

# 은나노 입자를 함유한 폴리부틸렌관의 살균 및 항균성능에 관한 실험적 연구

최 상 곤, 홍 진 관<sup>†</sup>, 김 용 봉<sup>\*\*</sup>, 양 찬 모<sup>\*\*</sup>, 박 민 규<sup>\*\*\*</sup>  
경원대학교 대학원, <sup>\*</sup>경원대학교 건축설비학과, <sup>\*\*</sup>(주)에강, <sup>\*\*\*</sup>Ylem Tech

## An Experimental Study on the Sterilizing and Antibacterial Performance of Polybutylene Pipe with Nano-Silver

Sang-Gon Choi, Jin-Kwan Hong<sup>†</sup>, Yong-Bong Kim<sup>\*\*</sup>, Chan-Mo Yang<sup>\*\*</sup>, Min-kyu Park<sup>\*\*\*</sup>

Graduate School of Kyungwon University, Sunnam 461-701, Korea

<sup>\*</sup>Department of Building Equipment & System Eng., Kyungwon University, Sunnam 461-701, Korea

<sup>\*\*</sup>Aikang Corp., Seocho Seoul 137-130, Korea

<sup>\*\*\*</sup>Ylem Tech Corp., Sihung Gyeonggi 429-931, Korea

(Received November 10, 2005; revision received May 30, 2006)

**ABSTRACT:** In the present study, sterilizing and antibacterial performance tests of Polybutylene pipe with nano-silver were carried out in the testing bench of water supply facilities. Experimental results show that the average sterilizing and antibacterial rate of two micro-biological samples such as E. coli and S. aureus is about 90% in case of stillness experimental condition and 99% in case of flowing experimental condition, when elapsed time is 120 hours and 3 hours, respectively.

Experimental results also show that the supply water velocity in nano-silver Polybutylene pipe varies from 1 m/s to 1.5 m/s, the elapsed time needed sterilizing rate reach to 100% decreases.

**Key words:** Sterilizing rate(살균율), Antibacterial rate(항균율), Nano-silver(은나노), Polybutylene pipe(폴리부틸렌관), Escherichia coli(대장균), Staphylococcus aureus(황색포도상구균)

### 기 호 설 명

A : 항균율 [%]  
N : 측정된 균의 수 [cfu/ml]  
 $N_{nt}$  : t 시간 이후 일반 PB관의 균락수 [cfu/ml]  
 $N_o$  : 초기 균락수 [cfu/ml]

$N_t$  : t 시간 이후 은나노 PB관의 균락 [cfu/ml]  
S : 살균율 [%]

### 1. 서 론

최근 생활이 윤택해짐과 동시에 고도화된 산업 발전에 따라 웰빙(Well-being)에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이중에서도 각종 질병의 원인이 되는 병원균으로부터 벗어나기 위한 다양한 항균 가공제품에 대한 수요가 급증하고 있다. 이에 따

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-750-5314; fax: +82-31-750-5314

E-mail address: jkhong@kyungwon.ac.kr

Table 1 Specification of experimental instrument

Instrument	Specification
Incubator	Temperature tolerance: 20~50°C ±0.1°C
Colony counter	Pan counter 220 V
Clean bench	Size: 1200 × 600 × 620 Filter: Ulpa filter (0.3 μm × 99.9999%) Air volume: 23 m <sup>3</sup> /min Air velocity: 0.3~0.45 m/s Class 100

라 인체와 환경에 무해한 항균소재에 대한 새로운 기술의 연구개발 및 응용제품의 개발이 활발히 진행되고 있다.

특히 은나노 입자의 경우 항균소재가 가진, 섬유, 건축자재뿐만 아니라 유아용품, 의료용품 등 폭넓게 적용되어지고 있으며, 650여 종의 다양한 균에 대해 효능이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 또한 은에 대해서는 병원체가 내성을 갖지 못한다는 장점과 90년대 이후 발달한 나노기술에 힘입어 나노크기의 은 입자를 대량 생산할 수 있는 환경이 조성되어 여러 종류의 제품에 응용되거나 검토 중에 있는 실정이다.

본 연구에서는 은나노 입자의 함량이 100 ppm이 되도록 Polybutylene Base에 은나노 입자를 혼합하여 제작된 급수용 폴리부틸렌관(PB)에 대한 살균성을 평가하였다. 특히 살균성평가는 실제 급수설비 배관에 은나노 입자를 함유한 관을 사용할 경우 배관 내 급수가 정지상태와 유동상태인 경우에 대하여 급수 온도변화에 따른 살균성 평가를 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 살균성능 실험장치

실험장치는 세균을 배양하고 계수하는 실험장치와 급수배관계에 물이 순환하는 조건을 실제와 동일하게 하기 위한 급수배관계 유동실험장치로 구성되어 있다. 급수배관계 유동실험장치는 유속을 실험에서 설정할 대표유속인 1m/s와 1.5m/s로 설정하기 위한 급수순환펌프와 급수온도를 15°C와 25°C의 실험조건으로 설정하기 위한 항온조를 포함한 배관계로 구성되어 있다.

#### 2.1.1 세균배양 및 계수 실험장치

우선 미생물을 배양하거나 정지상태 급수관의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 상온에서 온도 ±0.1°C를 유지할 수 있는 인큐베이터를 사용하였다. 배지제작이나 배지 혹은 실험용 판에 세균을 접종하는 동안 외부로부터의 오염을 방지하기 위하여 클린벤치(Class 100)를 사용하였으며, 초기 멸균을 위하여 메틸알콜을 사용하였다. 배양된 배지표본을 분석하기 위하여 계수기(Colony counter)를 사용하고, 계수가 완료된 배지는 증기멸균기를 사용하여 멸균처리 후 과기하도록 하였다. 접종과 샘플링 작업을 위해 멸균주사기를 사용하였으며, 1회용 또는 수술용 장갑을 사용하여 실험 중 발생할 수 있는 오염을 방지할 수 있도록 하였다. Table 1에는 본 실험에서 사용된 실험장비의 제원을 나타내고 있다.

#### 2.1.2 급수배관의 유동 실험장치

급수배관계에 물이 순환하는 조건을 실제와 동일하게 하기 위하여 다음 Fig. 1과 같은 급수배관계 유동 실험장치를 제작하였다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 순환되는 급수의 온

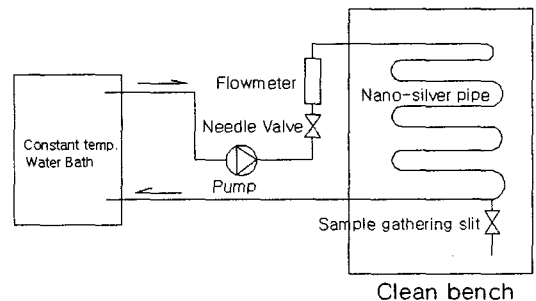


Fig. 1 Experimental instrument diagram.

도를 실험조건인 15℃와 25℃로 각각 유지하기 위하여 0~100℃까지 ±0.2℃로 유지할 수 있는 용량 20L의 항온수조를 사용하였다. 유량을 조절하기 위하여 유량조절밸브와 유량계를 설치하고 순환펌프에 의해 급수를 순환시키도록 하였다. 양정 2m, 유량 25 lpm의 순환펌프를 사용하여 충분한 유량을 공급할 수 있도록 하였으며, 유량조절밸브를 사용하여 급수배관계의 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 살균성능평가를 위하여 호칭경 15A인 은나노 입자를 함유한 PB관 10m를 급수배관계 유동 실험장치에 연결하도록 하였으며, 은나노 PB관을 통과하는 유량을 실험조건인 1m/s와 1.5m/s로 설정할 수 있도록 하였다. 샘플링 작업을 위하여 Fig. 1에서와 같이 급수배관계 유동 실험장치에 샘플 채취구를 설치하였다. 또한 표본작업시 접촉공기에 의한 오염을 방지하기 위하여 클린벤치 내에서 샘플링 작업을 할 수 있도록 실험장치를 구성하였다.

**2.2 정지상태 실험**

Table 2에 정지상태 실험에 사용된 균주와 배지 및 실험조건을 나타내었다.

정지상태 실험은 대장균(*E. coli*)과 황색포도상구균(*S. aureus*) 2가지 균주에 대하여 15℃와 25℃의 물이 5m의 은나노 PB관과 일반 PB관 내부에 정지상태로 담겨 있을 때 총 120시간에 대하여 24시간 단위로 표본을 채취하여 생존한 균수를 계수하는 것으로 하였다. 초기 급수의 온도 15℃와 25℃를 실험진행시간 동안 일정하게 유지하기 위하여 인큐베이터의 온도를 각각 15℃와 25℃로 설정하였다. 초기 접균을 위하여 각 균주는 24시간 배양하여 10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup> cfu/ml이 되도록 희석하였다. 또한 초기 배관 내의 멸균상태를 확보하기 위하여 에틸알콜로 소독하고 증류수로 수회 세척을 수행하였다. 이렇게 세척이 완료된 5m의

각 배관에 실험조건으로 설정한 온도의 증류수를 채우고 관의 양 끝을 밀봉한 후 접균을 실시하였으며, 이때 외부로부터의 오염을 방지하기 위하여 클린벤치 내에서 작업할 수 있도록 하였다. 접균이 완료되면 인큐베이터에 넣어 24시간 단위로 멸균주사기를 통하여 표본작업을 하도록 하였다. 채취된 표본은 10진 희석법에 의하여 각각의 배지에 도말한 후 24시간 배양을 거치도록 하여 계수기를 통하여 변화된 균의 수를 계수하였다.

**2.3 유동상태 실험**

Table 3에 유동상태 실험에 사용된 균주와 배지 및 실험조건을 나타내었다.

유동상태 실험은 대장균(*E. coli*)과 황색포도상구균(*S. aureus*) 2가지 균주에 대하여 15℃와 25℃의 물이 10m의 은나노 PB관을 1m/s와 1.5m/s로 유동할 때 5시간 동안 경과시간을 30분 단위로 표본을 채취하여 생존한 균수를 계수하는 것으로 하였다. 초기 급수배관 계통의 멸균상태를 확보하기 위하여 에틸알콜을 사용하여 멸균하는 경우는 잔류알콜로 인하여 실험에 대하여 간섭이 일어나는 것으로 예비실험에서 확인되었으므로 초기 세척을 위해서 80℃의 증류수를 1시간 동안 순환시키도록 하였다. 세척이 완료되면 세척에 사용된 증류수는 완전히 배출하고 0.85%의 멸균수를 이용하여 순환 세척 후 완전히 배출하는 작업을 2회 반복하도록 하였다. 실험은 최초 24시간 간격으로 표본을 채취하도록 하였다. 예비실험에서 24시간 내에 완전 멸균이 됨을 확인한 후 24시간 동안 1시간 간격으로 반복실험을 진행하였다. 그 결과 5시간 이내에 모든 경우 멸균이 됨을 확인하였고 이후 본 실험에서는 5시간 동안 30분 간격으로 표본채취를 하여 계수하도록 하였다. 항온수조에서 급수온도를 15℃와 25℃를

Table 2 Condition of stillness experiment

Strain	Ager	Water temp. (℃)	Pipe length (m)
E. coli	EMB	15	5
		25	
S. aureus	MSA	15	5
		25	

Table 3 Condition of flowing experiment

Strain	Ager	Water velocity (m/s)	Water temp. (℃)	Pipe length (m)
E. coli	EMB	1	15	10
		1.5	25	
S. aureus	MSA	1	15	10
		1.5	25	

각각 유지하는 동안 순환펌프가 순환수의 온도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 항온수조 입·출구에 T-type 열전대를 설치하여 순환펌프 가동에 따른 순환수의 온도변화를 측정하였는데 그 결과 항온조의 용량이 충분하여 순환펌프 가동으로 인한 급수온도 상승은 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 샘플링은 정지상태 실험과 같이 1회용 또는 수술용 장갑을 착용한 후 클린벤치 내에서 30분 간격으로 하도록 하였다. 이렇게 샘플링된 샘플을 10진 희석 후 배지에 도말하여 24시간 배양하고 계수하여 살균성능을 산정하였다.

$$A = \frac{N_{nt} - N_t}{N_{nt}} \times 100 \quad (2)$$

여기서, S는 살균율(Sterilizing rate),  $N_o$ 는 초기 균락수, A는 항균율(Antibacterial rate),  $N_{nt}$ 는 t 시간 이후의 일반 PB관에서의 균락수,  $N_t$ 는 t 시간 이후의 은나노 PB관에서의 균락수를 나타낸다.

2.4 살균성능 산정

살균 및 항균성능 산정은 계수된 균락수를 산술 평균하고, 아래와 같이 정의된 살균율과 항균율을 산정하였다.

$$S = \frac{N_o - N_t}{N_o} \times 100 \quad (1)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 정지상태 실험결과

우선 정지상태에서 은나노 입자가 함유된 은나노 PB관의 살균능력을 알아보기 위하여 Table 4에 정지상태에서 은나노 입자가 함유된 PB관과 일반적인 PB관의 비교실험한 결과를 나타내었다.

Table 4에서와 같이 은나노 입자를 함유한 PB관의 경우는 모든 경우에 시간의 경과에 따라 균의 수가 줄어드는 반면, 일반적인 PB관의 경우는 균의 수가 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결

Table 4 The comparison of test results in case of nano-silver PB pipe and normal PB pipe in stillness experiment

Hour	Strain		15°C (N×10 <sup>-6</sup> )				25°C (N×10 <sup>-6</sup> )			
			S. aureus		E. coli		S. aureus		E. coli	
	Nano-silver PB	PB	Nano-silver PB	PB	Nano-silver PB	PB	Nano-silver PB	PB		
0	38	3.5	50.5	8.6	42.5	0	42.5	11.3		
24	25	9.3	37.8	17	8.0	50.0	33.3	51.1		
48	20.7	10.5	30.5	21	29.6	70.9	30.1	71.8		
72	16.5	13.7	11.6	46	63.8	85.4	4.28	89.5		
96	4.5	17	5.8	32	78.9	91.6	3.12	92.4		
120	0.56	51.6	1.1	73	99.1	99.7	6.55	103		

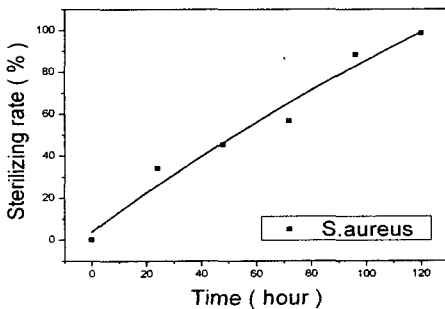


Fig. 2 Sterilizing rate of S. aureus in case of stillness experiment in 15°C.

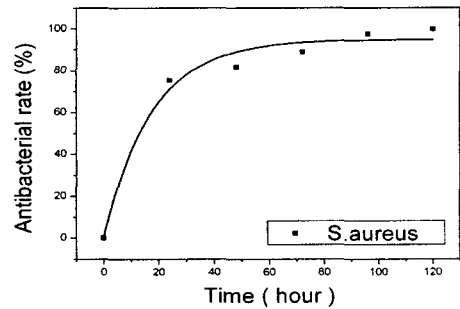


Fig. 3 Antibacterial rate of S. aureus in case of stillness experiment in 15°C.

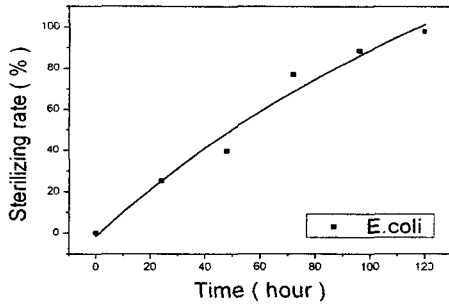


Fig. 4 Sterilizing rate of S. aureus in case of stillness experiment in 15°C.

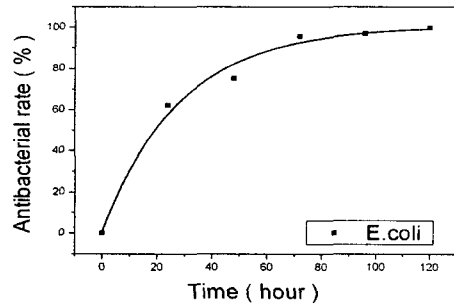


Fig. 5 Antibacterial rate for S. aureus in case of stillness experiment in 15°C.

Table 5 Test results in case of stillness experiment

Hour	Strain	15°C				25°C			
		S. aureus		E. coli		S. aureus		E. coli	
		S	A	S	A	S	A	S	A
0		0	0	0	0	0	0	0	0
24		34.2	75.2	25.1	62.1	8.0	50.0	21.6	82.7
48		45.4	81.8	39.6	75.3	29.6	70.9	29.2	88.8
72		56.6	88.9	77.1	95.7	63.8	85.4	89.9	98.7
96		88.2	97.6	88.5	96.9	78.9	91.6	92.7	99.1
120		98.5	99.9	97.8	99.7	99.1	99.7	84.6	98.3

과 일반적인 PB관에 은나노 입자가 함유됨으로써 관내의 미생물에 대한 항균 및 살균효과가 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 2와 Fig. 3은 15°C 정지상태에서의 황색포도상구균에 대한 살균율과 항균율을 나타낸 것이다. 살균율의 경우는 시간에 따라 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 항균율의 경우는 초기에 급격히 증가하였다가 시간에 따라 완만하게 증가하는 형태인 것을 알 수 있다. 이 결과는 PB관에 포함된 은나노 입자가 급수배관 내의 물에 대하여 살균 및 항균 성능이 상당히 우수하다는 것을 나타내고 있다.

Fig. 4와 Fig. 5는 15°C 정지상태에서의 대장균에 대한 살균율과 항균율을 나타낸 것이다. 앞서 나타낸 황색포도상구균의 경우와 거의 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. Table 5에 정지상태 실험결과를 나타내었다.

### 3.2 유동상태 실험결과

Fig. 6에 15°C의 물이 급수관 내를 1 m/s로 유

동할 경우에 대한 대장균과 황색포도상구균의 살균율을 나타내었다.

대장균과 황색포도상구균 모두 1시간 이내에 90% 이상의 살균율을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 정지상태실험의 경우에는 물이 정지하고 있기 때문에 물 속에 떠다니는 균들이 관 내부 표면의 은나노 입자와 접촉하는 데 긴 시간이 필요하지만 유동상태 실험의 경우는 일정한 속도로 관 내를 흐르기 때문에 상대적으로 물 속에 균과

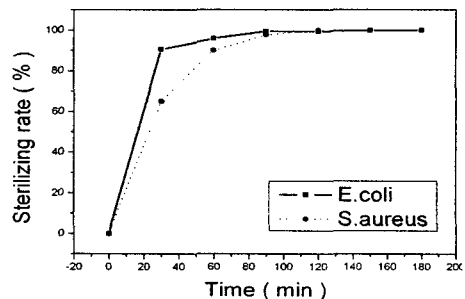


Fig. 6 Sterilizing rate in case of flowing experiment in 15°C, 1 m/s.

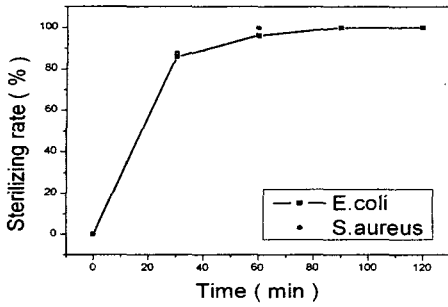


Fig. 7 Sterilizing rate in case of flowing experiment in 15°C, 1.5 m/s.

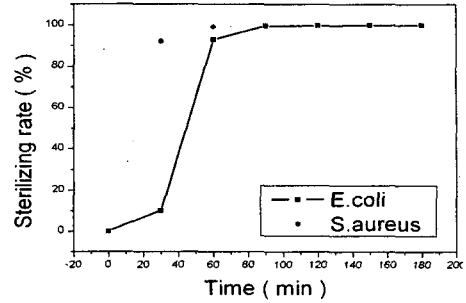


Fig. 8 Sterilizing rate in case of flowing experiment in 25°C, 1 m/s.

은나노의 접촉이 상대적으로 원활하기 때문에 생각된다. Fig. 6에서 나타난 바와 같이 유속이 1 m/s인 경우 포도상구균의 경우 160분 경과 후 100% 완전살균에 도달하며, 대장균의 경우는 완전살균에 180분이 소요되는 것을 알 수 있다.

Fig. 7에 15°C의 물이 관 내를 1.5 m/s로 유동할 경우에 대한 대장균과 황색포도상구균의 살균율을 나타내었다. 유속이 1.5 m/s로 증가할 경우 포도상구균의 경우 90분, 대장균의 경우 120분으로 100% 살균에 소요되는 경과시간이 Fig. 6의 유속이 1 m/s에 비해서 단축됨을 알 수 있다. 이것은 유속이 증가함으로 인해서 단위 경과시간당 배관 내 급수가 은나노 PB관에 접촉하여 유동하는 횟수가 증가됨으로 인해 급수관 내에 접촉한 대장균들의 살균에 미치는 영향이 상대적으로 증가되기 때문으로 생각된다. 이것은 초기살균에 미치는 영향으로도 설명할 수 있는데 유속이 1 m/s인 Fig. 6의 경우 대장균과 포도상구균의 살균력의 차이가 존재하나 유속이 1.5 m/s인 Fig. 7의 경우 대장균과 포도상구균의 초기 살균율의 차가 거

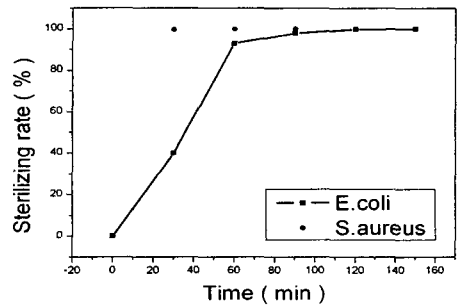


Fig. 9 Sterilizing rate in case of flowing experiment in 25°C, 1.5 m/s.

의 없음을 보여주고 있으며 100% 살균에 도달하는 경과시간도 유속이 1.5 m/s인 경우가 1.0 m/s에 비해 상대적으로 단축됨을 알 수 있다.

Fig. 8와 Fig. 9에 25°C의 물이 급수관 내를 1 m/s와 1.5 m/s로 유동할 경우에 대한 대장균과 황색포도상구균의 살균율을 각각 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 대장균의 경우는 온도가 15°C에서 25°C로 변화하는 경우 초기 30분의 살균

Table 6 Test results in case of flowing experiment

Strain	15°C				25°C			
	S. aureus		E. coli		S. aureus		E. coli	
	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5
0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	65.1	87.8	90.6	85.9	92.1	99.6	10.2	40
60	90.1	99.8	95.9	96	99.2	99.86	92.8	92.9
90	97.6	100	99.5	99.94	99.97	99.98	99.6	97.9
120	99.94		99.4	100	100	100	99.93	99.9
160	100		99.92				99.96	100
180			100				100	

율이 급격히 감소한 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 황색포도상구균의 경우보다 대장균의 경우가 상온의 물에서 상대적으로 온도가 높을 경우 관내 은나노 입자에 의한 살균이 어렵다는 것을 나타낸다. 그러나 25°C의 경우에도 1.5m/s로 유속이 증가할 경우, 유속이 1m/s에 비해서 상대적으로 100% 살균에 소요되는 시간이 짧아지는 것을 알 수 있다. 또한 2가지의 대표 유속조건에서 급수온도 25°C의 경우가 15°C에 비해서 100% 살균에 소요되는 기간이 다소 길어짐을 알 수 있는데 이것은 급수온도가 높아질수록 급수관 내에 접촉한 균의 번식이 활발해지는 것으로 급수의 온도가 균의 번식에 중요한 요소가 된다는 사실<sup>(3)</sup>을 확인할 수 있는 결과로 생각된다. Table 6에 유동상태 실험결과를 나타내었다.

#### 4. 결 론

앞서 설명한 바와 같이 은나노 입자의 함량이 100 ppm이 되도록 Polybutylene Base에 혼합하여 제작된 급수용 PB관에 대해서 배관 내 급수가 정지상태와 유동상태인 경우에 대하여 급수온도변화에 따른 살균성능평가를 수행한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 은나노 입자가 함유된 PB관은 대장균과 황

색포도상구균에 대하여 정지상태 실험일 경우 120시간에 평균 90% 이상, 유동상태 실험시 120분 이내에 평균 99% 이상의 살균력 및 항균능력이 있는 것을 알 수 있다.

(2) 유속이 1m/s에서 1.5m/s로 증가할 경우 100% 살균에 소요되는 경과시간이 감소하는 것을 알 수 있다.

(3) 급수온도 25°C의 경우가 15°C에 비해서 100% 살균에 소요되는 기간이 부분적으로 길어짐을 알 수 있으며, 이것은 급수온도가 높아질수록 급수관 내에 접촉한 균의 번식이 활발해지는 것으로 급수온도가 균의 번식에 중요한 요소가 된다는 일반적인 사실<sup>(3)</sup>을 확인할 수 있다.

#### 참고문헌

1. Kim, J. H., 2004, Nano silver antifungal material and application, NICE, Vol.22, No.6.
2. Kim, J. H., 2004, Preliminary investigations on applying nano silver ions to drinking water, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, pp.847-853.
3. Kim, T. W., 2003, Medicine microorganism and infection disease, Sumun Inc.