◎ 논 문
◎ Original Paper

DOI: http://dx.doi.org/10.5293/kfma.2014.17.2.054
ISSN (Print): 2287-9706

쓰레기자동집하시설의 악취저감대책에 대한 고찰

백경일* · 엄진석** · 나형용** · 한인섭*†

A Study of Odor Reduction Method for Automatic Waste Collection Facilities

Kyung-il Paik*, Jin-Seok Um**, Hyung-Yong Na**, Ihn-Sup Han*†

Key Words : Waste(쓰레기), Automatic waste collection system(쓰레기자동집하시설), Sealing(밀폐), Air collecting(포집), Odor(악취), Chemical cleaning method(약액세정방식)

ABSTRACT

The method of residential waste and food waste collecting is changed into automatic waste collection(AWC) system from direct collection by human resource. To solve the problem caused by odour from AWC facilities, the structure of input facilities, conveying pipes and collecting facilities have been changed into closed and sealed construction to enclosed the facilities and collect odour efficiently. Based on cases and experiences, to treat variable odour matters which are caused by food waste, chemical cleaning method is preferable method to cope with odour caused by food waste.

1. 서 론

국내 생활쓰레기 및 음식물 쓰레기의 처리방식은 종량제 봉투에 담아 배출하여 손수레나 수거차량을 이용하여 수거하고, 이것을 지역 적하장 또는 최종 처리시설인 매립장이나 소각장으로 보내는 번거로운 형태의 수거방식을 취하고 있다. 쓰레기를 외부에 배출함으로써 도시오염, 악취, 대기오염 등 다양한 형태의 보건상의 문제점이 발생되고 있다. 이에 1996년 용인수지 2지구를 시작으로 수거인력 및 차량이 필요 없고, 쓰레기가 외부로 노출되지 않는 친환경 시스템인 쓰레기 자동집하시설의 도입이 신도시건설을 중심으로 자연스럽게 확산되고 있는 실정이다. 하지만, 쓰레기 자동집하시설 또한 집하시설 설치 주변 지역의 악취 민원에 대하여 자유로울 수는 없다.

악취방지법에서 "악취"란 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새라 정의하고 있다. 이러한 일정한 냄새를 악취로 인식하는 데에는 지역특성, 생활수준 등 사회.문화적인 특성과 성별, 연령, 건강상태, 음식물에 대한 기호 등 개인적인 특성이 중요하게 작용한다. 악취는 감각적이고 주관적인 오염물질로 상황에 따라, 개인의 성향에 따라 문제의 심각성 여부와 정도가 판단되기 때문에 정량적인 측정이 어려운 물질이다. 악취는 발생물질의 종류와 배출원이 다양하고, 여러 물질이 복합적으로 작용하며, 다른 대기오염물질과는 달리 발생원을 효과적으로 관리하고 저감대책을 수립하는데 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 생활쓰레기 및 음식물 쓰레기를 수집 처리하는 과정에서 발생할 수 있는 생활악취 배출원을 효율적으로 관리하기 위해서 악취물질 배출원 파악, 배출특성 등을 기존 쓰레기 자동집하시설을 통하여 파악하고, 악취저감대책을 조사하고 제시함으로써 향후 쓰레기 자동집하시설에 대한 탈취대책을 보다 적정한 방법으로 수립하는데 필요한 기초자료로 제시하고자 한다.

2. 악취 발생 특성과 악취방지대책

2.1. 악취(냄새)의 특성

동일 물질에 대한 후각반응에 있어서도 개인별로 쾌불쾌

* 서울시립대학교 환경공학과 (Department of Environmental Engineering, University of Seoul)
** 지에스건설(주) (GS Engsneering & Construction Co.)
† 교신저자(Corresponding Author), E-mail : ishan@uos.ac.kr

2013 한국유체기계학회 학술대회 발표 논문, 2013년 11월 27-29일, 제주
The KSFM Journal of Fluid Machinery: Vol. 17, No. 2, April, 2014, pp.54~58(Received 5 Dec. 2013; revised 16(1) Dec. 2013, 27(2) Jan. 2014; accepted for publication 21 Feb. 2014)

도를 느끼는 정도의 차이가 있으며, 동일인의 경우에도 냄새를 맡는 빈도에 따라 차이가 있어 단기적으로 좋은 냄새로 인식되더라도 장기적으로 노출되는 경우에는 악취로 여길 수도 있다. 냄새를 유발하는 물질의 종류는 매우 다양하여 유기산류, 에스테르류, 알코올류, 아민류, 방향족화합물류, 알데하이드류, 에스테르류, 황화수소류 등이 있다. 악취종류를 모두 나타낼 수는 없으나, 주요 형태로는 계란, 생선 등이 썩는 것과 같은 부패성 냄새, 암모니아성 냄새, 땀냄새, 강한 자극을 주는 냄새 등으로 구분하여 볼 수 있다. 일반적으로 냄새를 유발하는 물질은 쉽게 휘발할 수 있는 분자량이 300 보다 작고, 비이온성인 화합물질로 분자구조 및 작용기에 따라 냄새 특성이 각기 다르다.

2.2. 악취의 영향

쓰레기 자동집하시설에서는 일반적인 생활쓰레기와 음식물 쓰레기의 투입구의 개폐 시 발생하는 악취와 쓰레기의 교차 반입으로 수송관로내의 잔류 쓰레기에 의하여 악취가 지속적으로 발생하고 있다. 또한, 집하시설계통의 운영에 있어 장비의 틈새를 통하여 발생하는 악취가 운영자에게 영향을

Table 1 Emission limit and range of strict emission limit

Category		Emission limit(Dilution factor)	
		Industrial area	Other area
Complex odor	Outlet	Under 1000	Under 500
	Site boundary line	Under 20	Under 15

Category		Strict emission limit(Dilution factor)	
		industrial area	Other area
Complex odor	Outlet	500~1000	300~500
	Site boundary line	15~20	10~15

Category		Emission limit(ppm)		Range of strict emission limit(ppm)
		Industrial area	Other area	Industrial area
Designated odorant	Ammonia	Under 2	Under 1	1~2
	Methyl mercaptan	Under 0.004	Under 0.002	0.002~0.004
	Hydrogen sulfide	Under 0.06	Under 0.02	0.02~0.06
Designated odorant	Dimethyl sulfide	Under 0.05	Under 0.01	0.01~0.05
	Dimethyl disulfide	Under 0.03	Under 0.009	0.009~0.03
	Trimethylamine	Under 0.02	Under 0.005	0.005~0.02
	Acetaldehyde	Under 0.1	Under 0.05	0.05~0.1
	Propionaldehyde	Under 0.1	Under 0.05	0.05~0.1

Table 2 Odor Concentration before odor removal facility

Odorant	Emission concentration(ppm)		
	“A” City	“B” City	“C” City
Ammonia	2.940	5.8	5.01
Trimethylamine	0.250	0.003	0.04
Hydrogen sulfide	0.105	0.09	0.036
Methyl mercaptan	0.010	0.076	0.045
Dimethyl sulfide	0.298	0.10	0.031
Dimethyl disulfide	0.131	0.031	0.004
Acetaldehyde	3.000	3.63	0.714
Propionaldehyde	0.134	0.10	0.056

주고 있다.

2.3. 악취 배출허용 기준

악취배출허용기준은 악취방지법시행규칙에 의거 Table 1과 같이 규정하고 있으며 쓰레기자동집하시설에서도 배출구 및 부지경계에서 악취방지법의 규정을 준수하고 있다.

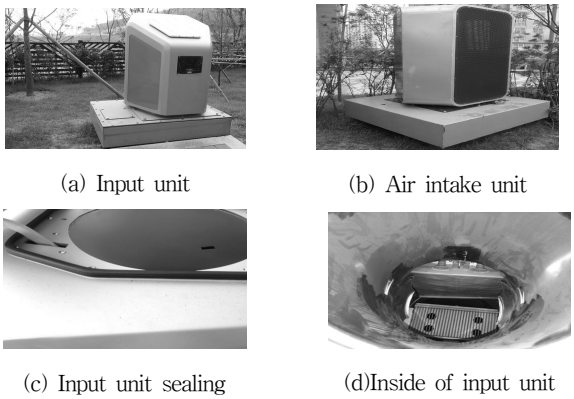
2.4. 생활쓰레기 및 음식물 쓰레기의 악취특성

기존의 쓰레기 자동집하시설을 조사한 결과 Table 2의 결과를 볼 수 있었다. 결과에서 보듯이 일반 생활쓰레기보다는 음식물 쓰레기로 인한 악취의 특성이 나타나고 있다.

3. 쓰레기 자동집하시설의 악취저감대책

3.1. 투입구

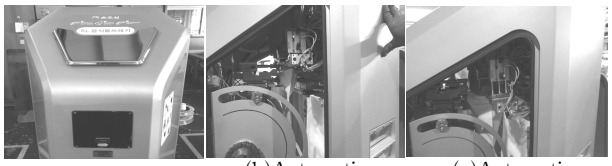
국내 쓰레기 자동집하시설이 도입된 이래 다양한 형태의 투입구가 설계, 시공되고 있다. 이에 투입구의 악취저감설비에 대한 내용은 여러모로 대책이 강구되고 있으며 아래 그림 Fig. 1과 같이 현장에 설치되고 있다. 투입구에 있어서는 제



(a) Input unit (b) Air intake unit

(c) Input unit sealing (d)Inside of input unit

Fig. 1 Input unit installation and sealing



(a)Input unit (b)Automatic packing unit 1 (c)Automatic packing unit2

Fig. 2 Installation of automatic packing unit

한된 규격이 있어 별도의 탈취설비를 설치하기 보다는 투입구 자체의 밀폐를 통하여 투입구 내의 악취가 외부로 배출되지 않도록 기밀장치의 설치가 중요하며, 투입구 내부는 상시 부압이 걸릴 수 있도록 하여 투입구에 쓰레기를 버리기 위하여 투입문을 열었을 경우에도 악취가 외부로 나가지 않도록 하여 준다.

3.2. 수송관로

수송관로의 경우 쓰레기의 이동 경로로써 상시 악취가 발생하고 있으며 이때 수송관로로 이동하는 쓰레기의 잔류로 인한 영향이 제일 크다. 특히 일반 생활 쓰레기는 90~95% 이상 수거가 되고 있어 악취에 영향이 적으나, 음식물 쓰레기의 경우 60% 내외의 수거효율로 인하여 잔류되는 쓰레기의 부패로 인하여 악취를 많이 유발시키고 있다. 최근에 들어서는 음식물쓰레기의 잔류를 최소화하기 위하여 투입구내에 Fig. 2와 같이 자동포장장치를 설치함으로써 쓰레기 수거효율을 향상시키고 있다. GS건설 용인기술연구소의 실증규모 R&D설비를 이용하여 Test를 한 결과 Table 3과 같은 결과를 확인할 수 있었다. 또한, 현재 운영되고 있는 쓰레기 자

Table 3 Collection Weight of Food waste (R&D Plant Test)

1st Test : Recovery rates 96.9%					
No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)	No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)
1	3.40	3.36	6	1.38	1.35
2	3.20	3.01	7	1.30	1.29
3	3.30	3.25	8	1.85	1.77
4	3.31	3.23	9	1.35	1.28
5	3.10	2.97	10	1.50	1.45
2nd Test : Recovery rates 96.7%					
No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)	No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)
1	3.36	3.19	6	1.35	1.31
2	3.01	2.96	7	1.29	1.28
3	3.25	3.20	8	1.77	1.74
4	3.23	3.14	9	1.28	1.21
5	2.97	2.85	10	1.45	1.34

㈜ 1.GS E&C R&D center, Yongin, Pilot Test(2014.1.17.)

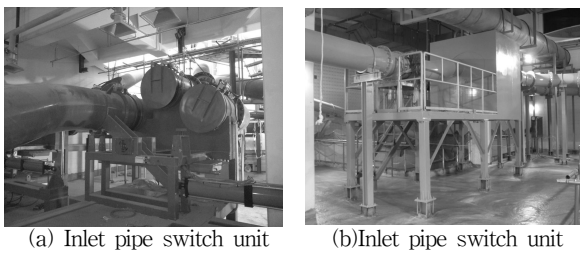
Table 4 Collection Weight of Food waste (“C” “N” City Test)

“N” City Test : Recovery rates 101%					
No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)	No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)
1	1.89	1.91	8	1.98	2.01
2	1.72	1.75	9	2.02	2.08
3	2.01	2.03	10	1.90	1.94
4	1.95	1.96	11	1.98	1.99
5	1.92	1.95	12	1.89	1.92
6	1.85	1.85	13	2.08	2.10
7	1.79	1.77	-	-	-
“C” City Test : Recovery rates 96.6%					
No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)	No.	Input weight(kg)	Recovery weight(kg)
1	1.28	1.30	11	1.56	1.44
2	1.60	1.63	12	1.28	1.18
3	1.56	1.39	13	1.87	1.85
4	1.55	1.59	14	1.86	1.78
5	1.57	1.64	15	1.15	1.57
6	1.56	1.62	16	1.31	1.37
7	1.56	1.65	17	1.87	1.82
8	1.61	1.62	18	1.62	1.70
9	1.30	1.33	19	1.88	0.44(Broken)
10	1.31	1.32	20	1.33	1.36

㈜ 1. Test was performed after removing residue inside pipe in excelsis
2. After collecting food waste, the weight was over because residue inside pipe was collected at once.
3. “N” City Test(2013.6.13.),. “C” City Test(2013.6.26.)

동집하시설 두 곳을 방문하여 자동포장장치의 강화봉투를 Test한 결과 Table 4의 결과를 확인하였다. 실증규모 R&D 설비의 경우 관로 내부가 이물질이 없이 양호한 상태로서 음식물 쓰레기의 이송 시 음식물 쓰레기의 수분만이 감소되어 96%이상 회수율이 확인되었으며, 현재 운영시설의 경우 기존의 쓰레기 잔류물이 강화봉투 표면에 부착되어 나온 결과로서 회수 후 중량이 증가된 것이라 판단된다.

관로내의 악취는 쓰레기의 이동 시와 간헐적으로 운전 시 원심분리기 이후 집진설비를 통해 분진을 제거 시키며,이후



(a) Inlet pipe switch unit (opened type) (b)Inlet pipe switch unit (sealed type)

Fig. 3 Case of odor diffusion prevention at Inlet pipe switch unit

탈취 송풍기를 이용한 배기를 통하여 악취저감장치를 거쳐 악취 제거가 이루어지고 있다. 이때 악취저감장치의 용량은 쓰레기 이송관로 송풍기 용량을 기준으로 정하여 주며 형식은 산성, 알카리성, 중성의 악취 물질을 모두 제거할 수 있는 방식의 채택이 필요하고, 초기 투자비 및 운영비를 면밀히 검토한 후 선택해야 할 것이다.

3.3. 집하시설

집하시설계통은 관로전환기, 원심분리기, 집진설비, 쓰레기 반출실 등이 있으며 각 시설의 악취저감대책을 살펴보면 다음과 같다. 관로전환기의 경우 기존에는 노출방식이 주로 사용되어 생활 쓰레기와 음식물 쓰레기의 관로전환 시 쓰레기의 일부 누출과 함께 발생하는 악취로 인하여 쓰레기 자동집하시설의 운영자들에게 불쾌감을 주고 있다. 이에 관로전환기를 완전히 밀폐 후 국부적으로 배기를 함으로써 악취가 실내로 유출되는 것을 방지하였다.

3.4. 쓰레기 자동집하시설의 탈취사례

전국에 운전중이거나 공사중인 쓰레기 자동집하시설의 유사현장 사례를 조사한 결과 발생하는 악취의 성상이 산성이나 알카리성의 어느 한 부분에 국한된 것이 아니라 다양한 형태로 발생하고 있어 이에 대처할 수 있는 악취저감방식이 채택되고 있는 실정이다. 이를 탈취방식으로 보면 활성탄 흡착탑, 바이오필터 등에서 약액세정법으로 변화하는 추세를 보이고 있다. 또한, 국소 탈취방식의 경우 별도의 시설이 반영된 유사 사례는 없으며 Main탈취방식과 병행하여 탈취를 반영하고 있다. 하지만, 앞으로 쓰레기 자동집하시설의 탈취설비는 쓰레기 집하시설을 운영할 때 발생하는 수송관로 내의 탈취와 집하시설이 설치되어 있는 시설의 탈취로 이원화하여 설치하는 것이 유지관리에 있어 유리할 것으로 사료된다.

Table 5 Odor removal method for AWC system

Site	Odor removal method	Site	Odor removal method
Suji, Yongin	Activated carbon absorption	Hang bok 1st	Com (Ozon+UV)
Songdo 2nd district	Activated carbon absorption	Unjung, Paju	Chemical scrubber
Eunpyung New town	Chemical scrubber	Chungra, Inchon	Chemical scrubber
Songdo 1st district	Ozon+Chemical filter	Poil 2nd, uiwang	Chemical scrubber
Jangki, Kimpo	Bio filter + UV	Byulnae, Namyangju	Chemical scrubber
Pankyo, Sungnam	Bio filter(design) +Chemical scrubber+Activated carbon absorption	Songdo 3rd district	Chemical scrubber

4. 탈취방식의 특성

4.1. 흡착탈취법(활성탄)

배기가스와 활성탄 등 고형의 흡착제(Adsorbent)가 접촉하면서 흡착제 표면에 배출가스가 포집되는 현상을 이용하여 악취성분을 제거하는 방법으로 유량이 비교적 크고, 낮은 농도인 악취가스 처리에 적용되고 있다. 흡착탈취법에서 악취성분의 흡착량은 배기가스의 온도가 높은 것은 적당하지 않고, 수분이 많은 배기가스도 적절하지 않다. 흡착제는

일정량 이상의 악취성분을 흡착하면 포화(飽和)하기 때문에 흡착제를 교환하거나 또는 회수장치에 의해 재생하여야 한다. 고농도 가스에 이용할 경우 교환빈도가 높아지므로 운영비가 많이 들게 된다.

4.2. 3단계 약액세정식

액체에 대한 기체의 용해성을 이용하여 악취성분을 액체로 흡수시켜 탈취하는 방법으로 물에 대한 용해도를 이용하여 물리적으로 흡수시키는 방법과 산·알카리 등의 반응에 의해 화학적으로 흡수시키는 방법이 있다.

세정장치에는 가스속도, 기액비, 압력손실 등이 제거효율을 높이는 데에 주요한 고려사항이다.

흡수액으로 약액을 사용할 경우, 기본적으로 산성가스(SO_2, H_2S 등)에 대해서는 알카리 용액을 사용하고, 대표적인 H_2S의 반응을 보면 식 (1)과 같다.

$$H_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + H_2O \quad (1)$$

염기성 가스(NH_3, 아민류 등)에 대해서는 산성용액을 사용하여 악취를 제거할 수 있으며, 아래 식 (2)와 같이 반응한다.

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 \quad (2)$$

이외에 황계열 악취, 알데하이드류 등에 대해서는 차아염소산나트륨, 과망간산칼륨 등의 산화제가 흡수액으로 사용되고 있으며, 식 (3)에서 보는 것과 같다.

$$(CH_3)_2S + 3NaOCl \rightarrow (CH_3)_2SO_3 + NaCl \quad (3)$$

5. 결 론

일반적으로 쓰레기 자동집하시설 자체만을 본다면 악취 배출 가능성이 비교적 높지 않은 밀폐 구조의 시설이나, 특정시간대에 쓰레기의 유입으로 인하여 발생하는 악취가 주변 지역으로 확산되어 악취 민원의 원인이 되고 있다. 아울러, 휴무일동안 투입구 주변에 쓰레기를 방치함으로써 악취 유발의 원인이 되고 있다. 투입구 주변의 경우 투입구 설치 지역의 관리자가 쓰레기 배출방법 및 일정에 대한 홍보가 필요하며, 집하시설의 운영상 투입구 주변에 쓰레기가 쌓이지 않도록 휴일 수거가 가능하도록 해야 할 것이다. 집하시설 내의 각 장비에 대하여서도 기존의 시설을 계속 사용하기보다는 밀폐·차단을 통한 개선을 통하여 장비에서 실내로 발생하는 악취를 근본적으로 감소시켜야 한다. 기존 시설의 관로 및 집하시설 내를 검토한 결과 생활쓰레기와 음식물 쓰레기의 특성 상 황화합물과 알데히드류가 주된 악취 물질이었으며, 암모니아와 황화수소, 메틸머캅탄 등은 상대적으로 농도가 낮게 검출되었으나, 악취방지법상 배출허용농도를 초과하여 나타났다. 이에 관로시설을 통하여 유입되는 악취와 집하시설 내에서 각 장비로부터 발생하는 악취 및 시설 내 처리과정에서 발생하는 침출수로 인한 악취를 효율적으로 처리하는 방법은 각 악취의 특성을 파악하여 특성에 맞게 적절히 대처할 수 있는 악취저감방법의 선택이 중요하다. 이에 악취제거방식이 여러 종류가 있겠으나 본문에서 보는 것과 같이 기존 쓰레기 자동집하시설의 설계 및 시공사례와 발생되는 악취에 대해 가장 일반적인 방법이 약액세정식이다. 기존 약액세정식의 경우 가성소다(NaOH)만을 이용해 세정장치를 구성하여 염기성이나 중성 악취에 대하여 대응이 미흡하였다. 본문 (Table 2)에서 보듯이 쓰레기 자동집하시설의 경우는 단순악취가 아닌 산성, 염기성, 중성 악취물질이 발생하는 복합악취로서 이에 적절히 대응할 수 있는 악취저감방법이 필요하다. 3단계 약액 세정식의 경우 쓰레기 자동집하시설에서 발생하는 산성, 염기성, 중성의 복합악취에 대해 가장 적절히 대응할 수 있는 악취저감방법이라고 사료된다.

REFERENCES

(1) 악취방지법 (2012, 환경부)
(2) 악취관리 업무편람 (2007, 환경부)
(3) Gil-Hwan Hong, Yeong-Hwan Go, Etc., 2006, “Evaluation of offensive odor in food waste drying plant”, Korea Society of Odor Research and Engineering Spring Conference, pp. 156~160.
(4) 山村勝美 著, 이정한, 전용철, 김이태, 정원식 공역, 2006, “쓰레기운반용 이송관로시설 지침서.동해설”
(5) Jin-Seok Han, Sang-Jin Park, 2012, “A review to improve the regulation concentration standards for the designated foul odor substances on site boundary in operation review”, Korea Society of Odor Research and Engineering Fall Conference, pp. 185~191.
(6) Eun-Suk Kim, Jun-Yeon Lee, Etc., 2013, “The Emission Characteristics of Odor Compounds from the Waste Transfer Station in Seoul”, Korea Society of Odor Research and Engineering Spring Conference, pp. 72~73.