

시정연2000-R-10-4

난지도지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안

약취관리

김 갑 수

2000

시 정 연
2000-R10-4

난지도 지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안 - 악취관리 -

Evaluation of Nanjido Landfill and Environmentally-friendly Restoring Strategies
-Odor Control and Management -

2000

연구진

연구책임	김 갑 수	• 도시환경연구부 선임연구위원
연구원	정 주 영	• 도시환경연구부 연구원
	조 경 숙	• 이화여자대학교 부교수(초빙선임연구위원)
	岡田誠之	• 日本東北文化学園大学 教授(초빙선임연구위원)

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약 및 정책건의

I. 연구의 개요

- 난지도 매립지에는 1978년 이후 15년간 서울시에서 발생된 약 92,000천 m³의 폐기물이 위생기반시설 및 오염방지시설 없이 매립됨으로서 매립이 완료된 지 약 8년이 지난 현재까지도 침출수 및 매립가스 발생에 의한 환경오염뿐만 아니라 지반침하로 인한 사면의 불안정 등의 문제가 지속되고 있는 실정임.
- 서울시에서는 그동안 버려진 땅의 이미지를 가졌던 난지도 일대를 친환경적인 공간으로 조성하기 위해 난지도 매립지에서 발생하는 심각한 환경오염 물질을 제거하고, 매립지를 가급적 조기 안정화시킴으로서 지역민원의 해소와 환경을 개선하며, 장기적으로는 토지의 효율적 이용을 도모하고자 노력하고 있음. 특히 2002년 서울월드컵 경기를 개최시킴으로써 난지도 매립지를 자연생태 및 휴식공간으로 조성함과 동시에 상암동 일대를 생태환경과 디지털미디어 산업이 어우러진 미래형 신도시 개발 계획을 수립하였음.
- 난지도 매립지 안정화 사업은 1993년 기본설계용역, 1996년 실시설계용역을 마치고, 1996년 12월 본격적인 공사를 착공하게 되었음.
- 난지도 매립지 안정화 공사 과정에서 가장 중요한 부분중 하나는 악취 문제임. 일반적으로 매립지에서 발생하는 악취는 매립지 주변의 주민들에게 가장 심각한 영향을 주는 요소이며, 다른 심미적인 요소들과 마찬가지로 가장 관리하기 어려운 문제중의 하나임. 특히 2002년 월드컵 개최를 1년여 남짓 남겨둔 상황에서 축구 선수 및 국·내외 일반관중 등에게 쾌적하고, 맑은 공기를 제공하기 위해서는 악취 문제는 반드시 해결되어야 할 과제임.
- 이에 본 연구는 난지도 매립지를 포함한 주변 지역에서 발생하는 악취물질의 종류와 특성, 발생원인 등을 측정·조사하여 각 발생원별로 악취 저감대책을 제시하고자 다음과 같은 내용으로 연구를 수행하였음.

- ① 악취의 일반적 특성 조사
- ② 난지도 매립지의 과거 악취도 조사
- ③ 난지도 지역 악취도 측정 및 평가
- ④ 발생원별 악취 저감 방안 도출

II. 난지도 지역 악취도 측정 결과

- 월드컵 주경기장에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 대표적인 악취 발생원은 난지도 매립지, 난지하수중계펌프장(100만 $\text{m}^3/\text{일}$), 마포 농수산물 시장 등이 있고, 기타 난지도 지역의 주변 악취 오염원으로는 난지하수처리사업소, 음식물 퇴비화 시설, 강변북로 주변 발농사 지역 등이고, 향후 잠재적 발생원으로는 난지도 매립지 침출수 처리장 등이 있는 것으로 조사되었음.
- 현재 난지도 매립지의 가스추출공에서 배출되는 가스량은 약 $4,600 \sim 10,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 으로 추정되었고, 매립가스 악취를 느끼지 못할 정도로 만들기 위해서는 $9.7 \times 10^8 \sim 2.1 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 신선한 공기가 필요함.
- 매립지 상부의 악취는 직접관능법의 경우 2~3도, 냄새감지한계 희석배수는 100~6,700 이었고, 공기의 풍향과 풍속에 따라 악취도의 심한 차이를 보임. 사면의 경우는 많은 초목들에 의한 마스킹(masking)효과 때문에 악취강도가 비교적 낮았음.
- 월드컵 경기장의 악취강도는 1~3도 이었고, 냄새감지한계 희석배수는 3~450 범위였으며, 풍향과 풍속 등의 기상조건에 따라 간헐적으로 악취 농도가 높게 나타나는 현상이 발생했음.
- 농수산물 센터의 악취강도는 1~2도 이었고, 냄새감지한계 희석배수는 3~150 범위이었으며, 농수산물 센터에서 배출되는 생선 및 쓰레기의 관리 소홀이 냄새의 주요 원인인 것으로 조사되었음.
- 난지하수중계펌프장의 내부와 주변의 악취 강도는 2~3도를 유지하였고, 냄새감지한계 희석배수는 670~2100 범위로 악취도가 매우 심하였음.
- 난지 하수처리장의 악취강도는 평균 1~2도로 전반적으로 낮은 수준이었으나, 음식물 퇴비화 시설에서의 악취강도는 3~4도로 매우 높았음.
- 기기분석법을 이용하여 악취성분의 농도를 분석한 결과, 대부분의 시료에서 악취성분의 농도가 측정되지 않았음. 향후, 시료 농축 장치를 이용하여 보다 정확하게 악취성분 농도를 분석할 필요성이 있음.

III. 정책건의

1. 악취 발생원별 장·단기 저감대책

1) 난지하수 중계 펌프장

- 본 시설의 상부를 복개 방식은 FRP에 의한 복개가 경제성 및 구조물 안정성을 고려할

때 효과적인 것으로 조사되었음. 공사비용은 약 20억 정도가 소요될 것으로 조사되었음.

- 본 연구에서 바이오필터법, 활성탄 흡착법, 약액세정법, 지렁이 분변토를 이용한 탈취법의 4가지를 선정하여 각 탈취 공정별 성능평가 및 경제성 분석 연구를 통하여 효율적인 탈취방식을 제시하기 위해서 실험을 수행한 결과, 바이오필터법이 기타 탈취법에 비해 성능이 뛰어나고, 경제성이 우수한 것으로 조사되었음. 초기 설비 투자 비용은 약 4~5억이 소요될 것으로 조사되었음
- 난지하수 중계 펌프장 상부를 FRP 재질에 의해 복개할 경우 시설 유지관리 작업에 지장이 없는 범위에서 최소로 설계되는 것이 탈취 설비 도입시 비용을 절감할 수 있음. 한편 난지하수중계펌프장의 위치가 월드컵 주경기장으로부터 1km이내이기 때문에 복개 설계시 미적감각을 충분히 배려하여야 하며, 협잡물 제거 호퍼는 매일 반출시켜야 할 것으로 사료됨.

2) 난지도 매립지(상부 및 사면) 악취 대책

○ 악취도 평가 및 예측

- 제 1, 2매립지 상부의 악취도는 직접관능법에 의해 대략 2~3도, 사면과 부지경계의 악취도는 1도 이하를 나타냈음. 매립지 상부의 경우는 아직 공사가 완료되지 않은 가스추출공에 의해 매립가스가 대기중에 직접 배출되어 대기중에 희석되는 과정에서 풍향에 따라 취기가 감지되었음. 매립지 사면은 현재 조성되어 있는 초목들의 강한 마스킹 효과에 의해 악취도가 비교적 낮았던 것으로 추정되었음.
- 현재 난지도 지역의 악취도는 대기환경기준치를 초과하지 않는 경미한 수준이며, 간헐적인 악취 농도 증가도 매립지 상부의 가스처리 시설에서 배출되는 매립가스 및 주변 악취 발생원에서 발생하는 악취가 혼재된 일시적인 현상으로 평가되었음. 따라서 향후 매립가스 처리 시설이 완공되어 매립가스가 당초 계획대로 적절히 처리된다면 매립지 가스에 의한 악취도 영향은 극히 경미할 것으로 평가되었음.

○ 악취 저감 추진 전략

- 주변 악취 발생원으로 조사된 마포농수산물시장 배출 쓰레기의 철저한 관리 및 난지하수중계펌프장의 탈취 대책이 우선적으로 실시되어야 할 것으로 사료됨.
- 가스처리 시설의 시운전 과정에서 향후 공사의 방향 설정에 중요한 영향을 미치는 사항들의 점검과 보완이 필요하기 때문에 가스처리 시설인 열병합발전소가 조속히 완공되어야 향후 공사 진행에 차질이 없을 것으로 사료됨.

○ 비상시 대책

- 난지도 매립지 안정화 공사 특히 가스처리 시설의 완공 이후에도 악취가 지속적으로 발생할 경우에는 탈취제의 사용을 신중히 검토할 필요가 있음. 적절한 탈취제 선정은 D, Y, E회사의 제품을 대상으로 탈취 효율을 조사한 실시설계 실험결과를 활용하는 것이 바람직함. 탈취제 분사 방식은 신속한 대처 및 상대적으로 가격이 저렴한 고압 탈취 차량을 이용한 분사법이 바람직할 것으로 사료됨.
- 만일 2001년 상반기내에 가스처리 시설의 공사가 완공된 이후에도 난지도 지역의 악취도가 현재 수준 또는 그 이상으로 지속될 경우 장기간 대책으로서 가스추출공의 추가설치를 신중히 재검토할 필요가 있음.

3) 음식물 퇴비화 시설

- 음식물 퇴비화 시설의 탈취 시설은 기존에 설치되어 있는 토양 탈취상을 보수하여 사용하는 방안이 가장 현실적이고, 경제적인 방안으로 판단됨. 다행히 현재 본 시설의 관리를 맡고 있는 서대문구청에서도 자체적으로 현재 가동이 중지되어 있는 토양탈취상 시설을 복구하여 활용할 예정인 것으로 조사되었음.
- 음식물 퇴비화 시설내 토양탈취 시설은 오랜 기간 가동이 중지되어 왔고, 토양미생물이 매우 드문 것으로 나타나 기존의 토양이 폐쇄되어 있거나 많은 유해물질에 의해 오염되어 있을 것으로 사료됨. 따라서 보수시 기존 토양을 교체하는 방안도 검토할 필요가 있음. 또한 토양중 수분의 함량과 토양층 충전높이 및 체류시간과 기타 검토 사항을 기 문헌에 근거하여 본 보고서에 제시하였음.
- 토양탈취상의 양호한 탈취효과를 지속적으로 유지하기 위해서는 항상 관리를 철저히 하고, 사전에 고장의 발생을 예방하는 것이 중요하므로 향후 유지관리 사항에 대해 본 보고서에 요약하여 정리하였음.
- 만일 토양 탈취 시설을 보수 후에도 주변지역에 영향을 줄만큼 악취가 발생한다면 2002년도 월드컵이 개최되는 기간에는 본 대상 시설을 한시적으로 폐쇄하고, 현재 음식물 쓰레기 하수병합처리 시범 사업을 수행하고 있는 가양하수처리장에서의 성공이 확인된 후에는 음식물 쓰레기 하수 병합처리를 도모하는 것을 고려해야 함.

4) 강변북로변 농경지 악취 대책

- 강변 농경지에서 악취 문제의 원인이 가축분의 사용에 의한 것으로 확인되었기 때문에 2002년 3~6월까지의 반드시 생(生)가축분 사용을 전면 금지시켜야 함. 농민에게 월드컵 개최의 중요성과 함께 가축의 생분뇨 사용이 농작물에 미치는 영향을 인식시킬 필요가 있음.

- 서울시와 관할 지자체인 고양시는 농민들게 악취 발생이 없는 금비 지급을 고려해야 함. 현재 경작중인 농경지 면적과 일반적인 시비량을 고려할 때 예상되는 총 퇴비량은 약 27~54톤 정도로 추정되고, 지원 금액으로는 약 340~680만원 정도로 예상됨.
- 금비 지급을 위한 예산 마련이 어려울 경우 가축분을 충분히 부숙시킨 후 시비하는 방안을 강구해야 함. 퇴비화 기간은 2001년도에 고온이 유지되는 여름철에 만들어 두는 것이 바람직할 것으로 사료됨.
- 장기적으로는 한강변에서의 경작은 금지시켜야 됨. 왜냐하면 퇴비에서 발생하는 악취 문제뿐만 아니라 만일 홍수 등에 의해 농경지가 침수되면 토양중의 다량의 질소나 인 성분이 유출되어 한강의 영양염류 증가 원인이 될 수 있기 때문임.

5) 마포농수산물 시장

- 마포 농수산물시장에 대한 처리방안은 기존의 기능을 유지시키면서 건물을 환경적으로 정비하는 것이 바람직하며, 건물 환경 정비시 농수산물 쓰레기를 임시로 보관할 수 있는 건물을 설치하도록 하고, 이에 따른 효과적인 탈취설비를 마련해야 함.

6) 난지하수처리사업소

- 난지하수처리사업소는 전반적으로 악취도가 낮은 것으로 조사되었음. 따라서 2002년 월드컵 기간중에도 현재와 같은 운영상태를 유지한다면 난지하수처리장에서의 악취문제는 없을 것으로 최종 평가되었음.
- 다만, 지렁이를 활용한 분변토 생산과정에서 정화조오니케익내 가스 방출을 위한 야적과정과 지렁이 사육장에 최초 투입시 악취 발생이 예상되므로 2002년 월드컵 개최 전·후 기간에는 냄새 유발 과정을 가급적 중지하거나 시기를 조정하는 것이 바람직함.

7) 침출수 처리장

- 난지도 매립지에 도입되는 침출수 공정에서 상부 복개 예정인 유량조정조와 함께 농축조 및 탈수기 등에 대해서도 악취도 결과와 관계없이 외부와 차단시킬 필요가 있음. 왜냐하면 침출수 처리시설은 일반 시민에게 혐오시설로 인식되고 있을 뿐만 아니라 난지도 지역의 새서울타운 개발계획과 이에 따른 국내·외 방문객의 증가가 예상되기 때문임. 다만 탈취 설비 마련은 향후 침출수 처리시설이 완공된 후 시운전 과정에서 악취도 측정을 실시한 후 악취도가 심각할 경우에 적절한 탈취시설 마련을 검토하는 것이 바람직할 것으로 사료됨.

2. 악취 모니터링 방안

- 악취도 측정은 난지도 매립지뿐만 아니라 침출수 처리장 등 주변 모든 악취 발생원에 대한 측정이 반드시 필요함. 측정 시기는 매월 1회를 원칙으로 하고, 2001년 5월과 6월에는 가스추출 설비의 공사가 완료될 예정이므로 주1회씩 집중적인 측정이 필요함. 또한 1회 정도는 GC/MASS에 의한 분석을 수행할 필요가 있음. 또한 이러한 측정은 2002년 월드컵 경기가 열리는 기간까지 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료됨.
- 측정 수행기관은 현재까지 난지도 주변 지역을 대상으로 주기적인 측정을 수행하고 있는 서울시보건환경연구원에서 수행하는 것이 바람직함. 다만 현재 서울시보건환경연구원은 측정인력의 부족 등과 같은 많은 어려움이 있으므로 향후 서울시에서는 추가의 공공근로 인력 투입 등의 지원이 필요할 것으로 사료됨. 즉, 악취 등 환경측정에 대한 기본적 지식을 갖춘 환경 및 화학 관련학과 출신이 요구되며, 전문대졸 이상의 인력을 인턴제 채용 형식으로 활용하는 것이 바람직함. 왜냐하면 악취의 측정은 그 측정·분석 과정이 매우 까다롭고, 또한 많은 지점을 이동하면서 수행해야 하기 때문에 많은 체력이 소모되기 때문임.

3. 난지도 매립지 안정화 사업의 지속적 관리

- 난지도 매립지 안정화 사업에서 현재 가장 큰 문제가 되는 것 중 하나는 향후 공사진척도에 따라 발생할 수 있는 여러 가지 제도적·기술적 문제 등에 대해 종합적으로 검토하고, 대처할 수 있는 전문 인력이 부족하다는 것임.
- 잔여 공사과정에서 문제가 발생시 신속한 대책을 수립할 수 있는 전문가 집단이 필요함. 그 대안으로 2000년 기본과제로 난지도 매립지 안정화 공사 과정에 참여한 서울시정개발연구원에서 그 역할을 담당하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료됨. 다만, 본 연구를 위해서는 과제 특성상 수탁과제로 수행하는 것이 바람직함.

목 차

제 I 장 서 론	1
제1절 연구배경 및 목적	3
제2절 연구범위 및 내용	4
제 II 장 문헌 연구	7
제1절 악취 오염의 특성	9
1. 악취정의 및 발생 특성	9
2. 국내·외 악취 규제 현황	11
3. 악취 측정 및 평가 방법	16
4. 악취방지 기술	19
제2절 과거 난지도 매립지 악취도 및 관리 현황	26
1. 과거 악취도 측정결과	26
2. 난지도 쓰레기 매립지 안정화 계획(매립가스)	29
3. 난지도 지역 기상 현황	35
제 III 장 난지도 지역 악취도 측정 및 분석	39
제1절 난지도 지역 주요 악취발생원	41
1. 난지도 매립지 현장	41
2. 주변 오염원	43
제2절 악취도 측정	49
1. 측정지점 및 일정	49
2. 측정 및 분석방법	51
제3절 악취도 측정결과 및 분석	57
1. 직접관능법과 공기희석관능법에 의한 악취도 측정 결과	57
2. 기기분석법에 의한 측정 결과	63
3. 서울시보건환경연구원 측정결과와의 비교·분석	65
제 IV 장 난지도 지역 악취 관리 방안	71
제1절 발생원별 악취관리 방안	73
1. 난지하수중계펌프장	73
2. 난지도 매립지 현장(상부 및 사면)	84
3. 음식물 퇴비화 시설	88
4. 강변북로변 농경지 악취 대책	94

5. 마포농수산물 시장	99
6. 난지하수처리사업소	100
7. 침출수처리장	102
제2절 악취 모니터링 계획	105
제3절 난지도 매립지 안정화 사업의 지속적 관리	105
 제 V 장 결 론	 107
제1절 요 약	109
제2절 정책건의	111
 참고문헌	 115
 부 록	 121
I. 난지하수중계펌프장 탈취 방식별 악취 저감 연구	123

표 목 차

<표 2-1> 주요 악취물질의 물리·화학적 특성	10
<표 2-2> 도시 쓰레기 매립지 가스의 성분 조성	11
<표 2-3> 악취물질 배출허용기준	12
<표 2-4> 직접관능법·공기희석관능법·기기분석법의 악취 농도별 관계	12
<표 2-5> 악취방지법에 의한 악취물질 측정법(일본)	14
<표 2-6> 부지경계선에서의 악취 규제기준(일본)	15
<표 2-7> 행정구역별 악취 환경규제기준(미국)	15
<표 2-8> 일반적 악취 제거 방법	23
<표 2-9> 난지도 매립지 상부 및 주변 지역의 악취도 측정결과 (기본설계)	27
<표 2-10> 난지도 매립지 상부 및 주변 지역의 악취도 측정결과 (실시설계)	27
<표 2-11> 가스추출공에서의 가스성분 분석결과(기본계획, 기본설계, 실시설계) ..	28
<표 2-12> 난지도 매립지 안정화 공사 연혁	30
<표 2-13> 가스추출공 위치별 가스 포집량	32
<표 2-14> 가스포집시설의 주요내용	32
<표 3-1> 악취 측정 지점	49
<표 3-2> 난지도 지역 악취도 측정 일정	50
<표 3-3> 6월 측정 당시 시간별 기상 현황	51
<표 3-4> 악취 판정도	53
<표 3-5> 시험액의 농도와 냄새의 질	55
<표 3-6> 가스크로마토그래피에 의한 황화계 악취물질 분석 조건	56
<표 3-7> 이온크로마토그래피에 의한 암모니아 농도 분석 조건	56
<표 3-8> 난지도 지역 악취도 측정 결과 I (2000년 5월 20일)	60
<표 3-9> 난지도 지역 악취도 측정 결과 II (2000년 6월 14일)	60
<표 3-10> 난지도 지역 악취도 측정 결과 III (2000년 6월 19일)	61
<표 3-11> 난지도 지역 악취도 측정 결과 IV (2000년 7월 25일)	61
<표 3-12> 난지도 지역 악취도 측정 결과 V (2000년 8월 9일)	62
<표 3-13> 난지도 지역 악취도 측정 결과 VI (2000년 9월 2일)	62
<표 3-14> 월드컵 주경기장 시간별 악취도 측정 결과 (2000년 6월 19일)	63
<표 3-15> 중계 펌프장 내부 시간별 악취도 측정 결과 (2000년 6월 19일)	63
<표 3-16> 제 2 매립지 상부 시간별 악취도 측정 결과 (2000년 6월 19일)	63
<표 3-17> 기기분석법에 의한 악취물질 농도 측정 결과	64
<표 3-18> 난지하수처리사업소 주변 악취도 측정결과	66

<표 3-19> 난지도 매립지 및 주변지역 악취도 측정결과	67
<표 4-1> 중계 펌프장 시설물 현황	73
<표 4-2> FRP를 이용한 복개방식 검토	76
<표 4-3> 난지하수중계펌프장 악취 가스의 분석 성분명 및 크로마토그램	78
<표 4-4> 일반적인 토양충전재 및 개량재 종류	89
<표 4-5> 일본 토양탈취상의 일반적인 설계 지침	90
<표 4-6> 토양탈취상 운전조건 및 연구사례	91
<표 4-7> 토양탈취상의 이상현상 및 대책	92
<표 4-8> 강변북로변 하천 점용 현황	95
<표 4-9> 침출수 처리공정 주요 시설물 개요	104

그림 목 차

<그림 2-1> 악취 측정방법의 분류	19
<그림 2-2> 난지도 매립지 최종복토 구성 단면도	34
<그림 2-3> 월별 평균 기온 현황	36
<그림 2-4> 월별 평균 습도 현황	36
<그림 2-5> 난지도 주변 지역 월별 풍향 및 풍속 현황	37
<그림 2-6> 월별 천기일수 현황	37
<그림 2-7> 월별 평균 강우량 분포	38
<그림 3-1> 난지도 지역 악취 발생원 및 측정 지점	50
<그림 4-1> 새서울타운 개발 예시도	75
<그림 4-2> 난지하수중계펌프장 악취 가스의 분석 크로마토그램	77
<그림 4-3> 바이오필터를 이용한 악취 제거 효과	79
<그림 4-4> 활성탄 흡착탑을 이용한 악취 제거 효과	79
<그림 4-5> 약액세정장치를 이용한 악취 제거 효과	80
<그림 4-6> 지렁이 분변토 흡착탑을 이용한 악취 제거 효과	80
<그림 4-7> 활성탄 흡착법과 바이오필터법의 사용기간에 따른 탈취비용 비교	82
<그림 4-8> 이중 추출공 형식 개략도	87
<그림 4-9> 침출수 처리공정도	103

사 진 목 차

<사진 2-1>	난지도 매립지 가스 포집 및 이송 과정	33
<사진 3-1>	난지도 제2매립지 상부	42
<사진 3-2>	난지도 매립지 사면(노출쓰레기 및 Geo Cell) 현황	42
<사진 3-3>	난지도 매립지 부지 경계면(택지개발지구 앞)	43
<사진 3-4>	난지 하수처리장 부지경계면 I	45
<사진 3-5>	난지 하수처리장 부지 경계면 II	45
<사진 3-6>	음식물 퇴비화 시설	46
<사진 3-7>	난지하수중계펌프장 제1침사지 전경	46
<사진 3-8>	난지하수중계펌프장 협잡물 처리 호퍼(Hopper)	46
<사진 3-9>	경기도 고양시 대덕동 일대 농경지	47
<사진 3-10>	강서구 행주대교 우측 한강 둔치지구	47
<사진 3-11>	난지하수처리사업소 맞은 편 한강 둔치지구	47
<사진 3-12>	난지하수처리사업소 정화조오니 처리장 옆 농경지	47
<사진 3-13>	마포 농수산물 센터 주차장	48
<사진 3-14>	매립지 침출수 노출 지점	48
<사진 3-15>	난지도 지역 주변 마을의 축사	48
<사진 3-16>	시료 채취 장치	52
<사진 3-17>	시료 포집용 흡수병 및 채취 펌프	53
<사진 3-18>	무취 공기 제조 장치	54
<사진 4-1>	강변북로변 악취 유발 퇴비의 야적 상태	94
<사진 4-2>	지렁이 분변토 생산과정	101

第 I 章 서론

제 1 절 연구배경 및 목적

제 2 절 연구범위 및 내용

제 I 장 서 론

제 1 절 연구배경 및 목적

서울시 마포구 상암동 난지도에 쓰레기가 매립되기 시작한 것은 1978년 3월부터이며, 그 후 1992년까지 15년 간에 걸쳐 약 1억 톤의 쓰레기 매립이 완료되었다. 그러나 매립된 쓰레기의 분해가 시작되면서 악취, 먼지, 침출수 등과 같은 오염물질이 발생되어 서울시의 환경에 나쁜 영향을 주고 있는 실정이다.

최근 난지도 매립지가 위치하고 있는 마포구 상암동 지구가 2002년 한·일 월드컵 개최 지역 중 하나로 선정되면서 난지도 쓰레기 매립지를 포함한 인근 지역에 월드컵 주경기장이 건설되고 있고, 이와 함께 밀레니움 공원 및 생태골프장(미정) 조성 등의 마포 새서울 타운 발전 계획이 수립된 바 있다. 따라서 2002년 월드컵의 성공적 개최와 더불어 맑고 깨끗한 서울을 만들기 위해서는 난지도 쓰레기 매립지에서 발생하는 오염물질의 적절한 관리가 필요하다.

이에 서울시에서는 난지도 매립지를 쾌적한 도시의 일부분으로 복원하기 위해 난지도 매립지 안정화 공사를 지속적으로 수행해왔고, 현재까지는 성공적으로 사업이 이루어져 왔다. 그 과정을 살펴보면, 1992년 많은 공청회와 자문회의 등을 거쳐 난지도 매립지 안정화를 위한 기본 계획이 수립되었고, 1994년에는 기본 설계, 1996년에는 실시설계를 각각 완료하였으며, 현재 이 실시설계를 바탕으로 공사가 한창 진행중이다. 한편 세계적으로 유례가 없는 거대한 쓰레기 산을 친환경적으로 안정화 및 복원하는 과정에서 지금까지 매우 많은 공사상의 난관(難關)과 시행착오(試行錯誤)가 있어 왔다.

현재 난지도 매립지 안정화 공사 과정에서 가장 중요한 부분 중 하나는 악취 문제일 것이다. 일반적으로 매립지에서 발생하는 악취는 매립지 주변의 주민들에게 가장 심각한 영향을 주는 요소이며, 다른 심미적인 요소들과 마찬가지로 가장 관리하기 어려운 문제 중의 하나이다. 특히 2002년 월드컵 개최를 1년여 남짓 남겨둔 상황에서 축구 선수 및 국·내외 일반 관중 등에게 쾌적하고, 맑은 공기를 제공하기 위해서는 악취 문제는 반드시 해결되어야 할 과제이다.

이에 본 연구는 난지도 매립지를 포함한 난지도 지역에서 발생하는 악취물질의 종류와 특성, 발생원인 등을 측정·조사하여 각 발생원별 저감대책을 마련함으로써 단기적으로는 2002년 월드컵의 성공적 개최와 장기적으로는 난지도 지역 새서울 타운 개발에 따른 도시시설 입지를 대비하여 쾌적하고, 깨끗한 살기 좋은 지역을 조성하는데 일조하고자 한다.

또한 최근 전국 각 지방에서 운영되고 있는 쓰레기 매립지 또는 매립이 종료된 부지의 재활용이 증가하는 추세이므로 본 연구의 결과는 향후 전국에 산재되어 있는 많은 매립지의 조기

안정화에 있어서 좋은 사례 연구가 될 것으로 판단된다. 또한 1996년 실시설계 당시 악취도를 측정 한 이후 추가의 측정사례가 없었기 때문에 그동안 진행된 매립지 안정화 공사 이후의 대기 질의 변화를 전반적으로 재조사하는 측면에서도 의의가 있을 것으로 사료된다.

제 2 절 연구범위 및 내용

본 연구의 공간적 범위는 월드컵 경기장 및 주변 지역에 직·간접적으로 악취 영향을 미칠 수 있는 모든 발생원을 연구대상으로 하였다. 이에 난지도 매립지 현장 및 난지하수중계펌프장, 난지하수처리사업소, 음식물 퇴비화 시설, 강변북로변 농경지, 마포농수산물 시장 등이 대표적 인 악취 조사대상으로 선정되었다.

연구의 내용적 범위는 크게 악취의 일반적 특성조사, 발생원별 악취도 측정 및 발생원인 조사, 월드컵 경기장에 미치는 영향 조사, 난지도 매립지 안정화 공사의 진행상황 검토, 주요 악취 발생원의 장·단기적 악취 저감 방안 등이 중심이며 세부 내용은 다음과 같다.

1. 악취의 일반적 특성 및 난지도 매립지의 과거 악취도 조사

문헌연구를 통해 매립지 악취의 성분 및 특성, 악취물질의 측정 방법, 일반적인 악취 저감 방안 등에 대해 자세히 정리하였고, 국내·외 악취 규제 현황과 문제점 등에 대해서도 기술하였다. 또한 난지도 매립지 안정화 공사의 진행상황의 검토를 포함해 과거 난지도 매립지의 악취 발생 정도를 자료조사를 통해 정리하였다.

2. 난지도 지역 악취도 측정 및 평가

본 연구에서 수행한 악취도 측정은 대기환경보전법에서 제시하고 있는 관능법(직접관능법 및 공기희석법)과 기기분석법을 병행하여 실시하였으며, 측정은 난지도 매립지 상부 및 사면과 부지경계, 난지하수중계펌프장, 월드컵 주경기장 주변(마포농수산물 시장), 난지하수처리사업소, 음식물 퇴비화 시설, 강변북로 농경지 및 도로변 등에서 각각 수행하였고, 각 발생원별로 악취 발생 원인을 조사하였다. 또한 1999년 12월부터 정기적으로 서울시보건환경연구원에서 수행해 온 난지도 주변 지역 악취도 측정결과와 상호 비교·검토함으로써 본 측정의 신뢰도 및 악취도 실태를 정확하게 평가하고자 하였다.

3. 발생원별 악취 저감 방안

현장 조사 및 악취 측정 결과를 토대로 주요 발생원별로 악취 저감 방안을 2002년 월드컵을 고려한 단기적 방안과 근본적 악취 저감을 위한 장기적 저감방안으로 구분하여 각각 제시하였다. 또한 현재 진행중인 난지도 매립지 공사가 향후 성공적으로 완수될 수 있도록 서울시에서 추진해야할 사항을 조사하였다. 주요 발생원별로 악취 저감 방안 도출을 위한 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

1) 난지하수중계펌프장

난지하수중계펌프장 침사지 상부에 적합한 복개 방식을 검토하였다. 이와 함께 상부복개시 필요한 효율적 탈취설비 선정을 목적으로 활성탄 흡착탑, 지렁이 분변토 및 무기 담체를 이용한 바이오필터법, 약액세정법 등의 탈취 방식을 대상으로 악취 제거 성능 실험을 수행하였고, 동시에 유지관리와 경제성 측면 등을 상호 비교·검토하였다.

2) 난지도 매립지

- ① 난지도 매립지에서 발생하는 가스가 월드컵 주경기장 및 주변지역에 어느 정도 영향을 미치고 있는지를 조사하였다.
- ② 본 연구에서는 난지도 매립지 안정화 공사가 성공적으로 완수될 수 있도록 하기 위해 서울시에서 고려해야할 사항에 대해 검토하였다.
- ③ 난지도 매립지 안정화 공사가 완공된 이후에도 악취도가 현 수준을 유지하거나 높아질 경우를 대비한 악취저감 방안에 대해 연구하였다.

3) 음식물 퇴비화 시설

음식물 퇴비화 시설의 탈취 방안으로 제시된 토양탈취상의 적용성에 대해 평가하였고, 또한 본 방법이 성공적으로 이루어지도록 하기 위해 고려해야할 사항 등에 대해 연구하였다.

4) 강변북로변 농경지

강변북로변 농경지에서 발생하는 악취 저감을 위해 정부 차원의 금비(金肥)지급 방안 및 예상 소요비용, 완숙퇴비 공급 및 제조방법, 근본적 악취 대책 방안 등의 내용으로 연구를 진행하였다.

5) 난지하수처리사업소

난지하수처리사업소에서 발생하는 악취가 월드컵 주경기장 및 주변 지역에 어느 정도 영향을 미치는지를 조사하였다. 또한 난지하수처리사업소에서 자체적으로 실시하고 있는 지렁이 분변토 제조과정에서의 악취 유발 가능성과 그 대책 방안에 대해 조사하였다.

6) 마포 농수산물 시장

마포 농수산물 시장의 악취 발생 원인 및 근본적 악취 저감 대책에 대해 연구하였다.

7) 침출수 처리장

난지도 매립지내 건설될 예정인 침출수 처리장의 주요 공정별 악취도 발생 가능성을 추정하였고, 그 대책 방안에 대해 연구하였다.

第 II 章 문헌연구

제 1 절 악취오염의 특성

제 2 절 과거 난지도 매립지 악취도 및 관리현황

제Ⅱ장 문헌 연구

제 1 절 악취오염의 특성

1. 악취정의 및 발생 특성

우리나라의 대기환경보전법에서는 악취를 “황화수소(Hydrogen Sulfide), 메르캅탄류(Mercaptanes), 아민류(Amines), 기타 자극성이 있는 기체상 물질과 이들의 혼합물들이 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새”로 정의하고 있다. 황화수소는 계란 썩는 냄새, 메틸메르캅탄류는 야채 썩은 냄새를 각각 유발시키고, 질소화합물의 대표적인 악취 물질인 아민류는 생선 썩는 냄새를 유발시키며, 저농도에서도 감지가 가능하고, 강한 자극성이 있는 것이 특징이다. 방향족 탄화수소류인 스티렌은 6각 또는 고리모양의 분자구조를 가지고 있고, 유황 또는 질소화합물보다는 악취가 덜한 편이나 저농도에서도 자극성이 강하고, 특히 장기 노출시 인체에 매우 유해하다(<표 2-1> 참조).

악취의 주요 발생원으로는 정유공장, 화학공장, 하수처리장, 분뇨 및 축산폐수처리장, 쓰레기 매립지 등으로 발생원이 매우 다양하고, 여러 가지 복합된 화합물이 원인이 되어 악취를 유발시키는 것이 특징이다. 특히 악취는 생활환경과 사람의 심리상태에 따라서 오염도에 대한 인식이 달라지는 특성도 있어 다른 대기오염물질과는 달리 효과적으로 발생원을 관리하고 저감대책을 수립하는데 어려움이 있다.

일반적으로 쓰레기 매립지에서 발생하는 가스는 매립된 쓰레기 중의 생물학적으로 분해가능한 천연유기물이 쓰레기층 및 복토재내에 존재하는 미생물의 작용으로 부패, 분해의 과정을 통해 안정화되어 가는 과정을 거치면서 발생하게 된다. 이러한 매립지 가스는 주로 메탄가스와 이산화탄소로 구성되어 있지만, 또한 N_2 , O_2 , H_2S , NH_3 , 기타 미량의 유기화합물 등이 동시에 배출되는데 이중 황화수소와 같은 유황화합물과 암모니아, 휘발성 유기화합물 등이 저농도에서도 매우 강한 악취를 나타낼 수 있다. 예를 들어 아세트알데히드, 아민류, 유황화합물, 메틸메르캅탄 등은 악취 감지역치가 거의 1ppb이하이지만 악취가 쉽게 감지된다. 따라서 매립지에서 발생하는 악취는 감지역치가 작은 값을 나타내어도 주변에 미치는 영향이 클 것으로 예상되므로 적절한 악취저감 대책이 수립되어야 한다.

한편 쓰레기의 매립 후에도 매립지의 복토지역에서는 유기물의 분해에 따른 악취유발 가스 성분이 계속적으로 발생한다. 매립은 호기성상태에서 혐기성 상태로 생물학적 조건이 변화되는 것으로 폐기물의 분해기간과 가스발생량 및 발생속도는 매립지의 수분, 온도, pH, 쓰레기의 성분에 따라 달라지게 된다. 혐기성 상태에서 발생된 매립가스의 주요성분은 아세톤, 디클로로메

탄, 톨루엔 등 수집종의 미량가스가 발생하게 되며 이들 물질들은 서로 반응하여 다른 화합물을 만들기도 한다.

쓰레기 매립지에서 악취의 발생경로는 주로 가스추출공과 복토 표면이다. 또한 매립지 발생 가스중의 악취 구성성분과 농도 및 발생가스 속도는 매립의 구조와 쓰레기의 질, 경과 년수에 의해 서로 다르다. 특히 악취는 각각 유발물질의 복합적 성질과 매립폐기물의 종류 및 지리적 요건 등에 의하여 차이가 있다. 대체적으로 매립가스중의 주요 악취 함량은 황화합물이 0~1%, 암모니아가 0.1~1.0%정도이며, 일부 분해과정에서 생성된 휘발성유기물이 미량 포함되어 있다 (<표 2-2> 참조). 매립경과시기에 따른 발생 특성을 살펴보면 일반적으로 매립직후부터 1.5년까지는 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸 등의 유황계 악취물질이 고농도로 발생하고, 그 이후부터 점차 농도가 감소되는 것으로 알려지고 있다.

<표 2-1> 주요 악취물질의 물리·화학적 특성

화학물질명	화학식	분자량 (g)	비중	융점 (°C)	비점 (°C)	감지농도 (ppm)	용해물질	냄새종류
황화수소	H ₂ S	34.08	1.190	-82.9	-59.6	0.0005	메탄올, 이황화탄소	썩은 계란냄새
메틸메르캅탄	CH ₃ SH	48.10	0.896	-121	5.88	0.0001	물, 알콜, 에테르	썩은 양파냄새
황화디메틸	(CH ₃) ₂ S	62.13	0.846	-83.2	37.3	0.00012	알콜, 에테르	썩은 양배추냄새
이황화디메틸	(CH ₃) ₂ S ₂	94.2	1.057	-	116~118	0.00028	-	해초냄새
암모니아	NH ₃	17.03	0.567	-77.7	-33.4	0.15	물, 알콜, 에테르	자극성 냄새
트리메틸아민	(CH ₃) ₃ N	59.11	0.662	-124	3.5	0.00011	물, 알콜, 에테르	썩은 생선냄새
아세트알데히드	CH ₃ CHO	44.05	0.783	-123.5	20.2	0.0015	물, 알콜, 에테르	곰팡이냄새
스틸렌	C ₆ H ₆	104.14	0.903	-31	145~146	0.033	물, 알콜, 에테르	플라스틱, 고무냄새

자료: 김노중, “악취 현황과 탈취기술”, 첨단환경기술, 1996년 9월호.

〈표 2-2〉 도시 쓰레기 매립지 가스의 성분 조성

성분	비율(%)
CH ₄	45~60
CO ₂	40~60
N ₂	2~5
O ₂	0.1~1.0
Sulfides, Bisulfides, Mercaptans, etc.	0~1.0
NH ₃	0.1~1.0
H ₂	0~0.2
CO	0~0.2
Trace Constituents	0.01~0.6
특성	값
온도(°C)	38~49
비중	1.02~1.06
수분(%)	포화됨
고위발열량(kcal/m ³)	3,600~4,900

자료: 석철영, “생물탈취상에 의한 매립지가스 악취물질 제거”, 건국대학교 석사학위논문, 1998.

2. 국내 · 외 악취 규제 현황

우리나라의 악취 규제는 대기환경보전법 및 환경오염공정시험법에 관련 내용이 명시되어 있으며, 2000년 10월에 배출허용기준이 기존의 기준보다 훨씬 강화된 것으로 조사되었다(〈표 2-3〉 참조). 본 악취 규제의 특징은 직접관능법, 공기희석법 등의 관능법외에 기기분석법을 통해 총 8종의 물질을 규제대상으로 규정하고 있으며 발생원별로 배출허용기준을 각각 구분하고, 특히 한 사업장에서 규정된 8가지의 악취물질이 복합되어 발생할 경우에는 기기분석을 병행하여 실시하고, 이 경우 어느 한가지 악취물질이라도 기준을 초과할 때에는 배출허용기준을 초과한 것으로 규정하고 있는 것이 특징이다. 또한 생활악취 규제대상시설로부터 발생하는 악취에 대하여는 직접관능법에 의한 악취도가 2도 이하로 배출되도록 물청소, 탈취제 살포 등 악취 제거 조치를 취하도록 규정하고 있다. 이와 함께 본 규정에서는 직접관능법 · 공기희석관능법 및 기기분석법의 악취 농도별 관계를 〈표 2-4〉와 같이 제시하고 있다.

〈표 2-3〉 악취물질 배출허용기준

측 정 방 법	배 출 허 용 기 준		
직접관능법	악취도 2도 이하		
공기희석관능법	가. 배출구		
	(1) 공업지역내의 사업장: 희석배율 1,000이하		
	(2) 기타 지역내의 사업장: 희석배율 500이하		
	나. 부지경계선		
기기분석법	(1) 공업지역내의 사업장: 희석배율 20이하		
	(2) 기타 지역내의 사업장: 희석배율 15이하		
	악취물질	공업지역내의 사업장	기타지역내의 사업장
	암모니아	2 ppm 이하	1 ppm 이하
	메틸메르캅탄	0.004 ppm 이하	0.002 ppm 이하
	황화수소	0.06 ppm 이하	0.02ppm 이하
	황화메틸	0.05 ppm 이하	0.01 ppm 이하
	이황화메틸	0.03 ppm 이하	0.009 ppm 이하
	트리메틸아민	0.02 ppm 이하	0.005 ppm 이하
	아세트알데히드	0.1ppm 이하	0.05 ppm 이하
	스틸렌	0.8 ppm 이하	0.4 ppm 이하

〈표 2-4〉 직접관능법 · 공기희석관능법 · 기기분석법의 악취 농도별 관계

구 분		악취농도		
		3이상 4미만	4이상 5미만	5이상
직접관능법(악취강도)		3	4	5
공기희석관능법	배출구	3,000미만	3,000이상 15,000미만	15,000이상
(단위:희석배율)	부지경계선	100미만	100이상 500미만	500이상
기기분석법 (단위:ppm)	암모니아	10미만	10이상 40미만	40이상
	메틸메르캅탄	0.3미만	0.03이상 0.2미만	0.2이상
	황화수소	0.7미만	0.7이상 8미만	8이상
	황화메틸	0.8미만	0.8이상 2미만	2이상
	이황화메틸	0.3미만	0.3이상 3미만	3이상
	트리메틸아민	0.2미만	0.2이상 3미만	3이상
	아세트알데히드	1미만	1이상 10미만	10이상
	스틸렌	4미만	4이상 20미만	20이상

한편 일본은 1971년 악취방지법을 세계에서 최초로 제정하였으며, 악취발생 규제물질을 5가지로 지정하여 규제하였다. 그 이후 계속적으로 규제물질을 추가로 지정하여 1990년 4월 이후부터는 12종류의 악취물질을 규제대상으로 지정하였고, 1993년부터는 22종류의 규제대상 물질을 추가로 지정하여 적용하고 있다.

일본 환경청 장관이 공시한 1994년 6월 이후 적용한 악취물질 측정방법은 22종류의 악취물질을 개별 또는 유사물질별로 구분 측정하며, 또한 채취장소(부지경계선, 배출구) 및 정량방법별로 세분하여 측정방법을 규정하고 있다(<표 2-5>, <표 2-6> 참조).

미국은 악취 규제와 대책을 최초로 시도한 나라로서 각 주의 대기오염방지국과 시(市) 등에서 독자적으로 악취규제치를 설정하고 있다. 악취강도에 대한 측정방법으로는 공기희석법에 의한 관능시험법으로 Scentometer법과 ASTM주사기법을 사용하고 있다(<표 2-7> 참조).

〈표 2-5〉 악취방지법에 의한 악취물질 측정법(일본)

악취물질	시료채취장소	포집방법	농축방법	정량법
암모니아	부지경계선	용액흡수법		흡광광도법
	배출구	용액흡수법(JIS K0099)		흡광광도법
메틸메르캅탄 황화수소 황화메틸 이황화메틸	부지경계선	포집 Bag	저온농축법	GC-FPD법
	배출구	포집 Bag	저온농축법	GC-FPD법
트리메틸아민	부지경계선	용액흡수법	저온농축법	GC-FID법
	배출구	용액흡수법	저온농축법	GC-FID법
아세트 알데히드 프로피온 알데히드 노말부틸 알데히드 이소부틸 알데히드 노말발렌 알데히드 이소발렌 알데히드	부지경계선	포집 Bag	용액농축법	GC-FID법
		포집 Bag	상온흡착 · 저온농축법	GC-질량분석법
이소부타놀	부지경계선	포집 Bag	저온농축법	GC-FID법
	배출구	포집 Bag	저온농축법	GC-FID법
초산에틸 에틸이소부틸게톤	부지경계선	포집 Bag	저온농축법 또는 상온흡착법	GC-FID법
	배출구	포집 Bag	저온농축법 또는 상온흡착법	GC-FID법
톨루엔 스틸렌 크실렌	부지경계선	포집 Bag	저온농축법 또는 상온흡착법	GC-FID법
	배출구	포집 Bag	저온농축법 또는 상온흡착법	GC-FID법
프로피온산 노말酪산 노말吉草산 이소吉草산	—	수산화스트론튬으로 피복한 유리구슬로 충전한 시료 포집관	—	GC-FID법

〈표 2-6〉 부지경계선에서의 악취 규제기준(일본)

물질명	화학식	규제기준
황화수소	H ₂ S	0.02 ~ 0.2 ppm
메틸메르캅탄	CH ₃ SH	0.002 ~ 0.01 ppm
황화디메틸	(CH ₃) ₂ S	0.01 ~ 0.2 ppm
이황화디메틸	(CH ₃) ₂ S ₂	0.009 ~ 0.1 ppm
암모니아	NH ₃	1 ~ 5 ppm
트리메틸아민	(CH ₃) ₃ N	0.005 ~ 0.07ppm
아세트알데히드	CH ₃ CHO	0.05 ~ 0.5 ppm
프로피온알데히드	C ₂ H ₅ CHO	0.05 ~ 0.5 ppm
노말부틸알데히드	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO	0.001 ~ 0.08 ppm
이소부틸알데히드	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO	0.02 ~ 0.2 ppm
노말발렐알데히드	C ₂ H ₅ CH ₂ CH ₂ CHO	0.001 ~ 0.05 ppm
이소발렐알데히드	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO	0.003 ~ 0.01 ppm
이소부타놀	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₃	0.09 ~ 20 ppm
초산에틸	CH ₃ COOC ₂ H ₅	3 ~ 20 ppm
메틸이소부틸케톤	(CH ₃) ₂ CHCOCH ₂ CH ₃	1 ~ 6 ppm
톨루엔	C ₆ H ₅ CH ₃	10 ~ 60 ppm
스티렌	C ₆ H ₅	0.4 ~ 2 ppm
키실렌	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	1 ~ 5 ppm
프로피온산	C ₂ H ₅ COOH	0.03 ~ 0.2 ppm
블리릭산	(CH ₃)(CH ₂) ₂ COOH	0.001 ~ 0.006 ppm
노말발레릭산	(CH ₃)(CH ₂) ₃ COOH	0.009 ~ 0.0004 ppm
이소베릭산	(CH ₃)CHCH ₂ COOH	0.001 ~ 0.01 ppm

〈표 2-7〉 행정구역별 악취 환경규제기준(미국)

(단위: 희석수)

행정구역	지역구분	환경기준치	측정자수	측정방법
Colorado	주거, 상업	7	-	Scentometer법
	기타	15		
	전역	127		
Washington DC	-	1	-	Scentometer법
Illinois	주거, 공용	8	3명중 2명	Scentometer법
	공업	24		
	기타	16		
Kentucky	-	1	-	Scentometer법
Minnesota	주거, 공용	1	6~8명	ASTM 주사기법
	경공업	2		
	기타	4		
Missouri	-	7	-	Scentometer법
Nevada	-	8	-	Scentometer법
Wyoming	-	7	-	Scentometer법
Saint Louis	주거, 공공	4	-	Scentometer법
	공업	20		
Columbia APCD	주거, 상업	8	-	Scentometer법
	기타	32		

3. 악취 측정 및 평가 방법

악취의 측정방법은 기기분석에 의한 화학성분 측정법과 관능에 의한 측정법으로 구분할 수 있다. 화학성분 측정법은 흡광광도계에 의한 발색법과 가스크로마토그래피에 의한 방법이 대표적이고, 관능법은 직접관능법과 공기희석법, 식염수 평형 등이 있다. <그림 2-1>은 일반적인 악취 측정방법의 분류를 나타낸 것이다.

1) 관능법

(1) 직접관능법

직접관능법은 악취가 발생하는 현장의 부지경계선상이나 피해지점에서 취기강도가 가장 높은 지점을 선정하여 건강한 사람의 후각을 이용하여 악취의 취기강도를 측정하는 방법이다. 악취의 강도 표시는 3, 6, 9단계 표시법과 기준물질에 대한 비교법 등으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 6단계 악취도 표시법이 가장 널리 이용되고 있다. 악취도의 판정은 시험방법에 따라 각 판정자가 감지한 악취도 중 판정자의 다수가 감지한 악취도로 한다. 다만 판정수가 동일한 경우에는 악취도가 높은 것으로 선택하며 2도 이하이면 적합, 3도 이상이면 부적합으로 판정한다.

일반적으로 악취물질은 각 성분간의 상승, 상쇄 등의 복합작용으로 인해 단일 성분만으로는 악취강도를 표시하기가 어렵고, 혼합되어 있는 성분 모두를 정량적으로 분석한다는 것이 현재의 분석기술로는 불가능하다는 점과, 악취의 주요 피해대상이 발생원 부근의 주민과 관련종사자인 이유로 사람이 악취를 판단하고 판정의 주체라는 점에서 직접관능법은 타당한 설득력을 지니고 있다.

그러나 악취의 정도는 냄새의 강도뿐만 아니라 질도 관여하게 되며 판정인의 경험에 따른 주관적인 판단과 기상상태가 악취판정에 크게 영향을 주게 되어 객관적으로 악취의 강도를 표시하는데 한계가 있으므로 이를 극복하기 위해 여러 가지 방법이 제안되고 있다.

(2) 공기희석법(ASTM 주사기법)

공기희석법은 시료채취 대상업소 부지경계선에서 채취한 시료를 실험실로 운반한 후 무취공기로 희석배수를 단계적으로 증가시키면서 희석하여 냄새를 느낄 수 없을 때까지 희석하여 해당 희석배수(냄새감지한계 희석배수)를 구하는 방법이다. 시료의 공기희석방법은 시료를 환기장치에 설치되어 있는 방 또는 통풍이 원활한 방에서 자동희석장치로 희석하거나 수동으로 희석하여 각 희석배수별로 희석된 냄새주머니를 관능시험에 사용한다.

이 측정법은 인간의 후각을 이용해서 환경악취를 피해현장에서 간편하게 측정할 수 있으며, 측정결과를 수량화시킴에 의해 그 객관성을 충분히 인정할 수 있다는 장점들을 가지고 있다. 그러나 역시 최종적인 판단은 인간의 후각에 의존하고 있기 때문에 판정자의 주관적인 요소가 개입할 소지가 있고, 판정자가 악취에 순응하므로써 정확한 판정이 불가능하다는 단점이 있다.

(3) 식염수 희석법

식염수 희석법은 일본에서 개발된 방법으로 1% 식염수에 수분을 제거한 악취시료를 통과시키면 헨리법칙에 의해 대기 중 분압에 따른 평형상태에 이르게 되고 점차 증류수로 희석시키면서 희석배율을 높여 냄새를 감지해 냄새를 맡을 수 없는 희석농도까지 희석시키는 방법이다.

그러나 이 방법은 악취성분이 식염수중에 흡착되는 물질이 있고, 재현성이 부족하여 실제 사용되지 않고 있다.

(4) 3점 비교식 취대법

이 시험법은 희석시료가 든 공기백 1개와 무취공기를 채운 2개의 공기백 3개를 주고 냄새를 감지하는 방법으로서 악취시료가 든 백을 구분하지 못할 때까지 3배씩(3-10-30-100-300의 순) 희석시켜 구분 가능한 희석농도와 구분 불가능한 희석농도의 대수값 평균을 취한다. 이 때 각 판정인의 역치로 하고 최고와 최저를 뺀 각 판정인의 평균을 악취역치로 한다. 취기농도는 역치의 역상용대수값이 된다.

$$\text{악취농도 } I = 10^{\text{Odor-Threshold}}$$

2) 화학성분 측정법

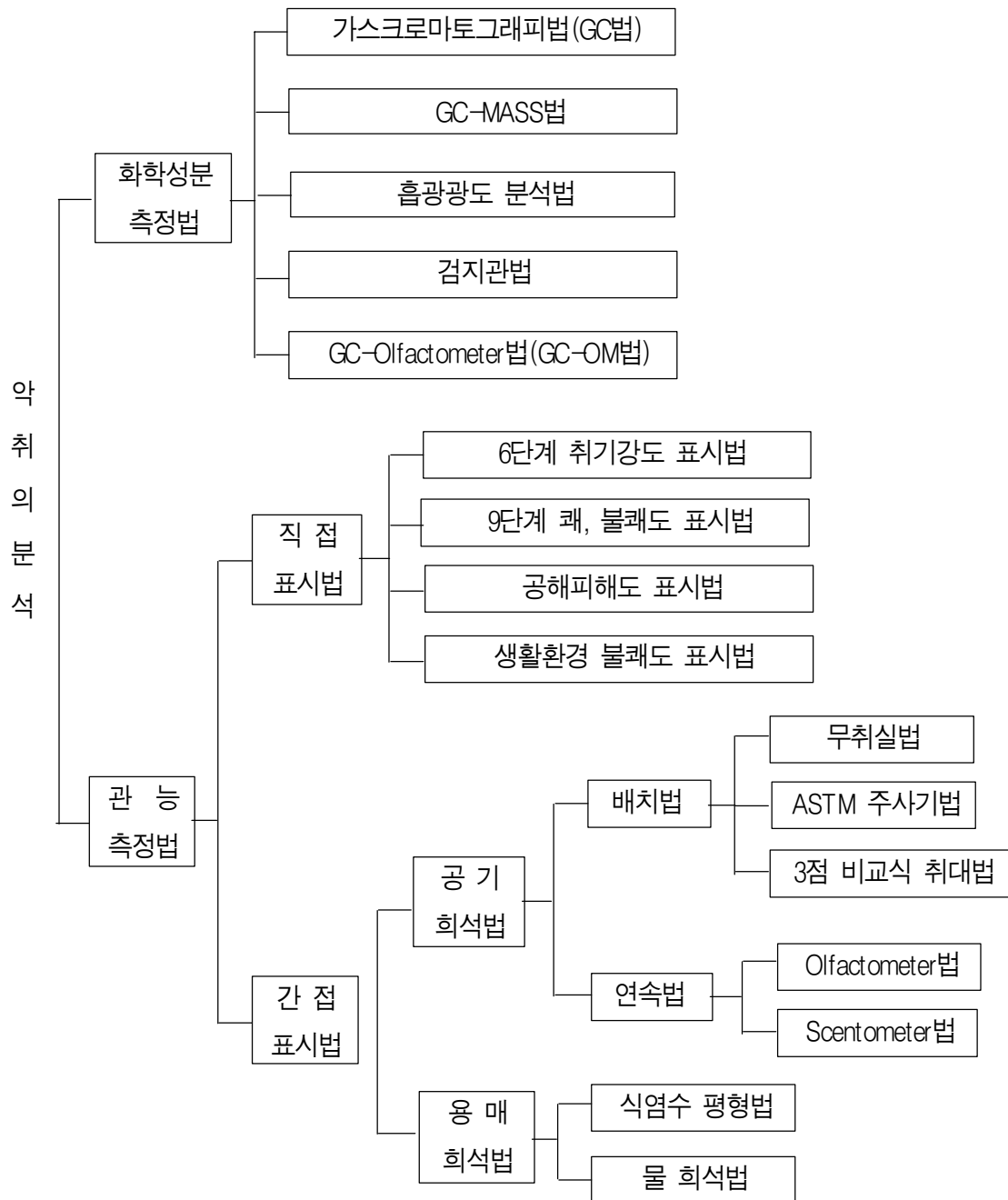
(1) 흡광광도법(발색법)

흡광광도법은 광원에서 발생하는 빛을 단색화장치(Monochrometer)나 필터를 이용하여 분석하고자 하는 목적성분에 적합한 좁은 범위의 파장을 선택하고, 이를 측정시료 액층에 통과시킨 후 광전측광으로 흡광도를 측정하여 성분농도를 정량하는 방법으로 수질 및 대기시료의 분석실험에 널리 사용되고 있다. 흡광광도법으로 측정 가능한 악취물질은 암모니아와 황화수소이다. 이 방법을 이용한 발색법은 용량분석법이나 중량분석법에 비하면 감도와 재현성이 우수하며 분

석방법이 간단하다는 장점이 있지만 적용할 수 있는 물질이 한정되어 있고, 한번에 한가지 성분밖에 분석할 수 없다는 단점을 갖고 있다.

(2) 가스크로마토그래피법

가스크로마토그래피(GC)법은 기체시료 또는 기화한 액체나 고체시료를 운반가스를 이용하여 관내에 전개시키며 분리하고, 기체상태에서 분리되는 각 성분의 크로마토그램을 이용하여 목적성분을 정성 및 정량분석하는 방법이다. GC등 기기를 이용한 측정은 동시에 여러 가지 성분을 비교적 정확한 농도로 분석할 수 있으나, 대상물질에 따른 시료채취방법과 검출기의 구분에 따른 고가의 기기도입이 필연적이며 대기 중에 극히 적은 양이 존재할 경우 시료농축방법, 분석방법 및 기기조작에 대한 기술 습득이 요구된다.



〈그림 2-1〉 악취 측정방법의 분류

4. 악취 방지기술

악취의 경우는 보통 수많은 화합물이 복합적으로 작용하고 있기 때문에 이들 대부분의 존재를 확인하기가 어렵고, 비록 그 화합물의 속성과 농도가 밝혀지는 경우에도 수많은 화합물 중에서 밝혀진 화합물이 냄새 발생에 어느 정도 기여하는지를 판단하는 것은 어렵다. 이러한 이

유로 악취 처리에 대한 접근은 특정물질에 대해 선택적으로 접근하기보다는 악취 현상 전체에 대해 광범위하게 접근하고 있으며, 악취제거를 위한 장비의 선택과 규모 결정도 대개 경험에 의존하는 경향이 많다. 일반적으로 악취를 저감하기 위한 방z시설 선정시 고려해야 할 주요 사항들은 다음과 같다.

- ① 배출가스 종류(분진, 염소화합물, 황화합물, 고분자탄화수소 등)조성 및 농도
- ② 공정변수(온도, 압력, 습도, 반응속도, 최대·최소·평균 배출속도 등)
- ③ 각 오염배출원의 수
- ④ 연간 운영시간(가동시간 백분율)
- ⑤ 장치위치(실내, 실외, 지표고도, 지붕, 여유공간 등)
- ⑥ 보조연료 및 에너지 비용
- ⑦ 전체 경제성(자본비 및 연간 운영비 등)

악취를 저감시키는 방안은 크게 물리·화학·생물학적 방법으로 구분할 수 있으며, 연소법, 흡수법, 흡착법, 마스킹법, 생물탈취법 등이 대표적인 악취 방지기술로서 주요 방법별 특성은 다음과 같다. 또한 <표 2-8>에는 일반적인 악취 방지기술의 특징 및 장·단점 등을 종합적으로 정리하여 제시하였다.

1) 흡착법

흡착법은 기체의 분자나 원자가 고체의 표면에 달라붙는 성질을 이용하여 오염된 기체를 흡착제가 들어 있는 흡착탑을 통과시키면 악취유발물질을 제거하는 방법이다. 흡착제는 산성계, 염기성계, 중성계로 구분되며, 흡착제의 종류는 실리카겔(Silicagel), 알루미나(Alumina), 제올라이트(Zeolite), 그리고 주로 사용되는 활성탄이 있다. 흡착제를 조합시키므로서 다양한 악취가스에 적용이 가능하므로 탈취대상의 범위가 넓다. 또한 탈취효과가 아주 높기 때문에 여타 방식과 조합처리시설시 처리된 잔존취기의 제거방법으로서도 많이 적용되고 있다. 그러나 활성탄은 수분도 흡착하는 특성을 가지고 있어 악취의 건식 처리에는 매우 유리하나 습기를 함유하는 폐가스 또는 악취공기의 정화의 경우 뭉치거나 탈취성능이 크게 저하되는 단점 때문에 부적절하다고 할 수 있다. 또한 매연이나 분진을 함유한 가스에 대하여는 전처리가 필요하며, 고농도의 취기에 대하여는 흡착능의 한계로 인해 흡착제의 사용기간이 단축되며, 유독한 오염물질 제거 시에는 공정의 조작비가 증가한다. 완전히 포화된 활성탄은 재생보다는 매립이나 소각이 더욱

경제적이다.

2) 습식흡수법

액체에 대한 기체 용해성을 이용하여 악취성분을 액체로 흡수시켜 탈취하는 방법으로, 물에 대한 용해도를 이용하여 물리적으로 흡수시키는 방법과 산·알칼리·산화 등의 반응에 의해 화학적으로 흡수시키는 방법이 있다. 후자와 같이 흡수액에 약액을 사용할 경우에는 약액흡수법이라고도 한다. 흡수액으로 약액을 사용할 경우, 기본적으로는 산성가스(SO_2 , H_2S 등)에 대해서는 알칼리용액을 사용하고, 알칼리성 가스(NH_3 , 아민류)에 대해서는 산용액을 사용한다. 이외에 황계열 악취, 알데히드류 등에 대해서는 차아염소산나트륨, 과망간산칼륨 등의 산화제가 흡수액으로 사용되고 있다. 최근에는 흡수액으로 활성탄 진흙을 사용하거나, 생물탈취법이 조합된 탈취방법도 실용화되고 있다. 흡수법은 장치가 비교적 간단하며 대개의 물질에 적용할 수 있다는 장점이 있으나, 일반적으로 장치의 부식이 심하며, 폐수의 2차 처리가 필요하다는 점 이외에 유입악취가스가 다양한 경우 다른 처리방법과 조합처리해야 한다는 단점이 있다.

3) 소·탈취제법

소·탈취제에는 온갖 탈취원리가 포함되어 간단히 설명하기가 어렵다. 또한, 일부 소·탈취제중에는 특성상 흡착탈취법이나 생물탈취법에 의해 제거되고 있다. 일본의 방향·소취·탈취제협의회(1990년)가 분류하는 이들 제품의 구분은 다음과 같다.

- 방향제 : 공간에 방향을 부여하는 것.
- 소취제 : 공기를 화학적, 생물학적 작용 등에 의해 제거 또는 완화하는 것.
- 탈취제 : 악취를 물리적 작용 등에 의해 제거 또는 완화하는 것.
- 방취제 : 악취를 다른 향 등에 의해 은폐(masking)하는 것

소·탈취법은 최근 사업용, 가정용 등으로 널리 보급되어 주목받고 있는 방법으로, 가정에서 사용되고 있는 탈취제도 은폐효과를 이용한 것이 많다. 그러나, 은폐제에 의해 악취가 증가하여 오히려 민원의 원인이 되는 경우도 있으므로 사용에 주의를 요한다. 배출시설사업장과 같은 규모가 비교적 큰 시설에서는 악취성분을 저감시키는 방법이 보다 일반적이다.

또한, 악취성분 중에는 휘발성유기화합물질과 같이 악취뿐만 아니라 건강 위해성과 광화학 반응에 의한 2차 오염물질 생성 등 다른 분야에도 피해를 줄 우려가 있는 물질이 많으므로 악취성분을 제거·감소시키는 것이 악취관리에 있어 보다 바람직한 방법이라 할 수 있다.

4) 바이오필터법

바이오필터법은 공기 중에 존재하는 오염물질을 제거하기 위해 다공성 담체에 고정화되어 있는 미생물을 이용하는 방법이다. 미생물은 담체의 표면에 바이오필름을 형성하고 자라거나, 담체 주변의 액상에서 성장한다. 공기가 담체층을 통과하면서 기상의 오염물질은 바이오필름과 담체에 흡수되고 생물학적으로 이산화탄소와 같은 무해한 성분으로 분해가 된다. 생물학적 처리공정 특성상 수분을 소량 필요로 하므로 특히 수분이 함유된 하수처리장이나 쓰레기 매립지로부터의 악취의 습식처리에 매우 유리하다. 또한 시설비와 유지관리비가 적게 들고, 에너지 요구성이 낮으며, 부수적인 화학약품이나 연료를 요구하지 않는 장점을 지니고 있다. 또한 폐기하거나 이차적으로 처리해야 되는 부산물이 없고, 여러 오염물질을 동시에 처리할 수 있다는 장점이 있다. 바이오필터는 기존의 화학반응이 고온·고압에서 수행되는 것과 비교하여 상온·상압에서 수행되며, 에너지를 적게 소모하는 안전한 방법이다.

〈표 2-8〉 일반적 악취 제거 방법

제거방법		주요 특징
물리적 방법	1. 수세법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 친수성의 극성기의 악취성분을 물에 용해시키는 방법 • 적용대상: 암모니아, 저급아민류, 알데히드류, 케톤류, 저급유기산류, 페놀 등의 악취 가스 제거에 적용 • 장점: 장치가 간단하고, 조작이 용이함 • 단점: 수온변화에 따라 탈치효과가 변동하고, 처리풍량 및 압력손실이 큼 • 특징: 타 방법과의 병용처리시 전처리로 사용하고, 폐수 처리문제의 해결이 요구됨
	2. 흡착법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 활성탄이나 이온교환수지 등을 사용하여 물리적인 흡착력을 이용하여 악취물질을 분리하여 제거시키는 방법 • 적용대상: 산성계, 염기성계, 중성계 흡착제의 종류에 따라 다양한 악취가스 제거 가능 • 장점: 흡착효과가 매우 높고, 별도의 폐수처리가 필요 없으며, 유지관리가 쉬움 • 단점: 고농도의 악취물질에 대해서는 흡착능의 한계가 있음
	3. BALL차단법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 개방된 저장조나 탱크 표면에 탁구공 같은 Ball을 덮어 줌으로서 공기 중으로 발산하는 악취가스를 저감시키는 방법 • 장점: 밀폐형 구조물을 설치할 필요가 없고, 크기와 색상이 다양하며 미관이 수려함
화학적 방법	4. 약액세정법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 약품과 악취물질을 접촉시켜 화학반응에 따른 중화반응과 산화반응으로 제거하는 방법 • 적용대상: 염기성 악취가스(암모니아, 아민류)를 산성약품과, 산성가스(황화수소, 메르캡탄류)를 염기성약품으로 중화시켜 제거 • 장점: 충전탑, 벤투리스크러버, 제트스크러버, 사이클론스크러버 등의 장치를 이용하므로 조작이 간단하고, 다양한 악취물질에 적용이 가능 • 단점: 산성가스나 염기성가스를 별도로 처리해야 하고, 장치의 부식 및 화학반응 부산물 처리 대책이 요구됨
	5. 연소법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 화염을 사용하여 악취물질을 최저온도 이상에서 산화 연소시키는 직접연소법과 촉매를 이용하여 비교적 낮은 온도에서 산화연소 또는 열분해 반응시켜 무취상태로 처리하는 촉매연소법이 있음 • 장점: 직접연소법은 높은 효율과 열회수가 가능하고, 촉매연소법은 연료사용이 적음 • 단점: 직접연소법은 연료소비 과다와 2차 오염물질의 발생이 우려되고, 촉매연소법은 촉매에 악영향을 주는 할로겐원소, 납, 아연, 황, 수은, 먼지 등을 미리 제거해야 함
	6. 산화법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 혐기성 상태에서 불완전한 산화에 의해 주로 발생하는 것으로 산소 존재하에 산화시키면 악취물질이 분해되어 다른 물질로 변하게 되는 원리를 이용함. 대표적인 산화제로는 오존, 과망간산칼륨, 과산화수소, 염소, 이산화염소 등이 있음 • 적용대상: 오존산화법의 경우 비교적 소규모의 고농도 악취물질 제거에 적용됨 • 장점: 염소주입법의 경우 가장 오래된 방법으로 대부분의 악취물질과 반응하고, 황환원 박테리아의 살균제로서도 작용하므로 황화수소의 생성을 억제하는 역할을 함 • 단점: 염소주입법의 경우 페놀이 다량 함유된 경우에는 페놀과 반응하여 클로로페놀을 형성하여 2차오염 문제를 발생시킴

〈표 2-8〉 계속) 일반적 악취 제거 방법

제거방법		주요 특징
화 학 적 방 법	7. 은폐법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 악취를 유발하는 물질이 갖고 있는 성질중 상쇄효과를 이용하거나, 보다 강력한 방향물질을 사용하여 취기를 제거하는 방법 • 장점: 장치가 비교적 소형이고, 설비비가 저렴함 • 단점: 탈취효과가 적고, 근본적인 처리가 이루어지지 않아 장시간 이용시 불쾌감을 유발할 수 있기 때문에 한정된 공간내의 저농도 냄새 제거에 사용됨
	8. 액상촉매법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: Fe계통의 액체상 촉매와 접촉한 악취물질들이 상온에서 산화 분해되어 무취 물질로 변하고 촉매자체는 공기중의 O₂에 의하여 환원되어 원래의 상태로 복귀되는 원리 이용 • 장점: 악취가스를 완전 분해하므로 2차오염 처리대책이 필요 없으며, 촉매의 수명이 길고, 산성, 염기성, 친수성 유기화합물도 동시 제거 가능 • 단점: 액상촉매와 악취가스가 반응하는 장치는 세정탑과 동일한 탈취탑을 사용하며, 황화물의 고체 유황성분을 제거하기 위한 고액분리시설이 필요함
생 물 학 적 방 법	9. 활성슬러지 탈취법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 포기조 주변의 취기가 매우 약한 점에 착안하여 개발한 탈취방법으로 기-액 접촉방식에 의해 취기를 제거함 • 장점: 기존의 포기조를 이용하므로 설비비가 적게 들고, 저·중농도의 취기를 제거하는데 이용됨 • 단점: 활성슬러지 고유의 냄새를 재차 제거해야 하므로 활성탄 등 후속처리가 필요하며, 압력손실이 크기 때문에 처리풍량(100m³/min)의 제한을 받음. 활성슬러지법의 단점을 보완하기 위한 Scrubber법은 기-액접촉시간이 짧아 난용성 악취물질의 제거율이 낮으며, 악취성분의 변동에 대응력이 낮음
	10. 토양탈취법	<ul style="list-style-type: none"> • 원리: 악취물질이 토양층을 통과할 때, 간극수예의 흡수, 토양입자에의 흡착, 토양 성분과의 화학반응에 의한 중화, 토양미생물에 의한 생물화학적 분해 등의 반응을 통해 제거 • 장점: 미생물의 증식을 위해서는 pH, 온도, 산소, 이산화탄소의 조절이 필수적이며, 유지관리비가 비교적 저렴함 • 단점: 부지소요가 크고 악취가스를 균일하게 처리하기 위한 성층구조를 갖추어야 하며, 토양이 건조되거나 공극이 패쇄되는 것을 막아야 소기의 효과를 얻을 수 있음

한편 앞서 제시한 다양한 악취제거 방법 중에서 화학적 산화법을 제외한 악취 처리방법은 그 특성상 1차적으로 발생하는 악취물질을 포집한 후, 해당 처리방법을 적용하는 방식으로 사업장 내부와 같이 밀폐된 공간에서만 적용 가능한 방법이며, 매립지에서와 같은 열린 공간에서

는 적용하기 어렵다.

따라서 쓰레기 매립지와 같이 개방된 장소에서 악취문제를 해결하기 위한 방법은 방향제를 살포하여 냄새를 다른 냄새와 혼합시켜 악취를 감지할 수 없도록 하는 임시적인 은폐법(마스킹)과 악취 원인물질을 분해시킬 수 있는 산화제를 살포하여 악취문제를 해결하는 방법으로 구분할 수 있다. 그러나 개방된 공간에서는 그 성격상 발생하는 악취문제를 해결할 수 있는 방법이 상당히 제한적이며, 그 효과 또한 풍향 조건 등 외부환경에 영향을 많이 받는다.

일반적으로 쓰레기 매립지로부터 발생하는 악취를 제거하기 위해 적용되는 방법은 다음과 같다.

- ① 악취제거 필터 혹은 악취를 제거할 수 있는 장비가 부착된 가스추출시스템을 설치한다.
- ② 실트질 토사를 함유한 복토층의 두께를 증가시키고 악취성분을 흡수할 수 있는 탄소성분과 부식질 함량이 높은 토사를 이용한다.
- ③ 쓰레기층으로 침투되는 우수의 양을 감소시켜 가스발생량을 감소시킬 수 있는 불투수성의 복토재를 사용한다. 그러나 점토질 토사의 복토재 사용은 건조할 때 크랙이 발생하여 이곳으로 가스의 방출과 우수의 침투위험이 있다.
- ④ 침출수 집수조를 외부와 차단하고, 매립지 표면에서 용출되는 침출수를 신속히 처리한다.
- ⑤ 복토층이 손상된 경우 신속히 복구한다.
- ⑥ 악취를 다량 배출할 수 있는 쓰레기의 매립을 금지한다. 특히 황화합물을 포함한 쓰레기를 음식물 등 유기물을 함유한 쓰레기와 동시에 매립할 경우 다량의 악취성분이 발생한다.
- ⑦ 완충지대를 설정할 경우 바람의 흐름을 차단시킬 수 있는 설비가 필요하며, 키가 큰 상록수를 식재할 경우, 대기중의 난류를 형성시켜 악취의 분산비율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 매립지 주변으로부터의 시각적 차단역할을 한다.
- ⑧ 매립지에서 발생하는 악취의 중요한 발생원인 매립작업시 발생하는 악취를 저감시키기 위해서 매립작업 구역을 주변과 차단시킬 수 있는 폐쇄스크린 시스템을 설치한다.
- ⑨ 악취를 저감시킬 수 있는 방향제 및 탈취제를 살포한다.

제 2 절 과거 난지도 매립지 악취도 및 관리 현황

1. 과거 악취도 측정결과

과거 난지도 매립지 및 주변지역의 악취도 측정·분석은 기본설계 및 실시설계시 수행된 바 있고, 또한 서울시보건환경연구원에서는 난지하수처리사업소를 포함해 난지도 매립지 주변지역을 대상으로 1999년 말부터 매달 측정을 수행해오고 있다. 또한 난지도 매립지 가스의 성상에 대한 분석조사는 1991년에 한국과학재단의 조사, 기본계획 및 기본설계, 그리고 실시설계용역시에 측정·분석을 각각 실시한 바 있다.

우선 기본설계 당시 3차에 걸친 매립지 및 주변 지역 7개 지점에 대한 악취도를 조사한 결과 매립지내 악취도(관능법)는 3도, 주변지역은 2도로 각각 나타났으며, 트리메틸아민, 메틸메르캅탄 등은 검출되지 않았고, H_2S , NH_3 는 매립지내에서만 검출된 것으로 나타났다. 비록 공기희석관능법과 기기분석법(검지관)에 의한 측정 결과가 각각 30~66배, H_2S 0.05~0.08ppm, NH_3 0.11~0.29ppm으로 비교적 낮게 조사되었지만, 매립지내 악취강도 3도(직접관능법)는 장시간 체류시 두통을 유발할 수 있는 심각한 수준이었다. 또한 주변지역에서도 악취도 2도를 나타내 일반인도 악취를 쉽게 감지할 수 있는 심각한 수준이었던 것을 알 수 있다(<표 2-9> 참조). 1996년 실시설계 당시에는 모든 조사지점에서 기기분석에 의한 악취성분은 검출되지 않았으나, 직접관능법으로 측정한 결과 제 1·2매립지 상부에서 모두 2~3도의 비교적 높은 악취도를 나타냈다. 특히 제1매립지 상부보다 제2매립지 상부에서 보다 강한 취기를 보인 것으로 나타나고 있다. 그러나 기타 주변 지역에서는 악취가 감지되지 않은 것으로 나타나 1994년 당시보다 전반적으로 악취도가 저감된 것으로 나타났고, 이는 난지도 매립지의 지속적인 복토작업에 의한 것으로 판단되었다(<표 2-10> 참조).

가스추출공에서 발생하는 주요 악취 성분인 H_2S 와 NH_3 의 농도분포를 살펴보면 전반적으로 감소경향을 나타내고 있으나, 측정시기별로 농도의 편차가 매우 큰 것으로 나타났다(<표 2-11> 참조). 따라서 측정결과와의 직접적인 비교가 불가능하고, 정확한 악취농도의 판단이 어렵다. 이는 측정당시 매립지의 불균일성, 측정시간, 기후조건 등에 의한 것으로 추정된다.

〈표 2-9〉 난지도 매립지 상부 및 주변 지역의 악취도 측정결과 (기본설계)

측정 지점	악취도(도) 공기희석법			H ₂ S (ppm)			NH ₃ (ppm)			트리메틸아민 (ppm)			메틸메르캅탄 (ppm)			관능법 (도)
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차
O-1	26.1	10.0	13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
O-2	26.7	13.9	14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
O-3	27.9	9.7	10.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
O-4	28.5	14.4	20.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
O-5	29.2	20.8	30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
O-6	36.3	44.8	66.9	0	0.10	0.18	0.22	0.26	0.29	0	0	0	0	0	0	3
O-7	35.0	30.0	30.0	0	0.05	0.08	0.11	0.18	0.20	0	0	0	0	0	0	2

자료: 서울특별시, 『난지도 매립지 안정화 공사 기본설계 보고서』, 1994.

주: O-1: 대덕4동사무소 옥상, O-2: 대덕2동노인정 앞, O-3: 덕은리, O-4: 상암감리교회 뒷쪽,
O-5: 수정빌라앞, O-6: 매립지(성산대교쪽), O-7: 매립지(행주대교쪽)

〈표 2-10〉 난지도 매립지 상부 및 주변 지역의 악취도 측정결과 (실시설계)

	실시설계자료								환경기준
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	매립지 (최저/최대)	
황화수소(ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.06
암모니아(ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2
메틸메르캅탄(ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.004
트리메틸아민(ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
아세틸알데히드(ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—
직접관능법(도)	0	0	0	0	2	2~3	0	0~3	2
공기희석법(배수)	—	—	—	—	—	—	—	—	15*
식염수법(배수)	—	—	—	—	—	—	—	—	—

자료: 서울특별시, 『난지도 매립지 안정화 공사 실시설계 보고서』, 1996.

주: 1. * 환경배출허용 기준상 기타지역, 부지경계상 기준임

2. B1: 상암동사무소, B2: 상암어린이집, B3: 성산시영아파트, B4: 윤창아파트, B5: 제1매립지 정상, B6: 제2매립지 정상, B7: 매립지 입구

〈표 2-1〉 가스추출공에서의 가스성분 분석결과(기본계획, 기본설계, 실시설계)

구분	기본계획(1992) '92. 9.16~10.19	기본설계(1994) '94. 7.18~7.26	실시설계(1996) '95.10.26~'96.2.12
메탄(%)	50.74~58.61 (55.96)	48.11~54.70 (51.19)	48.52~55.68 (51.09)
이산화탄소(%)	38.18~45.96 (40.77)	31.66~38.07 (35.24)	42.29~48.15 (45.92)
질소(%)	0.2~0.52 (0.31)	2.45~11.26 (6.53)	0.80~4.23 (2.74)
산소(%)	0.05~0.14 (0.079)	0.23~1.89 (0.98)	0.29~1.04 (0.70)
황화수소(ppb)	13.88~242.85 (96.2)	3.69~5.84 (4.71)	0.46~3.35 (1.47)
암모니아(ppm)	13.4~60.63 (29.2)	19.92~26.92 (23.49)	0.74~1.13 (0.90)
벤젠(ppm)	—	9.3~98.5 (30.74)	1.917~8.259 (3.649)
톨루엔(ppm)	—	23.4~268.8 (136.48)	4.152~56.782 (17.772)
자일렌(ppm)	—	20.6~142.3 (75.12)	3.742~12.405 (6.301)
디클로로메탄(ppm)	—	204.2~384 (265.47)	—
수분(%)	—	2.69~2.7 (4.9)	—
가스온도(℃)	—	32.7~52.1 (41.81)	—

자료: 서울특별시, 『난지도 매립지 안정화 공사 실시설계 보고서』, 1996.

주: ()는 평균치를 의미함.

2. 난지도 매립지 안정화 공사 현황(매립가스)

1) 난지도 매립지 개요 및 매립가스 분석 조사

(1) 난지도 매립지 개요

서울 마포구 상암동에 위치한 난지도 매립지는 15년간('78. 3~'93. 3) Open Dumping 방식으로 매립되어 해발 90m이상인 두 개의 인공적인 산을 형성하고 있다. 제 1매립지와 제 2매립지의 매립고는 각각 94m, 98m이다.

난지도 매립지는 서울 도심으로부터 약 8km 지점에 위치하고 있으며 북쪽으로는 경의선 철도 이남의 개활지와 연결되며 남쪽으로는 서울의 중심을 가로지르는 한강이 흐르고 있다. 또한 동쪽으로는 현재 2002년 월드컵 경기장이 건설중이며, 불광천 및 홍제천, 서쪽으로는 경기도 고양시와 경계를 이루고 있으며, 주변으로 성산대교와 건설중인 가양대교와 방화대교 및 신공항 고속도로와 연계를 이루는 중요한 위치에 자리잡고 있다.

난지도 매립지의 면적은 약 823,000평이며, 이 면적은 제1·2매립지 및 하수슬러지 매립장소와 상암동과 성산동 일부를 포함한 것이다. 매립된 폐기물의 총 용적은 91,972,000m³으로 추정되고, 중량으로 환산하면 111,694천 톤이다.

난지도 매립지 안정화 공사는 1989년 정책 회의에서 용역이 결정된 이후 '92년 기본계획, '94년 기본설계, '96년 실시설계 용역이 이루어져 현재 공사가 진행중이다. 그동안 안정화 공사과정중 많은 공사상 난관과 기술적 문제 등이 있었지만, 비교적 순조롭게 공사가 진행되었고, 특히 난지도 지역이 2002년 월드컵 개최지로 결정되면서 당초 계획되지 않았던 많은 공사 내용이 추가 또는 변경되어 왔다. <표 2-1>는 난지도 매립지 현황 및 안정화 공사 연혁을 요약하여 나타낸 것이다.

〈표 2-12〉 난지도 매립지 안정화 공사 연혁

구분	내용	비고
위치	• 마포구 상암동 482번지 일원	
면적	<ul style="list-style-type: none"> • 총부지면적: 823,000평 • 매립지면적: 576,000평 • 상부/사면: 1,094,000m² • 상부/사면/동측흙산: 707,000m² • 매립장/주변야적지: 103,000m² • 1, 2매립지 후면: 811,000m² 	<ul style="list-style-type: none"> • 평균매립고: E.L. 95m • 평균사면경사: 1:2 • 침출수발생량: 2,235m³/일 • 사면침출수누출: 300m³/일 • 가스발생량: 460m³/분
난지천	• 1, 2매립지 배후 하천	
매립용량	• 91,972,000m ³	1978.3~1993.3(15년)
매립연혁	<ul style="list-style-type: none"> • 1977.8: 매립지 설치 승인고시 • 1978.3: 매립계획 인가고시 • 1985: 1, 2매립지 평면매립 완료 • 1986: 1, 2매립지 입체매립 개시 • 1988: 슬러지매립지의 매립개시 • 1990.12: 슬러지매립지의 매립완료 • 1993.2: 입체매립 완료 및 폐쇄 	서울시 고시 제107호 E.L. 15m E.L. 94~98m
안정화공사 추진	<ul style="list-style-type: none"> • '89.10: 제20차 정책회의에서 용역 결정 • '91.11~'92.12: 기본계획 수립 • '93.11~'94.12: 기본설계 용역 • '95.4~'95.9: 실시설계 용역 • '96.12~'00.12: 안정화 공사 	<안정화 공사> 상부정지/복토 : 740,000m ² 침출수 : 차수벽 6,230m, 집수정 31개소 매립가스 추출공 : 106개소

- 주: 1. 서울특별시, 난지도매립지 환경오염방지 및 안정화대책 기본계획, 1992. 12
 2. 서울특별시, 난지도매립지 안정화공사 기본설계보고서, 1994. 11
 3. 그린21포럼, 난지도 매립폐기물 처리 시행방안, 1996. 5
 4. 서울특별시, 난지도매립지 안정화공사 실시설계보고서, 1996. 9

(2) 매립가스 발생량

매립가스의 발생량은 매립지의 안정화 및 에너지의 재활용 측면에서 포집 및 처리시스템 설계에 중요한 인자이다. 또한 매립가스를 포집할 때는 매립된 폐기물 층에 설치된 유공관을 통해 송풍기의 강제흡입으로 가스를 추출하는데 매립지내의 가스이동이 일어나는 범위를 영향반경이라 하고, 이는 추출공으로부터 가스를 추출할 수 있는 거리를 의미하며 매립가스의 추출 및 처리의 설계시 중요한 인자로 작용한다.

실시설계에서 시간 경과에 따른 매립가스 평균 조성변화를 살펴보면 CH₄는 52.96%, CO₂는

41.99%, O₂는 0.38%, N₂는 1.83%이다. 추출시험에서 얻어진 매립지 단위 가스발생량은 1.5NM³LFG/yr · m³ · refuse로서 이를 이용하여 메탄가스 추출량을 산정하면 175Nm³/min이다.

(3) 가스성상 조사

가스성상 분석은 매립가스의 주요성분인 CH₄, CO₂와 미량성분인 Benzene, Toluene, NH₃, H₂S, 염소화합물 등의 농도를 측정하여 유해성을 평가한다. 미량성분은 매립가스 발생량의 약 1%를 차지하며, 취기농도는 작업원의 보건위생상이나 주변지역으로의 악영향을 초래한다.

(4) 주요 가스성분 분석결과

제 1매립지의 CH₄ 농도범위는 45~60%를 유지하고 있으며, 제 2매립지는 25~60%를 나타내고 있다. CO₂의 경우 제 1매립지와 제 2매립지의 큰 차이점은 없으며 농도범위는 30~50%를 나타내고 있다.

(5) 미량성분 분석결과

매립지에서 악취를 유발시키는 주요물질은 황화수소와 암모니아로 각각의 농도는 1.5ppb, 0.3ppm 정도이며, Benzene, Toluene, Xylene의 농도는 1~10ppm 안팎의 값들을 나타낸다.

2) 매립가스 포집 및 처리계획

(1) 매립가스 포집시설

기본설계시 자연추출방식과 강제추출방식을 비교하여 가스포집 효율이 높은 강제추출방식을 선정하였으며, 상부 및 사면에 가스추출공을 설치하였다.

난지도 폐기물 매립지의 상부 및 사면에 수직가스 추출공의 설치를 위해 케이싱 구경이 600mm인 돛바늘 장비(all casing 공법)를 이용하여 상부는 하부로 60m, 사면부는 하부로 40m를 각각 천공하였다. 천공 깊이의 산출근거는 최종복토 방법, 현장여건 및 기저침출수 수위 등을 고려하여 매립고의 70%로 하였다. 천공 후 유공관을 삽입하고, 그 주위에는 쇄석 등의 투과성 물질로 채워 가스의 유입을 원활하도록 하고, 상부에는 점토 및 벤토나이트 층을 1m 정도 덧채움하여 공기의 유입을 차단하였다. 또한 상부 및 사면부에 설치된 수직 추출공의 간격은 120~140m로서 추출공 위치별 가스 포집량 계획은 <표 2-13>과 같다.

이와 같은 포집 계획에 따른 연간 총 매립가스 포집량은 194,400천m³ 정도이나 실제 포집량은 매립층 내의 여러 가지 조건에 의해 변경될 수 있다. 즉, 국내 대부분의 매립지는 비위생매립지로서 매립이력이 불확실하며, 매립물의 성상 또한 천차만별이기 때문에 매립층내에 존재하는 부유침출수 존재시 가스의 유동에 큰 장애를 줄 수 있다. 난지도 매립지에 설치되는 가스 포집시설의 주요 내용은 <표 2-14>와 같다.

한편 수직추출공에 의해 추출된 매립가스는 이송관로를 통해 열병합발전소로 이동하게 된다. 이때 가스 이송관로는 복토층 내부 또는 외부에 설치할 수 있으며, 내부에 설치할 경우는 미관상 좋으나 유지관리가 어렵고, 외부에 설치할 경우는 이와 반대의 경우이다. 서울시에서는 최근 매립가스 유지관리 측면을 고려하여 상부는 복토층 내부로 설치하고, 사면은 외부에 노출시켜 공사를 진행하였다. <사진 2-1>은 상부 가스추출공에서 추출한 매립가스를 이송관로를 통해 열병합발전소 시설까지 보내는 과정을 나타낸 것이다.

<표 2-13> 가스추출공 위치별 가스 포집량

구분	추출공별 포집원단위 (m ³ /min)	계						포집율 (%)
		수량 (공)	포집량 (m ³ /min)	수량 (공)	포집량 (m ³ /min)	수량 (공)	포집량 (m ³ /min)	
상부	3.53	55	195	32	113	23	82	75
사면부 (단 65m)	3.53	51	180	26	92	25	88	75
계	-		375	58	205	48	170	-

<표 2-14> 가스포집시설의 주요내용

구 분	추출공 규격	추출관경	설치관 깊이	설치간격	수량(공)
상부	600	200mm	60m	120m	55
사면부(단 65m)	600	200mm	40m	120m	51

(2) 매립가스 가스처리 방안

난지도 매립지에서 발생되는 가스의 처리를 위해서 서울시에서는 매립지내에 지역난방공사를 참여시켜 열병합발전소 및 폐기물 소각장을 유치함으로써 매립가스를 활용해 마포지역에 지역난방의 공급을 통한 매립가스 이용계획을 확정하였다.



가스 이송관로 연결 전 모습



가스 이송관로 연결 후 모습



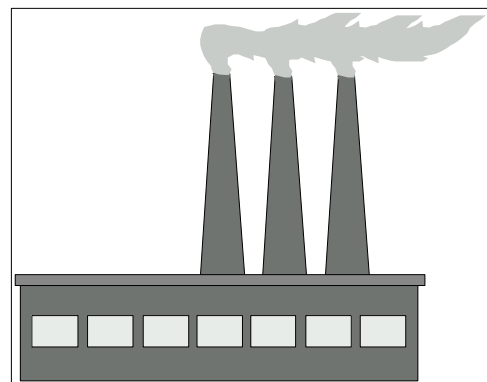
경사면 이송관로 설치 모습



캡 (Cap)을 씌운 모습(현재)



사면도로 옆 이송관로 모습



열병합발전소(한국지역난방공사)

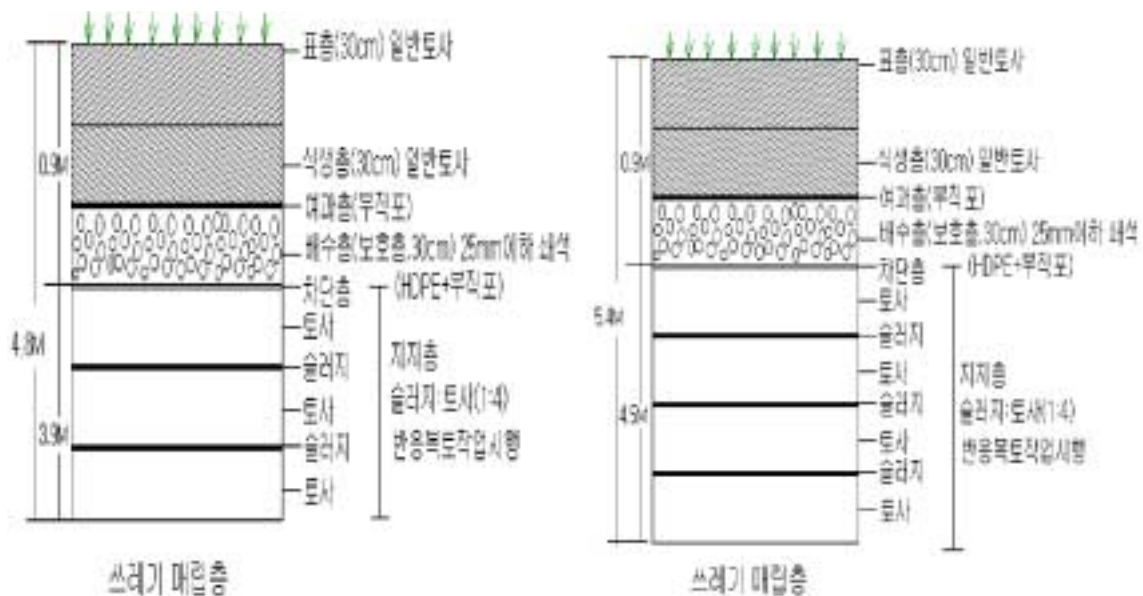
〈사진 2-1〉 난지도 매립지 가스 포집 및 이송 과정

3) 최종복토 계획

폐기물 매립지에 있어서 복토층의 기능은 첫째, 폐기물층 내부의 수분을 적정하게 유지시킴으로써 폐기물 생분해를 도모하여 매립지의 안정화를 촉진하고, 둘째, 우수침투로 인한 침출수 발생량을 최소화하여 지표수, 지하수, 토양오염을 방지하며, 셋째, 매립가스의 발산을 억제하여 매립지의 식생복원 및 단계적 토지활용을 도모하는데 있다.

난지도 매립지에 대한 복토 계획은 국내에 복토 구성층에 대한 상세한 법규가 없으므로 복토 구성층에 대하여 상세한 기준을 설정하고 있는 미국 EPA 기준을 난지도 매립지의 최종복토 기본 구성에 대한 설계 기준으로 설정하였다.

실시설계에서 제시한 최종복토층의 구성단면을 나타내면 <그림 2-2>와 같다.



a) 쓰레기 매립층(1)

b) 쓰레기 매립층(II)

〈그림 2-2〉 난지도 매립지 최종복토 구성 단면도

3. 난지도 지역 기상 현황

1) 기후

난지도 지역의 계절적 기후 특징은 대륙성 기후로서 여름에는 고온다습(평균최고 25.3℃, 최고 상대습도는 81%)하고 겨울에는 한냉건조(평균최저 영하 19.4℃, 최저 상대습도는 62%)한 계절적 특징을 가지고 있다.

2) 기상

(1) 기온

지난 20년간의 평균기온은 12.1℃, 평균최고는 16.8℃, 평균최저는 8.1℃로 조사되었다.

(2) 습도

상대습도는 계절별로 다소 차이를 나타내고 있으며, 년 평균 상대습도는 68%, 최소 상대습도는 9%로 조사되었다.

(3) 풍향·풍속

난지도 지역의 24시간 평균 풍속은 2.4m/sec이고, 계절별 주풍향 및 평균풍속은 춘기(3~5월)에 서풍(빈도 17%) 및 2.8m/sec, 하기(6~8월)에 서풍(빈도 15.9%) 및 2.2m/sec이며, 추기(9~11월) 및 동기(12~2월)에 주풍향은 북동풍(각각 15.2m/sec, 빈도 13.6%)이며, 평균풍속은 2.1m/sec, 2.5m/sec로 조사되었다.

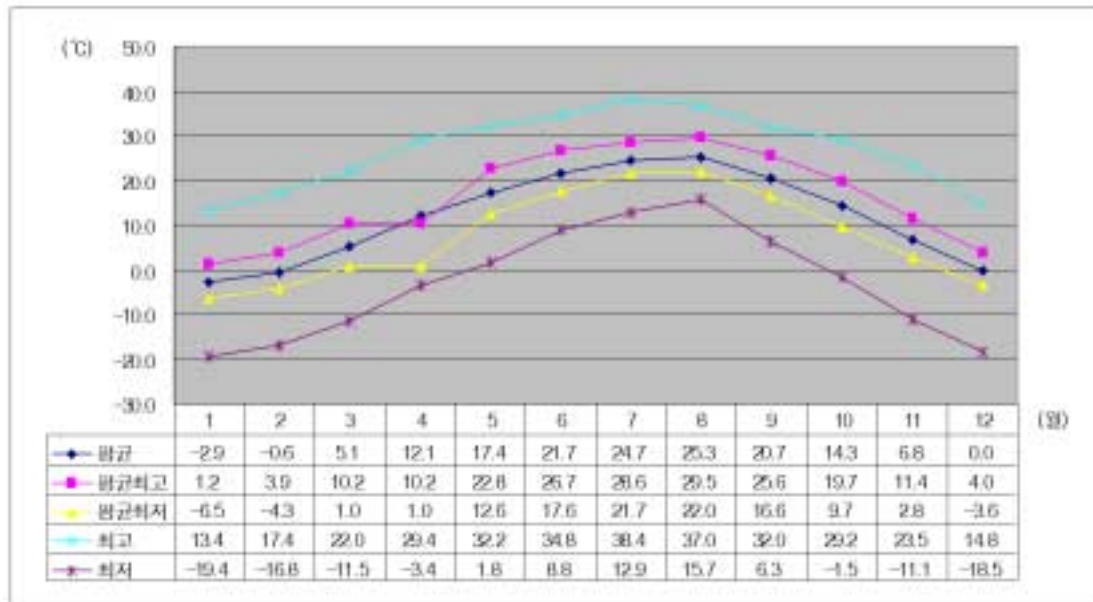
특히 매립지 상부에는 주변에 비해 바람이 비교적 강하며, 서울시보건환경연구원 조사자료(2000. 3. 22~4. 4)에 의하면 매립지 상부 풍속은 평균 3.5m/sec이며, 최대 9.3m/sec로 나타났다.

(4) 천기일수

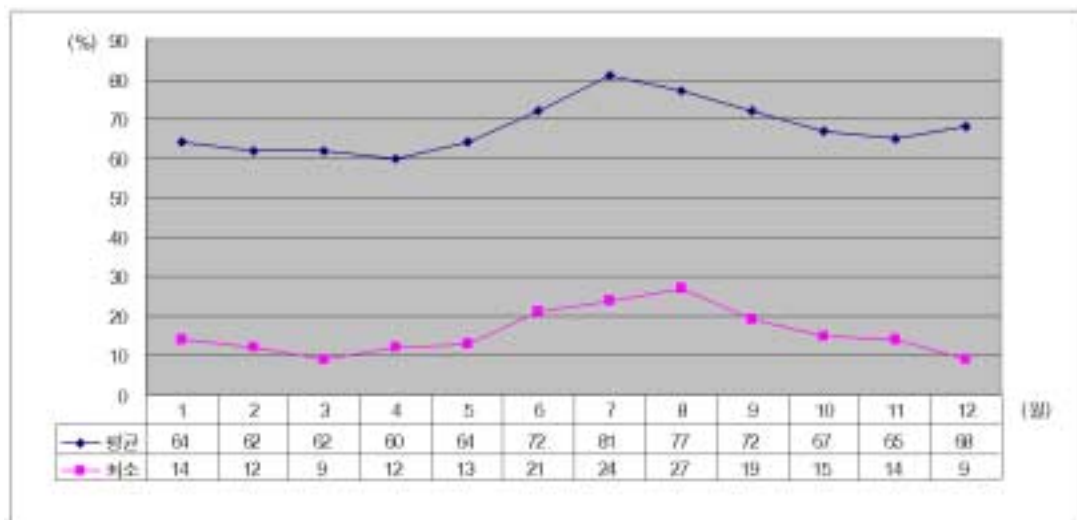
년중 강수일수는 107일, 적설일수는 25일, 결빙일수는 114일로 조사되었다.

(5) 강우량

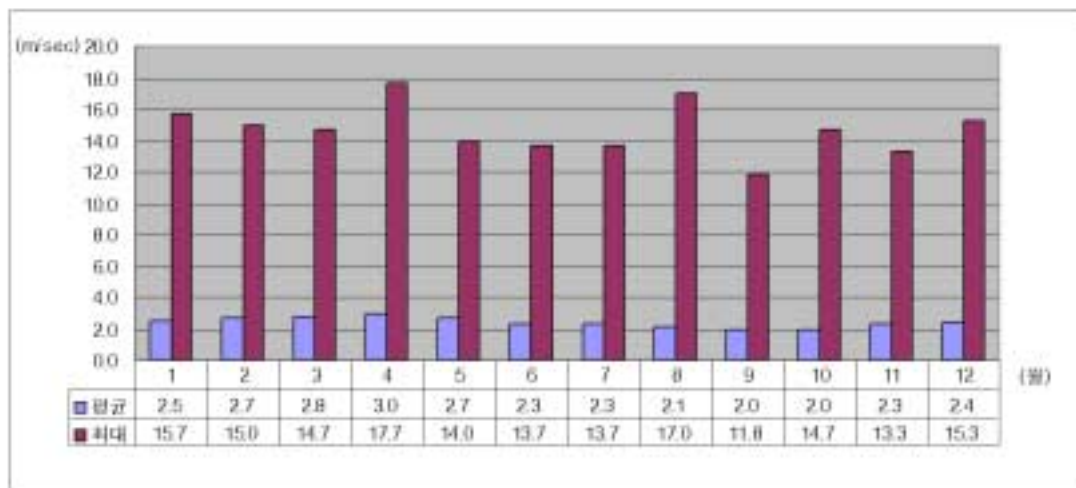
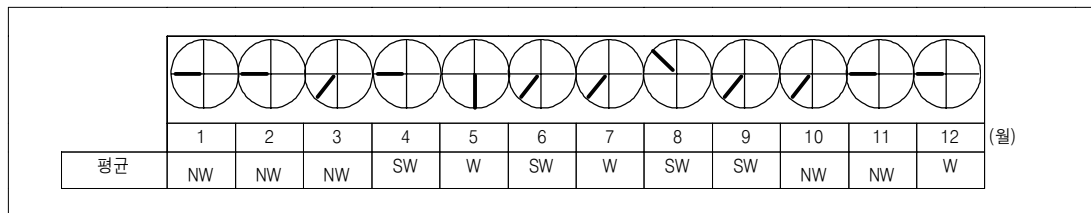
서울지방의 연평균 강우량은 1,266.5mm이며, 계절별 강우량 분포는 대체로 6월~8월 사이의 강우량이 전체의 57.43%를 차지하고, 동절기인 12월~2월의 강우량은 전체의 5.9%에 불과하여 계절별로 현저한 차이를 나타내고 있다.



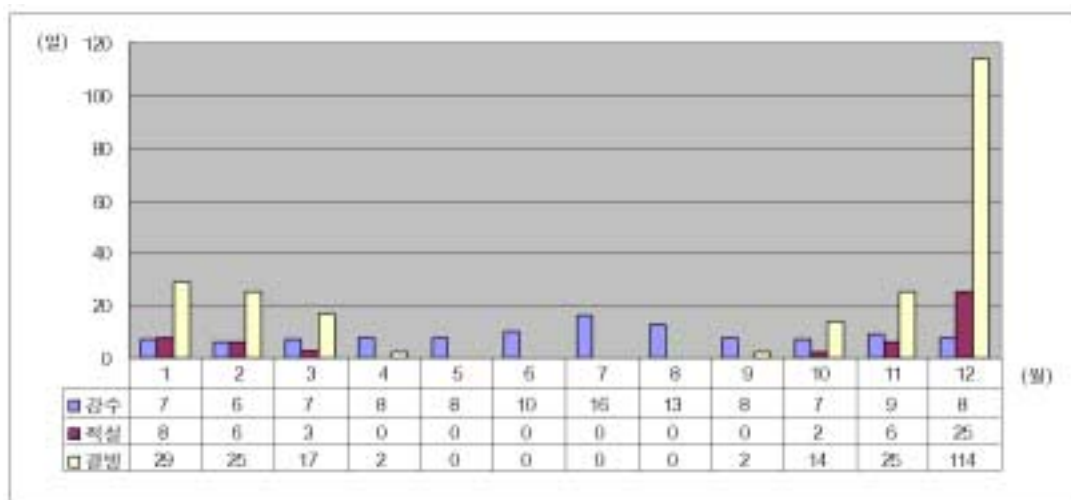
〈그림 2-3〉 월별 평균 기온 현황



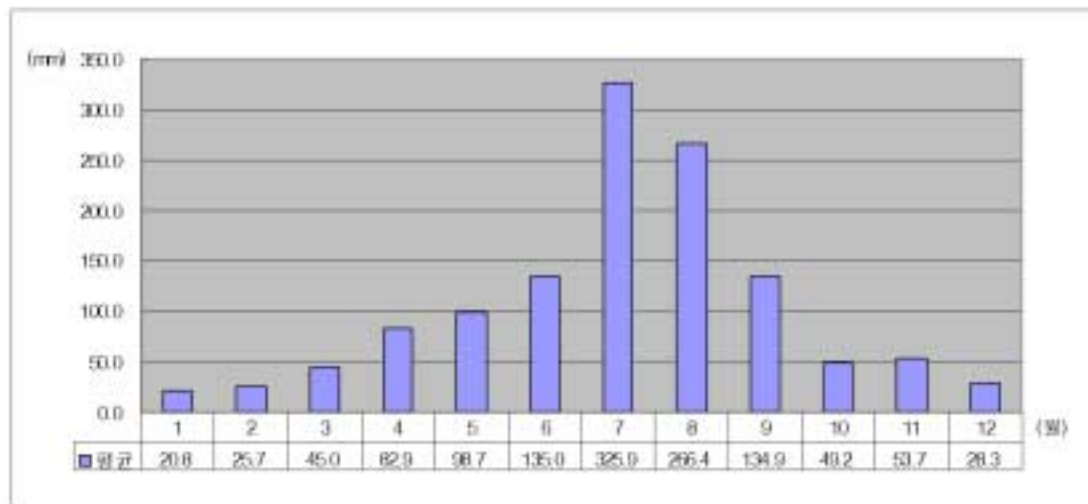
〈그림 2-4〉 월별 평균 습도 현황



〈그림 2-5〉 난지도 주변 지역 월별 풍향 및 풍속 현황



〈그림 2-6〉 월별 천기일수 현황



〈그림 2-7〉 월별 평균 강수량 분포

第Ⅲ章 난지도 지역 악취도 측정 및 분석

제 1 절 난지도 지역 주요 악취 발생원

제 2 절 악취도 측정

제 3 절 악취도 측정결과 및 분석

제Ⅲ장 난지도 지역 악취도 측정 및 분석

제 1 절 난지도 지역 주요 악취발생원

본 연구에서는 난지도 지역 특히 월드컵 주경기장을 중심으로 악취 영향을 미칠 수 있는 모든 악취 발생원 파악을 위해 다수의 현장조사 및 자료 조사를 실시한 바 있다. 난지도 지역의 주요 악취 발생원은 난지도 매립지 현장과 주변오염원으로 구분할 수 있고, 주변오염원은 마포 농수산물 시장, 난지하수중계펌프장, 난지하수처리사업소, 음식물퇴비화 시설, 강변북로변 농경지 등이 대표적인 악취 발생원으로 조사되었다. 주요 악취 발생원별 현황과 특징은 다음과 같다.

1. 난지도 매립지 현장

과거 난지도 지역은 매립쓰레기의 분해과정중 발생하는 매립가스 특히 H_2S , NH_3 등의 악취 물질 때문에 인근 지역에까지 악취문제가 매우 심각한 상태였다. 그러나 매립이 종료된 후 약 8년이 지난 현재 매립쓰레기 분해의 진행과 안정화 공사가 실시되면서 악취도가 현격히 감소되었다.

2000년 12월 현재 안정화 공사가 진행중인 난지도 매립지는 제 1·2매립지 상부 복토 공사가 거의 완료된 상태이고, 특히 제 2매립지 상부는 가스 이송관로 연결공사 및 식생층을 위한 최종 복토공사가 완료된 상태이다<사진 3-1>.

난지도 매립지내에는 매립가스를 포집하기 위한 총 106공의 가스추출공이 설치되어 있지만, 아직 가스처리시설이 완공되지 않았기 때문에 현재는 매립가스가 대기중으로 직접 방출되고 있는 상태이다. 따라서 악취 물질을 포함하고 있는 매립가스 방출로 인해 매립지 상부는 풍향·풍속에 따라 수시로 고농도의 취기가 감지되었다. 특히 대기가 안정하고, 저기압 상태일 경우 고농도의 악취가 지속적으로 감지되었다.

난지도 매립지 사면은 지반의 안정성에 문제가 있는 지역에 Geo Cell공법을 적용하였고, 균열이 있어 가스 분출에 의해 식생이 없는 지역은 식생 보강 등의 특별관리를 하고 있는 것으로 조사되었다<사진 3-2>, <사진 3-3>.



〈사진 3-1〉 난지도 제2매립지 상부



〈사진 3-2〉 난지도 매립지 사면(노출쓰레기 및 Geo Cell) 현황



〈사진 3-3〉 난지도 매립지 부지 경계면(택지개발지구 앞)

2. 주변 오염원

1) 난지하수처리장

난지하수처리장은 기존의 제 1처리장과 증설된 제 2처리장, 분뇨 및 정화조 오니 처리시설 등으로 구성되어 있다. 신설된 제 2처리장과 정화조 오니 처리장은 각각 상부 복개 및 탈취 시설이 마련되어 있으나, 기존의 제 1처리장은 탈취 설비가 마련되어 있지 않다. 현장조사 결과, 경미한 악취가 지속적으로 감지되고 있었으나 주변 지형조건을 고려할 때 본 시설에서 발생하는 악취가 월드컵 주경기장에 직접적으로는 영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다<사진 3-4>, <사진 3-5>.

2) 음식물 쓰레기 퇴비화 시설

음식물 쓰레기 퇴비화(Composting) 처리 시설(10톤/일)은 서대문구청 관할아래 운영되고 있는 시설로서 현재 난지하수처리장내에 위치하고 있다<사진 3-6>. 본 시설은 주변에서도 쉽게 감지될 정도로 매우 강한 악취를 발생시키고 있으며, 현재 설치되어 있는 탈취설비인 토양탈취상도 노후화와 기능 저하로 인하여 이미 가동이 중지된 상태이다. 현장조사 결과, 본 시설에서 발생하는 악취가 주변 도로를 지나는 운전자에게 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

3) 난지하수중계펌프장

난지하수중계펌프장내에는 2기의 침사지로 구성되어 있다. 현재 제1 침사지(기존시설)는 상부가 복개되어 있지 않아 악취가 그대로 대기중으로 방출되고 있고, 제 2 침사지(신설시설)는 상부가 콘크리트로 복개되어 있는 상태이나 별도의 탈취시설은 설치되어 있지 않다<사진 3-7>. 특히 현장조사 결과, 침사지에서 제거된 협잡물을 처리하는 호퍼(hopper)에서 매우 강한 악취를 발생시키고 있는 것으로 확인되었다. 이 호퍼내의 쓰레기는 겨울철에는 30~40일, 여름철에는 20~25일 정도의 주기로 수도권 매립지로 반출하고 있기 때문에 방치하는 기간 동안에는 심각한 악취를 발생시키고 있는 실정이다(<사진 3-8> 참조). 따라서 중계펌프장에서의 악취 문제는 제 1, 2침사지 유로를 흐르는 하수에서 발생하는 악취와 협잡물 제거 호퍼에서 발생하는 악취가 주된 원인으로 나타났다. 한편 본 대상지는 강변북로와 인접해 있을 뿐만 아니라 월드컵 경기장까지 직선 거리로 약 1km 남짓 떨어져 있고, 별도의 장애물이 없기 때문에 특히 여름철에는 경기장뿐만 아니라 난지도 주변 지역에 악취 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

4) 강변북로변 농경지

악취 문제를 일으키고 있는 한강변 농경지는 경기도 고양시에서 하천 부지 점용을 민간에 허가한 강변북로변 한강 고수부지로서 매년 봄 퇴비로 이용되고 있는 가축 배설물(계분 등)의 사용에 의해 악취가 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 강변북로를 지나는 운전자에게 특히 심각한 악취 영향을 미칠 것으로 판단되었다<사진 3-9> ~<사진 3-12>.

5) 마포 농수산물 시장

월드컵 주경기장과 인접한 마포 농수산물도매시장은 현재 주민을 대상으로 농·수산물 거래가 활발히 이루어지고 있는 장소로서 풍향·풍속에 따라 간헐적으로 매우 강한 악취를 감지할 수 있었다. 또한 냄새의 주성분은 생선 썩는 냄새인 아민류인 것으로 추정되었다<사진 3-13>.

6) 기타 악취 발생원

상기한 악취 발생원 이외에도 난지도 매립지 침출수 노출 지점, 주변 마을의 축사가 악취를 유발시키고 있는 것으로 조사되었으나, 그 영향이 경미하여 본 연구의 측정 범위에서는 제외시켰다<사진 3-14>, <사진 3-15>.



<사진 3-4> 난지 하수처리장 부지경계면 I



<사진 3-5> 난지 하수처리장 부지 경계면 II



〈사진 3-6〉 음식물 퇴비화 시설



〈사진 3-7〉 난지하수중계펌프장
제1침사지 전경



〈사진 3-8〉 난지하수중계펌프장
협잡물 처리 호퍼(Hopper)



〈사진 3-9〉 경기도 고양시 대덕동 일대
(약 5만평)



〈사진 3-10〉 강서구 행주대교 우측
한강 둔치지구(약 10만평)



〈사진 3-11〉 난지하수처리사업소 맞은 편
한강 둔치지구(약 3만평)



〈사진 3-12〉 난지하수처리사업소 정화조오니
처리장 옆(약 2천평)



〈사진 3-13〉 마포 농수산물 센터 주차장



〈사진 3-14〉 매립지 침출수 노출 지점



〈사진 3-15〉 난지도 지역 주변 마을의 축사

제 2 절 악취도 측정

1. 측정지점 및 일정

현장조사 및 관련자료 조사를 토대로 난지도 매립지와 주변지역에서 예상되는 모든 악취발생원을 대상으로 측정을 수행하였다. 난지도 매립지는 제 1, 2매립지 상부의 주로 풍향의 반대편 지점에서 측정하였고, 사면의 경우는 매립지 유지관리 도로상에서 측정하였다. 또한 난지도 매립지의 부지 경계선인 택지조성지구와 월드컵 경기장내에서도 측정을 실시하였다. 난지하수중계펌프장은 각각 침사지 내부와 부지경계 및 협잡물 제거 호퍼에 근접하여 측정을 실시하였고, 난지하수처리사업소는 북동쪽 부지경계면 2지점, 음식물 퇴비화 시설은 시설내부에서 측정을 실시하였다. 강변북로변 농경지에서 발생하는 악취도 조사를 위해 농경지 현장 및 강변북로변에서 각각 측정하였다. <표 3-1>, <표 3-2> 및 <그림 3-1>은 난지도 주변 지역 악취발생원과 측정일정 및 측정지점을 각각 나타낸 것이다. 또한 <표 3-3>은 2000년 6월중 악취도 측정당일의 기상현황을 나타낸 것이다.

<표 3-1> 악취 측정 지점

측정지점	비고
① 난지도 제 1 매립지 상부	
② 난지도 제 1 매립지 사면	사면도로 또는 경사면에서 측정
③ 난지도 제 2 매립지 상부	
④ 난지도 제 2 매립지 사면	사면도로 또는 경사면에서 측정
⑤ 난지도 매립지 부지 경계면 (택지조성지구 방면)	
⑥ 마포 농수산물 센터	주차장에서 측정
⑦ 월드컵 주경기장	월드컵 경기장에서 매립지 방향 지점
⑧ 난지 하수 중계펌프장 내부	
⑨ 난지 하수 중계펌프장 부지 경계면	월드컵 경기장 방면 부지경계
⑩ 난지 하수처리사업소 부지 경계면 I	제1처리장 최종침전지 후면
⑪ 난지 하수처리사업소 부지 경계면 II	음식물 퇴비화 시설 후면
⑫ 음식물 퇴비화 시설	
⑬ 강변북로변 농경지	

〈표 3-2〉 난지도 지역 악취도 측정 일정

측정횟수	측정일자	수행여부	기타
1	2000년 5월 20일	측정완료	
2	2000년 6월 14일	측정완료	
3	2000년 6월 19일	측정완료	
4	2000년 7월 25일	측정완료	(장마 후 악취도 평가)
5	2000년 8월 9일	측정완료	
6	2000년 9월 2일	측정완료	



〈그림 3-1〉 난지도 지역 악취 발생원 및 측정 지점

〈표 3-3〉 6월 측정 당시 시간별 기상 현황

시간	2000년 6월 14일				2000년 6월 19일			
	풍향	풍속(m/sec)	온도(℃)	습도(%)	풍향	풍속(m/sec)	온도(℃)	습도(%)
1	SW	0.8	20.2	69	W	0.6	20.8	74
2	WSW	0.5	19.8	75	NW	0.5	20.2	78
3	SW	0.9	19.5	73	WNW	0.6	20.2	73
4	SW	0.4	20.1	72	WSW	0.2	19.4	88
5	SW	1.3	20.2	68	NW	0.6	19.3	75
6	S	0.5	20.4	70	WSW	0	19.3	90
7	SSW	0.7	21.3	68	NW	1	21.2	66
8	SSW	1	22.6	57	WSW	0.8	22.4	72
9	SW	1.3	23.3	51	NW	0.8	25.1	52
10	WSW	1.4	25.1	51	NW	0.5	26.8	51
11	WSW	1.6	26.5	49	WNW	0.9	28.4	51
12	SW	1.3	26.7	53	NW	0.9	30.5	44
13	WSW	1.4	27.8	53	N	1.1	31.6	42
14	SW	1.2	27.8	53	N	1.6	31.6	40
15	WSW	1.2	28.4	51	N	1.6	31.8	37
16	W	1.2	28.4	53	N	1.4	31.3	41
17	SW	1	27.8	56	NNE	1.5	30.4	40
18	NW	0.6	27.4	55	NNE	1.3	29.0	47
19	WNW	0.6	25.8	66	NE	1.6	26.6	50
20	N	0.7	25.1	62	ENE	1.3	24.1	58
21	NNE	0.6	23.5	68	ENE	1.4	22.8	61
22	NNE	0.7	22.1	75	NE	1	22.3	64
23	W	0.6	21.4	83	NE	1	21.5	63
24	W	0.7	20.8	84	NNE	1	21.0	70

자료: 서울시보건환경연구원 2000년 6월 측정 자료

2. 측정 및 분석방법

1) 시료 채취 용기

시료 채취 용기는 취기 성분이 흡착, 투과 혹은 상호반응에 의해 변질되지 않도록 테프론(폴리 4불화에틸렌) 재질로 되어 있고, 용량이 10L인 것을 사용하였다. 시료 채취 용기는 사용하기 전에 질소가스(99.9% 이상)로 3회 이상 세척하였다.

2) 시료 채취관 및 채취 펌프

테프론 재질로 된 시료채취관을 사용하였다. 채취 펌프는 흡입유량이 5L/min 이상인 판막식 펌프로, 취기 흡착성이 낮은 재질로 된 것을 사용하였다.

3) 시료 채취 방법

시료 채취 펌프의 영향을 배제하기 위해 <사진 3-16>과 같은 시료 채취 장치를 이용하여 시료를 채취하였다. 즉, 시료 채취 장치내의 공기를 펌프로 흡입하여 진공을 걸어주어 시료가 채취 용기 안으로 빨려 들어가도록 하였다. 시료를 채취하기 전에 시료 채취 지점에서 채취하고자 하는 시료를 채취관 및 채취 용기를 3분 이상 세척한 후 시료를 채취하였다. 또한, 시료 채취는 5분 이내에 행하였다.

시료 중의 암모니아 농도를 정량분석하기 위하여 <사진 3-17>과 같은 흡수병을 이용하여 시료를 포집하였다. 흡수병은 용량 500mL의 경질유리체로 여과구가 장치되어 있는 것을 사용하였고, 포집용액을 100mL 넣었다. 흡입펌프를 이용하여 10L/min의 유량으로 10분간 공기를 흡입하여 포집용기에 시료를 포집하였다. 포집용액으로는 0.5% 붕산용액을 사용하였다.



<사진 3-16> 시료 채취 장치



〈사진 3-17〉 시료 포집용 흡수병 및 채취 펌프

4) 직접관능법에 의한 악취도 평가

악취 조사 판정자로 후각이 정상인 건강한 사람 5인으로 구성하였다. 판정자에 의해 감지된 강도를 <표 3-4>에 해당되는 악취도로 표시한 후, 측정 지점의 악취도 판정은 각 판정자가 감지한 악취도 중 판정자의 다수가 감지한 악취도로 하였다.

〈표 3-4〉 악취 판정도

악취도	악취강도구분	설명
0	무취 (None)	상대적인 무취로 평상시 후각으로 아무 것도 감지하지 못하는 상태
1	감지취기 (Threshold)	무슨 냄새인지는 알 수 없으나 무언가를 느낄 수 있는 정도의 상태
2	보통취기 (Moderate)	무슨 냄새인지 구분할 수 있는 정도의 상태
3	강한취기 (Strong)	쉽기 감지할 수 있는 정도의 강한 냄새, 예를 들어 병원에서 특유의 크로졸 냄새를 맡는 정도의 상태
4	극심한 취기 (Very strong)	아주 강한 냄새, 예를 들어 여름철에 재래식 화장실에서 나는 심한 정도의 상태
5	참기 어려운 취기 (Over strong)	견디기 어려운 강렬한 냄새로서 호흡이 정지될 것 같이 느껴지는 정도의 상태

5) 공기희석관능법에 의한 악취도 평가

① 시료의 희석 방법

각 측정 지점에서 채취한 시료를 실험실로 운반 한 후, 무취공기로 희석배수를 단계적으로 증가시키면서 희석하여 냄새를 느낄 수 없을 정도까지 희석하여 냄새 감지 한계 희석배수를 구하였다. 펌프로 흡인한 공기를 <사진 3-18> 과 같이 실리카겔병과 활성탄 흡착병을 통과시켜 무취공기를 제조하였다. 제조된 무취공기를 희석용 냄새주머니에 가득 채운 후 마개로 막고, gas-tight syringe를 이용하여 시료가 담긴 냄새주머니에서 시료를 빼낸 다음 소정의 희석배수가 되도록 일정량을 희석용 냄새주머니에 주입하였다. 희석배수는 약 3배수씩(3배, 10배, 30배, 100배) 단계별로 증가시키면서 희석하였다. 또한, 무취공기만을 넣은 냄새 없는 주머니도 별도로 준비하였다.



<사진 3-18> 무취 공기 제조 장치

② 판정위원의 선정

거름종이(길이 14cm, 폭 0.7cm) 4매를 1조로 하여, 그 중 3매는 시험액 각각에, 나머지 1매는 유동파라핀에 약 1 cm 정도 길이로 5분 동안 담가 두었다. 시험액의 성분은 <표 3-5>와 같다.

〈표 3-5〉 시험액의 농도와 냄새의 질

시험액	농도	냄새의 질
아세트산	1.0 wt%	식초 냄새
트리메틸아민	0.1 wt%	생선 썩는 냄새
페놀	1.0 wt%	의약품 냄새

상기와 같이 준비한 4매 1조의 거름종이를 피검자에게 주어 냄새가 나는 거름종이 3매를 선택하게 하여 3종류의 시험액을 모두 알아 맞추는 사람 5명을 판정인으로 선정하였다. 단, 상기 방법에 의해 구성된 판정위원은 당일에 한하여 유효한 것으로 하였다.

③ 관능시험

관능시험을 희석배수가 낮은 냄새주머니부터 높은 순으로 실시하였다. 우선, 단계별로 희석시킨 시험용 냄새주머니 1개와 별도로 준비한 무취 공기 주머니 2개를 1조로 하여 판정인에게 주었다. 판정인이 각각의 주머니의 시료 냄새를 2~3초간 맡게 한 후, 냄새 구분 여부를 기록하게 하였다. 한 단계의 시험이 끝나면 5분 이상 신선한 공기로 호흡한 후 다음 단계의 시험을 하도록 하였다.

④ 관능시험 결과치의 산출

관능시험 결과 무취로 판정된 희석배수의 바로 전단계 희석배수를 각 판정인의 냄새감지한계 희석배수로 하였다. 각 판정인의 냄새감지한계 희석배수 중 최대치와 최소치를 제외한 나머지를 기하평균한 값을 판정인 전체의 냄새감지한계 희석배수로 하였다.

6) 약취물질의 기기분석방법

① 황화계 약취물질의 기기분석

각 측정 지점에서 채취한 시료 중의 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸 및 이황화메틸의 농도는 HP-1 capillary 컬럼(0.25mm I.D.×3000mm L. QUADREX Co., USA)을 사용하여 불꽃광도검출기가 장착된 가스 크로마토그래피 (Hewlett-Packard 5890 plus II gas chromatography, USA)로 분석하였으며, 분석 조건을 <표 3-6>에 정리하였다. 황화수소, 메틸메르캅탄 및 황화메틸의 검량선을 작성하기 위한 교정용 가스는 퍼미에이션 튜브법을 이용하였다. Permeator(GASTEC, Japan)에 퍼미에이션 튜브(permeation tube) P-4(황화수소용),

P-71-H(메틸메르캅탄), 및 P-74-H(황화메틸)를 넣고 교정용 가스를 발생시켰다. 이황화메틸 검량선 작성용 교정용 가스는 이황화메틸 용액 4 μl 를 마이크로주사기로 채취하여 교정용 가스병의 실리콘고무를 통하여 주입하여 기화시킨 후 교반하고 1시간 방치하는 방법에 의해 조제하였다. 교정용 가스병은 경질유리병에 교반용 불소 수지 조각을 넣고, 내부를 10N 인산 및 물로 세정하여 건조시킨 후 질소가스로 치환하여 사용하였다.

〈표 3-6〉 가스크로마토그래피에 의한 황화계 악취물질 분석 조건

컬럼 종류	HP-1
컬럼 크기	2.5mm Φ ×30m L.
검출기	FPD(flame photometric detector)
Carrier gas	He
유속	1.2mL/min
컬럼 온도	35℃
검출기 온도	200℃
시료주입구 온도	100℃

② 기기분석에 의한 암모니아 농도 측정법

각 측정 지점에서 황산용액에 흡수시킨 시료 중의 암모니아 농도는 양이온 컬럼(IC-PackTM Cation M/D)이 장착된 이온 크로마토그래피(Waters 510, USA)를 이용하여 분석하였다. 분석 조건을 〈표 3-7〉에 정리하였다.

〈표 3-7〉 이온크로마토그래피에 의한 암모니아 농도 분석 조건

컬럼 종류	IC Pack TM Cation M/D
컬럼 크기	3.9mm Φ ×150mm L.
검출기	Conductivity
Eluent	0.1mM EDTA /3.0mM Nitric acid
유속	1.0mL/min
시료주입량	50 μl

제 3 절 악취도 측정결과 및 분석

1. 직접관능법과 공기희석관능법에 의한 악취도 측정 결과

1) 난지도 매립가스의 추정발생량과 악취강도

현재 난지도 제 1매립지와 제 2매립지의 상부에 설치했거나 향후 설치 예정인 가스 추출공의 수는 총 106개 공이다. 가스추출공에서 배출되는 매립가스의 양을 측정한 결과 약 43~90 m³/h 로 전체 매립지에서 배출되는 가스의 양은 약 4,600~10,000 m³/h 규모로 추정된다. 매립가스의 온도는 약 45~50 °C 이었고, 습도는 98~100% 이고, 매립가스 악취를 느끼지 못할 정도로 만들기 위해서는 $9.7 \times 10^8 \sim 2.1 \times 10^9$ m³/h의 신선한 공기가 필요한 것으로 조사되었다. 따라서 현재 월드컵 경기장에서 간헐적인 악취 발생의 주요 원인은 난지도의 매립가스임을 확인할 수 있었다.

2) 매립지 상부의 악취강도

매립지 상부의 악취는 직접관능법의 경우 2~3도, 냄새감지한계 희석배수는 100~6,700 이었다. 난지도 매립지 상부의 경우 공기의 흐름에 따라 가스추출공으로부터 배출되는 매립지 가스가 확산되기 때문에 공기의 풍향과 풍속에 따라 악취도의 심한 차이를 보였다. 매립지 상부에서의 악취는 다양한 혼합 악취일 뿐만 아니라 강한 휘발성 유기화합물의 취기를 느낄 수 있었다.

3) 매립지 사면의 악취강도

매립지 상부와는 달리 사면의 경우 예상과 달리 악취도는 1~2도로 낮았다. 이러한 현상은 사면의 경우 아카시아, 버드나무 및 잡목 등의 잡초들이 무성하여 악취의 발생을 억제할 뿐만 아니라 초목들에 의해 배출되는 풀내음으로 인한 마스킹(masking)효과가 있는 것으로 추정된다.

4) 월드컵 경기장의 악취강도

월드컵 경기장의 악취강도는 1~3도 이었고, 냄새감지한계 희석배수는 3~450 범위이었다. 경기장의 악취는 풍향과 풍속 등의 기상조건에 많은 영향을 받았다. 예를 들어, 5월 20일의 경우 매우 약한 남풍으로 경기장의 악취강도와 한계 희석배수는 각각 약 1도와 3 이었고, 6월 14

일의 경우에는 강한 남풍이며, 악취강도와 한계 희석배수는 각각 약 1도와 3 이었다. 이상과 같이 악취강도가 약한 것은 매립지가 경기장 서측에 위치하고 있기 때문에 남풍의 경우 매립지에서 배출되는 악취가스에 직접적인 영향을 받지 않은 것으로 보인다. 반면에, 서풍이나 서북풍의 경우 경기장의 악취는 제 2매립지의 배출가스에 직접적인 영향을 받았다. 예를 들어 6월 19일의 경우 오전 9시부터 오후 6시까지는 난지도에서 경기장으로 초속 2~4m의 서풍이나 북서풍이 불어 악취강도가 1~3도 이었고, 한계 희석배수는 20~450으로 높았다. 그리고, 북풍이 불기 시작한 밤 9시경에는 매립지의 영향권에서 벗어난 탓에 악취강도와 한계희석배수가 각각 1과 3으로 저하되었다.

결과적으로 매립가스 포집시설이 아직 완공되지 않은 시점에서는 경기장의 악취도가 항상 1도 이상 유지되는 상황임을 알 수 있었다. 그러나 현재는 매립지에 가스 추출공을 106개 시추한 상태에서 가스추출공으로부터 매립가스의 포집 없이 모두 대기중으로 배출시키고 있기 때문에 서풍이나 북서풍에 의해 월드컵 경기장이 악취의 직접적인 영향을 받고 있는 상태이다. 그러나 향후 매립지의 매립가스 포집설비가 완료될 경우 경기장의 악취강도는 현저하게 저감될 것으로 추정된다.

또한, 매립가스로부터 직접영향을 받지 않는 기상 조건하에서도 경기장의 악취가 1도 정도는 유지되고 있기 때문에 주변시설들(난지 하수 중계펌프장, 마포 농수산물 센터, 침출수 등)의 탈취 설비 설치와 시설들의 정비가 필요하다.

경기장 주변의 악취진단을 위해 공기를 포집하는 전 기간동안에 경기장의 공기는 항상 탁한 상태를 유지하였다. 또한, 월드컵 경기장 건설현장에서 근무하는 사람들의 경우 공기가 나쁘다는 것은 느끼고 있었지만 악취를 느끼지는 못하고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 현상은 코가 쉽게 피로현상을 느끼기 때문에 동일 악취에 장기간 노출될 경우 악취를 느끼지 못하기 때문으로 보인다. 그러나, 관리초소 근무자의 경우 귀가 후에 두통을 자주 느끼는 것으로 조사되었고, 악취조사에 참여한 조사원들 중 일부도 악취 또는 휘발성 유기화합물로 인한 두통을 호소하였다. 이러한 원인은 매립지에서 가스 추출공을 통해 대량으로 대기 중으로 배출되고 있는 매립가스 때문인 것으로 추정된다.

5) 매립지 부지 경계면의 악취강도

매립지의 부지 경계면에서의 악취는 제 2매립지 후면 도로 건너편에 위치한 택지개발지를 선정하였다. 택지개발지는 경기장의 북북서 방향으로 약 300~400m 거리에 위치하고 있다. 택지 개발지구(매립지 경계면)에서의 악취강도와 냄새감지 한계 희석배수는 1과 3으로 경기장에서 악취강도가 낮을 때의 수준이다. 그러나, 두 지역 간의 악취 공기의 포집 시간대와 풍향 등

이 다르기 때문에 두 지역의 악취강도를 직접 비교하기는 어렵다.

6) 난지 하수 중계펌프장의 악취 강도

난지 하수 중계펌프장의 내부와 주변의 악취 강도는 2~3도를 유지하였고, 냄새감지한계 희석배수는 670~2100 범위로 매우 심하였다. 또한, 부지 경계면(월드컵 경기장 방면)에서의 악취 강도는 1도로 냄새감지한계 희석배수는 5~30 범위이었다. 난지 하수 중계 펌프장이 기존설비와 신설설비 2개의 펌프장으로 구성되어 있다. 조사기간동안에는 처리장의 안쪽(성산대교 방향)에 위치한 기존설비만을 가동하고 있었기 때문에 경계면에서의 악취강도가 낮았다.

7) 마포 농수산물 센터의 악취강도

농수산물 센터의 악취강도는 1~2도 이었고, 냄새감지한계 희석배수는 3~150 범위이었다. 경기장의 남측에 인접하여 위치한 농수산물 센터는 제 2매립지의 직접 영향권에 있다. 서풍이 부는 기상조건하에서는 매립지의 악취와 유사하였다. 농수산물 센터에서의 악취는 매립지의 영향뿐만 아니라 생선 썩는 냄새가 주요 원인 중 하나이다. 농수산물 센터에서 배출되는 생선 상자와 쓰레기 적치장에서의 악취가 심하여 이의 효율적 관리를 위한 대책이 필요하다.

8) 난지 하수처리장의 악취강도

경기장에 영향을 미칠 가능성이 있어 보이는 난지하수처리장의 북측 경계면 2곳에서의 악취 강도를 측정하였다. 경계면에서의 악취강도는 1~2도 이었고, 냄새감지한계 희석배수는 20~70 범위이었다. 난지 하수처리장의 경우 월드컵 경기장으로부터 약 5 km 정도 북서방향에 위치하고 있기 때문에 경기장에 직접적인 영향을 미치지지는 않을 것으로 추정된다. 그러나 난지하수처리사업소내에 있는 음식물 퇴비화 시설에서의 악취강도는 3~4도로 매우 높았다.

9) 악취강도 측정법의 특성

직접관능법으로 동일한 악취도를 보인 시료들을 공기희석 관능법으로 측정된 냄새감지한계 희석배수값을 비교해보면 많은 차이를 나타내었으며 이는 악취물질의 성상에 따라 희석배수값의 차이를 나타낸 것으로 추정된다. 또한, 현장에서 느끼는 악취강도와 포집공기를 이용한 악취강도의 측정결과는 다소 차이를 보이기도 하였다. 이러한 현상은 풍향에 따라 악취의 확산 정도가 달라지고, 공기를 포집하는 동안(10~20분) 악취농도의 편차가 크기 때문으로 사료된다.

〈표 3-8〉 난지도 지역 악취도 측정 결과 I (측정일시: 2000년 5월 20일)

측정 지점	직접관능법에 의한 악취도	공기희석관능법에 의한 냄새감지한계 희석배수
제 1 매립지 상부	2~3	450
제 1 매립지 사면	1	7
제 2 매립지 상부	2~3	6,700
제 2 매립지 사면	1	10
매립지 부지 경계면	1	3
마포 농수산물 센터 주차장	2	150
월드컵 주경기장	1	3
난지 하수 중계펌프장 내부	3	2,100
난지 하수 중계 펌프장 부지 경계면	1	5
난지 하수처리장 음식물 퇴비화 시설 내부	4	15,000

〈표 3-9〉 난지도 지역 악취도 측정 결과 II (측정일시: 2000년 6월 14일)

측정 지점	직접관능법에 의한 악취도	공기희석관능법에 의한 냄새감지한계 희석배수
제 1 매립지 상부	2~3	100
제 1 매립지 사면	1	3
제 2 매립지 상부	2~3	210
제 2 매립지 사면	1	3
제 2 매립지 가스 추출공	5	210,000
매립지 부지 경계면	1	3
마포 농수산물 센터 주차장	1	10
월드컵 주경기장	1	3
난지 하수 중계펌프장 내부	2~3	670
난지 하수 중계 펌프장 부지 경계면	1	5
난지 하수처리장 부지 경계면 I	2	45
난지 하수처리장 부지 경계면 II	2	30

〈표 3-10〉 난지도 지역 악취도 측정 결과 III (측정일시: 2000년 6월 19일)

측정 지점	직접관능법에 의한 악취도	공기회석관능법에 의한 냄새감지한계 회석배수
제 1 매립지 상부	2~3	150
제 1 매립지 사면	1	7
제 2 매립지 상부	2~3	210
제 2 매립지 사면	2	45
매립지 부지 경계면	1	3
마포 농수산물 센터 주차장	1	20
월드컵 주경기장	2	100
난지 하수 중계펌프장 내부	2	670
난지 하수 중계 펌프장 부지 경계면	1	30
난지 하수처리장 부지 경계면 I	2	70
난지 하수처리장 부지 경계면 II	1	20

〈표 3-11〉 난지도 지역 악취도 측정 결과 IV (측정일시: 2000년 7월 25일)

측정 지점	직접관능법에 의한 악취도	공기회석관능법에 의한 냄새감지한계 회석배수	기기분석법에 의한 암모니아 농도 (ppm)
제 1 매립지 상부	3	448	ND
제 1 매립지 사면	1	45	ND
제 2 매립지 상부	2	448	0.14
제 2 매립지 사면	1~2	45	ND
매립지 부지 경계면	1	3	ND
마포 농수산물 센터 주차장	1	3	ND
월드컵 주경기장	1	3	ND
난지 하수 중계 펌프장 부지 경계면	2	144	ND
난지 하수처리장 음식물 퇴비화 시설 내부	4	1442	1
난지 하수처리장 부지 경계면	1~2	67	ND
강변북로 I (난지하수처리장 주변)	1~2	45	ND
강변북로 II (매립지 주변)	—	—	—

주) ND: Not Detected

〈표 3-12〉 난지도 지역 악취도 측정 결과 V (측정일시: 2000년 8월 9일)

측정 지점	직접관능법에 의한 악취도	공기희석관능법에 의한 냄새감지한계 희석배수	기기분석법에 의한 암모니아 농도 (ppm)
제 1 매립지 상부	2~3	448	ND
제 1 매립지 사면	1	14	ND
제 2 매립지 상부	2	448	ND
제 2 매립지 사면	1	21	ND
매립지 부지 경계면	1	3	ND
마포 농수산물 센터 주차장	1~2	30	ND
월드컵 주경기장	1	21	ND
난지 하수 중계 펌프장 부지 경계면	2	310	0.01
난지 하수처리장 음식물 퇴비화 시설 내부	4	1442	1.8
난지 하수처리장 부지 경계면	2	45	ND
강변북로 I (난지하수처리장 주변)	1~2	45	ND
강변북로 II (매립지 주변)	1~2	30	ND

주) ND: Not Detected

〈표 3-13〉 난지도 지역 악취도 측정 결과 VI (측정일시: 2000년 9월 2일)

측정 지점	직접관능법에 의한 악취도	공기희석관능법에 의한 냄새감지한계 희석배수	기기분석법에 의한 암모니아 농도 (ppm)
제 1 매립지 상부	2	100	ND
제 1 매립지 사면	1	100	ND
제 2 매립지 상부	2~3	300	1.24
제 2 매립지 사면	1	30	ND
매립지 부지 경계면	1	3	ND
마포 농수산물 센터 주차장	2	100	1.2
월드컵 주경기장	1	3	ND
난지 하수 중계펌프장 부지 경계면	2	100	1.4
난지 하수 처리장 부지 경계면	1	10	ND
난지 하수처리장 음식물 퇴비화 시설 내부	—	—	—
강변북로 I (난지 하수처리장 주변)	1	30	ND
강변북로 II (매립지 주변)	2	100	ND

주) ND: Not Detected

〈표 3-14〉 월드컵 주경기장 시간별 악취도 측정 결과 (측정일시: 2000년 6월 19일)

No.	측정 시간	온도 (°C)	풍향	풍속 (m/s)	직접관능법에 의한 악취도	공기희석관능법에 의한 냄새감지한계 희석배수
1	9:20	27	서풍	2~3	2	100
2	12:30	33	북서풍	2~3	2	140
3	15:45	34	북서풍	3~4	3	450
4	18:00	31	북서풍	2~3.5	1	20
5	21:00	27	북풍	1.5~2.5	1	3

〈표 3-15〉 중계 펌프장 내부 시간별 악취도 측정 결과 (측정일시: 2000년 6월 19일)

No.	측정 시간	온도 (°C)	직접관능법에 의한 악취도	공기희석관능법에 의한 냄새감지한계 희석배수
1	10:00	27	2	670
2	14:30	34	3	1,400
3	17:30	31	3	1,000
4	20:30	27	3	2,100

〈표 3-16〉 제 2 매립지 상부 시간별 악취도 측정 결과 (측정일시: 2000년 6월 19일)

No.	측정 시간	온도 (°C)	직접관능법에 의한 악취도	공기희석관능법에 의한 냄새감지한계 희석배수
1	10:40	28	2~3	210
2	17:30	31	2~3	140

2. 기기분석법에 의한 측정 결과

각 측정 지점에서 채취한 시료를 기기분석법을 이용하여 황화계 악취성분의 농도를 분석한 결과, 대부분의 시료에서 악취성분의 농도가 측정되지 않았다. 본 연구에서 사용한 분석 장비의 황화계 악취물질의 검출한계는 0.1ppm임을 감안하면, 시료 중 각 악취성분의 농도는 검출한계 미만의 범위에 있는 것으로 추정된다. 다만 시료의 농축 장치 등을 활용하면 미량의 분석이 가능하지만 분석장비 및 비용이 고가이기 때문에 본 연구에서는 수행하지 못했고, 향후에도 측정이 수행될 경우에는 시료 농축 장치를 활용하여 보다 정확하게 악취성분 농도를 분석할 필요성은 있다.

〈표 3-17〉 기기분석법에 의한 악취물질 농도 측정 결과

측정 일시	2000년 6월 14일				2000년 6월 19일			
측정 항목 (ppm)	H ₂ S	MM	DMS	DMDS	H ₂ S	MM	DMS	DMDS
측정 지점								
제 1 매립지 상부	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
제 1 매립지 사면	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
제 2 매립지 상부	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
제 2 매립지 사면	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
매립지 부지 경계면	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
마포 농수산물 센터 주차장	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
월드컵 주경기장	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
난지 하수 중계펌프장 내부	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
난지 하수 중계 펌프장 부지 경계면	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
난지 하수처리장 부지 경계면 I	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
난지 하수처리장 부지 경계면 II	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

주: 1) MM: Methylmercaptan(CH₃SH) 2) DMS: Dimethylsulfide(CH₃)₂S
 3) DMDS: Dimethyldisulfide(CH₃)₂S₂ 4) ND: Not Detected

3. 서울시보건환경연구원 측정결과와의 비교 · 분석

1999년 12월 이후 서울시보건환경연구원에서는 난지도 매립지 및 주변지역을 대상으로 정기적으로 악취도 측정을 수행해오고 있는 것으로 조사되었다. 본 장(章)에서는 서울시정개발연구원에서 자체 조사한 악취도 측정결과와 서울시보건환경연구원의 측정결과를 상호 비교 · 분석함으로써 난지도 지역의 악취도 실태를 좀더 정확하게 진단하고자 하였다.

우선 서울시보건환경연구원에서 동절기에서 봄까지 측정한 난지하수처리장 주변 악취도 측정결과에 의하면 황화수소와 메틸메르캅탄은 검출되지 않았지만 암모니아가 지속적으로 검출되고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 전반적인 악취도(직접관능법)는 비교적 낮은 것으로 나타났다. 또한 난지도 매립지를 포함한 주변 악취 발생원을 대상으로 2000년 6월에 4회에 걸친 측정과 이후 현재까지 매월 1회씩 실시한 직접관능법과 기기분석에 의한 측정결과를 살펴보면 먼저 직접관능법에 의한 악취강도는 평균 1~2도로 조사되었고, 기기분석법에 의해서는 조사대상 악취성분중 단지 암모니아만 일부 검출된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 서울시정개발연구원에서 2000년 6월부터 10월 사이에 측정한 악취강도와 거의 유사한 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 종합해볼 때 난지도 지역 및 주변 악취 발생원에서의 악취강도는 년 중 평균 1~2도 정도가 유지되는 것으로 추정되었다. 그러나 서울시정개발연구원 및 서울시보건환경연구원에서 수행한 악취도 측정은 대부분 저기압이 형성되지 않는 일조시간에 측정된 것으로 대기가 안정하고, 저기압의 조건인 새벽이나 기상조건의 변화에 따라 직접관능법에 의한 악취강도가 1~2도 이상인 경우도 발생할 가능성도 상존함을 간과해서는 안된다. 또한 기기분석에 의한 악취 물질의 검출도 본 연구원 및 서울시보건환경연구원에서는 측정비용의 한계로 일반적으로 사용되는 분석방법을 채택하였으나 저온농축법과 같은 고가의 정밀 분석방법을 활용했을 경우는 현재와 다른 결과를 나타낼 가능성도 있다.

〈표 3-18〉 난지하수처리사업소 주변 악취도 측정결과

시료채취일	측정지점	측정 및 분석 결과			
		직접관능법	기기분석법(ppm)		
			암모니아	황화수소	메틸메르캅탄
1999년 12/23	부지경계선 (동남향경계)	2도	1.26	불검출	불검출
	강변북로도로상 (난지하수처리장정문앞)	1도	불검출	불검출	불검출
2000년 1/26	부지경계선 (동남향경계)	1도	불검출	불검출	불검출
	강변북로도로상 (난지하수처리장정문앞)	1도	불검출	불검출	불검출
2000년 2/25	부지경계선 (동남향경계)	2도	2.15	불검출	불검출
	강변북로도로상 (난지하수처리장정문앞)	1도	불검출	불검출	불검출
2000년 3/31	부지경계선 (동남향경계)	2도	0.97	불검출	불검출
	강변북로도로상 (난지하수처리장정문앞)	1도	불검출	불검출	불검출
2000년 5/1	부지경계선 (동남향경계)	2도	1.17	불검출	불검출
	강변북로도로상 (난지하수처리장정문앞)	1도	불검출	불검출	불검출

주: 서울시보건환경연구원 내부자료

〈표 3-19〉 난지도 매립지 및 주변지역 악취도 측정결과

시료채취지점	2000. 6. 1(목)						2000. 6. 8(목)					
	직접 관능법	기기분석법(ppm)					직접 관능법	기기분석법(ppm)				
		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캡탄	황화 메틸	이황화 메틸		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캡탄	황화 메틸	이황화 메틸
주경기장 남서향경계	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND
제2매립지 상부	2도	0.75	ND	ND	ND	ND	1도	0.70	ND	ND	ND	ND
중계펌프장	—	0.46	ND	ND	ND	ND	—	11.03	ND	ND	ND	ND
하수처리장 부지경계선	2도	0.96	ND	ND	ND	ND	2도	0.88	ND	ND	ND	ND
음식물 퇴비화시설	—	1.21	ND	ND	ND	ND	—	1.12	ND	ND	ND	ND
정화조농축조	—	5.31	ND	ND	ND	ND	—	1.54	ND	ND	ND	ND
강변북로상 (난지하수처리 장 정문앞)	2도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND

(〈표 3-19〉 계속) 난지도 매립지 및 주변지역 악취도 측정결과

시료채취지점	2000. 6. 15(목)						2000. 6. 22(목)					
	직접 관능법	기기분석법(ppm)					직접 관능법	기기분석법(ppm)				
		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캡탄	황화 메틸	이황화 메틸		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캡탄	황화 메틸	이황화 메틸
주경기장 남서향경계	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND
제2매립지 상부	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	0.29	ND	ND	ND	ND
중계펌프장	—	4.99	ND	ND	ND	ND	—	0.80	ND	ND	ND	ND
하수처리장 부지경계선	2도	0.66	ND	ND	ND	ND	2도	0.56	ND	ND	ND	ND
음식물 퇴비화시설	—	2.58	ND	ND	ND	ND	—	1.20	ND	ND	ND	ND
정화조농축조	—	2.63	ND	ND	ND	ND	—	0.95	ND	ND	ND	ND
강변북로상 (난지하수처리 장 정문앞)	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND

〈표 3-19〉 계속) 난지도 매립지 및 주변지역 악취도 측정결과

시료채취지점	2000. 7. 27(목)						2000. 8. 31(목)					
	직접 관능법	기기분석법(ppm)					직접 관능법	기기분석법(ppm)				
		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캅탄	황화 메틸	이황화 메틸		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캅탄	황화 메틸	이황화 메틸
주경기장 (남서향경계)	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND
제2매립지 상부	1도	0.35	ND	ND	ND	ND	1도	0.45	ND	ND	ND	ND
중계펌프장	—	3.18	ND	ND	ND	ND	—	0.48	ND	ND	ND	ND
하수처리장 부지경계선	2도	1.93	ND	ND	ND	ND	2도	0.64	ND	ND	ND	ND
음식물 퇴비화시설	—	3.70	ND	ND	ND	ND	—	1.14	ND	ND	ND	ND
정화조농축조	—	2.62	ND	ND	ND	ND	—	0.92	ND	ND	ND	ND
강변북로상 (난지하수처 리장 정문앞)	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND

〈표 3-19〉 계속) 난지도 매립지 및 주변지역 악취도 측정결과

시료채취지점	2000. 9. 20(수)						2000. 10. 31(화)					
	직접 관능법	기기분석법(ppm)					직접 관능법	기기분석법(ppm)				
		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캅탄	황화 메틸	이황화 메틸		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캅탄	황화 메틸	이황화 메틸
주경기장 (남서향경계)	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND
제2매립지 상부	2도	6.26	ND	ND	ND	ND	1도	1.94	ND	ND	ND	ND
중계펌프장	—	0.89	ND	ND	ND	ND	—	3.21	ND	ND	ND	ND
하수처리장 부지경계선	2도	0.96	ND	ND	ND	ND	2도	2.35	ND	ND	ND	ND
음식물 퇴비화시설	—	3.31	ND	ND	ND	ND	—	7.57	ND	ND	ND	ND
정화조농축조	—	1.43	ND	ND	ND	ND	—	4.25	ND	ND	ND	ND
강변북로상 (난지하수처 리장 정문앞)	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND

(〈표 3-19〉 계속) 난지도 매립지 및 주변지역 악취도 측정결과

시료채취지점	2000. 11. 30(목)						2000. 12. 14(목)					
	직접 관능법	기기분석법(ppm)					직접 관능법	기기분석법(ppm)				
		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캡탄	황화 메틸	이황화 메틸		암모 니아	황화 수소	메틸메 르캡탄	황화 메틸	이황화 메틸
주경기장 (남서향경계)	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND
제2매립지 상부	2도	0.78	ND	ND	ND	ND	1도	0.95	ND	ND	ND	ND
중계펌프장	—	0.87	ND	ND	ND	ND	—	0.76	ND	ND	ND	ND
하수처리장 부지경계선	2도	0.37	ND	ND	ND	ND	2도	0.58	ND	ND	ND	ND
음식물 퇴비화시설	—	0.97	ND	ND	ND	ND	—	1.33	ND	ND	ND	ND
정화조농축조	—	1.58	ND	ND	ND	ND	—	1.01	ND	ND	ND	ND
강변북로상 (난지하수처 리장 정문앞)	1도	ND	ND	ND	ND	ND	1도	ND	ND	ND	ND	ND

第Ⅳ章 난지도 지역 악취 관리 방안

제1절 발생원별 악취관리 방안

제2절 악취 모니터링 계획

제3절 난지도 매립지 안정화 사업의 지속적 관리

제Ⅳ장 난지도 지역 악취 관리 방안

제 1 절 발생원별 악취관리 방안

1. 난지하수중계펌프장

1) 시설현황

침사지는 <표 4-1> 과 같이 현재 개방형의 기존 침사지 1기와 콘크리트 슬라브로 1단 복개되어 있는 증설 침사지로 구성되어 있고, 침사 인양기로서 기존 침사지는 주행식 V-Bucket Elevator와 증설 침사지의 경우는 매물 방지형 Chain Flight 방식의 인양기가 각각 설치되어 있다.

<표 4-1> 중계 펌프장 시설물 현황

시설물명	기존		증설	
		수량		
침사지	W3.0m×L26.0m×H2.9m(고단)	3지	W3.0m×L26.0m×H3.05m(고단)	2지
	W3.0m×L26.0m×H2.7m(저단)	5지	W3.0m×L26.0m×H2.2.46m(저단)	3지
침사인양기	주행식 V-Bucket Elevator	2대	매물방지형 Chain Flight	
유입펌프	입축사류펌프(고단)		입축사류펌프(고단)	
	φ700×50m ³ /min(모터)	1대	φ600×50m ³ /min(모터)	3대
	φ700×70m ³ /min(모터)	3대	φ900×110m ³ /min(모터)	1대
	φ900×110m ³ /min(모터)	2대	φ800×70m ³ /min(모터)	1대
	φ900×110m ³ /min(엔진)	1대		
	입축사류펌프(저단)		입축사류펌프(저단)	
	φ900×75m ³ /min(모터)	1대	φ800×75m ³ /min(모터)	3대
	φ900×105m ³ /min(모터)	3대	φ1,100×160m ³ /min(모터)	1대
	φ1,200×160m ³ /min(모터)	2대	φ900×105m ³ /min(모터)	1대
	φ1,200×160m ³ /min(엔진)	1대		

2) 난지하수중계펌프장 복개의 필요성

(1) 악취 저감

난지하수 중계 펌프장의 악취도는 제3장의 측정결과에 제시한 바와 같이 난지도 주변지역의 사람에게 불쾌감을 유발시킬 수 있는 정도의 악취를 발생시키고 있는 것으로 나타났다. 또한 월드컵 주경기장에도 기상조건에 따라 영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히 본 대상지와 인접해 있는 강북강변로뿐만 아니라 향후 건설 예정인 월드컵 주경기장 연결 도로를 통과하는 차량 운전자에게 기상조건에 따라서는 심각한 영향을 미칠 수 있을 것으로 추정된다.

(2) 미관 향상

난지하수 중계 펌프장은 거대한 콘크리트 구조물로서 이미 구조물들의 부식이 진행되어 있기 때문에 미관상 양호하지 못한 실정이다. 특히 2002년 월드컵 경기의 개막전이 열릴 당시에는 난지도 지역 일대가 헬기 촬영에 의해 전 세계에 생중계될 것이다. 따라서 난지도 지역의 전체적인 미관 향상을 위해서도 난지하수중계펌프장의 복개는 2002년 월드컵 경기 개최전까지 반드시 완공되어야 할 것으로 사료된다.

(3) 새서울타운 개발 계획

서울시는 월드컵 경기장이 건설되는 상암지구 일대를 21세기 통일시대를 대비하는 미래도시로서 관문·정보·생태도시의 성격을 갖는 서북부 도심으로 육성하고자 하는 새서울타운 발전구상을 계획하였다. 현재 난지중계펌프장이 입지한 주변지역은 단기적으로는 2002년 월드컵 경기시 주차수요 해결을 위하고, 난지도 매립지 주변의 수림대 조성(가칭 희망의 숲)과 연계된 조경이 중시되는 임시주차장으로 활용할 예정이며, 월드컵 이후에 본격적으로 개발하여 새천년 기념사업과 연계한 공원 조성을 위해 기념 조형물 설치 등을 구상하고 있다. <그림 4-1>은 새서울타운 발전구상 예시도를 나타낸 것이다.

이와 같이 난지도 지역 일대의 새서울타운 개발과 이에 따른 도시시설 입지를 고려할 때 난지하수처리장 유입하수 중계펌프장은 2002년 월드컵 경기 개최 이전에 복개 및 악취제거 시설이 마련되어야 할 것으로 사료된다.



〈그림 4-1〉 새서울타운 개발 예시도

(4) 도시환경 개선

최근 생활수준의 향상으로 시민들의 도시환경 개선에 대한 인식이 날로 높아지고 있다. 특히 혐오시설에 대한 시민들의 거부반응은 우려할 만한 수준이다. 따라서 난지도 지역 전체를 친환경적으로 정비함과 동시에 비록 작은 환경오염원일지라도 철저히 차단하여 서울시가 도시환경 개선을 위해 꾸준히 노력하고 있음을 시민들에게 인식시킬 필요성이 있다고 사료된다. 이와 함께 본 대상지에는 파리 및 모기 등과 같은 해충들이 서식하고 있는 것이 확인된 바 난지도 지역 위생환경 측면도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

3) 복개 방식의 검토

난지하수 펌프장의 복개 방식은 철근 콘크리트를 이용한 복개와 FRP를 이용한 복개 방식이 검토할 수 있다. 철근 콘크리트를 이용한 복개 방식의 장점은 약 1,300평 규모의 토지 이용이 가능하다는 것이다. 그러나 기검토된 자료에 의하면 시설의 안전성, 작업의 관리 및 운영성, 경제성 측면 등의 문제점이 있기 때문에 철근 콘크리트 복개 방식은 현실적으로 부적합한 것으로

나타났다. 따라서 FRP를 이용하여 상부를 복개한 후 적절한 탈취 설비를 설치하는 것이 효과적인 방안으로 사료된다. FRP를 이용한 복개 방식은 시공이 비교적 간단하고, 공사비가 상대적으로 저렴하다. 다만 상부 복개시에 토지이용이 불가능한 단점이 있다. <표 4-2>는 FRP에 의한 복개 방식의 시공성, 장단점 및 공사비 등을 나타낸 것이다.

<표 4-2> FRP를 이용한 복개방식 검토

구분	FRP 복개 방식
1) 개요	
• 복개대상	침사지
• 상부이용	상부이용 불가
2) 복개면적	4,307.8m ² (약 1,300평)
3) 장·단점	
• 환기 및 탈취	강제탈취
• 채광 및 조명	FRP 뚜껑을 통한 자연채광
• 유지관리	기계설비 교체가 곤란
• 시공성	FRP를 제작하여 설치하면 시공이 간단
• 기대효과	하수처리장의 이미지 제고(경관이 양호)
4) 공사비	1,980 백만원 ± α

4) 탈취시설의 설치

펌프장의 복개만으로는 악취문제를 근본적으로 해결할 수 없기 때문에 악취저감을 위한 탈취설비의 설치가 필요하다. 펌프장을 복개하여 밀폐만 시킬 경우 악취가스로 인한 시설의 부식 문제가 발생할 뿐만 아니라 근무자들이 지속적으로 고농도의 유해한 악취물질에 노출되어 직업병을 유발할 가능성이 있기 때문에 시설보호와 쾌적한 근무환경을 제공하기 위해서는 탈취설비의 설치가 불가피하다. 또한, 펌프장 주변이 주차장과 공원으로 조성되어 시민들의 왕래가 빈번할 것으로 예상되므로 펌프장 시설에 대한 민원 유발가능성이 있기 때문에 탈취설비의 설치가 타당하다고 사료된다.

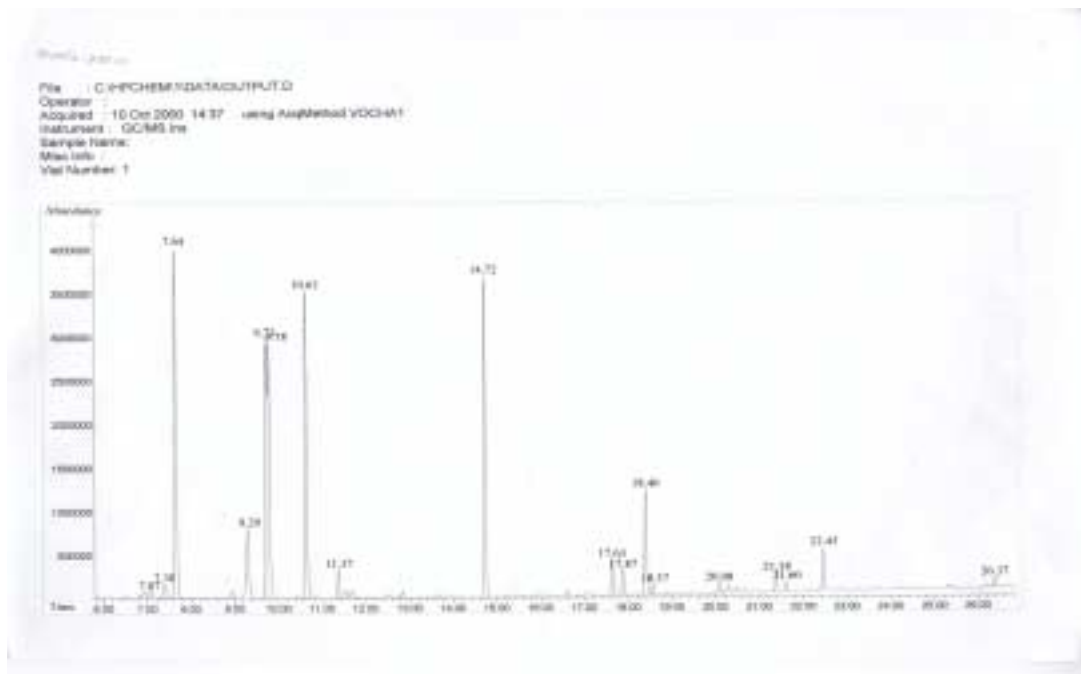
일반적인 중계펌프장에 적용 가능한 탈취기술로는 활성탄을 이용한 흡착방식과 바이오필터법을 고려할 수 있다. 활성탄의 경우 간편하기는 하나 유지관리비용이 많이 소요될 뿐만 아니라 저분자량의 악취가스의 제거가 어려운 단점이 있다. 반면에 바이오필터는 조업이 간단하고 유지관리비가 적게 소요되고 탈취효율이 높은 장점이 있다.

본 연구원에서는 난지하수중계펌프장에 가장 효과적인 탈취시설 선정을 위하여 자체적으로

실험을 실시하였다. 본 실험에서 검토된 탈취방식은 국내에서 최근 각광을 받고 있는 바이오필터법과 활성탄 흡착법, 약액세정법, 지렁이 분변토를 이용한 탈취법 등 총 4가지를 대상으로 검토하였으며 각 탈취 공정별로 탈취효율, 경제성, 유지관리 측면 등을 고려하여 당해 시설에 가장 적합한 탈취 방식을 제시하였다. 실험결과 얻어진 주요 결론은 다음에 제시한 바와 같고, 기타 자세한 실험장치, 방법 및 실험결과를 본 보고서 부록에 자세히 수록하였다.

(1) 악취성상

난지 중계펌프장의 악취는 질소계와 황화계 악취와 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)로 구성된 복합 악취로 악취물질과 휘발성 유기화합물을 동시에 제거할 수 있는 탈취기술의 선정이 필요하다. <그림 4-2> 및 <표 4-3>은 난지하수중계펌프장에서 발생하는 악취가스를 GC/MASS를 이용하여 분석한 크로마토그램과 성분명을 각각 나타낸 것이다.



<그림 4-2> 난지하수중계펌프장 악취 가스의 분석 크로마토그램

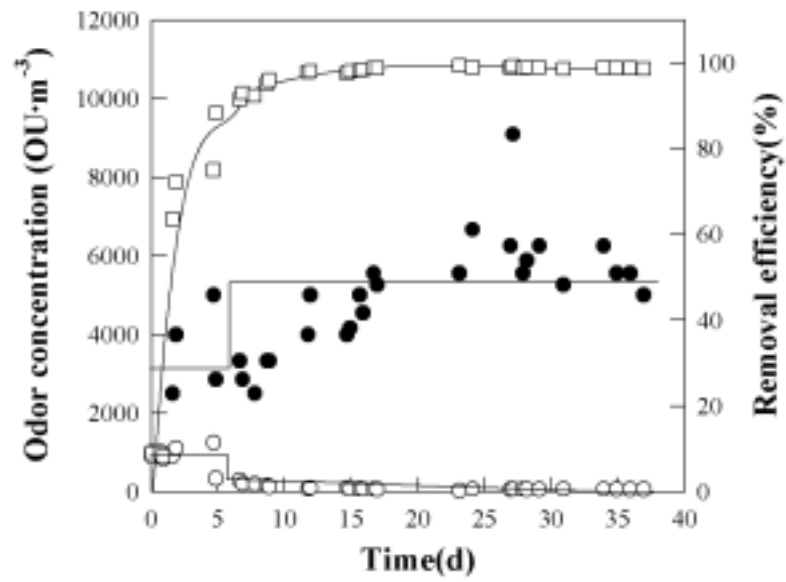
〈표 4-3〉 난지하수중계펌프장 악취 가스의 분석 성분명 및 크로마토그램

RT	성분명	RT	성분명
7.07	Propanol	17.63	EthylBenzene
7.38	Ethane	17.87	p-xylene
7.64	Methane	18.40	Styrene
9.29	Pentane	18.57	1,3-di methylbenzene
9.73	Hexane	20.08	Benzaldehyde
9.78	Hexane	21.39	1,2,4-tri methylbenzene
10.63	Cyclopentane	21.60	Decane
11.37	Benzene	22.45	Limonene
14.72	MethylBenzene	26.37	Dodecane

주: RT는 Retention Time을 나타냄.

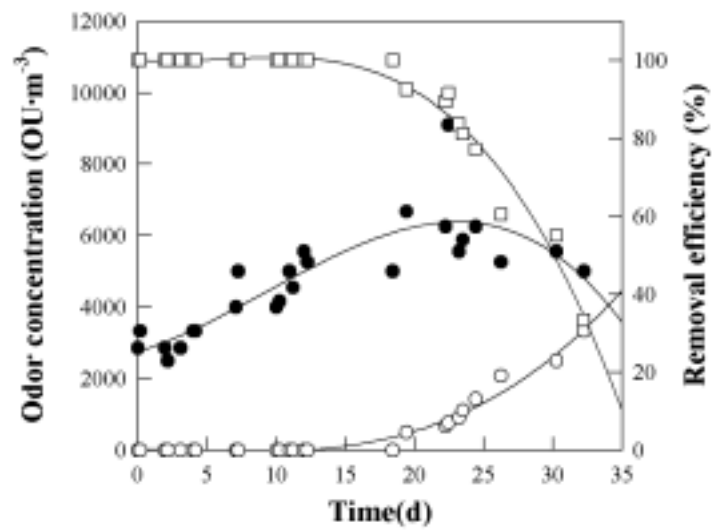
(2) 탈취기술별 악취 제거 실험 결과

- ① 바이오필터법: 다른 방식의 탈취법과 비교하여 98%이상의 우수한 탈취효율을 제공하였고, 장기 조업시에도 안정적인 탈취율을 제공하는 우수한 기술이었다. 바이오필터의 경우 습한 악취가스의 정화에도 매우 효과적이다.
- ② 활성탄 흡착법: 활성탄이 파괴점에 도달하기 전까지는 악취가스를 98~99% 탈취율을 나타냈다. 다만, 활성탄의 흡착력이 포화점에 도달함에 따라 제거율은 50%이하로 급격히 감소함을 보여 활성탄의 교환이나 재생을 필요로 하고, 수분함량이 높은 악취가스의 처리시 기술선택에 신중하여야 한다.
- ③ 약액세정법: 악취유발물질과의 중화반응에 의해서 약 80%의 비교적 낮은 탈취율을 제공하였으며, 중화반응에 의한 VOC 제거에 비효과적인 것으로 나타났다.
- ④ 지렁이 분변토를 이용한 탈취법: 약 80%의 낮은 탈취율을 나타냈다.



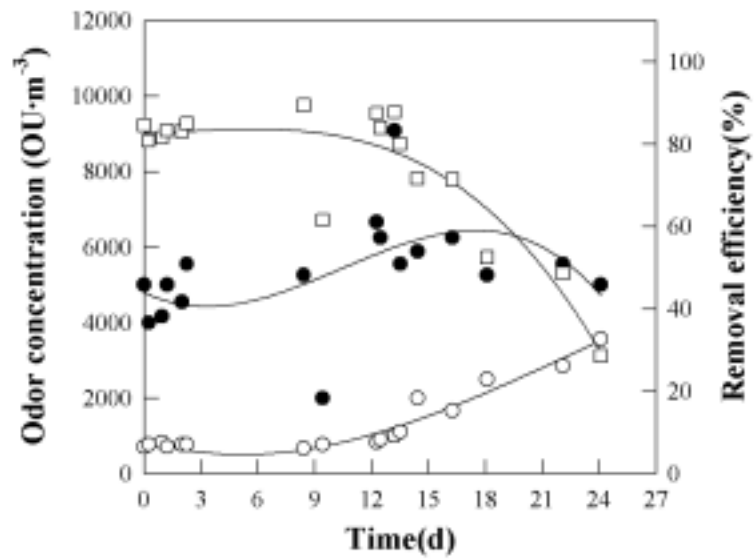
● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

〈그림 4-3〉 바이오필터를 이용한 악취 제거 효과



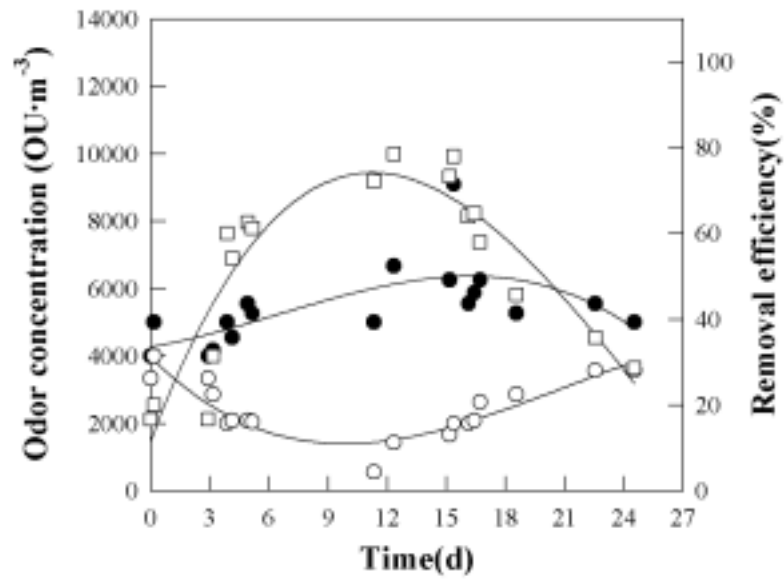
● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

〈그림 4-4〉 활성탄 흡착탑을 이용한 악취 제거 효과



● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

〈그림 4-5〉 약액세정장치를 이용한 악취 제거 효과



● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

〈그림 4-6〉 지령이 분변토 흡착탑을 이용한 악취 제거 효과

이상과 같은 연구 결과를 고찰해볼 때 난지하수중계펌프장에서 발생하는 악취제어는 “바이오필터법”이나 “활성탄 흡착법”을 사용하여 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단되었다.

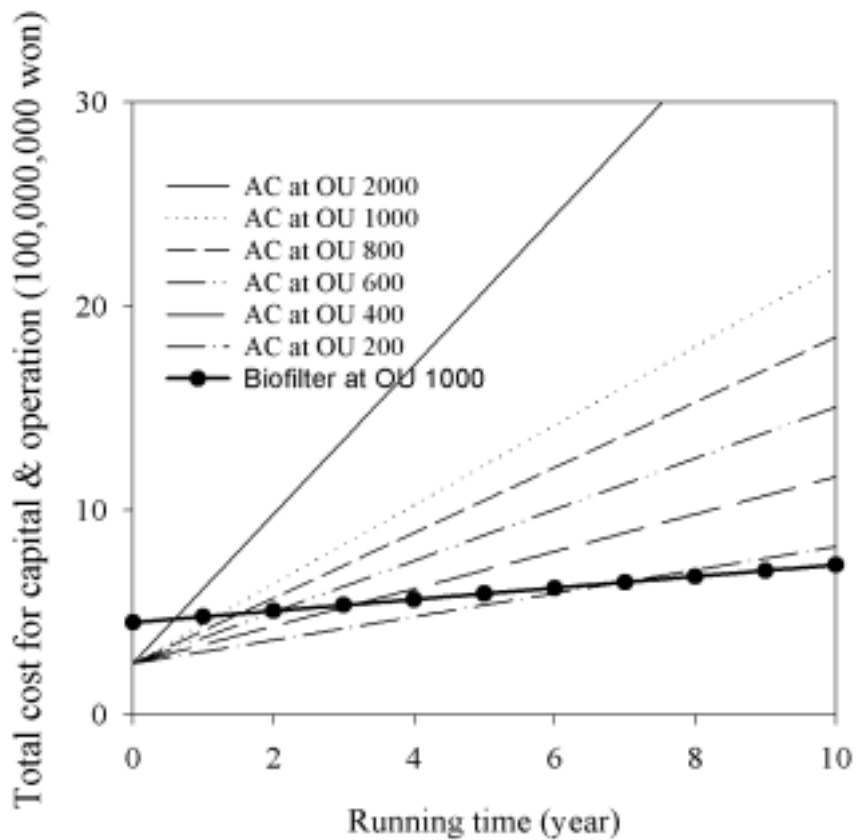
(3) 난지하수중계펌프장의 탈취설비 규모

- ① 악취강도: $600 \sim 1000 \text{ OU/m}^3$, (설계기준: 1000 OU/m^3)
- ② 악취가스 발생량 및 탈취시설 규모: $1000 \text{ m}^3/\text{min}$

(4) 경제성 분석

탈취 시설별 성능평가 연구 결과에서 우수한 탈취성능을 나타낸 바이오필터와 활성탄 흡착법에 대한 경제성을 비교 분석하였다.

- ① 초기 설비비는 바이오필터의 경우 활성탄 흡착법 보다 약 2배 규모였다.
- ② 유지관리비는 활성탄 흡착법의 경우 악취강도가 증가할수록 비례하여 증가하였다.
- ③ 바이오필터를 설치할 경우 활성탄 흡착법을 설치한 경우보다 유지관리비가 저감되는 시점은 악취 강도가 각각 200, 400, 600, 800, 1000, 2000 OU/m^3 일 때 7, 3.5, 2.2, 1.8, 1.2, 0.6 년이 소요되는 것으로 나타났다.
- ④ 난지 하수 중계펌프장 탈취시설에서 배출되는 악취강도가 1000 OU/m^3 일 때 탈취설비로 바이오필터를 설치할 경우 활성탄 흡착법과 비교하여 초기설비비가 상대적으로 많이 소요되지만 약 1~3년 경과 후에는 활성탄 흡착법보다 경제적인 것으로 평가되었다.



〈그림 4-7〉 활성탄 흡착법과 바이오필터법의 사용기간에 따른 탈취비용 비교

5) 협잡물 처리 호퍼(Hopper) 악취 대책 및 기타 유의할 사항

협잡물 처리 호퍼는 측정결과에 제시된 바와 같이 매우 심각한 악취를 발생시키고 있으므로 침사지 상부를 복개할 경우 협잡물 처리 호퍼도 동시에 복개해야 할 것이다. 또한 본 대상지의 부지 규모가 매우 크고, 처리용량이 많아지면 고가의 대용량 탈취설비가 필요하므로 상부 복개 시설은 시설 유지관리 작업에 지장이 없는 범위에서 최소로 설계되어야 할 것으로 사료된다.

그러나 만일 중계펌프장 복개 실행이 불가피하게 연기되거나 불가능할 경우는 2002년 월드컵 기간중에 기존 침사지에 탈취제를 살포하고, 협잡물 제거 호퍼는 매일 반출시켜야 할 것으로 사료된다.

6) 최종 결론

현재 난지도 지역의 주요 악취 발생원중 하나로 지적되어온 난지하수중계펌프장에 대한 악취도 측정과 평가 및 효과적인 탈취 방식 선정에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 연구결과를 도출하였다.

- (1) 난지하수중계펌프장 부지경계 및 협잡물 제거 호퍼에서의 악취도는 각각 2~3도, 3~5도로 대기환경보전법상 악취규제 기준을 초과하였다.
- (2) 본 시설의 상부를 복개할 경우는 FRP에 의한 복개가 경제성 및 구조물 안정성을 고려할 때 효과적인 것으로 조사되었다. 또한 공사비용은 약 20억 정도가 소요될 것으로 조사되었다.
- (3) 상부 복개시 필요한 탈취설비는 효율성, 경제성, 유지관리 측면을 고려할 때 바이오필터법이 기타 탈취법에 비해 효과적인 것으로 나타났다. 또한 초기 설비 투자 비용은 약 4~5억 정도가 소요될 것으로 나타났다.

2. 난지도 매립지 현장(상부 및 사면)

1) 악취도 평가 및 향후 예측

난지도 매립지의 악취도는 제3장 측정결과에 제시한 바와 같이 제 1, 2매립지 상부의 경우 직접관능법에 의해 대략 2~3도, 사면과 부지경계의 악취도는 각각 1도를 나타냈다. 매립지 상부의 경우는 아직 가스처리시설 공사가 완료되지 않았기 때문에 가스추출공에서 매립가스가 대기중에 직접 배출되어 대기중에 희석되는 과정에서 풍향에 따라 고농도의 취기가 수시로 감지되었고, 특히 저기압 상태나 대기가 안정한 조건에서는 매립지 상부의 전 지점에서 지속적으로 취기가 감지되는 현상을 나타냈다. 반면 매립지 사면에서의 악취도는 비교적 낮았는데 이는 배출된 매립가스가 대기중에 희석되어 원거리로 확산되기 때문에 상대적으로 영향을 적게 받는 것으로 추정되었다. 이와 함께 현재 조성되어 있는 초목들의 강한 마스킹 효과에 의해서 사면의 악취도가 낮았던 것으로 추정되었다. 월드컵 경기장의 경우는 풍향에 따라 일시적으로 취기가 감지되기도 했지만 매립지 부지 경계와 함께 악취도가 대기환경기준(직접관능법 2도)치 이하로 나타나 전반적으로 양호한 수준으로 평가되었다.

일반적으로 악취도의 정확한 평가를 위해서는 발생원과 주변지역에서의 악취도 측정, 대기 확산 모델에 의한 영향거리 추정, 발생원 주변에 상주하는 지역주민의 의견 등이 종합적으로 검토되어야 하지만 불행히도 본 연구에서는 악취도 측정을 제외하고는 수행이 불가능하였다. 왜냐하면 대기확산 모델 수행의 경우 모델 자체의 신뢰성 부족, 전문가의 의견 반영, 연구비 한계 등의 이유 때문에 연구를 수행하지 못했다. 또한 지역주민에 대한 설문 조사도 지역 주민의 비협조 및 연구비와 연구인력의 제한 때문에 수행이 불가능하였다. 다만, 설문조사는 1996년 실시설계 당시 한차례 실시된 바 있다.

따라서 본 연구에서는 지난 1년 간에 걸쳐 조사한 악취도 측정결과를 포함해 본 연구원에서 개최한 수차례의 자문회의에서 얻어진 국내·외 악취 관련 전문가의 평가, 난지도 매립지 안정화 공사 관계자 및 현장직원의 의견, 실시설계 당시 수행된 설문조사 자료 등을 종합적으로 검토 및 고찰하여 현재의 악취도 수준 평가와 향후 예측되는 악취도를 추정하였다.

결론적으로 현재 난지도 지역의 악취도는 대기환경기준치를 초과하지 않는 양호한 수준이며, 간헐적인 악취 농도 증가도 매립지 상부의 가스처리 시설에서 배출되는 매립가스와 주변 악취 발생원에서 발생하는 악취가 혼재된 일시적인 현상으로 평가되었다. 따라서 향후 매립가스 처리 시설이 완공되어 매립가스가 당초 계획대로 적절히 처리된다면 매립지 가스에 의한 악취 영향은 극히 경미할 것으로 추정되었다.

2) 악취 저감 추진 전략

비록 향후에 난지도 매립지 가스에 의해 악취 문제가 발생할 가능성은 적지만 이러한 가정은 당초 예상된 안정화 공사가 순조롭게 진행된다는 가정 하에 판단한 것이므로 이러한 좋은 결과를 얻기 위해서는 아래 제시한 사항들이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

(1) 주변 악취 발생원의 제어

현재 난지도 지역에 간헐적으로 발생하는 악취도 증가는 매립지에서 발생하는 악취뿐만 아니라 기타 주변 악취 발생원에서 배출되는 악취 물질들이 복합적인 원인이 되어 발생하는 것으로 추정되므로 주변 악취 발생원인 마포농수산물시장과 난지하수중계펌프장에서의 탈취 대책이 우선적으로 마련되어야 할 것으로 사료된다.

(2) 가스 처리 설비의 조속한 완공

전술한 바와 같이 난지도 매립지 안정화 공사의 책임시공사인 D건설사의 최종부도 처리에 의해 현재 매립가스처리 공사가 다소 지연되고 있는 실정이다. 그러나 서울시에서는 2001년 상반기까지 본 공사를 반드시 완공시킬 예정인 것으로 알려지고 있다. 따라서 본 공사는 어떠한 일이 있더라도 서울시에서 예정한 시기까지는 반드시 지켜져야 한다. 왜냐하면 2001년 11월에 FIFA집행부의 월드컵 경기장에 대한 실사가 있을 예정이고, 또한 가스처리 시설의 시운전 과정에서 향후 공사의 방향 설정에 중요한 영향을 미치는 인자들의 점검과 혹은 보완이 필요하기 때문이다. 예를 들어 가스 추출공에서 발생하는 총 매립가스량을 실측함으로써 현재 계획된 가스처리 설비용량의 적정성 및 추가 증설 여부와 같은 사항을 신속히 평가해야 하며, 또한 매립가스 성분과 메탄 가스 함량 등을 조사함으로써 소각 조건 등의 설계조건이 결정되어야 하기 때문이다. 이와 함께 난지도 매립지 주변 지역을 대상으로 악취를 포함한 전반적인 대기질 측정을 수행함으로써 탈취제 살포 혹은 추가의 가스추출공 설치 여부 등의 비상시 대책에 대해서도 고려할 시간이 필요하기 때문이다.

3) 비상시 대책

(1) 탈취제 살포 방안

난지도 매립지 안정화 공사 특히 가스처리 시설의 완공 이후에도 지속적으로 취기가 발생할 경우에는 탈취제의 사용을 신중히 검토해볼 수 있다. 일반적으로 매립지와 같이 악취 배출원이 대기중에 노출되어 있고, 상대적으로 광범위한 지역에서 발생하는 악취를 저감시키기 위해서는 탈취제를 이용하는 것이 유용한 방법으로 간주되고 있으며, 국내의 경우 개방된 공간의 악취저감을 위한 탈취제가 수집중 소개되고 있다. 실제로 수도권매립지의 경우 매립중 발생하는 악취를 저감시키기 위해 탈취제를 살포하고 있는 것으로 조사되었다.

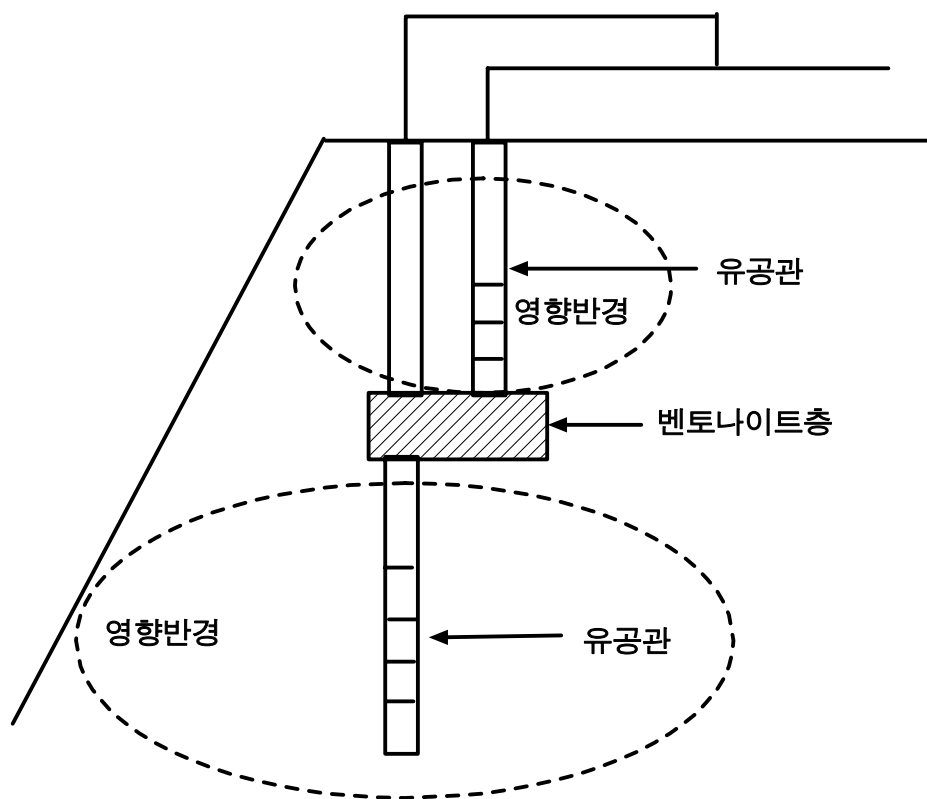
탈취제의 종류는 작용효능에 따라 감각적 탈취법, 화학적 탈취법, 생물학적 탈취법 등으로 분류할 수 있다. 감각적 탈취법은 향료를 써서 악취를 은폐하는 방법이고, 화학적 탈취법은 화학반응을 이용해 악취를 중화시키는 방법이고, 생물학적 탈취법은 유기물을 부패시키는 세균을 죽여 부패를 방지함으로써 악취 발생을 억제하는 방법이다. 그러나 감각적 탈취법은 개개인의 후각 차이에 따라 또다른 악취로 인식할 수 있고, 화학적 탈취법은 중화, 부가, 축합, 산화 등 여러 가지 화학반응이 적용되나 각종 다양한 악취성분에 효과적으로 반응하는 물질의 선정이 곤란하며, 생물학적 탈취법은 단시간내에 악취를 저감시키는 방법으로는 부적당할 것으로 사료된다.

1996년 난지도 매립지 안정화 공사 실시설계에서 이미 D, Y, E회사의 제품을 대상으로 탈취 효율을 조사한 바 있기 때문에 탈취제 선정시에는 본 실험결과를 활용하는 것이 바람직하다. 또한 현재 수도권매립지에서도 탈취제를 사용하고 있으므로 실제 탈취 효과 등도 참고해야 할 것으로 사료된다. 단, 탈취제 선정시 주의할 점은 인체와 환경에 무해한 천연 성분을 선정해야 한다. 왜냐하면, 월드컵 개최시 많은 국내·외 관광객이 난지도 지역을 방문할 것으로 예상되므로 화학성분이 포함된 제품을 사용할 경우 인체 위해성 문제가 제기될 우려가 있기 때문이다.

탈취제의 분사 방식은 고공분사기에 의한 분사법과 고압탈취 차량을 이용한 분사법이 검토될 수 있다. 고공분사기에 의한 분사법은 고정시설이므로 악취문제가 발생시 신속하고, 지속적으로 사용할 수 있는 장점이 있으나 초기 공사비만 약 6억 정도가 소요될 것으로 예상되어 경제성에 문제가 있는 것으로 조사되었다. 반면 고압탈취 차량을 이용한 분사법은 공사비 및 유지관리 비용이 비교적 저렴하고, 작업의 효율성이 좋으나 차량이 이동 중에 분사하기 때문에 시민의 눈에 띄기 쉬어 불신감과 혐오감을 줄 우려가 있다. 난지도 매립지의 경우는 이미 안정화가 상당히 진행되어 악취도가 비교적 낮고, 향후에도 지속적으로 악취도가 저감될 것으로 예상되기 때문에 고정시설인 고압탈취 분사법은 바람직하지 않다. 따라서 악취 문제가 발생했을 경우 신속하고, 작업 효율이 좋은 고압탈취 차량을 이용한 분사법이 바람직할 것으로 판단된다.

(2) 가스추출공 추가 설치 방안

만일 2001년 상반기내에 가스처리 시설의 공사가 완공된 이후에 악취도가 현재 수준 또는 그 이상으로 높거나 매립가스 추출량이 예상을 초과할 경우에는 장기적인 대책으로서 추가의 가스추출공 설치를 신중히 재검토할 필요가 있다. 이 경우 매립가스의 이동경로는 매립지 상부인 차단층(HDPE Sheet)에서 상부 외곽쪽으로 이동하여 사면을 통해 일부 누출될 것으로 추정되므로 추가추출공의 설치는 주로 상부 외곽을 따라 <그림 4-8>과 같은 이중 추출공 형식으로 시공하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.



<그림 4-8> 이중 추출공 형식 개략도

그러나 현시점에서 가장 선행되어야 할 사항은 매립지 안정화 사업의 조속한 공사 종료이다. 2002년 6월 월드컵 개최를 1년 5개월 정도 앞둔 현시점에서 현재의 공사 진행 상황은 당초 계획과는 달리 다소 차질이 발생되고 있다. 특히 2001년 11월에는 FIFA 집행위에서 월드컵 진행상황에 대한 실사가 있을 예정이므로 서울시 및 시공 책임사는 공사를 조기에 완료하는데 최우선적으로 역점을 두어야 할 것으로 사료된다.

3. 음식물 퇴비화 시설

음식물 퇴비화 시설은 현재 별도의 탈취 시설이 없기 때문에 매우 고농도의 악취가스를 발생시키고 있는 실정이다. 다만 본 대상지가 월드컵 경기장이 있는 상암지구와는 5km 이상 떨어져 있고, 난지도 방향으로 대덕산(해발 125m) 등 작은 구릉들이 위치하고 있기 때문에 악취의 직접적인 영향은 없을 것으로 판단되었지만 본 시설이 강변북로에 인접해 있기 때문에 풍향조건(북풍)에 따라서는 운전자에게 심각한 영향을 줄 가능성이 있는 것으로 판단된다. 따라서 적절한 탈취 대책 마련이 반드시 필요한 시설이다.

본 대상시설에 대해 적용가능한 탈취 대책으로는 수세법 또는 탈취제 살포, 난지하수처리사업소내 포기조를 활용한 탈취법, 기존 시설을 활용한 토양탈취법 등이 검토되었다. 본 연구원에서는 기존 시설인 토양탈취 시설을 복구한 탈취방안이 가장 현실적이고, 경제적인 방안으로 판단하고 있다. 다행히 현재 본 시설의 관리를 맡고 있는 서대문구청에서도 자체적으로 현재 가동이 중지되어 있는 토양탈취 시설을 복구하여 활용할 예정인 것으로 조사되었다. 서대문구청에서는 이를 위해 약 9000 만원의 예산을 확보하여 2001년도에 종합적으로 시설정비를 할 계획이다. 또한 이와 함께 악취의 누출을 방지하기 위해 출입구에 에어커튼(Air Curtain)을 동시에 설치할 계획인 것으로 조사되었다.

토양탈취법을 활용하는 경우는 우선 기존 시설을 보수하는 것이기 때문에 경제적으로 예산 절감이 될 뿐만 아니라 저렴한 운전비 및 고농도의 악취 처리가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 음식물 퇴비화 시설에 대한 악취 관리는 현재 계획중인 토양탈취법에 의한 처리가 가장 바람직한 방안으로 평가된다. 다만 토양탈취법은 처리풍량의 제약과 토양공극의 폐쇄 가능성, 강우시 단락류의 발생 가능성과 같은 단점도 있으므로 향후 처리설비를 보수한 후에도 지속적인 유지관리가 필요하다.

이에 본 연구에서는 기존 토양탈취상의 보수시 검토·유의해야 할 사항과 향후 운전 사항을 중심으로 소개하고자 한다. 또한 만일 본 토양탈취 시설의 보수 후에도 2002년 월드컵 기간 중에 악취 문제가 발생할 경우 신속한 대처를 위한 단기 대책을 제시하고자 한다.

1) 기존 시설 보수시 검토해야 할 사항

(1) 적절한 토양의 선정

토양 탈취 시설 설계시 가장 중요한 사항은 탈취에 적합한 토양의 선정이다. 탈취에 적합한 토양은 부식질(Humic Substance)이 풍부하고, 통기성이 양호하며, 적당한 통수성과 보습성을 지닌 단립구조(團粒構造)이어야 한다. 특히 토양탈취상은 토양충전재 내에 서식하는 미생물을

이용하여 탈취하는 방법이므로 토양충전재의 특성은 탈취효과의 효율에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 처리비용 및 전력비의 증감을 결정하는 중요한 인자가 된다. <표 4-4>는 일반적으로 활용되고 있는 토양충전재 및 개량재를 나타낸 것이다.

<표 4-4> 일반적인 토양충전재 및 개량재 종류

토양 충전재	주요 특징
1. 화산회성 부식토 (黑土)	<ul style="list-style-type: none"> • 일본의 토양탈취상에서 대부분 사용되고 있는 단립 구조의 흑토 • 유기물 함량이 높고, 통기성, 보수성, 투수성이 좋으며, 점착성이 작음 • 습윤밀도 1.12g/cm³, 건조밀도 0.57g/cm³, pH 6.0 정도임.
2. 토탄 (Peat, 泥炭)	<ul style="list-style-type: none"> • 식물의 잔재가 저온의 수중에서 장기간 혐기성 상태로 진행된 것임 • 미생물 서식에 필요한 영양소가 풍부하고, 통기성 및 보수성 양호 • 독일과 일본에서 탈취재로 주로 사용 • pH 4~6.5, 수분 50%, 유기물함량 40%, 무기물함량 10%
3. 분뇨처리장 탈수 케익 (Composting)	<ul style="list-style-type: none"> • 자체적으로 탈취기능이 있음 • 미생물 토양개량제로 쓰이기도 하며, pH 7.7 정도임 • 운전조건이 맞지 않을 경우 냄새 발생
4. 제오라이트	<ul style="list-style-type: none"> • 무기성 다공질재로서 양이온 및 음이온 교환능력 우수 • 평균 150me/100g · d 정도의 취기 흡착제로서 비중은 2.32임.
5. Loam	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 토양탈취상의 토양충전재로 가장 많이 활용됨. • 일반 Soil보다 투수성과 통기성이 양호하고, 단립구조임 • 수분 10~20%, 유기물 함량 3~7%, 무기물 함량 75~85%, pH 6~7
6. 부엽토, 삼림표토 (Humus)	<ul style="list-style-type: none"> • 수분 25~35%, 유기물 20~35%, 무기물 35~55%, pH 3~4.5
7. 기타	<ul style="list-style-type: none"> • 닭똥(유기영양염 공급원), Lime(pH 조정), 모래(압밀방지 개량재), 톱밥 및 벧짚(미생물 탄소원 공급), 호기성 소화슬러지(미생물접종용, 유기영양염 공급, 종균제(미생물 접종원) 등이 토양개량제로 활용되고 있음.

한편 현재 음식물 퇴비화 시설내 토양탈취 시설은 오랜 기간 가동이 중지되어 왔고, 토양 미생물이 극히 적고, 토양의 공극이 폐쇄되어 있을 뿐만 아니라 많은 유해물질에 의해 오염되어 있을 것으로 예상된다. 따라서 보수시 기존 토양을 교체하는 방안을 검토할 필요가 있다. 일반적으로 토양탈취상에는 <표 4-4>에 나타낸 토양들이 주로 이용되고 있지만, 현재 난지하수 처리사업소에서 생산되고 있는 지렁이 분변토를 활용하는 것도 비교적 저렴한 비용으로 토양의 교체가 가능한 방안으로 사료된다.

(2) 수분

토양중의 수분의 함량은 악취물질의 흡착과 그 부수적인 반응들에 영향을 미친다. Bohn 등은 일산화질소(NO)에 대해 토양흡착 실험을 수행하여 토양과 유입가스 중에 수분이 포함되어 있는 경우 포함되어 있지 않은 경우보다 최고 10배까지 흡착이 잘 된다고 보고하였다. 그러나

토양이 수분을 너무 많이 포함하면 유체흐름에 저항을 주어 동력손실이 많아지고, 너무 적으면 토양상의 토양이 건조되어 갈라지며 이로 인해 미생물 활동이 감소되므로 흡착능력은 떨어진다고 한다. 토양상에 알맞은 수분함량은 Bohn의 연구결과에 의하면 사질토의 토양에 대해서는 약 10~20%의 수분 함량이 적당하고, 모래보다 미세한 입자를 갖는 양의 경우에는 이보다 약간 높아야 된다고 하며, Helmer는 퇴비상에서 수분함량이 30~40%가 적당하다고 보고하고 있다.

(3) 토양층 충전높이, 체류시간

토양탈취 시설의 설계 요인중 토양층의 충전높이와 단면유속(Superficial Velocity) 그리고 체류시간 등도 토양상의 악취제거 효율에 많은 영향을 미친다. 그러나 이를 연구하는 학자 또는 국가마다 그 설계 지침에 다소 차이가 있다. <표 4-5>는 각각 일본에서 토양탈취상의 일반적인 설계지침을 나타낸 것이고, <표 4-6>은 일본 및 기타 국가에 토양탈취상 운전조건과 연구사례를 나타낸 것이므로 기존 시설을 보수하고자 할 때 참고할 사항으로 정리한 것이다.

<표 4-5> 일본 토양탈취상의 일반적인 설계 지침

항 목	내 용
통과유속(LV)	5mm/sec 이하
접촉시간	80 초를 표준으로 함
압력손실	약 150 mmAq 이하
구조 토양상	40 cm
구조 지지상 모래	5~10cm
구조 지지상 표석	40~50cm
표면처리	잔디피복
스프링쿨러	1개/20 m ²

자료: 일본하수도사업단, 『기계설비표준사양서』 (“제15장 탈취설비”)

〈표 4-6〉 토양탈취상 운전조건 및 연구사례

항 목	운전 및 연구내용	출 처
토양상 통과속도	<ul style="list-style-type: none"> • 4~5mm/sec 이하 • 1.7mm/sec 이하의 통과속도 (설정시 속도 3.3mm/sec, 토양표면적/Blower 용량) • 1.83~16.7mm/sec(0.11~1.0m³/m²/min) – 유기성 악취: 체류시간 30초 정도 (33.3mm/sec: 깊이 1m 기준) – 무기성 악취: 체류시간 최소 1분 (최소 16.6mm/sec: 깊이 1m 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> • 요코하마시 • 나고야시 • EPA Manual • Helmer. R
토양상 정압	<ul style="list-style-type: none"> • 150mmAq(운전시 20~50mmAq) • 운전 2년 경과 후 100mmAq 이하 • 운전 3년 경과 후 100mmAq 이하 • 통상 150mmAq에서 경전을 시행함 	<ul style="list-style-type: none"> • 요코하마시 • 緑(미도리) STP 및 北部(호꾸부) 제1STP
토양상 깊이	<ul style="list-style-type: none"> • 50 cm • 1~3 m • 1~2 m • 2.5 m • 1.6 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 요코하마시 • EPA Manual • Pomeroy, R. D. • Swiss Geneva • 독일 Duisburg
토양 충전재의 성상	<ul style="list-style-type: none"> • Loam 상태의 퇴적토 60%와 처리장 탈수건조 슬러지 35% 톱밥 5%의 혼합토 • 부엽토 • 제거효율이 좋고, Breakthrough time이 긴 토양이 최적 	<ul style="list-style-type: none"> • 성남위생처리장
환경인자		
1) 온도	<ul style="list-style-type: none"> • 유입취기온도 20~30℃, 최고 40℃ 이하 • 외기온도가 -10℃ 이하의 경우 보온대책이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 福林 功
2) pH	<ul style="list-style-type: none"> • 6~7 정도 	
3) 수분	<ul style="list-style-type: none"> • 퇴비상: 20~40% • 사토질: 10~20% 	<ul style="list-style-type: none"> • Helmer, R. Bohn
4) 미생물순화도	<ul style="list-style-type: none"> • 2일 이상 	<ul style="list-style-type: none"> • 本多
5) 깊이에 따른 미생물 분포	<ul style="list-style-type: none"> • 일반 토양의 경우 0.3m 이하에서 집중적으로 서식 	
6) 알칼리도	<ul style="list-style-type: none"> • 무기성 악취물질은 토양의 알칼리도가 높을수록 흡착능력이 커짐 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohn, H. L. • Ganz, S.N.
악취물질		
– 유입농도	<ul style="list-style-type: none"> • 출구 취기농도 100 기준 – LV 5mm/sec: 25,000 이하 – LV 4mm/sec: 25,000~32,000 – LV 3mm/sec: 32,000~50,000 	<ul style="list-style-type: none"> • 요코하마시
– 유출농도	<ul style="list-style-type: none"> • 취기농도 100 이하 	<ul style="list-style-type: none"> • 요코하마시
Breakthrough Time	<ul style="list-style-type: none"> • Soil: 반 영구적, Compost: 2~3년 	

주: 1) 최근의 경향은 가스흐름에 대한 저항상승으로 인한 동력비 절감을 위해 40~60cm가 보편적으로 제안되고 있음(重田芳廣, Helmer, R., Dupont, G.)

2) 단면유속과 체류시간은 처리하고자 하는 악취의 강도에 따라 영향을 받게 됨.

3) 토양상 면적 $S(m^2) = \text{탈취풍량 } Q(m^3/min) / (\text{토양상 통기속도 } LV(mm/sec) \times 60 \times 1/1000)$

자료: 박상진 외 “포기조 및 토양탈취상을 이용한 하수처리장 악취제거”, 건기연보고서, 1993.

(4) 기타

무기성의 악취는 토양에 흡착되어 산화된 다음 토양층의 알칼리성과 반응하므로, 토양의 흡착능력은 토양층의 알칼리 함량과 대략 일치한다. 따라서 토양의 흡착능력과 흡착속도를 증가시키기 위해 석회나 알칼리성 물질을 첨가하여 사용하는 것도 바람직하다. 또한 토양에 알맞은 수분을 공급하기 위한 살수장치와 비와 눈으로 인한 기능의 저하를 막기 위해서 지분을 설치하는 방안도 검토할 필요가 있다.

2) 유지관리 사항

토양탈취상의 양호한 탈취효과를 지속적으로 유지하기 위해서는 항상 관리를 철저히 하고, 사전에 고장의 발생을 예방하는 것이 중요하다. 심한 경우와 평상시 관리부실 등이 장기간 계속되면 토양이 압밀되어 정압의 상승으로 압력손실이 높게 되어 토양의 채널링(Channeling) 현상을 일으켜 처리효율이 극히 저하되는 결과를 초래할 수 있다. <표 4-7>은 토양탈취법에서 일반적으로 발생할 수 있는 이상현상 및 대책을 나타낸 것이다.

<표 4-7> 토양탈취상의 이상현상 및 대책

이상 현상	원 인	대 책
1) 토양의 표면 - pinhole 현상 - 함몰 - 토양두께의 감소 - 흙먼지 발생	• 토양의 지나친 건조 • 강우의 국부침투 • 폭우에 의한 국부침투 • 강풍에 의한 비산 • 토양의 지나친 건조	• 경전(耕轉)후 살수 • 경전 • 토양의 교체 및 개량 • 살수 또는 방풍막 설치 • 토양의 보충 • 살수
2) 유입가스 - 정압의 이상 상승 - 정압의 이상 저하 - 온도의 이상 상승	• 토양의 압밀 • 유입가스중의 수분과다 • 토양층의 함몰 • Damper 파손에 의한 누출 • 송풍기의 성능저하 • 냉각장치의 성능저하	• 경전 또는 토양개량 • 제습장치 설치 • 토양의 교체 • Damper 점검 · 수선 • 송풍기 점검 · 수선 • 냉각장치 점검 · 수선

이외에 유지관리 인자로서 제초는 5회/년, 토양의 경전(耕轉)은 1회/3년, 살포수량은 2~3 L/m², 토양의 교체는 1회/7~8년 정도가 적정할 것으로 사료된다.

3) 비상시 대책

비록 가능성은 적을지라도 토양 탈취 시설을 보수후에도 주변지역에 영향을 줄만큼 악취가 발생한다면 2002년도 월드컵이 개최되는 기간에는 본 대상 시설을 한시적으로 폐쇄하고, 가양 하수처리장에서의 음식물 쓰레기 병합처리 등을 도모하는 것을 고려해야 한다. 현재 가양하수 처리장에서는 20kl/일의 시범사업을 실시하고 있으며, 향후 이 사업이 성공하면 서울시 4개 하수처리장에서 900kl/일의 음식물 쓰레기 하수병합 처리를 확대 실시할 예정이다.

4. 강변북로변 농경지

1) 악취도 원인

난지도 지역 강변북로변에는 경기도 고양시 관할의 농경지 약 7만 6천여평이 위치하고 있다. 본 농경지에서는 파, 배추, 열무 등의 채소가 경작되고 있는데 주로 봄철 퇴비로 사용되는 생(生)가축분뇨의 사용에 의해 강변북로를 지나는 운전자에게 심각한 악취 영향을 주고 있는 것으로 확인되었다. 특히 고양시 관할 농경지의 경우 2003년까지 하천 부지 점용이 이미 허가된 상태이므로 2002년도에도 파 등의 채소 경작이 불가피한 것으로 조사되었다. <사진 4-1>은 대상지내에 방치되어 있는 퇴비더미를 나타낸 것이고, <표 4-8>은 강변북로변 하천부지의 개별 허가면적 및 각 경작민의 주소 등을 나타낸 것이다.

한편 본 연구에서는 악취를 발생시키는 농경지 현장과 강변북로 도로상에서 악취도를 각각 측정했지만 모두 1도 이하로 경미하였다. 이는 악취도 측정 시점이 농경지에 뿌려진 생(生)가축 분(계분)의 부식이 상당히 진행된 시점이었기 때문으로 사료되었다. 그러나 주변 도로를 지나는 운전자들에 의하면 봄철, 특히 3~4월에 매우 심한 악취가 발생되고 있는 것으로 확인되고 있는 바 봄철 가축 생분뇨 사용만 억제시킨다면 악취문제가 발생하지 않을 것으로 사료된다.



<사진 4-1> 강변북로변 악취 유발 퇴비의 야적 상태

〈표 4-8〉 강변북로변 하천 점용 현황

연번	성명	전화	주소	점용위치			점용 면적	점용 용도	식재	점용 기간
1	장정빈	02) 372-8501	서울 은평 증산 203-33	덕양	현천	792-1	29,752	전(田)	대파	~ 2004.12.31
2	강숙희		경기 고양 행신 소만마을 부영아파트 101-503	덕양	현천	692-8	17,147	전(田)	대파	~ 2001.12.31
3	장상주	02) 306-7828	서울 은평 수색 324-7	덕양	현천	520, 689-5	14,133	전(田)	대파	~ 2003.12.31
4	김연수	031) 974-7440	경기 고양 행신 구제연립 나206	덕양	현천	520	19,835	전(田)	대파	~ 2003.12.31
5	서채규	02) 2295-0158	서울 성동 사근 212-1 극동아파트 202	덕양	현천	520	13,229	전(田)	대파	~ 2003.12.31
6	이용준	031) 971-4393	경기 고양 덕양 현천 356	덕양	덕은	519-80외 40필지	29,455	전(田)	대파	~ 2003.12.31
7	김용순		경기 고양 행주내 192-1	덕양	덕은	520-83외 18필지	29,553	전(田)	대파	~ 2003.12.31
8	이남호		경기 고양 덕양 현천 356	덕양	덕은	519-105 외 7필지	21,518	전(田)	대파	~ 2003.12.31
9	이인세		경기 김포 신곡 428-1	덕양	덕은	558 외 12필지	19,263	전(田)	대파	~ 2003.12.31
10	엄용국		경기 고양 덕양 행신 732-15	덕양	덕은	520	23,497	전(田)	대파	~ 2003.12.31
11	김정학		경기 덕양 토당 851-4 우창빌라 B동 101	덕양	덕은	520	12,666	전(田)	대파	~ 2003.12.31
12	박남주	02) 374-4227	서울 은평 수색 150-1	덕양	덕은	520	23,479	전(田)	대파	~ 2003.12.31
계							253,527			

자료: 경기도 고양시청 하수재난관리과 내부자료

2) 악취 관리 대책

(1) 가축분 사용 금지를 위한 홍보

강변 농경지에서 악취 문제의 원인이 전술한 바와 같이 가축분의 사용에 의한 것으로 확인되었기 때문에 적어도 2002년 3~6월까지의 반드시 가축분 사용을 전면 금지시켜야 한다. 가장 바람직한 방안은 농민의 자발적인 참여를 유도하는 것이 될 것이다. 특히 월드컵 개최의 중요성과 함께 가축의 생분뇨 사용이 농작물에 미치는 영향을 인식시킬 필요가 있다.

미숙 가축분의 과다 사용은 양분공급의 불균형을 초래하고, 염류의 과다집적에 의해 작물 생육에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. Sims(1988)와 Wolf(1988) 등이 보고한 연구

결과에 의하면 축분은 시비한 후 11일이 지나면 벌써 축분 내에 함유된 총 질소중 37%는 기화(volatilization)해 버린다고 하였다. 이러한 지식없이 축분을 논밭(또는 과수원, 농경지 등)에 계획 없이 뿌린다면 식물에서는 영양소 결핍증상이 나타날 수 있으며(Powers 등, 1975), 또한 지나치게 많은 양을 시비한다면 암모니아, 아질산염, 질산염, 수용성염 등에 의하여 작물은 중독증상을 보일 것이며, 생산량의 감소를 초래하게 될 것이다(Weil 등, 1979). 과량의 축분 시비는 질소뿐만 아니라, 토양중에 축적되는 인의 양도 심각한 문제로 대두되고 있다고 보고되어 있다. 이들의 연구결과에 의하면 토양중의 인축적은 식물생장에 필요한 영양소들 간의 불균형을 유발시켰으며 비소(As)와 구리(Cu)같은 중금속들도 축적되는 현상이 나타났다고 한다.

특히 미숙된 가축분뇨가 부식되면서 다량의 가스가 발생하는데 특히 외부와 차단된 시설하우스 토양에서는 암모니아나 아질산 및 메탄가스 등의 각종 유해가스가 발생되어 작물에 피해를 줄 수 있다. 미숙유기질 분해에 따른 과량의 유기산이 발생하면 작물의 뿌리도 피해를 입을 수 있고, 암모니아와 이산화탄소 등의 가스에 의해 토양이 산성화되기 쉽고, 산도에 따라 미생물의 토양분포가 현저하게 달라질 수도 있다. 이러한 미숙가축분의 과다 사용에 의한 피해 사례는 쉽게 찾아볼 수 있다. 그리고 미숙의 가축분이 발효되면서 발생하는 악취는 주변 지역에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 특히 대도시지역에서의 미숙 가축분 사용은 바람직하지 못한 것으로 사료된다.

따라서 가축분을 농업용 퇴비로 사용하기 위해서는 밧짚이나 톱밥 등과 혼합하여 부숙시킨 후 사용하는 것이 일반적이다.

(2) 방안 [1] : 금비 지급

서울시 및 관할 지자체인 고양시에서는 생(生)가축분 사용 금지를 위해 악취 발생이 없는 금비 지급을 고려할 수 있다. 지급시기는 2002년 3~6월에 1회에 한하여 지급하고, 특히 현재 가축 생분뇨(생계분 기준) 톤당 비용이 대략 2만원 정도인 것을 고려하여 금비 비용과의 차액을 지급하는 것이 바람직하다. 따라서 경작중인 농경지 면적과 일반적 시비량을 고려할 때 예상되는 총 퇴비량은 약 27~54톤 정도로 추정되고, 지원 금액으로는 약 340~680만원 정도로 예상된다.

- 소요 예상 퇴비량: 일반적 시비량×악취발생 총 경작지 면적

$$= 100\sim 200\text{kg}/300\text{평}(\text{완숙계분퇴비 기준}) \times \text{약 } 8\text{만평} = \text{약 } 27\sim 54\text{톤}$$
- 총 예상 비용: 소요 퇴비량×톤당 단가 = $27\sim 54\text{톤} \times \text{약 } 2,500\text{원}/20\text{ kg}$

$$= 340\sim 680\text{ 만원}$$

- 정부 지원 비용: 총 예상 비용 - 현재 생계분 구입비
 = 약 340~680 만원 - 약 54~110 만원
 ≒ 290~570 만원

(3) 방안 [II] : 완숙퇴비 제조

전술한 바와 같이 가축분을 농업용 비료로 사용하기 위해서는 부숙시킨 후 사용하는 것이 일반적이다. 완전히 부숙된 퇴비를 사용할 경우는 다량의 유기물질이 함유되어 있어 토양의 산성화를 방지하고, 토양의 흠알조직을 때알조직으로 바꾸어줘 연작 장애가 없으며, 식물 성장촉진물을 생성하게 된다. 즉, 토양의 이화학적 성질을 개선하여 호기성 미생물의 번식을 촉진하게 되어 토양에 활력과 영향을 주고, 병충해의 발생차단 및 저항성을 증가시킨다. 또한 뛰어난 보습성과 통기성에 의해 식물근균 형성을 촉진해 작물의 생육상태가 양호하고, 탄소동화 작용이 활발하게 된다. 예를 들어 엽채류의 경우는 잎의 보호막이 두터워 병충해의 염려가 없고, 과실류의 경우는 착화율이 좋기 때문에 수확량이 증대하고, 당도가 뛰어나며, 착색이 좋아져서 상품성을 증가시킬 수 있다.

다만 퇴비화 과정에서 악취 발생이 우려되는 단점이 있으므로 이를 최소화하는 방안이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

미숙 가축분의 퇴비화 방법은 우선 가축분에 수분조절제(톱밥 등)가 필요할 경우 미생물 제재를 골고루 혼합하여 퇴적한 후 거적을 덮고 비닐로 씌운다. 온도가 40도씨가 되면 비닐은 걷어주고 거적으로 보온을 잘해준 후 60도씨가 넘으면 뒤집기를 해준다. 퇴비를 속성으로 사용하려면 1회 뒤집기한 후 매일 뒤집기를 해주면 할수록 빨리 되고 4~5회 환적해주면 발효퇴비가 된다. 그러나 인력문제로 환적이 어려울 때는 처음 퇴적후 6일만에 한 번만 뒤집어 준 후 12일째에는 직경 10cm의 말뚝 2m짜리를 준비하여 퇴비더미위에 올라가 구멍을 뚫어 주되 60cm 간격으로 사방을 돌아가며 15개 정도의 구멍을 만들어 놓은 후 거적으로 덮어주고 10일만 지나면 하얀 곰팡이가 덮이면서 완숙퇴비가 된다. 퇴적시에 재료에 수분을 70%함유시켰기 때문에 뒤집기를 할 때는 중심부가 건조되어 있어도 추가로 수분을 공급해서는 안되며 빨리 수분을 증발시키는 것이 중요하다. 일단 만들어진 퇴비는 비에 젖지 않도록 비닐로 덮어두던가 해서 사용하면 된다.

퇴비화 기간은 월드컵 개최 전해인 2001년도에 고온이 유지되는 여름철에 만들어 두는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 다만, 2001년 11월에는 FIFA에서 월드컵 준비 상황에 대한 최종 실사가 실시될 예정이므로 그 이전에 퇴비화 과정이 완료되어야 할 것으로 사료된다.

(4) 방안 [IV] : 한강변 경작 금지

그러나 장기적으로는 한강변에서의 경작은 금지시켜야 할 것이다. 왜냐하면 퇴비에서 발생하는 악취문제뿐만 아니라 만일 홍수 등에 의해 농경지가 침수되면 토양중의 다량의 질소나 인 성분이 유출되어 한강의 영양염류 증가 원인이 될 수 있기 때문이다. 현재 고양시에서는 강변 북로변 농경지에 대해 2003년 이후에는 하천부지 점용허가를 내주지 않을 것으로 조사되었다.

5. 마포농수산물 시장

1) 악취원인

마포 농수산물 시장의 면적은 약 10,200평(건물면적: 4,895평)으로 총 225개 매장이 있는 시설로서 월드컵 경기장과는 불과 100m 이내의 위치에 입지해 있다. 본 연구에서 마포 농수산물 시장앞 주차장에서 악취도를 측정한 결과, 제3장의 측정결과에서 제시한 바와 같이 직접관능법에 의해 1~2도의 악취도를 나타냈지만 풍향에 따라 순간적으로 3도 이상의 매우 불쾌한 냄새를 유발시키고 있었다. 냄새의 종류는 주로 아민류로 추정되었으며, 악취의 주된 요인은 농수산물 센터에서 배출되는 생선 및 기타 쓰레기의 관리 소홀인 것으로 확인되었다.

2) 악취 관리 방안

마포 농수산물시장에 대한 처리방안은 현재 기존 시설의 이전·철거하는 방안과 시설의 환경정비 방안이 검토된 바 있다. 시설을 이전할 경우는 악취문제를 근본적으로 제거할 수 있고, 또한 철거 부지에 월드컵 경기장과 어울리는 새로운 편의시설이나 공원 등을 조성할 수 있어 미관상 효과적인 방안이다. 그러나 이전시 비용이 약 40억이 소요되고, 또한 기존 입점자들의 강력한 반발이 예상된다. 다행히 서울시에서는 본 시설의 기능을 유지시키면서 주변 경기장과 평화의 공원과 조화를 이루도록 건물을 환경적으로 정비할 계획인 것으로 조사되었다. 현재 마포개발공사에서 “정문아치”, “안내싸인”, “건물도색”, “조형물 설치”, “미관담장” 등에 대해 설계중이며, 밀레니엄공원 기본계획팀, 새서울타운기획위, 마포구 건축위 등에서 정비 자문단을 구성중인 것으로 조사되었다. 그리고 올해 말까지 정비내용과 범위를 결정하여 설계를 완료하고, 마포구에서 2001년도에 예산을 책정하여 공사를 시행할 예정이다.

그러나 본 시설에 대해 건물 환경정비를 실시하더라도 기존 농수산물 시장 기능은 그대로 유지되기 때문에 매일 악취 유발 쓰레기의 발생은 불가피하다. 특히 생선쓰레기의 경우 온도가 높은 월드컵 기간중에 조금만 방치해도 매우 불쾌한 냄새를 유발시킬 것이다. 따라서 마포개발공사 및 정비 자문단에서는 이점을 고려하여, 농수산물 쓰레기를 임시로 보관할 수 있는 건물을 설치할 수 있도록 설계시 반영해야 할 것으로 사료된다. 또한 임시보관소에 적절한 탈취대책을 마련하는 것이 바람직하며, 만일 여러 가지 여건상 탈취 시설을 설치하지 못할 경우에도 월드컵 기간중에는 배출되는 농수산물 쓰레기를 수시로 반출시켜 적치되는 일이 없도록 해야 할 것으로 사료된다.

6. 난지하수처리사업소

일반적인 하수처리장의 악취발생원은 침사지, 최초침전지, 포기조, 오니처리장 등이 있다. 각 발생지점에서 생성될 수 있는 악취물질을 간단히 나타내면 다음과 같다.

- ① 침사지 : 메틸메르캡탄, 황화메틸, 황화수소, 암모니아, 프로피온산, 초산, 트리메틸아민, 아세트알데히드, 프로피온알데히드, 벤젠, 톨루엔, 아세톤, 기타 성분 불분명 물질 다수 발생
- ② 최초침전지: 메틸메르캡탄, 황화메틸, 황화수소, 벤젠, 크실렌, 테트라클로로에틸렌, 이소펜탄, n-펜탄, n-헥산, 에틸벤젠, 트리클로로에틸렌, 옥탄, 기타 성분 불분명 물질 다수 발생
- ③ 포기조 : 메틸메르캡탄, 황화메틸, 황화수소, 암모니아, 트리메틸아민, 크실렌, 톨루엔, 벤젠, 트리클로로에탄, 에틸알콜, 기타 성분 불분명 물질 다수 발생
- ④ 오니처리장: 황화수소, 메틸메르캡탄, 황화메틸, 암모니아, 트리메틸아민, 프로피온산, n-헥산, 초산, 톨루엔, 크실렌, n-펜탄, 1, 3-디메틸시클로펜탄, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠, O-에틸톨루엔, 아세톤, 기타 성분 불분명 물질 발생

본 연구에서 난지하수처리사업소 전반에 걸친 측정 및 현장조사를 실시한 결과, 전반적으로 악취도가 낮은 것으로 조사되었다. 다만, 최종침전지 부근 부지경계상에서 직접관능법으로 악취도 1~2도의 악취도를 나타냈지만 주풍(主風)이 남서풍이고, 난지도 방향으로 대덕산(해발 125m) 등 작은 구릉들이 위치하고 있기 때문에 월드컵 경기장이나 인접한 강변북로까지는 영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다. 따라서 2002년 월드컵 기간중에도 현재와 같은 운영상태를 유지한다면 난지하수처리장에서 월드컵 경기장에 미치는 영향은 없을 것으로 최종 평가되었다. 다만, 풍향 조건에 따라 강변북로를 지나는 운전자에게 악취 영향을 미칠 가능성은 배제할 수 없기 때문에 장기적인 방안으로 현재 노출되어 있는 하수처리시설중에서 최초침전지와 같은 구조물은 상부복개한 후 적절한 탈취설비를 도입하는 것이 바람직하다.

현재 난지하수처리사업소에서는 정화조 오니케익 감량화와 재활용을 목적으로 지렁이를 활용한 분변토를 생산하는 사업을 추진하고 있다. <사진 4-2>는 정화조오니 처리를 위한 지렁이 분변토 생산과정을 나타낸 것으로서 정화조오니케익내 가스 방출을 위한 야적과정(과정3 참조)과 지렁이 사육장의 투입시(과정4 참조) 악취 발생이 예상된다. 그러나 일단 지렁이 사육장에 탈수오니케익을 투입하면 지렁이가 악취의 원인이 되는 성분을 섭취하기 때문에 냄새가 발생되지 않는 것으로 확인되었다.

따라서 2002년 월드컵 개최 전·후 기간에는 냄새를 유발시키는 과정(과정3, 과정4)을 가급적 중지하거나 시기를 조정해야 할 것이며, 불가피할 경우는 별도의 탈취 대책을 마련해야 할 것으로 사료된다.



〈과정 1〉



〈과정 2〉



〈과정 4〉



〈과정 3〉



〈과정 5〉

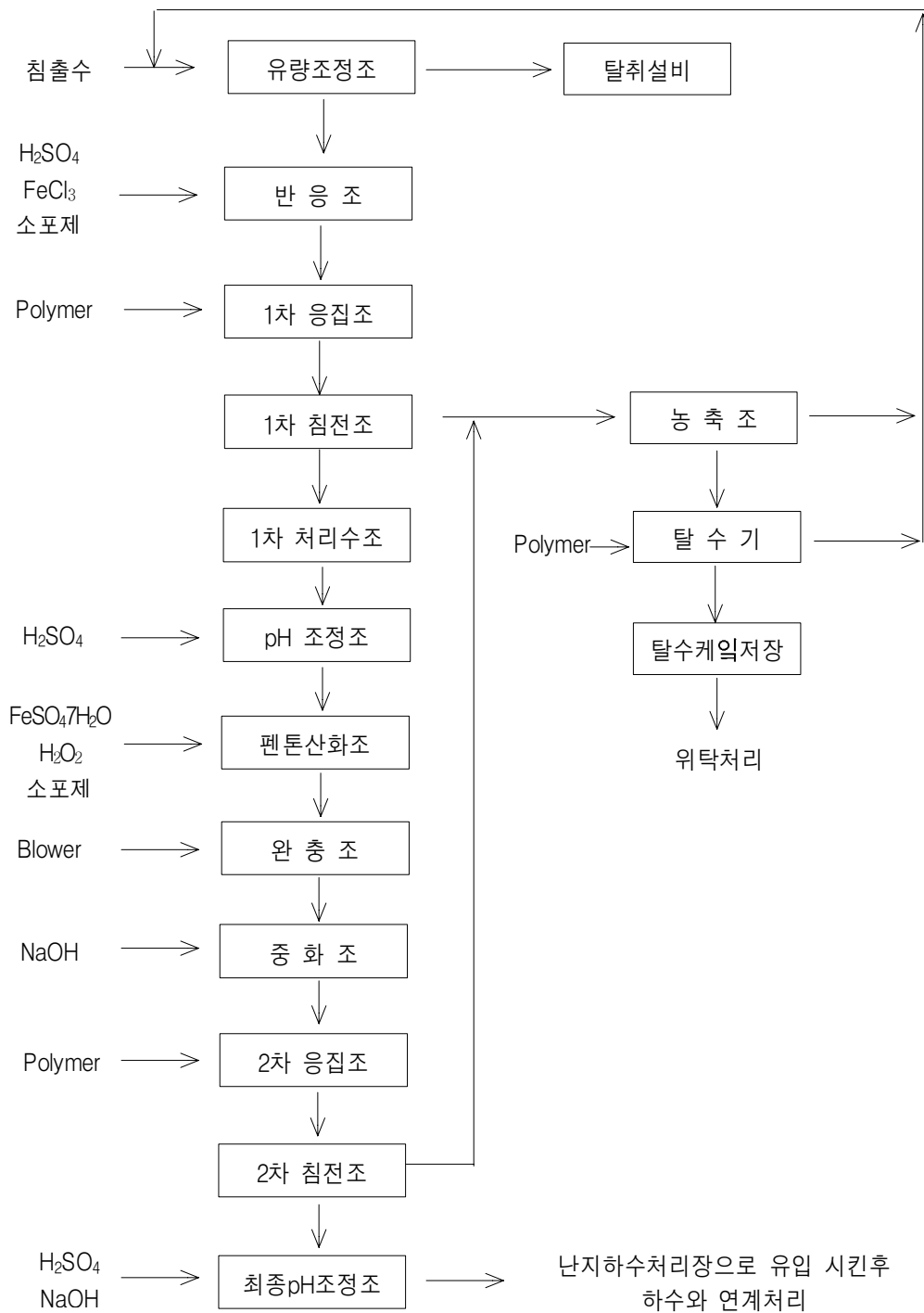
〈사진 4-2〉 지렁이 분변토 생산과정

7. 침출수 처리장

난지도 매립지 안정화 공사 실시설계에서 본 매립지의 침출수 발생량($1,860\text{m}^3/\text{일}$)과 수질 특성 등을 고려하여 난지도 매립지내에 침출수 처리장을 설치하여 난분해성 물질들을 최대한 경제적으로 제거한 후 난지하수처리장에 합병처리하는 것으로 계획하였고, 현재 침출수 처리장 공사가 한창 진행중이다. 처리공정은 우선 침출원수에 대해 FeCl_3 에 의한 응집침전을 거쳐 펜톤 산화방식을 적용하는 방식이고, 자세한 처리공정 및 설계기준은 <그림 4-9> 및 <표 4-9>에 각각 나타낸 바와 같다.

일반적으로 고농도의 침출수를 처리하는 공정에서는 각 공정별로 다량의 악취 물질이 발생하게 된다. 난지도 매립지에 도입되는 침출수 공정에서 악취가 예상되는 공정으로는 유량조정조와 농축조 및 탈수기 등이 있지만 현재는 유량조정조만 상부 복개 후 탈취시설을 도입하는 것으로 설계되었다. 따라서 유입수질에 따라서는 농축조 등의 공정에서 악취가 발생할 가능성도 배제할 수 없다. 또한 일반적으로 침출수 처리시설은 일반 시민에게 혐오시설로 인식되고 있을 뿐만 아니라 난지도 지역의 새서울타운 개발계획과 이에 따른 국내·외 방문객의 증가 등을 고려할 때 악취가 조금이라도 예상되는 공정은 악취도 결과와 관계없이 외부와 차단할 필요가 있다. 예를 들어 수도권 매립지의 경우는 유량조정조, 포기조, 농축조, 탈수기 등 악취의 유발 가능성이 있는 공정들에 대해서는 모두 FRP로 상부를 복개하여 탈취시설을 도입하였고, 특히 저류조의 경우는 고공 탈취 분사기에 의해 주기적으로 탈취제를 살포하고 있는 것으로 조사되었다.

다만, 난지도 매립지의 경우 침출수 원수의 농도가 비교적 낮기 때문에 유량조정조를 제외한 공정에서는 수도권매립지 만큼 악취도가 높지 않을 것으로 예상된다. 따라서 상부 복개한 농축조 등에 대한 탈취 설비 마련은 향후 침출수 처리시설이 완공된 후 시운전 과정에서 악취도 측정을 실시하여 악취도가 심각할 경우에 적절한 탈취시설 마련을 검토하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.



〈그림 4-9〉 침출수 처리공정도

〈표 4-9〉 침출수 처리 공정 주요 시설물 개요

시설구분		규격	지수	설계 기준 항목	설계 기준치
유량조정조		27m×8.75m×5m (L×W×H)	2	유입수량 체류시간 조형태 지수	1,860m ³ /d 24hr 장방형 2조
응집침전조	반응조	3.3m×2.6m×4.1m (L×W×H)	1	체류시간 교반속도 지수	20분 180rpm 1조
	1차 응집조	4m×3.3m×3.6m (L×W×H)	1	체류시간 교반속도 지수	30분 60rpm 1조
1차 침전조		12m×3.0m (Ø×H)	1	체류시간 수면적부하 조형태 지수	3시간 18m ³ /m ² ·d 원형 1조
1차 처리수조		5.2m×3.3m×3.6m (L×W×H)	1		
펜톤 반응조	pH 조정조	3.2m×2.6m×3.6m (L×W×H)	1	체류시간 교반속도	20분 180rpm
	펜톤 산화조	3.8m×3.6m×3.6m (L×W×H)	4	체류시간 교반속도 조형태 지수	2시간 180rpm 장방형 4조
	완충조	7.5m×4.0m×3.1m (L×W×H)	2		
	중화조	3.3m×3.3m×2.9m (L×W×H)	1	체류시간 교반속도	20분 180rpm
	2차 응집조	5.2m×3.3m×2.9m (L×W×H)	1	체류시간 교반속도	30분 60rpm
2차 침전조		12m×3.0m (Ø×H)	1	체류시간 수면적부하 조형태	3시간 18m ³ /m ² ·d 원형
최종pH 조정조		2.6m×2.5m×2.5m (L×W×H)	1	체류시간 교반속도	10분 180rpm
슬러지 농축조		11m×3.0m (Ø×H)	1	체류시간 고형물 부하 조형태	1일 40kg/m ² ·d 원형

제 2 절 악취 모니터링 계획

가스처리 설비의 완공직후에는 난지도 지역의 대기질에 대한 전반적인 측정조사가 요구된다. 특히 악취도 측정은 난지도 매립지뿐만 아니라 주변 발생원에 대해서도 집중적인 측정이 반드시 필요하다. 측정지점은 난지도 매립지 현장뿐만 아니라 월드컵 경기장을 중심으로 풍하측 지점까지 다수의 지점을 측정할 필요가 있다. 특히 악취는 기상조건, 즉 풍향, 풍속, 기압, 습도 등에 따라 많은 영향을 받으므로 반드시 기상조건을 고려한 측정이 수행되어야 한다. 또한 이러한 측정은 2002년 월드컵 경기가 열리는 기간까지 지속적인 측정이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

측정 시기는 매월 1회 실시를 원칙으로 하고, 2001년 5월과 6월에는 가스추출 설비의 공사가 완료될 예정이므로 주1회씩 집중적인 측정이 필요하며, 또한 이중 1회는 GC/MASS에 의한 분석을 수행하는 것을 고려해야 한다.

측정 수행기관은 현재까지 난지도 주변 지역을 대상으로 주기적인 측정을 수행하고 있는 서울시보건환경연구원에서 수행하는 것이 바람직하다. 다만 현재 서울시보건환경연구원은 측정인력의 부족 등과 같은 많은 어려움이 있으므로 향후 서울시에서는 추가의 공공근로 인력 투입 등의 지원이 필요할 것으로 사료된다. 이때 지원할 공공근로 인력의 요건을 강화할 필요가 있다. 즉, 악취 등 환경측정에 대한 기본적 지식을 갖춘 환경 및 화학 관련학과 출신이 요구되고 있으며, 전문대졸 이상의 인력을 인턴제 채용 형식으로 활용하는 것이 바람직하다. 왜냐하면 악취의 측정은 그 측정·분석 과정이 까다롭기 때문에 전문 기술을 요하며 또한 많은 지점을 이동하면서 수행해야 하기 때문에 많은 체력이 소모되기 때문이다.

제 3 절 난지도 매립지 안정화 사업의 지속적 관리

난지도 매립지 안정화 사업에서 매립가스의 적절한 처리 및 악취 문제의 근본적 해결은 2002년 월드컵 개최를 앞두고 가장 중요한 해결과제중 하나이다. 현재 서울시와 함께 시공사인 D건설이 매립지 조기 안정화를 위해 최선을 다하고 있다. 다만, 얼마전 D건설사의 부도로 공사 진행에 막대한 차질이 빚어지고 있는 것은 사실이다. 따라서 현 상황에서 서울시에서는 향후 발생할 수 있는 모든 상황을 사전에 예측하고, 각각의 시나리오별로 그 대책을 미리 준비해야 할 것으로 사료된다.

우선 현재 가장 큰 문제가 되는 것 중 하나는 향후 공사진척도에 따라 발생할 수 있는 여

러 가지 제도적·기술적 문제 등에 대해 종합적으로 검토하고, 대처할 수 있는 전문 인력이 부족하다는 것이다. 물론 서울시 폐기물시설과와 건설안전관리본부에서 본 공사를 담당하고 있고, 실시설계에서 예측한 바와 같이 순조롭게 공사가 진행된다면 다행이지만 만약 향후에 당초 예상과 여러 가지 기술적 문제가 발생한다면 이를 신속히 대처할 수 있는 전문인력이 부족한 것은 부인할 수 없다. 특히 시공사인 D건설사의 부도로 인하여 그동안 공사에서 실무를 담당해온 기술자들이 상당수 이직을 하였거나 고려중인 상황이기 때문에 앞으로 잔여 공사 진척에 상당한 어려움이 따를 것으로 사료된다.

더욱이 2001년 상반기까지 현재 공사가 중단된 가스포집 설비가 완공된다고 가정하면 시운전 과정을 거치게 되며, 이 과정에서 그동안 기술적 한계로 해결되지 못했던 많은 현안 문제들의 신속한 검토와 검증이 필요하고, 경우에 따라서는 설계변경도 고려해야 할 것이다. 본 시운전 과정을 통해 우선적으로 검토해야할 주요 항목을 나타내면 다음과 같다.

-
- ① 매립가스 발생량 조사
 - ② 침출수 수위 조사
 - ③ 환경대기질 측정
 - ④ 기타(『매립지 안정화 평가 및 모니터링 방안』 세부연구보고서에 자세히 제시되었음)
-

따라서 상기한 사항을 종합적으로 검토하고 문제가 발생시 신속한 대책을 수립할 수 있는 전문가 집단이 필요하며, 2000년 기본과제로 난지도 매립지 안정화 공사 과정에 참여한 서울시 정개발연구원에서 그 역할을 담당하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다. 다만, 본 연구를 위해서는 과제 특성상 수탁과제로 수행하는 것이 바람직하며, 측정 부분은 서울시보건환경연구원에서 주로 실시하고, 또한 실시설계 당시 참여했던 많은 연구팀과 연계하여 연구를 추진한다면 매립지 안정화 공사를 조기에 완공할 수 있을 뿐만 아니라 상암 새천년 신도시 기본계획 수립에 많은 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

第 V 章 결론

제 1 절 요약

제 2 절 정책건의

제 V 장 결론

제 1 절 요약

난지도 매립지에는 1978년 이후 15년간 서울시에서 발생된 약 92,000천 m^3 의 폐기물이 위생 기반시설 및 오염방지시설 없이 매립됨으로서 매립이 완료된 지 약 8년이 지난 현재까지도 침출수 및 매립가스 발생에 의한 환경오염뿐만 아니라 침하로 인한 오염과 사면의 불안정 등의 문제가 지속되고 있는 실정이다. 이에 서울시에서는 그동안 버려진 땅의 이미지를 가졌던 난지도 일대를 친환경적인 공간으로 조성하기 위해 난지도 매립지에서 발생하는 심각한 환경오염을 제거하고, 매립지를 가급적 조기 안정화시킴으로서 지역민원의 해소와 환경을 개선하며, 장기적으로는 토지의 효율적 이용을 도모하고자 노력하였다. 특히 2002년 서울월드컵경기장을 유치시킴으로써 난지도 매립지를 자연생태 및 휴식공간으로 조성함과 동시에 상암동 일대를 생태환경과 디지털미디어 산업이 어우러진 미래형 신도시 개발 계획을 수립하였다. 그동안 난지도 매립지 안정화 사업은 1993년 기본설계용역, 1996년 실시설계용역을 마치고, 1996년 12월 본격적인 공사를 착공하게 되었다.

현재 난지도 매립지 안정화 공사 과정에서 가장 중요한 부분중 하나는 악취 문제이다. 일반적으로 매립지에서 발생하는 악취는 매립지 주변의 주민들에게 가장 심각한 영향을 주는 요소이며, 다른 심미적인 요소들과 마찬가지로 가장 관리하기 어려운 문제중의 하나이다. 특히 2002년 월드컵 개최를 1년여 남짓 남겨둔 상황에서 축구 선수 및 국·내외 일반 관중 등에게 쾌적하고, 맑은 공기를 제공하기 위해서는 악취 문제는 반드시 해결되어야 할 과제이다.

이에 본 연구는 난지도 매립지를 포함한 주변 지역에서 발생하는 악취물질의 종류와 특성, 발생원인 등을 측정·조사하여 각 발생원별로 악취 저감대책을 제시하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 난지도 지역 악취도 측정결과

본 연구에서는 난지도 매립지를 포함한 주변지역의 모든 악취 발생원에서 2000년 5월부터 11월까지 측정을 수행하였다. 주요 측정지점으로는 난지도 제 1, 2 매립지 상부 및 사면과 부지경계선, 월드컵 경기장 앞, 마포농수산물 시장, 난지하수중계펌프장 시설내부 및 부지경계, 난지하수처리사업소 부지경계, 음식물 퇴비화 시설, 강변북로변 농경지 및 도로변 등이며, 측정 방법은 대기환경공정시험법에서 제시하고 있는 악취도 방법인 관능법(직접관능법, 공기희석관능법)과 기기분석법(인도페놀법 및 GC분석법)으로 수행하였다.

측정결과를 살펴보면 매립지 상부의 악취는 직접관능법의 경우 2~3도, 냄새감지한계 희석배수는 100~6,700이었고, 공기의 풍향과 풍속에 따라 악취도의 심한 차이를 보였다. 사면의 경우는 악취도가 1도 이하를 나타냈는데 이는 많은 초목들에 의한 마스킹(masking)효과 때문인 것으로 평가되었다. 또한 현재 난지도 매립지의 가스추출공에서 배출되는 가스량은 약 4,600~10,000 m³/h으로 추정되었고, 매립가스 악취를 느끼지 못할 정도로 만들기 위해서는 $9.7 \times 10^8 \sim 2.1 \times 10^9$ m³/h의 신선한 공기가 필요한 것으로 평가되었다.

월드컵 경기장의 악취강도는 1~3도 이었고, 냄새감지한계 희석배수는 3~450 범위였으며, 풍향과 풍속 등의 기상조건에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 현재의 악취 강도 및 전문가 의견 등을 종합해볼 때 향후 매립지의 매립가스 포집설비가 완료되고, 주변 악취 발생원 정비가 이루어질 경우 경기장의 악취강도는 현저하게 저감될 것으로 평가되었다.

농수산물 센터의 악취강도는 1~2도 이었고, 냄새감지한계 희석배수는 3~150 범위이었으며, 농수산물 센터에서 배출되는 농수산물 쓰레기의 관리 소홀이 냄새의 주요 원인인 것으로 조사되었다.

난지 하수 중계펌프장의 내부와 주변의 악취 강도는 2~3도를 유지하였고, 냄새감지한계 희석배수는 670~2100 범위로 매우 심하였다.

난지 하수처리장의 악취강도는 평균적으로 약 1~2도의 악취강도를 유지하였고, 음식물 퇴비화 시설의 악취강도는 3~4로 매우 높았다.

한편 본 연구에서 기기분석법을 이용하여 악취성분의 농도를 분석한 결과, 대부분의 시료에서 악취성분의 농도가 측정되지 않았다. 그러나 향후 고가의 시료 농축 장치를 이용한 고도의 분석기술에 의해 보다 정확하게 악취성분과 농도를 재조사할 필요성이 있다

2. 연구의 한계

본 연구에서는 대기확산 모델에 의한 악취 피해거리 추정은 대기확산 모델의 부정확성과 연구비 제한 및 자문위원의 지적 등을 고려하여 본 연구의 범위에서 제외시켰다. 다만, 악취 피해도 예측은 난지도 지역의 기상조건, 악취 발생원과의 거리 및 지형·지물, 악취 발생 정도, 기타 관련전문가 자문 등에 의한 방법으로 수행하였다.

난지도 지역 악취 발생원에서 배출되는 악취 물질들은 매우 미량이기 때문에 일반적으로 사용되는 기기분석법(가스크로마토그래피법)에서는 검출이 용이하지 않았다. 다만, 저온농축법에 의한 기기분석에서는 일부 악취 물질의 검출이 가능하나, 분석장비 및 분석료가 매우 고가이고, 고도의 분석 기술이 요구되는 방법이다. 또한 악취는 단일 물질로는 영향이 없을 지라도 여러 물질이 혼합되었을 때 상승·부가 작용에 의해 문제를 일으키는 특성 때문에 일반적으로 복합

악취도로 평가하게 된다. 이에 본 연구에서는 고가의 분석비용 및 전술한 악취의 특성 등을 고려하여 저온농축법을 채택하지 않고, on-line 방식으로 시료 가스를 직접 GC에 도입하는 방식을 채택하였다.

제 2 절 정책건의

1. 악취 발생원별 저감 대책

1) 난지하수중계펌프장

난지하수중계펌프장 시설의 상부 복개 방식은 경제성 및 구조물 안정성등을 고려할 경우 FRP에 의한 복개가 효과적인 것으로 조사되었다. 또한 공사비용은 약 20억 정도가 소요될 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 바이오필터법, 활성탄 흡착법, 약액세정법, 지렁이 분변토를 이용한 탈취법의 4가지를 선정하여 각 탈취 공정별 성능평가 및 경제성 분석 연구를 통하여 효율적인 탈취방식을 제시하기 위해서 실험을 수행하였다. 그 결과, 바이오필터법이 기타 탈취법에 비해 성능이 뛰어나고, 경제성이 우수한 것으로 조사되었다. 초기 설비 투자 비용은 약 4~5억이 소요될 것으로 예상되며, 2002년 월드컵 경기 개최전까지는 복개 및 탈취시설이 완료될 수 있어야 한다.

그러나 중계펌프장 복개 공사가 불가피하게 연기되거나 불가능할 경우는 2002년 월드컵 기간 중에 기존 침사지에 탈취제를 살포하고, 혐잡물 제거 호퍼는 매일 외부로 반출시켜야 할 것으로 사료된다.

2) 난지도 매립지(상부 및 사면) 악취 대책

(1) 악취도 평가 및 향후 예측

본 연구에서는 지난 1년 간에 걸쳐 조사한 악취도 측정결과를 포함해 본 연구원에서 개최한 수차례의 자문회의에 참석한 국내·외 악취 관련 전문가의 평가, 난지도 매립지 안정화 공사 관계자 및 현장직원의 의견, 실시설계 당시 수행된 설문조사 자료 등을 종합적으로 고려하여 현재의 악취도 수준과 향후 예측되는 악취도를 추정하였다.

결론적으로 현재 난지도 지역의 악취도는 대기환경기준치를 초과하지 않는 경미한 수준이며, 간헐적인 악취 농도 증가도 매립지 상부의 가스처리 시설에서 배출되는 매립가스 및 주변

악취 발생원에서 발생하는 악취가 혼재된 일시적인 현상으로 평가되었다. 따라서 향후 매립가스 처리 시설이 완공되어 매립가스가 당초 계획대로 적절히 처리된다면 매립지 가스에 의한 악취도 영향은 극히 경미할 것으로 평가되었다.

(2) 악취 저감 추진 전략

난지도 지역에 간헐적으로 발생하는 악취도 증가는 매립지에서 발생하는 악취뿐만 아니라 기타 주변 악취 발생원에서 배출되는 악취 물질들이 복합적인 원인이 되어 발생하는 것으로 추정되므로 주변 악취 발생원인 마포농수산물시장과 난지하수중계펌프장에서의 탈취 대책이 우선적으로 마련되어야 할 것으로 사료된다.

가스처리 시설의 시운전 과정에서 향후 공사의 방향 설정에 중요한 영향을 미치는 사항들의 점검과 보완이 필요하기 때문에 2001년 상반기까지는 가스처리 시설이 반드시 완공되어야 향후 공사 진행에 차질이 없을 것으로 사료된다.

(3) 비상시 대책

난지도 매립지 안정화 공사 특히 가스처리 시설의 완공 이후에도 악취가 지속적으로 발생할 경우에는 탈취제의 사용을 신중히 검토해 볼 필요가 있다. 적절한 탈취제 선정은 D, Y, E회사의 제품을 대상으로 탈취 효율을 조사한 실시설계 실험결과를 활용하는 것이 바람직하다. 한편 탈취제 분사 방식은 신속한 대처 및 상대적으로 가격이 저렴한 고압탈취 차량을 이용한 이동식 분사법이 바람직할 것으로 사료된다.

만일 2001년 상반기내에 가스처리 시설의 공사가 완공된 이후에도 난지도 지역의 악취도가 현재 수준 또는 그 이상으로 지속될 경우는 장기적 대책으로서 가스추출공의 추가설치를 신중히 재검토할 필요가 있다.

3) 음식물 퇴비화 시설

음식물 퇴비화 시설의 탈취 시설은 기존에 설치되어 있는 토양 탈취상을 보수하여 사용하는 방안이 가장 현실적이고, 경제적인 방안으로 판단된다.

현재 음식물 퇴비화 시설내 토양탈취 시설은 오랜 기간 가동이 중지되어 왔고, 토양 미생물의 양도 극히 부족한 것으로 조사되어 기존의 토양이 폐쇄되어 있거나 많은 유해물질에 의해 오염되어 있을 것으로 추정된다. 따라서 보수시 기존 토양을 교체하는 방안도 검토할 필요가 있다. 또한 토양중 수분의 함량과 토양층 충전높이 및 체류시간과 기타 검토 사항을 기 문헌에

근거하여 본 보고서에 제시하였다.

토양탈취상의 양호한 탈취효과를 지속적으로 유지하기 위해서는 항상 관리를 철저히 하고, 사전에 고장의 발생을 예방하는 것이 중요하므로 향후 유지관리 사항에 대해 본 보고서에 요약하여 정리하였다.

만일 토양 탈취 시설을 보수 후에도 주변지역에 영향을 줄만큼 악취가 발생한다면 2002년도 월드컵이 개최되는 기간에는 본 대상 시설을 한시적으로 폐쇄하고, 현재 음식물 쓰레기 하수병합처리 시범사업을 수행하고 있는 가양하수처리장에서의 성공이 확인된 후에는 음식물 쓰레기 하수 병합처리를 도모하는 것을 고려해야 한다.

4) 강변북로변 농경지 악취 대책

강변 농경지에서 악취 문제의 원인이 가축분의 사용에 의한 것으로 확인되었기 때문에 적어도 2002년 3~6월까지의 반드시 가축분 사용을 전면 금지시켜야 한다. 이를 위해 농민들의 자발적인 참여가 필요하며, 특히 월드컵 개최의 중요성과 함께 가축의 생분뇨 사용이 농작물에 미치는 악영향을 인식시킬 필요가 있다.

서울시 및 관할 지자체인 고양시에서는 악취 발생이 없는 금비 지급을 고려해야 한다. 현재 경작중인 농경지 면적과 일반적인 시비량을 고려할 때 예상되는 총 퇴비량은 약 27~54톤 정도로 추정되고, 지원 금액으로는 약 340~680만원 정도로 예상된다.

만일 금비 지급이 어려울 경우 가축분을 충분히 부숙시킨 완숙퇴비를 제조하여 사용하도록 해야 한다. 퇴비화 기간은 월드컵 개최전 해인 2001년도에 고온이 유지되는 여름철에 만들어 두는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 그러나 장기적으로는 환경변에서의 경작은 금지시켜야 할 것이다.

5) 마포농수산물 시장

마포 농수산물시장에 대한 처리방안은 기존의 기능을 유지시키면서 건물을 환경적으로 정비하는 것이 바람직하며, 건물 환경 정비시 농수산물 쓰레기를 임시로 보관할 수 있는 건물을 설치하도록 하고, 이에 따른 효과적인 탈취대책을 마련해야 한다.

6) 난지하수처리사업소

난지하수처리사업소는 전반적으로 악취도가 낮은 것으로 조사되었다. 따라서 2002년 월드컵 기간중에도 현재와 같은 운영상태를 유지한다면 난지하수처리장에서의 악취문제는 없을 것으로

최종 평가되었다.

그러나 지렁이를 활용한 분변토를 생산하는 과정 정화조오니케익내 가스 방출을 위한 야적 과정과 지렁이 사육장에 최초 투입시 악취 발생이 예상되므로 2002년 월드컵 개최 전·후 기간에는 본 냄새 유발 과정을 가급적 중지하거나 시기를 조정하는 것이 바람직하며, 불가피할 경우는 별도의 탈취 대책을 마련해야 할 것으로 사료된다.

7) 침출수 처리장

난지도 매립지에 도입되는 침출수 공정에서 상부 복개 예정인 유량조정조와 함께 농축조 및 탈수기 등에 대해서도 악취도 결과와 관계없이 외부와 차단시킬 필요가 있다. 왜냐하면 침출수 처리시설은 일반 시민에게 혐오시설로 인식되고 있을 뿐만 아니라 난지도 지역의 새서울타운 개발계획과 이에 따른 국내·외 방문객의 증가가 예상되기 때문이다. 다만 탈취 설비 마련은 향후 침출수 처리시설이 완공된 후 시운전 과정에서 악취도 측정을 실시한 후 악취도가 심각할 경우에 적절한 탈취시설 마련을 검토하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

2. 악취 모니터링 계획

난지도 매립지 안정화 공사가 대략 완료되는 시점인 2001년에는 난지도 지역 대기질에 대한 전반적인 모니터링이 요구된다. 특히 악취도 측정은 매립 현장뿐만 아니라 주변 악취 발생원 및 침출수 처리장 등에서 종합적으로 수행되어야 한다. 측정 시기는 매월 1회를 원칙으로 하고, 가스추출 설비의 공사가 완료될 경우에는 주1회씩 집중적인 측정이 필요하다. 또한 1회 정도는 GC/MASS에 의한 분석을 수행할 필요가 있다.

측정 수행기관은 현재까지 난지도 주변 지역을 대상으로 주기적인 측정을 수행하고 있는 서울시보건환경연구원에서 수행하는 것이 바람직하다. 다만 현재 서울시보건환경연구원은 측정인력의 부족 등과 같은 많은 어려움이 있으므로 향후 서울시에서는 추가의 공공근로 인력 투입 등의 지원이 필요할 것으로 사료된다.

3. 난지도 매립지 안정화 사업의 지속적 관리

현재 공사가 중단된 가스포집 설비가 완공된 이후 시운전 과정에서 가스 포집 및 기타 기술적 문제가 발생시 신속한 대책을 수립하기 위해 서울시정개발연구원에서 지속적으로 안정화 사업을 관리할 필요가 있다. 다만, 본 연구를 위해서는 수탁과제로 수행하는 것이 바람직하다.

참고문헌

참 고 문 헌

1. 김노중, “악취현황과 탈취 신기술”, 첨단환경기술 8월호~10월호, 1996.
2. 김학민, “매립지 악취 발생량 산정 및 탈취제 성능 평가에 관한 연구”, 대전대 석사학위논문, 1997.
3. 김홍래, “도시폐기물 매립지에서 발생하는 가스의 문제점과 대책에 관한 연구”, 경희대 석사학위논문, 1992.
4. 대기오염 공정시험법-악취 측정 편
5. 박상진, “활성탄 섬유와 Peat Bio-Filter를 이용한 암모니아 및 황화합물 악취의 제거에 관한 연구”, 고려대학교 박사학위논문, 1993.
6. 박상진 등, “포기조 및 토양탈취상을 이용한 하수처리장 악취 제거”, 한국건설기술연구원, 1993.
7. 산업자원부 기술표준원, “산업현장의 악취·취발성 유기물제거를 위한 workshop”, 1999.
8. 서광석·이성호, 대기오염방지기술, 동화기술, 1993.
9. 서울특별시, “난지도 매립지 안정화 공사 기본설계보고서”, 1994.
10. 서울특별시, “난지도 매립지 안정화 공사 실시설계보고서”, 1996.
11. 서울특별시, “밀레니움공원 기본계획”, 2000.
12. 서울특별시, “새서울 타운 발전구상”, 2000.
13. 석철영, “생물탈취상에 의한 매립지가스 악취물질 제거”, 건국대학교 석사학위논문, 1998.
14. 수도권매립지운영관리조합, “매립가스 처리시설 설치효율 분석조사”, 1997.
15. 수도권매립지 운영관리조합, “쓰레기매립작업 개선방안 연구용역 보고서”, 1997.
16. 수도권매립지 운영관리조합, “수도권매립지(1공구) 안정화공사 실시설계보고서(안), 2000.
17. 심명섭, “위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술-비위생 매립지의 안정화 기술”, 한국건설기술연구원, 1999.
18. 엄두용, “쓰레기 매립장의 악취평가와 측정에 관한 연구”, 서울대 환경대학원 석사학위논문, 1993.
19. 유명진, 조용균, “폐기물 매립지의 굴착시 악취 및 유해가스의 생물학적 처리 방안 적용가능성에 관한 연구(난지도 매립지를 중심으로), 서울시립대 산업기술연구소 논문집 제3집, pp 47~62, 1995.
20. 윤석표, 서영화, 윤범한, “냄새센서를 이용한 약액살포에 따른 매립지 악취 저감도 평가”, 한국폐기물학회지, Vol 13, No. 2, pp. 226~235, 1996.

21. 이내운, “Thiobacillus thiooxidans를 고정화한 바이오필터를 이용한 황화수소 제거에 관한 연구”, 이화여자대학교 석사학위논문, 2000.
22. 이승무 등, “난지도 매립지 매립가스의 표면발산에 관한 시험적 연구”, 한국폐기물학회지, 제3권, 제3호, pp. 400~406, 1996.
23. 이은영, “황산화 세균과 암모니아산화 세균의 분리와 황화계 및 암모니아 악취제거의 특성”, 이화여자대학교 박사학위논문, 1999.
24. 이주상, “고주파 연면방전 플라즈마를 이용한, NH_3 , H_2S 및 CH_3SH 의 악취처리에 관한 연구”, 서울시립대학교 박사학위논문, 1995.
25. 이혜경, “폐기물 매립장의 복원기술”, 첨단환경기술 3월호, pp. 86~91, 1998.
26. 정하익 외 “위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술”, 한국건설기술연구원, 1999.
27. 최원우, “춘천시 근화동 도시쓰레기 매립지에서 방출되는 악취물질의 분석에 관한 연구”, 강원대학교 석사학위논문, 1998.
28. 최희균, “환경정책 심포지움-매립지 정화 및 토지 재이용(난지도 매립지 문제점 및 대책)”, 아태환경 NGO 한국본부, 1995.
29. 한희동, “암모니아 분해세균을 고정화한 바이오필터의 암모니아 제거특성에 관한 연구”, 숭실대학교 석사학위논문, 1998.
30. SCS사, “Sang-Am Landfill Consulting Services-Landfill Gas Related Issues”, 한국지역난방공사, 2000.
31. Bohn, H. L. and Bohn, R. K, "Gas scrubbing by bio-washers and biofilters", Poll. Eng. 18: 34, 1986.
32. Cha, S. S., "Municipal Solid Waste Landfill Odor Control Strategies", Journal of the Air and Waste Management Association, pp. 427-433, 1996.
33. Cho, K. S., Hirai, M., and Shoda, M., "Enhanced removability of odorous sulfur-containing gases by mixed cultures of purified bacteria from peat biofilter", J. Ferment. Bioeng., 73, 219~224, 1992.
34. Experts Meeting, "Vienna, Center of Environmental Technologies", 2000.
35. Federici, N. J., "Odor Control Product Evaluation for Landfill Applications", Journal of the Air and Waste Management Association, pp. 143~154, 1996.
36. Hsiu-Mu Tang and Shyu-Jye Hwang, Sz-Chwun Hwang, "Waste Gas Treatment in Biofilters", J. Air Waste Manage. Assoc. 46: 349~354, 1996.
37. Joseph S. Devinny, Matc A. Deshusses and Todd S. Webster, "Biofiltration for air pollution control", Lewis publishers, 1999.

38. Martin, A. M., "Peat as an agent in biological degradation, Peat biofilters, In Marthin A. M., Biological degradation of wastes", Elsevier Science Publishers, NY, 341~362, 1991.
39. Nagl, Gary, "Sour Landfill Gas Problem Solved - A south Florida ~", Waste age, Vol. 27, No. 5, pp. 199, 1996.
40. Ottengraf, "S.P.P Exhaust gas purification", In Rehn H.J., Reed G. eds. Biotechnology Vol 8, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 427~452, 1986.
41. Perry L. Schafer, chair and William H. Prokop, "Odor control in wastewater treatment plant", Water environment federation, American society of civil engineers, 1995.
42. 岡田 誠之, "日本の臭気に関する現状", テクノロジートランスファー研究所 論文集, pp. 1~15, 1991.
43. 谷川 昇, "都市ごみの処理・處分に伴う臭気の発生と対策の現状", 臭気の研究, 27巻 1号, pp. 1~8, 1996.
44. 公害対策技術同友会, "悪臭防止技術 マニュアル(IV)", 1981.
45. 公害対策技術同友會, "悪臭防止技術マニュアル-總集編". 1988.
46. 大迫 政浩, "都市ごみ最終處分場における臭気の発生特性", 臭気の研究, 27巻 1号, pp. 25~28, 1996.
47. 福山 丈人, "埋立處分地發生ガスの調査方法とその環境汚染防止対策", 臭気の研究, 27巻 1号, pp. 9~17, 1996.
48. 臭気対策研究協会, "においの用語と解説", 1990.

부 록

부 록

난지하수중계펌프장 악취의 탈취 방식별 저감 연구

1. 연구목적

본 연구는 월드컵 주경기장 주변 환경 정비 및 악취 저감 대책의 하나로 난지 하수 중계 펌프장 복개가 계획되어 이에 따른 필수설비인 탈취장치의 성능을 알아보고 그 경제성 평가를 포함한 종합적인 대책을 수립하는데 목적이 있다. 여러 탈취법 중 활성탄 흡착법, 약액세정법, 지렁이 분변토를 이용한 탈취법, 그리고 바이오필터에 의한 생물학적 탈취법 등 4가지 탈취법을 선정하여 탈취 공정별 성능평가 및 경제성 분석 연구를 통하여 효율적인 탈취방식을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

1) 실험 장치 및 방법

난지 하수 중계 펌프장의 하수 침사지와 호퍼에서 발생하는 악취를 효과적으로 제거할 수 있는 탈취기술을 선정하기 위하여 bench scale의 활성탄 흡착탑, 약액세정탑 (산·알칼리), 지렁이 분변토, 바이오필터에서 탈취효율을 조사하였다.

바이오필터의 장치는 아크릴수지(40×40×220 cm)로 제작하였으며 탈취균주의 고정화 담체로는 다공성 무기담체를 사용하였으며 담체의 충전부피와 충전량은 각각 144L 와 1.2kg으로 모두 4단으로 나누어졌다<사진 1>. 바이오필터의 수분공급은 timer에 의해 1일 2~3회 정기적으로 담체의 표면에 살수되도록 하였다.

약액세정법의 실험장치는 지름 8cm, 높이 54cm인 아크릴 수지로 제작하였다. 컬럼의 총 부피는 2.7L이다. 그리고 악취가스의 균일한 분배를 위해 컬럼 하단부분에 open cell의 고분자 물질을 높이 18cm정도로 충전시켰다. 악취물질의 중화를 위해 산성 용액으로는 0.1N의 H₂SO₄ 1L을 채웠으며 알칼리성 용액으로는 0.1N NaOH 1L을 넣었다<사진 2>.

활성탄의 실험장치는 지름 4.5cm, 높이 30cm인 pyrex 컬럼(부피 0.48L)에 활성탄 30g을 충전시켰다. 이때 충전부피는 0.38L이다<사진 3>.

지렁이 분변토를 이용한 탈취장치는 지름 7.5cm, 높이 30cm인 유리컬럼으로 부피가 1.3L이다. 지렁이 분변토 300g을 유리컬럼에 채웠으며 충전 부피는 0.66L이다<사진 3>. 지렁이 분변토는 직경 1cm 내외, 길이 1~1.5cm의 막대형으로 고형화시켜 제작한 것을 사용하였다(난지 하수처리사업소 제공). 분변토의 건조를 방지하기 위하여 1일 1~2회 물을 살수하여 주어 수분을 공급하였다.

하수 중계펌프장에서 발생하는 악취가스를 모사하기 위하여 Stainless steel로 제작한 악취발생장치를 사용하였다<사진 4>. 펌프장 침사지로부터 건져내 호퍼에 보관중인 혐잡물 30kg을 악취발생장치에 충전시키고, 송풍기($2\text{m}^3/\text{min}$)를 사용하여 발생장치 하부에 공기를 주입하여 혐잡물층을 통과시켜 중계펌프장과 유사한 악취를 인위적으로 발생시켰다. 혐잡물의 건조를 방지하기 위하여 2~3일에 1회씩 일정한 양의 하수를 살포하여 지속적으로 악취가 발생하도록 하였다. 악취 발생장치에서 발생된 악취가스를 각각의 탈취장치에 주입하여 탈취성능을 조사하였다.



〈사진 1〉 바이오필터 장치



〈사진 2〉 약액세정 장치



〈사진 3〉 활성탄과 지렁이분변토를
이용한 탈취장치



〈사진 4〉 악취 발생장치

2) 분석방법

각 탈취장치에서의 탈취 효율은 악취를 깨끗한 공기와 희석하여 냄새가 발생되지 않을 때까지의 희석배수를 측정하는 공기희석법에 의해 분석하였다.

시료채취는 시료채취 펌프를 이용하여 간접채취를 하였으며 시료용기는 1L 냄새주머니를 사용하였으며 질소로 깨끗하게 냄새주머니를 세척하였다. 채취된 시료와 무취공기를 희석배수별로 희석하여 관능시험에 사용하였다. 시료는 약 3배수씩 단계별로 증가시키면서 희석하며, 희석배수가 낮은 것부터 높은 순으로 실시하였다.

판정방법은 판정인들에서 두 종류의 주머니를 주어 냄새를 구분하게 하였고 무취로 판정된 희석배수의 바로 전 단계 희석배수를 각 판정인의 냄새감지한계 희석배수로 하였다. 악취의 농도는 이런 악취감지 희석배수로 대표하였으며 농도로 표시하기 위해 단위로서는 odor unit(OU)/m³을 사용하였다.

3) 판정인의 선정

거름종이(길이 14cm, 폭 7mm) 4매를 1조로 하여 그 중 3매는 냄새나는 용액(이하 “시험액”이라 한다)에 나머지 1매는 유동과라핀에 약 1cm 정도 길이로 5분 동안 담가둔다. 4매 1조의 거름종이를 건강한 피검자에서 주어 냄새가 나는 거름종이 3매를 선택하게 하여 3종류의 시험액을 모두 알아 맞추는 사람을 판정인으로 선정하였다. 판정인은 5인으로 구성하였다.

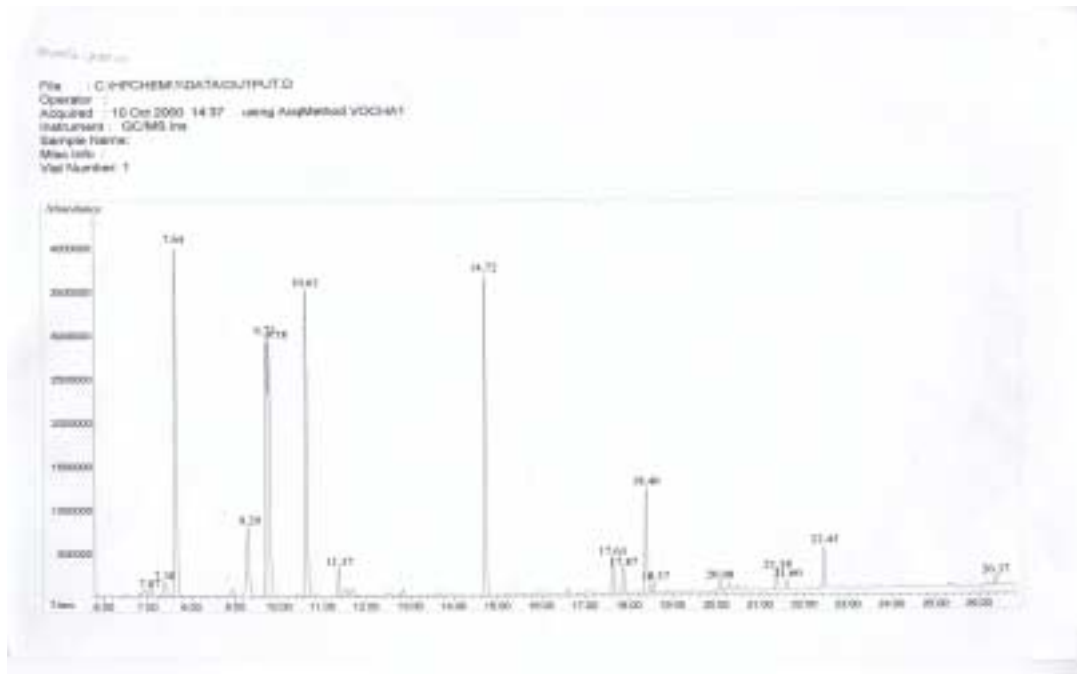
〈표 1〉 시험액의 농도와 냄새의 질

시험액	농도	냄새의 질
아세트산	1.0wt%	식초냄새
트리메틸아민	0.1wt%	생선썩는 냄새
페놀	1.0wt%	의약품 냄새

3. 실험결과 및 고찰

1) 중계펌프장에서 발생하는 주요 악취성분

중계펌프장에서 발생하는 악취가스의 주요 성분은 암모니아, 황화수소, 알데히드류 및 VOCs 들로 구성되어 있다. 중계 펌프장 악취물질은 암모니아 1~10 ppm, 황화수소 0.2~2.0 ppm, 알데히드류 0.1 ppm 이하이며 그 외에 다양한 종류의 VOC 물질들이 혼합되어 있는 복합악취 가스이다. 주요 VOC 악취 물질로는 Methane, Hexane, cyclopentane, benzene, styrene, xylene등의 다양한 VOC 성분들로 구성되어 있다(<그림 1> 참조). 하수 중계펌프장의 현장 악취강도는 600~1000 OU/m³이다.



<그림 1> 난지중계펌프장에서 발생하는 악취가스의 GC/MS chromatogram.

<표 2> 난지중계펌프장에서 발생하는 악취가스의 주요 성분 분석 결과

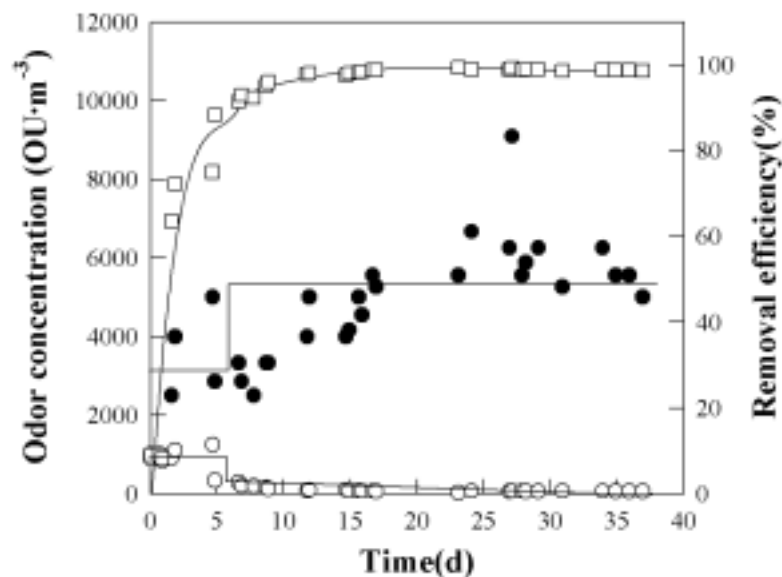
RT	Compound	RT	Compound
7.07	Propanol	17.63	EthylBenzene
7.38	Ethane	17.87	p-xylene
7.64	Methane	18.40	Styrene
9.29	Pentane	18.57	1,3,-dimethylbenzene
9.73	Hexane	20.08	Benzaldehyde
9.78	Hexane	21.39	1,2,4-trimethylbenzene
10.63	Cyclopentane	21.60	Decane
11.37	Benzene	22.45	Limonene
14.72	MethylBenzene	26.37	Dodecane

주: RT는 Retention time을 나타냄.

2) 탈취방법별 탈취효율

(1) 바이오필터법에 의한 생물학적 처리법

공기희석법 기준으로 악취농도가 $3000 \sim 6000 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ 인 악취가스를 바이오필터에 공간속도 300 h^{-1} (체류시간 12초)으로 통과할 때 바이오필터의 탈취성능을 평가하였다(<그림 2 참조).



● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

<그림 2> 바이오필터를 이용한 악취유발물질 제거특성

바이오필터에 탈취세균을 접종한 후 필터시스템의 가동초기에는 약 10%의 낮은 탈취율을 제공하였으나, 가동 1일 경과 후부터 탈취성능이 급격하게 상승하였고, 약 5일 가동 후에 90% 이상의 탈취효율을 보였다. 탈취균들이 고정화 담체에 안정적으로 고정화되기 시작한 약 10일 경과 후에 바이오필터의 탈취효율은 약 98~99%로 매우 높은 탈취율을 제공하였다. 조업초기에는 발생장치로부터 발생하는 악취농도가 $3000 \sim 5000 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ 내외로 유지되었고, 15일 경과후 부터는 악취강도가 $5000 \sim 6000 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ 으로 일정하게 유지되었다. 이러한 고농도 악취가스에 대해 바이오필터에 의해 처리할 경우 출구의 악취강도는 $100 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ 이하로 유지되었으며, 관능법에 의한 바이오필터 출구에서의 악취강도는 약 1도 이하로 낮게 유지되는 우수한 탈취능을 보였다. 본 연구에서 사용된 악취는 실험재료 및 방법에서 설명한 바와 같이 인공적으로 발

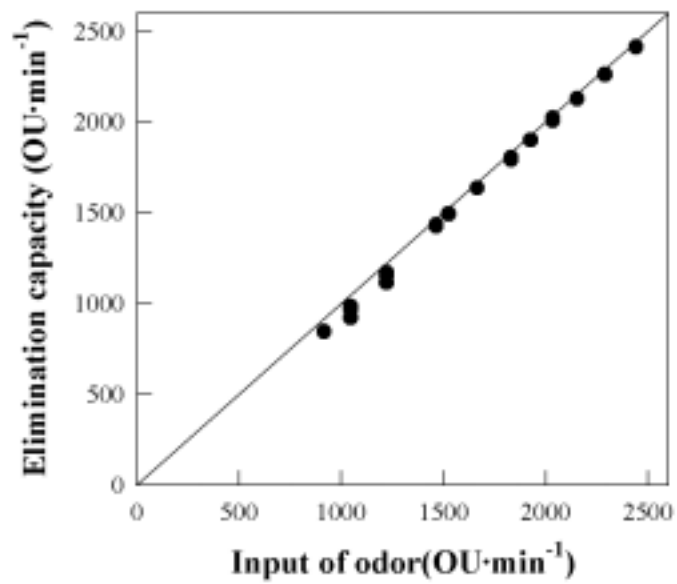
생시킨 것으로 실제 난지 하수중계펌프장에서 발생하는 악취강도($650 \sim 2000 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$) 보다 상대적으로 매우 높은 편이다. 따라서, 실제 난지 하수중계 펌프장에 바이오필터를 설치할 경우, 탈취후의 배출가스의 악취강도는 훨씬 낮아질 것으로 예상된다.

한편, 발생장치를 통해서 발생하는 악취가스를 공기희석하여 악취판정원들에게 맡게 했을 경우 두통, 정신적 스트레스, 잦은 피곤함, 근육통 등을 호소할 정도로 매우 악취가 심하였다. 그러나, 바이오필터를 통과하고 배출되는 가스를 판정원들에게 의뢰한 결과는 정신적, 신체적 고통의 호소가 없었다.

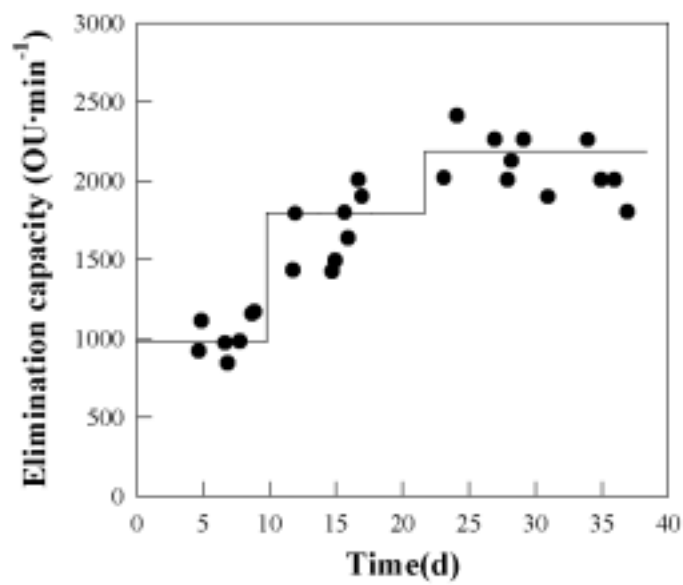
악취의 유입량 변화에 따른 바이오필터의 악취가스 제거능을 <그림 3>에 제시하였다. 그림에서 실선은 100% 악취제거 line 이다. 바이오필터에 악취가 약 2500 OU/min 까지 주입되어도 대부분의 악취 제거능이 100% 제거선에서 벗어나지 않을 정도의 우수한 탈취성능을 보였다. 98% 이상의 탈취율을 보이는 임계 악취제거능은 약 2500 OU/min 이었다

시간 변화에 따른 바이오필터의 탈취능을 <그림 4>에 도시하였다. <그림 4>에서 보인 바와 같이 조업시간이 경과할수록 유입 악취강도가 증가되어 조업 시간이 증가함에 따라 탈취속도가 증가하였으며, 악취유입강도가 일정하게 유지되는 16일 이후에는 탈취속도가 2000~2400 OU/min으로 일정하게 유지되었다. 약 35일간의 조업기간 동안에 탈취성능이 저하되는 현상 없이 안정적인 탈취능을 제공하였다.

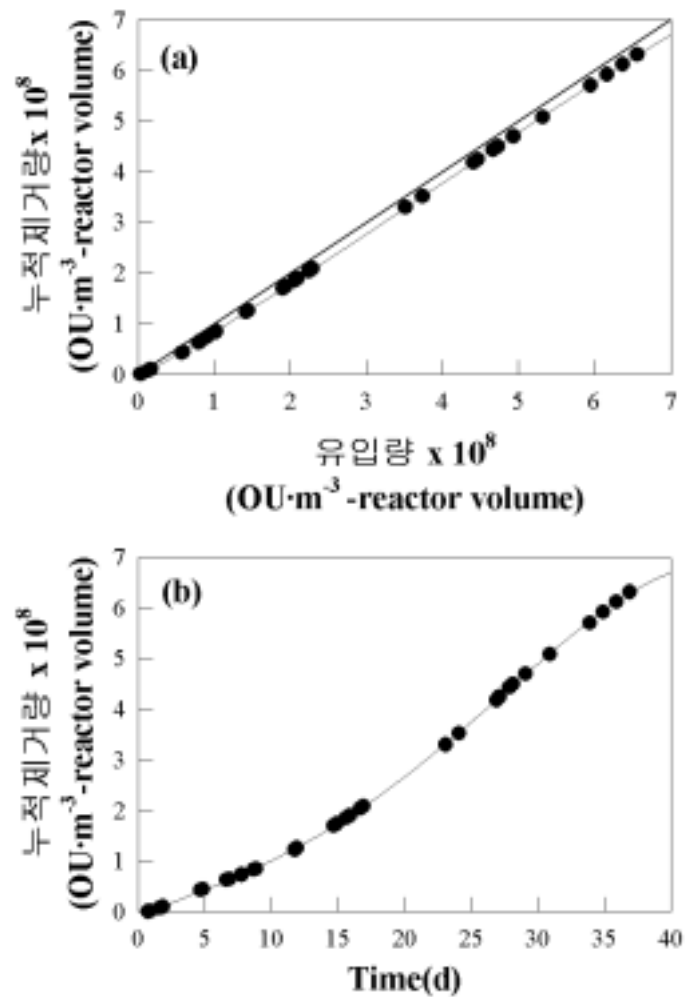
반응기 부피당 누적제거량을 보면, 최대 $6.5 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ -reactor volume까지 유입되었으며 제거량도 $6.4 \sim 6.49 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ -reactor volume으로 98%이상의 제거율을 보였다(<그림 5> 참조). 또한 본 연구에 사용된 바이오필터는 미생물이 짧은 시간에 적응을 하며, 제거효율이 98%이상으로 높고, 장기간 운전시에도 안정적이었다. 또한 담체의 사용기간이 길며, 바이오필터의 운전 및 관리가 손쉽고, 2차 오염물질이 발생되지 않는 자연정화법이라고 할 수 있다



〈그림 3〉 악취가스의 유입속도변화에 따른 바이오필터의 탈취속도



〈그림 4〉 바이오필터의 시간 변화에 따른 탈취속도

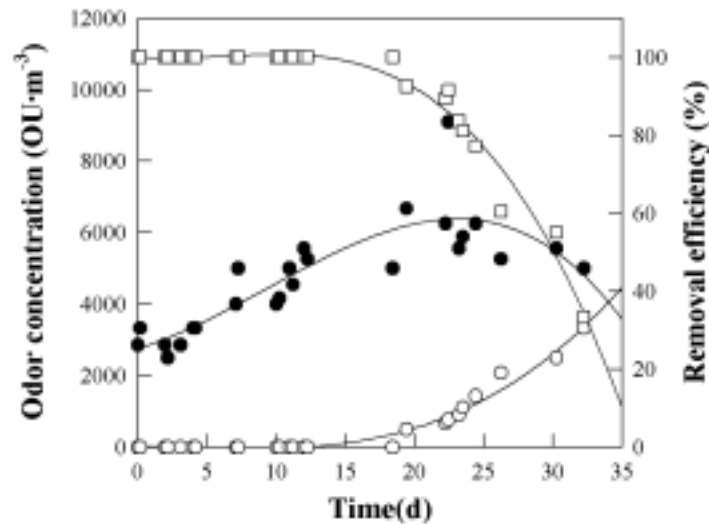


〈그림 5〉 바이오필터의 누적악취제거량

(2) 활성탄을 이용한 물리적 흡착법

흡착법은 물리적 처리법 중 주로 사용하는 방법이다. 본 연구에서는 일정한 양의 활성탄을 포함한 컬럼에 공간속도 $11,250 \text{ h}^{-1}$ (체류시간 0.32초)의 조건에서 악취유발물질 제거 특성에 대하여 연구하였다. 활성탄 컬럼내로 악취유발물질이 $3000 \sim 6000 \text{ OU} \cdot \text{m}^3$ 로 유입되었다. 초기에는 악취물질이 활성탄의 표면에 완전히 흡착되어 판정원들에 의한 악취도는 1도 이하로 나타났다. 그러나, 시간이 지남에 따라 악취농도가 점점 증가를 하였다. 탈취율은 19일까지는 98~

99%의 높은 탈취율을 제공하였고, 22일 경과 후에는 약 90%의 탈취율을 제공하였다. 그 이후에는 급격하게 탈취율이 저하되었으며 30일 이후에는 악취유발물질의 흡착력이 50%이하로 급격히 감소함을 보였다(<그림 6> 참조).



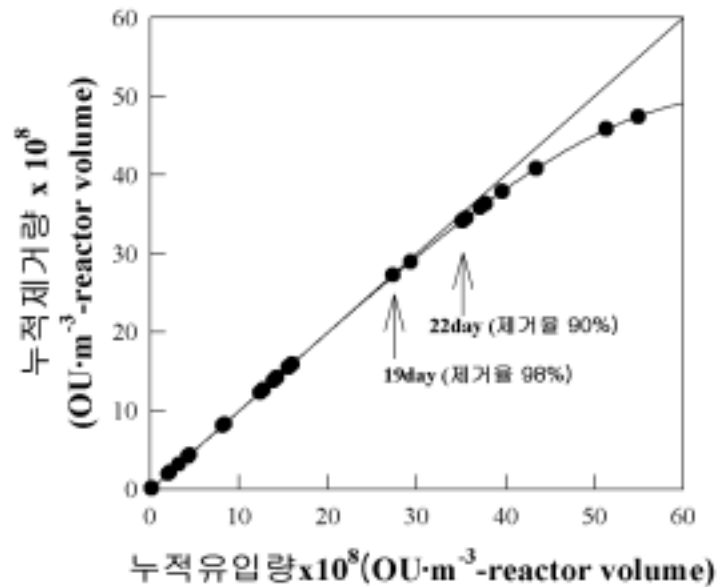
● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

<그림 6> 활성탄을 이용한 악취유발물질 제거특성

반응기 부피당 누적제거량을 보면, 누적유입량이 $2.7 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ -reactor volume까지는 98%탈취율을 제공하고, $3.5 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ -reactor volume 까지는 90%의 탈취율을 제공한다(<그림 7> 참조). 탈취율이 90%에 도달하는 22일을 활성탄의 포화점(파과점)으로 볼 때 $3.5 \times 10^9 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ -reactor volume 이었다.

활성탄에 의한 악취유발물질의 제거는 초기 유입되는 악취농도와 유속에 따른 제거율에는 별 영향 없이 98~99% 제거가 되어 활성탄에 의한 악취유발물질의 흡착은 신뢰성 있는 처리효율을 기대할 수 있다. 그러나 흡착능이 소멸되는 시점에 이르러서는 흡착제의 교체나 재생에 많은 비용이 소요되는 단점이 있다.

일반적으로 활성탄을 이용한 흡착은 수분이 없는 건조가스의 처리에 적합하며, 습도가 높은 악취가스의 처리시 흡착능이 급격하게 저하되어 탈취율이 급감할 뿐만 아니라 활성탄의 교체 비용이 현저하게 증가되는 문제점이 있다. 이러한 이유 때문에 현재 시공중인 하수 및 폐수 처리장, 기존 활성탄 탈취탑이 설치된 시설들을 설계변경이나 시설 변경을 추진하는 경우가 많다. 활성탄 흡착탑의 선정시에는 악취가스의 성상, 습도, 교체 비용 등을 고려하여야 한다.

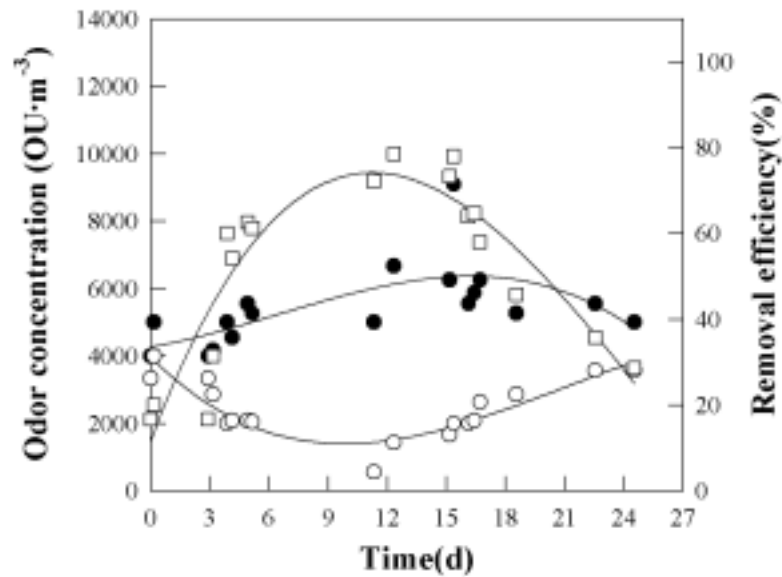


〈그림 7〉 활성탄 탈취탑의 누적악취유입량 대 제거량과의 관계

(3) 지렁이분변토를 이용한 탈취법

일반적으로 지렁이 분변토를 탈취용으로 사용할 경우 탈취미생물의 생장에 필요한 수분을 공급하기 위해 탈취탑에 물을 분무시키기 때문에 장기간 조업(약 2개월 이상)과정에서 분변토층의 압밀현상이 심하게 진행되어 압력손실이 급격하게 증가하는 문제가 있어 탈취탑에 사용이 불가능하다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 난지 하수처리사업소에서 제공하는 막대형태로 성형된 지렁이 분변토를 이용한 탈취 적용 가능성을 조사하였다.

지렁이 분변토를 중계펌프장 악취 탈취에 적용가능성을 평가하기 위하여 입자상(rod type)으로 고형화시킨 지렁이 분변토 담체를 충전한 탈취탑의 탈취성능을 평가하였다. 발생장치에서 발생하는 악취가스를 탈취탑에 270 h^{-1} (체류시간=13초)의 일정한 공간 속도로 유입시키면서 악취제거효율을 〈그림 8〉에 도시하였다. 조업초기에는 악취농도는 $4000 \sim 5000 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$ 로 유입되었을 때 탈취율이 20%전후로 거의 제거가 되지 못하였지만, 약 3일 경과후에 제거율이 60%로 증가하여 약 15일후에는 80%의 탈취율을 제공하였다. 그러나, 15일 경과 후에는 탈취율이 감소하기 시작하여 제거율이 30%까지 감소되었다.

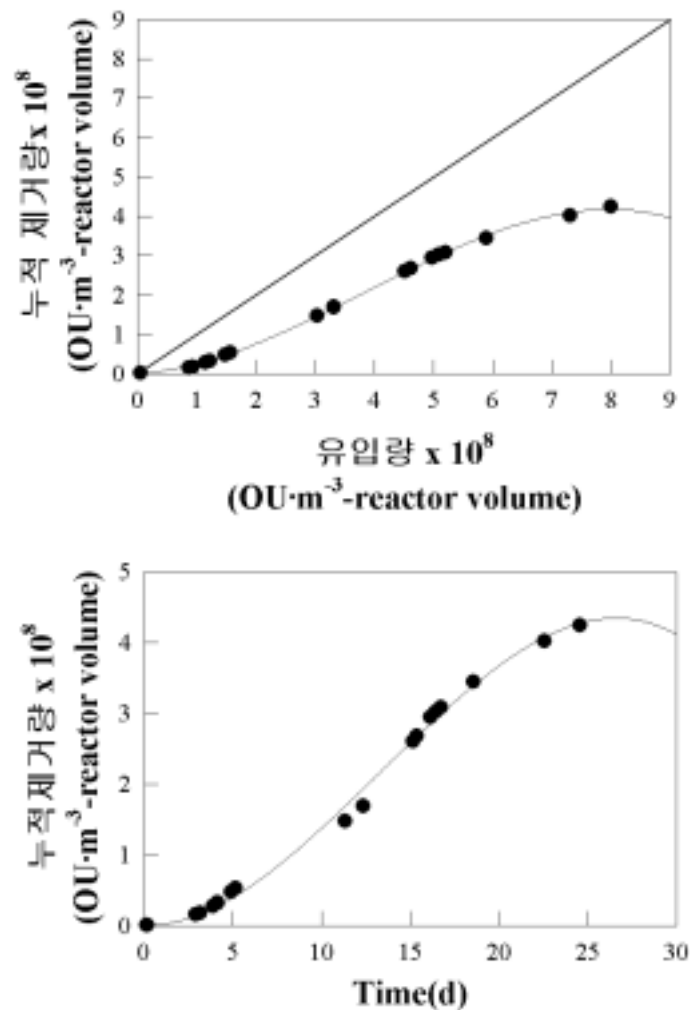


● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

〈그림 8〉 지렁이 분변토를 이용한 악취유발물질 제거특성

지렁이분변토 탈취탑의 탈취성능은 약 24일 동안 탈취탑에 유입된 누계 악취량이 약 8×10^8 $\text{OU} \cdot \text{m}^{-3}$ -reactor volume인데 반하여 누적제거량은 약 4×10^8 $\text{OU} \cdot \text{m}^{-3}$ -reactor volume로 50%에 불과할 정도로 탈취 효율이 낮았다.

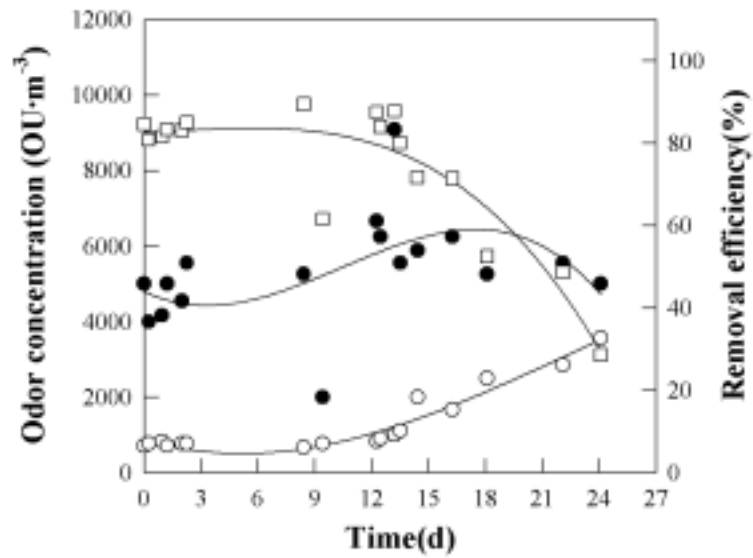
본 연구에서 사용된 성형된 지렁이 분변토의 경우 일정한 강도를 유지하고 있기 때문에 수분공급과정에서 발생할 수 있는 압밀 현상을 어느 정도 극복할 수 있었지만 조업기간이 약 1개월 정도로 짧았기 때문에 정확한 결과를 얻기 위해서는 장기간 조업이 필요할 것으로 사료된다. 또한 성형 지렁이 분변토를 사용할 경우 최고 탈취율이 80%에 불과하다. 이러한 현상은 성형지렁이 분변토가 미생물이 부착하여 성장할 수 있는 기공이 상대적으로 적어 담체 표면에만 고정화가 가능하기 때문에 탈취 효율이 낮은 것으로 사료된다.



〈그림 9〉 지렁이 분변토를 이용한 악취유발물질 제거특성

4) 약액세정법

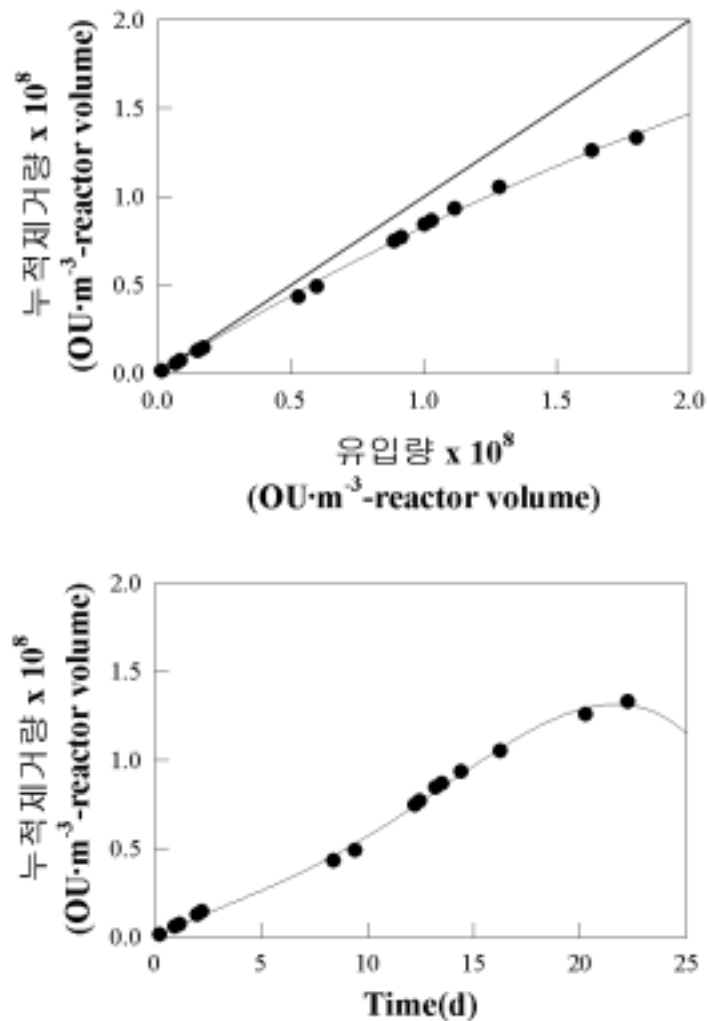
화학적 처리법 중의 하나로 중화 반응에 의한 악취유발물질 제거특성에 대하여 연구하였다. 먼저 0.1N H₂SO₄의 산성액이 살수되는 산세정탑에 악취가스(4000~6000 OU·m³)를 70 h⁻¹(체류시간 = 50초)로 유입시켜 탈취특성을 조사하였다. 산성 컬럼내의 악취유발물질이 유입되면서 초기 제거효율은 80%로 일정하게 유지하였다. 그러나 약 15일 이후에는 산성액에 의해서 악취물질을 중화시킬 수 있는 한계점에 가까워지면서 제거효율이 60%로 감소하고 20일 이후에는 중화되는 포화점에 도달하면서 30%로 급격히 저하되는 것을 알 수 있었다(〈그림 10〉 참조).



● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

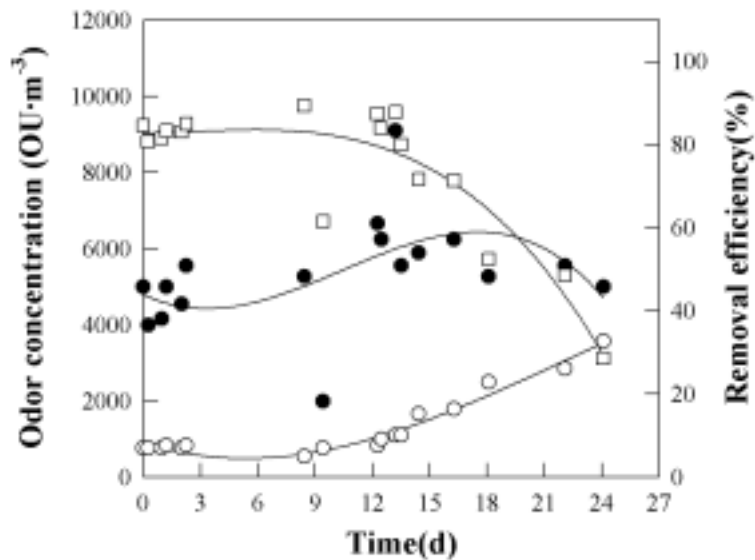
<그림 10> 약액세정법을 이용한 악취유발물질 제거특성(산성)

반응기 부피당 누적제거량을 보면, 최대 $1.7 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}\text{-reactor volume}$ 까지 유입되었다. 그러나 최대 누적제거량은 $1.3 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}\text{-reactor volume}$ 으로 점차 감소함을 보여주고 있다 (<그림 11> 참조).



〈그림 11〉 약액세정법을 이용한 악취유발물질 제거특성 (산성)

0.1N NaOH의 알칼리 용액이 살수되는 알칼리 세정탑에 악취가스($400 \sim 6000 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3}$)를 70 h^{-1} (체류시간 = 50초)로 유입시켜 탈취특성을 조사하였다(〈그림 12〉 참조). 탈취율은 80%로 일정하게 유지되었고, 15일 이후에는 알칼리액에 의해서 악취물질을 중화시킬 수 있는 한계점에 가까워지면서 제거효율이 70%로 감소하고 20일 이후에는 중화되는 포화점에 도달하면서 40% 이하로 급격히 저하됨을 보였다.



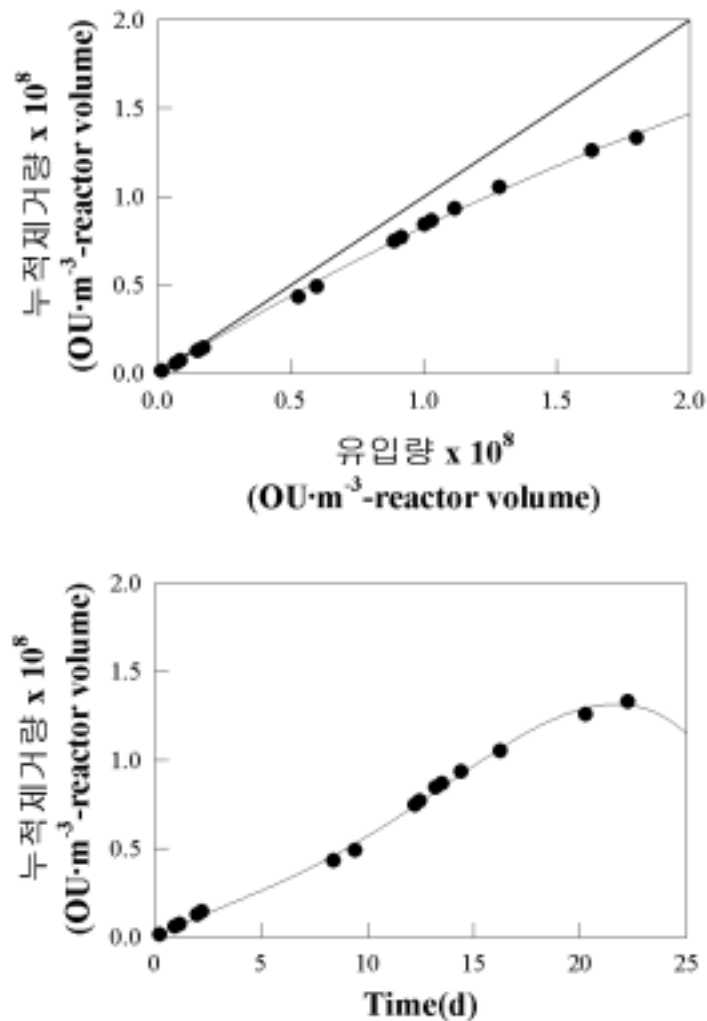
● : input odor ○ : output odor □ : removal efficiency

<그림 12> 약액세정법을 이용한 악취유발물질 제거특성(알칼리)

반응기 부피당 누적제거량을 보면, 최대 $1.7 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{reactor volume}$ 까지 유입되었다. 그러나 최대 누적제거량은 $1.3 \times 10^8 \text{ OU} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{reactor volume}$ 으로 점차 감소함을 보여주고 있다 (<그림 13> 참조). 0.1N 황산과 0.1N 수산화나트륨에 의해 중화되는 악취물질의 제거능력을 비교해보면, 황산과 수산화나트륨에 의한 제거율과 반응기 부피당 누적제거량이 비슷함을 보였다.

또한, 산세정탑과 알칼리 세정탑을 직렬로 연결한 경우에도 탈취효율은 약 80~84%로 큰 변화가 없었다. 이와 같이 약액세정탑을 사용한 경우 탈취율이 80%를 초과하지 못하는 이유는 <그림 1>에 제시한 바와 같이 중계 펌프장 발생악취에는 중화반응에 의해 제거될 수 없는 VOC 화합물이 함유되어 있기 때문으로 추정된다. 따라서 약액세정법은 중계펌프장의 탈취기술로 적합하지 않음을 확인하였다.

일반적으로 약액세정법의 경우 산/알칼리 악취의 제거에 매우 효과적인 반면 (i) VOC 물질을 제거할 수 없고, (ii) 과다한 화학약품비의 소요와 2차적인 오염물질이 발생하는 문제점들이 있다.



〈그림 13〉 약액세정법을 이용한 악취유발물질 제거특성(알칼리)

5) 탈취효율을 기준으로 한 탈취기술의 선택

상기한 실험적 연구결과들로부터 악취물질과 VOC 물질이 혼합되어 있는 난지 중계펌프장의 복합악취를 효과적으로 제거할 수 기술은 바이오필터법(생물여과법)과 활성탄 흡착법임을 확인할 수 있었다. 두 방법 모두 정화 가스의 악취강도는 1도 이하를 유지할 수 있는 우수한 성능을 보였다. 탈취기술의 선정에 있어서 경제성과 탈취 효율의 안정성 등을 고려하여야 한다.

일반적으로 활성탄을 이용한 흡착은 수분이 없는 건조가스의 처리에 적합하며, 습도가 높은

악취가스의 처리시 흡착능이 급격하게 저하되어 탈취율이 급감할 뿐만 아니라 활성탄의 교체 비용이 현저하게 증가되는 문제점이 있다. 이러한 이유 때문에 현재 시공중인 하수 및 폐수 처리장, 기존 활성탄 탈취탑이 설치된 시설들을 설계변경이나 시설 변경을 추진하는 경우가 많다. 활성탄 흡착탑의 선정이 악취가스의 성상, 습도, 교체 비용 등을 고려하여야 한다.

3) 경제성 비교

중계펌프장의 악취를 제어할 수 있는 탈취기술을 선정하기 위하여 탈취효율이 우수한 활성탄 흡착법과 바이오필터법에 대한 시설투자비와 유지관리비를 분석하였다. 난지 중계펌프장의 크기와 악취 강도 등을 고려한 탈취설비의 설계기준은 다음과 같다.

(1) 설계기준:

- o 악취강도 1000 OU/m³,

- o 악취가스 발생량: 1000 m³/min

- 발생량 산정기준:

- 중계펌프장의 내부 부피: 펌프장 2기 × (26m × 24m × 6m) ≒ 7500 m³

- 공기순환율 6회/시간,

- 복개시 잉여 공간 ≒0.3

$$\text{총 악취발생량} = (7500 \text{ m}^3) \times 6 \text{ 회/시간} \times 1.3 \approx 1000 \text{ m}^3/\text{min}$$

(2) 탈취설비별 유지관리비용

각각 탈취설비별 소요장치의 크기 및 경제성 검토는 다음과 같다.

가) 활성탄 흡착법

(가) 설계기준

o 설계 체류시간 : 2.5 sec, 유입악취농도 = 1000 OU/m³

o 반응기 부피당 악취제거속도 : 14,168 OU/min/m³-reactor

o 악취 유입량

$$\frac{1000 \text{ m}^3}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ OU}}{\text{m}^3} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ day}} = 1.44 \times 10^9 \text{ OU/d}$$

o 활성탄 충전 부피

$$\frac{1000 \text{ m}^3}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ h}} \times 2.5 \text{ sec} \div 42 \text{ m}^3$$

o 소요활성탄 양

$$\frac{42 \text{ m}^3}{\text{m}^3} \times 0.7 \text{ ton} \div 29 \text{ ton}$$

o 90% 이상 제거 가능시간 : 약 22 일,

단위 부피당 22일 누적 제거량 : $3.2 \times 10^9 \text{ OU/m}^3$

o 활성탄의 최대 흡착량(90% 제거기준)

$$\frac{3.2 \times 10^9 \text{ OU}}{\text{m}^3} \times 42 \text{ m}^3 \div 1.34 \times 10^{11} \text{ OU}$$

o 활성탄 교체 주기

$$\frac{1.34 \times 10^{11} \text{ OU}}{1.44 \times 10^9 \text{ OU}} \times \text{day} = 93 \text{ d}$$

o 활성탄 교체 비용: 150만원/ton.

(나) 운전비와 시설비 분석 예

① 초기설비비

약 2억 ~ 2억 5000만원

② 연간 조업 및 유지관리비

A. 연간전력소비

A-1. blower

1000 CMM ; 60 hp

$$\begin{aligned}\text{Consumption}_{\text{blower}} &= 60 \text{ hp} \times 0.75 \text{ kw/hp} \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ h} \\ &= 394,200 \text{ kwh}\end{aligned}$$

A-2. Pump

$$0.25 \text{ hp} \times 0.75 \text{ kw/hp} \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ h} = 1,650 \text{ kwh}$$

$$\text{Total electric consumption} = 395,850 \text{ kwh/년}$$

$$\text{Total electric cost} = 395,850 \times 55 \text{ won/kwh} = 21,770,000 \text{ 원/년}$$

B. 연간 물소비: 해당사항 없음

C. 인건비

자동화에 의해 절감

D. 연간 활성탄 교체비 (93일 주기):

$$\begin{aligned}29 \text{ ton} \times 1,500,000 \text{ (won/ton)} \times 365 \text{ d/year} \div 93 \text{ d (교체주기)} &= \\ 170,700,000 \text{ 원/년}\end{aligned}$$

E. 영양제 및 약품비: 해당사항 없음

$$\text{Total} = 170,700,000 + 100,000 + 21,770,000 = 192,500,000 \text{ 원/년}$$

나) 바이오필터

(가) 설계기준

o 설계 체류시간 : 8 sec				
o 반응기부피당 악취제거속도 : 14,168 OU/min/m ³ -reactor				
o 유입량	$\frac{1000 \text{ m}^3}{\text{min}}$	$\frac{1000 \text{ OU}}{\text{m}^3}$	$= 1 \times 10^6 \text{ OU/min}$	
o 반응기 충전물량	$\frac{1000 \text{ m}^3}{\text{min}}$	$\frac{1\text{min}}{60\text{sec}}$	$\frac{8 \text{ sec}}{}$	$= 133 \text{ m}^3$
o 반응기 총 악취제거능	$\frac{14168 \text{ OU}}{\text{min} \cdot \text{m}^3}$	$\frac{133 \text{ m}^3}{}$	$= 1.9 \times 10^6 \text{ OU/min}$	
o 바이오필터: 제거능 >> 유입량				

(나) 운전비와 시설비 분석 예

① 초기설비비

약 4억 ~ 5억

② 연간 조업 및 유지관리비

A. 연간전력소비

A-1. blower

1000 CMM ; 60 hp

$$\begin{aligned}\text{Consumption}_{\text{blower}} &= 60 \text{ hp} \times 0.75 \text{ kw/hp} \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ h} \\ &= 394,200 \text{ kwh}\end{aligned}$$

A-2. Pump

$$0.25 \text{ hp} \times 0.75 \text{ kw/hp} \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ h} = 1,650 \text{ kwh}$$

Total electric consumption = 395,850 kwh/년

Total electric cost = 395,850 × 55 won/kwh = 21,770,000원/년

B. 연간 물소비

약 100,000원/년 (건조 방지용 spray)

C. 인건비

자동화에 의해 절감

D. 연간 담체교체비 (5년에 1주기)

$$133 \text{ m}^3 \times 200,000 \div 5\text{년} = 5,320,000\text{원/년}$$

E. 영양제 및 약품비

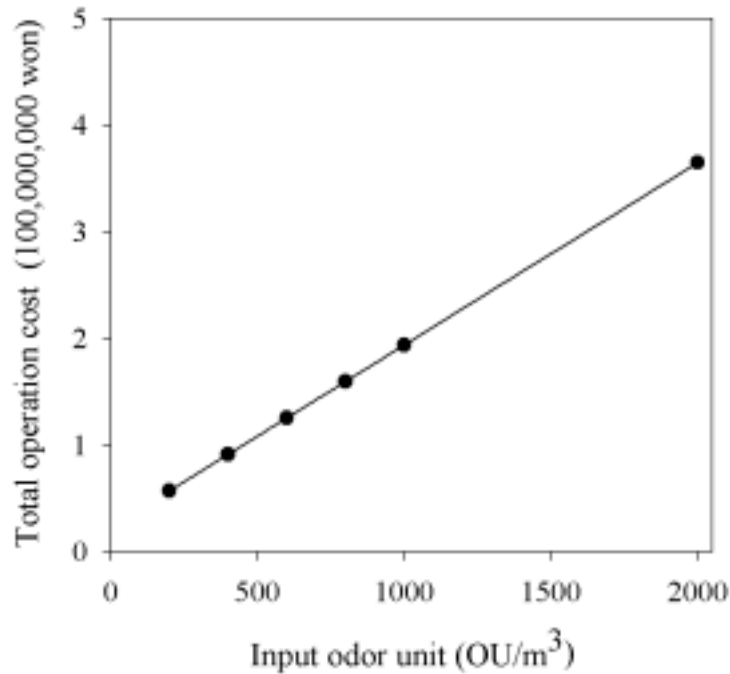
1,000,000 원/년

$$\text{Total} = 21,770,000 + 100,000 + 5,320,000 + 1,000,000 = 28,190,000 \text{ 원/년}$$

(3) 바이오필터와 활성탄 흡착탑의 경제성 비교

상기 설계기준을 바탕으로 악취농도 변화에 따른 활성탄 흡착탑과 바이오필터의 운전비와 설비비를 포함한 총괄 비용을 연도별로 비교 분석하였다. 탈취시설의 평균 수명은 10년을 기준으로 하였다.

활성탄 흡착법을 탈취시설로 사용할 경우 악취유입강도 변화에 따른 연간 운전비 변화를 <그림 14>에 도시하였다. 활성탄 흡착법은 악취 강도가 증가할 수록 운전비가 선형적으로 증가하였다(활성탄 교체비용이 비례하여 증가하기 때문).

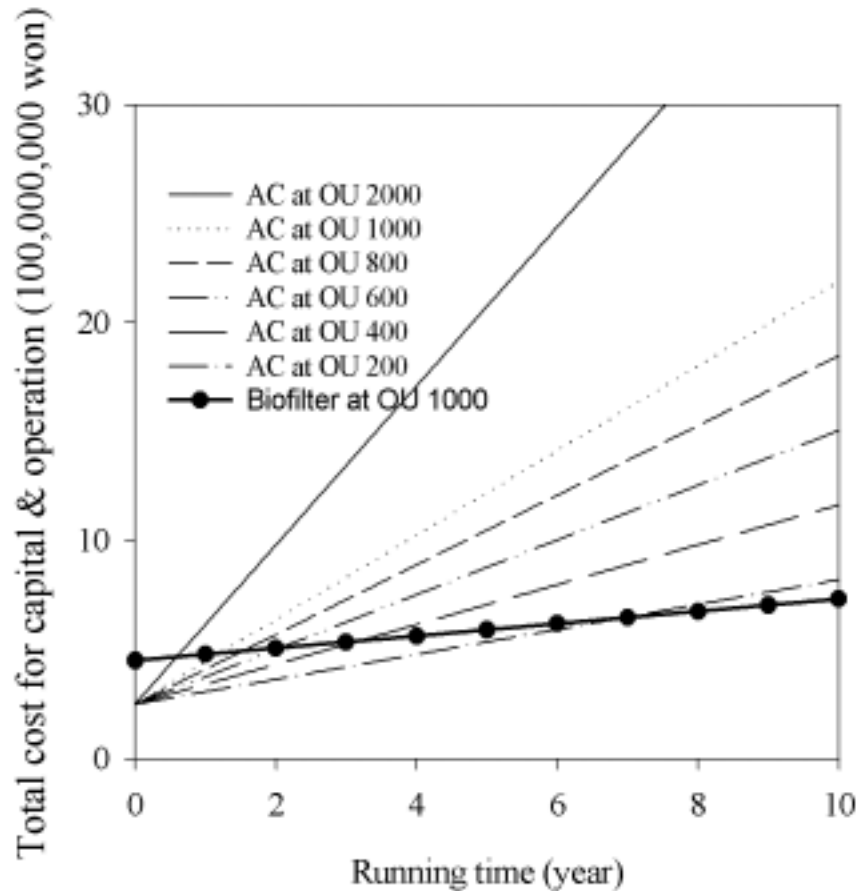


<그림 14> 악취강도 변화에 따른 활성탄 흡착법의 운전비 변화

악취강도 변화에 따른 년차별 누적 총괄탈취비용(시설비 + 운전비)을 활성탄과 바이오필터법에 대해 비교·분석하였다(<그림 15> 참조). 바이오필터법의 경우 초기 시설비가 활성탄의 약 2배가량 소요되었으나, 악취강도에 관계없이 운전비가 매우 저렴하였다(2,800만원 내외/년). 반면에 활성탄 흡착법의 초기 시설비는 저렴하였지만, 운전비(활성탄 교체비용)가 매우 많이 소요되었다. 특히, 악취 강도가 증가할수록 운전비가 급격하게 증가하였다.

바이오필터를 설치할 경우 활성탄 흡착법을 설치한 경우보다 처리비용이 저감되는 시점은 악취 강도가 각각 200, 400, 600, 800, 1000, 2000 OU/m³일 때 7, 3.5, 2.2, 1.8, 1.2, 0.6 년이 소요된다. 즉, 악취강도가 강할수록 바이오필터가 보다 경제적인 것으로 평가되었다. 본 연구에서 설계기준으로 사용한 악취강도 1000 OU/m³의 경우 탈취설비로 바이오필터를 설치할 경우 초기 설비비가 상대적으로 많이 소요되지만 약 1.2년 경과 후 활성탄 흡착법보다 경제적인 것으로

평가된다. 이상의 연구결과들을 종합해 볼 때 난지중계펌프장의 탈취설비는 악취 특성과 경제성 검토 결과 저비용 고효율의 바이오필터법이 가장 효과적인 기술로 사료된다.



〈그림 15〉 활성탄 흡착법과 바이오필터법의 사용기간에 따른 총괄 탈취비용의 비교

4. 결 론

본 연구는 바이오필터법, 활성탄 흡착법, 약액세정법, 지렁이 분변토를 이용한 탈취법의 4가지를 선정하여 각 탈취 공정별 성능평가 및 경제성 분석 연구를 통하여 효율적인 탈취방식을 제시하기 위해서 실험을 하였으며 다음과 같은 주요 결론을 얻었다.

가. 악취성상: 난지 중계펌프장의 악취는 질소계와 황화계 악취와 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)로 구성된 복합 악취로 악취물질과 휘발성 유기화합물을 동시에 제거할 수 있는 탈취기술의 선정이 필요하다.

나. 탈취기술별 성능:

- ① 바이오필터법: 다른 방식의 탈취법과 비교하여 98%이상의 우수한 탈취효율을 제공하였고, 장기 조업시에도 안정적인 탈취율을 제공하는 우수한 기술이었다. 바이오필터의 경우 습한 악취가스의 정화에도 매우 효과적이다.
- ② 활성탄 흡착법: 활성탄이 파괴점에 도달하기 전까지는 악취가스를 98~99% 탈취율을 나타내었다. 다만, 활성탄의 흡착력이 포화점에 도달함에 따라 제거율은 50%이하로 급격히 감소함을 보여 활성탄의 교환이나 재생을 필요로 하고, 수분함량이 높은 악취가스의 처리시에는 유지관리비가 높게 나타났다.
- ③ 약액세정법: 악취유발물질과의 중화반응에 의해서 약 80%의 낮은 탈취율을 나타내었으며, 또한 중화반응에 의한 VOC 제거에 비효과적이다.
- ④ 지렁이 분변토를 이용한 탈취법: 약 80%의 낮은 탈취율을 나타내었다.

따라서 난지 중계펌프장에서 발생하는 악취제어는 “바이오필터법”이나 “활성탄 흡착법”을 사용하여 효과적으로 제어할 수 있다.

다. 난지 중계펌프장의 탈취설비 규모.

- o 악취강도: $600 \sim 1000 \text{ OU/m}^3$, (설계기준: 1000 OU/m^3)
- o 악취가스 발생량 및 탈취시설 규모: $1000 \text{ m}^3/\text{min}$

라. 경제성 분석:

우수한 탈취성능을 제공하는 바이오필터와 활성탄의 경제성을 비교 분석하였다:

- ① 초기 설비비는 바이오필터의 경우 활성탄 흡착법보다 약 2배 규모이다.
- ② 운전비는 활성탄 흡착법의 경우 악취강도가 증가할수록 비례하여 증가한다.
- ③ 바이오필터를 설치할 경우 활성탄 흡착법을 설치한 경우보다 처리비용이 저감되는 시점은 악취 강도가 각각 200, 400, 600, 800, 1000, 2000 OU/m^3 일 때 7, 3.5, 2.2, 1.8, 1.2, 0.6년이 소요된다.
- ④ 난지 하수 중계펌프장 탈취시설에서 배출되는 악취강도가 1000 OU/m^3 일 때 탈취설비로 바이오필터를 설치할 경우 초기설비비가 상대적으로 많이 소요되지만 약 1~3년 경과 후 활성탄 흡착법보다 경제적인 것으로 평가되었다.

시정언 2000-R-10-4

난지도 지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안

—약취관리—

발 행 인	권 원 용
발 행 일	2000년 12월 31일
발 행 처	서울시정개발연구원 100-250 서울시 중구 예장동 산 4-5 전화: (02)726-1101 팩스: (02)726-1110

ISBN 89-8052-204-5-93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.