

## 공기부양 이송시스템 개념설계를 위한 전산유동해석

장혁수\*, 박영재(성균관대 대학원 기계공학과), 장윤석, 최재봉, 김영진(성균관대 기계공학부),  
천풍환, 공재연(주멕스코리아)

### CFD Analysis for Concept Design of Air Levitation Transport System

H. S. Chang, Y. J. Park(Dept. of Mech. Eng., Graduate school of SKKU), Y. S. Chang, J. B. Choi, Y. J. Kim(School of Mech. Eng., SKKU), P. H. Chun, J. Y. Kong(MecsKorea Co.)

#### ABSTRACT

Conveyor-type transporters have been widely used as a typical delivery system of semi-conductor, FPD and other IT-related products. However, as the IT-product is getting larger in size and higher in resolution, several problems are caused by mechanical contacts between the transporter and target object. In this context, recently, lots of efforts are being devoted for development of various contact-free handling systems to get rid of defects and oil contaminations. The objectives of this paper are to characterize suspension mechanisms and to investigate air flow effects on air levitation transport system. For this purpose, a series of CFD analyses were carried out and the simulation data showed a good agreement with the corresponding experimental ones. It is anticipated that the promising result can be used as a basis for concept design of the transport system.

**Key Words :** Air Levitation Transport System (공기부양 이송시스템), CFD analysis (전산유동해석), FPD (평판디스플레이), Levitation Force (부양력), Restitution Force (복원력)

#### 1. 서론

최근 평판 디스플레이(Flat Panel Display: FPD) 장비의 대형화 및 고해상도화 추세에 따라 혁신적인 생산공정의 개발과 보다 정밀한 작업의 수행이 요구되고 있다. FPD 생산공정에서의 불량은 주로 기계적인 접촉에 의한 스크래치(scratch)나 점/선 결함 등의 형태로 발생하므로, 불량 유발 인자의 제거 및 감소는 현안문제 해결뿐만 아니라 향후 생산성 향상을 위해서도 필수적이다. 산업체에서는 이를 해결하기 위한 대책의 하나로 비접촉 방식의 이송시스템 개발에 상당한 노력을 기울이고 있다.[1]

비접촉 이송시스템은 크게 청정공기를 이용하여 부상시키는 방식과 자기를 이용하여 부상시키는 방식, 선형모터(linear motor)로 부상시켜 이송하는 방식 등으로 대별할 수 있으나, 현재까지 정보화기기 제조공정에서 상용화된 장치는 없는 것으로 알려져 있다.[2] 특히 공기를 이용한 비접촉 이송시스템의 경우, 장비에 유입되는 유량과 FPD 부상 높이 등이 정확하게 제어되어야 하나, 이에 필요한 상세사항은 공개되지 않고 있다.

본 논문에서는 공기를 이용한 비접촉 이송장비 개발에 필요한 데이터 확보 목적으로 전산유체동역학(Computational Fluid Dynamics: CFD) 해석을 통해 부양 및 복원 특성을 명확히 규명하고, 수치해석 결과를 단순모형(simplified mock-up) 시스템을 이용한 실험결과와 비교하여 타당성을 검증하고자 한다.

#### 2. 수치해석 모델 및 방법

Fig. 1은 비접촉 이송장비를 구성하는 기본요소인 단일 패드(single pad)의 형상과 대표적인 유체요소망을 나타낸 것이다. 수치해석 모델은 상용 프로그램인 Inventor를 이용하여 생성하고 요소망은 Gambit으로 작성하였으며, 이때 패드에 연결되는 관 길이는 최소 유동 발달 길이[3]보다 길게 설정하였다. 단순모형 시스템의 경우 단일 패드 4개를 370X325 mm의 간격으로 좌우 및 상하 대칭으로 배치하였으며, 각각의 요소망은 단일 패드와 동일하게 구성하였다.

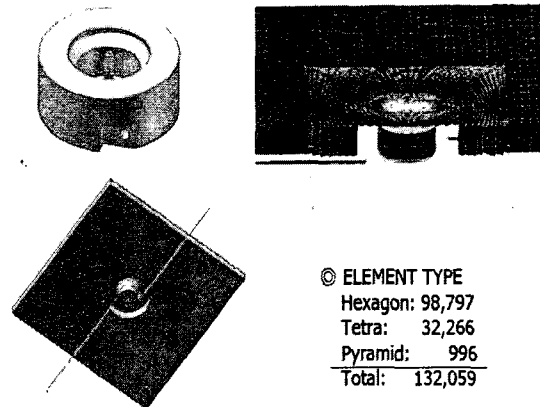
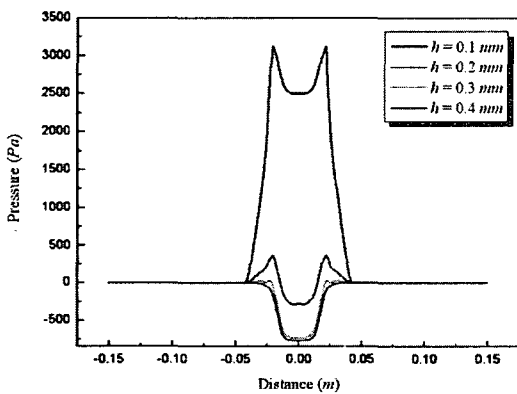


Fig. 1 Single pad and related CFD mesh

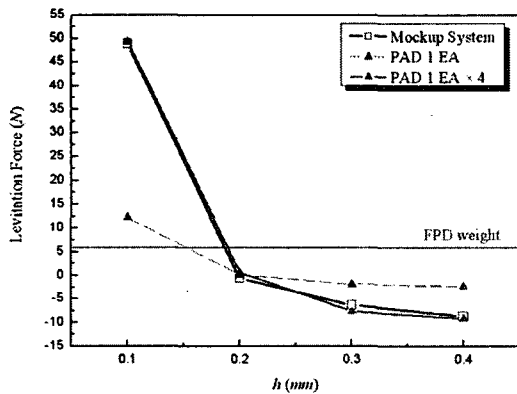
CFD 해석을 위해 FLUENT를 사용하였다. 대표적인 유량 값은 유량계로 측정된 17.8 l/min를 적용하였으나, 유량 변화에 따른 영향을 확인하기 위해 추가적인 해석을 수행하였다. 또한 공기 유입에 따라 FPD의 부양 높이가 달라지므로, 패드와 FPD 사이의 간극( $h$ )을 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mm로 변화시킨 모델을 사용하여 해석을 수행하였다. 수치해석 모델의 끝단은 대기압 조건을 주어 패드 내부로 유입된 공기가 외부로 빠져나가는 현상을 모사하였다.

### 3. 수치해석 결과

Fig. 2는 CFD 해석 결과를 도식적으로 나타낸 것이다.[4] Fig. 2(a)는 패드에 공기가 유입되었을 때 FPD에 작용하는 압력선도를 보여주는 것이며, Fig. 2(b)는 압력을 FPD 면적에 대해 적분한 후 부양력으로 환산한 결과를 도식한 것이다. 그림에 나타낸 바와 같이 간극이 0.18 mm일 때, 6.23 N인 FPD의 자중과 부양력이 평형에 이른다. 이를 통해 단순모형 시스템의 경우 0.18 mm를 기준으로 FPD의 부양 특성을 나타낼 것임을 예측할 수 있으며, 실제로 단



(a) Pressure distributions



(b) Levitation diagram

Fig. 2 CFD analysis results

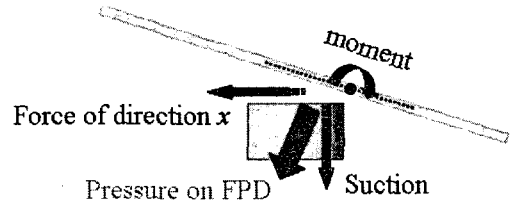


Fig. 3 Principal of FPD restitution

순모형 시스템을 이용한 실험에서 부양 높이는 0.19 mm로 측정되었다. 따라서 본 연구에서 수행한 CFD 해석 결과는 타당한 것으로 판단된다.

한편 Fig. 3은 부양된 FPD가 단일 패드의 중심으로부터 이탈하였다가 다시 복원되는 현상을 설명하기 위한 것이다. 외력 등으로 인해 중심에서 벗어난 FPD는 점차 기울어지게 되는데, 일정 각도 이상 기울어지면 부양 및 흡입 특성이 변화하게 되고 복원을 유발하는 모멘트가 발생하는 것으로 해석되었다. 이러한 복원 현상은 실제 단순모형 시스템에서 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 공기를 이용한 비접촉 이송장비 설계를 위해 단일 패드 및 단순모형 시스템에 대한 CFD 해석을 수행하였으며, 여기서 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 수치해석을 통해 예측한 단순모형 시스템의 FPD 부양 높이는 0.18 mm로써, 실험 결과와 거의 일치하였다.
- (2) FPD가 지속적으로 부양되는 원인은 부양 및 흡입 특성의 변화와 복원 모멘트의 발생에 기인하는 것으로 생각된다.
- (3) 현재 해석결과를 기반으로 비접촉 이송장비의 개념설계를 수행중에 있다.

### 참고문헌

1. Matsuo, E., Koike, Y., Nakamura, K., Ueha, S. and Hashimoto, Y., "Holding Characteristics of Planar Objects Suspended by Near-field Acoustic Levitation," *Ultrasonics*, Vol. 38, pp. 60-63, 2000
2. 문인호, 황영규, "공기부상방식 반도체 웨이퍼 이송시스템의 추진력계수," *설비공학논문집*, 제 16 권, 제 9 호, pp. 820-827, 2004.
3. Flank M. White, "Fluid Mechanics," McGrawHill, pp. 377, 2003.
4. Kim Y.J., Choi J.B., Chang Y.S., Beak S.H., Kim T.S., Park Y.J., Lee S.M., Song K.H., Ko H.O., Kim J.M. and Jo D.K., "Simulation of Next Generation FPD & Semiconductor Handler System: Fundamental Research II," SungKyunKwan Univ, Suwon, 2006