

DOF(Dissolved Ozone Flotation) 시스템을 이용한 하수처리장 방류수의 고도처리에 대한 연구

Advanced Secondary Wastewater Treatment Using the DOF (Dissolved Ozone Flotation) System

이병호* · 김상희

Byoung Ho Lee* · Sang Hee Kim

울산대학교 건설환경공학부

(2005년 9월 2일 논문 접수; 2005년 12월 1일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The DOF (Dissolved Ozone Flotation) system was used to treat the effluent of the secondary wastewater treatment plant. The DOF system uses ozone instead of air, while DAF (Dissolved Air Flotation) uses air. Moreover, since the solubility of ozone is higher than air, the DOF system produces larger volume of micro-bubbles than the DAF system does. Thus, the DOF system performs better than the DAF system in floating ability. The DOF system could remove 70% of turbidity to an average of 0.59NTU in effluent from 2.31NTU in influent. The removal efficiency of absorbance measured with UV-254 in the effluent of the DOF system was 63%, while only 19% was removed by the DAF system. The DOF system removed 84% of the color from 25~26CU to 4CU, while DAF system removed 42% of the color to 15 CU. The COD_{Mn} removal efficiency of the DOF system was 34%, 6.8mg/l of effluent COD_{Mn} concentratin, while it was 20%, 8.3mg/L of effluent COD_{Mn} concentratin, to use the DAF system.

Microbial bacteria such as coliform bacteria, and heterotrophic bacteria were removed over 99% by the DOF system, and 42~45% by the DAF system. That is, Microbial bacteria were almost completely destroyed by the DOF system.

To sum up with, the DOF system was found to be very effective to treat effluent of the wastewater treatment plant.

Key words: DOF system, DAF system, ozone, secondary wastewater

주제어: 용존오존부상, 용존공기부상, 오존, 하수처리장 방류수

1. 서론

오존이 강력한 산화력을 가지고 있다는 것이 이미 알려져 있기 때문에 오존은 다양한 하수처리에 널리 응용되어 왔다. Amat 등은 오존이 제지산업폐수에 효과적인 것으로 주장하고 있으며, Andreozzi 등은 병원균의 제거에 대한 연구를 수행하였다. Wang 등은 펄프의 표백공정 폐수내에 들어 있는 폐놀류에서 염소를 제거하는 데 오존을 사용하였다. 또한 Saroj는 난분해성 자연유기물질을 오존과 미생물을 이용하여 분해하는 과정에서 색도와 COD, UV-254 흡광도의 제거에 효과가 있다고 발표하였다.

최근에는 미세기포를 이용한 DAF(Dissolved Air Flotation)기술이 발달하면서 DAF가 하수처리에도 많이 도입되고 있으며, DAF의 기능을 향상시키기 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 오존의 장점인 강력한 산화력을 부유물질의 우수한 제거기능을 가진 DAF에 도입하여 새로운 DOF(Dissolved Ozone Flotation) 시스템을 제작하였다. 제작한 DOF 시스템의 pilot plant를 운영 중인 하수처리장에 설치한 후, 하수 2차 처리시설의 방류수에 적용하였다. DOF가 가지고 있는 기능 중에서 DAF의 기능을 이용하여 방류수를 응집, 부상시켜 탁도와 인을 제거시키고, 오존의 산화력을 이용하여 UV-254 흡광도, 색도, COD_{Mn}, 대장균, 일반세균을 제거하고자 하였다. 따라서 DOF 시스템의 처리수를 분석하여 장치 질소를 제외한 하수의 고도처리에 이용할 수 있는지를 분석하였다.

또한, 본 논문에서는 주요한 변수들에서 처리율에 큰 변화가 없었기 때문에 오존이 들어가지 않은 DAF의 운전과 오존이 투입된 DOF의 운전에 대한 비교와 두 시스템의 처리수에 대한 연구에 초점을 맞추었다.

2. 연구방법

2.1. 실험 장치

하수처리장 방류수의 고도처리를 위해서 DOF 시스템을 제작하였다. DOF 시설은 200m³/day의 규모로 제작하였다. DOF 시설의 각 반응조별 규격은 다

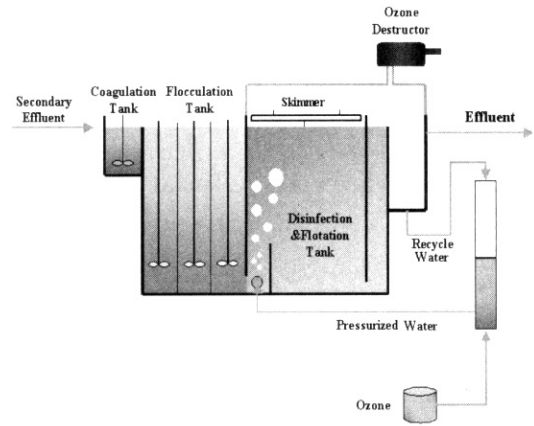


Fig. 1. Schematic diagram of DOF system.

음 Table 1에 나타내었다. 그리고 Fig. 1은 실험에 사용된 장치의 개략도이다.

2.1.1. 실험장치의 규격(Table 1)

Table 1. Specification of DOF system

Specification	Width (mm)	Length (mm)	Height (mm)
Rapid mixing tank	600	600	800
Flocculator	950	950	2,200
DOF flotation tank	950	1,800	2,200

2.1.2. 재료 및 특징

플랜트의 장치 중에서 오존과 직접 접촉하는 부분은 STS316을 사용하였으며, 그 외의 부분은 STS304를 사용하였다. 오존과 접촉하는 비금속성의 재료는 모두 테프론을 사용하여 부식을 방지하였다. 특히 오존이 외부로 유출되지 않도록 오존의 유입과 유출부분을 밀폐시켰다.

2.2. 분석방법

실험에 사용된 분석방법은 Standard Methods와 한국 공정시험법, 그리고 calibrated 측정기구를 사용하였다.

2.3. 실험조건 및 운전방법

실험은 2005년 1월 말부터 7월 말까지 약 6개월간 연속으로 운전하였다. 샘플링은 초기인 1월에는 대장균과 일반세균을 4회 나머지 항목은 6회 하였으며, 1

Table 2. Operating Conditions of DOF system

Parameter(unit)	Influent	Rapid mixing Tank	Floculator	DOF flotation Tank
Flow rate(m ³ /d)	187.8(160.3~218.3)			
HRT(min)	-	1.7(1.4~1.9)	28.6(24.4~33.2)	23.7(20.5~27.3)
Recycle(m ³ /d)	-	-	-	27.1(10.9~46.1)
Recycle Rate(%)	-	-	-	14.5(6.0~24.5)
Ozone Dose(mg/L)	-	-	-	2.5(2.0~5.0)

Table 3. Experimental results of Average Removals and Removal Rates by the DOF System and DAF system

Parameters	DAF influent	DAF effluent	DAF removal (%)	DOF influent	DOF effluent	DOF removal (%)
turbidity (NTU)	2.49	1.19	49.1	2.31	0.59	70.0
UV-254	0.155	0.126	18.9	0.139	0.052	63.2
COD _{Mn} (mg/L)	10.5	8.3	20.4	10.4	6.8	34.5
Color (CU)	26	15	42.6	25	4	84.1
T-P (mg/L)	0.72	0.18	75.4	0.85	0.15	83.1
Coliform bacteria (MPN/mL)	410	256	45.0	342	5	99.0
Heterotrophic bacteria (CFU/mL)	19,700	8,680	42.0	19,700	40	99.3

개월 후부터는 전 항목을 한 달에 1주일을 택하여 4 일 동안 샘플을 하였고 그중 하루는 DAF로 운전한 샘플을 채취하였다. Table 2에 실험변수들의 운전조건에 대해서 정리하였다.

2.4. 사용한 응집제

실험에 사용한 응집제는 10%의 Alum용액을 정량 펌프를 이용하여 12.9L/day로 급속혼화조에 주입시켰으며, 평균 주입농도는 6.9mg/L였다.

2.5. 실험 대상 원수

실험대상원수는 U시 소재의 H하수처리장의 2차 침전지 유출수를 사용하였으며, 이 유출수를 pump를 사용하여 일정 유량으로 흡입하여 DAF 및 DOF 시스템에 유입하였다.

3. 결과 및 토의

본 논문은 하수처리장의 방류수를 처리하기 위하여 DAF 기능과 오존의 산화기능을 도입한 DOF 시스템의 효과에 대한 연구를 수행한 결과이다. DAF 시스템의 기능을 이용하여 탁도와 인을 제거하고자 하였으며, 오존의 산화효과를 이용하여 UV-254 흡광도, COD_{Mn}, 색도, 대장균, 일반세균 등을 제거하고자 하였다.

Table 3은 이들 실험결과를 요약하여 나타낸 결과이고, Fig. 2~Fig. 8은 일일 실험자료이다.

3.1. 탁도

탁도는 DAF의 응집부상 기능을 이용한 처리이며, 운전기간 동안 1.0 이하를 유지하여 양호한 처리결과를 얻었다. 원수의 수질변화가 매우 심한 경우에도 처리수는 비교적 일관된 결과를 보여주고있다. 탁도의 DOF와 DAF의 처리결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 볼 수 있는 것과 같이 DOF처리수는 낮은 탁도를 일관되게 유지하고 있다. 반면 DAF는 처리수질의 일관성도 떨어지며 탁도도 DOF의 처리수질 보다 높게 나타나고 있다. 탁도 유발물질들은 응집과 부상에 의한 DAF의 기능을 이용하여 제거하기 위한 목적이었으나 이러한 목적을 오존이 향상시켜준 효과를 가져왔다. 이것은 오존이 분사되어 미세기포로 석출된 후 유입수와 섞일 때 유입수에 존재하는 친수성 유기물질들이나 철, 망간 등을 산화시켜 소수성물질로 변화시켰고, 산화되어 석출된 유기물질이나 철, 망간 등의 탁도 유발물질들은 수많은 미세기포 사이에서 부상하는 동안 기포와 함께 수면으로 부상되어 제거되었기 때문에 분석된다. 그러므로 오존이 탁도의 제거에도 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

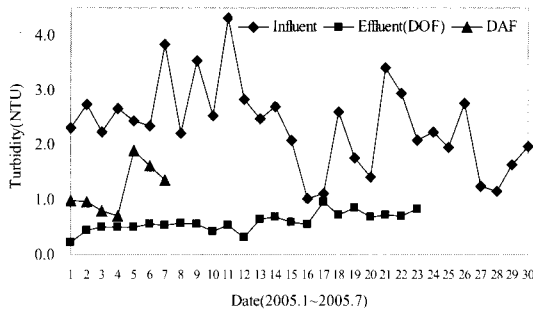


Fig. 2. Daily observation of influent and effluent turbidity through DOF and DAF system (ozone: average 2.5mg/l, recycle rate: average 14.5%, retention time: 23.7min).

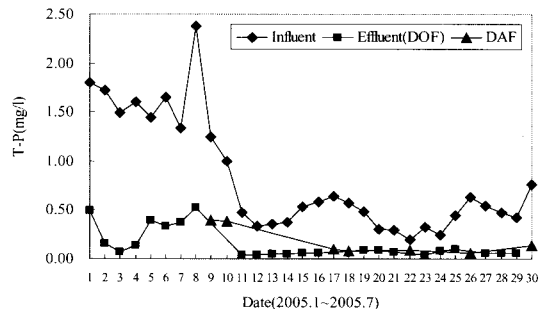


Fig. 3. Daily observation of influent and effluent T-P through DOF and DAF system (ozone: average 2.5mg/l, recycle rate: average 14.5%, retention time: 23.7min).

3. 2. T-P(총인)

질소와 인은 부영양화를 일으키는 주요한 영양물질이다. 그러나 DOF나 DAF 시스템의 어느 것으로도 질소의 제거가 거의 되지 않기 때문에 본 논문에서는 질소에 대한 토의를 제외를 하였다.

호수나 강에서 인이 부영양화의 제한 인자로 작용하는 경우가 많다. 그러므로 하수나 폐수를 고도 처리하여 방류하기 위해서는 인의 제거가 필요하다. DOF와 DAF의 시스템에 의한 인의 제거에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 총인도 응집에 참여하기 때문에 DAF의 기능을 이용하여 응집 부상 후 슬러지와 함께 제거시키고자 하였다.

대부분의 운전기간 동안 DOF나 DAF의 처리수에 인의 농도가 0.5mg/L 이하로 유지되었으며, DOF의 처리수가 평균 0.15mg/L였고 DAF의 처리수가 0.18mg/L로 처리되었다. 인은 응집과정에 참여하여 슬러지와 함께 제거되기 때문에 DOF 시스템과 DAF 시스템간의 처리효율엔 큰 차이가 없었다. 단지, 미세하나마 오존에 의한 응집효율의 향상으로 인하여 DOF에서 7~8% 정도로 약간 더 제거되었다. 미생물처리에 의해서 이와 같이 낮은 농도로 처리하는 것은 쉽지 않으며, 인을 제거하기 위하여 혐기와 호기 공정의 도입으로 처리조의 크기가 증가하게 되어 건설비의 증가로 이어진다. DOF 시스템을 도입할 경우 인의 처리에 대한 부담이 없기 때문에 미생물 처리에서 질소만 제거하면 되고, 질소의 제거도 쉬워지게 된다. 방류수의 인을 평균 0.15mg/L로 유지하면 방류수가 유입되는 하천이나 호수에 부영양화의 부담을 크게 낮출 수 있다.

3. 3. UV-254 Absorbance

2차 처리장에서 처리되지 않은 난분해성 유기물질들이 하천으로 방류된 후 자정작용 능력이 향상될 수 있는지 보기 위하여 UV-254 흡광도에 대한 측정을 하였다. 오존의 산화작용에 의해서 분자량이 큰 유기물질이 분자량이 작은 여러 개의 물질로 분해되면 흡광도가 줄어들기 때문이다. 이에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이것은 DOF의 오존에 의한 효과를 얻기 위한 것이다.

Fig. 4에 나타난 결과와 같이 오존을 기체로 사용한 DOF 시스템에 의한 처리와 공기를 기체로 사용한 DAF 시스템의 처리 결과를 비교해보면 매우 큰 차이가 나는 것을 볼 수 있다. DAF 시스템에 의한 감소는 유기물질중의 부유물질이 제거되기 때문에 나타난 현상이 가장 크고, DOF 시스템에 의한 결과는 DAF에서와 같이 부유물질에 의해서 일부 낮아지고, 대부분은 오존 산화에 의해서 고분자 유기물질이 저분자로 분해되어 낮아진 것으로 볼 수 있다. DOF 시스템에 의한 감소는 63%가 넘으며, DAF 시스템에 의한 감소는 19%에 불과하다.

DOF 시스템에 의한 UV-245 흡광도의 감소는 하수처리장에서 미생물에 의해 처리되지 못한 난분해성 유기물질이 분해된 것으로 DOF 시스템에서 방류된 후에도 자연미생물에 의해 제거될 가능성이 매우 높다는 것을 말해주는 것이다.

3. 4. COD_{Mn}

COD_{Mn}은 DOF의 기능 중에서 DAF의 기능을 이용하여 부유물질이 유발하는 COD_{Mn}의 제거와 오존

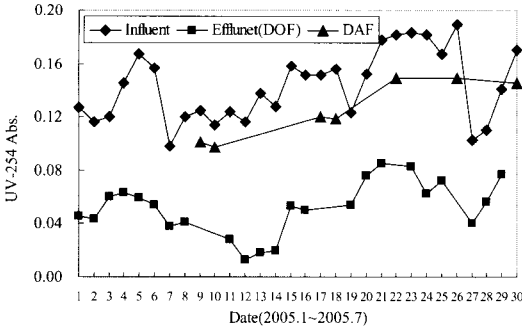


Fig. 4. Daily observation of influent and effluent UV-254 absorbance through DOF and DAF system (ozone: average 2.5mg/l, recycle rate: average 14.5%, retention time: 23.7min)

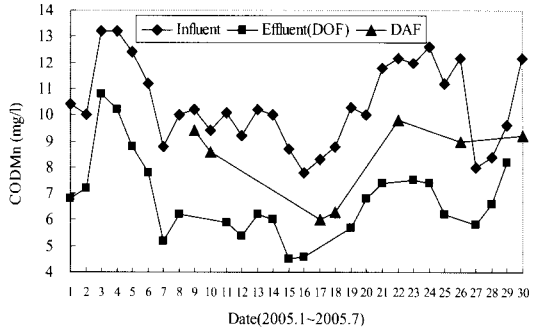


Fig. 5. Daily observation of influent and effluent COD_{Mn} through DOF and DAF system (ozone: average 2.5mg/l, recycle rate: average 14.5%, retention time: 23.7min).

의 산화력에 의한 제거의 효과를 얻기 위한 것이다. COD_{Mn}은 방류수 수질기준 항목으로 주요한 인자이다. COD_{Mn}의 처리결과를 Fig. 5에 나타내었다. COD_{Mn}의 DOF 시스템에 의한 처리는 유입수의 농도에 크게 영향을 받는 것을 Fig. 5에서 볼 수 있다. 유입수의 농도가 높을 때 처리수의 농도도 그에 비례해서 높아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 하수처리장의 방류수에 존재하는 유기물의 농도에 따라 오존에 의해 분해되거나 산화될 수 있는 함량의 비율이 비슷한 정도로 함유되어 있는 것을 말한다. 오존에 의해 COD_{Mn}이 낮아지는 이유는 하수처리장의 방류수에 존재하는 유기물, 철, 망간 등이 오존에 의해 산화되어 산소요구량이 낮아졌기 때문이다. DOF 시스템에 의해 제거된 COD_{Mn} 비율이 평균 34%로 방류수에 포함된 농도가 6.8mg/L인데 비해서, DAF 시스템에 의해서 제거된 비율이 20% 정도로 DAF의 방류수에 포함된 농도는 8.3mg/L로 평균 약 14% 정도 오존에 의해 더 제거가 되었다. DAF에 의해서도 부유물질과 철이나 일부의 망간이 제거되기 때문에, 난분해성이나 산화에 저항성이 있는 비교적 안정된 물질이 오존에 의해서 산화가 이루어지는 것으로 분석된다.

3.5. 색도

색도도 DAF의 기능을 이용하여 부유물질이 유발하는 색도와 오존의 산화력에 의한 제거의 효과를 얻기 위한 것이다.

하수나 폐수를 재활용할 때 가장 문제가 되는 것 중의 하나가 색도이다. 사용자의 견지에서는 물속에

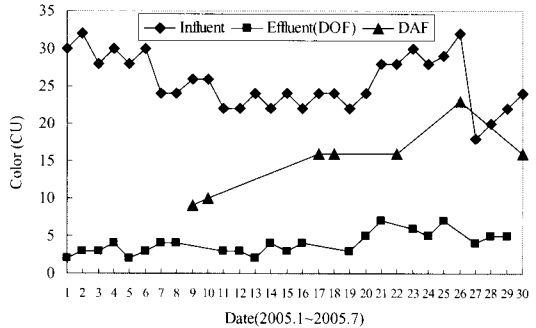


Fig. 6. Daily observation of influent and effluent color through DOF and DAF system (ozone: average 2.5mg/l, recycle rate: average 14.5%, retention time: 23.7min).

색도가 있으면 물의 청정도에 의심을 갖게 되어 사용을 꺼리게 된다. 실제로 색도 물질은 난분해성 물질이기 때문에 인체에 유입될 경우 배출이 잘되지 않기 때문에 인체에도 전혀 도움이 되지 않는 물질로 볼 수 있다. 따라서 하수나 폐수를 재활용하기 위해서는 색도의 제거가 선행되어야 한다.

오존의 산화에 의해서 가장 많이 제거되는 것 중의 하나가 색도이다. DOF 시스템과 DAF 시스템에 의한 색도의 제거에 대한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서와 같이 유입수의 색도는 15~35CU 사이에서 심한 변화가 있음에도 불구하고 DOF 시스템에 의한 처리수의 색도는 평균 84% 이상이 제거되어 대부분 5CU 이하로 유지되는 것을 볼 수 있다. 반면 DAF에 의한 색도의 제거는 평균 42%가 제거되어 평균으로는 15CU 정도를 유지했으나 제거된 색도의 변

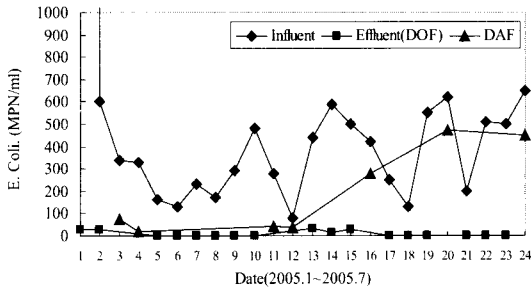


Fig. 7. Daily observation of influent and effluent coliform bacteria through DOF and DAF system (ozone: average 2.5mg/l, recycle rate: average 14.5%, retention time: 23.7min).

화가 매우 크게 나타나 신뢰도가 떨어졌다. 하수처리장의 방류수를 재활용할 경우 DOF 시스템에 의한 처리가 매우 효과적인 것을 볼 수 있다.

3.6. 대장균

대장균은 DOF의 오존에 의한 살균작용에 의한 처리를 이용하였다. 대장균은 인간의 건강과 직결되기 때문에 음용수 수질기준에서 엄격하게 적용하고 있는 항목이다. 하수나 폐수를 재활용하고자 할 때도 안전을 담보하기 위해 대장균을 규제하고 있다. 하수처리장의 방류수에 대한 대장균을 DOF와 DAF시스템에 의해서 처리된 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에서 볼 수 있는 것과 같이 대장균은 DOF 시스템의 운전기간 중 대부분의 시간 동안 99% 이상 제거되어 거의 완벽하게 사멸되었다. 오존 농도가 약 3.0mg/L 이하에서만 약간이 검출되었을 뿐 오존이 3.0mg/L 이상 투입된 경우 대장균은 거의 검출되지 않았다. 반면 DAF 시스템에 의한 처리수에서는 평균 45%만 제거되어 평균 농도가 256MPN/ml의 농도로 DOF 시스템과 큰 대조를 이룬다. 오존이 낮은 농도에서도 미생물에 대하여 강력한 살균 역할을 하는 것으로 나타나 하수나 폐수의 재활용을 할 때 오존을 도입한 DOF 시스템이 효과적인 것으로 분석된다.

3.7. 일반세균

일반세균도 오존의 산화에 의한 제거효과를 이용하였다.

본 연구 대상 하수처리장의 방류수는 H강으로 방류되어 강의 실질적인 유지용수가 되고 있다. 강의 유지용수 뿐 아니라 하류지역의 농업용수로도 사용되

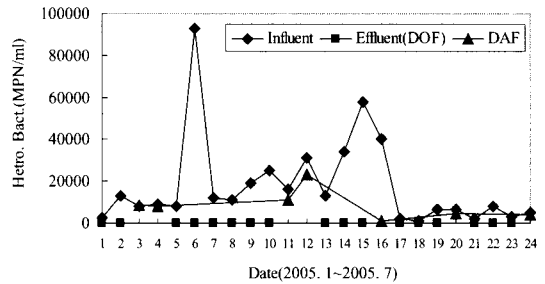


Fig. 8. Daily observation of influent and effluent heterotrophic bacteria through DOF and DAF system (ozone: average 2.5mg/l, recycle rate: average 14.5%, retention time: 23.7min).

고 있다. 그런데 최근 하류지역 주민들이 유지용수로 사용되던 H 하수처리장의 방류수를 H강이 아닌 다른 곳으로 돌려 달라는 민원이 제기되었다. 주민들이 농업활동기간에 피부병 등의 피해를 보고 있다는 것이었다. 이러한 민원을 방지하기 위해선 방류수에 포함된 미생물의 제거가 필수적이라 할 수 있다.

대장균이 모든 미생물을 대표할 수 없기 때문에 종속미생물인 Heterotrophic bacteria에 대한 측정을 동시에 하고 있다. 따라서 DOF 시스템과 DAF 시스템에 의한 H처리장의 방류수에 포함된 Heterotrophic bacteria의 처리 현황을 Fig. 8에 정리하였다.

DOF 시스템에 의한 Heterotrophic bacteria는 99% 이상이 제거되어 평균 40MPN/ml이 검출되었다. 반면 DAF에 의한 제거는 평균 42%가 제거되어 800MPN/ml 이상이 검출되어 DOF 시스템에 의한 처리수와 대조를 이룬다. 음용수의 수질기준이 100MPN/ml인 것과 비교하면 DOF 시스템에 의한 살균효과가 매우 큰 것을 알 수 있다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 DOF 시스템의 오존에 의한 처리수질은 매우 안정적으로 낮게 검출되었다.

3.8. 종합토의

DOF 시스템과 DAF 시스템에 의한 평균 제거효율을 Table 2에 정리하였다. Table 2에서 DAF나 DOF의 유입수는 H하수처리장의 방류수에 해당된다.

대부분의 주요한 수질인들의 처리에서 DOF 시스템에 의한 처리와 DAF 시스템에 의한 처리에 현저한 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 특히 오존의 영향을 받는 UV-254 흡광도, 색도, 미생물 등의 처리에서 2배

이상의 처리효율을 나타내었다. 그 외의 탁도, COD_{Mn}, T-P의 제거에서 조차 DOF 시스템에 의한 처리효율이 높게 나타났는데 이것은 오존의 강력한 산화력에 의해서 친수성 물질이 산화되어 이온성을 잃고 석출되는 과정에서 소수성으로 변화되어 제거가 된 것이 주된 원인으로 분석된다.

또한, 오존의 물에 대한 용해도가 공기보다 높기 때문에 가압탱크에서 용해된 오존이 부상조에서 석출될 때 더 많은 기포를 발생시켜 부상능력을 향상시킨 것도 주요한 요인으로 분석된다.

오존의 물에 대한 용해도는 20°C에서 0.57g/L로 산소의 수배~10배 정도 크기 때문에 4기압 이상에서 운전되는 DOF의 가압탱크에서는 공기보다 훨씬 많은 양의 오존기체가 용해된다. 본 연구에서 사용한 오존의 양은 전체 기체의 부피 중에 10% 정도이고 90%가 산소이다. 공기의 구성성분이 질소와 산소로 이루어진 것을 감안하면, 질소의 용해도 보다는 산소의 용해도가 크기 때문에 본 연구에 사용한 DOF 시스템이 오존과 산소가 섞인 기체를 사용하였기 때문에 공기를 사용한 DAF보다 훨씬 많은 기체의 양이 용해될 수 있는 것을 알 수 있다. 따라서 고기압에서 대기압으로 노출될 때 용해도가 큰 물질이 석출되는 양이 많아지게 된다. 정확한 기체의 양과 사용기체별 발생 기포량에 대해서는 추가적인 연구가 이루어져야 한다. 오존의 산화에 의해서 처리수 중에 함유된 물질들이 석출과정도 추가적인 연구가 필요하다.

DOF에서 발생되는 많은 기체의 양은 오존에 의해서 응집이 향상된 물질을 보다 효율적으로 수면으로 부상시키게 된다. 따라서 DOF의 처리효율이 오존의 산화력과 많은 미세기포의 발생에 의해 DAF의 처리 효율 보다 높게 나타난 것으로 분석된다.

4. 결 론

하수처리장의 방류수에 대한 처리효과를 높이기 위하여 DOF(Dissolved Ozone Flotation) 시스템을 적용하였고, 이에 대한 결과를 DAF(Dissolved Air Flotation) 시스템의 처리 결과와 비교 검토하였다.

1) DOF 시스템에 의한 탁도와 인의 제거효율은 평균 70%와 83%로 처리수에서 0.59NTU와 0.15 mg/L의 양호한 결과를 얻었다. 이에 비해 DAF 시스

템에 의한 처리효율과 농도는 49%와 75%로 1.19NTU와 0.18mg/L였다.

2) UV-254흡광도의 처리는 DOF 시스템에 의한 처리가 DAF 처리에 의한 효율 보다 2배 이상 높았다. UV-254 흡광도는 DOF에서 63%가 처리된 데 비해서 DAF에서는 19% 정도가 처리되었다.

3) 색도는 원수에서 25~26CU로 유입된 후 DOF에 의해 평균 4CU로 처리된 반면 DAF에 의해서는 15CU로 처리되어 큰 차이를 보였다.

4) COD_{Mn}의 처리도 DOF의 처리효율이 약간 높아서 34% 정도 처리되어 방류수에서 6.8mg/L를 나타낸 반면, DAF에서는 20%가 처리되어 평균 8.3 mg/L를 보였다.

5) 미생물처리에서는 큰 차이를 나타내었는데 DOF의 처리결과가 대장균과 일반세균에서 99% 이상이 처리되어 평균 5MPN/ml와 40MPN/ml 처리된 데 반해서, DAF의 처리결과는 45%와 42%가 처리되어 평균 256MPN/ml와 8, 6, 80MPN/ml의 결과를 얻었다.

따라서 하수처리장의 방류수를 고도처리하기 위해서 DOF 시스템이 매우 효율적인 것으로 밝혀졌으며, 그 이유는 DOF에서 사용하는 오존기체의 강력한 산화력과 오존과 산소의 높은 용해도로 인해 많은 양의 미세기포를 제공하기 때문으로 분석된다.

참고문헌

- 강준원, 구자용, 최승일, 정재춘, 육운수 공역 (2004) 오존을 이용한 수처리 기술. 동화기술.
- 곽동희, 김성진, 임영환 (2004) 용존공기부상(DAF) 공정을 이용한 생물학적 플록의 부상분리. *상하수도학회지*, 18(5), pp. 649-655.
- 독고석, 한무영, 박중현 (1998) 용존공기부상법(DAF)에서 미세기포의 제타전위측정. *상하수도학회지*, 12(4), pp. 53-58.
- 독고석, 한무영, 박중현, 남기진 (1999) 용존공기부상법(DAF)에서 미세기포와 입자간 충돌이론의 실험적 증명. *한국물환경학회지*, 15(2), pp. 185-192.
- A.M. Amat, A. Arques, M.A. Miranda, and Lopez (2005) Use of ozone and/or UV in treatment of effluents from board paper industry. *Chemosphere* 60, pp. 1111-1117.
- Devendra P. Saroj, Arun Kumar, Purnendu Bese, Vinod Tare, and Yashodhan Dhovpavkar (2005) Mineralization of Some

- Natural Refractory Organic Compounds by Biodegradation and Ozonation. *Water Research* **39**, pp. 1921-1933.
- HPHA, AWWA, WPCF (1989) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th edition.
- Roberto Andreozzi, Marisa Canterino, Raffaele Marotta, and Nicklas Paxeus (2005) Antibiotic Removal from Wastewater: the ozonation of amoxicillin. *Jour. of Hazardous Materials* **122**, pp 243-250.
- Rui Wang, Chen-Loung Chen, and Josef S. Gratzl (2005) Dechlorination of Chlorophenols Found in Pulp Bleach Plant E-1 Effluents by Advanced Oxidation Process. *Bioresource Technology* **96**, pp 897-906.