

초음파 약품분사노즐을 이용한 응집효율 향상 I

김진국[†] · 조순행 · 하동윤 · 고재석* · 김용현* · 최승철*

아주대학교 환경건설교통공학부 · *아주대학교 재료공학과

(2004년 10월 1일 접수, 2004년 12월 20일 채택)

Enhancement of Coagulation and Flocculation Efficiencies by Ultrasonic Chemical Spray Nozzle I

Jin Kook Kim[†] · Soon Haing Cho · Dong Yun Ha · Jae Seok Koh* · Yong Hyun Kim* · Seung Chul Choi*

Division of Environmental, Civil, and Transportation Engineering, Ajou University

*Department of Materials Science and Engineering, Ajou University

ABSTRACT : To establish low-cost and high efficiency water treatment process, feasibility of applying ultrasonic spray nozzle for chemical injection was evaluated. Ultrasonic spray nozzle was manufactured using piezoelectric ceramics. Treatment efficiencies of contaminants by ultrasonic spray nozzle were compared with conventional chemical mixing such as back-mixing. It was found out that the rate of chemical diffusion rate by ultrasonic spray nozzle was faster than by back-mixing method. Removal efficiencies of various contaminants, such as turbidity, organics and microorganism by ultrasonic spray nozzle were also higher than by back-mixing method.

By adapting ultrasonic spray nozzle in coagulant injection process, it can be prevented that the decline of treatment efficiency by coagulant overdose. The amount of coagulant can be reduced by applying ultrasonic spray nozzle in water treatment. Along with these advantages chemical mixing chamber is not required if ultrasonic spray nozzle is adapted.

From these results, it can be concluded that chemical injection by ultrasonic spray nozzle is an economical and highly efficient device for coagulant mixing.

Key Words : Ultrasonic Chemical Spray Nozzle, Coagulation, Mixing Method, Treatment Efficiencies

요약 : 국내 정수장의 약품공정을 향상시켜 저비용 고효율의 정수처리 공정을 확립할 목적으로 약품 분사용 초음파 분사 노즐의 적용가능성을 평가하였다. 초음파 분사노즐은 압전세라믹스를 이용하여 제작하였으며, 이 장치를 사용하여 상수 원수를 처리한 결과와 현재 대부분의 정수장에서 사용되고 있는 기존의 약품 혼합방식에 의한 오염물질의 처리효율을 비교·평가하였다.

그 결과 혼합방식에 따른 혼화지 내 응집제 혼화특성은 초음파 노즐에 의한 혼합방식이 기계식(back-mixing) 혼합방식보다 응집제의 확산속도가 빠른 것으로 조사되었다. 오염물질 별 제거효율 역시 기계식(back-mixing) 혼합방식보다 초음파 노즐에 의한 혼합방식의 제거효율이 높은 것으로 조사되어, 초음파 분사노즐을 이용한 약품 혼합방식을 실제 정수처리 공정에 적용할 경우 응집제의 과량 주입에 의한 처리효율의 저하를 방지할 수 있고, 후속 공정에 대한 부하량을 줄임으로서, 정수공정에 사용되는 약품을 절감시키고, 혼화지가 필요없게 되어 이로 인한 경제적 효과 뿐만 아니라 보다 순도가 높은 음용수를 생산 할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 초음파 약품분사노즐, 응집, 혼화방식, 처리효율

1. 서론

인구의 증가에 따라 강과 호수의 자정능력을 넘어서는 생활하수, 축산폐수의 방류와 산업화로 인한 난분해성 유해물질의 배출로 인하여 상수원은 다양한 유해물질로 오염될 가능성이 높은 것이 현실이다.¹⁾ '90년대 초부터 발생되기 시작한 페놀, 암모니아, 트리할로메탄(THMs) 등에 의한 먹는 물과 관련된 일련의 사고들로 인하여 음용수질의 개선

을 위한 정수처리 기술 향상의 필요성이 대두되었고, 이후 수질의 획기적인 개선을 위하여 고도 정수 처리에 대한 연구가 시작되었다.¹⁾ 그러나 대부분의 연구들은 원수에 함유된 오염물질의 제거에 주안점을 두었을 뿐, 음용수를 생산하는 주 시설인 정수장의 처리효율을 개선시키고자 하는 목적의 연구는 그다지 많지 않았다.

일반적으로 정수처리 공정은 침사, 약품혼화, 응집, 여과 및 소독 등으로 구성된다. 약품 혼화 공정은 원수에 존재하는 콜로이드성 부유물질을 제거하는 가장 기본적인 처리 공정으로 혼화에 영향을 줄 수 있는 인자로는 원수의 pH, 알칼리도, 오염물질 농도 및 온도 등이 있으며, 이밖에 혼화조 및 임펠러의 형상과 혼화조에 가해지는 교반강도 및

[†] Corresponding author

E-mail: jinny77@hanmail.net

Tel: 031-219-2410

Fax: 031-215-5145

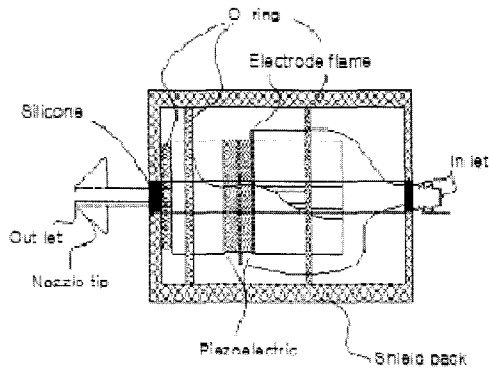
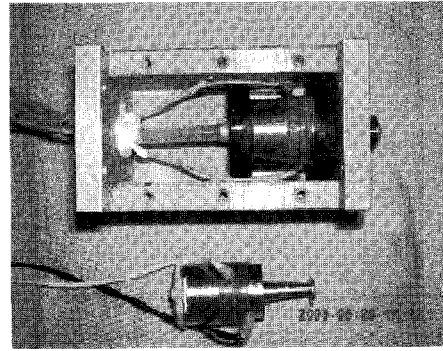


Fig. 1. Schematic diagram of ultrasonic spray nozzle.



교반시간으로 이에 따라 응집효과는 현저하게 달라진다.²⁾ 그러나 현재 우리나라 정수장의 응집제 등과 같은 약품의 주입 방법은 주로 기계식 혼합방식을 사용하고 있어 약품 혼합의 이상적인 조건인 10^{-4} ~1초 내에 약품 분산이 이루어지기 어렵고, 적절한 교반이 불가능하여 응집제를 30~40% 정도 과잉 주입하여 콜로이드와 충돌기회를 증가시키고 있는 실정이다.^{3,4)} 그러나 이러한 단점을 극복하기 위하여 사용되는 방법으로는 단순히 혼합기 내의 교반속도를 증가시키는 수준에 그치고 있어 이로 인한 동력비 및 유지관리비의 상승은 물론 균일한 응집 플럭(floc)의 형성을 방해하여 정수처리 효율을 저하시키는 중요한 원인으로 지적되고 있어 이에 대한 해결 방안이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이와 관련되어 본 연구에서는 고성능 고효율의 초음파 약품분사 노즐을 제작하여 이를 적용, 국내 정수장의 약품 혼합공정의 효율을 향상시켜 저비용 고효율의 정수처리공정을 확립하는 데에 그 목적을 두었다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 초음파 약품분사노즐

2.1.1. 압전 세라믹 제조

PZT(PbO, ZrO₂, TiO₂) 압전체는^{5,6)} 순도 99% 이상의 고순도 특급 시약을 출발 물질로 하여, 원료 분말을 습식 혼합하였다. Troidal 타입의 압전 세라믹은 외경/내경이 $\phi 27/\phi 7.9$, $\phi 32.4/\phi 9$ 등의 형태로 제조하기 위해 원료에 바인더를 첨가한 후 2,000 kPa/cm²으로 가압한 후, 1,250℃에서 1분당 4℃로 온도를 증가시키며 5시간 동안 소결하였다. 연마기(Speed FAM 4B6-L, U.S.A)를 사용하여 두께를 4 mm로 상·하면을 균일하게 연마한 후 스크린 인쇄법으로 Ag 전극을 시편의 양면에 도포한 후 3.5 kV/mm의 직류 전압으로 120℃, 30분간 분극 처리하였다.

2.1.2. 분사 노즐 설계 및 제작

초음파란 인간의 가청 주파수영역인 16~20 kHz 범위의 상한치인 20 kHz 이상의 주파수를 갖는 음파이다. 초음파

는 압전효과(Piezoelectric effect)를 이용하여 석영과 같은 압전성 물질의 판 양면에 크기가 같고 방향이 반대인 전하를 교대로 걸어주어 그 물질이 수축과 팽창을 반복하게 하여 전기에너지를 기계에너지로 변화시키고 그로 인해 소리가 발생되도록 하여 발생시킨다.⁷⁾

노즐의 제작은 비교적 높은 주파수 영역인 40 kHz에서 고유진동수를 얻기 위해 금속 외경을 $\phi 27$ 로 가공하였으며, 세라믹 또한 소결 치수인 $\phi 27$ 로 맞춰 세라믹 금형 제작하였다. 분사 약품은 노즐의 유입부 부분으로 투입되어 내부를 통과하는 오리피스(Orifice)로 공급되며, 약품의 분사효율을 높이기 위해 외각을 감싸는 troidal 타입의 압전체를 통하여 노즐의 유출부 부분인 노즐 tip에서 약품을 분사시켰다. 노즐에 고전압 인가시 압전체 측면을 통한 누설전류를 차단하기 위해 노즐 진동자 조립 후, troidal 압전체 외각을 실리콘을 사용하여 실링하였다. Fig. 1은 고유진동수 40 kHz의 초음파 노즐의 모식도와 사진이다.

2.2. 연속식 실험장치

실험에 사용된 연속식 실험장치는 경기도에 위치한 K 정수장의 제 1 정수장을 기준으로 상수도 시설기준⁸⁾에 준하여 혼합기, 응집기, 침전기로 구성하여 제작하였다. 장치의 재질은 acryl을 사용하였고, 혼합기의 체류시간은 1분, 유효용량은 3.0×10^{-3} m³로 제작하였다. 응집기에서의 체류시간은 30분, 유효용량 0.0293 m³이고, 침전기의 체류시간은 3 hr, 유효용량은 0.54 m³이다. Fig. 2는 연속식 실험장치의 사진이다.

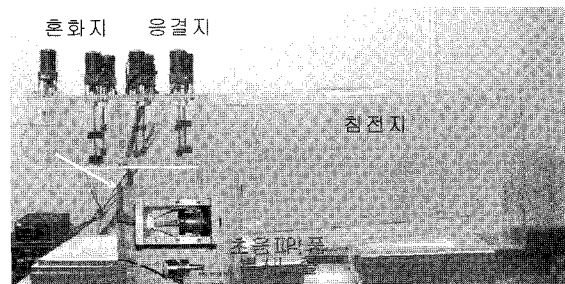


Fig. 2. Picture of continuous-flow reactor.

2.3. 실험방법

초음파 약품 분사장치의 개발을 위하여 압전체의 물성실험을 수행하였고, 수중의 초음파 발진 및 무발진시 분사효율을 관찰하였다. 초음파 약품분사장치에 의한 혼화방식별로 혼화지내의 응집제 혼화특성과 응집제 주입량 변화에 따른 처리효율을 조사하였다. 실험 방법은 다음과 같다.

2.3.1. 압전체 물성실험

시편의 압전 특성은 Institute of Radio Engineers Standard (1957)⁹⁾에 근거하여 Low Frequency Impedance Analyzer (HP4194A) 를 이용하여 압전상수(d33), 전기 기계 결합계수(kp), 공진저항(Zr), 유전 손실(Loss tan)등을 측정하였다. 세라믹과 노즐의 온도변화 측정은 광학온도계(IR-AHOT, Chino)로 측정하였으며, 미세구조의 관찰은 주사 전자현미경 (S-2700, Hitachi)을 사용하여 관찰하였다.

2.2.2. 초음파 발진 및 무발진 시 분사효율

아크릴 수조에 압전체를 장착하여 패키징한 초음파 분사노즐을 수조 바닥에서 위로 100 mm의 수조 중앙에 설치하였고, 약품대신 검정색 잉크를 사용하여 분사하여 수중에 초음파 액체분사시 약품분사액의 퍼짐성 및 이동을 조사하여 초음파 발진 및 무발진시의 분사효율을 평가하였다. 그리고 노즐의 장시간 발진시 초음파 진동에 의한 피로현상과 신뢰성을 관찰하기 위하여 대기중에서 초음파 액체분사시 세라믹과 노즐의 온도변화를 측정하였다.

2.2.3. 혼화방식에 따른 혼화지내 응집제 혼화특성

기계식(back-mixing) 혼화방식과 초음파 노즐에 의한 혼화 방식에 의하여 응집제가 원수 중으로 효과적으로 혼화되는지 여부를 조사하였다. 교반 강도가 클수록 난류의 발생 정도는 커진다. 교반 강도는 일반적으로 속도구배(velocity gradient, G)로 표현할 수 있다.¹⁰⁾ Table 1은 속도구배(velocity gradient, G)와 본 실험에서 사용된 impeller를 이용한 기계식 혼화에서의 입력에너지의 계산식이다.

기계식(back-mixing) 혼화기에 대한 AWWA(American Water Work Association)의 설계 기준은 교반강도 300~1,000 sec⁻¹, 체류시간 10~60초로 제시되는데, 국내 정수장의 교반강도는 300~350 sec⁻¹ 범위로 설정하고 있다.¹¹⁾ 이를 근거로 본 실험에서는 bench 규모의 혼화지에서 기계식(back-mixing) 혼화 방식과 초음파 노즐 혼화 방식의 운전조건을 체류시간 1 min, 교반강도 320 sec⁻¹으로 설정하여 실험하였다.

Table 1. Velocity gradient(G) and input power(P)

Velocity gradient(G)	Input Power(P)
$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}}$	$P = \frac{C_D \times \rho \times A \times v^3}{2}$
G = velocity gradient, sec ⁻¹	C _D = 1.8 for flat blade
P = power input, N · m/sec	A = blade surface area, m ²
V = volum of reactor, m ³	ρ = density of fluid, kg/m ³
μ = viscosity of water, kg/m · sec	v = 0.75 × blade speed, m/sec

응집제는 정수장에서 주입하고 있는 양과 같은 양인 26 mg/L를 정량펌프를 이용하여 주입하였다. 아울러 혼화지의 weir를 통하여 나오는 시료를 10초 간격으로 2분간 채취하여 시료의 aluminum의 농도를 ICP(Opima 3000, Perkin Elmer)로 측정하여 기계식(back-mixing) 혼화 방식과 초음파 노즐에 의한 혼화방식의 혼화특성을 비교하였다.

2.2.4. 응집제 주입량 변화에 따른 초음파 약품분사장치의 처리 효율성 평가

유입수의 유량이 3 L/min에서 응집제(Poly Aluminum Chloride) 0, 15, 20, 25, 30 mg/L, 보조응집제(Ca(OH)₂) 20 mg/L를 주입하여 응집제 주입량 변화에 따른 약품혼화방식 별 처리효율성을 비교 · 평가하였다. 급속 교반은 기계식(back-mixing) 혼화 방식의 경우 교반속도 100 rpm으로 1분간 교반하였고, 초음파 노즐 혼화 방식은 교반하지 않고 혼화지에서 1분간 체류시킨 다음 34~49 rpm으로 30분간 완속 교반시켰다. 체류시간이 3시간인 침전지의 weir를 통과하여 나온 처리수를 채취하여 혼화방식 별로 응집 침전후의 탁도, UV₂₅₄, TOC, DOC, 미생물, particle size의 농도변화를 분석하여 각 응집제 주입방식의 효율성을 비교 평가하였다. Table 2에 항목별 분석방법을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 압전특성

Table 3에 PZT(PbO, ZrO₂, TiO₂) 압전체의 각 물성치를 나타내었다. 압전 상수인 d33가 높고, 발진기에서 인가된 출력을 초음파 노즐의 기계적인 에너지를 최대로 하기 위해 전기 기계적 변환 계수, kp가 높은 조성을 선택하였다.

Table 2. Analytical methods

Classification		Analytical Methods
Turbidity		Nephelometric Method
Particle size		Electrical Sensing Zone Method
Organic matters	UV ₂₅₄	UV Spectrophotometer (8452A, Hewlett Packard)
	TOC	Persulfate-Ultraviolet Oxidaton Method
	DOC	Persulfate-Ultraviolet Oxidaton Method
Micro-organism	General bacillus	Pour Plant Method (Standard Method, 9251B)
	E.coli	Membrane Filter Method (Standard Method, 9222B)

Table 3. Electronic properties of PZT

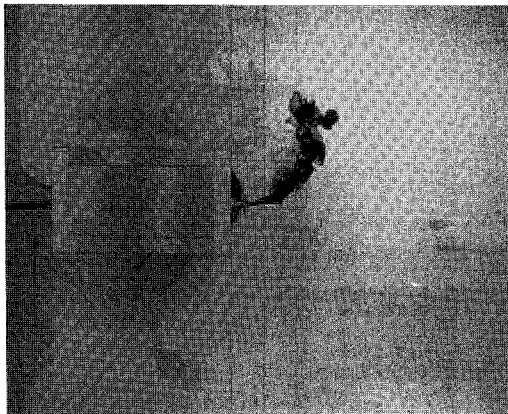
Fr(KHz)	Zr(Ω)	Fa(KHz)	C(pf)	Qm	d ₃₃ (10 ⁻¹² m/V)	Kp(%)
56.23	18.56	66.06	378	1465	351	58.05

3.2. 초음파 발진 및 무 발진시 분사효율

세라믹 노즐을 외장 패키징 없이 발진할 경우 주파수가 40 kHz부근으로 유지되었으나, 수중 실험을 위해 초음파 노즐 외부를 패키징한 경우 5% 정도 공진주파수가 낮은 쪽으로 이동하였다.

Fig. 3은 세라믹 노즐을 패키징하여 수중에서 약품분사시 초음파 발진과 무발진 분사를 비교한 사진이다. Fig. 3(a)는 초음파를 발진시키지 않은 상태에서 약품을 액체 펌프의 압력에 의해 분사시킨 장면으로 분사액이 거의 퍼지지 않고 직선방향으로 분사되는 것으로 관찰되었다. 분사액은 액체 분사 압력에 의해서만 수중에서 확산이 진행되어 직선 방향으로 약 50 cm 정도 진행하다가 바닥으로 가라앉은 후 서서히 탱크 내 물이 전체로 확산되어 감을 관찰할 수 있었다. Fig. 3(b)는 초음파 발진분산 시킨 결과로 무발진 분사한 경우와 비교했을 때 액체펌프 압력과 초음파 노즐에서 발생하는 종 진동 즉, 초음파 노즐 tip 부분의 수직면 방향의 진동 에너지가 수중으로 확산되어 수중에서의 분사액의 확산이 월등히 뛰어난 것을 관찰되었다. 초음파를 적용하여 분사시 노즐 tip 부근에서 분사액 입자가 미세하게 되면서 수중에서 3차원적으로 고른 확산이 진행된다.

결과적으로 초음파 발진 분사시 약품의 분산 속도가 현저히 빠르고 약품이 미세하게 분산됨을 관찰할 수 있었다.

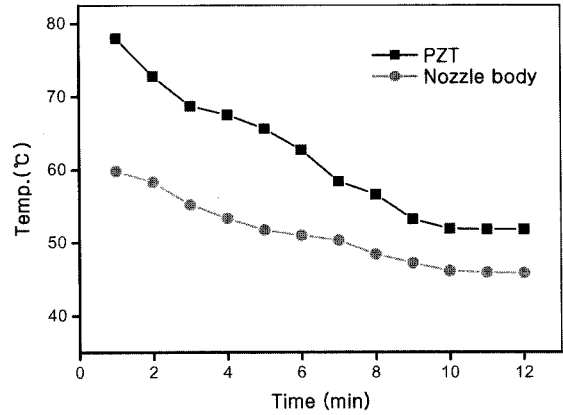


(a) without ultrasonic generation

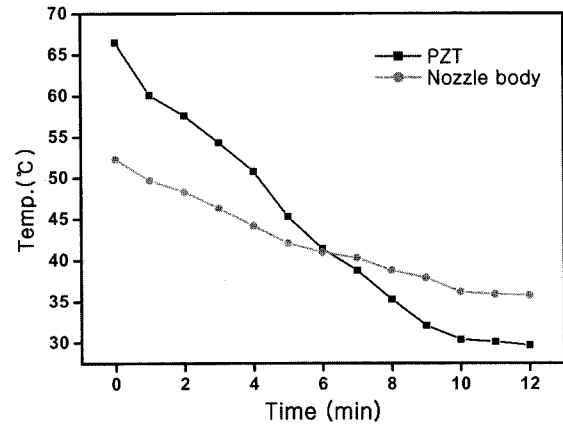


(b) with ultrasonic generation

Fig. 3. Shape of chemicals dispersion with and without ultrasonic generation.



(a) Air



(b) Aqueous solution

Fig. 4. Temperature changes of nozzle body and PZT(PbO, ZrO₂, TiO₂).

Fig. 4는 대기중과 수중에서 초음파 발진 액체분사시 세라믹과 노즐의 온도변화를 비교한 결과이다. 대기중이나 수중에서 모두 동일한 시간이 경과한 후에 온도가 안정화되었으며, 대기중에서 분사하는 경우보다 수중에서 분사할 경우, 세라믹과 노즐의 온도가 더 낮은 온도로 안정화되었다. 실제의 적용시 수중에서 초음파 액체 분사할 경우 초음파 진동에 의한 피로현상이 없는 신뢰성 있는 발진 상태가 관찰되었다. 따라서 수중에서 분사하는 경우 압전체의 자연냉각이 이루어져 장시간의 발진에도 문제가 없이 신뢰성이 향상되는 것으로 결론 지을 수 있었다.

3.3. 혼화방식에 따른 혼화지내 응집제 혼화특성

Fig. 5는 정량펌프를 이용하여 응집제를 혼화지에 주입시 기계식(back-mixing)혼화방식과 초음파노즐에 의한 혼화방식의 혼화특성을 분석한 결과이다. 응집제(Poly Aluminium Chloride)의 주입농도는 26.0 mg/L이었으며, 혼화지의 체류시간은 1분이었다. 실험결과 기계식(back-mixing)혼화방법의 경우 혼화지 체류시간인 1분이 경과 후 혼화지 유출수 중의 Al 농도는 22.2 mg/L이었으며, 초음파 노즐에 의한 혼화방식은 25.0 mg/L로 주입된 응집제 농도와 거의 유사하게 나타났다. 60초가 지난 후에도 초음파 혼화방법의 Al의 농도는 변화가 없는 반면에 기계식 혼화방법의 Al의 농

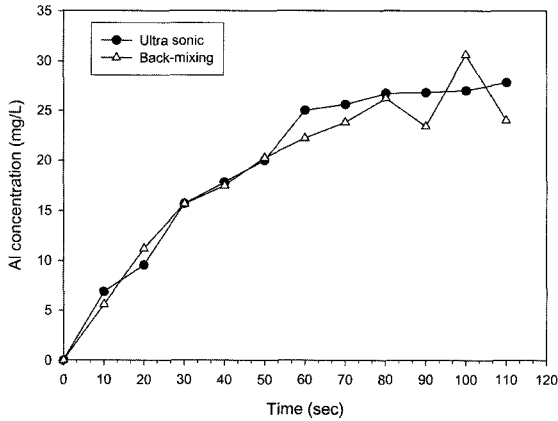


Fig. 5. Change of aluminium concentration by various chemical injection method.

도의 변화가 심하게 나타나는 것으로 보아 초음파 혼화방법이 기계식 혼화방법에 보다 혼화 효율이 우수한 것으로 조사되었다.

이와 같이 기계식 혼화방법에 비하여 초음파 혼화방법의 혼화효율이 우수한 이유는 응집제가 초음파 분사 노즐에 의하여 미세한 액적으로 분사되어 원수와의 접촉 면적이 커져 빠른 시간에 혼화지내에서 확산이 발생하여 약품혼화 효율이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 특히 실제 시설은 혼화지 규모가 더욱 커서 순간적으로 혼화조 전체에 응집제가 확산되기는 불가능할 것이므로 처리 효율면에서 초음파 분사 장치의 사용에 의한 효과는 더욱더 클 것으로 예상되었다.

3.4. 응집제 주입량 변화에 따른 초음파 약품분사장치의 처리 효율성 평가

1) 탁도 및 particle size

Fig. 6은 응집제 주입량 변화에 따른 기계식(back-mixing) 혼화방식과 초음파 노즐에 의한 혼화방식의 탁도 제거율을 조사한 결과이다. 기계식(back-mixing) 혼화 방식과 초음파 노즐을 이용한 혼화 방식의 탁도 제거율은 응집제 주입량

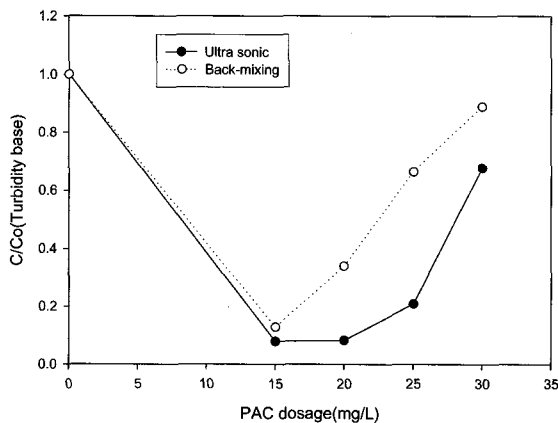


Fig. 6. Turbidity removal efficiency by various coagulant dosage.

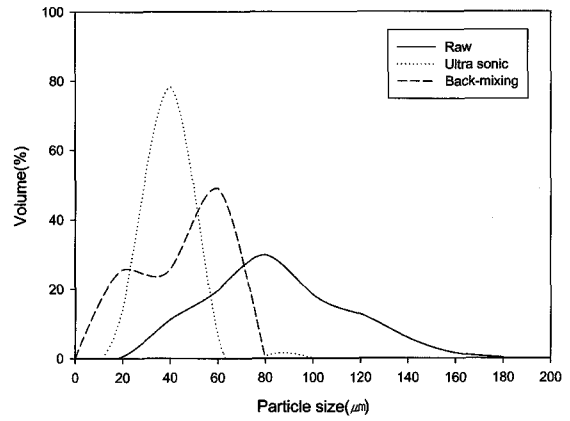


Fig. 7. Particle size distribution by mixing methods.

15 mg/L에서 각각 87.2%와 92.1%로, 20 mg/L에서 66%와 91.8%로, 25 mg/L에서 33.6%와 79.1%로, 30 mg/L에서 11%와 32.3%로 초음파 노즐을 이용한 혼화방식이 기계식 (back-mixing) 방식보다 탁도 제거율이 높은 것으로 조사되었다. 응집제 최적 주입량에서의 기계식(back-mixing) 혼화 방식보다 초음파 노즐을 이용한 혼화방식의 탁도 제거율의 차이는 미미 하였으나, 응집제 주입량이 증가할수록 기계식 (back-mixing) 혼화방식 보다 초음파 노즐을 이용한 혼화방식이 21.3~45.5% 정도 더 안정적인 탁도 제거율을 보이는 것으로 조사되었다.

Fig. 7은 응집제 주입량 변화에 따라 혼화방식별로 처리수에 존재하는 입자의 크기 분포를 나타낸 결과이다. 원수에는 입자들은 20~180 µm 범위에 걸쳐 분포하는 것으로 조사되었으며, 주로 60~120 µm 범위의 입자가 대부분인 것으로 조사되었다. 기계식(back-mixing) 혼화방식으로 처리한 경우 처리수에 존재하는 입자들은 0~80 µm 범위에 걸쳐 분포하는 것으로 이중 60 µm 크기를 갖는 입자가 49.0%로 가장 많이 존재하는 것으로 조사되었다.

초음파 노즐을 이용한 혼화방식의 경우 처리수에 존재하는 입자들은 10~60 µm 범위에 걸쳐 분포하는 것으로 조사되었으며, 이중 40 µm 크기의 입자가 78.3%를 차지하는 것으로 나타나 초음파 노즐을 이용한 혼화방식이 기계식 (back-mixing) 혼화방식에 비하여 상대적으로 처리수에 존재하는 입자의 크기가 작은 것으로 조사되었다. 이는 초음파 노즐에 의한 혼화방식은 응집제가 수중에 미세한 액적으로 분사되어 기계식(back-mixing) 혼화방법 보다 응집제가 혼화지 내에서 완전히 혼합 될 수 있기 때문에 수중에 존재하는 탁도 유발물질과도 더 효과적으로 반응하므로서 응집효율이 증가된 것으로 판단된다.

2) 유기물(UV₂₅₄, TOC, DOC)

Fig. 8은 응집제 주입량 변화에 따른 UV₂₅₄, TOC, DOC의 제거 효율을 나타낸 결과이다. UV₂₅₄ 흡광도는 수중에 존재하는 용존 유기물, 특히 고분자인 부식성분(humic substance)의 농도를 나타내는 것으로¹²⁾ 기계식(back-mixing) 혼화 방식과 초음파 노즐 혼화 방식의 UV₂₅₄ 제거율은 응

집제 주입량 15 mg/L에서 각각 74.6%와 79.3%로, 20 mg/L에서 67.8%와 78.5%로, 25 mg/L에서 25.2%와 49.89%로, 30 mg/L에서 14.4%와 23.0%로 초음파 노즐을 이용한 혼합방식이 기계식(back-mixing) 방식보다 UV₂₅₄ 제거율이 높은 것으로 조사되었다.

기계식(back-mixing) 혼합방식과 초음파 노즐을 이용한 혼합방식의 TOC의 제거효율은 응집제 주입량 15 mg/L에서 각각 59.8%와 63.7%로, 20 mg/L에서 46.9%와 62.2%로, 25 mg/L에서 40.9%와 58.9%로, 30 mg/L에서 18.1%와 40.2%로 초음파 노즐을 이용한 혼합방식이 기계식(back-mixing) 방식보다 TOC 제거율이 높은 것으로 조사되었다.

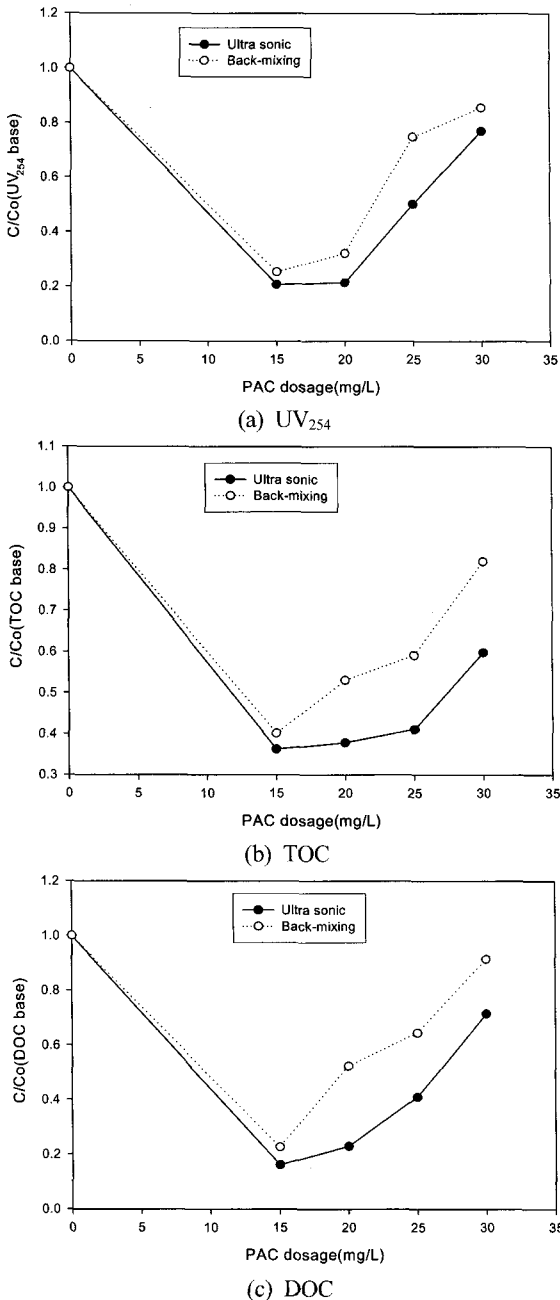


Fig. 8. Organic removal efficiency by various coagulant dosage.

DOC의 제거효율은 응집제 주입량 15 mg/L에서 각각 77.3%와 83.8%로, 20 mg/L에서 47.7%와 77.1%로, 25 mg/L에서 35.5%와 59.1%로, 30 mg/L에서 9.6%와 28.5%로 초음파 노즐을 이용한 혼합방식이 기계식(back-mixing) 방식보다 DOC 제거율이 우수한 것으로 조사되었다.

응집제 주입량이 증가하여도 초음파 노즐 혼합방식이 기계식(back-mixing) 혼합방식 보다 안정적인 제거율을 나타내었다. 이는 응집제를 주입하는 과정에서 수중에 초음파가 조사되면 물이 가수분해되어 H⁺와 OH⁻로 분해되며 이때 생성된 OH⁻는 응집제(Al³⁺)와 반응하여 Al(OH)₃를 형성하게 되므로^{12,13} 수중에 H⁺가 증가하여 표면 음전하가 감소하여 용존성 유기물질의 안정화를 방지하기 때문에^{13,14} 응집에 의한 유기물 제거 효과가 증가하기 때문인 것으로 해석된다. 또한 초음파가 수중에 조사될 때 생성되는 OH 라디칼에 의한 유기물의 산화로¹⁵ 응집·침전 공정의 효율이 향상되었을 것으로 판단된다.

3) 미생물(일반세균, 대장균)

Fig. 9은 응집제 주입량 변화에 따른 혼합 방식별 일반세균과 미생물의 제거효율을 나타낸 결과이다.

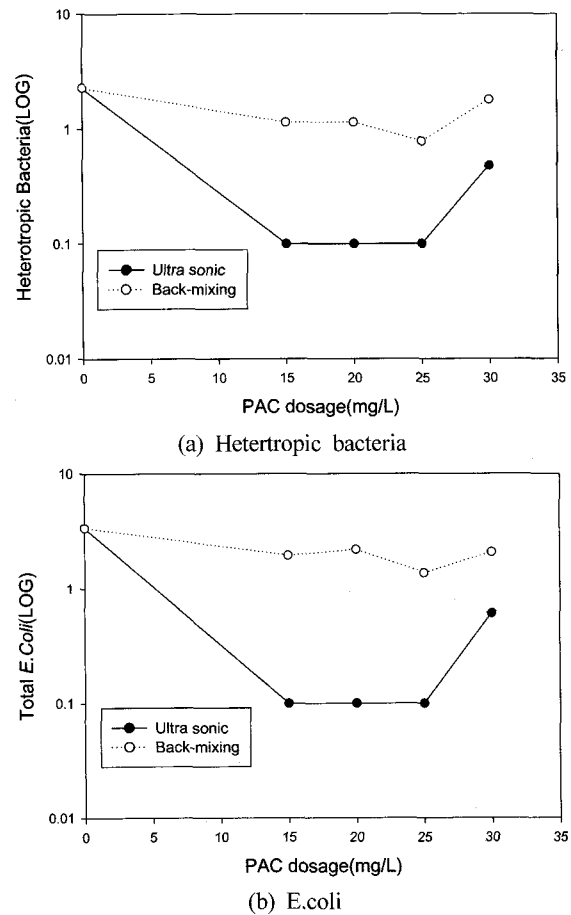


Fig. 9. Microorganism removal efficiency by various coagulant dosage.

일반세균의 제거율은 기계식(back-mixing) 혼화방식이 92.8% (1.14 log), 초음파 노즐 방식이 99.9% (3.0 log)로 조사되었으며, 대장균의 제거율은 기계식(back-mixing) 혼화방식이 96.3% (1.43 log), 초음파 노즐 방식이 99.3% (3.0 log)로 초음파 노즐 방식이 기계식 (back-mixing) 혼화방식에 비하여 일반세균과 대장균 제거에 있어서 모두 우수한 것으로 나타났다. 또한, 응집제 주입량이 증가하여도 초음파 노즐 혼화방식이 기계식(back-mixing) 혼화방식 보다 안정적인 제거율을 나타내는 것으로 조사되었다. 이는 초음파 분사노즐을 통하여 초음파가 수중에 조사될 때 공동(cavitation)의 형성, 성장, 붕괴에 따라 생성된 고온과 고압이 미생물의 사멸에 영향을 주었기 때문인⁸⁾ 것으로 판단된다.

4. 결론

1) 초음파를 이용한 물의 분사는 노즐 tip 부근에서 분사액 입자가 미세해지면서 수중에서 3차원적으로 고온 확산이 진행된다. 초음파 발진 분사시 약품의 분산 속도가 현저히 빨랐고, 약품이 미세하게 분산되는 것으로 조사되었다. 아울러 수중에서 초음파 액체 분사시 초음파 진동에 의한 피로현상이 없는 신뢰성 있는 발진 상태가 관찰되었다. 이는 수중에서 압전체의 자연 냉각이 이루어져서 장시간의 발진에도 문제가 없이 신뢰성이 향상되는 것으로 결론지을 수 있다.

2) 혼화방식에 따른 혼화지내 응집제 혼화특성은 초음파 노즐 방식이 기계식(back-mixing) 혼화방식보다 응집제의 확산이 빠른 것으로 조사되었다. 실험에 사용한 소규모 기계식(back-mixing) 혼화장치는 응집제 주입관의 위치가 임펠러 근접지역에서 이루어지는 이상적인 기계식 급속 혼화조인 점을 감안한다면 실제 현장에서 적용되고 있는 급속 혼화장치의 혼화효율은 훨씬 낮을 것으로 추정된다. 특히 실제 시설은 실험에서 사용한 혼화지 보다 그 규모가 훨씬 크므로 순간적으로 혼화조 전체에 응집제가 확산되기는 불가능할 것으로 판단되는 바 처리 효율면에서 초음파 분사장치와의 차이는 더욱 클 것으로 예상된다.

3) 최적 주입량에서 초음파 노즐에 의한 혼화방식과 기계식 혼화방식의 탁도, 유기물질, 미생물의 제거효율 차이는 미미하였지만, 주입량이 증가시켰을 경우 초음파 노즐에 의한 혼화방식이 기계식 혼화방식 보다 안정적인 제거율을 나타내었고 탁도, 유기물질, 미생물의 제거효율이 우수한 것으로 조사되었다.

4) 초음파 분사노즐을 이용한 약품 혼화방식을 실제 정수처리 공정에 적용할 경우 응집제의 과량 주입에 의한 처리효율의 저하를 방지 할 수 있고, 후속 공정에 대한 부하량을 줄임으로서, 정수공정에 사용되는 약품을 절감시키고, 혼화지가 필요없게 되어 이로 인한 경제적 효과뿐만 아니라 보다 순도가 높은 음용수를 생산 할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2002년도 한국환경기술진흥원에서 시행한 차세대 핵심환경기술개발 실용화·상용화 기술 사업을 (주)표준전자통신의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 이상협, "경기도 정수장에 적합한 고도정수처리공정 도입방안," 경기연구, 589~111(2000).
2. Amirtharajah, A. and O'melia, C. R., "Coagulation processes: destabilization, mixing, and flocculation," *Water Quality and Treatment*. Pontius, F. W.(Ed.), McGraw-Hill, New York. pp. 269~365(1990).
3. 최승일, "정수시설의 최적설계 및 유지관리," 그린테크 노(1997).
4. 한국수자원공사, "정수장 진단기술의 개발," pp. 322~368, 환경부(2002).
5. Soares, M. R., "Phase coexistence in PZT ceramics," *J. Euro. Ceram. Soc.*, **19**, 1865~1871(1999).
6. Soares, M. R., "Phase coexistence region and dielectric properties of PZT ceramics," *ibid.*, **20**, 321~334(2000).
7. Mason, T. J., Sonochemistry: the use of ultrasound in chemistry, *Royal Soc. Chem.*, 1~8(1990).
8. 한국 수도 협회, "상수도 시설기준," pp. 254~286 (1997).
9. IRE Standard on Piezoelectric Crystals: Measurement of Piezoelectric Ceramics, 61 IRE 14.sl, Proc. IRE, **49**(7), 1161~1169(1961).
10. Kawamura, S., "Considerations for Improving Coagulation and Flocculation," *J. AWWA*, **68**(6), 328~336(1976).
11. American Water Works Association, "Coagulation and Flocculation," *Introduction to Water Treatment 2*, 63~94(1984).
12. 전항배, 이동주, 윤기식, 안창진, "Advanced Coagulation에 의한 응집효과 및 수처리 효율," 대한환경공학회, 342~345(1996).
13. Edwards, M., "Predicting DOC removal during enhanced coagulation," *J. AWWA*, **89**(5), 64~77(1977).
14. 채선하, 안창진, 김정현, 이동주, "정수처리에서 2단 혼화방식 및 In-line Blender 혼화장치에 의한 혼화공정 개선 기술," 대한환경공학회, C-6(1997).
15. Kotronarou, A., Mills, G., Hoffmann, R., "Ultrasonic irradiation of p-nitrophenol in aqueous solution," *J. Phys. Chem.*, **95**, 3639~3638(1991).