

ORIGINAL ARTICLE

악취 배출구의 합리적인 배출규제를 위한 사례연구

박정호* · 이형천

경남과학기술대학교 환경공학과

A Case Study for Reasonable Emission Regulation of Odor Exhaust Stack

Jeong-Ho Park*, Hyung-Chun Lee

Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

Abstract

In this study, field experiment, odor simulator, and dispersion modeling were used to evaluate the odor impact from J sewage sludge treatment facility. The height and flow rate of exhaust stack at this facility were 22.3 m and 100 Nm³/min. The mean odor concentrations of the wet scrubber inlet and exhaust stack were 267±160 and 93±44 OU/m³, respectively. The odor removal efficiency of wet scrubber showed 65%. The odor simulator is used for the regulated standard calculation of the exhaust pipe(stack). Resulting odor emission rate(OER) by odor simulator was 2.4×10⁶(24,000 OU/m³). The forecasting result by Screen3 modeling showed that odor exhaust concentration up to 30,000 OU/m³ was't exceeded maximum allowable emission level on site boundary(15 OU/m³).

Key words : Odor exhaust stack, Emission regulation, Odor simulator, Screen3 model

1. 서론

우리나라에서는 악취 배출원의 효율적 관리를 위해 2005년 악취방지법의 제정·시행을 하고 있으나, 악취 민원의 발생건수 및 피민원업소수는 2005년도 4,302건, 2,046개소에서 2013년도 13,103건, 6,024개소로 지속적으로 증가하고 있다(MOE, 2015). 특히, 최근 런던협약'96의정서'발효와 함께 유기성폐기물의 해양투기가 2012년부터 전면 금지됨에 따라 소각, 탄화, 건조, 고화 시설 등 육상처리 및 재활용시설 등 악취 배출시설의 증가와 더불어 악취 민원의 발생 가능성이 더욱 높아질 수

있다(NIER, 2013a).

악취는 각종 배출원에서 기체 상태로 배출된 후 대기 확산 과정을 통해 주변지역으로 희석되면서 부지경계선 또는 최대농도착지지점을 중심으로 사람의 후각을 자극 하여 불쾌감이나 혐오감을 주는 감각공해의 피해영향이 나타나게 되며, 피해영향 정도는 배출원의 총배출량(농도×배출유량)에 따라 큰 영향을 받게 된다.

그러나 국내 악취방지법에서는 악취 배출원을 배출구 및 부지경계선으로 구분하고 공업 또는 기타 지역에 따른 각각의 농도 규제기준을 일괄적으로 적용하고 있다. 이에 농도기준의 배출허용기준은 만족하지만 배출유량

Received 26 October, 2015; Revised 14 December, 2015;

Accepted 21 December, 2015

*Corresponding author : Jeong-Ho Park, Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea
Phone: +82-55-751-3345
E-mail: jhpark@gntech.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.

이 클 경우 발생원 주변지역에서 악취 피해가 발생될 수 있는 등 현행 발생원 중심의 농도 규제방식에 따른 문제점이 지적되고 있다(Yun and Koo, 2013). 또한, 악취방지시설의 선정 및 설계는 통상 배출구의 배출허용 농도 기준을 초과하지 않는 범위로 검토되나, 배출유량이 적을 경우 상대적으로 배출구에 대한 과도한 농도 규제기준으로 인한 비합리적인 악취관리 규제가 될 수도 있을 것이다.

한편, 유럽, 미국 등 선진국에서는 배출시설 설립 전에 악취 민원의 발생가능성을 검토하거나 대기확산 모델 등을 이용하여 피해 영향을 예측하는 등 수용체 중심의 악취관리 정책을 실시하고 있다. 또한, 1년 중에 한번이라도 기준치를 초과하면 규제대상이 되는 국내 관리기준과 달리 초과농도 빈도수를 적용하는 다소 합리적인 규제기준을 적용하기도 한다(Jeong and Kim, 2013; NIER, 2013b). 특히, 1972년부터 악취방지법을 시행하고 있는 일본의 경우 악취 농도가 주민들의 악취피해 감각과 일치할 수 있도록 취기지수(odor index)의 도입과 더불어 취기시물레이션을 이용하여 부지경계선 및 최대농도착지 지점의 규제기준을 만족하기 위한 개별 악취 배출구에 대한 규제기준을 산정하여 적용하고 있다(The Ministry of the Environment Government of Japan, 2015a). 이에 최근 국내에서도 대기확산 모델을 이용하여 배출구의 배출특성에 따른 주변지역에 미치는 피해영향의 수준 평가 및 새로운 배출허용기준의 제안 등의 연구사례가 보고되고 있다(An and Choi, 2006; Yun and Koo, 2013).

본 연구에서는 악취배출구에 대한 합리적인 규제기준을 도출하기 위한 연구사례로 A 하수슬러지 탄화시설의 배출구를 대상으로 복합악취 현장조사, 취기시물레이션을 이용한 적정 배출량 산정 그리고 대기확산 모델인 SCREEN3 모델을 이용하여 이격거리별 피해영향 평가 등 악취영향 평가를 실시하였다. 향후 연구 결과는 악취 배출구로 인한 주변지역에 미치는 피해영향의 최소화 및 합리적인 규제기준의 수준을 설정하기 위한 기초연구 자료로 활용하고자 한다.

2. 자료 및 분석방법

2.1. 연구대상 시설

2012년부터 운영 중에 있는 A 하수슬러지 탄화시설

은 함수율 약 80%의 탈수 하수슬러지를 건조 및 탄화설비를 통해 함수율 1% 이하의 탄화물을 생산하는 100 ton/day 규모의 재활용 처리시설이다. 슬러지 탄화과정에서 발생된 배기가스는 백필터와 가성소다(NaOH)의 세정액을 이용한 습식세정탑의 방지시설을 거쳐 최종 배출구(굴뚝)로 배출된다. 배출구의 경우 굴뚝높이 22.3 m, 굴뚝직경 0.35 m, 배출가스 유량 100 m³N/min 및 배출온도 45℃ 등으로 설계되어 있다. 또한, 배출구에서는 배출허용기준인 복합악취의 희석배수 500배 이하를 유지토록 설계되었으나, 부지경계선상의 주변지역에서는 간헐적으로 악취 민원이 발생되고 있다.

본 탄화시설의 주변지역은 대부분 평탄한 농경지로 구성되어 있으며, 부지경계선의 이격거리는 최소 35 m 그리고 배출구로부터 북동방향 약 100 m 지점에 높이 약 25 m의 체육관 건물이 단독으로 위치하고 있다.

2.2. 복합악취 농도 분석

본 탄화시설에서 복합악취에 대해 배출농도 특성과 주변지역의 농도 수준을 파악하기 위하여, 슬러지 탄화과정에서 발생된 배기가스가 습식세정탑으로 유입되는 지점 및 최종적으로 배출되는 배출구(굴뚝) 등 배출원 그리고 부지경계선 2개 지점과 탄화시설로부터 반경 100 m 이내에 위치한 주변지역 3개 지점 등에서 2015년 1차 조사(4월 15일), 2차 조사(5월 21일), 3차 조사(6월 22일) 등 총 3차에 걸쳐 복합악취 시료를 채취하고 분석하였다.

복합악취의 시료채취와 분석은 악취공정시험법상 공기희석관능법으로 실시하였으며, 복합악취 시료채취를 위해 악취전용 시료채취장비(탑트레이딩이엔지제조사) 및 5 L 악취채취백(OMI사, Japan) 등을 사용하였다. 현장에서 채취된 시료는 변질되지 않도록 실험실로 바로 운반하여 수시간 이내에 공기희석관능법으로 분석하였다. 채취된 시료는 희석용 주사기로 무취공기와 희석배수별로 희석시킨 3 L 냄새봉지(OMI사, 일본) 1개와 무취공기가 주입된 냄새봉지 2개 등 총 3개를 한 조로 분석용 시료를 준비하였다. 분석용 시료는 판정요원 5인을 통해 3개 냄새봉지 가운데 후 악취시료가 주입되어 있는 냄새봉지를 정확하게 감지하였는지를 판정하는 방법으로 분석하였다.

2.3. 취기시뮬레이션

본 연구에서는 배출구에 대한 적정 배출농도를 산정하기 위하여 취기시뮬레이션을 이용하였다. 취기시뮬레이션은 일본 악취방지법에서 배출구의 규제기준을 용이하게 산출할 수 있도록 일본 환경성이 개발 보급하고 있는 공개된 소프트웨어이다.

취기시뮬레이션의 실행조건은 배출구의 높이나 주변 최대건물 높이와의 차이에 따른 대기확산 영향 등을 고려하여, 배출구의 높이가 6.7 m 이하일 경우(A 패턴), 6.7~15 m일 경우(B 패턴) 그리고 배출구의 높이가 15 m 이상이고 주변최대건물 높이보다 1.5배 미만일 경우(C 패턴) 및 1.5배 이상일 경우(D 패턴) 등 4가지 패턴으로 구분된다. 또한, 입력항목은 배출구의 높이, 배출가스 유량, 주변 최대건물높이 등이며, 실행과정 및 입력항목은 사용자 매뉴얼에 잘 기술되어 있다(The Ministry of the Environment Government of Japan, 2015b).

한편, 본 연구에서는 탄화시설의 굴뚝높이 22.3 m 그리고 주변지역이 대부분 평탄한 농경지이나 배출구로부터 100 m 지점에 높이 25 m의 건물이 위치하고 있음을 고려하여, 주변건물의 영향 고려시 C 패턴 및 미고려시 D 패턴 등 2가지 조건하에서 취기시뮬레이션을 실행하였다.

2.4. SCREEN3 모델

본 연구에서는 탄화시설 배출구로부터 주변지역에 미치는 악취영향 정도를 모의하기 위하여 SCREEN3 모델을 사용하였다. SCREEN3 모델은 미국 EPA의 권장모델인 ISC3의 스크리닝(screen)을 위한 예비모델로써 ISC3와 동일 알고리즘으로 구성된 정상상태의 가우시안 플룸(Gaussian Plume) 모델이다(US EPA, 1995). SCREEN3 모델은 기상입력자료를 필요로 하지 않고 배출조건과 간단한 지형조건으로 예측결과를 제공하기 때문에 현지에서의 기상측정이나 기상자료 수집을 위한 시간과 경비를 절감하는 동시에, 보수적인 계산을 하기 때문에 사업시행으로 인한 최악조건을 산정한 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다(Kim and Lee, 2008).

한편, 모델링 입력자료인 악취배출량(odor emission rate, OU/sec)은 본 탄화시설의 배출구의 설계유량(m^3/sec)과 복합악취 농도(OU/m^3)을 곱하여 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 복합악취 농도

Table 1에는 습식세정탑의 유입구 및 최종 배출구(굴뚝)의 배출원, 부지경계선 2개 지점(A₁ 및 A₂지점) 그리고 주변지역 3개 지점(B₁, B₂, B₃지점) 등에서 복합악취의 농도분석 결과를 나타냈다.

복합악취의 배출농도는 세정탑 유입구의 경우 최대 448 OU/m^3 , 최소 144 OU/m^3 , 평균 267 OU/m^3 그리고 굴뚝의 경우 최대 144 OU/m^3 , 최소 67 OU/m^3 , 평균 93 OU/m^3 등으로 현행 배출구의 배출허용기준(300 OU/m^3 이하) 이하로 나타났다. 냄새특징은 세정탑 유입구의 경우 슬러지 탄화과정에서 발생하는 탄냄새 그리고 배출구에서는 탄냄새와 세정탑에서 사용되는 가성소다(NaOH)로 인한 약품냄새 등이 감지되었다.

부지경계선 2개 지점 및 주변지역 3개 지점에 대한 복합악취 농도는 평균범위 7~12 OU/m^3 으로 전반적으로 부지경계선의 배출허용기준(15 OU/m^3 이하)을 만족하는 수준으로 나타났으며, 냄새특징은 입지여건상 주변 농경지로 인한 거름 냄새가 주로 감지되었다. 특히, 부지경계선 A₂ 지점에서 1차 조사시 최고농도 21 OU/m^3 로 배출허용기준을 초과하였으나, 냄새특징이 탄 냄새나 약품 냄새와 달리 인근 하수처리장의 최종처리 방류수 시설에서 나타나는 비린 냄새와 유사하여 본 탄화시설로 인한 직접적인 피해영향은 아닌 것으로 판단되었다. 서울시 소재 하수처리 슬러지 건조시설의 경우 배출구의 경우 최고 250 OU/m^3 , 최저 173 OU/m^3 그리고 부지경계선의 경우 최고 10 OU/m^3 , 최소 3 OU/m^3 로 현행 배출허용기준을 만족하는 것으로 보고되고 있다(Cha et al., 2013).

한편, 본 탄화시설 배출구에 대한 악취배출량(OER)은 배출구의 평균농도 93 OU/m^3 과 설계유량 100 m^3N/sec 을 곱하면 9,300 OU/sec 로 산정되며, 세정탑 입구 및 최종 배출구의 농도로부터 세정탑의 복합악취 제거효율은 평균 65%로 나타났다. 통상 본 탄화시설의 세정탑은 악취를 포함한 배출가스를 가성소다의 세정액과 접촉시켜 제거하는 방법으로 통상 다양한 운전조건에 따라 처리효율은 달라 질수 있다. 수도권매립지의 슬러지 건조시설의 경우 복합악취 4,000~6,000 OU/m^3 로 발생된 악취농도는 산성 및 염기성의 다단 세정탑을 거쳐 최종 배

Table 1. Odor concentrations at J sewage sludge treatment facility

	site	Odor unit(OU/m ³)			
		1 st	2 nd	3 rd	Ave.
Source	Inlet of scrubber	208	448	144	267±160
	Stack	67	144	67	93±44
Boundary areas	A ₁	8	7	8	8±1
	A ₂	21	10	5	12±8
	B ₁	12	8	10	10±2
Surrounding areas	B ₂	14	10	5	10±5
	B ₃	7	8	7	7±1

출구에서 100 OU/m³ 이하로 저감되는 것으로 보고되고 있다(Hwang, 2014). 또한, Suh and Lee(2006)은 하수 슬러지 건조시설에서 발생하는 주요 악취물질의 성분은 이소발르알데히드 및 메틸메르캅탄 등의 기여율이 높으며, 습식세정탑에 의한 제거효율은 약 59%로 보고하고 있다.

3.2. 취기시물레이션에 의한 배출구의 규제기준

일본 악취방지법에서는 부지경계선의 규제기준의 경우 지역주민 다수가 악취에 의해 불쾌감을 갖지 않는 취기 지수(규제기준 10~21)가 설정되며, 배출구의 규제기준의 경우 부지경계선 또는 최대착지농도지점에서 취기 지수의 규제기준을 초과하지 않도록 취기시물레이션을 이용하여 규제기준을 산정한다. 여기서, 취기 지수(odour index)는 사람의 후각 감각량에 대응시키기 위해 복합악취 농도에 대수(log)를 취하므로 “취기 지수=10×Log(복합악취농도)”의 계산식으로 나타나며, 참고적으로 국내 부지경계선의 배출허용기준인 복합악취 농도 15 OU/m³는 취기 지수 약 12에 상당한다.

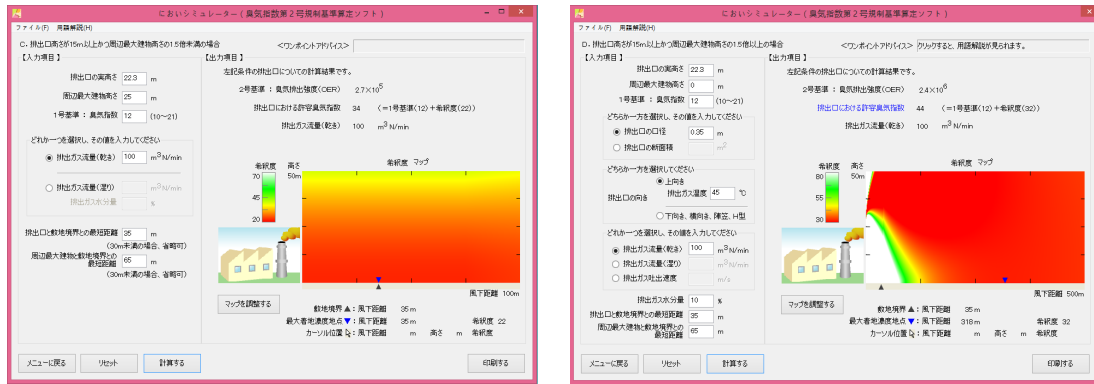
Fig. 1에는 취기시물레이션을 이용하여 본 탄화시설 배출구에 대한 주변건물의 영향 고려시 C 패턴 그리고 미고려시 D 패턴에 대한 배출구 규제기준의 산정 사례를 나타냈다. 여기서, 입력내용은 배출구에 관한 각종 항목, 주변최대건물의 높이 및 이격거리 그리고 부지경계선의 취기 지수 등이 입력된다. 또한, 출력내용은 취기배출강도(odour emission rate, OER) 즉, “취기배출강도(OER) = 취기농도×배출가스유량(m³N/min)”으로 계산된 값

또는 취기 지수 등으로 배출구 규제기준에 대한 산정결과가 표시된다.

한편, Table 3에는 본 탄화시설 배출구의 유량 100 m³N/sec에 대한 취기시물레이션의 C 패턴 및 D 패턴을 적용하여 산정된 규제기준 및 복합악취로 환산된 농도를 나타냈다. 여기서, 부지경계선 규제기준은 감지취지 수준인 취기 지수 10(10 OU/m³) 그리고 국내 배출허용기준 수준인 취기 지수 12(15 OU/m³) 등을 고려하여 C-10, C-12, D-10, D-12 등 4가지 조건하에서 각각 산정하였다.

취기시물레이션 실행결과 C-10(C패턴 및 부지경계선 취기 지수 10)의 경우 최대농도착지 지점은 부지경계선 지점인 35 m 그리고 취기배출강도(OER)은 1.7×10⁵(취기 지수 32)로 나타났으며, 100 m³N/sec의 배출유량에 대한 복합악취 농도는 약 1,700 OU/m³의 배출구에 대한 규제기준이 산정되었다. C-12의 경우 최대농도착지 지점 35 m, OER 2.7×10⁵(취기 지수 34) 및 악취농도 약 2,700 OU/m³로 산정되었다. 또한, D-10의 경우 최대농도착지 지점 318 m, OER 1.5×10⁶(취기 지수 42) 및 악취농도 약 15,000 OU/m³ 그리고 D-12의 경우 최대농도착지 지점 318 m, OER 2.4×10⁶(취기 지수 44) 및 악취농도 약 24,000 OU/m³로 산정되었다.

결국, 취기시물레이션의 적용 결과 본 탄화시설의 배출구에 대한 규제기준은 부지경계선의 규제기준 수준 및 주변건물의 확산영향 여부에 따라 1,700~24,000 OU/m³로 산정되어 국내 배출허용기준(500 OU/m³)보다 매우 높은 수준으로 나타났다. 이는 본 배출구의 경우



(a) C pattern (b) D pattern

Fig. 1. Examples of the odor simulator.

배출가스유량(100 m³N/min)이 상대적으로 매우 작기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

3.3. Screen3 모델링에 의한 거리별 피해영향

본 탄화시설 배출구에 의한 평탄지형의 이격거리별 영향 평가를 위해 SCREEN3 모델을 이용하였으며, Table 3에는 악취배출량의 입력조건 및 모델링의 실행 과정을 통해 최대착지농도 지점에 대한 악취농도의 예측 결과를 나타냈다. 여기서, 모델링 입력자료인 악취배출량(OU/sec)은 본 배출구의 설계유량 1.667 m³/sec과 현장조사시 최대 배출농도 144 OU/m³, 배출허용기준 500 OU/m³ 그리고 고농도 배출조건 10,000 OU/m³, 15,000 OU/m³, 24,000 OU/m³, 30,000 OU/m³ 등의 농도를 곱하여 Case 1~6 조건별에 따른 악취농도를 각각 예측하

였다. 또한, Fig. 2에는 Case 1~6별에 따른 이격거리별 악취농도를 나타냈다.

모델링 예측결과, 배출농도가 144 OU/m³ 및 500 OU/m³로 배출될 경우 이격거리별 모든 지점에서 악취농도 1 OU/m³ 이하의 무취 수준으로 나타났으며, 배출농도가 10,000 OU/m³ 이상의 비교적 고농도일 경우 최대착지농도를 중심으로 5 OU/m³ 이상의 피해영향이 나타났다. 특히, 취기시물레이션의 산정결과에서 나타난 배출농도 24,000 OU/m³의 경우 최대착지농도 거리인 93 m 지점에서 10.7 OU/m³ 그리고 배출농도 30,000 OU/m³ 이상의 경우 13.4 OU/m³로 현행 악취방지법 부지경계선의 배출허용기준에 거의 도달하는 수준으로 나타났다.

Table 2. The result of the odor simulator

Patterns	Input items		Output items		Odor unit (OU/m ³)
	Regulation standard on site boundary (odor index)	Landing point of the maximum concentration	OER (odor index)		
C	C-10	10	35 m	1.7×10 ⁵ (32)	1,700
	C-12	12	35 m	2.7×10 ⁵ (34)	2,700
D	D-10	10	318 m	1.5×10 ⁶ (42)	15,000
	D-12	12	318 m	2.4×10 ⁶ (44)	24,000

Table 3. The result of Screen3 modeling

Case	Input conditions			Output items (Landing point of the maximum concentration)		
	Odor unit (OU/m ³)	Flow rate (m ³ /sec)	Emission rate (OU/sec)	Distance (m)	Stability	Odor unit (OU/m ³)
Case 1	144	1.667	240	93	3	0.1
Case 2	500	1.667	833	93	3	0.2
Case 3	10,000	1.667	16,667	93	3	4.5
Case 4	15,000	1.667	25,000	93	3	6.7
Case 5	24,000	1.667	40,000	93	3	10.7
Case 6	30,000	1.667	50,000	93	3	13.4

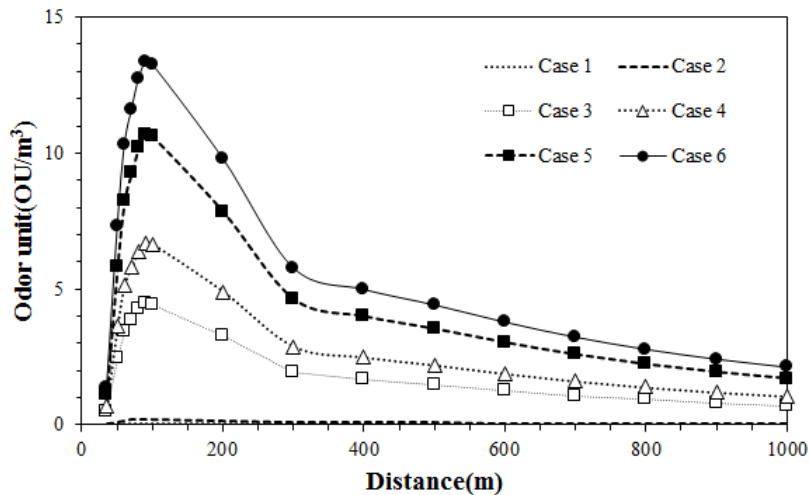


Fig. 2. The result of odor concentration by distance.

결국, 악취 배출구로 인한 주변지역에 미치는 피해영향은 총배출량(농도×배출유량)에 의해 큰 영향을 받기 때문에 본 탄화시설과 같이 상대적으로 배출유량이 적은 경우 다소 고농도로 배출될지라도 주변지역의 피해영향은 다소 미미할 것으로 판단된다. 한편, 대기확산 모델링을 이용하여 악취농도, 배출구높이, 배출유량 등 배출구의 조건에 따른 거리별 악취농도 특성의 연구사례에서도 확산된 악취농도는 악취발생농도뿐만 아니라 배출유량에 의해 크게 좌우됨을 지적하고 있다(Yun and Koo, 2013).

4. 결론

본 연구에서는 배출가스 유량 100 m³N/min인 A 하수슬러지 탄화시설의 배출구에 대한 복합악취 농도의 현장조사, 취기시물레이션의 적정 배출량 산정 그리고 SCREEN3 모델을 이용하여 이격거리별 피해영향 등을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 탄화시설 배출구의 복합악취 배출농도는 평균 93 OU/m³으로 배출허용기준 이하이었고 주변지역에 미치는 피해영향은 매우 미미한 것으로 조사되었다. 또한, 습식세정탑의 악취제거효율은 약 65%로 나타나, 이론적

으로 배출구에서는 복합악취 농도 최대 1,400 OU/m³ 이하로 규제되어야 부지경계선의 배출기준을 만족하는 것으로 계산될 수 있다.

2) 부지경계선 또는 최대착지농도 지점에서 부지경계선의 배출허용기준을 만족하기 위해서는 본 배출구의 경우 배출농도는 취기시물레이션 산정결과 24,000 OU/m³ 그리고 Screen3 모델링 예측결과 30,000 OU/m³ 이하로 예측되었다.

3) 결국, 악취 배출원에 의한 피해영향 정도는 총배출량(농도×배출유량)에 따라서 본 배출구와 같이 상대적으로 배출유량이 적은 경우 배출구에서 다소 고농도로 배출되더라도 주변지역에 미치는 피해영향 수준은 미미한 것으로 나타날 수 있다.

한편, 국내 악취방지법에서는 농도 중심의 배출원 규제기준으로 인해 본 배출구와 같이 배출유량이 적은 경우 과도한 농도 규제기준으로 비합리적인 악취관리 규제가 될 수도 있다. 현재 악취 규제기준에 대한 개선안이 다양하게 모색되고 있는 시점에 수용체 중심 그리고 총배출량에 의한 합리적인 규제안이 모색되어야 하겠다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 경남과학기술대학교 연구비지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

An, A. Y., Choi, S. W., 2006, Evaluation of malodor emissions using the ISCST3 in industrial complex area, J. Korean Soc. Odor Res. Eng., 5(1), 19-25.
 Cha, Y. S., Lee, J. Y., Kim, Y. D., Kim, U. S., Lee, J. H., Shin, D. Y., Chen, J. H., Park, Y. M., Kim, G. B., Eom, S. W., 2013, Odor actual condition investigation around sewage sludge dry plant, Proceedings of the Korean Society of odor Research

and Engineering Conferences, 205-206.
 Hwang, G. W., 2014, A study on the reduction of odor using chemical scrubbers for a sewage sludge drying facility, Master Dissertation, Inha university.
 Jeong, S. J., Kim, K. J., 2013, A study on odor impact range around waste incineration facility using regulation of odor concentration and frequency, J. Korean Soc. Odor Res. Eng., 12(3), 125-133.
 Kim, Y., Lee, Y., 2008, Health impact assessment on construction of landfill site - Focused on human risk assessment due to inhalation exposure to landfill gas, KEI Environmental policy Research, 7(1), 1-29.
 Ministry of Environment(MOE), Environmental Statistics, 2015, <http://stat.me.go.kr>.
 The Ministry of the Environment of Japan, 2015a, <http://www.env.go.jp/air/akushu/low-gaiyo.html>.
 The Ministry of the Environment of Japan, 2015b, <http://www.env.go.jp/air/akushu/simulator/index.html>.
 National Institute of Environmental Research(NIER), 2013a, A study on utilization and effective energy recovery of waste resources (Ⅱ) - Environmental and economic analysis for each treatment of sewage sludge, NIER-RP2013-212.
 National Institute of Environmental Research(NIER), 2013b, Improvement of permissible limit for odor emission and it's measure, Final report.
 Suh, Y. S., Lee, J. G., 2006, Emission characteristics of VOCs and odors compounds from a sewage sludge drying facility, Proceedings of the Korean Society of odor Research and Engineering Conferences, 76-80.
 Yun, H. Y., Koo, Y. S., 2013, A study on the needs to improve effluent quality standard of odor using dispersion model, J. Korean Soc. Odor Res. Eng., 12(2), 83-90.
 U.S. Environmental protection agency(US EPA), 1995, SCREEN3 Model User's Guide, EPA-454/B-95-004, USA.