

비접촉식 유리 평판 이송 장치의 공기 패드 형상에 대한 연구

A Study on the Air Cushion Pad of Non-contact Glass Transportation Unit

전현주* , 김광선** , 임익태***

* (주)AVACO 연구소, ** 한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부, *** 익산대학 자동차학과

초록

Non-contact transportation of a large-sized glass plate using air cushion for the sputtering system of liquid crystal display panel was considered. The gas is injected through multiple small holes to maintain the force for levitating glass plate. Complex flow field and resulting pressure distribution on the glass surface was numerically studied to design the air injection pad. The exhaust hole size was varied to obtain evenly distributed pressure distribution at fixed diameter of the injection hole. Considering the force for levitating glass plate, the diameter of the exhaust hole of 30 to 40 times of the gas injection hole was recommended.

1. 서론

LCD 제조에서 유리 표면에 전극이나 절연막 형성과 같이 원하는 물질을 코팅하기 위하여 스퍼터링(Sputtering) 기법이 폭넓게 적용되고 있다. 이러한 스퍼터링 장비에서 넓은 유리 평판을 반송하는 장치는 평판의 품질 유지를 위해 장비에서 매우 중요한 부분이라고 할 수 있다. LCD 에 대한 수요의 급격한 증가에 힘입어 그 동안 유리 평판을 이송하기 위한 몇 가지 방법이 제안되어 제조 공정에서 적용되고 있다. 그러나 유리 평판의 크기가 커지고 고 정밀도와 친환경적 생산 공정이 요구되면서 기존의 진공 척(chuck)을 이용한 반송 방식이 아닌 비접촉식 평판 반송 방법이 많은 관심을 받고 있다. 접촉 방식으로 유리 평판을 이송 할 경우에는 유리 평판의 휨이 발생할 수 있고 심한 경우 이송 중에 파손이나 표면 긁힘이 일어나며 또 입자에 의한 오염이 쉽게 발생할 수 있기 때문이다.

비접촉 반송 방법에는 크게 분사 기체를 이용하는 방법¹¹⁾과 전자기 또는 정전기력을 이용하는 방법¹²⁾, 및 음파를 이용하는 방법¹³⁾이 있다. 분사 기체를 이용하여 유리 평판을 이송하는 방법은 이송 전후에 수행하는 코팅 공정에 간섭을 일으키지 않으며 추가적인 장치가 적어 전체 장비의 무게 측면에서 유리하다. 텔레비전과 같이 LCD 제품의 크기가 커지면서 생산 단계에서의 유리

평판의 크기도 매우 커지게 되었으며 이에 따라 장비의 크기도 매우 커지게 되어 제조 공간이나 장비의 무게가 중요한 점으로 나타나고 있기 때문이다.

본 연구에는 초대형 LCD 유리 평판 스퍼터링 장비의 비접촉 반송 장치로서 공기를 이용한 평판 부상 장치에 대한 검토 작업의 일부이다. 안정적으로 유리 평판을 부상시키고 이송시키기 위해서 먼저 유동장과 그에 따른 평판의 압력 분포에 대해 이론적 해석을 수행하였으며 그 결과를 바탕으로 기체 분사 장치의 형상을 제안하였다. Fig. 1 은 기체 분사를 이용하여 평판을 부상시키는 장치의 개념을 나타내는 것으로 여러 개의 기체 유입구를 통해 기체를 빠른 속도로 분사시키고 이를 이용하여 평판 물체를 부상 상태로 유지하는 것이다. 진동이나 힘이 없이 안정적인 부상 상태를 유지하기 위해서는 평판 하부 표면의 압력 분포가 균일해야 하는데 이를 위해서 기체 배출구가 적절히 놓여 있어야 한다. 결국 이 문제는 기체의 유입과 배출이 이루어지는 과정에 대한 유동 특성을 규명하는 문제가 된다. 이러한 유동 특성의 분석을 통해 유입구나 배출구의 배치 즉 패드의 형상에 대한 설계의 기본 자료를 제시하고자 하였다.

2. 부상용 패드 형상

기체를 이용한 유리 평판의 부상에 대한 이전의 연구보고^[1]에서 기체 분사 홀과 배기를 위한 슬롯 형태가 주기적으로 배열된 패드 형상을 제안한 바 있다. 그러나 제안된 패드 형상은 5 세대 크기의 유리 평판 이송을 위하여 고려된 것으로 최종적으로 만들고자 하는 7 세대용 스퍼터링 장비에 단순히 크기만 크게 하여 적용하기에는 몇 가지 문제점이 있다. 그 중 한가지는 기체의 필요 유량이 너무 많아지게 되어 생산비 상승의 요인이 된다. 5 세대 크기의 실험 연구를 바탕으로 7 세대 크기에 적용 가능하다고 생각되는 패드 형상을 선정하였다. 5 세대용 패드와의 근본적인 차이는 5 세대용 패드에서는 기체 유입과 배출구의 위치가 다르고 주기적으로 배치된 반면 7 세대용 패드에서는 동일한 위치에서 공급과 배출이 이루어지도록 한 것이다. 이렇게 한 가장 큰 원인은 주기적으로 배치된 공급홀에서의 압력 최대값과 배기홀에서의 압력손실 폭을 줄임으로써 전체 유리 평판 압력의 균일성을 확보함과 동시에 배기공간을 통한 잉여공기를 활용하여 기존 타입과 대비하여 동일 부상높이에 필요한 공급유량을 감소시키는데 있다.

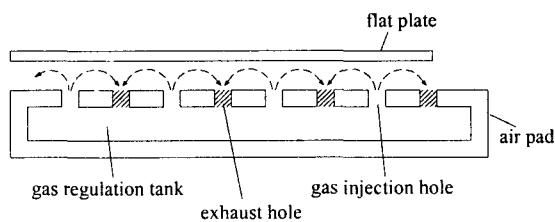


Fig. 1 Schematic illustration of an air-cushion levitation system for non-contact transportation of large-sized glass plates.

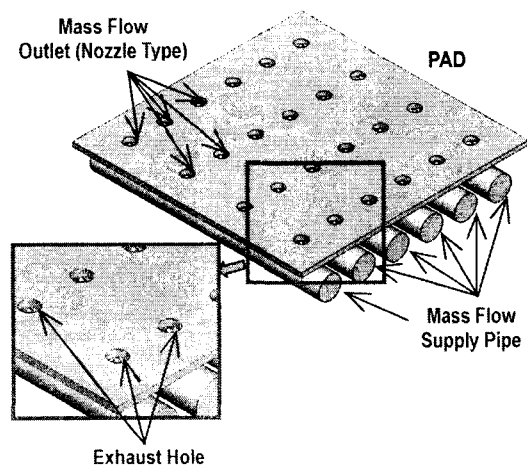


Fig. 2 Schematics of an air pad unit, an injection hole is located at the center of an exhaust hole.

Fig. 2 에 7 세대 유리 평판 이송을 위한 패드의 형상을 개략적으로 나타내었다. 기체는 유량 공급관(mass flow supply pipe)을 거쳐 노즐 역할을 하는 작은 홀을 통해 분사되어 유리판에 압력을 가하게 되며 작은 홀과 동심원을 이루는 큰 배기 홀을 통해 배출된다. 유량 공급관은 유입 홀을 통해 분사되는 기체의 속도가 위치에 관계없이 균일하게 분사되도록 해준다. 이러한 홀을 가로와 세로 방향으로 일정한 간격으로 규칙적으로 배열하였으며 홀 사이의 간격은 지난 연구 결과^[1]에 따라 150 ~ 200 mm 로 하였다. 유리 평판의 이송을 위해 패드는 스퍼터 내에서 지면과 80° 이상의 각도로 설치된다.

3. 해석

기체 유입구로부터 배출된 기체가 유리 평판에 부딪힌 후 배출구를 통해 나가는 동안의 유리 평판과 패드 사이의 기체의 유동 특성을 해석하기 위하여 전산유체역학을 이용하였다. 유리평판은 기체에 의하여 2 mm 부상 되어 있다고 가정하였으며 해석의 편의를 위하여 유리 평판이 패드의 중심에 위치하고 있어서 대칭을 이루고 있다고 간주하였다. 또 유리 평판은 힘이 없이 완전히 편평하다고 가정하였다. 유입되는 기체는 온도 변화가 무시될 수 있는 비압축성 기체로 모든 홀에서 동일하며 균일한 속도로 유입된다고 가정하였다. 기체 유입구의 속도와 지름을 기준으로 한 Re 수는 3500 이상이므로 유동은 정상상태 난류 유동으로 가정하였으며 난류 모델은 표준 k-ε 모델을 사용하였다. 따라서 기체의 유동은 연속방정식과 시간 평균된 운동량 방정식 및 k 와 ε 에 대한 방정식으로 기술할 수 있다. 지배 방정식을 풀기 위해서 다음과 같은 경계조건을 부여하였다. 기체가 유입되는 홀에는 균일속도 V_{in} 을 설정하였고 유입 홀 주변의 배출이 발생하는 곳과 유리판 끝 단의 옆면에는 일정 압력 조건을 사용하였다. 패드와 유리 평판의 고체 면에 대해서는 비활 조건 (no-slip condition)을 적용하였다.

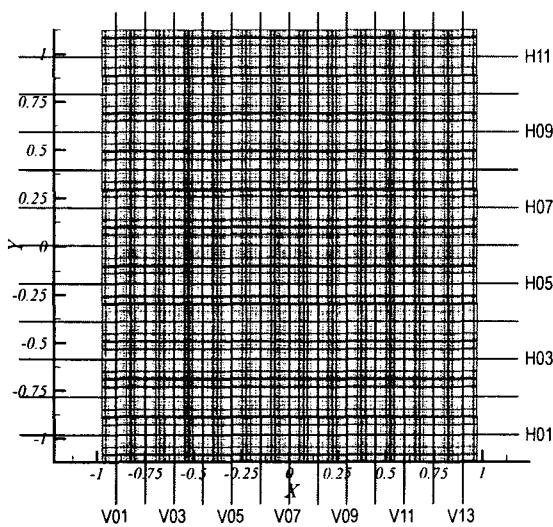


Fig. 3 An example of the grid system with the lines for checking the pressure profile on a glass plate.

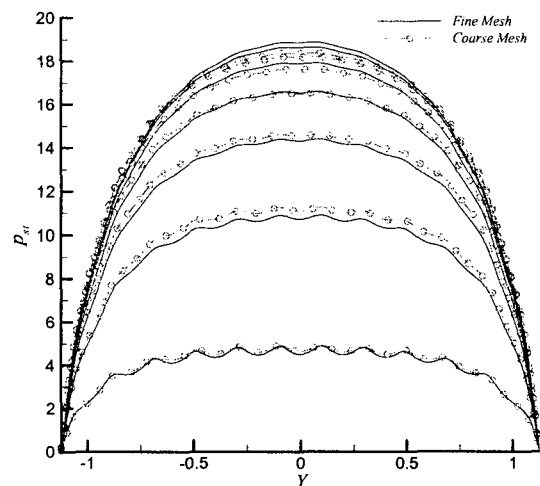


Fig. 4 Pressure profiles along the vertical lines for the two different grid systems.

지배방정식의 풀이에는 상용 전산유체역학 소프트웨어인 FLUENT⁴¹를 사용하였다. Fig. 3 은 해석에 사용된 격자 시스템의 예와 유리 평판상의 압력분포를 알아보기 위해 사용한 X 및 Y 방향의 선의 위치를 나타낸다. 기체가 빠른 속도로 유입되는 홀 근처에는 속도나 압력의 변화가 클 것으로 예상하여 격자를 밀집 시켰다. 적절한 수의 격자 시스템을 찾기 위하여 X 및 Y 방향의 격자는 고정하고 유리 평판에 수직인 Z 방향의 격자 수를 변화시키면서 유리 평판의 압력 분포를 확인하였다. Fig. 4는 Z방향으로 12 개의 격자 점을 사용한 거친 격자(coarse mesh)계와 20 개를 사용한 조밀격자(fine mesh)계에서 얻은 유리판의 압력 분포를 나타낸다. 압력이 높게 나타나는 유리판의 중앙 부근에서 크지는 않지만 압력 차이가 나타난다. 기체의 분사에 의해 얻어지는 유리 평판의 부상력은 압력을 면적에 대하여 다음 식과 같이 적분하여 얻을 수 있다.

$$F_l = \int_A p dA$$

따라서 높은 압력인 중심부에서의 작은 압력 차이도 부상력에서는 큰 차이를 만들 수 있다. 격자계에 대해서는 이에 대한 비교를 통해 추가적인 수치 실험이 필요하다. 일단 본 연구에서는 계산 시간을 고려하여 더 이상의 조밀 격자는 테스트하지 않고 20 개의 조밀 격자계를 사용하였다.

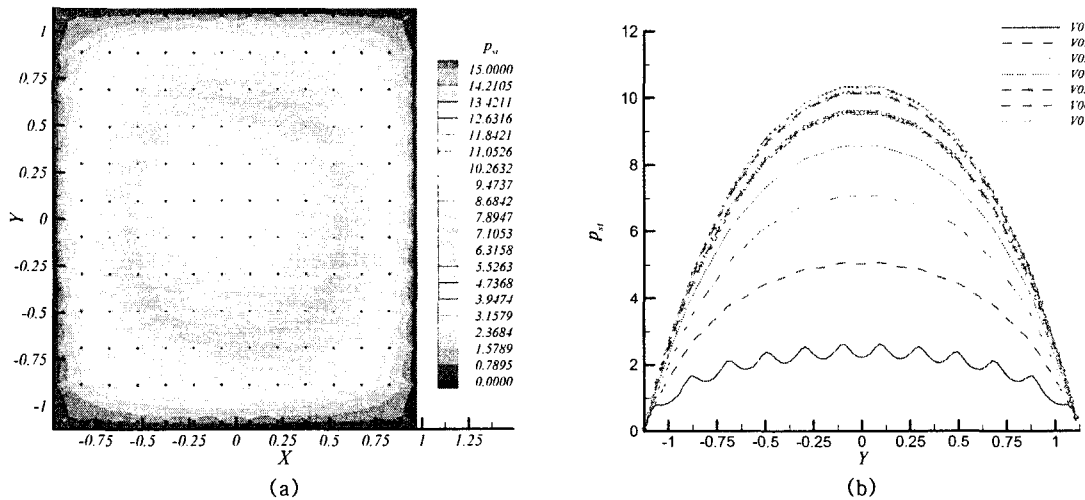


Fig. 5 Simulation results when the diameter of the exhaust hole is $4D_i$, (a) contour map on the surface of the glass, (b) pressure profiles along the vertical lines.

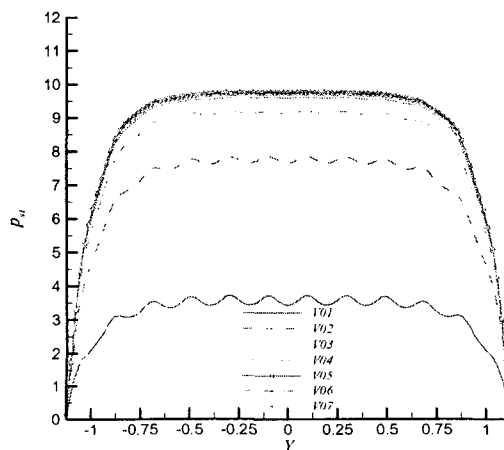


Fig. 6 Profiles of the pressure distribution along the vertical lines at the exhaust hole diameter of $36D_i$.

4. 배기구 크기의 영향

패드의 설계에서 가장 중요하게 고려해야 할 점은 유리 평판을 부상시켜 안정한 상태로 이송하는 것이다. 이를 위해서는 유리 평판의 압력 분포가 가능한 한 균일해야 한다는 것을 본 연구진은 실험적 경험^[5]을 통해 알고 있다. 유리 평판을 부상시킬 만큼 충분한 부상력을 얻으면서 유리 평판에서 균일한 압력 분포를 얻기 위해서는 기체가 분사되면서 유입되는 흡과 배출구의 크기와 배치를 적절히 하여야 한다.^[1] 본 연구에서는 먼저 유입된 기체가 유리 평판에 충돌한 후 배출되는 배출구의 크기가 압력 분포에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 공기의 공급 홀의 지름을 D_i 로 고정시킨 상태에서 배출 홀의 지름을 D_e 의 4 배, 6 배, 12 배 등으로 증가시키면서 최대 80 배까지 그 영향을 분석하였다.

Fig. 5 는 배기 홀의 지름이 $4D_i$ 일 때의 해석 결과로서 (a)는 유리 평판의 압력 분포를, (b)는 일정 X 좌표에서 Y 방향으로의 압력을 그래프로 나타낸 것이다. 배기 홀의 크기가 충분히 크지 않기 때문에 유리 평판의 중심부의 압력이 높게 나타나고 가장자리로 가면서 점차 낮아지게 된다. 이러한 압력 분포에서는 유리 평판이 휘게 되며 평판의 이동에 따라 출렁이게 되어 안정적인 이송이 어렵게 될 가능성이 크다.

Fig. 6 은 배기 홀의 지름이 $36D_i$ 인 경우의 해석결과로서 압력이 가장자리 일부를 제외하고는 균일하게 유지되고 있음을 볼 수 있다. 이것은 분사된 공기가 유리 평판에 충돌한 후 곧바로 배출되기 때문인데 $4D_i$ 와 $36D_i$ 인 경우의 속도 벡터를 나타낸 Fig. 7 의 (a)와 (b)를 통해 확인 할 수 있다.

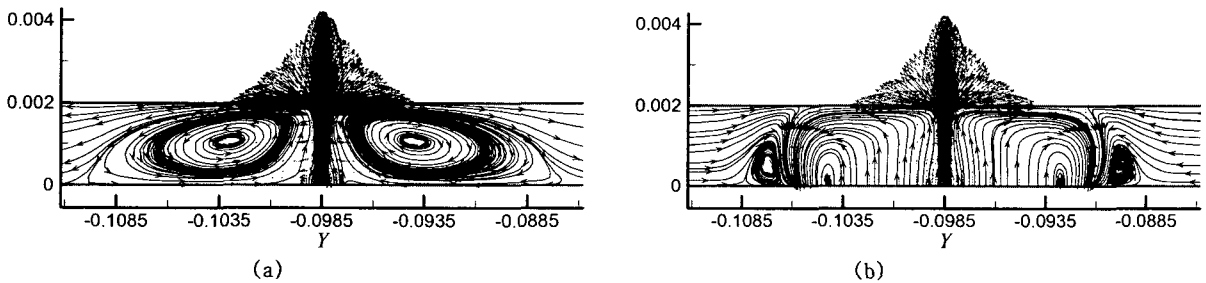


Fig. 7 Velocity vectors and the pathlines at (a) $4D_i$ and (b) $36D_i$ exhaust holes.

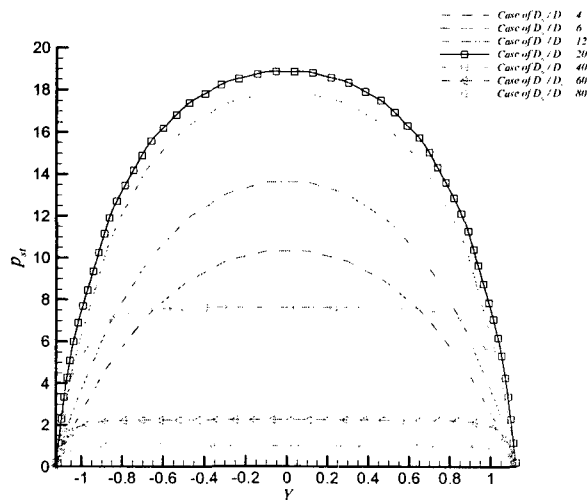


Fig. 8 Profiles of the pressure at $X=0$ according to the variation of the diameter of the exhaust holes.

Fig. 8 의 그래프는 배기 홀의 크기에 따른 압력의 변화를 비교하기 위하여 $X=0$ 에서 Y 방향의 압력을 나타내었다. 배기 홀이 커짐에 따라 어느 정도까지는 압력이 증가하다가 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 배기 홀이 커짐에 따라 압력이 예상과 달리 단조 감소하지 않고 증가하다가 감소하는 현상은 유입구 주변에 형성되는 와류와 관계가 있다고 생각된다. 배출구의 크기가 작아서 쉽게 배출이 되지 않는 경우에는 Fig. 7 과 같이 강한 2 차 와류가 형성된다. 이 와류는 새로 공급되는 공기와 함께 유입구 근처에서 다시 상승하게 되는데 이때 배출구를 통해 외부의 공기를 끌어올리게 되며 배출구가 커짐에 따라 이와 같은 2 차 유입량도 늘어나게 되어 압력을 증가시킨다고 생각된다. 그러나 배출구가 일정 값보다 커지게 되면 와류에 의해 돌아온 기체가 바로 배출되어 압력은 줄어들게 된다. 이것은 와류의 크기와 해석 영역 전체에 대한 질량 유량 균형을 파악해 봄으로써 확인할 수 있을 것으로 예상된다.

균일한 압력을 얻기 위해서는 가급적 배출 홀이 크면 좋겠으나 지나치게 크면 유리 평판을 패드에서 뜨게 만드는 부상력을 얻을 수 없다. 공기 소비량 측면에서는 작은 유량으로 충분한 부상력을 얻어야 하기 때문에 압력 분포와 부상력은 대립되는 관계라고 할 수 있다. 비록 체계적인 최적화법에 의한 최적해는 아니지만 어느 정도의 압력의 균일성과 부상력을 고려해 볼 때 $30D_i$ 에서 $40D_i$ 정도의 배출구가 적절하다고 판단된다.

5. 결론

LCD 제품의 대형화에 따라 대형 유리판을 사용하면서 생산성이 높은 스퍼터링 장비의 개발은 LCD 제품의 시장 선점 측면에서도 매우 중요하다. 본 연구에서는 스퍼터링 장비에서 수율을 높이기 위해 적용하고자 하는 비접촉식 유리 평판 반송 장치를 개발하기 위한 기초 단계로서 공기 패드의 형상에 대해 고려하였으며, 공기가 유입되는 홀의 크기를 고정한 상태에서 배출구의 크기에 따른 유리 평판의 압력 분포를 수치해석을 통해 살펴보았다. 그 결과 배출 홀의 크기가 증가함에 따라 최대 압력은 상승한 후 다시 감소하였다. 부상력을 얻으면서 동시에 압력 집중을 피하기 위해서는 본 연구에서 고려한 유입구 지름에 대해 $30D_i$ 에서 $40D_i$ 정도의 크기를 가진 배출 홀이 필요한 것으로 판단되며 추후 좀 더 체계적인 해석과 분석을 통해 최적 값을 구하고자 한다.

후기

본 연구는 산업자원부의 부품소재기술개발사업의 지원에 의해 수행된 것이며 관계자 여러분께 감사 드린다.

참고문헌

- [1] Ik-Tae Im, Hyun Joo Jun, Kwang Sun Kim, "Numerical study on the air-cushion glass transportation unit for LCD panels", 반도체 및 디스플레이 장비학회지 제 5 권 제 1 호, pp.27-31, 2006.

- [2] F. Poh, T. Higuchi, K. Yoshida, K. Oka, "Non-contact transportation system for thin glass plate utilizing combination of air bearing and electrostatic force", SCIE' 99, 212, B-2, pp. 1053-1058, 1999.
- [3] T. Amano, Y. K. Nakamura, S. Ueha, Y. Hashimoto, "A multi transducer near field acoustic levitation system for non-contact transportation of large - sized planar objects" , Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39, part I No.5B, pp. 2982-2985, 2000.
- [4] FLUENT is a product of Fluent Inc., 10 Cavendish Court, Centerra Resource Park, Lebanon, NH 03766, USA.
- [5] ㈜AVACO, 엘지필립스엘시디㈜, "LCD 제조용 차세대 Sputtering 장비 개발에 관한 기술 개발사업에 관한 연구 (1차년도 중간보고서)" , 2006, 산업자원부.