

AOF공정 중 응집제와 오존 농도가 가축분뇨 처리효율에 미치는 영향

Effects of Coagulants and Ozone Concentration on the Livestock Manure Treatment Efficiency of AOF Process

정승철(Sung-Chol Jeong)¹, 윤 린(Rin Yun)^{2*}

¹한국 수자원공사, ²한밭대학교 기계공학과

¹Korea Water Resources Corporation, Geoje-Si, 53267, Korea

²Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea

(Received May 17, 2016; revision received July 6, 2016; Accepted: July 11, 2016)

Abstract The efficiency of manure treatment was investigated in terms of the pH, BOD, COD, SS, T-N and TP with a variation in the injection amount of PAC, polymer and ozone. The wastewater flow rate to the AOF is of 7.4 m³/hr with a reaction time of 30 minutes. The amount of PAC and polymer changed by 30, 35, 40 ml/min, and 30, 40, 50 ml/min, respectively. The amount of ozone injected varied from 110, 125, and 150 kg-O₃/hr. The optimum manure treatment performance was found for a PAC of 35 ml/min for the COD and SS, with polymer of 30 ml/min, and ozone injection of 150 kg-O₃/hr. A substantially optimum dose for each PAC, polymer, and ozone was also found to exist.

Key words AOF Process(고도산화부상분리 공정), Coagulants(응집제), Ozone concentration(오존 농도), Livestock manure treatment(분뇨처리), Water treatment(수처리)

† Corresponding author, E-mail: yunrin@hanbat.ac.kr

기호설명

AOF : 고도산화부상분리
BCS : 접촉산화 연속회분식 반응시스템
BOD : 생물학적 산소 요구량 [mg/l]
COD : 화학적 산소 요구량 [mg/l]
DAF : 용존 공기 부상
PAC : 응집제
pH : 수소이온농도
SBR : 연속회분식,
SS : 부유물질 [mg/l]
T-N : 총 질소 [mg/l]
T-P : 총 인 [mg/l]

1. 서 론

산업화가 고도로 진행되고 식생활의 변화에 따라 육류 소비가 증가하여 가축분뇨의 발생량과 농가시설이 크게 증가하고 있으며, 단위농가별 사육규모 또한 점차 대형화 되는 추세이다. 가축분뇨는 오염 부하량이

매우 높으며 생물학적 난분해성 유기물을 다량함유하고 있어 현재 처리하기 어려운 폐수 중의 하나이다. 이러한 가축분뇨를 처리하기 위해서는 생물학적 처리와 고도처리를 혼합해 오염농도를 저감시키는 새로운 연구가 활발히 진행 중에 있다.

기존연구로서 Kim⁽¹⁾은 오존 주입률에 따른 pH변화를 조사한 결과 pH에는 큰 변화를 나타내지 못했으며, 부유물질의 농도변화는 오존 주입량과 비례하여 처리량, 처리율이 향상되어지는 것을 보였다. Kim⁽²⁾은 응집제투입 위치별 최적응집제 및 주입량 선정에 있어서, T-P (Total Phosphorus) 처리효율 향상을 위한 최적의 응집제는 AI계 응집제라고 판단하였다. 최적의 주입위치는 2차 침전 유출수이지만 유입수에 응집제를 적용하는 경우 20% 가량의 T-P 처리효율을 기대할 수 있으며, 유기물 처리율이 매우 높다는 것을 나타냈다. Kang⁽³⁾은 오존/ DAF(Dissolved Air Flotation) 공정의 적용성에 관하여 평가하였으며, 최적의 정수처리 효율을 달성하기 위한 기초연구를 수행하였다. 오존 주입 농도를 0.5, 1.2, 1.5 mg/l로 조절하여 오존 부상 실험을 수행한 결과 유기물 제어를 위한 최적의

오존 주입 농도는 1.2 mg/l인 것으로 판단하였다. Kim⁽⁴⁾은 생물학적 난분성인 유기오염물질을 효과적으로 처리하기 위해 최적운전 조건을 연구하였으며, 그 결과 오존 변화량에 따른 유기물질의 처리효율은 UV단독으로 사용할 때보다 오존과 병행하여 사용할 때 BOD(Biochemical Oxygen Demand) 처리율은 48.5%, COD(Chemical Oxygen Demand) 처리량은 43.4% 증가된 것을 알 수 있었다. Song⁽⁵⁾은 톨루엔, 벤젠, 트리클로로에탄, 트리트리올로 에틸렌 등 유기 독성물질이면서 분해가 어려운 물질들을 접촉시간을 달리하여 처리효율 향상정도를 연구하였으며, 오존 처리 후 난분해성 물질의 화학적 변화를 분석한 결과 10분에서는 15종으로 60분 이후에는 13종으로 감소하여 오존 처리시간이 길수록 난분해성물질의 처리에 효과가 있는 것으로 나타났다.

기존 연구들을 살펴보면 오존 주입량 변화에 따른 효과적인 유기물 처리 연구는 다양하게 이루어지고 있지만 응집제와 오존 주입량에 따른 처리효율에 관한 기존 연구는 아직까지 고찰이 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 가축분뇨처리의 4가지 형태 중 정화처리 방법인 Fig. 1의 물리 화학적 방법이 병행된 생물학적 처리 방법을 택하였고, SBR(Sequence Bio Reactor)계열의 BCS (Bio-Ceramic SBR)공법으로 실험을 한정하였으며, 그 중 후처리 방법에 속하는 고도산화부상분리(AOF, Advanced Oxidation Flotation)설비를 활용하여 가축분뇨처리 시 응집제와 오존이 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다. 다양한 운전조건에서 고도산화부상분리설비(AOF)의 성

능을 분석하고, 응집제와 오존 주입량의 최적화를 수행함으로써 설비의 개선방향을 마련하고자 한다.

2. 연구방법

본 실험은 설계용량인 하루 당 105 m³의 유입수를 전량 처리하면서 진행하였다. 전처리시설인 BCS 반응조의 처리수 유출장치에 의해 BCS 처리수조로 유입된 처리수는 폐수의 부패 및 침전방지를 위하여 BCS 처리수 교반기를 설치하여 교반하였으며, BCS 처리수조 이송펌프에 의해 AOF 반응조설비로 이송된다. AOF 반응조설비의약품 주입설비로는 폴리염화알루미늄(PAC, Poly Aluminum Chloride), 폴리머(Polymer), 거품제거제 주입설비가 설치되었다. Fig. 2와 같이 AOF 반응조의 구성요소는 혼화조, 부상슬러지 스크레퍼, 처리수 홀딩탱크, 오존 접촉설비, UV설비 및 종합제어반 등으로 구성된다. 혼화조는 약품과 폐수의 적절한 혼합과 응집을 위하여 유입부에 설치한다. 부상분리조의 역할은 용존공기 부상시스템으로써 액상으로부터 부유고형물과 분산액을 분리함으로써 이루어진다. 생물학적 처리와 화학적 처리를 통과한 폐수로부터 안정적 수질을 얻기 위하여 오존을 이용하여 폐수 속에 잔류하고 있는 유기물 및 무기물 등을 처리한다. 오존 용해수를 미세기포상태로 폐수에 주입함으로써 부상하는 기포가 부유물입자에 흡착되거나 부유물에 갇혀서 기포와 부유물 혼합체의 부력에 의하여 부상하여 처리된다. 부상된 입자는 상부에 설치된 부상슬러지 스크레퍼에 의해 수집되어 슬러지 저류조로 이송되고, 분리된 처리수는 처리수 홀딩탱크를 거쳐 AOF 처리수조로 이송된다. 이 공정에서는 난분해성 COD 및 색도 유발물질의 오존/UV에 의한 고도산화와 난분해성 COD의 생분해성 COD로의 전환, 또한 잔류병원성 미생물 및 대장균 사멸의 역할을 한다.

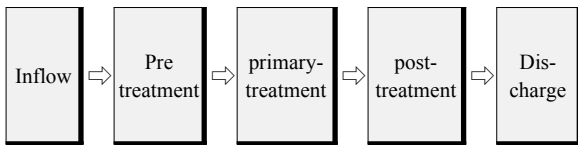


Fig. 1 Process diagram in a livestock manure treatment facility.

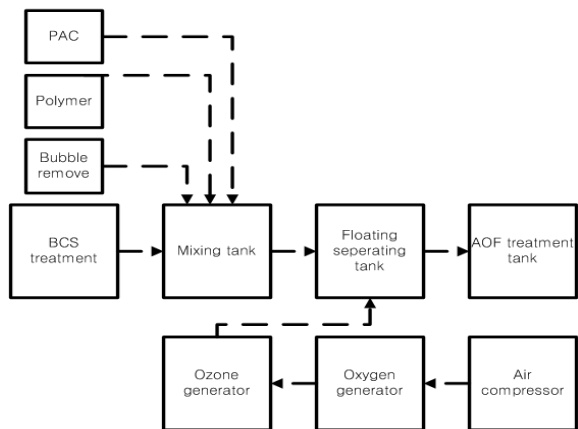


Fig. 2 Configuration of AOF facility.

2.1 실험방법 및 결과처리

본 연구에 사용된 가축분뇨는 세종시 내에 위치한 등곡 가축분뇨공공처리시설 BCS 처리수조 내 폐수를 대상으로 하였다. 가축분뇨의 성상은 Table 1과 같다. 주처리시설인 BCS 반응조에서는 유입수 BOD 82.09%, COD 85.04%, SS(Suspended Solid) 23.35%, T-N 92.17% T-P 20%의 유해성분이 처리된 후 BCS 처리수조로 유출된다. BCS 처리수조는 처리수가 저류되는 시설로서 수조 내에는 음향공진식 산기관을 설치하여 폐수의 부패방지 및 침전방지를 위해 폭기하며 BCS 처리수조 이송펌프에 의해 AOF 반응조로 이송된다. Table 2는 BOD, COD_{cr}, SS, T-N, T-P, pH 등 세부 측정항목들과 측정장비 및 측정오차를 정리하여 나타낸 것이다. 식(1)은 폐수처리 후 수질

Table 1 Constitutions of Livestock manure at Deunggk public Livestock manure treatment plant(mg/l)

Parameters	Inflow water for BCS treatment (monthly average)
pH	8.9
BOD	250
COD	1,230
SS	1,630
T-N	120.2
T-P	56.2

Table 2 Analysis methods for water quality

Parameters	Analysis method	Uncertainty
pH	pH Meter (Thermo Orion model 720 A+)	-
SS	Glass Fiber Filter, Dried at 103~105°C	-
BOD	Korea Standard method	-
COD _{cr}	HACH DR5000	±3%
T-N	HACH DR5000	±3%
T-P	HACH DR5000	±3%

Table 3 Test case with injection amount of PAC, Polymer, and Ozone

Cases	Inflow rate (m ³ /hr)	PAC (ml/min)	Polymer (ml/min)	Ozone (kg-O ₃ /hr)
Case 1-1		30	40	110
Case 1-2		35	40	110
Case 1-3		40	40	110
Case 2-1		35	30	110
Case 2-2	7.4	35	40	110
Case 2-3		35	50	110
Case 3-1		35	40	110
Case 3-2		35	40	125
Case 3-3		35	40	150

변화를 나타내기 위한 처리효율의 정의를 나타낸다.

$$\text{처리효율(\%)} = \frac{(\text{유입수질} - \text{유출수질})}{\text{유입수질}} \times 100 \quad (1)$$

Table 3은 본 연구에서 수행한 총 9가지의 실험경우를 나타낸다. 폴리염화알루미늄(PAC)은 pH 4.8, 비중 1.20, 농도 17%를 물과 희석하지 않고 사용하였으며, 폴리머는 콜로이드 입자의 전하를 중화, 집합시켜 응집작용을 하는 응집제로서 폴리머의 규격은 양이온성으로 pH 4.4, 점도 690, 농도 46.9%를 물과 희석하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 응집제 주입에 따른 수질 변화

3.1.1 PAC 주입에 따른 수질 변화

Fig. 3은 응집제를 통한 응집이론을 나타낸다. 물속에 있는 부유물질은 거의 대부분이 음전하를 띠기 때문에 서로 반발하게 되어 자연적으로 응집되기 어려워 입자의 표면전하를 양전하 금속으로 중성화 시켜주면 입자가 전하적으로 중성을 띄게 되어 입자간 상호인력이 작용, 플록을 성장시킨다. PAC 주입량 조절에 따른 처리효율 변화를 고찰하고자 PAC 이외의 폴리머와 오존 주입량을 고정하고 PAC 주입량을 30, 35, 40 ml/min로 각각 달리 주입하였으며, 폐수와의 접촉시간은 30분으로 한정하여 실험을 진행하였다. Fig. 4는 PAC 주입량에 따른 처리효율을 나타낸다. PAC 투입량의 증가는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 부유물질과 접촉기회를 증대시켜 보다 활발하게 플록형성에 기여하게 되므로 모든 처리인자의 처리효율을 상승시키는 방향으로 작용하게 된다. 대표적으로 PAC 주입량 35 ml/min 조건에서 pH 8.9, BOD 86.3%, COD 90.2%, T-N 67.8%, T-P 99.1%로 나타났다. PAC 주입량 변화 실험을 통해 확인한 수질

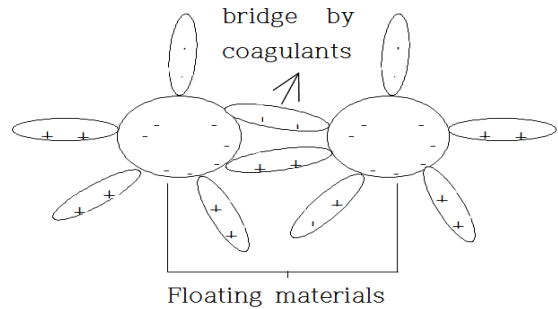


Fig. 3 Concept of agglomeration.

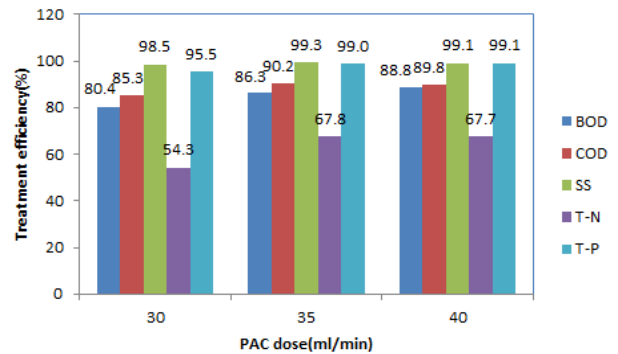


Fig. 4 Discharge water treatment efficiency with injection amount of PAC.

분석결과는 주입량은 따라 차이는 있지만, 모든 항목에서 높은 처리효율을 보이고 있다. 특히 SS 및 T-P 항목에 대해서는 99%의 효율을 보이고 있다. T-N의 경우 부상분리를 통해 처리되는 SS 물질에 의하여 처리효율이 나타나기 때문에 가장 낮은 처리효율을 보이지만, 60% 이상의 처리효율을 보일 수 있는 것으로 분석되었다. BOD 및 COD의 경우 가축분뇨 특성상 난분해성 유기물을 많이 포함하고 있으나, AOF공정 내에서 오존과 접촉하여 분해 가능한 유기물로 변환되며 부상분리를 통해 처리되므로 90%에 가까운 처리효율을 보이고 있다. PAC의 적정투입율을 결정하는 요소 중 가장 중요한 것이 pH 조절과 폴리머 투입전의 플록 형성을 진행하는 것으로 본 실험결과 COD_{cr}, SS, 그리고 T-N에서 PAC 주입량 35 ml/min일 때 가장 높은 처리효율을 보였다. 다만, COD_{cr}, T-N, T-P의 측정기기인 Hach DR 5000의 오차율은 ±3%로서 PAC 투입량 40 ml/min의 처리율과 비교할 때 COD_{cr}, T-N의 처리효율은 오차범위를 감안하면 그 차이는 크지 않다.

3.1.2 폴리머 주입에 따른 수질변화

폴리머 주입량 조절에 따른 처리효율 변화를 관찰하고자 폴리머 이외의 PAC와 오존 주입량을 고정하고 폴리머 주입량을 30, 40, 50 ml/min각 달리 주입하였다. Fig. 5와 같이 대표적으로 30 ml/min 조건에서 pH 4.9, BOD 87.2%, COD 89.7%, SS 99.1%, T-N 70.7%, T-P 70.7%, T-P 99.1%의 처리효율을 나타냈다. 폴리머 주입량 증가에 따른 수질분석 결과 T-N을 제외한 BOD, COD, SS, T-P의 처리율도 모두 증가하였으나 35 ml/min과 40 ml/min의 경우 증가율 차이가 크지 않았다. 특히, T-N은 일반적으로 응집과정에서의 처리대상으로 보지 않고 AOF 전공정인 BCS 반응조와 DBF 반응조공정, 즉 생물학적 처리공정에서 대부분 처리되므로 폴리머 차등 주입에 대한 처리효율이 다른 요소들과는 다른 경

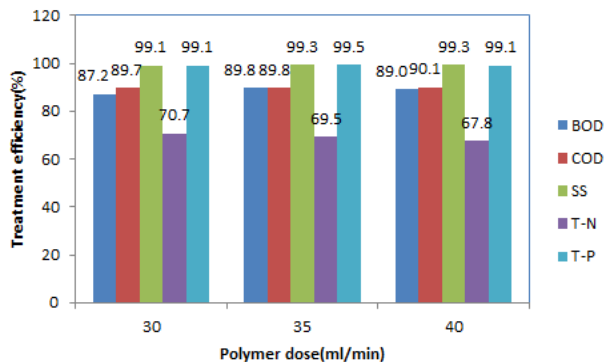


Fig. 5 Discharge water treatment efficiency with injection amount of polymer.

향을 나타냈다. 폴리머의 주된 작용은 응집보조제로서 플록 형성에 주요 원인물질로 작용하지만 폴리머 자체가 처리인자로서 작용하는 것이 아닌 PAC와 연계되어 처리효율을 상승시키는 보조제로서의 역할이 더 크게 작용하는 것으로 판단된다.

3.2 오존 농도변화에 따른 수질변화

오존 주입량 조절에 따른 처리효율 변화를 관찰하고자 유입량과 응집제 양은 고정하고 오존의 주입량을 110, 125, 150 kg-O₃/hr으로 각각 달리 주입하였으며, 폐수의 접촉시간은 30분으로 한정하여 실험을 진행하였다. Fig. 6은 오존 주입량에 따른 BOD, COD, SS, T-N, 그리고 T-P의 처리효율을 나타낸다. 주입량 변화에 따라서 다른 항목들은 많은 차이를 보이지 않았으나, COD의 경우 150 kg-O₃/hr의 오존을 주입하였을 때 가장 높은 처리 효율을 보였다. 오존의 분해 체제에서 간접반응은 유기물과의 반응에 앞서 자기분해 되는데 이때 생성된 OH라디칼과 같은 오존 분해 중간 생성체가 중요한 산화제가 되어 유기물과 반응하게 된다. 가축분뇨 처리에 오존의 이용은 오존의 간접반응의 결과로 OH라디칼, 즉 자유 라디칼을 다량 생성시켜서 난분해성 유기물을 생분해성 유기물로 전환하는 역할을 하여 오존 주입량을 높였을 때 COD의 처리효율이 특히 높아지는 것으로 판단된다. 그리고 COD를 제외한 그 밖의 분석항목에서 큰 변화를 보이지 않았으며, 오존 주입량 증가에 따라 화학적 분해 가능한 유기물이 산화되면서 COD가 감소하는 것을 알 수 있었다.

3.3 AOF설비의 최적화

AOF공정의 최적 운영을 위한 실험결과 유입원수의 변화에 따라 차이가 발생할 수 있지만 PAC 35 ml/min, 폴리머 40 ml/min 그리고 오존 주입량 150 kg-O₃/hr으로

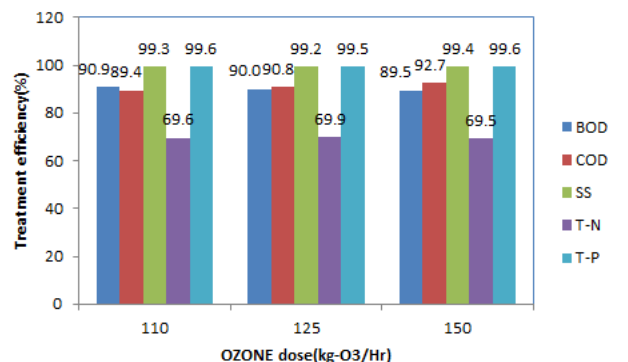


Fig. 6 Discharge water treatment efficiency with injection amount of ozone.

운전할 때, 처리효율이 가장 높은 것으로 분석되었다. 이를 위해서는 유입유량이 일정하게 유입되어야 할 것이며, PAC 주입을 통한 응집조건 최적화 확인을 위해서 약품 혼합조에서 pH를 4.9정도로 유지시키며 운전될 수 있도록 하여야 할 것이다. 오존의 경우 수중에 부유물질(SS)이 있을 때는 처리효율이 저하되므로 최적 응집조건을 유지시켜 부상분리를 통해 부유물질을 처리함으로써 전체적인 AOF 처리효율을 높일 수 있을 것이다. 경제적인 측면을 고려할 때 폴리머는 높은 효율을 보인 주입량 40 ml/min와 30 ml/min을 비교할 때 pH는 4.9로 동일하고 BOD 5 mg/l, COD 0 mg/l, SS 4 mg/l, T-N-2 mg/l, T-P 0.2 mg/l의 근소한 차이로서 주입량 30 ml/min을 선택하는 것이 유리한 것으로 판단된다. 오존 투입량의 경우 150 kg-O₃/hr, 125 kg-O₃/hr, 110 kg-O₃/hr를 각각 비교하면 pH는 4.9로 같으며, BOD는 110 kg-O₃/hr 일 때 3mg/l의 차이를 보였으며, COD의 처리는 40 mg/l로서 큰 차이를 보이고 있다. SS는 2 mg/l, T-N 1 mg/l, T-P 0.1 mg/l의 처리 차이로 오존 주입량은 150 kg-O₃/hr를 선택하는 것이 바람직해 보인다. 실질적으로 각 약품에 대해서는 최적주입량이 존재함을 발견하였으며 특히 폴리머 같은 경우에는 일정량 이상으로 주입한 경우에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 관찰되니 실제 사업장마다 적용하는 시스템이 다르므로 그 한계치 값을 찾아서 적용하는 것이 중요하다.

4. 결 론

- (1) AOF 설비에 사용되는 응집제로는 PAC와 폴리머가 이용되었으며, 가축분뇨 처리 시설에서 생물학적 처리 후 잔류된 용존성 인을 처리하기 위하여 PAC를 이용한 경우 30~40 ml/min에서 95.5%~99.1%의 TP 처리효율을 보였다
- (2) 폴리머 주입량을 30에서 50 ml/min로 증가 시 평균 BOD 89%, COD 90%, SS 99%, TN 69%, TP 99%의 처리효율을 보였으며, 다른 수질항목에 비해 SS와 TP의 처리효율이 99%로 높게 상승하였다.

- (3) AOF 설비의 오존 주입량 변화 시 원수의 유기물을 처리하기 위해 110에서 150 kg-O₃/hr의 주입량으로 운영하여 평균 BOD 90.2%, COD 91%, SS 99.3%, TN 69.7%, TP 99.6%의 처리성능을 보였다. 특히 COD의 경우 오존 주입률에 따라 처리효율이 향상되어 지는 것을 알 수 있었다.
- (4) 실험을 통해 얻어진 각 약품 및 오전에 대한 주입량은 PAC 30 ml/min, 폴리머 40 ml/min, 오존 150 kg-O₃/hr으로 주입할 때 가장 최적의 유기물 처리효율을 보였다. 하지만 폴리머의 경우 30 ml/min와 40 ml/min의 주입했을 때 결과의 차이가 미미하므로 경제적인 측면을 고려할 때 30 ml/min로 주입하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- (5) 각 약품에 대해서는 최적주입량이 존재함을 발견하였으며 특히 폴리머 같은 경우에는 일정량 이상으로 주입한 경우에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 관찰되므로 실제 사업장마다 적용하는 시스템이 다르므로 그 한계치 값을 찾아서 적용하는 것이 중요하다.

References

1. Kim, Y. J., 2006, Sludge Reduction using Ozone and Micro-bubble Apparatus, Master Thesis, Yeungnam University.
2. Kim, J. H., 2011, Coagulation Process to Enhance Phosphorus Removal Rate of Secondary Effluent from Waste water Treatment Plant, Master Thesis, KyungHee University.
3. Kang, T. H., 2005, Study on the application of the Ozone/DAF(Ozoflotation) process for drinking water treatment : pilot plant study, Master thesis, Yonsei University.
4. Kim, S. G., 2001, Treatment of recalcitrant organics in food-processing wastewater by UV/O₃/H₂O₂ oxidation, Master thesis, Hanyang University.
5. Song, Y. S., 2007, "Study on the ozonization of non-degradable substances in landfill leachate, Master's thesis, Hanbat National University Graduate School of Industry.