

강구하여 악취 민원 해소에 도움이 되고자 하며 나아가 자원재 활용 및 처리 시설에 대한 해답을 제시하고자 본 과제를 수행하였다.

재료 및 방법

사료화 제조시설 공정 및 특성 조사

본 연구를 수행하기 위해 사료 제조시설로서 음식물류와 생선부산물을 각각 주원료로 하는 사업장으로 이 사업장들은 자연녹지지역과 공업지역 안에 위치해 있으며 주변지역에서 민원이 많이 발생하여 악취 문제 해결이 시급한 업소들로 2개소를 선정하여 각 사업장별 공정 및 특성을 조사하였다.

복합악취 및 지정악취물질 분석

생산시설 공정별 악취 원인물질과 악취 정도를 알아보기 위해 공정별로 시료채취가 가능한 전 구간에 걸쳐 공기를 채취 하였으며 현재 가동 중인 탈취시설의 효율을 알아보기 위해 방지시설 유입되기 전과 배출구를 통해 배출되는 배출가스에 대해서도 채취하여 복합악취 및 지정악취물질을 각각 분석하였다.

복합악취는 공기희석관능법을 사용하였고, 지정악취물질 분석을 위해 기기분석법을 이용하여 악취공정시험방법에 따라 각각 분석하였다. 지정악취물질 분석을 위한 실험방법은 Table 1에 나타내었다. 황화합물류와 VOCs는 저온농축 열탈착기가 부착된 기기를 사용하였고^{5),6)}, 암모니아와 TMA는 흡수액을, 알데하이드류는 DNPH 카트리지에 흡착시킨 후 전처리 과정을 거쳐 아래의 기기를 통해 분석을 행하였다.

측정을 위한 시료 채취는 가장 정확한 결과를 얻기 위하여 전 공정 정상가동 시간에 시료를 채취하여 결과를 도출하였다.

지정악취물질별 악취 기여도 조사

음식물류 사료화 제조시설과 생선부산물 사료화 제조시설에서 공정별로 시료를 채취하여 지정악취 물질을 분석하였으며, 최종 배출구에서 배출되는 가스의 악취 농도를 측

정하여 악취방지시설의 처리 효율을 알아보았다. 또한 배출구에서의 지정악취물질별 악취발생기여도를 조사하였는데, 악취 발생기여도는 악취물질 농도를 최소감지농도 값으로 나눈 악취 강도를 전체 악취 강도의 합 중에서 차지하는 비율로서 평가하였다.

사료제조시설 별 효율적 악취물질 처리 방안 제시

각각의 사료제조시설별로 조사 분석된 결과로 악취원인물질 및 발생량을 알아보았고, 현장 검증을 토대로 현재 악취방지 시설 운영상의 문제점에 대한 보완 사항을 마련하였으며, 최종 배출구에서 발생물질별 기여도에 따라 최적의 악취 방지시설과 관리방안을 검토하여 제시하였다.

결과 및 고찰

사료화 제조시설 공정 및 특성 조사

음식물류 사료화 제조 시설

Fig. 1은 음식물류를 이용하여 사료를 제조하는 시설의 현장모습과 공정을 나타낸 것이다.

이 사업장의 시설공법은 부양식 열풍(기류) 건조기를 이용한 음식물쓰레기 건식 사료화 기술로서 함수율 80% 이상의 음식물쓰레기를 파쇄 후 분원료(옥분, 밀기울 등)와 혼합, 함수율 50% 정도가 되도록하여 부양식 열풍(기류) 건조기에 투입, 열풍에 의해 건조 배관을 따라 부양 이송되면서 2~3초 내에 함수율 15% 이하로 건조 및 살균시켜 사료화하는 기술이다. 투입/저장, 선별, 압착/파쇄, 부원료 혼합, 비중분리에 의한 저장까지 물리적 처리를 위한 전처리 공정과 건조, 냉각/포장과 같은 열처리 공정인 후처리 공정으로 구성된다.

이 시설은 2008년도에 설비한 시설로 비교적 각 공정에서 밀폐가 잘 이루어지고 있었으나 투입구에서는 호퍼 내 뚜껑이 설치되어있지 않아 선별조로부터 악취가 외부로 확산되므로 이에 대한 시설 보완이 필요한 것으로 보였다.

Table 1. Analytical methods of odor compounds

Compounds	Analytical methods and Instruments
Ammonia	UV/Vis Spectrophotometer
Sulfur Compounds	Cryofocusing cooling system - GC/MSD
Aldehydes	HPLC
Trimethylamine	Headspace GC/NPD
Volatile Organic Compounds	Cryofocusing cooling system - GC/FID

생선부산물 사료제조 시설

선어 및 생선부산물을 주원료로 하는 사료화시설은 선별, 저장 등의 과정을 거치지 않고 증자, 건조, 파쇄, 포장의 과정을 거쳐 제품을 생산하므로 음식물쓰레기를 원료로 하는 사료 제조시설에 비해 공정이 간단하다(Fig. 2). 수산 잔재물을 증자 과정을 거쳐 물과 케익으로 분리 후 케익을 건조기를 거쳐

건조, 냉각 과정을 거쳐 분쇄한 다음 포장하는 기술이다. 이 공정에서는 건조에 의한 사료 뿐만 아니라 유수분리를 통한 어유를 생산하여 별도 포장 판매하고 있기도 하다.

본 시설에서는 투입구가 별도 마련되어 있지 않고 모든 공정이 하나의 시설 내부에서 이루어져 외기로 약취 확산이 많아 각 공정별 후드시설 설치가 필요할 것으로 보였다.

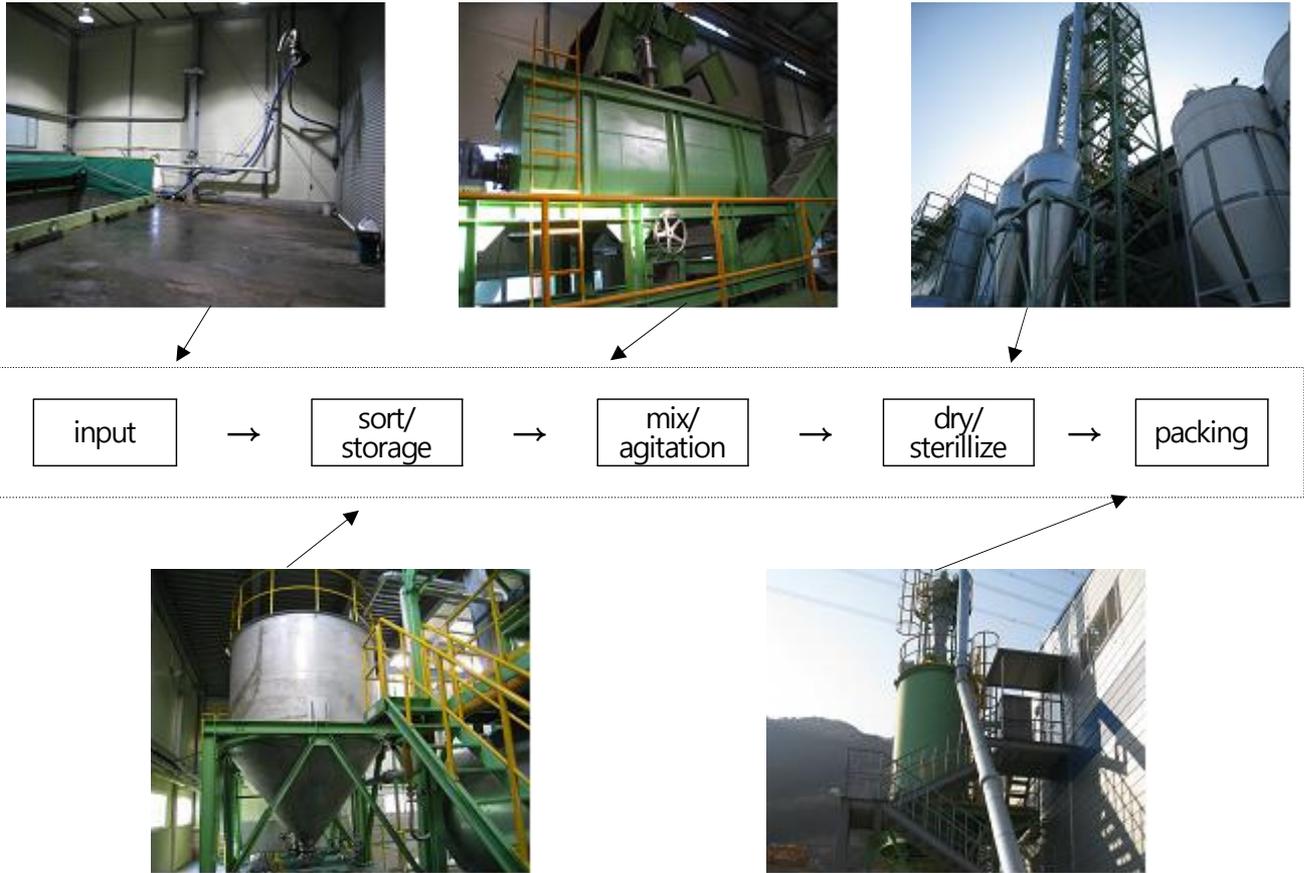


Fig. 1. Animal feed factory using waste food.

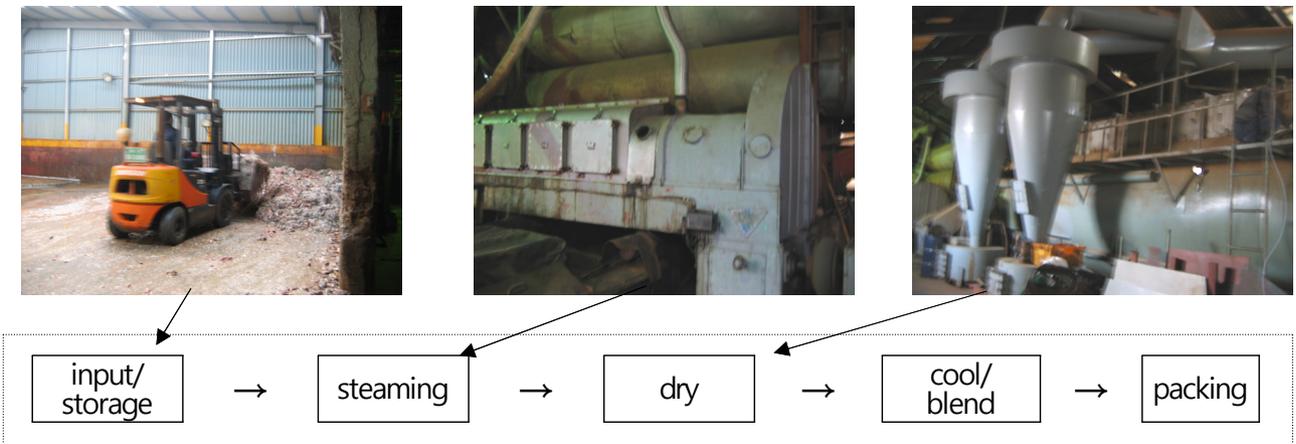


Fig. 2. Animal feed factory using waste fish.

악취물질 분석 결과

음식물류 사료화 시설의 악취 분석

음식물류를 이용하여 사료를 제조하는 사업장에서 각 공정별로 시료를 채취하여 복합 악취 및 지정악취물질을 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 반입장 내 복합악취는 30 ~ 67배 정도이고, 악취원인물질은 주로 낮은 농도에서도 악취로 감지할 수 있는 메틸머캅탄, 아세트알데하이드, 뷰티르알데하이드로 조사되었다. 또한 부패과정에서 일부 유기산 물질도 발생하는 것으로 알려져있다⁷⁾. 저장시설 악취 분석결과 복합악취가 약 10,000 ~ 21,000배로 가장 높았으며, 다음으로 혼합시설(건조시설)투입구 순으로 나타났다.

저장시설에서는 복합악취 10,000 ~ 21,000배로 가장 높게 나타났으며, 메틸머캅탄이 최고 0.345 ppm, 아세트알데하이드는 1,231 ~ 2,624 ppm, i-발레르알데하이드 최고 0.364 ppm으로 나타나는 등 역치농도가 낮은 물질들이 높게 검출되는 것으로 나타났다. 음식물류에서 수분을 제거한 재료에 옥분 등을 혼합하는 혼합시설에서는 저장시설보다 복합악취는 낮은 1,000 ~ 2,100배로 나타났으며, 혼합과정에서 황화수소와 트라이메틸아민이 소량씩 증가하는 것으로 나타났다.

건조시설에서는 혼합조에 비해 아세트알데하이드는 감소하였으나 트라이메틸아민은 증가하였으며 복합악취는 혼합조보다 낮은 300 ~ 1,000배의 수치를 보였고, 최종적으로 모든 사료 제조 시설의 배기 가스가 모여져 최종 처리시설로 유입되는 가스의 복합악취는 3,000 ~ 4,400배의 농도를 보여 최종 배출되는 배출구에서의 복합악취가 210 ~ 450배에서 89.8 ~ 93.0%의 제거 효율을 보여 비교적 양호하게 운영되고 있는 것으로 판단된다.

그러나 이 사업장의 경우 자연녹지 지역에 위치하고 있어 악취방지법 배출허용기준 “기타” 지역의 500배 이하를 적용 받으므로 지속적으로 관리를 하여야 할 필요가 있으므로, 효율적인 운영을 위해 각 시설별로 발생하는 가스의 양을 악취농도에 비례하여 흡입량을 늘리고 방지시설로 운반시켜 처리하고 처리용량을 늘리면 보다 높은 악취 제거율을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

생선부산물 사료화 시설 악취 분석

생선부산물을 이용한 사료제조시설 사업장의 복합악취 및 지정악취물질에 대하여 공정별로 분석한 결과는 Table 3과 같다. 반입장 내 복합악취는 17 ~ 30배 정도이고, 냄새의 원인물질은 주로 낮은 농도에서도 악취로 감지할 수 있는 트라이메틸아민, 아세트알데하이드, 메틸머캅탄 등으로 측정되었다. 공정별로는 증자시설(건조시설)투입구 순으로 조사되었으며, 이 사업장은 증자 시설과 건조시설을 제외한 모든 공정들이 개방되어 있어 이를 보완할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

복합악취가 가장 높은 증자시설에서는 트라이메틸아민이 1.16 ~ 1,209 ppm으로 최소감지농도보다 약 36,000배 이상으로 높게 검출되었으며, 암모니아도 2.32 ~ 3.25 ppm으로 높게

검출되어 단백질 주 분해산물이 많이 발생하는 것으로 조사되었다.

건조시설에서는 트라이메틸아민과 아세트알데하이드의 발생량은 많이 감소하였으나 메틸머캅탄과 다이메틸설파이드 등 황화합물류는 같거나 증가하는 것으로 나타났다.

악취방지시설 투입 전 가스에서는 증자시설에 비해 여러 공정을 거치면서 악취가 희석되어 최종적으로 발생하는 가스의 복합악취는 방지시설을 거치는 과정에서 처리전보다 약 85% 가량 제거된 결과 값을 보였다.

부지경계선에서의 악취는 5 ~ 7배로 후각으로 심하게 감지되는 수준은 아니었으나 실내 사업장 내 공정시설이 개방되어 있어 하절기나 출입문 개방 시에는 시설 내 악취가 외부로 유출되지 않도록 특별히 관리할 필요가 있을 것으로 사료된다.

악취 제거율 및 기여도 조사

음식물류 사료 제조 시설 악취 기여도 평가

최종배출구에서 배출되는 가스에서 악취방지시설의 처리 효율을 알아보기 위해 처리전·후의 지정악취물질 농도로 처리 효율을 산정하였으며, 배출가스에서 악취물질의 기여도를 평가한 결과는 Table 4와 Fig. 3에 각각 나타내었다. 악취물질별 농도를 각각의 최소감지농도로 나눈 값을 악취 강도라고 하며, 악취강도를 전체물질 악취강도의 합으로 나눈 값으로 냄새의 기여도를 평가하였다.

복합악취는 평균 7,200배에서 330배로 감소하여 78.75%의 제거율을 보였고 다이메틸설파이드를 제외한 대부분의 항목에서는 67 ~ 100%의 제거율을 나타내었다. 악취기여도 평가에서 메틸머캅탄(77.87%)>i-발레르알데하이드(7.37%)>아세트알데하이드(7.02%)의 순으로 조사되었는데 이 물질들을 제거하기 위한 공정을 추가로 설치하면 배출구에서의 악취 발생을 좀더 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

생선부산물 사료제조 시설 악취 기여도 평가

생선부산물 사료제조시설에서의 복합악취 제거율은 88.5%로 높은 제거 효율을 보였으며, 지정악취물질은 물질별로 52.4% ~ 100%로 나타나 큰 차이를 보였다.(Table 5, Fig.4) 배출가스에서의 악취물질 기여도는 트라이메틸아민(91.84%)>메틸머캅탄(6.10%)>i-발레르알데하이드(1.26%)의 순으로 조사되었는데, 이 세가지 물질들은 최소감지농도 0.0001 ppm 이하의 낮은 값에서도 악취를 유발하고 낮은 수준의 농도로도 건강에 위험한 영향을 초래할 수도 있다고 보고되고 있어^{4),6)}, 현 처리 시설에서 추가로 탈취시설을 설치하여 배출구에서의 악취를 보다 낮은 농도로 처리해야 할 것으로 보여진다.

Table 2. Concentrations of odor compounds in animal feed factory by waste food

compounds	input (ppm)	storage tank (ppm)	mixing tank (ppm)	drying tank (ppm)	before (ppm)	after (ppm)	Threshold value (ppm)
odor intensity	30 ~ 67	10,000 ~21,000	1,000 ~ 2,100	300 ~ 1,000	3,000 ~ 4,400	210 ~ 450	-
Ammonia	0.02~0.03	0.18~0.32	0.28~0.35	0.26~0.43	0.56~0.65	0.09~0.19	1.5
Hydrogen Sulfide	N.D.	N.D.	0.009~0.021	0.015~0.051	0.005~0.215	N.D.	0.00041
Methylmercaptane	0.010~0.068	0.302~0.345	0.101~0.164	0.039~0.095	0.092~0.158	0.023~0.051	0.00007
Dimethyl Sulfide	0.008~0.012	0.029~0.264	0.004~0.013	0.009~0.019	0.045~0.106	0.002~0.034	0.003
Dimethyl Disulfide	0.005~0.017	0.015~0.031	0.006~0.012	0.009~0.031	0.007~0.015	0~0.015	0.0022
Acetaldehyde	0.019~0.146	1.231~2.624	0.351~0.954	0.021~0.364	0.093~0.864	0.031~0.112	0.0015
Butyraldehyde	0.002~0.031	0.092~0.421	0.001~0.134	0.031~0.041	0.004~0.015	0.001~0.009	0.00067
Propionaldehyde	N.D.	0.03~0.095	0.01~0.03	0.02~0.04	0.01~0.05	0.005~0.015	0.001
i-valeraldehyde	0~0.002	0.003~0.364	0.002~0.102	0.005~0.130	0.001~0.265	0.001~0.009	0.0001
n-valeraldehyde	N.D.	0.009~0.216	0.003~0.054	0.004~0.039	0.002~0.068	0~0.021	0.00041
Trimethylamine	N.D.	0~0.004	0.002~0.008	0.007~0.039	0.005~0.015	N.D.	0.000032
Styrene	N.D.	0~0.01	0~0.01	0~0.01	N.D.	N.D.	0.035

※ N.D. : not detected

Table 3. Concentrations of odor compounds in animal feed factory by waste fish

compounds	input (ppm)	steam tank (ppm)	drying tank (ppm)	before (ppm)	after (ppm)	Threshold value (ppm)
Odor complex	17 ~ 30	10,000 ~ 14,400	3,000 ~ 10,000	4,500 ~ 10,000	670 ~ 1000	-
Ammonia	0.02~0.09	2.32~3.25	1.34~1.85	1.32~2.15	0.12~0.54	1.5
Hydrogen Sulfide	0.001~0.009	0.012~0.016	0.012~0.019	0.015~0.021	N.D.	0.00041
Methylmercaptan	0.005~0.006	0.197~0.235	0.218~0.267	0.108~0.132	0.008~0.036	0.00007
Dimethyl Sulfide	0~0.009	0.094~0.130	0.103~0.136	0.029~0.078	0.009~0.016	0.003
Dimethyl Disulfide	0.01~0.075	0.02~0.061	0.067~0.084	0.039~0.066	0.025~0.012	0.0022
Acetaldehyde	0.002~0.008	0.394~0.635	0.06~0.165	0.054~0.132	0.033~0.125	0.0015
Butylaldehyde	N.D.	0.005~0.013	0.009~0.015	0.006~0.015	0.002~0.008	0.00067
Propionaldehyde	N.D.	0.005~0.009	0.007~0.010	0.007~0.008	0.001~0.006	0.001
i-valeraldehyde	N.D.	0.002~0.026	0.004~0.008	0.006~0.013	0.005~0.008	0.0001
n-valeraldehyde	N.D.	0.001~0.035	0.002~0.009	0.005~0.016	0.001~0.003	0.00041
Trimethylamine	0.005~0.013	1.16~1.209	0.457~0.519	0.531~0.735	0.103~0.200	0.000032
Styrene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.035

※ N.D. : not detected

Table 4. Removal ratio and level of contribution of odor compounds

	Removal Ratio (%)	odor intensity	contribution percentage (%)
Odor complex	78.75	—	—
Ammonia	77.69	0.09	0.01
Hydrogen Sulfide	100.00	0.00	0.00
Methylmercaptan	70.40	528.57	77.87
Dimethyl Sulfide	76.16	6.00	0.88
Dimethyl Disulfide	51.82	3.41	0.50
Acealdehyde	85.06	47.67	7.02
Butylaldehyde	92.25	7.46	1.10
Propionaldehyde	66.67	10.00	1.47
i-valeraldehyde	96.24	50.00	7.37
n-valeraldehyde	70.00	25.61	3.77
Trimethylamine	100.00	0.00	0.00

Table 5. Removal ratio and contribution percentage of odor compounds

	Removal Ratio (%)	odor intensity	contribution percentage (%)
Odor complex	88.50	—	—
Ammonia	80.98	0.22	0.00
Hydrogen Sulfide	100.00	0.00	0.00
Methylmercaptan	81.67	314.29	6.10
Dimethyl Sulfide	76.64	4.17	0.08
Dimethyl Disulfide	64.76	8.41	0.16
Acealdehyde	79.57	12.67	0.25
Butylaldehyde	52.38	7.46	0.14
Propionaldehyde	53.33	3.50	0.07
i-valeraldehyde	73.47	65.00	1.26
n-valeraldehyde	80.95	4.88	0.09
Trimethylamine	76.07	4734.38	91.84

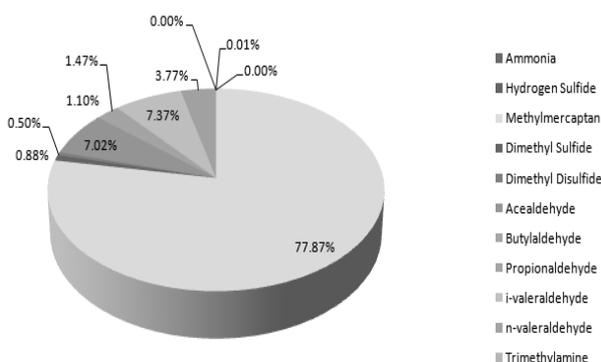


Fig. 3. Contribution percentage of odor in waste food recycling system.

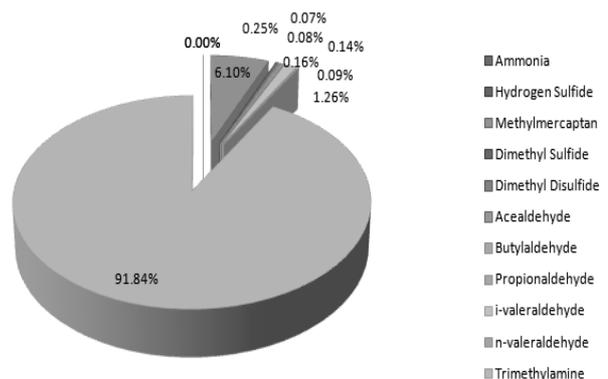


Fig. 4. Contribution percentage of odor in fish by-products facility.

탈취시설 공정 개선 검토

음식물류 사료제조시설 악취 개선 방안

본 연구에서 조사된 시설의 악취 개선 방안은 Fig. 5와 같다. 본 시설은 비교적 음식물류 투입구부터 각 공정들의 밀폐가 잘 이루어져 있었으나, 투입구에 있는 투입 호퍼의 뚜껑을 설치하고 지속적인 미생물 탈취제 등을 사용하여 호퍼 내부의 악취 저감이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 반입장 내부의 지속적인 청소를 통해 바닥에 음식물 침출수 오염을 방지할 필요가 있을 것으로 보였다.

저장, 건조, 혼합 시설 모두 기밀장치는 잘 설치되어 있었으나 악취 발생농도가 심한 저장소 등에는 포집 풍량을 늘리고 그 외에는 발생 악취 농도별로 공정의 포집량을 달리하거나 충분히 확보하여 탈취시설로 이송하고 악취 확산을 방지해야 한다.

현재 포집된 배출가스의 탈취시설로서는 알칼리(NaOH) + 산화제(NaClO)를 사용한 1차 약액 세정 방식을 이용하고 있었으나, 배출가스에서는 높은 농도를 차지하는 알데하이드류의 추가 제거 및 악취의 효율적 처리를 위해서는 1차 산세정 및 2차 알칼리 + 산화제 세정과 같은 연계처리 방식이나 활성탄 또는 바이오필터를 이용하는 흡착시설의 추가 설치가 필요할 것으로 사료된다.

또한 악취발생농도에 따른 교환수 교체주기 및 약품주입량의 정확한 산정으로 악취처리 효율을 개선할 수 있을 것으로 보인다.

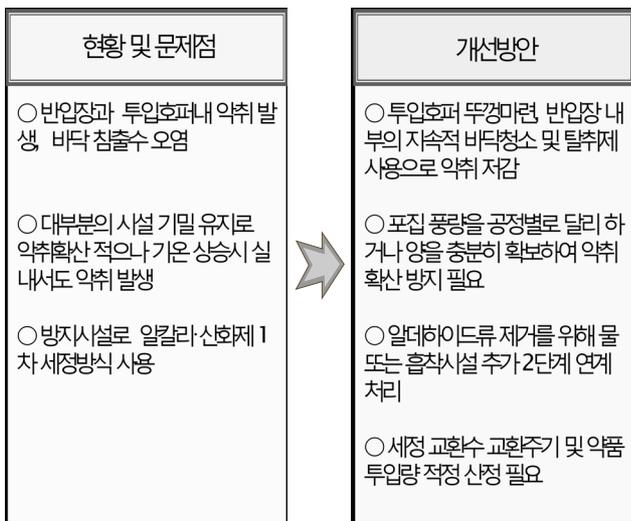


Fig. 5. Suggestion for reducing odors in food recycling system.

생선부산물 사료제조시설 악취 개선 방안

폐생선을 이용하여 사료를 제조하는 사업장에 대한 시설의 악취개선 방안은 Fig. 6에 나타내었다. 공장의 노후화로 창문과 투입구를 통해 악취가 외부로 확산이 이루어지고 있었으며 한 공간 내에서 투입에서 포장까지의 작업이 행해지고 있어 이에 대한 공간 분리가 우선적으로 필요할 것으로 보였다. 투입구에 외부로 공기 확산 방지를 위한 밀폐 및 국소포집장치를 설치하고 반입장 바닥의 지속적인 청소로 침출수 오염을 방지할 필요가 있을 것으로 사료되었다.

중자 및 건조시설에서 배출되는 황화합물류의 악취를 처리하기 위하여 소각시설을 탈취시설로 사용하고 있었는데 이는 고농도의 황화합물류 처리를 위해서는 적합한 탈취시설로 알려져 있다⁸⁾, 그러나 최종배출가스의 복합악취는 “공업지역” 배출허용기준인 1000배에 근접하는 값을 보이고 있어 소각시설만으로는 한계가 있을 것으로 판단되었다.

따라서 본 사업장 배출가스의 지정악취물질 중 약 92%의 높은 기여도를 보이는 트라이메틸아민의 효율적인 처리를 위해서는 설치비용과 운전이 비교적 간단한 산(H₂SO₄, HCl) 또는 물을 이용한 약액 처리방법을 사용하면 높은 효과를 얻을 수 있는데⁸⁾, 현재 탈취시설로 가동 중인 소각시설과 병행처리하면 높은 악취 제거율을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

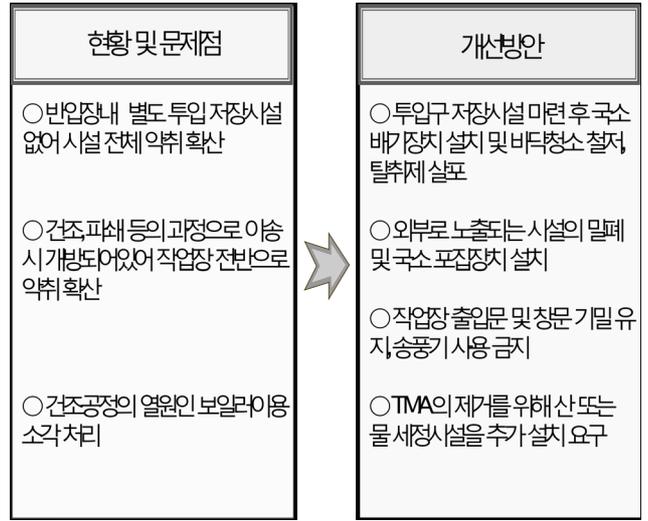


Fig. 6. Suggestion for reducing odors in fish by-products facility.

결 론

참 고 문 헌

- 1. 음식물류 사료화시설에서 복합악취는 저장시설>혼합시설>건조시설>투입구 순으로, 생선부산물 사료제조시설에서는 증자시설>건조시설>투입구 순으로 높게 나타났다.
- 2. 각 사업장에서 최종 배출가스 중 지정악취물질 기여도를 알아본 결과 음식물류 사료화 시설에서는 메틸머캅탄>i-발레르알데하이드>아세트알데하이드 순으로 높게 나타났고, 생선부산물 사료화 시설에서는 트라이메틸아민>메틸머캅탄>i-발레르알데하이드 순으로 조사되었다.
- 3. 음식물류 사료제조시설에서의 악취 개선을 위해서는 공정별 포집 용량을 늘려 악취 확산을 방지하고, 악취원인물질의 효율적 제거를 위해 현재 알칼리+산화제의 1차 세정시설에서 산+알칼리·산화제 또는 알칼리·산화제+흡착시설 등 2단계 연계 처리 방식으로의 방지시설 추가 설치가 요구된다.
- 4. 생선부산물 사료제조시설에서는 투입구에 국소포집장치를 설치하고 외기로 확산되는 통로를 차단시키고, 기존 소각시설 처리 전에 악취주원인물질인 트라이메틸아민 제거를 위해 산 또는 물 세정시설을 추가 설치할 것을 제안한다.
- 5. 악취는 불쾌감으로 인한 정신적 스트레스로 건강까지 위협하는 공해이므로 악취에 대한 인식의 전환과 더불어 악취 문제를 해결하기 위한 관.사의 적극적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

- 1. 환경부, "악취방지법" (2008).
- 2. 국립환경연구원고시 제2005-4호, "악취공정시험방법" , pp.81~102(2009).
- 3. 환경부, "악취관리업종별 개선 사례집", pp.25 ~37(2009).
- 4. 이태용, 하정협, 김만구, 오징어 폐기물로부터 발생하는 아민류의 발생 특성 연구, 한국냄새환경학회지7(4), pp.205~210(2008).
- 5. Jacek Namiesnik et al, Anna Jastrzebska, Bogdan Zygmunt, "Determination of volatile aliphatic amines in air by solide-phase microextraction coupled with gas chromatography with flame ionization detection," Journal of Chromatography A,1016, pp.1~9(2003).
- 6. EKlund, B.M. and Williams, C. H., "Development and Validation of a Canister Method for Measuring Ethylene Oxide in Ambient Air", *Environ. Sci. Technol.*, 38, pp.4200~4205(2004).
- 7. 서용수, "미량 다분석 복합 악취물질 정량분석을 통한 악취 특성 평가"(2007).
- 8. 일본, "악취방지기술가이드", pp.308~309(2009).
- 9. US EPA Method TO17A, "Determination of VOCs in ambient air using active sampling into sorbent tubes", 2nd, Ed.(1997).
- 10. 부산광역시 사하구청, 공단주변 악취 등 환경실태조사, pp.386~390(2008).