 홀을 설치하였다. 이렇게 홀의 배열을 달리하여 앞선 실험에서의 바둑판 배열과의 차이점을 파악하고자 하며 최적 배열조건을 선택하고자 하였다.



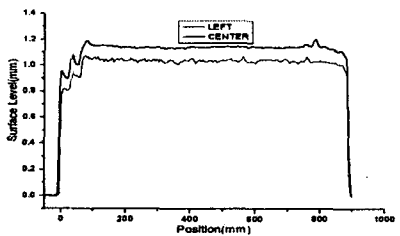
(a) Arrangement of length (P=0.4 atm)



(b) Arrangement of length (P=0.45 atm)



(c) Arrangement of width (P=0.4 atm)



(d) Arrangement of width (P=0.45 atm)

Fig. 10 Glass fluctuation at inspection pad depend on arrangement of each hole

반입부, 반출부의 급기압력은 1atm, 측정부의 배열은 15×15 mm로 하여 측정부의 흡기압을 0.5, 0.3, 0.25atm 으로 변화시키면서 흡기압력의 변화로 최적 조건을 찾하고자 하였다.

세로 방향 배열과 가로 방향 배열의 결과는 현저하게 차이가 났다. 우선 세로 방향 배열의 결과를 보면 미세한 급기압의 변화에도 Fig. 10의 (a)와 (b)처럼 초기에 급기압력에 비해 흡기압력이 높아 유리가 측정부 패드 표면에 붙어 버리는 현상이 발생하였다. 측정부 급기압의 변화에도 유사한 결과가 나왔다.

가로 방향 배열의 결과를 보면 Fig. 10의 (c)와 (d)처럼 초기의 압력 평형을 이루지 못한 불안정 구간이 발생하게 된다. 역시 측정부 급기압력의 변화에도 유사한 결과가 나왔다.

이러한 결과를 토대로 측정부 패드의 급기, 흡기 홀의 배열은 가로, 세로 방향보다 바둑판 배열이 적절한 것으로 나타났으며 고정된 흡기압에 비해 미세한 급기압의 변화에도 유리의 요동은 현저하게 나타남을 알 수 있었다.

측정부 패드의 위치별 유리의 형상 변화를 측정하기 위해 측정부 진입전 25mm(-25mm)로부터 측정부 패드 25mm 간격으로 12 등분(0~300mm), 측정부 패드 배출 후 25mm(325mm)로 나누어 각 위치에 레이저 변위센서를 이동시켜 분할된 위치에 대한 요동을 측정 하였다. 유리가 측정부에 진입이 시작되면 급기압에 비해 흡기압이 점점 증가하였으며, 측정부 패드로 접근할수록 더욱 증가하는 현상이 발생하였다. 측정부 패드에 유리가 반입된 후 150mm 지점을 지나 250mm까지는 약 20 μm이하의 변형이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 CCD 카메라의 검사 시야 범위(약 30 μm 이하)에 해당한다. 유리가 측정부에서 250mm 이후 지점부터 불안정한 현상이 다시 발생하였다.

따라서 유리의 안정된 검사를 위해서는 측정부 부분에서 150mm 정도의 급기 및 흡기홀을 적용한 안정화 거리를 지난 후 레이저 변위센서(CCD 카메라)를 설치해야 할 것이다.

Fig. 11은 유리의 중심부에서 발생하는 변형을 측정부 패드의 위치별로 표현한 것이다. 초기에 흡기의 영향으로 유리가 급격히 측정부 패드 면으로 이동한 후 이후 급기압력과 흡기압력의 평형으로 유리가 안정되게 이송된다. 이후 측정부 패드를 통과할 때 다시 급기의 영향으로 급격히 부상

되는 것을 보여 주고 있다.

안정화 구간이 필요하다.

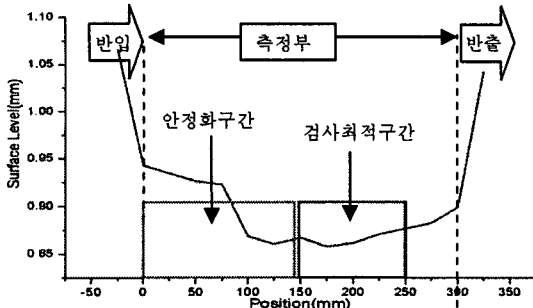


Fig. 11 Glass displacement at the inspection pad

5. 결론

본 연구에서는 LCD 검사를 위해 패드형 에어베어링을 설계, 제작하여 적용하였다. 또한 설계된 패드형 에어베어링의 성능평가를 위한 평가 시스템을 구성하였다. 패드형 에어베어링을 구성된 시스템에 적용하여 특성을 평가함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) LCD 유리의 검사 장비의 에어패드는 크게 반입부, 측정부, 반출부로 나누어지며 반입부, 반출부와 측정부는 유리가 이송할 때 미치는 영향은 서로 다르게 나타났다.
- (2) 측정부 패드에 급기홀의 적용만으로는 유리의 요동이 약 100 μm 이상으로 나타난다. 이것은 CCD 카메라의 측정 시야 범위를 벗어나게 되므로 흡기홀의 적용이 필수적인 요소가 된다.
- (3) 측정부 패드의 급기 및 흡기홀 적용에 있어 각 홀 간의 간격, 배열이 중요한 변수가 되며 홀 간의 간격은 좁을수록, 배열은 바둑판 배열이 가장 적당한 것으로 나타났다. 홀 간격 $L \times L\text{mm}$, 바둑판 배열에서 약 20 μm 이하의 요동을 구현할 수 있었으며 이것은 CCD 카메라의 검사 시야 범위를 만족하게 된다.
- (4) 측정부 패드를 12 등분하여 각 위치 별 유리의 변형을 측정하였다. 유리가 측정부 패드에 진입하여 0L/12mm ~ 5L/12mm 의 구간을 지나는 동안 점점 안정화 되는 것을 볼 수 있으며 이후 6L/12mm ~ 10L/12mm 지점까지 안정화 되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 측정부 패드에서 유리가 진입하고 난 후 적어도 1L/2mm 이상의

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비 (2년)와 과학 기술부/한국과학 재단 국가핵심연구센터사업 (R15-2006-022-02003-0)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. http://www.kwangwo.co.kr/2002/k_lcd_detail.htm
2. BFI VDEH INST FUER ANGEWANDTE, "Method and device for optically measuring the surface shape and for the optical surface inspection of moving strips in rolling and processing installations," Korea Patent, App. 2004-7012273, 2004.
3. Michael, H., Martin, S. and Hubert, R. M., "Microscopic ellipsometry: imaging monolayer on arbitrary reflecting supports," Thin Solid Films, Vol. 284-285, pp. 412-416, 1996.
4. Häusler, G., "Optical preprocessing for automated inspection," Optics and Lasers in Engineering, Vol. 10, Issues 3-4, pp. 251-263, 1989.
5. Holster, P. L. and Jacobs, J. A. H., "Theoretical analysis and experimental verification on the static properties of externally pressurized air-bearing pads with load compensation," Tribology International, Vol. 20, Issue 5, pp. 276-289, 1987.
6. Mohamed, F. and Marc, B., "Comparison between externally pressurized gas thrust bearing with different orifice and porous systems," Wear, Vol. 210, No. 1, pp. 311-317, 1997.
7. Sogo, S., "Air lubrication-from design to manufacture," public inst, p. 60, 1990.
8. NEWS, "Small vacuum pump for precision applications," World Pumps, Vol. 2004, Issue 453, p. 11, 2004.