

< 기술논문 >

# 영구자석을 이용한 새로운 Suction Mechanism

서성근<sup>†</sup> · 이승희\* · 박종현\*\* · 장태사\*\*\*  
(2005년 1월 27일 접수, 2005년 11월 23일 심사완료)

## New Suction Mechanism Using Permanent Magnet

Sungkeun Seo, Seunghce Lee, Jong Hyeon Park and Taesa Jang

**Key Words :** Vacuum pump (진공펌프), Suction cup (흡착컵), Permanent magnet (영구자석)

### Abstract

Pick-and-place systems using suction cups have been being widely used and continuously developed in production automation. There are, however, some drawbacks in constructing such systems. One of them is that it generates high level noise due to air compressors. And the system must have complex constitutions of mechanical component such as air compressors, air tubes, air valves, etc. Moreover, it needs continuous air supply to maintain vacuum in suction cups. If there is a failure in any suction cup, the total suction system may fail owing to air leakage. To overcome these drawbacks, we propose PMS (Permanent Magnet Suction) mechanism which has permanent magnets for vacuuming suction cups with no air compressor. The basic concept of PMS mechanism is to rotate permanent magnets with fixed angle. Simple rotation of permanent magnets changes the direction of the magnetic force applied at the suction cups. Since each suction cup has no direct connection with any of the others, the air leakage at one suction cup is not critical. The proposed suction mechanism was designed and fabricated. With some experiments, the feasibility and performance of the PMS mechanism was shown. The strong points of the PMS mechanism are in its simple structure, generating low noise, high energy efficiency, and no need of continuous energy supply.

기호설명

- A:** 영구자석단면적 ( $\text{cm}^2$ )
- Br:** 자석의 고유한 잔류자속밀도
- Bx:** 자석으로부터 x 만큼 떨어진 거리에서의 잔류자속밀도
- L:** 자석의 길이 (mm)
- P:** 진공 압력 (mmHg)
- R:** 자석 반지름 (mm)
- S:** 패드 면적 ( $\text{cm}^2$ )

- t:** 안전율
- V:** 부피 ( $\text{cm}^3$ )
- W:** 리프트 력 (kgf)
- X:** 자석으로부터 떨어진 거리 (mm)

### 1. 서론

흡착컵 (suction cup)을 이용한 흡착 이송장치는 생산 자동화 분야 및 이송을 목적으로 하는 산업 현장에서 중요한 자리를 차지하고 있으며, 특히 반도체와 같이 충격에 예민하거나 그립 (grip)이 어려운 제품들을 한 공정에서 목적으로 하는 다른 공정으로 이송할 경우 제품에 최소의 충격과 최소의 손상을 가하는 장점 때문에 많이 사용되고 있다. 또한, 벽을 기어 오르는 로봇과 같은 로봇 분야에서 흡착컵과 진공(vacuum)의 메커니즘을 응용한 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>(3,6)</sup>

흡착컵 내부에 진공을 발생시키는 것에 대한 연구의

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한양대학교 정밀기계공학과  
E-mail : ilchool96@hotmail.com  
TEL : (02)2297-3786, FAX : (02)2297-3786

\* 한양대학교 정밀기계공학과

\*\* 회원, 한양대학교 정밀기계공학과

\*\*\* 광주대학교 환경공학과

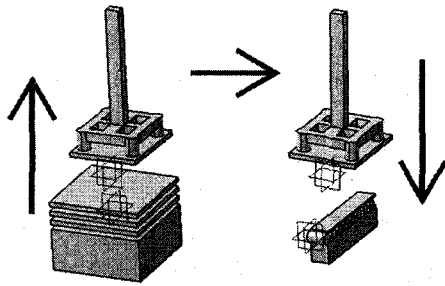


Fig. 1 Pick-and-place system

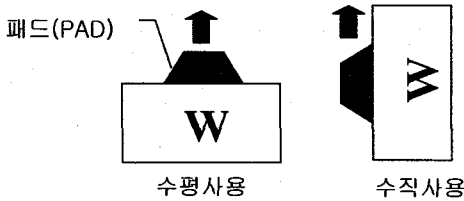


Fig. 2 Pattern of suction cup

대부분은 공압을 이용한 진공발생과 그에 따른 효율과 성능에 대한 것이었다. 여기서 공압이라 함은 공기압축기(air compressor)와 같은 외부 동력 장치를 이용한 인공적인 진공 압력이다. 이와 같은 목적을 위해 연구자들은 흡착컵의 모양, 형태, 재료에 대한 연구 및 흡착컵 내부에 진공을 안정적으로 발생시켜 효율적인 이송장치를 꾸미는 데에 대한 연구를 진행 하여왔다.<sup>(2)</sup> 그러나, 외부의 기기로 진공을 발생시키는 것은 소음, 복잡한 연결 호스, 그리고 밸브와 같은 많은 부가장치들이 필요하고, 이송대상물을 들어올렸을 경우 지속적인 에너지 공급이 필요하므로 이러한 시스템의 개선에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다.

또한, 하나의 진공 발생기를 이용하여 다수의 흡착컵 내부에 진공을 발생시킬 경우 소수의 흡착컵 내부에 공기 누출(air leakage)이 발생하게 되면 역으로 모든 흡착컵 내부로 공기가 흘러 들어가게 되어 전체 흡착컵의 진공이 동시에 파괴되는 현상이 발생한다. 공기 누출에 의한 진공의 실패는 흡착컵의 개수가 많아질수록 확률이 높아지게 되므로, 다수의 흡착컵을 사용하는 흡착 시스템에서 새는 공기의 양을 보상 받기 위해 연구자들은 다단 노즐 방식의 진공 발생기 같은 대용량의 진공 펌프를 선정하는 연구를 하여 왔다. 하지만 다수의 흡착컵에 하나의 진공 발생기를 사용할 경우 흡착컵 각각에 대한 개별적 진공이 아니므로 여전히 실패의 요인이 남아 있다.

본 논문에서는 공장자동화 및 이송시스템에서 흡착 시스템이 갖는 여러 가지 단점들을 극복하기 위

해 영구 자석을 이용한 새로운 방식의 흡착 장치(suction mechanism)를 제안하였다. 제안된 흡착장치는 앞서 언급한 기존의 방법에 필연적으로 있어야 하는 복잡한 연결 호스, 소음, 지속적인 에너지 공급이 필요치 않고, 단순한 구조로 개별적 진공을 쉽게 할 수 있는 시스템으로 구성 하였다. 제안된 흡착 구조와 함께 구현되는 흡착 시스템은 각 흡착컵에 개별적인 진공이 생성되어, 소수의 흡착컵에서 실패한 진공이 전체 흡착의 실패로 이어지지 않게 되는 장점을 가지고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 본 논문에서 제안된 PMS (Permanent Magnet Suction) 구조의 기본적 원리 및 식에 대한 설명을 하였고, 3 장에서는 흡착컵 및 영구 자석(permanent magnet)의 선정에 대한 기술을 하였다. 이어서 4 장은 2, 3 장에서 분석한 자료에 따른 기구 설계와 제작에 대해 기술 하였으며, 5 장에서는 적용된 이론과 설계를 증명하기 위한 실험과 그에 따른 결과를, 마지막으로 6 장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 영구 자석 흡착 기구 - PMS

### (Permanent Magnet Suction) Mechanism

본 논문에서 제시하는 PMS 구조는 영구 자석을 이용하여 여러 개의 흡착컵 내부에 개별적 진공을 생성시키는 방식이다. 일반적으로 이송시스템에서의 흡착컵의 사용은 좁은 평면을 가진 물체의 이송의 경우 단일 흡착컵을 사용하지만, Fig. 1 과 같이 넓은 평면을 지닌 물체 이송에는 다수의 흡착컵을 이용하여 힘을 분산시키는 이송 시스템을 사용한다. 또한, 일반적으로 흡착을 이용한 이송장치들은 안정적 흡착을 위해 다수의 흡착컵을 사용하여 각각의 내부에 진공을 발생시키는 방법을 사용한다.

Fig. 1 과 같은 진공흡착 이송라인에서 네 개의 흡착컵을 물건에 부착하여 이송하는 경우, 진공 펌프(vacuum pump)로서 1 unit 의 단일한 외부장치인 공기 압축기를 사용한다. 이때, 전체 흡착컵 중에 하나만이라도 진공이 파괴 되면 나머지 흡착컵 내부로 공기가 흘러 들어가게 되어 전체 진공이 파괴 되고, 흡착의 실패로 이어진다. 다수의 흡착컵을 사용할 때의 흡착 실패의 가능성을 보완 하기 위해 본 연구에서는 진공 펌프의 사용 없이 진공의 생성이 각각의 흡착컵 내부에서 개별적으로 가능하도록, 영구 자석을 이용하여 각각의 흡착컵에 개별적인 수직 액추에이션(actuation)을 부여하였다.

본 논문에서 사용되는 내압과 힘의 관계식은 다음과 같다. 흡착컵 내부의 압력 변화는 다음의 식

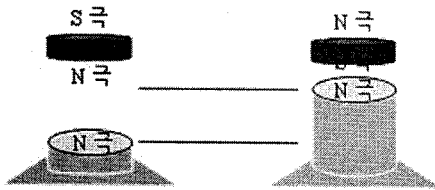


Fig. 3 Concept of permanent magnet method



Fig. 4 FESTO BU10



Fig. 5 ST(Shut Type)

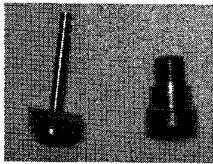


Fig. 6 OST(Open and Shut Type)

(1)과 같으며 흡착컵의 양력(lifting force)은 식 (2)를 통해 구해진다. 흡착컵의 사용은 여러 형태로 쓰일 수 있지만 크게 수평과 수직 형태 두 가지 형태로 분류하여 분석 사용하였다(Fig. 2). 양력을 계산하는 식 (2)는 이론적인 수치이며, 수평과 수직에 대한 안전계수 t는 각각 다른 값을 갖는다.

$$PV = P'V'' \quad (1)$$

$$W = \frac{P}{760} \times S \times t \times (1.033) \quad (2)$$

본 논문에서 제시하는 이론의 핵심은 영구 자석의 척력과 인력의 원리를 응용 하여 각 흡착컵에 개별적 흡착을 부여하는 것이다(Fig. 3). 구조물 내부의 구속된 길이 방향으로 마주보는 자석이 서로 척력의 위치가 되면 한쪽 자석에 고정되어 있는 흡착컵의 높이가 최소가 되며 마주보는 자석이 서로 인력의 위치가 되면 흡착컵의 높이가 최대가 된다. 이러한 자석의 성질을 이용하면 흡착컵 내부에 주사기와 같

Table 1 Classification by material

	Perbunan	Ployurethane	Silicone	Viton
Very high stress	—	★	★	—
Food stuffs	—	—	★	—
Oily Workpieces	★	★	—	★
High ambient temperature	—	—	★	★
Low ambient temperature	—	★	★	—
Smooth Surface(glass)	★	★	—	★
Rough surface (wood, stone)	—	★	—	—
Antistatic	—	—	—	—
Minimal marking	—	★		

은 펌프식 진공을 생성할 수 있다. 영구자석을 이용하여 액추에이션을 하기 위해서는 영구자석들 간의 인력/척력 변환이 이루어져야 하므로, 본 연구에서는 이러한 인력/척력이 효율적으로 변환되도록 회전식의 구조물을 설계하였다.

개별적인 흡착 구조의 원리는 오징어 (cattle fish)와 같은 두족류의 흡반과 해충의 흡반에서 응용하였으며,<sup>(1)</sup> 이 방법에 의하면 다수의 흡착컵 내부에 각각 개별적인 진공을 생성하게 되므로 소수의 흡착컵 내부의 진공 실패로 인해 전체 흡착 시스템의 진공을 파괴하는 현상이 방지된다.

### 3. 흡착컵과 영구 자석의 선정

#### 3.1 흡착컵의 선정

흡착컵 재료의 선택은 이송물체의 재질과 표면의 성질, 그리고 사용 환경을 고려하여야 한다. 일반적인 생산 자동화 공정은 높은 온도와 같은 특별한 환경이 아니지만, 본 논문에서는 흡착컵이 여러 환경에서 사용될 수 있도록 거친 표면이나 부드러운 표면 모두 사용할 수 있는 폴리우레탄 (polyurethane)을 선택하였다(Table 1). 폴리우레탄 재료의 흡착컵은 다른 재료를 사용한 흡착컵들에 비해 기밀성, 내연성, 내식성, 굴곡성이 우수하여 물체와 부착시에 손상을 최소화하는 장점이 있다.

Table 2 Spec of FESTO BU10

FESTO BU10	volume	Spring constant
Stable	0.38 cm <sup>3</sup>	200 N/m
Min.	0.10 cm <sup>3</sup>	
Max.	0.40 cm <sup>3</sup>	

흡착컵은 일반적으로 컵의 모양에 따라 round, bellows, oval 의 세 가지로 분류 된다. 본 논문에서는 흡착컵 상부 이동에 의한 체적 변화율이 크고 내압성과 스프링 특성이 우수한 bellows 형태를 선택하였다. 흡착컵의 크기는 컵의 개수와 발생하는 힘에 대해 종속되므로 가공과 실험의 편의성을 위해 접촉면의 지름이 10 mm 인 FESTO BU10 (Fig. 4)을 선택하였다. FESTO BU10 의 특성은 Table 2 에서 확인할 수 있다.

3.2 흡착컵 선정에 따른 분석

선정된 FESTO BU10 의 흡착컵 내부에 생성되는 압력을 살펴보자. 본 연구에서는 흡착컵 내부의 진공발생을 ST (Shut Type) (Fig. 5)와 OST (Open and Shut Type) (Fig. 6) 방법 두 가지를 제안하였다. 두가지의 방법 중 OST 는 흡착컵 내부에 코어를 삽입하여 컵 내부 공기의 개폐를 가능케 하였다. 여기서 코어는 흡착컵이 위아래로 움직이기 시작하는 순간, 공기의 흐름을 만든다. 순간적인 공기의 흐름은 흡착컵과 물체와의 탈착 시 시간적 지연을 최소화하는 장점을 제공한다. 하지만, 부착시에 발생하는 공기의 흐름은 실질적으로 공기 누출 결과를 가져오게 되므로 양력이 이론적 수치보다 낮게 나타난다. 두 번째 방법으로 제안한 ST 는 코어를 제거하고 밀폐된 흡착컵을 사용하는 방식이다. 밀폐된 흡착컵은 높이 변화에 의해 진공을 생성하며, 코어에 의한 공기의 흐름이 없으므로 공기 누출의 발생을 최소화 하게 된다. 본 논문에서는 작은 크기의 기구에서 큰 양력을 얻는 것에 중점을 두고, 공기 누출에 의해 양력 특성이 떨어지는 OST 방식은 제외하고, ST 방식의 경우에 대해 기술하겠다.

흡착컵에 의한 양력을 계산하기 위해서는 흡착컵 내부의 진공 압력을 계산하여야 하는데, 그 계산결과는 식 (3)과 같다.

$$(1.0) \times (0.1) = P' \times 0.4 \tag{3}$$

$$\rightarrow P' = 0.25 \text{ atm} = 190 \text{ mmHg}$$

Table 3 Properties by material

Material	Grade	Br(G)	Hc	Hci	BH <sub>max</sub>	T(°C) <sub>max</sub>
NeFeB	39H	12800	12300	21000	40	150
NeFeB	B10N	6800	5780	10300	10	150
NeFeB	35	12300				
NeFeB	42H	13300				

이 계산식에서 컵의 높이가 최소가 되었을 때는 물체와 부착하기 전의 상태이므로 내부 압력은 대기압인 1 기압으로 하였다. 산업 현장에서 말하는 진공이라는 개념은 대기압보다 낮은 상태의 압력을 유지하고 있는 인위적인 공간을 의미하므로 대기압인 760 mmHg 보다 낮은 190 mmHg 은 진공 상태라 말할 수 있다. 흡착컵 내부에서 190 mmHg 크기로 진공을 생성시킬 때 들 수 있는 힘의 크기는 다음과 같이 구하여 진다.

$$W = \frac{P}{760} \times S \times t \times (1.033)$$

$$= \frac{760-190}{760} \times (\pi \times 0.5^2) \times 0.5 \times (1.033) \tag{4}$$

$$= 304.24 \text{ gf}$$

만약, n 개의 흡착컵을 이용하여 이송 장치에 사용할 경우 이론적으로 들 수 있는 힘은 흡착컵의 개수와 비례하여 나타난다. 예를 들어 흡착컵의 사용을 수평 사용 (Fig. 2)에 적용할 경우 (안전계수 0.5), 6 개의 흡착컵으로 다음과 같은 힘을 낼 수 있다.

$$W \times n = 304.24 \text{ gf} \times 6 = 1825.5 \text{ gf}$$

본 논문에서는 회전하는 6 개의 흡착컵을 이용하였으며, 위의 계산식의 경우 흡착컵의 개수 n 을 6 으로 하였을 경우이다. 만약 개별적 흡착컵의 가반 중량 안전 계수를 6 개의 흡착컵에 그대로 사용한다면 3650 gf 의 힘을 낼 수 있을 것이지만, 가공 정도와 잔류 공기량에 따라 흡착컵의 실제 힘은 수평 사용 시 기준이 되는 안전 계수 0.5 에 미달되는 경우가 많다.

3.3 영구 자석의 선정과 힘

현재 시장에서 유통되고 있는 자석은 주조 알리

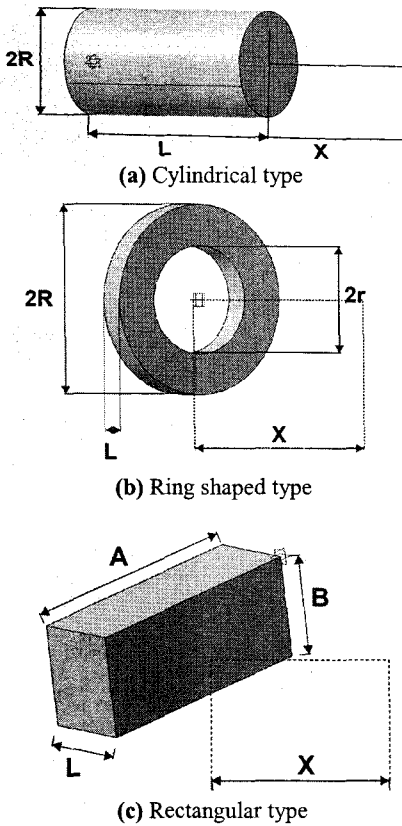


Fig. 7 Shape of magnets

코 자석, 소결 알리코 자석, 바륨-스트론튬 페라이트 자석, 사마륨 코발트 자석, 네오디뮴 자석 등 크게 다섯 가지로 분류 된다. 이들 분류 중 네오디뮴 (NeFeB) 자석의 경우는 온도에 대한 안정성, 가공성이 나쁘다는 것, 그리고 고가라는 단점을 지니고 있지만 현재 상용화된 자성 재료 중 가장 강한 자기 특성을 지니고 있어서 시장에서 가장 널리 이용되고 있다. 또한, 코발트류 자석보다 저렴한 가격이며 단단하여 잘 깨지지 않아 기계적 강도가 뛰어나고, 비교적 용이하게 형상을 제작할 수 있으며 자기 특성이 높기 때문에 크기가 작아도 강한 자력을 지니고 있다. 본 논문에서는 위와 같은 장점을 지닌 네오디뮴 자석 계열인 Grade 39H 을 선정하여 설계하였다 (Table 3). 영구 자석의 힘은 자석의 잔류 자속 밀도에 따라 달라지며, 자석의 모양에 따라 (Fig. 7) 힘의 분포가 다르게 나타난다. 각각의 경우 자석의 끝 단에서 x 만큼 떨어진 거리에서 발생하는 자속 밀도를 계산하는 식은 다음과 같다. 식 (5)는 cylinder, (6)은 ring, (7)은

$$B_x = \frac{B_r}{2} \left( \frac{(L+X)}{\sqrt{R^2+(L+X)^2}} - \frac{X}{\sqrt{R^2+X^2}} \right) \quad (5)$$

$$B_x = \frac{B_r}{2} \left\{ \left[ \frac{L+X}{\sqrt{R^2+(L+X)^2}} \right] - \left[ \frac{L+X}{\sqrt{r^2+(L+X)^2}} \right] - \left[ \frac{X}{\sqrt{R^2+X^2}} \right] - \left[ \frac{X}{\sqrt{r^2+X^2}} \right] \right\} \quad (6)$$

$$B_x = \frac{B_r}{\Pi} \left( \tan^{-1} \frac{AB}{2X\sqrt{4X^2+A^2+B^2}} - \tan^{-1} \frac{AB}{2(L+X)\sqrt{4(L+X)^2+A^2+B^2}} \right) \quad (7)$$

rectangular type 의 자속밀도 관계식이다.

위의 식들로부터 자석의 형상에 따라 x 만큼 떨어진 거리에서 발생하는 자속 밀도를 구할 수 있다. 구해진 자속 밀도를 이용하여 Grade 39H 의 거리 (x)에서의 인력과 척력을 구해보면 다음과 같이 주어진다.

$$F = 0.577 B_x^2 A \quad \text{attraction force at } x \quad (8)$$

$$F = 0.321 B_x^2 A \quad \text{repulsion force at } x \quad (9)$$

면적  $A_1, A_2$  를 가진 두 자석을 생각해 보자. 두 자석 사이에 작용하는 척력을 알아보기 위해 각각의 자석에 대해 척력을 유도한다 (식 (9)). 이때 주의할 점은 두 자석 사이에 작용하는 힘의 크기는 면적에 영향을 받으므로 식 (9)를 이용하여 계산할 때  $A_1, A_2$  면적 중 작은 면적을 사용하여 두 자석의 척력을 구해야 한다. 이렇게 하여 구해진 두 자석의 척력을 합하면 두 자석 사이에 작용하는 척력의 크기가 된다. 본 논문에서 설계한 구조물에는 흡착컵 상부에 ring 형태의 영구 자석을, 회전을 위한 상체 부분에는 cylinder 형태의 영구 자석을 이용하였으며 영구자석의 인력과 척력을 이용하기 위해 구조물 내부에서 수직방향으로 자석의 힘이 작용될 수 있도록 외부구조가 설계되었다 이에 구조물 내부에서 자석의 적절한 크기를 선정하기 위해서는 ring 형태의 자석과 cylinder 형태의

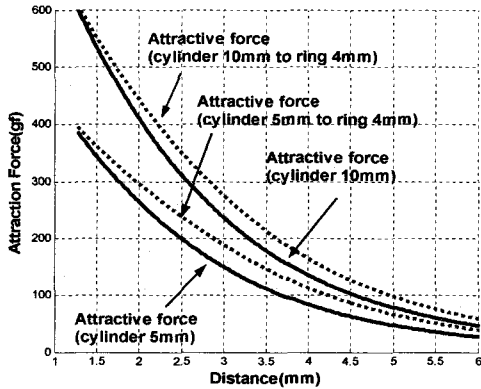


Fig. 8 Attraction force between two magnets

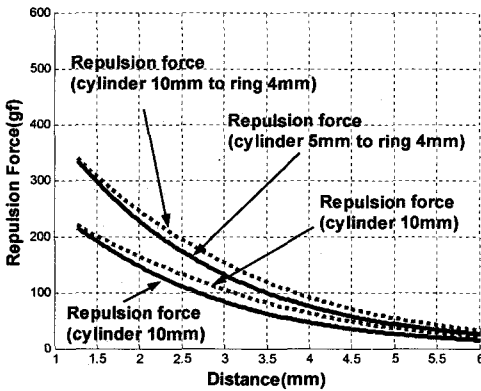
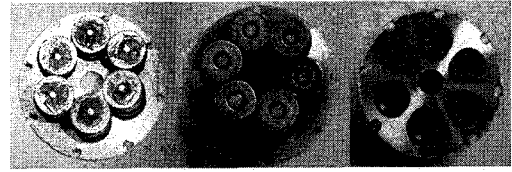


Fig. 9 Repulsion force between two magnets

자석 사이에서 발생하는 인력과 척력을 살펴 보아야 한다. BU10의 스프링(spring) 효과로 인한 스프링 상수는 200 N/m 이므로, 구조물 내부에서 필요한 흡착컵의 설계상의 변위인 4 mm 를 일으키기 위한 척력의 힘은 약 1 N의 크기가 된다. Figure 8 은 두 자석간의 인력을, Fig. 9 는 두 자석간의 척력을 나타내고 있다. 따라서, ring 형태 자석 크기는 고정시켜 놓고 cylinder 형태 자석의 크기를 변화시켜 보았을 때 거리 4 mm 의 위치에서 약 0.8 N의 힘을 가지는 cylinder 형태 자석의 크기는 지름 10 mm, 높이 10 mm 가 적절함을 알 수 있다 (Fig. 9).

#### 4. 기구 설계 및 제작

본 논문에서 선정된 벨로우즈 (bellows) 형태의 흡착컵은 높이 16 mm, 지름 10 mm 이다. 구조물은



(a) Bottom (OST) (b) Bottom (ST)  
(c) Bottom (ST and OST)  
Fig. 10 Bottom of structure

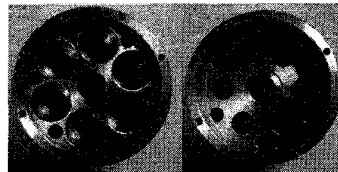


Fig. 11 Main body

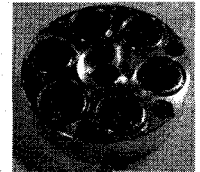


Fig. 12 Upper body

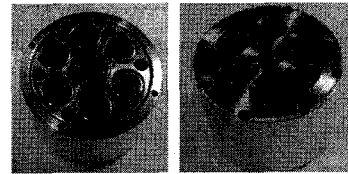


Fig.13 Assembly of parts

내부에서 최소의 높이 12 mm, 최대의 높이 17 mm 사이에서 변위를 일으킬 수 있도록 설계되었다. 앞서 유도한 것과 같이 흡착컵 개당 들 수 있는 무게가 304.24 g 이며, 개별적 진공 생성의 장점을 살펴보기 위해 6 개의 흡착컵을 사용하였다 (Fig. 10). Figure 10 에서 (a)는 OST (open & shut type)의 바닥 안쪽 형상이며 (b)는 ST (shut type)의 바닥 안쪽 형상이다. 그리고 (c) 는 OST 와 ST 공히 걸므로 드러난 부분의 바닥 형상이다. 흡착컵을 잡고 있는 구조물은 두랄루민 알루미늄을 소재로 하였으나 연성이 있는 재료를 사용하거나 특정 물체의 곡선 형태로 바닥 구조가 제작된다면 여러 형상의 물체를 이송시킬 수도 있다. 본 논문에서는 실험의 편의를 위해 두랄루민 (duralumin)으로 설계, 제작하였다. Fig. 10 의 (a), (b) 에서 볼 수 있듯이 자석의 척력/ 인력을 이용하기 위하여 흡착컵 상부에 극성을 교대로 하여 자석을 부착하였으며, 이 자석들과 서로 쌍을 이룰 수 있도록 중심 구조물 (Fig. 11) 상부에 있는 회전 할 수 있는 구조물 (Fig. 12)에도 영구 자석을 극성이 교대가 되도록 삽입 하였다. 이때 가장 중요한 것은 자석의 배치 이다. 만약 n 개의 흡착컵을 사용할 시에는  $360^\circ/n$  의 각도 회전에 의해 상부 구조물 내부의 자석 (Fig. 12)과 흡착컵 상부 의 마주보는 자석의 극성이 척력/인력으로 변환되어야 하므로 (Fig. 10),

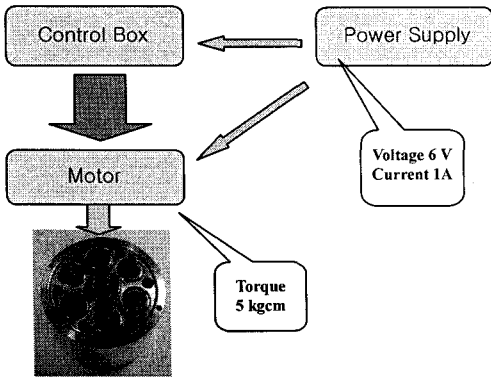


Fig. 14 Block diagram of the experimental system

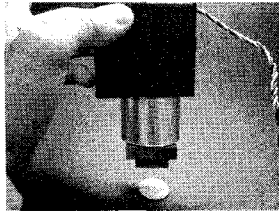


Fig. 15 Experiment of vertical direction

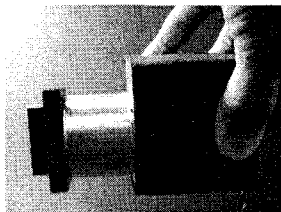


Fig. 16 Experiment of horizontal direction

N, S 극을 번갈아 가면서 배치 하여야 한다. 이러한 방법으로 흡착컵 내부에서는 개별적인 진공이 생성되게 된다. 이때 척력에 의해 흡착컵이 넘어지지 않도록 중심 구조물 (Fig. 11)에서는 가이드를 제공하였다. Fig. 13 은 구조물 조립이 완성된 모습이며, 이 구조물에서 상부 자석이 일정 각도만큼 회전하게 되면 흡착컵 내부에서 개별적인 수직 액추에이션이 가능하게 된다. 따라서, 회전에 의해 최소의 높이가 되었을 때 이송 물체에 부착하면, 다시 회전에 의해 최대의 높이가 되며, 흡착컵 내부에는 진공이 생성되어 물체의 이송에 필요한 양력을 내게 된다.

Table 4 Results of horizontal application (unit: g)

	1 cup	2 cups	3 cups	4 cups	5 cups	6 cups
Safety constant 1.0	608.5	1216.9	1825.4	2433.9	3042.4	3650.9
Real application	120.0	230.0	400.0	510.0	650.0	700.0
Safety constant 0.2	121.7	243.4	365.1	486.8	608.5	730.2

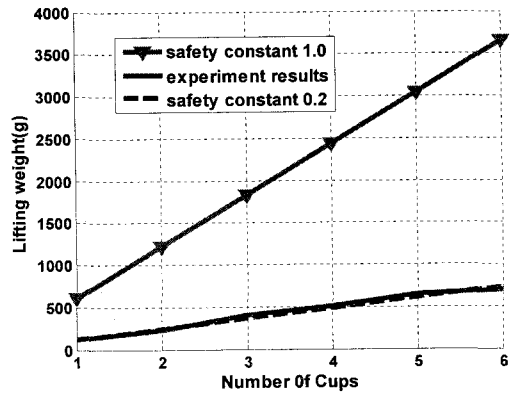


Fig. 17 Results of horizontal using

Table 5 Results of vertical application (unit: g)

	1 cup	2 cups	3 cups	4 cups	5 cups	6 cups
Safety constant 1.0	608.5	1216.9	1825.4	2433.9	3042.4	3650.9
Real application	70.0	120.0	180.0	300.0	340.0	420.0
Safety constant 0.1	60.8	121.7	182.5	243.4	304.2	365.1

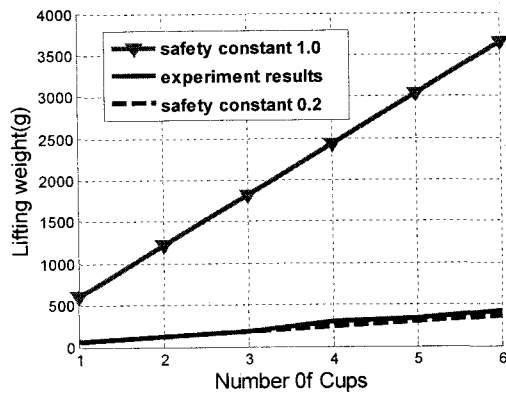


Fig. 18 Results of vertical using

## 5. 실험 결과

본 논문에서 사용된 흡착컵의 개수는 6 개이므로, 상부 자석판이 60° 씩 회전시킬 때 마다 상부자석판과 흡착컵 사이에 인력과 척력이 번갈아 발생한다. 흡착 구조물의 초기상태는 외부의 구동력이 존재하지 않으므로, 흡착컵에 부착된 자석과 상부 자석판이 서로 인력의 위치에 있다. 이를 60° 만큼 회전하게 되면, 인력이 척력으로 바뀌면서 흡착컵의 체적이 최소가 된다. 체적이 최소가 된 상태에서 흡착 대상물에 접촉시킨 채 60° 만큼 다시 회전하게 되면, 흡착컵의 체적이 최대가 되면서, 흡착컵 내부에 진공이 발생하게 된다. 이때, 각 흡착컵이 독립적으로 인력을 받게 되므로, 각 흡착컵 내부에 개별적 진공이 발생한다.

실험은 수평 사용 (Fig. 15)과 수직 사용 (Fig. 16)에 대해 행해졌으며, 흡착컵의 개수를 변화시켜가면서 들어올릴 수 있는 질량을 측정하였다. 이때 가반 중량의 측정은 질량 추를 바꾸어 가며 그램(gram) 단위로 측정하였다. Table 4 와 Fig. 17 은 수평 사용의 결과를 표와 그래프로 나타낸 것이다. 흡착컵은 수평 사용시 안전 계수를 0.5 로 하는 것이 일반적이나, 실험에서는 이론치의 20% (안전계수 0.2)의 중량을 들어올릴 수 있었다. 실험치와 이론치의 큰 차이가 나는 이유는 흡착시 공기의 누출도 원인이지만, 흡착컵의 형상이 원뿔형이므로 흡착컵을 물체에 부착시킬때 흡착컵 내부에 남아있는 공기가 압축되면서 내부의 진공 형성에 방해가 되기 때문이다. 압축되는 공기의 양을 정량적으로 측정하기 어렵고, 누출되는 공기의 양도 마찬가지로 이므로, 제안된 흡착장치를 위한 안정적인 중량은 실험을 통해 결정되어야 할 것이다. Table 5 와 Fig. 18 은 수직 사용의 결과이고, 실험의 결과는 이론치의 10%정도이다. 일반적으로 같은 조건에서 수직사용이 수평사용에 비해 50% 정도의 양력을 내는 것으로 알려져 있으므로, 정상적인 실험 결과라 판단된다.

흡착장치가 실제 이송 장치에 사용될 경우, 흡착하고 있을 때 얼마나 오랜 시간 동안 공기 누출 없이 지탱할 수 있는지가 중요한 요소 중 하나이다. 본 논문에서 제안하고 있는 흡착장치의 흡착 지속성을 이론치의 20%의 중량으로 수평 사용 실험해 본 결과 3 시간 이상이라는 결과가 나왔다. 3 시간이라는 것은 구성된 흡착장치는 흡착된 상태에서 공기의 출입이 거의 없음을 증명해준다. 수직 사용에 대해서는 이론치의 10%의 중량에서 실험하였고, 비슷한 경향의 결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 흡착장치는 매우 안정적인고, 신뢰성있는 장치임을 알 수 있다. 또한, 적절한 안전 계수의 선정으로 흡착컵을 이용한 이송장치를 안정적으로 꾸밀 수 있음을

제시하고 있다. 이 실험 결과를 토대로 분석해 볼 때 다수의 흡착컵을 사용하더라도, 본 논문에서 제안한 구조를 사용하게 되면, 소수의 흡착컵 내부에 진공이 실패하더라도 각각의 개별적인 진공을 생성시켜 이전의 공기 누출로 인한 전체 시스템 실패를 보완 할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 영구 자석을 사용 함으로서 이송 공정에 있어서 공압 장치와 같은 지속적인 에너지 공급이 필요 없게 되어 에너지 효율이 크게 개선되었으며, 소음과 복잡한 공기 튜브가 없어졌다.

## 6. 결 론

오징어와 같은 두족류의 흡반에서와 같이 개별적인 진공 펌프를 제공하기 위하여 본 논문에서는 영구자석의 척력과 인력을 이용하였으며, 다수의 흡착컵 내부에 각각 개별적인 진공을 부여 함으로서 소수의 흡착컵 내부에서 진공 실패가 일어나더라도 전체 시스템의 진공 실패로 이어지지 않게 하였다. 또한, 공압 장치를 이용하여 흡착컵 내부에 진공을 발생시키는 기존의 방식을 지양하고 영구 자석만으로 진공을 생성시키는 방식을 채택 함으로서 공압 장치의 소음과 복잡한 공기 튜브가 사라지며, 지속적인 에너지 공급이 아닌 순간의 단순 에너지 공급을 이용 함으로서 에너지 효율을 높이게 되었다. 이러한 장점을 실현하기 위해 고안된 PMS 구조는 일정한 각도만큼의 단순회전에 의해 각각의 흡착컵 내부에 개별적인 진공을 제공하여 에너지 측면에서 보다 효율적인 시스템을 구축할 수 있다. 즉, PMS 구조는 실제 산업 현장에서 기존의 이송장치를 대체 할 수 있는 혁신적인 장치이다.

## 참고문헌

- (1) Holland and K. Celia et al, 2002, "The Geohelminths: Aascaris, Trichyris, and Hookworm," Vol. 2, pp. 86~89.
- (2) FESTO, 2003, "Products 2002/2003," Vol. 1, pp. 2.4-53-58
- (3) Yano, T. and Suwa, T., et al, 1996, "Development of a Wall Climbing Robot II with Scanning Type Suction Cups," *Proceedings of the 2nd ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active System*, pp. 368~373.
- (4) Yano, T. and Numao, S., et al, 1998, "Development of a Self-contained Wall Climbing Robot with Scanning Type Suction Cups," *Proceedings of the 1988 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, Victoria, B. B., Canada pp. 249~254.
- (5) Ikeda, K. and Yano, T., 1991, "Fundamental Study of a Scanning-type Suction Cups," *Advanced Robotics*, Vol. 5, No. 3, pp. 309~230.
- (6) Lal, T. and Ranjan, M., et al, 2002, "Climbing The Walls," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 10~19.