

다공성 패드를 갖는 챔버의 배열에 따른 공기 부상 테이블의 비접촉 부상 수준에 대한 연구

김준현^{a*}, 정영석^a, 이태걸^b, 김태훈^b, 정효재^b

Non-Contact Level on Air Levitation Table with Porous Chamber Array

Joon Hyun Kim^{a*}, Young Suk Jeong^a, Tae Geol Lee^b, Tae Hoon Kim^b, Hyo Jae Jung^b^a Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, 139-743, Republic of Korea^b Taesung Eng Co., Ltd, #312, Asan Valley-ro, Durnpo-myeon, Asan, Chungnam, 336-871, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	29	August	2013
Revised	15	November	2013
Accepted	26	November	2013

Keywords:

Air levitation
Air table
Conveyor
Fiber filter
LCD glass sheet
Non-contacting transportation

ABSTRACT

This paper presents an applicable basic design that can configure non-contact levitation table for conveying a large sheet of glass. The suggested air levitation table consists of a series of air chambers with porous pads and fans as the conveyor system. The air supply chambers are arrayed to supply an adequately strong upward airflow for supporting the glass. Levitation is controlled by the size and discharge velocity, of the chamber arrays, as well as the glass supporting height. After pre-evaluation of the glass rigidity and the filter functional performance, a one-way fluid structure interface (FSI) analysis is performed for predicting pressure and deflection working of the 8G glass in the transverse and longitudinal directions, respectively. After comparing calculated levels of flatness of the glass, it determines the chamber array for the linear non-contact conveying motion.

1. 서론

LCD (liquid crystal display) 패널의 급속한 가격 하락과 경기 침체에 따른 수익성 악화에 따른 영향으로 각 LCD 패널 업체들은 8세대(2,500 × 2,200 mm²)까지 세대별로 생산하던 방식에서 현재의 Glass 효율을 98% 수준으로 끌어 올리는 개선을 위해 한 장의 원판 유리에 크기가 다른 모델을 동시에 생산할 수 있는 방법으로 다중모델 방식(MMG-Multi Model Glass)을 추진하면서 새로운 글라스 크기가 다양하게 대두되고 있다. 대표적으로 8세대 MMG 경우는 1,066.8 mm (42in) × 8매와 546.1 mm (21.5in) × 8매로써 98%의 효율 극대화를 가지고 있다^[1]. 이와 같이 대형화된 얇은 유리 원판을 다루는 과정은 큰 처짐량의 발생 가능성과

일반적인 접촉식 방식이 가지는 대면적 평판유리에 오염과 손상이 발생할 가능성이 크다.

현재 LCD 패널 제조현장의 경우 물류시스템의 혁신방향은 얇은 두께의 대면적을 갖는 원판 글라스를 안전하고 신속하게 공정 간에 이송시킬 수 있는나에 초점을 맞추고 있다.

통상 팽상에서는 정확한 위치, 파지 형태, 공정 내용에 따라 다소 차이가 존재하지만 일반적으로 3가지 방법으로 LCD 글라스 운송 시스템에 적용되어지고 있다. 첫째, 전통적인 직선 운동 방향에 유리한 휠 방식 또는 휠과 부상 테이블의 혼용 방식이 있다. 둘째, 정확한 수평 유지가 요구되는 적하(loading) 및 양하(unloading) 작업에 유리한 로봇 팔에 의한 기계 또는 진공 흡착 방식이 있다^[2,3]. 셋째, 트레이나 카세트에 유리 원판을 적재하여 로봇팔로 적하

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

Fax: +82-2-970-1458

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

및 양하작업을 하는 방식이 있다^[4].

8세대 이상의 LCD 제조공정에서는 20-25장의 글라스를 카세트에 담아 이송하는 것 보다 in-line 개념을 가미시켜 LCD를 낱장으로 이송하는 방식이 공간 및 물류 효율성에서 유리한 것으로 알려져 있으며 여기에 비접촉 이송기술을 적용할 경우, 구조가 더욱 간단해지고 제작 및 운용비용이 비교적 저렴하고 고속으로 이동이 가능하다.

이와 같이 유리 원판의 처짐량과 휠과의 접촉면을 줄이고 이송시간을 단축하는 in-line 강점을 갖춘 휠과 부상 테이블의 혼용 방식인 공기부상 컨베이어가 최적 대안의 하나이다. 공기부상 테이블에서 기체 분출구 제어를 통하여 글라스를 안정적으로 부상시켜 수평 이송하는 방법은 기체 베어링(air-lubricated bearing)과 유사하다. 글라스 자체 하중에 의해 발생하는 처짐을 공기 부상 테이블로부터 토출되어 형성되는 공기압력의 분포 형태에 따라 수평적 균형을 유지하면서 휠 양단에 얹혀 이송되는 형태이다.

글라스가 일정 부상 거리와 편평도를 확보할 수 있도록 다양한 시도가 이루어지고 있는데 대표적으로 공기 부상 테이블에 배열된 많은 토출공(orifice)을 통하여 직접 공기를 분사하는 형태는 부상력은 좋으나 안정성이 떨어지고 공기 소모량이 많아지고 이물질에 노출될 가능성이 높다. 공기 부상 테이블에 토출공과 흡입공(suction hole)을 적절히 배열하여 구성하는 형태는 부상력과 편평도 유지가 우수해지나 제작비용의 상승과 장비 구성이 복잡해질 수 있다.

이를 개선 한 것이 기존의 오리피스 형태의 토출공을 카본 소재의 소결 필터 또는 HEPA (ULPA) 섬유 필터인 미세한 다공성(porous) 패드로 대체하는 것이며, 적용 기공률에 따라 공기 부상 테이블 토출면 전체에 고른 유동 흐름으로 제어 가능하기 때문에 고른 분포 압력으로 안정적인 부상력 유지가 가능하며 공기 소모량도 상대적으로 적다. 그리고 필터 사용으로 이물질에 노출되는 것을 방지 할 수 있으며 다공성 물질의 종류에 따라 부상력과 편평도 유지 조절도 가능하다^[5]. 이외에도 슬릿 구조 방식으로 컨베이어 시스템의 제작 비용과 공기 소모량 저감에 대한 일부 연구를 통하여 세라믹 분말의 소결 필터 형태의 다공성 물질 적용 보다 개선된 결과를 제시하고 있다^[6].

따라서 본 연구에서는 섬유 소재의 고밀도 청정 HEPA (ULPA) 필터를 채택하여 균일한 공기 토출구에 의한 일정한 압력 분포를 제공하여 안정적인 부상 능력을 가지는 공기 부상 테이블을 구상하고자 한다. 팬 방식을 적용하여 압축되는 공기의 소모량을 줄여 에너지와 제작비용 등을 대폭 절감하는 컨베이어 장치 구성을 고려하는 기초 설계 작업에 있다.

Fig. 1에서 도시한바와 같이 섬유 필터의 다공성을 활용하는 공기 부상 테이블 방식을 적용하되, 기존 오리피스방식 부상 테이블

과 세라믹 소결 형태의 다공성 부상 테이블의 단점인 경제성을 극복하여 간단한 설계 성능을 제공하고 낮은 공기 소모량 그리고 저중심 부상을 구현하기 위하여 공기 공급 장치(air supply unit, ASU)를 공기 부상 테이블에 배열하는 데 중점을 둔다.

2. 기본설계 변수 및 수준값 선정

2.1 양단 구동 휠에 지지되는 글라스와 공기 부상판 간격

수평 공기 부상 이송 시스템은 Fig. 1과 2처럼 구동 휠 양단에 글라스가 edge 수준의 지지를 받으면서 이송되는 구조다. 그리고 패널에 사용되는 글라스는 적어도 8세대급 이상으로 2,500 × 2,200 mm² 이상의 면적과 0.7 mm 이하의 두께를 가지기 때문에 자체 중량에 의한 일정 이상의 처짐이 예견된다.

휠의 지지 높이에 의한 글라스와 부상 테이블 사이의 틈새 범위를 예측하기 위해 글라스 자체에 의한 굽힘 강성의 기초 계산을 수행하였다. Fig. 2와 같이 양쪽 구동 휠에 글라스가 놓이는 방향에 따라 장방향(long, transverse direction - 2,500 × 2,200 mm²)과 단방향(short, longitudinal direction - 2,200 × 2,500 mm²)으로 구분했으며 사용된 글라스에 대한 물성값은 Table 1에 나타나있다.

간단한 강성구조해석을 위해 구조물의 비선형 거동 이유로 기하학적 비선형 처리를 위한 대변형 옵션을 사용하고 그리고 휠에 놓여 있는 글라스가 자중으로 인해 휠 양단에서 미끄러져 처지는 현상인 부정적 반력의 불완전 구속을 배제한 완전구속을 각각 적용하였다.

박판의 shell 요소 설정을 하여 수행한 Fig. 3의 1/2 model 해석 결과를 보면 완전 구속 시 글라스의 z-축 방향으로 나타나는 최대 처짐은 장방향으로 8.11 mm으로 나타났다. 그러나 실제 순수 자체 중에 의한 글라스를 휠에서 마찰력만으로 구속하지 못하여 미끄러

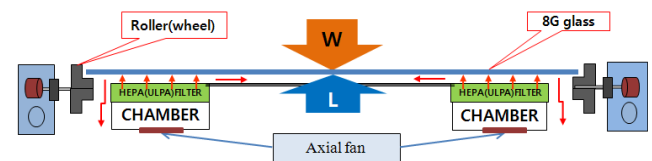


Fig. 1 Schematic design of the air levitation table for the non-contact conveyor system

Table 1 Mechanical properties of the glass panel

	value (unit)
Density	2,545 (kg/m ³)
Poisson's ratio	0.23
Young's modulus	7.09e ¹⁰ (Pa)
Thickness	0.7 (mm)
Glass size	2,500 × 2,200 (mm × mm)

져 나타나는 순수 처짐은 400 mm 수준을 넘어서는 점을 알 수 있다.

부상력을 확보하여 양단에서 미끄러져 안쪽으로 처지거나 올라가는 부분이 실제로 많이 해소한다고 보면 휠에 의해 지지되는 글라스와 부상 테이블 표면 사이의 틈새(h) 유지 가능 범위는 15 mm 수준에서 설정하여 제품의 설계 사양과도 동일하게 적용한다^[7-8].

2.2 다공성 물질을 이용한 공기 부상토출 속도

Fig. 2와 4에서 보이는 저렴한 섬유(fiber) 필터를 사용하여 공기 부상 테이블 위로 공기를 균일하게 토출하는 방식으로 기존의 세라믹 분말 소결 형태의 다공성 패드를 대체하게 된다.

공기 부상 테이블 표면 높이 아래 챔버를 위치시키고 그 챔버 하부에는 축류 팬을 이용하여 내부로 공기를 유입시켜 압축시키고 챔버 상부에는 섬유 필터를 두어 Fig. 2와 같이 공기 부상 테이블

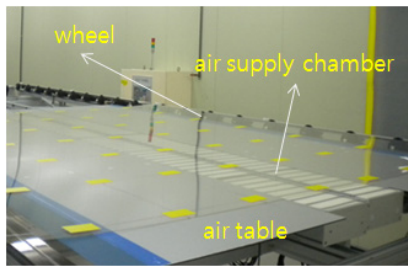


Fig. 2 View of the air levitation table floating a thin glass in transverse (long) direction^[7]

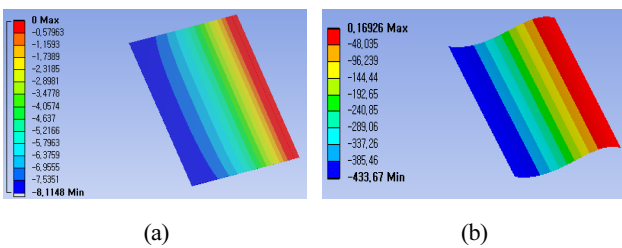


Fig. 3 Static structural symmetric (1/2) results of the large flat glass sheet by pure self-weight in transverse(long) direction, (a) 8.11 mm in fixed support and (b) 433.67 mm in frictionless support of z-axis directional max. deformation

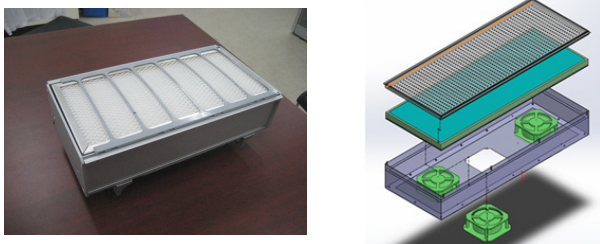


Fig. 4 View of the air supply unit (chamber) with the air filter shown in Figs. 1 and 2

Table 2 Mechanical properties of the air filter and chamber dimension

type	air flow	filter size (mm)			area	velocity	resistance	
	cmm	L	H	D	m ²	m/s	Pa	mmAq
ULPA	7	610	610	50	0.327	0.357	147	15
HEPA	10	610	610	50	0.327	0.509	147	15
HEPA	5.7	1,000	192	45	0.180	0.527	129.36	13.2
HEPA	5.7	1,000	192	45	0.180	0.527	129.36	13.4
ULPA	4.6	812	192	45	0.146	0.525	129.36	13.4

위로 공기를 토출하는 구조이다. 사용되는 필터가 장착된 챔버의 모습은 Fig. 4에서 보여주고 있다.

축류 팬으로 챔버 내로 유입시켜 압축된 공기는 필터의 계면을 차압의 힘으로 필터의 기공을 통과 하면서 상부로 토출되는데 적용 필터에 대한 성능 평가값은 Table 2에서 보여주고 있으며 현재 HEPA, ULPA 필터의 풍량(air flow)은 5.7 cm (= m³/min)를 채택했다. 또한 설계상으로 적용된 챔버 크기는 192 × 1,000 × 45 mm³이며 효율은 0.12 μm로서 집진율 99.9995를 가진다. 차압 수준은 13.4 mmAq이며 측정된 토출 평균속도는 0.527 m/s이다.

3. 1단계 해석 방법 및 고찰

3.1 공기 부상 해석 평가를 위한 변수 수준값 설정

공기 부상 테이블의 설계를 결정하는 주요 변수는 앞서 수행한 설계 기초 변수인 휠 지지 높이 범위와 공기 풍량과 용적에 따라 다공성 물질인 섬유필터를 통하여 토출되는 측정 평균속도를 포함하여 ASU간의 위치 그리고 이송 속도 등이 해당된다. 글라스는 장방향, 단방향으로 놓이는 형태에 따라 각각 적용된다.

Fig. 5에 도시한 것과 같이 연속적으로 이어지는 챔버 상부에 위치하는 필터 크기는 챔버와 동일하며 폭은 192 mm이며 길이 방향으로 1,000 mm의 길이를 갖는다. 그리고 형상적으로 각각의

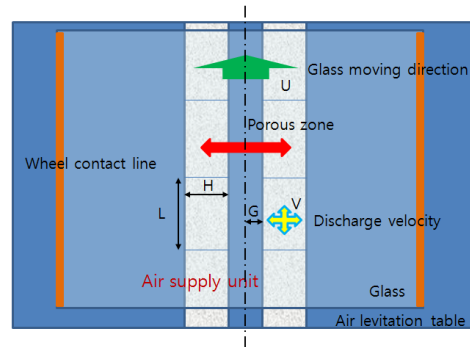


Fig. 5 Schematic model for dynamic analysis of airflow on the proposed air levitation table

Table 3 Principal design parameters

parameters (unit), symbol	values
Distance from the centerline to the ASU position (mm), G	0, 100, 200, 300, 400, 500
Wheel supporting height (mm), h	15
Discharge velocity porous zone (m/s), V	0.3, 0.5, 0.7
Glass moving velocity (m/min), U	25

챔버가 칸막이를 갖는 연속적인 토출면을 글라스가 진행하는 방향으로 구성된다. 해석에 사용되는 각 변수의 수준값은 Table 3에 요약된다.

ASU는 각각 중심선에서 좌우로 각각 일정 거리(0, ± 100 mm, ± 200 mm, ± 300 mm, ± 400 mm, ± 500 mm)로 벌리면서 각각 위치하는 것으로 설정되나, 대칭인 관계로 1/2 모델로 했으며, 글라스와 테이블 사이의 간격인 휠 지지 높이는 앞서 수행한 결과를 참고로 하여 15 mm로 설정하였다. 또한 토출 속도는 사용되는 필터의 실제 0.527 m/s의 평균측정값을 기준으로 0.3, 0.5, 0.7 m/s로 그리고 글라스 이송 속도는 25 m/min으로써 제품 운전 사양을 적용했다.

3.2 공기 부상 해석 조건 설정 및 계산 방법

해석은 1-way FSI (fluid-structure interaction) 방법으로 정상 형태로 1단계에서 글라스의 자중을 고려하지 않고 공기유동에 의한 내부 압력 분포 계산을 위한 유동해석을 수행하고 2단계에서 구조해석으로 1단계에서 획득한 글라스하단에 미치는 압력 분포를 경계 조건으로 활용하여 글라스의 최종 처짐 계산을 하였다. 또한 공기 부상 테이블에 대한 상대적인 글라스의 이동에 의한 Couette 흐름을 1단계에서 적용하였다.

Fig. 6(a)와 같이 1/2 모델에서 글라스와 부상 테이블 사이에 공기 유동 공간이 있으며 중앙의 휠 부근의 구조적인 공간을 간략화하고 아래쪽으로 공기가 빠져 나가도록 했으며 또한 공기는 부상 테이블과 글라스 끝단 사이 면으로도 빠져 나가게 되어 있다. 부상 테이블 주변 공간을 확장하여 대칭 경계면을 제외한 나머지 바깥면을 opening 경계조건으로 처리하였다. 공기 부상 테이블(다공성 패드면)로부터 위로 공기가 균일하게 토출되는 부분은 input 경계 조건으로 부여되었다.

해석 도구는 CFX가 사용되었으며 난류가 적용되고 실온공기가 매체로 사용되었다. Fig 6(b)에서 보는 것처럼 글라스와 부상 테이블 주변으로 node수를 증가시키고 전체적인 node수는 2백만 개 정도이며 계산 수렴은 모두 10^{-4} 수준으로 이루어졌다.

3.3 유동해석에 의한 입력 분포 계산 및 고찰

공기 부상 테이블 기초 설계구성을 위해 휠 지지 높이, ASU 배열, 필터 토출속도(여기서는 주입속도), 글라스 이송속도 등을 중요 변수로 하여 계산을 수행 한 결과는 Fig. 7과 8에서 요약된다.

글라스가 장방향(long, transverse direction)과 단방향(short, longitudinal direction)으로 휠에 각각 놓이게 되는 경우로 구분하고, ASU 위치와 주입속도에 따라 테이블과 글라스 틈새 공간에서 공기 흐름에 의해 발생하는 압력 분포가 글라스 하단부 경계면에 작용하여 나타나는 부상력(Fig. 1에서 L)으로 표현되었다.

글라스에 미치는 부상력의 기준으로 보면 장방향, 단방향 공통적으로 중심선으로부터 ASU간 거리가 증가함에 따라 부상력이 상승하게 되나 300~500 mm ASU 위치에서 더 이상 증가하지 않음을 확인할 수 있다. 그리고 단방향을의 위치 설정의 경우가 약간 더 높은 결과를 보여주고 있다. 특히 공기 주입 속도의 변화에 따라 나타나는 부상력의 변화에 영향력이 큰 것으로 보인다. 즉, 0.3 m/s 경우에는 장방향과 단방향간에 큰 변화가 없으나 0.5 m/s 이상인 경우에는 정도 차이가 크게 존재함을 알 수 있다.

차압에 의해 공기 필터로부터 시간당 부상 테이블 위로 토출되어 나오는 일정공기량을 글라스 하단 15 mm 두께의 공간에 효율적으로 가두어 평형적으로 글라스 자중에 대응되는 부상력 획득과 관련된다. 우선 장방향 글라스 전체 길이가 2,500 mm이므로 두 ASU 위치가 3등분 한 위치에 각각 놓인다면 830 mm이 되기 때문에 대칭을 고려하면 중심선에서 대략 400 mm 정도에서 가장 효율적으로 공기를 가둘 수 있는 기하학적인 위치가 된다.

그리고 부상 테이블의 표면 형상을 ASU면을 제외한 어떠한 토출공이나 토출면을 동반하지 않는 평판으로 적용한다면 앞서 결과를 바탕으로 간단한 2차식으로 표현 가능하다. 입력 공기속도별로 중심선으로부터 ASU 위치까지 거리의 관계식으로 표현하면 Table 4처럼 절반의 글라스 대칭면에 작용하여 부상하고자 하는 힘(γ)을 중심선에서 ASU까지 거리(x)에 관한 지수식으로 공기 주입속도에 따라 각각 표현된다.

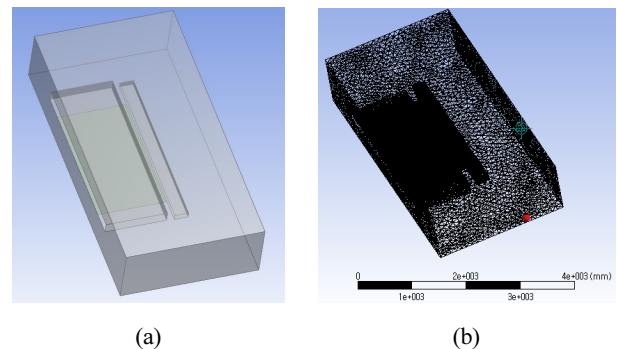


Fig. 6 Symmetric modeling and mesh for the computational domain of the air levitation table (transverse direction)

Fig. 9는 15 mm 휠 지지 높이, 400 mm ASU 배열의 간격과 0.5 m/s 속도를 장방향 글라스에 적용했을 때 글라스면에 작용하는 압력 분포이다. 토출 공기에 의한 유동에 따라 두 ASU 사이에서 주로 압력이 형성되고 글라스와 테이블 사이의 측면 토출 주변과 바깥 아래쪽으로 트인 방향으로 압력 형성이 낮다. 이 결과를

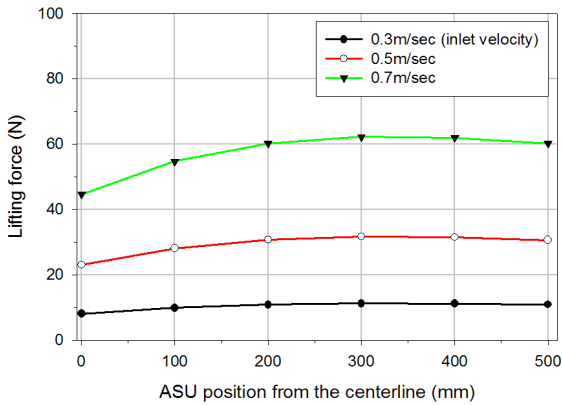


Fig. 7 Lifting force corresponding to ASU positions at the transverse directional glass

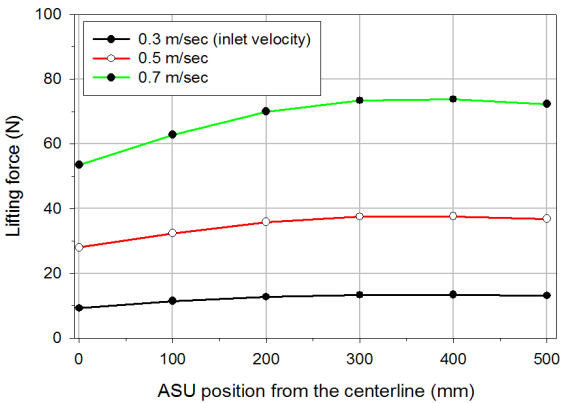


Fig. 8 Lifting force corresponding to ASU positions at the longitudinal directional glass

Table 4 Exponential rise to max with single, 2 parameters for predicting lifting force corresponding to ASU position

$$y = a(1 - e^{-bx})$$

parameters	3 m/s	5 m/s	7 m/s
transverse direction			
a (N)	11.06	31.23	61.38
b (mm) ⁻¹	0.02236	0.02297	0.02217
longitudinal direction			
a (N)	13.23	37.20	72.87
b (mm) ⁻¹	0.0196	0.02011	0.01944

Remark: *x* (ASU distance ASU from the centerline, mm)
y (lifting force, N)

볼 때 부상 테이블 아래 트임 공간 확보가 압력 형성에 매우 큰 영향을 줄 수 있다. 이러한 부분은 추 후 안정적인 부상높이와 글라스 편평도를 유지 하는 연구에서 큰 변수로 작용될 수 있는 부분이다.

Fig. 10에서는 글라스 하단부에 나타나는 공기 속도 벡터를 보여 주고 있다. 왼쪽 ASU 사이로 공기가 모여들면서 속도가 낮은 대신 높은 압력이 형성되어 옆면으로 빠져 나가는 속도가 높게 된다. 그리고 오른쪽 휠 지지부 근처에서 테이블 아래 트임 공간쪽으로 ASU 위치로부터 공기가 빠르게 유출되는 모습이다.

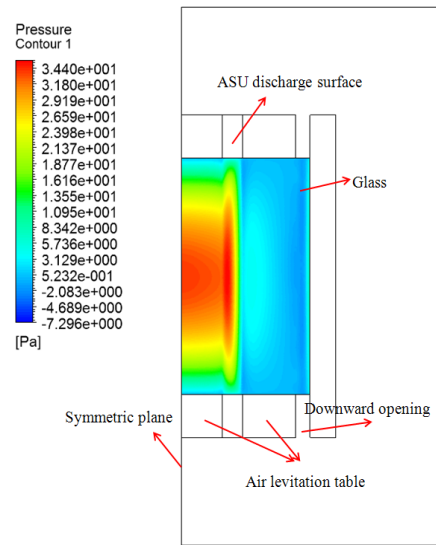


Fig. 9 Pressure distribution at the transverse directional glass with 15 mm height, 0.5 m/s input velocity and 400 mm ASU distance

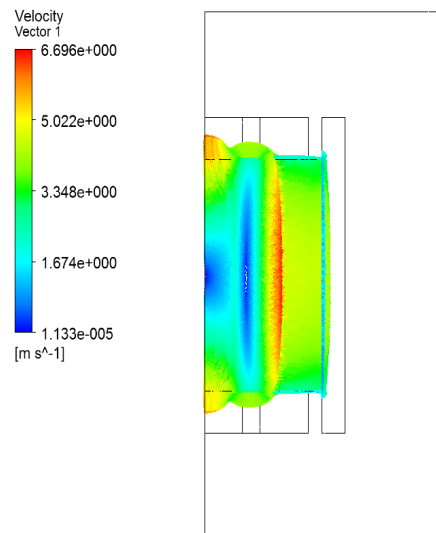


Fig. 10 Velocity vector at the transverse directional glass with 15 mm height, 0.5 m/s input velocity and 400 mm ASU distance

4. 2단계 해석 고찰

4.1 글라스 처짐량 계산 및 고찰

1단계 순수 유동의 해석으로 확보된 글라스 면에 작용하는 압력 분포를 2차 구조 해석에서 경계 조건(loads < imported pressure)으로 처리하여 글라스의 강성 구조해석을 2단계로 수행하였다. 이를 통해 글라스 자중(-)과 글라스 하단부에서 작용하는 압력에 의한 공기 부상력(+)의 균형점을 z-축 방향의 처짐 정도로 분석할 수 있다.

공기 부상테이블위에 토출공과 흡입공을 번갈아 주어 글라스 편평도를 확보하는 기존 방식에 비해서 다소 불리한 편이지만 주요 변수인 공기의 토출 속도 변화, 휠 지지 높이 변화, ASU 위치 변화만으로 최적상태를 유지 가능하고 무엇보다도 5.7 cm의 공기소모량과 제작과 유지 보수비용 면에서 절대적으로 우위를 가질 수 있다.

Fig. 11과 12는 글라스의 휠 지지 높이를 15 mm로 기준 설정하여 ASU 간격과 공기 주입 속도 변화에 따라 글라스가 장방향과

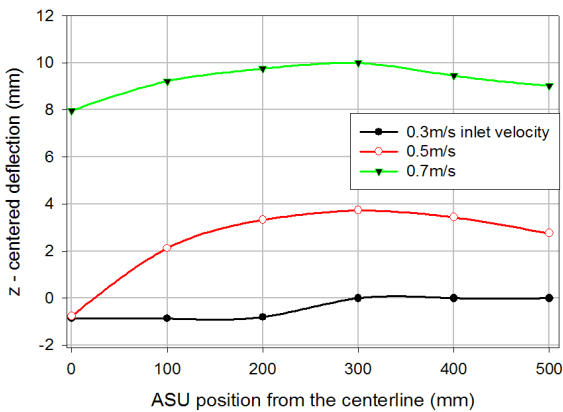


Fig. 11 Centered deflection of the transverse directional glass corresponding to ASU position

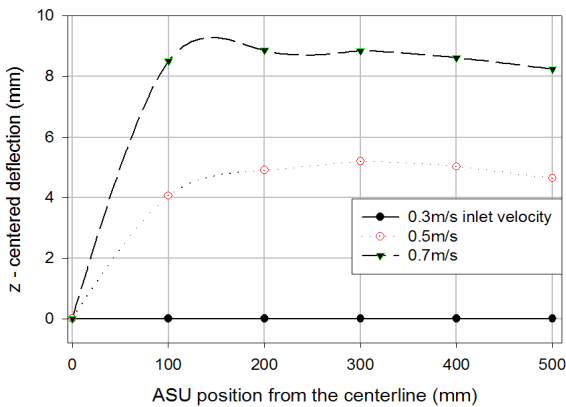


Fig. 12 Centered deflection of the longitudinal directional glass corresponding to ASU position

단방향으로 각각 놓일 때 나타나는 중심 부분의 z-축 방향 최대 배부름(또는 처짐)량 변화 추이이다. 1차 해석 시 얻은 부상력값 결과와 유사하게 ASU 위치가 300 mm 정도에서 중앙 부위에서 형성되는 배부름(처짐량)수준이 높게 나타났다.

0.5 m/s의 설계 적용 측정 속도로 설정하여 계산된 Fig. 13과 14의 글라스의 장방향과 단방향에 따라 나타난 배부름(처짐량) 수준 결과로 비교해보면 다소 상이하나 장방향인 경우는 ASU 간격을 500 mm을 유지했을 때 가로지르는 수평 중심선 기준으로 볼 때 처짐이 적고 편평도(z축 기준으로 “0” 값에 가까운 정도)가 좋은 것으로 판단할 수 있다. 따라서 ASU 위치에 대한 편평도 수준으로 분석한 결과는 이미 이전 연구인 시제작⁸⁾으로 확인된 ASU 최적 위치가 1,140/2 mm 인 점과 어느 정도 일치하는 경향인 것으로 분석된다.

그러나 중앙 부분의 배부름이나 처짐 기준으로 본 부상 높이를, 동일한 조건으로 작동 하는 시제작품의 글라스 표면에 위치한 56

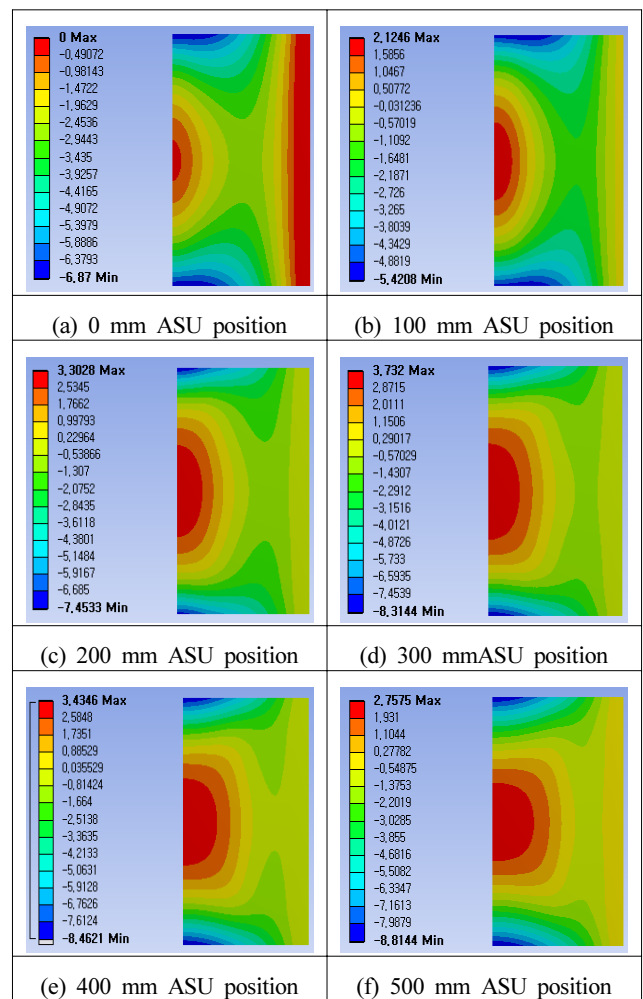


Fig. 13 z directional deformation of the transverse directional glass corresponding to ASU position with 0.5 m/s inlet velocity

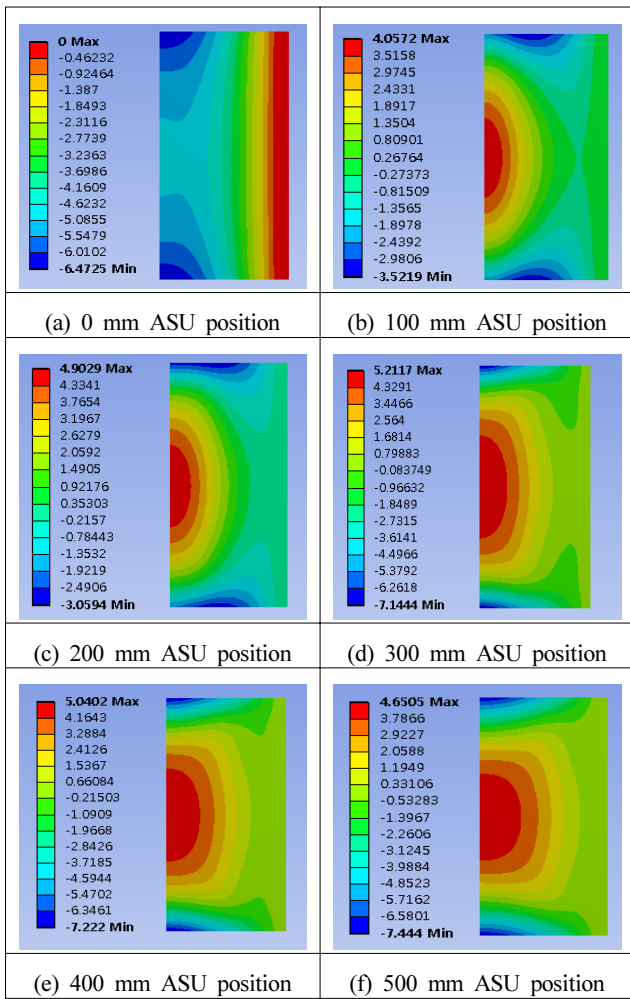


Fig. 14 z directional deformation of the longitudinal directional glass corresponding to ASU position with 0.5 m/s inlet velocity

개 측정점에서 중앙 부분 부상 높이에 대한 측정실험^[8] 결과(15 - 18 mm)와 비교하면 대략 1/3 수준이다. 이 결과는 해석상으로 글라스 양면 edge를 휠(롤러)에서 강하게 단순 지지하는 경우로써 실제 실험상 글라스가 좋은 편평도를 유지하여도 존재하는 배부름이나 처짐으로 등으로 휠에서 미세하게 안으로 미끄러져 나타나는 경계적 조건 차이로 판단된다.

그리고 선형 변형에 의한 해석결과에서는 ASU위치 500 mm 경우 중앙부분이 최대 7.34 mm의 배부름과 수평 중심선 기준으로 -30 mm 수준의 처짐이 나타났다. 따라서 변형의 정도가 심하므로 대평판 옵션으로 기하학 비선형을 고려하는 것은 타당하다. 실험과의 차이에 대한 또 다른 이유는 1단계 유동해석 자체에서 글라스의 변형을 고려하지 못하는 부분의 영향이 큰 것으로 사료된다.

4.2 90도 방향 전환 이송라인 적용 및 고찰

In-line 시스템에서 통상적으로 글라스는 직선으로 이동(straight

motion)하지만 공정별로 또는 장치별로 글라스가 직각 이동 또는 회전을 요하는 경우가 발생된다. 현재는 이송장치 자체를 회전(turning)을 하거나 방향 전환을 위해 lifting change를 하는 경우가 대부분이다. 이 경우 매우 복잡한 장치 구성이 필요로 한다.

In-line 시스템에서 글라스가 공기 부상 테이블 양단 수평휠에 단방향으로 얹혀 수평 방향으로 진입하여 90도 전환한 후 장방향으로 수직휠에 얹혀 아래 방향으로 이동해 나가는 라인을 구성하기 위해 앞서 수행한 기초 계산의 결과에 따라 각각 300-500 mm 범위에서 ASU 배열이 가능하다. 이 경우 진행 변경 영역에서 지지휠을 변경하면서 확보되어야 할 안정적인 부상력 문제는 제시된 챔버 사양(축류 팬 부하 및 필터의 기공성 포함)과 연동되는 부분 외에도 부가적인 ASU 배열이 뒷받침되어야 할 것으로 보인다.

5. 결론

공기 부상 방식을 이용하여 LCD 대평판 글라스를 비접촉으로 이송 구현하기 위하여 양단 edge grip 구조에 팬과 다공성 필터를 포함하는 압축 챔버를 가지는 ASU의 적절한 배열로 이루어지는 공기 부상 테이블을 구성하였다.

이에 적절한 기초적인 수치해석을 동반 수행하였다. 이를 위하여 수행한 과정과 결론은 다음과 같다.

- (1) 예비 계산과 측정 시험을 통하여 15 mm의 적정 휠의 글라스 지지 높이와 ASU 챔버의 HEPA (ULPA) 필터에 의한 평균 토출 속도(0.527 m/s)와 토출면의 폭이 먼저 기준 설정되었다.
- (2) 부상 테이블에 ASU 배열에 위치적으로 변화를 주고 글라스가 구동휠에 단방향과 장방향으로 놓이는 부분으로 구분하여 FSI 해석을 수행하여 장, 단방향 경우는 유사하게 ASU거리가 300 ~ 500 mm에서 대응 가능한 부상력이 확보되었다.
- (3) 설정한 토출속도가 0.5 m/s 경우가 가장 타당성 있음을 확인했으며 중심부분의 편평도 분석에서는 500 mm ASU 위치가 가장 좋은 것으로 판단되었다.
- (4) 확보된 최적 ASU 배열은 in-line 시스템에서 글라스가 단방향에서 장방향으로 방향 전환 시에 추가적인 배열 조건만 충족되면 충분히 적용 가능할 것으로 사료된다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Insideoptics, viewed 18 March 2013, <<http://insideoptics.com>>.
- [2] Erzincanli, F., Sharp, J. M., Erhal, S., 1998, Design and Operational Considerations of a Non-Contact Robotic Handling System for Non-Rigid Materials, *Int. J. Machine Tools and Manufacturing*, 36:4 353-361.
- [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*, 21:4 401-407.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Taesung Eng. Co. Ltd, viewed 18 May 2011, <<http://www.tseng.co.kr>>.
- [8] Lee, T. G., Yu, J. S., Jung, H. J., Kim, J-H., Kim, J. H., 2013, Development of the Air Floating Conveyor System for the Large Glass Sheet, *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, 22:4 635-642.