Journal of Environmental Science International
24(1); 73~79; January 2015

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2015.24.1.73

ORIGINAL ARTICLE

습식세정장치에서 발생되는 마이크로버블을 이용한 음식물쓰레기 발생 복합악취 처리

김예진 · 정재억 · 정용준*

부산가톨릭대학교 환경공학과

Complex Mal-odor Treatment of Foodwaste with Micro-bubble generated from Enhanced Wet Scrubber

Ye-Jin Kim, Jae-Ouk Jung, Yong-Jun Jung*

Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea

Abstract

The objective of this work was to treat complex mal-odor of food waste with micro-bubbles from enhanced wet scrubber system, where the pilot plant was operated. Micro bubbles from the enhanced reactor of venturi scrubber were successfully generated through the air atomizing process with high velocity more than 60 m/sec and played an important role in the removal of mal-odor. Mal-odor was effectively changed into the micro-bubble and treated with washing chemicals together. Through establishing two series connection of the reactors, 85.2 % removal efficiency of complex mal-odor was obtained in case of average 940 times of input air. 0.35 kg/hr of sulfuric acid, 0.188 kg/hr of sodium hydroxide and 0.043 kg/hr of hypochlorite were injected for chemical washing.

Key words : Complex mal-odor, Food waste, Micro bubble, Venturi scrubber

1. 서 론

악취방지법(MOE, 2014)에서 악취란 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성이 있는 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 함께 혐오감을 주는 냄새로 정의하고 있다. 2003년부터 그 동안의 대기환경보전법으로 관리되어 오던 악취방지법이 별도로 제정되면서 2005년 2월부터 본격적으로 관리되고 있다.

대기 오염물질은 사람의 육안으로 식별이 가능하지만, 악취 오염물질은 후각에 의해서 식별이 가능한 경우가 많고, 공장의 굴뚝과 같은 단일 배출 장소에서 배출될 뿐만 아니라 대기에 개방된 장치나 설비 및 야외의 조업 등에서 산발적으로 배출되는 등 그 발생원이 매우 다양하다(Jeong 등, 2012). 이 가운데 생활환경에서 감지할 수 있는 악취 발생원으로는 음식물류폐기물처리 시설, 하수관거나 빗물받이, 쓰레기적환장 및 물재생센타 등이 있다. 특히 음식물류폐기물은 수분 및 유기물함량이 높아 쉽게 부패되고, 악취를 유발하는 침출수가 다량 발생된다. 또한, 자체 악취 및 유기물 분해과정에서 탄수화물, 지방, 단백질 등이 황화수소, 메틸머캅탄, 알데하이드류 등 서로 다른 종류의 악취로 전환되어 처리 시설 인근의 주민들 삶의 건강상·심미상 피해를 야기할 뿐만 아니라

Received 19 November, 2014; **Revised** 6 January, 2015;
Accepted 15 January, 2015
***Corresponding author** : Yong-Jun Jung, Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea
Phone: +82-51-510-0625
E-mail: yjjung@cup.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

처리시설 운영자에게도 큰 고민이다(Yoo 등, 2012).

현재까지 개발된 악취처리기술은 주로 점오염원 형태의 사업장 배출 악취처리에 적용되고 있는데, 이는 활성탄 흡착법이나 습식세정법과 같은 물리화학적 처리기술(Lee 등, 2000; Wani 등, 1997)과 토양탈취상이나 악취처리 미생물을 고정화시킨 바이오필터 등과 같은 생물학적 탈취기술(Yun, 2003)로 구분된다. 물리화학적 처리의 경우 높은 탈취효율을 확보할 수 있으나, 관리의 어려움이나 복합 악취에 대한 낮은 적용성 및 약품비 등과 같은 조업비가 많이 소요되는 등의 문제점이 지적되고, 생물학적 처리기술의 경우 높은 시설 설치비, 지속적 관리의 어려움과 효율 유지의 어려움 등이 문제점으로 지적되고 있다(Kim, 2003; Shin 등, 2011).

악취저감기술에 대한 연구가 활발히 진행되어 다수의 신기술 및 신공법이 현장 적용되어 운영되고 있으나, 현장여건에 따라 악취유발물질의 다양성과 복합성으로 인해 적합한 악취저감기술을 적용하기에는 많은 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다(Chung 과 Kim, 2012). 특히 음식물쓰레기에서 발생하는 악취 처리를 위한 연구는 미생물을 이용한 생물학적 처리 기술(Choi 과 Lee, 2012)과 오존 산화를 이용한 화학적 처리 기술(Hwang 등, 2010)을 적용한 사례 정도만 보고될 만큼 실제 플랜트에서의 연구 결과들이 부족한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 송풍기를 이용하여 유해가스를 집진기 하부의 물속으로 강제유도 시킨 뒤, 수중에서 생성되는 아주 작은 공기방울 즉 마이크로 버블(Micro-bubble) 공기로 악취 입자를 처리할 수 있는 침액식 스크러버(DIWS, Dip Injection Wet Scrubber)시스템을 개발하였다. 개발된 DIWS 시스템을 음식물쓰레기에서 발생하는 복합 악취를 처리하기 위한 실증 플랜트에 도입하여 안정적인 제거효율을 확보하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 반응 장치

본 연구에서는 현장에서 발생하는 음식물쓰레기의 복합 악취 제거를 위해 약액 분산형 세정방법과 가스 분사형 세정방법의 하이브리드 시스템인 약액 세정법 흡수장치를 사용하였다. 악취 처리는 Fig. 1(a)에 표시한 바와 같이 악취물질을 송풍기를 이용하여 스크러버 하부의 수중으로 공기 분사시킴에 따라 발생하는 마이크로 버블과의 회전 접촉반응을 이용하였다. 장치에서 발생된 마이크로 버블은 10～100 ㎛이하 정도의 작은 기포로, 기포의 상승속도가 늦고, 마찰저항이 감소하며, 기포내 압력이 크고, 기-액 경계면이 클 뿐만 아니라 가스용해량이 커서 환경분야에 다양하게 응용될 수 있다(Tsuge, 2010).

미세하게 분사된 악취물질과 장치 내에서 발생된 마이크로 버블은 빠른 속도로 접촉하여 포집된 후, 청정공기는 상부로 배출되어 포집되고, 미세 입자는 반응조 하부에 자연 침강하여 슬러지 배출 장치를 통해 외부로 분리된다.

Fig. 1(b)에 표시한 바와 같이 수중에 분사된 고온의 공기방울이 일정한 방향으로 물속을 유영하면서 악취 물질은 물에 흡수되고, 청정 공기는 배출되면서 주변의 순환수를 일정한 방향으로 밀어 주변의 순환수를 회전시키는 현상이 발생된다.

본 장치는 기존의 약액 세정법보다 기-액접촉 효율이 훨씬 높아서 악취 제거 및 집진 효율이 높고, 가동율도 일정한 장점이 있다. 또한 기존의 충진식 습식세정 장치에서 사용되는 장치폴링 및 샤워 노즐 등이 불필요함에 따라 초기 투자비용 및 운전 비용이 적게 들고, 전처리 장치를 내장시킬 수 있어서 컴펙트한 구조로 설치 면적을 최소화할 수 있는 장점까지 있다(Jung 등, 2011).

2.2. 실험 방법

본 연구는 일일 60톤 처리가 가능한 음식물쓰레기 처리장에서 발생하는 복합 악취 처리를 위한 실증 플랜트를 운전하였다. 실제 현장에서 발생하는 악취의 성분 분석 결과는 Table 1에 표시한 바와 같다.

전체 공정 구성도는 Fig. 2에 표시한 바와 같이 Fig. 1에서 설명한 배기능력 10 ㎥/min의 장치(가로: 1,200 ㎜ × 세로: 700 ㎜ × 높이: 2,300 ㎜) 2 세트를 직렬로 연결한 후, 음식물쓰레기 반입 저장조에서 발생하는 복합 악취를 흡입하여 2단으로 약액 처리하는 구조로 배치하였다.

Table 2는 알칼리 가스 및 산성/중성 가스용 세정시설의 pH, 유입량, 가스온도, 차압 및 풍속 등의 외적 조건을 정리한 것이다.

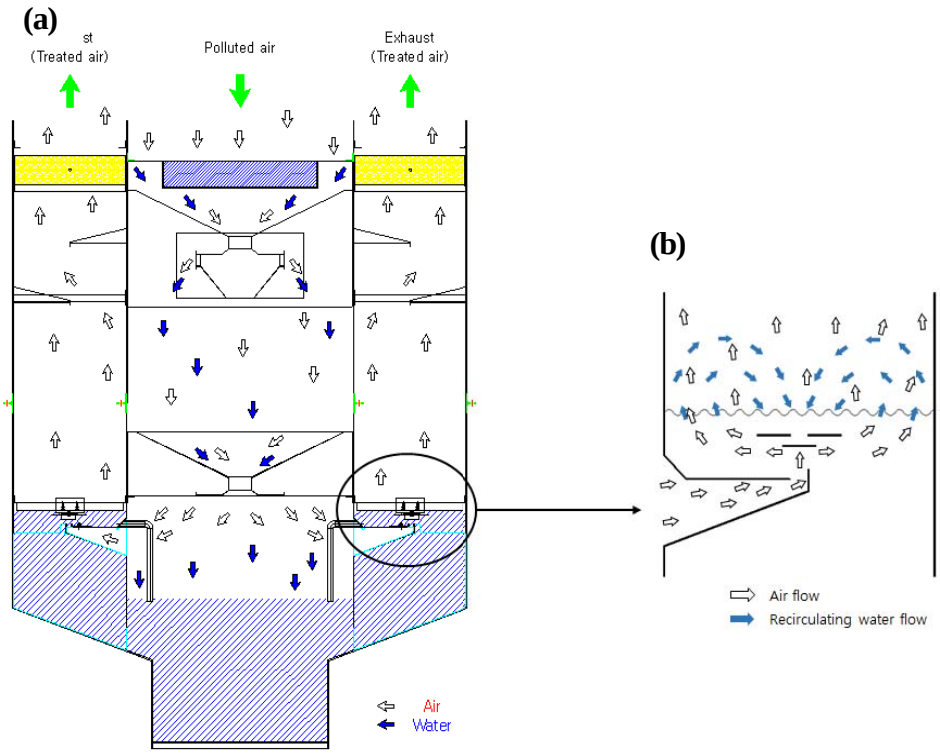

Fig. 1. Schematic diagram of complex mal-odor treatment system: (a)Enhanced wet scrubber for the separation of clean and polluted air, (b)Generation and flow of micro-bubble.

Table 1. Mal-odor concentration of foodwaste

Chemical tank	Malodor	Concentration(ppm)
Sulfuric acid	Ammonia	172.2
	T/M amine	2.16
Sodium hydroxide	Hydrogen sulfide	109.6
Sodium hypochlorite	Acetaldehyde	2.6
	Dimethyl sulfide	1.76
	Dimethyl disulfide	1.15
	Methyl mercaptan	1.2

악취 물질의 흡입 방법은 기존의 음식물쓰레기 반입 저장조에 설치되어 있는 악취 배출용 덕트(ID: 600 ㎜)에 150㎜ 흡입 덕트를 신규로 설치하여 Fig. 2에 표시한 신설 파일럿 장치 1번 세정시설 흡입구로 연결하고, 파일럿 설비에 부착된 배풍기(배기능력: 10 ㎥/min)를 사용하여 원료 악취 물질을 흡입하는 구조로 하였다.

세정에 사용되는 약품을 투입하는 방법은 장치 1번과 2번의 세정 시설에 별도의 pH 모니터를 설치하여 순환수의 pH를 측정하면서 일정한 값이 유지되도록 자동공급장치를 부착하였다.

분석용 시료 채취는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 반입 저장조와 1번 장치시설 사이의 입구에서 원료 시료를 유입수로 채취하였고, 유출 시료는 2번 장치시설 후단 배기 stack에서 제거 후 시료를 채취하였다.

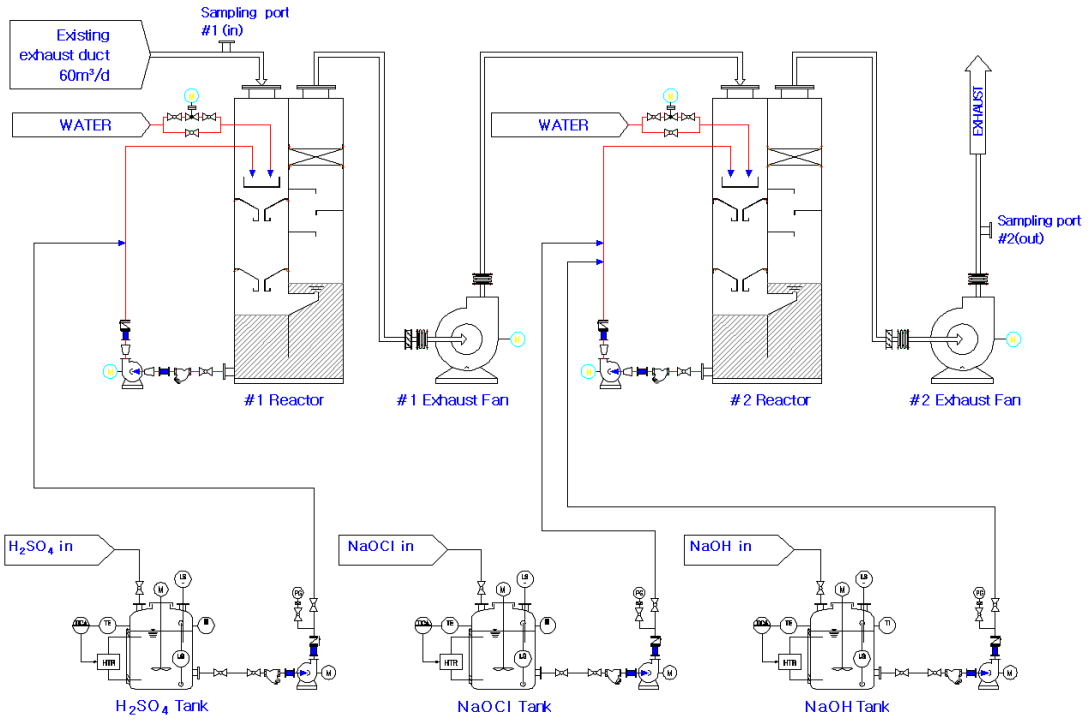

Fig. 2. Lay out of treatment flow.

Table 2. External operation condition of pilot plant

Time	#1 Alkali treatment					#2 Acid/neutral treatment				
	pH	Inflow (㎥/min)	Temp. (℃)	D.P (㎜Aq)	W.V (m/sec)	pH	Inflow (㎥/min)	Temp. (℃)	D.P (㎜Aq)	W.V (m/sec)
1	2.0	7.098	27	400～480	1.7	12.2	7.098	39	400～480	1.7
2	3.0	6.825	35	380～500	1.3	12.0	6.825	46	400～480	1.3
3	3.8	6.825	36	310～450	1.3	10.6	6.825	46	400～480	1.3

Note) D.P(Differential pressure), W.V(Wind velocity)

악취의 측정은 후각으로 판정하는 공기희석관능법과 사업자의 악취물질 배출여부를 확인할 필요가 있는 경우에 측정하는 지정악취물질측정방법인 기기분석법으로 구성되어 있다(NIER, 2007). 악취관련 민원이 사람의 후각에 의해 판단된다는 점에서 악취물질의 제거 효율을 평가할 때 공기희석관능법에 의한 복합악취 측정은 매우 중요한 방법(Ko 등, 2013)임에 따라 본 연구에서는 공기희석 관능법에 따라 시료를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 장치 특성

기존의 충진식과 다른 세정 집진기들의 포집원리는 Fig. 3(a)에 표시한 바와 같이 고온함진 공기 흐름속에 물을 가압·분사하여 세립 분산된 물방울이 함진 유해 공기와 접촉되도록 하여 포집시키는 원리를 적용하고 있다.

본 연구에 사용된 장치는 마이크로 버블을 이용한 복합 악취처리 시스템이다. 마이크로 버블의 발생원리는

(a) Mist from existing wet scrubber (b) Micro bubble from DIPS (C) Enlarged micro-bubble

Fig. 3. Comparison of mist and micro bubble: (a)Mist from existing wet scrubber (b)Micro bubble from DIPS (c)Enlarged micro-bubble.

고온의 악취 가스를 송풍기의 흡입압력을 활용하여 물속으로 유도한 다음 Fig. 3(b)와 같이 물속에서 공기를 특수 설계된 세립분산 장치를 통하여 60 m/sec 이상의 고속으로 분사하여 방해 판과 강제로 직각 충돌시킬 때 악취가스 물질은 마이크로 버블화 된다. DIWS 시스템의 마이크로 버블은 수중에서 세립 및 분산되어 반응조내를 회전유영하면서 악취를 제거한 뒤 깨끗한 공기로 배출되는 간단한 원리다. Fig. 3(c)와 같이 확대하여 표시한 바와 같이 장치내에서 발생된 악취물질 마이크로 버블은 약액물질과 반응하여 제거되는 것으로 관찰되었다.

장치내에서 발생된 악취가스물질의 마이크로 버블은 기체용해효과, 자기가압효과, 대전효과 등의 물리화학적인 특성이 있고, 공기방울의 산화·환원 작용과 공기방울이 소멸할 때 발생하는 다량의 에너지를 이용하여 살균, 세정기능 및 흡착작용도 기대할 수 있어 환경처리기술 분야에 적용할 수 있다(Cha, 2009).

기존의 충진식 장치와 본 연구에 사용된 침액식 기체 흐름도를 비교한 결과, 충진식은 향류 흐름이고, 침액식 방식은 순류·향류·침액분산 방식이다. 또한 본 장치는 충진식 및 기타 습식 집진기와는 달리 내부에 충진되는 부속 부품이 전혀 없고, 물로만 포집 가능함에 따라 충진물 보수 또는 폐기 처리로 인한 2차 환경오염까지도 발생시키지 않는 장점을 보유하고 있다.

3.2. 복합 악취 처리효율

본 연구대상 시설에서 발생하는 복합 악취는 약 1,000배 정도 범위로, 국내 환경기초 시설의 악취 물질 배출 특성을 보고한 자료(Yoon과 Kim, 2012)의 1,800～10,000배 범위와 비교할 때 조금 낮은 값을 나타냈다.

Fig. 4에 유입희석 배율에 따른 복합 악취 제거율을 표시하였다. 파일럿 장치 2단을 직렬로 연결하여 측정한 결과 배출측 stack에서의 공기 희석배수는 평균 139배로 목표치인 200배 보다 양호하여 평균 85.2 %의 복합 악취 제거율을 나타냈다. 복합 악취의 제거 메카니즘은 Table 1에 표시한 바와 같이 본 연구 대상 시설에서 발생하는 악취의 주성분은 NH_3, H_2S, 황 화합물로 분석되었고, 장치내에서 발생된 음전하를 나타내는 마이크로 버블은 양전하를 나타낸 악취의 주성분과 정전기적 결합력에 의해 무취 물질로 변화되는 것으로 판단된다(Cha, 2011).

또한 마이크로 버블은 수중에서 미세기포들의 발생과정 동안 기포 내부의 압력을 높이거나, 표면에 집적한 이온들을 농축시키는 것은 물론 기포의 소멸시 계면에 집

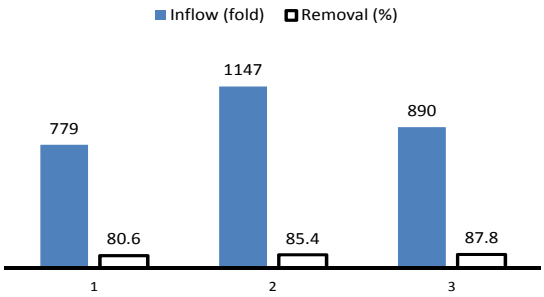

Fig. 4. Removal efficiency of complex-malodor by dilute injection ratio.

적되어 있는 OH 라디칼(Tsuge, 2010)을 발생하여 강한 화학적 연쇄반응을 유도할 수 있기 때문에 악취 물질을 제거하는 것으로 해석할 수 있다. 향후에는 악취 물질의 성상과 제거 목표 효율에 따라 3단으로 직렬 연결하여 처리할 예정이며, 이럴 경우 2단 연결로 실시한 본 연구 결과보다 향상된 악취 제거효율을 가질 것으로 기대할 수 있다.

현재 국내에서는 마이크로 버블 장치와 적용기술의 개념 정립 단계로, 수질정화, 농업용, 세척용 및 목욕기용 등 응용범위가 일부 제한되고 있는 상황(Lee 등, 2011) 이므로, 다양한 분야에서의 사례 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.3. 약품사용량

Fig. 5는 장치 1번과 2번의 약품 세정에 사용된 약품 주입량을 정리한 것이다. 또한 산가스와 알카리성 용액 및 알카리성 가스와 산성 용액의 이론적인 중화반응을 이용하도록 악취유발물질을 산중화반응(암모니아, 트리메틸아민), 염기중화반응(황화수소) 및 산화분해반응(아세트알데히드, 황화메틸, 이황화디메틸, 메틸머캅탄)으로 세분화하여 화학반응식을 근거로 계산한 이론량도 같이 비교하였다.

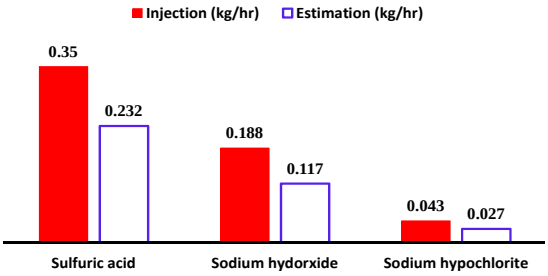

Fig. 5. Comparison of chemicals between injection for chemical washing and estimation on the basis of chemical reaction.

황산, 가성소다 및 차아염소산소다의 이론 주입량은 각각 0.232 ㎏/hr, 0.117 ㎏/hr 및 0.027 ㎏/hr로 나타났다. 1번 장치에 실제로 사용된 황산의 투입량은 0.35 ㎏/hr, 2번 장치에 사용된 가성소다와 차아염소산소다는 각각 0.188 ㎏/hr 및 0.043 ㎏/hr로 나타나, 이론 주입량보다 전체적으로 많았다.

본 연구와 같이 음식물쓰레기 발생 복합 악취를 대상으로 하여 파일럿 장치로 약품 세정을 실시하여 제시한 약품 주입량의 보고 결과가 전무한 실정이어서 실제 주입량과 이론에 근거한 산출량과의 차이를 직접적으로 비교·판단하기는 어려운 실정이다. 하지만, 파일럿 운전에서의 약품 사용량과 화학중화 반응식에 근거한 이론량과의 차이가 발생한 이유를 예상할 수 있는데, 이는 공정 특성, 유입수 성상 변화 및 운전 방법의 차이 등에 기인하는 것으로 판단할 수 있다.

또한, 약품사용량은 유입되는 악취물질의 총량에 비례하는 것이지만, 화학반응속도가 낮을 경우에는 과잉투입 되거나 미반응되어 악취 포집 효율은 감소하고, 약품 사용량은 증가하는 경우가 발생함에 따라 일정한 반응속도를 유지시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 파일럿 장치를 운전하면서 도출한 약품소요량이므로, 현재와 같은 유입수 성상, 공정 특성 및 장치 특성에 바탕을 둔 실제 주입량을 도출하였다는 것에 의미를 부여할 수 있다. 향후에는 이러한 요인들을 종합적으로 고려하여 장기간에 걸친 운전을 통해 약품량을 도출할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

가스상의 악취물질을 수중에서 마이크로 버블화 하여 악취 입자를 처리할 수 있는 침액식 스크러버(DIWS) 시스템을 개발한 후, 음식물쓰레기에서 발생하는 복합 악취를 처리하기 위한 실증 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

1. 마이크로 버블은 고온의 악취 공기를 송풍기의 흡입압력을 활용하여 물속으로 유도한 다음 물속에서 공기를 특수 설계된 세립분산 장치를 통하여 60 m/sec 이상의 고속으로 분사하여 방해 판과 강제로 직각 충돌시킬 때 발생하였다.

2. 음식물쓰레기 복합 악취물질은 DIWS 장치 내에서 마이크로 버블화된 후 세정 약품과 적절히 반응하여 제거되었다.

3. 파일럿 장치 2단 직렬 연결을 통해 유입부 공기 희석배수는 평균 939배이고, 배출측 stack에서의 공기 희석배수는 평균 139배로 목표치인 200배 보다 양호하여 평균 85.2 %의 복합 악취 제거율을 나타냈으며 3단으로

직렬 연결할 경우 향상된 악취 제거효율을 가질 것으로 기대할 수 있다.

4. DIWS 장치에 사용된 황산의 투입량은 0.35 ㎏/hr, 가성소다와 차아염소산소다는 각각 0.188 ㎏/hr 및 0.043 ㎏/hr로 나타났다.

REFERENCE

Cha, H.S., 2009, Present state and future prospect for microbubble technology, Bulletin of Food Technology, 22(3), 544-552.

Cha, H.S., 2011, Application of microbubble technology in foods, Bulletin of Food Technology, 24(3), 410-414.

Choi, H.J., Lee, Y.O., 2012, The malodor deodorizing effect of EM in food garbage, Korean Water Congress 2012. P-138.

Chung, J.D., Kim, K.Y., 2013, Odor reduction technology in sewage treatment facility using biofilter with reed grass(Phragmites australls), J.of Korean Society of Water and Wastewater, 27(3), 373-382.

Hwang, H.J., An, H.Y., Shin, S.G., Song, J.H., 2010, The removal of odor and organics from food wastes using ozone oxidation, Korean Water Congress 2010. P-61.

Jeong, S.W., Byeon, K.Y., Park, H.J., 2012, Odorous compound concentration levels in bon-san industrial area and its surrounding regions, J.of the Environmental Sciences, 21(1), 49-55.

Jung, J.O., Kim, M.S., Jeong, Y.J., Jeong, H.J., 2011, Atomizing tool and cooling dust removing device using the same which can improve cooling dust removing efficiency by improving filterability of toxic gas, Patent 10-1058257.

Kim, J.K., 2003, A study on odor control using clay mineral, J.of KSEE, 25(10), 1311-1317.

Ko, B.C., Park, Y.H., Kim D.I., Lee, M.G., Kam, S.K., 2013, Odor removal characteristics of biofilters in domestic sewage treatment facilities analyzing composite odor and odor quotient, J.of Environmental Sciences, 22(1), 109-117.

Lee, J.D., Chon, J.M., Jung, S.C., Park, S.S., Ahn, H.G., 2000, Adsorption characteristics of offensive odor substance on acid- or alkali- deposited activated carbons, Applied Chemistry, 4(2), 208-211.

Lee, M.D., 2007, Review of odor measurement and analysis method -Standard method of odor compounds-, J.of KSEE, 29(7), 761-767.

Lee, W.J., Lee, C.H., Yoo, J.Y., Kim, K.Y., Jang, K.I., 2011, Sterilization efficacy of washing method using based on microbubbles and electrolyzed water on various vegetables, J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr, 40(6), 912-917.

Ministry of Environment, 2014, Offensive odor control law.

National Institute of Environmental Research, 2007, Standard method of odor compounds.

Shin, S.K., An, H.Y., Kim, H.S., Song, J.H., 2011, Removal of nitrogen and sulfur odorous compounds and their precursors using an electrolytic oxidation process, J.of Korean Society of Water and Wastewater, 25(2), 223-230.

Tsuge, S., 2010, The latest technology on microbubbles and nanobubbles Ⅱ, CMC publishing, 140-167.

Wani, A.H., Branion, R.M.R., Lau, A.K., 1997, Biofilteration: A promising and cost-effective control tecnology for odors, VOCs and air toxics, J.of Environmental Science and Health, 32(7), 2027-2055.

Yoo, S.S., Kim, Y.D., Lee J.Y., Cha, Y.S., Kim, E.S., Jeon, J.S., Sunwoo, Y., Eom, S.W., Chae, Y.Z., 2012, The characteristic and management of odor emitted from foodwaste treatment facility, J.of Environmental Impact Assessment, 21(3), 353-365.

Yoon, Y.K., Kim, D.K., 2012, Emission characteristics of odor compounds from pneumatic waste collection plants, J. of KSEE, 34(8), 541-548.

Yun, S.I., 2003, Treatment of waste food using mixed microorganisms responsible for the degradation of malodor compounds, Kor.J.Microbiol.Biotechnol, 31(4), 413-420.