

< 논문 >

## 다양한 형태의 실리콘 미세 구조물을 이용한 초소수성 표면형상 구현

하선우\* · 이상민\*\* · 정임덕\*\* · 정필구\* · 고종수†  
(2007년 2월 20일 접수, 2007년 4월 30일 심사완료)

### Surface Wettability in Terms of Prominence and Depression of Diverse Microstructures and Their Sizes

Seon-Woo Ha, Sang Min Lee, Im Deok Jeong, Phill Gu Jung and Jong Soo Ko

**Key Words :** Superhydrophobic(초소수성), Lotus effect(로투스 효과), PPFC(Plasma Polymerized Fluorocarbon), Contact angle(접촉각), DRIE(반응성 이온 건식 식각)

#### Abstract

Superhydrophobic surface, with a water contact angle greater than 150°, has a self-cleaning effect termed 'Lotus effect'. This surface is created by the combination of rough surface and the low surface energy. We proposed square pillar and square shapes to control surface roughness. Microstructure arrays are fabricated by DRIE(Deep Reactive Ion Etching) process and followed by PPFC(Plasma Polymerized Fluorocarbon) deposition. On the experimental result, contact angle at square pillar arrays is well matched with Cassie's model and largest contact angle is 173.37°. But contact angle of square pore shape arrays is lower than Cassie's theoretical contact angle about 5~10%. Nevertheless, square pore arrays have more rigidity than square pillar arrays.

#### 1. 서 론

최근 들어 마이크로 및 나노 사이즈를 관찰할 수 있는 측정기술과 가공기술(MEMS, NEMS technology)의 발달과 더불어 자연을 모방하는 생체모방기술(Biomimetics)이 각광받고 있다. 그 중에서도 마이크로 돌기를 가지고 있는 연잎(Lotus leaf)을 모방한 로투스 효과(Lotus effect)의 구현에 많은 관심이 집중되고 있다.<sup>(1)</sup> 로투스 효과를 가지는 표면의 소수성을 결정하는 요소는 표면 거칠기와 고유의 표면 에너지이다.

이 두 가지 조건을 변화시킴으로써 소수성 정도를 적절히 조절할 수 있고, 초소수성 표면을 구현할 수 있다. 로투스 효과를 가지는 초소수성 표면을 인위적으로 구현하고자 하는 많은 연구들이 있어왔으며 현재에도 활발히 진행되고 있다. 기존의 연구들은 크게 불규칙적인 거친 표면(Random rough surface)을 이용하는 방법과, 규칙적인 거친 표면(Regular rough surface)을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다.

불규칙적인 거친 표면을 제작하여 초소수성 표면을 구현하려는 연구로는 졸겔(sol-gel)법을 사용하거나,<sup>(2)</sup> CNT(Carbon Nano Tube), 나노 사이즈의 실리카 입자 등을 이용하여 거친 표면을 제작한 연구가 있었다.<sup>(3-5)</sup> 또 소수성을 띠는 PTFE(polytetra-fluoroethylene) 기관에 아르곤 이온 충돌과 산소 플라즈마 식각 방법 등을 이용하여 표면 거칠기를 증가시키는 등의 연구도 이루어졌다.<sup>(6,7)</sup> 그러나 불규칙적인 거친 표면을

---

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부  
부산대학교 정밀정형및금형가공연구소(ERC/NSDM)  
E-mail : mems@pusan.ac.kr  
TEL : (051)510-2488 FAX : (051)514-0685  
\* 부산대학교 기계공학부  
\*\* 부산대학교 미세기계전자시스템협동과정

이용하여 초소수성 표면을 구현하는 방법은 재현성이 떨어지고, 소수성 정도 또한 조절하기 힘든 단점이 있다.

따라서 최근 들어서는 마이크로 가공을 이용하여 규칙적인 실리콘 미세 구조물을 제작하고, 표면을 소수성으로 개질하여 재현성 있는 초소수성 표면을 제작하고자 하는 연구들이 진행되고 있다.<sup>(8-10)</sup> 이렇게 제작된 표면은 재현성을 확보할 수 있고, 제작 후의 소수성 정도를 예측 가능하다는 장점을 가지지만, 마이크로 구조물 제작을 위한 건식식각 공정과 복잡하고 긴 시간을 요하는 소수성 표면개질 공정을 개별적으로 진행해야 하는 번거로움이 있었다.

본 논문에서는 실리콘 건식식각 장치인 DRIE(Deep Reactive Ion Etching) 장치만을 이용하여 실리콘 건식식각과 PPF(Plasma Polymerized Fluorocarbon) 소수성 박막 코팅을 한 번에 수행할 수 있는 간단한 공정을 제안한다.<sup>(11)</sup> 또한 미세구조물의 형상 측면에서는, 기존에 많은 연구가 이루어졌던 기둥형태의 구조물을 가지는 돌출형상의 역상인 함몰형상의 미세 구조물을 제안한다. 돌출형상과 함몰형상의 차이에서 뿐 아니라, 각 형상에서의 구조물의 크기 변화에 따라 접촉각의 변화가 생길 것으로 예측되며, 이러한 차이를 본 논문에서 규명하고자 한다.

2. 마이크로 요철에서의 접촉각 이론

평평한 고체 표면에서 액체방울의 접촉각( $\theta_0$ )은 다음과 같은 Young의 식에 의해 결정된다.

$$\cos \theta_0 = \frac{\gamma_{SA} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LA}} \tag{1}$$

여기서  $\gamma_{SA}$ ,  $\gamma_{SL}$ ,  $\gamma_{LA}$ 는 각각 고체-기체, 고체-액체, 액체-기체간의 계면에너지를 나타낸다.

만약 고체표면이 평평하지 않고 요철이 있을 경우 접촉각은 더 이상 Young의 식을 따르지 않는다. 이 경우 접촉각은 Wenzel과 Cassie에 의해 제안된 두 가지 모델에 의해 결정된다.(이때 고체표면의 거칠기는 액체방울의 크기보다 현저히 작다고 가정한다.)

Wenzel의 모델은 Fig. 1(a)에서와 같이 요철이 있는 고체표면에 액체방울을 떨어뜨렸을 때, 액체방울이 요철의 바닥까지 완전히 적시는

경우를 가정한 것이다.<sup>(12)</sup> 이 때의 접촉각  $\theta_r^w$ 는 다음의 식으로 표현된다.

$$\cos \theta_r^w = r \cos \theta_0 \tag{2}$$

$$r = \frac{A_{SL}}{A_F} \tag{3}$$

여기서  $r$ 은 액체방울이 실제로 고체표면에 닿는 면적( $A_{SL}$ )과 상부에서 투영된 면적( $A_F$ )의 비를 나타내며, 거칠기계수(roughness factor)로 정의한다. Table 1과 같은 형상변수를 가지는 정사각형 돌출 및 함몰형상(square pillar & pore shape)에서  $r$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$r_{square\_pillar} = \frac{(a+b)^2 + 4ah}{(a+b)^2} \tag{4}$$

$$r_{square\_pore} = \frac{(c+d)^2 + 4ch}{(c+d)^2} \tag{5}$$

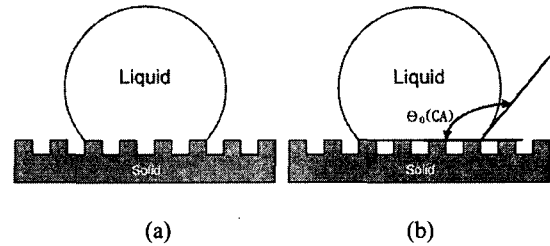


Fig. 1 Diagram of liquid drops on rough surface: (a) Wenzel's model; (b) Cassie's model

Table 1 Geometry of the designed microstructures

	Perspective view	Plane figure	Cross section
Square pillar			 Cross section along A-A
Square pore			 Cross section along B-B

Wenzel 의 모델에 따르면 평평한 고체표면에서 액체방울의 접촉각(  $\theta_0$  )이 90°보다 작을 경우(  $\cos\theta_0 > 0$  ), 요철이 있는 고체표면에서의 접촉각  $\theta_r^w$  는  $\theta_0$  보다 작아진다. 반대로 평평한 고체표면에서 액체방울의 접촉각이 90°보다 클 경우(  $\cos\theta_0 < 0$  ),  $\theta_r^w$  는  $\theta_0$  보다 커지게 된다.

Cassie 의 모델은 Fig. 1(b)에서와 같이 요철이 있는 고체표면에 액체방울이 떨어졌을 때, 액체방울이 요철에 의해 떠받쳐져 요철 위에 얹혀있는 경우를 가정한 것이다.<sup>(13)</sup> 이 때의 접촉각  $\theta_r^c$  는 다음과 같이 계산된다.

$$\cos\theta_r^c = f_s(1 + \cos\theta_0) - 1 \quad (6)$$

$$f_s = \frac{A_{SL}}{A_C} \quad (7)$$

여기서  $f_s$  는 액체방울이 실제로 고체표면에 닿는 면적(  $A_{SL}$  , 돌출된 면적)과 상부에서 투영된 면적(  $A_C$  )의 비를 나타내며, solid fraction 으로 정의한다. Table 1 에서와 같은 형상변수를 가지는 정사각형 돌출 및 함몰형상에서의  $f_s$  는 다음과 같이 계산된다.

$$f_{s, \text{square\_pillar}} = \frac{a^2}{(a+b)^2} \quad (8)$$

$$f_{s, \text{square\_pore}} = 1 - \frac{c^2}{(c+d)^2} \quad (9)$$

액체 방울이 고체 표면에 떨어졌을 때 Wenzel 과 Cassie 의 모델 중 어떤 모델로 결정될지는 Fig. 2 에 도시되어 있는 미세 구조물 측벽 기울기  $\alpha(90^\circ)$  와  $\theta_0$  에 의해 결정된다.

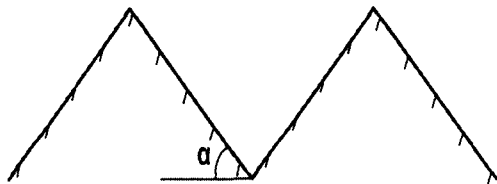


Fig. 2 Sidewall slope of a microstructure

평평한 고체표면에서의 접촉각이  $\theta_0$  일 때, Wenzel 의 모델에서 Cassie 의 모델로 바뀌는 임계 기울기를  $\alpha_0$  라 하면, 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\alpha_0 = 180^\circ - \theta_0 \quad (10)$$

여기서 미세 구조물의 측벽 기울기가 임계 기울기보다 작은 기울기(  $\alpha < \alpha_0$  )를 가지면 Wenzel 의 모델을 따르게 된다. 반대로 미세 구조물의 측벽 기울기가 임계 기울기보다 큰 기울기(  $\alpha > \alpha_0$  )에서는 Cassie 의 모델을 따른다.

### 3. 초소수성 표면형상의 설계

#### 3.1 정사각형 돌출형상

연잎의 표면형상과 가장 유사한 형태인 마이크로미터 크기의 돌기를 가지는 정사각형 돌출형상의 패턴을 설계하였다. 정사각형 돌출형상은 표면에 소수성 박막인 PFC( $\theta_0 = 109.15^\circ$ ) 를 증착할 경우 Cassie 의 모델을 따르며 설계 시 이를 고려하였다.<sup>(14)</sup>

동일한 크기의 정사각형 돌출형상 구조물에서, 구조물간 간격의 변화에 따른 접촉각의 변화를 알아보고자 하였으며 구체적인 설계치수는 Table 2 에서 보는 바와 같다. 돌출 구조물의 폭인 a 와 높이인 h 는 각각 5  $\mu\text{m}$  와 20  $\mu\text{m}$  로 고정된 상태에서, b/a 를 0.5~10 까지 변화시켰다. 표에서 r,  $\phi$  는 각각 거칠기(roughness factor)와 상부에서 투영된 전체면적대비 바닥면적이 차지하는 비율로 정의되는 함몰비율(pore fraction)을 나타낸다.

$$\phi(\%) = \{1 - f_s\} \times 100 \quad (11)$$

Table 2 Geometric parameters and theoretical contact angle on square pillar array

Structure size				Roughness factor(r) & Pore fraction		Theoretical CAs.	
a( $\mu\text{m}$ )	b( $\mu\text{m}$ )	b/a	h( $\mu\text{m}$ )	r	$\phi(\%)$	$\theta_r^w$	$\theta_r^c$
5	2.5	0.5	20	8.11	55.56	-	134.54
5	5	1		5	75	-	146.31
5	10	2		2.78	88.89	155.68	157.72
5	20	4		1.64	96	122.55	166.69
5	30	6		1.33	97.96	115.80	170.50
5	40	8		1.20	98.77	113.13	172.61
5	50	10		1.13	99.17	111.80	173.96

이론적으로  $b/a$  값이 커질수록 함몰비율이 커지고, 그에 따라 접촉각도 증가하게 된다. 하지만 더 큰 접촉각을 얻기 위해  $b/a$  를 무한정 늘려가다 보면, 구조물 사이의 간격이 접촉각 측정시의 물방울 직경에 가까워지거나 더 커져, 실제 접촉각은 이론 접촉각과는 사뭇 다른 양상을 보이게 된다. 그러므로 이를 고려하여 구조물 설계 시  $b/a$  값을 최대 10으로 제한하였다.

3.2 정사각형 함몰형상

정사각형 함몰형상은 정사각형 돌출형상의 역상이며, 돌출형상과 큰 차이점을 갖는다. 돌출형상의 경우, 정사각형 미세구조체 사이에 네트워크 형태의 채널이 형성되어 있어 물방울의 퍼짐이나 이동이 쉬워, 표면이 친수성일 경우 Wenzel 의 모델을 따른다. 반면 함몰형상의 미세구조체에서는 네트워크 형태의 격벽이 솟아있어 상대적으로 물방울의 이동이 어렵기 때문에, 표면이 친수성일 경우에도 Cassie 의 모델을 따르게 되어 더 큰 소수성을 띤다.<sup>(14)</sup>

함몰형상에서는 돌출형상과는 반대로 정사각형 모양의 함몰부의 크기가 늘어나면 함몰비율이 증가하고, 접촉각도 증가하게 된다. 따라서 함몰부 사이의 간격인  $d$  를  $5 \mu\text{m}$ 로 고정하고, 함몰부의 폭인  $c$  가 증가하도록 설계하였다. 구체적인 설계치수는 Table 3 에서 보는 바와 같다. 설계 시 돌출형과 함몰형 간의 직접적인 비교를 위하여, 함몰형의 함몰비율을 돌출형과 동일하게 설정하여 같은 이론 접촉각을 가지도록 하였다.

4. 초소수성 표면형상의 제작 및 측정

실리콘 마이크로 구조체 제작을 위하여 사진식각공정과 실리콘 건식식각공정을 이용하였다. 제작에는 5 인치 포토마스크와 4 인치 실리콘 웨이퍼

를 사용하였다. 전체 제작공정 순서를 Fig. 3 에 도시하였으며, 상세한 공정내역은 다음과 같다.

공정(a): 먼저 공정에 사용할 4 인치 실리콘 웨이퍼를 산화로에서  $1100^\circ\text{C}$ , 12 분의 조건으로 습식산화(wet oxidation)시켜  $2000\text{\AA}$  의 실리콘 산화막을 성장시킨다.

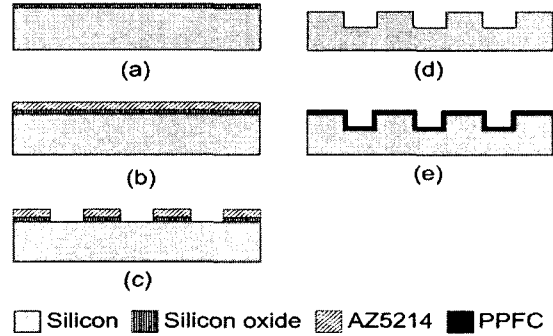


Fig. 3 Fabrication process of microstructures: (a) Wet oxidation; (b) photoresist coating; (c) photolithography and oxide etching; (d) silicon etching by DRIE, photoresist and oxide removal; (e) PPFC deposition by DRIE

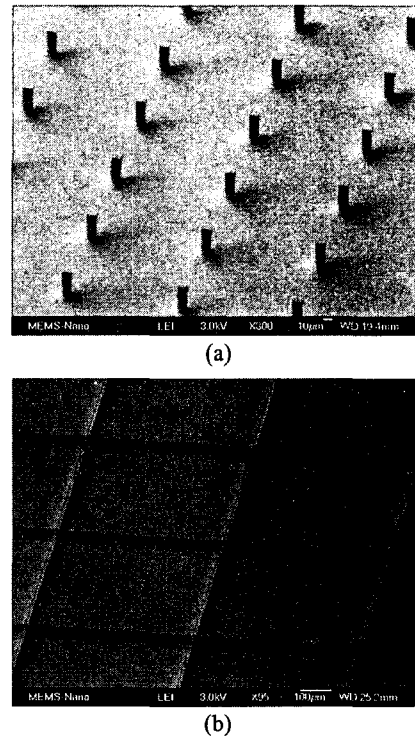


Fig. 4 SEM image of fabricated microstructures: (a) square pillar; (b) square pore

Table 3 Geometric parameters and theoretical contact angle on square pore array

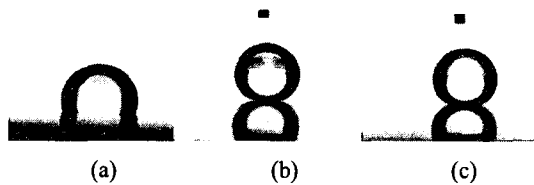
Structure size				Roughness factor( $r$ ) & Pore fraction		Theoretical CAs.	
$c(\mu\text{m})$	$d(\mu\text{m})$	$c/d$	$h(\mu\text{m})$	$r$	$\phi(\%)$	$\theta_r^w$	$\theta_r^c$
15	5	3	20	4	56.25	-	134.91
33	5	6.6		2.83	75.42	158.09	146.60
83	5	16.6		1.86	88.96	127.54	157.79
250	5	50		1.31	96.12	115.40	166.88
375	5	75		1.21	97.39	113.34	169.24
500	5	100		1.16	98.03	112.30	170.67

**Table 4** Theoretical and experimental contact angles according to the structure size on square pillar array

Structure size & pore fraction				Theoretical CAs.		Experimental CAs.
a( $\mu\text{m}$ )	b( $\mu\text{m}$ )	h( $\mu\text{m}$ )	$\phi(\%)$	$\theta_r^w$	$\theta_r^c$	$\theta_r$
5	2.5	20	55.56	-	134.54	145.17
5	5		75	-	146.31	145.56
5	10		88.89	155.68	157.72	149.51
5	20		96	122.55	166.69	153.10
5	30		97.96	115.80	170.50	163.56
5	40		98.77	113.13	172.61	166.95
5	50		99.17	111.80	173.96	173.37

**Table 5** Theoretical and experimental contact angles according to the structure size on square pore array

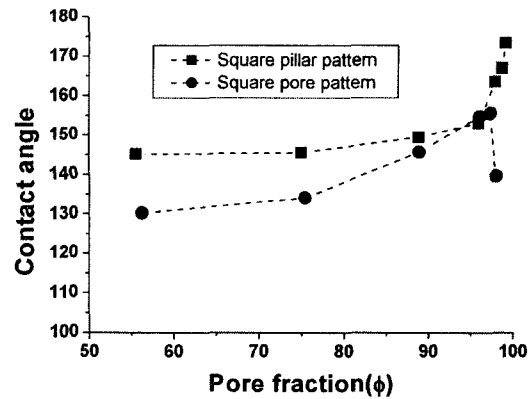
Structure size & pore fraction				Theoretical CAs.		Experimental CAs.
c( $\mu\text{m}$ )	d( $\mu\text{m}$ )	h( $\mu\text{m}$ )	$\phi(\%)$	$\theta_r^w$	$\theta_r^c$	$\theta_r$
15	5	20	56.25	-	134.91	130.21
33	5		75.42	158.09	146.60	134.04
83	5		88.96	127.54	157.79	145.70
250	5		96.12	115.40	166.88	154.72
375	5		97.39	113.34	169.24	155.56
500	5		98.03	112.30	170.67	139.60



**Fig. 5** Photos of droplet with the highest contact angle on different patterns: (a) Smooth surface, CA=109.15°; (b) Square pillar pattern, a=5  $\mu\text{m}$ , b=50  $\mu\text{m}$ , CA=173.37°; (c) Square pore pattern, c=375  $\mu\text{m}$ , d=5  $\mu\text{m}$ , CA=155.56°

공정(b): 감광제 접착강화를 위하여 실리콘 웨이퍼 위에 HMDS(HexaMethylDiSilazane)를 코팅한 후, 양성 감광제인 AZ5214E 를 코팅한다.

공정(c): 감광제를 105°C에서 초벌구이(soft bake)를 한 다음, 포토마스크와 웨이퍼를 정렬하여 노광을 수행한 후, AZ300MIF 현상용액을 이용하여 현상공정을 수행한다. 다음으로 110°C에서 재벌구이(hard bake)를 실시한 후, 반응성 이온 식각공정 (RIE: Reactive Ion Etching)으로 산화막을 건식식각한다.



**Fig. 6** Contact angle as a function of pore fraction. Each curve denoted square pillar, square pore and hexagonal pore(honeycomb) pattern

공정(d): DRIE 공정을 이용하여 20  $\mu\text{m}$  깊이로 실리콘 웨이퍼를 수직식각 한 후, 잔여의 감광막 또는 산화막을 제거한다.

공정(e): 최종적으로 DRIE 장치의 PPFC 박막을 미세구조체 전면에 코팅한다.

제작된 정사각형 돌출 및 함몰형상의 마이크로 구조체의 SEM 사진은 Fig. 4 에서 보는 바와 같다. 제작된 미세구조체의 형태와 크기에 따른 접촉각의 변화를 관찰하기 위하여 접촉각 측정기(Phoenix 150, SEO, Korea)를 사용하였다. 접촉각 데이터는 각 시편당 3 개의 지점을 측정하여 평균한 값을 사용하였다.

### 5. 결과 및 고찰

정사각형 돌출 및 함몰형상에서 구한 이론 및 실험 접촉각을 Table 4 와 5 에 각각 나타내었다. 실험에서 측정된 최대 접촉각은 173.37°로써, (a)와 (b)가 각각 5  $\mu\text{m}$ , b=50  $\mu\text{m}$ 인 돌출형상에서 측정되었으며, 이때의 측정사진은 Fig. 5(b)에서 보는 바와 같다. 이에 반해 함몰형상에서의 최대 접촉각은 155.56°로써 (c)와 (d)가 각각 375  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ 인 구조체에서 측정되었으며, 이때의 측정사진은 Fig. 5(c)에서 보는 바와 같다.

Table 4 에서 돌출형상의 접촉각 변화양상을 살펴보면, 이론대로 모든 패턴에서 Cassie 의 모델을 따랐으며, 초소수성 표면 구현이 가능하였다. 그에 반해, 함몰형상에서의 결과를 정리한 Table 5 로부터, 측정된 접촉각이 이론 접촉각에 비해 약 5~10% 낮게 나왔음을 알 수 있다. 그 원인은 함몰형상에서는

구조물의 상부가 그물처럼 서로 연결되어 있으므로, 돌출형상에서와는 달리 물방울이 상부의 구조물을 타고 비교적 쉽게 퍼질 수 있기 때문에 접촉각이 작아지는 것으로 사료된다.

Figure 6 은 두 가지의 다른 패턴형상에서 측정된 접촉각을 함몰비율을 변수로 하여 정리한 것이다. 함몰형상이 돌출형상에 비하여 전체적으로 낮은 접촉각을 보임을 알 수 있다. 또한 돌출형인 경우 함몰비율이 96% 이상에서 접촉각이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 한편, 함몰형상의 경우 측정과정에서 함몰부의 폭이 500  $\mu\text{m}$  이상으로 커지면 물방울의 형상이 왜곡되어 접촉각이 불안정한 모습이 관찰되었으며, 접촉각 또한 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 초소수성 표면구현을 위하여 마이크로 구조체의 형상과 크기에 따른 접촉각 변화를 비교 분석하였다. 구조체의 형상으로는 정사각형 돌출형상과 함몰형상을 구분하여 비교하였으며, 각 형상 내에서 다시 구조체의 크기를 변화시키며 접촉각의 변화 정도를 탐색하였다.

측정결과 돌출형상에 비하여 함몰형상에서의 접촉각이 전체적으로 약 0~15° 정도의 낮은 값을 보였다. 함몰형상에서는 측정된 접촉각이 이론 접촉각보다 5~10% 낮은 값을 보였다. 돌출형인 경우 함몰비율이 96% 이상에서 접촉각이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 한편, 함몰부의 크기가 증가할수록 접촉각이 증가하는 경향을 보이나, 함몰부의 폭이 500  $\mu\text{m}$  이상으로 커질 경우 물방울의 형상이 왜곡되어 접촉각이 불안정한 모습이 관찰되었으며, 접촉각 또한 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

돌출형 미세 구조체는 외부와의 물리적인 접촉에 의하여 쉽게 파손되기 쉬우므로, 마찰 또는 충격이 있는 표면으로 활용하기가 힘들다. 본 논문에서 제시한 함몰형 미세 구조체는 구조물이 그물형태와 같이 서로 연결되어 있으므로, 외부의 물리적인 접촉에 비하여 상대적으로 안정한 구조를 가진다. 그러므로 마찰이나 접촉이 있는 초소수성 표면의 제작에 매우 적합할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

- (1) Barthlott, W., Neinhuis, C., 1997, "Purity of the Sacred Lotus, or Escape from Contamination in Biological Surfaces," *Planta*, Vol. 202, No. 1, pp. 1~8.
- (2) Linda, Y. L. Wu, Soutar, A.M., Zeng, X.T., 2005, "Increasing Hydrophobicity of Sol-gel Hard Coating by Chemical and Morphological Modification," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 198, No. 1/3, pp. 420~424.
- (3) Shang, H. M., Wang, Y., Takahashi, K., Cao, G. Z., Li, D., Xia, Y. N., 2005, "Nanostructured Superhydrophobic Surfaces," *Journal of Materials Science*, Vol. 40, No. 13, pp. 3587~3591.
- (4) Feng, L., Li, S., Li, Y., Li, H., Zhang, L., Zhai, J., Song, Y., Liu, B., Jiang, L. and Zhu, D., 2002, "Super-Hydrophobic Surfaces : From Natural to Artificial," *Advanced materials*, Vol. 14, No. 24, pp. 1857~1860.
- (5) Yüce, M. Y., Demirel, A. L. and Menzel, F., 2005, "Tuning the Surface Hydrophobicity of Polymer/Nanoparticle Composite Films in the Wenzel Regime by Composition," *Langmuir*, Vol. 21, No. 11, pp. 5073~5078.
- (6) Inoue, Y., Yoshimura, Y., Ikeda, Y., Kohno, A., 2000, "Ultra-hydrophobic Fluorine Polymer by Ar-ion Bombardment," *Colloids and Surfaces B : Biointerfaces*, Vol. 19, No. 3, pp. 257~261.
- (7) Li, J., Xu, J., Fan, L., Wong, C.P., 2004, "Lotus Effect Coating and Its Application for Microelectromechanical Systems Stiction Prevention," *Electronic Components and Technology*, 2004. ECTC '04. Proceedings, Vol. 1, pp. 943~947.
- (8) Jürgen, J., Holger, G. and Rachel, Y., 2004, "Wetting Behavior of Water Droplet on Hydrophobic Microtextures of Comparable Size," *Langmuir*, Vol. 20, No. 23, pp. 10015~10019.
- (9) Zhu, L., Feng, Y. Y., Ye, X. Y., Zhou, Z.Y., 2005, "Tuning Wettability and Getting Superhydrophobic Surface by Controlling Surface Roughness with Well-Designed Microstructures," *Transducers '05*, 2006, pp. 595~600.
- (10) Bo, H., Neelesh, A. P. and Lee, J., 2003, "Multiple Equilibrium Droplet Shapes and Design Criterion for Rough Hydrophobic Surfaces," *Langmuir*, Vol. 19, No. 12, pp. 4999~5003.
- (11) Matsumoto, Y., Ishida, M., 2000, "The Property of Plasma-Polymerized Fluorocarbon Film in Relation to CH<sub>4</sub>/C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> Ratio and Substrate Temperature," *Sensors and Actuators. A, Physical*, Vol. 83, No. 1/3, pp. 179~185.
- (12) Wenzel, R. N., 1936, "Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water," *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 28, pp. 988~994.

- (13) Cassie, A. B. D., Baxter, S., 1944, "Wettability of Porous Surfaces," *Trans. Faraday Soc.* Vol. 40, pp. 546~551.
- (14) Ha, S. W., Jung, P. G., Shin, B., Go, J. S. and Ko, J.

S., 2006, "Surface Wettability in terms of Prominence and Depression of Microstructures and Their Sizes," *The 8<sup>th</sup> Korean MEMS Conference*, pp. 194~197.