

&lt;학술논문&gt;

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.11.1099>ISSN 1226-4873(Print)  
2288-5226(Online)도마뱀 인공섬모 구조물의 접착 특성에 금속코팅이 미치는 영향<sup>§</sup>김규혜\* · 안태창\* · 황희운\*<sup>†</sup>

\* 국립안동대학교 기계설계공학과

## Effects of Metal Coatings on Adhesive Characteristics of Gecko-like Micro Structures

Gyu Hye Kim\*, Tea Chang An\* and Hui Yun Hwang\*<sup>†</sup>

\* Dept. of Mechanical Design Engineering, Andong Nat'l Univ.

(Received February 13, 2015 ; Revised April 29, 2015 ; Accepted June 7, 2015)

**Key Words:** Gecko-Like Microstructures(게코 모방 미소구조), Metal Coating(금속코팅), Adhesion(접착)

**초록:** 자연계에 존재하는 다양한 생명체 중 몇몇은 벽이나 천장을 자유자재로 걸어다닌다. 이러한 생명체 중 대표적으로 Gecko는 발가락 표피에 수십억개의 주걱모양의 나노헤어를 가지고 있으며, 이러한 구조로 인하여 높은 접착력을 가진다. 본 연구에서는, 도마뱀 발바닥 섬모와 같은 미세 마이크로 구조물에 금속코팅을 하여 접착특성을 향상시키는 것을 제안한다. 도마뱀 모방 인공섬모 구조물을 DRIE공법으로 준비된 몰드를 이용하여 PDMS로 제조하였다. 그리고, 인공섬모의 금속 코팅은 플라즈마 스퍼터링을 사용하여 수행하였다. 접착력과 내구성은 실험을 유리에 반복 접착 실험으로 평가 하였다. 접착성 및 내구성 실험을 통하여 인공섬모 구조물에 금속코팅이 미치는 영향에 대해 관찰하였다.

**Abstract:** Recently, there have been several studies on the inspiration and application of optimized natural structures. One study introduced a new adhesion method that was inspired by the feet of geckos because of their superior features such as high adhesion strength, ease-of-removal, and they are environmentally friendly. Various micro- or nano-structures were fabricated and tested for gecko-like dry adhesives, but gecko-like dry adhesives that were developed became easily worn from frequent use. In this study, we propose a metal-coating method to improve the durability of gecko-like dry adhesives. We evaluate the initial adhesion strength and durability by performing repeated adhesion tests on a glass plate. The initial adhesive strength of gold-coated micro-structures was 60% of that for non-coated ones. However, the adhesive strength of gold-coated micro-structures was kept as 58% of their initial adhesion strength, while that of non-coated ones was only 40%.

## 1. 서론

최근 MEMS와 나노공학 분야의 발전은 자연모사에 있어 새로운 길을 제시하고 있다. 이러한 자연 모사의 일환으로 많은 연구팀에서 강한 접

착력을 가진 게코(Gecko)도마뱀의 발바닥 모사 연구가 활발하게 진행되고 있다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 게코 도마뱀의 발바닥은 수 만개의 기울어진 강모(Setae)로 구성되어 있는데, 이러한 강모의 특별한 구조가 벽을 거꾸로 올라갈 정도의 강한 접착력의 원인이 된다고 알려져 있다.<sup>(1)</sup>

사실은 이제 더 이상 게코(Gecko)도마뱀이 자연계의 나노 헤어가 부착과 관련된다는 것은 새로운 주제가 아니다. 그럼에도 불구하고, 부착과

<sup>§</sup> 이 논문은 대한기계학회 2014년도 추계학술대회(2014. 11. 11.-14., 김대중컨벤션센터) 발표논문임.

<sup>†</sup> Corresponding Author, [hyhwang@andong.ac.kr](mailto:hyhwang@andong.ac.kr)

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

관계된 정확한 메커니즘이나 영향변수들에 대해서는 여전히 정성적으로나 정략적으로 정확히 알려져 있지 않다.<sup>(2)</sup>

이번 연구에서는 간단하게 마이크로 구조물을 만드는 공정과 Compact Plasma Sputtering coater를 이용하여 마이크로 구조물에 금속 Coating을 하여 마이크로 구조물의 접착 특성에 금속코팅이 미치는 영향에 대해서 고찰하였다.

## 2. 마이크로 구조물 제작

Fig. 2를 보면 Mask를 이용하여 간단한 공정을 통해 게코(Gecko) 발바닥을 모방한 소형 등반 로봇에 필요한 실리콘 주형을 만든다.

이때, Mask에 마이크로 구조물의 직경과 간격을 서로 달리하여 제작하였으며, 본 연구에서 고려된 직경과 간격은 Table 1에 나타내었다.

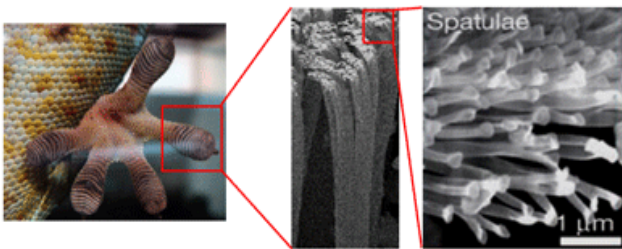


Fig. 1 Sole structure of Gecko

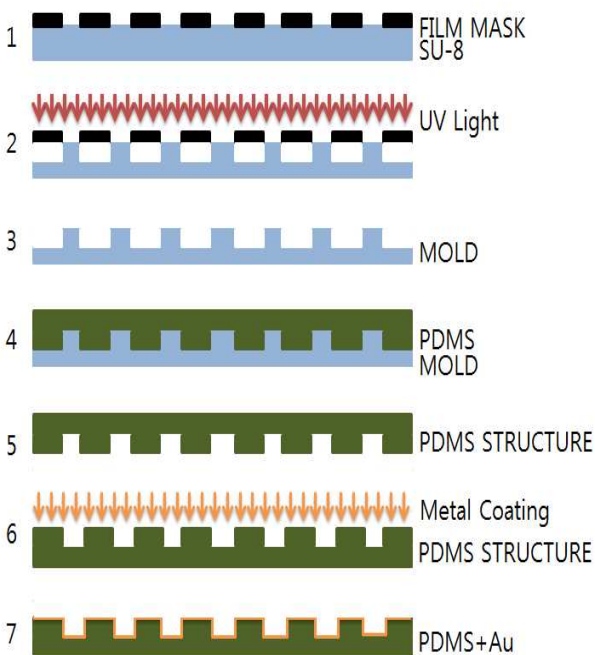


Fig. 2 Process of micro structures

먼저, Film mask를 제작하여 SU-8에 올려두고 UV Light를 쏜다. 이때, UV Light를 쏘게 되면 Film mask의 검은색 부분이 식각된다. 식각 공정을 통해 Mold가 만들어진다.

PDMS(Polydimethylsiloxane, Sylgard 184, Dowcorning, Korea)를 10:0.8 비율로 섞은 후, 준비된 Mold에 부어 진공펌프로 시편에 있는 공기를 빼준다. 그 후, 오븐기를 80 °로 맞춘 후, 3시간 경화를 한다. 3시간 뒤 Mold에서 PDMS를 떼어내게 되면, PDMS에 마이크로 단위의 구조물이 형성된 것을 알 수 있다. 마이크로 구조물이 형성된

Table 1 Identification of test specimens

I D	Diameter	Distance
D50I30	50 $\mu$ m	30 $\mu$ m
D40I30	40 $\mu$ m	30 $\mu$ m
D30I50	30 $\mu$ m	50 $\mu$ m
D30I40	30 $\mu$ m	40 $\mu$ m
D30I30	30 $\mu$ m	30 $\mu$ m
D30I20	30 $\mu$ m	20 $\mu$ m
D30I10	30 $\mu$ m	10 $\mu$ m
D20I30	20 $\mu$ m	30 $\mu$ m

Table 2 Sylgard 184 Specifications

Property	Unit	Value
Viscosity (Part A)	cP	5175
	mPa-sec	5175
	Pa-sec	5.2
Viscosity (Mixed)	cP	3500
	mPa-sec	3500
	Pa-sec	3.5
Specific Gracity (Uncured Base)	-	1.03
Specific Gracity(Cured)	-	1.04
Working Time at 25 °C (Pot Lifehours)	hr	1.4
Cure Time at 25 °C	hrs	48
Heat Cure Time @ 100 °C	minutes	35
Heat Cure Time @ 125 °C	minutes	20
Heat Cure Time @ 150 °C	minutes	10

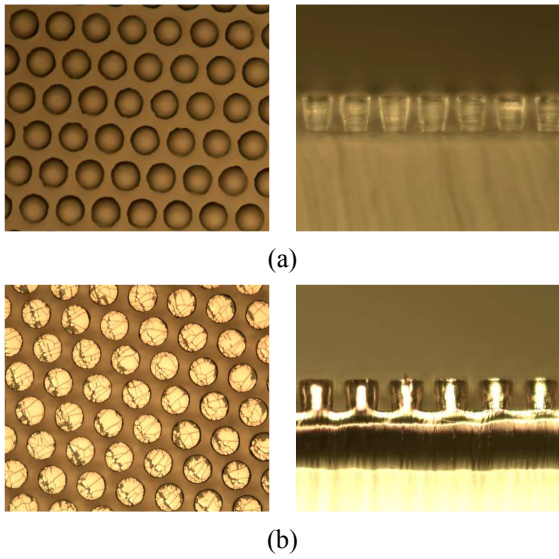


Fig. 3 (a) The surface of the microstructures made using PDMS, (b) Micro-structured surface after the metal coating



Fig. 4 Compact Plasma Sputtering coater

PDMS를 금속현미경을 통하여 관찰하면 Fig. 3(a)와 같다. Fig. 3(a)을 Compact Plasma Sputtering coater(Fig. 4)를 이용하여 20s 단위로 20s~100s로 코팅하였다. Fig. 3(b)와 같이 금속 coating이 된 것을 관찰할 수 있다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험방법

마이크로 구조물의 접착력은 구조물의 직경과 구조물간의 간격에 따라 달라질 수 있다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 제작한 마이크로 구조물을 유리판에 부착한 후, 압축력은 5N이 되도록 시편과 유리판의 간격을 조절하여 위쪽 방향으로 1mm/min의 속도로 잡아당긴다.<sup>(2)</sup>

#### 3.2 접착력 실험 결과

Fig. 6(a)는 마이크로 구조물 간격이 30 $\mu$ m로 일

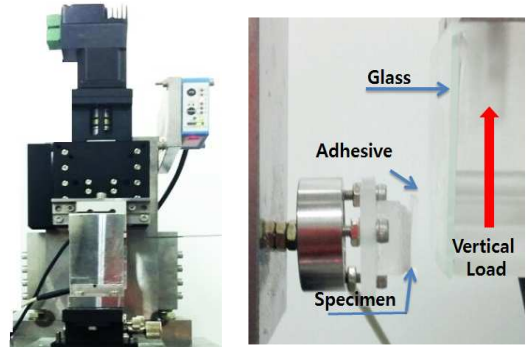
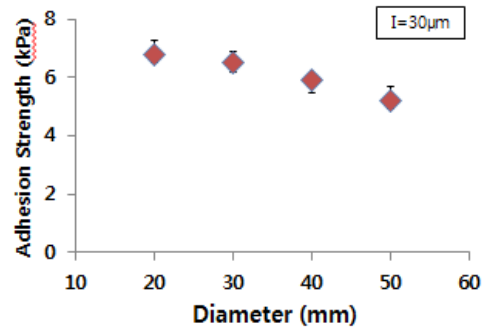
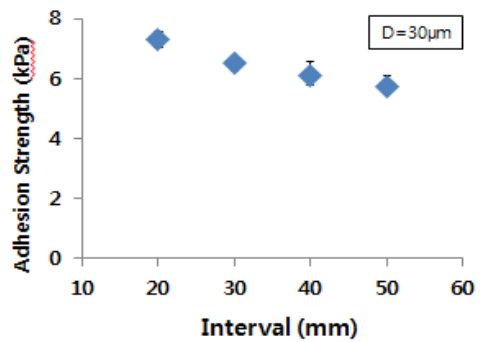


Fig. 5 Adhesion experimental aircraft of micro-structures made of PDMS



(a)



(b)

Fig. 6 (a) Adhesive force corresponding to the diameter of the microstructures. (b) Adhesive force according to the interval of the microstructures

정할 때, 마이크로 구조물 직경에 따른 영향을 보여준다. 직경이 20 $\mu$ m일 때 접착력이 7.3kPa로 가장 높게 나타났으며 직경이 증가함에 따라 접착력이 감소하는 경향을 가졌다.

Fig. 6(b)는 마이크로 구조물 직경이 30 $\mu$ m로 일정할 때, 마이크로 구조물 간격에 따른 영향을 보여준다. 간격이 20 $\mu$ m일 때 접착력이 6.8kPa로 가장 높게 나타났으며 간격이 증가함에 따라 접착력이 감소하는 경향을 가졌다.

또한, 간격이 10 $\mu$ m의 경우에는 간격이 가장

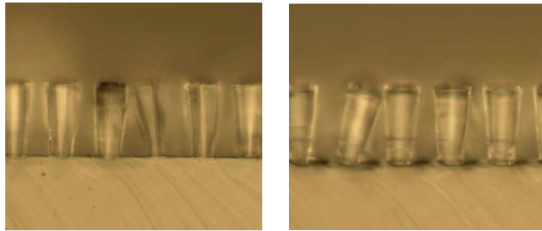


Fig. 7 Surface micro-structures are attached to each other

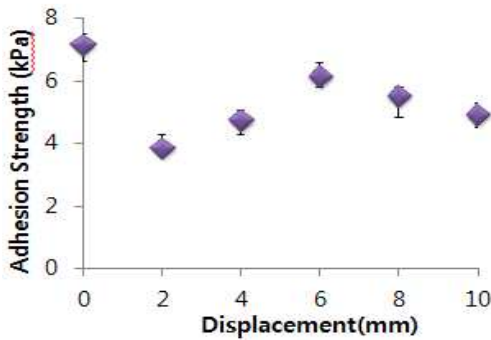


Fig. 8 Adhesion experiments of a test piece metal coated

좁지만, 미소 구조물이 Fig. 7과 같이 서로 붙어, 접착력이 떨어지는 문제점을 가진다.

Fig. 8은 금속을 코팅한 미소 구조물의 접착력 실험결과이다. 실험시편은 코팅을 하지 않았을 때 가장 높은 접착력을 가졌던 D30I20(직경 30 $\mu$ m, 간격 20 $\mu$ m)을 코팅하였다. Compact Plasma Sputtering coater를 이용하여 20s 간격으로 100s까지 코팅하였다.

코팅을 하지 않았을 경우, 7.3N의 접착력을 가졌다. 20s, 40s, 60s, 80s, 100s 간격으로 코팅을 하여 접착력 실험을 하였더니, 60s로 코팅을 하였을 때, 6.21N으로 가장 높은 접착력을 가졌다.

### 3.2 내구성 실험 결과

내구성 실험은 D30I20(직경 30 $\mu$ m, 간격 20 $\mu$ m)의 시편을 Compact Plasma Sputtering coater를 이용하여 Ag으로 60s 코팅한 것과 코팅하지 않은 것을 각각 100회 접착력 실험을 진행하였다.

코팅을 하지 않은 시편의 경우, 처음 접착력은 7.3N으로 높은 접착력을 보였다.

하지만, Fig. 9를 보면 알 수 있듯이 100회 반복을 하다 보니, 전체 접착강도가 60% 감소한 것을 알 수 있었다. 또한 50회 이후 반복실험에서는 접착력의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

60s로 금속 코팅을 한 시편의 경우, 처음 접착

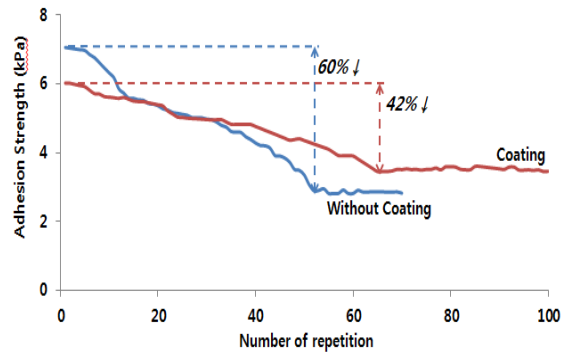


Fig. 9 Experimental results of durability

력은 6.21N으로 코팅하지 않은 시편보다 1.1N 정도의 낮은 접착력을 보였다.

하지만, Fig. 9를 보면 알 수 있듯이 접착강도가 42%로 감소한 것을 알 수 있다. 코팅한 시편의 경우, 70회 이후 접착력의 변화가 없는 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로 코팅을 한 시편의 경우, 100회 반복 실험 후에는 코팅을 하지 않은 시편보다 접착강도가 높다는 것을 Fig. 9를 통해 알 수 있다.

## 4. 결 론

게코 도마뱀의 강모의 특징을 고찰하여 접착력에 미치는 영향을 파악하고, 게코 도마뱀처럼 내구성이 강한 강모를 가지기 위해서 먼저, 코팅을 하지 않은 미소 구조물의 접착력을 측정하였다. 가장 높은 접착력을 가지는 시편을 금속코팅을 하여 접착력 실험을 하였다. 마지막으로 코팅을 하지 않은 시편과 금속코팅을 한 시편의 내구성 실험을 하였다. 마이크로 구조물에 금속코팅을 하게 될 경우, 코팅하지 않은 경우보다 접착력을 낮으나, 반복 접착 시험을 통한 접착력 저하가 PDMS(Polydimethylsiloxane) 마이크로 구조물은 60%였으나, 6nm두께로 금속코팅이 된 경우는 42%로 개선됨을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 2012학년도 안동대학교 산학연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌 (References)

(1) Moon, M.-W., Cha, T.-G., Lee, K.-R., Vaziri, A.

and Kim, H.-Y., 2009, "Adhesion and Friction Behaviors of the Angled Micro-pillars" *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 2009, No. 5, pp. 268~269.

(2) Cho, Y.-S., Jung, D.-H., Han, H. and Kim,

W.-D., 2007, "Fabrication of a Novel Dry Adhesive Structure with Reduced Effective Stiffness." *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 2007, No. 5, pp. 1900~1904.