



# 은나노 활성탄을 이용한 Loop Reactor에서 하수 2차 처리수 중의 오염물질 제거 및 소독 효과

## The pollutants removal and disinfection of secondary effluent from sewage treatment plant in loop reactor using silver nanoparticles coated on activated carbon

선용호

Yong-Ho Seon

상지대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Sangji University

### ABSTRACT

Pollutants removal and disinfection effect of secondary effluent from final settling tank of sewage treatment plant of W city were investigated in Loop Reactor using ordinary granular activated carbon(GAC) and GAC coated with silver nanoparticles. The results showed that the removal efficiency of COD<sub>Mn</sub>, T-N and T-P using GAC with silver nanoparticles were higher than using the ordinary GAC. The removal efficiency of T-P using GAC with silver nanoparticles is 45.4% and that of T-P using ordinary GAC is 30.9% in the same case of the input amount of 20 g/L of GAC. The total coliforms is reduced according to increasing input amount of GAC with silver nanoparticles and ordinary GAC. The disinfection efficiency of total coliforms in case of GAC with silver nanoparticles is much higher than that in case of ordinary GAC. For all experiments using the silver nanoparticles, the total coliforms is under 26 cfu/mL and this shows very excellent disinfection effect.

**Key words:** Activated Carbon with Silver Nanoparticles, Disinfection Effect, Loop Reactor, Removal Efficiency, Secondary Effluent

**주제어:** 은나노 활성탄, 소독효과, Loop Reactor, 처리효율, 하수 2차 처리수

## 1. 서론

현재 하천 및 호소는 녹조류에 의한 부영양화로 인해 오염은 점점 심해지고 있다. 이는 집단화된 지역에서의 증가된 생활하수의 발생량과 오염물질의 부하량에 의해 자정능력을 초과한 오염물질이 유입되고 4대강 사업에 의해 보가 설치되어 흐름이 원활하지 않게 됨으로써 야기된 것으로 사료되나 이에 대한 이견이

있어 정확한 진단이 어려운 형편이다. 다만 이러한 하천 및 호소의 수질오염을 개선하기 위해서는 영양염류 저감에 대한 대책이 필요하고 특히 영양염류 그중에서도 인을 제거하여야 하며 따라서 총인 처리설비는 반드시 추가되어야 할 것으로 생각된다. 현재 설치되어 있는 총인 처리설비는 물리적인 방법과 화학적인 방법을 사용하고 있으며 화학적인 방법은 유지관리비가 다소 많이 소요되므로 화학 약품을 다소 줄인 흡착, 여과 등 물리적인 방법이 사용되고 있으나 고가의 장비 대체와 소모품 교체로 이를 개선할 필요가

Received 29 May 2016, revised 8 June 2016, accepted 10 June 2016

\*Corresponding author: Yong-Ho Seon (E-mail: yhseon@sangji.ac.kr)

pp. 361-367

pp. 369-379

pp. 381-389

pp. 391-399

pp. 401-408

pp. 409-415

pp. 417-425

pp. 427-440

pp. 441-447

pp. 449-457

pp. 459-469

있다(Hwang et al., 2015; Park et al., 2016). 국가에서도 수질오염을 개선하기 위해 방류수 수질기준을 점차적으로 강화하고 있으며 예를 들면 공공하수처리시설에서의 방류수 수질기준이 1일 하수처리 용량 500 m<sup>3</sup> 이상, I 지역의 경우 현재 BOD 5 mg/L 이하, COD 20 mg/L 이하, SS 10 mg/L 이하, T-N 20 mg/L 이하, T-P 0.2 mg/L 이하, 총대장균군 1,000 개/mL 이하, 생태독성 1 TU 이하로 규제하고 있고 특히 대폭 낮아진 인 규제 농도 때문에 인 제거에 대한 연구가 필요한 실정이며 총대장균군도 3,000 개/mL 이하에서 1,000 개/mL 이하로 강화되어 소독 처리시설에 대한 개선이 필연적이다(Ministry of Environment of Korea, 2016).

앞으로 강화될 질소 및 COD 항목을 대비하여 기존의 처리시설에 연계할 수 있는 유기물 제거와 동시에 질소 제거가 가능한 새로운 처리기술 개발이 요구되고 있다. 그러나 기존의 한 처리방법인 활성탄을 이용하는 오염물질 흡착 처리방법은 오염물질뿐만 아니라 균이 흡착되어 활성탄의 수명을 감소시키고 교체시기를 단축시켜 유지관리비가 매우 증가하는 단점이 있으므로 나노급인 은이 부착된 새로운 활성탄에 의한 처리방법이 이러한 단점을 보완할 수 있고 부가적으로 소독이 가능한 매우 효과적인 처리 방법으로 사료된다(Catalina and Hock, 2010). 따라서 기존의 하수처리 후단에 인 등 오염물질을 저감할 수 있는 고도처리 및 처리수의 재이용 개념으로 대표적으로 은나노 활성탄을 사용하는 새로운 흡착 처리기술이 그 대안으로 사용할 수 있다.

또한 하수처리에 사용되고 있는 소독처리 방법으로는 가장 경제적인 UV 소독 방법이 주로 사용되고 있으나 소독 능력이 타 방법보다 떨어지는 단점이 있으며 이의 대체용으로 NaOCl, Ca(OCl)<sub>2</sub> 등 염소화합물이 사용되기도 하나 경제성이 없고 잔류하는 소독능에 의해 하천 생태계가 파괴되는 문제점을 내포하고 있다(Kim et al., 2010). 따라서 기존의 소독 방법을 보완할 수 있는 새로운 소독에 대한 기술이 필요한 실정이다.

은은 인체에 무해하고 분해나 휘발이 발생하지 않는 등 안정성이 높고 전도성도 좋으며 항균성이 뛰어나 오래 전부터 수저나 식기 등의 생활용품이나 전자제품에 사용되고 있는 금속이다(Seon, 2012; Luo et al., 2006). 여기에 나노기술을 접목하면 표면적이 증가하고 반응성이 매우 큰 은나노 물질을 만들 수 있

으며 나노는 10<sup>-9</sup> m의 매우 작은 입자를 나타낸다. 은나노 입자는 나노 상태로 은이 담체에 붙은 상태거나 환원제와 분산제를 사용한 은 용액으로 은 이온이 환원되어 은나노 입자로 전환된 후 분산되어 있는 용액으로 존재하며, 여러 가지 장점으로 은나노 치약, 은나노 섬유 등 항균제품이 개발되어 사용되고 있다(Seon, 2014). 은나노 물질은 살균효과를 가지고 있으며 인체에 무독성, 무자극성이므로 면역성이 약한 유아, 어린이, 노약자도 안심하고 사용할 수 있다고 알려져 있다(Weinkauf and Brehm-Stecher, 2009; Lim et al., 2013; Lee et al., 2007). 또 항균 메커니즘을 가지고 있어서 유해균에 직접 작용하여, 유해균의 세포막을 직접 녹이고, 유해균의 전자전달계를 방해해서 균을 제거하므로 은나노의 소독능에 의해 소독처리 장치를 대체할 수 있을 것으로 사료된다(Nelson et al., 2007; Hwang et al., 2007; Ruparelia, J. P. et al., 2008). 또한 활성탄 표면에 부착된 미생물을 사멸시켜 활성을 증가시킬 수 있어 활성탄 교체시기가 증대되어 유지관리비가 감소되므로 경제적인 기술이 가능하고 은나노 물질은 촉매작용을 하므로 난분해성 물질을 분해시킬 수 있으며 이러한 연구가 성공하였을 경우 이의 파급효과는 매우 클 것으로 생각된다.

또한 활성탄을 충전한 흡착탑의 단점은 단락현상이 발생한다는 것으로 오염물질과의 접촉 면적이 작아지고 급격하게 제거효율이 낮아지는 단점이 있으므로(Jang, 2000; Metcalf & Eddy, 2003) 활성탄을 유동화할 필요가 있으며 이러한 유동화를 극대화할 수 있는 장치가 Loop Reactor이다.

따라서 본 연구에서는 은나노 입상 활성탄(Ag/AC)과 일반 입상 활성탄(AC)을 사용한 Loop Reactor의 성능을 비교하기 위해 2차 침전지를 통과한 하수 2차 처리수를 대상으로 각각 성능실험을 수행하여 활성탄 투입량에 따른 COD, T-N, T-P, 총 대장균군 등 오염물질의 제거 특성과 소독 효과를 비교 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 실험재료 및 장치

실험에 사용한 시료는 W시 하수종말처리장 2차 침전지를 통과한 하수 처리수로 현장에서 바로 채취하여 사용하였다.



은나노 활성탄 제조 방법은 다음과 같다. 건식 방법으로 제작된 은나노 입자와 활성탄을 수용액 상태로 혼합하면 활성탄에 은나노 입자가 흡착하게 되며 필터링으로 수용액 상에서 은나노가 흡착된 활성탄을 분리한 다음 진공 열처리로 활성탄 내의 수분을 제거하면 은나노 활성탄의 제조가 완료된다. 이 방법은 기존의 건식 방법보다 더 효과적이며 경제적이며 균일한 나노 입자 상태를 유지할 수 있다.

본 실험에 사용한 Loop Reactor를 Fig. 1에 나타내었으며 2차 처리수의 활성탄 처리와 교반을 위해 Loop Reactor와 에어펌프를 사용하였으며, 2차 처리수를 Loop Reactor에 도입한 후 실험을 수행하였으며 활성탄의 무게를 정량하기 위한 전자저울을 사용하였다.

Loop Reactor는 원통형의 이중관으로 구성되어 있으며 내부에 있는 관의 안지름은 3.94 cm, 외부에 있는 관의 안지름은 6.90 cm, 높이는 120 cm로 아크릴로 제작되었다. 반응기의 용량은 4 L이며 공기를 내부의 관에 주입하여 활성탄을 유동시켰다.

## 2.2 실험방법

먼저 2차 처리수 중의 오염물질의 제거 실험을 위해 Loop Reactor에 2차 처리수를 4L 도입한 후 일반 활성탄과 은나노 활성탄을 각각 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L씩 투입하고 에어펌프를 통해 30분간 포기시켜 교반한다. Loop Reactor를 통해 처리시킨 처리수를 채수통에 각각 채취하고 각 처리수의 COD, T-N, T-P,

총 대장균군을 비교분석한다. COD 망간법은 시료를 황산 산성으로 하여 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 30분간 물중탕상에서 가열 반응시킨 다음 소비 과망간산칼륨 양으로부터 이에 상당하는 산소의 양을 측정하는 방법으로 과망간산칼륨 소비량 시험방법의 측정원리는 산성으로 한 시료수에 일정량의  $KMnO_4$ 를 가하여 피산화성 물질을 산화시키고, 반응하지 않는  $KMnO_4$ 를 일정량의  $Na_2C_2O_4$ 를 가하여 분해하고, 잔존하는  $C_2O_4^{2-}$ 를  $KMnO_4$ 로 역적정하는 것이다. 총질소(T-N), 총인(T-P) 및 총 대장균군은 수질오염공정시험방법(Ministry of Environment, 2002)이나 EPA Method(APHA, 1998)에 의하여 자외선 흡광도법, 아스코르빈산 환원법과 평판 집락법 등을 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 유기물 제거

활성탄의 흡착 특성은 그 세공구조와 화학조성에 영향을 받는데, 흑연표면의 활성점에서의 흡착력은 Van der waal's 인력이 작용하고 있어 이를 물리흡착이라 한다. 활성탄 성분에는 탄소, 수소 외에도 다른 혼합물로는 회분으로 활성탄의 무기성분을 구성하고 있으며 회분의 함유량과 조성은 활성탄의 종류에 따라 크게 변화한다(Metcalf & Eddy, 2003). 활성탄은 물리적 형상에 따라 분말 활성탄과 입상 활성탄으로 나

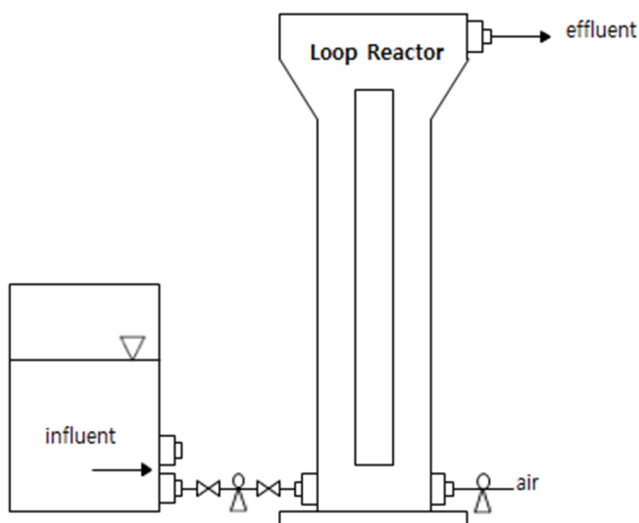


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.



pp. 361-367

pp. 369-379

pp. 381-389

pp. 391-399

pp. 401-408

pp. 409-415

pp. 417-425

pp. 427-440

pp. 441-447

pp. 449-457

pp. 459-469

누어지고 분말 활성탄은 용도에 따라서 입경분포가 규정되는데, 통상은 입경이 0.075 mm보다 작은 것이 많이 사용되고 있으며 입상 활성탄은 형상 및 크기가 불규칙하지만 대표적인 야자 경질탄의 입경은 2.36~0.5 mm 정도이다(Metcalf & Eddy, 2003).

은나노 활성탄은 은나노 입자의 농도가 1,000 mg/kg 인 N사의 연구 개발 시제품으로 선행연구에서 2~15 nm 로 타 방법보다 더 균일하게 활성탄 세공에 분포되어 있는 것으로 확인되었으며 은나노 활성탄의 내부의 TEM 사진으로 은나노 입자가 활성탄의 내부 및 안정한 자리에 정착되어 이미 보고한 적이 있다(Seon et al., 2014).

Fig. 2는 초기 COD<sub>Mn</sub> 농도 9.6 mg/L에서 일반 활성탄과 은나노 활성탄을 각각 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L 씩 투입하였을 경우 일반 활성탄과 은나노 활성탄의 투입량에 따른 COD<sub>Mn</sub> 제거율 변화를 나타낸 것이다. 일반 활성탄의 경우 활성탄 투입량 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서 COD<sub>Mn</sub> 제거율은 각각 0%, 1.04%, 2.08%, 2.08%로 투입량 5 g/L, 20 g/L을 제외하고 활성탄 투입량 10 g/L, 15 g/L에서 투입량이 증가함에 따라 COD<sub>Mn</sub> 제거율이 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 은나노 활성탄의 경우 활성탄 투입량 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서의 COD<sub>Mn</sub> 제거율은 각각 1.04%, 3.12%, 5.21%, 6.25%로 모든 구간에서 투입량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 일반 활성탄보다 은나노 활성탄의 COD<sub>Mn</sub> 제거율이 모든 구간에서 1.04~4.17% 더 높은 제거율을 보였다. 이는 촉매인 은 입자의 크기를 나노 사이즈로 하면 더 많은 입자를 고르게 분산시켜 활성탄에 부착시킬 수 있다. 이로 인해 촉매 반응이 일어날 수 있는 자리가 많아져 촉매 활성이 증진됨에 따라 은나노 활성탄이 일반 활성탄보다 유기물 제거가 더 탁월한 것으로 사료된다. 또한 선행연구(Seon, 2014)에서 은나노 활성탄의 비표면적이 일반 활성탄의 비표면적 보다 다소 감소하였으나 전체 세공 부피 분석에서는 큰 차이를 보이지 않아 은나노 활성탄과 일반 활성탄을 비교하면 흡착 능력에 의한 영향보다 촉매 산화력에 의한 영향이 더 큰 결과로 추정된다. 주입된 공기 중의 산소와 은의 촉매작용에 의해 은나노 입자의 표면에서 OH라디칼을 생성하게 되고 이들이 입자 표면에 흡착되어 있는 유기물을 산화하여 CO<sub>2</sub> 등의 무해한 물질로 분해시키게 된다(Seon, 1997; Chun, 1994).

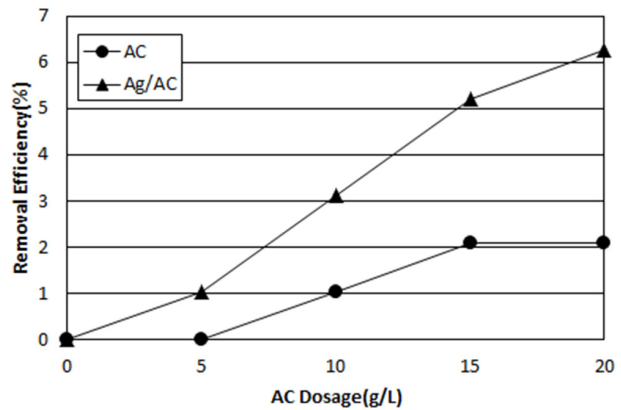


Fig. 2. Variation of COD removal efficiency with AC dosage.

### 3.2 영양염류 제거

일반 활성탄과 은나노 활성탄의 투입량에 따른 T-N 농도 변화를 살펴보면, 초기 T-N 농도 5.855 mg/L에서 일반 활성탄의 경우 활성탄을 각각 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L씩 투입한 결과 T-N 농도는 각각 5.269 mg/L, 5.129 mg/L, 5.080 mg/L, 5.031 mg/L로 모든 구간에서 T-N 농도가 감소하였고, 은나노 활성탄의 경우 역시 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L을 투입한 결과 T-N 농도는 각각 5.154 mg/L, 5.065 mg/L, 4.902 mg/L, 4.765 mg/L로 모든 구간에서 T-N 농도가 감소하였다. 일반 활성탄과 은나노 활성탄의 T-N 농도의 감소하는 폭을 비교한 결과 은나노 활성탄이 일반 활성탄보다 감소의 폭이 더 컸다. Fig. 3은 일반 활성탄과 은나노 활성탄의 투입량에 따른 T-N 제거율 변화를 나타낸 것이다. 일반 활성탄의 경우 활성탄 투입량 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서 나타난 T-N 제거율은 각각 10.0%, 12.4%, 13.2%, 14.1%이었으며 은나노 활성탄의 경우 투입량 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서 나타난 T-N 제거율은 각각 12.0%, 13.5%, 16.3%, 18.6%이었다. 두 경우 모든 구간에서 투입량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 일반 활성탄보다 은나노 활성탄이 1.1~4.5% 더 높은 T-N 제거율을 보였다. T-N 제거율은 일반 활성탄의 경우 투입량이 증가함에 따라 급격히 증가하다 완만하게 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 은나노 활성탄의 경우 급격히 증가하다 완만하게 증가하고, 다시 크게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 은나노 활성탄의 처리능력이 더 높다는 것을 알 수 있다. 은나노 활성탄이 일반 활성탄보다 성능이 우수한 것은 앞에서 설명한 바와 같이 촉매인

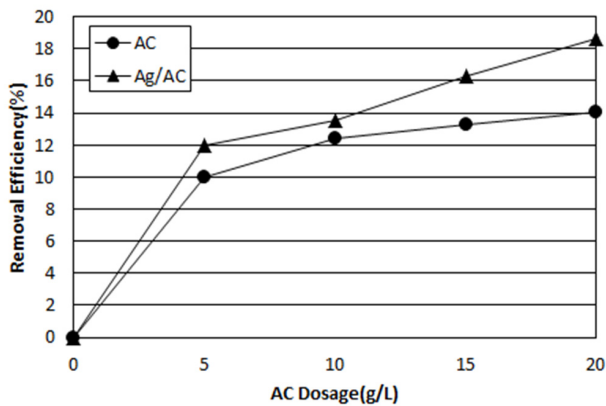


Fig. 3. Variation of T-N removal efficiency with AC dosage.

은 입자의 크기를 나노 사이즈로 하면 더 많은 입자를 고르게 분산시켜 활성탄에 부착시킬 수 있다. 이로 인해 촉매 반응이 일어날 수 있는 자리가 많아져 촉매 활성이 증진됨에 따라 은나노 활성탄이 일반 활성탄보다 질소 제거가 더 탁월한 것으로 사료된다. 이는 은나노 촉매에 의한 산화반응으로 산화제인 공기 중의 산소에 의해 강력한 산화력을 가진 OH라디칼이 생성되어 암모니아성 질소에서 아질산성 질소를 거쳐 질산성 질소로 산화반응되어 최종적으로 질소가스로 제거된다(Jang et al., 2015).

일반 활성탄과 은나노 활성탄의 투입량에 따른 T-P 농도 변화를 살펴보면, 초기 T-P 농도 0.560 mg/L에서 일반 활성탄의 경우 활성탄을 각각 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L씩 투입한 결과 T-P 농도는 각각 0.464 mg/L, 0.435 mg/L, 0.423 mg/L, 0.387 mg/L로 모든 구간에서 T-P 농도가 감소하였고, 은나노 활성탄의 경우 역시 활성탄을 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L씩 투입한 결과 T-P 농도는 각각 0.455 mg/L, 0.420 mg/L, 0.386 mg/L, 0.306 mg/L로 모든 구간에서 T-P 농도가 감소하였다. 모든 구간에서 T-P 농도는 일반 활성탄이 은나노 활성탄보다 높게 나타났으며 투입량이 증가함에 은나노 활성탄이 일반 활성탄보다 T-P 농도가 낮아지는 경향을 보였다. Fig. 4는 일반 활성탄과 은나노 활성탄의 투입량에 따른 T-P 제거율 변화를 나타낸 것이다. 일반 활성탄의 경우 투입량 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서 나타낸 T-P 제거율은 각각 17.1%, 22.3%, 24.5%, 30.9%이었으며 은나노 활성탄의 경우 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서 나타낸 T-P 제거율은 각각 18.8%, 25.0%, 31.1%, 45.4%를 보였다. 모든 구간에서 활성탄의 투입량이 증가함에 따라 T-P 제거율이

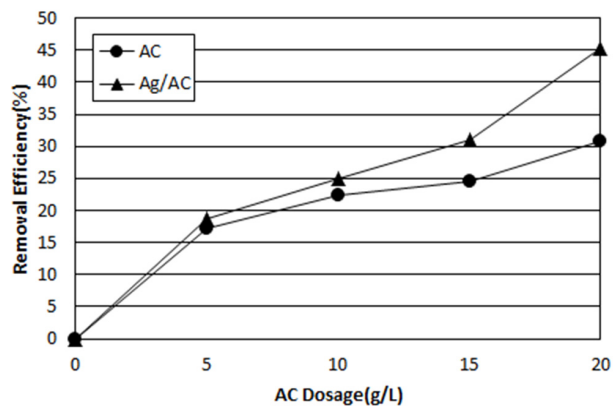


Fig. 4. Variation of T-P removal efficiency with AC dosage.

증가하는 경향을 나타내고 있으며, 모든 구간에서 은나노 활성탄이 일반 활성탄보다 높은 T-P 제거율을 보이고 있다. 본 실험에서는 COD<sub>Mn</sub>, T-N 제거율보다 T-P 제거율이 훨씬 더 높은 수치를 나타내고 있고 활성탄 투입량 20g/L에서 은나노 활성탄의 경우 T-P 제거율이 일반 활성탄의 경우의 T-P 제거율 보다 14.5%만큼 더 높은 값을 나타내고 있으며 이는 은나노 물질이 인산염과의 강한 상호작용을 통해 불용성 침전염을 형성한 결과로 추정된다(Hwang, 2015). 또한 선행연구(Seon, 2014)에서 본 실험에 사용한 은나노 활성탄의 비표면적이 일반 활성탄의 비표면적인 566.10 m<sup>2</sup>/g에서 다소 감소된 464.45 m<sup>2</sup>/g로 측정되었으나 전체 세공 부피 분석에서는 큰 차이를 보이지 않으므로 이는 은나노 입자가 활성탄의 활성점에 흡착함으로써 비표면적이 감소하였으나 세공 부피에는 크게 영향을 미치지 않고 촉매작용, 불용성 침전물 생성 등 은나노에 의한 영향이 커져 더 효율이 높은 것으로 사료된다.

### 3.3 소독 효과

대장균군은 그람음성·무아포성의 간균으로서 락토스를 분해하여 기체 또는 산을 발생하는 모든 호기성 또는 통성 혐기성균 또는 갈락토스 분해효소( $\beta$ -galactosidase)의 활성을 가진 세균을 말한다. 총 대장균군은 먹는물에서의 검출과 계수가 용이하므로 오랜기간 동안 적절한 먹는물 수질의 지표로서 인식되어 왔다. 대장균군은 비병원성이지만 병원성 미생물의 오염원인 분변 오염과 관련이 있는 지표미생물의 분포상황을 측정함으로써 수인성 질병 원인균의 존재유무를 파악할 수 있다(Beck, Y and Sohn, J., 2006).

- pp. 361-367
- pp. 369-379
- pp. 381-389
- pp. 391-399
- pp. 401-408
- pp. 409-415
- pp. 417-425
- pp. 427-440
- pp. 441-447
- pp. 449-457
- pp. 459-469



일반 활성탄과 은나노 활성탄의 총 대장균수를 평판 집락시험방법으로 분석한 결과, 일반 활성탄을 각각 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L씩 투입한 경우 분석한 총대장균수는 각각 4900 개/mL, 4000 개/mL, 3500 개/mL, 2900 개/mL이었으며 일반 활성탄의 투입량이 증가함에 따른 총 대장균수는 급격히 감소하다가 완만한 감소를 보였고 은나노 활성탄의 총 대장균수는 은나노 활성탄을 각각 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L씩 투입한 경우 각각 26 개/mL, 16 개/mL, 9 개/mL, 0 개/mL로 모든 실험 구간에서 은나노 활성탄을 사용한 경우의 총 대장균수는 26 개/mL 이하로 검출되었다. 또한 은나노 활성탄을 20 g/L을 투입한 경우 총 대장균수는 0 개/mL로 완전 멸균된 상태를 나타내었으며 은나노 활성탄이 매우 탁월한 항균효과가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 일반 활성탄과 은나노 활성탄의 투입량에 따른 총 대장균의 살균효율을 나타낸 것이며 은나노 입자의 살균효율은 아래의 공식에 따라 백분율로 나타낼 수 있다.

$$\text{살균효율 (\%)} = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100$$

여기서,  $N_0$  : 초기의 시험액으로부터의 균수

$N$  : 일정시간 후 시험액으로부터의 균수

일반 활성탄의 경우 활성탄 투입량 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서 나타난 총 대장균의 살균효율은 각각 50.0%, 59.2%, 64.3%, 70.4%이었으며 은나노 활성탄의 경우 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에서 나타난 총 대장균의 살균효율은 각각 99.7%, 99.8%, 99.9%, 100.0%이었다. 은나노 활성탄이 일반 활성탄보다 총 대장균수가 현저히 감소된 것으로 보아 은나노 활성탄의 총 대장균 살균효율이 일반 활성탄 보다 훨씬 높은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 은이 살균작용에 매우 뛰어나고, 표면적을 극대화한 은나노 입자는 살균능이 매우 높은 것으로 알려져 있다(Seon, 2013). 이러한 은의 살균 메커니즘으로 여러 가지 미생물에 존재하는 티올기, 아미노기, 이미다졸기, 카복실레이트기 등은 모두가 비공유전자를 가진 원자단들로서 은과 잘 결합하며 이로 인해 결합한 은이 박테리아나 미생물의 호흡과정이나 전자전달 과정을 방해하여 미생물들이 호흡기 및 신진대사 차단, 생식 기능 제거로 인하여 사멸하는 것으로 보고되고 있다(Lee et al, 2007). 따라서 은나노 활성탄도 이와 같은 이유로 살균효율이 일반 활성탄 보다 훨씬 더 높은 것으로 사료된다.

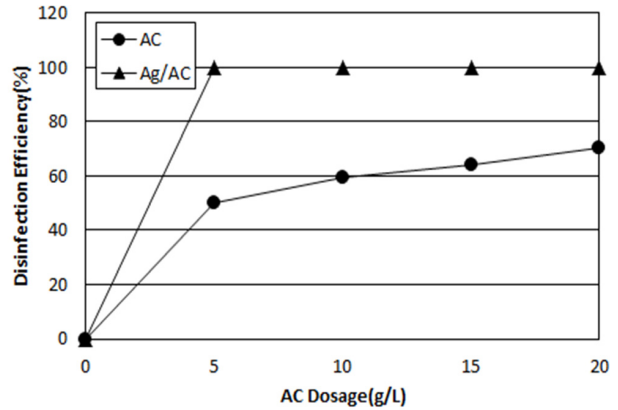


Fig. 5. Variation of total coliforms disinfection efficiency with AC dosage.

## 4. 결론

본 연구는 W시 하수종말처리장의 2차 침전지를 통과한 처리수를 대상으로 일반 활성탄과 은나노 활성탄을 각각 사용한 Loop Reactor에서 활성탄 투입량 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, 20 g/L에 따른 COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P, 총 대장균수의 변화와 제거율을 비교 분석하였다. 실험결과, 은나노 활성탄을 사용한 경우의 T-P 제거율이 일반 활성탄을 사용한 경우의 T-P 제거율 보다 더 높았으며 활성탄 투입량 20 g/L의 경우 은나노 활성탄에서의 T-P 제거율은 45.4%이며 일반 활성탄에서의 T-P 제거율은 30.9%이었다. 마찬가지로 COD 제거율, T-N 제거율 모두 은나노 활성탄이 일반 활성탄 보다 더 높아 은나노 활성탄이 오염물질 제거 면에서 더 우수함을 알 수 있었다. 은나노 활성탄과 일반 활성탄 각각의 경우 투입량 증가에 따른 총 대장균수는 감소하였으며 은나노 활성탄의 경우 감소의 폭이 매우 컸다. 은나노 활성탄 20 g/L을 사용한 경우 총 대장균수는 0 개/mL로 완전 멸균된 상태를 나타내었으며 모든 실험 구간에서 은나노 활성탄을 사용한 경우의 총 대장균수는 26 개/mL 이하로 은나노 활성탄이 매우 탁월한 항균효과가 있음을 알 수 있었다.

## 사 사

이 논문은 2013년도 상지대학교 교내연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.



## References

- APHA (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Ed., American Public Health Association, Washington DC, USA. pp.5-17.
- Baek, I and Bin, H. (1999). Manufacture and Characterization of Molding Activated Carbon from Fly Ash and Coconut Shell Char as Raw Material, *J. of KSEE*, 21, 1959-1965.
- Beck, Y. and Sohn, J. (2006). Studies on the Effect of Water Quality Parameters on Total Coliform Concentrations in Sewage Effluents, *J. Korean Soc. Water Quality*, 22, 166-171.
- Catalina, M. and Hock, E. M. V. (2010). A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment, *J. Nanopart. Res.*, 12, 1531-1551.
- Chun, H. D. (1994). Advanced Oxidation Process with TiO<sub>2</sub> Photocatalyst, *J. of KSEE*, 16, 809-818.
- Hwang, E. T., J. I. Lee, B. I. Sang, and M. B. Gu (2007). Toxicity Monitoring and Assessment of Nanoparticles Using Bacteria, *J. Biotechnol. Bioeng.*, 22, 414-420.
- Hwang, M., Hwang, Y. S. and Lee, W. (2015). Phosphate Adsorption on Metal-Impregnated Activated Carbon, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 37, 642-648.
- Jang, A. H., Kim, S. and Kim, I. S. (2000). Effect of Nitrate and Nitrite Load on Denitrification Reaction in Anoxic Biofilm Reactor, *J. of KSEE*, 22, 1617-1625.
- Jang, J. K., Sung, J. H., Kang, Y. K. and Kim, Y. H. (2009). Enhanced Dark Field Microscopy for Rapid Artifact-free Detection of Nanoparticle Binding to *Candida albicans* cells and hyphae, *Biotechnol. J.*, 4, 871-879.
- Kim, D. S., Song, S. K. and Park, Y. S. (2010). A Comparison of Single Disinfection Process for Inactivation of *E. coli.*, *KSBB Journal*, 25, 25-32.
- Kim, J. Y., Kim, T., and Yoon, J. (2009). Antimicrobial Activity and Mechanism of Silver, *J. Korean Ind. Eng. Chem*, 20, 251-257.
- Kim, S. H., Lee, H. S., Ryu, D. S., Choi, S. J., and Lee, D. S. (2011). Antibacterial Activity of Silver-nanoparticles against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli.*, *Korean J. Microbiol. Biotechnol.*, 39, 77-85.
- Lee, C. J., D. Y. Kim, and B. S. Kim (2007). Study of Anti-bacterial Properties for Impregnated Activated Carbon by Silver Nano-particles, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 18, 396-399.
- Lim, M., Bae, S., Lee, Y., Lee, S. and Hwang, Y. S. (2013). Aggregation Behavior of Silver and TiO<sub>2</sub> Nanoparticles in Aqueous Environment, *J. of KSWW*, 27, 571-579.
- Luo, X., Morrin, A., Killard, A. J., and Smyth, M. R. (2006). Application of Nanoparticles in Electrochemical Sensors and Biosensors, *Electroanalysis*, 18, 319-326.
- Metcalf & Eddy (2004). *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse*, 4th brief Korean Language Ed., McGraw-Hill, Korea. pp.334-350.
- Ministry of Environment (2002). *Korean Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul, Korea. pp.1-691.
- Ministry of Environment of Korea, (2016). Sewerage Law, <http://www.law.go.kr/> (April 12, 2016).
- Nelson, D., Priscyla D. M., Gabriel, I. H. D. S., Oswaldo, L. A., and Elisa, E. (2007). Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Produced by Fungal Process on Textile Fabrics and Their Effluent Treatment, *J. Biomed. Nanotechnol.*, 3, 203-208.
- Park, J., Kwak, H., Min, S., Chung, H. and Park, P. (2016). Effect of pH and Initial Phosphorus Concentration on Phosphorus Removal of Aluminum Salts, *J. of KSWW*, 30, 123-130.
- Ruparelia, J. P., Chatterjee, A. K., Duttagupta, S. P. and Mukherji, S. (2008). Strain Specificity in Antimicrobial Activity of Silver and Copper Nanoparticles, *J. Acta Biomaterialia*, 4, 707-716.
- Seon, Y. H., Chang, Y. Y and Hwang, K. Y. (1997). Treatment of Refractive Wastes by Catalytic Wet Oxidation. *J. of KSEE*, 19, 591-600.
- Seon, Y. H. (2012). A Study on Removal of Organics and Disinfection Effect in Sand Filter Using Nano Silver Sand, *KSBB Journal*, 27, 16-20.
- Seon, Y. H. (2013). Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Attached on the Surface of Salt and Sucrose, *KSBB Journal*, 28, 249-253.
- Seon, Y. H. (2014). A Study on the Characteristics of Pollutant Removal in Secondary Effluent from Wastewater Treatment Plant Using Silver Nanoparticles on Activated Carbon, *KSBB Journal*, 29, 353-360.
- Sharma, V. K., Yngard, R. A. and Lin, Y. (2009). Silver Nanoparticles: Green Synthesis and Their Antimicrobial Activities, *J. Advances Colloid Interface Sci.*, 145, 83-96.
- Weinkauf, H. and Brehm-Stecher, B. F. (2009). Enhanced Dark Field Microscopy for Rapid Artifact-free Detection of Nanoparticle Binding to *Candida albicans* cells and hyphae, *Biotechnol. J.*, 4, 871-879.

pp. 361-367

pp. 369-379

pp. 381-389

pp. 391-399

pp. 401-408

pp. 409-415

pp. 417-425

pp. 427-440

pp. 441-447

pp. 449-457

pp. 459-469