

복합 소독 공정을 이용한 *E. coli* 불활성화

김동석 · 박영식^{1*}

대구가톨릭대학교 환경과학과, 대구대학교 보건과학부¹

E. coli Inactivation using Complex Disinfection Process

Dong-Seog Kim and Young-Seek Park^{1*}

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

¹Department of Health & Environment, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea

Abstract Conventional disinfectants and disinfection method are expensive, hazardous and often require long periods of exposure. Recently, there is growing interest in complex disinfection process as a disinfection technique in medical instruments such as endoscope, hand piece bur to improve the disinfection efficiency and convenience. The aim of this study was to evaluate the performance of a new complex process for the purpose of disinfection of *Escherichia coli* in water. Three single process (electrolysis, UV and ultrasonic process) was combined dual and triple disinfection process. The order of disinfection performance for *E. coli* in dual process lie in: Electrolysis + UV > Electrolysis + Ultrasonic > UV + Ultrasonic process. Disinfection efficiency of *E. coli* and degradation of N, N-Dimethyl-4-nitrosoaniline (RNO, indicating material of OH radical formation) of dual process was higher than that of the triple process (Electrolysis + UV + Ultrasonic process). In electrolysis + UV process, disinfection tendency was well agreed with RNO degradation tendency.

Keywords: complex disinfection, OH radical, *E. coli*, electrolysis, ultrasonic process, UV process

서 론

근래 경제발전과 국민 건강 수준의 향상으로 병원 감염 문제는 의료계뿐만 아니라 사회적으로도 중요한 문제로 대두되고 있다. 병원 감염은 내인성 감염과 외인성 감염으로 분류된다. 내인성 감염은 흡입성 폐렴과 같이 인체 내에 정착하고 있는 세균에 의하여 발생되며, 외인성 감염은 병원 내 주위환경 즉 실내공기, 오물 등의 여러 가지 요인과 진료 목적을 위한 검사와 처치에 의하여 발생된다. 내시경 소독은 외인성 병원 감염의 원인 중 진료 목적의 검사 외 처치에 의하여 발생하는 감염의 예방책을 말한다. 또한 병원 감염의 의미로 볼 때 그 대상에는 환자뿐만 아니라 내시경을 비롯한 내시경실 종사자의 감염도 이 범주에 포함된다 [1].

최근 내시경 기기의 발달은 호흡기 및 소화기 영역의 진단

및 치료에 획기적인 발전을 가져왔고 내시경의 임상적 유용성이 높아지면서 내시경 검사의 빈도가 급격히 증가하고 있다. 특히 상부위장관 내시경은 위암이 절대적으로 많은 우리나라 의료에 큰 공헌을 해 왔고 더욱이 최근에는 조기 위암 발견 및 *Helicobacter pylori*의 치료 등의 목적으로 상부위장관 내시경이 대중화되어 있다. 그러나 이 같은 내시경 이용이 날로 증가함에 비례하여 내시경 기기를 통한 세균이나 바이러스의 감염문제가 야기되고 있고 이러한 문제는 최근 10여년에 걸쳐 내시경의 발달에 견주어 중요한 문제로 대두되고 있다 [2,3].

이와 같은 상황에서 세계 각국에서 독자적인 내시경 기기의 소독 지침을 제정하여 내시경 기기에 의한 감염 방지를 위해 노력하고 있다. 1980년을 전후하여 미국, 영국 및 일본에서는 내시경 검사에 의한 병원 감염의 심각성을 인식하기 시작하여 내시경 기기 소독에 대한 제도적인 뒷받침, 전담 인력의 배치, 내시경 기기 소독 방법에 대한 지침의 연구와 효과적인 방법을 모색하고 있다 [3,4].

우리나라는 1995년 대한소화기내시경학회에서 내시경 기

*Corresponding author

Tel: +82-53-650-8043, Fax: +82-53-650-8049

e-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

기 세척 및 소독 지침을 제정하고 이의 실행을 위한 노력을 해오고 있으나 각 병원마다 통일되지 못한 방법으로 소독이 이루어지고 있다 [5].

국내에서 내시경 소독에 가장 많이 이용되고 있는 소독제는 2% glutaraldehyde인데, 소독 효과는 좋으나 인체 호흡기나 점막에 대한 자극성이 있어 내시경 세척실에 근무하는 사람의 건강에 해를 줄 수 있고, 수동 소독 과정에 의하여 동일한 수준의 소독이 항상 이루어지지 않을 수 있다. 따라서 최근에 각 병원에서는 편리함과 동일한 소독 성능을 발휘하기 위하여 자동 내시경 세척기를 사용하는 경우가 증가하고 있다 [6,7]. 현재 국내·외에서 개발되어 보급되어 있는 내시경 세척기나 소독 관련기기는 주로 자동 세척기에 관한 내용이 주를 이루지만 [8], 최근에는 오존수를 이용한 의료 기구와 내시경 세척기는 초음파 자동 내시경 세척기, 오존 자동 내시경 세척기 등 소독과 세척을 동시에 할 수 있는 제품을 출시되고 있다 [9-12].

그러나 현재 출시된 제품 중 오존을 이용하는 제품은 정수나 하수처리 공정에서 염소 소독의 대안적인 공정으로 병원균의 소독에 이용 가능하지만 오존의 특성상 오존발생장치 및 배오존 파괴를 위한 장치 등 부속설비가 필요하고, 장치의 가격이 높고 부유물질이나 유기물질이 존재하는 경우 오존 요구량이 증가되어 경제적 타당성이 적은 것으로 알려졌다 [13], 초음파는 소독 공정에는 거의 이용되지 않고 있어 세척에 중점을 둔 공정이다 [14].

따라서 자동 세척기용 소독 기술에서 오존이나 초음파를 대체할 수 있도록 소독 성능이 우수하고, 자동 세척이 용이한 소독 기술이 필요하다. 또한 최근에는 복합 소독 공정을 이용하여 시너지 효과에 의한 소독 성능을 높이는 방법에 대한 연구가 시작되고 있는 실정이다 [15].

본 연구는 자동으로 의료기기를 소독할 수 있는 기술을 개발하기 위한 1단계 연구이다. 조작이 간편하고 소독 성능이 우수한 복합 소독 공정에 대한 기초 기술을 확립하기 위하여 최근 운전 및 유지관리가 용이한 소독 기술로 인식되고 있는 전기분해, UV-C 램프를 이용하는 자외선 소독 및 초음파 소독 공정을 결합하여 최적의 복합 공정을 선정된 뒤 복합 공정의 성능에 영향을 미치는 인자에 대하여 고찰하였다 [16].

재료 및 방법

실험재료

실험 균주는 *E. coli*를 선택하였으며, 한국미생물배양센터에서 분양받았다. 대표적인 종으로 *E. coli* ACTC 15489를 이용하였다. 배지로는 nutrient broth (beef extract 3 g/L, peptone 5 g/L)를 사용하였고, 균의 배양은 300 mL의 삼각 플라스크에 접종한 후, 37°C로 유지되는 배양기에서 대수성장기를 유지하도록 48시간 동안 연속 배양하였다. 48시간이 경과한 후 원심분리기에서 10,000 rpm에서 15분간 원심 분리시켜 3회 이상 세척한 다음 균 stock을 확보하였다.

실험에 사용한 전극은 메시형 전극으로 모든 전극의 크기는 63 × 110 mm (면적 : 41.05 cm²)이었다. 전기분해 반응은 직류 전원공급기의 전류를 조절하여 전력을 4-20 W로 변화시켰다. UV 램프는 4, 6 및 8 W UV-C 램프를 실험에 맞게 1-3개 사용하였다. 초음파는 주파수가 20 kHz인 초음파 장치 (Sonics, VCX500, Tokyo, Japan)를 이용하여 출력을 5-20 W로 조절하여 실험하였다. 반응기는 아크릴로

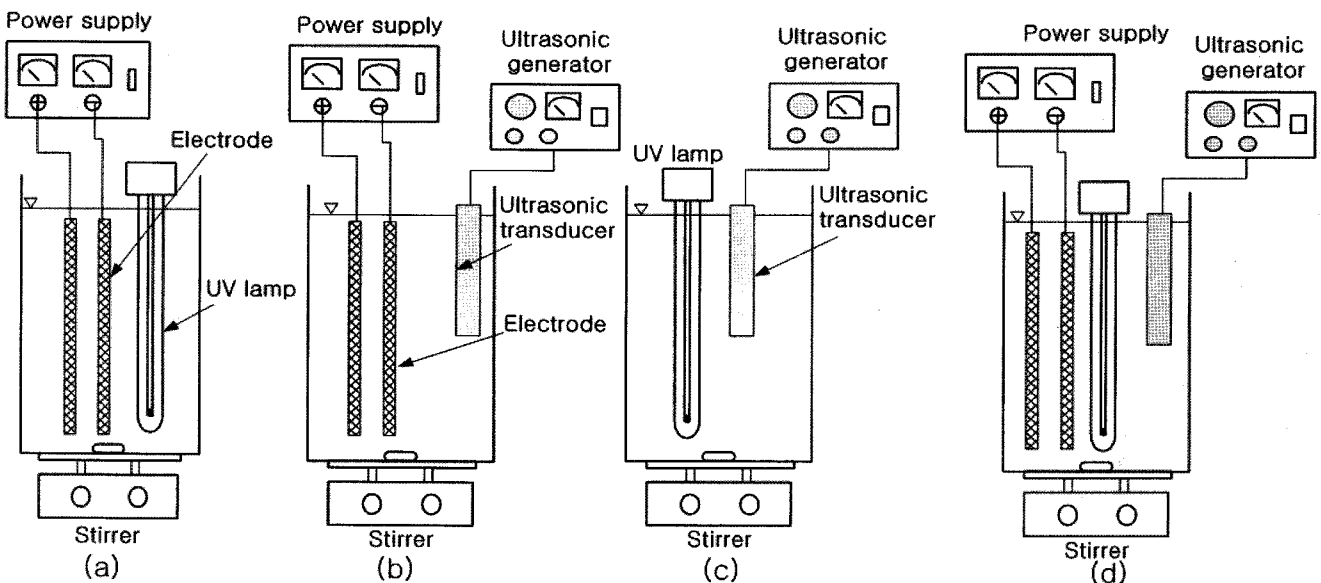


Fig. 1. Schematic diagram of dual and triple reactor system. (a) Electrolysis + UV (b) Electrolysis + Ultrasonic (c) UV + Ultrasonic (d) Electrolysis + UV + Ultrasonic.

제작하였으며, 반응 부피는 1 L이고, 혼합을 위하여 교반기를 이용하여 교반하였다. 전기분해 반응 적용시 전극 간격은 2 mm로 고정하였다. 모든 실험은 전해질로 NaCl을 사용하여 실험하였다. 혼합을 위하여 교반기를 사용하여 교반을 하였으며, 실험 내용에 따라 공기 펌프와 산기관을 사용하여 공기를 공급하였다. Fig. 1에 복합 공정의 반응기 배열에 대하여 나타내었다.

분석 및 측정

E. coli stock 용액 1 mL를 증류수와 전해질이 들어 있는 1 L의 반응 장치에 넣고 10^{10} CFU/L로 설정한 다음, 소독 실험을 수행하여 일정 시간 간격으로 시료 1 mL를 채취하였다. 균의 접종은 pour plate method에 의해 무균실에서 이루어졌다. 실험 오차를 줄이기 위해 1개의 시료당 5개의 평판을 만들어 사용하였으며, 시료 채취 후에는 수중에 잔존하는 산화제에 의해 계속적인 소독이 진행되는 것을 막기 위해 중화제 (neutralizer, 14.6% sodium thiosulphate와 10% sodium thioglycolate) 10 μ L를 투입하여 연속적으로 희석하여 nutrient agar에 투입한 다음 37°C로 유지되는 BOD 배양기에서 48시간동안 배양한 뒤 형성된 집락을 colony counter를 이용하여 계수하였다. 실험은 5회 실시하고 평균값과 표준편차를 그림에 나타내었다.

또한 오염물질의 산화나 소독에 영향을 주는 요소인 \cdot OH은 생성량을 직접적으로 측정하기 어려워 전기분해시 \cdot OH과 선택적으로 반응하는 것으로 알려진 N, N-Dimethyl-4-nitrosoaniline (RNO)의 표백효과에 의해 확인할 수 있다 [17]. 각 복합 공정에서 \cdot OH 생성을 확인할 수 있는 RNO의 분해를 측정하여 간접적으로 \cdot OH에 영향을 미치는 인자에 대하여 고찰하였다.

RNO는 흡광광도계를 이용하여 440 nm에서 흡광도를 측정하여 미리 만들어진 검량선을 이용하여 농도를 계산하였으며, 실험에 사용한 RNO 농도는 모든 실험에서 50 mg/L이었다.

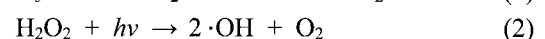
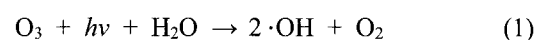
결과 및 고찰

2중 소독 공정과 3중 소독 공정의 대장균 소독 성능 비교

전기분해, 초음파 및 UV 소독 공정을 2개씩 결합하여 2중 공정에서의 대장균 소독 성능을 고찰하여 Fig. 2(a)에 나타내었다. 초음파 공정은 기기 특성상 5 W 단위로 전력 변경이 가능하기 때문에 5 W 단위로 출력을 변경하였다. 전기 + 초음파 공정 (Ele + Ultra), UV + 초음파 공정 (UV + Ultra)의 경우 초음파를 10 W로, 전기와 UV램프 출력은 각각 8 W로 총 18 W의 출력을 이용하였으며, 전기 + UV 공정 (Ele + UV)은 각 단위공정을 8 W로 하여 총 16 W로 유지하여 실험하였다.

복합 공정에 대한 기초 실험을 수행한 결과 세 종류의 단일 공정 중 소독 성능은 전기분해 > UV 공정 > 초음파 공정으로 나타났다 [18]. 세 종류의 2중 공정 중 초음파 공정과 결합한 공정의 대장균 소독 성능은 전체 전력은 18 W이지만 총 전력이 2 W가 적은 전기 + UV 공정보다 떨어지는 것으로 나타났다. Fig. 2(b)에 세 종류의 복합공정에서 \cdot OH 생성지표인 RNO의 분해정도를 나타내었다. UV + 초음파 공정은 RNO가 거의 분해 되지 않아 \cdot OH이 생성되지 않는다는 것을 알 수 있었다. 이는 RNO와 같은 \cdot OH probe로 알려진 4-CBA (chloro benzoic acid)의 분해 실험에서 UV 공정과 초음파 단일 공정에서는 \cdot OH이 생성되지 않다고 보고한 김과 박 [19]의 결과와 비교할 때 이들 단일 공정을 결합한 UV + 초음파 복합 공정에서도 \cdot OH은 생성되지 않는다고 사료되었다. 전기 + 초음파 공정에서의 RNO 분해는 초음파 공정에서 RNO가 분해 되지 않기 때문에 전기 + 초음파 공정에서의 RNO 분해는 주로 전기분해 공정에 의한 것이라 사료되었다. 반면 전기 + UV 공정에서의 RNO 분해는 전기 + 초음파 공정의 거의 2배에 달하는 것으로 나타났다. 실험에 사용한 전기분해 공정은 두 공정 모두 같은 NaCl 농도와 전력 (8 W)이지만 이와 같은 차이가 나는 것은 전기 + 초음파 공정의 경우 초음파 공정에서 \cdot OH이 발생되지 않고 전기분해 공정에서만 발생하지만 전기 + UV 공정의 경우 시너지 효과가 발생하기 때문인 것으로 사료되었다 [19]. Fig. 2(a)와 (b)에서 보듯이 초음파와 결합한 공정에서는 소독율도 낮고 RNO 분해율도 낮은 것으로 나타났다. 초음파 공정의 경우 초음파를 조사하면 공동현상 (cavitation)에 의해 미세 기포가 형성-성장-압축-붕괴하는 과정을 거치면서 고속 충격파를 발생하게 되며 이 충격파에 의해 세포 조직을 파괴하며 [20], UV 소독의 경우 미생물 내부의 RNA나 DNA가 광반응에 의하여 손상되어 DNA 복제를 방해받기 때문에 살균되는 것으로 알려져 있고 [15], 전기분해에 의한 소독은 양극 (+) 주변에 놓이는 미생물이 전위차에 의해 세포벽에 기공이 형성되고, 형성된 기공으로 물이 유입되어 사멸하거나, 과산화수소, 오존, 이산화염소, 유리 염소 등의 산화제와 \cdot OH 등에 의해 미생물이 사멸된다고 보고되고 있다 [21].

이와 같이 세 공정은 각기 다른 미생물 사멸 메커니즘을 가지고 있는데, 전기분해와 UV의 동시 적용은 각각의 소독 메커니즘 외 아래와 같이 전기분해에서 발생하는 과산화수소와 오존이 UV 공정의 UV 램프에서 발생하는 자외선과 식 (1)과 (2)와 같이 반응하여 \cdot OH을 형성시키는데 이것이 공정의 결합으로 인한 시너지 효과의 발생시켜 소독 성능이 증가하는 것이라고 판단되었다 [19,22].



오존과 UV 공정을 결합한 오존 + UV 공정에서 \cdot OH 생성효율이 높고 각 단일 공정에 비하여 시너지 효과를 기대

할 수 있었다고 보고한 정 등 [23]의 결과와 비교할 때 전기 + UV 공정에서는 오존이 발생하므로 발생한 오존과 자외선이 반응하여 ·OH생성에 이용되는 것을 간접적으로 확인할 수 있었다.

조 등 [24]은 전 오존-후 염소, 전 이산화염소-후 염소, 전 UV-후 염소 공정에서 전 UV-후 염소 공정의 경우 시너지 효과에 의한 소독 성능의 상승이 이루어지지 않았다고 보고하였다. 이와 같이 복합 공정의 경우 공정을 구성하고 있는 개별 공정의 종류에 따라 시너지 효과가 달라질 수 있기 때문에 공정의 선정에 유의해야 할 것으로 사료되었다.

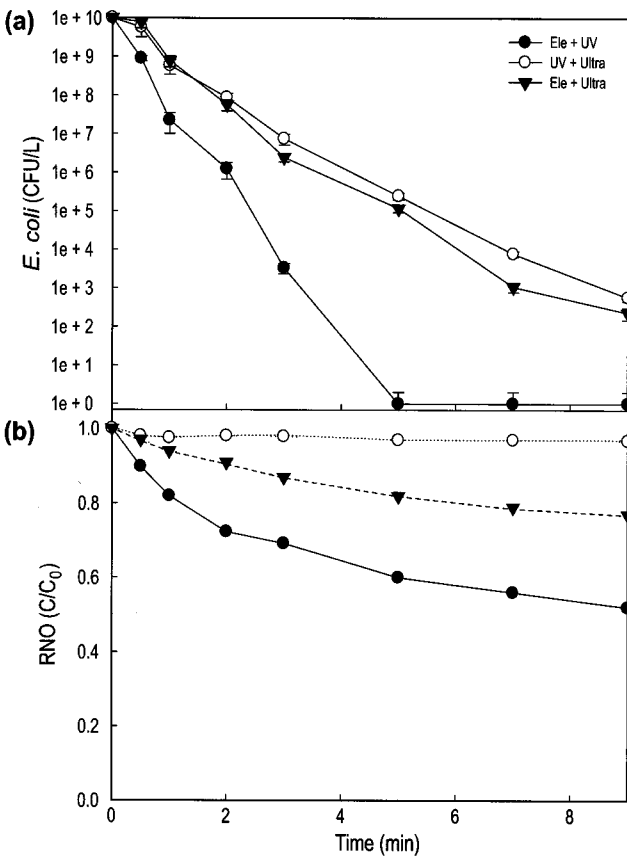


Fig. 2. Effect of dual process type on the disinfection of *E. coli*. (a) disinfection, (b) degradation of RNO.

Fig. 2에서 세 종류의 단일 공정을 2종류씩 결합한 공정의 성능과 RNO 분해능을 고찰하여 전기 + UV 공정의 소독능과 시너지 효과를 확인하였다. Fig. 3은 3중 공정의 시너지 효과를 고찰하기 위하여 2중 공정에서 대장균 소독 성능이 우수하였던 전기 + UV 공정과 전기분해와 UV 공정의 전력을 변화시키고 NaCl 투입량을 1.5 g/L, 초음파 공정을 5 W, 총 전력을 16 W로 고정시킨 조건에서 3중 공정인 전기 + UV + 초음파 공정의 성능을 비교하여 나타내었다. 실험한 모든 3중 공정보다 2중 공정인 전기 + UV 공정의 대장균 소독 성능이 우수한 것으로 나타났다. 전기 + UV + 초음파 공정 중에서 전기분해 공정의 전력이 높은 공정 (Ele

7-UV 4-US 5 W)의 초기 대장균 소독은 초기 반응속도가 느린 것으로 나타났으나 3분 이후는 빠른 것으로 나타났다. 그러나 3중 공정에서 각 단일 공정의 W변경에 따른 효과는 크지 않은 것으로 판단되었다.

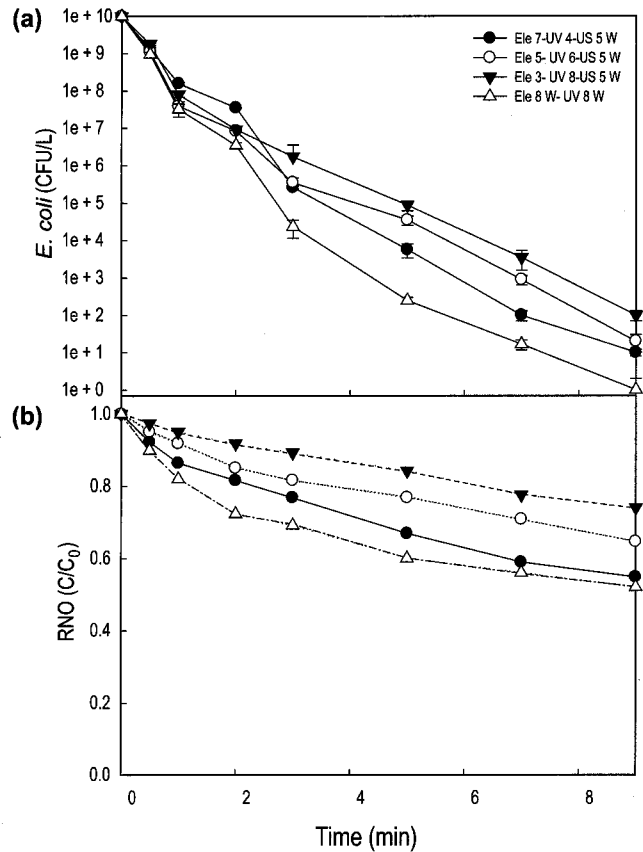


Fig. 3. Effect of triple process type on the disinfection of *E. coli*. (a) disinfection, (b) degradation of RNO.

Fig. 4에 2중 공정과 3중 공정의 결합에서 최적 결합으로 나타났던 전기 + UV 공정에서 최적 단일 공정의 비율을 결정하기 위하여 전체 전력을 16 W로 일정하게 유지하면서 전기분해와 UV 공정의 전력비를 바꾸어 전기분해, UV 단일 공정과의 성능을 비교하여 나타내었다. 전기분해 공정의 비율이 높을수록 반응 초기의 소독 속도는 UV 단독 공정에 비해 느린 것으로 나타났지만 3분 이후부터 소독 성능이 UV 전력이 높은 공정보다 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 UV 공정의 경우 UV 램프 점등 시부터 일정한 강도의 자외선이 조사되어 소독에 이용되지만 전기분해 공정의 경우 전원공급 시작 시간부터 전위차에 의한 소독이 이루어지지만 산화제의 경우 일정한 농도의 산화제가 발생하는 것이 아니라 반응 시간이 증가함에 따라 생성 농도가 증가하고 낮은 농도로 생성된 과산화수소와 오존이 UV 램프에서 조사되는 자외선과의 반응하여 생성시키는 ·OH 농도도 낮기 때문에 산화제 생성농도가 낮은 반응시간 초기는 UV 공정의 소독 성능이 우수하지만 산화제 생성 농도가 증가

하면서 전기분해에 의한 소독과 산화제와 자외선과의 반응에 의한 ·OH 농도도 증가하기 때문인 것으로 사료되었다 [19]. 이와 같은 사실은 Fig. 3(a)의 3중 공정을 이용한 소독 실험에서도 에에서도 확인할 수 있었다.

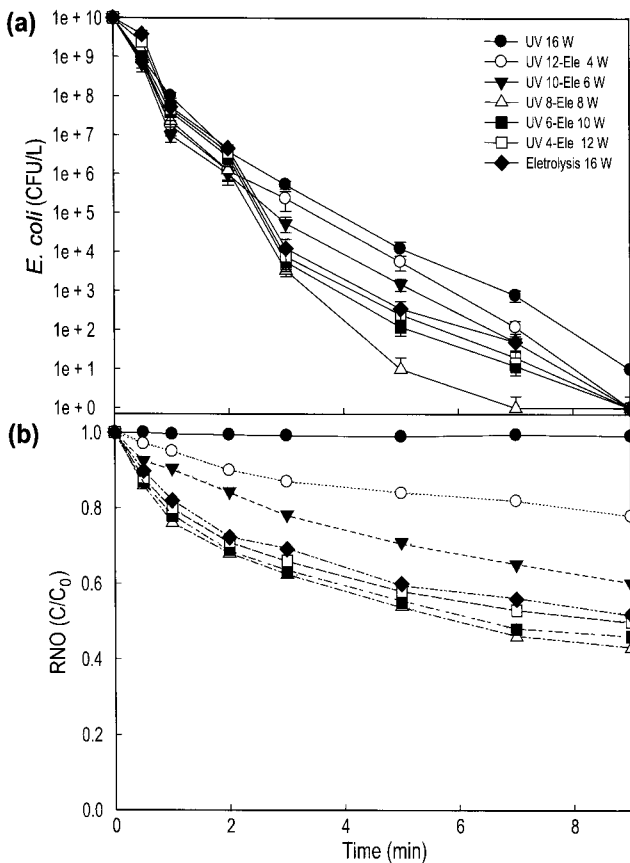


Fig. 4. Effect of component ratio on the disinfection of *E. coli* in Ele + UV process. (a) disinfection, (b) degradation of RNO.

전기 + UV 공정의 전력의 변화에 따른 실험에서 UV 공정의 소독 성능이 가장 떨어지는 것으로 나타났고 전기 분해의 비율이 증가하면서 소독 성능이 증가하는 것으로 나타났다. 전기분해 단일 공정과 비교할 경우 전기분해 단일 공정보다 전기분해의 비율이 높고 UV 공정의 비율이 낮은 복합 공정의 소독 성능이 전기분해 단일 공정보다 높은 것으로 나타났다. 소독 성능이 가장 우수한 공정은 전기분해와 UV 공정이 8 W로 같은 조건의 대장균 소독능이 가장 우수한 것으로 나타나 향후 실험은 전기 + UV 공정의 전력 비율을 같게 유지하면서 실험하였다. Fig. 4(b)에 보듯이 UV 공정은 RNO가 거의 분해 되지 않아 ·OH이 생성되지 않는다는 것을 알 수 있었으며, 전기 + UV 공정에서 전기와 UV의 W가 8 W로 같은 공정에서 RNO 분해가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 전기분해, UV 소독 단독 공정에 의한 소독 외 전기분해 + UV 복합 공정에 의한 시너지 효과도 같이 발생하기 때문이라고 사료되었다.

전기 + UV 공정에서 전력과 NaCl의 영향

Fig. 5에 전기 + UV 공정에서 전기분해 공정과 UV 공정의 전력을 같게 구성하여 복합 공정의 전력 변화에 따른 소독 성능 (a)과 RNO 분해 (b)를 나타내었다. Fig. 5(a)에서 보듯이 총 전력 8 W와 12 W에서는 9분의 소독 시간 종료 후 각각 8.7×10^2 CFU/L와 9.1×10^1 CFU/L로 나타났고, 16 W 이상의 전력에서는 10^0 CFU/L 단위로 나타났다. 최적 전력을 16 W로 결정하고 향후 실험을 진행하였다.

Fig. 5(b)에 전력량 변화에 대한 RNO 분해 정도를 나타내었다. 그림에서 보듯이 전력이 증가할수록 RNO 분해 속도는 직선적으로 증가하는 것으로 나타났고 소독 성능과 RNO 분해 경향은 같은 것으로 나타났다.

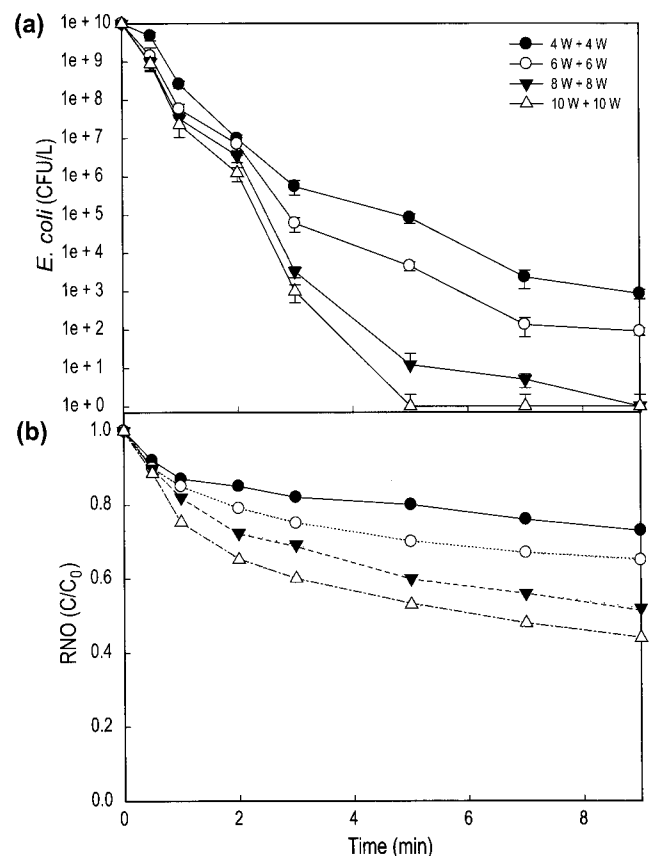


Fig. 5. Effect of electric power on the disinfection of *E. coli* in Ele + UV process. (a) disinfection, (b) degradation of RNO.

Fig. 6(a)와 (b)에 전해질인 NaCl 변화에 따른 소독 성능과 RNO 분해경향을 나타내었다. NaCl 농도가 0.25 g/L부터 2 g/L로 증가됨에 따라 대장균균수가 시간과 NaCl 농도에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며, 2 g/L 이상의 NaCl 농도에서는 거의 일정하게 유지되어 최적 NaCl 농도는 2 g/L로 사료되었다.

Fig. 6(b)의 RNO 분해도 2 g/L의 2.5 g/L의 NaCl 농도에 대한 RNO 농도 변화가 크지 않아 RNO 분해 경향이 소독

성능과 같은 경향을 보였다.

전기분해 공정의 경우 NaCl 농도 증가에 따라 대장균 소독 성능이 증가하고 ·OH 생성량도 증가하지만 UV 공정의 경우 성능을 다소 저해한다고 보고한 박과 김 [18]의 결과와 전기 + UV 공정을 결합한 본 연구의 경우 NaCl 농도 증가에 따라 소독 성능이 증가하는 것은 UV 공정에서 저해 효과가 발생하지만 전기분해 공정에서의 증진효과가 더 크고 시너지 효과까지 발생하기 때문에 복합 공정에서 NaCl은 +의 효과를 나타낸다고 사료되었다.

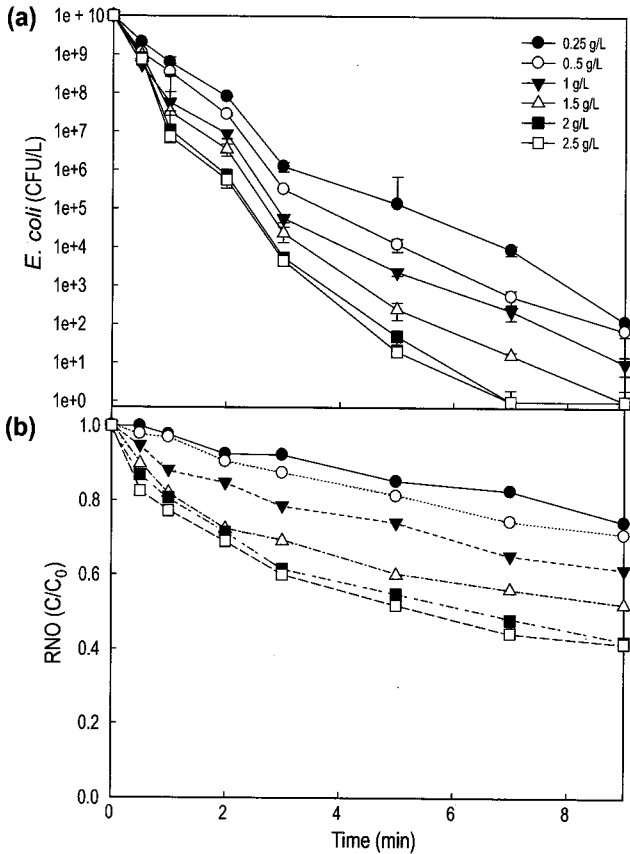


Fig. 6. Effect of NaCl dosage on the disinfection of *E. coli* in Ele + UV process. (a) disinfection, (b) degradation of RNO.

전기 + UV 공정에서 pH와 공기 공급량의 영향

Fig. 7에 수용액의 pH를 3-11로 변화시키면서 pH가 소독 성능 (a)과 RNO 분해 (b)에 미치는 영향을 고찰하여 나타내었다. 소독 성능은 pH가 산성으로 감소하면서 증가하는 것으로 나타났다. pH 3과 7 사이의 소독 성능차이는 크지 않은 것으로 나타났고, pH 7과 9 사이의 소독 성능차이가 큰 것으로 나타났다. pH에 따른 RNO 분해정도를 Fig. 7(b)에 나타내었는데, pH가 선성으로 갈수록 RNO 분해가 증가하는 것으로 나타나 소독과 같은 경향을 나타내었다. 낮은 pH에서 이산화염소와 과산화수소가 감소하고, 유리염소와 오존 생성량은 pH의 영향을 적게 받는다고 보고한 김과

박 [25]의 결과와 비교할 때 낮은 산화제 생성량이 소독 성능과 ·OH 생성에도 영향을 미친다고 사료되었다.

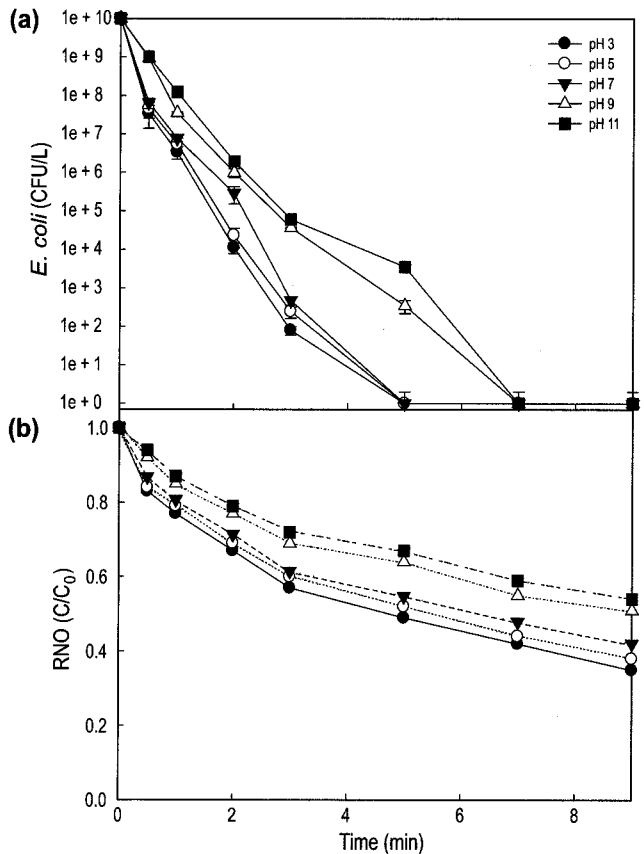


Fig. 7. Effect of pH on the disinfection of *E. coli* in Ele + UV process. (a) disinfection, (b) degradation of RNO.

Fig. 8에 공기 공급량을 0-4 L/min으로 변화시키면서 공기 공급량이 소독 성능 (a)과 RNO 분해 정도 (b)를 나타내었다. 공기가 공급되지 않는 조건에서 공기 공급량이 1 L/min으로 증가되면서 소독 성능이 증가하였으나 2 L/min이상의 공기 공급량에서는 소독 성능이 저하되는 것으로 나타났다. RNO 분해의 경우도 소독 성능과 같은 경향을 보였다.

김과 박 [25]은 일정 공기 공급량까지는 이산화염소, 유리염소, 과산화수소 및 오존 등 산화제 농도가 증가하지만 일정량 이상에서는 ·OH 생성에 영향을 미치는 오존과 과산화수소 농도가 감소한다고 보고하였다. Nam 등 [26]은 분말 TiO₂를 이용한 유동층 반응기에서 공기유속 증가는 혼합이 증가하여 분해대상물질이 TiO₂로의 물질전달이 증가되어 분해속도가 증가하지만 일정 범위 이상에서는 물질전달은 증가하지만 다량 발생하는 공기 기포가 UV 빛이 광촉매와의 접촉을 방해하기 때문에 최적 공기 공급량이 존재한다고 보고하였다. 또한 박 등 [27]도 고정화 광촉매와 유동층 반응기를 이용한 안료의 광촉매 분해에서도 같은 현상을 보고하였다.

따라서 본 연구결과와 종합해볼 때 일정량까지 공기 공급

량이 증가하면 물질전달 증가로 인해 반응속도가 증가하고, 산화제가 많이 생성되어 소독 성능이 증가되지만 높은 공기 공급량에서는 ·OH 생성에 직접 영향을 미치는 오존과 과산화수소의 생성량이 적으며, 또한 과도한 공기량은 UV 램프에서 방출되는 자외선의 투과율을 낮추어 UV에 의한 소독과 산화제와 UV의 결합에 의한 ·OH 생성도 낮아지기 때문에 소독 효율이 떨어지고 RNO 분해도 다소 감소하는 것으로 사료되었다.

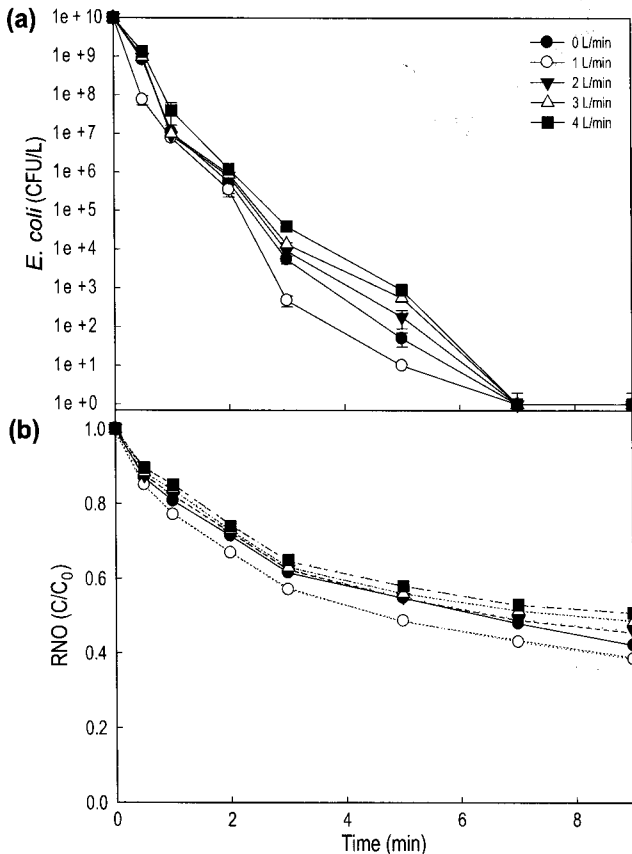


Fig. 8. Effect of air flow rate on the disinfection of *E. coli* in Ele + UV process. (a) disinfection, (b) degradation of RNO.

결론

전기분해, UV 및 초음파 공정의 2중, 3중으로 복합 공정을 구성하여 소독 효율이 높고, ·OH 생성을 최대로 할 수 있는 공정 조합을 찾고 공정의 효율에 영향을 미치는 인자에 대해 고찰하였다. 세 종류의 2중 복합 공정에서 소독 효율과 RNO 분해율이 가장 높은 공정은 전기+UV 공정으로 나타났으며, 공정의 결합으로 인한 시너지 효과가 나타나는 것으로 사료되었다. 초음파와 결합한 공정에서는 소독효율도 낮고 RNO 분해율도 낮은 것으로 나타났다. 전기 + UV 공정의 대장균 소독 성능이 세 가지 단일 공정을 모두 결합한 3중 소독 공정의 성능보다 우수한 것으로 나타났다. 전기 +

UV 공정에서 단일 공정의 전력을 바꾸어 실험한 결과 전기 분해 공정과 UV 공정의 전력이 같은 공정의 대장균 소독 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

전기 + UV 복합 공정의 전력 변화에 따른 소독 성능과 RNO 분해를 고찰한 결과 전력이 증가할수록 소독 효율과 RNO 분해 속도가 선형적으로 증가하였다. NaCl 농도가 0.25 g/L부터 2 g/L로 증가됨에 따라 대장균수가 시간과 NaCl 농도에 따라 선형적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2 g/L 이상의 NaCl 농도에서는 거의 일정하게 유지되어 최적 NaCl 농도는 2 g/L로 사료되었다. NaCl 농도 증가에 따른 RNO 분해는 소독 성능과 같은 경향을 보였다. UV 공정에서 NaCl에 대한 저해 효과가 발생하지만 전기분해 공정에서의 증진효과가 더 크고 복합 공정의 시너지 효과가 발생하기 때문에 복합 공정에서 NaCl은 +의 효과를 나타낸다고 사료되었다. 전기+UV 공정의 소독 성능은 pH가 산성으로 가면서 증가하는 것으로 나타났고, pH가 산성으로 갈수록 RNO 분해가 증가하는 것으로 나타나 소독과 같은 경향을 나타내었다. 공기 공급량이 1 L/min으로 증가되면서 소독 성능이 증가하였으나 2 L/min이상의 공기 공급량에서는 소독 성능이 저하되는 것으로 나타났다. RNO 분해의 경우도 소독 성능과 같은 경향을 보였다.

감사

송승구 교수님의 퇴임을 맞이하여 그동안 교수님의 지도와 사랑에 감사드립니다. 앞으로도 그 열정 잃지 마시고 제자들의 등대가 되어주시기를 바랍니다.

접수 : 2009년 11월 7일, 게재승인 : 2009년 11월 28일

REFERENCES

1. Jeon, H. J. (1997) Endoscope equipments disinfection. *Proceedings of The Korean Society of Gastrointestinal Endoscope*. Seoul, Korea.
2. Rey, J. F. (1999) Endoscopic disinfection: a worldwide problem. *J. Clin. Gastroenterol.* 28: 291-297.
3. Joo, K. R., J. S. Jeong, S. K. Lee, Y. S. Lee, Y. I. Min, M. N. Kim, and C. H. Pai (2000) The value of superoxidized water (Cleantop®) for endoscopic disinfection. *Kor. J. Gastrointest. Endosc.* 21: 819-824.
4. Mignard, J. P. (2006) Endoscope disinfection. *Annales D'urologie.* 40: 591-593.
5. Joo, S. E. (2000) Endoscope disinfection and prevention of infection. *Kor. Soc. of Gastrointest. Endosc. Research Study.* 1: 35-42.
6. Lee, S. H. (2002) UV disinfection for drinking water

- treatment. *Proceedings of the Korean Society of Water and Wastewater · Korean Society on Water Quality 2002 Joint Spring Conference*. April 19. Chungju, Korea.
7. Leung, J. W. (2000) Reprocessing of flexible endoscopes. *J. Gastroenterol Hepatol*. 15: 73S-77S.
 8. Ban, B. K. (2000) Endoscope cleaner. *Korean Patent* 20-0216087.
 9. Green Medical, Products. <http://www.green-medical.com>. (2008).
 10. Chae, H. K. (2006) Medical Instruments Sterilizes. *Korean Patent* 10-0598591.
 11. Lee, J. H., P. L. Rhee, W. H. Choe, I. C. Hong, B. H. Anh, J. H. Song, N. Y. Lee, S. W. Yoon, Y. H. Kim, S. W. Park, J. C. Rhee, and K. W. Choi (2001) Disinfection efficacy of glutaraldehyde and an automated endoscope reprocessor: an in-use evaluation. *Kor. J. Gastrointest. Endosc.* 22: 393-398.
 12. Alros Medical, Products. <http://www.alrosmedi.co.kr/>. (2008).
 13. Pei, X., M. L. Janex, P. Savoye, and A. Cock (2002) Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design. *Wat. Res.* 36: 1043-1055.
 14. Sim, J. H., H. J. Seo, and B. D. Kwon (2006) Study on the efficiency of algae using ultrasonic waves in double cisterns. *J. of Kor. Soc. of Environ. Eng.* 28: 1310-1315.
 15. Kim, Y. H., C. H. Lee, and S. H. Lee (2007) Inactivation effect of *Cryptosporidium* by ozone and UV. *J. of Kor. Soc. of Environ. Eng.* 29: 31-39.
 16. Suzuki, H., Y. Sumida, H. Umezawa, Y. Kuwaki, M. Iseki, D. Takaoka, and M. Yasuda (2004) Electrolytic disinfection system for recycling water with high-performance direct-electrolysis technology. *Proceedings of the Korean Society of Water and Wastewater · Korean Society on Water Quality 2004 Joint Autumn Conference*. November 1-4. Taejeon, Korea.
 17. Zhang, B. T., L. X. Zhao, and J. M. Lin (2008) Study on superoxide and hydroxyl radicals generated in indirect electrochemical oxidation by chemiluminescence and UV-Visible spectra. *J. of Environ. Sci.* 20: 1006-1011.
 18. Park, Y. S. and D. S. Kim (2009) *E. coli* disinfection by electrolysis, UV and ultrasonic waves. *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Conferences*. November 5-7. Pusan, Korea.
 19. Kim, D. S. and Y. S. Park (2009) Inactivation of *E. coli* by Electrolysis + UV Process. *J. of Kor. Soc. on Wat. Qual.* 25: 667-693.
 20. Kong, N. S. and J. Y. Seo (2003) Treatment of toluene vapor in a biological activated carbon process and removal of excess biomass using ultrasonic. *J. of Kor. Soc. of Environ. Eng.* 25: 1522-1530.
 21. Kim, Y. J., K. P. Lee, I. S., Lee, K. T. Lee, and Y. S. Park (2005) Development of disinfection technique in ballast water by electrolysis. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting on The Society of Naval Architects of Korea*. November 3-4. Yongin, Korea.
 22. Wu, J. J., J. S. Yang, M. Muruganandham, and C. C. Wu (2008) The oxidation study of 2-propanol using ozone-based advanced oxidation processes. *Separ. and Puri. Tech.* 62: 39-46.
 23. Jung, Y. J., B. S. Oh, and J. W. Kang (2006) Evaluation of disinfection characteristics of ozone, UV process for *Bacillus Subtilis* spores inactivation. *J. of Kor. Soc. on Wat. Qual.* 22: 672-677.
 24. Cho, M., J. E. Kim, S. M. Moon, H. M. Chung, and J. Y. Yoon (2004) Quantitative evaluation of the synergistic inactivation on sequential disinfection process. *Proceedings of the Korean Society of Water and Wastewater · Korean Society on Water Quality 2004 Joint Autumn Conference*. November 1-4. Taejeon, Korea.
 25. Kim, D. S. and Y. S. Park (2009) Characteristic of oxidants production and dye degradation with operation parameters of electrochemical process. *J. of the Environ. Sci.* 18: In press.
 26. Nam, W. S., J. M. Kim, and G. Y. Han (2002) Photocatalytic oxidation of methyl orange in a three-phase fluidized bed reactor. *Chemo.* 47: 1019-1024.
 27. Park, Y. S., S. K. Kwon, and K. H. Ahn (2004) Ozone lamp/photocatalytic decolorization of Rhodamine B. *J. of Kor. Soc. of Environ. Eng.* 26: 1063-1069.