

## 유전체 장벽 방전 플라즈마 방전수의 특성과 미생물 소독에 관한 연구

김동석 · 박영식\*

대구가톨릭대학교 환경과학과, \*대구대학교 기초교육원

### A Study on the Microorganism Disinfection and Characteristics of Discharged Water of Dielectric Barrier Discharge Plasma Systems

Dong-Seog Kim and Young-Seek Park\*<sup>†</sup>

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Daegu, Korea

\*Faculty of Liberal Education, Daegu University, Daegu, Korea

#### ABSTRACT

**Objectives:** This experiment was carried out to elucidate the effect of discharged water on the disinfection of *Phytophthora capsici* and evaluate the water characteristics.

**Methods:** The dielectric barrier discharges (DBD) plasma reactor system used in this study consisted of a plasma component [discharge, ground electrode and quartz dielectric tube], high voltage source, and air supply. The effects of water characteristics such as pH, ORP and conductivity and the disinfection effect of discharged water were investigated.

**Results:** Experimental results showed that in the process of discharge, the pH decreased, whereas ORP and electric conductivity increased. When the discharge time was 30 min, *Phytophthora capsici* of 2.94 log was disinfected within 300 seconds. Disinfection performance of stored discharged water was maintained for three days; however the disinfection effect vanished after five days. When *Phytophthora capsici* was injected into the discharged water, the disinfection effect decreased after two days.

**Conclusions:** It is considered that the main disinfection parameters of the discharged water were chemically active species such as H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> and high ORP.

**Keywords:** plasma, disinfection, *Phytophthora capsici*, discharged water

## I. 서 론

우리나라의 2009년도 고추 재배 면적은 44,817 ha 이며, 연간 생산량도 117,300 ton에 이르는 등 우리나라에서 가장 중요한 채소 작물 중의 하나이다.<sup>1)</sup> 고추는 탄저병, 역병 및 세균성 점무늬병 등의 병해에 의한 피해가 해마다 심각한 것으로 보고되고 있다. 특히 역병은 토양전염병으로서 고추를 연작할 경

우 심하게 발생하고, 장마기에 물에 의해서 점염되며, 배수가 불량하면 피해가 더욱 심각해지는 병으로 전국에서 한 해의 고추 수확량을 결정하는 매우 중요한 병으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 이러한 역병의 방제를 위해서 6월 상순부터 10일 간격으로 농약을 10회 살포할 것을 권장하고 있으나 방제 비용이 증가하고 잔류 농약에 의한 환경오염 문제가 대두되고 있다.<sup>2)</sup> 최근에는 친환경물 작물에 대한 소비자들의 요구

<sup>†</sup>Corresponding author: Faculty of Liberal Education, Daegu University, Daegu 712-714, Korea, Tel: 053-850-4571, Fax: 053-850-4369, E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

Received: 2 February 2012, Revised: 27 March 2012, Accepted: 10 April 2012

가 높아지고 있기 때문에 기존 농약을 대체할 친환경 경적 방제법으로 길항미생물을 이용한 생물학적 방제법이 연구되고 있다.<sup>3)</sup> 또한 물의 전기분해에서 발생하는 전해수를 이용한 역병 등의 방제를 위한 시도가 진행되고 있다. 전해수는 병해충 방제용뿐만 아니라 채소나 과일 표면의 세척수로 사용하는 등 용도와 성능에 있어서 기존 농약보다 활용도가 높은 것으로 알려지고 있다.<sup>4,5)</sup> 그러나 전해수는 전해질이 필요하고 전극의 수명 때문에 유지관리비가 비싼 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 수중에서 플라즈마를 발생시키면 다양한 물리, 화학적 공정이 발생하는데 자외선, shock wave 및  $\cdot\text{OH}$ ,  $\cdot\text{H}$ ,  $\cdot\text{O}$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$ ,  $\cdot\text{HO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ 와  $\text{O}_3$  등과 같은 라디칼 및 화학적 활성종들이 생성되며 이들이 난분해성 물질 처리, 색도 및 오·폐수의 살균 처리 등에 이용된다.<sup>7,8)</sup>

본 연구에서는 기존의 농약 대체제로 사용할 수 있고 살균이나 소독제를 대체하고 소독 부산물이 없는 새로운 농업용 소독제를 개발하기 위하여 새로운 소독 공법인 플라즈마를 이용한 방전수를 제조하였다. 소독능을 나타낼 수 있는 방전수의 특성을 고찰하고, 고추 역병균을 대상으로 방전 시간과 보관 시간에 따른 소독 성능과 살균 지속성을 고찰하여 플라즈마 방전수의 농업 분야 적용가능성에 대한 기초 연구를 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 재료 및 실험 방법

실험에 사용한 반응기는 회분식으로 제작하였으며 반응 부피는 1 l 이었고, Fig. 1에 개요도를 나타내었다. 유전체 방전 플라즈마 반응기 시스템은 방전 전극, 유전체인 석영관, 접지 전극 및 산기관으로 이루어진 플라즈마 반응기, 슬라이드스와 네온트랜스로 이루어진 전원 공급장치 및 공기 펌프와 유량조절장치로 이루어진 공기 공급장치로 이루어져 있다. 유전체는 두께가 1 mm, 내경이 7 mm인 석영관을 사용하였으며, 방전 전극과 접지 전극은 티타늄을 사용하였다. 전원 장치로 2차 전압이 15 kV이고 주파수가 20 kHz인 네온트랜스를 이용하였다.<sup>7)</sup> 1차 전압을 220 V, 2차 전압을 15 kV로 유지한 조건에서 공기를 4 l/min의 속도로 유전체로 공급하여 방전수를 생성시켜 방전수 특성과 소독에 사용하였다. 방전수

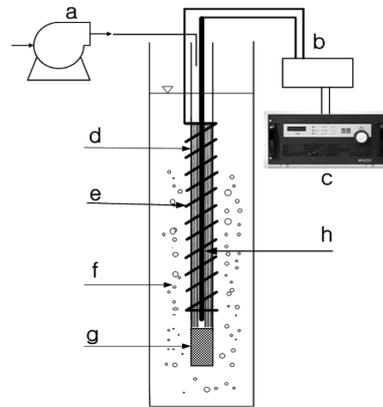


Fig. 1. Schematic of a dielectric barrier discharge plasma for the water treatment ((a) Gas pump, (b) Neon trans, (c) Power supply, (d) Quartz tube, (e) Ground electrode, (f) Gas, (g) Diffuse, (h) Discharge electrode).

의 특성을 파악하기 위하여 30분의 방전시간을 통하여 방전수의 pH, ORP 및 전기전도도를 측정하였다. 방전수의 산화 특성을 고찰하기 위하여 OH 라디칼과 선택적으로 반응하는 것으로 알려진 RNO (N, N-Dimethyl-4-nitrosoaniline)의 분해도 측정하였다. 실험에 사용한 미생물은 고추 역병균인 *Phytophthora capsici* (KACC 40483)로 농촌진흥청 미생물은행으로부터 분양받아 실험에 사용하였다. *P. capsici*는 PDA 배지(Potato dextrose agar, Merck, Darmstadt, Germany)에 접종하여 3일 동안 배양시킨 뒤 균 총의 선단에서 직경 5 mm의 균사조각을 떼어 내어 V8 juice agar에서 접종한 뒤 25°C의 암 상태에서 1주일간 배양한 후 공중균사를 제거하고, 25°C의 광 상태에서 3일간 배양하였다. 멸균증류수를 부어 배지 상에 형성된 *P. capsici*의 유주포자낭을 수확하여 현탁액을 확보한 후 실험에 사용하였다.

### 2. 분석 및 측정

실험방법으로는 균 stock 용액 1 m/를 1 l의 반응기에 넣고 초기 미생물 농도를  $3.64 \times 10^3$  CFU/m로 설정한 다음, 소독 실험을 수행하여 일정 시간 간격으로 시료 1 m/를 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 지속적인 소독이 진행되는 것을 막

기 위해 중화제(neutralizer, 14.6% sodium thiosulphate 와 10% sodium thioglycolate) 10  $\mu$ l를 투입하여 연속적으로 희석하여 PDA 배지에 투입한 다음 25°C로 유지되는 BOD 배양기에서 96시간동안 배양한 뒤 형성된 집락을 colony counter를 이용하여 계수하였다. 실험은 5회 실시하고 평균값을 그림에 나타내었다.

방전수의  $\cdot$ OH은 생성량을 직접적으로 측정하기 어려워  $\cdot$ OH과 선택적으로 반응하는 것으로 알려진 RNO의 분해를 통하여 간접적으로 측정하였다. RNO의 초기 농도는 50 mg/l이었으며, UV-VIS spectrophotometer (Spectronic Genesis 5, Thermo Electron Corporation, Madison, WI)를 사용하여 최대 흡수파장인 440 nm에서 흡광도를 측정하여 검량선을 사용하여 농도로 나타내었다.<sup>9)</sup> pH와 ORP 및 전기전도도는 각각 pH 미터(420A+, Orion, Research Inc., Cambridge, Mass.), ORP 미터(Terminal Level3, Wissenschaftlich-Technische-Werkstätten Company, Weilheim, Germany) 및 전기전도도 미터(Cyberscan PC300, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham MA)로 측정하였다.

### III. 결 과

#### 1. 방전수 특성

15 kV의 네온트랜스를 이용하여 4 l/min의 공기를 공급하여 1 l의 물에 플라즈마를 방전시켜 시간에 따른 RNO 분해, pH, ORP 및 전기전도도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다.

RNO의 경우 초기 50 mg/l에서 방전시간의 증가에 따라 감소하여 15분에는 12.2 mg/l 30분에는 6.2 mg/l로 감소하였다. 플라즈마 방전에 따라 산화제가 다량 생성되어 소독수로 활용가능하다고 판단되었다. pH는 초기 pH 6.89에서 방전이 진행됨에 따라 3.28까지 감소하는 것으로 나타났다. ORP는 초기 213 mV에서 411 mV로 증가하는 경향을 나타내었고, 전기전도도의 경우 37  $\mu$ S/cm에서 350  $\mu$ S/cm로 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 2. 방전수의 *P. capsici* 소독능

Fig. 3에 플라즈마 반응기에서 15분, 30분 방전시킨 방전수와 pH 3에서의 *P. capsici*의 소독 효과를

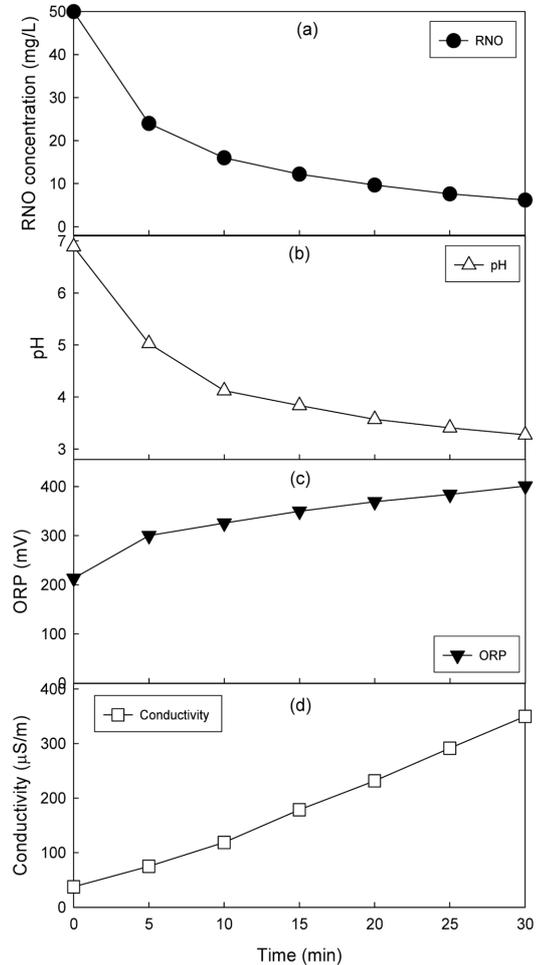


Fig. 2. Effect of discharge time on RNO concentration, pH, ORP and conductivity.

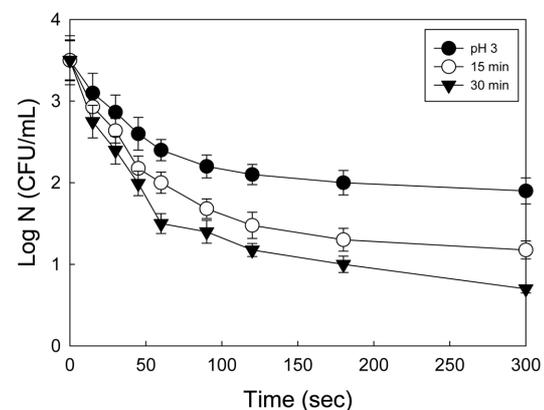


Fig. 3. Effect of discharge time and pH on disinfection.

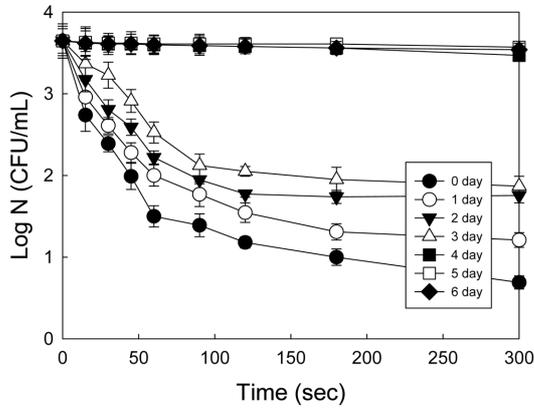


Fig. 4. Effect of storage time of discharge water on disinfection.

같이 고찰하였다. 방전수의 pH가 3.2로 낮기 때문에 pH로 인한 소독 효과도 같이 관찰하기 위하여 pH를 3으로 조절한 후 *P. capsici*의 집락수 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 pH가 3인 경우 소독 효과는 있지만 그 효과는 적은 것으로 나타났고, 방전 30분의 방전수의 경우 300초의 소독시간에서 2.94 log의 미생물이 사멸되는 것으로 나타났다.

플라즈마 방전수가 가지는 여러 가지 특성 중 하나가 살균력의 지속성에 있다.<sup>10)</sup> 방전수의 살균 지속성을 알아보기 위하여 30분간 방전된 방전수를 상온에서 보관하면서 하루에 한번 1 l 채취하여 *P. capsici*를 투입하여 방전수의 저장기간에 따른 *P. capsici*의 집락수 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보듯이 방전수의 보관기간이 증가하면서 *P. capsici*를 소독능이 감소하는 것으로 나타났다. 플라즈마 반응기에서 30분간 방전시킨 직후 소독실험을 실시한 결과 300초 후 2.94 log의 *P. capsici*가 감소되었고, 3일 후는 1.74 log의 *P. capsici*가 제거되었으나, 4일에는 0.70 log만 제거되었고, 5일 이후는 *P. capsici*가 거의 제거되지 않는 것으로 나타났다.

방전수가 *P. capsici*로 오염되었다고 가정하고 방전수와 pH 3용액에 *P. capsici*를 투입하여 1일에 한번 샘플을 채취하여 시간의 경과에 따른 *P. capsici* 집락수 변화를 Fig. 5(a), ORP와 전기전도도 변화를 Fig. 5(b)에 pH 변화를 Fig. 5(c)에 나타내었다. 방전수에 투입한 *P. capsici*는 하루가 지난 후 0.6 log까지 감소하였으나 2일 후부터 다시 증가하는 경향을 나타내었다. pH 3 용액에 투입한 *P. capsici*는 2

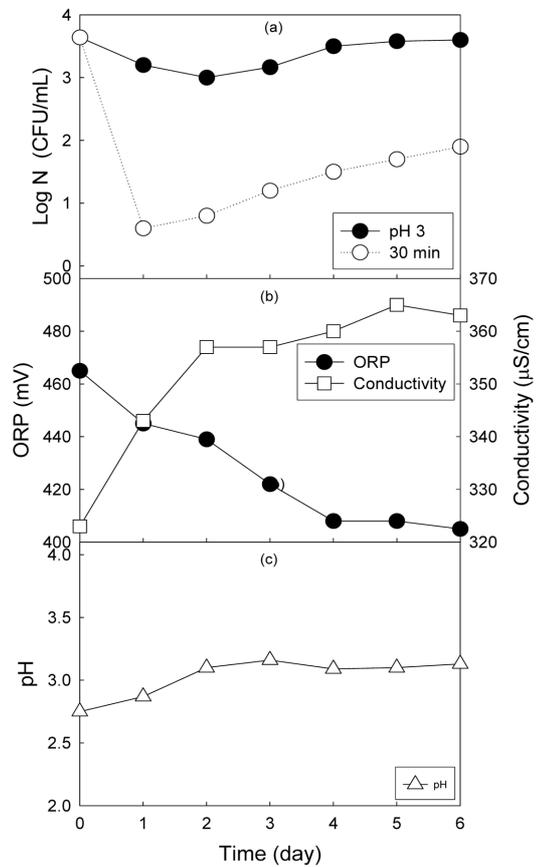


Fig. 5. Effect of time of *P. capsici* in the discharge water on (a) *P. capsici* disinfection, (b) ORP and conductivity, (c) pH.

일에 3.00 log까지 감소하다 다시 증가하였다. Fig. 5(b)에서 보듯이 ORP는 감소하고, 전기전도도는 증가하는 경향을 나타내었다. pH는 2.75에서 6일 경과 후 3.13까지 증가하는 경향을 나타내었다.

#### IV. 고 찰

##### 1. 방전수 특성

방전수의 산화력을 간접적으로 확인하기 위하여 RNO 분해능을 측정된 결과 반응 10분까지 빠른 RNO 분해율을 보인 후 시간에 따라 서서히 분해되는 경향을 나타내었다. 이는 boron doping diamond (BDD 전극)을 이용한 전기분해 반응에서 50 mg/l의 초기 RNO 농도에서 1 A의 전류를 통전하였을 때 50분의 반응시간에서 최종 RNO 농도가 10 mg/

이었다고 보고한 박과 김<sup>11)</sup>의 보고와 비교할 때 방전수의 방전에 소요된 총 전력은 54.1 W로 전기분해 공정(31.6 W)보다 높지만 전력량으로 비교하면 각각 27.1 W.h(플라즈마 방전)와 26.3 W.h(전기 분해)로 비슷한 전력량을 나타내었다. 같은 전력량에서 플라즈마 반응의 RNO 제거율이 약 8.7% 높기 때문에, 플라즈마 방전수에서의 OH 라디칼이 생성능이 전기 분해보다 다소 우수한 것으로 사료되었다.

pH는 초기 6.89에서 방전이 진행됨에 따라 점차 감소하여 30분 만에 3.28까지 감소하였다. 플라즈마 반응에 따라 pH가 감소하는 이유는 유전체의 전기적 절연을 위해 공급하는 공기 중의 질소가 플라즈마 에너지에 의해 산소와 결합하여 질산의 형태로 물속에 용해되기 때문인 것으로 사료되었다.<sup>12)</sup> 방전 전의 ORP보다 30분 방전 후의 ORP가 2배까지 증가하여 방전수의 살균력 중 일부가 상대적으로 높은 산화환원전위에 기인한다는 점을 고려할 때 방전에 따라 살균력이 증가하는 것으로 사료되었다.<sup>5,13)</sup> 각종 라디칼 및 산화제 등이 플라즈마 반응에 의해 생성됨에 따라 수중의 전기전도도가 증가하는 것으로 사료되었다.

## 2. 방전수 및 보관 방전수의 *P. capsici* 소독능

Fig. 3에서 보듯이 방전시간을 15, 30분으로 한 경우와 pH를 3으로 유지한 경우 방전 직후의 방전수를 이용한 방전수에서의 *P. capsici*의 소독 효과를 고찰한 결과 pH 3에서의 소독 효과는 적은 것으로 나타났다. 30분 방전한 방전수의 소독 효과가 15분 방전한 방전수의 소독 효과보다 높은 것으로 나타났다. 이 등<sup>2)</sup>은 산성 전해수와 pH 2.5~3.5로 처리한 물에서 *P. capsici*의 유주자 발육을 고찰한 결과 pH 처리수의 유주자 발육이 대조군과 큰 차이를 보이지 않고 있어 산성 전해수의 살균력은 pH에 의해서가 아니라 산성 전해수에 용존하는 물질(O, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 및 HClO) 등의 의한 살균효과라고 보고한 결과와 비교하면 본 연구에서 *P. capsici* 소독에 대한 pH 효과도 적은 것으로 나타났기 때문에 pH는 플라즈마 방전수를 이용한 *P. capsici* 살균에 대한 주요 기작은 아닌 것으로 사료되었다.

류 등<sup>10)</sup>이 2계면 플라즈마 방전시스템에서 대장균을 주입하여 15분간 방전시킨 후 사멸율을 확인한 결과 4~5 log의 살균능을 보였다고 보고한 자료와

비교할 때 본 연구결과에서의 2.8 log의 미생물 사멸율을 비교하면 사멸율이 낮지만 대상 미생물이 유주포자낭을 형성하는 곰팡이와 박테리아로 다르고, 방전 중인 물에 대장균을 투입한 것과 방전수에 *P. capsici* 투입 및 300초와 15분의 방전시간을 비교해 볼 때 본 방전 시스템에서 생산한 방전수의 소독 성능이 크게 떨어지지 않는 것으로 사료되었다.

Fig. 4에서 보관 방전수의 살균 특성을 고찰한 결과 3일까지는 잔류 *P. capsici* 집락수가 2 log 이하였으나 4일 이후부터는 효과가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 방전수의 보관하여 살균에 이용할 경우 3일까지만 소독 성능을 발휘할 수 있는 것으로 사료되었다. 보관한 방전수의 특성을 고찰하기 위하여 RNO 제거율을 고찰한 결과 RNO는 3일 정도까지 2~3 mg/l가 제거되었으며, 그 이후에서는 거의 제거되지 않는 것으로 나타났다. 반면 pH는 방전 직후 3.28에서 6일 후 3.67로 증가하였으며, 또한 전기전도도도 350  $\mu$ S/cm에서 390  $\mu$ S/cm로 증가하였다. 반면 ORP는 411 mV에서 351 mV로 감소하는 경향을 나타내었다.

RNO 분해는 반감기가 짧은 OH 라디칼 생성을 나타내는 간접지표이기 때문에 6일간의 보관기간 동안 낮은 RNO 제거율은 잔류 OH 라디칼 농도가 낮은 것을 의미한다.<sup>13)</sup> OH 라디칼 외  $\cdot$ H,  $\cdot$ O,  $\cdot$ O<sub>2</sub>,  $\cdot$ HO<sub>2</sub>와 같은 생성 라디칼들의 반감기도 짧기 때문에 보관기간동안 라디칼들은 거의 없는 것으로 판단되었다. 또한 플라즈마 방전시 발생하는 자외선과 shock wave는 보관 방전수에는 존재하지 않기 때문에 보관 방전수의 소독에는 관여하지 않는 것으로 사료되었다. 플라즈마 방전시 발생하는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 등의 화학적 활성종들의 농도를 보관 방전수에서 직접 측정하지는 않았지만 보관 방전수에 존재하다 보관시간의 경과됨에 따라 감소하는 것으로 사료되었다. 보관시간이 오래될수록 *P. capsici* 소독에 영향을 미칠 수 있는 pH도 증가하고, ORP도 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 플라즈마를 방전하는 동안은 OH 라디칼을 비롯한 각종 라디칼과 자외선, shock wave 및 각종 화학적 활성종들이 소독에 영향을 미치지만 방전 후의 보관 방전수는 주로 화학적 활성종 등과 ORP 등의 인자가 소독에 영향을 미치기 때문에 소독 잔류는 3일 정도인 것으로 사료되었다.

방전수와 pH 3용액에 *P. capsici*를 투입하여 시간

경과에 따른 소독능과 방전수 변화를 고찰한 결과 pH 3에서는 2일에서 가장 높은 소독능을 나타내었으나 그 효과는 적은 것으로 나타났다. 3일부터 미생물이 회복되는 경향을 나타내었다.

Fig. 5(a)에서 보듯이 방전수에 투입한 *P. capsici*는 하루가 지난 후 0.6 log까지 감소하였으나 2일 후부터 다시 증가하는 경향을 나타내어 6일 후 1.9 log 까지 증가하였다. 이것으로 볼 때 방전수에 *P. capsici*를 투입하였을 때 소독효과를 발휘하지만 지속적으로 소독 효과를 발휘하지 못하는 것은 *P. capsici*가 유주자포자낭을 형성하는 곰팡이기 때문에 완전 사멸되지 않은 조건에서 생존하다 수중의 산화제가 서서히 감소하면서 회복되기 때문인 것으로 사료되었다. 시간에 따른 전기전도도의 증가, OPR의 증가 및 pH 증가는 보관 방전수와 같은 경향을 나타내었다.

## V. 결 론

수중 플라즈마 방전 시스템에서 생산된 대체 소독제로 방전수를 제조하였다. 방전수의 특성과 소독능을 고찰하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 증류수에서 30분 간 방전한 방전수는 pH 3.3 부근, ORP는 약 400 mV, 전기전도도는 약 350  $\mu$ S/cm로 나타났으며, pH는 감소, ORP와 전기전도도는 증가하는 것으로 나타났다. OH 라디칼 생성의 간접 지표인 RNO 분해율이 높은 것으로 나타났다.

2) 방전시간이 길수록 소독효과는 높은 것으로 나타났다. 방전 30분의 방전수의 경우 300초의 소독시간에서 2.94 log의 미생물이 사멸되는 것으로 나타났다. 보관 방전수는 보관기일 3일까지 소독능을 유지하다 4일 이후부터 감소하였으며 5일 이후는 소독능을 나타내지 않았다. 보관 방전수의 소독인자는 화학적 활성종 등인 것으로 사료되었다.

3) 방전수에 *P. capsici*를 투입한 경우 하루가 지난 후 0.6 log까지 감소하였으나 2일 후부터 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 방전수에 *P. capsici* 투입시 지속적으로 소독 효과를 발휘하지 못하는 것은 *P. capsici*가 유주자포자낭을 형성하는 곰팡이기 때문에 완전 사멸되지 않은 조건에서 생존하다 수중의 산화제가 서서히 감소하면서 회복되기 때문인 것으로 사료되었다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업(일반연구 자지원사업, 기본연구 유형, 과제번호: 2010-0020916)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Statistics Korea. Survey Result of Red pepper and Sesame in 2009. Available: [http://kostat.go.kr/portal/korea/kor\\_nw/3/index.board?aSeq=177460&bmode=readr](http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/3/index.board?aSeq=177460&bmode=readr)[accessed 10 October 2011].
2. Lee JH, Kwon TR, Moon JD, Lee JT. Effect of acidic electrolyte water on growth and infection of *Phytophthora capsici*. *Korean J Plant Pathol.* 1998; 14(5): 440-444.
3. Jung HK, Kim SD. Selection and antagonistic of *Pseudomonas fluorescens* 4059 against *Phytophthora blight* disease. *Korean J Microbiol Biotechnol.* 2004; 32(4): 312-316.
4. Nimitkeatkai N, Kim JG. Washing efficiency of acidic electrolyzed water on microbial reduction and quality of 'Fuji' apples. *Korean J Horticult Sci Technol.* 2009; 27(2): 250-255.
5. Jung, SW, Park KJ, Park KJ, Kim YH. Surface sterilization effect of electrolyzed acid-water on vegetable. *Korean J Food Sci Technol.* 1996; 28(6): 1045-1051.
6. Kim DS, Park, YS. Effect of operating parameters on electrochemical degradation of Rhodamine B by three-dimensional electrode. *J Environ. Health Sci* 2009; 35(4): 295-303.
7. Kim DS, Park, YS. Removal of Rhodamine B Dye Using a Water Plasma Process. *J Environ Health Sci.* 2011; 37(3): 218-225.
8. Shi J, Bian W, Yin X. Organic contaminants removal by the technique of pulsed high-voltage discharge in water. *J Hazardous Mater.* 2009; 171: 924-931.
9. Li M, Feng C, Hu W, Zhang Z, Sugiura N. Electrochemical degradation of phenol using electrodes of Ti/RuO<sub>2</sub>-Pt and Ti/IrO<sub>2</sub>-Pt. *J Hazardous Mater.* 2009; 162: 455-462.
10. Ryu SM, Park HK, Lee BJ. Study on the characteristics of dielectric barrier discharging system and usability as a disinfectant. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater* 2004; 18(4): 529-536.
11. Park YS, Kim DS. Effects of operating parameters on electrochemical degradation of Rhodamine B

- and formation of OH radical using BDD electrode. *J Environ Sci.* 2010; 19(9): 1143-1152.
12. Jun YK. Characteristics change of water using wet-plasma. Masan: Kyeungnam University; 2004.
13. Sillier JH, Elliott EP, Baired-Parker AC, Bryan FL, Christian JHB, Clark DS, Olson JC, Jr. Roberts TA. *Microbial Ecology of Foods.* 1st ed. London: Academic press; 1980. p.112.