

대평판 글라스 이송용 공기 부상 이송장치의 개발

이태걸^a, 유진식^a, 정효재^a, 김종형^b, 김준현^{c*}

Development of the Air Floating Conveyor System for the Large Glass Sheet

Tae Geol Lee^a, Jin Sik Yu^a, Hyo Jae Jung^a, Jong-Hyeong Kim^b, Joon Hyun Kim^{c*}^a Taesung Eng Co., Ltd, #312, Asan Valley-ro, Dunpo-myeon, Asan, Chungnam, 336-871, Republic of Korea^b Department of Mechanical System Design, Seoul National University of Science and Technology, Republic of Korea^c Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	30	April	2013
Revised	15	July	2013
Accepted	18	July	2013

Keywords:

Air cushioned pad
Air levitation
Air table
HEPA, ulpa filters
LCD glass sheet
Non-contact glass

ABSTRACT

We have prepared a DEMO conveyor device for conveying a large 8G class glass sheet using a horizontal air-cushion system. This device consists of the body frame and the driving frame that are combined to realize a frame for conveying glass without any contact. The driving frame comprises an air flotation table (bed), drive roller supported at both ends, and ASU. Part of the ASU serves to control the airflow as the chamber consists of a porous pad and fan. Fiber filters replace the porous pad and axial fans serve as an air compressor. In addition, to determine the appropriate glass levitation from the air table, this study examined the design specifications of the applied filter (discharge speed of HEPA and ULPA filters, and flow rate) as well as the height of the and the proper supporting roller height (14mm). Then, after adjusting the position of the ASU and the number of ASUs required to configure the UNIT air floating C/V, we analyzed the height and flatness of the glass and derived the appropriate layout (1140-mm distance between ASUs).

1. 서론

액정표시장치(LCD-liquid crystal display) TV 시장에 52, 57 인치를 넘어 60인치 이상 초대형 제품 비중이 확대되고 있는 추세다. 디스플레이 패널 제조사들도 꾸준히 초대형 패널 생산량을 늘리고 있으며 현재 초대형 TV 시장에서는 유일하게 10세대(가로·세로 2,880 × 3,130 mm) 생산라인을 보유한 샤프가 독보적인 영향력을 확보하고 있는 실정이다.

Table 1에서 보여주는 것처럼 50인치대급이 주축인 제품군을 위한 8세대(2,200 × 2,500 mm)에서도 60인치 이상 패널 생산은 가능하지만 효율이 많이 떨어지고 가격이 비싼 단점이 있다. 8세대 유리 원판에서 65인치 패널을 3장 생산할 수 있지만 10세대에서는 이에 두 배인 6장 생산이 가능하다. 이와 같이 최근 초대형 TV 시장(8세대, 10세대)이 커지면서 조금씩 대형패에 대한 필요성도 커지고 있고 시장의 요구에 따라 확실히 커진다고 판단되면 대형패에 대한 투자의 활성화가 이루어질 가능성도 있다^[1].

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6316

Fax: +82-2-970-1458

E-mail address: joonk61@seoultech.ac.kr (Joon Hyun Kim).

기존 펌에 적용되던 다양한 Glass 이송 장치에서 대평판 이송을 위하여 수평적 컨베이어 방식으로 전환이 이루어질 경우 기본적으로 구동롤러를 이용하여 Glass와 접촉한 상태로 이송이 이루어졌던 부분이 대형화에 따라 롤러와 글라스간의 많은 접촉점의 발생이 나타나게 되고 마찰면에 의한 글라스 배면의 스크래치, 오염 및 이물 발생 등의 잠재 위험 요소가 크게 증가된다.

따라서 상위 세대 급의 LCD 제조를 위한 대형 공정 장비의 개발은 큰 원판 글라스 적용으로 물류 이송 방법이 보다 중요한 생산수율 및 생산량을 결정 짓는 중요한 인자로 대두되었기 때문에 이러한 이송작업의 효율화를 위해서 비접촉 방식으로 대형 물류 이송하는 장치 고안 또는 연구들이 이루어지고 있다²⁻⁸⁾.

이러한 장치들은 LCD를 위시로 한 대면적 원판 글라스의 이송작업을 위한 시스템에 관한 것으로서 제조공정 내 공간간 가공품의 이송을 유기적으로 연결하여 전체 제조시스템의 생산성을 극대화시키기 위한 이송시스템에 해당된다. 주로 클린룸 내에서 대평판 처리 및 공간의 최소화를 위하여 비접촉 형태로 낱장 단위의 글라스를 이송하기 위한 단위 컨베이어 구성과 이를 연동하는 공기 청정 장치를 포함하고 있다^{9,10)}.

Fig. 1에서 도시한 것처럼 그중에서도 도전성 재질의 구동용 o-ring을 포함한 글라스 이송을 위한 구동장치 매커니즘 기술을 활용하고 구동 롤러에 의한 글라스의 최소 접촉 지지부위를 제외한 글라스의 처짐을 기체 베어링 원리처럼 미세 토출구를 통한 공기 흐름으로 제어하는 방식으로 기존 물류이송방식을 대체 할 경우 산업 현장의 생산성 향상과 품질 향상에 크게 기여 할 수 있으며, 높은 정밀도 유지가 가능하며 다른 방식에 의한 고가 설비의 대체가 가능하고 부품의 재활용률을 높여 LCD 제조원가 절감에 유리

Table 1 Number of panel to be produced from a mother glass in inch level¹¹⁾.

Fab name Gen.	size (mm × mm)	32"	37"	40"	42"	52"	57"
Tangjong L-7	1,870 × 2,000	12	8	8	6	3	3
Tangjong L-8	2,160 × 2,460	15	10	8	8	6	3

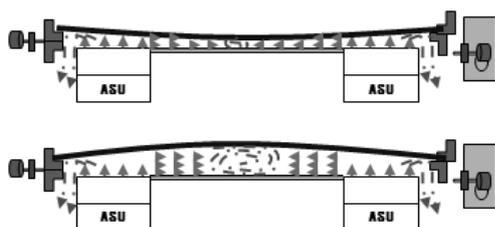


Fig. 1 Schematic design of the air floating system for the non-contact conveyor system

하다¹¹⁾.

특히 글라스의 편평도를 확보하기 위해 글라스 부상에 필요한 하부 ASU (Air Supply Unit: 공기 공급 장치)의 구축과 이를 이송 환경에 맞게 배치하여 ASU가 글라스를 부상시킨 후 구동부에 의해 정밀한 위치로 이송이 가능케 하는 것이 중요한 기술적 내용이다.

본 연구에서는 ASU에서 다공성 필터류(porous filter)를 사용하여 기체의 미세 분출부로서 제어하는 방식을 적용하고자 한다. 그리고 ASU를 구성하는 팬(fan)과 팬 제어기는 유기적인 용량 제어가 가능토록 ASU간의 공유 및 PLC 제어 네트워크를 구성하도록 하여 구동 상황에 따라 팬 속도 조절기능에 나타나는 ASU 특성을 갖는 공기 부상 테이블의 성능 평가를 하는데 있다.

2. 대평판 공기 부상 테이블 시스템 구성

2.1 직진형 구동 프레임 구성

FPD산업에서 공기 부상 기술을 이용한 물류 장비는 기본적으로 직진 이송 장비로 제작 및 구성된다. 그러나 전체적으로 LCD 공정의 특성 및 제조사의 lay-out을 고려할 때 글라스 측면(edge)의 이송방향 변경과 이송 라인의 회전에 대한 글라스의 방향전환이 반드시 요구 될 수 있다.

Fig. 2는 8세대 글라스용 직진형 공기 부상 컨베이어에서 하부 공기 부상 테이블을 구성하는 구동 프레임이다. Fig. 2와 같이 주축 프레임 상면에 롤러가 설치되어 있어 글라스 이송 및 지지 역할을 하며, 기본 설치 컨베이어를 구성하기 위한 주축 프레임 중앙에 공기 부상 테이블이 놓이게 된다. 그 옆에 ASU 모듈이 반송 방향으로 좌우 연속적으로 연결되어 설치된다. ASU 상면 높이와 동일하게 Air bed(공기 테이블)가 설치 되어있어 글라스 반송 시 장애물에 의하여 파손되는 문제를 방지한다.

대면적 원판 글라스는 양 옆면에 놓이게 되는 구동 롤러(driving roller)의 회전 접촉 마찰력에 의해 수평 방향으로 이동이 가능하고 ASU 부위로부터 공기가 위로 토출되면서 위로 향하는 부상력을 동시에 확보하게 되는 구조이다. 실제 글라스가 구동 롤러에 놓이

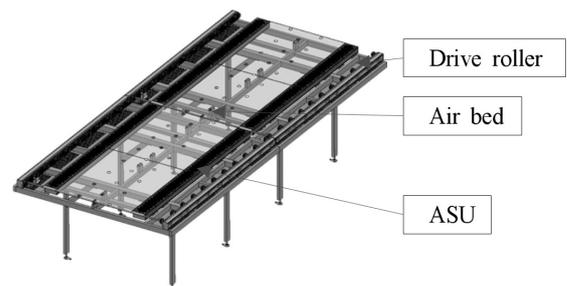


Fig. 2 Driving frame view of the directional air conveyor

게 되면 공기 부상테이블과 글라스 사이의 미세 틈새 간격을 가지게 되는데 이 미세 공간 내부에 공기의 흐름에 의해 발생하는 압력의 분포가 형성되고 이 결과에 따라 글라스의 부상과 평탄도의 유지가 좌우된다.

따라서 ASU의 배열에 따른 간격을 조정하고 공기 부상 테이블의 크기를 조정하는 방식으로 장치를 구성하여 테스트를 실시 한 후 나타나는 글라스의 부상과 평탄도 변화 경향을 파악하여 최적적인 조건을 도출한다.

2.2 공기 부상시스템 시험 Demo 구성

구동 프레임에 공기 부상 테이블을 위치시키고 부상 테이블과 동일면 아래 팬과 필터로 구성되는 공기 압축 챔버 형태인 ASU를 두어 공기 공급을 하게 된다. Fig. 3에서 도시된 ASU장치는 일반 공기압축기(air compressor) 역할을 축류(axial)팬 또는 레이디얼(radial)팬으로 대체하여 하부에서 공기를 챔버 안으로 공급하고 챔버 내에서 일정 수준으로 압축하게 된다. 또한 세라믹 분말 소결 형태의 다공성 패드를 HEPA (high-efficiency particulate air) 또는 ULPA (ultra-low penetration air) 공기필터로 대체하여 일정 풍량과 토출속도를 확보하게 된다.

공기 부상시스템은 글라스 밑면의 접촉 마찰을 회피하고 글라스의 처짐 수준을 최소화하기 위해 공기의 토출 압력을 이용하여 글라스를 부상시키는데, Fig. 4에서 ASU의 필터 차압에 의해 챔버 내부의 압력(p_1)이 글라스 하단면 안으로 토출되어 발생하는 부상력($L = \int p_i dA$)이 글라스 자체 자중력(W)보다 높을 때 글라스를

밀어 올린다. 그러나 바람직한 유효 부상거리(h_{eff}) 내에서 일정하게 유지하면서 부상력과 자중이 균형을 갖는 것이 중요하다. 유효 부상거리는 1차적으로 글라스 강성과 톨러 지지대와 연관되어 결정되며 2차적으로 공기 부상 테이블에서 조정된다..

$$W < \int p_i dA \quad \text{at} \quad h > h_{eff} \quad (1)$$

$$W = \int p_i dA \quad \text{at} \quad 0 \leq h \leq h_{eff} \quad (2)$$

여기서, h_{eff} 는 안정적 부상 높이를 의미한다.

FPD산업에 사용되는 8G (2,200 mm × 2,500 mm)급 대면적 원판 글라스를 직선 이송 시키는 공기 부상 컨베이어에 부합되는 사양을 가지고 제작을 하였으며, 해당 장치 구성에서 핵심 부분인 공기 부상 테이블의 ASU 부분을 폭 200 mm, 길이 2,900 mm로 제작 하여 DEMO 장비 길이와 동일하게 하였다. 컨베이어 장치가 연속적으로 설치되어도 ASU 필터로부터 토출되는 공기를 계속적으로 공유하게 하여 글라스의 반송 시 부상력을 계속 유지할 수 있게 할 수 있다.

공기 부상 테이블은 LCD공정 및 OLED (organic light emitting diodes) 등 각 공정에 적합한 HEPA 필터와 ULPA 필터를 적용하여 구성하게 된다. 따라서 이에 맞는 장비 조건 상태 확인이 필요하여 조건에 대응하는 필터가 장착되는 ASU에 Table 2처럼 두 필터의 사양을 적용하여 테스트를 실시한다. 부상력 거리센서로 글라스 부상 및 평탄 값 측정을 하게 되고 ASU에 장착된 필터 상면에 풍속 측정기로 여러 point로 측정해 평균 풍속 값을 구하고 각 필터의 풍량 차이를 확인한다.

이를 위해 다음 Fig. 5와 같이 8세대 적용 직진형 형태의 공기 부상 컨베이어 이송장비 DEMO 두 대분을 제작하였다. Fig. 5(a)에서 제작된 공기 부상 컨베이어가 구동롤러, ASU 그리고 인쪽에

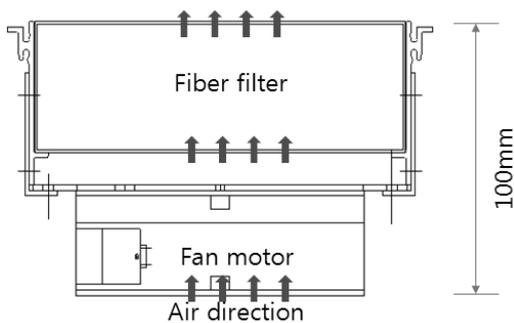


Fig. 3 ASU (Air supply unit) design concept

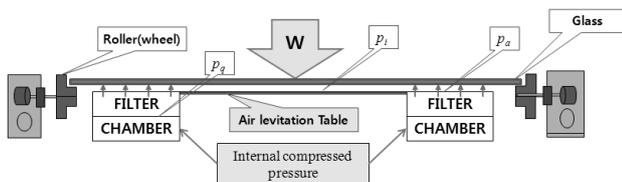
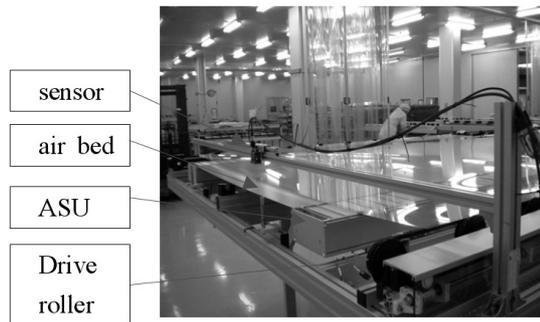


Fig. 4 Schematic design of the air floating system for the non-contact conveyor system

Table 2 Specification for the air floating conveyor

MODEL (unit)	DEMO spec.
Equipment Size (mm)	2,900 × 2,500 × 1,500
Glass Size (mm)	2,500 × 2,200 × 0.7t
ASU Filter	HEPA / ULPA
HEPA mean velocity (m/s)	0.47~0.52
HEPA total flow rate (m ³ /min)	31.4~34.4
FAN number	12 EA
ULPA mean velocity (m/s)	0.41~0.44
ULPA total flow rate (m ³ /min)	26.8~28.8



(a) View of the air conveyor with a sensor device



(b) View of the floating glass over the air bed (table)



(c) ASU assembled under the air bed (table)

Fig. 5 DEMO version of the air levitation conveyor and air supply (with an air filter)

공기 부상테이블로 구성되어 있음을 볼 수 있다. 공기 부상 테이블 상부 알루미늄 프로파일에 거리 측정을 위한 센서를 부착하여 측정 부위별로 x-y축 이동하면서 측정하게 된다. Fig. 5(b)는 2개의 직진형 형태의 공기 부상 컨베이어 UNIT (단위길이 2,900 mm)을 연결한 모습이다. Fig. 5(c)는 공기 부상 테이블 하단에 부착된 ASU로써 축류 팬과 팬 그릴의 모습으로 1 UNIT에 12개의 ASU가 장착된다. 이 ASU 챔버 안에서 압축된 공기는 필터 차압에 의해 일정한 토출 속도로 필터의 계면을 통하여 공기 부상 테이블위로 분사된다.

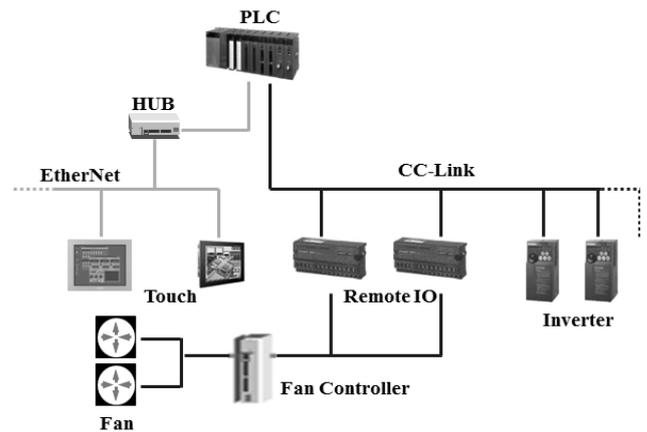


Fig. 6 PLC system to control ASU fan

3. 글라스 부상력 시험과 측정 분석

3.1 제어시스템

공기 부상 컨베이어의 물류반송 시스템은 PLC (Programmable Logic Control)와 MelsecNet CC-Link 통신 기반으로 하며, 별도의 팬 컨트롤러를 사용하여 팬을 제어하도록 구성되어 있다. PLC를 사용하여 전체 장비의 원활한 반송 흐름을 조작하고, 상태 확인 및 제어를 관리한다. 별도의 팬 컨트롤러는 팬에 전원 공급 및 상태 확인을 담당하며, PLC에서 Remote Card in/out 접점을 통하여 실시간으로 팬의 공기 부상 물류반송 제어 구성은 Fig. 6과 같이 되어 있다.

3.2 시험 방법

직진형 이송 장치에 ASU를 현 조건 상태에서 Table 1의 측정환 풍량을 토대로 먼저 HEPA 필터를 적용한 장비를 가지고 테스트를 실시하였으며 완료 후 ULPA 필터로 교체하여 각각 부상거리와 편평도를 구하여 ASU의 최적 배열 조건을 찾고자 하였다.

직진형 장치에서 반송 방향으로 폭 200 mm 두 줄로 배열 되어 있는 ASU에서 토출되는 공기가 공기 부상 테이블과 글라스 사이에 흘러 풍압 역할을 하여 글라스를 부상시킨다. ASU에서 나오는 토출 공기 유량을 좁은 틈새 바깥으로 밀어내기 위해 상승되는 압력은 글라스 하단부에 미치는 완충(cushion) 역할을 하므로 글라스가 유효 높이 이내에서 적절히 부상되기 위해서는 효율적으로 최대한 활용해야 한다. 그러므로 글라스와 병렬로 놓이는 ASU와의 사이 거리의 적절한 범위는 토출 공기의 풍량과 풍속 그리고 글라스와 테이블 사이의 간격 등과 함께 최적 조합을 통하여 결정된다.

시험을 통한 성능 평가를 위해 기본 설정으로 글라스가 놓이는

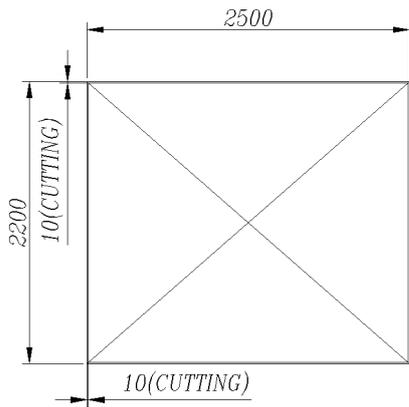


Fig. 7 8G glass cutting area (unit: mm)

롤러 상면과 공기 부상 테이블 및 ASU 상면과의 간격을 14 mm로 했으며 ASU의 병렬 위치 간격을 최대로 벌린 상태(1,240 mm)에서 100 mm씩 간격을 줄여가며 글라스의 처짐에 의한 형상 변화와 부상 정도를 확인하여 최적화된 ASU 배열 조건을 분석하고자 하였다. 거리 센서를 이용하여 데이터 값을 산출하고 공기 부상 테이블을 크기별로 교체하여 정확성 있는 테스트를 실시하였다. 공기 부상 테이블 크기는 1,240 mm, 1,140 mm, 1,040 mm, 940 mm로 각 크기별로 제작하여 HEPA필터와 ULPA 필터 적용 시 사용하였다.

롤러의 크기는 $\Phi 76$ 로 하여 100 mm 간격으로 양단에 설치하여 롤러의 회전 마찰력으로만 글라스를 반송 할 수 있게 제작 되었다.

이 부분에서 글라스의 롤러 접촉 부위는 폐기되는 구역으로 이를 고려하였을 때 8G 글라스는 끝단에서 10 mm을 절단하여 폐기가 된다. 그러므로 글라스 끝단에서 10 mm 까지는 글라스에 스크래치가 발생하여도 무방하다. 롤러의 위치는 Fig. 7과 같이 이런 기준을 깔고 글라스의 반송 방향 양단면 10 mm 이내에 마찰 및 롤러가 글라스를 지지할 수 있도록 하였다.

3.3 부상 높이 측정

부상 높이측정은 두 ASU 사이를 최대로 벌린 상태에서 100 mm씩 거리를 줄여가며, 글라스 상부에 프레임을 구성하여 거리 센서 지그를 설치 한 다음 센서를 전후좌우로 지그를 움직여 Fig. 8과 같이 글라스와 거리 센서간의 거리로 부상 값 산출 하였다. 반사형 센서는 분해능이 8 μm 이며 측정거리는 30~80 mm 성능을 가지고 있다.

Fig. 9(a)는 공기 부상 테이블위로 이송되는 글라스 위에 테이프를 부착한 모습이다. 테이프 부착 이유는 센서 측정 위치이며 센서 위치에서 글라스 위 B의 거리를 측정하기 위함이며 이유는 반사형 센서가 글라스를 투과되어 반사되지 못하여 감지가 어려운 점을 글라스 상면에 측정 할 지점에 30 x 50 mm 크기의 사각 클린

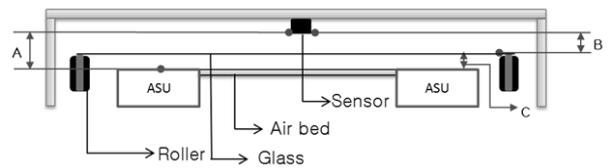
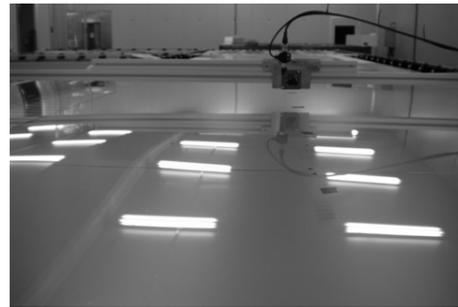
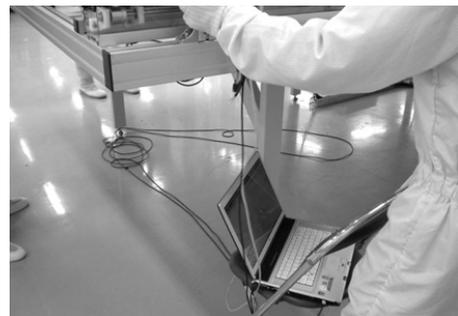


Fig. 8 Diagram for the levitation and flatness at the air floating table



(a) Sensing points of tapes attached on the glass



(b) View of experimental work (sensing)

Fig. 9 Sensing measurement at the air floating C/V

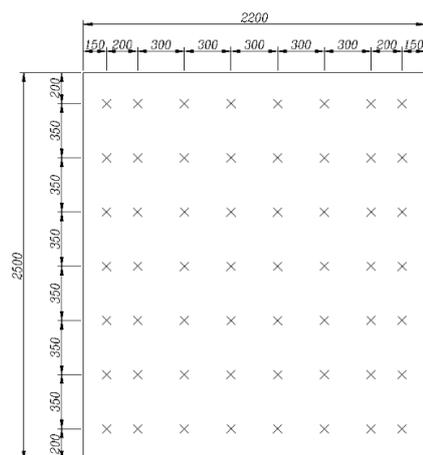


Fig. 10 56 sensing points in cartesian coordinate (8G glass, 2,200 mm x 2,500 mm)

테이프를 붙여 이 부분에서 반사 될 수 있도록 하여 측정 가능하도록 하였다.

측정 데이터 표기 기준은 글라스 반송 방향으로 영문자로 하였고 다른 방향으로는 숫자로 표기 하여 총 56 point를 측정 하였다. 글라스에 56 point를 측정한 데이터 값을 가지고 글라스 차트를 만들었다. 차트는 실제로 부상 된 글라스 형상과 유사하게 보이도록 하여 측정된 각각의 데이터를 비교 검토 할 수 있게 하였다. Fig. 9(b)는 센서에서 감지하여 데이터를 추출할 수 있도록 장치를 구성한 모습이다. Fig. 10은 글라스 가로방향과 세로 방향에 x표시 부분이 센서 측정 위치이다.

부상 거리는 센서 위치에서 공기부상 테이블이나 ASU 상면의 위치까지 거리 측정 한 값을 “A”라 하며, 또한 센서에서 글라스를 부상 한 상태에서 앞서 측정한 같은 x, y 지점에 해당하는 글라스 위 부착 테이프까지 거리 측정 한 값을 “B”라고 했을 때 Eq. (3)과 같이 $A - B - t$ (여기서 t 는 글라스 두께)는 글라스가 공기 부상 테이블 또는 ASU 상면에서 얼마나 부상이 되는지 나타내는 값으로 나타내진다.

또한 측정한 “B” 값을 가지고 $\max(B)$ 을 $\min(B)$ 로 뺀 ΔB 값을 글라스 원판에 측정된 여러 지점의 처짐 차이에 대한 평탄 수준으로 나타내며 글라스에 대한 측정 데이터 산출에 있어서 평탄 수

준은 Eq. (4)로 표현된다.

$$\text{levitation distance} = A - B - t \tag{3}$$

$$\text{flatness} = \text{Max}(B) - \text{Min}(B) \tag{4}$$

3.4 센서로 이용한 부상 측정 결과 및 분석

공기 부상 컨베이어의 DEMO 장비의 테스트를 위해 ASU 설계 사양(Table 1)을 적용하고 각각 HEPA와 ULPA 필터를 사용했으며 ASU간의 거리를 1,240 mm, 1,140 mm, 1,040 mm 940 mm 순으로 100 mm씩 줄이면서 수행한 결과를 Figs.11, 12과 같이 56개의 위치 점에 대한 측정값으로 표시하였다. 이 측정값들은 공기 부상 테이블 면에서 글라스까지 부상거리와 센서에서 글라스까지 거리이다.

HEPA와 ULPA 필터별로 ASU간의 거리에 따라 공기 부상 테이블로부터 글라스가 부상한 거리(= $A - B - t$) 측정 중에서 최대와 최소 거리로 나타난 부분을 차트 내에 붉은색으로 표시했으며 또한 센서에서 글라스 측정 표면위치까지 거리(B)를 기록하고 있다.

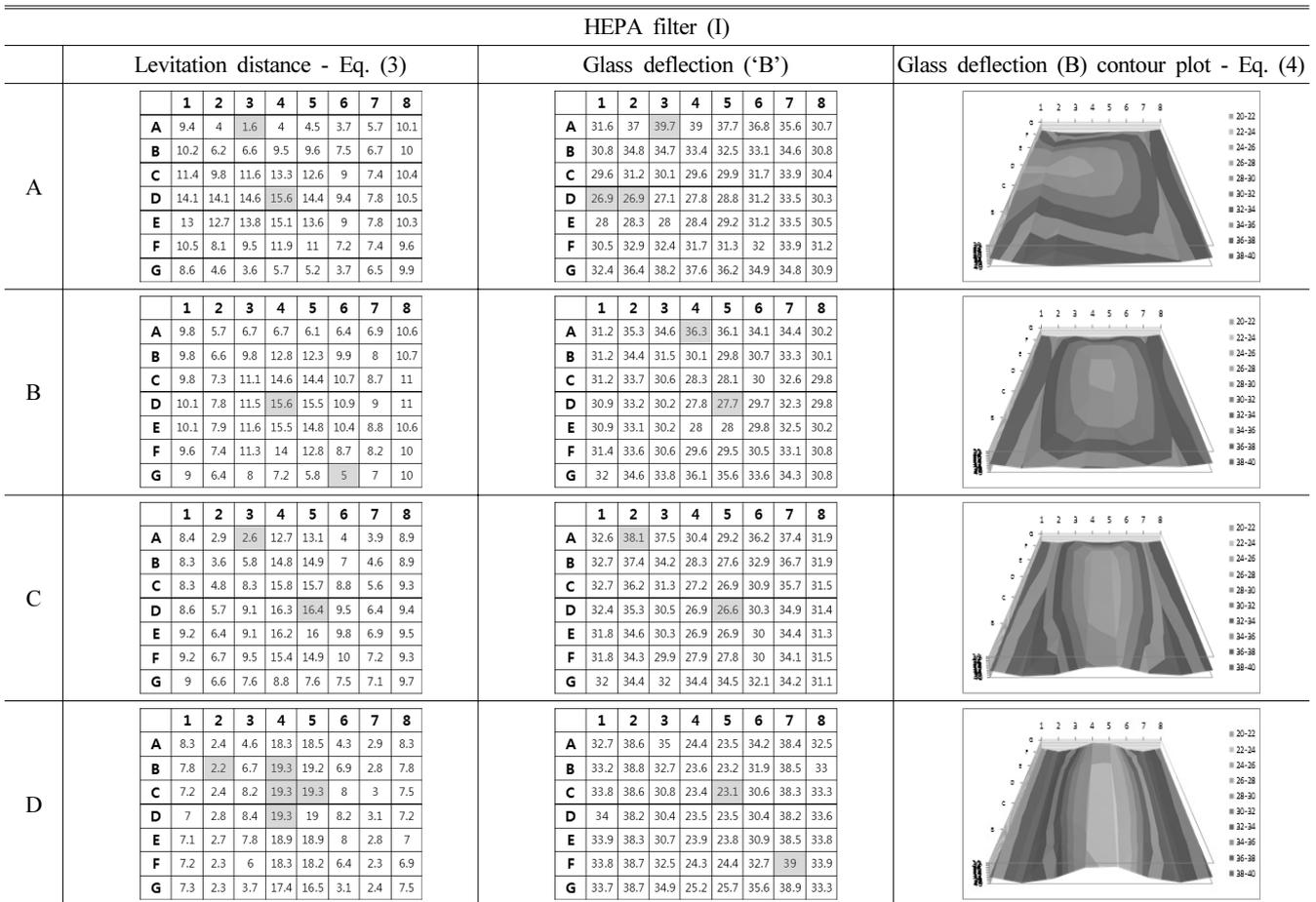


Fig. 11 Glass 3D chart in the case of applying HEPA filter

ULPA filter (II)																											
	Levitation distance - Eq. (3)								Glass deflection ('B')								Glass flatness (B) contour plot - Eq. (4)										
		1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8
A	A	11.4	6.56	8.8	6.4	4.5	3.45	4.2	12.4	A	30.7	35.5	36.3	37.4	38.5	39.3	36.5	29.5									
	B	11.5	7.25	12.4	11.5	10.5	7.55	7.15	12.3	B	30.7	34.3	33	32.2	32.7	33.9	34.1	29.6									
	C	11.7	8.3	14	14.3	14.3	12.5	10.7	13.7	C	30.4	33.2	31.2	29.5	29	29.4	30.3	28.3									
	D	11.9	8.4	14.8	15.5	16.4	15.8	15.3	16.3	D	30.2	32.7	30.5	28.4	27.4	26.6	25.8	25.6									
	E	11.7	8	13	14.8	15.3	14.2	12.8	14.4	E	30.4	32.9	30.7	28.9	28.2	28.1	28.6	27.5									
	F	11.7	7.05	12.2	12.4	11.5	9.68	7.88	11.9	F	30.4	33.7	32.1	31.4	31.7	32.4	33.1	30.1									
	G	10.6	5.25	8.3	6.9	5.55	5.6	4.81	10.9	G	31.5	35.1	35.6	36.8	37.5	37.8	36.4	31.1									
	B	A	11	4.74	7.23	6.83	7.23	9.22	5.35	12.1	A	31.5	37	37.4	36.9	35.8	33.9	34.1		30.2							
B		12.2	7.2	12.2	11.5	12.7	11.3	6.72	12.3	B	30.3	34	32.6	31.1	30.3	30.9	33.1	30									
C		13.7	10.6	15.5	15.5	14.9	12.4	6.85	12.6	C	28.8	30.4	29.1	28.2	28.3	30.1	32.7	29.7									
D		16.4	15.2	18.3	17	15.7	13.1	7.3	12.5	D	26.1	25.9	26.1	26.7	27.8	30	32.7	29.9									
E		15.2	12.8	15.6	16	14.9	12.1	7.5	12.1	E	27.3	27.8	27.4	27.6	28.3	30.3	33	30.2									
F		12.6	8.48	12.2	13.1	12.8	11.3	6.75	11	F	29.9	32.2	31.1	30.4	30.3	31.4	33.8	31.3									
G		10.8	4.1	6.73	6.72	7.2	9.2	5.75	11.3	G	31.7	35.9	36.2	36.8	35.7	34.4	34.9	31									
C		A	12.2	7.54	12.6	10	9.18	12.3	6.95	12.6	A	30.3	34.2	32	33.7	33.8	30.8	32.5	29.7								
	B	11.9	7.25	15	15.6	16.3	13.9	7.32	12.4	B	30.6	33.9	29.9	27.1	26.7	28.3	32.5	29.9									
	C	11.5	7.04	14.9	17.8	17.8	14.2	6.75	12.1	C	31	34	29.6	25.8	25.4	28.3	32.8	30.2									
	D	10.5	6.49	14.9	18.5	18.4	14.4	6.3	11.5	D	32	34.6	29.5	25.2	25.1	28.7	33.7	30.8									
	E	10.7	5.25	12.9	18.7	18.3	13	5.6	10.8	E	31.8	35.4	30.1	24.9	24.9	29.4	34.9	31.5									
	F	10.2	4.08	11.4	18.5	17.4	10.4	4.1	10.1	F	32.3	36.6	31.9	25	25.7	32.2	36.4	32.2									
	G	9.8	2.75	8.68	17.7	15.3	8.1	3.4	10.2	G	32.7	37.3	34.2	25.8	27.6	35.5	37.2	32.1									
	D	A	9.99	3.04	11.1	20.3	20.2	10.3	2.25	10.6	A	32.5	38.7	33.5	23.4	22.8	32.8	37.2	31.7								
B		9.5	2.45	13.5	20.1	20.5	11.5	2.42	10.1	B	33	38.7	31.4	22.6	22.5	30.7	37.4	32.2									
C		8.9	2.74	14.8	21.6	21.3	13.2	2.35	10.1	C	33.6	38.3	29.7	22	21.9	29.3	37.2	32.2									
D		8.7	2.99	14.8	21.8	21.6	14.2	2.8	9.8	D	33.8	38.1	29.6	21.9	21.9	28.9	37.2	32.5									
E		8.8	2.53	12.8	21.8	21.3	13	3.2	9.6	E	33.7	38.1	30.2	21.8	21.9	29.4	37.3	32.7									
F		8.9	2.28	11.1	21.5	21.1	11.8	3	9.5	F	33.6	38.4	32.2	22	22	30.8	37.5	32.8									
G		9.1	1.6	8.48	21	20.6	10.8	3.2	10	G	33.4	38.4	34.4	22.5	22.3	32.8	37.4	32.3									

Fig. 12 Glass 3D chart in the case of applying ULPA filter

ASU 거리에 따른 부상 높이와 글라스 처짐 수준으로 보면 결과 값이 두 필터 사용에 있어서 약간의 차이는 있으나 처짐량을 등고선 형태로 보면 비슷한 경향으로 나타났다.

그리고 Figs. 11, 12의 글라스 처짐 등고 수준을 보면 하늘색 부분에서 글라스 부상이 가장 높으며 다음 주황색 순으로 색의 구분 범례 범위를 부상 높이 2 mm의 차이로 나타 보이도록 하였다. 여기서 HEPA와 ULPA 필터의 적용 구분 결과 구분 보다는 ASU 위치에 따라 부상 수준으로 나타나는 글라스 굴곡(curvature) 형상은 비슷한 경향을 보였으며, 1,240 mm 일 때 오목(concave) 형상을 보이다가 ASU간의 거리가 점점 좁혀지면서 1,040 mm부터 볼록(convex) 모양의 형상으로 변하는 걸 알 수 있다. 공기 부상 테이블에 대한 구동하는 글라스 지지 롤러의 설계 높이와 ASU의 사양을 기반으로 하여 ASU 배열만으로 변화하는 글라스의 형상에 따라 부상력과 처짐 상태에 연관이 있다는 것을 알 수 있다.

좀 더 세부적으로 요약한 Table 3, 4를 보면 HEPA와 ULPA 필터 모두 ASU간의 거리를 최대로 벌린 조건인 1,240 mm보다 1,140 mm 일 때 HEPA 필터인 경우는 부상 높이가 최대가 15.6 mm 최소는 5 mm로써 안정적이고 또한 편평도 수준에서도 8.6

Table 3 Summary result of measurement for the HEPA filter

	ASUs gap	Lifted height min (A)/max (A)	glass flatness $\Delta B = \max(B) - \min(B)$
A	1240 mm	1.6 mm/15.6 mm	12.9 mm
B	1140 mm	5.0 mm/15.6 mm	8.6 mm
C	1040 mm	2.6 mm/16.4 mm	11.5 mm
D	940 mm	2.2 mm/19.3 mm	15.9 mm

Table 4 Summary result of measurement for the ULPA filter

	ASUs gap	Lifted height min (A)/max (A)	glass flatness $\Delta B = \max(B) - \min(B)$
A	1240 mm	3.5 mm/16.4 mm	13.7 mm
B	1140 mm	4.1 mm/18.3 mm	11.5 mm
C	1040 mm	2.8 mm/18.7 mm	12.4 mm
D	940 mm	1.6 mm/21.8 mm	16.9 mm

mm로써 가장 낮음을 확인했다. ULPA 필터인 경우는 ASU간 간격이 1,140 mm 일 때 부상 높이가 최대가 18.3 mm 최소는 4.1 mm로써 안정적이고 또한 편평도 수준에서도 11.5 mm로써 역시

가장 낮음을 알 수 있다.

그러나 1,140 mm 보다 ASU간의 거리가 더 줄어들면서 부상 높이는 높아지는 대신 글라스의 처짐 값의 차이는 점차 상승함에 따라 상대적인 편평 수준은 하락하는 경향을 확인 하였다. 따라서 현재 구동 롤러와 ASU부의 팬과 필터 적용 설계사양에서는 1,140 mm의 ASU간 이격 거리가 안정적인 부상 수준을 제공한다고 볼 수 있다.

4. 결론

수평 공기 부상 방식을 이용하여 8세대급 이상의 LCD 대평판 글라스를 비접촉으로 직진 이송하는 공기 컨베이어 DEMO 장비를 제작하였으며, 장비는 주축 프레임 외에 구동 프레임 부분은 양단지지 구동 롤러와 내부 공기 부상 테이블 및 ASU로 구성하였다.

비접촉 이송을 위하여 부상 테이블에 위치하는 ASU를 설계 사양에 맞게 선택된 팬과 다공성 필터로 구성했으며 1차적으로 필터 설계사양(HEPA, ULPA 토출 속도 및 풍량)에 의해 압축공기의 흐름을 제어하였다.

2차적으로 ASU에 의해 이루어지는 적절한 글라스 부상력을 확보하기 위해 적정 롤러지지 높이(14 mm)를 적용했다. 그리고 공기 부상 C/V line의 1개의 UNIT에서 ASU의 위치를 적용 필터별로 시험을 하여 위치별로 글라스 부상은 15~22 mm로 평탄도는 8.6~16.9 mm의 범위에서 측정되었다. 이를 분석한 결과 일반 평판 부상 테이블 형태에서 적절한 lay out (ASU 간의 거리)는 1,140 mm로 도출되었다.

후 기

이 연구는 2012년 중소기업 기술혁신개발사업 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Displaysearch, viewed 18 March 2013, Information : Technical data, <<http://insideoptics.com>>.
- [2] Lee, H. G., Lee, D. G., 2006, Design of a Large LCD Panel Handling Air Conveyor with Minimum Air Consumption, Mechanism and Machine Theory, 41:7 790-806.
- [3] Kim, J. H., 2012, Design of the Air Pressure Pick-up Head for Non-Contact Wafer Gripper, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 21:3 401-407.
- [4] Chung, W. J., Jung, D. W., Kim, S. B., Yoon, Y. M., 2006, A Study on Six Sigma Robust Design of Gripper Part for LCD Transfer System, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 15:5 65-71.
- [5] Ran, L., Jang, G. -W., Han, S. -W., Lee, S. -Y., 2012, Support Location Determination for a Glass Substrate Robot Rail Frame by Using Topology Optimization, Proceedings of the Int. Conf. of Manufacturing Technology Engineers, 137-137.
- [6] Amano, K., Yoshimoto, S., Miyatake, M., Hirayama, T., 2011, Basic Investigation of Noncontact Transportation System for large TFT-LCD Glass Sheet Used in CCD Inspection Section, Precision Engineering, 35:1 58-64.
- [7] Huh, J. S., 2006, A Study on the Robust Optimal Supporting Positions of TFT-LCD Glass Panel, Transaction of the KSME, 30:8 1001-1007.
- [8] Adin, R., Yassouri, Y., 2004, 56.2: Contactless LCD Fab: From Technology to Implementation, SID Int. Symposium Digest of Technical Papers, 35:1 1492-1495.
- [9] Devitt, A. J., 2011, Non-Contact Porous Air Bearing and Glass Flattening Device, US Patent: 79088584 B2.
- [10] Yassouri, Y., Hasolelim, K., 2007, Method for Cleaning Surfaces Using Parallel Flow, US Patent: 0175499 A1.
- [11] Jung, H. J., 2012, Apparatus for Transferring of Glass Panel, KR Patent: 1011876790000.