

소규모 오수처리를 위한 전기화학적 방법에 의한 대장균 소독에 관한 연구

박 영 식 · 정 노 성* · 김 동 석*
대구대학교 보건환경전공, *대구가톨릭대학교 환경과학과
(2006년 7월 3일 접수; 2007년 2월 12일 채택)

A Study on *Escherichia Coli* Disinfection by the Electrochemical Method for Small Sewerage System

Young-Seek Park, No-Sung Jeong* and Dong-Seog Kim*

Department of Health & Environment, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea
*Department of Environ. Sci., Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea
(Manuscript received 3 July, 2006; accepted 12 February, 2007)

This study was carried out to investigate the effect of electrochemical (EC) disinfection of artificial wastewater contaminated by *Escherichia coli* culture. Circulated batch type electrochemical disinfection system using three plates electrodes was used. Also, the several factors (pH, ORP, DO, temperature, current, conductivity) were measured in order to investigate the fundamental design factor in the EC disinfection system. It was demonstrated that the EC process was highly effective for wastewater disinfection. At the constant voltage, the disinfection efficiency was increased according to time. The disinfection efficiency and current increased as the increase of voltage. The variation of conductivity was a little related to the variation of CFU (colony forming units). The differences in disinfection efficiency according to the ice pack and the variation of electrodes were not occurred. The EC disinfection efficiency and current increased according to the increase of circulating flow rate.

Key Words : Electrochemical disinfection, Voltage, Current, Temperature, Electrode, Flow rate

1. 서 론

2004년 말 기준으로 1일 하수발생량은 11,946천톤이며, 이 중 81%인 9,721천톤은 하수처리구역 내에서 발생하고 있으나, 하수관거 정비 미흡, 하수종말처리시설의 시설 용량 부족 등으로 인하여 실제 하수종말처리시설로 유입·처리되는 생활 오수량은 이보다 적을 것으로 추정되고 있어¹⁾, 중앙집중적인 처리시스템인 하수종말 처리시설의 부담을 덜어 주기 위해서라도 분산적이고 개별적인 오수처리시설에 대한 필요성이 증대되고 있다. 연구 분야에 있어서도 대규모 하수처리 시스템에 관한 연구는 국내 외적으로 많이 이루어지고 있으나, 소규모 오수처리

에 관한 연구는 상대적으로 소외받고 있어 이에 대한 관심이 절대적으로 필요하다.

또한, 현재까지는 오수처리시설의 방류수에 있어 질소와 인에 대한 규제가 없었고 대장균군수에 대한 규제가 없었으나, 이제는 방류수중 질소와 인의 규제뿐만 아니라 대장균군수에 대한 규제가 본격적으로 시행되고 있어 이에 대한 오수처리시설 업체의 대책이 매우 시급한 실정이라 할 수 있다.

소규모 오수처리시설이 안고 있는 큰 문제점중의 하나는 적절한 소독 방법의 부재에 있다. 대규모 하수처리장에서는 염소 가스를 이용한 대규모 염소 소독 기법을 많이 사용하고 있으나, 소규모 오수처리시설에서는 직접적인 염소 가스의 사용이 곤란하여 차아염소산염을 이용한 소독이 주를 이루고 있다. 그러나 이러한 차아염소산염과 같은 화학적 산화제에 의한 소독은 상수원 보호구역과 같은 지역

Corresponding Author : Dong-Seog Kim, Department of Environ. Sci., Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702
Phone: +82-53-850-3250
E-mail: kimds@cu.ac.kr

에서는 상당한 제한을 받고 있고 소독 효율도 신뢰 받지 못하고 있을 뿐만 아니라 관리상의 문제점을 함께 가지고 있다.

그러므로 염소 소독에 대한 대안으로 UV 소독과 오존 소독 등을 들 수 있는데, UV 소독은 상수 처리에서 많이 사용하고 있는 소독기법으로서 초기에는 소독 효과가 높으나, 하수나 오수와 같이 탁도가 높고 미생물 농도가 높은 경우에는 UV 표면에 생물막이 형성됨으로써 짧은 시간 내에 UV의 투과 효율이 감소되어 소독 효과가 급격하게 감소하는 문제점을 가지고 있고, 초기 시설비와 유지비가 높은 단점이 있을 뿐만 아니라, 소독이외의 기타 오염 물질에 대한 제거효과는 적은 편이다²⁾. 이에 비해 오존은 유럽에서 자외선과 같이 소독 잔류성이 없고 정수 분야에서 가장 효율이 좋은 소독 공정으로 인정을 받았으나, 1970년대 초반부터 시작된 미국 내에서의 하수 소독 효율 평가 면에서 높은 초기 투자비 및 유지 관리의 문제로 인해 염소보다는 효율적이지만 자외선 소독보다는 효과적이지 못한 것으로 이해되었다. 다른 연구자들은 하수의 2차 처리수에 오존 소독공정을 도입하는 것은 높은 오존 요구량이 소요되어 경제적인 타당성이 없다는 것을 지적하였다³⁾. 이와 같은 높은 오존 요구량의 발생은 처리수 내에 존재하는 부유물이나 유기물에 기인하는 것으로 밝혀졌으며, 이러한 물질들이 대장균 소독 이전에 오존을 소모하거나⁴⁾ 경쟁반응으로 인해 소독효율이 저하된다고 보고하였다⁵⁾.

그러므로 초기 투자비가 저렴하고 운전 및 유지 관리가 용이한 대체 소독 기술인 전기화학적 방법에 의한 소독이 가능성을 가지고 연구되고 있다⁶⁾. 전기화학적 소독은 물에 직류전원을 통전시키면 전위차(0.7-2.7V)가 발생하며, 이 전위차에 의한 세포막 파괴에 의해 대장균이 약 10^{-6} 초 이내에 소독이 완료되는 직접 소독효과와 전극에서 발생하는 수소 라디칼($H\cdot$), 하이드록실라디칼($OH\cdot$), 하이드로퍼옥시칼($HOO\cdot$), 과산화수소(H_2O_2) 및 오존(O_3) 등의 산화물질에 의한 간접 소독효과로 나눌 수 있다⁷⁾. 또한 시설비와 유지관리가 용이하고, 처리수 내에 존재하는 유기물 등도 전기분해에서 발생하는 각종 라디칼 등에 의해 부수적으로 제거되는 효과가 있다⁸⁾.

그러나 전기화학적 소독은 현재 국내에서는 하폐수 분야에 대해 연구되거나 적용된 적이 거의 없으며, 정수기에 적용되어 과일이나 채소 등의 농약과 세균을 분해, 살균하는데 제한적으로 사용되고 있으나, 그에 대한 정확한 특성 규명이 되지 않은 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 새로운 우수처리시설 규제 기준으로 제시된 유출수중의 대장균 수를 줄이기 위한 연구의 일환으로, 전기화학적 소독을 소규모 우수처리시설에 적용하기 위한 기초단계로서 대장균에 대한 소독효과를 조사하고 전기화학적 소독에 따른 여러 기초 설계 인자를 살펴보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험장치 및 운전

실험에 사용한 전기화학 소독 시스템은 Fig. 1과 같은 형태로서, 전체적인 시스템의 흐름은 순환회분식으로 하였다. 저수조는 가로 100 mm, 세로 100 mm, 높이 200 mm의 직육면체 형태로서 투명 아크릴로 제작하였으며, 유효용량은 300 ml가 되도록 운전하였다. 저수조 외부에는 소독운전시의 상태변화를 관찰하기 위하여 computer와 실시간 자동 측정기(Inolab Multi-Parameter Level 3)를 설치하였으며, 저수조내에는 온도, pH, 산화환원전위(ORP), 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)농도, 전기전도도(conductivity)를 측정하기 위하여 각각 온도(WTW TFK 325), pH(WTW SenTox 81), ORP(WTW SenTix ORP), DO(WTW CellOx 325), conductivity(Oakton WD-35631-60) 센서를 설치하였다. 필요에 따라 저수조내의 온도 상승을 막기 위해 직경 2~3 cm의 ice pack을 15~20개 첨가하였다.

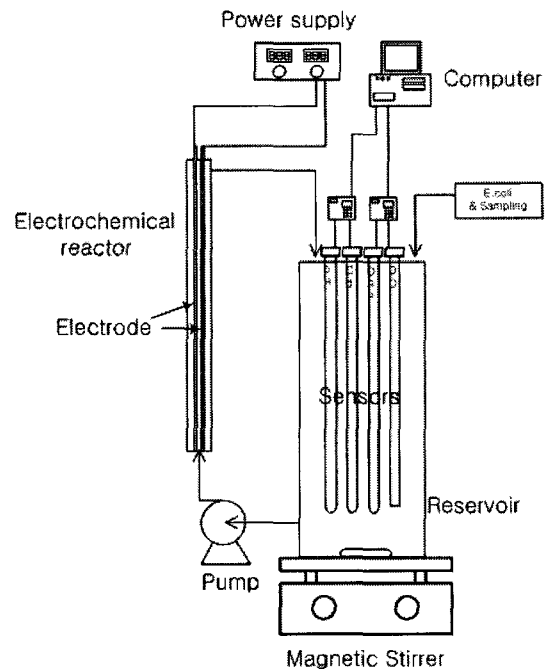


Fig. 1. Schematic diagram of batch circulation type electrochemical disinfection system.

저수조 하부에는 magnetic stirrer(Global Lab. GLMS-G)를 위치하여 저수조내의 연속적인 혼합을 유도하였다.

전기화학 반응조와 저수조 사이에는 정량 pump (Cole Parmer masterflex 77521-471)를 설치하여 일 정량의 물이 전기화학 반응조 하부에서 상부로 유 입되어 순환되도록 하였다. 실험의 목적에 따라 순 환유량을 적절하게 변화시켰다.

전기화학 반응조는 polyethylene 재질로 제작된 제품을 사용하였으며, 내부에 전극들을 수직형태로 위치시켰으며, 각 전극 사이에는 실리콘 재질의 분 리판을 설치하였다. 전극으로는 백금이 도금된 티타 늄 재질의 판형(55 x 130 x 1 mm) 3개를 사용하였 고, 각 전극간의 간격은 3 mm로 유지하였다. 전기 화학 반응조의 내부 유효용적은 약 30 ml로 유지되 었다.

전기화학 반응조내의 전극에 직류 전원을 공급하 기 위하여 DC Power Supply(Hyungsung E&E 50V 20A)를 설치하여 전압과 전류량을 필요에 따라 변화시켰다.

2.2. 실험 균주 및 균수 측정

실험 균주는 오수처리시설에서 대표적으로 측정 되는 대장균으로 *Escherichia coli*를 선택한다. 이 균주는 한국미생물보존센터에서 분양받았으며, 대표 적인 종으로 *E. coli* ATCC 15489를 이용하였다. 배 지로는 nutrient broth(beef extract 3.0 g/l, peptone 5.0 g/l)를 사용하였고, 균의 배양은 300 ml의 삼각 플라스크에 접종한 후, 37°C로 유지되는 incubator 에서 대수성장기를 유지하도록 48시간동안 연속 배 양하였다. 48시간이 경과된 후, 원심분리기를 이용 하여 10,000 x g에서 10분 동안 원심분리한 뒤 순수 증류수로 2~3회 세척하고, 세척된 균은 냉장 보관 하여 실험시 희석하여 사용하였다. 실험방법으로는 균용액 1 ml를 실험용액에 넣고 8~9 x 10⁵ CFU/ml에 맞춘 후 실험 반응기에 투입하고, 실험 목적에 따라 균을 처리한 다음 일정 시간 간격으로 시료 1 ml를 채취하였다. 균의 접종은 pour plate method에 의해 무균실에서 이루어졌다. 이때 실험 오차를 줄이기 위해 1개의 시료당 3개의 plate를 만 들었다. 균을 배양하는 동안 소독의 진행을 막기 위 해 채취된 시료에 중화제(neutralizer, 14.6% sodium thiosulfate와 10% sodium thioglycolate) 10 µl를 투 입하여 연속적으로 희석하고 nutrient agar에 투입 한 다음, 37°C로 유지되는 BOD 배양기에서 48시간 동안 배양한 뒤 형성된 colony를 계수하였다.

소독 효율은 시간에 따른 CFU의 변화에 따라 다 음 식(1)과 같이 정의된다.

$$E_t = \frac{CFU_0 - CFU_t}{CFU_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, E_t는 t 시간에서의 소독효율, CFU₀는 초 기 CFU, CFU_t는 t시간에서의 CFU를 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전압에 따른 소독효과

순환유량을 9.5 ml/sec로 일정하게 유지시킨 상태 에서 DC power supply의 전압을 5V에서 25V로 변 화시키면서 *E. coli*의 소독효과와 시스템의 상태변 화를 관찰하였다(Fig. 2, 3). 전압을 가해주는 시간 이 길어질수록 CFU는 감소함으로써 소독효율은 증 가하였다. 전압을 증가시킬수록 소독 효율은 증가하 는 것으로 나타났다. 전류량은 5V와 10V로 낮게 유 지한 상태에서는 시간에 따른 전류량의 변화가 없 이 거의 일정하게 나타났으나, 15V 이상의 전압에 서는 시간이 경과됨에 따라 전류량은 거의 선형적 으로 증가하였다. 전압을 5V로 유지한 상태에서 10 분이 경과된 시점에서의 소독효율은 30%정도로 매 우 저조하였으며, 전류량도 0.5A 정도로 일정하게 나타났다. 전압을 15V로 증가시킨 경우, 10분 경과 시 76%의 비교적 높은 소독 효율을 나타내었으며, 전류량도 2.2V에서 3.0V로 증가하였다.

마찬가지로 전압을 20V로 높은 상태에서는 6분 이 경과된 시점에서 70% 정도의 소독 효율을 나타 냄으로써 소독 효율은 증가하였고 전류량도 증가하 였으나, 전기 소독이 진행됨에 따라 전체 시스템 내 의 온도가 40 °C 이상으로 급격하게 증가할 위험이 있어 지속적인 전기 소독의 진행은 불가능하였다. 온도가 40 °C 이상으로 증가하면 반응기가 파손될 가능성이 있을 뿐만 아니라 실제 소독 과정에서도 전기화학적 소독과정이 아닌 온도에 의한 소독이 발생할 수 있어 40 °C 이상으로 온도가 올라 갈 경 우에는 운전을 중지하였다.

전압을 25V로 증가시킨 경우에는 4분 내에 60% 의 소독효율을 얻을 수 있었으며, 전류량도 3.7A에 서 6.1A로 급격하게 증가하는 것으로 나타났다.

전기 소독 과정 중 시간 경과함에 따라 온도는 증가하는 것으로 나타났으며, 전압이 높을수록 온도 의 증가속도는 높은 것으로 나타났다. 전압 20V와 25V에서는 각각 6분과 5분 이내에 40 °C에 도달함 으로써 지속적인 운전은 어렵게 되었다.

전기소독의 기작은 아직 명확하게 밝혀지지 않고 있으나, 몇 가지의 이론으로 설명되고 있다. 첫 번째 는 전기장에 의한 파괴현상으로 설명되며⁹⁻¹¹⁾, 두 번 째는 풍부한 에너지와 짧은 생명주기를 가진 전기 화학 부산물에 의한 소독 현상으로 설명된다.^{12,13)}

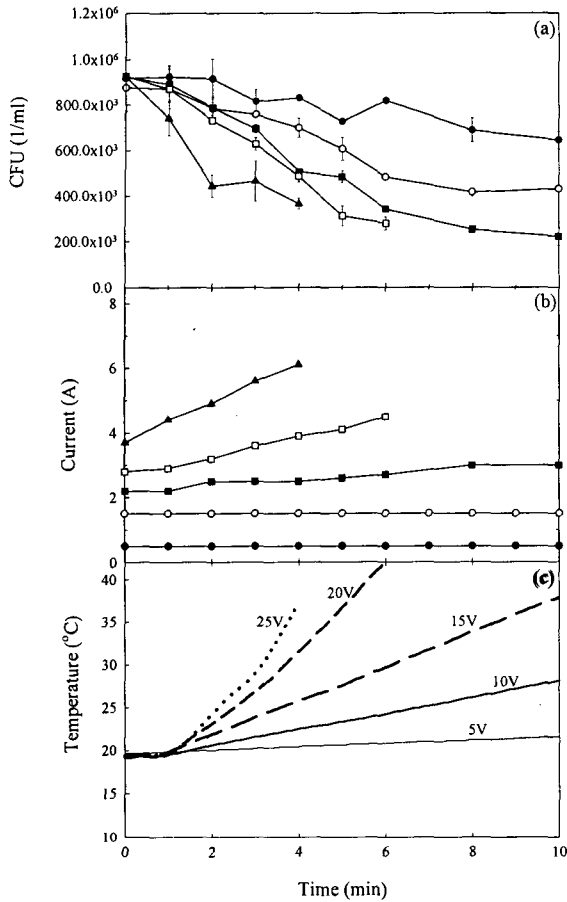


Fig. 2. Effect of voltage variation on the (a)CFU, (b)current, (c)temperature. (● 5V, ○ 10V, ■ 15V, □ 20V, ▲ 25V)

최근에는 전기분해 과정 중에 발생하는 'OH'나 O_2^- 와 같은 free radical에 의한 소독현상이 많은 설득력을 얻고 있다^{12,14}. 그러므로 본 연구와 같이 짧은 시간 내에 소독효과가 발생한 것은 free radical에 의한 영향이 큰 것으로 보는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

전기 소독 과정중의 자동제어 가능성을 조사하기 위하여 전기소독 과정 중 시스템내의 pH, ORP, DO, conductivity의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 전기소독 과정 중 pH의 변화(Fig. 3(a))를 살펴보면 초기 1분 정도에서는 변화가 없다가 급격한 pH의 증가가 나타난 후 다시 pH가 감소하는 것으로 나타났다. 여기서 1분은 시스템내의 모든 물이 전기화학 반응조를 통과하는데 소요되는 시간에 해당된다. 특히 전압을 5V와 10V로 낮게 유지한 상태에서는 pH가 급격하게 증가한 다음, 2분 이내에 급격하게 pH

가 감소한 후 초기값과 비슷해지는 것으로 나타났다. 그러나 15V, 20V, 25V의 전압에서는 초기 pH 증가 폭은 적었으나 급격한 pH의 감소를 나타내었고 그 이후 pH가 다시 상승하는 경향을 나타내었다. 후반부에서의 pH 상승은 Fig. 3(c)의 DO 변화와 연계시켜 볼 때, pH의 상승시점과 DO의 감소시점이 거의 일치하는 것으로 판단되며, 이 시점은 온도(Fig. 2(c))의 결과와 연계해 볼 때 25 °C를 통과하는 시점으로 판단된다. 그러므로 이 시점에서의 pH 증가는 수온의 변화에 가장 많은 영향을 받은 것으로 판단된다. 그러나 전과정에서의 pH 변화는 전기소독과정의 H^+ 나 OH^- 와의 격렬한 반응성과 온도 증가에 따른 영향으로 생각해 볼 수 있으나, 그 원인은 아직 명확하지 않은 상태이다.

전기 소독 과정 중의 ORP 변화를 살펴보면(Fig. 3(b)), 초기 1분 내에 모두 ORP의 급격한 감소를 나타냄으로써 환원력이 증가한다는 것을 알 수 있었다. 전압에 따라 매우 큰 차이를 나타내지는 않았으나, 전압에 따른 ORP 값의 차이는 뚜렷하게 나타났다. 5V의 전압에서는 2분 이후에 -150mV 내외의 범위를 나타내었으나, 10V에서는 -200mV, 15V에서는 -220mV, 20V에서는 -250mV, 25V에서는 -270mV의 ORP 감소를 나타내었다.

DO 농도의 경우(Fig. 3(c)), 전기소독(전기분해) 과정 중 발생하는 산소에 의해 수중의 DO 농도는 뚜렷하게 증가하는 경향을 나타내었으나, 전압을 15V 이상으로 올린 경우에는 수온의 상승으로 말미암아 시간이 경과됨에 따라 DO 농도는 감소하는 경향을 나타내었다. pH나 온도의 변화와 마찬가지로 전체 시스템의 물이 모두 전기화학반응조를 통과할 때까지 소요되는 시간인 교체시간(1분)까지는 큰 변화가 없다가 그 이후에 급격한 변화를 나타내었다. 소독과정중의 conductivity(Fig. 3(d))는 시간이 경과됨에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 인가 전압이 높을수록 그 변화의 폭도 크다는 것을 알 수 있었다. 이는 전기소독 과정 중에 전해응집¹⁵이 발생하여 이온화된 물질이 줄어들었기 때문인 것으로 생각해 볼 수 있다. 흥미로운 현상은 conductivity의 변화와 대장균의 감소변화와 비슷한 결과를 나타냄으로써 상당한 상관관계를 가지는 것으로 판단되어 이에 대한 지속적인 연구의 필요성을 인식하게 되었다. 그러나 통상적으로 생각해 볼 때, conductivity가 감소하게 되면 전류의 흐름을 방해함으로써 전류량이 감소해야함에도 불구하고 본 연구의 결과에서는 반대로 오히려 전류량이 증가한 결과를 나타내어 상당한 의문점을 남기고 있다.

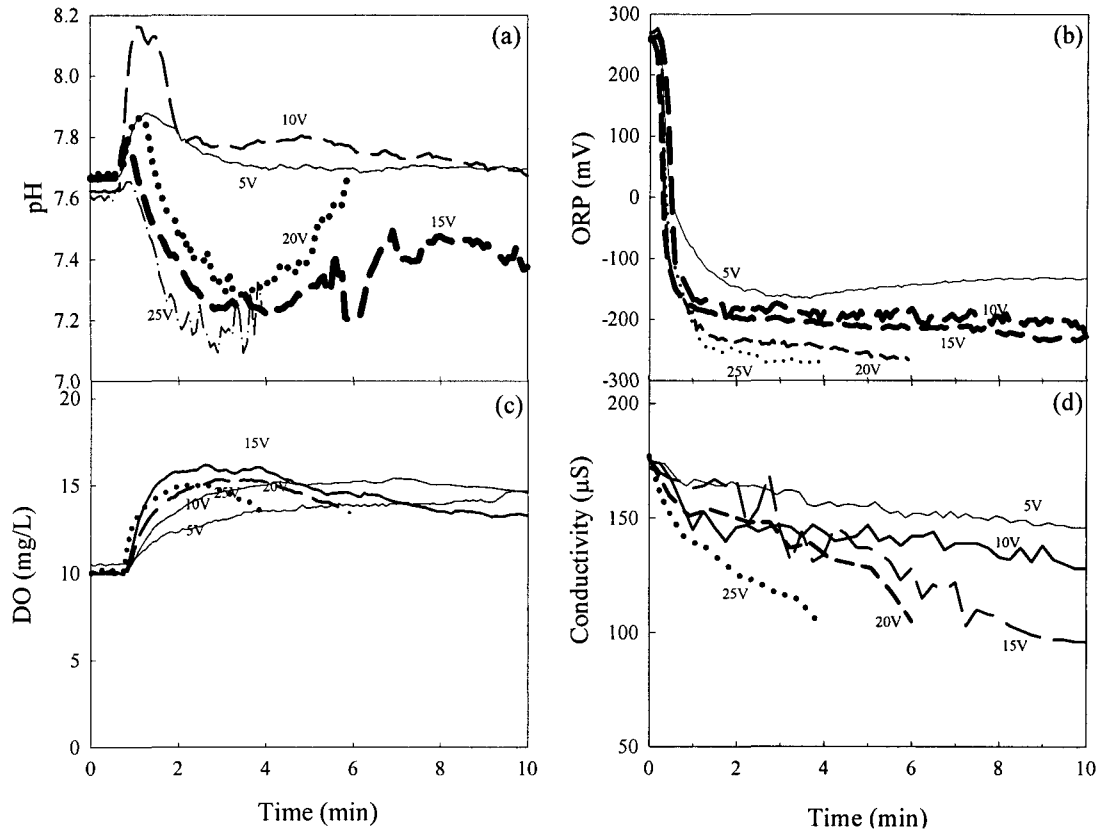


Fig. 3. Effect of voltage variation on (a) pH, (b) ORP, (c) DO and (d) conductivity.

3.2. 온도의 영향

앞의 실험 결과에서 보는 바와 같이 20V 이상의 인가 전압에서는 수온이 40 °C 이상으로 증가하여 지속적인 반응기 운전이 곤란하였다. 그러므로 전체 전기소독 시스템의 온도를 40°C 이상으로 증가시키지 않으면 보다 오랜 기간동안 전기소독을 유지할 수 있고 그럼으로써 소독효율을 증진시킬 수 있을 것으로 판단되어 수온을 낮출 수 있는 방안을 검토하게 되었다. 수온을 일정하게 유지하기 위하여 항온수조의 사용을 시도해 보았으나, 전기화학 반응조의 온도가 급격하게 증가함으로써 일정 온도를 유지하는 것은 곤란하였다. 그러므로 본 연구에서는 전체 시스템의 온도를 낮추어 주기 위하여 저수조에 직경 2~3 cm의 ice pack을 15~20개 정도 투입하여 온도를 조절해 실험하였다(Fig. 4). Ice pack을 투입함에 따라 전체 시스템의 온도가 증가하는 속도가 다소 둔화되었으나, 온도의 증가를 완전히 제어할 수는 없었다.

Ice pack을 사용함에 따라 20V의 전압은 물론이고 25V와 30V에서의 인가 전압에서도 실험을 수행할 수 있었다. 온도에 따른 소독효율의 변화는 관찰

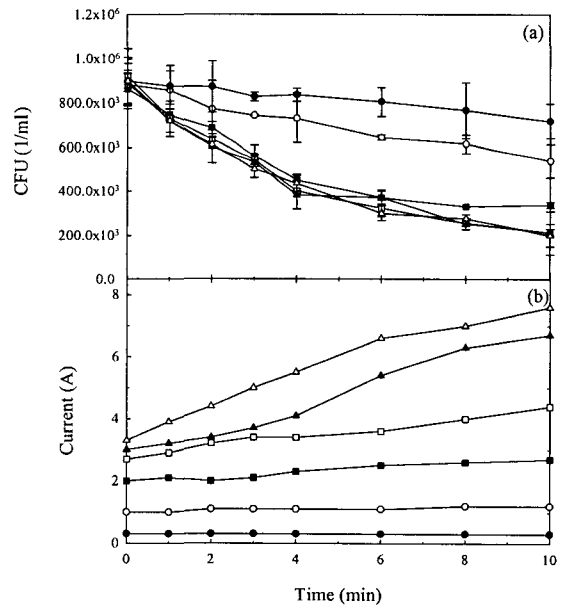


Fig. 4. Effect of temperature on the electrochemical disinfection.

(●) 5V, (○) 10V, (■) 15V, (□) 20V, (▲) 25V, (△) 30V

할 수 없었으며, 20V 이상으로 인가 전압을 증가시켜도 전압의 증가에 따른 소독효율의 변화는 그다지 나타나지 않았다. 그러나 전압을 증가시킴에 따라 20V 이상에서는 급격한 전류량의 증가를 관찰할 수 있었다.

3.3. 전극의 극 변화

Ice pack을 사용한 상태에서 2개의 전극을 + 극에 연결하고 1개의 전극 - 극에 연결한 것을 전극을 바꾸어서 2개의 전극을 - 극에 연결하고 1개의 전극을 + 극에 연결하여 실험함으로써 전극의 극 변화에 따른 대장균 소독효율의 변화를 관찰하였다 (Fig. 5). 전극의 극 변화에 따른 뚜렷한 대장균 소독효율의 변화를 관찰할 수 없었으며, 인가 전압에 따른 전류량의 변화도 극 변화에 따른 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 이는 극 변화를 시키더라도 각 전극에서 반응이 될 수 있는 면적이 동일하므로 극 변화에 따른 영향은 없었던 것으로 생각해 볼 수 있었다.

3.4. 순환유량의 변화

순환 유량이 전기소독효율에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 인가 전압을 15V로 유지한 상태에서 순환유량을 2.0 ml/sec, 4.6 ml/sec, 9.5 ml/sec, 14.7 ml/sec, 20.0 ml/sec로 변화시키면서 실험하였다 (Fig. 6).

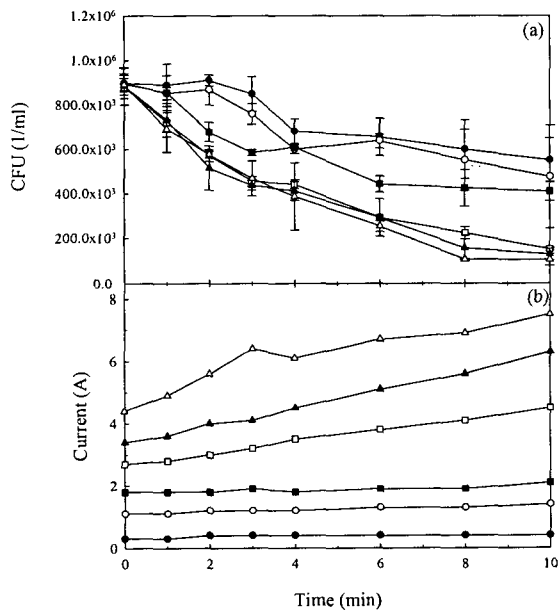


Fig. 5. Effect of electrode change on the electro-chemical disinfection. (● 5V, ○ 10V, ■ 15V, □ 20V, ▲ 25V, △ 30V)

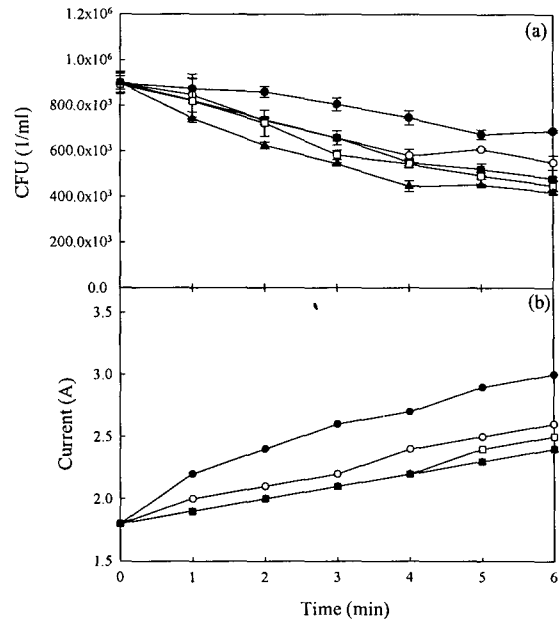


Fig. 6. Effect of circulation flow rate on the electro-chemical disinfection. (● 2.0 ml/sec, ○ 4.6 ml/sec, ■ 9.5 ml/sec, □ 14.7 ml/sec, ▲ 20.0 ml/sec)

순환유량을 증가시킴에 따라 전기소독 효율은 증가하는 것으로 나타났는데, 2.0 ml/sec의 유량에서는 6분대의 소독효율이 23%에 불과하였으나, 20.0 ml/sec에서는 53%로 증가하였다. 또한, 유량이 적은 상태에서는 시간이 경과됨에 따라 전류량의 변화가 크게 나타났으나, 유량이 많은 상태에서는 전류량의 변화가 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 특히, 9.5 ml/sec 이상의 순환 유량에서는 전류량의 변화가 거의 없었다. 이는 유량이 많은 상태에서는 전류의 흐름이 원활하였기 때문인 것으로 생각된다.

전체적으로 순환 회분식 전기 소독 실험에 있어 가장 큰 난점은 급격한 온도의 상승이라고 생각되며 이를 적절히 제어하기 위한 방법에 대한 연구에 필요할 것으로 판단된다. 그러나 만약 순환회분식이 아닌 연속식으로 실험이 이루어졌다면 유입 수온에 의해 어느 정도 조절 가능할 것으로 생각된다. 전기 소독 과정 중 발생하는 부산물들의 성분 분석과 소독 메카니즘에 대한 추가 연구를 통하여 소독효율을 보다 증진시키는 방안에 대한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

소규모 오수처리시설에 적용할 수 있는 소독장치로서 전기화학적 방법을 고려해 보았으며, 순환 회분식 전기소독장치에서 전압의 변화, 온도의 변화,

전극의 극 변화 및 유량변화에 따른 대장균의 소독 효과를 조사하였다. 아울러 전기소독의 최적화 및 자동화를 위한 기초연구로서 전기소독 과정 중 pH, ORP, DO, 온도 등을 함께 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전기소독장치에 전압을 일정하게 걸어주면 시간에 따른 전류량은 증가하고 CFU는 감소함으로써 소독효율은 증가하였다. 인가 전압을 증가시키면 따라 전류량의 증가 폭은 증가하였고 소독효율도 증가하였다.
2. Conductivity의 변화와 대장균의 소독효과가 비슷한 상관관계를 나타내었다.
3. 온도의 변화와 전극 극의 변화에 따른 소독효과와의 차이는 나타나지 않았다.
4. 순환유량을 증가시킬수록 전기소독효율과 전류량은 증가하는 것으로 나타났으나, 9.5 ml/sec 이상의 유량에서는 전류량의 변화가 거의 없었다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, 2005, 환경백서.
- 2) 김상진, 김기근, 윤병루, 최승관, 전청수, 왕창근, 자외선과 기포를 이용한 기포부상식 UV하수소독기술, 2003, 대한환경공학회 춘계학술발표회 논문집, 537-542.
- 3) Pei X., Janex M. L., Savoye P., Cockx A., 2002, Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design, *Water Research*, 36, 1043-1055.
- 4) Park H. S., Hwang T. M., Kang J. W., Choi H. C., Oh H. J., 2001, Characterization of raw water for the ozone application measuring ozone consumption, *Water Research*, 35, 2001, 2607-2614.
- 5) 류승민, 안제영, 박노석, 박희경, 2002, 오존에 의한 하수소독시 알칼리도의 영향, 한국물환경학회-대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 279-282.
- 6) Feng C., Suzuki K., Zhoa S., Sugiura N., Shimada S., Gregory T. M., 2004, Water disinfection by electrochemical treatment, *Bioresource*, 94(1), 21-25.
- 7) 김홍석, 서인석, 최일환, 김연권, 김지연, 이진영, 용존공기를 이용한 소독능 향상 전기분해 소독 공정 개발, 2004, 한국물환경학회-대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 625-P628.
- 8) Drogui P., Elmaleh S., Rumeau M., Bernard C., Rambaud A., 2001, Oxidizing and disinfection by hydrogen peroxide produced in a two-electrode cell, *Water Research*, 13, 3235-3241.
- 9) Grahl T., Markl H., 1996, Killing of microorganisms by pulse electric fields, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 45, 148-157.
- 10) Park J. C., Lee M. S., Lee D. H., Park B. J., Han D. W., 2003, Inactivation of bacteria in seawater by low-amperage electric current, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 69, 2405-2408.
- 11) Matsunaga T., Nakasono S., Kitajima Y., Horiguchi K., 1997, Electrochemical disinfection of bacteria in drinking water using activated carbon fibers, *Biotechnol. Bioeng.*, 43, 429-433.
- 12) Li X. Y., Ding F., Lo P. S. Y., Sin S. H. P., 2002, Electrochemical disinfection of saline wastewater effluent, *J. Environ. Eng., ASCE*, 128, 697-704.
- 13) Patermaraxis G., Fountoukidis E., 1990, Disinfection of water by electrochemical treatment, *Water Research*, 24, 1491-1496.
- 14) Lecour S., Abdellah B. B., 1998, Demonstration of the production of oxygen-centered free radicals during electrolysis using E.S.R. spin-trapping techniques: effects on cardiac function in the isolated rat heart, *Free Radic. Bio. Med.*, 24, 573-579.
- 15) Zhu B., Clifford D. A., Chellam S., 2005, Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation pretreatment for enhanced virus removal using microfiltration membranes, *Water Research*, 39, 3098-3108.