한국환경과학회지 제17권(제6호), 581~589, 2008
Journal of the Environmental Sciences

냉각탑수 수질이 Ru/Ti 전극을 이용한 *Legionella pneumophila* 소독에 미치는 영향

김동석 · 박영식*
대구가톨릭대학교 환경과학과, *대구대학교 보건환경전공
(2008년 1월 15일 접수; 2008년 5월 19일 채택)

Effect of Water Quality of Cooling Tower on *Legionella pneumophila* Disinfection Using Ru/Ti Electrode

Dong-Seog Kim and Young-Seek Park*
Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea
**Department of Health & Environment, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea*
(Manuscript received 15 January, 2008; accepted 19 May, 2008)

Abstract

This study was carried out to evaluate the effect of water quality of cooling tower on *Legionella pneumophila* disinfection using Ru/Ti electrode. The influences of parameters such as pH, turbidity, $CaCO_3$ and TOC were investigated using laboratory scale batch reactor. Oxidants such as free Cl, ClO_2, H_2O_2 and O_3 were measured. The results showed that all of the water quality parameters of cooling tower had deteriorated disinfection of *Legionella pneumophila.* When the turbidity, $CaCO_3$ and TOC was increased, oxidants which was generated during electrolysis was decreased. pH, free Cl, ClO_2 and H_2O_2 concentration were decreased with the increase of pH, whereas O_3 concentration was increased with the increase of pH. The order of effect of water quality on the disinfection performance for *Legionella pneumophila* was turbidity > $CaCO_3$ > TOC > pH. To obtain the safety standard (1000 CFU/L), the simultaneous increase current and NaCl dosage was needed.

Key Words : Water quality, Disinfection, Current, *Legionella pneumophila*, Oxidants

1. 서 론

*Legionella pneumophila*는 호기성이고 포자와 협막이 없는 그람 음성 간균으로 대략 넓이 0.3-0.9 μm, 길이 2-50 μm이며, 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 생장조건에 영향을 미치는 것으로 알려져 있고 엔도톡신(endotoxin)의 존재가능성도 높은 편이다[1]. 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.

최근 건축된 빌딩 대부분은 중앙집중식 시스템을

Corresponding Author : Young-Seek Park, Department of Health & Environment, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea
Phone: +82-53-650-8043
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

통하여 인위적으로 제어하여 냉난방 효율을 증대시키고 있다. 특히 여름철에는 냉각탑을 이용한 냉방방식이 가장 보편적으로 이용되고 있으며, 사용량도 급속히 증대되고 있다[2].

여름철 냉각탑수는 대부분 수온이 20-30℃로 상승하며, pH는 8.0 전후이고, 원생동물이 10^2-10^3/100 mL 정도가 되어 레지오넬라 균 등이 다량 증식하기에 적합한 조건이 된다[3]. 대부분의 냉각탑은 외부환경에 노출되어 있으며, 냉각탑수의 온도 상승과 태양광선 등으로 인하여, 유기물의 함량이 높아진 상태이기 때문에 기타 호기성 그람음성간균 등의 미생물 증식에도 유리한 조건이 된다. 또한 소독제가 쉽게 불활성화되고, 상당수의 물이 증발되어 새로운 물을 보충하게 되어 소독제가 희석되어 살균력이 저하되는 것으로 알려져 있다[1,4].

현재 냉각탑의 레지오넬라균을 제거하기 위하여 다양한 물리.화학적인 방법들이 사용되고 있으나 어느 방법도 레지오넬라균 제거에는 완벽하지 않은 방법으로 인식되고 있다[5].

Muraca 등[6]은 염소, 열처리, 오존 및 UV 조사를 이용하여 레지오넬라균을 처리하였을 때 UV 조사와 열(60℃)은 1시간 내에 10^{5-6} CFU/L이 제거되지만 염소와 오존은 5시간이 소요되며, 4가지 방법 중 UV 조사가 현장(in situ) 살균법에서 1차 처리나 2차 처리법으로 가장 우수하다고 보고하였다. 그러나 UV 조사에 의한 미생물 살균은 태양광 하에서 재활성화(photoreactivation)되어 미생물이 회복될 수 있는 것이 단점으로 지적되고 있다[7].

본 연구진은 선행연구에서 전기분해 반응을 이용하여 초기농도가 10^6 CFU/L인 *L. pneumophila*를 일본 후생성의 *Legionella*증 방지지침에 의한 희망범위인 10^3 CFU/L 이하로 3분 내에 사멸시킬 수 있음을 보고한 바 있다[8,9]. 그러나 선행연구는 전기소독 기술이 *L. pneumophila* 소독에 적용가능한지 고찰하기 위한 기초연구로 수돗물에 전해질로 NaCl을 첨가하여 적용가능성을 고찰하였다. 그러나 냉각수는 수냉식 응축기 및 흡수식 냉동기용 흡수기의 효율유지 또는 효율저하 방지와 내구수명 연장을 위하여 냉각수 및 보급수의 수질기준을 따로 마련하고 있다. 냉각수의 수질기준은 아래와 같다: 기준항목으로 pH(25℃), 6.5-8.0; 전기전도율(25℃), 800 μS/cm 이하; 염화물 이온, 200 mg Cl^-/L 이하; 황산이온, 200 mg SO_4^-/L 이하; 산 소비량(pH 4.8), 100 mg $CaCO_3$/L 이하; 칼슘 경도, 150 mg $CaCO_3$/L 이하: 참고 항목으로 탁도, 20 도 이하; 철, 1.0 mg Fe/L 이하; 암모늄이온, 1.0 mg NH_4^+/L 이하; 이온상 실리카, 50 mg SiO_2/L 이하; 포화지수, 0.0-1.0이다[10].

전기소독 기술을 현장에 적용하기 위해서는 실제 냉각수의 수질과 유사한 조건에서 소독성능을 발휘해야 하기 때문에 본 연구에서는 전기소독 기술을 이용하여 냉각탑수의 수질기준 항목 중 pH, 칼슘 경도와 참고 항목인 탁도와 항목에는 있지 않지만 여름철에 높아질 수 있는 수중 유기물을 매개변수로 선정하여 *L. pneumophila* 소독성능에 미치는 영향을 고찰하고 일본 후생성의 *Legionella*증 방지지침에 의한 희망범위(10^3 CFU/L 이하)를 기준으로 정하고 기준을 넘는 경우 소독 성능을 높이는 방법에 대해 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 균주배양 및 실험 방법

*Legionella*균은 *L. pneumophila* (ACTC 33152)를 분양받아 실험에 사용하였다. 배지는 BCYE-α배지를 37℃에서 BOD incubator로 배양하였다. 실험방법으로는 균 용액 1 mL를 수돗물이 들어 있는 실험용액에 넣고 1×10^6 CFU/L에 맞춘 후 반응용적이 0.4 L인 회분식 반응기에 투입하고 실험 *Legionella*균을 처리한 다음 일정 시간 간격으로 시료 1 mL를 채취하여 배양하였다.

실험에 사용한 전극은 Ru/Ti 전극으로 제조하여 사용하였으며, Ru/Ti 전극의 자세한 제조법은 기 발표된 논문에 자세히 나와 있다[11]. 실험에 사용한 모든 전극의 크기는 63×110 mm (면적 : 41.05 cm^2)이었다. 실험은 *Legionella*균과 전해질이 들어 있는 회분식 반응기에 전극을 설치하여 직류전원공급기(현성 E&E)로 60초 동안 전류를 공급하였고(전류 소통시간), 60초 이후는 전원 공급을 중단하고 수중에 남아있는 산화제에 의해 소독이 되도록 하였으며 180초 후 반응을 종결하였다(잔류 소독시간, 120초). 실험은 상온에서 수행하였다.

2.2. 분석 및 측정

표준화된 균 용액 1 mL를 수돗물이 들어 있는 실

험용액에 넣고 일본 후생성의 *Legionella*증 방지지침의 요긴급처치범위인 1×10^6 CFU/L에 맞춘 후 회분식 반응기에 투입하고 실험 목적에 따라 *Legionella*균을 처리한 다음 일정 시간 간격으로 시료 1 mL를 채취하여 배양하였다. *Legionella*균의 접종은 pour plate method에 의해 무균실에서 이루어졌으며, 실험 오차를 줄이기 위해 1개의 시료당 5개의 평판을 만들었다. *Legionella*균을 배양하는 동안 소독의 진행을 막기 위해 채취된 시료에 중화제 (neutralizer, 14.6% sodium thiosulfate와 10% sodium thioglycolate) 10 μL를 투입하여 연속적으로 희석하고 BCYE 한천 배지에 투입하고 37℃로 유지되는 BOD 배양기에서 72시간동안 배양 후 형성된 *Legionella* 집락을 계수하였다. 실험은 3회 실시하고 평균값을 그림에 나타내었다.

유리 염소 및 이산화염소는 HACH pocket colorimeter와 유리 염소 및 이산화염소 측정용 시약을 사용하여 DPD방법(N, N-diethyl-p-phenylendiamine으로 측정하고, 오존 농도는 Indigo법을 이용하여 측정하였다. 과산화수소의 측정은 1 M NaOH 50 μL를 첨가하여 phenol red를 알칼리 용액으로 발색시켜 UV-Vis spectrophotometer (Genesys, Spectronic 5)를 사용하여 596 nm에서 흡광도를 측정하고, 과산화수소 표준용액으로 작성한 검량선과 비교하여 농도를 구하였다[12]. 전기전도도는 전도도미터 (Eutech, cybercan PC 300)을 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. pH의 영향

기 실험 조건에서 3분 내에 레지오넬라균을 1000 CFU/L 이하로 유지할 수 있었던 조건인 Ru/Ti 전극, 전극 간격은 2 mm, 전해질인 NaCl 농도는 0.0125%, 전류는 4.5 A로 유지하면서 실험하였다[8]. pH가 3-9인 범위에서 pH에 따른 레지오넬라균의 소독효과를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보듯이 pH가 낮아질수록 레지오넬라균의 소독효과가 높아지는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 pH 범위가 6.39-8.31일 경우 pH가 낮을수록 지하수의 전기소독에서 *E. coli*의 소독효과가 높았다는 Lin 등[13]의 결과 같은 결과를 얻었다.

소독 속도가 가장 느린 pH 9에서도 3분의 소독시 레지오넬라균수는 500 CFU/L로 일본 후생성 방지지침으로 권장하는 수준인 10^3 CFU/L이하로 나타나 소독기준을 충족시키는 것으로 나타났다. 냉각수의 수질기준이 25℃에서 6.5-8.0이기 때문에 냉각수 수질기준 범위 내에서 pH는 소독에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다[10]. pH에 따른 전기전도도를 측정한 결과를 Table 1에 나타내었다. pH 7을 중심으로 pH가 높거나 낮아질수록 전기전도도가 증가하는 경향을 보였으며, pH 3의 경우는 가장 높은 전도도를 보였다. 높은 전기전도도는 전류의 흐름을 원활하게 하여 전기분해 성능을 높여주는 역할을 하는 것으로 알려져 있는데[8], pH 조절을 위해 첨가한 H_2SO_4나 NaOH가 전기전도도를 높이기 때문이며, 전기 소독 성능에 영향을 준다. 그러나 pH 9에서는 전기전도도가 pH 7보다 높지만 소독 성능이 낮은 것은 전기 전도도 효과보다는 생성 산화제 농도 등 다란 인자가 더 크게 작용하기 때문이라고 사료되었다.

pH 변화에 따른 유리 염소, 이산화염소, 과산화수소 및 오존 농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 유리 염소와 이산화염소는 pH가 감소할수록 증가하는 경향을 보였다. 유리 염소는 pH 9에서 1분 18.7 mg/L이며, pH 3에서는 24.0 mg/L로 증가하였으며, 이산화염소의 경우는 37.0 mg/L에서 45.1 mg/L로 증가하였다. Bergmann 등[14]은 같은 초기 NaCl 농도에서 pH가 증

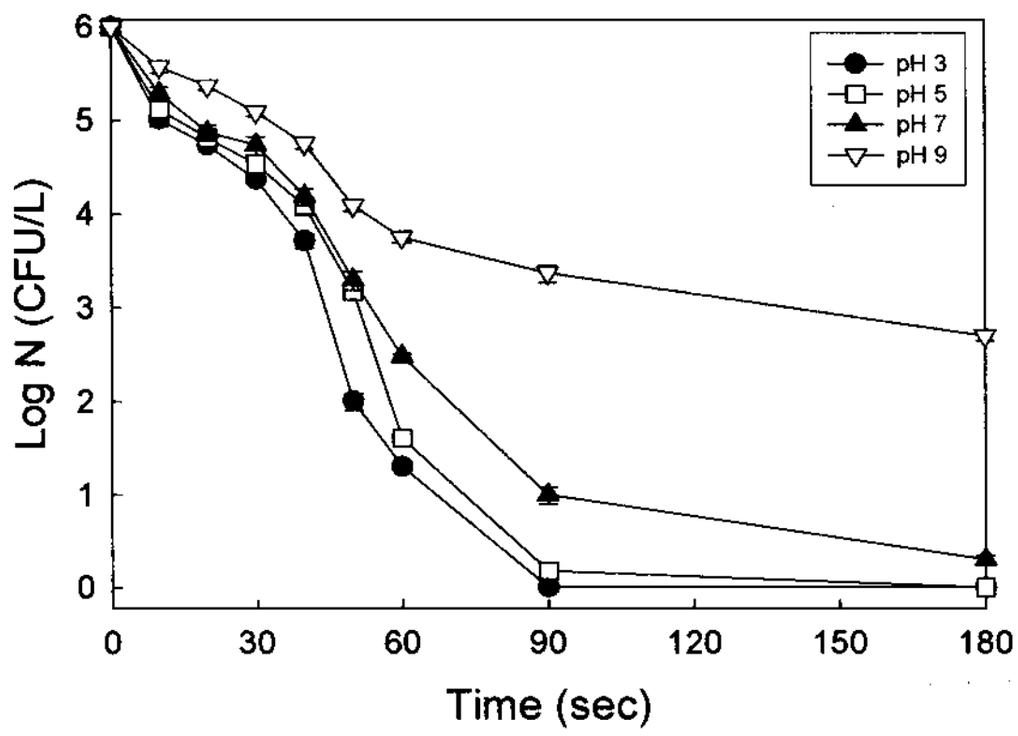

Fig. 1. Effect of pH on the disinfection of *L. pneumophila*.

Table 1. Change of electric conductivity with pH

pH	3	5	7	9
Electric conductivity (μS/cm)	788	487	435	475

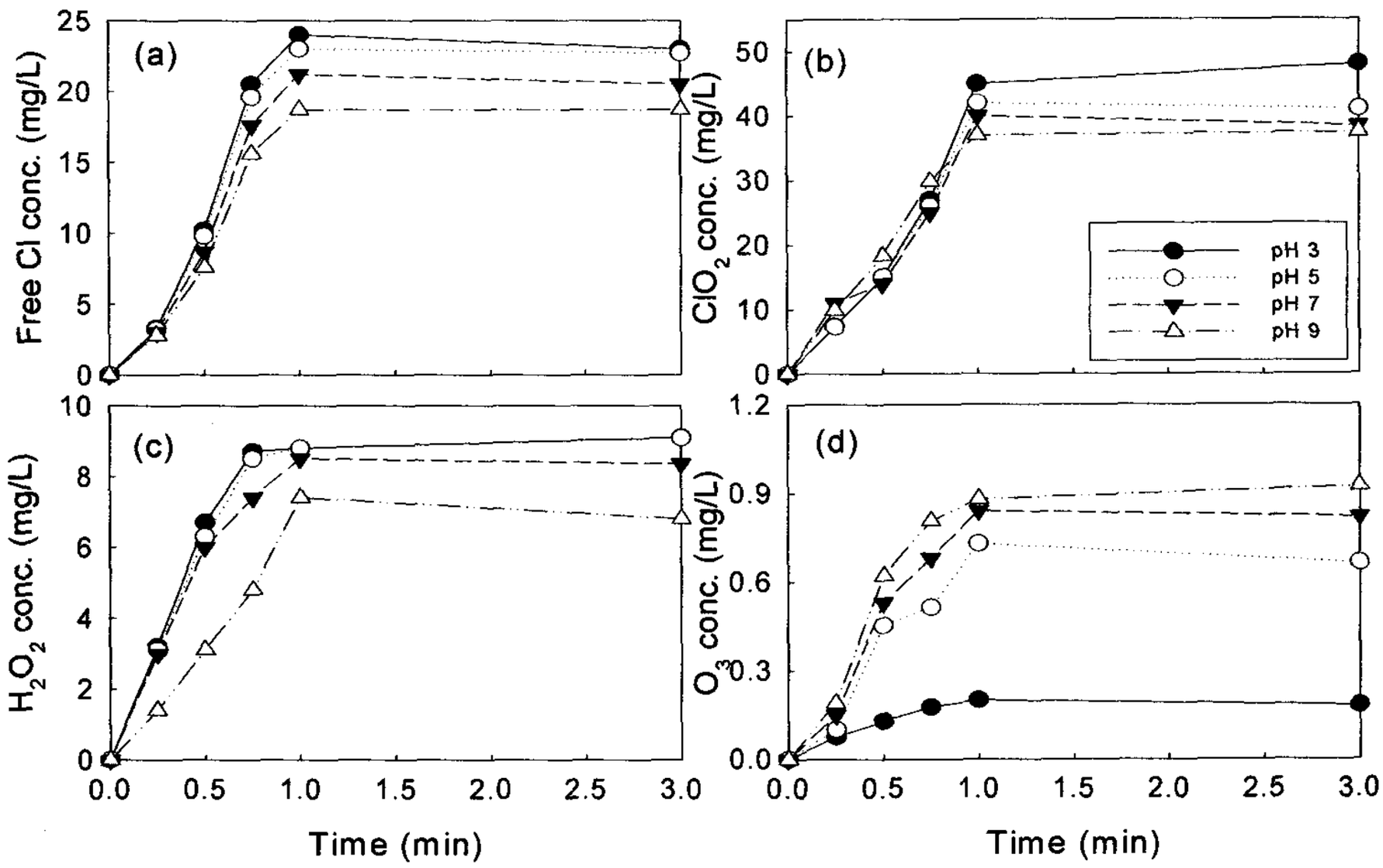

Fig. 2. Effect of pH on the oxidants formation: (a) free Cl, (b) ClO_2, (c) H_2O_2, (d) O_3.

가함에 따라 총 염소 농도가 다소 증가하는데, 이는 화학 부반응과 전기화학 부반응 때문이라고 보고한 결과와 비슷한 결과를 얻었다. pH 3-5에서 과산화수소 농도는 변화가 거의 없었으며, pH 7에 다소 감소되었으나 큰 변화는 없는 것으로 나타났으나 pH 9에서는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 과산화수소가 높은 pH에서 자기분해 반응(self-decomposition) 때문에 농도가 감소한다는 Aleboyeh 등[15]의 연구결과와 같게 나타났다. pH 3과 5의 경우는 전기를 공급하고 있는 60초까지 전기를 공급하지만 45초에 정상상태에 도달하여 전상상태를 유지하는 것으로 나타났다. 오존의 경우 다른 산화제와는 다르게 pH가 감소할수록 생성 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 오존에 의한 원수의 유기물 산화는 크게 오존에 의한 직접 산화경로와 오존 분해시 발생하는 OH라디칼에 의한 산화로 나누어지는데, 산성 영역의 pH에서는 오존분해 경로가 수산화이온의 의해 개시되어 라디칼을 형성하는 연쇄반응이 억제되어 식 (1)-(3)과 같이 유기물과의 직접 산화경로가 우세한 반응이 되며, 오존 단독반응보다 오존/pH 4 공정의 COD 제거율이 낮다고 보고한 이 등[16]의 보고와 같이 생성된 오존이 낮은 pH에서 분해 되기 때문에 발생농도가 낮은 것으로 사료되었다.

$$O_3 + OH^- \rightarrow HO_2 \cdot + O_2^- \cdot \quad (1)$$

$$O_3 + O_2^- \cdot \rightarrow O_3^- \cdot + O_2 \quad (2)$$

$$O_3^- \cdot + H^+ \rightarrow OH \cdot + O_2 \quad (3)$$

pH에 따른 살균성능과 생성된 산화제의 농도 변화를 고찰한 결과 산성 영역에서는 오존 농도가 감소하여 오존에 의한 직접 산화 때문에 오존소독 성능의 감소효과가 발생하지만 전기분해에서 발생하는 오존 농도는 낮기 때문에 미생물 불활성화에 미치는 영향은 적으며[17], 유리 염소, 이산화염소 및 과산화수소 생성량이 염기성 영역에 비해 높기 때문에 감소효과를 상쇄하고 소독 성능에 기여하기 때문에 염기성보다 소독 성능이 높은 것으로 사료되었다.

3.2. 탁도의 영향

냉각수 중의 탁도는 응축기의 효율저하나 금속재료 공식의 원인이 되므로 20 NTU 이하를 기준으로 하고 있다[10]. Fig. 3에 kaoline을 사용하여 탁도를 0-20 NTU로 조절하여 탁도에 따른 레지오넬라 살균성능을 평가하였다.

Fig. 3에서 보듯이 탁도 증가에 따라 레지오넬라 소독 성능이 빠르게 감소되었으며, 기준으로 선정한 1000 CFU/L에 도달하는 것은 0과 5 NTU로 나타났

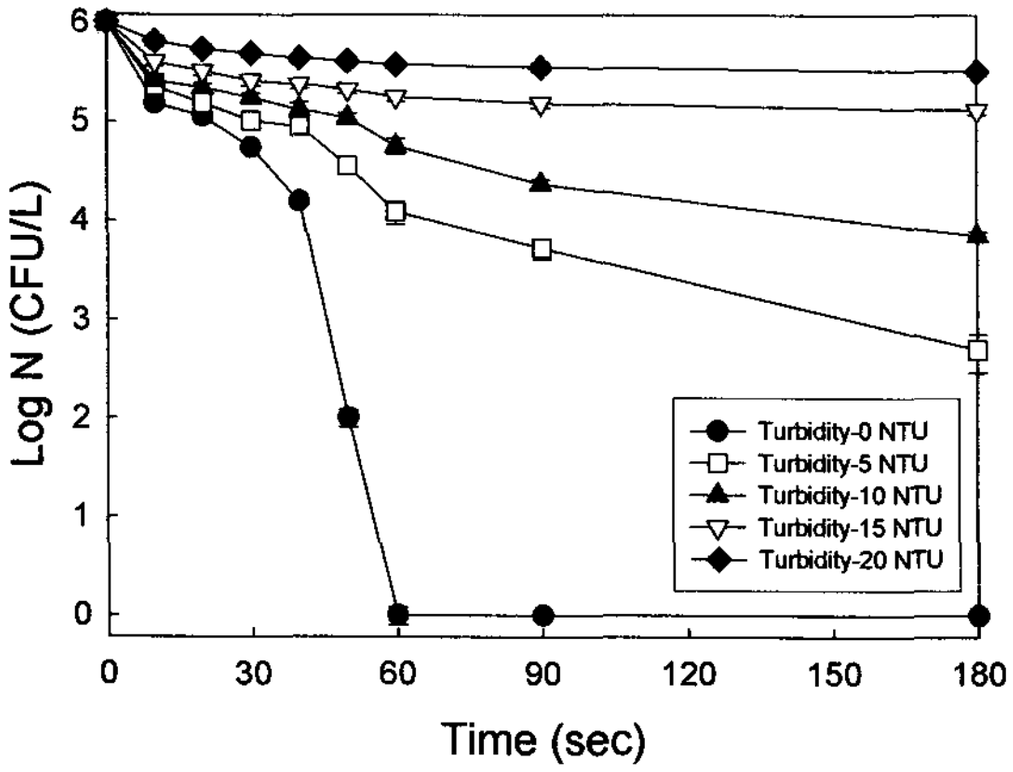

Fig. 3. Effect of turbidity on the disinfection of *L. pneumophila.*

고, 10 NTU 이상에서는 소독효과가 상당히 감소하여 15 NTU의 경우는 86.8%, 20 NTU의 경우는 67.7%의 제거율을 나타내었으며, 소독 후 몇 십만 CFU/L로 나타나 탁도가 레지오넬라 소독에 큰 영향을 미치는 것으로 사료되었다. 탁도는 냉각수 수질기준 중 참고 항목이기 때문에 크게 고려하지 않아도 되지만 응축 효율 저하와 소독 효율 저하와 관계되기 때문에 주기적으로 관리해주어야 할 것으로 판단되었다.

Fig. 4에 탁도 변화에 따른 4종류 산화제 농도 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 모든 산화제 농도가 탁도 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 유리 염소의 경우 탁도 변화에 따라 선형적으로 감소하였으며, 0 NTU, 1분에서 23.0 mg/L에서 20 NTU의 경우 12.5 mg/L로 감소하였다. 이산화염소의 경우 탁도가 5 NTU로 증가였을 때의 농도감소가 가장 높았으며, 다음은 10 NTU이었다. 0 NTU, 1분에서 47.2 mg/L에서 20 NTU의 경우 14.35 mg/L로 4종류의 산화제 중에서 감소농도가 가장 높았다. 과산화수소는 유리 염소와 같이 선형적으로 감소하는 경향을 나타내었고, 오존은 이산화염소와 유사한 경향을 나타내었다. 탁도가 전극에 어떤 영향을 미쳐 소독효율이 감소하는지 정확하게 알 수 없으나 탁도 증가시 Fig. 4와 같이 생성 산화제의 농도 감소와 관련 있는 것으로 사료되었다. 탁도 증가에 따른 전기전도도 변화는 1-2 μs/cm에 지나지 않아 탁도변화에 따른 전기전도도가 소독에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.3. 칼슘 경도의 영향

칼슘 경도가 적은 물은 부식성을 나타내고, 많은 물은 탄산칼슘을 주체로 하는 스케일이 생기기 쉬워

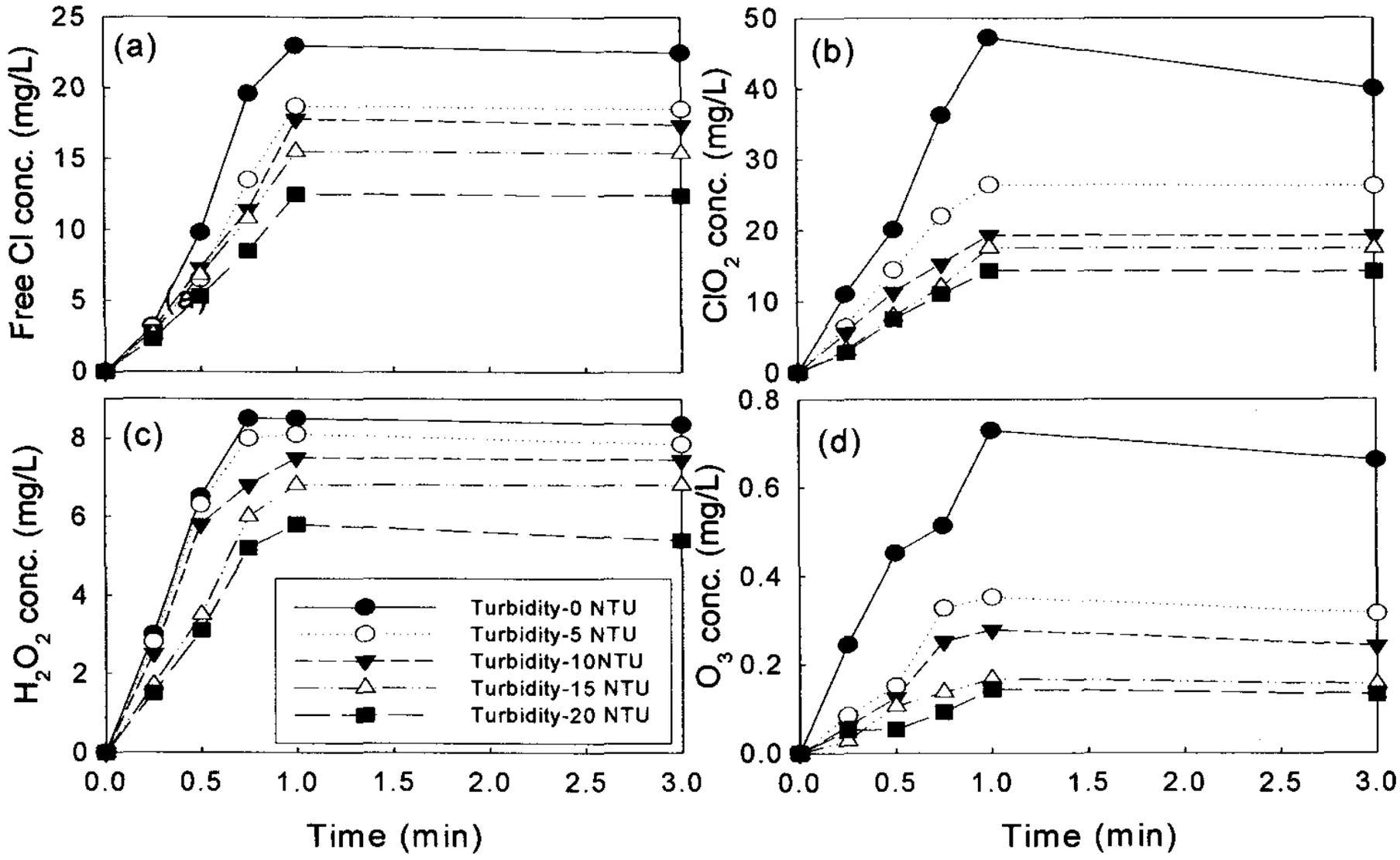

Fig. 4. Effect of turbidity on the oxidants formation: (a) free Cl, (b) ClO_2, (c) H_2O_2, (d) O_3.

냉각수의 기준치는 150 mg $CaCO_3$/L 이하로 유지하여야 한다[10]. Fig. 5에 $CaCO_3$를 0-150 mg/L 첨가하였을 때 레지오넬라 살균 성능을 평가하였다. Fig. 5에서 보듯이 $CaCO_3$ 농도가 증가함에 따라 살균 성능이 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 50 mg/L의 $CaCO_3$ 농도에서 97%의 제거율을 나타내지만 레지오넬라 균수가 30,000 CFU/L로 나타났고, 150 mg/L에서는 112,000 CFU/L로 나타나 $CaCO_3$도 탁도와 같이 살균 성능에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 탁도와 $CaCO_3$의 두 가지 인자 중 살균 성능에 더 큰 영향을 주는 인자는 탁도로 나타났다. 이는 20도의 탁도는 현탁물질 농도로 환산할 경우 약 10 mg/L에 해당하는 양이기 때문에[10] 농도로 환산할 때 탁도가 $CaCO_3$보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 사료되었다. $CaCO_3$ 첨가에 따른 전기전도도 변화는 탁도와 같이 1-2 μs/cm에 지나지 않지만 탁도와 마찬가지로 음극에 스케일을 형성할 가능성이 있는 것으로 판단되었다. $CaCO_3$ 첨가시 UV/VIS spectrophotometer의 흡광도를 이용하는 산화제 농도는 현탁 입자로 인해 측정이 불가능하였으나 $CaCO_3$ 농도 증가에 따라 생성되는 산화제 농도 감소가 예상되었다.

3.4. TOC의 영향

TOC는 냉각수 수질기준 항목은 아니지만, 여름철 냉각탑수의 온도 상승과 태양광선 등으로 인하여, 유기물의 함량이 높아질 수 있기 때문에[1,4], 유기물질을 첨가하여 TOC 농도에 따른 레지오넬라 균 감소를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보듯이 TOC 2.5 mg/L는 180초 후 레지오넬라가 거의 사멸되는 것으로 나타났고, 7.5 mg/L는 180초 후 500 CFU/L로 나타났으며, 10 mg/L의 경우만 180초 후 4000 CFU/L로 나타나 기준으로 설정한 1000 CFU/L를 초과하였다. 유기물이 7.5 mg/L 이하인 경우는 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 보급수의 수질기준이 냉각수의 수질기준보다 엄격하고 냉각수 중의 TOC가 7.5 mg/L를 초과하는 경우가 별로 없다고 판단되었다. 그러나 유기물이 저농도인 경우 전극의 직접 산화작용이나 생성된 산화제가 저농도의 TOC 분해에 사용되고, 소독에도 이용될 수 있지만 고농도의 유기물은 미생물 불활성화와 유기물 분해와의 경쟁반응이 발생하기 때문에 고농도의 유기물은 소독에 영향을 미치리라고 사료되었다.

Fig. 7에 TOC 농도 변화에 따른 산화제 농도변화를 나타내었다. 탁도, $CaCO_3$와는 다르게 TOC 농도 변화에 따른 산화제 농도감소는 크지 않은 것으로 나타났다.

pH, 탁도, $CaCO_3$, TOC 등 4종류의 수질인자가 레지오넬라 소독에 미치는 영향을 고찰한 결과 pH는 냉각수 수질 기준 내에서는 큰 영향을 미치지 않으며, TOC도 7.5 mg/L이하에서는 기준을 만족하고 실제 냉각수 수질 항목이 아니며, 유기물이 존재하더라도 전기분해에 의해 제거될 수 있기 때문에 레지오넬라 소독에 영향을 미치는 인자는 전극에 스케일을 형성할 수 있는 탁도와 칼슘 경도라고 사료되었다.

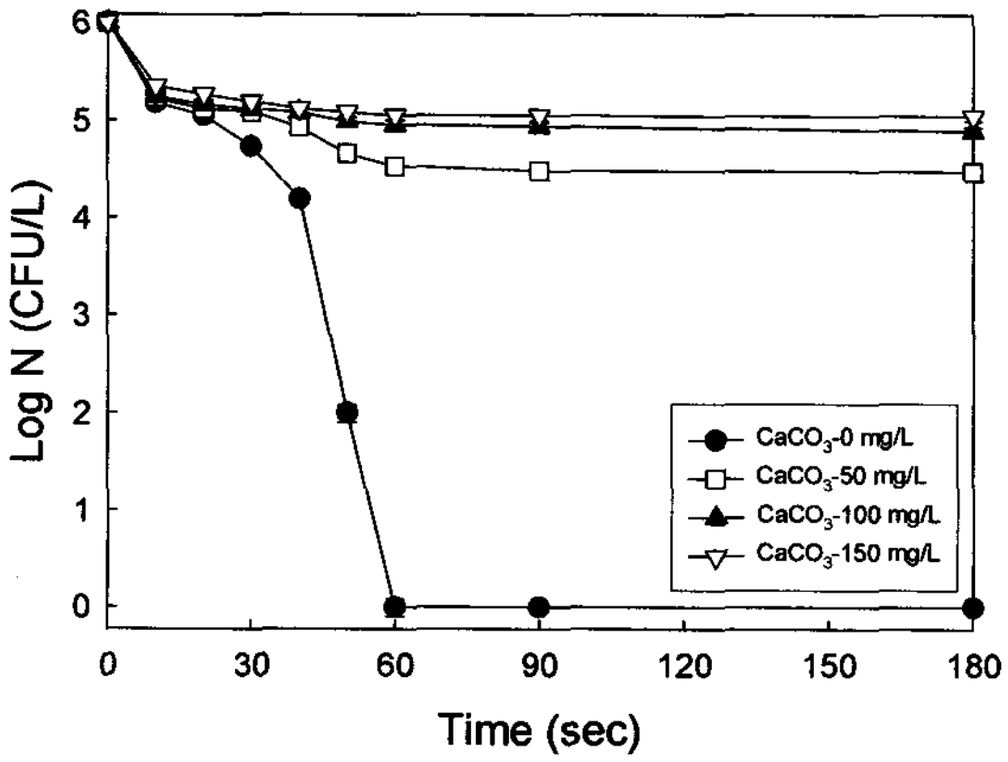

Fig. 5. Effect of $CaCO_3$ on the disinfection of *L. pneumophila.*

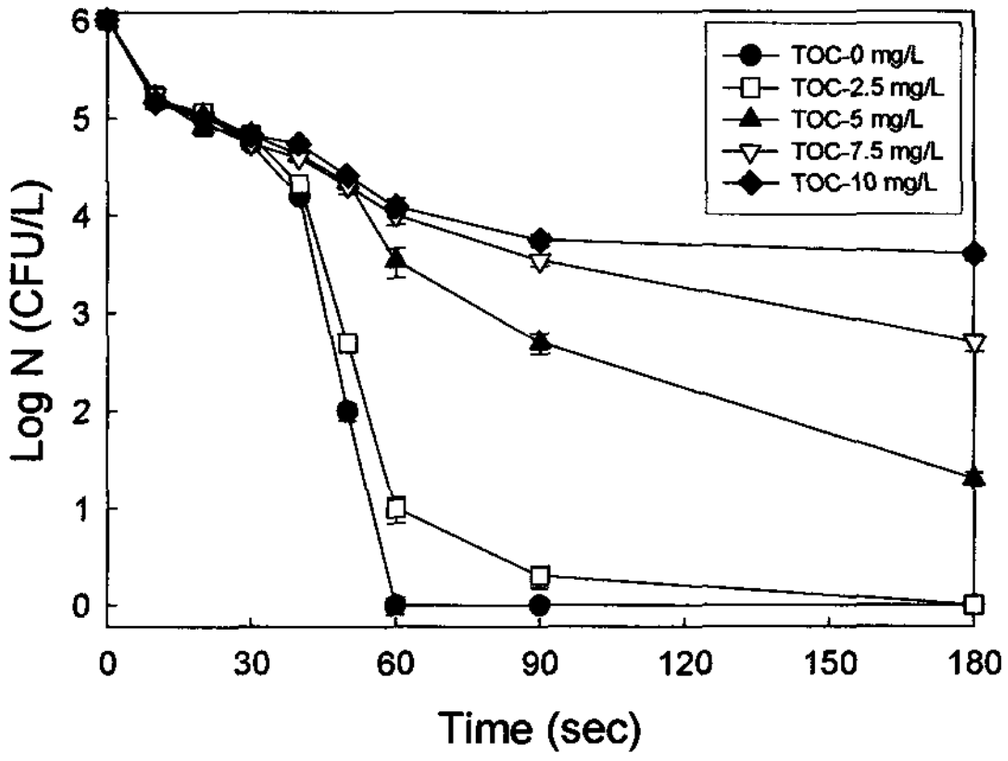

Fig. 6. Effect of TOC on the disinfection of *L. pneumophila.*

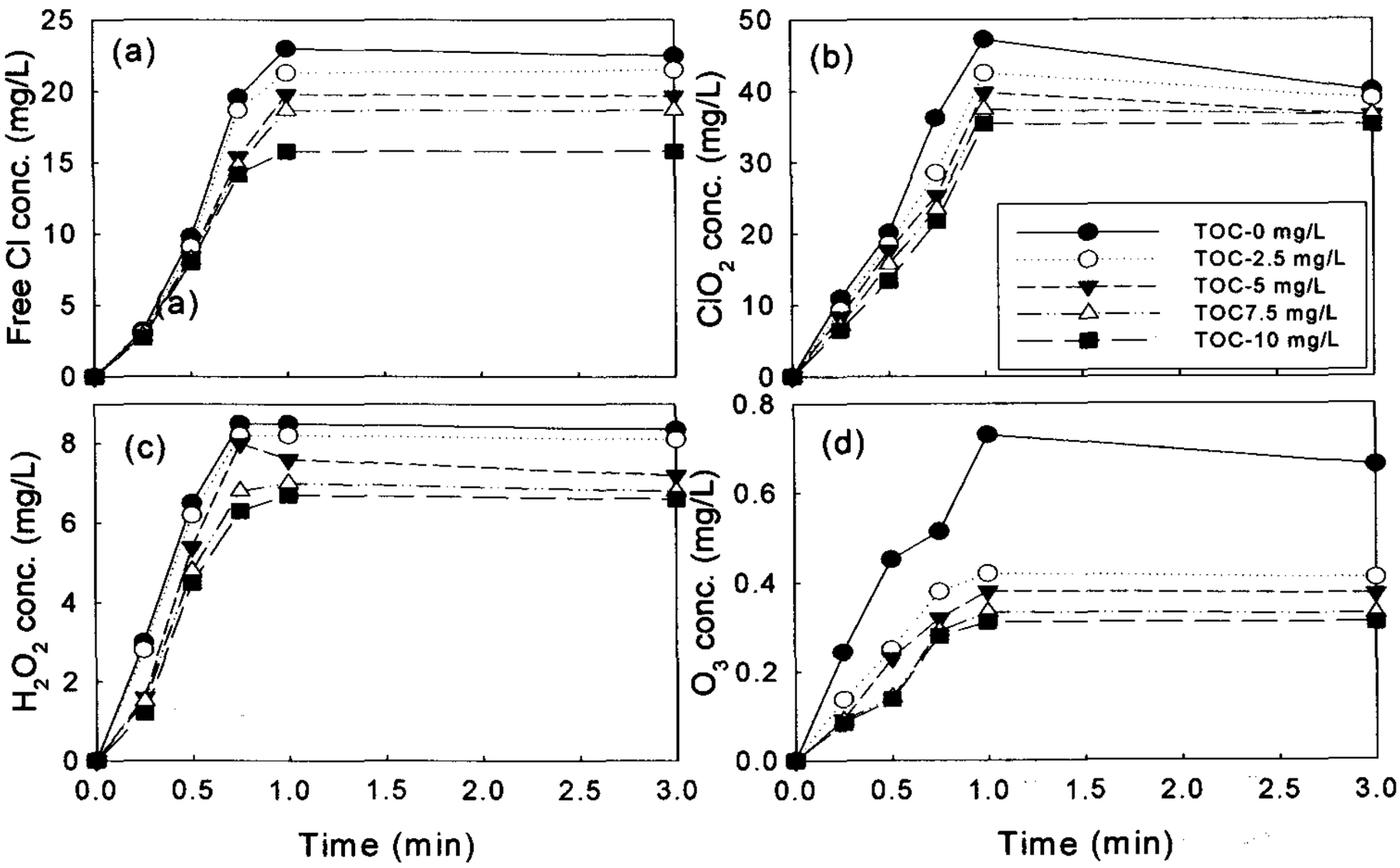

Fig. 7. Effect of TOC on the oxidants formation: (a) free Cl, (b) ClO_2, (c) H_2O_2, (d) O_3.

3.5. 소독 성능 향상

냉각수의 pH, 탁도, $CaCO_3$ 및 TOC가 레지오넬라 소독성능에 영향을 미치므로 기존 소독 조건(NaCl 농도; 0.0125%, 전류; 4.5 A, 전류 소통시간; 60초, 잔류 소독시간, 120초)으로는 레지오넬라균을 기준으로 설정한 1000 CFU/L 이하로 유지하기 어렵다. 따라서 전류를 높이던지, 전류 소통시간을 늘려 소독성능을 높일 필요성이 제기되었다. pH를 8, 탁도를 20 NTU, $CaCO_3$ 농도를 150 mg/L, TOC를 10 mg/L로 실험조건을 냉각수 수질기준의 상한에 두고 앞의 실험과 같은 조건으로 실험하면서 전류 소통시간을 3분, 12분의 잔류 소독시간(총 소독시간, 15분)으로 시간만 바꾸어 실험한 경우, 전류 소통시간을 6분, 9분의 잔류 소독시간(총 소독시간, 15분)으로 시간만 바꾸어 실험한 경우 및 염화물 이온 농도인 200 mg/L이하, 800 μs/cm 이하인 전기전도도 기준을 만족하는 조건에서 NaCl 첨가량을 0.02%로 유지하면서 전류를 7 A로 유지하여 전류 소통시간을 3분, 12분의 잔류 소독시간(총 소독시간, 15분)으로 바꾸어 실험한 경우를 Fig. 8에 나타내었다.

그림에서 보듯이 기존의 실험조건에서 전류 소통시간을 60초에서 3분으로, 유지시간을 2분에서 12분으로 유지한 경우 시간의 경과에 따라 레지오넬라 소독 성능이 서서히 나타났으며, 1000 CFU/L 이하의 레지오넬라가 검출되는데 소요되는 시간은 13분인 것으로 나타났다. 전류 소통시간을 3분에서 6분으로 늘린 경우는 11분이 소요되는 것으로 나타났다. 7 A에서 3분간 유지한 경우는 1분 30초에 1000 CFU/L, 3분에 300 CFU/L로 나타나 소독시간이 가장 빠른 것으로 나타났다. 세 경우의 전력소요량을 계산하면

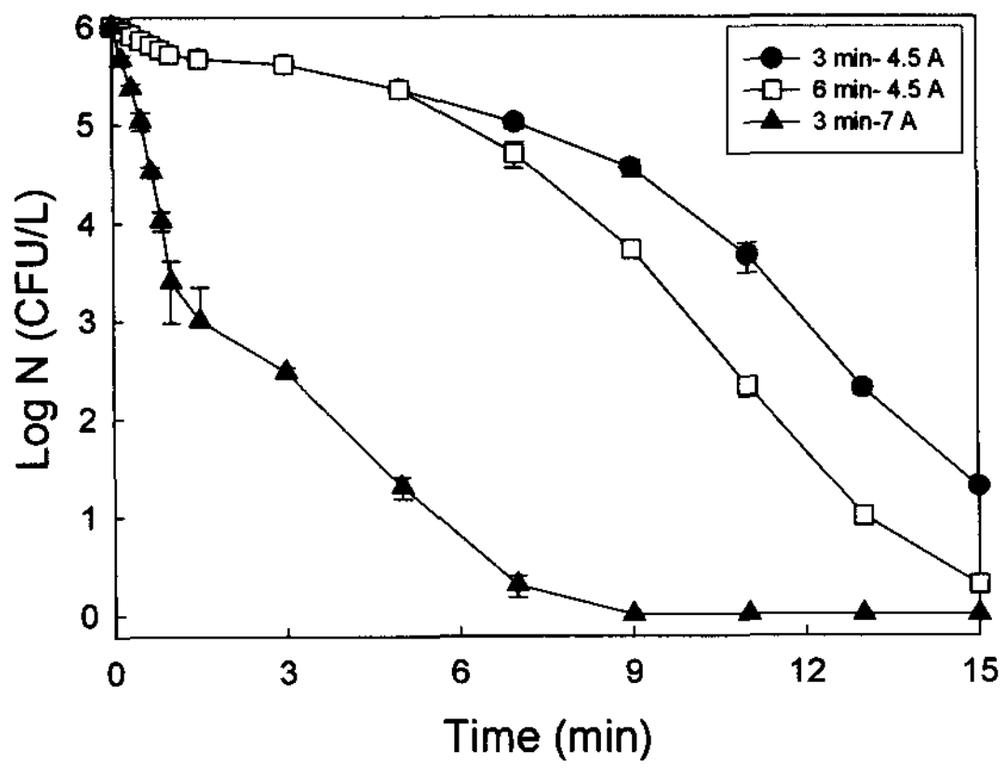

Fig. 8. Effect of electrolysis time and current on the disinfection of *L. pneumophila.*

각각 11.25 W.h, 22.5 W.h 및 12.3 W.h가 소요되어 NaCl 첨가량을 높이고 전류를 7 A로 유지하는 것이 소요 전력량이나 소독성능 면에서 모두 유리한 것으로 나타났다. 그러나 NaCl 첨가량 증가는 냉각수 수질기준 중 염소 농도와 전도도와 관련 있기 때문에 냉각탑수의 수질을 고려하여 NaCl 첨가량을 높이거나 소독시간을 증가시키는 두 가지 방법 중에서 선택하여야 한다고 사료되었다.

그러나 일반적으로 전기분해 반응시 pH가 상승하여 알칼리 영역으로 되는 pH 상승 문제[11]와 7 A의 높은 전류 적용으로 인한 과전류와 이로 인한 높은 전력량(W)은 경제성 문제와 관련되기 때문에 실제 공정 적용시 냉각수 수질기준에 적합하도록 운전하여야 할 것이라고 사료되었다.

4. 결 론

Ru/Ti 전극을 이용하여 전기소독 공정에서 레지오넬라균의 소독 성능에 미치는 pH, 탁도, $CaCO_3$ 및 TOC의 영향과 전류 증가와 소독시간 증가가 소독성능에 미치는 영향을 고찰하여 다음의 결과를 얻었다.

1) pH가 낮아질수록 소독 성능이 증가하는 것으로 나타났고, 소독 성능이 가장 낮은 pH 9에서도 목표 균수인 1000 CFU/L이하로 나타났기 때문에 냉각탑수 수질기준인 pH 6.5-8.0를 고려해볼 때 pH는 소독에 큰 영향을 주지 않는 것으로 사료되었다. pH 증가에 따라 유리 염소, 이산화염소 및 과산화수소 농도는 감소하였으나, 오존 농도는 증가하는 것으로 나타났다. 탁도 증가에 따라 레지오넬라 소독 성능이 빠르게 감소되었으며, 1000 CFU/L 이하에 도달한 탁도는 0과 5 NTU로 나타나 탁도가 레지오넬라 소독에 큰 영향을 미치는 것으로 사료되었다. 모든 산화제 농도가 탁도 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

2) $CaCO_3$도 소독 성능에 큰 영향을 주는 것으로 나타났고, 실험한 모든 $CaCO_3$ 농도 (50-150 mg/L)에서 1000 CFU/L를 초과하였다. TOC가 7.5 mg/L 이하인 경우는 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 탁도, $CaCO_3$와는 다르게 TOC 농도 변화에 따른 산화제 농도감소는 크지 않은 것으로 나타났다.

3) 실험한 수질인자 중 냉각수 수질 기준항목인 칼슘 경도와 참고 항목인 탁도 등 주로 수중의 무기물과 입자상 물질이 소독 성능에 큰 영향을 주기 때문에 이들의 농도를 냉각수에서 적절하게 유지할 필요성이 제기되었다.

4) pH, 탁도, $CaCO_3$ 및 TOC가 모두 소독성능에 영향을 주어 선행 연구의 살균 조건인 4.5 A, 60초의 전류 소통시간 및 2분의 유지시간으로는 기준으로 설정한 1000 CFU/L를 만족하지 못하기 때문에 전류 소통시간을 증가시키거나 NaCl 첨가량과 전류를 동시에 증가시킨 경우(7 A, NaCl 0.02%) NaCl 첨가량과 전류를 증가시킨 경우의 전력량이 적고 소독성능이 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 산학협동재단의 지원을 받아 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1) 김기영, 2002, 서울시 일부 냉각탑중 레지오넬라의 동정방법별 비교와 영향인자 연구, 박사학위논문, 산업의학과, 한양대학교, 서울.
2) 정종학, 강복수, 김석범, 사공준, 1988, 환경수로부터 *Legionella*속 세균의 분리, 영남의대학술지, 5(1), 77-82.
3) Field B. S., 1997, *Legionella* and Legionnaires' disease, Manual of environmental microbiology, ASM Press, 666-675pp.
4) 정현미, 1996, 먹는 물의 수처리 및 수질관리에 관련한 미생물 규제의 국내외 동향 및 개선방안, 국립한경연구원, 기초전문화 과제보고서, 27-40pp.
5) 국립보건원, 2002, 레지오넬라증 예방관리, 23-26pp.
6) Muraca P., Stout J. E., Yu V., 1987, Comparative assessment of chlorine, heat, ozone, and UV light for killing *Legionella pneumophila* within a model plumbing system, Appl. Environ. Microbiol., 53(2), 447-453.
7) Oguma K., Katayama H., Ohgaki S., 2004, Photoreactivation of *Legionella pneumophila* after inactivation by low- or medium-pressure ultraviolet lamp, Wat. Res., 38, 2757-2763.
8) 박영식, 김동석, 2007, 전기화학적 소독에 의한 *Legionella pneumophila* 불활성화, 한국물환경학회지, 23(5), 613-619.
9) 日本 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.
10) 한국산업규격, 1998, 냉동 · 공조용 냉각수 수질기준, 한국산업규격 KS M 0077.
11) 김동석, 박영식, 2007, 불용성 전극을 이용한 Rhodamine B의 전기화학적 탈색, 한국물환경학회지, 23(3), 377-384.
12) 권순구, 우준희, 김대수, 어수택, 정연태, 김용훈, 박춘식, 1990, 폐결핵환자에서 호중구의 H_2O_2 형성 및 IgG 수용체의 표현율, 대한내과학회지, 39(5), 613-619.
13) Lin Z., Liu W. J., 2006, Study on factors affecting electrochemical disinfection effect, China Water & Wastewater, 22(23), 70-73.
14) Bergmann M. E. H., Koparal A. S., 2005, Studies on electrochmical disinfectant production using anodes containing RuO_2, J. Appl. Electrochemistry, 35, 1321-1329.
15) Aleboyeh A., Moussa Y., Aleboyeh H., 2005, The effect of operational parameters on UV/H_2O_2 decolourisation of Acid Blue 74, Dyes & Pigments, 66, 129-134.
16) 이홍구, 이경혁, 박종복, 강준원, 2002, 하수 처리장 방류수를 이용한 고급산화공정 평가, 대한환경공학회지, 24(2), 2175-2182.
17) Jeong J. S., Kim J. Y., Cho M., Choi W. Y., Yonn J. Y., 2007, Inactivation of *Escherichia coli* in the electrochemical disinfection process using a Pt anode, Chemosphere, 67, 652-659.