공기부상방식 반도체 웨이퍼 이송시스템의 추진력계수

문 인 호†, 황 영 규*
(주)신성이엔지 기술연구소, *성균관대학교 기계공학부

Evaluation of a Propulsion Force Coefficients for Transportation of Wafers in an Air Levitation System

In-Ho Moon†, Young-Kyu Hwang*
Institute of Technology, Shinsung ENG Co. Ltd., Seongnam 463-420, Korea
**Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea*

(Received March 22, 2004; revision received July 14, 2004)

ABSTRACT: The propulsion force acting on a wafer in an air levitation system was measured accurately and then, the corresponding force coefficient was determined. The theoretical propulsion force on the wafer bottom surface were obtained by CFD simulations and from these results the propulsion force coefficient was deduced. The transportation velocity of a wafer was estimated by using both experimental and numerical force coefficients, for various air velocity of nozzle injection. When the numerical results are compared to the experimental data, the numerical results agree well quantitatively.

Key words: Cleanroom(클린룸), Wafer(웨이퍼), Clean tube(클린튜브), Propulsion force coefficient(추진력계수), Air levitation(공기부상), Recovering(복원), Track(트랙)

기 호 설 명

A : 분사구멍의 단면적 [m^2]
C_D : 항력계수
C_p : 추진력계수
d : 추진 노즐의 지름 [m]
D : 웨이퍼의 직경 [m]
D_1 : 웨이퍼 상부에 작용하는 마찰저항 [N]
D_2 : 웨이퍼 끝단면에 작용하는 항력 [N]
D_3 : 웨이퍼의 하면에 작용하는 마찰저항 [N]
F : 가스분출에 의해 발생되는 동압력의 접선 요소 성분의 총합 [N]
F_x : 가스분출에 의해 발생되는 동압력의 접선 요소 성분 [N]
h : 웨이퍼의 부상 높이 [m]
l : 경계층 두께 [m]
N : 웨이퍼 한 장에 의해 덮여지는 분사 구멍의 갯수
q : 노즐 한 개당 토출유량 [m^3/s]
r : 반경방향 거리 [m]
R : 웨이퍼 반지름 [m]
v : 가스의 평균 속도 [m/s]
V : 추진방향의 웨이퍼 이송속도 [m/s]

그리스 문자

θ : 추진 노즐의 경사각 [deg]
μ : 점성계수 [Pa·s]

† Corresponding author
Tel.: +82-31-7889-301; fax: +82-31-7889-440
E-mail address: moonih@shinsung.co.kr

ν : 동점성계수 [m^2/s]
ρ : 가스의 밀도 [kg/m^3]
τ_0 : 전단응력 [N/m^2]

1. 서 론

차세대 반도체 및 LCD 시장에서 지속적인 가격경쟁력 확보를 위한 수단으로 반도체 제조용 웨이퍼의 대구경화 및 LCD 유리의 대형화, 제조공정의 수율 향상, 공정능력 향상으로 재공품 최소화 등을 실현하지 않으면 안되게 되었다. 특히 재공품을 최소화하는 방안으로 대두되는 방식이 이송시스템을 기존의 카세트(cassette) 이송시스템에서 낱장이송시스템으로 전환하는 방식이다. 일본에서는 이송공정을 낱장이송 방식으로 전환할 경우 TAT(Turn Around Time)가 5배 이상 단축되어 재공품 감소로 경영능력이 향상될 수 있으며, 제조기간이 길어 제품의 판매기회가 상실되는 것을 방지하고 시장을 선점할 수 있는 기회가 될 수 있다는 연구보고가 발표되었다.[1]

낱장이송시스템은 크게 청정공기를 이용하여 부상시키는 방식과 자기를 이용하여 부상시키는 방법, 리니어 모터(linear motor)로 부상시켜 이송하는 방식으로 대별할 수 있으며, 현재까지 반도체 공정이나 LCD 제조공정에서 상용화된 장치는 없는 것으로 알려지고 있다. 최근 국내에서도 이러한 연구결과에 근거하여 우선적으로 LCD 제조공정에서 LCD 유리판이 대형화됨에 따라 낱장이송시스템의 도입을 적극적으로 검토하고 있다.

국내 관련연구로서는 공기부상 방식을 채용하는 웨이퍼 이송시스템인 클린 튜브 시스템에서, 공기를 분사하여 웨이퍼를 부상시키는 기능과 부상된 웨이퍼를 일정지점까지 이송되도록 추진시키는 기능에 관하여 이론적으로 검토하고 각 조건에 따른 이들의 특성들을 해석하여 시스템 설계에 필요한 기초자료로 제시한 논문이 Moon et al.[2]에 의해 2002년 발표된 적이 있다.

국외 연구 결과는 일본이 미국의 IBM 사에서 Paivanas 등이 발표한 자료[3]를 근거로 실험한 다음, 시스템의 장점만을 부각시키는 새로운 개념의 공기부상 이송시스템을 개발하고 6인치(inch) 웨이퍼의 이송특성들이 Toda et al.[4,5]에 의해 밝혀졌다.

본 연구에서는 공기부상 방식 웨이퍼 이송시스템의 추진력계수가 직경 300 mm 웨이퍼의 이송속도 및 안정성에 미치는 영향에 관하여 상용 프로그램(FLUENT)을 사용하여 얻은 수치적 계산값과 실제 실험을 통하여 얻은 값을 비교한 결과 상호 잘 일치함을 밝히고, 계산값 사용의 유용성을 보이고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

300 mm용 반도체 웨이퍼용 공기부상 이송장치의 실험장치는 Fig. 1과 같으며, 양쪽에 제어 트랙(control track), 가운데에는 이송 트랙(transfer track) 3개 설치하였으며 제어트랙 중심간 길이는 2.072 m이다. 트랙 하부에는 압축 청정공기 공급용 챔버(chamber)와 유량 조절용 제어장치(전자밸브 및 유량계 포함)가 설치되어 있다. 제어 트랙의 노즐설치 방향을 포함한 세부사항은 Fig. 2에, 이송 트랙은 Fig. 3에 나타내고 있다.

제어 트랙에서 사방 모서리부분 중심을 향한 경사진 화살표는 복원력 방향을 나타내는 것이고 중심선 부분 화살표는 웨이퍼의 이동방향을 나타내고 있다. 웨이퍼의 부상력과 복원력을 주기 위

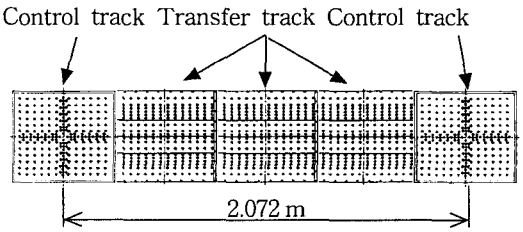

Fig. 1 Array of control and transfer tracks.

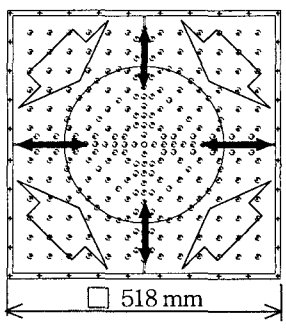

Fig. 2 Detail of a control track.

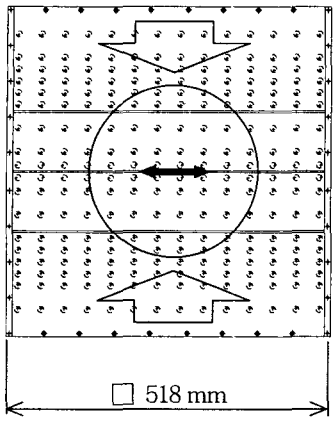

Fig. 3 Detail of a transfer track.

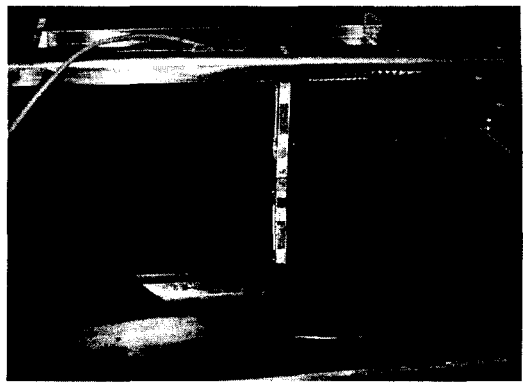

Fig. 4 Propulsion and recovering force measurement.

한 노즐은 중심을 향하여 22°, 이송용 노즐은 웨이퍼 이송방향으로 45° 경사지게 설치되어 있다.

이송 트랙 또한 복원력의 방향은 중심선을 향하여 마주보는 외부의 큰 화살표로 나타내었다. 부상력과 복원력을 주기 위한 노즐은 중심을 향해 대칭으로 22° 기울어져 있고, 웨이퍼 이송은 가운데 화살표 방향이며 추진용 노즐은 제어 트랙과 마찬가지로 이송방향으로 45° 경사졌다.

제어 트랙에서 부상 및 복원력을 주기 위한 노즐의 피치는 37 mm로 균등하게 배치하고 이송 트랙의 부상 및 복원력을 주기 위한 노즐 피치는 외부 한 줄과 내부 두 줄은 37 mm, 중간부분 네 줄은 18.5 mm로 배치하여 웨이퍼가 초기에 중심을 벗어나고자 할 경우 큰 복원력을 주어 안전하게 이송될 수 있도록 하였다. 제어 트랙에서의 추진 노즐 배치는 추진하는 방향의 전단에 2줄로 피치를 74 mm로 배치하고 후단에는 가운데 1줄로 피치를 37 mm로 배치하였으며, 이송 트랙에서의 추진 노즐은 2줄로 피치 74 mm로 배치하였다. 추진이나 부상 및 이송용 노즐의 지름은 0.5 mm로 제작하였다.

2.2 실험방법

이송 트랙에서 추진력과 복원력을 측정하는 모습을 Fig. 4에 나타내었다. 추진력 측정은 측정범위가 0.01~200 g인 정밀 로드셀(CAS)과 로드셀의 전류값을 중량단위로 변환하는 인디케이터를 사용하였다. 먼저 이송 트랙의 평형을 맞춘 다음 그림과 같이 트랙을 가로지르는 지지대를 설치하고 로드셀을 고정하였다. 웨이퍼 하부에서 부상력과 추진력을 주기 위해 공급되는 공기가 측정지점을 통과하면서 로드셀에 의해 감지되는 값을 배경(background)값으로 취하였으며, 이 값은 웨이퍼를 로드셀에 닿지 않을 정도로 근접시켰을 때의 힘을 측정하여 기록하였다. 측정값은 여러 번 측정하여 평균하였으며, 측정할 때마다 영점조정을 하여 오차를 줄이도록 하였다.

복원력은 중심선 기준으로 외부로 이동시키면서 측정하고, 추진력은 추진 노즐의 유량을 변화시키면서 측정하였다. 측정방법은 웨이퍼를 로드셀의 측정부위에 근접시키고 웨이퍼가 로드셀에 가볍게 닿도록 한 다음 정적인 힘을 측정하고 이 값에서 배경값을 빼서 실제 웨이퍼에 가해지는 순수한 힘만을 측정하였다.

3. 이론적 계산

3.1 해석모델

부상된 웨이퍼의 이송에 관련된 힘들을 Fig. 5에 나타내었다. 노즐에서 분사된 공기의 정압에 의한 웨이퍼의 부상과는 다르게, 노즐에서 분사되는 제트의 충돌시 운동량 변화에 의한 접선방향 힘과 웨이퍼 면들에 작용하는 항력들과의 합에 의해서 웨이퍼가 이동한다. 여기서 가스 분사 노즐은 트랙에 수직한 선을 기준으로 웨이퍼 진행방향으로 각도 θ만큼 경사져 있다.

웨이퍼 아래위 표면 거칠기는 매우 매끈한 면으로 동일한 상태이며, 노즐에서 분사되는 공기

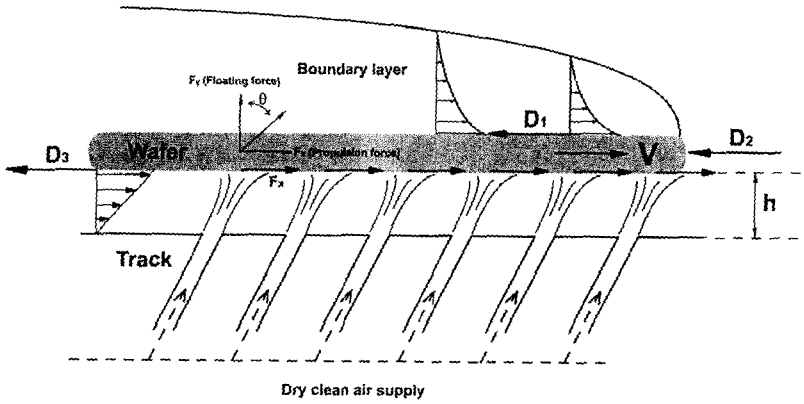

Fig. 5 Analysis model.

는 층류 유동, 벽면의 점성을 고려한 벽면 점착 조건 등을 가정하면 식(1)과 같은 웨이퍼 운동방정식으로 표현할 수 있다.[3]

$$m\frac{dV}{dt} = F - D_1 - D_2 - D_3 \tag{1}$$

추진 노즐에 의해서 웨이퍼 이송방향으로 작용하는 힘의 계산은 웨이퍼가 정지되어 있는 상태로 가정하면 주위의 공기 유동이 없으므로 마찰저항 D_1, 항력 D_2, 마찰저항 D_3가 모두 0으로 되어 식(2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} F &= N \times F_x \\ F_x &= \frac{1}{2} C_p \left(\frac{\rho q^2}{A} \right) \sin\theta \end{aligned} \tag{2}$$

따라서 이 식들을 이용하여 웨이퍼에 작용하는 복원력과 추진력을 계산할 수 있다. 한편 웨이퍼가 이송함에 따라 반대급부로 작용하는 저항력은 웨이퍼 상부면에 작용하는 마찰저항(D_1)과 끝단면에 작용하는 항력(D_2), 웨이퍼의 하부면에 작용하는 마찰저항(D_3)의 전체 힘의 합으로 주어질 수 있다.

$$D_1 = 2\int_0^R \left[\int_0^{2\sqrt{r(2R-r)}} \tau_0 \, dl \right] dr \tag{3}$$

$$D_2 = C_D \frac{\rho V^2}{2} A \tag{4}$$

$$D_3 = \frac{\pi D^2}{4} \mu \frac{V}{h} \tag{5}$$

여기에서, $\tau_0 = 0.332 \mu V \sqrt{V/\nu l}$ 이다.

웨이퍼 이송시 전단에서 받는 항력계수 C_D는 2.05를 적용하였으며,[6] 웨이퍼의 추진력을 계산하기 위하여 다음과 같은 가정을 도입하였다.

(1) 웨이퍼 상부면과 하부면의 거칠기는 동일하며, 국부적인 거칠기 변화에 따른 마찰력의 변화는 무시한다.

(2) 제어 트랙의 상부면과 웨이퍼 하부면에서의 유동은 모두 층류 유동이다.

(3) 이송중 웨이퍼 하부면에 공기의 불균일 분포에 의한 미세한 속도변화는 무시한다.

(4) 추진을 시작하여 웨이퍼가 이송이 시작되는 지점에서부터 받게 되는 부상용 노즐에 의한 저항은 무시한다.

3.2 수치해석방법

본 연구에서는 웨이퍼의 이송속도 계산을 위해서는 식(1)의 수치해를 구하는 방법을 사용하였으며, 추진력계수를 구하기 위해서는 상용 프로그램을 활용하였다.

먼저 추진속도를 구하기 위한 계산은 시간에 대한 이산화를 수행하여 편미방방정식(1)의 수치해를 구하여 주 위치에서의 속도를 구하였다.

$$m\frac{dV}{dt} = F_x - D_1 - D_2 - D_3 = RES \tag{6}$$

식(6)을 시간에 대하여 Adam-bashforth method를 적용하여 이산화하였다.[7] 웨이퍼 정지시간의 정의는 웨이퍼가 움직이는 속도 범위를 10^{-7} m/s 이하가 되도록 하였으며, 이때를 정지한 것으로 판단하여 프로그램을 종료시켰다. 웨이퍼가 추진하기 전에는 하부에 추진 노즐이 16개 존재하고 있으며, 웨이퍼가 추진력을 받아 이동하게 되면 추진방향의 뒤쪽에 위치한 노즐은 웨이퍼가 피치만큼 이동에 해당되는 노즐수량을 제거하는 방법을 이용하였다. 노즐 토출 유량은 분사 노즐 토출 속도 기준으로 100~150 m/s까지 변화시키며 해석하였다.

추진력계수 계산을 위한 전산해석은 트랙의 추진 노즐은 공기분사 구멍의 지름이 0.5 mm인 반면에 피치가 37 mm로, 서로간 거리가 충분히 크므로 노즐 간의 상호 간섭효과를 무시하고 한 개의 노즐에 대하여 유동상태를 해석하였다.

노즐에서 토출된 분류는 2차원 원주방향으로 확산되기 때문에 토출 기류의 유속은 급격히 감소한다. 따라서 원주방향 길이를 노즐 직경의 20배로 설정하였다. Fig. 6은 3차원 해석형상을 나타낸다. 부상 높이는 0.4 mm, 노즐 직경은 0.5 mm, 추진 노즐의 각도는 45°이며 웨이퍼에서의 계산영역은 직경 10 mm로 가정하였다.

노즐에서 토출된 기류는 웨이퍼의 하부 벽면에 작용하여 추진력과 부상력을 나타내므로 웨이퍼 밑면의 경계층이 매우 중요하다. 본 연구에서의 유동해석은 상용 코드(FLUENT)를 사용하였으며, 경계층 유동을 적절히 표현하기 위해서 벽면에 격자를 밀집시키는 점성 격자망(viscous mesh)을 이용하였다. 본 계산에서의 유량은 하부 압력 챔버의 영향을 무시하고 분사 노즐 토출 속도 기준으로 50~150 m/s까지 변화시키며 해석하였다.

수치해석에서 유동은 밀도가 일정한 정상상태의 비압축성 난류유동이며, 입구조건은 노즐 평균속도, 출구조건은 대기압조건을 적용하였다. 난류 모델로는 $k-\omega$ 모델의 식에서 벽면 근처와 외부 유동영역 모두 정확하게 작용하는 것을 보장하기 위하여 배합함수(blending function)와 ω식에 교차확산(cross-diffusion)항을 추가한 SST $k-\omega$ 모델을 적용하였다.[6]

본 연구에서 수치해석을 위해 입력변수로 사용한 추진 노즐의 토출 유속 150 m/s는 압축성 유동으로 해석할 때와 비압축성 유동으로 해석할 경우 밀도 차이가 약 9% 가량 발생한다. 그러나 실제적으로 본 장치에서 주로 사용되는 토출 노즐의 유속은 약 100 m/s 내외이므로, 최대 노즐의 토출 유속이 약간의 오차를 포함하고 있으나 분석을 위하여 150 m/s 속도 영역까지 확장하여 비압축성 유동으로 가정하고 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 분사 노즐 속도분포

추진 노즐이 경사져 있기 때문에 노즐에서 토출된 분류는 대부분이 추진방향으로 흐른다. 이때 웨이퍼 하면에 발생하는 표면 마찰력과 전단응력을 계산하여 추진력을 구하는 데 이용하고자 하였다. Fig. 7은 노즐의 각도 45°이며, 토출 평균유속이 100 m/s인 경우 대칭 단면의 속도 선도를 나타낸다. 노즐에서 토출된 기류는 웨이퍼의 벽면에 충돌한 후 추진방향으로 흘러가고 트랙면

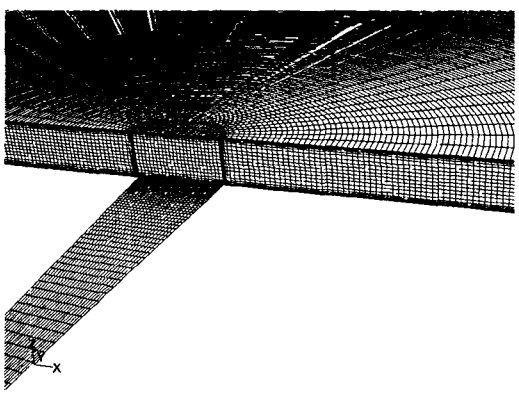

Fig. 6 Grid for analysis.

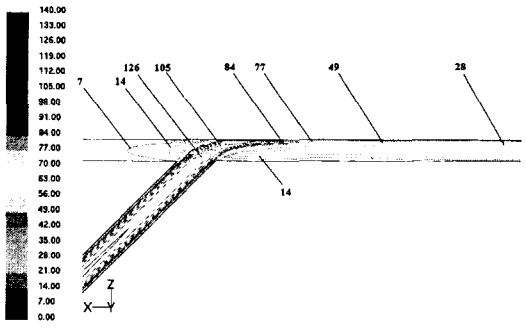

Fig. 7 Contours of velocity magnitude (m/s).

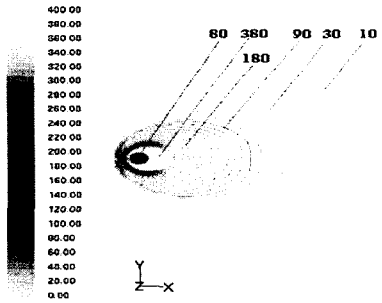

Fig. 8 Contours of skin friction coefficient.

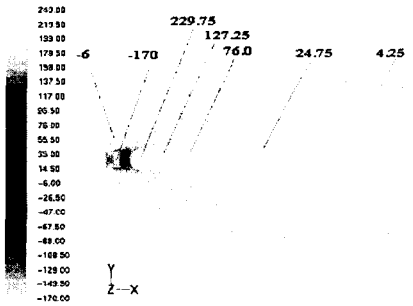

Fig. 9 Contours of x-direct wall shear stress (Pa).

부근에서는 상대적으로 유속이 매우 느리게 나타나며 웨이퍼 벽면 근처 유동은 경계층이 매우 얇음을 알 수 있다. 경계층의 두께가 얇고 속도 차이가 크게 발생할수록 추진력은 커지게 된다.

표면 마찰계수 분포는 Fig. 8에 도시된 바와 같이 표면 마찰계수값이 일부 추진 반대방향으로 나타나고 있으나 대부분 추진방향으로 고르게 분포되어 있는 결과로, 이 표면 마찰력이 웨이퍼가 이송되는 힘의 원천임을 알 수 있다. 벽면 전단응력은 Fig. 9에 나타낸 전단응력 분포곡선들과 같이 대부분은 추진방향으로 작용하고 있으나, 일부 유동은 웨이퍼에 충돌한 후 추진 반대방향으로 유동이 발생하고 있다. 이러한 유동은 웨이퍼의 추진을 방해하는 요소로 작용하므로 추진력 계산시에는 이 값만큼 빼 주었다.

4.2 노즐 분사속도에 따른 추진력과 복원력

이송트랙에서의 노즐 하나에 대한 추진력과 복원력을 실험으로 측정한 값과 전산해석으로 구한 값을 Fig. 10에 나타내었다. 복원력은 노즐의 유

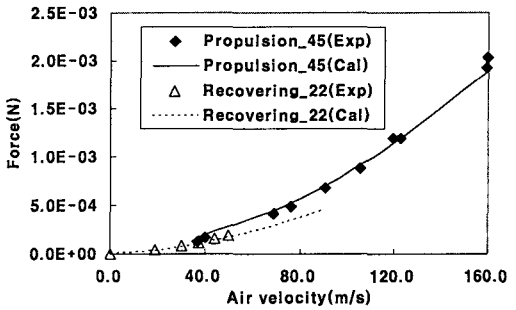

Fig. 10 Recovering and propulsion forces with air velocity.

속을 약 90 m/s, 추진력의 경우 노즐의 유속을 약 150 m/s까지 변화시키면서 수행하였다.

마름모(◆) 포인트는 45° 추진노즐에 대한 실험값이고 실선은 전산해석으로 계산한 값, 속이 빈 삼각 포인트(△)는 22° 복원노즐에 대한 실험값, 점선은 전산해석 결과를 나타낸 것이다.

노즐 유속이 느린 영역에서는 복원력이 매우 적고 완만하게 증가하는 경향을 보인다. 추진력은 노즐 유속이 증가할수록 2차 곡선 형태로 증가하는 경향을 보였다. 추진노즐 유속이 100 m/s 근처에서는 계산값과 실험값이 대체로 일치하고 있으나 150 m/s 근처에서는 실험값이 좀더 큰 결과를 나타내고 있다. 향후 계산시 추진노즐 유속이 150 m/s 이하에서는 계산값을 활용하여도 오차가 크게 발생하지 않음을 알 수 있다.

4.3 추진력계수

추진력계수 C_p는 수치계산 및 측정된 마찰력으로 식(2)를 이용하여 계산할 수 있다. 복원력용 노즐 22°와 추진력용 노즐 45°에서 웨이퍼 진행방향의 속도성분과 C_p값의 상관관계를 Fig. 11에 나타내었다. 복원력용 노즐에서 C_p값은 유속 50 m/s 이하의 C_p값이 1.5와 2 사이로, 실험값과 계산값에 차이가 있으나 유속이 증가함에 따라 추진력계수가 감소하는 경향은 일치하고 있다. 본 연구에서 이송 트랙 22° 복원력용 노즐의 복원력이 실험값과 이론값에 차이가 발생하는 이유에 대한 추가연구가 필요하다고 판단되어 여기에서는 결과에 대한 언급을 피하고 제어 트랙에서의 45° 추진력용 노즐에 대해서만 분석하기로 한다.

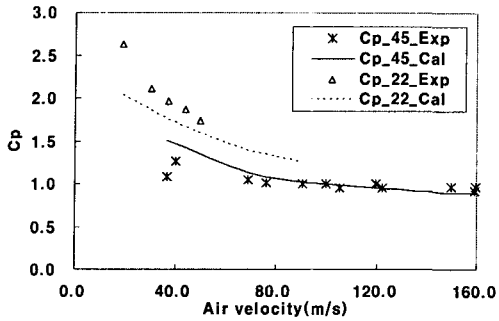

Fig. 11 Propulsion force coefficient (C_p) with air velocity.

추진력용 노즐의 C_p값은 약 0.8과 1 사이로 노즐 유속 약 80~150 m/s에서 실험값과 계산값은 매우 잘 일치하며, 이론적인 계산결과 추진력계수의 값을 구하기 위하여 아래 수식과 같은 분사노즐 유속의 함수로 표현할 수 있었다.

$$C_p = 3.2404v^{-0.2552} \tag{7}$$

4.4 추진속도

노즐 유속에 따라 추진력계수값이 변화함에 따른 웨이퍼 이송속도 변화값을 계산하여 Fig. 12에 나타내었다. 분사노즐 유속을 100~150 m/s로 변화시키고 계산과 실험으로 구한 추진력계수값을 입력값으로 설정하고 이 조건에 따른 웨이퍼 이송속도 변화값을 계산하였다.

이 결과에서 나타나는 바와 같이 분사노즐 유속이 100 m/s인 경우 추진력계수가 큰 차이를 보이지 않고 있으므로 웨이퍼 최대 이송속도도 실험값과 계산값이 동일하게 약 0.200 m/s, 노즐 유속이 125 m/s인 경우 웨이퍼 최대 이송속도는 계산값이 약 0.244 m/s이고 실험값이 약 0.252 m/s, 노즐 유속이 150 m/s인 경우 웨이퍼 최대 이송속도는 계산값이 약 0.286 m/s이고 실험값이 약 0.298 m/s로 나타났다.

추진노즐의 유속이 느린 경우에는 이론적 계산값과 실험값의 차이가 거의 발생하지 않고 있으나, 추진노즐의 유속이 빨라질수록 추진력계수값이 비례하여 커지고 웨이퍼 이송속도도 이론적인 계산값과 실험값과의 오차가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 추진노즐 유속이 빨라질수록 추진력계수는 실험값이 약 6~8% 커지는 반면 웨이퍼 이송속도는 실험값이 약 3~4% 가량 크게 나타나고 있다. 이는 이론적인 계산시에는 웨이퍼의 부상 높이를 0.4 mm로 일정하다고 가정하였으나, 실험시에는 추진노즐의 유속이 증가함에 따라 웨이퍼의 부상 높이가 높아져 하부에서의 저항값이 변화된 결과라고 판단된다.

실험으로 구한 전체 구간 평균속도는 추진노즐 유속 150 m/s인 경우 추진에서 정지할 때까지 시간을 측정하여 약 0.29 m/s로 나타났다. 따라서 실험값과 비교하기 위하여 평균하는 방법에 따른 웨이퍼 이송속도 변화를 Fig. 13에 나타내었다. 전구간 평균속도(total average velocity)는 웨이퍼가 출발하면서 정지할 때까지 전체 구역에 대한 평균속도이며, 일정구간 평균속도(partial average velocity)는 출발시 웨이퍼가 제어 트랙을 떠나는 시점에서 정지시 제어 트랙에 진입하는 순간까지의 이송 트랙 내에서의 평균속도, 최고속도(max-

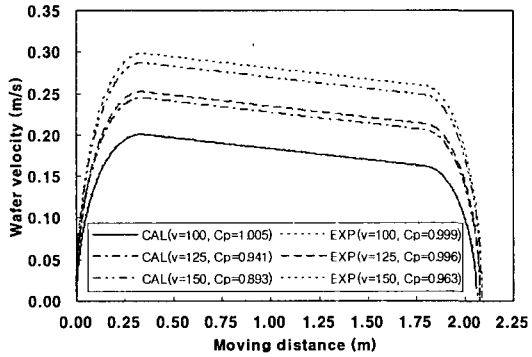

Fig. 12 Wafer velocity with moving distance for various injection air velocity.

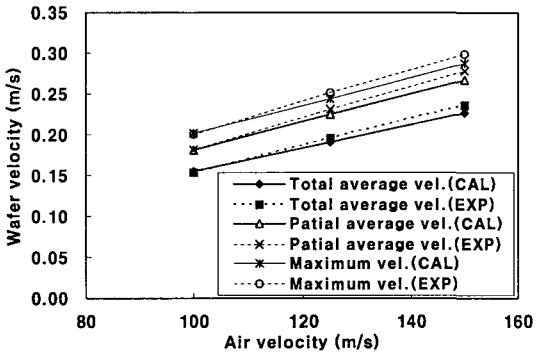

Fig. 13 Wafer velocity with injection air velocity.

imum velocity)는 가속이 끝난 지점에서의 최고 속도 기준이다.

그래프에서 나타나는 바와 같이 토출 유속이 100 m/s일 경우 웨이퍼 이송 속도는 전체 평균일 때 약 0.15 m/s, 일정구간 평균일 때 약 0.18 m/s, 최고속도일 때 약 0.2 m/s로 계산값과 실험값이 동일하게 나타났다. 유속이 125 m/s일 경우 웨이퍼 이송 속도는 전체 평균일 때 약 0.20 m/s, 일정구간 평균일 때 약 0.23 m/s, 최고속도일 때 약 0.25 m/s, 유속이 150 m/s일 경우 웨이퍼 이송 속도는 전체 평균일 때 약 0.22 m/s, 일정구간 평균일 때 약 0.26 m/s, 최고속도일 때 약 0.28 m/s로, 유속이 150 m/s 영역에서는 실험값이 평균적으로 약 0.01 m/s 높게 나타났다. 최고속도 대비 일정구간 평균속도와는 약 10% 이내, 전구간 평균속도와의 차이는 약 21~23% 정도 나는 것으로 나타났다. 분사노즐 유속 150 m/s 조건에서 실제 실험으로 구한 전체 구간 평균속도인 0.29 m/s와 근접한 속도 평균방법은 일정구간 평균속도 계산 결과와 가장 유사한 결과를 보였다.

웨이퍼 이송 속도의 평균방법에 관계없이 추진노즐 유속이 증가할수록 실험으로 구한 추진력계수를 이용한 속도 계산값이 수치계산의 추진력계수를 이용한 속도 계산값보다 약간씩 비례적으로 증가하는 경향을 보이는 경향을 보이고 있다. 이는 실제 웨이퍼 이송속도 측정시에는 노즐 토출속도에 비례하여 웨이퍼 부상 높이가 높아지나 웨이퍼 이송속도 계산시 부상 높이를 고정시킨 상태에서 토출시킨 결과와 관계가 있다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구는 300 mm 웨이퍼용 공기부상 방식 클린튜브 시스템의 이송 트랙과 제어 트랙에서 노즐의 유속에 따른 추진력계수를 수치해석으로 계산한 값과 실험값을 비교 검토하고, 일정구간에서 추진노즐의 유속에 따른 웨이퍼 이송속도를 구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 이송 트랙에서 정밀 로드셀을 사용하여 복원력 및 추진력을 측정한 결과 수치해석으로 계산한 값과 잘 일치하였다.

(2) 이송 트랙의 45° 추진노즐에서 구한 C_p값으로 제어 트랙의 추진노즐에 적용했을 때 오차율 ±10% 이내의 정확한 값을 구할 수 있었다.

(3) 추진력계수 C_p값은 일정구간에서 추진노즐의 공기 분사 속도의 함수로 표현됨을 알 수 있었다.

(4) 웨이퍼의 이송 속도는 C_p값을 실험으로 측정한 값과 수치적으로 계산한 값의 오차범위가 약 5% 이내로 매우 잘 일치하는 결과를 얻었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 공통핵심기술개발사업(과제명 : 차세대 반도체 웨이퍼 반송용 클린튜브 시스템 개발)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 사의를 표합니다.

참고문헌

1. Hayashi, T. U.(e-CATS), 2002, The revolution of semiconductor manufacturer required next generation, Semiconductor Industrial Newspaper Forum.
2. Moon, I. H., Hwang, Y. K., Cho S.-J. and Kim, D.-K., 2002, A study on the characteristics of semiconductor wafer transportation for levitation system, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, Vol. 2, pp. 1149-1154.
3. Paivanas, J. A. and Hassan, J. K., 1979, Air film system for handling semiconductor wafers, IBM Journal Research and Development, Vol. 23, pp. 361-375.
4. Toda, M., Shishido, M., Kanno, Y., Umeda, M., Nitta, T. and Ohmi, T., 1992, Wafer transportation through a tunnel filled with nitrogen gas, ICCCS Proceedings, pp. 173-183.
5. Toda, M., Ohmi, T., Kanno, Y. and Umeda, M., 1993, N_2 tunnel wafer transport system, Proceedings-Institute of Environmental Sciences, pp. 493-499.
6. Son, B. J., Maeng, J. S. and Lee, S. H., 1992, Fluid Mechanics, Heejoongdang, p. 1108.
7. Chen, C. J. and Jaw, S. Y., 1998, Fundamentals of Turbulence Modeling, Taylor & Francis, pp. 103-151.