

# 저온 플라즈마를 이용한 고농도 유기성 오염물질 처리시 하수 및 상수 혼합에 따른 영향 분석

양장훈\*, 박진영\*\*, 김옥환\*\*\*, 김영춘\*\*\*\*

\*공주대학교 기전공학과

\*\*공주대학교 기계공학과

\*\*\*공주대학교 기계자동차공학부

\*\*\*\*공주대학교 지능형모빌리티공학과

e-mail:yangjh78@naver.com

## Analysis of effects of mixing of sewage or water in the treatment of high-concentration organic pollutants using Non-thermal plasma

Jang-Hoon Yang\*, Jin-young Park\*\*, Ok-hwan Kim\*\*\*, Young-Choon Kim\*\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Gongju University

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Gongju University

\*\*\*Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Gongju University.

\*\*\*\*Dept. of Intelligent Mobility Engineering, Gongju University

### 요약

본 연구에서는 유산균 원료를 생산하는 사업장의 고농도 유기성 오염물질과 하수 혼합처리의 효율을 Lap-Test로 규명하고자 한다. 각각의 희석수(상수, 하수)로 희석하여 저온 플라즈마에서 생성된 OH radical의 산화반응을 시키고, 반응시간(7일)에 따라 처리효율을 분석하여 희석수가 산화반응에 영향을 주는 요인을 파악 하였다. 또한, 초기 농도에 미치는 영향을 확인하기 위해 대조군으로 고농도 유기성 폐수에 상수를 희석하고, 다른 하나는 고농도 유기성 폐수에 해당 사업장에서 배출할 예상 농도의 생활하수를 혼합하여 연구를 진행하였다. 이를 통해 고농도 유기성 폐수의처리 방법을 폐수 처리시설 설계에 반영 및 제거 효율에 따른 후속 공정인 방지시설 설치 및 유지관리 비용 저감을 예측할수 있을 것으로 판단된다.

## 1. 서론

산업화가 지속되면서 하수 및 폐수의 발생량 증가하고 있으며 많은 난분해성 물질들이 유입을 초래하고 있다. 그러나 난분해성 물질들은 생물학적 방법으로는 처리가 힘든 문제점이 있다.<sup>1)</sup> 이로 인해 강한 산화력을 갖는 물리화학적 처리공정이 적용되고 있지만, 처리효율을 높이기 위해 많은 유해화학약품을 사용하여 운영비용이 과다하게 발생 되는 단점이 있다.<sup>2)</sup> 따라서 생물학적 처리가 잘 안되는 난분해성 물질을 적은 비용으로 효율적으로 제거하기 위한 원천 기술 확보와 상업화를 위한 다양한 기술들의 연구가 진행되고 있다.<sup>3)</sup>

난분해성 물질 처리공법의 대표적인 방법으로 고도 산화공정 (advanced oxidation processes, AOP)이 있다. 고도 산화공정은  $O_3/UV$ ,  $H_2O_2/Fenton$  oxidation,  $O_3/H_2O_2$ ,  $TiO_2$  등 강한 산화력을 나타내는

화학종을 이용한다. 이 방법은 특정 유기물질의 산화 반응에 잔류산물을 생성하는 기존 산화공정(오존과 염소) 대비 발전된 공법이다. 강한 산화력에 의해 해당 물질을 고도로 산화하는 AOP공정은 일반적인 산화공정 보다 효율이 좋지만, 산화제 발생이 비효율적이고 수산화라디칼(OH radical)의 연속적인 생성이 필요한 단점이 있다. OH radical의 생성에는 여러 가지 방법들이 존재하지만, 각각 자체적인 단점들을 가지고 있다. Fenton oxidation는 많은 슬러지를 발생 시키고, 유기 함량이 높을 때는 비효율적이다. 오존산화는 효과를 높이기 위해 pH 조절이 필요하고, Peroxone은 오존과 과산화수소의 적절한 비율로 투입하여야 하며, UV광분해는 탁도와 색도의 영향을 받는 단점이 있다.<sup>4)</sup>

저온 플라즈마(Non-thermal plasma, NTP) 공법은 고에너지 방전으로 생성되는 다양한 산화 종(OH·,  $H_2O_2$ ,  $O_3$ )을 이용하는 공법으로 오존과 UV 처리기술을 혼합한 물리·화학적 처리 효과를 갖는 것으로 평가

되고 있다.<sup>5)</sup> NTP 공법은 물리적인 기작을 사용하기 때문에 유입폐수의 농도 변화에 쉽게 대응이 가능하고, 유량의 변화에도 기술적인 대응이 가능하며 기온과 물의 온도에 많은 영향을 받지 않으며 물리적인 기작을 통하여 처리수질을 조절할 수 있어 상황에 맞는 처리효율 확보가 가능하다.

그러나 기존 연구에서는 고농도 유기성 오염물질보다 T-N 및 NH<sub>3</sub>-N 등 T-N 제거에 국한되어 있어 NTP 공법을 이용한 고농도 유기성 오염물질 제거 효율에 관한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유산균 원료를 생산하는 폐수 배출업소에서 배출하는 고농도 유기성 오염물질을 하수와 혼합하여 저온 플라즈마의 산화반응을 통해 제거효율을 증가시키고자한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 폐수의 특성

본 연구에 사용된 폐수는 유산균 원료를 공급하는 배출업소의 폐수를 사용하였으며 샘플링 지점은 위탁처리를 위해 저장한 저장조에서 시료를 채취하였다. 희석수는 상수(대조군)와 하수(실험군)를 이용하였다. 다음 [표 1]은 고농도 유산균 원료를 공급하는 배출업소 폐수 농도를 보여주며, [표 2]는 폐수의 희석수로 사용할 A시의 350톤/일 규모 농공단지 공공폐수처리시설의 유입수 농도이다. 고농도 유기성 폐수와 같이 배출할 것으로 예상되는 생활하수의 예상 농도에 적합하여 희석수(하수)로 선정하였다.

[표 1] 고농도 유기성 폐수 농도

분석항목	단위	농도(상대표준편차)
BOD <sub>5</sub>	mg/L	6 986.0 (±15%)
CODmn	mg/L	8 700.8 (±25%)

[표 2] 농공단지 공공폐수처리시설 유입수 농도

분석항목	단위	농도(상대표준편차)
BOD <sub>5</sub>	mg/L	45.4 (±15%)
CODmn	mg/L	121.3 (±25%)

### 2.2 실험장치

NTP 발생장치는 G사에서 연구용으로 공급한 220V, 0.3kw의 소규모 장치를 사용하였고, OH radical을 폐수에 공급하는 펌프는 220V 28W 사양의 폭기 펌프(UP 400)를 사용하였다. NTP에서 생성된 OH radical을 폭기 펌프(UP 400)를 이용하여 시료에 공기와 함께 주입하여 산화반응을 유도하였다. [그림 1]은 실험

에 사용한 G사에서 연구용으로 공급한 NTP 발생장치에서 혼합폐수에 OH radical을 공급하여 산화반응 시키는 실험 장치이다.



[그림 1] Lap-scale 실험장치

### 2.3 실험 및 분석 방법

실험에 사용한 시료는 고농도 폐수와 각각의 희석수를 희석(1+4)하여 사용하였으며 [표 3], [표 4]는 폐수+상수, 폐수+하수 희석수 농도를 보여준다. 희석 비율은 해당 배출업소에서 고농도 폐수 20톤/일, 생활하수 80톤/일 발생될 것으로 예상하여 희석 비율로 적용하였다.

최초 희석된 시료의 농도를 분석하고 24시간 단위로 농도 변화를 총 7회 측정하였으며, BOD<sub>5</sub>, CODmn 분석방법은 환경부, 수질오염공정시험기준 각각 ES 04305.1c, ES 04315.1b의 방법으로 분석하였다.<sup>7)</sup>

[표 3] 폐수, 상수(1+4) 희석 초기 농도

분석항목	단위	농도(상대표준편차)
BOD <sub>5</sub>	mg/L	1 901.3 (±15%)
CODmn	mg/L	1 738.9 (±25%)

[표 4] 폐수, 하수(1+4) 희석 초기 농도

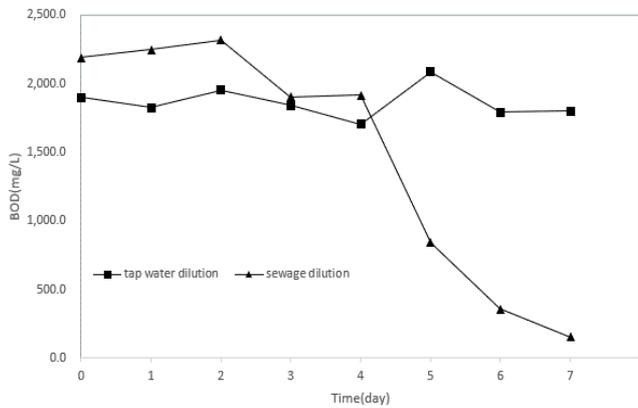
분석항목	단위	농도(상대표준편차)
BOD <sub>5</sub>	mg/L	2 190.0 (±15%)
CODmn	mg/L	2 094.8 (±25%)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 BOD<sub>5</sub> 제거

[그림 2]는 NTP를 적용하여 각각의 희석수의 7일간 농도 변화를 보여주는 그래프이다. 상수 희석수의 경우 초기 농도 1,901mg/L에서 7일간 NTP 적용 결과 1,800mg/L로 분석 오차 범위 내에서 제거효율이 나타나지 않았으나, 하수 희석수의 경우 초기 농도 2,190mg/L에서 5일간 NTP적용 결과 842mg/L, 7일

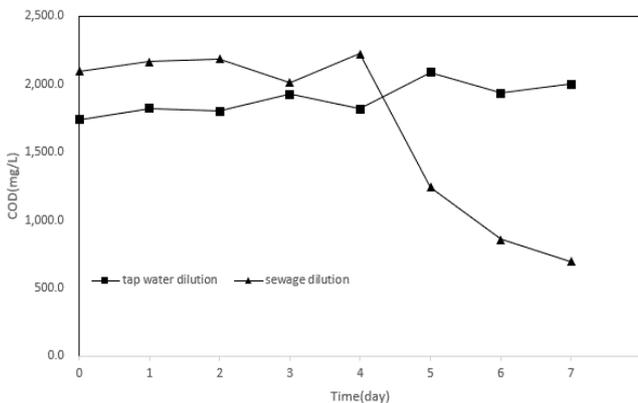
경과 후 154mg/L의 농도로 90% 이상의 제거효율을 얻었다. 이는 NTP 적용시 오염물질 제거율은 초기 농도와는 무관하며 NTP 산화반응에 촉매작용을 하는 물질이 상수에는 존재하지 않고 하수에는 존재하는 것으로 판단된다. NTP 산화반응 시간은 최소 5일 이상 반응시간이 필요하고 산화반응으로 제거된 것으로 보아 CO<sub>2</sub> 가스로 휘발된 것으로 보이며, 기존 처리방식인 생물학적 처리시 발생 되는 토목 구조물 설치 비용, 슬러지 처리비용 등의 비용 절감에도 많은 도움이 될 것으로 보인다.



[그림 2] BOD<sub>5</sub> 농도 변화

### 3.2 CODmn 제거

[그림 3]는 NTP를 적용하여 각각의 희석수의 7일간 농도 변화를 보여주는 그래프이다. 상수 희석수의 경우 초기 농도 1,738mg/L에서 7일간 NTP적용 결과 1,997mg/L로 분석 오차 범위 내에서 제거효율이 나타나지 않았으나, 하수 희석수의 경우 초기 농도 2,094mg/L에서 5일간 NTP적용 결과 1,241mg/L, 7일 경과 후 697mg/L의 농도로 65% 이상의 제거효율을 얻었다. 이번 결과 또한 BOD<sub>5</sub> 와 같은 결과를 보였으며 기존 처리방식인 화학적 처리시 발생 되는 구조물 설치 비용, 수처리약품 비용, 슬러지 처리비용 등의 비용 절감에도 많은 도움이 될 것으로 보인다.



[그림 3] CODmn 농도 변화

## 4. 결론

NTP에서 생성된 OH radical의 고농도 유기성 오염물질 산화반응에서 상수와 하수가 미치는 영향을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 하수를 희석한 실험에서 유기물질이 CO<sub>2</sub> 가스로 휘발되어 BOD<sub>5</sub> 농도는 154.2mg/L 제거효율 90% 이상, CODmn 농도는 697.6mg/L 제거효율 65% 이상 제거되는 것으로 사료된다.
- 2) 최초 오염물질의 농도와는 무관하며 상수 속에는 OH Radical 산화반응 촉매 역할을 할 물질이 포함되지 않았으며, 하수 속에는 OH Radical 산화반응의 촉매 역할을 하는 물질이 포함하고 있다고 판단된다.
- 3) NTP 적용 기간은 농도 변화가 4일 이후 부터 BOD<sub>5</sub> 60%이상, CODmn 40%이상 제거 효율을 보이며 6일까지 급격한 제거효율을 보여 4일 이상 6일 이하의 NTP적용 기간이 필요하다.
- 4) NTP 산화반응을 적용하면 고농도 유기성 오염물질이 CO<sub>2</sub> 가스로 대기 중으로 휘발되어 기존 처리 방식인 생물학적 처리 방법으로 발생 되는 과도한 토목 구조물 설치비용, 슬러지 처리비용 및 화학적처리 방법으로 발생 되는 수처리 약품비용, 슬러지 처리비용 등의 오염물질 처리비용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 향후 NTP 산화반응의 촉매 역할을 한 물질에 대한 정확한 규명이 필요하며, 이를 통하여 NTP 공법의 효율을 극대화할 수 있을 것으로 보인다.

### 참고문헌

- [1] Oller, I., Malato, S. and Sánchez-Pérez, J., Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination—a review. *Science of the total environment* 409(20), 4141~4166, 2011.
- [2] Kim, S. N., Effect of Operating Parameters on Hydrogen Peroxide Formation and RNO Removal, Jinju National University Graduate School of Environmental Engineering Master's Thesis, 2009.
- [3] Park S. C., Optimization of an advanced oxidation process using ultraviolet rays for water treatment, Hanyang University Graduate School of Engineering Mechanical Engineering Master's Thesis, 2016.

- [4] Hee-Jun Kim, Chan-Hee Won, Temperature and contact time of Glow-discharge non-thermal plasma for An advanced Oxidation of Wastewater, ivision of Civil, Environmental, Mineral Resource and Energy Engineering Dept. of Environmental Engineering, Soil Environment Research Center, Chonbuk National University, J. of the Korean Society for Environmental Technology Vol. 19, No. 2, April 2018, pp. 108~115
- [5] Rumi Park, Jae-Cheol Lee, In-Ho Lee, Hyun-Woo Kim, Nitrogen Removal Based on SCO/SCR Catalytic Reaction in Slaughterhouse Wastewater Treatment by Non-thermal Plasma, Chonbuk National University, Inc. Groon, Korean Society of Water and Wastewater, Korean Society on Water Environment, 2019, p.58
- [6] technical introduction, Groon Co., Ltd, 2018, p.17
- [7] Ministry of Enviroment, Standard Methods for Examination og water Quality. 2017.