

FPD용 공기부상 이송컨베이어 시스템 개발

노태정^{1*}, 이육진²

Development of Air-floating Conveyor System for FPD

Tae-Jung Lho^{1*} and Wook-Jin Lee²

요 약 디스플레이 장치에서 기존의 CRT는 곡면이며 무겁고 큰 부피 때문에 LCD, PDP와 같은 평판디스플레이(FPD)로 대체되고 있다. FPD는 0.6~0.8mm 두께의 대면적 글라스에 여러 공정을 거친 후에 최종 제품 규격으로 절단하여 제작하기 때문에 글라스의 면적이 크면 클수록 FPD의 생산성이 높다는 밀접한 관계를 갖는다. 따라서 FPD 제조 업계에서는 글라스 면적을 증가시키기 위하여 노력하고 있다.

7세대 글라스(2,220mm × 1,870mm × 0.7mm)를 대상으로 유한요소해석 및 유동해석을 통하여 이송장치, 배급장치, 수평/경사 변환장치 및 제어장치로 구성된 비접촉 공기부상 이송시스템을 개발하였다. 본 개발에서 확보한 설계기술을 통하여 글라스의 크기가 대형화 되더라도 관련 이송장비를 보다 쉽게 제작하여 적용할 수 있다.

Abstract The CRT(Cathode Ray Tube) displays have been substituted for FPDs(Flat Panel Displays) such as LCD(Liquid Crystal Display) and PDP(Plasma Display Panel) because they have a convex surface, large volume and heavy weight. The productivity of FPDs is greatly dependent on the area of thin glass panel with 0.6 ~ 0.8mm thickness because FPDs are manufactured by cutting a large-scaled thin glass panel with patterns to the required product dimensions. So FPD's industries are trying to increase the area of thin glass panel. Through FEM(Finite Element Method) analysis and fluid analysis, we developed an non-contact and air-floating conveyor system which consists of transport-module, distributor, horizontal/vertical changer and controller for the 7th generation glass panel (2,200mm in width, 1,870mm in length and 0.7mm in thickness). The design technology developed in this study can be effectively applied to a conveyor system for a larger-scaled thin glass panel.

Key Words : 글래스판넬(glass panel), FPD(Flat Panel Display), 비접촉(non-contact), 공기부상(air-floating), LCD(Liquid crystal display), 유동해석(fluid analysis), 이송시스템(conveyor system)

1. 서론

최근 국내외 LCD(Liquid Crystal Display)시장과 반도체 웨이퍼(Wafer) 제조 및 가공시장은 급속도로 성장하였고, 앞으로 지속적인 수요와 글라스(Glass) 및 웨이퍼의 세대가 발전 할 것으로 전망되고 있어 기술개발 및 시장을 선점하기 위한 경쟁이 나날이 심화되고 있다.

이러한 현재의 시장에 동조하여 LCD 제품의 배후산업이라고 할 수 있는 LCD 및 웨이퍼 등의 클린 박판물류의 제작공정에 필요한 자동화기술과 이송 및 저장장치의

개발 경쟁도 나날이 심화되고 있다.

또한 글라스의 대형화는 향후 디지털TV, 모니터 등 LCD사업 경쟁력의 핵심이 되므로 시장 선점을 위한 국가간의 경쟁이 나날이 치열해질 것으로 예상된다.

기존의 카세트(Cassette)방식은 발전된 세대의 글라스를 저장하여 이송하기에는 기존 세대의 글라스에 비해 많은 지지점을 필요로 하게 되어 글라스를 오염시킬 우려가 있다. 또한 글라스를 가공하는 공정에 있어 각 공정이 진행될 때 마다 카세트에서 글라스를 출입해야하므로 이송장비와의 접촉을 야기하게 되어 글라스의 오염도가

본 논문은 지역산업기술개발사업의 연구과제로 수행되었음.

¹동명대학교 메카트로닉스공학과(부교수)

*교신저자: 노태정(tjlho@tu.ac.kr)

접수일 08년 10월 7일

수정일 09년 01월 13일

²동명대학교 메카트로닉스공학과(석사과정)

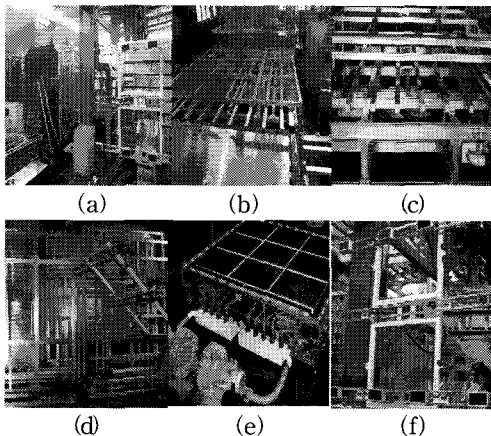
재제확정일 08년 01월 16일

더욱 커지게 된다. 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 최근 글라스의 날장을 공기부상시켜 이송하는 방식이 각광받고 있다. 기존의 카세트방식에 비해 글라스표면의 오염을 줄여줄 수 있으며 글라스 가공에도 효율적이다. 최적화된 날장공기부상 이송시스템을 구현하기 위하여 클린룸 내에서의 글라스와 이송장비 사이의 공기유동^[1], 글라스의 크기와 하중에 따라 최적화된 양력을 구현하기 위한 연구^[2], 실제 공기부상시 청정공기가 분출되는 노즐 내부의 압력을 측정하기 위한 연구^[3], 공기부상 시스템의 유로망 연구^[4] 등의 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재 FPD(Flat Panel Display)관련 장비의 수입의존도가 80%이상이고 특히 일본에 대한 수입의존도가 95%이상으로 FPD산업의 배후산업과 관련하여 국내의 기술이 상당히 낙후되어있는 실정이기 때문에 관련기술과 장비의 개발이 절실하다. 이에 본 개발에서는 날장 공기부상 이송을 위한 이송장치, 배급장치, 수평/경사 변환장치, 제어시스템 등으로 구성되는 공기부상 비접촉 이송시스템을 개발하여 적용하였다.

2. 공기부상 비접촉 이송시스템 개발

공기부상 비접촉 이송시스템은 크게 수평/경사 이송장치(Horizontal/Vertical transport Module), 배급장치(Distributor), 수평/경사 변환장치(Horizontal/Vertical Changer), 제어시스템 등으로 구성된다. 전체 시스템의 구성은 다음의 그림 1과 같다.



[그림 1] FPD 비접촉 이송컨베이어시스템
(a), (b)전체도, (c)수평이송장치, (d)경사이송장치,
(e)배급장치, (f)수평/경사 변환장치

본 개발의 전체 시스템은 7세대 글라스(2,200mm×1,870mm)의 전체 공정을 고려하여 통합된 하나의 시스템을 구성하였다.

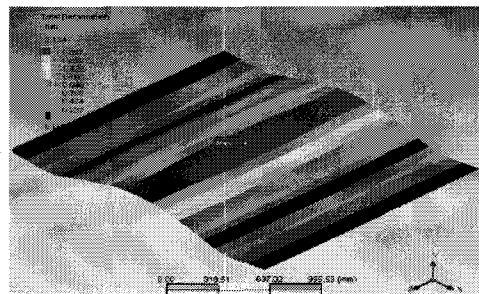
2.1 이송장치

글라스의 세대가 발전하여 대형화됨에 따라 글라스를 사용하여 FAB(Fabrication)공정이 끝나면 이를 나누어 사용하기 때문에 글라스의 분할선(Division Line)은 글라스의 사용효율에 굉장히 중요한 부분이 된다. 즉 글라스를 핸들링 할 때 분할선과 동일하면 글라스의 오염도가 감소되고 수율이 향상되어 생산성을 상당히 높일 수 있다. 글라스와 노즐의 거리가 가까울수록 압력이 잘 전달되어 안정적으로 글라스를 부상시킬 수 있을것으로 고려된다.

경계면을 분출노즐의 입구 경계면, 글라스, 플로팅바(Air-floating Bar) 표면, 바닥면에서의 벽면경계면과 대칭 경계면으로 구성하고 유동해석을 통한 결과, 글라스와 노즐의 간극이 3mm일 때 보다 2mm일때 글라스에 작용하는 압력이 약 9%정도 높게 나타남을 확인하여 본 개발에서는 글라스의 공기부상시 비접촉면의 높이가 0.2~2mm 사이를 유지하여 안정적인 이송을 구현하였다.^[4]

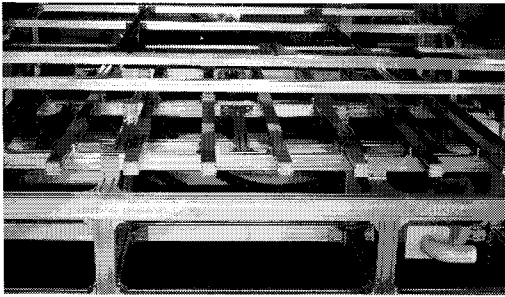
가. 수평 이송장치

수평이송설비를 글라스 공정장비가 수평으로 구성된 부분에서 작업할 수 있도록 구성하였으며 공정장비가 경사이송상태보다 수평이송에서 효율적인 작업이 가능할 경우에 적용하여 사용한다. 본 개발에서 적용된 7세대 글라스 중에 현재 시장의 약 50%를 차지하고 있는 코닝 계열의 글라스는 2,220mm × 1,870mm × 0.7mm이며 중량은 7~8Kg정도이다. 7세대 코닝계열의 글라스를 양 끝단에 단순지지 하여 자중에의한 처짐량을 해석한 결과 약 1,400mm정도로 글라스가 완전히 처지기전에 파괴되므로 처짐량을 고려하여 그림 2와 같이 글라스를 비접촉으로 지지할 수 있는 플로팅바를 추가로 설치하기위한 해석을 수행하여 최적의 개수와 위치를 구현하였다.



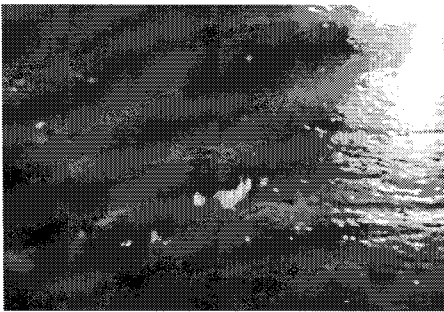
[그림 2] 최적화된 수평이송 해석결과

위의 그림 2와 같이 글라스의 이송방향으로 플로팅바를 6개 지지하였을 때 최대 처짐량은 0.711mm, 반대방향으로 볼록한 부분은 2.134mm로 처짐에 의한 부분이 2mm이내에 들어가므로 만족할만한 결과라고 할 수 있다. 이러한 해석결과에 따라 다음의 그림 3과 같은 시제품을 제작하였다.

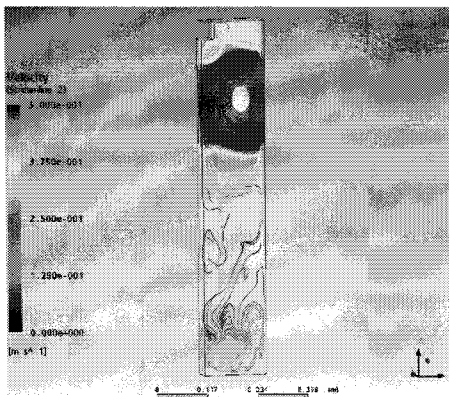


[그림 3] 수평이송장치 시제품

위의 그림 3과 같이 시제품을 제작하여 실제 구동하였을 때 난류유동에 의하여 그림 4와 같이 산업현장에서 발생할 수 있는 다양한 형태의 먼지가 비산하는 것을 확인할 수 있다.

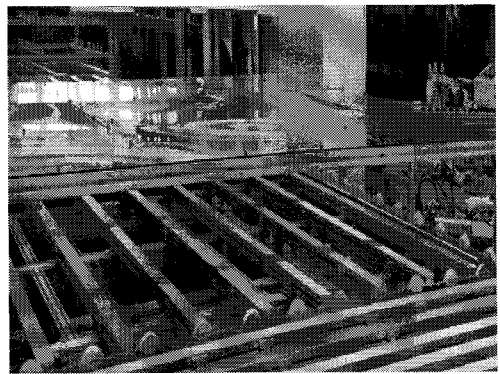


[그림 4] 수평이송장치 하부의 먼지유동



[그림 5] 3차원 난류유동 해석결과

이러한 먼지의 유동은 글라스 오염의 가능성이 있는 것으로 판단되어 3차원 난류유동 해석을 통하여 설계에 반영하여 이러한 문제점을 보완하였다. 유동해석결과로 그림 5와 같이 노즐에서 나오는 유동은 순환유동으로 거의 바닥면까지 내려오지 않았지만 상부의 주 순환유동으로 인하여 바닥면 근처에서 또 다른 이차 순환유동이 생성되어 바닥면을 순환하다가 일부는 상부의 주순환 유동 쪽으로 올라가는 것을 볼 수 있다. 위의 결과에 따라 시제품의 상부와 하부에 커버를 설치하여 그림 6과 같은 밀폐된 영역으로 수정하였다.

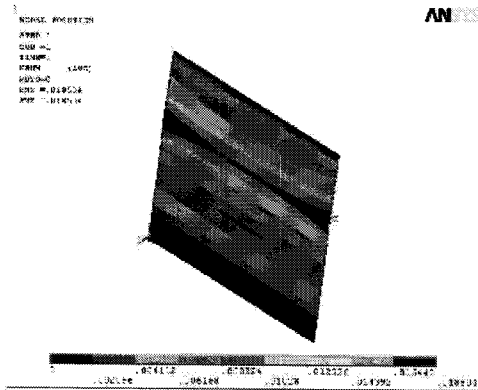


[그림 6] 격막을 설치한 평면이송장치

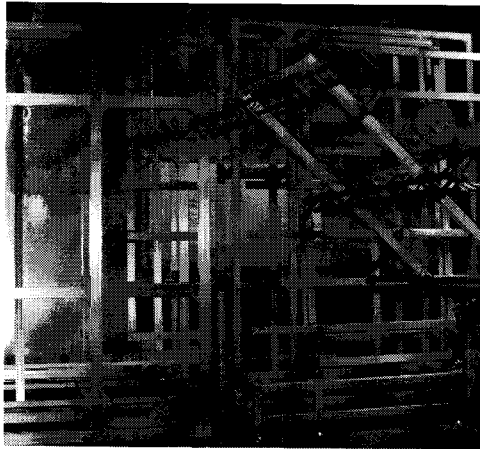
나. 경사 이송장치

글라스 가공공정의 효율성이 수평이송장비보다 높은 곳이나 가로공간이 협소한 경우 필요한 경사이송장비는 지면과 약 80°각도로 구성된다. 경사이송장치도 수평이송장치와 같은 처짐 현상이 나타나는데 수평이송의 경우처럼 중력이 글라스의 중심에서 수직방향으로 작용하는 것이 아니라 중심점의 수직방향에 의한 중력점을 포함한 처짐 현상과 휨(Bowing)현상이 나타나므로 수평이송과는 다른 해석을 수행하였다. 즉, 가장 아래쪽의 플로팅바(F_3)의 처짐은 상부 플로팅바(F_4)의 처짐을 포함하고 있으며 상부 플로팅바(F_4)의 처짐은 또 다른 상부 플로팅바(F_5)의 처짐을 포함하므로 해석시에 상단부의 처짐을 고려한 해석이 필요함을 알 수 있다.

플로팅바의 개수를 증가시키면서 해석을 수행한 결과 플로팅바를 이송방향으로 3개 지지하였을 때 다음의 그림 7과 같이 글라스의 최대 처짐량은 0.424mm로 해석되었다. 이는 개발목표치 2mm이내에 들어가므로 만족할만한 결과라고 할 수 있다.



[그림 7] 최적화된 경사이송 해석결과



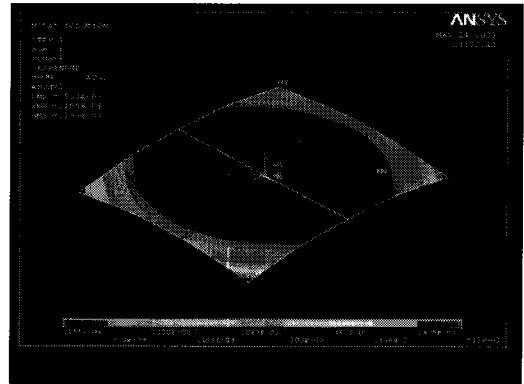
[그림 8] 경사이송장치 시제품

그림 8은 상기의 해석결과에 의거하여 제작한 경사이송장치의 시제품이다. 경사이송의 경우 수평이송과 다르게 하부의 먼지비산 등의 이송, 가공공정에 문제를 일으킬 수 있는 인자는 발견되지 않았다.^[2]

2.2 배급장치

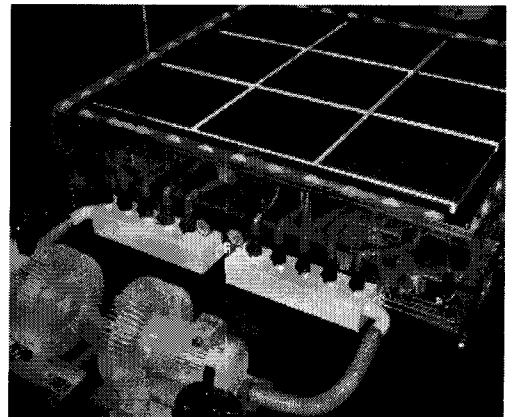
배급장치는 이송공정에서 물류의 흐름을 위하여 방향의 전환이 필요한 부분에 설치하여 이동되는 물체의 분배, 결합을 하도록 구성되는 부분이다. 기본적으로 자세는 동일하나 이동방향만 바뀌는 형태와 자세의 방향과 이동방향이 동시에 바뀌는 두 가지 형태로 구성된다. 글라스의 전체면적을 고려한 배급장치는 회전과 쉬프트 기능을 동시에 수행할 수 있어야 하며 글라스의 양단부만 회전하는 롤러에 접촉되어야 하므로 접촉면 이외의 전체 면적에서 공기의 부양간극이 형성되어야 한다. 배급장치의 하부에서 글라스전체에 공기가 공급되면 그림 9와 같

은 배부름현상이 나타나게 되어 회전이나 쉬프트가 제대로 이루어지지 않는 현상이 나타난다.



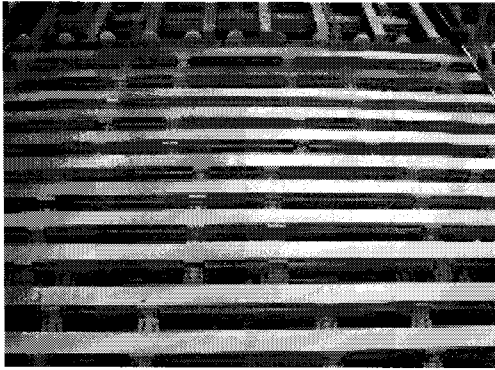
[그림 9] 배부름현상이 나타난 해석결과

이러한 배부름현상을 제거하기 위하여 배급구 주변에 배기라인을 설치하였고 기구의 중앙부에 방향전환용 서보모터를 설치하여 방향전환이 보다 용이하도록 하였다. 그림 10은 해석결과를 바탕으로 제작한 시제품이다.



[그림 10] 배부름현상을 제거한 시제품

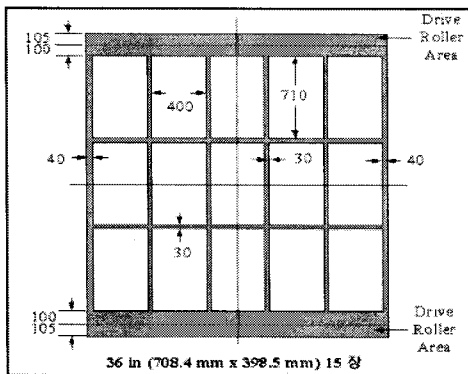
하지만 글라스의 인입, 회전, 반출시 글라스의 접촉, 흔들림, 공기방출의 문제점이 나타나 글라스오염의 원인이 되어 이 문제점들을 보완할 필요가 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해 그림 11과 같이 수평이송장치에서 검증된 플로팅바를 설치하여 상기의 문제점들을 해결하였다.



[그림 11] 보완된 배급장치

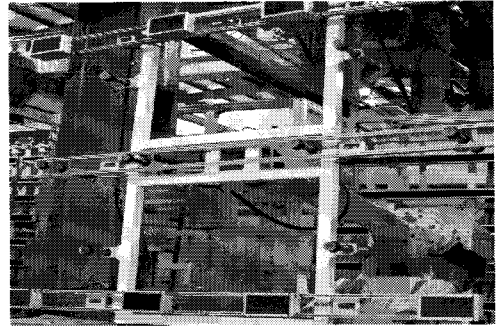
2.3 수평/경사 변환장치

수평 또는 경사로 이송되는 글라스를 경사 또는 수평으로 자세의 변환이 요구될 때 필요한 수평/경사 변환장치는 변환시에 발생하는 글라스의 처짐, 접촉/비접촉점에 관한 사전연구가 선행되어야 하는데 이는 이송시 글라스가 파손되거나 글라스를 분할하였을 때 사용되는 면의 비접촉을 유지하여 오염을 방지하기 위함이다. 본 개발에서 사용된 7세대 글라스를 이용하여 그림 12와 같은 접촉가능면적을 확인할 수 있다.



[그림 12] 7세대 글라스의 접촉가능면 예시

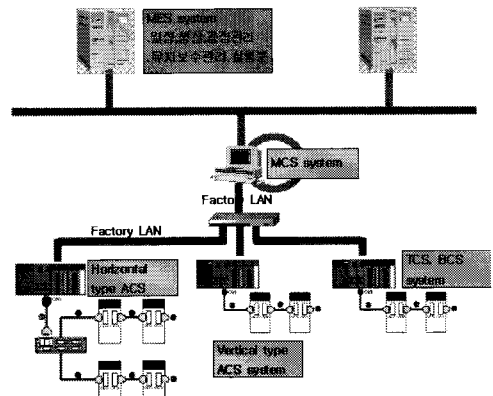
글라스의 크기별 접촉가능면을 바탕으로 그림 13과 같이 비접촉 진공장치를 이용한 시제품을 제작하였다. 시제품을 이용하여 실제 이송작업 수행결과 접촉흔집은 발견되지 않았으며 접촉은 하지만 전체면적에 대한 문제점은 발견되지 않음을 알 수 있다.



[그림 13] 비접촉진공장치를 이용한 시제품

2.4 제어시스템

MCS(Manufacture Control Server)라고 불리는 제어시스템은 물류반송 제어시스템 전반의 이송 및 반송을 제어 관리한다. MCS의 주요기능으로는 최적의 반송경로 선정 및 반송실행, 원격모니터링 및 제어, 각종 반송관련 정보조회, 자동오류복구 등이 있다. MCS의 시스템 구성은 ACS(Air-floating Conveyor Control System), TCS(Transport Control System), BCS(Buffering Control System)등으로 나뉘며 다음의 그림 15와 같이 각 모듈별 시스템을 Factory LAN망을 통하여 MCS시스템으로 전송하여 각 모듈의 기능을 공유한다.



[그림 14] MCS 구성도

3. 시험결과

본 개발의 시스템에서 부양간극, 부양간극오차, 글라스 이송속도, 정지정밀도, 이송장치내부 청정도에 대해서 개발목표치에 대한 성능평가를 실시하였다. 다음의 표 1은 다양한 시험에 대한 결과이다.

[표 1] 시제품의 시험결과

시험 항목		개발목표치	실제측정값
부양간극 (μ m)	이송시	500	501.9
	정지시	300	304.0
부양간극 오차(μ m)	이송시	± 40	± 2.4
	정지시	± 20	± 6.0
글라스 이송속도 (m/min)	수평이송	20	21.8
	경사이송	10	11.6
정지정밀도(mm)		± 1	-0.32

광학 변위센서를 이용하여 수평/경사이송의 부양간극을 20회 측정된 결과 정지시 부양간극은 평균 304.0 μ m, 부양간극의 오차는 $\pm 6.0\mu$ m 이송시 부양간극은 501.9 μ m, 부양간극오차는 $\pm 2.4\mu$ m로 개발목표치에 근접하는 결과를 얻을 수 있었다.

포토센서가 ON되는 시간을 계측하여 속도를 측정하였다. 20회를 측정된 값의 평균은 수평이송시 21.8m/min, 경사이송시 11.6m/min으로 개발목표치에 근사한 값을 나타내었다.

최초의 출발지점과 정지지점을 인식시키고, 두 지점 거리(2m)사이에 글라스를 전후로 반복 이송하면서 다이얼게이지로 정지지점의 측정값을 20회 측정하였다. 이때의 평균값은 -0.32mm로 본 과제의 개발목표치인 ± 1 mm보다 뛰어난 정밀도를 보이고 있다.

청정도 실험을 위해 (재)부산테크노파크 MEMS/NANO부품생산센터에서 보유하고 있는 Class100 클린룸에서 수평이송장비를 구동하여 청정도를 실험하였다. 클린룸 내부에 본 개발의 수평이송장비를 설치하고 시제품 미반입 상태, 시제품을 반입 후 미가동상태, 시제품을 구동하는 3가지 조건에서 클린룸의 상태를 측정하였다. 장비 반입 전 5회, 반입 후 미가동 상태 3회, 가동 후 3회에 걸쳐 측정된 결과 전부 0 CFM으로 측정되어 클린룸 내에서도 가공할 수 있는 조건을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

LCD글라스를 날장으로 이송할 수 있는 이송장치, 배급장치, 수평/경사 변환장치, 제어시스템 등으로 구성되는 비접촉 공기부상 이송시스템을 구현하였다. ANSYS, CFX 등의 유한요소 해석 및 유체해석 소프트웨어를 이용하였으며 이러한 결과에 따라 시제품을 제작하였고 시운전에 발생하는 문제점을 해결하여 최적화된 시스템을 구현하여 실제 공정에 적용할 수 있었다. 이러한 시스

템은 본 개발에서 적용된 7세대 글라스에 즉시 적용할 수 있으며 본 개발에서 수행한 개발절차에 따라 개발과정을 수행할 경우 보다 손쉽게 이송시스템을 구성할 수 있을 것으로 사료된다. 이는 나날이 대형화 되어가는 글라스의 세대에 맞추어 이송 및 가공공정 관련 장비개발에 탄력적으로 적용할 수 있다.

개발된 내용을 기반으로 패넬업체와의 긴밀한 협약을 통하여 원천기술을 확보하여 수입대체효과를 가지고, 나아가 해외 LCD 시장을 선점할 수 있을 것으로 기대한다.

5. 참고문헌

- [1] 노태정, 손태영, “공기부상 FPD 이송장치에서 다공질 판과 글래스 사이의 공기유동 해석”, 한국산학기술학회논문지, 제9권제4호, pp.878 ~ 885, 2008.
- [2] 황성현, 최현창, 노태정, 손태영, 박범석, “비접촉 평판 디스플레이 이송장치에서 양력을 고려한 평판 디스플레이의 처짐 해석”, 대한기계학회논문집 A권, 제32권제5호, pp.451~457, 2008.
- [3] 김도훈, 박형준, 문희곤, 이지훈, 노태정, 박범석, “LabVIEW를 이용한 LCD용 공기부상이송자동화의 Nozzle 압력측정에 관한 연구”, 2007 대한기계학회 추계학술발표 논문집, pp.881 ~ 886, 2007.10.
- [4] 손태영, 최범석, 노태정, 최현창, 공기훈, 권장렬, “FPD 이송시스템의 유로망 해석에 관한 연구”, 한국창조공학회지, 제39권제1호 pp.85~92, 2006.
- [5] I. H. Moon, "Evaluation of a Propulsion Force Coefficients for Transportation of Wafers in an Air Levitation System", collected papers of *The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol.16, No.9, pp.820~828, 2004.

6. 개발근거자료

항 목	내 용
산학 과제명	지역산업기술개발사업(지경부)
참여업체 및 연락처	(주)엠엔엘 055-342-1635
학연기관, 부서 및 연락처	동명대학교 메카트로닉스공학과
저자 연락처	노태정 tjlho@tu.ac.kr
연구 및 개발기간	2004.12 ~ 2007.8

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



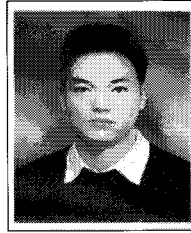
- 1984년2월: 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년2월: KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년8월: KAIST 정밀기계공학(공학박사)
- 1986년2월~1999년2월: 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1993년 3월 현재: 동명대학교 메카트로닉스공학과 부교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, FAB 자동화, LCD물류반송 자동화, 항만하역설비 자동화 등

이 옥 진(Wook-Jin Lee)

[준회원]



- 2008년 2월: 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 석사과정

<관심분야>

디지털 제어, 구조해석, Robotics 등