

PF1) *Legionella pneumophila*의 전기 소독

박영식*, 장세진¹, 정노성², 김동석²

대구대학교 보건과학부, ¹순천향구미병원, ²대구가톨릭대학교
환경과학과

1. 서 론

*L. pneumophila*는 호기성이고 포자와 협막이 없는 그람 음성 간균으로 대략 넓이 0.3-0.9 μm , 길이 2-50 μm 이며, 극성 또는 측면에 1개 내지 2개의 편모를 가지고 있다. 물을 매개로 하는 레지오넬라균은 수중 먼지내의 사멸된 세균을 좋은 영양물로 이용한다고 알려져 있다. 이외에도 철(Fe)이 레지오넬라균의 성장을 촉진시키며, pH, 탁도 등도 레지오넬라균의 성장조건에 영향을 미치는 것으로 알려져 있고 엔도톡신(endotoxin)의 존재가 능성도 높은 편이다(김기영, 2002). 레지오넬라 속은 호수, 강, 개울, 자연온천, 진흙, 지하수, 화산활동과 관련된 연못, 물가의 토양 등 자연환경뿐만 아니라 냉각탑수, 증발형 콘덴서, 가습기, 치과에서 사용하는 물과 같은 인공 환경에서도 빈번하게 발견되고 있다. 특히, 대형건물의 냉각탑수가 *Legionella*균으로 오염될 경우 비산되는 냉각탑수의 흡입으로 인하여 *Legionella*증이 유발될 수 있으며(박은희 등, 2001), 건물 내의 급배수 시설에 형성된 생물막내에서 증식한 균이 샤워시 aerosol의 형태로 확산되어 인체 감염이 이루어지는 것으로 알려져 있다(Marrao, et al., 1993). 대형 건물의 냉각탑수에 높게 분포하고 있는 *Legionella*균은 여름철 집중적으로 냉방장치가 가동되어 냉각탑수의 부하가 가중됨에 따라 *Legionella*균 증식에 알맞은 조건이 형성되는 8월말부터 9월까지의 적절한 소독조치가 없는 상태에서 대부분 오염될 것으로 추정되어 관계당국에서는 매년 여름 1차례 검사하고 그 결과를 발표함으로써 *Legionella*증의 발생예방에 노력하고 있다(황광호 등, 1999).

*Legionella*증은 세계 도처에서 집단적으로 발생하여 문제가 되고 있는데, 국내에서는 1984년 폰티악열이 병원내 감염 양상으로 집단 발생한 경우를 제외하고 아직까지 집단 발생한 예는 없다(김정순 등, 1985). 그러나, 황광호 등(1999)의 연구결과에 의하면 1994년부터 1998년까지 5년간 서울시내 다중이용시설 637개소 냉각탑수의 레지오넬라균 분포를 조사한 결과, 평균 레지오넬라균 검출율은 15.7%였는데, 빌딩 15.5%, 호텔 11.7%, 병원 12.65, 백화점 및 대형쇼핑센터 19.45, 기타 20%라고 보고하였다. 총 637개소 중 100,000 CFU/L이상 17개소(2.7%), 10,000-100,000 CFU/L 54개소(8.5%), 10,000 CFU/L이하 29개소(4.6%)이었으며, 분리된 *Legionella* 균주 중 *L. pneumophila*가 95%이었고 검출된 중량은 평균 $6.1 \times 10^4 \pm 1.4 \times 10^3$ CFU/L이었다고 보고한 결과로 볼 때, 그 위험성은 상존한다고 볼 수 있다(황광호 등, 1999). 일본의 *Legionella*증 방지지침에 의하면 냉각탑수의 *Legionella* 균수에 대한 대책으로 10^3 /L을 희망범위로, 10^3 /L - 10^4 /L를 요관찰범위로, 10^4 /L - 10^6 /L를 요주의 범위로, 10^6 /L을 요긴급처치범위로 냉각탑수를 관리하도록 권장하고 있다(일본

후생성, 1993). 이 분류에 의하면 희망범위가 84.6%(539개소), 요관찰범위 4.2%(27개소), 요주의범위 10.9%(70개소) 및 요긴급조치범위 0.2%(1개소)인데, 1회 시험결과로 냉각탑수 상태를 전반적으로 나타낼 수 없으므로 지속적인 관리가 요구된다고 보고하고 있다.(황광호 등, 1999)

현재 냉각탑의 레지오넬라균 제적목적으로 국내, 외에서 염소처리, 고온살균법, 자외선 조사, 오존처리, 구리-은 이온화법 등이 사용되고 있으나 어느 방법도 Legionella균 제거에는 완벽하지 않은 것으로 인식되고 있다(국립보건원, 2002).

본 연구의 목적은 전기 소독 기술을 이용하여 냉각탑수 내의 *L. pneumophila*를 일본 후생성 Legionella증 방지지침으로 권장하고 있는 희망범위인 10^3 CFU/L이하로 유지하도록 처리하는 것이다.

2. 재료 및 실험 방법

Legionella균은 *L. pneumophila* (ACTC 33152)를 분양받아 실험에 사용하였다. 배지는 BCYE-a(Buffered charcoal-yeast extract agar medium)이고, 균의 배양은 37°C로 유지되는 BOD incubator에서 배양하고 원심분리기를 이용하여 원심분리한 뒤 세척하고, 냉장보관하고 실험시 희석하여 사용하였다. 실험방법으로는 표준화된 균 용액 1 mL를 수도수가 들어 있는 실험용액에 넣고 1×10^5 CFU/mL에 맞춘 후 반응용적이 0.4 L인 회분식 반응기에 투입하고 실험 목적에 따라 Legionella균을 처리한 다음 일정 시간 간격으로 시료 1 mL를 채취하여 배양하였다. Legionella균을 배양하는 동안 소독의 진행을 막기 위해 채취된 시료에 중화제(neutralizer, 14.6% sodium thiosulfate와 10% sodium thioglycolate) 10 μ L를 투입하여 연속적으로 희석하고 BCYE 한천 배지에 투입하고 37°C로 유지되는 BOD 배양기에서 72시간동안 배양한 뒤 형성된 Legionella colony를 계수하였다.

Pt/Ti 전극과 Ir/Ti 전극은 현재 상업적으로 이용 가능하므로 Ti 메쉬 두께가 0.5 mm이고 코팅 두께가 5 μ m인 메쉬형 도금 전극(현성 E&E)을 구매하여 사용하였다. Ru/Ti 전극은 제조하여 사용하였다. 전극은 메쉬형이며, 두께가 0.5 mm이고 크기는 63 x 115 mm (면적 : 41.05 cm²)이었다. 실험은 Legionella균과 전해질이 들어 있는 회분식 반응기에 전극을 설치하여 직류전원공급기(현성 E&E)에서 60초 동안 전류를 공급하였고, 60초 이후는 전원 공급을 중단하고 수중에 남아있는 산화제에 의해 소독이 되도록 하였으며 180초 후 반응을 종결하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전극 종류에 따른 소독 효과

Fig. 1 (a)에 전극의 간격을 2 mm로 유지하고 전극의 종류를 Pt/Ti, Ir/ti, Ru/Ti 세 종류를 사용하고 전해질인 NaCl 농도를 0, 0.0125%, 0.025%로 조절하여 전극 종류와 NaCl 농도에 따른 레지오넬라균의 소독효과를 나타내었다. Fig. 1 (a)에서 보듯이 전해질이 투입되지 않은 수도물을 사용한 경우 Pt/Ti 전극의 경우 180초의 소독시간 이후 최종 농도는 초기 농도의 52%, Ir/Ti 전극의 경우 15.4%, Ru/Ti 전극의 경우는 8.1%로 나타나 소독

효과는 Ru > Ir > Pt 전극의 순서로 나타났다. Ru/Ti 전극의 소독 성능이 가장 우수한 것은 촉매 활성이 좋고 Cl 방출 (evolution) 전극으로 사용되기 때문인 것으로 사료되었다.(Kötz et al., 1991) 수돗물을 사용할 경우 성능이 가장 좋게 나타났던 Ru/Ti 전극도 실제 균수로는 8000 CFU/L로 나타났기 때문에 기준을 만족하지는 못하였다. 용액의 전도도를 높이고 염소첨가로 인한 부수적인 살균효과를 얻기 위하여 NaCl을 0.0125%와 0.025% 첨가하여 Fig. (b), (c)에 나타내었다. NaCl이 0.0125% 첨가된 경우 수돗물을 사용한 경우보다 레지오넬라 소독성능이 향상된 것으로 나타났다고, 모든 균이 소요되는 시간은 Ir/TI 전극의 경우 90초, Ru/Ti 전극의 경우는 50초가 소요되는 것으로 나타났다. 0.025%의 경우는 Ir/TI 전극, Ru/Ti 전극 모두 40초가 소요되었으며, Pt/Ti 전극의 경우 180초후 99.7%가 살균되는 것으로 나타나 세 전극 모두 180초 이내에 살균기준으로 선정 한 1000 CFU/L이내에 도달하는 것으로 나타났다. 수돗물의 전기 전도도는 359 $\mu\text{s}/\text{cm}$, NaCl 0.0125%는 636 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 0.025%는 907 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 나타나 전해질 첨가에 따라 전기전도도는 직선적으로 증가하는 경향을 보였는데, NaCl 첨가로 인한 산화제 농도를 측정하는 실험을 진행중이다.

실험에 사용한 세 종류의 전극 중에서 Ru/Ti 전극의 성능이 가장 우수하였기 때문에 향후 실험은 Ru/Ti 전극을 사용하여 실험하였다.

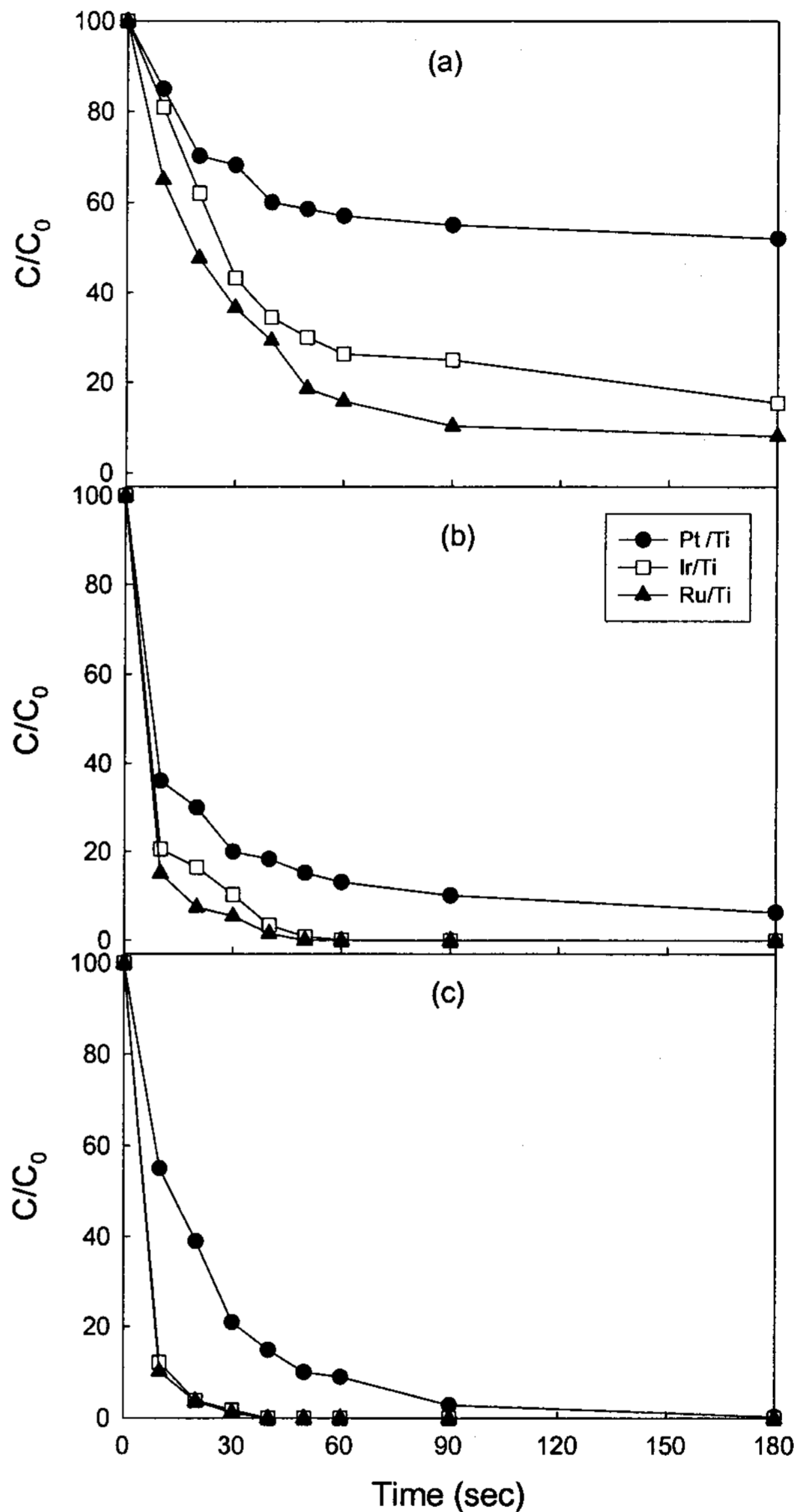


Fig. 1. Effect of electrode type and NaCl concentration on the disinfection of *L. pneumophila*. (a) Tap water (b) NaCl, 0.0125% (c) NaCl, 0.025%.

3.2. NaCl 농도에 따른 소독 효과

Fig. 2에 수돗물과 NaCl 농도를 0.0125-0.075%로 변화시켰을 때의 레지오넬라 소독효과를 나타내었다. Fig. 1에서 고찰한 바와 같이 수돗물에서 NaCl 농도를 0.0125%만 첨가하여도 소독 성능이 향상되었으며, 0.05%와 0.075%의 경우, 30초내에 소독이 완료되었다.

NaCl 농도가 높을수록 전기 전도도가 높아지기 때문에 소요되는 전력도 감소한다. 수돗물의 경우 평균 전력은 250W, 0.0125%는 239W, 0.025%는 222, 0.05%는 217W, 0.075%는 207W로 나타나 NaCl 농도가 높을수록 전력이 감소하였다. 운전적인 측면에서 수돗물의 경우는 최대 전류량을 5 A 이상으로 운전할 수 없었지만 0.0125% 이상의 NaCl 농도에서는 최대 전류량을 그 이상으로 적용할 수 있기 때문에 운전적인 측면에서도 전해질의 농도는 중요한 요소인 것으로 나타났다.

그러나, NaCl 농도가 높을수록 레지오넬라 살균 성능이 우수하지만 냉각탑의 냉각수 중의 염화물이나 황산이온 농도가 200 mg/L 이하로 제한되어 있기 때문에(한국산업규격, 1998) NaCl 첨가량이 200 mg/L 이하로 첨가되어야 한다. 따라서 소독 성능과 전력량 및 수질기준을 함께 고려할 때 최적 NaCl 첨가량은 0.0125%로 사료되었다.

3.3. 전극 간격에 따른 소독 효과

Fig. 3에 전극 간격에 따른 레지오넬라 소독 효과를 나타내었다. 그림에서 보듯이 전극 간격이 넓을수록 소독효과가 감소하는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 Ir/Ti 전극을 이용한 유기물 제거에서 전극 간격 증가에 따라 COD 제거율이 낮아졌다고 보고한 길 등(2000)의 결과와 유사한 결

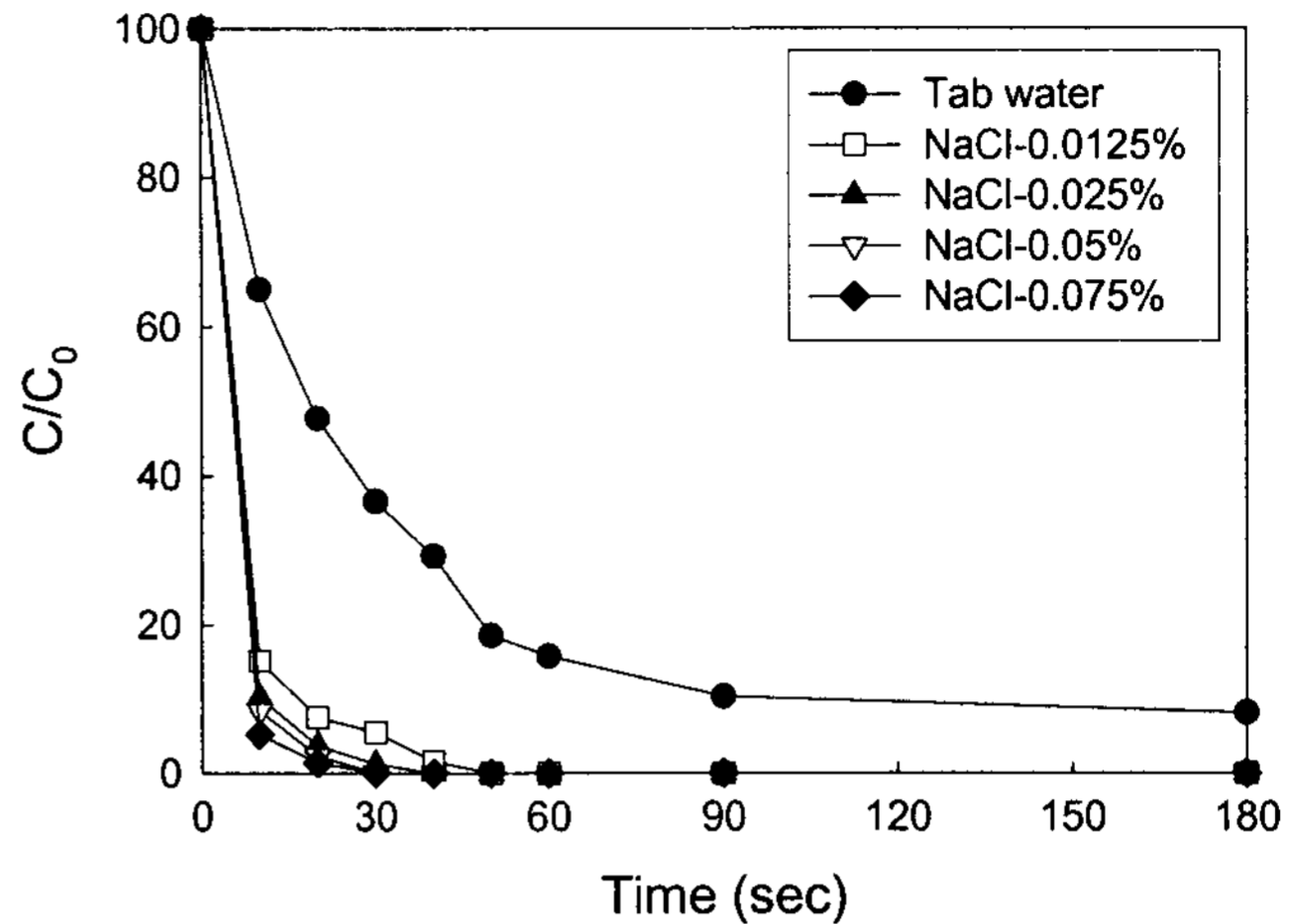


Fig. 2. Effect of NaCl concentration on the disinfection of *L. pneumophila*.

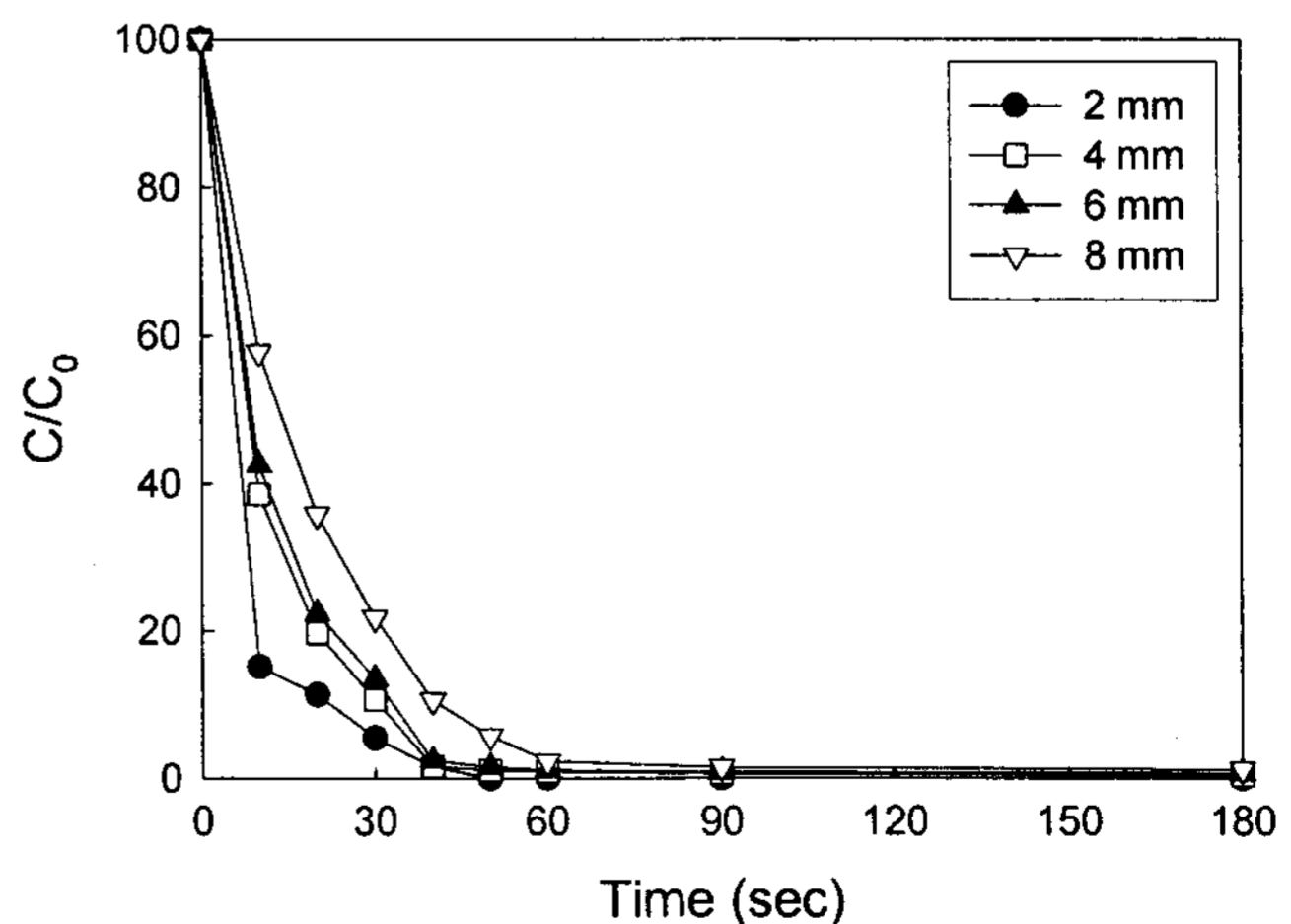


Fig. 3. Effect of electrode distance on the disinfection of *L. pneumophila*.

과를 얻었으며, 전극 간격이 커질수록 전극 사이의 전기 저항이 높아져 전기 전도도가 낮아지고 높은 전압이 요구되어 전력손실이 증가되는 것으로 사료되었다(김 등, 1999).

4. 요약

Pt/Ti, Ir/Ti, Ru/Ti의 세가지 종류의 전극을 이용하여 전기분해공정에서 레지오넬라균의 소독효과를 고찰한 결과 기존 산업계에서 가장 많이 사용하는 Pt/Ti 전극의 성능이 떨어지는 것으로 나타났고, Ru/Ti 전극의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. NaCl 농도가 높을수록 전기전도도가 높아지기 때문에 소요되는 전력도 감소하고 소독효과도 증가하지만 염소에 대한 냉각수의 수질기준을 고려할 때 최적 NaCl 첨가량은 0.0125%로 사료되었다. 전극 간격이 넓을수록 소독효과가 감소하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 신진교수지원(기초과학분야)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김기영, 2002, 서울시 일부 냉각탑중 레지오넬라의 동정방법별 비교와 영향인자 연구, 한양대학교 박사학위논문, pp. 1-3.
- 박은희, 차인호, 이상준, 2001, 냉각탑수에서 분리한 *Pseudomonas aeruginosa* KLP-2 배양 여액에서의 *Legionella pneumophila*에 대한 항균활성, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 29(3), pp. 127-133.
- Marrao, G. A., Verissimo, A., Bowker, R. G., and Dacosta, M. S., 1993, Biofilms as major sources of *Legionella* spp. in hydrothermal areas their dispersion into stream water, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 12, pp. 25-33.
- 황광호, 황영옥, 김은정, 정지현, 조남준, 1999, 서울시내 다중이용시설 냉각탑수의 레지오넬라균 분포 및 혈청학적 특징, *한국환경위생학회지*, 25(4), pp. 20-23.
- 김정순, 이성우, 심한섭, 오대규, 조민기, 오희복, 우제홍, 정윤섭, 1985, 1984년 7월 K병원 중환자실을 중심으로 집단발생한 비페렴성 Legionellosis(Pontiac Fever)에 관한 역학적 연구, *한국역학회지*, 7, pp. 44-45.
- 厚生省 生活衛生局 企劃課, 1993, Legionellosis 防止指針, 財團法人 Building 管理教育 Center.
- 국립보건원, 2002, 세균부 방역과 자료실 ; 레지오넬라증 예방관리.
- Kotz, R., Stucki, S., and Carcer, B., 1991, Electrochemical waste water treatment using high overvoltage anodes. Part I: physical and electrochemical properties of SnO₂ Anodes, *J. of Applied Electrochemistry*, 21, pp. 14-20.
- 냉동·공조용 냉각수 수질기준(안), 한국산업규격 KS M 0000-1998, 1998.
- 길대수, 이병현, 이제근, 2000, 전기분해에 의한 고농도 유기물질 제거 특성, *대한환경공학회지*, 22(2), pp. 251-264.