

패각분말을 이용한 살균성 미디어의 제조 및 정수기용 필터에 대한 응용

신 춘 환

동서대학교 환경공학과

(2006년 5월 3일 접수; 2006년 9월 6일 채택)

Manufacture of Sterilizing Media with Shell Powder and It's Application to the Filter of Water Clarifier

Choon-Hwan Shin

Department of Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

(Manuscript received 3 May, 2006; accepted 6 September, 2006)

Antimicrobial powder was made by exchanging silver ion on calcined oyster shell. On the purpose of application to water clarifier, ball-type media mixed with antimicrobial powder and 0~30% white kaoline were made.

The sterilization effect, pore size distribution and zeta potential was tested to indicate the condition for the media of water clarifier.

From these tests, it was confirmed that this media have an excellent sterilization power on G^- and G^+ germs. As the concentration of the exchanged silver ion increased, the surface charge density of the anions on the surface of the media also increased. The surface pore size decreased with the concentration of silver ion and 20% more white kaoline ratio.

Consequently, mixing ratio of white kaoline would appear to indicate the optimum condition as media have sterilization power.

Key Words : Antimicrobial filter, Ion exchange, Surface pore size, White kaoline, Sterilization

1. 서 론

급속히 심화되고 있는 수질오염과 함께 생활환경의 위생적 처리의 일환으로 정수기의 사용빈도가 해마다 증가하고 있다. 현대의 각 가정에서는 정수기가 필수적인 가정용품으로 등장하게 되면서 정수기능에 대한 차별화 전략이 정수기 제조회사들의 수요증가의 목표가 되어있다^{1,2)}. 정수기에 사용되는 필터들은 활성탄을 사용하는 전·후처리 필터와 중공사 막을 위주로 UF, MF 등을 사용하는 막 필터 그리고 살균력을 가지는 살균필터 등의 5개 정도의 필터가 일반적으로 잘 알려져 있다^{3,4)}. 이들 5개 필터들은 각각의 기능을 가지고 있지만 살균필터는 상수원수의 송수과정에서 관로의 부식으로 인한 미생물 유입이나 아파트를 대표하는 대단위 주거단

지의 경우 저류탱크 내의 미생물 번식이 사회문제가 되면서부터 그 중요성이 부각되고 있다⁵⁾.

살균필터는 제오라이트, 활성탄 혹은 세라믹 등의 표면에 살균력이 있는 것으로 잘 알려진 Ag^+ 이온을 코팅시킨 제품들이 주종을 이루고 있다. 그러나 다른 4개의 필터들과는 달리 교환 시기를 제조회사별로 다소 차이는 있으나 3~4개월로 제시하고 있다. 이는 코팅된 Ag^+ 이온들의 탈착에 의한 수명감소가 원인으로 판단되며 때에 따라서는 탈착된 Ag^+ 이온이 수질규제 범위는 만족할지 몰라도 인체 내의 수분에 대한 전해질 균형에 치명적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 코팅 처리한 살균필터의 개선이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 탈착이 불가능한 Ag^+ 이온을 담지한 살균용 미디어를 개발하여 살균용 필터를 제조함과 동시에 수생 미생물에 대한 살균효과를 Ag^+ 이온의 농도별로 제시하고자 하며 정수용 필터로서의 필수요건인 수중에서의 분산안정성, 연속 흐름과정에서의 살균력 유지 및 Ag^+ 의 이온교환 능

Corresponding Author : Choon-Hwan Shin, Department of Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea
Phone: +82-51-320-1787
E-mail: 6116Shin@dongseo.ac.kr

도에 따른 Media의 Zeta potential의 변화를 측정하여 제조된 Media의 표면기공의 크기 및 분포와의 상관성을 고찰함으로써 정수기용 Media의 물성을 제시하고자 하였다. 여기서 Ag⁺이온을 담지 할 수 있는 담체로는 일년 폐기량이 25만 톤에 이르는 굴 폐각을 이용하여 소성가공 후의 분말을 양질의 CaCO₃로 정제 분리한 후 Ag⁺이온과의 이온교환에 의해 탈착이 불가능한 살균성 미디어를 제조하는 기본기술을 설정하고자 하며, 부가적으로는 폐기된 자원의 재활용 기술을 설정함으로써 폐기물 재생을 통한 자원화 기술을 설정하고자 한다.

2. 실험재료, 장치 및 방법

2.1. 소성 및 정성분석

2.1.1. 소성온도에 따른 특성

굴 폐각의 열 건조 특성을 규명하고 살균성 담체로서 적절한 분말의 선택을 위해 열 건조 및 동결건조 실험을 실시하였다. Sample은 남해안에서 발생되는 굴 폐각을 1차적으로 중성세제를 이용하여 세척하고, 태양광 아래서 자연건조 시킨 후 불밀 등을 이용하여 미세분말로 제조한 것을 사용하였다. 소성 시 승온온도는 5°C/min로 하였고, 각각의 Sample은 2시간동안 전기로를 이용하여 소성하였다. 소성된 각각의 Sample은 분말의 색상을 확인한 후 100 ml의 순수한 증류수에 부피비로 1%가되게 분산시킨 후 pH 변화를 측정하였으며, 각각 XRD분석을 통하여 소성 후의 분자상태의 변화를 확인하였다⁷⁾.

2.1.2. 정성 분석

굴 폐각의 구성원소를 확인하고 가공기술을 확정하기 위하여 정밀분석 하였다. 이는 굴 폐각의 소성 가공 후 항균제로서의 기능을 발휘하기 위한 항균 금속과의 이온교환이 가능한 금속 이온들을 예측할 수 있는 자료가 될 것으로 판단되며 분석은 XRF를 이용하여 분석하였다.

2.2. 분말화 공정

소성된 굴 폐각을 pulverizer mill(Retsch, USA)로 분쇄하여 미 분말을 얻었으며 Hydroxy apatite (HAP)제조와 Ag⁺ 이온을 이온교환 시킬 수 있는 담체의 제조에 이용하였다.

2.3. HAP 및 살균성 분말의 제조

HAP은 2.2에서 얻어진 분말을 증류수에 용해 후 NH₄OH로서 pH를 조절하고, 다시 H₃PO₄를 첨가하여 일정 수준에 도달한 pH를 확인한 후 여과 및 850°C, 1hr의 조건으로 소성시켜 급랭하여 제조하였다. 살균성 분말은 제조된 HAP에 증류수와 AgNO₃를 0.01M, 0.05M 농도로 각각 조절하여 Acetic

Acid로 pH를 조절한 후 여과, 건조, 소성, 급랭 과정을 거쳐 제조하였다. (HAP-Ag)

2.4. HAP-Ag의 입자화

Ag⁺이온을 이온 교환시켜 살균성을 부여한 굴 폐각 분말은 건조한 후 성형성을 부여하기 위해 HAP-Ag와 고백자토를 5%~30% 까지 각각의 비율로 섞고, 이에 20% 메탄올을 혼합하여 약 5~6mm정도의 크기의 볼로 성형하고, 1000°C에서 1시간 소성 후 급랭시켰다. 성형된 볼은 표면의 입자화되지 못한 분말의 탈착과 표면을 고르게 만들기 위해 볼을 소량의 증류수를 붓고 참나무로 제작된 오크통에 감속모터를 설치하여 오크통 내에서 교반 후 건조 과정을 거쳐 표면 거칠기 등을 매끄럽게 만들어 최종 입자화 시켰다. 최종 생성물은 고백자토의 배합비율별로 비표면적과 Pore size를 분석하였으며, 수중 분산 시에 분말 입자가 떨어져 나오지 않는 것을 최종 산물로 확정하였다. 전체적인 과정을 Fig. 1에 나타내었다.

2.5. Zeta potential 측정 및 장치

살균성 Media의 전기이중층 내에 존재하는 전하의 밀도를 정량적으로 제시하기 위해 Fig. 2와 같이 제작된 Streaming potentiometer로부터 Zeta potential을 측정하였다. 살균성 Media는 Ag⁺이온에 0.01M, 0.05M 농도로 제조된 2 종류를 사용하였으며 전해질은 수돗물, 10⁻³M, 10⁻⁵M의 NaCl용액을 사용하여 전해질 종류에 따른 Zeta potential의 변화를 고찰하였다.

2.6. 살균력 Test

G⁻ 균주로 *E. Coli*, *P. aeruginous*, *K. pneumonia*, G⁺로 *S. aureus*, *B. subtilis*를 사용하여 수생미생물에 대한 MIC Test로부터 살균력을 측정하여 연속 흐름 살균력과의 비교자료로 활용하였다.

2.7. 사용재료의 기공분포 측정

HAP, HAP-Ag 및 고백자토가 혼합된 HAP-Ag-K의 표면기공분포를 비표면적장치(NOVA, 4000e)를 사용하여 측정하였다.

2.8. 연속흐름 살균력 Test

Fig. 3에 나타난 장치와 같은 평균직경이 7 mm, 비중이 2.8인 살균 Media를 내경 80 mm, 외경이 100 mm, 높이 800 mm의 등온측정이 가능한 column에 3/4의 부피로 주입하고 25°C에서 선속도 5 L/hr의 조건으로 일정농도의 대장균 함유 유입수를 연속적으로 흘려 실험하였다. 이때 체류시간은 층진층의 공극을 감안하여 30~40min으로 설계하였다. 유출수는 일정기간동안의 간격으로 세균수를 3M 사

패각분말을 이용한 살균성 메디아의 제조 및 정수기용 필터에 대한 응용

Washing of oyster shell



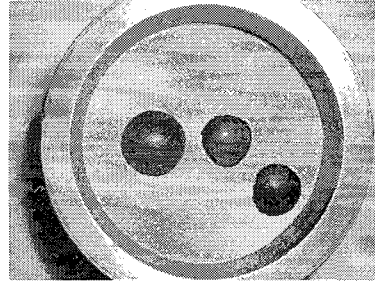
Crushing 1



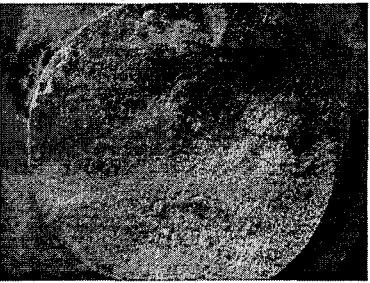
Crushing 2



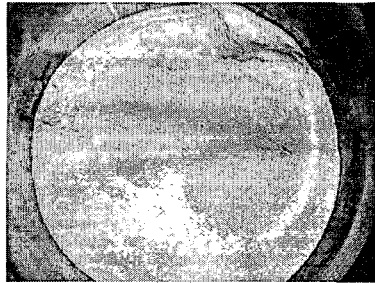
Pulverizing



Pulverizing particle



Washing and drying of pulverizing particle



HAP



HAP-Ag



Sterilizing media

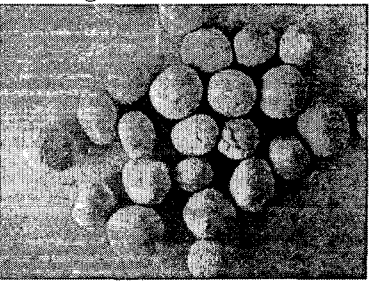


Fig. 1. Processing of sterilizing media.

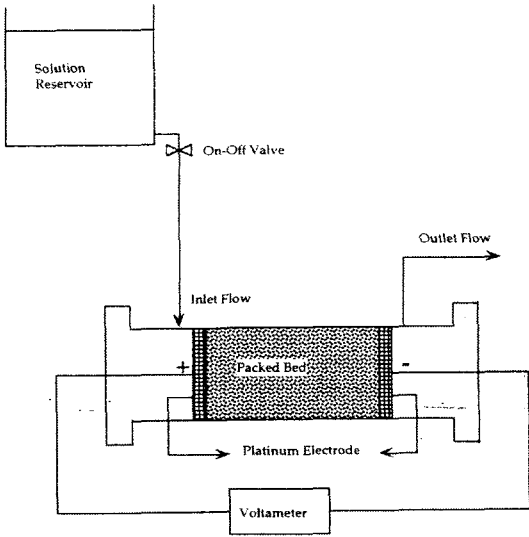
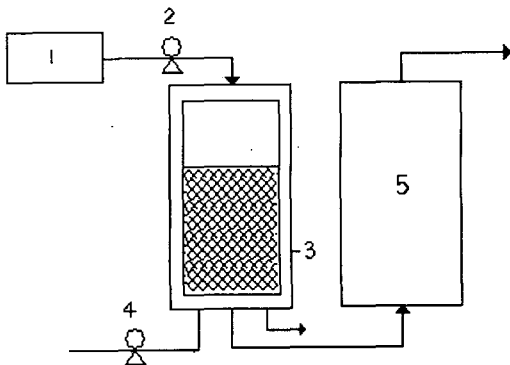


Fig. 2. Schematic diagram of streaming potentiometer.



- 1. Feeding
- 2. Feeding pump
- 3. Isothermal column
- 4. Water pump
- 5. Reservoir

Fig. 3. Diagram of continuous flow filter.

3. 결과 및 고찰

3.1. XRD, XRF 분석

XRD 분석으로부터 750°C에서 CaCO₃가 CaO로 전환되기 시작하여 950°C에서 완전히 CaO로 전환되는 과정을 확인할 수 있으며 XRF에 의한 분석으로부터 CaO가 98.87, SiO₂가 1.07, Al₂O₃가 0.05wt%로 나타났다. 이러한 자료로부터 강염기인 CaO가 주성분인 굴 폐각 분말로부터 pH의 조절이 중요한 과정임을 알 수 있었으며 이미 발표한 논문에서 밝힌 바와 같이 무기담체와의 complex 형성이 용이한

Ag⁺이온의 용량을 설계할 수 있었다^{7,8)}.

결과적으로 HAP에 이온교환 된 Ag⁺이온의 이온교환 용량은 99.9% 이상이였으며, ICP로 측정된 탈착농도는 0.01~0.1% 범위인 것을 밝힌 바 있다⁸⁾.

3.2. Zeta potential

Zeta potential을 얻기 위한 방법으로 다음의 Smoluchowski 식을 이용하였다.

$$\zeta = 4 \pi \eta \lambda E / \epsilon P \quad (1)$$

ζ = Zeta Potential (mV)

η = Solution Viscosity

λ = Specific Conductivity

ϵ = Dielectric Constant

E = Streaming Potential

P = Pressure Drop across the Bed

Zeta potential은 E/P에 비례하므로 Streaming potentiometer를 통한 실험에서 충전층에 걸리는 압력강하 당 Streaming potential을 측정하면 Zeta potential을 측정할 수 있다⁹⁾. 충전층에 걸리는 압력강하는 Ergun식으로부터 얻을 수 있다.

$$\Delta P = k_2 Q / (k_1 \phi_s^2) + 1.75 Q^2 / (k_1 \phi_s) \quad (2)$$

$$k_1 = \epsilon^3 / (1 - \epsilon) \times D_p / L \times \pi r^4 / \rho$$

$$k_2 = 150(1 - \epsilon) \times \pi r^2 \mu / \rho$$

ΔP = Pressure Drop across the Bed

ϵ = Porosity

ρ = Solution Density

ϕ_s = Sphericity

Q = Volumetric Flowrate

μ = Solution Viscosity

L = Bed Length

D_p = Particle Diameter

r = Bed Radius

제작된 장치를 사용하고, Ergun 식으로부터 계산된 부피흐름속도 Q는 21.7~39.0 ml/sec, 압력강하 범위는 7.9~17.3 cmHg 이였으며, 이 조건을 기준으로 True potential(E)과 압력강하(ΔP)의 결과를 Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6에 각각 나타내었다.

이 결과들로부터 얻은 E/ ΔP 값을 이용하여 계산한 Zeta potential값은 Table 1에 나타내었다.

여기서 보면 Ag⁺이온이 많이 이온교환 되어있을 수록 -값이 큰 것을 알 수 있으며 입자표면에 -이온들의 전하밀도가 큰 전기 이중층이 형성되어 있

Table 1. Zeta potential of media with concentration of electrolyte (mV)

| | HAP | 0.01M Media | 0.05M Media |
|-------------------------|-------|-------------|-------------|
| Tap Water | - 201 | - 254 | - 248 |
| 10 ⁻⁵ M NaCl | - 191 | - 218 | - 245 |
| 10 ⁻³ M NaCl | - 133 | - 138 | - 159 |

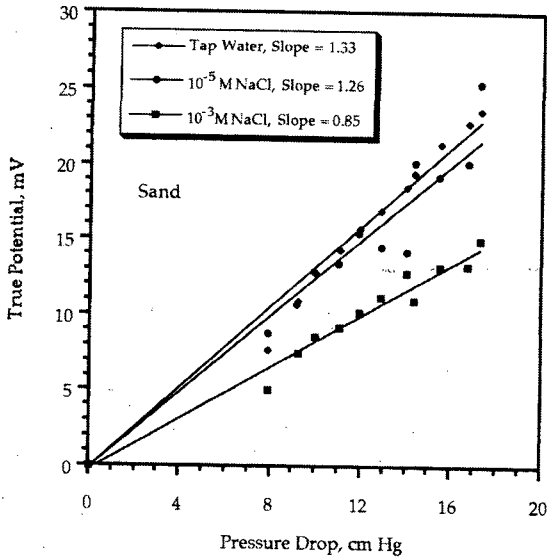


Fig. 4. True streaming potential vs pressure drop.

는 것을 확인할 수 있다. 또한 전해질 농도가 클수록 Zeta potential의 크기가 작아짐을 알 수 있다¹⁰⁻¹³. 따라서 Ag⁺이온농도가 증가하면 Media의 입자표면의 Ag⁺이온에 의한 피복율이 커서 흡착제로서의 효율은 감소할 것으로 예상할 수 있으나 본 연구에 부합하는 살균성 Media로서의 효과는 증가할 것으로 예상할 수 있다.

3.3. 살균성 Media의 살균성

G⁻, G⁺의 수생미생물에 대한 MIC Test 결과를 Table 2에 나타내었다. 또한 가능한 한 낮은 이온교환용량으로서의 살균성 Media의 효과를 조사하기 위해 0.01M HAP-Ag 10 ppm을 사용하여 50, 150 rpm의 조건에서 생균수를 조사한 결과를 Fig. 7에

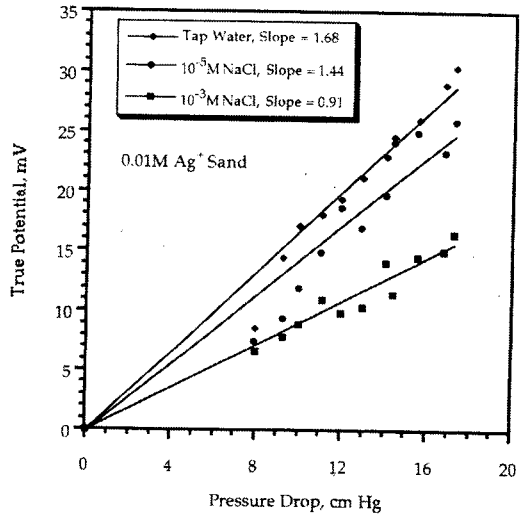


Fig. 5. True streaming potential vs pressure drop.

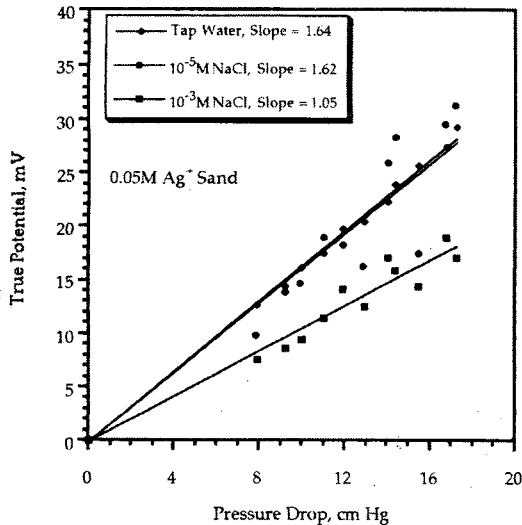


Fig. 6. True streaming potential vs pressure drop.

나타내었다.

Fig. 7에서처럼 G⁻, G⁺균주 모두 rpm이 증가하면 살균효과도 증가한다는 결과를 얻었으며 150 rpm에서 생균수는 30분 이내에 99.9%가 감소하고 있음을

Table 2. Effect of HAP-Ag on the underwater microorganism

OD : 660nm, 30min

| Microorganism | Concentration of HAP-Ag (ppm) | | | | |
|--|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 25 | 75 | 125 | 175 |
| <i>E. Coli</i> (G ⁻) | 0.414 | 0.404 | 0.291 | 0.221 | 0.120 |
| <i>P. aeruginosa</i> (G ⁻) | 0.672 | 0.549 | 0.288 | 0.090 | 0.050 |
| <i>K. pneumoniae</i> (G ⁻) | 0.432 | 0.441 | 0.436 | 0.398 | 0.112 |
| <i>S. aureus</i> (G ⁺) | 0.481 | 0.483 | 0.393 | 0.302 | 0.181 |
| <i>B. subtilis</i> (G ⁺) | 0.458 | 0.476 | 0.322 | 0.189 | 0.061 |

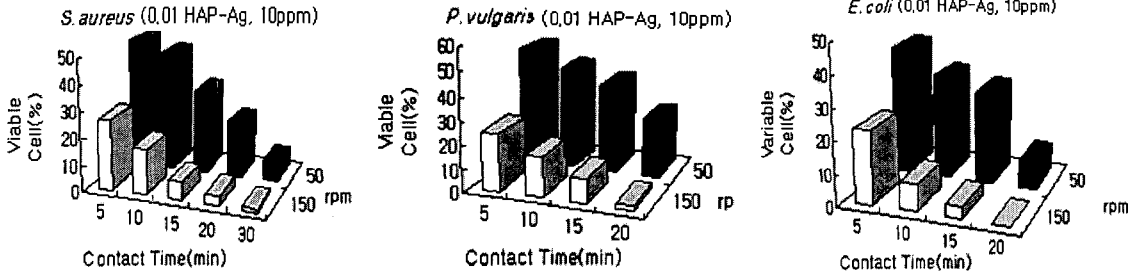


Fig. 7. Change of viable cell with contact time and contact frequency.

확인할 수 있었다. 이러한 결과는 정수기용 Media로 사용할 경우 체류시간에 대한 설계 자료로 이용 가능한 자료를 제공하고 있으며, 낮은 Ag^+ 이온 농도에서도 접촉빈도가 증가하면 만족할 만한 살균효과를 기대할 수 있다는 증거를 제시하고 있다¹⁴⁻¹⁶.

3.4. 살균성 Media의 기공분포

HAP 및 HAP-Ag를 Ball 형태로 제조하여 표면 기공의 분포를 측정된 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

여기서 볼 수 있는 것과 같이 기공은 60~80Å의 크기가 가장 많은 분포를 나타내고 있으며 HAP보다 HAP-Ag가 같은 크기의 기공의 수가 줄어들고 있는 것은 Ag^+ 이온의 부착과 가공과정에서 기공의 수가 30%정도 감소하고 있는 것으로 판단된다.

따라서 Zeta potential의 측정결과와 같이 Ag^+ 이온이 많이 교환될수록 표면기공의 수가 줄고 있는 것은 수Å에 불과한 Ag^+ 이온이 기공분포가 가장 많은 60~80Å의 기공에 이온교환 되어 있더라도 전체적인 기공의 수가 감소하고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 Zeta potential 측정값과 표면기공의 결과는 상호간 증명할 수 있는 자료로서의 가치를 확인할 수 있다. Fig. 9에는 고백자토를 5~30% 혼합하

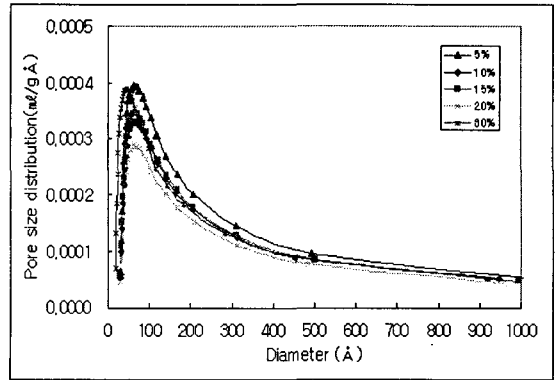


Fig. 9. Pore-size distribution with the mixing of white kaoline.

여 제조한 살균성 Media의 기공분포를 나타내었으며 Table 3에는 HAP, HAP-Ag 및 고백자토가 혼합된 살균성 Media의 비표면적과 기공의 평균크기를 각각 나타내었다.

Fig. 9에서 볼 수 있는바와 같이 기공의 크기분포는 Fig. 8과 같은 경향을 보이고 있으며 크기는 60~80Å의 크기가 가장 많은 분포를 나타내고 있다. 고백자토의 혼합비율이 증가할수록 같은 크기의 기공분포가 줄어들고 있어 HAP-Ag의 특성에서 볼 수 있는 경향을 나타내고 있지만 30%에서는 고백자토 자체의 소성에 의해 발생하는 기공으로 인해 오

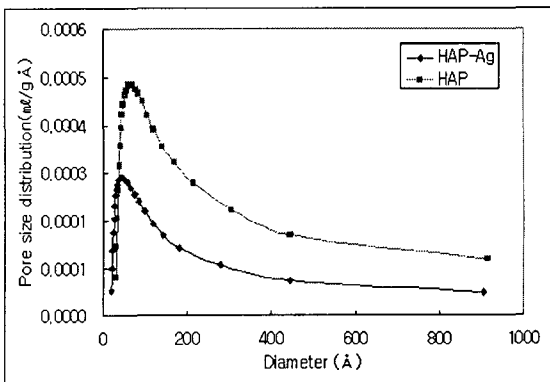


Fig. 8. Distribution of Surface pore size of HAP and HAP-Ag.

Table 3. Surface area and pore size of Hap, HAP-Ag, sterilizing media

| | Surface Area(m ² /g) | Pore Diameter(Å) |
|--------|---------------------------------|------------------|
| HAP | 21.37 | 30.17 |
| HAP-Ag | 13.10 | 19.24 |
| 5% | 5.68 | 0.21 |
| 10% | 3.34 | 0.27 |
| 15% | 3.81 | 0.17 |
| 20% | 1.68 | 0.17 |
| 30% | 16.92 | 19.18 |

Table 4. Colony forming unit(CFU) of *E. coli* with initial contact time

| Contact time (min) | viable cell (CFU/ml) | rejection ratio (%) |
|--------------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 1,510,000 | |
| 10 | 346,000 | 77.1 |
| 20 | 142,000 | 90.6 |
| 30 | 12,000 | 99.2 |
| 36 | 1,800 | ≅ 0 |

Table 5. Colony forming unit(CFU) of *E. coli* in continuous flow sterilization

| time(day) | viable cell(CFU/ml) |
|-----------|---------------------|
| 15 | 700 |
| 30 | 800 |
| 60 | 900 |
| 120 | 1,800 |
| 150 | 950 |
| 180 | 1,050 |

히려 증가하고 있다. 따라서 20% 이상의 고백자도를 혼합하여 Media로 제작하였을 경우 HAP-Ag에서 볼 수 있는 살균특성을 감소시키는 결과를 나타낼 것으로 확인할 수 있으며^{17~20)} Table 3에 나타난 HAP, HAP-Ag 및 고백자도의 혼합비율에 따른 비표면적, 기공의 크기로부터 예상할 수 있는 결과와 동일한 결과를 보이고 있다²¹⁾.

3.5. 연속 살균효과

일정 농도의 대장균을 함유한 원수의 살균Media와의 접촉 시간에 따른 생균수를 colony counter로부터 얻어 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 여기서 초기 접촉시간은 10분 단위로, 연속 살균 효과는 15일 단위로 시료를 추출한 결과이다.

위 표에서 보는 바와 같이 접촉시간이 약 36min에서 대장균은 전부 살균되고 있다. 따라서 연속흐름 살균실험의 조건으로, 살균 Media가 충전된 간이 filter의 경우 체류시간을 36min으로 설정하였다.

연속흐름 살균실험에서 보는바와 같이 살균효과는 180일 까지 경과하여도 체류시간이 36min 이상인 경우에는 초기 접촉시간에 따른 살균효과와 동일한 결과를 보이고 있기 때문에 살균효과에 대한 파과점은 더 이상의 시간이 경과된 이후에 형성되리라 생각되며, 연속적인 실험의 진행 후 파과점을 제시하고자 한다. 또한 은으로 코팅된 일반적인 살균성 filter 보다 사용기간을 연장시킬 수 있는 장점을 보이고 있어 정수기용 살균 Media로서의 응용도가 확인되었다고 판단된다. 따라서 살균 filter에 사용 가능한 살균 Media로서의 기능을 발휘하고 있을

을 알 수 있다.

4. 결 과

폐기된 굴 폐각을 이용하여 살균성 Media를 제조하고 이 살균성 Media를 정수기용 filter 제작에 응용하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Ag⁺이온이 이온교환 된 HAP-Ag는 G⁻, G⁺의 수생미생물에 대한 우수한 살균효과를 나타내고 있으며, 특히 협막을 형성하지 못하는 대장균과 같은 G⁻균주에 더욱 살균효과가 큰 것을 확인할 수 있었다.

2) Ag⁺이온이 이온교환 된 HAP-Ag의 경우 HAP보다 Zeta potential의 측정으로 -값이 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 Ag⁺이온에 의한 입자주변의 전기 이중층이 커진 것을 알 수 있기 때문에 살균효과를 목적으로 하는 본 연구에 부합하는 결과를 얻을 수 있었다.

3) 0.01M-HAP-Ag를 사용한 살균효과에서 접촉 빈도수가 증가할수록 살균효과도 상승하고 있어 가능한 한 작은 농도의 Ag⁺이온의 이온교환으로 변화시킬 수 있는 장점을 확인하였다.

4) HAP와 HAP-Ag의 표면기공 분포의 확인에서 나타난 것처럼 HAP-Ag는 같은 크기의 기공수가 줄어들고 있어 Ag⁺이온의 이온교환으로 표면기공의 상대적인 크기가 감소하고 있음을 알 수 있다.

따라서 제조된 Media는 흡착기능보다는 살균기능을 우선적으로 나타낼 수 있음을 확인할 수 있었으며, Zeta potential 측정의 결과를 뒷받침하고 있다.

5. Ball Type의 살균 Media 제조를 위해 고백자도를 혼합하였을 경우에도 표면기공분포는 HAP와 HAP-Ag와 같은 경향을 보이고 있으나, 30%의 혼합에서는 고백자도 자체의 소성에 의해 발생하는 기공으로 인해 20%일 때 보다 증가하는 경향을 보이고 있어 HAP-Ag로서의 살균효과를 감소시킬 것으로 판단된다.

6) HAP-Ag의 표면기공분포와 거의 같은 경향을 가지는 고백자도 20% 혼합의 Media를 등은 column에 충전시켜 살균효과를 측정된 결과 약 6개월 동안에도 살균효과를 보이고 있어 본 실험조건에서는 6개월 이상의 수명을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 부산대학교 환경기술·산업개발연구소의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) (주)선경, SKY-water catalog, 2003, filters

- for water clarifier, 8-13.
- 2) 아쿠아그린, 2003, always keep your good health Aqua green catalogue, 1-8.
 - 3) (주)웅진, 2003, 필터 성능 시험 성적표, 웅진코웨이, 2-15.
 - 4) 환경부, 2003, 정수기 성능검사 항목 분석표, 45-64.
 - 5) Okazaki, S., 1998, Influence of Ozone Formation in an Ozonizer, proc. Japanese Sym, plasma chem (1), 339-344.
 - 6) Shin, C. H., S. H. Jung and D. K. Park, 1997, Effect -of inorganic Antimicrobial Agents Exchanged with Silver Ion on the Respiration Rate of Activated Sludge, J. of k. Soc. of Envi. Eng., 19(2), 177-185.
 - 7) Shin, C. H., B. I. Noh and M. C. Jo, 1998, Sterilization effect of silver ion-exchanged powder on underwater microorganism, KEER, 3(3), 123-129.
 - 8) Shin, C. H., J. I. Lee and D. K. Park, 1995, Chemical Design for the Water Treatment Agents to Prevent Microorganism from Activities, J. of K. Soc. of Env. Eng., 17(2), 137-144.
 - 9) Jo, M. C., 1989, Effect of Aggregate Pretratment with ASA on the Asphalt-Aggregate Bond, M.S. Thesis, Dept. of Chemical Engineering, Auburn University.
 - 10) Reyerson, L. H., I. M. Kolthoff and K. Coad, 1946, National Colloid Symposium, 321- 332 May.
 - 11) Horn, J. M., Jr. and G. Y. Onoda, Jr., 1977, Journal of Colloid and Inerface Science, 2(61).
 - 12) Hiemenz, P. C., 1973, Principles of Colloid and Surface Chemistry, 2nd edition.
 - 13) Shaw, D. J., 1982, 콜로이드 및 계면화학, 178-192.
 - 14) Deshpande, L. M. and B. A. Chopade, 1994, Plasmid mediated silver resistance in *Acinetobacter baumannii*, Biometals, 7, 49-56.
 - 15) Russell, A. D. and W. B. Hugo, 1994, Antimicrobial activity and action of silver, prog Med Chem, 31, 351-70.
 - 16) Shinogi, M. and S. Maeizumi, 1993, Effect of preinduction of metallothionein on tissue distribution of silver and hepatic lipid peroxidation, Biol Pharm Bull, 16, 372-4.
 - 17) Solioz, M. and A. Odermatt, 1995, Copper and silver transport by CopB-ATPase in membrane vesicles of *Enterococcus hirae*, J. Biol Chem, 270, 9217-21.
 - 18) Starodub, M. E. and J. T. Trevors, 1989, Silver resistance in *Escherichia coli* R1, J Med Microbiol, 29, 101-10.
 - 19) Tordi M. G., F. Naro, R. GIODANO and M. C. Silvestrini , 1990, Silver binding to *pseudomonas aeruginosa* azurin, Biol Met, 3, 73-6.
 - 20) Shin, C. H., 1997, Effect of Ag⁺ Ion on the *E. coli* RB 797 and *Bacillus sp.*, J. of Life sci., 7(4), 316-321.
 - 21) Robinson, M., J. A. Pask and D. W. Fuerstenau, 2001, Journal of American Ceramic Society, 10(47), 516-521.