

대평판 이송을 위한 비접촉 헤드 설계

김준현^{a*}, 김영글^a, 안성욱^a, 김용성^b

Design of Non-Contact Pick-Up Head for Carrying Large Flat Sheets

Joon Hyun Kim^{a*}, Young Geul Kim^a, Sung Wook Ahn^a, Young Sung Kim^b^a Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Republic of Korea^b Graduate School of NID Fusion Technology, Nano-IT Program, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, 139-743, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	11	September	2013
Revised	9	December	2013
Accepted	10	December	2013

Keywords:

Air cup
Air pad
Bernoulli cup
LCD glass sheet
Non-contact transportation
Pick-up head

ABSTRACT

This paper describes an improved model that can be used for configuring a non-contact pneumatic head to handle a large sheet of glass. The cylindrical head model is of a large size (70 mm). It operates on vortex flow, which can simultaneously generate suction and repulsion over the flat object's surface. The head allows for the minimal non-contact lifting of objects weighing over 3N by using reference conditions (working pressure and head dimensions). Additionally, a functional flow-guide is applied for inducing a developing tangential vortex flow to increase suction and repulsion to the reference head. The cylindrical flow-guide is associated with relatively low tangential velocity. The improved model generates greater lifting force than the reference model, as verified experimentally.

1. 서론

반도체 제조공정 등과 같은 클린 공정에서는 클린 환경 대응 이송 장치들이 사용되고 있다. 이러한 다양한 이송환경에서 한 공정에서 다른 공정으로 넘어가거나 특별한 공정 그 자체 내에서 웨이퍼 혹은 평판을 이송할 때 비접촉 파지방식이 많이 사용되고 있다.

특히 반도체 제조장치의 웨이퍼는 해마다 대형화와 고밀도화의 경향에 따라 사람의 손에 의한 운반이 곤란하게 되어 이미 웨이퍼의 이송을 담당하는 로봇 핸드에 진공 파지방식을 적용하는 공압 헤드나 모듈을 장착하여 사용하는 형태가 가장 보편화 되어 있다. 이러한 방식의 이송이 이루어지는 가장 큰 이유는 제조 공정에 가장 큰 영향을 미치는 미세분진(particle) 발생을 낮추어 공정의 수

율에 향상을 주기 때문이다.

최근에는 로봇 핸드와 웨이퍼 접촉면의 오염(contamination)을 최소화하기 위하여 진공 파지방식을 혼용하거나 웨이퍼의 가장자리만을 핸들링해서 웨이퍼를 이송하는 edge grip 방식의 도입도 늘고 있다^[1].

LCD 패널 제조현장의 경우에서도 얇은 두께의 대면적을 갖는 원판 글라스(8 G 기준, 2,200 mm × 2,500 mm) 20 - 25장을 카세트에 담아 이송하는 것 보다 in-line 개념을 가미시켜 LCD 글라스를 낱장으로 이송하여 공간 및 물류 효율성을 향상시키고 있다^[2].

대표적인 in-line인 컨베이어 시스템에서는 글라스를 구동 휠과 단순 지지 휠에 의해 이송되는 경우가 대부분이다. 따라서 이 경우

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

Fax: +82-2-970-1458

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

에 대형화되는 원판의 글라스와 접촉하는 면을 줄이기 위해 비접촉 기술들이 적용되고 있다. 최근 글라스 가장자리를 최소화한 접촉시키는 side wheel grip (SWG) 방식을 공기부상 컨베이어에 적용하여 글라스를 안정적으로 부상시켜 수평 이송하는 개선된 기술들이 발표되고 있다^[2-5].

그러나 SWG 방식으로 직선으로 이동하는 컨베이어 시스템에서 공정별로 또는 장치별로 글라스가 직각 또는 회전이동을 요하는 경우가 필요하다. 이 경우 방향 전환을 위하여 비접촉 상태를 유지하면서 회전해야 하는 문제를 직접 대응하기에는 매우 어렵다. 부상 테이블 자체를 회전시켜 방향 전환하는 방식은 이송시스템에서 많은 장치와 정밀한 제어를 요하는 부분들이어서 경쟁력 확보에 어려움이 따른다.

지금까지 수행되어온 이 부분의 연구들은 대부분 단일 공압을 이용하여 헤드 내부에 진공압을 발생시키는 내부 형상 구조를 주로 다루었으며 또한 특정 운전 조건 범위에 좌우되는 부분을 언급하고 있다. 그리고 대부분 소형 물체(웨이퍼, 식품, 의약품, 초소형 LCD 글라스 등)를 대상으로 하고 있다^[6-11].

이를 개선하기 위한 발상의 전환으로 반도체 공정에서 사용되는 웨이퍼 이송용 소형 비접촉 진공파지 헤드나 모듈을 개선하여 수직 상하 및 회전 이동을 하는 로봇 팔에 다수 장착하여 공간 사용 효율이나 장치 구성의 단순화에서 장점을 가질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이미 웨이퍼 이송을 위해 적용되고 있는 소형 진공 발생 공압 헤드를 개선하여 진공 파지 능력을 증가시키고 이를 다수의 병렬로 구성하여 추 후 대평판 글라스를 파지할 수 있는 이송시스템을 연구하였다.

2. 비접촉 진공 파지 원리

2.1 2-D 평판 적용

현재 소형 평판용 비접촉 공압 헤드는 Fig. 1의 도시와 같이 크게 디스크 형태로 두 가지로 대변된다. Bernoulli 원리에 의한 흐름과 Vortex 흐름을 각각 이용하여 헤드 디스크와 이송 대상물체의 평판 표면 사이에 여러 형태의 압력을 발생시키는 구조이다. 이외에도 벤투리(Venturi) 원리에 의해 진공을 발생시켜 유체를 배출하는 ejector 형태로 사용된다^[8-10].

비접촉 파지 원리는 주입되는 공기가 내부 반발 힘으로 만들어진 틈새 사이로 지속적으로 토출되고 이와 동시에 발생하는 진공힘으로 평판 물체를 흡착하는 과정으로 비접촉 부상하게 된다. 즉, 실제 대상물체가 음압(진공)에 의해 헤드디스크 하단부에 가까이 끌려 접근하게 되면 일시적으로 양압에 의해 밀려나게 되고 다시 접근하는 식으로 일정 비접촉거리를 이루게 된다.

평형 비접촉 과정을 역학적으로 감쇠 진동 계산 모형으로 식 (1)

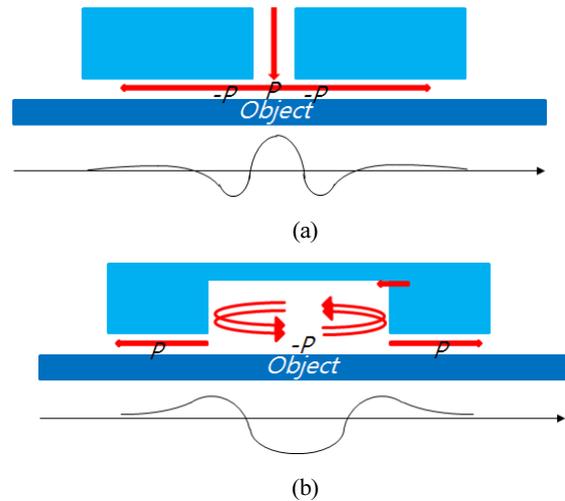


Fig. 1 Schematic disk shaped head holders and pressure distributions, (a) Bernoulli flow grip (b) Vortex flow grip

과 같이 설정된다.

$$m \frac{d^2h}{dt^2} + kh + \beta \frac{dh}{dt} = mg \quad (1)$$

여기서 h 는 평형 비접촉 틈새 간격, k 는 스프링상수, m 은 질량, g 는 중력가속도, β 는 감쇠상수이다.

Fig. 1과 같은 형상에서 기체의 흐름으로부터 헤드 하단부쪽에 양압과 진공을 동시에 발생시켜 사용 목적에 따라 대응되는 유효힘 (ΔF)을 발생하게 된다. 유효힘은 각각의 압력(p_i)과 거기에 대응되는 면적(A_i)에 따라 식 (2)와 같이 간단히 표현된다. 따라서 각 압력(p_i)의 크기를 사용목적에 따라 증대시키는 방법과 아울러 흐름을 효과적으로 제어하는 것이 헤드의 비접촉 파지 성능에 중요하다.

$$\Delta F = \sum p_i A_i \quad (2)$$

헤드 챔버의 입의 수평 단면에서 정상상태 흐름과 접선 방향의 속도(v_θ)만 유효하고 점성에 의한 감소 효과가 미미하다고 가정하면 r - momentum식은 식 (3)과 같이 간단히 표현된다.

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} = \frac{1}{r} v_\theta^2 \quad (3)$$

즉, 압력의 변화는 헤드 챔버 내에서 중심으로부터 원주방향의 두 지점 간 기체의 접선 방향 속도에 의해 좌우됨을 알 수 있다. 따라서 이러한 부분을 극대화하기 위하여 헤드 내부 형상 구조의 개선을 통하여 원주방향 간 접선방향의 속도에 다양한 변화를 주어 사용 목적을 달성하게 한다.

소형 헤드에 유리한 Bernoulli 방식과 달리 vortex 방식으로 70 mm의 직경 디스크를 사용하여 양압과 진공 발생영역을 확대하고 그것의 크기를 상승시키기 위해 영향을 주는 주요 요인들을 분석 정리하면 Table 1과 같다.

2.2 Vortex flow 적용 개선모델과 주요 설계변수 설정

Table 1에서 분석한 요인들 중 평판을 대상으로 파지하는 공압 사용 헤드는 사용 목적에 따른 파지 능력 증가는 공기주입량(air flow rate)에 일차적으로 크게 좌우된다. 동일한 제원이라면 Fig. 2와 같이 선회 흐름(vortex flow)을 이용하여 진공 유효 영역을 확대시키는 것이 유리하다. 따라서 제시하는 기준 헤드 모델은 챔버 벽을 곡면으로 처리하여 1차적으로 vortex 흐름을 제어하였다. 또한, 2차적으로 헤드 내부에 흐름 가이드를 설치하여 개선한 모델은 초기 vortex 흐름형태를 유지하였다. 헤드 내부에 선회하는 기체의 주된 접선흐름에 추가적으로 변화를 주는 형태로 설계하였다. 이와 같이 공기 주입구(nozzle)가 내부원형 상단 옆벽면의 원 접선방향으로 설정되면 유선(streamline)의 주 흐름이 벽면을 따라 이루어지게 된다. 이때 상대적으로 낮은 속도($v < v_a$)를 가지는 내부 중앙 체적 영역은 원통 모양의 가이드 벽 구조를 추가하여 분리 구성하였다. 제시된 모델은 기준 모델보다 상승하는 진공 파지력과 $0.7 \pm \alpha$ mm 비접촉 이격을 위한 반발력을 동시에 확보함을 목표로 하였다. 기준 헤드의 형상과 운전 조건을 Table 2처럼 설정하였다.

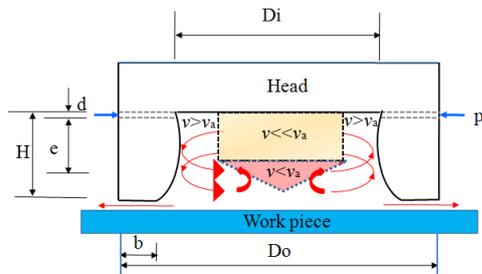


Fig. 2 Schematic view of the air head model by vortex flow (including to velocity characteristics)

Table 1 Design and configurations of a head

Objectives	Criteria
To develop both repulsion and suction	Head disk size
	Head chamber volume
	Air flow rate
	Working pressure
	Clearance gap
To handle repulsion	Head tip shape and size
To handle suction	Tangential velocity
To maintain non contact gap	Object weight

3. 대평판용 헤드 설계 성능평가

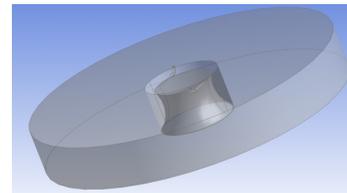
3.1 헤드의 성능 분석을 위한 수치적 계산 설정

Table 2의 헤드 구조와 관련된 기준 조건을 사용하여 수치적 계산을 수행하였다. 헤드 내부 유동 공간 벽면에 접선방향으로 유입되는 주입구와 헤드 하단부에 글라스로 간주되는 영역(직경 300 mm)의 바닥면(wall)을 고려하여 Fig. 3(a)과 같이 원통형의 유동장 모양을 적용하였다.

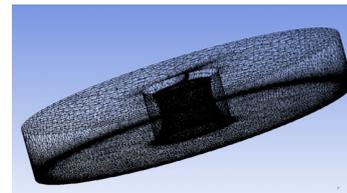
이 유동영역은 글라스와 헤드 팁(tip) 사이로 토출되는 공기의 유동 흐름이 원심형으로 헤드의 팁 밖으로 일정 영역까지 이루어질 수 있는 압력을 고려하여 설정하였다.

70 mm 헤드 직경 모델 기준으로 vortex 챔버 내 벽면의 접선 방향으로 2 mm 직경 주입구 2군데를 통하여 3bar의 압력으로 공기를 주입하게 된다. 그리고 전체 모델은 Fig. 3(b)와 같이 비대칭형인 관계로 주요 흐름이 이루어지는 헤드 챔버의 벽 근처, 주입구 부분 그리고 헤드와 글라스 표면 사이 등에 격자 밀도를 높였다. 그리고 주요 계산 영역(domain) 설정은 Table 3과 같이 이루어졌다.

단일(single) 영역을 대상으로 정상상태 해석을 수행하기 위해



(a) Geometry



(b) Mesh

Fig. 3 Computational head model for the large flat sheet

Table 2 Reference dimension and working condition of the vortex grip model

Parameter, symbol	Value (unit)
Head inner diameter, Di	56 (mm)
Head outer diameter, Do	72 (mm)
Head tip, b	1 (mm)
Air inlet diameter, d	2 (mm)
Vortex chamber height, H	40 (mm)
Inside cylinder height, e	30 (mm)
Working pressure, p	3 (bar)

Table 3 Principal calculation settings

Feature	Details
Fluid	Ideal gas (air)
Turbulence model	k-Epsilon
Inlet boundary	Inlet pressure
Outlet boundary	Opening (atmospheric pressure)
Domain type	Single
Analysis type	Steady state
Node	400,000

CFX를 사용하였으며, 유동매체는 실온의 공기가 난류 거동하는 것으로 설정하였다. 계산 시 전체적인 node수는 40만 개 정도이며 수렴조건은 모두 10^{-4} 수준으로 설정되었다.

3.2 기준 모델에서 헤드의 성능계산 및 고찰

70 mm 직경의 헤드의 기준 사양과 운전조건을 적용하여 계산된 글라스에 작용하는 압력분포는 Fig. 4와 같다. 글라스를 비접촉 이격하는 거리가 0.3 mm에서 0.7 mm까지 각각 유지했을 때 300 mm 원형 글라스 중심을 지나는 선을 대상으로 하여 추출된 결과로써 해당 헤드 팁과 글라스 사이의 틈새 변화로 인해 헤드 챔버와 헤드 팁의 하부에서 발생하는 압력의 변화를 보여주고 있다.

비접촉 이격거리가 증가함에 따라 토출면도 증가하게 되면서 헤드 챔버 내의 공기는 $\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{out}$ 에 의해 점점 낮은 압력으로도 헤드 팁 부근에서 충분히 공기를 토출 시킬 수 있다. 따라서 벽을 따라 아래쪽으로 선회하는 유선의 형태에도 영향을 주게 되며 이와 함께 circulation 영향이 적어 상대적으로 중심 하단부의 진공압 형성에도 유리해진다. 실제 유효한 이격거리 내에서는 헤드 팁 부근의 반발력과 헤드 중심부의 진공력 사이에서 힘의 균형을 위한 대책점이 존재하게 되고 현재 기준 모델에서는 0.5 mm 수준으로 나타났다.

이러한 부분은 Fig. 5에서 헤드 팁 하단부의 틈새 유지에 따라 변화하는 부상력(+)과의 관계로써 확인할 수 있다. 기준 모델에서 3.0 N ($\approx 302 \text{ gf}$) 중량의 물체를 파지할 수 있는 안정적인 비접촉 거리는 0.5 mm로 분석된다. 그리고 비접촉 이격거리가 1.0 mm를 훨씬 상회하면 반발력이 거의 없어지고 0.3 mm 수준 이하로 좁혀지면 진공압 형성이 거의 소멸되어 파지력이 없다고 볼 수 있다.

Fig. 6은 기준 사양을 적용하고 비접촉 이격거리를 0.5 mm로 고정하고 헤드 챔버 높이의 변화를 주는 즉, 챔버 내에서 선회(swirl)할 수 있는 공간의 변화를 주었을 때 발생하는 압력 분포도이다. 이 부분은 챔버의 접선 방향으로 원심력에 의해 선회하는 속도(v_θ)는 r 값의 위치에 따라 다르게 나타난다.

초기에는 확연히 구분되는 임의 속도(v_a)보다 빠르게 챔버 벽을 따라 주 흐름($v_\theta \gg v_a$)이 주로 형성되어 속도 저하 영역($r < r_c$)이

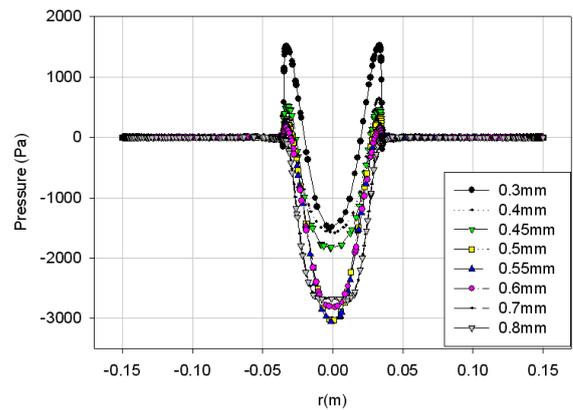


Fig. 4 Pressure distribution with different gaps on the 300 mm diameter glass using the reference model

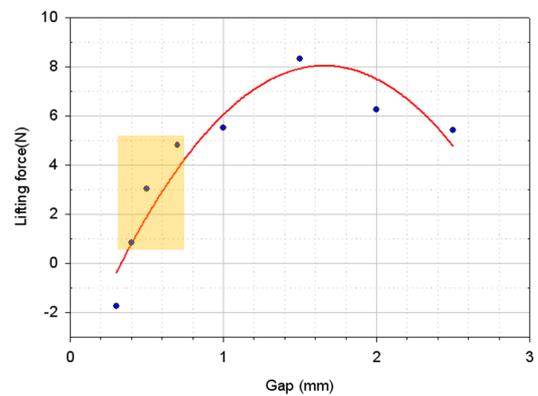


Fig. 5 Computational results using the reference model: lifting force versus the gap distance

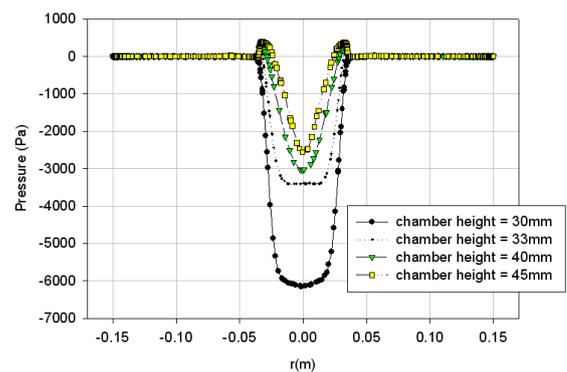


Fig. 6 Pressure distribution with different head chamber heights (H) on the 300 mm diameter glass using the reference model

중심으로부터 넓게 나타나지만 아래쪽으로 선회가 진행될수록 중심방향으로 r_c 는 축소하게 된다. 따라서 챔버의 높이(H)는 선회 속도(v_θ)에 영향을 준다고 볼 수 있다. 기준 모델을 적용한 결과를 볼 때 헤드 내부 공간의 높이는 $H < 40 \text{ mm}$ 인 정도가 수용할 수

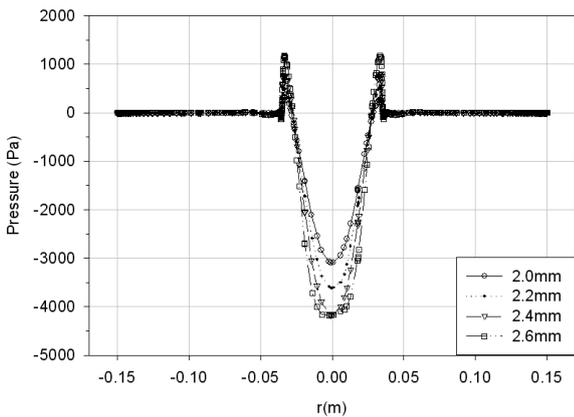


Fig. 7 Pressure distribution with different air inlet diameters (d) on the 300 mm diameter glass using the reference model

있는 수준이다.

Fig. 7은 3 bar의 작동 압력의 조건에서 주입구 직경을 2, 2.2, 2.4, 그리고 2.6 mm로 각각 확장하고 기준 모델과 조건(0.5 mm 이격)을 적용하여 계산한 결과로써 단위 시간당 주입되는 공기량의 변화가 300 mm 직경의 원판 위에 중심선에 작용하는 압력 분포도이다.

주입관 직경의 확대로 증가된 주입 공기는 챔버 벽면에 인접하면서 두텁게 선회 흐름을 형성한다. 즉, 헤드 팁 아래 0.5 mm 높이와 팁 가장자리의 원주면을 통하여 토출되는 과정에서 더 빠른 선회속도로 토출되기 위해 헤드 팁 주변 글라스 부분의 압력이 상승된다. 또한 이 과정에서 중심부의 압력은 더 낮아진다.

이 부분은 Fig. 8에서 파지 물체 위에 나타나는 속도 분포에서 확인할 수 있다. 주입관 직경의 확대는 선회 속도에 제곱의 관계로 영향을 주기 때문에 현재 모델인 0.5 mm 이격거리 유지를 위해서는 2.0 mm 주입구 직경이 타당한 것으로 보인다. 단, 높은 파지력을 위해 주입구 직경을 2.6 mm 이상 수준으로 주입 공기량을 증가하면 높은 반발력과 진공력에 의한 균형에 의해 비접촉 거리가 조정되어 형성된다. 따라서 평판 물체를 파지할 때 물체의 중량에 따라 공기 주입량의 조정을 주입구 면적으로 하는 부분은 설계적 요인으로 볼 때 절대적이지만 에너지 손실이 크고 작동 영향에서도 큰 폭으로 나타난다고 볼 수 있다.

Fig. 9는 기준사양의 헤드와 0.5 mm 이격거리를 유지한 채 주입 공기의 압력을 2.5 bar에서 3.5 bar까지 변화 시켰을 때 압력 분포의 변화이다. 단위 시간 당 주입되는 주입공기량($\dot{q} = AV$) 변화는 결국 압력에 의한 속도의 제곱근에 비례하여 나타난다.

주입구 직경의 변화와 비교했을 때 비해 다소 약하지만 동일 단면적 기준으로 보면 압력에 비해 변하는 공기의 주입속도 관계로 민감하다. 그리고 적정 파지력을 위해 주입구를 조정하는 것보다 압력 조정으로 대응하는 것이 설계상 용이하다.

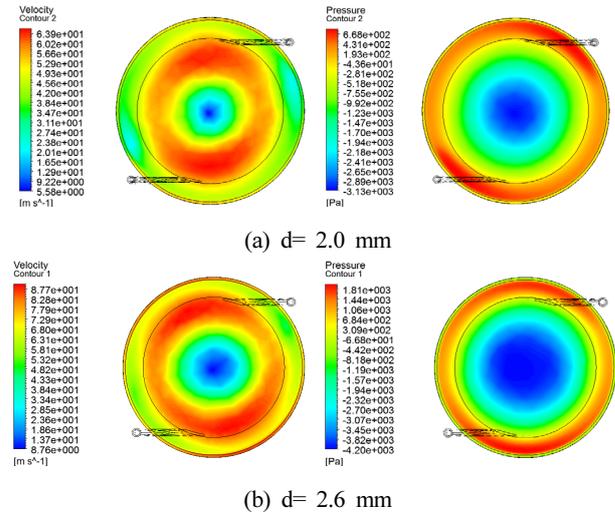


Fig. 8 Velocity and pressure contours with different air inlet diameters on the object using the reference model

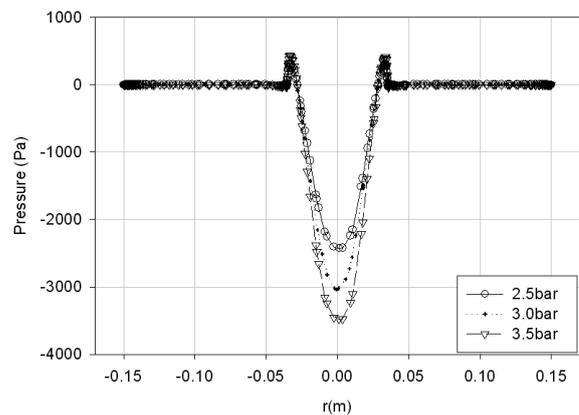


Fig. 9 Pressure distribution with different working pressure (p) on the 300 mm diameter glass using the reference model

실제로 100 N 정도의 중량을 가진 8세대급 LCD 평판글라스의 처짐을 고려한 frictionless 지지(4×5 또는 3×7 지지점)를 위하여 20개 전후의 헤드를 이용하여 비접촉으로 부상시킨다면 헤드가 5 N/개당을 지지 할 수 있을 정도로 파지력이 요구된다. 기준 모델의 사양으로는 약 3.0 N의 파지력이 예상된다. 추가적인 파지력을 얻기 위해서는 이미 기술한 주입관 직경의 확대와 공기 주입 압력의 조정이 요구된다. Fig. 5의 기준모델을 대상으로 0.5 N의 파지력을 위해선 0.7 mm이상의 이격거리를 내야하는 결과를 볼 때 높은 반발력과 이에 대응되는 파지력이 필요한데 이를 위해서는 기준 모델에서 주입관 직경은 2.0 - 2.2 mm, 공기 주입 압력은 3.5 bar 이상으로 하면 가능성이 높아진다.

3.3 헤드의 성능 개선을 위한 추가적 고찰

앞서 논의된 관점은 기본적으로 공기 주입량을 증가시켜 파지력

을 상승시키고 있다. 동일한 공기주입량으로 진공압력을 갖는 유효 영역을 확장시켜 전체적으로 파지력의 성능을 개선하고자 공기의 빠른 선회 영역을 Fig. 2처럼 헤드 챔버 벽 가깝게 유지하면 활발해진다.

보다 더 세밀한 분석을 위해 vortex 흐름에 의한 챔버 내부 선회 속도를 수직단층별로 계산하였다. Fig. 10의 결과를 보면 챔버 내에서 공기의 선회 속도가 상대적으로 내부 중심으로 점차 약해지고 있다. 내부 헤드 벽을 따라 선회하는 속도는 1/2 하단부터 벽쪽 부분의 선회 속도가 급격히 낮아지고 대신 점차 중앙영역은 높아진다. 이는 헤드 팁의 하단 토출부근에서 순환(circulation)과 같은 움직임의 둔화되는 영향으로 보인다. 따라서 가능한 이러한 순환의 움직임이 챔버 벽 가까이서 이루어지게 하면 헤드 팁의 하단부로 공기를 배출되기 위해서 높은 반발과 진공이 동시에 발생할 수 있음을 보였다.

기본적으로 주입 공기량의 큰 변화 없이는 파지력을 상승시키는 문제는 어렵다. 결국 동일한 운전 조건에서는 헤드 내부에서 접선 선회 속도를 최대한 유지할 수 있도록 해주면서 하단부에서 발생하는 순환을 챔버 벽 가까이 발생할 수 있게 하는 것이 성능 개선의 핵심이다.

개선 모델은 이 점을 착안하여 Fig. 11과 같이 선회 속도가 크게 변하는 영역을 경계로 2/3 지점까지 흐름 가이드(flow guide)를 고안하였다. 기존 모델에 내부 가이드를 추가하여 나타나는 영향을 살펴보기 위하여 Table 4와 같이 굴곡형과 일자형의 원통 가이드 반지름(A, B)은 각각 2수준, 그리고 높이(C)는 3수준으로 적용하였다.

Fig. 12는 기존 모델에 Table 4에서 제시한 내부 가이드를 추가하여 개선한 헤드의 중심선을 지나는 압력분포이다. 가이드 벽의 형태를 곡면과 직선으로 했으며 이전 결과를 참고하여 초기 A 위치를 일정 속도(v_0) 이하에 해당되는 경계에 위치하도록 곡면형은

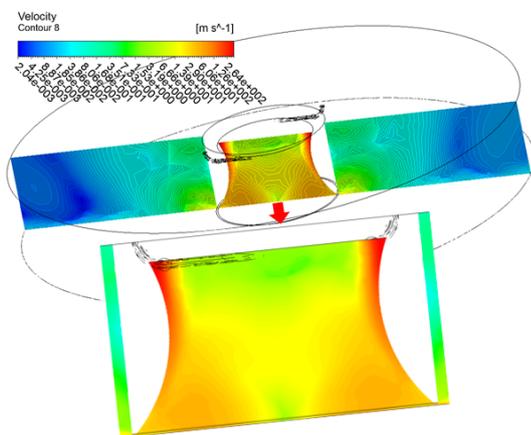


Fig. 10 Vertical velocity contour (with enlarged part for an circulation area - chamber left) of the reference model

$A_1(B_1)$ 과 $A_2(B_2)$ 로 직선형은 $A_1(A_1)$, $A_2(A_2)$ 로 하였다. 그리고 가이드 높이는 2수준으로 하였다.

Fig. 12의 결과를 보면 개선 모델은 최소한 기준 모델에 비해 진공 능력을 상승하는데 효과적임을 알 수 있다. 그리고 0.5 mm 이격 거리를 기준으로 하여 비교되는 헤드 하단부의 압력 분포를 분석해보면 곡선형에 비하여 직선형은 차이가 있다. 확실히 선회 속도에 의한 변화의 영향이 크다고 볼 수 있다. 그러나 실제 파지와 진공의 대척되는 거리를 고려하면 다소 다른 양상을 보일 수 있다.

따라서 이러한 부분을 확인하기 위하여 기본 모델을 직선형 $A_1(A_1)$ 와 곡선형 $A_1(B_1)$ 형태의 헤드 모형을 높이 C_2 로 각각 3차원 프린터로 가공하였다. 이를 소형 평판을 파지하는 Fig. 13과 같이 간단한 실험 장치로 구성하였다. 실험 장치는 간단한 프레임 구조에 RP 헤드를 부착하고 각각의 헤드 주입구에는 2개의 2.0 mm 직경의 분기 공압선이 각각의 레귤레이터에 연결되며 각각의 레귤

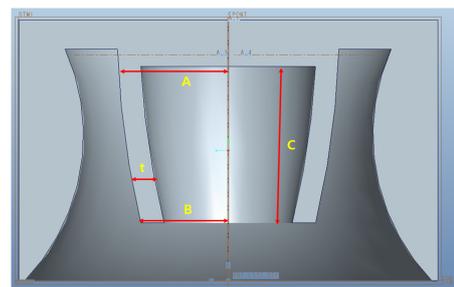


Fig. 11 Modified head design including an inner cylinder

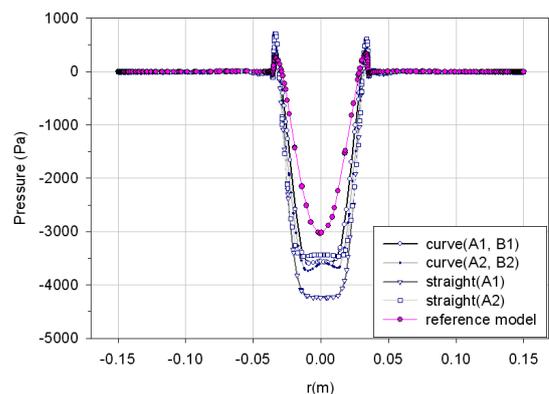


Fig. 12 Pressure distribution with different inside cylinders on the 300 mm diameter glass using the reference model

Table 4 Inside cylinder size to be combined to the gripper

Feature of the insider cylinder	Details
Top radius (A)	$A_1 = 19, A_2 = 21$ mm
Bottom radius (B)	$B_1 = 15, B_2 = 17$ mm
Height (C)	$C_1 = 20, C_2 = 30$ mm
Thickness (t)	4 mm

레이터에서는 분기하는 1개의 8.0 mm 직경의 공압선이 압축공기 선과 연결된다.

3.0 bar 이상의 여러 작동 압력을 사용하여 최대 파지력과 이격 거리를 측정하였다. 사용된 파지 물체는 기본 하중이 2.8 N인 아크 릴판이며 비접촉 간격을 측정하기 위해 Mitutoyo 디지털 인디케이터(Digimatic indicator, 543-394 저측정력 0.54 N)를 파지 물



Fig. 13 Experimental apparatus for a simple air-chucking test

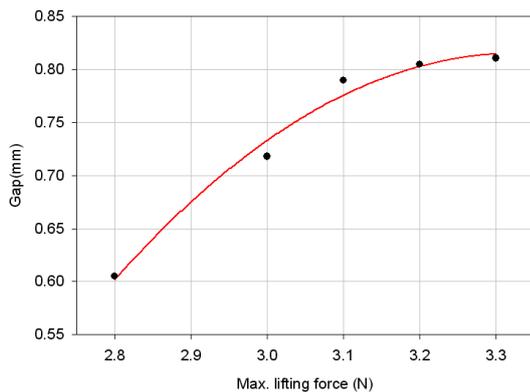


Fig. 14 Measured gap to lift the maximum weight (without low measuring force of the indicator) using the modified model (A_1-A_2, C_2)

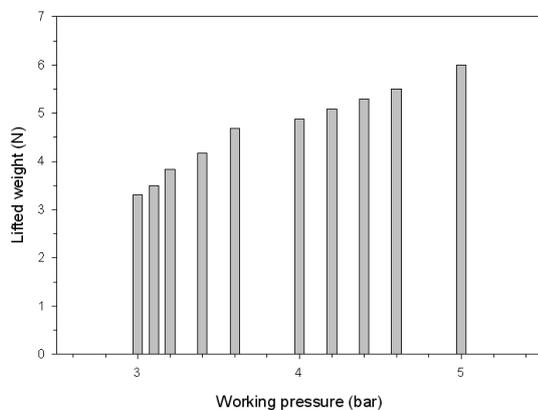


Fig. 15 Maximum object weight corresponding to different working pressures

체상에서 원점 세팅하여 상하 이동간의 거리를 읽게 된다. 그리고 비접촉 유지 이미지를 획득하기 위해 마이크로 현미경을 사용하여 비접촉 간격을 병행 측정하였다.

Fig. 14는 곡선형 모델에 3 bar를 사용했을 때 측정된 기준모델의 계산 능력치인 3 N에 비해 상승한 중량(3.3+0.54 N)까지 파지할 수 있는 것으로 나타났다. 이때 하중이 증가함에 따라 지탱할 수 있는 최대 이격거리는 0.8 mm로 확인되었다. 그리고 직선형은 (2.8+0.54 N)이 최대였다.

Fig 15는 작동압을 증가시키면서 최대 파지할 수 있는 능력을 측정한 결과이다. 작동압의 크기에 거의 비례적으로 증가하고 있다. 따라서 “S”사의 표준 공압인 5 bar 이내의 작동압력으로 목표인 5 N의 파지력과 100 N 중량의 글라스를 파지하기 위해 20개 이내의 헤드로 가능함을 확인하였다. 그리고 단일 헤드에 의한 부정확한 파지와 regulator의 압력 지시에 대한 오차의 범위는 충분히 상쇄할 수 있는 최적 수준을 확보하였다.

그리고 표준 실험 조건에서 파지하게 되는 물체의 전후좌우 side edge를 frictionless support 형태로 회전이탈을 방지하면 결과적으로 최대 파지 중량 기준으로 0.7 ± 0.1 mm 수준의 비접촉 간격을 반복 유지 가능하지만 실제 대량 생산에 적용되기 위해 보다 높은 수준의 정밀성과 내구성, 반복 수준 등을 위해서는 금속 재질 가공과 설계다수의 헤드 배열로 구성되는 시스템 평가가 필수적이다.

4. 결론

Vortex 흐름 방식에 의한 선회류를 이용하는 공압 헤드를 재구성하였다. 즉, 반발력과 평판 물체를 파지할 수 있는 진공력을 동시에 향상시켜 한 개의 헤드에서 비접촉 적으로 파지할 수 있는 능력을 3 N이상으로 확보하였다.

헤드 구조설계에서 통상 제어 인자 중 가장 중요한 공기의 사용 유량(air flow rate)에서 적정선도로 유지하기 위해 2개의 2 mm 주입 직경과 3 bar 주입 압력과 70 mm 직경 헤드를 적용하였다. 이때 40 mm 높이의 헤드 내부의 적정 공간을 통하여 $0.5 \pm \alpha$ mm 수준의 비접촉 간격 유지 시 이상적으로 반발력과 진공압력을 발생시킬 수 있는 적정조건들임을 기초 해석을 수행하여 확인하였다.

헤드의 파지 능력을 향상 개선하기 위해 기초 해석을 통하여 파악된 내부 속도의 분포를 분석하였다. 즉, 속도가 일정 임의 속도보다 저하되는 영역을 포함하는 부분을 기준으로 내부 헤드 원통과 유사한 바닥이 열린 원통모양으로 내부 헤드 높이의 3/4 까지 분리하였다.

이를 통해 헤드 벽 쪽으로 더욱 빠른 선회 속도를 유지하게 설계 사양을 제시함으로써 하단부에서 유효 진공영역을 확대하여 전체적으로 파지력이 향상됨을 확인하였다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Wafer-Handling Com, viewed 3 July. 2013, <<http://www.wafer-handling.com>>.
- [2] 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, 495-502.
- [3] Taesung Eng. Co. Ltd, viewed 18 May. 2012, <<http://www.tseng.co.kr>>.
- [4] Jung, H. J., 2012, Apparatus for Transferring of Glass Panel, KR Patent: 1011876790000.
- [5] 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.
- [6] LaMagna, J. L., 1990, Air Pressure Pick-Up Tool, US Patent: 4969676.
- [7] Safabakhsh, A. R., 1992, Non-Contact Pick-Up Head, US Patent: 5169196.
- [8] Davis, S., Gray, J. O., Caldwell, D. G., 2008, An End Effector Based on the Bernoulli Principle for Handling Sliced Fruit and Vegetables, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 24:1 249-257.
- [9] Li, X., Kawashima, K., Kagawa, T., 2008, Analysis of Vortex Levitation, Experimental Thermal and Fluid Sciences, 32:8 1448-1454.
- [10] Dini, G., Fantoni, G., Failli, F., 2009, Grasping Leather plies by Bernoulli Grippers, CIRP-Annuals - Manufacturing Technology, 58:1 21-24.
- [11] 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.