

## 초소수성 표면 개질에 미치는 마이크로 나노 복합구조의 영향

이상민\* · 정임덕\* · 고종수†

(2008년 1월 10일 접수, 2008년 4월 3일 심사완료)

### The Effect of Micro Nano Multi-Scale Structures on the Surface Wettability

Sang Min Lee, Im Deok Jung and Jong Soo Ko

**Key Words :** Superhydrophobic(초소수성), Wettability(젖음성), Micro Nano Structure(마이크로 나노 구조), Lotus Effect(연잎 효과), Contact Angle(접촉각)

#### Abstract

Surface wettability in terms of the size of the micro nano structures has been examined. To evaluate the influence of the nano structures on the contact angles, we fabricated two different kinds of structures: square-pillar-type microstructure with nano-protrusions and without nano-protrusions. Microstructure and nanostructure arrays were fabricated by deep reactive ion etching (DRIE) and reactive ion etching (RIE) processes, respectively. And plasma polymerized fluorocarbon (PPFC) was finally deposited onto the fabricated structures. Average value of the measured contact angles from microstructures with nano-protrusions was  $6.37^\circ$  higher than that from microstructures without nano-protrusions. This result indicates that the nano-protrusions give a crucial effect to increase the contact angle.

#### 1. 서 론

최근 들어 나노급 크기의 제작기술의 발달로 인하여 그 동안 구현하기 힘들었던 나노급 크기의 생체모사가 가능하게 되었으며, 이로 인하여 나노생체모사(nano-biomimetics)기술이 큰 각광을 받고 있다. 그 중에서도 마이크로 돌기 위에 왁스성분의 나노 돌기를 가지고 있는 연잎을 모방한 연잎 효과(Lotus effect)의 구현에 많은 관심이 집중되고 있다.<sup>(1)</sup> 연잎 효과를 가지는 표면의 소수성을 결정하는 요소는 표면 거칠기와 고유의 표면에너지로써, 연잎은 마이크로 나노

복합구조를 통하여 표면 거칠기를 증대시킴과 동시에 표면에 코팅된 왁스성분은 표면에너지가 크게 낮추는 역할을 한다. 이러한 기하학적, 화학적인 복합요소에 의하여 연잎의 표면에 얹힌 물방울은  $140^\circ$  이상의 접촉각을 가지게 되어, 연잎의 표면은 초소수성(super-hydrophobic)을 띠게 된다. 한편, 이러한 초소수성 표면 위로 물방울이 구르게 되면, 표면에 있는 이물질이 제거되는 자가세정(self cleaning)작용이 일어나게 되며, 이를 연잎 효과라고 한다. 이러한 연잎 효과는 기초연구로써의 가치뿐만 아니라, 각종 산업 분야에 큰 활용가치를 가지기 때문에 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(1-3)</sup>

초소수성 표면을 구현하기 위한 연구는 표면의 화학적인 조성을 변화시키는 방법과<sup>(4-8)</sup> 구조물을 기하학적으로 변화시키는 방법으로 크게 양분화되어 진행되어 왔다.<sup>(9-12)</sup> 그 동안의 연구결과를 종합해 볼 때, 화학적인 조성변화를

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

\* 부산대학교 기계공학부

통한 초소수성 표면 구현은 한계가 있으며, 실제로 120° 이상의 접촉각을 구현한 예가 거의 없다. 이에 반해 기하학적인 변화를 통한 초소수성 표면의 제작이 상대적으로 매우 높은 접촉각을 보였다. 접촉각 상승에 미치는 나노 구조물의 영향이 여러 논문을 통하여 밝혀졌지만, 규칙적인 나노 구조물 제작을 위하여 전자빔 리소그래피 공정이 필요하게 되어, 고가의 공정비용과 더불어 긴 공정소요시간 및 대면적 공정의 어려움이 있었다.

본 연구에서는 기존의 UV 노광 공정과 실리콘 건식식각 공정을 이용하여 마이크로 나노 복합구조를 형성하고, 소수성 박막코팅을 하여 초소수성 표면을 구현하였다. 돌기형상의 마이크로 구조물의 크기와 간격에 따른 접촉각의 변화는 본 학술지에 이미 발표된 바 있다.<sup>(13)</sup> 이에 본 연구에서는 나노 구조물이 접촉각의 증감에 미치는 영향을 추가로 분석하고자 한다. 이를 위하여 돌기형태의 마이크로 구조물 위에 나노 구조물을 형성하였다.

## 2. 마이크로 나노 복합구조의 젖음 특성

고체표면의 소수성 성질은 표면자유에너지에 의해 지배적인 영향을 받는다. 평면에서의 표면자유에너지와 접촉각의 관계를 식 (1)과 같이 Young 에 의해 유도 되었다.<sup>(14)</sup>

$$\cos \theta_0 = \frac{\gamma_{SA} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LA}} \quad (1)$$

여기서  $\theta_0$  는 평면에서의 접촉각을 나타내고,  $\gamma_{SA}$ ,  $\gamma_{SL}$ ,  $\gamma_{LA}$  는 각각 고체-기체, 고체-액체, 액체-기체간의 계면에너지를 나타낸다. 본 연구에서  $\theta_0$  값은 Plasma Polymerized Fluorocarbon (PPFC)가 증착된 평면의 접촉각인 103.35°를 대입하였다.

고체표면이 평평하지 않고 요철이 있을 경우 접촉각은 더 이상 Young 의 식을 따르지 않는다. 이 경우 접촉각은 Wenzel 과 Cassie 에 의해 제안된 모델에 의해 결정된다.<sup>(15,16)</sup> 본 연구에서는 마이크로 나노 복합구조의 요철에 의한 젖음 특성을 세가지 가정하에 이론적으로 해석하였다.

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

경우를 가정한 것이다. 이 때의 접촉각  $\theta_r^w$  는 다음의 식으로 표현된다.

$$\cos \theta_r^w = r \cos \theta_0 \quad (2)$$

$$r = \frac{A_{SL}}{A_F} \quad (3)$$

여기서,  $r$  은 액체방울이 실제로 고체표면에 닿는 면적 ( $A_{SL}$ ) 과 상부에서 투영된 면적 ( $A_F$ ) 의 비를 나타내며, 거칠기율(roughness factor)로 정의한다.<sup>(17)</sup> 본 연구에서는 마이크로 나노 구조체가 모두 물에 젖는다고 가정하여 Wenzel-Wenzel 의 젖음형태로 정의하였다. 이에 대한 거칠기율을 재해석하였다.

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. 이 때의 접촉각  $\theta_r^c$  는 다음과 같이 계산된다.

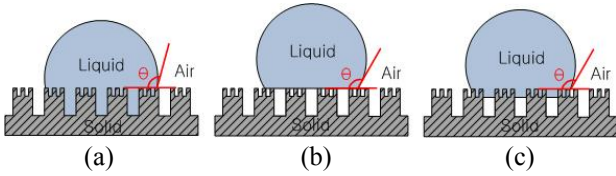
$$\cos \theta_r^c = f_s(1 + \cos \theta_0) - 1 \quad (4)$$

$$f_s = \frac{A_{SL}}{A_C} \quad (5)$$

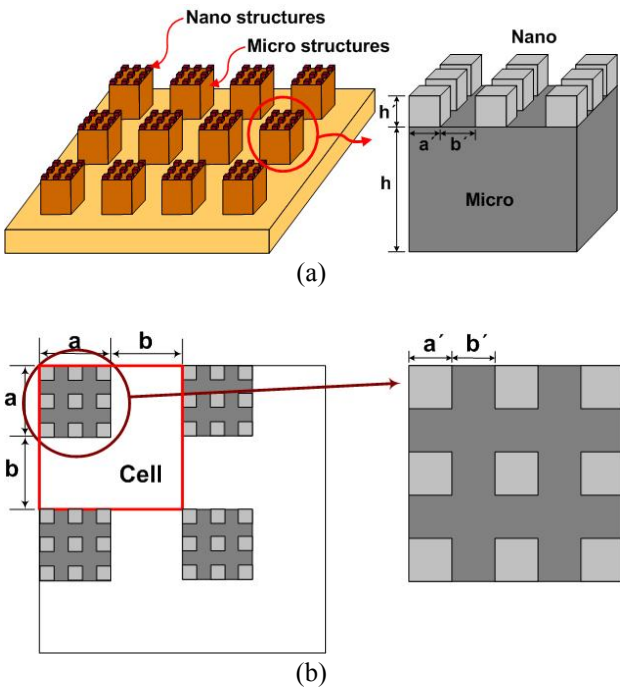
여기서,  $f_s$  는 액체방울이 고체표면에 닿는 면적 ( $A_{SL}$ , 돌출면적)과 상부에서 투영된 면적 ( $A_C$ ) 의 비를 나타내며, solid fraction 으로 정의 한다.<sup>(18)</sup>

본 연구에서는 나노 구조물에 의해 물방울이 떠받치는 것으로 가정하여 Cassie-Cassie 의 젖음 형태로 정의하였다. 이러한 가정에 의한 solid fraction 을 재해석하였다.

마이크로 나노 복합구조에 Fig. 1(c)와 같이 Wenzel 과 Cassie 의 이론이 혼재해 있는 Wenzel-Cassie 의 상태에 대해 이론적으로 해석하였다. 나노 구조물은 물방울이 젖고, 마이크로 구조물은 물방울을 떠받친다고 가정하였다. 따라서, solid fraction 에서 물방울이 닿는 면적을 나노 구조물의 표면적에 마이크로 구조물의 윗면적을 더한 값으로 대입하였다.



**Fig. 1** Three different wetting modes of multi-scale structures: (a) Wenzel-Wenzel mode; (b) Cassie-Cassie mode; (c) Wenzel-Cassie mode



**Fig. 2** Geometry of the designed multi-scale structures: (a) perspective view; (b) plan view

### 3. 초소수성 표면형상의 설계

연의 표면형상과 가장 유사한 형태인 돌출형상에 대해 Fig. 2 와 같이 설계하였다. 복합구조의 거칠기율과 solid fraction 을 계산하기 위해 반복된 한 영역인 셀(cell)을 지정하였다. 마이크로 구조물의 크기를  $a$ , 간격을  $b$ , 높이를  $h$  로 표시하였으며, 나노 구조물의 크기를  $a'$ , 간격을  $b'$ 로, 높이를  $h'$ 로 두었다.

Wenzel-Wenzel 젖음 특성은 마이크로 나노 복합구조가 모두 물에 젖는다고 가정하였다. 이러한 가정하에 거칠기율은 식 (6)과 같이 분자항에 마이크로 나노 구조물의 전체 겉면적, 분모항에는 투영면적을 대입하였다.

Cassie-Cassie 젖음 특성은 나노 구조물에 의해 물방울을 떠받치는 것으로 가정하였다. Solid fraction 은 식 (7)과 같이 분자항에는 나노 구조물

**Table 1** Theoretical contact angles according to the structure sizes on square pillar array.

Structure size						Roughness factor( $r$ ) & Solid fraction( $f$ )			Theoretical CAs. [deg.]		
Micro			Nano			$r^w$	$f^{wc}$	$f^c$	PPFC coated		
$a(\mu\text{m})$	$b(\mu\text{m})$	$b/a$	$a'(\mu\text{m})$	$b'(\mu\text{m})$	$n$				$\theta^w$	$\theta^{wc}$	$\theta^c$
10	5	0.5	0.95	1.05	25	4.977	0.866	0.100	-	109.47	157.35
10	10	1				3.237	0.487	0.056	138.37	128.68	163.06
10	20	2				1.994	0.216	0.025	117.42	146.44	168.73
10	40	4				1.358	0.078	0.009	108.27	160.05	173.24
10	60	6				1.182	0.039	0.004	105.84	165.78	175.17
10	80	8				1.111	0.024	0.002	104.86	168.95	176.24
10	100	10				1.074	0.016	0.001	104.36	170.96	176.93

의 윗면적을, 분모항에는 투영면적을 대입하였다.

Wenzel-Cassie 젖음특성은 나노 구조물은 물에 젖고, 마이크로 구조물에 의해 물방울을 떠받치는 것으로 가정하였다. 따라서, 식 (8)과 같이 분자항에는 나노 구조물의 겉면적과 마이크로 구조물의 윗면적을, 분모항에는 투영면적을 대입하였다.

$$r^{w-w} = \frac{(a+b)^2 + 4ah + 4a'h'n}{(a+b)^2} \quad (6)$$

$$f^{c-c} = \frac{a'a'xn}{(a+b)^2} \quad (7)$$

$$f^{w-c} = \frac{a^2 + 4a'h'n}{(a+b)^2} \quad (8)$$

여기서,  $n = a^2 / (a'^2 + b'^2)^2$  으로써, 하나의 마이크로 구조물 위에 있는 나노 구조물의 개수로 정의한다.

마이크로 구조물간의 간격에 따른 마이크로 나노 복합구조의 젖음 특성을 파악하기 위하여, Table 1 에서와 같이 마이크로 구조물의 크기( $a$ )를  $10 \mu\text{m}$ 로 고정하고, 구조물간의 간격( $b$ )을  $5 \sim 100 \mu\text{m}$ 로 증가시켜  $b/a$  값을  $0.5 \sim 10$ 으로 변화 시켰다. 마이크로 구조물의 높이( $h$ )는  $20 \mu\text{m}$ 이다. 해석을 위해서 사용된 나노 구조물의 크기는 실험에서 구한 값과의 정확한 비교를 위하여 최종적으로 제작되는 크기를 기준으로 하였다. 설계 시 포토마스크상의 나노 구조물의 폭( $a'$ ), 간격( $b'$ ), 높이( $h'$ )가 공히  $1 \mu\text{m}$ 이었지만 제작 후 각각의 치수가  $a'=950 \text{ nm}$ ,  $b'=1.05 \mu\text{m}$ ,  $h'=1 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 이는 실리콘 건식식각공정에서 발생하는 언더컷에 기인한 것이다.

Table 1 의 마이크로 구조물의 간격 증가에 따른 세가지 젖음 특성에서의 이론 접촉각의 변화에서 확인할 수 있듯이, 접촉각은 Cassie-Cassie 모드에

서 가장 큰 반면, Wenzel-Wenzel 모드에서 가장 작다. Cassie-Cassie, Wenzel-Cassie 모드에서는 마이크로 구조물의 간격 증가에 따라 접촉각이 커지는 반면, Wenzel-Wenzel 모드에서는 감소한다.

#### 4. 초소수성 표면형상의 제작

마이크로 나노 복합구조 제작을 위해 두 번의 사진식각공정과 실리콘 건식식각공정이 적용되었다. 나노 구조물은 포토 마스크를 사용하여 패터닝 한 후, RIE 를 이용하여 제작 하였으며, 마이크로 구조물은 사진작업 후, Deep Reactive Ion Etching (DRIE)을 이용하여 제작하였다. 제작공정 순서는 Fig. 3 에 도시되어 있으며, 상세한 공정내역은 다음과 같다.

공정(a): 나노 구조물 제작을 위하여 양성 감광제인 AZ5214E 를 이용하여 두께 1.1  $\mu\text{m}$  로 스핀코팅 후 사진식각공정을 수행한다. 나노 구조물 제작을 위한 포토마스크에는 가로, 세로가 각 1  $\mu\text{m}$ 이고 구조물 사이의 간격이 1  $\mu\text{m}$  인 정사각형 패턴이 반복적으로 배열되어 있다.

공정(b): RIE 를 이용하여 깊이 약 1  $\mu\text{m}$  실리콘 건식식각을 한 후, 산소 플라즈마 애싱( $\text{O}_2$  plasma ashing)을 통해 양성 감광막을 제거한다.

공정(c): 마이크로 구조물 제작을 위하여 AZ5214E 를 약 3  $\mu\text{m}$  두께로 스핀코팅한 후 사진식각공정을 수행한다.

공정(d): DRIE 공정을 이용하여 20  $\mu\text{m}$  깊이로 실리콘을 건식식각한다.

공정(e): 산소 플라즈마 애싱을 통해 양성감광막 제거하게 되면 마이크로 구조물 위에 나노 구조물이 있는 복합구조가 완성된다.

공정(f): 마지막으로 DRIE 의 Bosch 공정 증착모드를 이용하여 PPFC 박막을 구조물 전면에 코팅한다.

제작된 마이크로 나노 복합구조의 SEM 사진은 Fig. 4 에서 보는 바와 같다. 포토마스크상의 패턴은 정사각형 형태로 가로, 세로 각각 1  $\mu\text{m}$  이지만, 나노 구조물을 형성하기 위한 RIE 공정시 언더컷과 모서리 부분의 이온 집중 현상으로 인하여 제작된 나노 구조물의 폭은 폭은 950 nm로 측정되었다.

#### 5. 측정 결과 및 고찰

마이크로 나노 복합구조물에 대한 접촉각을 측정하고, 마이크로 구조물만 있는 경우의 접촉각과

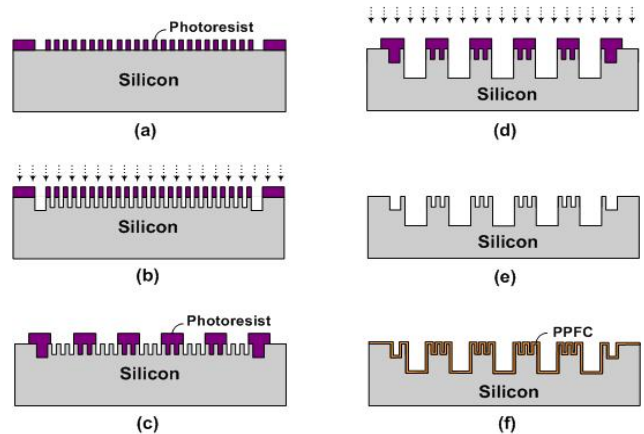


Fig. 3 Fabrication process of multi-scale structures: (a) 1<sup>st</sup> photolithography; (b) RIE (for nanostructure); (c) 2<sup>nd</sup> photolithography; (d) DRIE (for microstructure); (e) PR removal; (f) PPFC coating

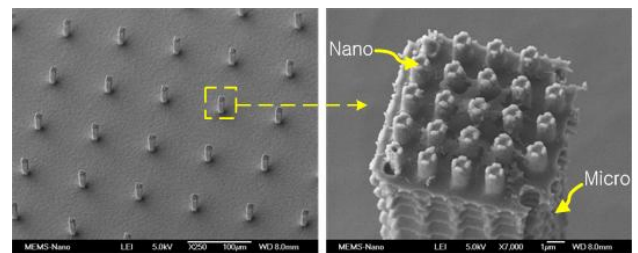


Fig. 4 SEM images of the fabricated micro nano multi-scale structure

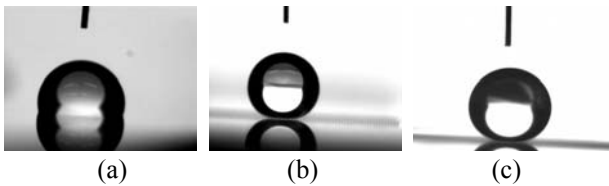
비교 분석하였다. 아울러 복합구조에 대한 세가지 젖음 특성인 Wenzel-Wenzel, Wenzel-Cassie, Cassie-Cassie 의 이론 접촉각과 비교 분석하였다. 정확한 접촉각 측정을 위하여 각 시편 당 3 개의 지점에서 3 회 반복 측정하여 평균한 값을 사용하였다.

Table 2 는 b/a 를 0.5~10 로 증가시켰을 때, 마이크로 나노 복합 구조물에서의 이론 및 실험값의 변화와 마이크로 구조물에서의 실험값 변화를 정리한 것이다. Table 2 에서 보듯이 마이크로 나노 복합구조물에서 측정된 최대 접촉각은 169.17°이며, a=10  $\mu\text{m}$ , b=60  $\mu\text{m}$ , h=20  $\mu\text{m}$ 에서 나타났다. 마이크로 나노 복합구조물의 경우, 마이크로 단일 구조물에 비하여 접촉각이 최대 8.97° , 평균 6.37° 증가하였다.

Figs. 5(a), (b), (c)는 각각 PPFC 가 코팅된 실리콘 평면, a=10  $\mu\text{m}$ , b=60  $\mu\text{m}$ , h=20  $\mu\text{m}$ 의 크기를 가지는 마이크로 구조물과 (b)의 마이크로 구조물 위에 나노 구조물이 형성된 시편으로 측정된 물방울

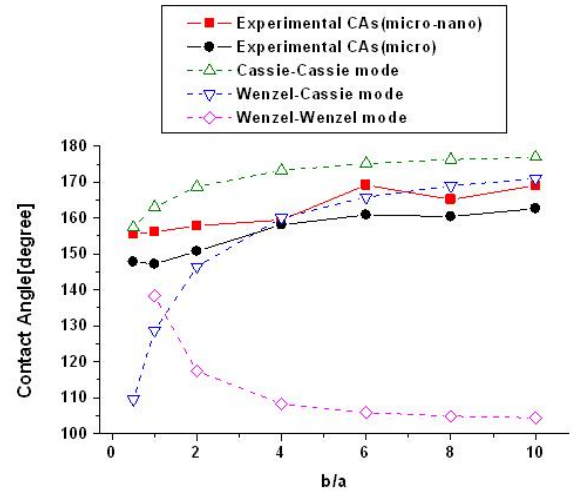
**Table 2** Theoretical and experimental contact angles according to the structure sizes on multi-scale square pillar array

Structure size						Theoretical CAs. [deg.]			Experimental CAs. [deg.]	
Micro			Nano						Micro Structure	Multi-scale Structure
a(μm)	b(μm)	b/a	a'(μm)	b'(μm)	n	$\theta^w$	$\theta^{wc}$	$\theta^c$		
10	5	0.5	0.95	1.05	25	-	109.47	157.35	147.81	155.56
10	10	1				138.37	128.68	163.06	147.16	156.13
10	20	2				117.42	146.44	168.73	150.75	157.84
10	40	4				108.27	160.05	173.24	158.12	159.47
10	60	6				105.84	165.78	175.17	160.88	169.17
10	80	8				104.86	168.95	176.24	160.42	165.13
10	100	10				104.36	170.96	176.93	162.62	169.08



**Fig. 5** Images of water drops with the highest contact angle for each structure: (a) PPFC coated smooth surface, CA=103.35°; (b) micro-structure, CA=160.88°; (c) multi-scale square pillar, CA=169.17°

사진을 나타낸다. Fig. 6 은 Table 2 의 값을 그래프화한 것이다. 이 그래프로부터 마이크로 나노 복합구조물에서 측정된 접촉각이 마이크로 구조물간의 간격이 좁은 경우 Cassie-Cassie 모드를 가정한 이론값과 근사한 반면, 마이크로 구조물간의 간격이 넓어질수록 Wenzel-Cassie 모드를 가정한 이론값에 가까워짐을 알 수 있다. 마이크로 구조물의 간격이 좁을 경우 물방울과 접촉하는 나노 구조물의 개수가 증가하는 반면, 마이크로 구조물의 간격이 넓을 경우 물방울과 접촉하는 나노 구조물의 개수가 감소하게 된다. 나노 구조물의 개수가 많을수록 물방울을 떠받칠 수 있는 힘이 커지며, 이러한 경우 Cassie-Cassie 모드의 젖음 형태를 띠는 것으로 생각된다. 반면, 나노 구조물의 개수가 작아지면, 물방울을 떠받칠 수 있는 힘이 작아지게 된다. 이 경우 물방울을 떠받치는 나노 구조물의 힘이 물방울의 자중을 이기지 못하여 물방울이 나노 구조물의 하단까지 젖게 되는 Wenzel-Cassie 모드의 젖음 형태를 띠는 것으로 판단된다.



**Fig. 6** Theoretical and experimental contact angles as a function of b/a. Solid symbols are experimental values and open symbols are theoretical ones.

### 6. 결 론

본 논문에서는 돌기 형태의 나노 구조물이 접촉각에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해 이론적, 실험적으로 규명하였다. 나노 구조물의 영향을 정확히 분석하기 위하여 마이크로 단일 구조물과 마이크로 나노 복합 구조물을 각각 제작하여 측정하였다. 또한 마이크로 구조물의 간격에 따른 물방울의 젖음 특성의 변화를 이론적으로 제시하였고, 이를 실험결과와 비교, 분석하였다.

본 논문에서 제시한 설계 치수 범위 내에서 제작한 마이크로 나노 복합구조물에서 측정된 접촉각은 마이크로 단일 구조물에서 측정된 것에 비하여 최대 8.97°, 평균 6.37° 로 크게 높았다. 나노 구조물은 물방울과 고체표면과의 접촉면적을 크게 감소시킴으로, 접촉각 증가에 크게 기여한다. 마이크로 구조물 간의 간격이 좁을 경우에는 나노 구조물이 물방울을 완전히 떠받치는 Cassie-Cassie 모드의 젖음 특성을 보였으며, 마이크로 구조물 간의 간격이 넓을 경우에는 물방울이 나노 구조물을 적시는 Wenzel-Cassie 모드의 젖음 특성을 보임을 확인하였다. 이는 마이크로 구조물 간의 간격이 좁을 경우에는 나노 구조물의 개수가 많게 되고, 물방울을 충분히 떠받칠 수 있는 힘을 가지게 되는 반면, 마이크로 구조물 간의 간격이 넓을 경우에는 나노 구조물의 개수가 적어지게 되고, 이에 따라 물방울을 떠받칠 수 있는 충분한 힘을 가지지 못하기 때문으로 사료된다.

## 후 기

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-11051-0)

## 참고문헌

- (1) Barthlott W. and Neinhuis C., 1997, "Purity of the Sacred Lotus, or Escape from Contamination in Biological surfaces," *Planta*, Vol. 202, pp. 1~8.
- (2) Feng X. and Jang L., 2006, "Design and Creation of Superwetting/Antiwetting Surfaces," *Adv. Mater.*, Vol. 18, pp. 3063~3078.
- (3) Gao X. and Jiang L., 2004, "Water-Repellent Legs of Water Striders," *NATURE*, Vol. 432, p. 36.
- (4) Zhang J. L., Li J. A. and Han Y. C., 2004, "Superhydrophobic PTFE Surface by Extension," *Marcromol. Rapid Commun.*, Vol. 25, pp. 1105~1108.
- (5) Shiu J. Y., Kuo C. W. and Chen P., 2005, "Fabrication of Tunable Superhydrophobic Surfaces," *Chem. Mater.*, Vol. 17, pp. 325~332.
- (6) Khorasani M. T., Mirzadeh H. and Kermari Z., 2005, "Wettability of Porous Polydimethylsiloxane Surface : Morphology Study," *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 242, pp. 339~345.
- (7) Jin M. H., Feng X. J., Xi J. M., Zhai J., Cho K. W. and Feng L., 2005, "Superhydrophobic PDMS Surface with Ultra-Low Adhesive Force," *Marcromol. Rapid Commun.*, Vol. 26, pp. 1805~1809.
- (8) Lu X. Y., Zhang C. C. and Han Y. C., 2004, "Low-Density Polyethylene Superhydrophobic Surface from Vapor-Induced Phase Separation of Copolymer Micellar Solution," *Marcromol. Rapid Commun.*, Vol. 25, pp. 1606~1610.
- (9) Lee Y., Park S. H., Kim K. B. and Lee J. K., 2007, "Fabrication of Hierarchical Structures on a Polymer Surface to Mimic Natural Superhydrophobic Surfaces," *Adv. Mater.*, Vol. 19, pp. 2330~2335.
- (10) Jung H. E., Lee S. H., Kim J. K. and Suh K. Y., 2006, "Nanoeengineered Multiscale Hierarchical Structures with Tailored Wetting Properties," *Langmuir*, Vol. 22, pp. 1640~1645.
- (11) Jung H. E., Kwak R., Lee S. S. and Suh K. Y., 2007, "Fabrication of Micro/Nanoscale Hierarchical Structures and Its Application," *J. KSME*, Vol. 5, pp. 1905~1907.
- (12) Teshima K., Sugimura H., Inoue Y., Takai O. and Takano A., 2005, "Transparent Ultra Water-Repellent Poly(Ethylene Terephthalate) Substrates Fabricated by Oxygen Plasma Treatment and Subsequent Hydrophobic Coating," *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 244, pp. 619~622.
- (13) Ha S. W., Lee S. M., Jung I. D., Jung P. G. and Ko J. S., 2007, "Surface Wettability in Terms of Prominence and Depression of Diverse Microstructures and Their Sizes," *J. KSME*, Vol. 31, No. 6, pp. 679~685.
- (14) Young T., 1805, "An Essay on the Cohesion of Fluids," *Philos. Trans. Roy Soc. London* 95, pp. 65~87.
- (15) Furstner R., Barthlott W., Neinhuis C. and Walzel P., 2005, "Wetting and Self-Cleaning Properties of Artificial Superhydrophobic Surfaces," *Langmuir*, Vol. 21, pp. 956~961.
- (16) Callies M., Chen Y., Marty F., Pepin A. and Quere D., 2005, "Microfabricated Textured Surfaces for Superhydrophobicity Investigations," *Micromol. Eng.*, Vol. 78-79, pp. 100~105.
- (17) Wenzel R. N., 1936, "Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water," *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 28, pp. 988~994.
- (18) Cassie A. B. D. and Baxter S., 1945, "Wettability of Porous Surfaces," *Trans. Faraday Soc.*, Vol. 40, pp. 546~551.