

난지도지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안

대기오염(휘발성 유기화합물질) 관리

김 윤 수

2000

시 정 연
2000-R-10-5

난지도 지역환경성 검토 및 친환경적 정비방안 - 대기오염(휘발성유기화합물질) 관리 -

Evaluation of Nanjido Landfill and Environmentally friendly Restoring Strategies
- Air Pollution(VOC Emissions) Management -

2000



서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

연구진

연구책임	김 운 수	• 도시환경연구부 연구위원
	신 동 천	• 연세대학교 교수/초빙선임연구위원
연 구 원	장 지 희	• 도시환경연구부 위촉연구원
위탁연구	동 중 인	• 서울시립대학교 환경공학부 교수

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

I. 研究의 概要

1. 研究의 背景 및 目的

- 다양한 유형의 폐기물이 선별 매립되지 못하고, 혼합·처리된 난지도 매립지는 지하수 오염, 토양오염 뿐만 아니라 대기오염물질의 관리에도 한계를 나타내고 있음.
- 난지도 매립지의 친환경성 부여를 통해 종래의 “버려진 땅” 또는 “매립지”라는 부정적 이미지를 개선하고, 한편으로는 안정화 기간내 적절한 활용으로 향후 토지이용의 합리성을 도모하고자 “기회의 땅”을 만들기 위한 타당성 검토가 활발하게 이루어지고 있음.
- 21세기 서울의 국제 경쟁력을 높이기 위한 서울시 도시구조 개편구상에서 제시된 5개 전략지역의 하나인 상암지역은 난지도를 포함하고 있어 난지도 매립지의 친환경성 부여는 한층 의미가 높아짐.
- 본 연구는 난지도 매립지 배출 휘발성유기화합물질(VOCs)의 배출량 예측, 유해성분 측정·분석, 오존오염 기여도 및 인체 위해도 평가, 그리고 유해가스 모니터링 등을 종합적으로 파악하고자 함.

2. 研究의 接近方法

- 매립 종료된 난지도의 사후관리를 위해 환경항목의 단선적인 측정·분석이 이루어지고 있으나, 특히 오염물질 자체의 속성에 기인한 인체 위해성이 높을 뿐만 아니라, 오존오염의 원인물질인 휘발성유기화합물질(VOCs)을 대상으로 보다 세분화된 연구를 진행
- 단기적으로는 난지도 및 인근지역의 환경 위해성을 저감하고, 장기적으로는 매립 종료 지역 토지이용에의 친환경성을 부여하여 “기회의 땅”을 만들기 위한 체계적인 관리방안의 모색

3. 研究의 範圍 및 對象分野

- 시간적 범위: 난지도 매립지를 포함하는 상암지역은 상암 새서울타운 계획의 중심지, 2002년 서울 환경월드컵 개최장소, 21세기 서울시 5개 전략지역의 하나인 점을 감안하여, 난지도 매립지 환경성 회복의 주된 요소인 VOCs 관리 및 모니터링 대책의 수립·시행을 2001년까지 완료를 일차적 목표로 설정
- 내용적 범위: ①VOCs 배출량 예측(LAEM 모델 활용), ②VOCs 포집 및 성분분석, ③ VOCs 공간확산에 의한 오존오염 기여도, 인체노출 및 환경위해도 분석, ④외국의 유해

- 물질 규제동향 및 매립지 VOCs 관리 사례분석, ⑤매립지 VOCs 모니터링 및 관리방안
- 대상적 범위: 지역적 범위는 난지도 매립지로 한정하며, 매립지 배출 유해가스(VOCs)에 의한 오존오염 기여도와 인체건강 위해성 평가분석은 매립지 토지이용 변화에 따른 이용시민 및 인근 지역주민의 건강위해 가능성을 포함하여 진행

4. 主要 研究結果

○ 배출량 예측

- LANDGEM(V=2.1) 모델을 활용한 난지도 매립지 유해가스 발생량 예측결과에 의하면, 1994년~1995년을 정점으로 하여 점차 매립가스 발생량은 급격한 감소 경향
- 매립지 배출 유해가스에 의한 위해 가능성은 배출가스 포집·활용과 같은 특별한 대책이 수반되지 않는 한, 향후 30년~40년 정도 장기간 경과 필요
- 매립지 배출 매립가스의 포집 및 주변지역 열원 활용계획을 감안하면, VOCs 배출량에 의한 대상지 및 주변지역에의 위해 가능성은 LANDGEM Model의 연도별 매립가스 발생 예측치에 비해 보다 단기간에 경감될 수 있을 것으로 추정

○ VOCs 측정대상·측정기간·측정지점

- 대기중에 존재하며 장기적으로 건강상 악영향을 미치며 광화학스모그의 전구물질로서의 기능과 반응 정도, OH라디칼과의 반응 속도 등과 측정분석 여건 등을 고려하여 선정
- 측정기간: 3월(제1차 측정), 5월(제2차 측정), 8월(제3차 측정), 10월(제4차 측정)
- 측정지점: 매립지의 상부·사면·배출공, 주변지역(가양·상암동 지역)

○ VOCs 성분분석 및 오염물질별 농도예측

- 난지도 매립지와 주변지역의 VOCs 농도를 측정한 결과 배출공·상부·사면·배경지역 순으로 농도가 높게 나타나고, 특히, 매립가스 배출공의 경우 Toluene 농도는 100~300ppb, Ethyl chloride, Ethylbenzene, o,m,p-Xylene, Chlorobenzene 및 Styrene의 경우에는 500~3000ppb 수준으로 매우 높은 농도수준을 보임.
- 제1매립지 보다 제2매립지의 오염농도가 낮은 수준이며, 이는 제2매립지의 경우에는 상부 복토가 완료된 상태에서 가스 추출작업이 진행되고 있기 때문임.
- 현재 가스배출구에서 VOCs가 직접적으로 대기중으로 배출되어 배출공 농도가 주변환경에 영향을 미칠 수 있으나, 향후 추출정을 통해 매립가스를 강제 추출 정제후 냉난방 열원 및 마포자원회수시설의 보조 연료로 활용할 것이므로 안정화 사업이 완료된 후의 오염농도는 한층 낮아질 것임.
- 현재의 VOCs 배출경향과 비교하여 약 75% 수준의 포집계획에 의하면, 매립지 상부의

경우 Benzene 1.5ppb, Toluene 15~20ppb, Ethylbenzene 0.30ppb, p-xylene 0.71ppb, m-xylene 5~15ppb, o-xylene 0.10ppb 의 수준이 될 것으로 예상되나, 사면의 경우 상부 복토로 감소되는 매립가스가 사면으로 배출될 가능성이 있으므로 향후 사면지역에 대한 집중관리가 필요함.

○ 오존오염 기여도 분석

- 난지도 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석결과와 1994년 이후 매립가스 배출량 감소경향과 연계하면, 평균 오존농도 변화율은 +0.15% (8월 21일), +0.3% (8월 22일)과 비교하여 한층 낮은 수준이 될 것으로 예측됨.
- 향후 매립가스 활용계획과 함께 포집량(약 75% 수준)이 확대되면 난지도 매립가스에 의한 오존오염 기여도는 더욱 저감될 수 있을 것으로 추정됨.

○ 인체건강 위해도 평가

- 발암성 물질의 위해도: 난지도 매립가스의 75% 포집 계획을 전제로 가장 최악의 호흡 노출 시나리오인 Lifetime 노출의 경우에도 모두 미국 환경청(U.S. EPA)의 안전기준을 초과하지 않는 수준으로 평가됨.
- 비발암성 물질의 위해도: 오염물질 노출에 의한 위해도(Hazard Quotient)지수는 매립지와 주변지역 모두 “1” 이하 수준으로 나타나, 모든 평가대상 지역에서의 위해도는 유의할 수준은 아닌 것으로 분석됨.

II. 政策建議

- 환경위해성 예비평가에 의하면 가스배출구에서 현재 직접적으로 대기중으로 배출하므로 농도가 높게 나타날 수 있으나, 향후 매립가스를 포집하여 지역난방 등의 열원으로 활용할 계획을 감안하면 오염농도 및 인체 위해도에 대한 큰 우려는 없을 것임.
- VOCs에 의한 인체건강 위해 우려를 최소화하기 위한 VOCs 모니터링 · 관리대책 필요

1. 매립지 배출가스 모니터링의 우선순위 선정: 매립가스 포집효율의 향상

- 최근 미국 환경청(EPA)에서 보고한 연구자료에 의하면, 효율적인 포집시설이 전제되면 약 85% 수준 이상 달성 가능한 것으로 제시하고 있음.
- 본 연구에서 상·하반기 측정·분석한 VOCs 농도자료를 바탕으로 난지도 기본설계보고서상의 75% 매립가스 포집 설정
-미국의 포집설계 효율을 적용하면 더욱 개선될 것으로 추정되어, 성인호흡 노출시나

리오에 의한 인체건강 위해성은 안전용량 이하 수준으로 분석됨.

2. 위해도 평가 4단계를 활용한 유해가스 모니터링 점검표의 작성 및 활용

- VOCs 배출양상·노출경로 파악·위해도 평가과정 등 일련의 과정이 유해가스 위해도 평가과정과 같은 절차를 통해 모니터링하는 점검표의 작성과 활용 필요
 - 유해가스 배출가능성 평가: 유해물질의 확인(Hazard Identification)
 - 배출경로 분석평가: 유해가스의 이동, 포집 및 처리단계 분석평가
 - 유해가스 노출과 위해도 평가: 노출평가와 위해성 결정(Exposure Assessment & Risk Characterization)

3. HDPE 포설과 복토에 따른 VOCs 측정·분석 및 위해도 평가

- 2000년 HDPE 포설과 복토 완료예정인 제1매립지와 제2매립지의 VOCs 모니터링 추가 실시(2001년 상반기 측정 및 분석)
- VOCs 모니터링을 통한 매립지 및 인근지역에서의 위해도 평가
- VOCs 배출 취약지점인 사면부 중심의 측정·관리(다만, 매립지 포집효율을 조정할 수 있는 예비능력을 반영한 실시설계의 전제조건 충족 및 사면녹화계획과 연계)

4. 매립종료 매립지 사후관리 규정의 법적 근거 보완

- 현행 폐기물관리법 제47조(폐기물처리시설의 사후관리), 시행령 제27조(사후관리대상), 시행규칙 제51조(사후관리기준 및 방법) 규정에 의해 4개 분야 49개 환경항목의 측정과 관리 시행
- 유해가스에 관한 한 벤젠·톨루엔·자일렌·에틸벤젠 등 4개 항목만 측정하여, 유해물질 배출과 영향 등을 판단하기에는 미흡하므로, 법적 측정항목을 포괄적으로 규정하여 인체·환경위해성을 상시 모니터링할 수 있도록 법적 근거의 수정·보완
- 매립지에서 가스탐침을 통해 조사된 결과에 의하면, 유해가스 농도는 측정시기에 따라 매우 가변적이므로, 가스 모니터링은 매립가스의 이동이 예상되는 시기에 7일~8일 정도를 선정하여 하루에 2번 정도 실시
- 매립성분 구분에 의한 매립지 특성별 배출가능 유해물질목록의 작성과, 이를 통한 VOCs 관련 사후관리 가이드 라인의 제시

5. 매립가스 재활용의 장기계획 평가

- 2001년 이후 매립가스 발생기간별 포집량과 위해성 저감간 공동선을 추구할 수 있는 계획수립과 평가

目 次

제 I 장 서론	3
제1절 연구배경 및 목적	3
제2절 연구내용 및 방법	5
제 II 장 난지도 매립지의 환경여건 분석	11
제1절 난지도 매립지의 환경특성	11
제2절 매립성분 특성	14
제3절 향후 난지도 매립지의 여건전망	14
제 III 장 난지도 매립지의 매립가스 발생량 예측	19
제1절 매립가스의 조성과 특징	19
제2절 발생량 분석과정	21
제3절 발생량 예측 및 분석	22
제 IV 장 난지도 매립지의 VOCs 측정·분석	29
제1절 발생량 예측모델을 활용한 유해가스 성분분석	29
제2절 매립가스 측정자료를 활용한 유해가스 성분분석	30
제3절 매립지 VOCs 농도와 도시지역 VOCs 농도간 비교평가	32
제4절 실험 측정분석	33
제5절 VOCs 측정결과	37
제 V 장 난지도 매립지의 VOCs 위해도 평가 및 오존오염 기여도 분석	57
제1절 위해도 평가과정	57
제2절 유해오염물질의 선정 및 위험성 확인	58
제3절 VOCs 성분별 위해도 분석	83
제4절 위해도 평가결과	109
제5절 위해도 비교평가	130
제6절 매립지 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석	131
제 VI 장 외국의 유해가스 모니터링 및 관리체계	141
제1절 유해대기오염물질 규제동향	141
제2절 도시지역 VOCs 농도분포	148
제3절 매립지 VOCs 모니터링 관리 사례	149
제4절 매립지 VOCs 모니터링 과정	153

제 VII 장 난지도 매립지의 유해가스 관리방안	161
제1절 선결과제	161
제2절 매립가스 모니터링의 우선순위 선정	163
제3절 위해성 평가 4단계를 활용한 VOCs 모니터링	164
제4절 HDPE 포설·복토에 따른 VOCs 측정·분석 및 위해도 평가	166
제5절 매립종료 매립지 사후관리 규정의 법적 근거 보완	166
제6절 매립시설 모니터링 및 매립가스 재활용의 장기계획 평가	167
 제 VIII 장 결론	 173
제1절 요약	173
제2절 정책제언	179
 참고문헌	 185
 부록1: 서울시 난지도 매립지에서의 연도별 VOCs 배출량 예측	 189
부록2: 서울시 난지도 매립지 VOCs 측정결과(1차~4차 측정)	191
부록3: VOCs의 호흡경로에 대한 발암등급과 기준	200
부록4: 서울시 난지도 매립지 VOCs의 위해도 평가: 매립가스 포집 Simulation Scenario	201
부록5: 4계절 VOCs 측정 평균에 의한 인체노출량과 위해도	207

表 目 次

<표 3-1> 도시지역 폐기물 매립지 매립가스의 주요 성분	19
<표 3-2> 캘리포니아주 66개 매립지 매립가스중 미량 유해가스 현황	20
<표 3-3> 매립지 배출 미량 매립가스의 구분	21
<표 3-4> 난지도 매립지의 폐기물 매립량	23
<표 4-1> LAEEM 모델에 의한 난지도 유해가스 배출성분 예측(1998)	29
<표 4-2> 난지도 매립지 및 주변지역 VOCs 측정결과	30
<표 4-3> 난지도 매립지 및 주변지역 VOCs 측정결과: 벤젠	31
<표 4-4> 도시지역의 VOCs평균농도('97. 2 - '99. 10)	32
<표 4-5> 분석대상물질-B.T.E.X 항목	33
<표 4-6> 분석대상물질-chlorinate 항목	34
<표 4-7> 시료채취 지점	35
<표 4-8> 지역별 VOC 농도 분포(1차측정 평균)	39
<표 4-9> 채취지점별 VOC 농도(2차측정 평균 I)	40
<표 4-10> 1차·2차 측정결과와 평균	41
<표 4-11> 지역별 VOC 농도분포(3차 측정)	44
<표 4-12> 지역별 VOC 농도분포(4차 측정)	48
<표 5-1> 연구대상 물질 중 발암성물질에 대한 위험성 확인 및 US EPA의 발암성등급 · 79	
<표 5-2> 연구대상 물질 중 비발암성물질에 대한 위험성 확인 및 US EPA의 발암성등급 81	
<표 5-3> 호흡 노출 시나리오에 따른 노출 변수	84
<표 5-4> 발암성 VOCs의 용량-반응 평가	85
<표 5-5> 비발암성 VOCs의 용량-반응 평가	86
<표 5-6> 매립지내에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월)	89
<표 5-7> 매립지내에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월)	89
<표 5-8> 매립지내에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)	90
<표 5-9> 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월)	91
<표 5-10> 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월)	91
<표 5-11> 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)	92
<표 5-12> 매립지내에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월)	93
<표 5-13> 매립지내에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월)	94
<표 5-14> 매립지내에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)	95
<표 5-15> 매립지 주변지역에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월) ...	96
<표 5-16> 매립지 주변지역에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월) ...	97
<표 5-17> 매립지 주변지역에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균) · 98	
<표 5-18> 제1매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월)	99

<표 5-19> 제2매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월)	100
<표 5-20> 주변지역의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월)	100
<표 5-21> 제1매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월)	101
<표 5-22> 제2매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월)	102
<표 5-23> 주변지역의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월)	103
<표 5-24> 제1매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월)	104
<표 5-25> 제2매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월)	105
<표 5-26> 주변의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월)	105
<표 5-27> 제1매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월)	106
<표 5-28> 제2매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월)	107
<표 5-29> 주변의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월)	108
<표 5-30> 매립지내에서의 발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 초과발암 위험도 산출(3월)	111
<표 5-31> 매립지내에서의 발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 초과발암 위험도 산출(5월)	112
<표 5-32> 매립지내에서의 발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 초과발암 위험도 산출(평균)	112
<표 5-33> 매립지 주변지역의 발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 초과발암 위험도 산출(3월)	113
<표 5-34> 매립지 주변지역의 발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 초과발암 위험도 산출(5월)	113
<표 5-35> 매립지 주변지역의 발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 초과발암 위험도 산출(평균)	114
<표 5-36> 매립지내에서 비발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 독성위험값 산출(3월)	115
<표 5-37> 매립지내에서 비발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 독성위험값 산출(5월)	115
<표 5-38> 매립지내에서 비발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 독성위험값 산출(평균)	116
<표 5-39> 주변지역내에서 비발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 독성위험값 산출(3월)	116
<표 5-40> 주변지역내에서 비발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 독성위험값 산출(5월)	117
<표 5-41> 주변지역내에서 비발암성 VOCs의 호흡노출에 의한 독성위험값 산출(평균)	117
<표 5-42> 제1매립지내 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)	118
<표 5-43> 제2매립지내 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)	119
<표 5-44> 주변지역 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)	119
<표 5-45> 제1매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)	120
<표 5-46> 제2매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)	121
<표 5-47> 주변지역 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)	121
<표 5-48> 제1매립지 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(10월 평균)	122
<표 5-49> 제2매립지 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(10월 평균)	123
<표 5-50> 주변지역 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(10월 평균)	123
<표 5-51> 제1매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(10월 평균)	124
<표 5-52> 제2매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(10월 평균)	125
<표 5-53> 주변지역 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(10월 평균)	125
<표 5-54> UAM 모델링 대상영역에서의 VOC 배출량	132
<표 5-55> 8월 21일 15시 오존농도 변화율: 평균오존농도 변화율(+0.15%)	135
<표 5-56> 8월 21일 15시 오존농도 변화율: 평균오존농도 변화율(+0.3%)	136

<표 6-1>	미국의 유해대기오염물질(HAP) 배출시설의 분류	142
<표 6-2>	WHO의 위해성 평가를 위해 선정된 물질	145
<표 6-3>	네덜란드의 유해성 한계 고찰 방법	146
<표 6-4>	네덜란드의 유해대기오염물질에 대한 대기질기준	147
<표 6-5>	외국 도시지역의 VOCs 농도 분포	148
<표 6-6>	Staten Island (New York City, New York)의 VOC 측정 농도	148
<표 6-7>	Hideaway Landfill 배출 유해가스에 의한 위해도 평가	149
<표 6-8>	매립지 침출수 조사 결과(예: Middleton, Dane County, Wisconsin)	150
<표 6-9>	매립지 인근 지하수 모니터링 결과예시	150
<표 6-10>	매립지 인근 지하수 모니터링 -1990년 12월 및 1991년 1월	151
<표 6-11>	매립지 가스 VOC 농도 및 주변 빌딩의 실내 대기질 추정	151
<표 6-12>	지점별 목표 오염물질의 산술평균(ppbv)	152
<표 6-13>	매립지 매립가스 모니터링 구분: 스크리닝과 특별 모니터링	154
<표 7-1>	배출가능성 평가: 예시1	165
<표 7-2>	배출경로 분석평가: 예시2	165
<표 7-3>	VOCs 노출 및 위해도 평가: 예시3	165
<표 7-4>	매립가스 모니터링 항목 및 주기	167

그 립 목 차

<그림 1-1>	연구수행 흐름도	6
<그림 2-1>	난지도 매립지의 지형적 특성과 상부관리	11
<그림 2-2>	난지도 및 주변지역의 기온분포 특성	12
<그림 2-3>	난지도 매립지 및 주변지역의 풍향·풍속현황	13
<그림 2-4>	난지도 매립지의 지형적 특성과 주변 여건	14
<그림 2-5>	난지도 매립지의 토지이용 여건전망	15
<그림 3-1>	난지도 매립지 매립자료를 입력한 LANDGEM 모델의 초기화면	24
<그림 3-2>	LANDGEM 예측결과: Methane 배출량	25
<그림 4-1>	난지도 매립지 및 주변지역 VOC 측정지점	35
<그림 4-2>	제1매립지 사면(A) 및 상부·배출공(B,C,D) VOCs 측정(3차·4차측정) ·	36
<그림 4-3>	제2매립지 사면(A) 및 상부·배출공(B,C) VOCs 측정(3차·4차측정)	36
<그림 4-4>	분석 모식도	38
<그림 4-5>	제1매립지 VOC 측정결과 평균	41
<그림 4-6>	제2매립지 VOC 측정결과 평균	42
<그림 4-7>	난지도 주변지역 측정결과 평균	42
<그림 4-8>	1매립지 농도분포	45
<그림 4-9>	2매립지 농도분포	46
<그림 4-10>	배경지역 농도분포	47
<그림 4-11>	1매립지 농도분포(4차 측정)	49
<그림 4-12>	2매립지 농도분포(4차 측정)	50
<그림 4-13>	배경지역 농도분포(4차 측정)	51
<그림 5-1>	인체건강 위해확률 비교	57
<그림 5-2>	인체건강 위해도 평가단계	58
<그림 5-3>	제1매립지 발암성 VOCs에 의한 인체 위해도 평가	126
<그림 5-4>	제2매립지 발암성 VOCs에 의한 인체 위해도 평가	127
<그림 5-5>	주변지역 발암성 VOCs에 의한 인체 위해도 평가	127
<그림 5-6>	제1매립지 비발암성 VOCs에 의한 인체 위해도(HQ) 평가	128
<그림 5-7>	제2매립지 비발암성 VOCs에 의한 인체 위해도(HQ) 평가	129
<그림 5-8>	주변지역 비발암성 VOCs에 의한 인체 위해도(HQ) 평가	129
<그림 5-9>	위해도 비교평가	130
<그림 5-10>	서울 기상청(풍향 빈도)	133
<그림 5-11>	서울 기상자료	134
<그림 5-12>	오존오염 기여도 분석모사(8월 21일)	135
<그림 5-13>	오존오염 기여도 분석모사(8월 22일)	136

〈그림 6-1〉	캘리포니아 사크라멘토시의 매립지 토지이용에 따른 매립가스 모니터링 설치지점	155
〈그림 6-2〉	영국 Chadderton 매립지 매립가스 추출공 모니터링	157
〈그림 7-1〉	매립지 매립가스의 에너지 회수체계도	162
〈그림 7-2〉	난지도 매립지 매립가스 포집공 위치도	162

第 I 章 서론

제 1 절 연구 배경 및 목적

제 2 절 연구내용 및 방법

제 I 장 서론

제 1 절 연구배경 및 목적

1. 연구배경

난지도 쓰레기 매립지의 친환경성 부여를 통해 종래의 “버려진 땅” 또는 “폐기물 매립지”라는 부정적 이미지를 개선하고, 한편으로는 안정화 기간내 적정한 활용으로 향후 토지이용의 합리성을 도모하고자 하는 시각에서 “기회의 땅”을 만들기 위한 타당성 검토가 활발하게 이루어지고 있다. 더구나 21세기 서울의 국제 경쟁력을 높이기 위한 서울시 도시구조 개편구상에서 제시된 5개 주요전략지역의 하나인 상암지역은 난지도 매립지를 포함하고 있어 난지도 매립지의 친환경성 부여는 한층 의미가 커지고 있다.

그러나 난지도 매립지의 경우 서울시 지역에서 배출된 모든 유형의 폐기물이 체계적으로 선별 매립되지 못하고, 혼합·처리됨으로써 지하수 오염, 토양오염 뿐만 아니라 대기오염물질의 합리적 관리에도 한계를 나타내고 있다. 이러한 환경적 요인은 「상암 새서울 타운」 발전구상의 장애요인으로 작용하기 때문에 난지도 매립지의 환경관리는 시급히 해결하여야 할 당면과제로 대두되고 있다.

한편 현행 폐기물관리법 제47조(폐기물처리시설의 사후관리), 동법 시행령 제27조(사후관리대상), 시행규칙 제51조(사후관리기준 및 방법) 등의 규정에 따라 매립 종료된 매립지의 사후관리가 행해진다. 이에 1993년 이후부터 사용 종료된 난지도 폐기물 매립시설을 대상으로 4개 분야 49개 환경항목을 측정하여 환경오염 여부에 관한 지속적인 관리를 도모하고 있다. 그러나 매립지에서 배출되는 휘발성유기화합물질(VOCs)의 경우 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠 등 4개 항목만 측정·분석하고 있으며, VOCs 배출량·배출성분·인체 위해도 가능성 등에 관한 분석은 다소 미흡한 상태이다.¹⁾

그리고 폐기물관리법에서 규정하고 있는 대기오염(일반오염물질 및 VOCs 일부), 침출수 등

1) 휘발성유기화합물질(VOC)은 상온, 상압에서 기체상태로 존재하는 모든 유기성물질을 통칭하는 의미로 사용되며, 대기환경보전법시행령 제39조 제1항에서 탄화수소류중 레이디기압이 10.3킬로파스칼(또는 1.5psi)이상인 석유화학제품·유기용제, 기타물질로서 환경부장관이 정하여 고시하는 물질로 정의되고 있다. 휘발성 유기화합물질은 일반적으로 자동차 운행의 급중(주로 가솔린)과 유류 및 유기용제 사용확대로 배출량이 증가하고 있으나, 인간의 주변환경 및 건강에 직접적으로 유해한 영향을 미치거나 대기중에서 광화학반응을 참여하여 오존 생성의 주요원인으로 작용하게 된다. 특히 VOC는 다양한 배출원에서 배출되나, 우리 나라의 경우 휘발성유기화합물질 배출량 산정은 도장산업, 자동차, 주유소, 유류저장 및 출하시설, 인쇄, 도로포장, 세탁소 등의 배출원에 주된 관심을 두고 있으며, 매립완료된 지역에서의 VOC 배출량, 배출성분, 주변지역 환경영향 등과 관련된 연구는 다소 미흡한 실정임.

의 환경항목은 매립 종료된 매립지의 사후관리 차원에서 단선적으로 측정·분석하고 있는 정도이다. 특히 대기오염물질 자체의 속성에 기인한 인체 위해성이 높고, 오존오염의 원인물질인 휘발성유기화합물질(VOCs)에 관해서는 보다 세분화된 연구가 필요한 실정이다.

외국의 경우 매립된 쓰레기의 배출원별 성상구분에 따라 Class I, Class III와 같은 유형구분에 의한 사후관리를 합리적으로 시행하고 있을 뿐만 아니라, 토지이용 정도를 달리하고 있음은 유의할 사항이다.

이에 난지도 지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안의 일환으로서, 매립지의 특성을 보다 면밀히 검토하여 위해성이 높은 휘발성유기화합물질의 과학적인 배출량 예측과 배출성분 분석, 그리고 토지이용을 고려한 대상지 및 주변지역에서의 건강 위해도 등을 종합적으로 분석하여 효과적인 VOCs의 모니터링 및 관리대책 수립이 필요하게 된다.

2. 연구목적

최근 외국에서는 매립종료된 토지 및 주변 지역을 개발하여 체육시설, 상업시설 및 주거시설 등으로 이용하는 수요가 점증하고 있으며, 이와 병행하여 환경복원을 통한 자연성 회복에도 각별한 관심을 경주하고 있다. 국내의 경우에도 외국의 매립종료 매립지의 토지이용 패턴과 유사한 맥락에서 매립 종료된 매립지의 토지이용과 환경보전·복원에 관한 논의가 점차 활기를 띠고 있다.

특히 난지도 매립지의 환경성을 검토하고, 친환경성을 부여하고자 하는 최근의 움직임과 노력은 “환경적으로 건전하며, 지속가능한 도시발전”이라는 대의명제와 직결된다. 뿐만 아니라 부정적 의미가 내재된 매립지 토지를 환경성 회복을 통해 더욱 친환경적인 공간으로 재생하고, 보전하는 것은 환경도시 창출을 위한 적극적인 사례가 될 수 있으며, 나아가 국내 여타 매립지 토지이용의 시금석이 될 가능성이 높다.

그러나 폐기물 매립시설의 특성상 매립가스에 관한 환경 위해도는 향후 매립지 토지이용의 주된 결정변수가 될 수 있음을 감안하면, 사전에 매립지로부터 인체건강에 실질적으로 유해한 영향을 미칠 수 있는 대기오염물질의 발생 정도, 대상지역 및 주변지역 오염도, 위해성 평가, 그리고 모니터링 및 관리대책 등이 당면과제로서 대두되게 된다.

이에 본 연구에서는 난지도 매립지 배출 휘발성유기화합물질의 배출량 예측, 유해성분 측정·분석, 매립지 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석, 인체 위해도 평가, VOCs 모니터링 및 관리대책 등을 종합적으로 파악하고자 한다. 이를 통하여 단기적으로는 난지도 지역의 환경위해성을 저감하고, 장기적으로는 매립 종료지역 토지이용에의 친환경성을 부여함으로써 향후 서울시민이 친근하며 안전하게 난지도를 이용할 수 있도록 함에 기여하고자 한다. 연구목적을

요약하면 다음과 같다.

첫째, 난지도 매립지 배출 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 배출량 예측

둘째, VOCs의 유해성분 분석, 난지도 매립지 및 주변지역에 대한 오존오염 기여도 및 위해도 평가

셋째, 난지도 매립지에 대한 효과적인 VOCs 모니터링 및 관리대책 마련

제 2 절 연구내용 및 방법

1. 연구내용

○ 시간적 범위

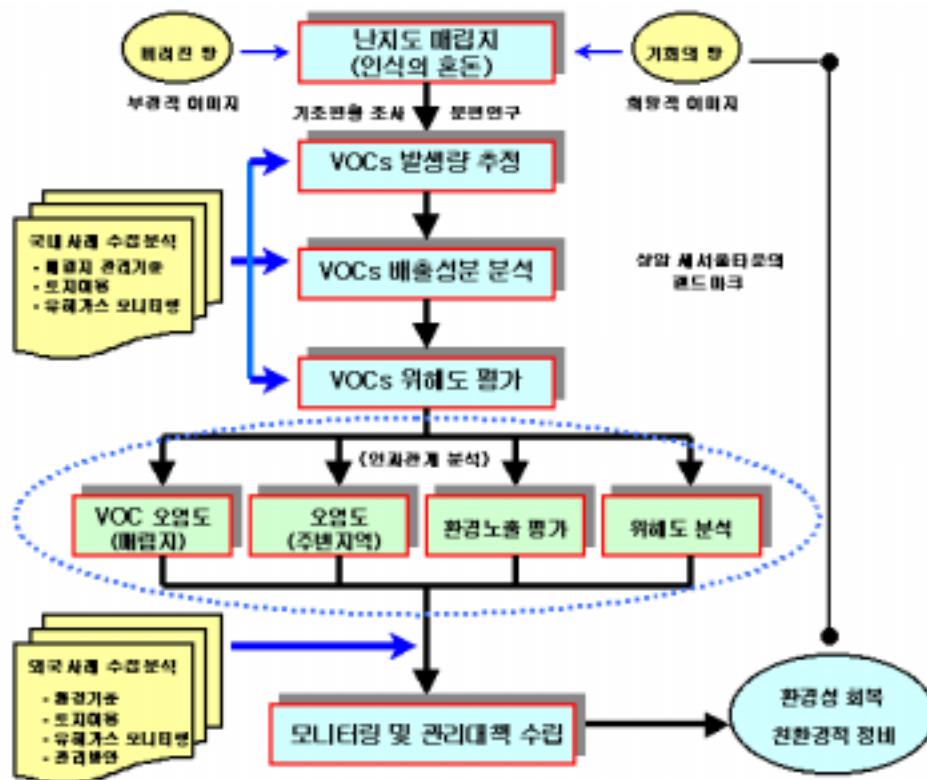
난지도 매립지를 포함하는 상암지역은 상암 새서울타운 계획의 중심지, 2002년 서울 환경월드컵 개최장소, 21세기 서울시 5개 전략지역의 하나로서 의미가 한층 더해가는 지역이다. 이를 감안하여 본 연구에서는 난지도 매립지 환경성 회복의 주된 요소인 VOCs 관리 및 모니터링 대책의 수립·시행을 2001년까지 완료를 일차적 목표로 설정한다.

○ 내용적 범위

- 휘발성유기화합물질 배출량 예측(LAEEM 모델 활용)
- 휘발성유기화합물질 성분분석(유해가스 포집 및 분석)
- 휘발성유기화합물질 공간확산에 의한 오존오염 기여도, 인체노출 및 환경위해도 분석
- 외국의 유해물질 규제동향 및 매립지 VOCs 관리 사례분석
- 매립지 VOCs 모니터링 및 관리방안

○ 대상적 범위

본 연구의 지역적 범위는 난지도 매립지로 한정하며, 매립지 배출 유해가스(VOCs)에 의한 오존오염 기여도와 인체건강 위해성 평가분석은 매립지 토지이용 변화에 따른 이용시민 및 인근 지역주민의 건강위해 가능성을 포함하여 진행하기로 한다.



〈그림 1-1〉 연구수행 흐름도

2. 연구방법

난지도 매립지 배출 VOCs의 배출량, 유해가스 성분, 대상지역 및 주변지역에의 오존오염 기여도와 인체건강 위해도, 그리고 효과적인 VOCs 모니터링과 관리대책 등을 체계적으로 살펴보기 위해, 일차적으로 VOCs 배출량 예측과 분석을 위한 접근방법은 현재 미국 EPA에서 권장하고 있는 LAEEM(현재 LANDGEM Version2.1으로 업그레이드됨) Model을 활용하고 오존오염 기여도 분석은 UAM모델링에 의해 분석하고자 한다.

그리고 현행 폐기물관리법상에 제시된 사후 매립시설 관리항목 가운데 4가지 VOCs 항목의 범주를 확대·분석하고, 또한 측정지점을 매립지 상부·배출공·사면·주변지역 등 다양하게 선정하여 향후 VOCs 관리를 합리적으로 유도하기 위해 현장 실험분석을 실시하도록 한다. 특히 매립지 배출 유해가스의 계절별 발생특성과 성분을 보다 객관적으로 살펴보기 위해 상반기 측정(3월·5월)과 하반기 측정(8월·10월)을 실시하고자 한다.

한편 매립 종료된 매립지의 유해가스 모니터링과 관리대책 등을 살펴보기 위해 국내·외 관련문헌 수집·분석을 통해, 난지도 매립지 관리의 제반 시사점을 도출하고자 한다.

연구방법

- 현장조사 및 문헌연구
 - 매립가스 배출양상/ 매립가스 포집망 분석
 - 매립종료 매립지 유해가스 모니터링 및 관리대책 도출을 위한 국내·외 문헌연구
- 배출량 모델링
 - VOC 배출량 예측 및 분석(미국 EPA에서 권장하고 있는 LAEEM, LANDGEM2.1 활용)
 - VOC 배출에 의한 주변 지역 오존오염 기여도 분석(UAM Model)
- 유해가스 성분측정 및 위해도 평가
 - VOC 배출성분 분석: 인체 위해도 가능성이 높은 VOC 성분 여부 분석
 - VOC 배출량 및 배출성분에 의한 인체 위해도 평가

第Ⅱ章 난지도 매립지의 환경여건 분석

- 제 1 절 난지도 매립지의 환경특성
- 제 2 절 매립성분 특성
- 제 3 절 향후 난지도 매립지의 여건전망

제 II 장 난지도 매립지의 환경여건 분석

제 1 절 난지도 매립지의 환경특성

본 연구의 대상지역인 난지도는 원래 한강변에 위치한 저지대로서 북측이 샛강으로 둘러싸인 하중도였다. 1970년대 말 범람하는 홍수를 방지하기 위하여 제방을 쌓았으나, 그 이후 1978년 3월부터 서울시에서 배출되는 각종 쓰레기를 매립하기 시작한 후 1993년 3월까지 발생쓰레기 전량을 매립하였다.

난지도 매립지는 1993년 3월말 폐쇄되기까지 약 92,000천 m^3 의 매립 폐기물로 인하여 94m~98m 높이의 거대한 쓰레기 산을 형성하여, 1,094,000 m^3 의 제1매립지와 707,000 m^3 의 제2매립지로 분할되어 있으며, 매립지 사이에 면적 105,435 m^2 의 곡간부가 위치하고 있다. 매립지내에는 매립지 출입구 4개소, 현재 내부운반도로, 한전 고압선 철탑 3개소, 경비실 4개소 등이 위치하고 있고 유지관리를 위한 가설측구 집수정 및 사면유출 침출수를 집수하기 위한 배제 시설등이 설치되어 있다.

한편 매립된 폐기물의 깊이가 약10m인 매립지의 동측은 난지도 관리사업소와 폐기물 처리관련시설이 위치하고, 북측 난지천변에는 난지도 정착민의 조립식 주택단지가 형성되어 있으며, 상부지역에 고물야적장이 위치하고 있다.

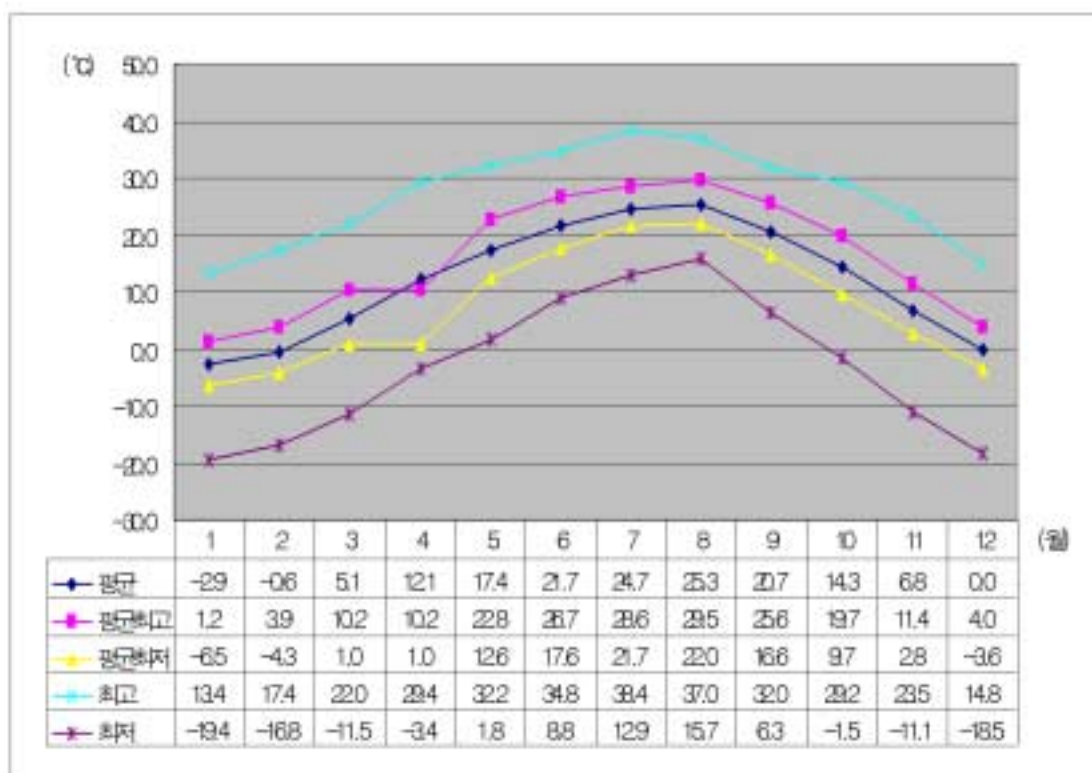


〈그림 2-4〉 난지도 매립지의 지형적 특성과 상부관리

과거 매립지 상부 및 사면부의 복토는 사토 및 대형건설폐자재로 임시 복토되어, 최종 복토의 주기능인 가스 누출억제, 우수배제, 식재형성 등에는 별다른 도움을 주지 못하는 것으로 조사된 바 있다. 특히 가스누출 및 매립지 균열현상의 경우, 가스누출지점은 균열부 및 사면부, 복토상태가 불량한 복토면 상부로 편중되어 누출되고 있으며, 또한 부등침하에 의해 함몰된 지점의 가스 발생량이 큰 것으로 조사되었다.

최근까지 총 7개지역에서 심한 균열이 발견되었으며 대부분 산업폐기물 매립구역으로 40~90m 길이로 분포하고 있는 것으로 조사되었으나, 현재는 이들 지역에 대한 복원공사가 진행되고 있으며 상부에 HDPE 차수막을 설치하고 상부 복토를 하여 차단층을 조성함으로써 과거와는 다른 양상을 보이고 있다(<그림 2-1> 참조).

난지도 매립지 배출 휘발성 유기화합물의 배출·확산에 주된 영향을 미치는 요인인 기상·기후조건의 경우 계절적 기후 특징은 대륙성 기후로서 여름에는 고온다습(평균최고 25.3℃, 최고 상대습도는 81%)하고 겨울에는 한냉건조(평균최저 영하 19.4℃, 최저 상대습도는 62%)가 특징적이다. 그리고 지난 20년간의 평균기온은 12.1℃, 평균최고는 16.8℃, 평균최저는 8.1℃를 나타내고 있다.



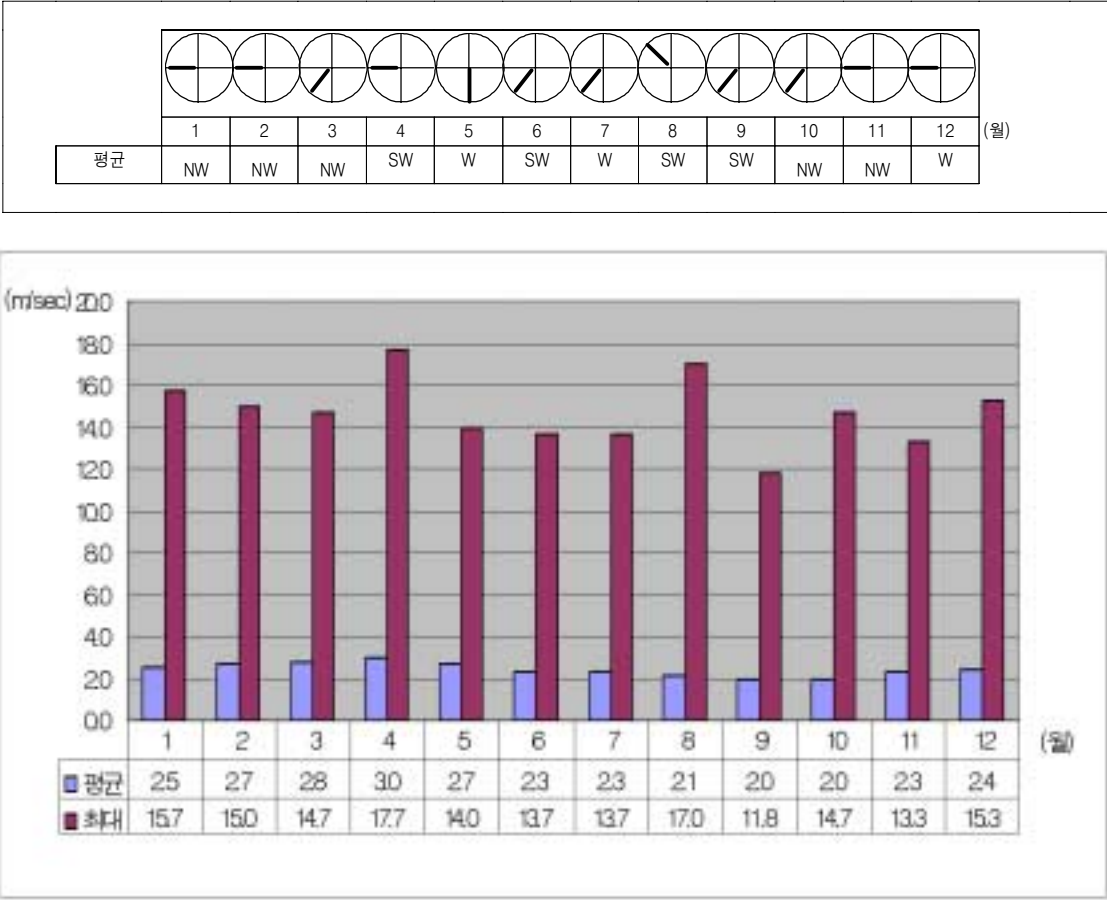
자료: 서울시, 밀레니움 공원의 비전: 난지도의 환경친화적 개발을 위한 국제 심포지움 자료집, 1999. 12.

<그림 2-2> 난지도 및 주변지역의 기온분포 특성

1995년기준 대상지역의 24시간 평균풍속은 2.4m/sec 이며 계절별 주풍향 및 평균풍속은 춘기(3월~5월)에 서풍(빈도17.0%), 및 2.8m/sec, 하기(6월~8월)에 서풍(빈도 15.9%) 및 2.2m/sec이고, 추기(9월~11월) 및 동기(12~2월)에 주풍향은 북동풍(각각 15.2%, 13.6% 빈도) 및 2.1m/sec, 2.5m/sec로 조사되었다.

최근 서울시 보건환경연구원 조사자료(2000.3.22~4.4)에 의하면, 매립지 상부의 경우 주변에 비해 강한 풍속이 나타나고 있으며, 매립지 상부풍속은 평균 3.5m/sec, 최대 9.3m/sec인 것으로 나타났다(서울시, 2000).

그러나 서울지역내 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 단일 배출원으로서 난지도 매립지는 상당한 비중을 점유하는 오염원임을 감안하면, 여름철 서풍·남서풍으로 인한 주변지역 VOCs 확산영향이 다소 우려될 수 있으나, 공간확산을 통한 오염물질의 배출 및 이동을 방지할 수 있는 뚜렷한 보호조치는 현재까지 이루어지고 있지 않은 상태이다.



자료: 서울시, 밀레니움 공원의 비전: 난지도의 환경친화적 개발을 위한 국제 심포지움 자료집, 1999. 12.

<그림 2-3> 난지도 매립지 및 주변지역의 풍향·풍속현황

제 2 절 매립성분 특성

현재 난지도 매립지의 쓰레기층은 매립당시의 상황에 따라 그 성분에 차이를 보임이 특징적이다. 관능법을 통한 매립폐기물의 겉보기 성상과 물리적 조성의 분석결과, 제1매립지 및 제2매립지의 가연성분이 각각 41.4%, 18.8%, 불연성분이 각각 58.6%, 81.2%로 조사되었다. 또한 전체 폐기물 중 음식류는 식별할 수 없었으며 토사는 제1매립지, 제2매립지 각각 44.6%, 50.2%였다.

3성분 분석에 의하면 전체 가연성 고형분에 대한 휘발성 고형분이 제1매립지, 제2매립지 각각 31.0%, 16.7%에 해당하였다. 특히 화학적 조성 분석결과 C, H, O 등의 성분이 불규칙적으로 나타났으며, 평균 탄소함량이 14.15%에 불과하고, 이 중 상당량이 비닐 플라스틱에 의한 것으로 매립층내 혐기성 분해가 상당히 진행된 것으로 볼 수 있다. 원소분석결과로 추정된 발열량은 각각 2,368kcal/kg, 1,054kcal/kg으로 계산되었다(서울시, 1996).

상기와 같은 난지도 매립지의 매립성분 특성은 매립종료후 VOCs 배출량 산정의 주된 입력자료로서 활용되며, 한편으로는 배출량 산정이후 배출성분 분석, 오염도, 위해도 산정의 기초정보로서 이용되고 있다.



〈그림 2-4〉 난지도 매립지의 지형적 특성과 주변 여건

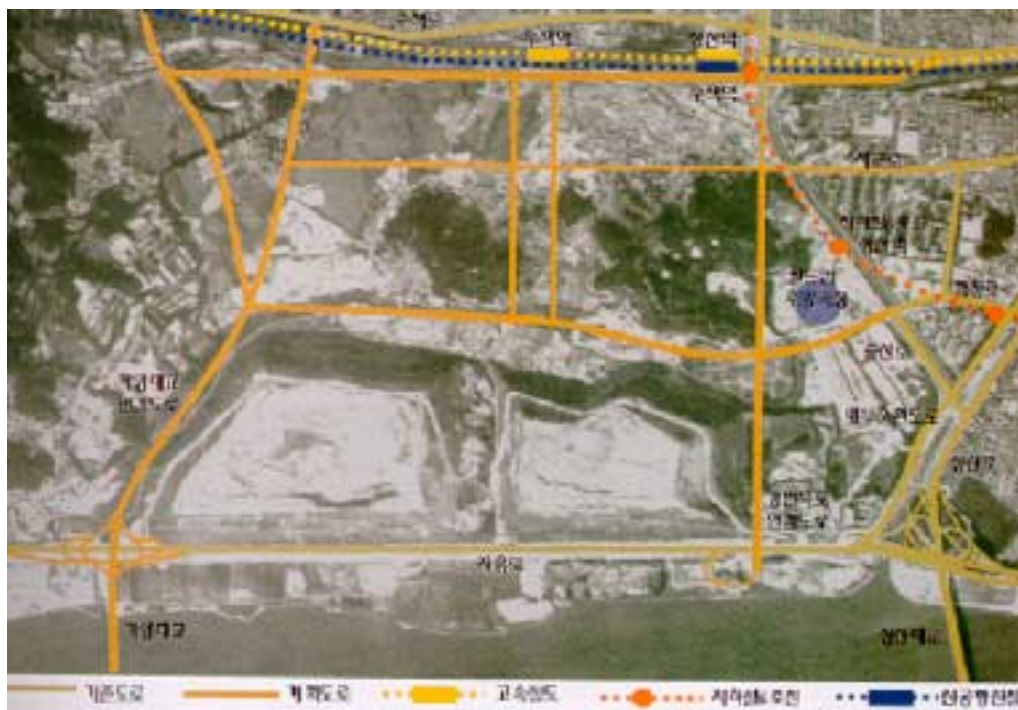
제 3 절 향후 난지도 매립지의 여건전망

현재 서울 도심에서 서쪽으로 7km 거리에 위치하고 있는 난지도 매립지는 도시계획상 폐기물 처리시설로 지정되어 있으며, 매립지 안정화 공사가 활발하게 진행되고 있는 상태이다. 특히 난

지도 매립지 인근의 상암동 일대에는 상암택지개발사업 및 주거환경개선사업, 그리고 수색지구 상세계획이 진행되고 있으며, 장기적으로 서울 서북부의 부도심으로 발전될 것으로 기대되고 있다.

또한 수도권 순환도로, 신공항 고속도로 및 철도, 경의선 철도 및 지하철 6호선 등이 직·간접적으로 연결되어 있다. 뿐만 아니라 남측의 자유로, 북측의 수색로와 합정로, 서측의 가양대교, 동측의 성산대교 등과의 광역접근성이 양호하여 향후 서울시의 주요 교통 요충지가 될 전망이다(서울시, 2000).

상기와 같은 지리적 여건으로 인해 난지도 토지이용은 한층 의미가 더해가고 있으며, 이와 병행하여 향후의 토지이용에 대비한 환경친화적 정비를 위한 지반안정성·환경성 등의 사전검토 및 위해성의 제어가 선행되어야 함을 알 수 있다. 특히 난지도 매립지에서 배출되는 휘발성 유기화합물질(VOC)의 경우 인체노출 가능성, 그리고 이에 따른 인체건강 위해성을 사전에 진단하고 대처할 수 있는 대책마련이 난지도 매립지 토지이용의 선결과제가 됨을 시사하게 된다.



〈그림 2-5〉 난지도 매립지의 토지이용 여건전망

第Ⅲ章 난지도 매립지의 매립 가스 발생량 예측

제 1 절 매립가스의 조성과 특징

제 2 절 발생량 분석과정

제 3 절 발생량 예측 및 분석

제 III 장 난지도 매립지의 매립가스 발생량 예측

제 1 절 매립가스의 조성과 특징

1. 매립가스의 주요 성분

매립가스는 일반적으로 폐기물의 유기물 분해과정에 의해 다량으로 발생하는 주요가스(예: 메탄, 이산화탄소), 그리고 매우 소량이지만 인체건강 및 환경에 유해한 여러 종류의 미량가스로 구분된다. 현재 일반적으로 알려진 매립가스의 주요 성분으로는 암모니아(NH_3), 이산화탄소(CO_2), 일산화탄소(CO), 수소(H_2), 황화수소(H_2S), 메탄(CH_4), 질소(N_2), 산소(O_2) 등이다(〈표 3-1〉 참조).

〈표 3-1〉 도시지역 폐기물 매립지 매립가스의 주요 성분

성 분	% (건용적 기준)
메탄	45 ~ 60
이산화탄소	40 ~ 60
질소	2 ~ 5
산소	0.1 ~ 1.0
황화물, 아황산, 메캅탄 등	0.0 ~ 1.0
암모니아	0.1 ~ 1.0
수소	0.0 ~ 0.2
일산화탄소	0.0 ~ 0.2
미량성분	0.01 ~ 0.6
특징	
온도 (°C)	37.4 ~ 48.4
비중	1.02 ~ 1.06
함수율	포 화
고위발열량	15,000 ~ 20,000

자료: 남궁 완 · 이동훈 공역(1997).

2. 미량 유해가스 성분

인체건강과 환경 위해성이 높은 미량 유해성분은 매우 다양한 것이 특징이나, 캘리포니아주 통합폐기물 관리국이 66개 매립지를 대상으로 채취한 시료 분석자료에 의하면, 다양한 VOCs 물질이 배출되는 것으로 밝혀지고 있다(〈표 3-2〉, 〈표 3-3〉 참조). 특히 미국 환경청(EPA)의 매립지 매립가스 관리규정에 따라 NMOC의 배출량이 50Mg/년 이상일 경우에는 연방환경기준

(40 Code of Federal Regulation Part 62) 규정에 의거하여 배출규제(Compliance Program)가 적용되어, 유해가스에 의한 위해 가능성에 각별한 주의를 기울이고 있다.

〈표 3-2〉 캘리포니아주 66개 매립지 매립가스중 미량 유해가스 현황

성 분	농 도 (ppbV)		
	중간값	평 균	최고값
아세톤	0	6,838	240,000
벤젠	932	2,057	39,000
클로로벤젠	0	82	1,640
클로로포름	0	245	12,000
1,1-디클로로에탄	0	2,801	36,000
디클로로메탄	1,150	25,694	620,000
1,1-디클로로에탄	0	130	4,000
디에틸렌클로라이드	0	2,835	20,000
trans-1,2-디클로로에탄	0	36	850
2,3-디클로로프로판	0	0	0
1,2-디클로로프로판	0	0	0
에틸렌브로마이드	0	0	0
에틸렌디틀로라이드	0	59	2,100
에틸렌옥사이드	0	0	0
에틸벤젠	0	7,334	87,500
메틸에틸케톤	0	3,092	130,000
1,1,2-트리클로로에탄	0	0	0
1,1,1-트리클로로에탄	0	615	14,500
트리클로로에틸렌	0	2,079	32,000
톨루엔	8,125	34,907	280,000
1,1,2,2-테트라클로로에탄	0	246	16,000
테트라클로로에탄	260	5,244	180,000
비닐클로라이드	1,150	3,508	32,000
스티렌	0	1,517	87,000
비닐아세테이트	0	5,663	240,000
자일렌	0	2,651	38,000

자료: 남궁 완 · 이동훈 공역(1997).

한편 영국에서 행해진 연구결과에 의하면, 3곳의 샘플링 매립지에서 채취한 154개 화합물 가운데 116 항목의 유기화합물이 발견되었으며, VOCs의 함유비율이 높은 것으로 분석되고 있다. 이와 같이 매립지 매립가스에서 VOCs의 오염농도가 높은 원인은 일반적으로 VOCs를 함유한 산업·상업폐기물이 반입되어 매립시간이 오래 경과된 경우에 해당되며, 반면에 유해폐기물 처

분이 금지된 새로운 매립지에서는 VOCs의 농도가 상대적으로 낮은 수준인 것으로 평가되고 있다.

〈표 3-3〉 매립지 배출 미량 매립가스의 구분

구 분	주요 성분
VOCs (Volatile Organic Compounds)	Benzene, Chloroethane, 1,2-Dibromo-3-chloropropane, 1,1-Dichloroethane, 2-Hexanone, 4-Methyl-2-pentanone 1,1,1-Trichloroethane, Vinyl chloride
PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)	Benzo(a)anthracene, Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene Benzo(ghi)perylene, Benzo(k)fluoranthene, Chrysene Dibenzo(a,h)anthracene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, 2-Methylnaphthalene, Naphthalene, Phenanthrene
기타 VOCs (Semi-VOCs)	p-Chloro-m-cresol, 1,4-Dichlorobenzene, Di-n-octyl phthalate, 4-Methylphenol

제 2 절 발생량 분석과정

일반적으로 매립종료후 매립지가 평형상태에 도달하는 1년~2년후의 매립가스 조성은 일반적으로 메탄 50%, 이산화탄소 50%, 그리고 미량의 비메탄유기화합물(NMOC)로 구성되어, 전체 매립가스 배출량 계산은 메탄과 이산화탄소 배출량의 합산으로 총칭된다. 이에 매립가스 배출 총량은 이론적으로 메탄 생성 1차 반응속도 모델에 의하여 개별 쓰레기 매립장 단위로 산정된다.

현재 미국 EPA에서 채택하고 있는 매립가스 배출량 산정 방정식은 메탄생성 1차 반응속도 모델에 근거하고 있으며, 다음과 같다.²⁾

$$Q_{CH_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

단, Q_{CH_4} : 시간 t 에서의 메탄 생성율, m³/년

L_0 : 메탄생성잠재력, m³ CH₄/Mg 쓰레기

R : 연간 쓰레기 매립율, Mg/년

k : 메탄발생속도지수, 년⁻¹

2) 매립지 정보인 변수 R, c 및 t는 대상 매립지의 매립처리현황자료에서 구할 수 있다. 그러나 쓰레기 매립율 정보가 부족하거나 모를 때 연간 쓰레기 매립율, R은 총 매립된 쓰레기의 양을 매립시작 연도부터 매립종료 연도까지로 나눔으로써 결정될 수 있다. 변수 k는 쓰레기의 수분함량, pH, 온도, 기질영양 등의 함수이며 변수 L_0 는 쓰레기의 수분과 유기물 함량의 함수이므로 변수 L_0 는 쓰레기의 성상 중 셀룰로스의 양에 의해 값이 좌우된다(장영기, 1998).

- c : 매립종료 후 경과시간, 년 (“c=0”: 매립진행 중을 의미함)
t : 매립시작 후 경과시간, 년

제 3 절 발생량 예측 및 분석

미국 환경청의 유해물질 제어기술센터(U.S. EPA Control Technology Center)에서는 쓰레기 매립지에서 발생하는 매립가스량을 예측하기 위해 1991년 LAEEM(Landfill Air Emissions Estimation Model)을 개발하였으며, 1997년에는 Borland C++4.0에 의한 LAEEM Window(Version 1.1), LANDGEM(Version 2.1)으로 발전되고 있다.

LANDGEM 모델은 미국 환경청(U.S. EPA)의 대기오염배출계수 AP-42의 계산방식을 적용한 PC용 대기오염배출량 산출모델로서 US EPA의 EIIP(Emission Inventory Improvement Program)에서 최근에 보고된 “대기오염 배출량 산정을 위한 양호하며 대안적인 방법(Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions)” 가운데 쓰레기 매립지에 적용할 수 있는 유용한 모델로서 추천되고 있다. 매립지의 연도별 매립량 자료를 바탕으로 LANDGEM 모델을 적용하면 메탄, 이산화탄소, NMOC 및 유해대기오염물질의 연도별 발생량을 매립 시작 연도부터 매립종료 후 지정된 연도까지 산출할 수 있다(Robert and Ruth, 1996).

이에 U.S. EPA의 매립가스 산출 추천모델인 LAEEM Model을 이용하여 서울 난지도 쓰레기 매립장과 전국 쓰레기 매립지에서 발생하는 매립가스와 유해대기오염물질의 발생량을 추정하고자 한다. 미국의 쓰레기 조성에 기초한 유해가스 예측 변수를 직접적으로 적용하는데는 다소 한계가 있으나, 소득증가와 생활수준의 향상으로 점차 생활폐단이 외국과 유사한 점을 감안하고, 또한 국내 매립지에서 유해대기오염물질 배출에 대한 조사자료가 미흡한 측면을 보완하는 의미에서 장영기(1998) 연구에서와 같은 추정방법에 의거하여 LAEEM Model의 최신 버전인 LANDGEM 모델에 의한 매립가스 발생량을 추정하도록 한다.

입력자료는 난지도 쓰레기 매립지를 대상으로 1987년~1993년 기간동안 연도별 매립량 자료를 입력하여, 매립지에서 발생되는 메탄, 이산화탄소, 그리고 유해대기오염물질의 발생량을 예측하였다.

1. 모델입력

서울 난지도 매립지는 1977년 3월부터 마포구 상암동 일대 88만여평에 쓰레기 매립이 시작되어 1992년 9월까지 15년 6개월 동안 서울시 청소관할구역을 주로 한 수도권에서 발생한 쓰레기

를 매립하였다. 난지도 매립지를 대상으로 매립가스 배출량의 추정은 매립지내 쓰레기가 평균 25년 동안 매립가스를 배출하게 되는 특성을 감안하여 2020년까지 주요 매립가스 발생량을 예측하였다(<부록 1> 참조).

난지도 매립지를 대상으로 하는 LANDGEM모델 입력자료는 기존 장영기(1998) 연구에서 제시한 난지도 매립지의 폐기물 매립량 산출자료를 이용하였다.

<표 3-4> 난지도 매립지의 폐기물 매립량 (단위: 톤(w/w))

연 도	계	생활쓰레기	사토 및 건설폐재	산업폐기물	슬러지
1978~1990년말	86,022,042	49,109,942	35,155,200	896,700	860,200
1991	13,712,544	4,651,244	8,569,200	114,800	373,300
1992.1~1992.9	11,959,992	4,964,592	6,669,600	65,100	260,700
총 계	111,694,578	58,725,778	50,394,000	1,076,600	1,498,200

자료: 장영기(1998).

<표 3-4>에서 제시한 난지도 매립지의 연도별 매립자료를 활용하여, 미국 EPA의 Landfill Gas Emission Model인 LANDGEM 모델에 입력한 초기과정은 <그림 3-1>과 같다.

- 매립지 매립 초기시점 및 종료시점 입력
- 매립지 구분 및 매립 총용량
- 연간 폐기물 매립량(Mg/년)/누적량(Mg)
- 메탄생성율(methane generation rate; k) 및 메탄생성 잠재력($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Mg} \cdot \text{폐기물}$)
- 매립가스내 NMOC 농도값 결정 및 분석성분 지정

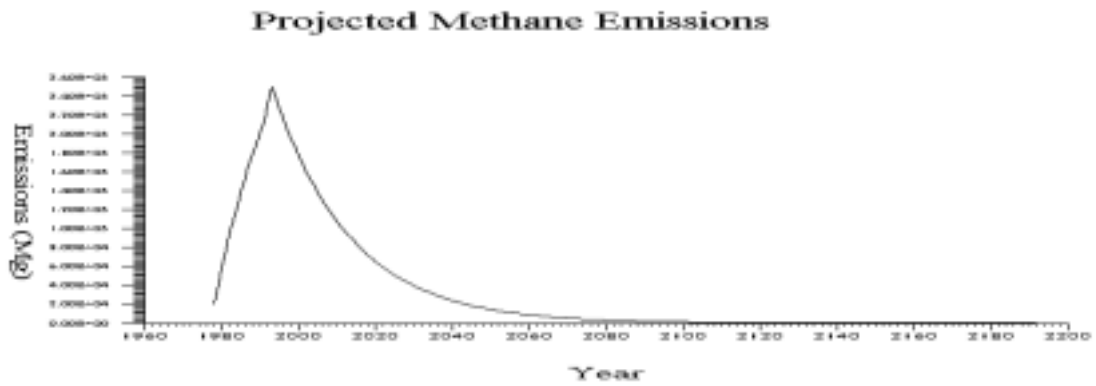
Year	Acceptance Rate [Mg]	Refuse In Place [Mg]
1977	3.633346E+06	0.000000E+00
1978	3.633346E+06	3.633346E+06
1979	3.633346E+06	7.266692E+06
1980	3.633346E+06	1.090004E+07
1981	3.633346E+06	1.453338E+07
1982	3.633346E+06	1.816673E+07
1983	3.633346E+06	2.180008E+07
1984	3.633346E+06	2.543342E+07
1985	3.633346E+06	2.906677E+07
1986	3.633346E+06	3.270011E+07
1987	3.633346E+06	3.633346E+07
1988	3.633346E+06	3.996681E+07
1989	3.633346E+06	4.360015E+07
1990	3.633346E+06	4.723350E+07
1991	5.143344E+06	5.086684E+07
1992	5.290390E+06	5.601019E+07
1993	0.000000E+00	6.130058E+07

〈그림 3-1〉 난지도 매립지 매립자료를 입력한 LANDGEM 모델의 초기화면

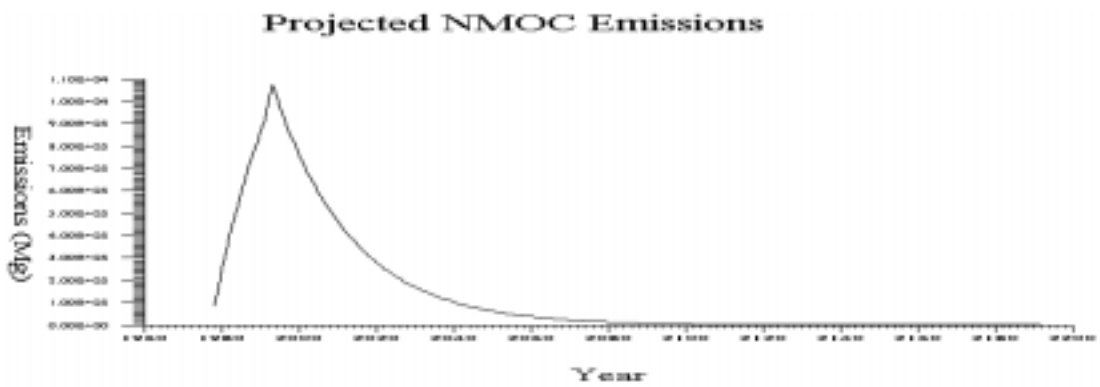
2. 발생량 산정결과

LANDGEM(V=2.1) 모델을 활용한 난지도 매립지 유해가스 발생량 예측결과에 의하면, 1994년~1995년을 정점으로 하여 점차 매립가스 발생량은 급격하게 감소하고 있음을 보여주고 있다. 2000년의 경우 메탄 $1.76\text{E}+05$ Mg, NMOC $7.58\text{E}+03$ Mg, Benzene $1.91\text{E}+01$ Mg 정도의 발생량이 예상되나, 2010년의 발생량은 2000년과 비교하여 각각 64.5%, 64.8%, 64.7%씩 감소하는 것으로 예상된다(<부록 1> 참조).

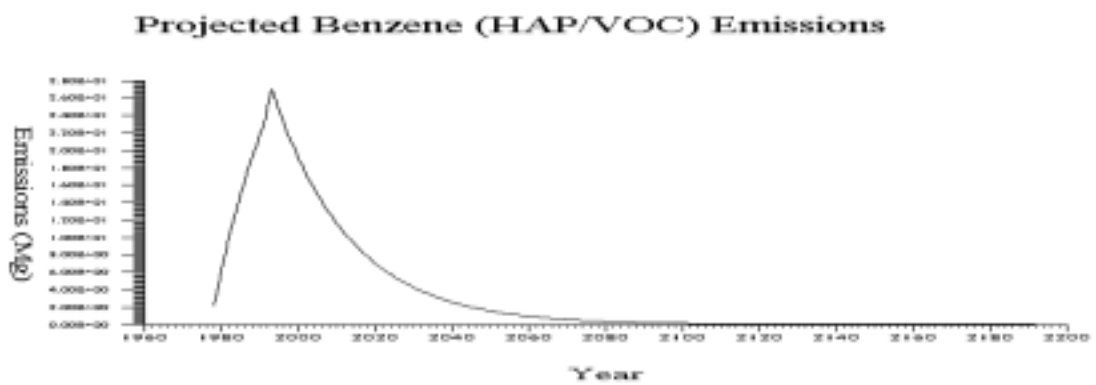
그러나 매립지 배출 유해가스에 의한 위해 가능성은 배출가스 포집·활용과 같은 특별한 대책이 수반되지 않는 한, 향후 30년~40년 정도 장기간이 경과하여야 하는 것을 알 수 있다.



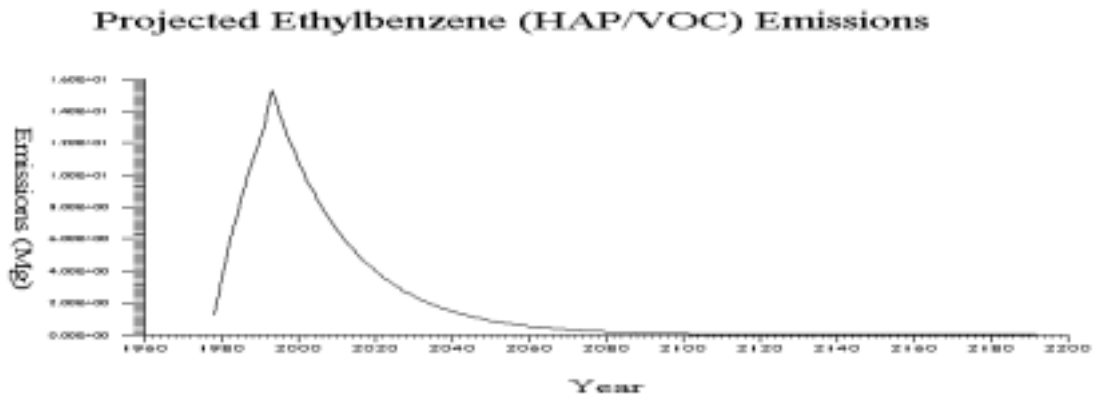
〈그림 3-2〉 LANDGEM 예측결과: Methane 배출량



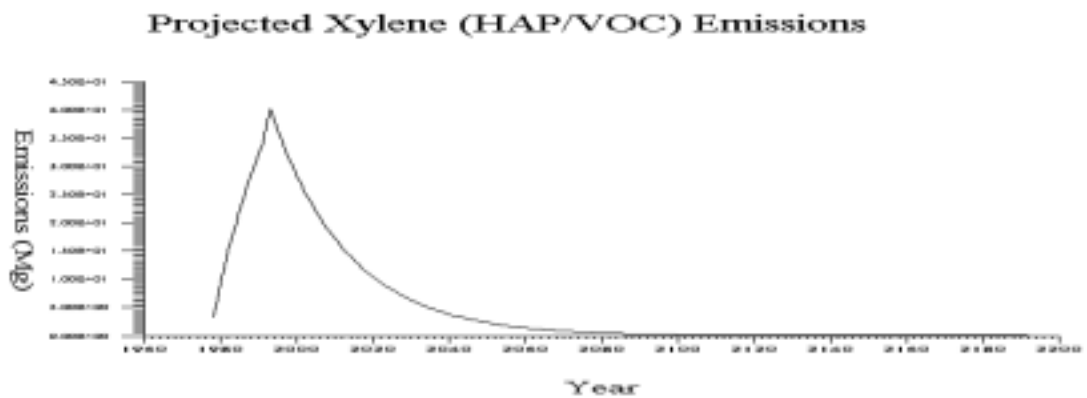
〈그림 3-2〉 계속) LANDGEM 예측결과: NMOC 배출량



〈그림 3-2〉 계속) LANDGEM 예측결과: Benzene 배출량



(〈그림 3-2〉 계속) LANDGEM 예측결과: Ethylbenzene 배출량



(〈그림 3-2〉 계속) LANDGEM 예측결과: Xylene 배출량

한편 상기 〈그림 3-2〉와 같은 매립가스 발생량 추정의 경우, 난지도 대상지역에서 배출되는 매립가스를 포집하여 주변지역 열병합 발전시설의 건설·운영계획을 감안하면, VOCs 배출량에 의한 대상지 및 주변지역에의 위해 가능성은 LANDGEM Model의 연도별 매립가스 발생 예측치에 비해 보다 단기간에 경감될 수 있을 것으로 추정된다.

第Ⅳ章 난지도 매립지의 VOCs 측정·분석

- 제 1 절 발생량 예측모델을 활용한 유해가스 성분분석
- 제 2 절 매립가스 측정자료를 활용한 유해가스 성분분석
- 제 3 절 매립지 VOCs 농도와 도시지역 VOCs 농도간 비교평가
- 제 4 절 실험 측정분석
- 제 5 절 VOCs 측정법
- 제 6 절 향후과제

제 IV 장 난지도 매립지의 VOCs 측정 · 분석

제 1 절 발생량 예측모델을 활용한 유해가스 성분분석

LAEEM 모델을 활용한 난지도 매립지 매립가스 성분분석자료(장영기, 1998)에 의하면, NMOC 배출량은 9,698톤(1996년 기준)으로 추정되어, 휘발성유기화합물질(VOCs)의 경우 서울 지역내 다른 VOCs 배출원과 비교하여 배출기여도가 매우 높은 것으로 지적되고 있다(<표 4-1> 참조).

이러한 결과는 <부록 1>에 제시된 LANDGEM에 의한 본 연구의 배출량 예측결과와 매우 유사하며, 결과적으로 매립가스 배출에 의한 난지도 지역과 주변 지역에 대한 위해 가능성은 VOCs의 모니터링과 관리대책이 병행되지 않는 한, 다소 우려될 수 있음을 시사하게 된다.

<표 4-1> LAEEM 모델에 의한 난지도 유해가스 배출성분 예측(1998)

(단위: 톤/년)

화학물질	배출량 (톤/yr)	화학물질	배출량 (톤/yr)
1,1,2,2-Tetrachloroethane	3.9	Dichlorodifluoromethane	39.76
1,1,2-Trichloroethane	0.28	Dichlorofluoromethane	5.65
1,1-Dichloroethane	4.87	Dichloromethane	25.44
1,1-Dichloroethene	0.41	Dimethyl Sulfide	10.18
1,2-Dichloroethene	0.85	Ethanol	26.25
1,2-Dichloropropane	0.43	Ethylbenzene	10.25
2-propanol	63.07	Ethyl Mercaptan	1.63
Acrylonitrile	7.03	Ethylene Dibromide	0.004
Benzene	18.16	Fluorotrchloromethane	2.19
Bromodichloromethane	10.74	Hexane	11.86
Butane	6.12	Methyl Ethyl Ketone	10.71
Carbon Disulfide	0.93	Methyl Isobutylketone	3.92
Carbon Tetrachloride	0.01	Methyl Mercaptan	2.51
Carbonyl Sulfide	0.62	Pentane	4.97
Chlorobenzene	0.59	Perchloroethylene	12.95
Chlorodifluoromethane	2.35	Propane	10.25
Chloroethane	1.69	Toluene	318.4
Chloroform	0.06	Trichloroethene	7.76
Chlororomethane	1.28	Vinyl Chloride	9.61
Dichlorobenzene	0.65	Xylene	26.91

자료: 장영기(1998).

제 2 절 매립가스 측정자료를 활용한 유해가스 성분분석

1. 폐기물처리시설의 사후관리를 위한 VOCs 측정

현행 폐기물관리법 제47조, 동법 시행령 제27조, 시행규칙 제51조 규정에 따라 매립종료된 난지도의 환경관리를 위하여, 서울시 보건환경연구원에서 매년 분기별 1회씩 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠 등 4개 항목을 중점적으로 측정·분석하고 있다.

그러나 앞서 LANDGEM 모델에서 제시되고 있는 VOCs 항목은 매우 다양한 분포를 보이고 있음을 감안하면, 현재 추진되고 있는 난지도의 환경성 회복과 친환경적 정비사업은 보다 다양한 VOCs 항목의 측정·분석, 개별 항목별 위해도 평가, 그리고 유해가스의 안전한 포집·처리 등이 전제되어야 한다.

이러한 난지도 매립가스 VOCs 측정·분석의 미흡성을 보완하기 위하여, 1999년 9월을 기점으로 서울시 보건환경연구원에서는 VOCs 항목을 확대하여 기존 4개 항목에서 15개 항목으로 확대 측정·분석하고 있다(<표 4-2>, <표 4-3> 참조).

<표 4-2> 난지도 매립지 및 주변지역 VOCs 측정결과

(단위: ppm)

구 분	제1매립지 상단	제2매립지 상단	매립지 중간	제1매립지 가스공	제2매립지 가스공	매립지중 간 가스공	성산 아파트	상암동 사무소
벤젠	0.0132	0.0029	0.0057	0.1028	0.0166	0.0174	0.0018	0.0048
톨루엔	0.0067	0.0245	0.0188	0.3712	0.0130	0.0094	0.0079	0.0279
에틸벤젠	0.0086	0.0033	0.0027	0.2770	0.0071	0.0048	0.0005	0.0029
m,p-자일렌	0.0329	0.0087	0.0095	2.4276	0.0278	0.0242	0.0021	0.0096
o-자일렌	0.0062	0.0014	0.0006	0.0471	0.0092	0.0086	0.0000	0.0022
1,1-디클로르에탄	0.0439	0.0000	0.0000	0.0276	0.0000	0.0812	0.0000	0.0000
클로르포름	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0037
1,1,1-트리클로르에탄	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
카본테트라클로라이드	0.0220	0.0241	0.0000	0.5329	0.0222	0.0000	0.0000	0.0000
1,2-디클로르에탄	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
트리클로르에탄	0.0032	0.0046	0.0044	0.2417	0.0069	0.0000	0.0000	0.0116
1,1,2-트리클로르에탄	0.0071	0.0016	0.0000	0.3929	0.0127	0.0181	0.0000	0.0000
테트라클로르에탄	0.0014	0.0082	0.0000	0.0402	0.0011	0.0033	0.0000	0.0000
클로르벤젠	0.0064	0.0019	0.0000	0.1842	0.0050	0.0066	0.0000	0.0000
스타일렌	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0027	0.0001	0.0000

자료: 서울시 보건환경연구원 자료제공(1999년 9월 측정).

〈표 4-3〉 난지도 매립지 및 주변지역 VOCs 측정결과: 벤젠(ppb)

구 분		1997년						1998년					
		7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월
매립지	상암동사무소	0.6	2.7	0.6	0.9	2.9	1.2	1.3	1.0	1.3	0.2	0.2	0.9
주변	성산시영APT	0.3	0.7	0.8	0.7	1.0	2.5	1.4	1.6	0.6	0.4	0.2	0.4
매립지내	1매립지상부	0.8	0.7	0.9	1.8	1.9	1.5	1.0	1.1	1.2	2.4	0.3	0.3
	2매립지상부	1.9	0.7	0.8	1.9	1.5	0.8	1.5	1.2	1.8	4.8	0.3	0.4
	매립지 입구	2.3	0.0	0.7	3.8	2.0	10.4	1.5	1.0	1.5	1.7	0.2	0.8

자료: 서울시 보건환경연구원 측정결과(1999).

(〈표 4-3〉 계속) 난지도 매립지 및 주변지역 VOCs 측정결과: 벤젠(ppb)

구 분		1998년						1999년							
		7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월
매립지	상암동사무소	0.4	0.6	1.0	4.0	13.6	7.9	3.6	1.2	0.9	0.6	4.9	2.1	8.5	5.3
주변	성산시영APT	0.3	0.5	1.3	4.3	13.9	18.2	2.8	1.4	0.9	0.9	0.7	1.2	6.5	2.1
매립지내	1매립지상부	0.3	0.5	0.8	4.7	12.7	9.4	3.4	0.7	0.7	1.4	2.0	0.2	12.5	6.6
	2매립지상부	0.3	1.1	2.6	5.2	17.6	13.3	3.2	1.0	0.5	0.4	0.0	0.9	9.2	29.3
	매립지 입구	0.2	0.6	1.0	5.4	9.8	6.7	2.9	1.6	0.0	2.2	0.0	3.6	17.6	1.5

자료: 서울시 보건환경연구원 측정결과(1999).

상기 서울시 보건환경연구원 측정자료를 인용하여, 난지도 매립지 및 주변지역의 VOC 농도 분포를 상호 비교할 경우 주변지역과 매립지 내부의 농도편차는 그다지 크게 나타나지 않고, 전반적으로 매립지 내부지점의 VOCs 농도가 주변지역에 비해 다소 높음을 알 수 있다(〈표 4-3〉 참조).

한편 수도권 매립지 운영관리조합에 의하면, 가스배출구 중의 벤젠농도는 1~12ppm, 톨루엔 농도는 8~86ppm, 자일렌 농도는 0.2~16ppm의 범위를 나타내고, 가스추출구 중의 Chloride계 열성분의 경우 Vinyl chloride 0~0.003ppm, Chloroform 60~222ppm, Carbon tetrachloride 33~183ppm, Trichloroethylene 0~3.1ppm의 농도범위를 나타내고 있다(수도권 매립지 운영관리조합, 1997).

이와 같이 가스배출구의 오염물 농도는 매립지 내부 및 주변의 오염물 농도보다 훨씬 높게 나타나고, 또한 BTX의 농도비교를 통해 매립지 주변 및 내부의 Chloride계열 농도를 예측해보면 1~100ppb의 범위를 나타낼 것으로 예상된다. 특히 수도권 매립지의 특정지점 VOCs 농도분

포는 현재 난지도 매립지 가스 포집공의 경우와 유사한 것이 특징적이다.

제 3 절 매립지 VOCs 농도와 도시지역 VOCs 농도간 비교평가

<표 4-4>에 제시된 도시지역 일반대기중의 VOCs 평균농도와 <표 4-2> ~ <표 4-3>의 난지도 매립지의 VOCs 농도를 비교할 경우 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 경우 비슷한 값을 나타내고 있으나, Chloride계의 경우 예상치와 비교하면 난지도 매립지의 농도 값이 매우 높게 나타나므로 위해성의 우려가 있음을 추정할 수 있다.

<표 4-4> 도시지역의 VOCs 평균농도(97. 2 - '99. 10)

(단위 : ppb)

	Compound	검 화 문	잠 실	문 례	방 작	무 천	구 리	평 균
1	Benzene	3.86	2.08	7.80	3.31	1.74	1.80	3.43
2	1-Heptene	0.90	0.04	0.33	0.16	0.07	0.21	0.29
3	Toluene	24.78	13.75	13.43	13.74	14.53	10.73	15.16
4	Ethylbenzene	3.38	2.71	2.24	2.06	3.23	2.37	2.67
5	p-Xylene	2.36	1.63	1.49	1.29	1.97	1.52	1.71
6	o-Xylene	2.90	2.05	2.04	1.55	1.84	1.53	2.00
7	Isopropylbenzene	0.38	0.19	0.21	0.20	0.22	0.20	0.23
8	Acrylonitrile	0.25	0.34	0.12	0.08	0.01	0.10	0.15
9	Chloroform	0.00	0.13	0.01	0.00	0.04	0.00	0.03
10	1,2-Dichloroethane	0.00	0.58	0.16	0.00	0.00	0.01	0.13
11	Trichloroethylene	0.02	0.24	0.02	0.01	0.01	0.00	0.05
12	1,3-Dichloropropane	0.03	0.26	0.03	0.04	0.10	0.01	0.08
13	Tetrachloroethylene	0.18	0.11	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05
14	Chlorobenzene	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
15	Bromobenzene	0.20	0.09	0.07	0.05	0.06	0.08	0.09
16	m-Xylene	5.40	3.30	3.08	3.04	4.45	3.45	3.79
17	Styrene	0.28	0.25	0.06	0.17	0.07	0.12	0.16
18	1,3,5-trimethylbenzene	1.87	1.08	1.08	0.82	0.84	0.87	1.15
19	1,2,4-trimethylbenzene	3.20	0.80	0.72	0.58	0.71	0.65	1.11
20	p-Isopropyltoluene	0.85	0.13	0.08	0.05	0.08	0.08	0.23
21	n-Butylbenzene	0.28	0.09	0.06	0.03	0.05	0.04	0.09
22	1,2,4-trichlorobenzene	0.11	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
23	Naphthalene	2.62	1.43	1.34	1.16	1.38	1.13	1.51
24	1,2,3-trichlorobenzene	0.47	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.21
25	Tetradecane	29.64	22.38	19.30	14.00	13.26	11.83	18.40
26	Pentadecane	23.79	16.45	13.54	9.63	10.88	8.95	13.87
27	Dodecane	10.11	9.12	6.11	6.54	6.05	4.90	7.14
28	Tridecane	5.99	6.82	3.74	3.34	3.63	3.25	4.46
29	Propane	1.59	1.20	1.41	1.98	0.87	1.11	1.36
30	Butane	5.20	4.36	1.75	2.57	1.68	4.84	3.40
31	Pentane	2.42	1.53	0.70	0.95	0.83	1.26	1.28
32	Hexane	0.30	0.71	0.19	0.23	0.22	0.12	1.13
33	Propylene	0.28	0.54	0.12	0.15	0.22	0.54	0.31
34	1-Butene	0.14	0.55	0.21	0.34	0.42	0.35	0.34
35	1-Pentene	0.48	1.27	0.48	0.61	0.11	1.72	0.77
36	1-Hexene	0.82	0.56	0.35	0.36	0.62	0.67	0.56
37	Isobutane	5.48	3.87	2.80	1.79	1.92	1.70	2.93
38	Neopentane	0.25	0.19	0.03	0.08	0.09	0.12	0.13
39	Isopentane	0.62	0.45	0.37	0.15	0.18	0.37	0.36
40	2,2-dimethylbutane	0.19	0.23	0.17	0.27	0.11	0.84	0.30
41	3-methylpentane	0.11	0.70	0.33	0.14	0.02	1.31	0.43
42	1-Propyne	0.15	0.35	0.08	0.09	0.05	1.28	0.33
43	2-Butyne	0.00	0.36	0.00	0.00	0.04	1.80	0.36
44	1-Butyne	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.69	0.16

자료: 국립환경연구원 제공.

제 4 절 실험 측정분석

1. 측정분석 대상물질의 선정

측정분석 대상물질은 VOCs 중 대기중에 주로 존재하고 장기적으로 보아 건강상 악영향을 미치며 광화학 스모그의 전구물질로서의 역할, 대기 중 광화학 반응 정도, OH라디칼과의 반응 속도 등과 측정분석 여건 등을 고려하여 <표 4-5>에 제시한 VOCs 물질들을 선정하였다.

<표 4-5> 분석대상물질-B.T.E.X 항목

대 상 물 질	분자식	분자량	비점(°C)
* Benzene	C ₆ H ₆	78.11	80.1
* Toluene	C ₇ H ₈	92.13	110.6
* Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106.16	136.25
* p-Xylene	C ₈ H ₁₀	106.16	137~138
* o-Xylene	C ₈ H ₁₀	106.16	144
* m-Xylene	C ₈ H ₁₀	106.16	139.3
Chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	112.56	132.1
Styrene	C ₈ H ₈	104.14	145~6
m-Dichlorobenzene	C ₆ H ₄ Cl ₂	147.01	172
p-Dichlorobenzene	C ₆ H ₄ Cl ₂	147.01	174
1,2,4-trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	162.26	169.2
1,3,5-trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	162.26	164.7

1) * Hazardous Air Pollutants

2) 진하게 표시한 부분은 각종 규제기준에 포함되어 있고 앞선 연구들에 있어서 조사가 행해진 물질들임.

〈표 4-6〉 분석대상물질 – chlorinate 항목

대 상 물 질	분자식	분자량	비점(°C)
cis 1,3-dichloropropene	C ₃ H ₄ Cl ₂	110.94	
1,1-dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	98.97	57.5
1,1-dichloroethene	C ₂ H ₂ Cl ₂	96.92	80
1,2-dichloropropane	C ₃ H ₆ Cl ₂	112.96	96.8
1,1,2,2-tetrachloroethane	C ₂ H ₂ Cl ₄	167.83	145.9
trans-1,3-dichloropropene	C ₃ H ₄ Cl ₂	110.94	
1,1,1-trichloroethane	C ₃ H ₃ Cl ₃	133.38	74.1
1,1,2-trichloroethane	C ₃ H ₃ Cl ₃	133.38	113.9
* Chloroform	CHCl ₃	119.39	61-62
* Trichloroethylene	C ₂ HCl ₃	131.4	86.7
* Tetrachloroethylene	C ₂ Cl ₄	165.85	121
Carbontetrachloride	CCl ₄	153.82	76.8
Ethylchloride	C ₂ H ₅ Cl	64.52	13

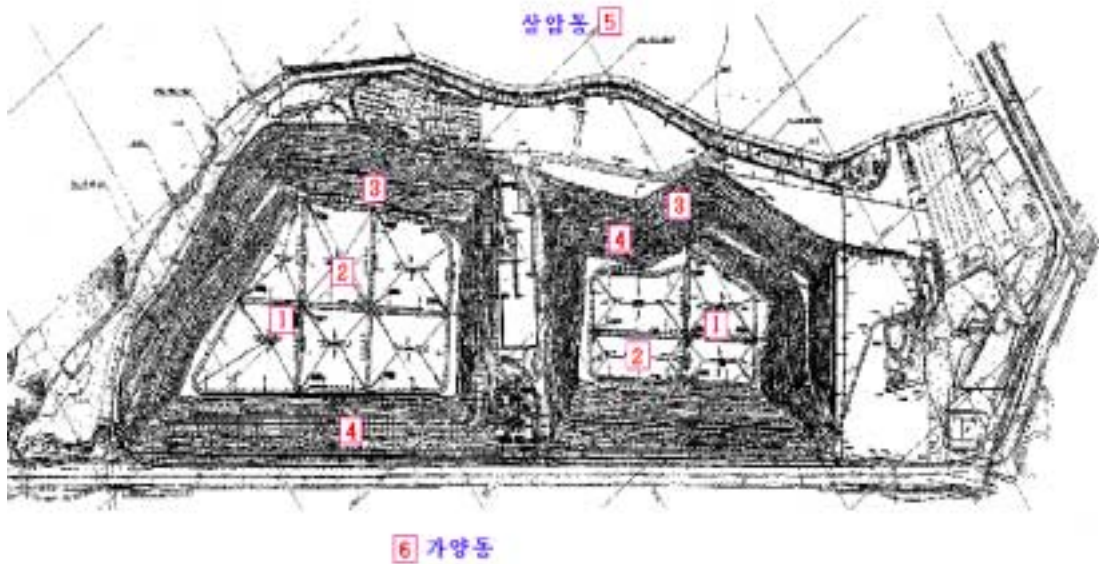
1) * Hazardous Air Pollutants

2) 진하게 표시한 부분은 각종 규제기준에 포함되어 있고 앞선 연구들에 있어서 조사가 행해진 물질들임.

2. 시료채취 지점

난지도 매립지 상부, 사면, 그리고 주변지역에서의 VOCs 시료채취 지점의 선정에서, 매립지 내부 5위치(약 500m 이내 대표성을 갖는 위치)와 배경지역 2위치 (상암동, 가양동)를 선정하였다(3월 제1차 측정). 그리고 5월의 제2차 시료채취시에는 제2매립지의 사면·상부 2개 위치를 추가하였다.

한편 계절별 VOCs 특성파악을 위해 제3차(8월)와 제4차(10월)의 시료채취시에는 현재 난지도 매립지 상부복토 작업진행 상황을 고려하여 측정지점을 제1매립지와 제2매립지에 측정지점을 균등 배분하여 각각 4곳을 선정하여 측정하였다(〈그림 4-1〉 참조).



〈그림 4-1〉 난지도 매립지 및 주변지역 VOC 측정지점

〈표 4-7〉 시료채취 지점

시료채취점 번호		위치	비고
1매립지	1	W155	가스배출공에서도 측정
	2	W174	가스배출공에서도 측정
	3	W120	
	4	W105	
2매립지	1	W261	가스배출공에서도 측정
	2	W272	가스배출공에서도 측정
	3	W215	
	4	W222	
주변지역	5	상암동 새마을금고 옥상	배경지역(풍상)
	6	가양1동 동사무소 옥상	배경지역(풍하)

주) 매립지 주변 : 8위치(약 500m 이내 대표성을 갖는 위치)

배경지역 : 2위치 - 상암동, 가양동



〈그림 4-2〉 제1매립지 사면(A) 및 상부·배출공(B,C,D) VOCs 측정(3차 및 4차측정)



〈그림 4-3〉 제2매립지 사면(A) 및 상부·배출공(B,C) VOCs 측정(3차 및 4차측정)

제 5 절 VOCs 측정결과

1. 전처리방법

흡착튜브는 pyrex재질의 유리관을 물로 세척하고 아세톤으로 세척한 다음 최소 3일간 “silanized glass wool: 200°C, glass tube and caps: 70°C 유지”와 같은 상태에서 전처리한다. 흡착튜브(Carbotrap : 11.5cm x 0.4cm I.D., Carbosieve : 17.5cm x 0.4cm I.D.)는 두 종류를 사용하며, 흡착제로 Carbotrap을 사용하는 튜브에는 270mg Carbotrap(20/40 mesh)을 채우고 실란처리된 유리섬유로 가장자리 양끝을 막은 다음 약 50분동안 헬륨(He)가스를 7ml/min 정도 흘려주며 튜브콘디셔너(Tube conditioner: Dynatherm Analytical Instruments Inc.)에서 가열하면서 콘디셔닝한 후, 냉장보관한다. 그리고 Carbosieve S-III(60/80 mesh)를 사용하는 흡착튜브는 350mg을 채운 후 역시 같은 방법으로 처리한다.

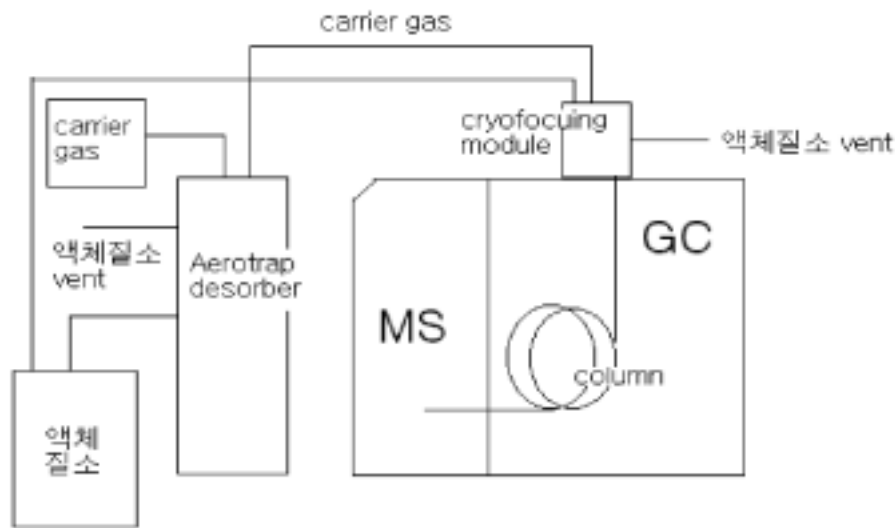
2. 시료의 열탈착

채취한 VOCs시료는 열탈착 후 GC-MSD를 이용하여 분석하였으며, 본연구에서는 열탈착장치(Thermal Desorption Unit : Supelco, Inc)와 Aerotrap를 이용하여 채취한 시료를 탈착시켜 GC-MSD에 직접 주입되도록 하였다.

3. 시료채취 및 분석

환경 대기중 VOC의 정성 및 정량분석을 위하여 자체 제작한 샘플러를 이용하여 흡착제를 채운 흡착튜브에 시료를 포집하였다. 시료는 미량펌프를 이용하여 좌우 각각 40~60 ml/min의 유속으로 1일 3회 3시간 채취를 기본으로 하였다.

포집 한 시료는 플라스틱 캡으로 마개를 한 후 틈새 유출을 막기 위해 seal film으로 밀봉하고 알루미늄 호일로 겉을 감싼 후에 실험실로 가져 와 분석하였다. 시료는 즉각 냉장고에 보관하고 분석시 열탈착장치(Thermal Desorption Unit : Supelco, Inc.)와 Aerotrap(Tekmar 6000)을 사용하여 시료를 탈착시킨 후 GC-MSD로 직접 유입되도록 하여 분석하였다.



〈그림 4-4〉 VOCs 성분의 분석 모식도

4. 측정 결과

1) 1차 측정(3월 17일~19일) 및 2차 측정(5월 12일~14일)

(1) 측정결과

2000년 3월 17일~19일에 측정한 1차 측정결과에 의하면, 난지도 매립지 및 주변지역의 VOC 농도분포의 경우 가스 배출공을 제외하면 주변지역과 내부지점간 농도 편차는 크게 나타나지 않고 있다. 다만 오염물질별 농도는 가스배출공·매립지 상부·사면·주변지역의 순서로 높게 나타났다. 그러나 상암 및 가양지역의 농도를 난지도 매립지의 배경농도임을 감안할 경우 주변 지역의 VOCs 농도는 다소 높은 수준이며, 이는 인근 매립지의 영향을 받기 때문인 것으로 추정된다.

매립지 및 주변지역의 지점별 VOCs 농도분포를 감안하면 현재 별다른 관리가 이루어지지 않은 상태에서 매립가스가 배출공에서 배출되기 때문에, 다른 지점에 비해 높은 VOCs 농도를 보이고 있다. 가스배출공 다음으로 매립지 상부지역에서 VOCs 농도가 높은 원인은 배출공의 영향을 광범위하게 받고 있기 때문이며, 그리고 사면지역에서 나타나는 농도는 배출공에서 배출·확산된 매립가스의 영향으로 추정된다(<표 4-8> ~<표 4-10> 참조). 제1매립지와 제2매립지의 VOCs 측정농도를 상호 비교할 경우 제2매립지의 농도가 낮은 것은 제2매립지의 경우 복토가 완료되었고 가스 추출작업이 진행되고 있기 때문으로 추정된다. 결과적으로 매립지 상부

복토, 사면식재 및 관리, 가스포집·재활용 등과 연계된 난지도 매립지의 안정화 작업이 종료된 후에는 대기오염물질의 농도가 더욱 낮아질 것으로 사료된다.

한편 오염물질 종류별로 살펴보면 톨루엔의 농도가 가장 높고, 전체적으로 에틸벤젠과 크실렌 오염항목이 다음으로 나타나고 있다. 배출공의 경우 Carbontetrachloride, Tetrachloroethylene, Xylene, Ethylbenzene 의 농도가 높게 나타나고 있음이 특징적이다.

〈표 4-8〉 지역별 VOC 농도 분포(1차측정 평균) (단위: ppb)

구 분	상부	사면	배출공	상암	가양
Vinyl chloride	1.15	0.00	3.86	0.00	0.00
Ethyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylene chloride	0.00	0.00	1.05	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbon tetrachloride	0.00	1.37	23.61	0.00	0.00
Benzene	1.38	0.00	6.36	0.00	4.01
Trichloroethane	0.00	0.00	4.92	0.00	0.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	12.21	0.00	0.00
Trichloroethylene	21.44	8.70	28.93	34.78	26.42
Toluene	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	29.89	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.00	9.81	0.00	0.00
Ethylbenzene	2.16	0.67	21.44	2.94	0.61
p-xylene	1.41	0.59	11.40	1.97	0.46
m-xylene	2.92	0.95	22.68	2.93	0.96
o-xylene	3.56	1.29	14.34	9.48	1.66
styrene	0.00	0.00	18.41	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.05	0.00	1.47	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.05	0.00	1.47	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.05	0.00	1.42	0.00	0.00

주: 3월 17일~19일의 일일 측정결과는 〈부록 2〉 참조.

〈표 4-9〉 채취지점별 VOC 농도 (2차측정 평균 I)

(단위: ppb)

구 분	1매립지						2매립지			주변지역	
	상부			사면		배출공	상부	사면	배출공	상암	가양
	1	2	3	4	5		1	2			
Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
Ethyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylene chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbon tetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.68	0.00	0.00	8.72	0.00	0.00
Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Toluene	14.50	11.92	12.80	8.73	9.11	18.33	37.56	14.61	18.23	19.45	20.78
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	7.33	0.00	0.79	5.21	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.01	0.07	0.01	0.00	0.09	0.00	0.05	0.02	0.63	0.17
Ethylbenzene	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00
p-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00
m-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00
o-xylene	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	0.00	1.08	0.98	0.98	0.00
styrene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.07	0.12	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

〈표 4-9〉 계속) 채취지점별 VOC 농도 (2차측정 평균 II)

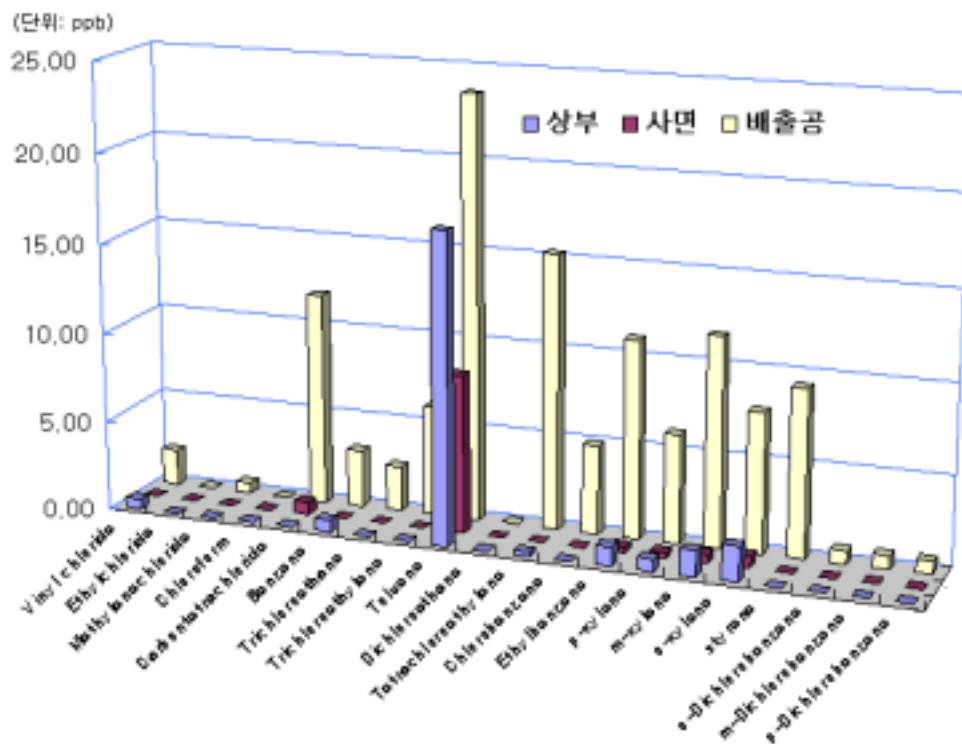
(단위: ppb)

구 분	1매립지			2매립지			주변지역	
	상부	사면	배출공	상부	사면	배출공	상암	가양
Vinyl chloride	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
Ethyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylene chloride	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbon tetrachloride	0.00	0.00	11.68	0.00	0.00	8.72	0.00	0.00
Benzene	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.08	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.07	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Toluene	13.07	8.92	18.33	37.56	14.61	18.23	19.45	20.78
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	0.47	0.00	7.33	0.00	0.79	5.21	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.03	0.00	0.09	0.00	0.05	0.02	0.63	0.17
Ethylbenzene	0.02	0.00	0.96	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00
p-xylene	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00
m-xylene	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00
o-xylene	0.36	0.00	1.32	0.00	1.08	0.98	0.98	0.00
styrene	0.00	0.00	0.22	0.00	0.07	0.12	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

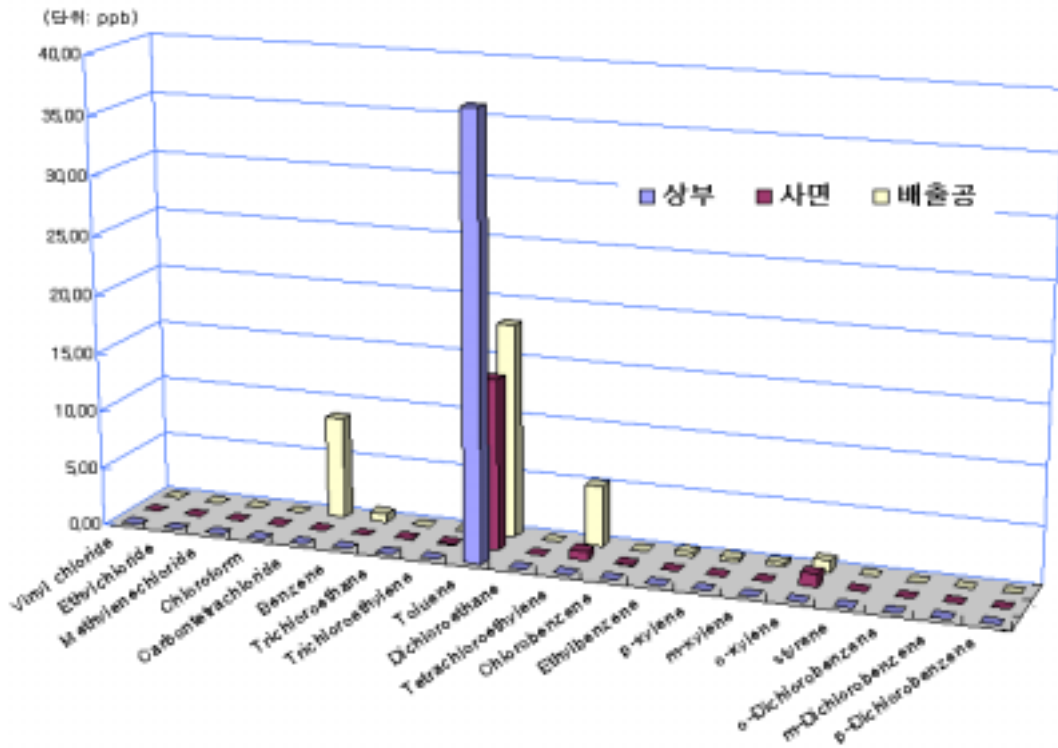
〈표 4-10〉 1차·2차 측정결과와 평균

(단위: ppb)

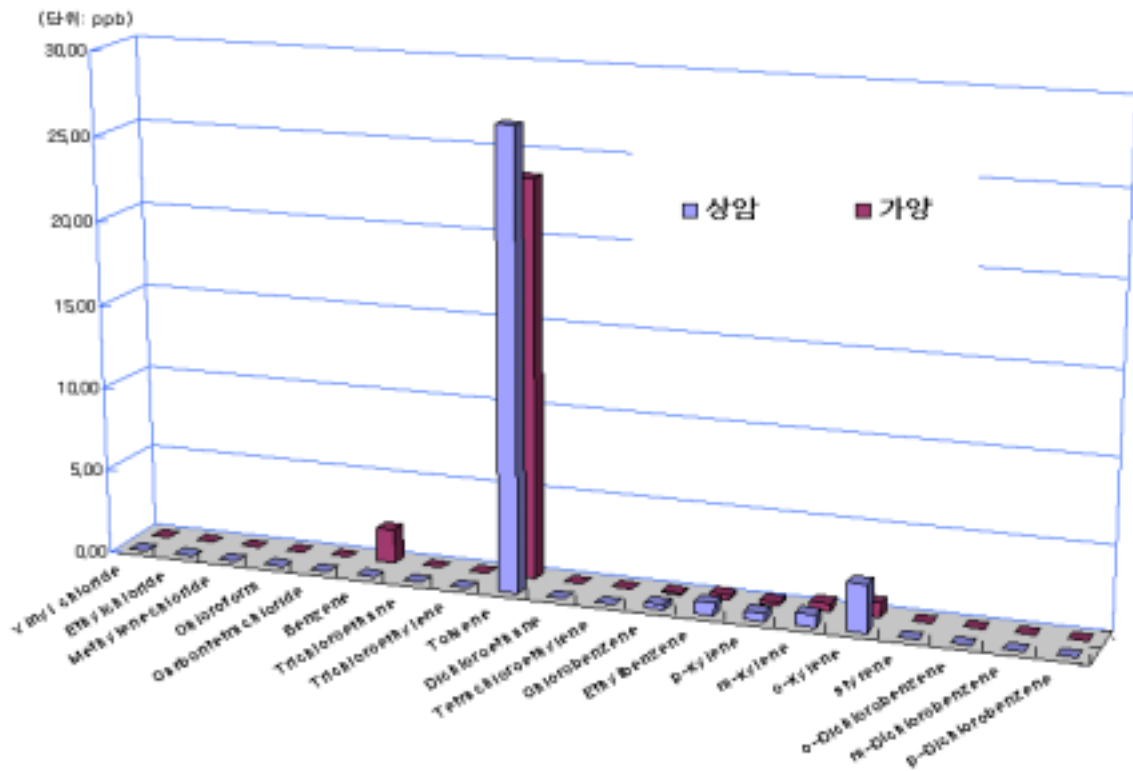
구 분	1매립지			2매립지			주변지역	
	상부	사면	배출공	상부	사면	배출공	상암	가양
Vinyl chloride	0.57	0.00	2.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
Ethyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylene chloride	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbon tetrachloride	0.00	0.68	17.65	0.00	0.00	8.72	0.00	0.00
Benzene	0.69	0.00	3.38	0.00	0.00	0.72	0.00	2.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	2.50	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	6.14	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Toluene	17.26	8.81	23.63	37.56	14.61	18.23	27.11	23.60
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	0.23	0.00	18.61	0.00	0.79	5.21	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.01	0.00	4.95	0.00	0.05	0.02	0.32	0.08
Ethylbenzene	1.08	0.34	11.20	0.00	0.00	0.36	0.74	0.31
p-xylene	0.70	0.30	6.19	0.00	0.00	0.31	0.49	0.23
m-xylene	1.46	0.47	11.81	0.00	0.00	0.35	0.73	0.48
o-xylene	1.96	0.65	7.83	0.00	1.08	0.98	2.86	0.83
styrene	0.00	0.00	9.32	0.00	0.07	0.12	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.04	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.04	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.05	0.00	0.72	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00



〈그림 4-5〉 제1매립지 VOC 측정결과와 평균



〈그림 4-6〉 제2매립지 VOC 측정결과와 평균



〈그림 4-7〉 난지도 주변지역 측정결과와 평균

(2) VOC 1차·2차 측정결과와 종합분석

● 측정결과와 종합분석

1차, 2차 측정결과를 비교해 볼 때 2차측정의 농도가 많이 낮게 나타났다. 이의 연유로는 금년 5월경에 매립지 상부의 복토작업이 상당히 진행된 점과 2매립지에서부터 실시하고 있는 가스 추출공의 이송관로 매설 작업의 영향으로 추정되며, 2차측정시 전후의 날씨가 흐리고 비가 내린 영향도 다소 있을 것으로 추정된다.

● 기존 난지도 VOC 측정자료와의 비교

난지도 매립지 및 주변지역 VOC 측정자료와 난지도 매립지 배출가스와 관련된 선행 연구결과와 비교할 경우, 배출구에서 농도가 가장 높은 공통점이 발견되고 있다. 반면에 매립지 내부와 상암이나 가양동과 같은 주변지역의 경우는 비슷한 농도값을 나타내는 특성이 나타나고 있다. 이러한 매립지 및 주변지역에서의 VOCs 농도분포 편차를 감안하면, 수도권 매립지의 사례와 같이 매립가스 배출구에서의 VOCs 특별관리가 필요함을 알 수 있다.

● 도시지역 VOC 농도와 비교

난지도 매립지라는 지역적 특성에 의한 오염물질 배출농도의 경향성을 파악하기 위해 일반대기중의 VOCs 농도 자료와 비교·검토해 볼 수 있다.

일반대기중의 VOC 농도(<표 4-4> 참조)와 난지도 매립지의 VOC농도를 비교할 경우, 톨루엔의 경우를 제외하면 주변지역과 매립지 상부 및 사면에 있어서는 여타 오염물질들은 비슷한 농도를 보이고 있다. 다만, 배출공의 경우에는 대부분의 물질이 일반 대기중의 농도에 비해 높은 값을 나타내며, 이는 향후 포집후 발전동력으로 활용할 경우 VOCs 농도수준은 대폭 저감될 수 있다.

현재 난지도 매립가스의 포집과 지역열원으로의 활용계획에 의하면, 매립가스 포집비율을 약 75% 수준으로 제시되어 있다. 그러나 미국 환경청(EPA)의 매립가스 포집과 에너지 재활용 지침에 따르면, 효과적인 설계를 바탕으로 추진된 매립가스 포집시스템은 85% 이상의 포집효율이 가능한 것으로 진단하고 있다(U.S.EPA, 1999). 결국 보다 효과적인 매립가스 포집시스템을 활용할 경우, 매립가스에 의한 위해 가능성은 더욱 낮아지게 되는 결론을 도출할 수 있게 된다.

2) 3차 측정 및 4차 측정

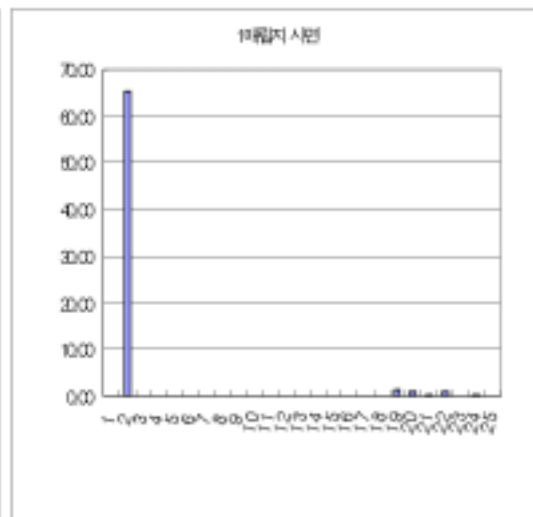
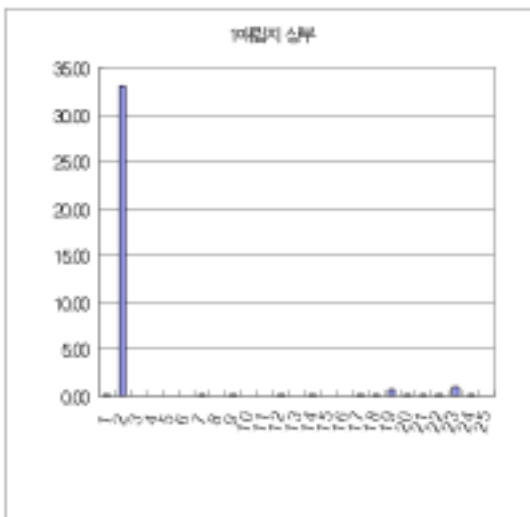
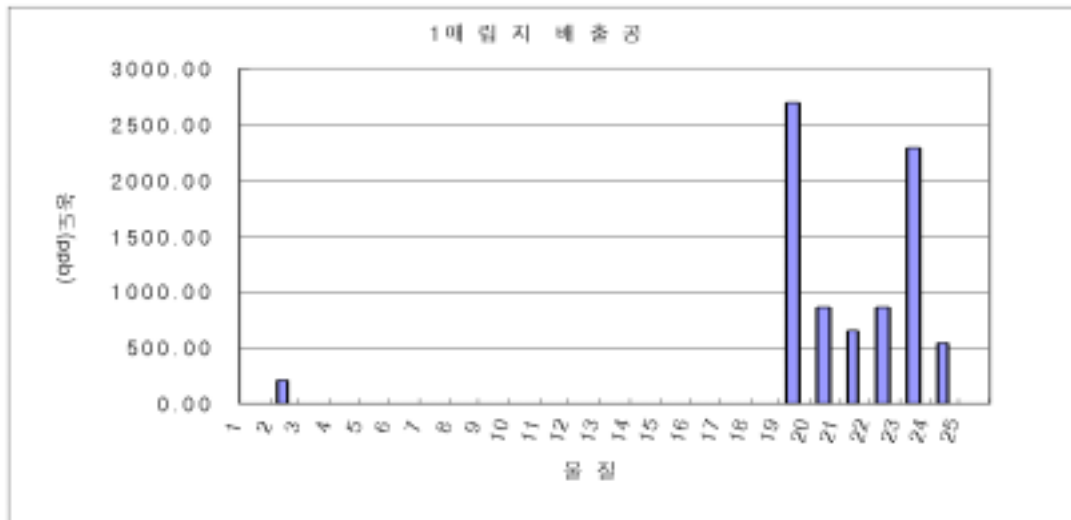
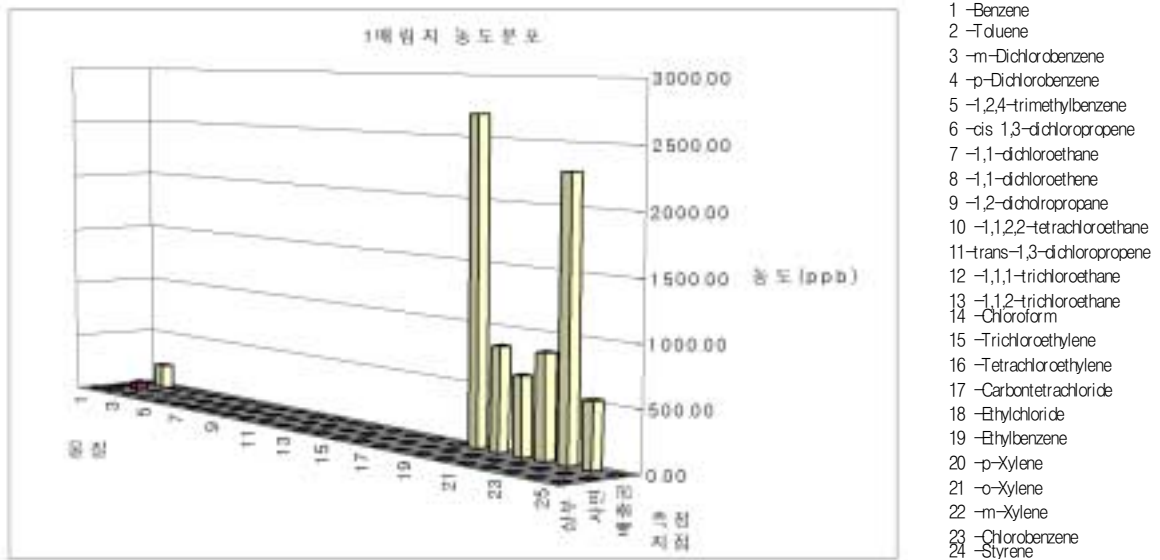
(1) 측정결과

〈표 4-11〉 지역별 VOC 농도분포(3차 측정)

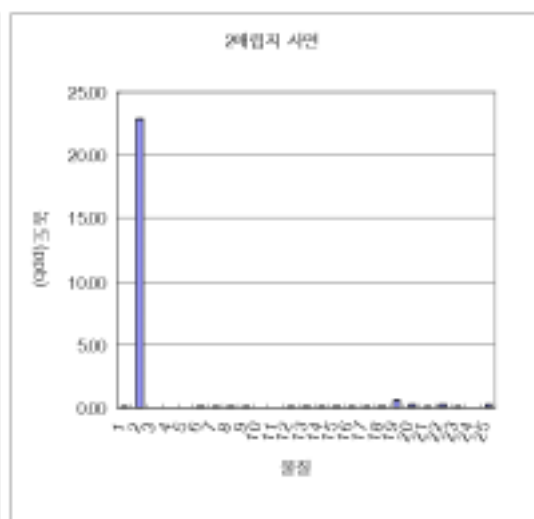
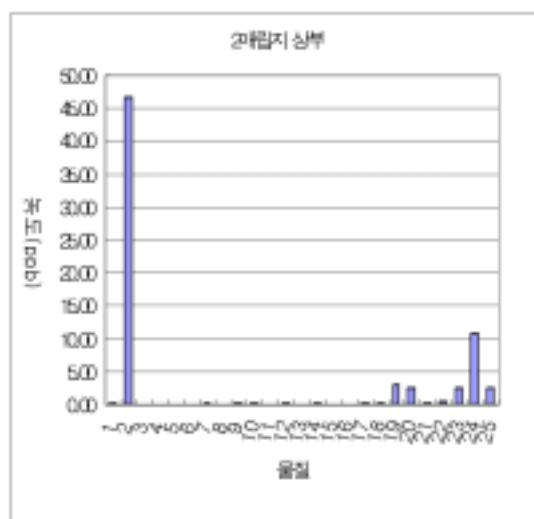
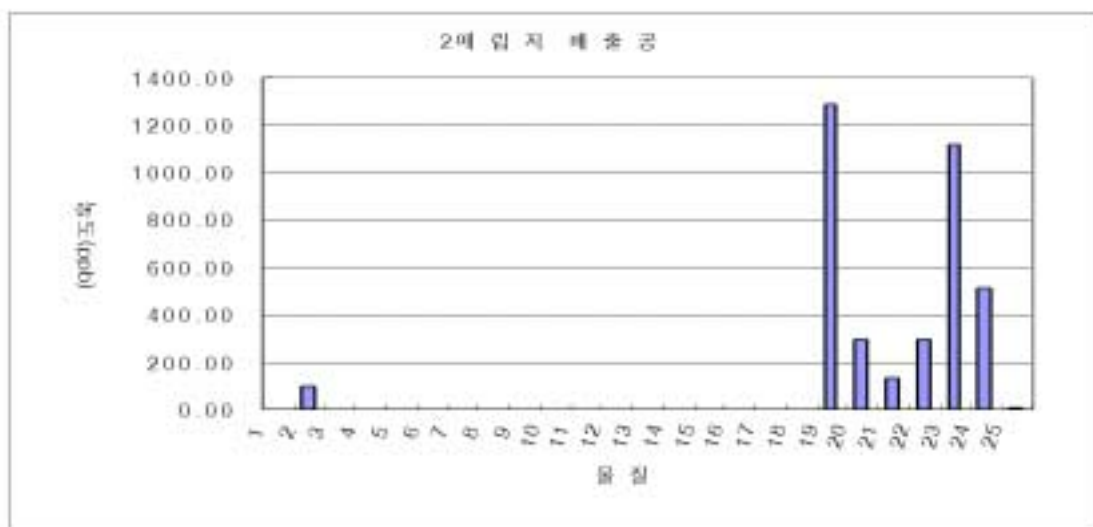
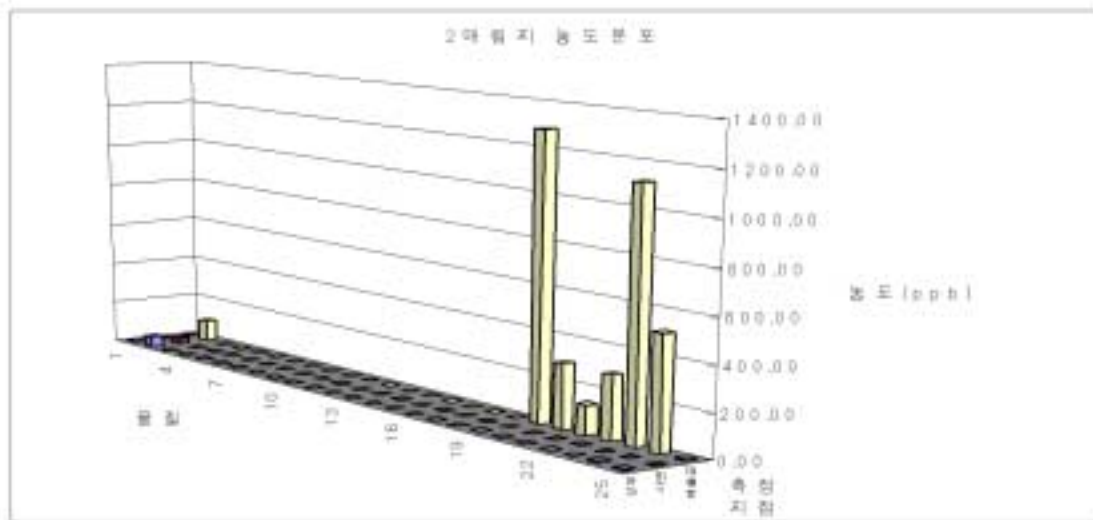
(단위: ppb)

측정지점 대상물질	1매립지			2매립지			주변지역	
	상부	사면	배출공	상부	사면	배출공	상암	가양
* Benzene	0.10	0.09	0.99	0.13	0.10	0.17	0.08	0.10
* Toluene	33.03	65.35	204.17	46.78	22.83	99.66	6.47	63.80
m-Dichlorobenzene	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.68	0.01	0.00	0.23	0.00	0.00
cis 1,3-dichloropropene	0.05	0.07	0.97	0.08	0.07	0.12	0.07	0.07
1,1-dichloroethane	0.12	0.11	0.12	0.14	0.13	0.10	0.12	0.12
1,1-dichloroethene	0.06	0.09	0.09	0.11	0.09	0.10	0.05	0.09
1,2-dichloropropane	0.10	0.09	0.11	0.13	0.12	0.10	0.08	0.11
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.04	0.05	1.16	0.12	0.04	0.75	0.06	0.04
trans-1,3-dichloropropene	0.06	0.06	0.11	0.09	0.06	0.11	0.07	0.07
1,1,1-trichloroethane	0.10	0.09	0.10	0.13	0.12	0.11	0.12	0.11
1,1,2-trichloroethane	0.08	0.08	0.08	0.10	0.07	0.08	0.08	0.08
* Chloroform	0.10	0.10	0.10	0.13	0.12	0.09	0.11	0.11
* Trichloroethylene	0.08	0.08	0.08	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08
* Tetrachloroethylene	0.06	0.07	0.26	0.11	0.08	0.22	0.07	0.07
Carbon tetrachloride	0.12	0.11	0.18	0.15	0.13	0.16	0.12	0.12
Ethyl chloride	0.11	0.11	0.11	0.14	0.13	0.11	0.12	0.12
* Ethylbenzene	0.60	1.37	2692.56	3.06	0.66	1285.45	1.11	6.07
* p-Xylene	0.23	0.89	861.59	2.52	0.23	293.14	0.42	2.87
* o-Xylene	0.11	0.27	653.09	0.23	0.09	134.05	0.15	1.17
* m-Xylene	0.23	0.86	861.50	0.51	0.23	293.06	0.42	2.87
Chlorobenzene	1.03	0.09	2282.91	2.65	0.10	1120.58	0.15	3.21
Styrene	0.10	0.23	542.77	10.82	0.04	514.58	0.09	7.01
1,3,5-trimethylbenzene	0.02	0.07	0.81	2.68	0.27	4.83	0.01	0.47

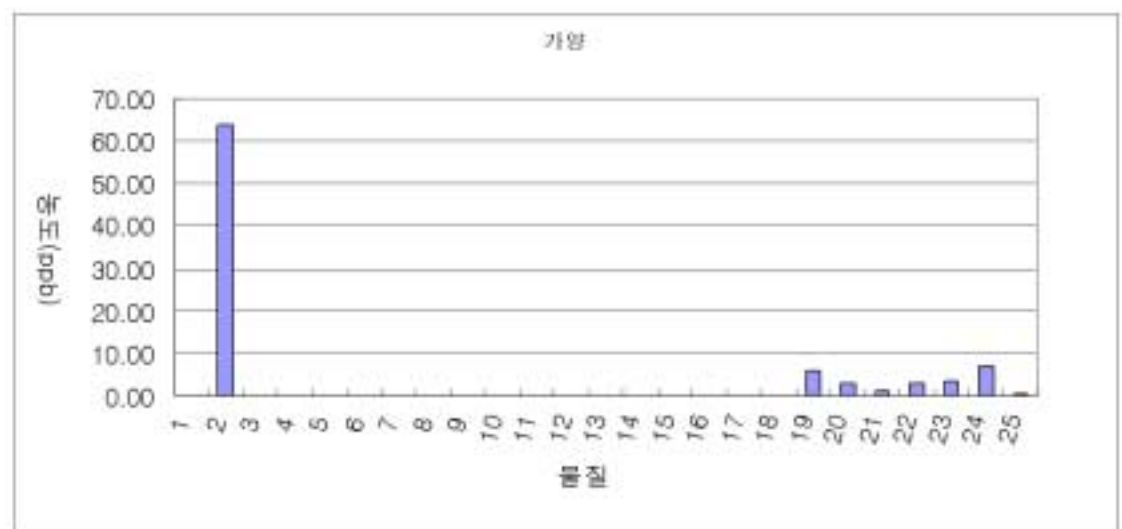
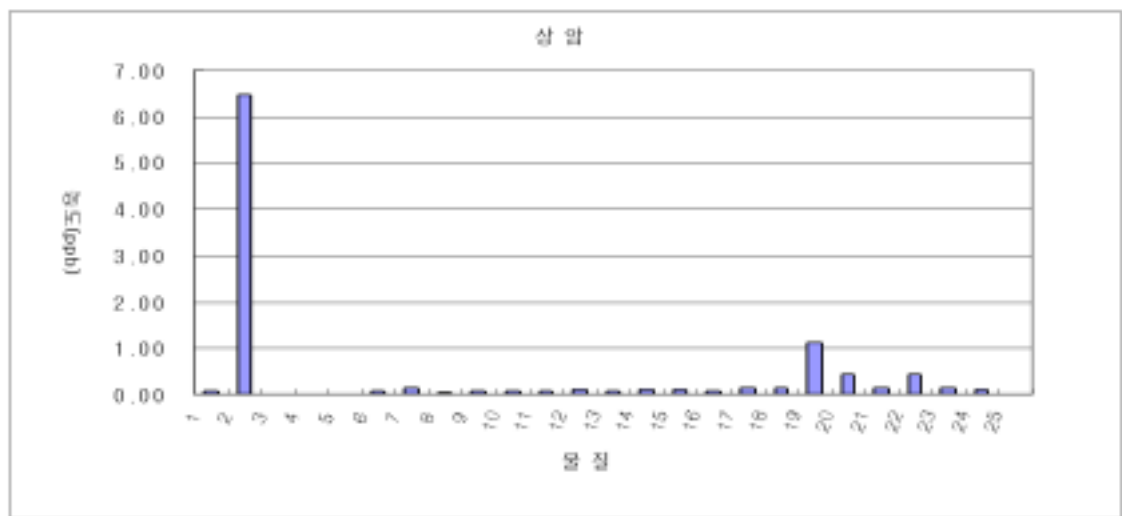
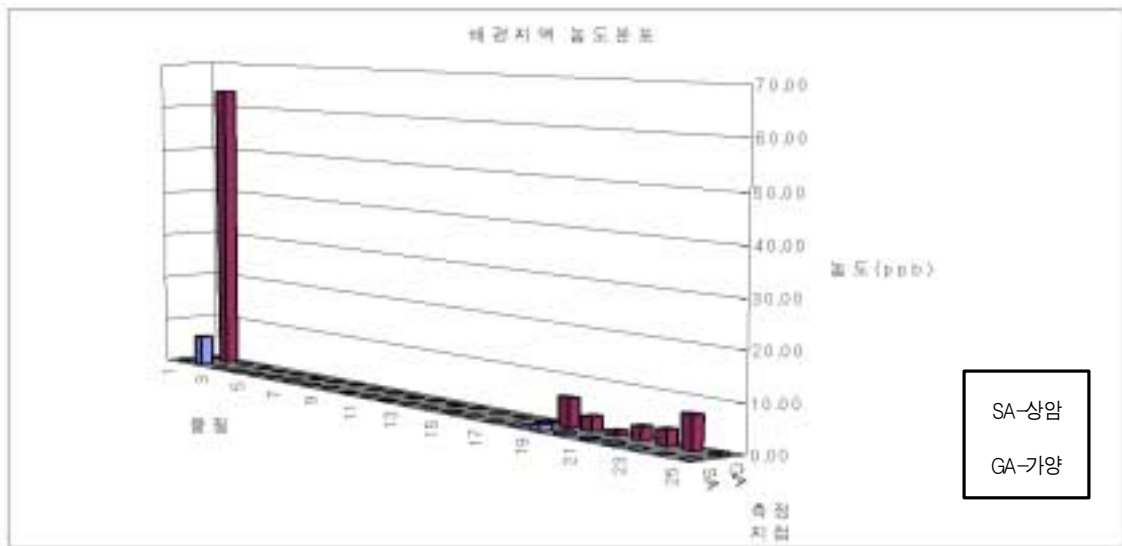
주: 3차측정: 제1매립지(8월 18일, 8월 23일, 9월 25일), 제2매립지(8월 16일, 8월 17일, 9월 26일),
상암(8월 16일, 8월 17일), 가양(8월 17일, 8월 18일)



<그림 4-8> 1매립지 농도분포



〈그림 4-9〉 2매립지 농도분포



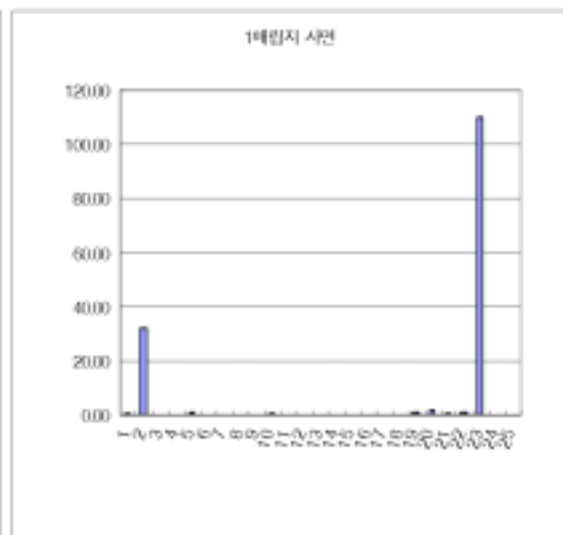
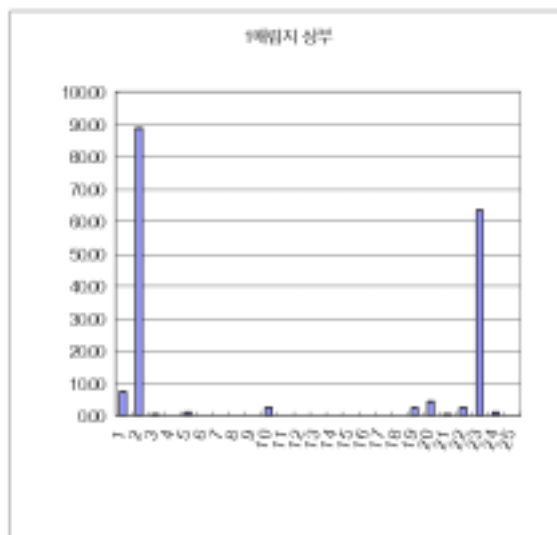
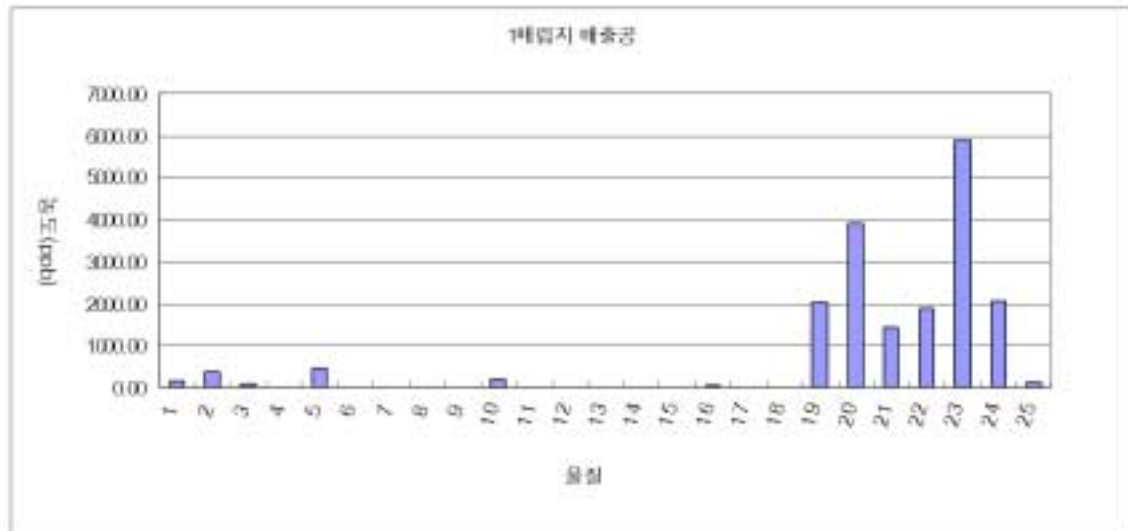
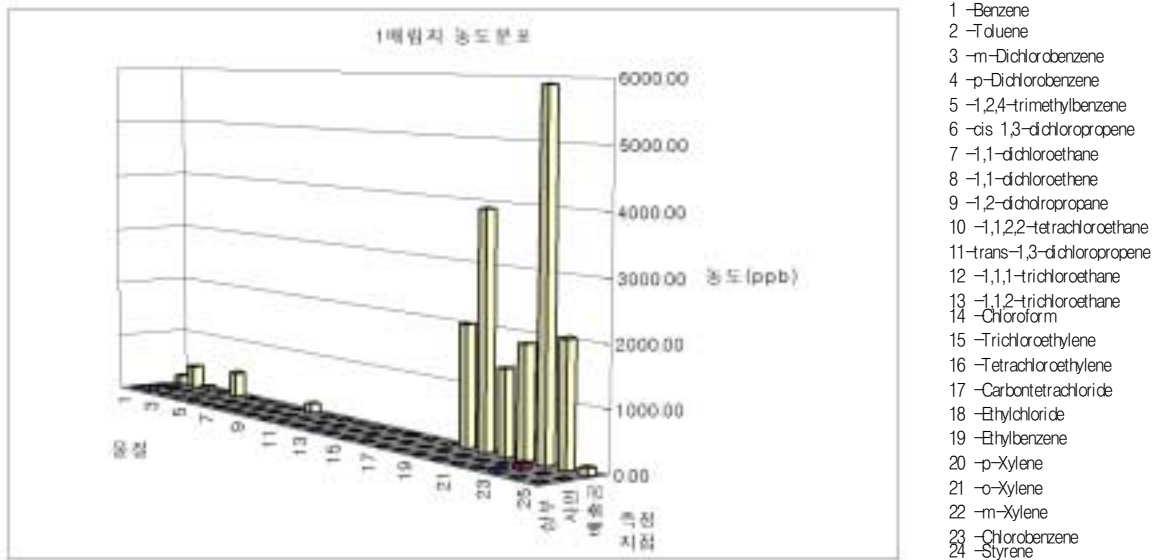
〈그림 4-10〉 배경지역 농도분포

〈표 4-12〉 지역별 VOC 농도분포(4차 측정)

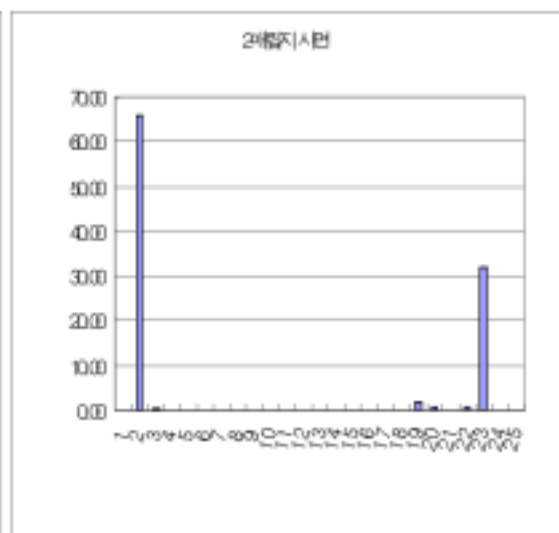
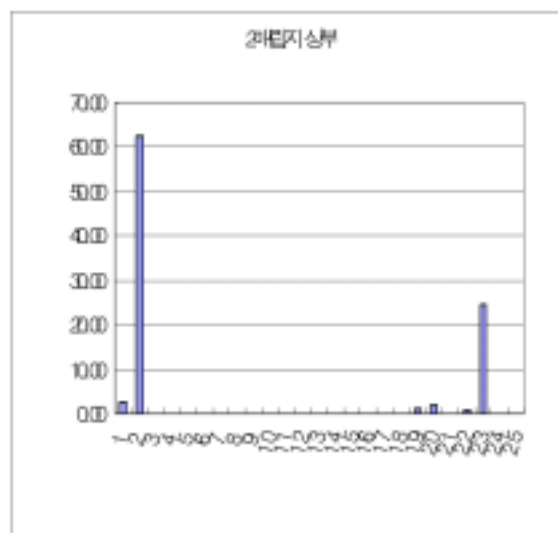
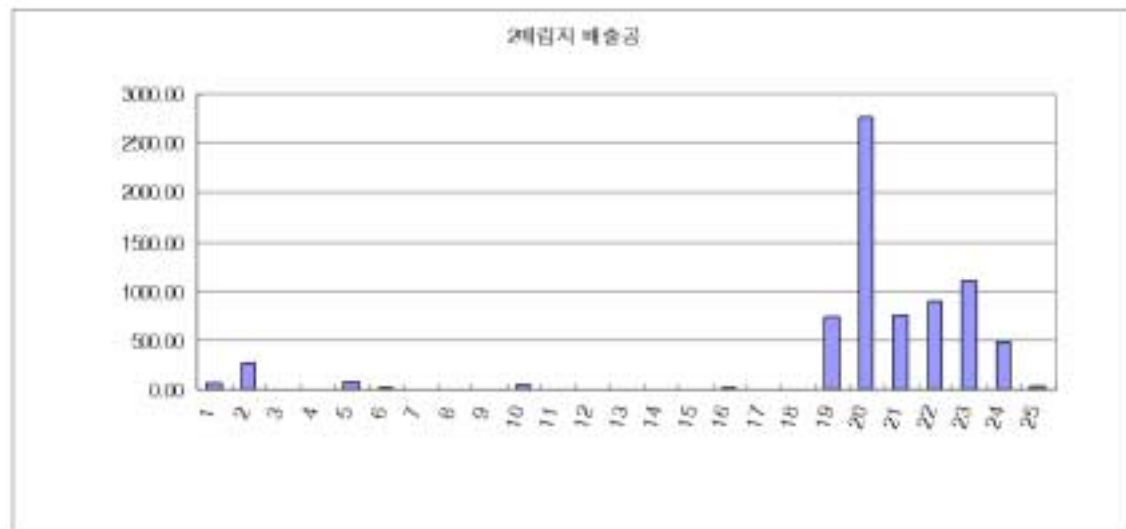
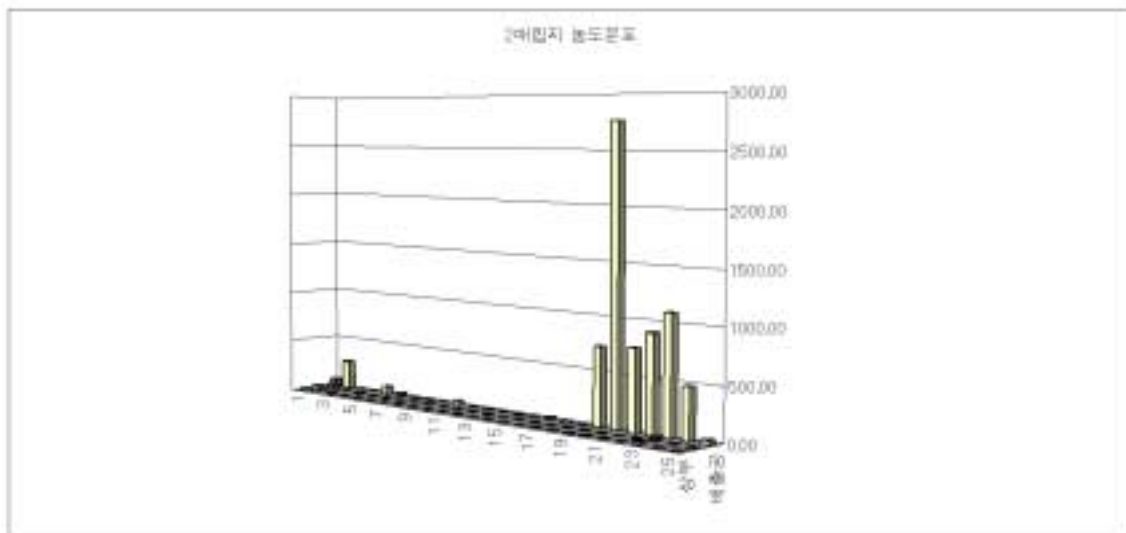
(단위: ppb)

측정지점 대상물질	1매립지			2매립지			배경지역	
	상부	사면	배출공	상부	사면	배출공	상암	가양
* Benzene	7.55	0.63	155.22	2.80	0.02	60.65	0.82	0.23
* Toluene	88.59	32.32	379.55	62.30	65.87	271.60	6.22	29.06
m-Dichlorobenzene	0.28	0.00	68.27	0.00	0.38	1.39	0.57	0.05
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	6.61	0.01	0.00	2.04	0.07	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.98	1.00	434.74	0.05	0.00	75.90	3.41	0.07
cis 1,3-dichloropropene	0.01	0.01	17.15	0.01	0.00	19.55	0.04	0.00
1,1-dichloroethane	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
1,1-dichloroethene	0.00	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2-dichloropropane	0.01	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1,1,2,2-tetrachloroethane	2.52	0.63	177.70	0.09	0.10	40.22	0.90	0.12
trans-1,3-dichloropropene	0.00	0.00	2.02	0.08	0.00	0.35	0.01	0.00
1,1,1-trichloroethane	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.04	0.01	0.00
1,1,2-trichloroethane	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
* Trichloroethylene	0.00	0.03	0.25	0.00	0.06	0.16	0.01	0.00
* Tetrachloroethylene	0.00	0.00	33.57	0.00	0.00	14.49	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	6.48	0.01	0.00	0.64	0.01	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Ethylbenzene	2.35	1.25	2026.75	1.01	1.77	731.33	0.57	2.23
* p-Xylene	4.35	1.65	3906.97	1.77	0.93	2756.18	0.60	1.48
* o-Xylene	0.69	0.60	1420.94	0.00	0.00	755.99	0.33	0.08
* m-Xylene	2.22	1.12	1862.60	0.89	0.93	905.70	0.57	1.48
Chlorobenzene	63.18	110.33	5894.42	24.46	31.92	1101.16	0.05	13.93
Styrene	0.99	0.00	2053.74	0.00	0.01	480.88	0.03	0.06
1,3,5-trimethylbenzene	0.00	0.00	125.91	0.00	0.00	38.53	0.00	0.00

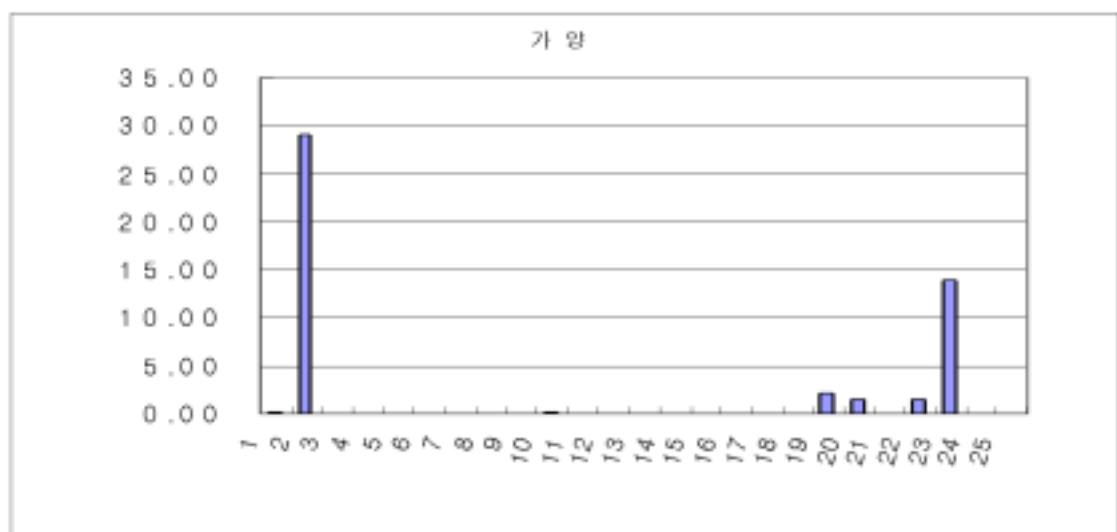
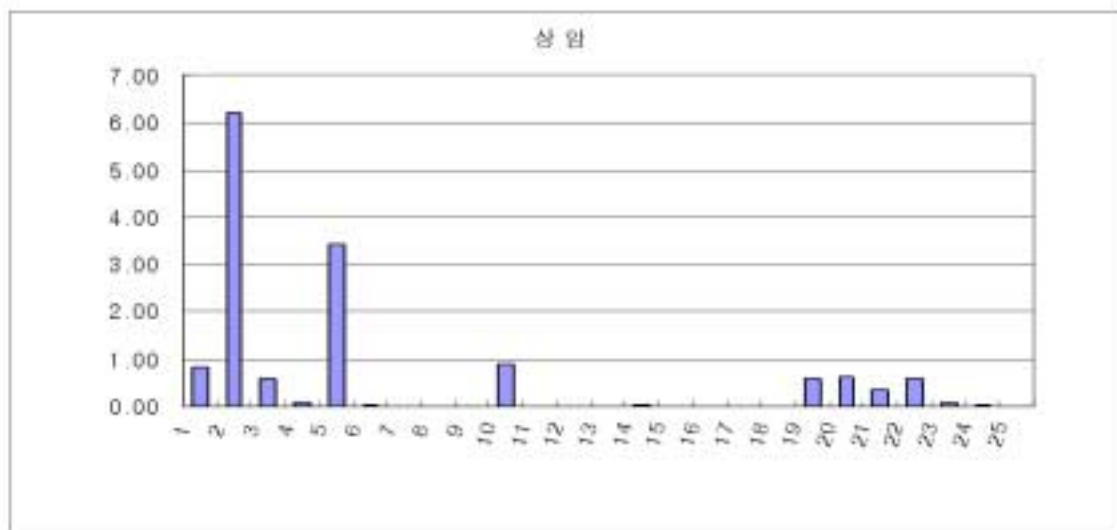
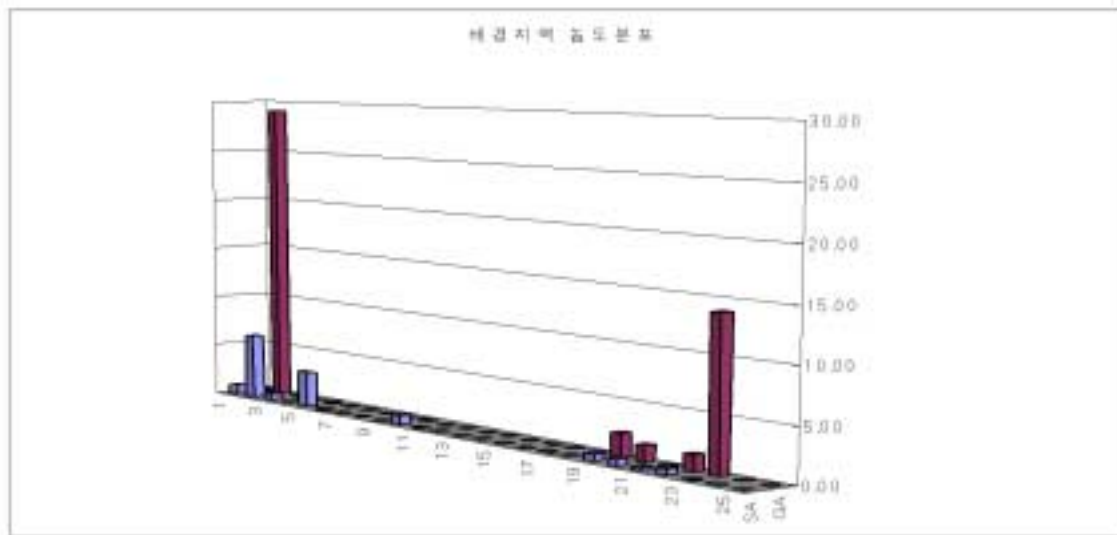
주: 4차측정: 제1매립지(10월 9일, 10월 10일, 10월 13일), 제2매립지(10월 7일, 10월 8일, 10월 14일),
상암(10월 7일, 9일, 10일), 가양(10월 8일, 9일, 10일)



〈그림 4-11〉 1매립지 농도분포(4차 측정)



〈그림 4-12〉 2매립지 농도분포(4차 측정)



〈그림 4-13〉 배경지역 농도분포(4차 측정)

(2) VOC 3차·4차 측정결과의 종합분석

● 측정결과의 종합분석

난지도 매립지와 주변지역의 VOCs 농도를 측정한 결과 배출공, 상부, 사면, 배경지역 순으로 농도가 높게 나타났다. 특히, 매립가스 배출공의 경우 Toluene 농도는 100~300ppb를 나타내고, Ethyl chloride, Ethylbenzene, o,m,p-Xylene, Chlorobenzene 및 Styrene의 경우에는 500~3000ppb 수준으로 매우 높은 농도수준을 보이고 있다.

매립지 상부 및 사면의 경우에는 Toluene의 농도가 30~80ppb의 수준으로 가장 높게 나타났으며 주변지역의 경우에도 Toluene의 농도가 가장 높게 나타나고 있다. 또한, 제1매립지 보다 제2매립지의 오염농도가 낮은 수준이며, 이는 제2매립지의 경우에는 상부 복토가 완료된 상태에서 가스 추출작업이 진행되고 있기 때문이다.

그리고 시간적인 경향성 측면에서 볼 때 8월 측정과 10월 측정에 있어서 농도값에 큰 차이를 보이지는 않으나 8월의 농도가 약간 높음을 알 수 있다. 이는 10월 보다 8월 측정시의 온도가 높아서 미생물의 활발한 활동으로 인한 폐기물의 분해가 촉진되고, 또한 VOCs의 휘발에도 영향을 미쳤기 때문으로 추정된다.

● 난지도 매립지 VOCs 농도예측

현재는 가스배출구에서 VOCs가 직접적으로 대기중으로 배출하므로 배출공의 농도가 주변환경에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 향후 추출정을 통해 매립가스를 강제 추출 정제후 냉난방 열원 및 마포자원회수시설의 보조 연료로 활용할 계획이므로, 안정화 사업이 완료된 후의 오염물 농도는 지금보다 한층 낮아질 수 있을 것이다.

한편 매립지 안정화 사업을 진행함에 있어 기본설계시에는 발생가스량 전량을 포집할 목적으로 상부에서 20%, 사면부에서 80%의 가스 추출설비를 계획한 바 있으나, 외국 매립지의 실적이나 관련 문헌에 의하면 100% 포집은 사실상 불가능 한 것으로 조사되어 매립지 상부 및 사면에 대하여 약 75% 정도의 가스포집이 가능하도록 하였다.

이에 따라 현재의 VOCs 배출경향과 비교하여 약 75% 수준의 포집계획에 의하면, 매립지 상부의 경우 Benzene 1.5ppb, Toluene 15~20ppb, Ethylbenzene 0.30ppb, p-xylene 0.71ppb, m-xylene 5~15ppb, o-xylene 0.10ppb 의 수준이 될 것으로 예상된다. 그러나 사면의 경우 상부 복토로 감소되는 매립가스가 사면으로 배출될 가능성이 있으므로 사면의 농도감소는 현재 수준의 25%보다는 약간 높게 유지될 가능성이 있다. 이에 사면지역에 대한 향후 특별관리가 필요하게 된다.

또한 기본설계시 매립가스의 표면 발산량은 Benzene, Toluene, Xylene의 경우 1~100ppm의 수준으로 조사되었다. 현재 농도수준으로 볼 때 오염물질의 농도는 비교적 낮게 측정되는 경향을 보이고 있으며 열회수시설을 이용하게 될 경우에는 지금보다 농도수준이 더욱 낮아질 것으로 예상된다.

- 향후전망

이상의 난지도 매립지의 VOCs 측정자료(1차~4차)와 도시지역 VOCs 농도자료(<표 4-4> 참조)와 비교할 경우, 난지도 매립지의 VOC 농도가 비교적 높음을 알 수 있다. 특히 난지도 매립지 가스배출구에서 현재와 같이 특별한 제어대책 없이 직접적으로 대기중에 배출되므로 매립지의 VOCs 농도가 높게 나타날 수 있다.

그러나 향후 매립지 배출가스를 포집하여 지역난방 등의 열원으로 활용하게 될 것을 감안하면, VOCs 대기오염농도가 지금보다 훨씬 낮아질 수 있을 것이다. 결국 매립가스의 포집후 발전동력원으로서의 활용과 함께 사면지점과 같은 유해가스 취약지점에 대한 집중관리를 통해 매립지 주변 대기중 오염농도는 현재 수준보다 낮아지며, 또한 인체 위해성에 대한 큰 우려는 없을 것으로 분석된다.

第 V 章 난지도 매립지의 VOCs 위해도 평가 및 오존오염 기여도 분석

제 1 절 위해도 평가과정

제 2 절 유해오염물질의 선정 및 위험성 확인

제 3 절 VOCs 성분별 위해도 분석

제 4 절 위해도 평가결과

제 5 절 위해도 비교평가

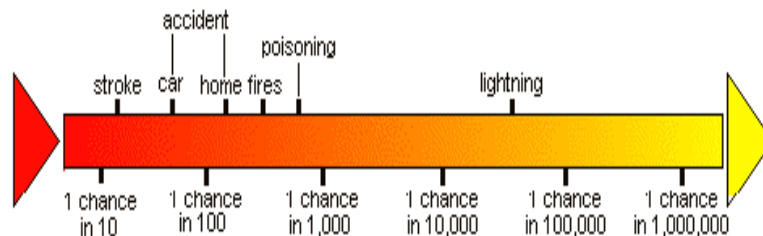
제 6 절 매립지 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석

제 V 장 난지도 매립지의 VOCs 위해도 평가 및 오존오염 기여도 분석

제 1 절 위해도 평가과정

1. 개요

미국 NRC(National Research Council)의 정의에 의하면, 위해성 평가(Risk Assessment)는 환경적 위험요소의 인체폭로에 따른 잠재적인 건강상의 역효과를 평가하는 것으로서,³⁾ 첫째 건강 및 환경에 대한 유해성을 이해하며, 둘째 유해폐기물관리를 위한 의사결정의 토대를 형성하고, 셋째 쟁점사항에 대한 인체건강상의 문제를 제시하여 가능한 대안을 모색하는 도구로서 의미를 부여하고 있다.



〈그림 5-4〉 인체건강 위해도를 비교

1. 위해도 평가과정

미국 국립과학원(National Academy of Sciences)이 1983년 위해도 평가과정을 ①위해성의 확인, ②노출량 평가, ③선량-반응평가, ④위해도 결정의 4단계로 정의하면서 위해성 평가방법이 정립되어, 현재에 이르고 있다. 위해도 평가과정의 4단계를 요약하면 다음과 같다.

① 1단계: 유해물질 확인(Hazard Identification)

—대상지역에 어떤 화학물질이 존재하는가 하는 것을 확인하는 단계

② 2단계: 노출평가(Exposure Assessment)

3) 주로 독성, 이동성, 지속성 등이 함수가 되는 것으로 어떤 유해물질이 방출되거나 방출될 우려가 있을 때 유해하다고 표현하고, 이 유해성에 노출되거나 노출될 우려가 있을 때 위해(risk)라고 표현함.

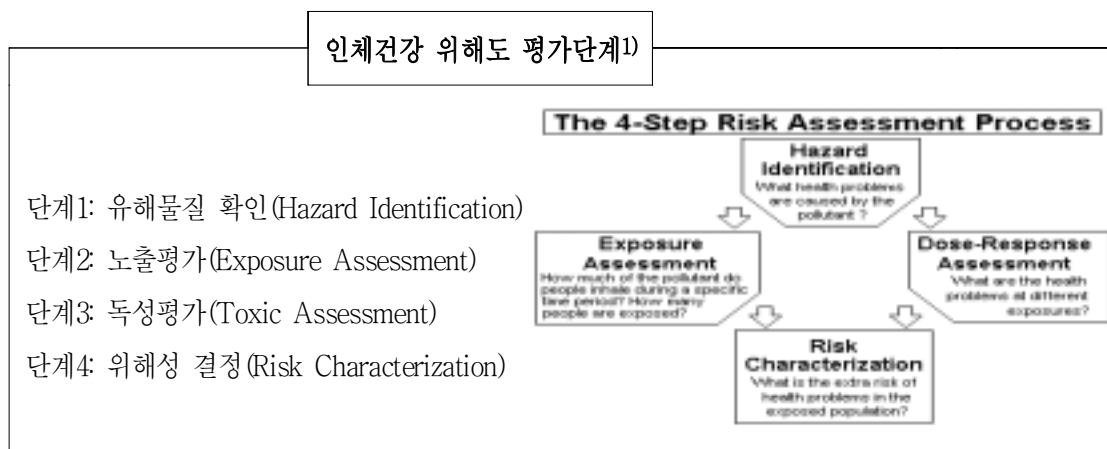
-대상지역 부근에 거주하는 주민들이 화학물질에 노출되거나 화학물질의 이동에 의해 피해를 입을 가능성이 있는가를 노출경로 및 기간에 따라 평가

③ 3단계: 독성평가(Toxic Assessment)

-화학물질의 독성학적 평가, 즉 각 화학물질의 발암성 혹은 비발암성의 독성을 정의하고 노출-감응(dose-response)관계를 파악하여 독성지수 결정

④ 4단계: 위해성 결정(Risk Characterization)

-앞 단계에서 행한 정량적이 계산결과를 해석하고 계산상에서 수반될 수 있는 불확실성에 대하여 평가하여 의사결정에 적절히 적용할 수 있도록 하는 단계



1) 자세한 사항은 http://www.epa.gov/oar/oaqps/air_risc/3_90_022.html 참조.

〈그림 5-2〉 인체건강 위해도 평가단계

제 2 절 유해오염물질의 선정 및 위험성 확인

대기 중 오염물질 중 빈번히 검출이 되거나 그 독성이 문제시되고 있는 물질로 다루어지고 있는 휘발성 유기오염물질(Volatile Organic Compounds; 이하 VOCs)은 다양한 오염원을 가지고 있다. 특히, 산업폐기물 매립지에서는 매립 후 부등침하에 의한 함몰 또는 균열에 의해 trichloromethane, 1,3-butadiene, trichloroethylene, tetrachloroethylene, carbone tetrachloride와 같은 VOCs가 고농도로 대기 중에 누출되는 것으로 연구, 보고된 바 있다(EPA, 1990).

따라서 본 연구에서는 미국 환경보호청에서 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutants; HAP)로 규정하고 있는 급성위험목록(Acute Hazards List)에 403종의 화학물질과 유해대기오염물질 우선순위관리체계(Hazardous Air Pollutant Prioritization System; HAPPS) 목록의 620종

화학물질을 기초자료로 하여 난지도와 같은 일반 및 산업 폐기물 매립지에서 발생 가능한 VOCs를 선정하였다.

이와 같이 선정된 VOCs는 benzene, toluene, ethylbenzene, o-/m-/p-xylene, chloroform, trichloroethylene, tetrachloroethylene, vinyl chloride, carbon tetrachloride, ethyl chloride, methylene chloride, trichloroethane, dichloroethane, chlorobenzene, styrene o-/m-/p-dichlorobenzene의 20종이다. 연구 대상 물질로 선정된 VOCs에 대해 인터넷을 통해 제공하고 있는 각종 위험성 정보 데이터베이스를 이용하여 물리·화학적 특성, 실험동물에 대 상으로 한 단기 및 만성 독성 자료, 발암성 자료와 인체 역학연구 자료를 조사, 검토하여 정성 적인 위험성을 확인하였다.

1. Benzene

1) 오염원

Benzene은 주로 방향족 화합물 생산의 주원료로 사용되며 오일과 석유에 약 5% ~ 16% 정도 함유되어 있다. 화석연료 연소시 발생하는 것을 포함하여 연간 발생량은 32백만톤 이으며 이중 4백만톤이 환경중으로 배출된다고 알려져 있다. 주된 배출원으로는 자동차 배출가스, 석유 의 저장과 운송 중 증발 등이 있다. 대기중 반감기는 24시간 미만이며 대기중으로 배출된 benzene은 희석 또는 제거되거나 높은 증기압으로 인해 재증발된다. 식물에 의해 흡착되고 생분 해된다고 보고되기도 하였다. 나무와 유기물질의 연소에 의해서도 배출된다.

2) 인체독성 및 발암성

benzene의 호흡노출로 인한 백혈병 유발에 관한 역학자료가 다수 보고되고 있다. 6개월 이상 benzene 노출 근로자들에게서 노출용량과 비례하여 백혈병, 임파종과 혈액암의 발생율이 증가 됨이 관찰되었다. Aksoy 등(1974)의 연구는 28,500명의 터어키 근로자들을 대상으로 연구한 결 과 그들의 평균 근로기간은 9.7년(1~15년), 평균연령은 34.2세이며 benzene이 210~650ppm정도 인 환경에서 백혈병 발생자가 26명이고 백혈병 또는 백혈병 전구증상 발생자가 31명 관찰되었 으며 결과적으로 13/100,000의 백혈병 발생률이 추계되었다(자연 백혈병 발생률 6/100,000).

Infant 등(1977)의 연구는 1940~1949년 사이에 benzene 노출 공장에서 백인 남자 근로자들을 대상으로 조사한 결과 백혈병의 발생률이 통계학적으로 유의하게 증가되었다. Rinskye 등(1981)의 연구에 의하면 Infant등의 연구를 바탕으로 그후 24년간 보완, 연구결과 백혈병 발생률이 통 계학적으로 유의하게 증가되었으며(SMR=560), 특히 5년이상 근속 근로자의 백혈병으로 인한

사망률, 즉 SMR은 2100으로 추계되었다(benzene노출농도:10-100ppm, 8시간 근무).

Rinsky 등(1987)의 연구는 40ppm/year의 농도로 노출시 백혈병으로 인한 사망률, SMR은 109로 산출되고 400ppm/year 이상의 농도에서는 SMR이 6637로 산출되었다. 이상의 역학 연구 결과를 바탕으로 benzene은 백혈병 유발 물질로 분류하고 있으며, 현재 작업장 노출농도 기준인 10ppm에서 40년간 근무를 한다면 이로 인해 통계적으로 유의하게 백혈병 발생 위험이 증가될 것이라고 보고되었다.

Wong 등(1983)의 연구에 의하면 1946~1975년 동안 최소한 6개월 이상 근무한 근로자 4,062명을 대상으로 연구한 결과 노출용량과 비례하여 백혈병, 임파종, 혈액암 등의 발생이 증가됨을 관찰하였다. 이외에도 다수의 역학연구결과 benzene으로 인한 백혈병 발생 및 이로 인한 사망률이 증가된다고 보고되고 있다.

3) 인체 노출 경로

① 대기 : 호흡을 통하여 흡입된 benzene의 50%가 체내로 흡수된다. $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ benzene에 오염된 공기로 인한 일일 호흡 노출량은 $10\mu\text{g}$ (일일 호흡량 20m^3) 정도이며 담배는 고농도의 benzene($150\sim 204\text{mg}/\text{m}^3$)을 함유하고 있으며 흡연자의 주요 노출 경로이다. 흡연 노출에 대한 benzene 흡입량은 담배 개비당 10 ~ $30\mu\text{g}$ 이다. 가정에서 사용하는 각종 용제나 접착제, 세척제 등에도 소량의 benzene이 함유되어 있으며, 부주의한 취급과 부적절한 환기에 의해 고농도의 benzene에 노출될 수 있다.

② 음식 : 다양한 음식을 통해 benzene에 노출되는데, 미국 IARC(1982)에서의 연구 보고서에 의하면, 달걀의 경우는 $25\sim 100\mu\text{g}$ /개, 통조림속의 고기의 경우는 $2\mu\text{g}/\text{kg}$ 정도가 함유되어 있는 것으로 보고되고 있다. 이 밖에도 생선, 닭, 땅콩, 과일, 야채 등을 통하여 섭취할 수 있으며 일일 최고 섭취량은 $250\mu\text{g}$ 로 알려져 있다(Brief 등, 1980).

③ 음용수 : benzene의 음용수 노출농도는 $0.1\sim 0.3\mu\text{g}/\ell$ 이며, 고농도의 노출은 $20\mu\text{g}/\ell$ 이다 (Benzene. in: 2nd annual report on carcinogens NTP 1981; 49-52).

④ 상대적 노출경로

음료 및 음식(μg)		호흡기(μg)		모든 경로를 통한 총 섭취량(μg)
음식 ^a	물 ^a	대기 ^b	흡연 ^c	
100~250	1~5	0~300	0 (0갑)	130 ~ 550
			600 (1갑)	700 ~ 1200
			1200 (2갑)	1300 ~ 1800

a : 흡수율 100%로 가정

b : 일일 호흡량은 20m^3 이고 흡수율은 50%로 가정

c : 담배 1개비의 함유량은 $30\mu\text{g}$ 이며 20개비를 한 갑으로 가정

4) 위험성 분류

- ① 분류 : A - 확인된 인체 발암물질(Human carcinogen)
- ② 근거 : 작업장 근로자들을 대상으로 한 역학 연구 결과 백혈병 발생률이 증가되었으며, 랫트와 마우스를 대상으로 동물 실험을 한 결과, 신생물 발생율이 증가되었고 이외에도 여러 보조적 정보들을 바탕으로 분류하였다.

2. Toluene

1) 오염원

주된 오염원은 석유 정제 공정, 코크스 오븐공정, 페인트, 잉크, 신나, 접착제, 화장품품의 성분, 스티렌 등 다른 화학물질의 생산 등에 사용되며 이를 통해 환경중으로 배출된다. 벌크생산 시 benzene-toluene-xylene 혼합체의 형태로 사용되기도 한다. benzene에는 순수한 toluene이 소량(0.01%) 함유되어 있기도 하다.

Toluene은 총 사용량과 오염원이 다양하고 나라마다 차이가 있기 때문에 연간 사용량을 추정하기가 어렵다. Toluene은 대류권에서 가장 많은 탄화수소류이며, 대류권내에서의 확산은 기상학적 조건과 대기반응에 의해 크게 좌우된다. Toluene은 스모그의 주요 원인으로 작용하며, 오존과 포름알데히드의 생성에 toluene의 역할이 에틸렌과 프로필렌에 견줄만하다. 또한, toluene은 매우 독성이 강한 눈 자극제인 퍼옥시벤노일 나이트레이트(peroxybenoyl nitrate)의 전구물질이고 강한 휘발성과 낮은 용해도 때문에 자연수에 존재하는 대부분의 toluene은 결국에는 대기중으로 전이된다.

2) 인체 독성 및 발암성

인체 발암성에 관한 역학자료가 없다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : 대기오염이 주된 오염원이며, 실내공기오염은 실외오염보다 높을 수 있다. 실내농도는 $610\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출된다(Molhave L, et al.). 작업장의 일부 집단은 일반 인구집단보다 고농도로 노출될 가능성이 높다. Toluene은 담배연기의 주성분이기 때문에 흡연을 통해 노출될 수 있으며, 주류연에서의 농도는 0.1mg/개비로 나타나고, 부류연에서의 toluene 농

도는 더욱 높다(Dalhamn T, et al., 1968).

② 음식 : 음식을 통한 노출은 극히 제한적이고 미미한 수준이다.

③ 음용수 : 음용수를 통한 노출은 미미하여 심각한 오염은 거의 없다(WHO 1985).

④ 상대적 노출 경로

노출 경로	검출 범위	노출 빈도	총흡입 /섭취량	흡입/섭취율 (mg/주)
일반인				
흡입 : 도시지역	0.1~204 μ g/m ³	168 시간/주	140m ³ /주	0.01~28
농촌지역	3.8 μ g/m ³	168 시간/주	140m ³ /주	0.5
산업 지역	0.1~20mg/m ³	168 시간/주	140m ³ /주	14~2800
실내(비공업지역)	17~700 μ g/m ³	168 시간/주	140m ³ /주	2~98
섭취 : 음용수	0~19 μ g/m ³	2 l /일	14 l /주	0~0.3
음식(생선)	0~1mg/kg	6.5g/일	45.5g/주	0~0.045
근로자				
흡입	375mg/m ³	40 시간/주	32m ³ /주	12000
피부	0~170 μ g/m ³	0~30분/주		0~1.0
흡연자				
흡입	0.1mg/개비	20개비/일	140개비/주	14

자료: Sato A & Nakajima(1978)

4) 위험성 분류

① 분류 : D - 인체 발암 물질로 분류할 수 없는 물질(Not classifiable as to human carcinogen)

② 근거 : 역학 자료의 부재, 불충분한 동물 실험 결과와 대부분의 유전 독성 실험에서 양성 결과가 관찰되지 않음을 바탕으로 하여 분류하였다.

3. o-/m-/p-Xylene

1) 오염원

자연적인 오염원으로는 페트롤륨, 콜타르, 산불, 공장에서의 휘발 등이 있으며 인위적인 오염 원으로는 페트롤륨 정제과 가솔린 및 디젤엔진에서 배출되며 알킬 수지, 락카, 고무접합제, 농

약살포제, 유기합성제로 사용할 때도 배출된다. 가솔린이나 다른 연료의 운반 및 저장과정 중 누출되거나 증발되면서도 배출되고 카브레타에서도 배출된다. 각종 농업활동에서도 배출된다.

2) 인체의 발암성 및 독성

인체 발암성 : 역학 연구 자료의 불충분으로 인체발암성을 입증할 만한 근거 자료는 없다.

3) 인체 노출 경로

다양한 경로를 통해 인체 노출되지만 전체 노출량의 50% 정도가 공기 호흡을 통하여 이루어진다.

4) 위험성 분류

- ① 분류 : D - 인체 발암 물질로 분류할 수 없는 물질(Not classifiable as to human carcinogens)
- ② 근거 : 공업용 xylene을 이용하여 섭취노출 실험을 실시한 결과, 랫트와 마우스에서 주요한 종양 발생율의 증가가 없음을 근거로 분류하였다.

4. Ethylbenzene

1) 오염원

발생원으로는 ethylbenzene과 styrene 제조공정 및 유기용제로 사용하는 과정에서 대기중으로의 방출, 폐기물의 누출이 있을 수 있다. 그 외에도 석유 정제시, 휘발유의 사용으로 인한 휘발과 연소시에 발생하는 배출 가스, 주유소의 휘발유와 등유의 휘발 및 누출, 저유지에서의 보관 및 수송하는 동안 휘발 및 누출, 자동차 배기가스 그리고 담배 연기로 인해 대기중으로 방출되어진다.

2) 인체의 독성 및 발암성

Ethylbenzene은 인체에서 발암성 증거를 제시할 수 없다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : ethylbenzene의 주요 인체노출 경로는 호흡을 통한 노출이며, 특히 교통 밀집지역, 터널, 주차장과 휘발유 저유소 및 주유소 등에서 노출될 가능성이 높다. 직업적인 노출로는 ethylbenzene의 제조 및 용제로써 ethylbenzene을 사용하는 공장 지역주민 및 근로자들에 대한 노출이 있으며, 비직업적 노출로는 담배연기로 인한 실내공기오염에 기인된 노출이 있을 수 있다. 대기중 ethylbenzene은 주로 호흡을 통해서 인체내로 들어오게 된다.
- ② 음식 : ethylbenzene의 금붕어에 대한 생체농축계수(log BCF)는 1.19이며, 농작물에 대한 생체농축계수(log BCF)는 0.67이다. 생선류에 대한 생체농축계수(log BCF)는 2.16으로 평가된다. 일반적으로 콩에 함유된 ethylbenzene의 검출 농도는 평균 5ppb이며, 완두콩에는 13ppb, 렌즈콩에는 5ppb가 검출되었다.

4) 위험성 분류

- ① 분류 : D - 인체 발암 물질로 분류할 수 없는 물질(Not classifiable as to human carcinogen)
- ② 근거 : 동물 실험 자료의 부족과 역학 자료의 부재를 근거로 분류하였다.

5. Chloroform

1) 오염원

자연 발생원은 규명된 바 없으며 인위적인 오염원 중 chloroform 제조과정이나 다른 물질의 제조과정에서 부산물로 생성되어 환경으로 방출되는 경우가 가장 중요한 오염원이다. 구체적인 오염원을 살펴보면 염소를 이용한 종이 표백, 음용수의 염소소독, 수영장의 염소소독, 냉각수의 염소소독, 폐수의 염소소독, 교통기관의 배기가스, 대기중의 trichloroethylene 및 1,1,1-trichloroethane의 분해 등을 들 수 있다. Batjer 등(1980)은 독일의 Bremen에 있는 공용 수영장에서 매일 10g정도의 chloroform이 생성된다고 보고하였다.

미국 환경보호청(1984)에 따르면 자동차의 배기가스에 chloroform이 상당량 함유되어있는 것으로 조사되었는데 이는 휘발유속에 납 제거제로 첨가되는 1,2-dichloroethane이 chloroform으로 분해되어 생성되는 것으로 밝혀졌다. 또한 Rem 등(1982)은 첨가된 1,2-dichloroethane의 1% 정도가 chloroform으로 배출된다고 보고하였다. Appleby 등(1976)은 빛 에너지와 NO₂가 존재 할 경우 고농도(1ppm)의 trichloroethane에서 1% 정도가 chloroform의 전환되며 그 양은 3×10⁶kg/

년 정도 된다고 보고하였으나 실제로는 그 보다는 적을 것으로 예상된다. 또, 미국 환경보호청 (1984)에 의하면 미국에서 trichloroethane에 의해 생성되는 chloroform 양이 780톤/년 정도 된다고 한다.

2) 인체독성 및 발암성

Chloroform의 호흡 노출로 인한 역학 연구가 매우 불충분하여 자료를 제시할 수 없다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : 64kg의 성인 남녀가 하루에 호흡하는 양이 22m³ (WHO, 1987)으로 가정하고 하루 24시간 중 실외에서 생활하는 시간을 4시간이라고 하면 실외공기를 통하여 하루에 체내로 들어오는 chloroform의 양은 0.01μg/kg(체중)이고 하루 24시간 중 실내에서 생활하는 시간을 20시간이라고 하면 실내공기를 통하여 하루에 체내로 들어오는 chloroform의 양은 0.3~1.2μg/kg(체중)이다.
- ② 음식 : 64kg의 성인 남녀가 하루에 먹는 고형 음식물이 1.536kg(WHO, 1987)이라고 할 때 하루에 음식을 통하여 섭취하게 되는 chloroform의 양은 1μg/kg(체중)이다 (Daft, 1989).

4) 위험성 분류

- ① 분류 : B2 - 유력한 인체발암물질 (Probable human carcinogens)
- ② 근거 : 랫트와 3종의 마우스에서 수종의 종양 발생이 증가된 연구 결과를 근거로 분류하였다.

6. Trichloroethylene

1) 오염원

자연적 오염원은 알려진 바 없으며 상업적으로 생산되는 trichloroethylene의 대부분은 ethane, dichloroethane으로부터 생성된다. 드라이클리닝, 인쇄, 인쇄잉크제조, 추출과정, 페인트생산, 염료 염색에 이용된다. 가정에서는 접착제, 얼룩 제거제, 카펫 세탁제에 이용된다. 모든 상업용 trichloroethylene은 분해를 방지하기 위해 안정제가 첨가되며, 이로 인해 환경 중으로 배출된 trichloroethylene은 변화하지 않고 대기중으로 배출되며 또한 물과 폐수로도 유입된다.

2) 인체 독성 및 발암성

드라이크리닝 세탁 근로자들을 대상으로 한 역학 연구에서는 인체 발암성 증거를 밝혀내지 못했다. Trichloroethylene에 노출된 근로자들을 대상으로 실시한 임파구에서의 자매염색체 교환실험 결과, 6명중 2명이 양성반응이 나타났다. 이 밖에도 많은 역학연구 결과를 종합·비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다(WHO, 1985; US EPA, 1985). 피부, 폐, 생식기, 담낭, 간, 식도, 임파구 부위에서 암발생이 유발되었으나 신장관과 임파종을 제외하고는 일관된 양상을 보이지는 못했으며 다른 연구에서는 음성적 결과를 보였다. 모든 연구에서 다른 화합물(tetrachloroethylene, carbon tetrachloride, 크롬, 니켈, 구리, 철, 납, 부식성 산/원료용매)의 영향을 배제하지는 못했다. Trichloroethylene으로 오염된 음용수를 섭취한 아이들에게서 백혈병 증상이 나타났으나 유의하게 증가하지 않았다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : 가정에서의 수도수 사용으로 인한 증발이 실내오염의 주된 요인이며, 특히 수도물의 오염이 심할 경우 더욱 위험한 요인이 된다. 대기 중 흡입 노출이 가장 중요한 노출 경로이다.
- ② 음식 : 음식에서 발견되는 trichloroethylene의 잔류물은 환경중에서 유입되거나 혹은 용제 사용에 의한 것이다. 독일에서 500명을 대상으로 조사한 바에 의하면 일일 섭취량은 $6.0\mu\text{g}/\text{day}$ 이며, 음료수에 의해 $1.2\mu\text{g}/\text{day}$ 의 섭취가 일어난다. 음식을 통해 이론적으로 가능한 섭취량은 $1.4\mu\text{g}/\text{day}$ 이다(US EPA, 1984).
- ③ 음용수 : 독일 100개 도시의 음용수 중 trichloroethylene의 평균 농도는 $0.6\mu\text{g}/\ell$ (Bauer, 1981), 음용수로 이용되는 지하수는 $80\mu\text{g}/\ell$ (Ziglio G 등, 1983)으로 높은 농도를 나타내고 생산 공정이나 설치 공장 주변의 노출 평균 농도가 가장 높은 농도 $19\sim 32\mu\text{g}/\ell$ 로 나타났다(US EPA, 1985).
- ④ 상대적 노출 경로 : trichloroethylene 0.8ppb 로 오염된 대기로 인한 인체 노출량은 $16\mu\text{g}/\text{day}$ 이다(Bauer U. 1981). 산업지역에 거주하는 사람들은 대기, 음용수 등의 환경 오염을 통해 최대 $300\mu\text{g}/\text{day}$ 로 노출될 수 있다(Ziglio G, et al. 1984).

4) 위험성 분류

- ① 분류 : B2 - 유력한 인체 발암물질(Probable human carcinogen)
- ② 근거 : 마우스 등을 대상으로 실시한 동물실험 결과로 분류하였다.

7. Tetrachloroethylene

1) 오염원

일반적으로 드라이클리닝 용제 및 금속세척제로 사용되며, 직물산업의 마무리 공정에서도 이용된다. 추출용제, 열교환매, 곡물훈증제 등 다양하게 사용되고, 불화수소의 제조에도 사용된다. 전 세계적으로 약 팔십만톤 이상이 배출되고 있다.

2) 인체 독성 및 발암성

세탁소와 드라이클리닝 작업근로자를 대상으로 한 노출량과 암사망률과의 상관성에 관한 3편의 연구가 있다. Blair (1979)등의 연구에서 폐암, 경부암, 피부암이 관찰되었으나 원인-결과 관계를 밝혀내지는 못했다. 그리고 Katz와 Jowett (1981)는 여성근로자에게 있어서 방광의 smaller excess와 피부암, 림프육종과 함께 음낭암, 신장암의 발암위해도가 증가하였으나 혼란변수와 노출에 대한 자료의 부족으로 인해 tetrachloroethylene에 기인한 원인-결과 관계를 규명하지 못했다.

Brown & Kaplan의 연구는 드라이클리닝 세탁 근로자를 대상으로 연구를 실시하였으나 tetrachloroethylene이 인체 간암 발생률을 증가시킨다는 증거는 발견하지 못했다. 드라이클리닝 세탁시 근로자들을 대상으로 한 ACGIH(1986) 연구에서도 간암 발생을 증가에 관한 증거는 발견하지 못했다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : 대기오염이 인체노출의 주된 오염원이다. 실내공기오염은 실외오염보다 더 중요한 오염원이며 빌딩 구조물, 상업품 등에 영향을 받는다. 특히 조립식 주택에서 최고농도로 검출되었다.

대상 지역	대상수	노출 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
네덜란드	134가정(5-7일간)	4~205
이태리	15가정(4-7일간)	3~47
미국		250

- ② 음식 : 음식을 통한 섭취는 중요한 오염원으로 평균 $160\mu\text{g}/\text{day}$ 의 농도로 노출된다. (Bauer와 Selenka, 1982; Von diiszeln 등, 1982)그러나 현재 조리방법의 개선으로 음식을 통한 tetrachloroethylene의 섭취는 현저하게 줄어들고 있다고 한다.

- ③ 음용수 : tetrachloroethylene은 상대적 불용성, 증기압(25°C에서 19torr)에서 음용수에 휘발성이 강하므로 특별한 오염물질을 제외하고는 노출이 거의 없다(Zoeteman 등, 1980).
- ④ 상대적 노출 경로 : tetrachloroethylene의 실내 노출은 실외 노출농도보다 더 높고 주요 노출경로는 건축자재원과 생활용품이다(Wallace 등, 1985)

노출경로	관찰농도
- 일반인구집단	
흡입 : 도시	미량-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
농촌	미량
폐기물적치장	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
소화 : 음용수 및 음식	$\leq 2\mu\text{g}/\ell$
- 직업적 노출 집단	
흡입 :	$\leq 340\text{mg}/\text{m}^3$

4) 위험성 분류

- ① 분류 : B2 - 유력한 인체 발암 물질(Probable human carcinogen)
- ② 근거 : 마우스의 동물 실험 결과를 바탕으로 분류한 것이다.

8. Vinyl chloride

1) 오염원

자연에는 존재하지 않는 화학적인 합성물질로써 공업적으로 아세틸렌과 염화수소에서 합성하므로 ethylene과 염소로 이염화 에틸렌을 합성하고 이것을 열분해하여 제조한다. Vinyl chloride와 PVC(poly vinyl chloride)는 플라스틱, 고무, 종이, 유리, 자동차 산업원료로 사용되며, 전선 절연체, 케이블, 파이프, 공장·가정장비, 의료장비, 음식포장물질, 건물·건축장비 생산 등에도 사용된다.

1979년 이후로 매년 생산량 증가, 약 70억 lbs(pound)에 이른다(미국내 생산량). Vinyl chloride가 지표수로 유출되면 몇 시간 또는 하루안에 대기중으로 이동하여 광화학적 산화를 일으키며 지면으로 방출시에는 토양흡수로 흡수되지 않고 아주 빠르게 지하수로 흡수된다. 지하수속에서는 꽤 장기간 잔존하며 trichloroethylene, tetrachloroethylene의 분해산물로 보고되고 있다. 그러나 먹이연쇄를 통한 생물농축은 일어나지 않는다. 도시지역의 대기나 생산공장 및 사용장소에서 발견되며, 대기중 농도는 ppt(part per trillion) 수준이고, 주요 폭로경로는 오염된 수계이다. 화학공장과 라텍스(latex) 생산공장에서 방출되는 유출물에서 낮은 농도의 염화비닐

이 검출되었으며 물을 공급하기 위해 사용되는 PVC 파이프에서 침출되어 음용수에서 검출되기도 한다(Karel Verschueren, 1983).

2) 인체 독성 및 발암성

IARC(1979)의 에서 vinyl chloride와 polyvinyl chloride를 사용하는 산업장 근로자들을 대상으로 한 역학 연구 결과, 뇌와 폐의 종양, 간의 혈관육종, 조혈, 세포조직이상 등의 발생률이 증가하였음을 보고하였다. Wong는 vinyl chloride를 사용하는 사업장에서 평균 8.7년 동안 근무한 근로자 10,173명중 37명이 간암과 담관암으로 사망하였음을 증명하였다.

그리고 Nicholson 등은 vinyl chloride를 사용하는 산업장에서 평균 18년 동안 근무한 근로자 491명을 대상으로 하여 연구한 결과, 간암과 담관암으로 10명이 사망하였음을 보고하였다.

3) 인체노출 경로

Vinyl chloride의 주요 인체 노출 경로는 음용수를 통한 섭취와 호흡기계로의 흡수를 들 수 있다. 매우 휘발성이 강한 물질로써 vinyl chloride로 오염된 수도수를 이용한 샤워 및 목욕시 피부접촉을 통한 노출도 고려되어야 한다.

4) 위험성 분류

- ① 분류 : A - 인체 발암 물질(Human carcinogen)
- ② 근거 : Creech와 Johnson(1974)이 처음으로 vinyl chloride에의 노출과 인체암 발생간에 상관성을 증명한 후, 여러 연구자들에 의해 동물실험뿐만 아니라 역학 연구에 의해서도 간종양 발생이 노출용량에 비례하여 증가됨이 증명되었고, 이와 같은 발암증거를 기반으로 인체 발암 물질(Human carcinogen)로 분류된다.

9. Carbon tetrachloride

1) 오염원

오일, 지방, 락카, 니스, 고무, 왁스, 수지 등의 용제, 여러가지 유기화합물 제조시 초기 재료, 곡물훈증제, 제약공정에서의 보조제, 포스겐 형성 등에 사용됨으로서, 환경 중으로 방출된다.

2) 인체독성 및 발암성

인체 발암성 : 간종양의 증가에 관한 세편의 연구결과가 있으며 carbon tetrachloride를 사용하는 근로자를 대상으로 한 몇몇 연구에서 비교적 높은 초과발암위해도가 예측되기도 하였으나, 유의한 용량-반응 관계를 밝히기에는 많은 불확실성이 존재하였다. Carbon tetrachloride로 인한 인체 발암성에 관한 역학 연구 결과는 불충분한 것으로 평가되었다.

3) 인체노출경로

대기중의 carbon tetrachloride는 호흡기, 눈, 피부 등을 통해 인체내로 침투가 가능하며 주된 노출경로는 호흡을 통한 노출이다.

4) 위험성 분류

- ① 분류 : B2 - 유력한 인체 발암물질(Probable human carcinogen)
- ② 근거 : 랫트와 마우스와 햄스터 실험에서 발암성 결과를 근거로 분류하였다.

10. Methylene chloride

1) 오염원

생산된 methylene chloride의 80%이상이 사용후 대기로 방출되며 물로부터의 휘발도 주발생원이다. 페인트 제거제, 폴리우레탄 폼-블로잉(blowing) 제제, 용매, 살충제, 헤어스프레이, 샴푸, 페인트의 불화탄소의 대체제, 인화용 필름, 합성섬유, 코코아, 버터, 카페인, 호프, 지방등과 같은 열 민감성 음식의 추출, 냉매제(coolant, refrigerant), 곡식의 살충제 등으로 사용되며 이를 통해 대기중으로 배출된다. 생산된 methylene chloride의 80%이상이 사용 후 대기중으로 배출된다. 물로부터의 휘발도 주된 발생요인의 하나이다.

2) 인체독성 및 발암성

호흡으로 인한 인체 발암성 증거는 불충분하다. Ott 등(1983)은 methylene chloride에 노출된 근로자들을 대상으로 실시한 역학조사에서 심혈관계에 대한 영향과 부수적인 연구로 특정부위에서의 발암성 발현의 잠복기를 관찰하고자 하였으나 상관관계는 나타나지 않았다.

Friedlander 등(1978)의 연구에서는 저농도로 노출되는 근로자들을 대상으로 췌장종양 발생 증가에 대한 제한적인 증거들을 제시할 수 있었다. 그후 미국 환경보호청에서 계속 연구를 하였으나 methylene chloride 노출과 췌장암으로 인한 초과 사망률간의 유의한 상관관계는 밝히지

못하였다. 그후 Ott 등은 과거의 연구를 보완하여 진행한 결과, methylene chloride로 인해 간암과 담낭암이 증가될 가능성이 있음을 보고하였다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : 호흡을 통한 흡입이 주된 노출경로이며 실내에서 methylene chloride 함유물질을 사용하는 것도 유의한 노출원이 될 수 있다.
- ② 음식 : 염소소독 과정 중에서 발생하여 음용수를 통하여 노출될 수 있다. 음식에 대해서는 매우 제한된 정보만이 있을 뿐이고, 다만 탈카페인 커피에는 0.3~0.4mg/kg정도가 함유되어 있다고 보고된 바 있다(NIOSH 1980).
- ③ 음용수 : 음용수에서의 methylene chloride의 노출은 거의 없지만 염소 소독 처리과정에서 형성 가능성이 있다(WHO 1984).

4) 위험성 분류

- ① 분류 : B2 - 유력한 인체 발암물질(Probable human carcinogen)
- ② 근거 : 불충분한 역학 자료와 실험동물에서의 충분한 발암성 증거를 바탕으로 암·수 마우스 실험에서 간세포 신생물과 폐포 기관지 신생물의 발생률이 증가하는 결과를 보였다. 특히 암수 토끼에서는 양성유선종양의 발생률 증가가 관찰되며 유전자 독성실험 결과에서도 양성 반응을 보이므로 이를 근거로 분류하였다.

11. 1,1,1-Trichloromethane

1) 오염원

자연적인 발생원은 없으며 vinyl chloride를 1,1-dichloroethane으로 가수염소처리(hydrochlorination) 시키고 이를 다시 가열염소처리(thermal chlorination) 시킬 때 1,1,1-trichloroethane이 생성된다(Fishbein, 1979). 또한 1,1-dichloroethane을 직접 가수염소화시킬 때와 ethane이나 chloroethane을 직접 염소처리 시킬 때도 생성된다. 이때 다른 할로젠화탄화수소도 생성된다.

주로 금속세척 및 탈지작업, 다양한 공정의 용제, 접착제, 페인트, 광택제, 잉크, 드라이 크리닝 제제, 그리고 수정액 등의 재료로 사용된다. 또한, 금속 절단유 속의 냉각제나 윤활제로 사용되며 직물염색용제, 세척된 플라스틱의 몰딩제제, 인쇄된 원판의 현상액 등으로도 사용되며,

이러한 산업장에서의 사용으로 인해 환경중으로 배출된다.

2) 인체독성 및 발암성

인체 발암성 : Seki 등의 연구에 의하면 5년 근속 근로자 196명을 대상으로 역학 조사한 결과, 노출용량과 관련하여 유의한 유해영향은 관찰되지 않았다. 0.6g/kg의 1,1,1-trichloroethane을 섭취한 사고에서 특이한 독성 증후는 없었으며 구토증과 설사증세를 보였다.

3) 인체 노출 경로

① 대기 : 대기중 1,1,1-trichloroethane은 주로 호흡을 통하여 인체내로 들어오게 되며 피부를 통한 흡수는 상대적으로 적은 편이다. Duszeln (1982)등은 독일에서 실시한 연구에서 일일 총 1,1,1-trichloroethane 섭취량(35.8 μ g)의 89%(32 μ g)를 대기로부터 호흡에 의해 섭취한다고 밝힌 바 있다.

② 음식 : 음식을 통한 노출에 대한 연구결과는 다음과 같다.

식품류	종류수	농도구간(μ g/kg)	참고문헌
유제품류		0.1~10, 0~0.6	Pearson(1982)Bauer (1981)
육류		3~6	McConnell 등 (1975), Pearson(1982)
식용류		0.5~10, <1~>10	Pearson(1982),Pfannhauser 등(1988)
마아가린	45	ND~500	Entz 등(1982),Entz&Diachenko(1988)
버터	16	10~7,500	Entz 등(1982), Miller & Uhler(1988)
아이스크림	2		Entz 등(1982)
치즈		7~9, <1~100	Entz 등(1982),Pfannhauser 등(1988)
빵	2		McConnell 등(1975), Pearson(1982)
감자		1~4	McConnell 등(1975)
과일 및 채소류		2~3	McConnell 등(1975), Pearson(1982)
생선		0.7~5	McConnell 등(1975), Pearson(1982)
생선(간, 육질, 내장)		5~7	Dickson & Riley(1976)
홍차(티백)	7	—	McConnell 등(1975)
보리	770	—	Daft(1988)
팍콘	5	—	Daft(1988)
콩류	5	—	Daft(1988)
초코렛류		<1~100	Pfannhauser 등(1988)
지방질 식품		<1~10	Pfannhauser 등(1988)

4) 위험성 분류

- ① 분류 : D - 인체에 발암물질로 분류할 수 없는 물질(Not classifiable as to human carcinogens)
- ② 근거 : 발암성에 관련한 역학자료가 존재하지 않으며 동물실험도 역시 발암성과 관련된 충분한 증거가 불충분하다. 그러나, 공업용 등급의 1,1,1-trichloroethane은 약한 돌연변이원성을 보이며 희박하나마 동물에서 발암성의 결과도 관찰된 바 있으므로 이를 바탕으로 분류하였다.

12. 1,2-dichloroethane

1) 오염원

자연발생적 오염원은 알려져 있지 않고 인공적 오염원으로써, 화학합성 중간물질로서 사용, scavenger(청소용 화학약품), 용매추출과 세척시, 살충제를 희석할 때, 건물 훈증제, 도료의 코팅과 접착제 등의 사용시 대기중으로 대량 방출된다. 세척용매와 화학적 중간물질로서 사용시 부적절한 처리로 인해 폐수로 방출되기도 한다.

2) 인체 독성 및 발암성

매우 고농도의 1,2-Dichloroethane은 신장, 간, 부신 등의 폭넓은 기관에 손상을 입힌다. 간과 신장의 이상기능현상은 중증의 간괴사, 급성세관 괴사, 저혈당증, 과칼슘혈증, 저프로트롬빈혈증, 부신괴사와 위장출혈 등에 의해 더욱 복잡한 양상을 띄게 된다. 0.5~1.0g/kg의 고농도의 1,2-dichloroethane을 사고로 인해 섭취했을 경우 사망할 수 도 있다.

이러한 경우 부검해보면 간괴사, 병소부신, 변질 및 괴사현상이 관찰된다. 성인남자가 1, 20, 400~800mg/kg(체중)의 농도로 섭취했을 경우, 순환계 및 호흡기계 부전(파손)으로 사망할 수도 있다. 주요 표적기관은 중추신경계(CNS)로 밝혀졌다.

1952~1977년 사이에 화학약품 공장에 근무하는 근로자 2,510명에 대해 1,2-dichloroethane에의 노출과 복합 골수종 및 골수암으로 인한 사망과의 상관성을 조사했으나 노출농도에 따른 사망율의 증가는 통계적으로 유의하지 않았다.

3) 인체노출 경로

대기중의 1,2-dichloroethane은 호흡기, 눈, 피부 등을 통해 인체내로 침투가 가능하며 주된 노출경로는 호흡을 통한 노출이다.

4) 위험성 분류

- ① 분류 : B2 - 유력한 인체 발암물질(Probable human carcinogen)
- ② 근거 : 랫트와 마우스를 대상으로 섭취노출 실험을 실시한 결과, 몇몇 형태의 종양발생률 증가, 그리고 국소적인 폭로 후의 마우스에서의 폐유두종의 발생률 증가를 근거로 하여 분류하였다.

13. Chlorobenzene

1) 오염원

페인트의 용제와 세탁물에 이용. 섬유의 팽창 작용제, 접착제, 왁스, 광택제, 제약과 천연고무의 제조에 있어서 용제로 이용된다. 폐기도금 주석의 재생, 가솔린 첨가제, 냉매제, 고무접합을 위한 용매로 사용된다. 자연적인 오염원은 없으며 농약 합성시, 탈지공정 및 기타 여러 산업공정에서 사용할 때 휘발됨으로써 환경중으로 배출된다.

대기중으로 배출된 chlorobenzene은 희석과 광화학 반응에 의해 그 농도가 감소되며 물이나 토양으로 배출된 것은 대기중으로의 휘발과 생분해에 의해 그 농도가 감소된다. 어류나 음식물에 생체 농축되는 양은 그리 많지 않으며 인체 노출의 가장 주요경로는 호흡을 통해서이다.

특히 주변에 점오염원이 있을 때 더욱 그러하다. Dow chemical의 조사에 의하면 생산량의 30~50% 정도가 휘발된다고 한다. 또한 산업폐기물도 발생원 중에 하나이며, 미국 환경보호청에 의하면 물로 배출되는 양은 폐기물 발생량의 약 0.1% 이하수준이고 토양으로 배출되는 양은 대체로 1%이하이다.

2) 인체독성 및 발암성

인체 발암성 : 역학 연구 자료의 불충분으로 인체 발암성을 입증할 만한 근거자료는 없다.

3) 인체 노출 경로

Chlorobenzene은 강한 휘발성을 지니고 있으므로 지하수나 하천수, 토양 등에 함유되어 있다가도 쉽게 대기 중으로 휘발된다. 대기중에 오염된 chlorobenzene은 호흡에 의해 인체로 흡입되

게 된다.

4) 위험성 분류

- ① 분류 : D - 인체발암물질로 분류할 수 없는 물질(Not classifiable as to human carcinogens)
- ② 근거 : 역학 자료는 없으며, 불충분한 동물 실험 자료와 박테리아, 이스트와 마우스의 임파세포에서의 음성 유전자 독성 결과를 근거로 분류하였다.

14. Styrene

1) 오염원

나무 styracaceous에서 자연적으로 발생, 대기오염물질에서 발생, 플라스틱, 페인트, 수지, 합성고무와 건축자재를 만들 때 사용, 배를 만들거나 수선할 때 이용된다. 중합체, 공중합체, 강화중합체, 폴리스티렌의 제조에 사용되며, 세계적 연간 생산량은 천만톤으로 추정된다.

자연발생원은 알려져 있지 않으며, 대기 중 인위적 오염원으로는 석유화학산업공정, 자동차, 연소, 조각로, 플라스틱 상품(실내오염이 가능하나 미미한 수준)등이 있다. 대기중의 농도는 toluene, xylene과 같은 방향족 탄화수소류에 비해서 낮은 수준이며, 오존과 쉽게 반응하여 benzaldehyde, peroxide 등과 같은 자극제를 생성하고, 눈 자극제인 peroxide, peroxibenzoil nitrate 등을 생성한다. 또한 styrene은 광화학스모그의 활성 생산자이기도 하다.

2) 인체 독성 및 발암성

말초 혈관 임파구의 증가가 관찰되었다. 몇몇 사례보고와 역학연구에서 임파관 혈액조혈조직에서의 발암 위해 증가가 보고된 바 있으나, 원인-효과 관계를 입증할 만한 증거가 불충분하다. 평균 8.6년 근속한 styrene 노출 근로자 50명 중 일부 근로자들에게서 특히 중추 신경장애가 발생하였다.

대기 중 styrene 25ppm에서 8시간 노출에 의한 뇨 중 농도는 95% 신뢰도에서 150~299mmol 수준이며, 이로 인한 기억 상실, 시각 장애, 신경 정신적 장애가 발생할 수 있다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : 오염되지 않은 농촌의 대기에서도 소량 검출되며, 도시 대기에서도 $0.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 검

출되었다. 실내오염원도 노출에 한몫을 하며, 담배연기 응축물에서도 20~48 μg /개비의 농도로 검출되었다(Johnstone RAW, et al., 1962).

- ② 음식 : styrene 단량체로 만든 제조용기에 음식(우유)을 8일간 보관한 뒤 용출 실험을 하였으나 불검출되었다(Jensen, 1972). Polystyrene 용기에 담긴 요구르트, 우유제품에서는 2.5~80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도로 검출된 바 있고, 저장기간이 길수록 증가하였다(Finley와 White, 1967).
- ③ 음용수 : 오염된 상수원이나 지하수에서는 ppm 수준으로 검출되나, 활성탄 처리를 한 음용수에서는 1ppm이하로 검출된다(IARC 1979). Styrene은 생물 농축이나 먹이 연쇄 현상은 발생하지 않는다(Valenta, 1966).
- ④ 상대적 노출 경로 :

노출오염원	농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	일일 섭취량(μg)
플라스틱 강화 공장	200,000	2×10^6
스티렌 중합	10,000	1×10^5
제조공장 1km이내	30	600
오염된 도시대기	20	400
도시대기	0.3	6
실내공기	0.3~50	6~1000
오염된 음용수(2 l / day)	1 $\mu\text{g}/\text{l}$	2
담배연기(20개비/일)	20~48 μg /개비	400~960

4) 위험성 분류

- ① 분류 : C - 가능한 인체 발암물질(Possible human carcinogen)
- ② 근거 : 역학연구와 사례연구를 통한 근거를 통해 분류하였으며, 발암성에 대한 동물자료는 부족하다.

15. o-dichlorobenzene

1) 오염원

o-dichlorobenzene의 주요 배출원은 각종 유기용제의 사용인데 연간 생산량의 25%정도가 대기중으로 배출된다. 물과 토양의 주 오염원은 쓰레기 매립지로부터 발생된 침출수와 직접적인 제조과정에서의 배출이다. 토양 표면으로부터의 휘발은 중요한 대기 이동 기전 중의 하나이다.

대기중으로 배출된 o-dichlorobenzene은 대부분 증기상으로 존재하며 광화학반응에 의해 수 산기를 생성한다. o-dichlorobenzene의 대기중 반감기는 24일이다. 왁스, 검, 수지, 타르, 고무, 아스팔트 등의 용제, 터미티스(termities), 로커스트 보러스(locust borers)에 대한 살충제, 훈증 제, 가스 및 광택제, 황성분 제거제, 금속, 가죽, 양털제품의 탈지제, 금속 광택제의 중간제, 열전 달제, 염료 제조의 중간제 등으로 사용 중에 배출된다.

2) 인체 독성 및 발암성

인체발암성을 검증할 만한 자료가 불충분하여 제시할 수가 없다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : 산업장에서의 노출은 o-dichlorobenzene을 제조하거나 화학물질에 대한 중간제 또는 용제로 사용할 때 발생하며 주요 노출경로는 오염된 공기의 흡입과 피부접촉이다. 일반 인들도 o-dichlorobenzene에 오염된 공기를 호흡함으로써 노출되기도 하지만 그보다는 오염된 물이나 음식을 섭취함으로써 노출되는 양이 더 많다고 알려져 있다.
- ② 음식 : 산업장 근로자들이 아닌 일반인에게는 음식과 물이 주요 노출경로이다. 다음은 그동안 연구되어진 결과들을 정리한 것이다.

시 료	농 도	비 고
market meat	1.0 ng/g	Yugoslavia
fried chicken	not quantified	U.S.
root of wheat plants	not quantified	grown from lindane-treated seeds
fruit	0.3/1/1/1 ppb	Lake Superior/Lake Huron/Lake Erie / Lake Ontario
flatfish	0~4.0 μ g/wet kg	California coast near LA
8 seafood species	0~0.031mg/wet kg	muscle tissue, California coast
fish and muscle	1.2 μ g/g	rivers in Solvenia, the Gulf of Trieste (Yugoslavia)
market milk	2.6 ng/g	Yugoslavia

4) 위험성 분류

- ① 분류 : D - 인체발암물질로 분류할 수 없는 물질(Not classifiable as to human

carcinogens)

- ② 근거 : 역학자료의 부재 및 랫트와 마우스의 발암성 연구 결과 음성과 양성 반응의 증거가 함께 제시되고 있음을 근거로 분류하였다.

16. p-dichlorobenzene

1) 오염원

p-dichlorobenzene은 일반적으로 화학물질 폐기장과 화학물질제조산업 등에 의해서 오염되어진다. 미국에서 p-dichlorobenzene은 탈취제, 증약의 제조에 전체 p-dichloro- benzene 사용량 중 약 50%가 쓰이며, 폴리에틸렌 황화수지 생산에 약 33%가 사용된다. 이러한 생산공정 및 생산품의 사용 중에 대기중으로 휘발되어 오염시킨다.

2) 인체 독성 및 발암성

동물실험 자료 및 역학연구 자료 부족으로 정성적인 평가를 할 수 없다.

3) 인체 노출 경로

- ① 대기 : p-dichlorobenzene은 휘발성 물질로서, 대부분 증기 형태로 존재한다. 생산공정에서의 p-dichlorobenzene의 사용으로 인한 직업적 노출이 발생되며 일반적인 노출은 음용수, 음식의 섭취를 통한 경로와 오염된 대기의 호흡을 통한 경로가 있다. 일반 실내오염은 p-dichlorobenzene이 함유되어 있는 증약, 섬유 제품과 공기청정제 사용 등이 주원인이며, 이로 인해 호흡 노출이 야기될 수 있다.
- ② 음식 : p-dichlorobenzene은 육류에 58ng/g, 우유에 5.3mg/g으로 함유되어 있음이 유고슬라바키아에서 조사된바 있으며, lindane으로 처리된 곡물 씨앗의 수확물에서도 p-dichlorobenzene이 검출된 바 있다.

4) 위험성 분류

- ① 분류 : E - 미분류
- ② 근거 : 역학자료 및 동물 발암성 연구 결과의 불충분으로 인하여 인체 발암성에 대해 평가할 수 없다.

이상과 같은 위험성 확인 결과를 바탕으로 연구 대상 물질들을 인체 발암성 물질과 비발암 독성 물질의 두 그룹으로 분류하였다. 인체 발암성 물질로는 미국 환경보호청의 발암성 등급에서 A 그룹, B1/B2 그룹 및 C 그룹에 해당하는 물질들을 선정하였으며, 미국 환경보호청의 발암성 등급 C 그룹중 정성적인 발암성은 인정되나 정량적인 용량-반응 결과 자료가 불충분할 경우, D 그룹 및 E 그룹은 비발암 독성 물질로 분류하였다.

따라서, 본 연구 대상 물질 중 benzene, chloroform, trichloroethylene, tetrachloroethylene, vinyl chloride, carbon tetrachloride, methylene chloride 및 1,2-dichloroethane은 발암물질로 분류하였으며, toluene, o-/m-/p-xylene, ethylbenzene, 1,1,1-trichloroethane, chlorobenzene, styrene 및 o-/m-/p-dichlorobenzene, 및 ethylchloride는 비발암 독성 물질로 분류하였다(<표 5-1> 및 <표 5-2> 참조).

<표 5-1> 연구 대상 물질 중 발암성 물질에 대한 위험성 확인 및 US EPA의 발암성 등급

대상물질	주요 노출 경로	주요 독성		발암성		EPA 분류
		동물	인체	동물	인체	
Benzene	호흡, 섭취, 피부접촉	토끼, 마우스, 랫트의 골수세포에 염색체변이 발생률 증가	대사독성 유발 백혈구 감소증에 의한 뼈 및 골수조직의 위축 적혈구, 백혈구, 혈소판의 감소, 재생불량성 빈혈 유발	랫트와 마우스에 대한 호흡노출 결과 조혈기관 종양발생	고노출 근로자들에 대한 백혈병 유발 및 임파암과 혈액암의 발생률 증가	A (human carcinogen)
Chloroform	호흡, 섭취, 피부접촉	랫트를 대상으로 100ppm 농도로 흡입노출결과 무미증, 단미증 및 지방간 유발	자극성이 있으며, 임상적인 마취작용이 나타남	마우스와 랫트에게서 용량에 비례한 간세포암종 발생률, 신장상피성 종양 발생률 증가가 관찰되었음	음용수중 chloroform으로 인한 방광암 유발의 역학결과가 보고된 바 있으나, 정량적인 관계를 밝히지는 못함	B2 (probable human carcinogen)
Trichloro-ethylene	호흡, 섭취, 피부접촉	50ppm 이상의 농도로 흡입 노출시 간과 신장에 손상, 중추신경계 이상 유발	고농도로 노출시 피부 자극, 눈 손상, 현기증, 시각장애, 매스꺼움, 구토를 유발하며, 고농도로 장기간 노출시 신경행동학적 영향, 간, 신장장애 유발	마우스의 흡입노출 실험결과 간세포암종 유발이 관찰됨	고노출 근로자에 대해 신장관과 임파종암이 유발되었으나, 정량적인 관계 규명은 불명확함	B2 (probable human carcinogen)
Tetrachloro-ethylene	호흡, 섭취, 피부접촉	박테리아에서 돌연변이원성 유발 랫트와 마우스의 만성 흡입 노출시 기형독성 관찰	만성노출시 신경독성 영향이 민감하게 나타나며, 간과 신장독성도 유발	마우스의 흡입노출 실험 결과 간 종양 발생 증가 유발	고노출 근로자들에 대해 폐암, 경부암, 피부암 및 신장암과의 상관관계가 밝혀졌으나 정량적인 용량-반응 관계는 평가 못했음	B2 (probable human carcinogen)

(〈표 5-1〉 계속) 연구 대상 물질 중 발암성 물질에 대한 위험성 확인 및 US EPA의 발암성 등급

대상물질	주요 노출 경로	주요 독성		발암성		EPA 분류
		동물	인체	동물	인체	
Vinyl chloride	호흡, 섭취, 피부접촉	고농도 호흡노출 아 급성 실험 결과 여러 동물에게서 현기증, 무력증, 폐선증, 간출혈 관찰 만성 섭취 또는 호흡노출 실험 결과 장기 무게 변화 관찰	고농도 노출시 눈과 호흡기계 자극 유발 고농도로 장기간 노출시 간 독성도 유발	만성 노출시 간 신생성소결, 간세포암종, 혈관육종 등의 종양 발생 관찰	고노출 근로자들의 뇌, 폐 종양, 간 혈관육종, 조혈, 세포조직 이상 등의 발생을 증가 8년 이상 근무한 고노출 근로자들의 간암 및 담관암 사망률이 증가 관찰	A (human carcinogen)
Carbon tetrachloride	호흡, 섭취, 피부접촉	대사독성유발, 중추신경, 간, 신장 독성	메스꺼움, 구토, 설사, 두통 등의 급성독성유발 만성독성으로 인한 간 및 신장에 손상, 시각장애, 대사독성 유발	햄스터, 마우스, 랫트에서 간세포종양 관찰	고노출 근로자들에 대한 간종양의 증가가 관찰되었으나, 정량적인 관계는 규명하지 못함	B2 (probable human carcinogen)
Methylene chloride	호흡, 섭취, 피부접촉	Salmonellar 균주에 대해 돌연변이원성 유발 마우스 세포변형 유발, 랫트의 골수세포의 염색체 이상 유발	대기중 300ppm 이상의 고농도 노출시 혈액내 COHb 증가로 인한 수의 운동 작업수행력의 감소, 청각각성감퇴, 중추신경계 이상을 유발하며 점막자극물질임	마우스와 랫트의 흡입노출 실험결과 간세포, 폐 및 기관지에 신생물 발생 증가 유발	고노출 근로자들에서 체장암 유발의 증가가 관찰된 바 있으나, 명확한 용량-반응 관계로 보이지 않음	B2 (probable human carcinogen)
1,2-dichloro-ethane	호흡, 섭취, 피부접촉	세균, 식물, 초파리, 차이니스 햄스터의 난소세포에 돌연변이 원성을 보임	중추신경계 억압, 호흡기계 및 눈의 자극 유발, 내부기관에 혈액학적 병변을 유발	랫트와 마우스의 섭취노출 실험결과 폐종양, 혈액육종 등 다양한 종양 발생이 증가되었으나, 흡입노출 실험 결과는 음성으로 평가됨	-	B2 (probable human carcinogen)

〈표 5-2〉 연구대상 물질 중 비발암성 물질에 대한 위험성 확인 및 US EPA의 발암성 등급

대상물질	주요 노출 경로	주요 독성		발암성		EPA 분류
		동물	인체	동물	인체	
Toluene	호흡, 섭취, 피부접촉	설치류 세포의 염색 체 변형 및 자매염 색체 교환 유발 마우스와 랫트에서 경미한 태아독성 유 발	고농도 노출시 중추 신경계 이상기능, 간독성과 신장 독성	설치류의 흡입노출 실험에서 음성결과 보임	-	D (not classifiable as to human carcinogen)
Xylene	호흡, 섭취, 피부접촉	만성노출시 랫트에 서 체중저하 및 생 존율 감소유발 Salmonella 균주 및 대장균에 대해 경미 한 돌연변이원성 유발	고농도 노출시 중추 신경계 영향을 보이 며, 지속적인 노출시 신경행동학적 기능 저하 유발	설치류에 대한 흡입 노출 실험결과 음성 반응 보임	-	D (not classifiable as to human carcinogen)
Ethylbenzene	호흡, 섭취, 피부접촉	고농도 노출시 폐와 중추신경계 이상을 유발되며, 저농도 장 기노출시 간과 신장 장해 보임	대기중 200ppm 이 상의 고농도로 노출 시 점막 자극 유발	-	-	D (not classifiable as to human carcinogen)
1,1,1-trichloro- ethane	호흡, 섭취, 피부접촉	Salmonella 균주에 경미한 돌연변이원 성 유발 마우스 간세포에서 유전자 독성 유발	고농도에서의 급성 독성으로는 중추신 경 억제와 마취효과 가 있으나 500ppm 이하의 호흡노출에 서는 무영향이 관찰 됨	동물발암성 결과 음 성영향이나 유의하 지 않은 양성결과가 관찰됨	-	D (not classifiable as to human carcinogen)
Chloro- benzen	호흡, 섭취, 피부접촉	간무게의 증가, 사료 섭취량의 감소, 체중 감소 등 임상적 독 성유발 간독성, 신장독성, 간세포형성 기관에 서의 독성영향	간대사독성 유발, 간 과 신장 기능 장애 유발	고농도에 노출된 수 컷 랫트의 생존율은 대조실험군에 비하여 통계적으로 유의하게 감소되었 으나, 정량적 관계는 보이지 않음	-	D (not classifiable as to human carcinogen)

(〈표 5-2〉 계속) 연구대상 물질 중 비발암성 물질에 대한 위험성 확인 및 US EPA의 발암성 등급

대상물질	주요 노출 경로	주요 독성		발암성		EPA 분류
		동물	인체	동물	인체	
Styrene	호흡, 섭취, 피부접촉	만성흡입 노출시 혈액학적 이상 및 간독성을 유발	지방 세포에 축적성 이 있으며, 고농도 의 직업적 노출 (25ppm 이상)로 인 해 점막자극, 간독 성, 폐기능장애, 중 추신경장애 유발	-	고노출 근로자에게 서 백혈병 및 임파 암 발생 증가가 관 찰되었으나, 혼란 변수의 영향으로 명확한 결과를 제 시할 수 없었음	D (not classifiable as to human carcinogen)
o-dichloro -benzene	호흡, 섭취, 피부접촉	자양생물종에 대 해 돌연변이원성 유발	경미한 간독성, 신 장독성 유발 고농도 단기노출시 상기도와 눈에 심한 자극, 졸음, 감각상실 유발	랫트와 마우스의 종양 발생이 관찰 되었으나, 용량-반응 관계가 명확치 않음	-	D (not classifiable as to human carcinogen)
m-dichloro -benzene	호흡, 섭취, 피부접촉	Aspergillus nidulans의 영양균 주종에 대해 돌연 변이원성 유발	간독성, 신장독성 유발 고농도 노출시 점막 및 호흡기에 자극성 유발	-	-	D (not classifiable as to human carcinogen)
p-dichloro -benzene	호흡, 섭취, 피부접촉	Salmonella 균주에 돌연변이원성 유 발	고농도 노출시 점막 및 호흡기에 자극성 유발	마우스의 섭취노 출 실험 결과 간 종양 유발 관찰	-	E (미분류)

제 3 절 VOCs 성분별 위해도 분석

1. 호흡 노출 시나리오 설정

난지도 매립지 주변 시설을 이용시 유해 환경 오염물질의 호흡기를 통한 다양한 노출 시나리오 결정하기 위해 본 연구에서는 폐기물 매립지 주변 시설 이용자를 아동과 성인의 두 그룹으로 분류하고, 이들의 이용 방법에 따른 최악의 호흡노출시나리오(Worst Inhalation exposure scenario ; WIES), 일반적인 호흡노출시나리오(Moderate Inhalation exposure scenario ; MIES), 그리고 최소의 호흡노출시나리오(Lowest Inhalation exposure scenario ; LIES)를 설정하였다.

성인의 호흡노출시나리오의 경우, WIES는 난지도 체육시설에 근무하는 근로자에 대한 노출 시나리오로 설정하였으며, 성인의 MIES, LIES와 아동의 경우에는 난지도 체육시설을 사용하는 이용자들에 대한 노출 시나리오로 설정하였다(〈표 5-3〉 참조). 그리고 난지도 매립시설 배경농도지역에 해당되는 상암·가양지역 주민에 대한 위해도의 경우에는 일반적인 호흡노출시나리오를 설정할 수 있으나, 매립지 배경농도에 해당되는 VOCs 성분별 측정자료가 불충분하여, 위해도 평가가 어려운 상황이다. 이에 주변지역 위해도 평가는 성인의 LIES 호흡노출 시나리오에 의한 위해도를 최대수준으로 참조할 수 있을 것이다.

우리 나라의 성인에 대한 평생 노출(Lifetime exposure) 시나리오는 체중 61kg(보건복지부, 1997), 일일 호흡율 20m³/day, 기대수명 70년의 한국 성인이 하루 24시간 동안 평생을 유해화학물질에 노출되며 생활할 때를 가정한 경우이다. 이에 비하여 성인의 WIES는 난지도 체육시설에 근무하는 근로자를 대상으로 시나리오를 결정하였기 때문에, 일일 노출 시간을 근로 기준시간이 8시간, 연간 노출빈도는 주 6일 근무를 기준으로 하여 312일/년으로 결정하였다. 또한 이들의 일일 호흡율은 다소 격한 체육활동을 하는 것으로 가정하여 45.6m³/day의 호흡율을 적용하였다. 또한 이들의 노출 기간은 19세부터 근로정년인 55세까지의 37년으로 결정하였다.

한편 난지도 체육시설을 이용하는 성인의 노출 시나리오로서 설정한 MIES와 LIES는 골프전 코스 18홀을 이용하는 데 소요되는 4시간을 1회 노출의 기준 시간으로 가정하였다. MIES는 4시간씩 주 1회 이용하는 경우로서, 운동시 이들의 호흡율은 중급 활동도에 해당하는 28.8m³/day를 적용하였으며, 노출 기간은 19세부터 기대수명인 70세까지의 52년으로 결정하였다. LIES는 4시간씩 월 1회 이용하는 경우로서, 연간 노출 횟수를 제외하고는 MIES와 동일한 노출 조건을 적용하였다.

아동의 경우에는 MIES와 LIES만을 가정하였으며, 이때 아동의 평균 체중은 35kg(보건복지부, 1997), 아동의 중급 활동시의 호흡율인 28.8m³/day를 적용하였다. 또한 아동의 노출 기간은 5세부터 18세까지의 14년 동안 노출되는 것으로 가정하였다.

〈표 5-3〉 호흡 노출 시나리오에 따른 노출 변수

노출 변수	Lifetime exposure	Adults			Children		
		WIES ¹⁾	MIES ²⁾	LIES ³⁾	WIES	MIES	LIES
Body weight ⁴⁾ (kg)	61	61	61	61	—	35	35
Inhalation rate ⁵⁾ (m ³ /day)	20 (average)	45.6 (Heavy activity)	36 (Moderate activity)	36 (Moderate activity)	—	28.8 (Moderate activity)	28.8 (Moderate activity)
expectancy lifetime ⁶⁾ (yr)	70	70	70	70	—	70	70
Exposure time(hr/day)	24	8 ⁷⁾	4 ⁸⁾	4	—	4	4
Exposure frequency (day/yr)	365	312 ⁹⁾	52 ¹⁰⁾	12 ¹¹⁾	—	52	12
Exposure Duration(yr)	70	37 ¹²⁾	52 ¹³⁾	52	—	14 ¹⁴⁾	14
비 고	일반 노출 시나리오	근로자 노출 시나리오	1회/주 노출 시나리오	1회/월 노출 시나리오	—	1회/주 노출 시나리오	1회/월 노출 시나리오

1) WIES : Worst Inhalation exposure scenario

2) MIES : Moderate Inhalation exposure scenario

3) LIES : Lowest Inhalation exposure scenario

4) 한국인의 평균 체중(보건복지부, 1997)

5) 미국 성인의 일일 평균 호흡율(20m³/day), 성인의 격한 활동시 호흡율(1.9m³/hr), 중급 활동시 호흡율(1.2m³/hr) 및 아의 중급 활동시 호흡율(1.2m³/hr)를 적용하여 각각 시나리오에 따른 일일 호흡율을 산출(US EPA, 1996)

6) 한국 기대수명 근사치(보건복지부, 1997)

7) 한국의 일일 근로시간을 적용

8) 골프 18홀 경기의 평균 소요 시간 적용

9) 6일/주 근무 조건을 적용

10) 1회/주 골프장 이용시 노출 횟수

11) 1회/월 골프장 이용시 노출 횟수

12) 근로 성인의 노출기간 : 19세 - 55세

13) 성인의 노출기간 : 19세 - 70세

14) 아동의 노출기간 : 5세 - 18세

2. 호흡 노출 시나리오에 따른 건강 위해성 평가

발암성 VOCs들에 대한 용량-반응 평가 결과에 의하면, Benzene의 경우 실제적 안전용량(VSD : 평생 노출됨으로 인해 백만명 당 1명의 초과 발암 위해도가 발생할 수 있는 오염농도)이 0.13μg/m³으로 산출되었으며, carbon tetrachloride의 경우에는 0.07μg/m³으로 산출되었다.

따라서 일반 대기 중 농도가 실제적 안전용량수준 미만일 경우에는 이로 인한 인체 발암 위해도가 미국 환경보호청에서 발암성 물질의 guideline으로 설정하고 있는 백만명당 1명(1×10⁻⁶)을 초과하지 않음을 의미한다.

〈표 5-4〉 발암성 VOCs의 용량-반응 평가

대상물질	EPA 분류	노출 경로	용량-반응 평가 자료	Carcinogenicity		
				Cancer potency, q1* (mg/kg/day) ⁻¹	Unit risk (μg/m ³) ⁻¹	VSD (μg/m ³)
Benzene	A	호흡	Tumor Type – Leukemia Test Species – Humans Route – Inhalation Extrapolation method – Low-dose linearity utilizing MLE References – Rinsky et al., 1981, 1987; Paustenbach et al., 1993; Crump and Allen, 1984; Crump, 1992, 1994; U.S. EPA, 1998.	2.7×10^{-2}	7.8×10^{-6}	0.13
Chloroform	B2	호흡	Tumor Type – hepatocellular carcinoma Test Animals – mouse(B6C3F1) Route – oral, gavage Extrapolation method –Linearized multistage model Reference – NCI, 1976	8.2×10^{-2}	2.3×10^{-5}	0.04
Trichloro-ethylene	B2	호흡	Tumor Type – hepatocellular carcinoma Test Animals – mouse(B6C3F1) Route – oral, gavage Extrapolation method –Linearized multistage model Reference – NCI, 1976; NTP, 1982	1.3×10^{-2}	3.7×10^{-6}	0.27
Tetrachloro-ethylene	B2	호흡	Tumor Type – Leukemia,liver adenomas & carcinoma Test Animals – rats(F344),mouse(B6C3F1) Route – inhalation Extrapolation method –Linearized multistage model Reference – NTP, 1985	2.0×10^{-3}	5.8×10^{-7}	1.72
Vinyl chloride	A	호흡	Tumor Type – total tumor,liver angiosarcomas Test Animals – rats(Sprague-Dawley) Route – oral, gavage Extrapolation method –Linearized multistage model Reference – EPA, 1980	2.7×10^{-1}	7.7×10^{-5}	0.01
Carbon tetrachloride	B2	호흡	Tumor Type – Hepatocellular carcinomas, hepatomas Test Animals – hamster(Syrian), rat(Osborne-Mendel), mouse(L, B6C3F1) Route – oral, gavage Extrapolation method –Linearized multistage model Reference – Dellar et al., 1961; Edwards et al., 1942; NCI, 1976, 1977	1.3×10^{-1}	1.5×10^{-5}	0.07
Methylene chloride	B2	호흡	Tumor Type — combined adenomas and carcinomas Test Animals — mouse/B6C3F1, female Route — inhalation Reference — NTP, 1986	1.7×10^{-3}	4.7×10^{-7}	2.00
1,2-Dichloro-ethane	B2	호흡	Tumor Type — hemangiosarcomas Test Animals — rat/Osborne-Mendel, male Route — gavage Reference — NCI, 1978	9.1×10^{-2}	2.6×10^{-5}	0.04

* VSD(virtually safety dose) : 발암물질에 평생 노출되어 초과 발암 위해도가 백만명(106)당 1명이 나타날 수 있는 오염 농도

한편 비발암성 VOCs들에 대한 용량-반응 평가 결과는 <표 5-5>와 같이 제시하였다. 비발암성 VOCs의 경우에는 호흡노출참고치(RfC)가 ppm 수준으로 평가되고 있으며, 대기 중의 농도가 호흡노출참고치를 초과하지 않을 경우에는 이로 인한 인체 독성이 유발될 가능성이 매우 희박한 것으로 평가되고 있다.

<표 5-5> 비발암성 VOCs의 용량-반응 평가

대상물질	EPA 분류	노출 경로	용량-반응 평가 자료	Inhalation RfC		
				NOAEL or LOAEL (mg/m ³)	UF	RfC (mg/m ³)
Toluene	D	호흡	Critical effect – Neurological effects Test Animal – Humans(Occupational study) Route – inhalation Reference – Foo et al., 1990	119 (LOAEL)	300	4.0×10^{-1}
o-Xylene	D	호흡	Critical effect – Developmental toxicity Test Animal – Rat(CFY) Route – inhalation Reference – Ungvary et al., 1980	145 (NOAEL)	500	2.9×10^{-1}
m-Xylene	D	호흡	Critical effect – Developmental toxicity Test Animal – Rat(CFY) Route – inhalation Reference – Ungvary et al., 1980	1450 (NOAEL)	500	2.9×100
p-Xylene	D	호흡	Critical effect – Developmental toxicity Test Animal – Rat(CFY) Route – inhalation Reference – Ungvary et al., 1980	143 (LOAEL)	2500	5.7×10^{-2}
Ethylbenzene	D	호흡	Critical effect – Developmental toxicity Test Animal – Rat, Rabbit Route – inhalation Reference – Andrew et al., 1981; Hardin et al., 1981	434 (NOAEL)	300	1.4×100
ethyl chloride	E	호흡	Critical effect – Delayed fetal Test Animal – Mouse Route – inhalation Reference – Scortichini et al., 1986	4000 (LOAEL)	300	1.0×100
Chloro- benzene	D	호흡	Critical effect – Neoplastic nodules Test Animal – Mouse(CFY) Route – inhalation Reference – NTP, 1985	180 (NOAEL)	1000	1.8×10^{-1}
Styrene	D	호흡	Critical effect – CNS effect Test Animal – Rat(CFY) Route – inhalation Reference – Ungvary et al., 1980	34 (LOAEL)	30	1.0×10^{-12}
p-dichloro- benzene	E	호흡	Critical effect – Increased live weights Test Animal – Rat Route – inhalation Reference – Producers Assn., 1986	75 (LOAEL)	100	8.0×10^{-1}

3. VOCs의 인체 노출량 산정

1) 개요

본 연구에서는 각각의 노출 시나리오에 따라 일일 호흡률, 체중, 노출빈도(exposure frequency), 노출기간(exposure duration), 기대수명(lifetime) 등의 노출 변수를 고려하여 다음과 같은 수식에 의해 인체 노출량을 산출하였다.

$$\text{인체 노출량 (mg/kg/day)} = \frac{\text{오염도} \times \text{단위환산계수} \times \text{일일 호흡률} \times \text{노출빈도} \times \text{노출기간}}{\text{체중} \times \text{기대수명} \times \text{평균노출시간}}$$

$\frac{(\mu\text{g}/\text{m}^3) \quad (0.001\text{mg}/\mu\text{g}) \quad (\text{m}^3/\text{day}) \quad (\text{day}/\text{year}) \quad (\text{year})}{(\text{kg}) \quad (\text{year}) \quad (\text{day}/\text{yr})}$

2) 상반기 측정결과에 의한 예비평가

(1) 평가자료

본 연구는 4계절별 VOCs 측정자료를 바탕으로 난지도 매립지 및 주변지역에서의 VOCs 노출 시나리오 설정에 따라 난지도 토지이용의 변화시 인체건강 위해도 평가에 주안점을 두었다. 그러나 3월과 5월의 1차·2차례 측정이 완료된 시점에서 행해진 예비평가의 경우, 난지도 매립지 사후관리를 위해 2000년 3월 17일~19일, 그리고 5월 12일~14일 동안 난지도 지역의 VOCs로 인한 성인의 인체 노출량을 산출하였다.

또한 매립지 인근지역으로 상암 동사무소와 성산 시영 APT 지점에서의 측정 자료와 매립지 내 지역으로는 제1매립지 및 제2매립지 상부·사면·배출공에서 측정한 자료를 이용하였다.

(2) 인체 노출량 산정

① 발암성 VOCs에 의한 인체 노출량

3월과 5월의 VOCs 측정 자료를 이용하여 난지도에서 발생되는 VOCs로 인한 인체 노출량 산정의 경우, 난지도 제1매립지 및 제2매립지의 상부·사면 및 배출공에서 측정한 농도 결과를 이용하여 매립지내에서의 인체 노출량을 산출하였다. 이때 매립지의 상부에서 배출되는 VOCs 중 75%는 포집기로 포집되고 나머지 25%만이 대기 중으로 배출되며, 사면의 경우에는 90%가 포집되고 10%만이 대기중으로 확산되는 호흡기를 통해 인체에 노출되는 것으로 가정하였다.

다만, 배출공에서는 배출량의 100%가 포집되어 대기중으로 방출되는 VOCs는 없는 것으로 가정하여 배출공으로 인한 영향은 평가에서 제외하였다. 그리고 난지도 매립지 인근 주변지역으로는 상암동과 가양동에서 측정된 VOCs 농도를 이용하여 인체 노출량을 산출하였다.

매립지내에서는 발암성 VOCs 노출로 인한 평생 인체노출량(Lifetime ADD)은 vinyl chloride, carbon tetrachloride, benzene 및 tetrachloroethylene의 4종에 대해서만 산출할 수 있었다. 3월 측정 결과에 의해서는 carbon tetrachloroethylene이 10^{-4} mg/kg/day 수준으로 가장 높게 평가되었으며, 그 다음으로는 vinyl chloride와 benzene이 10^{-5} mg/kg/day 수준으로 산출되었다. 5월 측정 결과에 의해서는 tetrachloroethylene만이 10^{-5} mg/kg/day 수준으로 나타났다.

시나리오에 의한 인체 노출량은 성인 WIES의 경우, vinyl chloride는 10^{-6} mg/kg/day 수준, carbon tetrachloride, benzene 및 tetrachloroethylene은 10^{-5} mg/kg/day 수준으로 평가되었으며, 성인과 아동 MIES의 경우, carbon tetrachloride은 10^{-6} mg/kg/day 수준, vinyl chloride, benzene 및 tetrachloroethylene는 10^{-7} mg/kg/day 수준이었다. LIES의 경우에는 성인과 아동 모두 10^{-7} mg/kg/day 이하의 수준으로 평가되었다(<표 5-6> ~<표 5-8> 참조).

〈표 5-6〉 매립지내에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출 (3월 평균)

매립지내 발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균	평균	평균	평균	평균	평균
	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)
Vinyl chloride	5.76×10^{-5} (NA~ 5.76×10^{-4})	2.03×10^{-5} (NA~ 2.03×10^{-4})	1.50×10^{-6} (NA~ 1.50×10^{-5})	3.46×10^{-7} (NA~ 3.46×10^{-6})	7.04×10^{-7} (NA~ 7.04×10^{-6})	1.62×10^{-7} (NA~ 1.62×10^{-6})
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	2.82×10^{-4} (NA~ 2.82×10^{-3})	9.93×10^{-5} (NA~ 9.93×10^{-4})	7.35×10^{-6} (NA~ 7.35×10^{-5})	1.70×10^{-6} (NA~ 1.70×10^{-5})	3.45×10^{-6} (NA~ 3.45×10^{-5})	7.96×10^{-7} (NA~ 7.96×10^{-6})
Benzene	8.17×10^{-5} (NA~ 6.32×10^{-4})	2.88×10^{-5} (NA~ 2.22×10^{-4})	2.13×10^{-6} (NA~ 1.64×10^{-5})	4.91×10^{-7} (NA~ 3.80×10^{-6})	9.98×10^{-7} (NA~ 7.72×10^{-6})	2.30×10^{-7} (NA~ 1.78×10^{-6})
Trichloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloro-ethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-7〉 매립지내에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월 평균)

매립지내 발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균	평균	평균	평균	평균	평균
	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)	(최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloro-ethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloro-ethylene	5.86×10^{-5} (NA~ 9.23×10^{-4})	2.06×10^{-5} (NA~ 3.28×10^{-4})	1.53×10^{-6} (NA~ 2.43×10^{-5})	3.52×10^{-7} (NA~ 5.60×10^{-6})	7.19×10^{-7} (NA~ 1.14×10^{-5})	1.65×10^{-7} (NA~ 2.63×10^{-6})

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-8〉 매립지내에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월·5월 평균)

매립지내 발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	2.21×10^{-5} (NA~ 5.76×10^{-4})	7.80×10^{-6} (NA~ 2.03×10^{-4})	5.77×10^{-7} (NA~ 1.50×10^{-5})	1.33×10^{-7} (NA~ 3.46×10^{-6})	2.71×10^{-7} (NA~ 7.04×10^{-6})	6.24×10^{-8} (NA~ 1.62×10^{-6})
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	1.09×10^{-4} (NA~ 2.82×10^{-3})	3.82×10^{-5} (NA~ 9.93×10^{-4})	2.83×10^{-6} (NA~ 7.35×10^{-5})	6.52×10^{-7} (NA~ 1.70×10^{-5})	1.33×10^{-6} (NA~ 3.45×10^{-5})	3.06×10^{-7} (NA~ 7.96×10^{-6})
Benzene	3.14×10^{-5} (NA~ 6.32×10^{-4})	1.11×10^{-5} (NA~ 2.22×10^{-4})	8.18×10^{-7} (NA~ 1.64×10^{-5})	1.89×10^{-7} (NA~ 3.80×10^{-6})	3.84×10^{-7} (NA~ 7.72×10^{-6})	8.86×10^{-8} (NA~ 1.78×10^{-6})
Trichloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloro-ethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloro-ethylene	3.61×10^{-5} (NA~ 9.32×10^{-4})	1.27×10^{-5} (NA~ 3.28×10^{-4})	9.39×10^{-7} (NA~ 2.43×10^{-5})	2.17×10^{-7} (NA~ 5.60×10^{-6})	4.41×10^{-7} (NA~ 1.14×10^{-5})	1.02×10^{-7} (NA~ 2.63×10^{-6})

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

한편 매립지 주변지역에서는 benzene만이 검출되어 이로 인한 ADD만을 산출할 수 있었다. 대기 중 benzene으로 인한 호흡 노출량은 평생 인체 노출량은 10^{-3} mg/kg/day 수준으로 나타났으며, 성인 WIES는 10^{-4} mg/kg/day 수준, 성인 및 아동 MIES는 10^{-5} mg/kg/day 수준, 성인 및 아동 LIES는 10^{-6} mg/kg/day 수준으로 평가되었다(〈표 5-9〉 ~ 〈표 5-11〉 참조)

〈표 5-9〉 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월 평균)

주변지역의 발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day) 평균 (최소~최대)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
		평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	2.52×10^{-3} (NA~ 1.10×10^{-2})	8.87×10^{-4} (NA~ 3.86×10^{-3})	6.56×10^{-5} (NA~ 2.85×10^{-4})	1.51×10^{-5} (NA~ 6.58×10^{-5})	3.08×10^{-5} (NA~ 1.34×10^{-4})	7.11×10^{-6} (NA~ 3.09×10^{-5})
Trichloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloro-ethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-10〉 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월 평균)

주변지역의 발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day) 평균 (최소~최대)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
		평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloro-ethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-11〉 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월·5월 평균)

주변지역의 발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	1.26×10^{-3} (NA~ 1.10×10^{-2})	4.44×10^{-4} (NA~ 3.86×10^{-3})	3.28×10^{-5} (NA~ 2.85×10^{-4})	7.57×10^{-6} (NA~ 6.58×10^{-5})	1.54×10^{-5} (NA~ 1.34×10^{-4})	3.55×10^{-6} (NA~ 3.09×10^{-5})
Trichloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloro-ethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloro-ethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

특히 제2매립지의 경우 매립지 상부나 사면에서 발암성 VOCs가 검출되지 않았으며, 반면에 제1매립지의 경우에는 vinyl chloride와 benzene은 상부에서, carbon tetrachloride는 사면에서, 그리고 tetrachloroethylene은 상부와 사면 모두에서 대기 중으로 방출되어 인체 호흡기를 통해 노출되는 것으로 나타났다. 이에 비해 benzene의 경우에는 주변지역에서의 인체노출량이 가장 높은 것으로 평가되었다. 발암성 VOCs에 의한 총 인체 노출량의 경우 매립지내에서의 총 인체 노출량은 각각의 호흡 노출 시나리오에 따라 $10^{-7} \sim 10^{-4}$ mg/kg/day 수준으로 평가되었으며, 주변 지역에서는 benzene으로 인한 인체 노출량임에도 불구하고 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ mg/kg/day 수준으로 나타났다.

② 비발암성 VOCs에 의한 인체 노출량

매립지내에서는 비발암성 VOCs 노출로 인한 인체노출량(Lifetime ADD)은 toluene이 가장 높게 추계되었으며, 매립지내에서의 노출량보다 주변지역에서의 노출량이 다소 높은 것으로 나타났다. 매립지내 및 주거지역 모두 비발암성 VOCs 오염으로 인한 인체 노출량은 5월에 비해 3월의 경우가 다소 높게 평가되었다. 매립지내에서는 toluene, ethylbenzene, xylene, dichlorobenzene에 의한 인체 노출량을 산출할 수 있었으며, 주변지역의 경우에는 toluene, ethylbenzene, xylene에 의한 인체 노출량을 산출할 수 있었으며, dichlorobenzene은 불검출되어

인체 노출량을 산출할 수 없었다(<표 5-12> ~<표 5-17> 참조).

그러나 Toluene, chlorobenzene, ethylbenzene 및 xylene의 경우, 매립지내에서보다 주변지역에서의 인체 노출량이 더 큰 것으로 나타났으며, 특히 상암지역의 toluene으로 인한 인체 노출량이 가장 많은 것으로 평가되었다. 제1매립지에서는 dichlorobenzene을 제외하고는 상부와 사면간의 인체 노출량이 매우 유사한 것으로 나타났으며, 제2매립지의 경우에는 toluene만이 검출되었다. 전반적으로 매립지내에서 비발암성 VOCs의 총 인체노출량은 호흡 노출 시나리오에 따라 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ mg/kg/day 수준으로 평가되었으며, 주변지역에서는 $10^{-5} \sim 10^{-2}$ mg/kg/day 수준으로 나타났다.

<표 5-12> 매립지내에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월 평균)

매립지내 비발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.31×10^{-3} ($1.42 \times 10^{-4} \sim$ 5.77×10^{-3})	8.15×10^{-4} ($5.00 \times 10^{-5} \sim$ 2.03×10^{-3})	6.03×10^{-5} ($3.70 \times 10^{-6} \sim$ 1.50×10^{-4})	1.39×10^{-5} ($8.54 \times 10^{-7} \sim$ 3.47×10^{-5})	2.83×10^{-5} ($1.74 \times 10^{-6} \sim$ 7.05×10^{-5})	6.53×10^{-6} ($4.01 \times 10^{-7} \sim$ 1.63×10^{-5})
Chlorobenzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Ethylbenzene	2.68×10^{-4} ($NA \sim 1.43 \times 10^{-3}$)	9.43×10^{-5} ($NA \sim 5.04 \times 10^{-4}$)	6.98×10^{-6} ($NA \sim 3.73 \times 10^{-5}$)	1.61×10^{-6} ($NA \sim 8.60 \times 10^{-6}$)	3.27×10^{-6} ($NA \sim 1.75 \times 10^{-5}$)	7.55×10^{-7} ($NA \sim 4.03 \times 10^{-6}$)
p-xylene	1.91×10^{-4} ($NA \sim 8.44 \times 10^{-4}$)	6.74×10^{-5} ($NA \sim 2.97 \times 10^{-4}$)	4.99×10^{-6} ($NA \sim 2.20 \times 10^{-5}$)	1.15×10^{-6} ($NA \sim 5.07 \times 10^{-6}$)	2.34×10^{-6} ($NA \sim 1.03 \times 10^{-5}$)	5.40×10^{-7} ($NA \sim 2.38 \times 10^{-6}$)
m-xylene	3.40×10^{-4} ($NA \sim 1.43 \times 10^{-3}$)	1.20×10^{-4} ($NA \sim 5.03 \times 10^{-4}$)	8.85×10^{-6} ($NA \sim 3.72 \times 10^{-5}$)	2.04×10^{-6} ($NA \sim 8.59 \times 10^{-6}$)	4.15×10^{-6} ($NA \sim 1.75 \times 10^{-5}$)	9.58×10^{-7} ($NA \sim 4.03 \times 10^{-6}$)
o-xylene	4.75×10^{-4} ($NA \sim 2.30 \times 10^{-3}$)	1.67×10^{-4} ($NA \sim 8.09 \times 10^{-4}$)	1.24×10^{-5} ($NA \sim 5.98 \times 10^{-5}$)	2.86×10^{-6} ($NA \sim 1.38 \times 10^{-5}$)	5.81×10^{-6} ($NA \sim 2.81 \times 10^{-5}$)	1.34×10^{-6} ($NA \sim 6.48 \times 10^{-6}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-Dichloro -benzene	6.31×10^{-6} ($NA \sim 6.31 \times 10^{-5}$)	2.22×10^{-6} ($NA \sim 2.22 \times 10^{-5}$)	1.64×10^{-7} ($NA \sim 1.64 \times 10^{-6}$)	3.79×10^{-8} ($NA \sim 3.79 \times 10^{-7}$)	7.71×10^{-8} ($NA \sim 7.71 \times 10^{-7}$)	1.78×10^{-8} ($NA \sim 1.78 \times 10^{-7}$)
m-Dichloro -benzene	6.31×10^{-6} ($NA \sim 6.31 \times 10^{-5}$)	2.22×10^{-6} ($NA \sim 2.22 \times 10^{-5}$)	1.64×10^{-7} ($NA \sim 1.64 \times 10^{-6}$)	3.79×10^{-8} ($NA \sim 3.79 \times 10^{-7}$)	7.71×10^{-8} ($NA \sim 7.71 \times 10^{-7}$)	1.78×10^{-8} ($NA \sim 1.78 \times 10^{-7}$)
p-Dichloro -benzene	6.11×10^{-6} ($NA \sim 6.11 \times 10^{-5}$)	2.15×10^{-6} ($NA \sim 2.15 \times 10^{-5}$)	1.59×10^{-7} ($NA \sim 1.59 \times 10^{-6}$)	3.67×10^{-8} ($NA \sim 3.67 \times 10^{-7}$)	7.47×10^{-8} ($NA \sim 7.47 \times 10^{-7}$)	1.72×10^{-8} ($NA \sim 1.72 \times 10^{-7}$)

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-13〉 매립지내에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월 평균)

매립지내 비발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.41×10^{-3} (1.18×10^{-3} ~ 4.64×10^{-3})	8.50×10^{-4} (4.17×10^{-4} ~ 1.63×10^{-3})	6.29×10^{-5} (3.09×10^{-5} ~ 1.21×10^{-4})	1.45×10^{-5} (7.12×10^{-6} ~ 2.79×10^{-4})	2.95×10^{-5} (1.45×10^{-5} ~ 5.67×10^{-5})	6.81×10^{-6} (3.34×10^{-6} ~ 1.31×10^{-5})
Chlorobenzene	1.93×10^{-6} ($NA \sim 2.26 \times 10^{-5}$)	6.81×10^{-7} ($NA \sim 7.97 \times 10^{-6}$)	5.04×10^{-8} ($NA \sim 5.90 \times 10^{-7}$)	1.16×10^{-8} ($NA \sim 1.36 \times 10^{-7}$)	2.36×10^{-8} ($NA \sim 2.77 \times 10^{-7}$)	5.45×10^{-9} ($NA \sim 6.38 \times 10^{-8}$)
Ethylbenzene	1.87×10^{-6} ($NA \sim 2.99 \times 10^{-5}$)	6.58×10^{-7} ($NA \sim 1.05 \times 10^{-5}$)	4.87×10^{-8} ($NA \sim 7.79 \times 10^{-7}$)	1.12×10^{-8} ($NA \sim 1.80 \times 10^{-7}$)	2.28×10^{-8} ($NA \sim 3.65 \times 10^{-7}$)	5.27×10^{-9} ($NA \sim 8.43 \times 10^{-8}$)
p-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
m-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-xylene	2.93×10^{-5} ($NA \sim 3.36 \times 10^{-4}$)	1.03×10^{-5} ($NA \sim 1.18 \times 10^{-4}$)	7.62×10^{-7} ($NA \sim 8.75 \times 10^{-6}$)	1.76×10^{-7} ($NA \sim 2.02 \times 10^{-6}$)	3.58×10^{-7} ($NA \sim 4.11 \times 10^{-6}$)	8.26×10^{-8} ($NA \sim 9.48 \times 10^{-7}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-Dichloro- benzene	2.09×10^{-6} ($NA \sim 3.35 \times 10^{-5}$)	7.37×10^{-7} ($NA \sim 1.18 \times 10^{-5}$)	5.45×10^{-8} ($NA \sim 8.73 \times 10^{-7}$)	1.26×10^{-8} ($NA \sim 2.01 \times 10^{-7}$)	2.56×10^{-8} ($NA \sim 4.10 \times 10^{-7}$)	5.91×10^{-9} ($NA \sim 9.45 \times 10^{-8}$)
m-Dichloro- benzene	2.09×10^{-6} ($NA \sim 3.35 \times 10^{-5}$)	7.37×10^{-7} ($NA \sim 1.18 \times 10^{-5}$)	5.45×10^{-8} ($NA \sim 8.73 \times 10^{-7}$)	1.26×10^{-8} ($NA \sim 2.01 \times 10^{-7}$)	2.56×10^{-8} ($NA \sim 4.10 \times 10^{-7}$)	5.91×10^{-9} ($NA \sim 9.45 \times 10^{-8}$)
p-Dichloro- benzene	1.97×10^{-6} ($NA \sim 3.15 \times 10^{-5}$)	6.94×10^{-7} ($NA \sim 1.11 \times 10^{-5}$)	5.13×10^{-8} ($NA \sim 8.21 \times 10^{-7}$)	1.18×10^{-8} ($NA \sim 1.90 \times 10^{-7}$)	2.41×10^{-8} ($NA \sim 3.85 \times 10^{-7}$)	5.56×10^{-9} ($NA \sim 8.89 \times 10^{-8}$)

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-14〉 매립지내에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월·5월 평균)

매립지내 비발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.38×10^{-3} ($1.42 \times 10^{-4} \sim$ 5.77×10^{-3})	8.37×10^{-4} ($5.00 \times 10^{-5} \sim$ 2.03×10^{-3})	6.19×10^{-5} ($3.70 \times 10^{-6} \sim$ 1.50×10^{-4})	1.43×10^{-5} ($8.54 \times 10^{-7} \sim$ 3.47×10^{-5})	2.90×10^{-5} ($1.74 \times 10^{-6} \sim$ 7.05×10^{-5})	6.70×10^{-6} ($4.01 \times 10^{-7} \sim$ 1.63×10^{-5})
Chlorobenzene	1.19×10^{-6} ($NA \sim 2.26 \times 10^{-5}$)	4.19×10^{-7} ($NA \sim 7.97 \times 10^{-6}$)	3.10×10^{-8} ($NA \sim 5.90 \times 10^{-7}$)	7.15×10^{-9} ($NA \sim 1.36 \times 10^{-7}$)	1.45×10^{-8} ($NA \sim 2.77 \times 10^{-7}$)	3.36×10^{-9} ($NA \sim 6.38 \times 10^{-8}$)
Ethylbenzene	1.04×10^{-4} ($NA \sim 1.43 \times 10^{-3}$)	3.67×10^{-5} ($NA \sim 5.04 \times 10^{-4}$)	2.71×10^{-6} ($NA \sim 3.73 \times 10^{-5}$)	6.29×10^{-7} ($NA \sim 8.60 \times 10^{-6}$)	1.27×10^{-6} ($NA \sim 1.75 \times 10^{-5}$)	2.94×10^{-7} ($NA \sim 4.03 \times 10^{-6}$)
p-xylene	7.36×10^{-5} ($NA \sim 8.44 \times 10^{-4}$)	2.59×10^{-5} ($NA \sim 2.97 \times 10^{-4}$)	1.92×10^{-6} ($NA \sim 2.20 \times 10^{-5}$)	4.42×10^{-7} ($NA \sim 5.07 \times 10^{-6}$)	9.00×10^{-7} ($NA \sim 1.03 \times 10^{-5}$)	2.08×10^{-7} ($NA \sim 2.38 \times 10^{-6}$)
m-xylene	1.31×10^{-4} ($NA \sim 1.43 \times 10^{-3}$)	4.60×10^{-5} ($NA \sim 5.03 \times 10^{-4}$)	3.40×10^{-6} ($NA \sim 3.72 \times 10^{-5}$)	7.85×10^{-7} ($NA \sim 8.59 \times 10^{-6}$)	1.60×10^{-6} ($NA \sim 1.75 \times 10^{-5}$)	3.68×10^{-7} ($NA \sim 4.03 \times 10^{-6}$)
o-xylene	2.01×10^{-4} ($NA \sim 2.30 \times 10^{-3}$)	7.07×10^{-5} ($NA \sim 8.09 \times 10^{-4}$)	5.23×10^{-6} ($NA \sim 5.98 \times 10^{-5}$)	1.21×10^{-6} ($NA \sim 1.38 \times 10^{-5}$)	2.45×10^{-6} ($NA \sim 2.81 \times 10^{-5}$)	5.66×10^{-7} ($NA \sim 6.48 \times 10^{-6}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-Dichloro- benzene	3.72×10^{-6} ($NA \sim 6.31 \times 10^{-5}$)	1.31×10^{-6} ($NA \sim 2.22 \times 10^{-5}$)	9.68×10^{-8} ($NA \sim 1.64 \times 10^{-6}$)	2.23×10^{-8} ($NA \sim 3.79 \times 10^{-7}$)	4.54×10^{-8} ($NA \sim 7.71 \times 10^{-7}$)	1.05×10^{-8} ($NA \sim 1.78 \times 10^{-7}$)
m-Dichloro- benzene	3.72×10^{-6} ($NA \sim 6.31 \times 10^{-5}$)	1.31×10^{-6} ($NA \sim 2.22 \times 10^{-5}$)	9.68×10^{-8} ($NA \sim 1.64 \times 10^{-6}$)	2.23×10^{-8} ($NA \sim 3.79 \times 10^{-7}$)	4.54×10^{-8} ($NA \sim 7.71 \times 10^{-7}$)	1.05×10^{-8} ($NA \sim 1.78 \times 10^{-7}$)
p-Dichloro- benzene	3.56×10^{-6} ($NA \sim 6.11 \times 10^{-5}$)	1.25×10^{-6} ($NA \sim 2.15 \times 10^{-5}$)	9.28×10^{-8} ($NA \sim 1.59 \times 10^{-6}$)	2.14×10^{-8} ($NA \sim 3.67 \times 10^{-7}$)	4.35×10^{-8} ($NA \sim 7.47 \times 10^{-7}$)	1.00×10^{-8} ($NA \sim 1.72 \times 10^{-7}$)

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-15〉 매립지 주변지역에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(3월 평균)

주변지역내 비발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	3.36×10^{-2} (1.12×10^{-2} ~ 5.95×10^{-2})	1.29×10^{-2} (3.96×10^{-3} ~ 2.10×10^{-2})	9.58×10^{-4} (2.93×10^{-4} ~ 1.55×10^{-3})	2.21×10^{-4} (6.76×10^{-5} ~ 3.58×10^{-4})	4.49×10^{-4} (1.37×10^{-4} ~ 7.27×10^{-4})	1.04×10^{-4} (3.17×10^{-5} ~ 1.68×10^{-4})
Chlorobenzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Ethylbenzene	1.36×10^{-3} ($NA \sim 4.19 \times 10^{-3}$)	4.78×10^{-4} ($NA \sim 1.47 \times 10^{-3}$)	3.54×10^{-5} ($NA \sim 1.09 \times 10^{-4}$)	8.16×10^{-6} ($NA \sim 2.52 \times 10^{-5}$)	1.66×10^{-5} ($NA \sim 5.11 \times 10^{-5}$)	3.83×10^{-6} ($NA \sim 1.18 \times 10^{-5}$)
p-xylene	9.57×10^{-4} ($NA \sim 2.80 \times 10^{-3}$)	3.37×10^{-4} ($NA \sim 9.88 \times 10^{-4}$)	2.49×10^{-5} ($NA \sim 7.30 \times 10^{-5}$)	5.75×10^{-6} ($NA \sim 1.69 \times 10^{-5}$)	1.17×10^{-5} ($NA \sim 3.43 \times 10^{-5}$)	2.70×10^{-6} ($NA \sim 7.91 \times 10^{-6}$)
m-xylene	1.66×10^{-3} ($NA \sim 4.17 \times 10^{-3}$)	5.83×10^{-4} ($NA \sim 1.47 \times 10^{-3}$)	4.32×10^{-5} ($NA \sim 1.09 \times 10^{-4}$)	9.96×10^{-6} ($NA \sim 2.51 \times 10^{-5}$)	2.03×10^{-5} ($NA \sim 5.10 \times 10^{-5}$)	4.67×10^{-6} ($NA \sim 1.18 \times 10^{-5}$)
o-xylene	4.11×10^{-3} ($NA \sim 8.96 \times 10^{-3}$)	1.45×10^{-3} ($NA \sim 3.15 \times 10^{-3}$)	1.07×10^{-4} ($NA \sim 2.33 \times 10^{-4}$)	2.47×10^{-5} ($NA \sim 5.38 \times 10^{-5}$)	5.03×10^{-5} ($NA \sim 1.09 \times 10^{-4}$)	1.16×10^{-5} ($NA \sim 2.53 \times 10^{-5}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-Dichloro- benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
m-Dichloro- benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro- benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-16〉 매립지 주변지역에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(5월 평균)

주변지역내 비발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.50×10^{-2} ($1.18 \times 10^{-2} \sim$ 3.90×10^{-2})	8.81×10^{-3} ($4.14 \times 10^{-3} \sim$ 1.37×10^{-2})	6.51×10^{-4} ($3.06 \times 10^{-4} \sim$ 1.01×10^{-3})	1.50×10^{-4} ($7.07 \times 10^{-5} \sim$ 2.34×10^{-4})	3.06×10^{-4} ($1.44 \times 10^{-4} \sim$ 4.76×10^{-4})	7.05×10^{-5} ($3.32 \times 10^{-5} \sim$ 1.10×10^{-4})
Chlorobenzene	5.31×10^{-4} ($NA \sim 1.90 \times 10^{-3}$)	1.87×10^{-4} ($NA \sim 6.70 \times 10^{-4}$)	1.38×10^{-5} ($NA \sim 4.95 \times 10^{-5}$)	3.19×10^{-6} ($NA \sim 1.14 \times 10^{-5}$)	6.49×10^{-6} ($NA \sim 2.32 \times 10^{-5}$)	1.50×10^{-6} ($NA \sim 5.36 \times 10^{-6}$)
Ethylbenzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
m-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-xylene	5.58×10^{-4} ($NA \sim 2.79 \times 10^{-3}$)	1.97×10^{-4} ($NA \sim 9.83 \times 10^{-4}$)	1.45×10^{-5} ($NA \sim 7.27 \times 10^{-5}$)	3.35×10^{-6} ($NA \sim 1.68 \times 10^{-5}$)	6.82×10^{-6} ($NA \sim 3.41 \times 10^{-5}$)	1.57×10^{-6} ($NA \sim 7.87 \times 10^{-6}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-Dichloro -benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
m-Dichloro -benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro -benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-17〉 매립지 주변지역에서의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(전체 평균)

주변지역내 비발암성 VOCs	Lifetime (mg/kg/day)	ADULT (mg/kg/day)			Child (mg/kg/day)	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	3.09×10^{-2} (1.12×10^{-2} ~ 5.95×10^{-2})	1.09×10^{-2} (3.96×10^{-3} ~ 2.10×10^{-2})	8.04×10^{-4} (2.93×10^{-4} ~ 1.55×10^{-3})	1.86×10^{-4} (6.76×10^{-5} ~ 3.58×10^{-4})	3.77×10^{-4} (1.37×10^{-4} ~ 7.27×10^{-4})	8.71×10^{-5} (3.17×10^{-5} ~ 1.68×10^{-4})
Chlorobenzene	2.66×10^{-4} ($NA \sim 1.90 \times 10^{-3}$)	9.35×10^{-5} ($NA \sim 6.70 \times 10^{-4}$)	6.92×10^{-6} ($NA \sim 4.95 \times 10^{-5}$)	1.60×10^{-6} ($NA \sim 1.14 \times 10^{-5}$)	3.25×10^{-6} ($NA \sim 2.32 \times 10^{-5}$)	7.49×10^{-7} ($NA \sim 5.36 \times 10^{-6}$)
Ethylbenzene	6.79×10^{-4} ($NA \sim 4.19 \times 10^{-3}$)	2.39×10^{-4} ($NA \sim 1.47 \times 10^{-3}$)	1.77×10^{-5} ($NA \sim 1.09 \times 10^{-4}$)	4.08×10^{-6} ($NA \sim 2.52 \times 10^{-5}$)	8.30×10^{-6} ($NA \sim 5.11 \times 10^{-5}$)	1.91×10^{-6} ($NA \sim 1.18 \times 10^{-5}$)
p-xylene	4.78×10^{-4} ($NA \sim 2.80 \times 10^{-3}$)	1.68×10^{-4} ($NA \sim 9.88 \times 10^{-4}$)	1.25×10^{-5} ($NA \sim 7.30 \times 10^{-5}$)	2.88×10^{-6} ($NA \sim 1.69 \times 10^{-5}$)	5.85×10^{-6} ($NA \sim 3.43 \times 10^{-5}$)	1.35×10^{-6} ($NA \sim 7.91 \times 10^{-6}$)
m-xylene	8.29×10^{-4} ($NA \sim 4.17 \times 10^{-3}$)	2.92×10^{-4} ($NA \sim 1.47 \times 10^{-3}$)	2.16×10^{-5} ($NA \sim 1.09 \times 10^{-4}$)	4.98×10^{-6} ($NA \sim 2.51 \times 10^{-5}$)	1.01×10^{-5} ($NA \sim 5.10 \times 10^{-5}$)	2.34×10^{-6} ($NA \sim 1.18 \times 10^{-5}$)
o-xylene	2.34×10^{-3} ($NA \sim 8.96 \times 10^{-3}$)	8.23×10^{-4} ($NA \sim 3.15 \times 10^{-3}$)	6.08×10^{-5} ($NA \sim 2.33 \times 10^{-4}$)	1.40×10^{-5} ($NA \sim 5.38 \times 10^{-5}$)	2.86×10^{-5} ($NA \sim 1.09 \times 10^{-4}$)	6.59×10^{-6} ($NA \sim 2.53 \times 10^{-5}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-Dichloro- benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
m-Dichloro- benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro- benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

3) 하반기 측정결과에 의한 예비평가

(1) 3차 측정(8월)

제1매립지와 제2 매립지에서의 인체 노출 수준은 유사하게 평가되었으며, 주변지역의 경우 매립지에서도 다소 높은 것으로 평가되었다. 모든 지역에서 Toluene의 인체 노출량이 가장 높게 산출되었으며, 그 외 물질들은 성인 WIES의 경우 대부분 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 수준으로 산출되었다.

① 발암성 VOCs에 의한 인체 노출량

<표 5-18> 제1매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월 평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)				인체 노출량 ADD (mg/kg/day)	
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	2.92E-05 (1.55E-05~4.56E-05)	1.00E-05 (5.31E-06~1.57E-05)	7.41E-07 (3.93E-07~1.16E-06)	1.71E-07 (9.06E-08~2.67E-07)	3.48E-07 (1.84E-07~5.44E-07)	8.02E-08 (4.25E-08~1.25E-07)
Carbon tetrachloride	4.11E-05 (2.20E-05~6.49E-05)	1.41E-05 (7.55E-06~2.23E-05)	1.04E-06 (5.58E-07~1.65E-06)	2.41E-07 (1.29E-07~3.80E-07)	4.90E-07 (2.62E-07~7.73E-07)	1.13E-07 (6.05E-08~1.78E-07)
Benzene	1.72E-05 (9.44E-06~3.06E-05)	5.89E-06 (3.24E-06~1.05E-05)	4.36E-07 (2.40E-07~7.77E-07)	1.01E-07 (5.53E-08~1.79E-07)	2.05E-07 (1.12E-07~3.65E-07)	4.72E-08 (2.60E-08~8.41E-08)
Trichloroethylene	2.39E-05 (1.32E-05~3.90E-05)	8.20E-06 (4.54E-06~1.34E-05)	6.07E-07 (3.36E-07~9.89E-07)	1.40E-07 (7.75E-08~2.28E-07)	2.85E-07 (1.58E-07~4.64E-07)	6.57E-08 (3.64E-08~1.07E-07)
Tetrachloroethylene	2.65E-05 (6.51E-06~4.23E-05)	9.09E-06 (2.23E-06~1.45E-05)	6.72E-07 (1.65E-07~1.07E-06)	1.55E-07 (3.81E-08~2.48E-07)	3.15E-07 (7.75E-08~5.04E-07)	7.28E-08 (1.79E-08~1.16E-07)
1,1-dichloroethane	2.61E-05 (1.42E-05~4.18E-05)	8.97E-06 (4.87E-06~1.44E-05)	6.64E-07 (3.60E-07~1.06E-06)	1.53E-07 (8.31E-08~2.45E-07)	3.11E-07 (1.69E-07~4.98E-07)	7.19E-08 (3.90E-08~1.15E-07)
1,1,2,2-tetrachloroethane	1.77E-05 (ND~4.82E-05)	6.08E-06 (ND~1.66E-05)	4.50E-07 (ND~1.23E-06)	1.04E-07 (ND~2.83E-07)	2.11E-07 (ND~5.75E-07)	4.87E-08 (ND~1.33E-07)
1,1,2-trichloroethane	2.38E-05 (1.27E-05~3.75E-05)	8.18E-06 (4.37E-06~1.29E-05)	6.05E-07 (3.23E-07~9.52E-07)	1.40E-07 (7.45E-08~2.20E-07)	2.84E-07 (1.52E-07~4.47E-07)	6.55E-08 (3.50E-08~1.03E-07)

〈표 5-19〉 제2매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월 평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	3.49E-05 (1.96E-05~6.00E-05)	1.20E-05 (6.72E-06~2.06E-05)	8.85E-07 (4.97E-07~1.53E-06)	2.04E-07 (1.15E-07~3.52E-07)	4.15E-07 (2.33E-07~7.16E-07)	9.59E-08 (5.38E-08~1.65E-07)
Carbon tetrachloride	4.96E-05 (2.78E-05~8.56E-05)	1.70E-05 (9.55E-06~2.94E-05)	1.26E-06 (7.06E-07~2.18E-06)	2.91E-07 (1.63E-07~5.02E-07)	5.92E-07 (3.31E-07~1.02E-06)	1.37E-07 (7.65E-08~2.36E-07)
Benzene	2.02E-05 (7.25E-06~3.08E-05)	6.94E-06 (2.49E-06~1.06E-05)	5.13E-07 (1.84E-07~7.83E-07)	1.18E-07 (4.25E-08~1.81E-07)	2.41E-07 (8.65E-08~3.67E-07)	5.56E-08 (2.00E-08~8.48E-08)
Trichloroethylene	2.97E-05 (1.67E-05~5.14E-05)	1.02E-05 (5.74E-06~1.77E-05)	7.54E-07 (4.24E-07~1.31E-06)	1.74E-07 (9.79E-08~3.01E-07)	3.54E-07 (1.99E-07~6.13E-07)	8.17E-08 (4.59E-08~1.41E-07)
Tetrachloro-ethylene	3.46E-05 (1.81E-05~5.55E-05)	1.19E-05 (6.21E-06~1.91E-05)	8.78E-07 (4.59E-07~1.41E-06)	2.03E-07 (1.06E-07~3.26E-07)	4.12E-07 (2.15E-07~6.62E-07)	9.50E-08 (4.97E-08~1.53E-07)
1,1-dichloro-ethane	3.18E-05 (1.79E-05~5.51E-05)	1.09E-05 (6.16E-06~1.89E-05)	8.07E-07 (4.55E-07~1.40E-06)	1.86E-07 (1.05E-07~3.23E-07)	3.79E-07 (2.14E-07~6.56E-07)	8.74E-08 (4.93E-08~1.51E-07)
1,1,2,2-tetrachloro-ethane	2.53E-05 (ND~5.34E-05)	8.69E-06 (ND~1.83E-05)	6.43E-07 (ND~1.36E-06)	1.48E-07 (ND~3.13E-07)	3.02E-07 (ND~6.36E-07)	6.96E-08 (ND~1.47E-07)
1,1,2-trichloro-ethane	2.51E-05 (1.40E-05~4.13E-05)	8.60E-06 (4.80E-06~1.42E-05)	6.36E-07 (3.55E-07~1.05E-06)	1.47E-07 (8.20E-08~2.42E-07)	2.99E-07 (1.67E-07~4.93E-07)	6.89E-08 (3.85E-08~1.14E-07)

〈표 5-20〉 주변지역의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월 평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	1.76E-04 (1.70E-04~1.90E-04)	6.05E-05 (5.84E-05~6.51E-05)	4.48E-06 (4.32E-06~4.82E-6)	1.03E-06 (9.97E-07~1.11E-06)	2.10E-06 (2.03E-06~2.26E-06)	4.85E-07 (4.68E-07~5.22E-07)
Carbon tetrachloride	2.51E-04 (2.42E-04~2.69E-04)	8.61E-05 (8.31E-05~9.25E-05)	6.37E-06 (6.15E-06~6.84E-06)	1.47E-06 (1.42E-06~1.58E-06)	2.99E-06 (2.88E-06~3.21E-06)	6.89E-07 (6.66E-07~7.41E-07)
Benzene	9.58E-05 (5.89E-05~1.12E-04)	3.29E-05 (2.02E-05~3.84E-05)	2.43E-06 (1.50E-06~2.84E-06)	5.62E-07 (3.45E-07~6.56E-07)	1.14E-06 (7.02E-07~1.33E-06)	2.63E-07 (1.62E-07~3.08E-07)
Trichloroethylene	1.51E-04 (1.45E-04~1.62E-04)	5.17E-05 (4.99E-05~5.56E-05)	3.82E-06 (3.69E-06~4.11E-06)	8.82E-07 (8.52E-07~9.49E-07)	1.79E-06 (1.73E-06~1.93E-06)	4.14E-07 (4.00E-07~4.45E-07)
Tetrachloro-ethylene	1.63E-04 (1.57E-04~1.75E-04)	5.61E-05 (5.40E-05~6.01E-05)	4.15E-06 (4.00E-06~4.45E-06)	9.58E-07 (9.22E-07~1.03E-06)	1.95E-06 (1.88E-06~2.09E-06)	4.50E-07 (4.33E-07~4.82E-07)
1,1-dichloroethane	1.62E-04 (1.56E-04~1.74E-04)	5.55E-05 (5.35E-05~5.97E-05)	4.10E-06 (3.96E-06~4.42E-06)	9.47E-07 (9.14E-07~1.02E-06)	1.93E-06 (1.86E-06~2.07E-06)	4.44E-07 (4.29E-07~4.78E-07)
1,1,2,2-tetrachloro-ethane	1.10E-04 (ND~1.73E-04)	3.78E-05 (ND~5.94E-05)	2.80E-06 (ND~4.39E-06)	6.46E-07 (ND~1.01E-06)	1.31E-06 (ND~2.06E-06)	3.03E-07 (ND~4.75E-07)
1,1,2-trichloro-ethane	1.45E-04 (1.40E-04~1.56E-04)	4.98E-05 (4.80E-05~5.35E-05)	3.68E-06 (3.55E-06~3.96E-06)	8.50E-07 (8.20E-07~9.13E-07)	1.73E-06 (1.67E-06~1.86E-06)	3.99E-07 (3.85E-07~4.28E-07)

② 비발암성 VOCs에 의한 인체 노출량

〈표 5-21〉 제1매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월 평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	1.71E-05 (9.07E-06~2.67E-05)	5.87E-06 (3.11E-06~9.17E-06)	4.34E-07 (2.30E-07~6.79E-07)	1.00E-07 (5.31E-08~1.57E-07)	2.04E-07 (1.08E-07~3.18E-07)	4.70E-08 (2.49E-08~7.35E-08)
Toluene	1.21E-02 (4.21E-05~1.09E-01)	4.17E-03 (1.45E-05~3.75E-02)	3.08E-04 (1.07E-06~2.77E-03)	7.11E-05 (2.47E-07~6.39E-04)	1.45E-04 (5.02E-07~1.30E-03)	3.34E-05 (1.16E-07~3.00E-04)
Chlorobenzene	9.43E-05 (9.28E-06~7.22E-04)	3.24E-05 (9.72E-07~2.48E-04)	2.40E-06 (7.19E-08~1.83E-05)	5.53E-07 (1.66E-08~4.23E-06)	1.12E-06 (3.38E-08~8.60E-06)	2.59E-07 (7.79E-09~1.99E-06)
Ethylbenzene	2.87E-04 (ND~1.39E-03)	9.85E-05 (ND~4.77E-04)	7.28E-06 (ND~3.53E-05)	1.68E-06 (ND~8.14E-06)	3.42E-06 (ND~1.66E-05)	7.89E-07 (ND~3.82E-06)
p-xylene	1.75E-04 (2.79E-06~6.99E-04)	6.01E-05 (9.58E-07~2.40E-04)	4.44E-06 (7.08E-08~1.78E-05)	1.03E-06 (1.63E-08~4.10E-06)	2.08E-06 (3.32E-08~8.33E-06)	4.81E-07 (7.67E-09~1.92E-06)
m-xylene	1.70E-04 (2.79E-06~6.99E-04)	5.82E-05 (9.58E-07~2.40E-04)	4.31E-06 (7.08E-08~1.78E-05)	9.94E-07 (1.63E-08~4.10E-06)	2.02E-06 (3.32E-08~8.33E-06)	4.66E-07 (7.67E-09~1.92E-06)
o-xylene	5.57E-05 (ND~1.88E-04)	1.91E-05 (ND~6.46E-05)	1.41E-06 (ND~4.78E-06)	3.26E-07 (ND~1.10E-06)	6.63E-07 (ND~2.24E-06)	1.53E-07 (ND~5.17E-07)
styrene	4.72E-05 (1.42E-06~2.32E-04)	1.62E-05 (4.88E-07~7.97E-05)	1.20E-06 (3.61E-08~5.90E-06)	2.76E-07 (8.33E-09~1.36E-06)	5.62E-07 (1.69E-08~2.77E-06)	1.30E-07 (3.91E-09~6.39E-07)
m-Dichloro- benzene	4.28E-06 (ND~2.96E-05)	1.47E-06 (ND~1.02E-05)	1.09E-07 (0.00E+00~7.51E-07)	2.51E-08 (ND~1.73E-07)	5.10E-08 (ND~3.52E-07)	1.18E-08 (ND~8.13E-08)
p-Dichloro- benzene	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,2-dichloro- propane	2.39E-05 (ND~4.22E-05)	8.20E-06 (ND~1.45E-05)	6.07E-07 (ND~1.07E-06)	1.40E-07 (ND~2.47E-07)	2.85E-07 (ND~5.03E-07)	6.57E-08 (ND~1.16E-07)
1,1,1-trichloro- ethane	2.82E-05 (4.47E-06~5.22E-05)	9.69E-06 (1.54E-06~1.79E-05)	7.16E-07 (1.14E-07~1.33E-06)	1.65E-07 (2.62E-08~3.06E-07)	3.36E-07 (5.33E-08~6.22E-07)	7.76E-08 (1.23E-08~1.44E-07)
1,2,4-trimethyl- benzene	2.84E-07 (ND~1.47E-06)	9.76E-08 (ND~5.03E-07)	7.22E-09 (ND~3.72E-08)	1.67E-09 (0.00E+00~8.59E-09)	3.39E-09 (ND~1.75E-08)	7.82E-10 (ND~4.03E-09)
cis 1,3-dichloro- propene	1.74E-05 (4.31E-06~4.94E-05)	5.97E-06 (1.48E-06~1.70E-05)	4.42E-07 (1.10E-07~1.26E-06)	1.02E-07 (ND~2.90E-07)	2.07E-07 (5.14E-08~5.89E-07)	4.78E-08 (1.19E-08~1.36E-07)
1,1-dichloro- ethene	1.90E-05 (1.47E-06~3.26E-05)	6.52E-06 (5.03E-07~1.12E-05)	4.82E-07 (3.72E-08~8.28E-07)	1.11E-07 (8.59E-09~1.91E-07)	2.26E-07 (1.75E-08~3.88E-07)	5.22E-08 (4.03E-09~8.96E-08)
trans-1,3-dichloro propene	1.62E-05 (5.70E-06~2.84E-05)	5.56E-06 (1.96E-06~9.77E-06)	4.11E-07 (1.45E-07~7.23E-07)	9.49E-08 (3.34E-08~1.67E-07)	1.93E-07 (6.79E-08~3.39E-07)	4.45E-08 (1.57E-08~7.82E-08)
1,3,5-trimethyl- benzene	1.55E-05 (2.05E-07~7.82E-05)	5.34E-06 (7.03E-08~2.69E-05)	3.95E-07 (5.20E-09~1.99E-06)	9.11E-08 (1.20E-09~4.59E-07)	1.85E-07 (2.44E-09~9.32E-07)	4.28E-08 (5.63E-10~2.15E-07)

〈표 5-22〉 제2매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월 평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	2.03E-05 (1.15E-05~3.52E-05)	6.98E-06 (3.94E-06~1.21E-05)	5.16E-07 (2.91E-07~8.94E-07)	1.19E-07 (6.72E-08~2.06E-07)	2.42E-07 (1.37E-07~4.20E-07)	5.59E-08 (3.15E-08~9.69E-08)
Toluene	6.42E-03 (2.81E-04~2.54E-02)	2.20E-03 (9.64E-05~8.71E-03)	1.63E-04 (7.13E-06~6.44E-04)	3.76E-05 (1.65E-06~1.49E-04)	7.65E-05 (3.35E-06~3.02E-04)	1.76E-05 (7.72E-07~6.98E-05)
Chlorobenzene	2.19E-04 (6.25E-06~2.28E-03)	7.52E-05 (2.15E-06~7.84E-04)	5.56E-06 (1.59E-07~5.80E-05)	1.28E-06 (3.66E-08~1.34E-05)	2.61E-06 (7.45E-08~2.72E-05)	6.03E-07 (1.72E-08~6.28E-06)
Ethylbenzene	3.34E-04 (4.38E-06~1.70E-03)	1.15E-04 (1.50E-06~5.85E-04)	8.50E-06 (1.11E-07~4.32E-05)	1.96E-06 (2.57E-08~9.98E-06)	3.99E-06 (5.22E-08~2.03E-05)	9.20E-07 (1.20E-08~4.68E-06)
p-xylene	2.21E-04 (ND~1.90E-03)	7.58E-05 (ND~6.53E-04)	5.61E-06 (ND~4.83E-05)	1.29E-06 (ND~1.11E-05)	2.63E-06 (ND~2.27E-05)	6.07E-07 (ND~5.23E-06)
m-xylene	7.81E-05 (ND~2.44E-04)	2.68E-05 (ND~8.40E-05)	1.98E-06 (ND~6.21E-06)	4.58E-07 (ND~1.43E-06)	9.31E-07 (ND~2.91E-06)	2.15E-07 (ND~6.72E-07)
o-xylene	3.23E-05 (8.43E-07~1.18E-04)	1.11E-05 (2.89E-07~4.04E-05)	8.21E-07 (2.14E-08~2.99E-06)	1.89E-07 (4.94E-09~6.90E-07)	3.85E-07 (1.00E-08~1.40E-06)	8.89E-08 (2.32E-09~3.24E-07)
styrene	7.61E-04 (6.90E-07~5.73E-03)	2.61E-04 (2.37E-07~1.97E-03)	1.93E-05 (1.75E-08~1.46E-04)	4.46E-06 (4.04E-09~3.36E-05)	9.07E-06 (8.22E-09~6.83E-05)	2.09E-06 (1.90E-09~1.58E-05)
m-Dichloro- benzene	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
p-Dichloro- benzene	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,2-dichloro- propane	3.22E-05 (1.81E-05~5.57E-05)	1.11E-05 (6.21E-06~1.91E-05)	8.19E-07 (4.60E-07~1.41E-06)	1.89E-07 (1.06E-07~3.26E-07)	3.84E-07 (2.16E-07~6.63E-07)	8.86E-08 (4.98E-08~1.53E-07)
1,1,1-trichloro- ethane	3.98E-05 (2.24E-05~6.88E-05)	1.37E-05 (7.70E-06~2.36E-05)	1.01E-06 (5.70E-07~1.75E-06)	2.33E-07 (1.31E-07~4.03E-07)	4.74E-07 (2.67E-07~8.20E-07)	1.09E-07 (6.17E-08~1.89E-07)
1,2,4-trimethyl- benzene	5.07E-07 (ND~5.68E-06)	1.74E-07 (ND~1.95E-06)	1.29E-08 (ND~1.44E-07)	2.97E-09 (ND~3.33E-08)	6.04E-09 (ND~6.77E-08)	1.39E-09 (ND~1.56E-08)
cis1,3-dichloro- propene	1.95E-05 (6.84E-06~3.69E-05)	6.71E-06 (2.35E-06~1.27E-05)	4.96E-07 (1.74E-07~9.37E-07)	1.15E-07 (4.01E-08~2.16E-07)	2.33E-07 (8.15E-08~4.40E-07)	5.37E-08 (1.88E-08~1.01E-07)
1,1-dichloro- ethene	2.29E-05 (1.40E-05~3.59E-05)	7.85E-06 (4.80E-06~1.23E-05)	5.81E-07 (3.55E-07~9.13E-07)	1.34E-07 (8.19E-08~2.11E-07)	2.72E-07 (1.66E-07~4.28E-07)	6.29E-08 (3.84E-08~9.88E-08)
trans-1,3-dichlo- ropropene	1.75E-05 (1.19E-05~3.06E-05)	6.00E-06 (4.09E-06~1.05E-05)	4.44E-07 (3.02E-07~7.78E-07)	1.02E-07 (6.98E-08~1.80E-07)	2.08E-07 (1.42E-07~3.65E-07)	4.81E-08 (3.27E-08~8.42E-08)
1,3,5-trimethyl- benzene	2.70E-04 (4.28E-07~2.56E-03)	9.29E-05 (1.47E-07~8.79E-04)	6.87E-06 (1.09E-08~6.50E-05)	1.59E-06 (2.51E-09~1.50E-05)	3.22E-06 (5.10E-09~3.05E-05)	7.44E-07 (1.18E-09~7.04E-06)

〈표 5-23〉 주변지역의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(8월 평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	1.03E-04 (9.97E-05~1.11E-04)	3.55E-05 (3.42E-05~3.82E-05)	2.62E-06 (2.53E-06~2.82E-06)	6.05E-07 (5.85E-07~6.51E-07)	1.23E-06 (1.19E-06~1.32E-06)	2.84E-07 (2.74E-07~3.06E-07)
Toluene	4.34E-02 (7.44E-03~9.63E-02)	1.49E-02 (2.55E-03~3.31E-02)	1.10E-03 (1.89E-04~2.45E-03)	2.54E-04 (4.36E-05~5.65E-04)	5.17E-04 (8.86E-05~1.15E-03)	1.19E-04 (2.05E-05~2.65E-04)
Chlorobenzene	2.54E-03 (5.51E-05~9.64E-03)	8.71E-04 (1.89E-05~3.31E-03)	6.44E-05 (1.40E-06~2.45E-04)	1.49E-05 (3.23E-07~5.65E-05)	3.02E-05 (6.57E-07~1.15E-04)	6.98E-06 (1.52E-07~2.65E-05)
Ethylbenzene	5.11E-03 (ND~1.73E-02)	1.76E-03 (ND~5.93E-03)	1.30E-04 (ND~4.39E-04)	3.00E-05 (ND~1.01E-04)	6.09E-05 (ND~2.06E-04)	1.41E-05 (ND~4.75E-05)
p-xylene	2.35E-03 (5.50E-04~6.26E-03)	8.06E-04 (1.89E-04~2.15E-03)	5.96E-05 (1.40E-05~1.59E-04)	1.38E-05 (3.22E-06~3.67E-05)	2.80E-05 (6.55E-06~7.46E-05)	6.45E-06 (1.51E-06~1.72E-05)
m-xylene	2.35E-03 (5.50E-04~6.26E-03)	8.06E-04 (1.89E-04~2.15E-03)	5.96E-05 (1.40E-05~1.59E-04)	1.38E-05 (3.22E-06~3.67E-05)	2.80E-05 (6.55E-06~7.46E-05)	6.45E-06 (1.51E-06~1.72E-05)
o-xylene	9.35E-04 (1.93E-04~1.74E-03)	3.21E-04 (6.61E-05~5.97E-04)	2.38E-05 (4.89E-06~4.41E-05)	5.48E-06 (1.13E-06~1.02E-05)	1.11E-05 (2.29E-06~2.07E-05)	2.57E-06 (5.29E-07~4.78E-06)
styrene	4.96E-03 (8.59E-05~1.64E-02)	1.70E-03 (2.95E-05~5.64E-03)	1.26E-04 (2.18E-06~4.17E-04)	2.91E-05 (5.04E-07~9.63E-05)	5.91E-05 (1.02E-06~1.96E-04)	1.36E-05 (2.36E-07~4.52E-05)
m-Dichloro- benzene	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -
p-Dichloro- benzene	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -
1,2-dichloro- propane	1.42E-04 (8.88E-05~1.60E-04)	4.86E-05 (3.05E-05~5.49E-05)	3.60E-06 (2.26E-06~4.06E-06)	8.30E-07 (5.20E-07~9.37E-07)	1.69E-06 (1.06E-06~1.91E-06)	3.89E-07 (2.44E-07~4.40E-07)
1,1,1-trichloro- ethane	2.02E-04 (1.95E-04~2.17E-04)	6.93E-05 (6.69E-05~7.46E-05)	5.13E-06 (4.95E-06~5.52E-06)	1.18E-06 (1.14E-06~1.27E-06)	2.41E-06 (2.32E-06~2.59E-06)	5.55E-07 (5.36E-07~5.98E-07)
1,2,4-trimethyl- benzene	1.91E-07 (ND~4.73E-07)	6.57E-08 (ND~1.62E-07)	4.86E-09 (ND~1.20E-08)	1.12E-09 (ND~2.77E-09)	2.28E-09 (ND~5.63E-09)	5.27E-10 (ND~1.30E-09)
cis-1,3-dichloro- propene	1.08E-04 (1.04E-04~1.16E-04)	3.71E-05 (3.58E-05~3.99E-05)	2.75E-06 (2.65E-06~2.95E-06)	6.34E-07 (6.11E-07~6.81E-07)	1.29E-06 (1.24E-06~1.38E-06)	2.97E-07 (2.87E-07~3.20E-07)
1,1-dichloro- ethene	9.21E-05 (ND~1.24E-04)	3.16E-05 (ND~4.24E-05)	2.34E-06 (ND~3.14E-06)	5.40E-07 (ND~7.24E-07)	1.10E-06 (ND~1.47E-06)	2.53E-07 (ND~3.40E-07)
trans-1,3-dichloro- propene	1.08E-04 (1.04E-04~1.15E-04)	3.70E-05 (3.56E-05~3.96E-05)	2.74E-06 (2.63E-06~2.93E-06)	6.32E-07 (6.07E-07~6.77E-07)	1.29E-06 (1.23E-06~1.38E-06)	2.97E-07 (2.85E-07~3.18E-07)
1,3,5-trimethyl- benzene	3.91E-04 (1.62E-05~8.19E-04)	1.34E-04 (5.57E-06~2.81E-04)	9.93E-06 (4.12E-07~2.08E-05)	2.29E-06 (9.51E-08~4.80E-06)	4.66E-06 (1.93E-07~9.76E-06)	1.08E-06 (4.46E-08~2.25E-06)

(2) 4차 측정(10월)

8월의 제3차 측정결과에 비해 4차측정(10월)에서는 비해 다소 낮은 인체 노출량을 보였다. 제1매립지와 제2매립지에서의 인체 노출 수준은 유사하게 평가되었으며, 주변지역의 경우 매립지에서보다 다소 높은 것으로 평가되었다. 모든 지역에서 Toluene의 인체 노출량이 가장 높게 산출되었으며, 발암물질의 경우에는, 성인WIES의 경우 $10^{-8} \sim 10^{-4}$ 수준으로 평가되었다. 비발암물질의 경우에는, 성인 WIES의 경우 $10^{-7} \sim 10^{-2}$ 의 수준으로 산출되었다.

① 발암성 VOCs에 의한 인체 노출량

〈표 5-24〉 제1매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월 평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	3.93E-07 (ND~3.25E-06)	1.35E-07 (ND~1.12E-06)	9.98E-09 (ND~8.25E-08)	2.30E-09 (ND~1.90E-08)	4.68E-09 (ND~3.87E-08)	1.08E-09 (ND~8.93E-09)
Carbon tetrachloride	1.97E-07 (ND~2.36E-06)	6.75E-08 (ND~8.10E-07)	5.00E-09 (ND~5.99E-08)	1.15E-09 (ND~1.38E-08)	2.34E-09 (ND~2.81E-08)	5.41E-10 (ND~6.49E-09)
Benzene	4.78E-04 (ND~4.72E-03)	1.64E-04 (ND~1.62E-03)	1.21E-05 (ND~1.20E-04)	2.80E-06 (ND~2.77E-05)	5.70E-06 (ND~5.63E-05)	1.32E-06 (ND~1.30E-05)
Trichloroethylene	6.55E-06 (ND~6.64E-05)	2.25E-06 (ND~2.28E-05)	1.66E-07 (ND~1.69E-06)	3.84E-08 (ND~3.89E-07)	7.81E-08 (ND~7.91E-07)	1.80E-08 (ND~1.83E-07)
Tetrachloroethylene	6.60E-07 (ND~7.92E-06)	2.27E-07 (ND~2.72E-06)	1.68E-08 (ND~2.01E-07)	3.87E-09 (ND~4.64E-08)	7.86E-09 (ND~9.44E-08)	1.81E-09 (ND~2.18E-08)
1,1-dichloroethane	1.34E-08 (ND~1.61E-07)	4.60E-09 (ND~5.52E-08)	3.40E-10 (ND~4.09E-09)	7.86E-11 (ND~9.43E-10)	1.60E-10 (ND~1.92E-09)	3.69E-11 (ND~4.42E-10)
1,1,2-tetrachloroethane	4.61E-04 (3.18E-05~3.13E-03)	1.58E-04 (1.09E-05~1.07E-03)	1.17E-05 (8.08E-07~7.94E-05)	2.70E-06 (1.86E-07~1.83E-05)	5.50E-06 (3.79E-07~3.73E-05)	1.27E-06 (8.75E-08~8.60E-06)
1,1,2-trichloroethane	7.79E-07 (ND~4.97E-06)	2.68E-07 (ND~1.71E-06)	1.98E-08 (ND~1.26E-07)	4.57E-09 (ND~2.91E-08)	9.29E-09 (ND~5.92E-08)	2.14E-09 (ND~1.37E-08)

〈표 5-25〉 제2매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월 평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)				인체 노출량 ADD (mg/kg/day)	
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	6.66E-07 (ND~3.83E-06)	2.29E-07 (ND~1.32E-06)	1.69E-08 (ND~9.73E-08)	3.91E-09 (ND~2.25E-08)	7.94E-09 (ND~4.57E-08)	1.83E-09 (ND~1.05E-08)
Carbon tetrachloride	5.76E-07 (ND~6.91E-06)	1.98E-07 (ND~2.37E-06)	1.46E-08 (ND~1.76E-07)	3.38E-09 (ND~4.05E-08)	6.87E-09 (ND~8.24E-08)	1.58E-09 (ND~1.90E-08)
Benzene	1.49E-04 (ND~1.76E-03)	5.13E-05 (ND~6.05E-04)	3.80E-06 (ND~4.48E-05)	8.76E-07 (ND~1.03E-05)	1.78E-06 (ND~2.10E-05)	4.11E-07 (ND~4.85E-06)
Trichloroethylene	1.31E-05 (ND~7.54E-05)	4.50E-06 (ND~2.59E-05)	3.33E-07 (ND~1.92E-06)	7.67E-08 (ND~4.42E-07)	1.56E-07 (ND~8.99E-07)	3.60E-08 (ND~2.07E-07)
Tetrachloroethylene	3.65E-07 (ND~2.77E-06)	1.25E-07 (ND~9.53E-07)	9.28E-09 (ND~7.05E-08)	2.14E-09 (ND~1.63E-08)	4.35E-09 (ND~3.31E-08)	1.00E-09 (ND~7.63E-09)
1,1-dichloroethane	8.00E-08 (ND~5.37E-07)	2.75E-08 (ND~1.84E-07)	2.03E-09 (ND~1.36E-08)	4.69E-10 (ND~3.15E-09)	9.53E-10 (ND~6.40E-09)	2.20E-10 (ND~1.48E-09)
1,1,2,2-tetrachloro-ethane	3.83E-05 (4.22E-06~1.83E-04)	1.31E-05 (1.45E-06~6.28E-05)	9.72E-07 (1.07E-07~4.65E-06)	2.24E-07 (2.47E-08~1.07E-06)	4.56E-07 (5.03E-08~2.18E-06)	1.05E-07 (1.16E-08~5.03E-07)
1,1,2-trichloro-ethane	2.85E-07 (ND~2.89E-06)	9.80E-08 (ND~9.93E-07)	7.25E-09 (ND~7.34E-08)	1.67E-09 (ND~1.69E-08)	3.40E-09 (ND~3.45E-08)	7.85E-10 (ND~7.95E-09)

〈표 5-26〉 주변의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월 평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	2.52E-05 (ND~6.60E-05)	8.64E-06 (ND~2.27E-05)	6.39E-07 (ND~1.68E-06)	1.48E-07 (ND~3.87E-07)	3.00E-07 (ND~7.87E-07)	6.92E-08 (ND~1.82E-07)
Carbon tetrachloride	1.09E-05 (ND~4.55E-05)	3.74E-06 (ND~1.56E-05)	2.76E-07 (ND~1.16E-06)	6.38E-08 (ND~2.67E-07)	1.30E-07 (ND~5.43E-07)	2.99E-08 (ND~1.25E-07)
Benzene	5.53E-04 (ND~1.92E-03)	1.90E-04 (ND~6.59E-04)	1.40E-05 (ND~4.87E-05)	3.24E-06 (ND~1.12E-05)	6.59E-06 (ND~2.29E-05)	1.52E-06 (ND~5.28E-06)
Trichloroethylene	6.59E-06 (ND~3.11E-05)	2.26E-06 (ND~1.07E-05)	1.67E-07 (ND~7.89E-07)	3.86E-08 (ND~1.82E-07)	7.85E-08 (ND~3.70E-07)	1.81E-08 (ND~8.54E-08)
Tetrachloroethylene	4.24E-06 (ND~1.33E-05)	1.46E-06 (ND~4.55E-06)	1.08E-07 (ND~3.37E-07)	2.48E-08 (ND~7.77E-08)	5.05E-08 (ND~1.58E-07)	1.17E-08 (ND~3.65E-08)
1,1-dichloroethane	6.16E-07 (ND~3.70E-06)	2.11E-07 (ND~1.27E-06)	1.56E-08 (ND~9.39E-08)	3.61E-09 (ND~2.17E-08)	7.34E-09 (ND~4.40E-08)	1.69E-09 (ND~1.02E-08)
1,1,2,2-tetrachloro-ethane	1.14E-03 (1.91E-04~3.29E-03)	3.92E-04 (6.55E-05~1.13E-03)	2.90E-05 (4.85E-06~8.36E-05)	6.70E-06 (1.12E-06~1.93E-05)	1.36E-05 (2.27E-06~3.92E-05)	3.14E-06 (5.25E-07~9.05E-06)
1,1,2-trichloro-ethane	1.83E-06 (ND~6.37E-06)	6.29E-07 (ND~2.19E-06)	4.65E-08 (ND~1.62E-07)	1.07E-08 (ND~3.73E-08)	2.18E-08 (ND~7.59E-08)	5.04E-09 (ND~1.75E-08)

② 비발암성 VOCs에 의한 인체 노출량

<표 5-27> 제1매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월 평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	ND —	ND —	ND —	ND —	0.00E+00 (0.00E+00~0.00E+00)	0.00E+00 (0.00E+00~0.00E+00)
Toluene	1.06E-02 (1.60E-03~2.00E-02)	3.59E-03 (5.48E-04~6.86E-03)	2.66E-04 (4.05E-05~5.07E-04)	6.13E-05 (9.36E-06~1.17E-04)	1.25E-04 (1.90E-05~2.38E-04)	2.88E-05 (4.39E-06~5.49E-05)
Chlorobenzene	2.56E-02 (1.51E-03~8.18E-02)	8.79E-03 (5.17E-04~2.81E-02)	6.50E-04 (3.82E-05~2.08E-03)	1.50E-04 (8.82E-06~4.80E-04)	3.05E-04 (1.79E-05~9.75E-04)	7.04E-05 (4.14E-06~2.25E-04)
Ethylbenzene	3.89E-04 (ND~9.66E-04)	1.34E-04 (ND~3.32E-04)	9.89E-06 (ND~2.45E-05)	2.28E-06 (ND~5.67E-06)	4.64E-06 (ND~1.15E-05)	1.07E-06 (ND~2.66E-06)
p-xylene	6.03E-04 (2.91E-06~1.77E-03)	2.07E-04 (9.98E-07~6.09E-04)	1.53E-05 (7.38E-08~4.50E-05)	3.53E-06 (1.70E-08~1.04E-05)	7.18E-06 (3.46E-08~2.11E-05)	1.66E-06 (7.99E-09~4.88E-06)
m-xylene	3.57E-04 (2.91E-06~9.87E-04)	1.23E-04 (9.98E-07~3.39E-04)	9.06E-06 (7.38E-08~2.51E-05)	2.09E-06 (1.70E-08~5.79E-06)	4.25E-06 (3.46E-08~1.18E-05)	9.82E-07 (7.99E-09~2.71E-06)
o-xylene	1.56E-04 (ND~1.29E-03)	5.36E-05 (ND~4.42E-04)	3.97E-06 (ND~3.27E-05)	9.16E-07 (ND~7.54E-06)	1.86E-06 (ND~1.53E-05)	4.30E-07 (ND~3.54E-06)
styrene	6.91E-05 (ND~2.85E-04)	2.37E-05 (ND~9.79E-05)	1.76E-06 (ND~7.24E-06)	4.05E-07 (ND~1.67E-06)	8.24E-07 (ND~3.40E-06)	1.90E-07 (ND~7.84E-07)
m-Dichloro- benzene	2.74E-05 (ND~2.57E-04)	9.40E-06 (ND~8.83E-05)	6.95E-07 (ND~6.53E-06)	1.60E-07 (ND~1.51E-06)	3.26E-07 (ND~3.07E-06)	7.53E-08 (ND~7.08E-07)
p-Dichloro- benzene	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,2-dichloro- propane	8.77E-07 (ND~1.05E-05)	3.01E-07 (ND~3.61E-06)	2.23E-08 (ND~2.67E-07)	5.14E-09 (ND~6.17E-08)	1.04E-08 (ND~1.25E-07)	2.41E-09 (ND~2.89E-08)
1,1,1-trichloro- ethane	5.91E-07 (ND~7.09E-06)	2.03E-07 (ND~2.43E-06)	1.50E-08 (ND~1.80E-07)	3.46E-09 (ND~4.15E-08)	7.04E-09 (ND~8.45E-08)	1.62E-09 (ND~1.95E-08)
1,2,4-trimethyl-ben- zene	2.80E-04 (ND~1.89E-03)	9.61E-05 (ND~6.47E-04)	7.11E-06 (ND~4.79E-05)	1.64E-06 (ND~1.11E-05)	3.34E-06 (ND~2.25E-05)	7.70E-07 (ND~5.19E-06)
cis 1,3-dichloro- propene	2.90E-06 (ND~1.99E-05)	9.97E-07 (ND~6.83E-06)	7.37E-08 (ND~5.05E-07)	1.70E-08 (ND~1.17E-07)	3.46E-08 (ND~2.37E-07)	7.98E-09 (ND~5.47E-08)
1,1-dichloro- ethene	7.98E-08 (ND~9.58E-07)	2.74E-08 (ND~3.29E-07)	2.03E-09 (ND~2.43E-08)	4.68E-10 (ND~5.61E-09)	9.51E-10 (ND~1.14E-08)	2.20E-10 (ND~2.63E-09)
trans-1,3-dichloro- propene	4.26E-07 (ND~2.33E-06)	1.46E-07 (ND~8.01E-07)	1.08E-08 (ND~5.93E-08)	2.50E-09 (ND~1.37E-08)	5.08E-09 (ND~2.78E-08)	1.17E-09 (ND~6.42E-09)
1,3,5-trimethyl- benzene	2.98E-07 (ND~1.94E-06)	1.02E-07 (ND~6.67E-07)	7.58E-09 (ND~4.93E-08)	1.75E-09 (ND~1.14E-08)	3.56E-09 (ND~2.31E-08)	8.21E-10 (ND~5.34E-09)

〈표 5-28〉 제2매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월 평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
Toluene	1.40E-02 (1.40E-04~4.55E-02)	4.81E-03 (4.82E-05~1.56E-02)	3.56E-04 (3.57E-06~1.16E-03)	8.22E-05 (8.23E-07~2.67E-04)	1.67E-04 (1.67E-06~5.42E-04)	3.86E-05 (3.86E-07~1.25E-04)
Chlorobenzene	7.87E-03 (5.42E-04~2.27E-02)	2.70E-03 (1.86E-04~7.80E-03)	2.00E-04 (1.38E-05~5.77E-04)	4.61E-05 (3.18E-06~1.33E-04)	9.38E-05 (6.46E-06~2.71E-04)	2.16E-05 (1.49E-06~6.25E-05)
Ethylbenzene	3.86E-04 (ND~2.55E-03)	1.33E-04 (ND~8.74E-04)	9.81E-06 (ND~6.47E-05)	2.26E-06 (ND~1.49E-05)	4.60E-06 (ND~3.03E-05)	1.06E-06 (ND~7.00E-06)
p-xylene	2.92E-04 (ND~1.36E-03)	1.00E-04 (ND~4.66E-04)	7.41E-06 (ND~3.45E-05)	1.71E-06 (ND~7.96E-06)	3.48E-06 (ND~1.62E-05)	8.03E-07 (ND~3.73E-06)
m-xylene	2.29E-04 (ND~1.36E-03)	7.87E-05 (ND~4.66E-04)	5.82E-06 (ND~3.45E-05)	1.34E-06 (ND~7.96E-06)	2.73E-06 (ND~1.62E-05)	6.31E-07 (ND~3.73E-06)
o-xylene	2.61E-07 (ND~3.13E-06)	8.96E-08 (ND~1.07E-06)	6.62E-09 (ND~7.95E-08)	1.53E-09 (ND~1.83E-08)	3.11E-09 (ND~3.73E-08)	7.17E-10 (ND~8.61E-09)
styrene	2.02E-06 (ND~2.38E-05)	6.94E-07 (ND~8.17E-06)	5.14E-08 (ND~6.04E-07)	1.19E-08 (ND~1.39E-07)	2.41E-08 (ND~2.83E-07)	5.56E-09 (ND~6.54E-08)
m-Dichloro- benzene	9.40E-05 (ND~6.25E-04)	3.23E-05 (ND~2.15E-04)	2.39E-06 (ND~1.59E-05)	5.51E-07 (ND~3.66E-06)	1.12E-06 (ND~7.45E-06)	2.59E-07 (ND~1.72E-06)
p-Dichloro- benzene	6.44E-07 (ND~7.73E-06)	2.21E-07 (ND~2.65E-06)	1.64E-08 (ND~1.96E-07)	3.78E-09 (ND~4.53E-08)	7.68E-09 (ND~9.21E-08)	1.77E-09 (ND~2.13E-08)
1,2-dichloro- propane	1.14E-06 (ND~1.06E-05)	3.90E-07 (ND~3.64E-06)	2.89E-08 (ND~2.70E-07)	6.66E-09 (ND~6.22E-08)	1.36E-08 (ND~1.26E-07)	3.13E-09 (ND~2.92E-08)
1,1,1-trichloro- ethane	7.81E-07 (ND~5.71E-06)	2.68E-07 (ND~1.96E-06)	1.98E-08 (ND~1.45E-07)	4.58E-09 (ND~3.35E-08)	9.31E-09 (ND~6.81E-08)	2.15E-09 (ND~1.57E-08)
1,2,4-trimethyl- benzene	4.55E-06 (ND~2.54E-05)	1.56E-06 (ND~8.74E-06)	1.16E-07 (ND~6.46E-07)	2.67E-08 (ND~1.49E-07)	5.43E-08 (ND~3.03E-07)	1.25E-08 (ND~7.00E-08)
cis 1,3-dichloro- propene	1.12E-06 (ND~5.56E-06)	3.86E-07 (ND~1.91E-06)	2.85E-08 (ND~1.41E-07)	6.59E-09 (ND~3.26E-08)	1.34E-08 (ND~6.63E-08)	3.09E-09 (ND~1.53E-08)
1,1-dichloro- ethene	1.31E-07 (ND~1.57E-06)	4.49E-08 (ND~5.39E-07)	3.32E-09 (ND~3.99E-08)	7.67E-10 (ND~9.21E-09)	1.56E-09 (ND~1.87E-08)	3.60E-10 (ND~4.32E-09)
trans-1,3-dichloro- propene	6.18E-06 (ND~7.40E-05)	2.12E-06 (ND~2.54E-05)	1.57E-07 (ND~1.88E-06)	3.62E-08 (ND~4.34E-07)	7.37E-08 (ND~8.82E-07)	1.70E-08 (ND~2.04E-07)
1,3,5-trimethyl- benzene	1.52E-07 (ND~1.82E-06)	5.21E-08 (ND~6.25E-07)	3.86E-09 (ND~4.63E-08)	8.90E-10 (ND~1.07E-08)	1.81E-09 (ND~2.17E-08)	4.17E-10 (ND~5.01E-09)

〈표 5-29〉 주변의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(10월 평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
Toluene	2.18E-02 (5.62E-03~4.91E-02)	7.48E-03 (1.93E-03~1.69E-02)	5.54E-04 (1.43E-04~1.25E-03)	m1 28E-04 (3.30E-05~2.88E-04)	2.60E-04 (6.70E-05~5.86E-04)	5.99E-05 (1.55E-05~1.35E-04)
Chlorobenzene	1.06E-02 (6.11E-05~2.91E-02)	3.62E-03 (2.10E-05~9.98E-03)	2.68E-04 (1.55E-06~7.38E-04)	6.18E-05 (3.58E-07~1.70E-04)	1.26E-04 (7.28E-07~3.46E-04)	2.90E-05 (1.68E-07~7.99E-05)
Ethylbenzene	1.99E-03 (ND~3.96E-03)	6.84E-04 (ND~1.36E-03)	5.06E-05 (ND~1.00E-04)	1.17E-05 (ND~2.32E-05)	2.37E-05 (ND~4.71E-05)	5.48E-06 (ND~1.09E-05)
p-xylene	1.49E-03 (6.30E-04~2.95E-03)	5.10E-04 (2.16E-04~1.01E-03)	3.78E-05 (1.60E-05~7.48E-05)	8.71E-06 (3.69E-06~1.73E-05)	1.77E-05 (7.51E-06~3.51E-05)	4.09E-06 (1.73E-06~8.10E-06)
m-xylene	1.46E-03 (6.16E-04~2.95E-03)	5.01E-04 (2.11E-04~1.01E-03)	3.71E-05 (1.56E-05~7.48E-05)	8.55E-06 (3.61E-06~1.73E-05)	1.74E-05 (7.34E-06~3.51E-05)	4.01E-06 (1.9E-06~8.10E-06)
o-xylene	2.91E-04 (ND~1.11E-03)	1.00E-04 (ND~3.83E-04)	7.39E-06 (ND~2.83E-05)	1.71E-06 (ND~6.53E-06)	3.47E-06 (ND~1.33E-05)	8.01E-07 (ND~3.06E-06)
styrene	5.63E-05 (ND~2.10E-04)	1.93E-05 (ND~7.22E-05)	1.43E-06 (ND~5.34E-06)	3.30E-07 (ND~1.23E-06)	6.71E-07 (ND~2.51E-06)	1.55E-07 (ND~5.79E-07)
m-Dichloro- benzene	6.08E-04 (ND~2.29E-03)	2.09E-04 (ND~7.86E-04)	1.54E-05 (ND~5.81E-05)	3.56E-06 (ND~1.34E-05)	7.24E-06 (ND~2.73E-05)	1.67E-06 (ND~6.29E-06)
p-Dichloro- benzene	7.11E-05 (ND~3.53E-04)	2.44E-05 (ND~1.21E-04)	1.81E-06 (ND~8.98E-06)	4.17E-07 (ND~2.07E-06)	8.47E-07 (ND~4.21E-06)	1.95E-07 (ND~9.72E-07)
1,2-dichloro- propane	1.61E-05 (ND~4.43E-05)	5.52E-06 (ND~1.52E-05)	4.08E-07 (ND~1.13E-06)	9.41E-08 (ND~2.60E-07)	1.91E-07 (ND~5.28E-07)	4.42E-08 (ND~1.22E-07)
1,1,1-trichloro- ethane	4.74E-06 (ND~2.85E-05)	1.63E-06 (ND~9.77E-06)	1.20E-07 (ND~7.23E-07)	2.78E-08 (ND~1.67E-07)	5.65E-08 (ND~3.39E-07)	1.30E-08 (ND~7.83E-08)
1,2,4-trimethyl- benzene	2.80E-03 (ND~1.63E-02)	9.61E-04 (ND~5.59E-03)	7.11E-05 (ND~4.13E-04)	1.64E-05 (ND~9.54E-05)	3.34E-05 (ND~1.94E-04)	7.70E-06 (ND~4.47E-05)
cis 1,3-dichloro- propene	3.01E-05 (ND~7.71E-05)	1.03E-05 (ND~2.65E-05)	7.63E-07 (ND~1.96E-06)	1.76E-07 (ND~4.52E-07)	3.58E-07 (ND~9.19E-07)	8.27E-08 (ND~2.12E-07)
1,1-dichloro- ethene	6.16E-07 (ND~3.70E-06)	2.12E-07 (ND~1.27E-06)	1.57E-08 (ND~9.39E-08)	3.61E-09 (ND~2.17E-08)	7.34E-09 (ND~4.41E-08)	1.69E-09 (ND~1.02E-08)
trans-1,3-dichloro- propene	7.56E-06 (ND~2.01E-05)	2.60E-06 (ND~6.91E-06)	1.92E-07 (ND~5.11E-07)	4.43E-08 (ND~1.18E-07)	9.01E-08 (ND~2.40E-07)	2.08E-08 (ND~5.53E-08)
1,3,5-trimethyl- benzene	1.56E-06 (ND~9.11E-06)	5.35E-07 (ND~3.13E-06)	3.96E-08 (ND~2.31E-07)	9.14E-09 (ND~5.34E-08)	1.86E-08 (ND~1.09E-07)	4.29E-09 (ND~2.51E-08)

제 4 절 위해도 평가결과

1. 위해도 평가방법

매립지 배출 VOCs에 의한 시나리오별 인체 노출량을 산정한 후, 발암성·비발암성 유해물질로 구분하여 위해도를 산정하고자 하였다. 특히 benzene과 같은 인체 발암유발 오염물질의 경우에는 발암잠재력에 호흡 노출 시나리오에 의해 산출된 인체 노출량을 곱하여 초과 발암 위해도를 예측하였다.

$$\text{RISK} = \text{발암 잠재력}((\mu\text{g/kg/day})^{-1}) \times (\text{인체 노출량}(\text{mg/kg/day})) \times 1000(\text{단위보정계수})$$

그리고 비발암 독성물질인 toluene, xylene, 및 ethylbenzene의 경우에는 호흡 노출 시나리오에 따른 인체 노출량을 대상오염물질의 호흡참고치로 나누어주어 비발암 독성 위험값을 예측하였다.

즉 비발암 독성 위험값이 1을 초과하는 경우에는 유해 영향(독성)이 발생할 가능성을 제시해주며, 1이하인 경우에는 안전역에 속해 있음을 제시해 준다.

$$\text{Hazard Quotient} = \frac{\text{인체 노출량}(\text{mg/kg/day})}{\text{호흡 독성 참고치}(\text{mg/kg/day})}$$

발암 물질들에 대한 권고기준은 미국 환경보호청에서는 백만명당 1명(1×10^{-6})의 초과발암위해도가 발생하는 수준으로 정하고 있는 반면, WHO에서는 십만명당 1명(1×10^{-5})의 초과발암위해도가 발생하는 수준으로 결정하고 있다.

2. 상반기 측정결과에 의한 예비평가

1) 발암성 VOCs에 의한 인체건강 위해도

발암성 연구 대상 VOCs 중 매립지내에서의 carbon tetrachloride 초과 발암 위해도는 Lifetime과 WIES 시나리오에 의해 10^{-5} 수준으로 평가되어, 미국 환경보호청 및 WHO 권고기준을 모두 초과하고 있었으며, 그 외 시나리오에서는 10^{-7} 수준으로 나타났다. Tetrachloroethylene의 Lifetime 위해도도 10^{-5} 수준으로 나타났으며, vinyl chloride의 Lifetime과 WIES 시나리오에 의한 위해도는 10^{-6} 수준으로 평가되어 미국 환경보호청의 권고기준을 다소 초과하는 것으로 나타났다(<표 5-30> ~<표 5-32> 참조).

그러나 2000년 후반에 완료될 난지도 매립가스 포집시설 설치와 지역난방공사의 열에너지 활용계획에 따른 총매립가스 대비 75% 포집계획을 적용할 경우, 상기와 같은 난지도 및 주변지역에서의 위해도 평가는 훨씬 양호한 것으로 분석되고 있다. 특히 난지도 토지이용에 따른 시설 근무자의 호흡노출 시나리오에 따른 인체건강 위해도의 경우, carbon tetrachloride 항목만이 집중 관리대상으로 남게되며, 여타 VOCs 항목의 위해도는 임계치 이하 수준인 것으로 나타났다.

즉 난지도 매립가스 총발생량의 연도별 감소추세, 2001년 이후 매립가스의 본격적인 포집, 배출공과 사면의 모니터링 및 특별관리 등을 고려하면, 당초 설정된 75% 포집이상의 효과를 나타내어, carbon tetrachloride VOCs 항목에 의한 인체건강 위해도는 그 만큼 낮은 수준으로 산정될 것으로 사료된다.

그리고 매립지 주변지역의 경우, benzene에 의한 초과발암 위해도가 Lifetime과 WIES에 의해서 10^{-5} 수준으로 나타났다(<표 5-33> ~<표 5-35> 참조). Vinyl chloride, carbon tetrachloride와 benzene은 매립지내 상부나 사면에서 배출되는 농도로 인해, Lifetime의 경우, 10^{-6} 수준을 모두 초과하고 있어 이로 인한 위해 가능성이 존재하고 있을 것으로 평가된다. 한편 매립지내에서의 발암성 VOCs에 의한 총 초과 발암 위해도는 Lifetime과 WIES 노출 시나리오에서 10^{-6} 을 초과하였으며, 주변지역의 경우에는 Lifetime 및 WIES의 경우에는 10^{-5} 을 초과하는 것으로 평가되었다.

〈표 5-30〉 매립지내에서의 발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 초과발암 위험도 산출(3월 평균)

매립지내 발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	1.55×10^{-5} ($NA \sim 1.55 \times 10^{-4}$)	5.47×10^{-6} ($NA \sim 5.47 \times 10^{-5}$)	4.05×10^{-7} ($NA \sim 4.05 \times 10^{-6}$)	9.34×10^{-8} ($NA \sim 9.34 \times 10^{-7}$)	1.90×10^{-7} ($NA \sim 1.90 \times 10^{-6}$)	4.38×10^{-8} ($NA \sim 4.38 \times 10^{-7}$)
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	3.67×10^{-5} ($NA \sim 3.67 \times 10^{-4}$)	1.29×10^{-5} ($NA \sim 1.29 \times 10^{-4}$)	9.55×10^{-7} ($NA \sim 9.55 \times 10^{-6}$)	2.20×10^{-7} ($NA \sim 2.20 \times 10^{-6}$)	4.48×10^{-7} ($NA \sim 4.48 \times 10^{-6}$)	1.03×10^{-7} ($NA \sim 1.03 \times 10^{-6}$)
Benzene	2.21×10^{-6} ($NA \sim 1.71 \times 10^{-5}$)	7.77×10^{-7} ($NA \sim 6.00 \times 10^{-6}$)	5.74×10^{-8} ($NA \sim 4.44 \times 10^{-7}$)	1.33×10^{-8} ($NA \sim 1.02 \times 10^{-7}$)	2.70×10^{-8} ($NA \sim 2.08 \times 10^{-7}$)	6.22×10^{-9} ($NA \sim 4.81 \times 10^{-8}$)
Trichloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-31〉 매립지내에서의 발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 초과발암 위험도 산출(5월 평균)

매립지내 발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloroethylene	1.17×10^{-7} (NA~ 1.86×10^{-6})	4.13×10^{-8} (NA~ 6.56×10^{-7})	3.05×10^{-9} (NA~ 4.85×10^{-8})	7.04×10^{-10} (NA~ 1.12×10^{-8})	1.43×10^{-9} (NA~ 2.28×10^{-8})	3.30×10^{-10} (NA~ 5.26×10^{-9})

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-32〉 매립지내에서의 발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 초과발암 위험도 산출(전체 평균)

매립지내 발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	5.98×10^{-6} (NA~ 1.55×10^{-4})	2.11×10^{-6} (NA~ 5.47×10^{-5})	1.56×10^{-7} (NA~ 4.05×10^{-6})	3.59×10^{-8} (NA~ 9.34×10^{-7})	7.31×10^{-8} (NA~ 31.90×10^{-6})	1.69×10^{-8} (NA~ 4.38×10^{-7})
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	1.41×10^{-5} (NA~ 3.67×10^{-4})	4.97×10^{-6} (NA~ 1.29×10^{-4})	3.67×10^{-7} (NA~ 9.55×10^{-6})	8.48×10^{-8} (NA~ 2.20×10^{-6})	1.72×10^{-7} (NA~ 4.48×10^{-6})	3.98×10^{-8} (NA~ 1.03×10^{-6})
Benzene	8.48×10^{-7} (NA~ 1.71×10^{-5})	2.99×10^{-7} (NA~ 6.00×10^{-6})	2.21×10^{-8} (NA~ 4.44×10^{-7})	5.10×10^{-9} (NA~ 1.02×10^{-7})	1.04×10^{-8} (NA~ 2.08×10^{-7})	2.39×10^{-9} (NA~ 4.81×10^{-8})
Trichloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloroethylene	7.21×10^{-5} (NA~ 1.86×10^{-6})	2.54×10^{-6} (NA~ 6.56×10^{-7})	1.88×10^{-9} (NA~ 4.85×10^{-8})	4.33×10^{-10} (NA~ 1.12×10^{-8})	8.81×10^{-10} (NA~ 2.28×10^{-8})	2.03×10^{-10} (NA~ 5.26×10^{-9})

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-33〉 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 초과발암 위험도 산출(3월 평균)

주변지역내 발암성 VOCs	Lifetime 평균 (최소~최대)	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
		평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	6.80×10^{-5} (NA~ 2.96×10^{-4})	1.20×10^{-5} (NA~ 1.04×10^{-4})	1.77×10^{-6} (NA~ 7.70×10^{-6})	4.09×10^{-7} (NA~ 1.78×10^{-6})	8.31×10^{-7} (NA~ 3.61×10^{-6})	1.92×10^{-8} (NA~ 8.34×10^{-7})
Trichloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-34〉 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 초과 발암 위험도 산출(5월 평균)

주변지역내 발암성 VOCs	Lifetime 평균 (최소~최대)	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
		평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Trichloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-35〉 매립지 주변지역에서의 발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 초과발암 위해도 산출(전체 평균)

주변지역내 발암성 VOCs	Lifetime 평균 (최소~최대)	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
		평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Vinyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Methylene chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Chloroform	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Carbon tetrachloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Benzene	3.40×10^{-5} ($NA \sim 2.96 \times 10^{-4}$)	1.20×10^{-5} ($NA \sim 1.04 \times 10^{-4}$)	8.86×10^{-7} ($NA \sim 7.70 \times 10^{-6}$)	2.04×10^{-7} ($NA \sim 1.78 \times 10^{-6}$)	4.16×10^{-7} ($NA \sim 3.61 \times 10^{-6}$)	9.59×10^{-8} ($NA \sim 8.34 \times 10^{-7}$)
Trichloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Dichloroethane	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Tetrachloroethylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

2) 비발암성 VOCs에 의한 인체건강 위해도

비발암성 VOCs의 경우 호흡 노출 시나리오에 따른 인체 노출량을 대상물질의 호흡참고치(RfC)로 나누어주어 비발암 독성 위험값을 예측하였다. 비발암 독성 위험값이 1을 초과하는 경우에는 유해 영향(독성)이 발생할 가능성을 제시해 주며, 1 이하인 경우에는 안전역에 속해 있음을 제시해 준다. 다만, 비발암 VOCs 중 trichloroethane, o-/m-dichlorobenzene은 호흡온성참고치(RfC)를 산출할 수 없기 때문에 이에 대한 hazard quotient(독성 위험값)을 산출할 수 없었다.

비발암 물질들은 독성위험값이 모두 1 이하로 산출되어 안전한 수준인 것으로 나타났으며, 주변지역인 상암과 가양에서 toluene으로 인한 hazard quotient(독성 위험값)이, 평생 노출을 고려(Lifetime Hazard Quotient)했을 경우, 0.27로 산출되었으며, o-/p-xylene의 최고 농도에서는 Lifetime Hazard Quotient가 각각 0.11, 0.17로 나타났다. 결과적으로 비발암성 VOCs에 의한 인체건강 위해도는 그다지 유의할 수준은 아니며, 모니터링을 통한 관리 필요성은 있는 것으로 평가되었다(〈표 5-36〉 ~ 〈표 5-41〉 참조).

〈표 5-36〉 매립지내에서 비발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 hazard quotient 산출(3월 평균)

매립지내 비발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.03×10^{-2} (1.24×10^{-3} ~ 5.05×10^{-2})	7.13×10^{-3} (4.38×10^{-4} ~ 1.78×10^{-2})	5.27×10^{-4} (3.24×10^{-5} ~ 1.31×10^{-3})	1.22×10^{-4} (7.47×10^{-6} ~ 3.03×10^{-4})	2.47×10^{-4} (1.52×10^{-5} ~ 6.17×10^{-4})	5.71×10^{-5} (3.51×10^{-6} ~ 1.42×10^{-4})
Chlorobenzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Ethylbenzene	6.70×10^{-4} (NA~ 3.53×10^{-3})	2.36×10^{-4} (NA~ 1.26×10^{-3})	1.74×10^{-5} (NA~ 9.31×10^{-5})	4.02×10^{-6} (NA~ 2.15×10^{-5})	8.18×10^{-6} (NA~ 4.37×10^{-5})	1.89×10^{-6} (NA~ 1.01×10^{-5})
p-xylene	1.18×10^{-2} (NA~ 5.18×10^{-2})	4.14×10^{-3} (NA~ 1.82×10^{-2})	3.06×10^{-4} (NA~ 1.35×10^{-3})	7.06×10^{-5} (NA~ 3.11×10^{-4})	1.44×10^{-4} (NA~ 6.33×10^{-4})	3.31×10^{-5} (NA~ 1.46×10^{-6})
m-xylene	4.10×10^{-4} (NA~ 1.73×10^{-3})	1.44×10^{-4} (NA~ 6.07×10^{-4})	1.07×10^{-5} (NA~ 4.49×10^{-5})	2.46×10^{-6} (NA~ 1.04×10^{-5})	5.01×10^{-6} (NA~ 2.11×10^{-5})	1.16×10^{-6} (NA~ 4.87×10^{-6})
o-xylene	5.74×10^{-3} (NA~ 2.77×10^{-2})	2.02×10^{-3} (NA~ 9.76×10^{-3})	1.49×10^{-4} (NA~ 7.22×10^{-4})	3.45×10^{-5} (NA~ 1.67×10^{-4})	7.01×10^{-5} (NA~ 3.39×10^{-4})	1.62×10^{-5} (NA~ 7.87×10^{-5})
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichlorobenzene	2.67×10^{-5} (NA~ 2.67×10^{-4})	9.41×10^{-6} (NA~ 9.41×10^{-5})	6.69×10^{-7} (NA~ 6.96×10^{-6})	1.61×10^{-7} (NA~ 1.61×10^{-6})	3.27×10^{-7} (NA~ 3.27×10^{-6})	7.54×10^{-8} (NA~ 7.54×10^{-7})

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-37〉 매립지내에서 비발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 hazard quotient(5월 평균)

매립지내 비발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.11×10^{-2} (1.04×10^{-2} ~ 4.06×10^{-2})	7.44×10^{-3} (3.65×10^{-3} ~ 1.43×10^{-2})	5.50×10^{-4} (2.70×10^{-4} ~ 1.06×10^{-3})	1.27×10^{-4} (6.23×10^{-5} ~ 2.44×10^{-4})	2.58×10^{-4} (1.27×10^{-4} ~ 4.96×10^{-4})	5.96×10^{-5} (2.92×10^{-5} ~ 1.14×10^{-4})
Chlorobenzene	3.76×10^{-5} (NA~ 4.40×10^{-4})	1.32×10^{-5} (NA~ 1.55×10^{-4})	9.79×10^{-7} (NA~ 1.15×10^{-5})	2.26×10^{-7} (NA~ 2.65×10^{-6})	4.60×10^{-7} (NA~ 5.38×10^{-6})	1.06×10^{-7} (NA~ 1.24×10^{-6})
Ethylbenzene	4.67×10^{-6} (NA~ 7.47×10^{-5})	1.64×10^{-6} (NA~ 2.63×10^{-5})	1.22×10^{-7} (NA~ 1.95×10^{-6})	2.81×10^{-8} (NA~ 4.49×10^{-7})	5.71×10^{-8} (NA~ 9.13×10^{-7})	1.32×10^{-8} (NA~ 2.11×10^{-7})
p-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
m-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-xylene	3.53×10^{-4} (NA~ 4.06×10^{-3})	1.24×10^{-4} (NA~ 1.43×10^{-3})	9.20×10^{-6} (NA~ 1.06×10^{-4})	2.12×10^{-6} (NA~ 2.44×10^{-5})	4.32×10^{-5} (NA~ 4.96×10^{-5})	9.96×10^{-7} (NA~ 1.14×10^{-5})
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro-benzene	8.62×10^{-6} (NA~ 1.38×10^{-4})	3.04×10^{-6} (NA~ 4.86×10^{-5})	2.25×10^{-7} (NA~ 3.59×10^{-6})	5.18×10^{-8} (NA~ 8.29×10^{-7})	1.05×10^{-7} (NA~ 1.69×10^{-6})	2.43×10^{-8} (NA~ 3.89×10^{-7})

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-38〉 매립지내에서 비발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 hazard quotient 산출(전체 평균)

매립지내 비발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.08×10^{-2} (1.24×10^{-3} ~ 5.05×10^{-3})	7.32×10^{-3} (4.38×10^{-4} ~ 1.78×10^{-2})	5.41×10^{-4} (3.24×10^{-5} ~ 1.31×10^{-3})	1.25×10^{-4} (7.47×10^{-6} ~ 3.03×10^{-4})	2.54×10^{-4} (1.52×10^{-5} ~ 6.17×10^{-4})	5.86×10^{-5} (3.51×10^{-6} ~ 1.42×10^{-4})
Chlorobenzene	2.31×10^{-5} (NA~ 4.40×10^{-4})	8.15×10^{-6} (NA~ 1.55×10^{-4})	6.03×10^{-7} (NA~ 1.15×10^{-5})	1.39×10^{-7} (NA~ 2.65×10^{-6})	2.83×10^{-7} (NA~ 5.38×10^{-6})	6.53×10^{-8} (NA~ 1.24×10^{-6})
Ethylbenzene	2.60×10^{-4} (NA~ 3.58×10^{-3})	9.17×10^{-5} (NA~ 1.26×10^{-3})	6.78×10^{-6} (NA~ 9.31×10^{-5})	1.57×10^{-6} (NA~ 2.15×10^{-5})	3.18×10^{-6} (NA~ 4.37×10^{-5})	7.34×10^{-7} (NA~ 1.01×10^{-5})
p-xylene	4.52×10^{-3} (NA~ 5.18×10^{-2})	1.59×10^{-3} (NA~ 1.82×10^{-2})	1.18×10^{-4} (NA~ 1.35×10^{-3})	2.72×10^{-5} (NA~ 3.11×10^{-4})	5.52×10^{-5} (NA~ 6.33×10^{-4})	1.27×10^{-5} (NA~ 1.46×10^{-4})
m-xylene	1.58×10^{-4} (NA~ 1.73×10^{-2})	5.55×10^{-5} (NA~ 6.07×10^{-4})	4.11×10^{-6} (NA~ 4.49×10^{-5})	9.48×10^{-7} (NA~ 1.04×10^{-5})	1.93×10^{-6} (NA~ 2.11×10^{-5})	4.45×10^{-7} (NA~ 4.87×10^{-6})
o-xylene	2.42×10^{-3} (NA~ 2.77×10^{-2})	8.53×10^{-4} (NA~ 9.76×10^{-3})	6.31×10^{-5} (NA~ 7.22×10^{-4})	1.46×10^{-5} (NA~ 1.67×10^{-4})	2.96×10^{-5} (NA~ 3.39×10^{-4})	6.83×10^{-6} (NA~ 7.82×10^{-5})
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro -benzene	1.56×10^{-5} (NA~ 2.67×10^{-4})	5.49×10^{-6} (NA~ 9.41×10^{-5})	4.06×10^{-7} (NA~ 6.96×10^{-6})	9.37×10^{-8} (NA~ 1.61×10^{-6})	1.91×10^{-7} (NA~ 3.27×10^{-6})	4.40×10^{-8} (NA~ 7.54×10^{-7})

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-39〉 주변지역내에서 비발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 hazard quotient 산출(3월 평균)

주변지역내 비발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	3.22×10^{-1} (9.84×10^{-2} ~ 5.21×10^{-1})	1.13×10^{-1} (3.46×10^{-2} ~ 1.83×10^{-1})	8.38×10^{-3} (2.56×10^{-3} ~ 1.36×10^{-2})	1.93×10^{-3} (5.91×10^{-4} ~ 3.13×10^{-3})	3.93×10^{-3} (1.20×10^{-3} ~ 6.36×10^{-3})	9.07×10^{-4} (2.77×10^{-4} ~ 1.47×10^{-3})
Chlorobenzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Ethylbenzene	3.40×10^{-3} (NA~ 1.05×10^{-2})	1.20×10^{-3} (NA~ 3.68×10^{-3})	8.84×10^{-5} (NA~ 2.72×10^{-4})	2.04×10^{-5} (NA~ 6.29×10^{-5})	4.15×10^{-5} (NA~ 1.28×10^{-4})	9.57×10^{-6} (NA~ 2.95×10^{-5})
p-xylene	5.88×10^{-2} (NA~ 1.72×10^{-1})	2.07×10^{-2} (NA~ 6.06×10^{-2})	1.53×10^{-3} (NA~ 4.49×10^{-3})	3.53×10^{-4} (NA~ 1.04×10^{-3})	7.18×10^{-4} (NA~ 2.10×10^{-3})	1.66×10^{-4} (NA~ 4.86×10^{-4})
m-xylene	2.00×10^{-3} (NA~ 5.04×10^{-3})	7.04×10^{-4} (NA~ 1.77×10^{-3})	5.21×10^{-5} (NA~ 1.31×10^{-4})	1.20×10^{-6} (NA~ 3.03×10^{-5})	2.44×10^{-5} (NA~ 6.15×10^{-5})	5.64×10^{-6} (NA~ 1.42×10^{-5})
o-xylene	4.97×10^{-2} (NA~ 1.08×10^{-1})	1.75×10^{-2} (NA~ 3.81×10^{-2})	1.29×10^{-3} (NA~ 2.81×10^{-3})	2.98×10^{-4} (NA~ 6.50×10^{-4})	6.07×10^{-4} (NA~ 1.32×10^{-3})	1.40×10^{-4} (NA~ 3.05×10^{-4})
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro -benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인체 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-40〉 주변지역내에서 비발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 hazard quotient 산출(5월 평균)

주변지역내 비발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.19×10^{-1} (1.03×10^{-1} ~ 3.41×10^{-1})	7.70×10^{-2} (3.62×10^{-2} ~ 1.20×10^{-1})	5.70×10^{-3} (2.68×10^{-3} ~ 8.88×10^{-3})	1.32×10^{-3} (6.18×10^{-4} ~ 2.05×10^{-3})	2.67×10^{-3} (1.20×10^{-3} ~ 4.17×10^{-3})	6.17×10^{-4} (2.90×10^{-4} ~ 9.61×10^{-4})
Chlorobenzene	1.03×10^{-2} ($NA \sim 3.70 \times 10^{-2}$)	3.64×10^{-3} ($NA \sim 1.30 \times 10^{-2}$)	2.69×10^{-4} ($NA \sim 9.63 \times 10^{-4}$)	6.21×10^{-5} ($NA \sim 2.22 \times 10^{-4}$)	1.26×10^{-4} ($NA \sim 4.52 \times 10^{-4}$)	2.91×10^{-5} ($NA \sim 1.04 \times 10^{-4}$)
Ethylbenzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
m-xylene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
o-xylene	6.74×10^{-3} ($NA \sim 3.37 \times 10^{-2}$)	2.37×10^{-3} ($NA \sim 1.19 \times 10^{-2}$)	1.75×10^{-4} ($NA \sim 8.77 \times 10^{-4}$)	4.05×10^{-5} ($NA \sim 2.02 \times 10^{-4}$)	8.23×10^{-5} ($NA \sim 4.12 \times 10^{-4}$)	1.90×10^{-5} ($NA \sim 9.50 \times 10^{-5}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro -benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인해 노출량을 산출할 수 없었음

〈표 5-41〉 주변지역내에서 비발암성 VOCs의 호흡 노출에 의한 hazard quotient 산출(전체 평균)

주변지역내 비발암성 VOCs	Lifetime	ADULT			Child	
		WIES	MIES	LIES	MIES	LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
Toluene	2.70×10^{-1} (9.84×10^{-2} ~ 5.21×10^{-1})	9.52×10^{-2} (3.46×10^{-2} ~ 1.83×10^{-1})	7.04×10^{-3} (2.56×10^{-3} ~ 1.36×10^{-2})	1.62×10^{-3} (5.91×10^{-4} ~ 3.13×10^{-3})	3.30×10^{-3} (1.20×10^{-3} ~ 6.36×10^{-3})	7.62×10^{-4} (2.77×10^{-4} ~ 1.47×10^{-3})
Chlorobenzene	5.17×10^{-3} ($NA \sim 3.70 \times 10^{-2}$)	1.82×10^{-3} ($NA \sim 1.30 \times 10^{-2}$)	1.35×10^{-4} ($NA \sim 9.63 \times 10^{-4}$)	3.10×10^{-5} ($NA \sim 2.22 \times 10^{-4}$)	6.31×10^{-5} ($NA \sim 4.52 \times 10^{-4}$)	1.46×10^{-5} ($NA \sim 1.04 \times 10^{-4}$)
Ethylbenzene	1.70×10^{-3} ($NA \sim 1.05 \times 10^{-2}$)	5.98×10^{-4} ($NA \sim 3.65 \times 10^{-3}$)	4.42×10^{-5} ($NA \sim 2.72 \times 10^{-4}$)	1.02×10^{-5} ($NA \sim 6.29 \times 10^{-5}$)	2.07×10^{-5} ($NA \sim 1.28 \times 10^{-4}$)	4.79×10^{-6} ($NA \sim 2.95 \times 10^{-5}$)
p-xylene	2.94×10^{-2} ($NA \sim 1.72 \times 10^{-1}$)	1.03×10^{-2} ($NA \sim 6.06 \times 10^{-2}$)	7.65×10^{-4} ($NA \sim 4.49 \times 10^{-3}$)	1.77×10^{-4} ($NA \sim 1.04 \times 10^{-3}$)	3.59×10^{-4} ($NA \sim 2.10 \times 10^{-3}$)	8.28×10^{-5} ($NA \sim 4.86 \times 10^{-4}$)
m-xylene	1.00×10^{-3} ($NA \sim 5.04 \times 10^{-3}$)	3.52×10^{-4} ($NA \sim 1.77 \times 10^{-3}$)	2.60×10^{-5} ($NA \sim 1.31 \times 10^{-4}$)	6.01×10^{-6} ($NA \sim 3.03 \times 10^{-5}$)	1.22×10^{-5} ($NA \sim 6.15 \times 10^{-5}$)	2.82×10^{-6} ($NA \sim 1.42 \times 10^{-5}$)
o-xylene	2.82×10^{-2} ($NA \sim 1.08 \times 10^{-1}$)	9.93×10^{-3} ($NA \sim 3.81 \times 10^{-2}$)	7.34×10^{-4} ($NA \sim 2.81 \times 10^{-3}$)	1.69×10^{-4} ($NA \sim 6.50 \times 10^{-4}$)	3.45×10^{-4} ($NA \sim 1.32 \times 10^{-3}$)	7.95×10^{-5} ($NA \sim 3.05 \times 10^{-4}$)
styrene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —
p-Dichloro -benzene	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —	NA —

* NA : VOCs가 불검출되어 인해 노출량을 산출할 수 없었음

3. 하반기 측정결과에 의한 예비평가

1) 3차 측정(8월)

매립지내에서의 발암성 VOCs로 인한 초과 발암 위험도는 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 의 수준으로 평가되었다. 주변지역에서는 carbon tetrachloride가 1.12×10^{-5} 으로 추계된 것을 제외하면 대부분의 물질들은 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 수준으로 추계되었다. 비발암물질의 경우에는 매립지내 및 주변지역 모두에 있어서 0.1 이하의 수준으로 평가되었다.

① 발암성 VOCs에 의한 인체건강 위험도

<표 5-42> 제1매립지내 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)

발암물질	인체 노출량 Risk (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	2.39E-06 (1.27E-06~3.74E-06)	8.21E-07 (4.35E-07~1.28E-06)	6.08E-08 (3.22E-08~9.50E-08)	1.40E-08 (7.43E-09~2.19E-08)	2.85E-08 (1.51E-08~4.46E-08)	6.58E-09 (3.49E-09~1.03E-08)
Carbon tetrachloride	5.34E-06 (2.86E-06~8.43E-06)	1.83E-06 (9.81E-07~2.90E-06)	1.36E-07 (7.26E-08~2.14E-07)	3.13E-08 (1.68E-08~4.94E-08)	6.37E-08 (3.41E-08~1.00E-07)	1.47E-08 (7.86E-09~2.32E-08)
Benzene	4.63E-07 (2.55E-07~8.26E-07)	1.59E-07 (8.75E-08~2.84E-07)	1.18E-08 (6.47E-09~2.10E-08)	2.72E-09 (1.49E-09~4.84E-09)	5.52E-09 (3.04E-09~9.84E-09)	1.27E-09 (7.01E-10~2.27E-09)
Trichloroethylene	3.10E-07 (1.72E-07~5.06E-07)	1.07E-07 (5.90E-08~1.74E-07)	7.89E-09 (4.36E-09~1.29E-08)	1.82E-09 (1.01E-09~2.97E-09)	3.70E-09 (2.05E-09~6.04E-09)	8.54E-10 (4.73E-10~1.39E-09)
Tetrachloroethylene	5.29E-08 (1.30E-08~8.45E-08)	1.82E-08 (4.47E-09~2.90E-08)	1.34E-09 (3.30E-10~2.15E-09)	3.10E-10 (7.63E-11~4.95E-10)	6.31E-10 (1.55E-10~1.01E-09)	1.46E-10 (3.58E-11~2.32E-10)
1,1-dichloroethane	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -
1,1,2,2-tetrachloroethane	3.54E-06 (ND~9.65E-06)	1.22E-06 (ND~3.31E-06)	9.00E-08 (ND~2.45E-07)	2.08E-08 (ND~5.66E-08)	4.22E-08 (ND~1.15E-07)	9.75E-09 (ND~2.65E-08)
1,1,2-trichloroethane	1.36E-06 (7.25E-07~2.14E-06)	4.66E-07 (2.49E-07~7.33E-07)	3.45E-08 (1.84E-08~5.43E-08)	7.96E-09 (4.25E-09~1.25E-08)	1.62E-08 (8.64E-09~2.55E-08)	3.73E-09 (1.99E-09~5.87E-09)

〈표 5-43〉 제2매립지내 발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(8월 평균)

발암물질	인체 노출량 Risk (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	2.86E-06 (1.60E-06~4.92E-06)	9.82E-07 (5.51E-07~1.69E-06)	7.26E-08 (4.08E-08~1.25E-07)	1.68E-08 (9.41E-09~2.89E-08)	3.41E-08 (1.91E-08~5.87E-08)	7.86E-09 (4.41E-09~1.35E-08)
Carbon tetrachloride	6.45E-06 (3.61E-06~1.11E-05)	2.22E-06 (1.24E-06~3.82E-06)	1.64E-07 (9.18E-08~2.83E-07)	3.78E-08 (2.12E-08~6.53E-08)	7.69E-08 (4.31E-08~1.33E-07)	1.77E-08 (9.94E-09~3.06E-08)
Benzene	5.46E-07 (1.96E-07~8.33E-07)	1.87E-07 (6.73E-08~2.86E-07)	1.39E-08 (4.97E-09~2.11E-08)	3.20E-09 (1.15E-09~4.88E-09)	6.50E-09 (2.33E-09~9.92E-09)	1.50E-09 (5.39E-10~2.29E-09)
Trichloroethylene	3.86E-07 (2.17E-07~6.68E-07)	1.33E-07 (7.46E-08~2.30E-07)	9.80E-09 (5.52E-09~1.70E-08)	2.26E-09 (1.27E-09~3.92E-09)	4.60E-09 (2.59E-09~7.97E-09)	1.06E-09 (5.97E-10~1.84E-09)
Tetrachloro-ethylene	6.91E-08 (3.62E-08~1.11E-07)	2.37E-08 (1.24E-08~3.81E-08)	1.76E-09 (9.19E-10~2.82E-09)	4.05E-10 (2.12E-10~6.51E-10)	8.24E-10 (4.31E-10~1.32E-09)	1.90E-10 (9.95E-11~3.06E-10)
1,1-dichloro-ethane	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,1,2-tetrachloro-ethane	5.06E-06 (ND~1.07E-05)	1.74E-06 (ND~3.67E-06)	1.29E-07 (ND~2.71E-07)	2.97E-08 (ND~6.26E-08)	6.03E-08 (ND~1.27E-07)	1.39E-08 (ND~2.94E-08)
1,1,2-trichloro-ethane	1.43E-06 (7.97E-07~2.36E-06)	4.90E-07 (2.74E-07~8.09E-07)	3.63E-08 (2.03E-08~5.98E-08)	8.37E-09 (4.67E-09~1.38E-08)	1.70E-08 (9.50E-09~2.81E-08)	3.93E-09 (2.19E-09~6.48E-09)

〈표 5-44〉 주변지역 발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(8월 평균)

발암물질	인체 노출량 Risk (mg/kg/day)				인체 노출량 Risk (mg/kg/day)	
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	1.45E-05 (1.40E-05~1.56E-05)	4.97E-06 (4.79E-06~5.34E-06)	3.67E-07 (3.54E-07~3.95E-07)	8.48E-08 (8.18E-08~9.12E-08)	1.72E-07 (1.66E-07~1.85E-07)	3.98E-08 (3.84E-08~4.28E-08)
Carbon tetrachloride	3.26E-05 (3.15E-05~3.50E-05)	1.12E-05 (1.08E-05~1.20E-05)	8.28E-07 (7.99E-07~8.89E-07)	1.91E-07 (1.84E-07~2.05E-07)	3.88E-07 (3.75E-07~4.17E-07)	8.96E-08 (8.65E-08~9.63E-08)
Benzene	2.59E-06 (1.59E-06~3.02E-06)	8.88E-07 (5.46E-07~1.04E-06)	6.57E-08 (4.04E-08~7.68E-08)	1.52E-08 (9.33E-09~1.77E-08)	3.08E-08 (1.90E-08~3.60E-08)	7.11E-09 (4.38E-09~8.31E-09)
Trichloroethylene	1.96E-06 (1.89E-06~2.10E-06)	6.72E-07 (6.49E-07~7.23E-07)	4.97E-08 (4.80E-08~5.34E-08)	1.15E-08 (1.11E-08~1.23E-08)	2.33E-08 (2.25E-08~2.51E-08)	5.38E-09 (5.20E-09~5.79E-09)
Tetrachloro-ethylene	3.27E-07 (3.15E-07~3.50E-07)	1.12E-07 (1.08E-07~1.20E-07)	8.30E-09 (7.99E-09~8.89E-09)	1.92E-09 (1.84E-09~2.05E-09)	3.90E-09 (3.75E-09~4.17E-09)	8.99E-10 (8.66E-10~9.63E-10)
1,1-dichloroethane	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,1,2-tetrachloro-ethane	2.20E-05 (ND~3.46E-05)	7.57E-06 (ND~1.19E-05)	5.60E-07 (ND~8.78E-07)	1.29E-07 (ND~2.03E-07)	2.63E-07 (ND~4.12E-07)	6.06E-08 (ND~9.51E-08)
1,1,2-trichloro-ethane	8.27E-06 (7.97E-06~8.88E-06)	2.84E-06 (2.74E-06~3.05E-06)	2.10E-07 (2.02E-07~2.26E-07)	4.84E-08 (4.67E-08~5.20E-08)	9.85E-08 (9.50E-08~1.06E-07)	2.27E-08 (2.19E-08~2.44E-08)

② 비발암성 VOCs에 의한 인체건강 위험도

〈표 5-45〉 제1매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(8월 평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	5.99E-06 (3.17E-06~9.35E-06)	2.06E-06 (1.09E-06~3.21E-06)	1.52E-07 (8.06E-08~2.38E-07)	3.51E-08 (1.86E-08~5.48E-08)	7.13E-08 (3.78E-08~1.11E-07)	1.65E-08 (8.73E-09~2.57E-08)
Toluene	1.06E-01 (3.68E-04~9.54E-01)	3.65E-02 (1.26E-04~3.28E-01)	2.70E-03 (9.36E-06~2.42E-02)	6.22E-04 (2.16E-06~5.59E-03)	1.27E-03 (4.39E-06~1.14E-02)	2.92E-04 (1.01E-06~2.63E-03)
Chlorobenzene	1.83E-03 (5.51E-05~1.40E-02)	6.30E-04 (1.89E-05~4.82E-03)	4.66E-05 (1.40E-06~3.57E-04)	1.07E-05 (3.23E-07~8.23E-05)	2.19E-05 (6.56E-07~1.67E-04)	5.04E-06 (1.51E-07~3.86E-05)
Ethylbenzene	7.17E-04 (ND~3.47E-03)	2.46E-04 (ND~1.19E-03)	1.82E-05 (ND~8.82E-05)	4.20E-06 (ND~2.04E-05)	8.55E-06 (ND~4.14E-05)	1.97E-06 (ND~9.55E-06)
p-xylene	1.07E-02 (1.71E-04~4.29E-02)	3.69E-03 (5.88E-05~1.47E-02)	2.73E-04 (4.35E-06~1.09E-03)	6.30E-05 (1.00E-06~2.52E-04)	1.28E-04 (2.04E-06~5.12E-04)	2.95E-05 (4.71E-07~1.18E-04)
m-xylene	2.05E-04 (3.37E-06~8.44E-04)	7.03E-05 (1.16E-06~2.90E-04)	5.20E-06 (8.55E-08~2.14E-05)	1.20E-06 (1.97E-08~4.95E-06)	2.44E-06 (4.01E-08~1.01E-05)	5.63E-07 (9.26E-09~2.32E-06)
o-xylene	6.72E-04 (ND~2.27E-03)	2.31E-04 (ND~7.79E-04)	1.71E-05 (ND~5.76E-05)	3.94E-06 (ND~1.33E-05)	8.01E-06 (ND~2.70E-05)	1.85E-06 (ND~6.24E-06)
styrene	1.65E-04 (4.97E-06~8.13E-04)	5.67E-05 (1.71E-06~2.79E-04)	4.19E-06 (1.26E-07~2.06E-05)	9.68E-07 (2.92E-08~4.76E-06)	1.97E-06 (5.93E-08~9.69E-06)	4.54E-07 (1.37E-08~2.24E-06)
p-Dichloro- benzene	ND -	ND -	ND -	ND -	0.00E+00 (ND~0.00E+00)	0.00E+00 (ND~0.00E+00)
1,2-dichloro- propane	2.09E-02 (ND~3.69E-02)	7.18E-03 (ND~1.27E-02)	5.31E-04 (ND~9.38E-04)	1.23E-04 (ND~2.16E-04)	2.49E-04 (ND~4.40E-04)	5.75E-05 (ND~1.02E-04)

<표 5-46> 제2매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(8월 평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	7.11E-06 (4.01E-06~1.23E-05)	2.44E-06 (1.38E-06~4.23E-06)	1.81E-07 (1.02E-07~3.13E-07)	4.17E-08 (2.35E-08~7.22E-08)	8.48E-08 (4.78E-08~1.47E-07)	1.96E-08 (1.10E-08~3.39E-08)
Toluene	5.61E-02 (2.46E-03~2.22E-01)	1.93E-02 (8.44E-04~7.62E-02)	1.43E-03 (6.24E-05~5.64E-03)	3.29E-04 (1.44E-05~1.30E-03)	6.69E-04 (2.93E-05~2.65E-03)	1.54E-04 (6.76E-06~6.11E-04)
Chlorobenzene	4.26E-03 (1.22E-04~4.44E-02)	1.46E-03 (4.17E-05~1.52E-02)	1.08E-04 (3.09E-06~1.13E-03)	2.50E-05 (7.12E-07~2.60E-04)	5.08E-05 (1.45E-06~5.29E-04)	1.17E-05 (3.34E-07~1.22E-04)
Ethylbenzene	8.36E-04 (1.09E-05~4.26E-03)	2.87E-04 (3.76E-06~1.46E-03)	2.12E-05 (2.78E-07~1.08E-04)	4.90E-06 (6.41E-08~2.49E-05)	9.97E-06 (1.30E-07~5.07E-05)	2.30E-06 (3.01E-08~1.17E-05)
p-xylene	1.36E-02 (ND~1.17E-01)	4.65E-03 (ND~4.01E-02)	3.44E-04 (ND~2.97E-03)	7.94E-05 (ND~6.85E-04)	1.62E-04 (ND~1.39E-03)	3.73E-05 (ND~3.21E-04)
m-xylene	9.42E-05 (ND~2.95E-04)	3.24E-05 (ND~1.01E-04)	2.39E-06 (ND~7.49E-06)	5.52E-07 (ND~1.73E-06)	1.12E-06 (ND~3.52E-06)	2.59E-07 (ND~8.12E-07)
o-xylene	3.90E-04 (1.02E-05~1.42E-03)	1.34E-04 (3.49E-06~4.88E-04)	9.91E-06 (2.58E-07~3.61E-05)	2.29E-06 (5.96E-08~8.33E-06)	4.65E-06 (1.21E-07~1.69E-05)	1.07E-06 (2.80E-08~3.91E-06)
styrene	2.66E-03 (2.41E-06~2.01E-02)	9.15E-04 (8.29E-07~6.89E-03)	6.77E-05 (6.13E-08~5.09E-04)	1.56E-05 (1.42E-08~1.18E-04)	3.18E-05 (2.88E-08~2.39E-04)	7.33E-06 (6.64E-09~5.52E-05)
p-Dichloro- benzene	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -
1,2-dichloro- propane	2.82E-02 (1.58E-02~4.87E-02)	9.68E-03 (5.44E-03~1.67E-02)	7.16E-04 (4.02E-04~1.24E-03)	1.65E-04 (9.28E-05~2.85E-04)	3.36E-04 (1.89E-04~5.80E-04)	7.76E-05 (4.35E-05~1.34E-04)

<표 5-47> 주변지역 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(8월 평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	3.62E-05 (3.49E-05~3.89E-05)	1.24E-05 (1.20E-05~1.34E-05)	9.18E-07 (8.87E-07~9.88E-07)	2.12E-07 (2.05E-07~2.28E-07)	4.31E-07 (4.16E-07~4.63E-07)	9.94E-08 (9.60E-08~1.07E-07)
Toluene	3.80E-01 (6.51E-02~8.43E-01)	1.30E-01 (2.23E-02~2.89E-01)	9.65E-03 (1.65E-03~2.14E-02)	2.23E-03 (3.81E-04~4.94E-03)	4.53E-03 (7.76E-04~1.00E-02)	1.04E-03 (1.79E-04~2.32E-03)
Chlorobenzene	4.93E-02 (1.07E-03~1.88E-01)	1.69E-02 (3.68E-04~6.44E-02)	1.25E-03 (2.72E-05~4.76E-03)	2.89E-04 (6.28E-06~1.10E-03)	5.88E-04 (1.28E-05~2.24E-03)	1.36E-04 (2.95E-06~5.16E-04)
Ethylbenzene	1.28E-02 (ND~4.32E-02)	4.39E-03 (ND~1.48E-02)	3.25E-04 (ND~1.10E-03)	7.49E-05 (ND~2.53E-04)	1.52E-04 (ND~5.15E-04)	3.51E-05 (ND~1.19E-04)
p-xylene	1.44E-01 (3.38E-02~3.84E-01)	4.95E-02 (1.16E-02~1.32E-01)	3.66E-03 (8.57E-04~9.76E-03)	8.45E-04 (1.98E-04~2.25E-03)	1.72E-03 (4.02E-04~4.58E-03)	3.96E-04 (9.28E-05~1.06E-03)
m-xylene	2.83E-03 (6.64E-04~7.55E-03)	9.72E-04 (2.28E-04~2.59E-03)	7.19E-05 (1.69E-05~1.92E-04)	1.66E-05 (3.89E-06~4.43E-05)	3.38E-05 (7.91E-06~9.00E-05)	7.79E-06 (1.82E-06~2.08E-05)
o-xylene	1.13E-02 (2.32E-03~2.10E-02)	3.88E-03 (7.98E-04~7.20E-03)	2.87E-04 (5.90E-05~5.33E-04)	6.62E-05 (1.36E-05~1.23E-04)	1.35E-04 (2.77E-05~2.50E-04)	3.10E-05 (6.39E-06~5.77E-05)
styrene	1.73E-02 (3.01E-04~5.75E-02)	5.96E-03 (1.03E-04~1.97E-02)	4.41E-04 (7.64E-06~1.46E-03)	1.02E-04 (1.76E-06~3.37E-04)	2.07E-04 (3.59E-06~6.85E-04)	4.77E-05 (8.27E-07~1.58E-04)
p-Dichloro- benzene	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -	ND -
1,2-dichloro- propane	1.24E-01 (7.77E-02~1.40E-01)	4.25E-02 (2.67E-02~4.80E-02)	3.15E-03 (1.97E-03~3.55E-03)	7.26E-04 (4.55E-04~8.20E-04)	1.48E-03 (9.26E-04~1.67E-03)	3.41E-04 (2.14E-04~3.85E-04)

2) 4차 측정(10월)

매립지내에서의 발암성 VOCs로 인한 초과 발암 위험도는 1,1,2,2-tetrachloroethane이 3.17×10^{-5} 으로 추계된 경우를 제외하면, 10^{-6} 이하의 수준으로 평가되었다. 주변지역에서 역시 1,1,2,2-tetrachloroethane이 7.85×10^{-5} 으로 추계된 것을 제외하면 대부분의 물질들은 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 수준으로 추계되었다. 비발암물질의 경우에는 매립지내 및 주변지역 모두에 있어서 0.1 이하의 수준으로 평가되었다.

① 발암성 VOCs에 의한 인체건강 위험도

〈표 5-48〉 제1매립지 발암성 VOCs 에 의한 인체 위험도(10월 평균)

발암물질	인체 노출량 RSK (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	3.22E-08 (ND~2.66E-07)	1.11E-08 (ND~9.14E-08)	8.19E-10 (ND~6.76E-09)	1.89E-10 (ND~1.56E-09)	3.84E-10 (ND~3.17E-09)	8.86E-11 (ND~7.32E-10)
Carbon tetrachloride	2.56E-08 (ND~3.07E-07)	8.78E-09 (ND~1.05E-07)	6.49E-10 (ND~7.79E-09)	1.50E-10 (ND~1.80E-09)	3.05E-10 (ND~3.66E-09)	7.03E-11 (ND~8.44E-10)
Benzene	1.29E-05 (ND~1.28E-04)	4.43E-06 (ND~4.38E-05)	3.28E-07 (ND~3.24E-06)	7.57E-08 (ND~7.47E-07)	1.54E-07 (ND~1.52E-06)	3.55E-08 (ND~3.51E-07)
Trichloroethylene	8.52E-08 (ND~8.63E-07)	2.92E-08 (ND~2.96E-07)	2.16E-09 (ND~2.19E-08)	4.99E-10 (ND~5.06E-09)	1.01E-09 (ND~1.03E-08)	2.34E-10 (ND~2.37E-09)
Tetrachloroethylene	1.32E-09 (ND~1.58E-08)	4.53E-10 (ND~5.44E-09)	3.35E-11 (ND~4.02E-10)	7.74E-12 (ND~9.28E-11)	1.57E-11 (ND~1.89E-10)	3.63E-12 (ND~4.36E-11)
1,1-dichloroethane	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,1,2,2-tetrachloroethane	9.23E-05 (6.36E-06~6.25E-04)	3.17E-05 (2.18E-06~2.15E-04)	2.34E-06 (1.62E-07~1.59E-05)	5.41E-07 (3.73E-08~3.67E-06)	1.10E-06 (7.58E-08~7.45E-06)	2.54E-07 (1.75E-08~1.72E-06)
1,1,2-trichloroethane	4.44E-08 (ND~2.83E-07)	1.53E-08 (ND~9.72E-08)	1.13E-09 (ND~7.19E-09)	2.60E-10 (ND~1.66E-09)	5.29E-10 (ND~3.37E-09)	1.22E-10 (ND~7.79E-10)

〈표 5-49〉 제2매립지 발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(10월 평균)

발암물질	인체 노출량 RISK (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	5.46E-08 (ND~3.14E-07)	1.88E-08 (ND~1.08E-07)	1.39E-09 (ND~7.98E-09)	3.20E-10 (ND~1.84E-09)	6.51E-10 (ND~3.75E-09)	1.50E-10 (ND~8.64E-10)
Carbon tetrachloride	7.49E-08 (ND~8.99E-07)	2.57E-08 (ND~3.09E-07)	1.90E-09 (ND~2.28E-08)	4.39E-10 (ND~5.27E-09)	8.93E-10 (ND~1.07E-08)	2.06E-10 (ND~2.47E-09)
Benzene	4.04E-06 (ND~4.76E-05)	1.39E-06 (ND~1.63E-05)	1.03E-07 (ND~1.21E-06)	2.37E-08 (ND~2.79E-07)	4.81E-08 (ND~5.67E-07)	1.11E-08 (ND~1.31E-07)
Trichloroethylene	1.70E-07 (ND~9.80E-07)	5.84E-08 (ND~3.37E-07)	4.32E-09 (ND~2.49E-08)	9.98E-10 (ND~5.75E-09)	2.03E-09 (ND~1.17E-08)	4.68E-10 (ND~2.70E-09)
Tetrachloroethylene	7.31E-10 (ND~5.55E-09)	2.51E-10 (ND~1.91E-09)	1.86E-11 (ND~1.41E-10)	4.28E-12 (ND~3.25E-11)	8.71E-12 (ND~6.61E-11)	2.01E-12 (ND~1.53E-11)
1,1-dichloroethane	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,1,2,2-tetrachloro-ethane	7.65E-06 (8.44E-07~3.66E-05)	2.63E-06 (2.90E-07~1.26E-05)	1.94E-07 (2.14E-08~9.29E-07)	4.49E-08 (4.95E-09~2.14E-07)	9.12E-08 (1.01E-08~4.36E-07)	2.10E-08 (2.32E-09~1.01E-07)
1,1,2-trichloro-ethane	1.63E-08 (ND~1.65E-07)	5.58E-09 (ND~5.66E-08)	4.13E-10 (ND~4.19E-09)	9.53E-11 (ND~9.66E-10)	1.94E-10 (ND~1.96E-09)	4.47E-11 (ND~4.53E-10)

〈표 5-50〉 주변지역 발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(10월 평균)

발암물질	인체 노출량 RISK (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Chloroform	2.06E-06 (ND~5.41E-06)	7.09E-07 (ND~1.86E-06)	5.24E-08 (ND~1.37E-07)	1.21E-08 (ND~3.17E-08)	2.46E-08 (ND~6.45E-08)	5.68E-09 (ND~1.49E-08)
Carbon tetrachloride	1.42E-06 (ND~5.92E-06)	4.86E-07 (ND~2.03E-06)	3.59E-08 (ND~1.50E-07)	8.29E-09 (ND~3.47E-08)	1.69E-08 (ND~7.06E-08)	3.89E-09 (ND~1.63E-08)
Benzene	1.49E-05 (ND~5.18E-05)	5.13E-06 (ND~1.78E-05)	3.79E-07 (ND~1.32E-06)	8.75E-08 (ND~3.04E-07)	1.78E-07 (ND~6.17E-07)	4.11E-08 (ND~1.42E-07)
Trichloroethylene	8.57E-08 (ND~4.04E-07)	2.94E-08 (ND~1.39E-07)	2.18E-09 (ND~1.03E-08)	5.02E-10 (ND~2.37E-09)	1.02E-09 (ND~4.81E-09)	2.36E-10 (ND~1.11E-09)
Tetrachloro-ethylene	8.48E-09 (ND~2.65E-08)	2.91E-09 (ND~9.10E-09)	2.15E-10 (ND~6.73E-10)	4.97E-11 (ND~1.55E-10)	1.01E-10 (ND~3.16E-10)	2.33E-11 (ND~7.29E-11)
1,1-dichloro-ethane	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,1,2,2-tetrachloro-ethane	2.29E-04 (3.82E-05~6.58E-04)	7.85E-05 (1.31E-05~2.26E-04)	5.81E-06 (9.70E-07~1.67E-05)	1.34E-06 (2.24E-07~3.86E-06)	2.72E-06 (4.55E-07~7.85E-06)	6.29E-07 (1.05E-07~1.81E-06)
1,1,2-trichloro-ethane	1.04E-07 (ND~3.63E-07)	3.59E-08 (ND~1.25E-07)	2.65E-09 (ND~9.22E-09)	6.12E-10 (ND~2.13E-09)	1.24E-09 (ND~4.32E-09)	2.87E-10 (ND~9.98E-10)

② 비발암성 VOCs에 의한 인체건강 위해도

〈표 5-51〉 제1매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(10월 평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
Toluene	9.16E-02 (1.40E-02~1.75E-01)	3.14E-02 (4.80E-03~6.00E-02)	2.33E-03 (3.55E-04~4.44E-03)	5.37E-04 (8.19E-05~1.02E-03)	1.09E-03 (1.66E-04~2.08E-03)	2.52E-04 (3.84E-05~4.81E-04)
Chlorobenzene	4.97E-01 (2.93E-02~1.59E+00)	1.71E-01 (1.00E-02~5.46E-01)	1.26E-02 (7.43E-04~4.04E-02)	2.92E-03 (1.72E-04~9.32E-03)	5.93E-03 (3.49E-04~1.90E-02)	1.37E-03 (8.05E-05~4.38E-03)
Ethylbenzene	9.73E-04 (ND~2.42E-03)	3.34E-04 (ND~8.30E-04)	2.47E-05 (ND~6.14E-05)	5.71E-06 (ND~1.42E-05)	1.16E-05 (ND~2.88E-05)	2.68E-06 (ND~6.65E-06)
p-xylene	3.70E-02 (1.7E-04~1.09E-01)	1.27E-02 (6.13E-05~3.74E-02)	9.40E-04 (4.53E-06~2.77E-03)	2.17E-04 (1.05E-06~6.38E-04)	4.41E-04 (2.13E-06~1.30E-03)	1.02E-04 (4.91E-07~2.99E-04)
m-xylene	4.31E-04 (3.51E-06~1.19E-03)	1.48E-04 (1.20E-06~4.09E-04)	1.09E-05 (8.91E-08~3.03E-05)	2.52E-06 (2.06E-08~6.98E-06)	5.13E-06 (4.18E-08~1.42E-05)	1.18E-06 (9.64E-09~3.28E-06)
o-xylene	1.89E-03 (ND~1.55E-02)	6.47E-04 (ND~5.33E-03)	4.79E-05 (ND~3.94E-04)	1.10E-05 (ND~9.10E-05)	2.25E-05 (ND~1.85E-04)	5.18E-06 (ND~4.27E-05)
styrene	2.42E-04 (ND~9.98E-04)	8.31E-05 (ND~3.43E-04)	6.14E-06 (ND~2.53E-05)	1.42E-06 (ND~5.85E-06)	2.88E-06 (ND~1.19E-05)	6.65E-07 (ND~2.74E-06)
p-Dichloro- benzene	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
1,2-dichloro- propane	7.67E-04 (ND~9.21E-03)	2.63E-04 (ND~3.16E-03)	1.95E-05 (ND~2.34E-04)	4.50E-06 (ND~5.40E-05)	9.14E-06 (ND~1.10E-04)	2.11E-06 (ND~2.53E-05)

〈표 5-52〉 제2매립지 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(10월 평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)					
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
Toluene	1.23E-01 (1.23E-03~3.98E-01)	4.21E-02 (4.22E-04~1.37E-01)	3.12E-03 (3.12E-05~1.01E-02)	7.19E-04 (7.20E-06~2.33E-03)	1.46E-03 (1.46E-05~4.74E-03)	3.37E-04 (3.38E-06~1.09E-03)
Chlorobenzene	1.53E-01 (1.05E-02~4.42E-01)	5.25E-02 (3.62E-03~1.52E-01)	3.89E-03 (2.68E-04~1.12E-02)	8.97E-04 (6.17E-05~2.59E-03)	1.82E-03 (1.26E-04~5.26E-03)	4.21E-04 (2.90E-05~1.21E-03)
Ethylbenzene	9.65E-04 (ND~6.36E-03)	3.31E-04 (ND~2.19E-03)	2.45E-05 (ND~1.62E-04)	5.66E-06 (ND~3.73E-05)	1.15E-05 (ND~7.58E-05)	2.65E-06 (ND~1.75E-05)
p-xylene	1.79E-02 (ND~8.34E-02)	6.15E-03 (ND~2.86E-02)	4.55E-04 (ND~2.12E-03)	1.05E-04 (ND~4.89E-04)	2.14E-04 (ND~9.94E-04)	4.93E-05 (ND~2.29E-04)
m-xylene	2.77E-04 (ND~1.64E-03)	9.50E-05 (ND~5.63E-04)	7.03E-06 (ND~4.16E-05)	1.62E-06 (ND~9.61E-06)	3.30E-06 (ND~1.95E-05)	7.61E-07 (ND~4.51E-06)
o-xylene	3.15E-06 (ND~3.78E-05)	1.08E-06 (ND~1.30E-05)	8.00E-08 (ND~9.59E-07)	1.85E-08 (ND~2.21E-07)	3.75E-08 (ND~4.50E-07)	8.66E-09 (ND~1.04E-07)
styrene	7.08E-06 (ND~8.32E-05)	2.43E-06 (ND~2.86E-05)	1.80E-07 (ND~2.11E-06)	4.15E-08 (ND~4.88E-07)	8.44E-08 (ND~9.92E-07)	1.95E-08 (ND~2.29E-07)
p-Dichloro- benzene	2.82E-06 (ND~3.38E-05)	9.68E-07 (ND~1.16E-05)	7.16E-08 (ND~8.59E-07)	1.65E-08 (ND~1.98E-07)	3.36E-08 (ND~4.03E-07)	7.75E-09 (ND~9.30E-08)
1,2-dichloro- propane	9.95E-04 (ND~9.29E-03)	3.42E-04 (ND~3.19E-03)	2.53E-05 (ND~2.36E-04)	5.83E-06 (ND~5.44E-05)	1.19E-05 (ND~1.11E-04)	2.74E-06 (ND~2.55E-05)

〈표 5-53〉 주변지역 비발암성 VOCs 에 의한 인체 위해도(10월 평균)

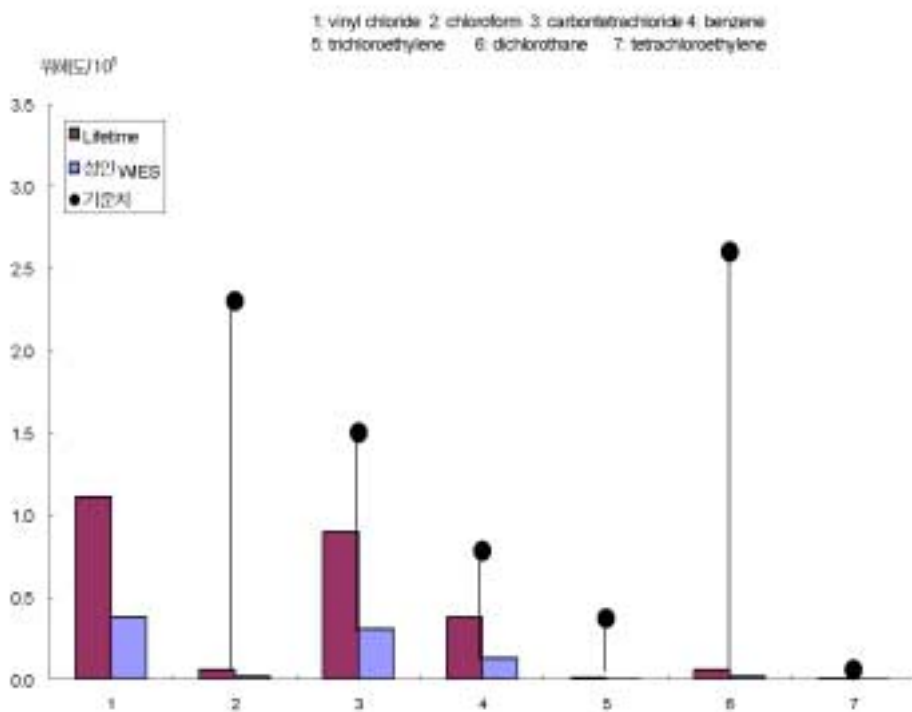
비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)				인체 노출량 HQ (mg/kg/day)	
	Lifetime	성인 WIES	성인 MIES	성인 LIES	아동 MIES	아동 LIES
	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)	평균 (최소~최대)
Ethyl chloride	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —	ND —
Toluene	1.91E-01 (4.92E-02~4.30E-01)	6.55E-02 (1.69E-02~1.48E-01)	4.84E-03 (1.25E-03~1.09E-02)	1.12E-03 (2.88E-04~2.52E-03)	2.27E-03 (5.86E-04~5.12E-03)	5.25E-04 (1.35E-04~1.18E-03)
Chlorobenzene	2.05E-01 (1.19E-03~5.65E-01)	7.04E-02 (4.08E-04~1.94E-01)	5.21E-03 (3.02E-05~1.44E-02)	1.20E-03 (6.96E-06~3.31E-03)	2.45E-03 (1.42E-05~6.73E-03)	5.64E-04 (3.27E-06~1.55E-03)
Ethylbenzene	4.98E-03 (ND~9.89E-03)	1.71E-03 (ND~3.40E-03)	1.26E-04 (ND~2.51E-04)	2.92E-05 (ND~5.80E-05)	5.93E-05 (ND~1.18E-04)	1.37E-05 (ND~2.72E-05)
p-xylene	9.13E-02 (3.87E-02~1.81E-01)	3.13E-02 (1.33E-02~6.21E-02)	2.32E-03 (9.82E-04~4.60E-03)	5.35E-04 (2.27E-04~1.06E-03)	1.09E-03 (4.61E-04~2.16E-03)	2.51E-04 (1.06E-04~4.98E-04)
m-xylene	1.76E-03 (7.43E-04~3.56E-03)	6.05E-04 (2.55E-04~1.22E-03)	4.47E-05 (1.89E-05~9.03E-05)	1.03E-05 (4.36E-06~2.08E-05)	2.10E-05 (8.86E-06~4.24E-05)	4.84E-06 (2.04E-06~9.78E-06)
o-xylene	3.51E-03 (ND~1.34E-02)	1.21E-03 (ND~4.62E-03)	8.92E-05 (ND~3.41E-04)	2.06E-05 (ND~7.88E-05)	4.19E-05 (ND~1.60E-04)	9.66E-06 (ND~3.70E-05)
styrene	1.97E-04 (ND~7.36E-04)	6.76E-05 (ND~2.53E-04)	5.00E-06 (ND~1.87E-05)	1.15E-06 (ND~4.32E-06)	2.35E-06 (ND~8.78E-06)	5.42E-07 (ND~2.03E-06)
p-Dichloro- benzene	3.11E-04 (ND~1.55E-03)	1.07E-04 (ND~5.31E-04)	7.90E-06 (ND~3.93E-05)	1.82E-06 (ND~9.06E-06)	3.71E-06 (ND~1.84E-05)	8.55E-07 (ND~4.25E-06)
1,2-dichloro- propane	1.41E-02 (ND~3.88E-02)	4.83E-03 (ND~1.33E-02)	3.57E-04 (ND~9.85E-04)	8.24E-05 (ND~2.27E-04)	1.68E-04 (ND~4.62E-04)	3.87E-05 (ND~1.07E-04)

4. 4계절 종합평가

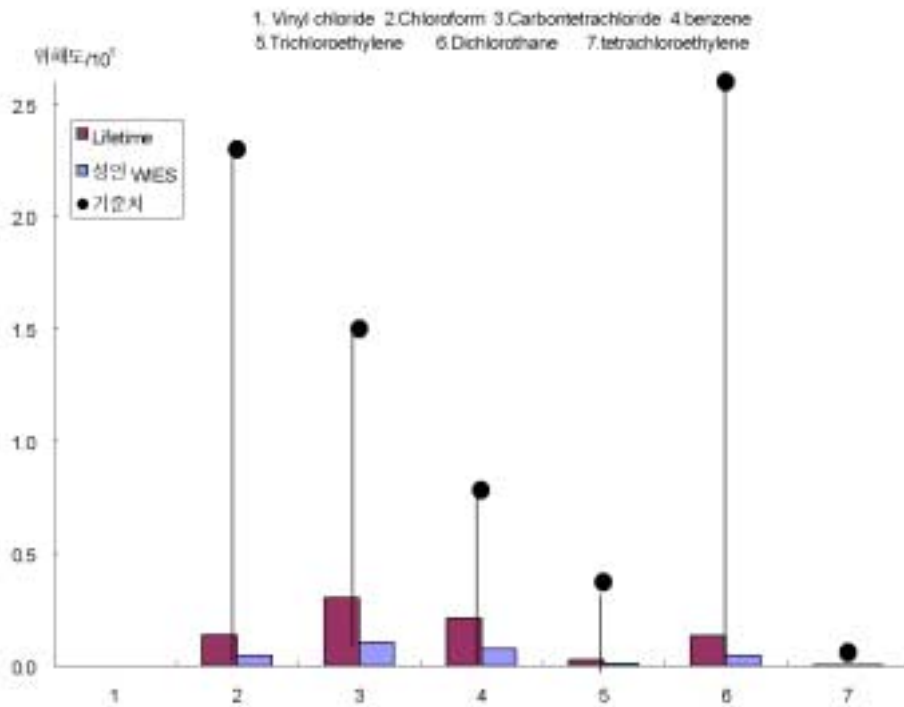
난지도 매립지 배출 VOCs 농도 측정 결과(1차~4차 측정)를 종합 평균하여 발암성·비발암성 물질에 의한 인체건강 위해도를 대상지역별로 평가하였다(<부록 5> 참조).

1) 발암성 물질의 위해도 평가

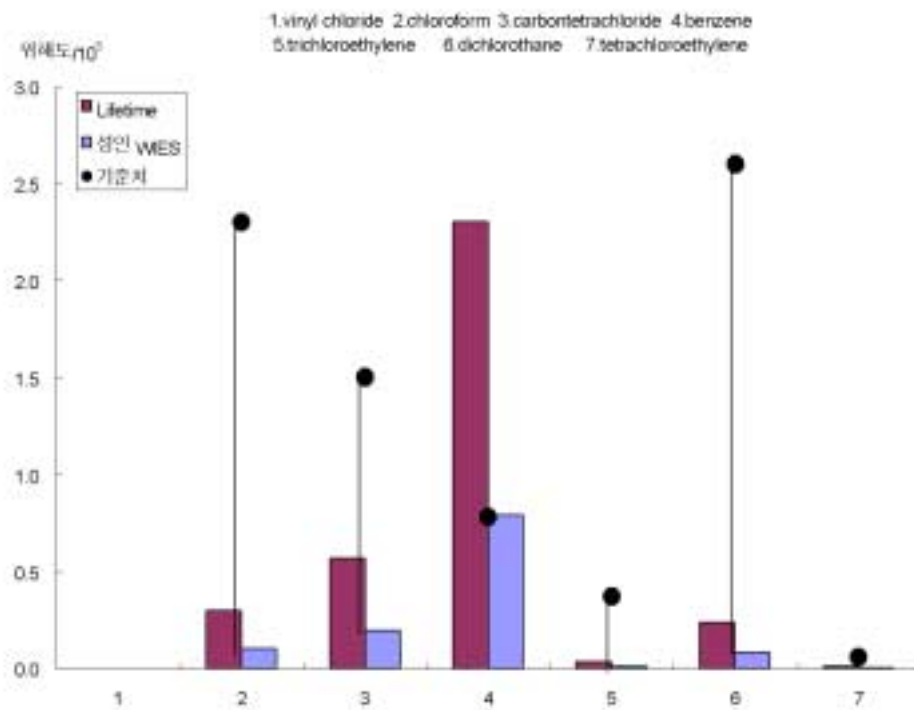
난지도 매립가스의 75% 포집 계획을 전제로 평가할 경우, 가장 최악의 호흡노출 시나리오인 Lifetime 노출의 경우에도 모두 미국 환경청(U.S. EPA)의 안전기준을 초과하지 않는 수준으로 평가되었다. 다만 주변지역의 경우 벤젠농도에 의한 기준은 다소 초과하고 있으며, 이러한 노출 농도는 도시지역에 걸쳐 나타나는 벤젠농도와 비교하여 다소 높은 수치이다.



<그림 5-3> 제1매립지 발암성 VOCs에 의한 인체 위해도 평가



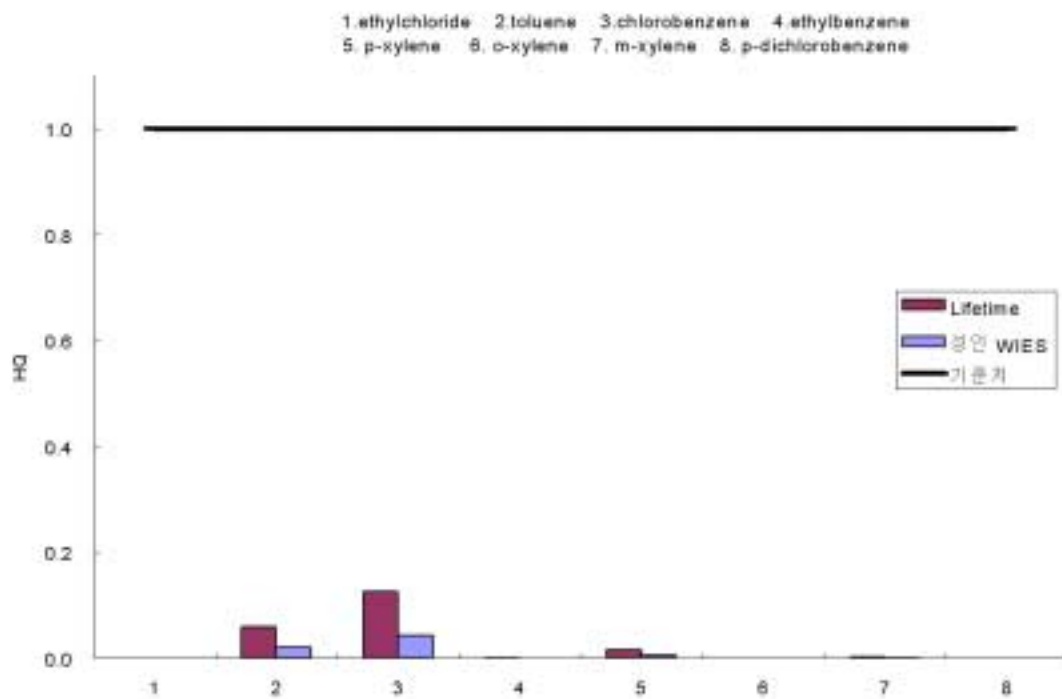
<그림 5-4> 제2매립지 발암성 VOCs에 의한 인체 위해도 평가



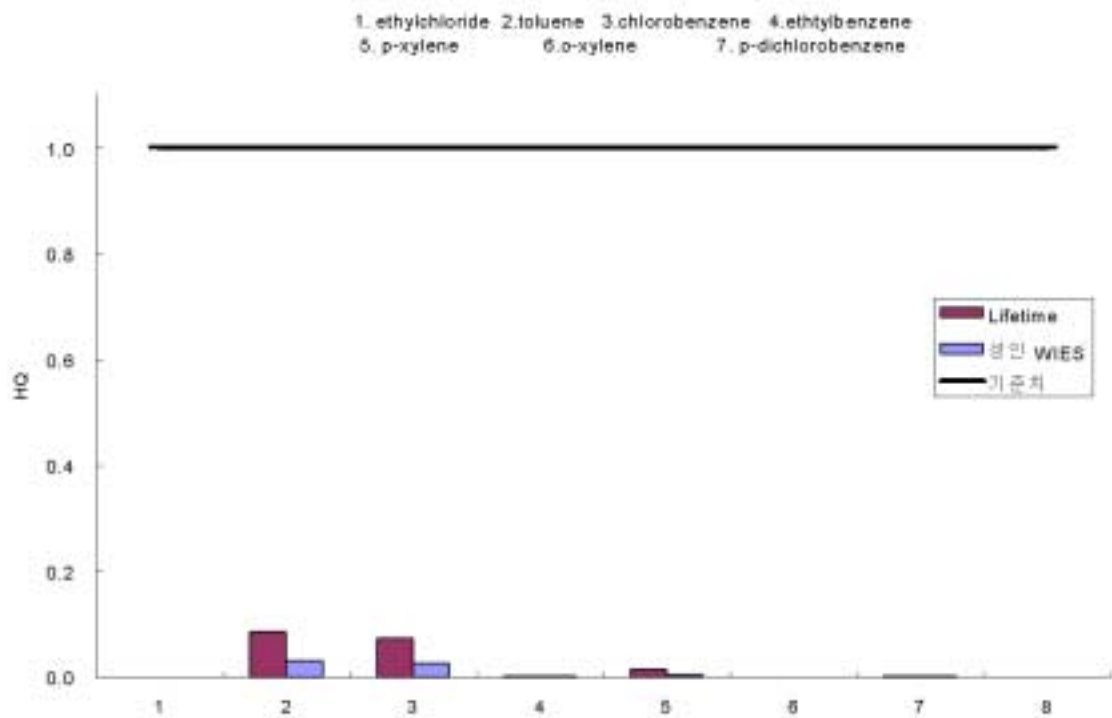
<그림 5-5> 주변지역 발암성 VOCs에 의한 인체 위해도 평가

2) 비발암성 물질의 위해도 평가

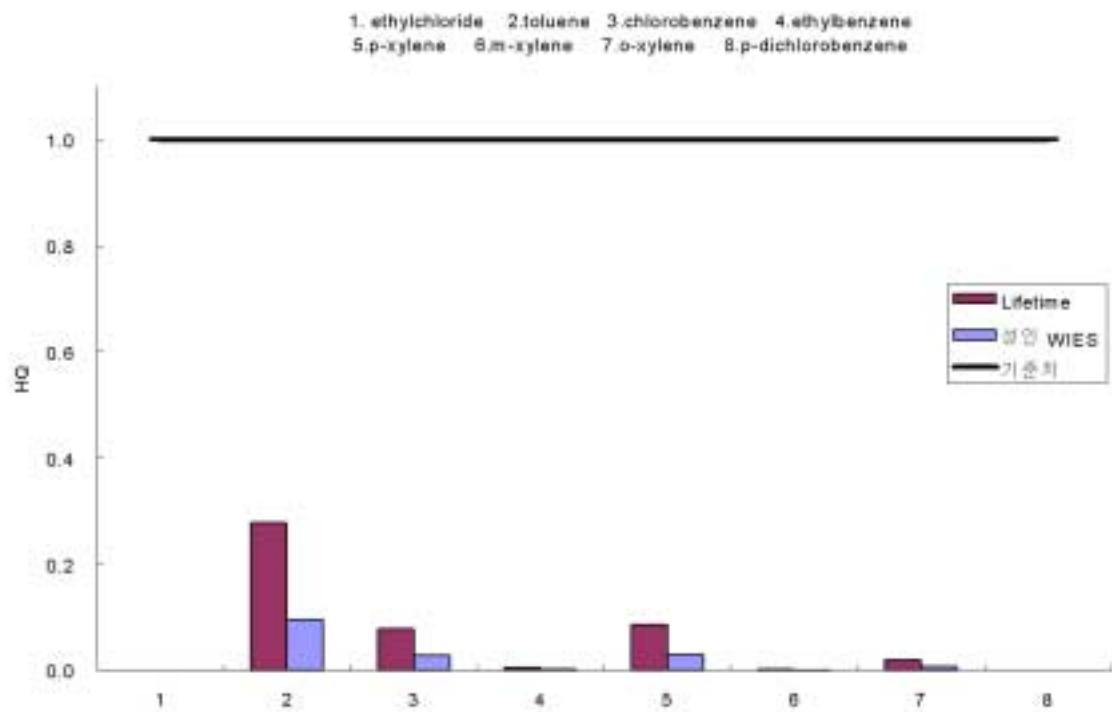
비발암성 물질의 노출에 의한 위해도(Hazard Quotient)지수는 매립지와 주변지역 모두 “1” 이하 수준으로 나타나, 모든 평가대상 지역에서의 위해도는 유의할 수준은 아닌 것으로 분석된다.



〈그림 5-6〉 제1매립지 비발암성 VOCs에 의한 인체 위해도(HQ) 평가



〈그림 5-7〉 제2매립지 비발암성 VOCs에 의한 인체 위해도(HQ) 평가

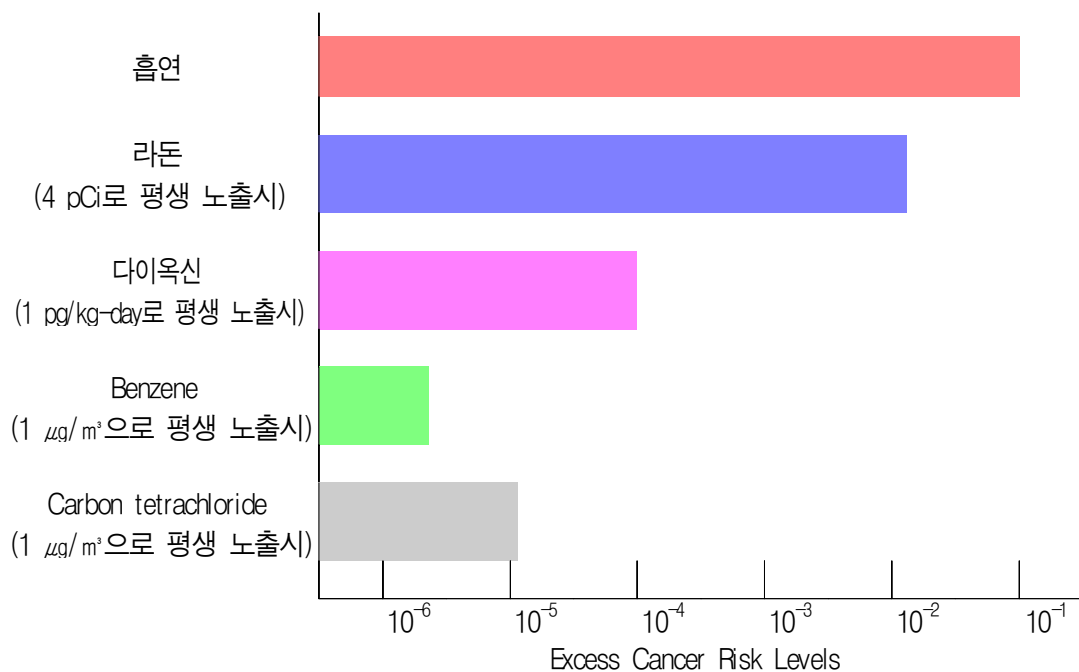


〈그림 5-8〉 주변지역 비발암성 VOCs에 의한 인체 위해도(HQ) 평가

제 5 절 위험도 비교평가

Benzene이나 carbon tetrachloride와 같은 유해화학물질의 인체 발암력은 흡연이나 다이옥신으로 인한 발암 위험도에 비하면 매우 낮은 수준이다. 일반적으로 흡연으로 인한 폐암 위험도는 10명당 1명의 수준이고, 다이옥신의 경우에는 폐암 발생율이 일반인의 1.4배이고, 라돈으로 인한 폐암 위험도는 백명당 2명인 반면, benzene의 단위 위험도는 백만명당 7.8명, carbon tetrachloride는 십만명당 1.5명의 수준으로 평가되고 있기 때문이다(<그림 5-9> 참조).

그러나 오염물질별 위험도와 관련하여 시민의 인체건강 보호를 위한 대기오염 관리정책 수립 대상의 우선순위 조정과 환경수요가 연계되지 못해 대기환경문제를 둘러싼 과대·과소평가의 오류가 발생할 수 있다. 이에 <그림 5-9>와 같은 정확한 환경정보전달체계의 인식이 전제될 필요가 있다.



<그림 5-9> 위험도 비교평가

제 6 절 매립지 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석

1. 오존모델 시뮬레이션

오존오염 원인물질의 하나인 휘발성유기화합물질(VOCs)의 단일 배출원으로서 난지도 매립지는 서울지역에서 높은 비중을 차지하고 있다. 이에 매립지 배출 VOCs에 의해 서울을 포함한 수도권 지역에서의 오존농도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 UAM(CB-IV Chemical mechanism) 모델을 수행하고자 한다.

1) UAM 모델의 특성

- (비)반응성 있는 오염물질의 농도를 계산하기 위한 3차원 광화학 격자모델
- 도시지역의 광화학오염물질 모델링을 위한 모델로 권고(EPA)
- 물질별 연속방정식

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\frac{\partial (uc_i)}{\partial x} - \frac{\partial (vc_i)}{\partial y} - \frac{\partial (wc_i)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[K_H \frac{\partial c_i}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_H \frac{\partial c_i}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_V \frac{\partial c_i}{\partial z} \right] + S_i + R_i + L_i$$

2) 오존오염 기여도 분석조건

UAM 모델은 33종의 화학종과 81개의 기체상 화학반응을 포함하여 분석할 수 있어, 본 연구에서 난지도 매립지 배출 VOCs 성분의 측정·분석한 자료와 연계가 가능한 장점이 있다. 다만, UAM 모델영역과 결과의 수치해석 측면에서 난지도와 상암·가양 주변지역에 한정된 오존오염 기여도 분석은 한계가 있기 때문에 수도권 지역으로 확장하여 분석하였다.

또한 UAM 모델의 입력자료 가운데 기상장과 격자별 VOCs 배출량 자료구축의 어려움으로 인하여 기히 연구된 1998년 입력자료를 활용하여 모사하도록 하였다.

분석기간 동안의 기상특성의 경우 8월 21일에는 뚜렷한 주풍향은 존재하지 않고 비교적 모든 방향의 바람이 존재하나 남동풍과 서풍계열의 바람이 약간 우세하였다. 그리고 야간에는 동풍계열이 주풍을 이루고 주간에는 서풍계열이 우세한 해륙풍의 특성 보였다. 그리고 8월 22일에는 동풍이 주풍을 나타내면서 남동풍·북동풍·남서풍이 비교적 우세하였다(주간: 서풍계열, 야간: 북동풍과 북서풍이 주풍임).

- 대상기간 : 1998년 8월 19일~8월 22일
- 모델의 초기 적응 기간 : 2일(8월 19일부터 20일)

- 분석기간 : 8월 21일 00시~22일 23시
- 대상영역 : 160×160km²((126° 6' 26", 36° 44' 5")~(127° 55' 00", 38° 10' 36"))

〈표 5-54〉 UAM 모델링 대상영역에서의 VOC 배출량(톤/년)

구 분	난지도 포함 전	난지도	난지도 포함 후	
			배출량	기여도(%)
인위적인 VOC 배출량	277,322	7,220	284,542	2.5
자연적인 VOC 배출량	305,183	—	305,183	—
VOC 총 배출량	582,505	7,220	589,725	1.2

2. 8월 21일과 8월 22일의 기본모사(난지도 배출량 포함 전) 결과

09시부터 동부지역에서 60ppb 이상의 비교적 고농도 오존이 발생하고, 12시경 동부지역에서의 고농도 오존영역이 서쪽으로 확대되는 경향을 나타내었다. 그러나 여전히 동부지역에 고농도 오존(90ppb)이 발생한 반면, 서부지역에서는 30ppb 정도의 비교적 낮은 오존농도가 발생하였다.

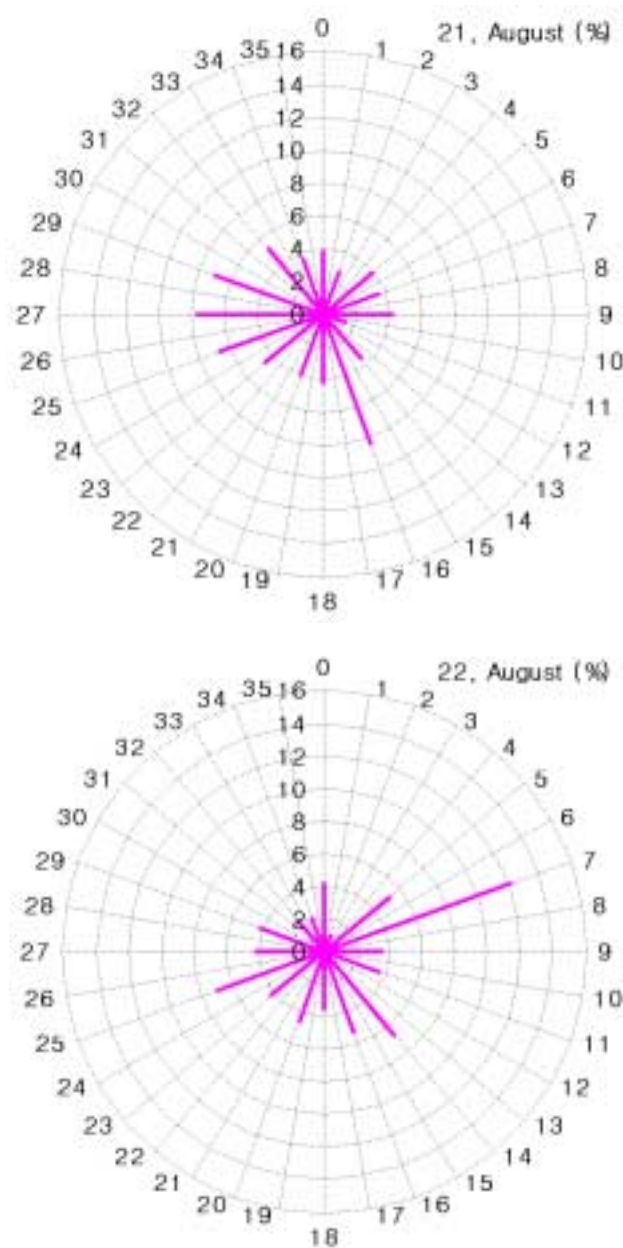
특히 오후(15시, 18시)에 서풍계열(8월 21일) 또는 남서풍계열(8월 22일)의 바람에 의해 고농도 오존지역이 동쪽 및 북동지역으로 이동하는 경향을 보이고 있다. 이에 서울 및 서부지역에서는 비교적 낮은 농도(50ppb)를 보인 반면, 동부 및 북동부지역에서는 100ppb 이상의 고농도 오존이 발생하고 있다. 한편 8월 21일과 22일 오후(15시, 18시) 대기오염자동측정망에 의한 오존농도 측정치와 비교할 경우 다음과 같은 결과가 도출되었다.

- 서울 및 서울외곽 남동부 지역에서 10~20ppb 정도 과소 예측
- 서울 외곽 북동 및 남부지역에서는 과대 예측

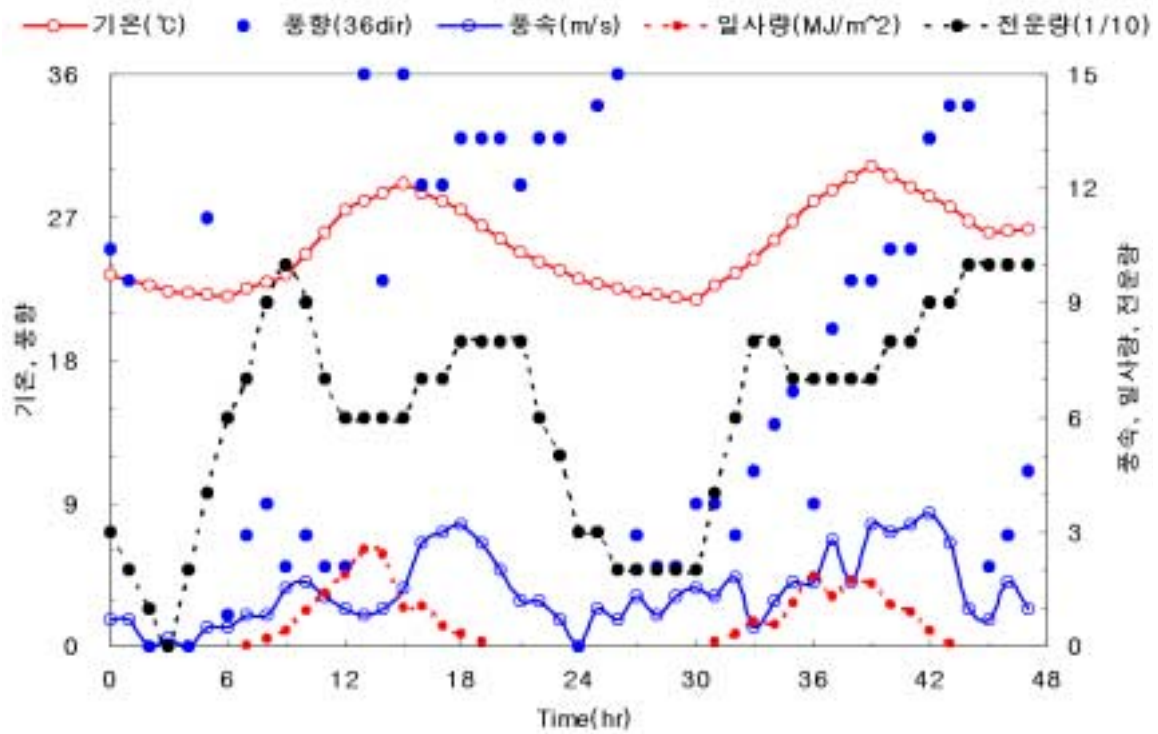
3. 난지도 VOC 배출량을 포함한 모델링 결과(1998년 8월 21일과 22일의 15시 오존농도)

대상영역의 특정지역에서 오존농도가 증가하거나 일부지역에서 광범위하게 증가하는 특성을 나타내고 있다. 즉 대상영역에서 오존농도는 각각 최대 8ppb(8월 21일), 5ppb(8월 22일) 증가하였다. 그러나 최대오존오염 농도가 나타난 지역과 최대오존농도 증가가 나타난 지역이 상이할 뿐만 아니라, 오존농도 증가량(최대 8ppb, 5ppb)은 대상영역에서의 최대오존농도(180ppb, 190ppb)에 비해 비교적 적으나 오존농도 증가 지역에서의 오존농도 증가량은 상대적으로 높게 나타나는 특성을 보이고 있다.

이에 난지도 배립지 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도를 분석한 결과, 오존농도 변화율은 각각 최대 10.6%(8월 21일), 9.7%(8월 22일)이고, 일부지역에서의 오후 오존농도에 대해 비교적 높은 기여도를 나타내는 것으로 분석되었다.



〈그림 5-10〉 서울 기상청(풍향 빈도)



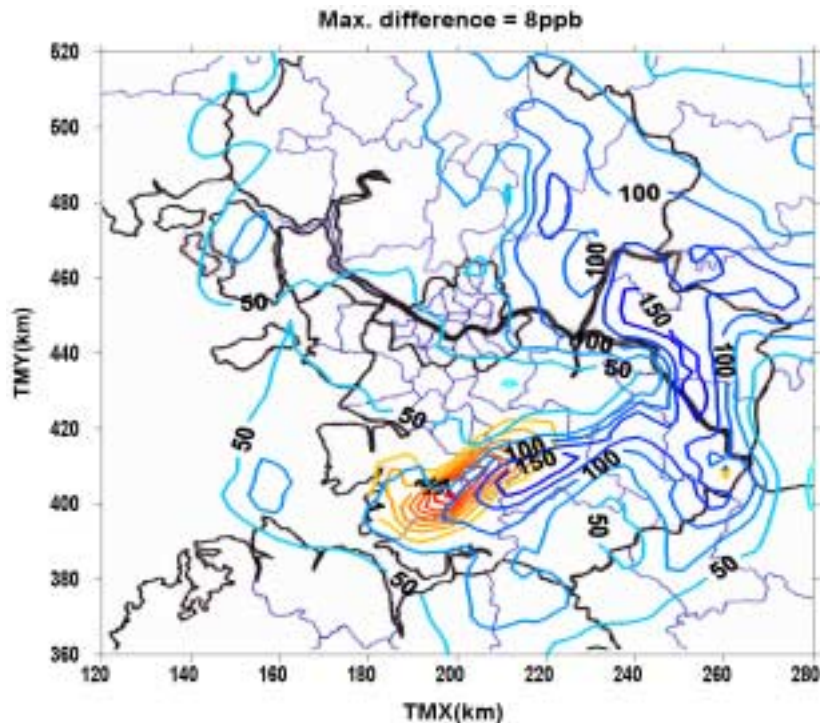
자료: 서울 기상청(1998년 8월 21일~8월 22일)

〈그림 5-11〉 서울 기상자료

〈표 5-55〉 8월 21일 15시 오존농도 변화율(%): 평균 오존농도 변화율(+0.15%)

TMX TMY	170	174	178	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226	230
390	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.6	1.1	0.7	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
394	0.1	0.0	0.0	0.7	1.6	3.7	2.4	1.9	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
398	0.4	0.1	0.1	1.5	2.8	7.0	5.9	5.2	1.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
402	0.6	0.2	0.0	2.1	2.8	3.9	8.6	10.6	4.1	1.3	0.3	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
406	0.4	0.4	0.1	1.6	3.4	1.6	2.6	9.6	8.9	4.0	1.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
410	0.8	0.6	0.6	1.3	3.4	2.5	0.1	1.1	7.5	8.0	4.1	2.1	0.6	0.2	0.1	0.0
414	0.4	1.0	1.0	1.0	0.4	1.1	0.3	-1.1	1.4	5.7	4.8	3.8	1.5	0.6	0.2	0.1
418	-0.3	1.1	0.5	1.2	0.0	-0.4	0.4	0.2	0.0	2.4	4.3	3.6	2.5	1.3	0.7	0.4
422	0.0	-0.1	-0.1	0.9	0.1	-0.1	0.3	1.3	1.1	0.6	1.5	2.1	1.9	1.3	0.8	0.4
426	-0.5	0.9	0.3	0.4	0.0	0.6	0.6	1.1	1.7	1.2	-0.1	-0.5	-0.2	0.1	0.2	0.1
430	-0.2	1.1	0.6	0.1	0.3	0.1	0.0	-0.1	-0.5	-0.5	-0.8	-1.4	-1.8	-1.8	-1.1	-0.7
434	0.7	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.5	1.0	1.1	0.8	0.5	0.3
438	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

주: 오존농도변화율(%) = $\frac{[\text{오존}]_{\text{매립장포함후}} - [\text{오존}]_{\text{매립장포함전}}}{[\text{오존}]_{\text{매립장포함전}}} \times 100$



1998년 8월 21일 15시

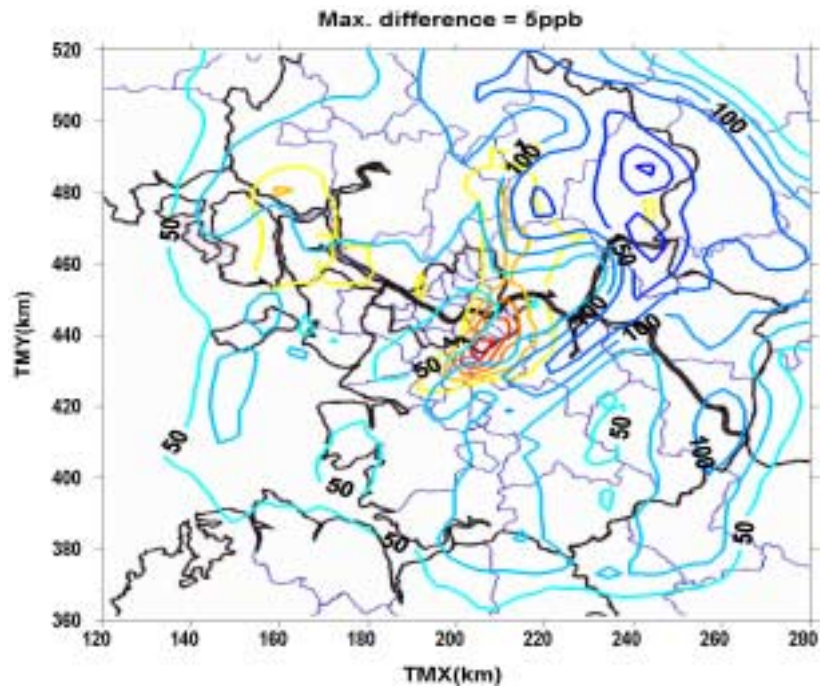
청색 : 난지도VOC 배출량을 포함하지 않은 경우 오존 농도(ppb)

적색 : 오존농도차이(VOC 배출량 포함 후 오존 - VOC 포함 전 오존) (ppb)

〈그림 5-12〉 오존오염 기여도 분석모사(8월 21일)

〈표 5-56〉 8월 22일 15시 오존 농도 변화율(%): 평균 오존농도 변화율(+0.3%)

TMX TMY	150	154	158	162	166	170	174	178	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226
418	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4	0.0	0.2	-0.3	0.2	0.2	-0.1	0.7	1.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2
422	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	-0.1	0.3	-0.3	-1.4	-2.2	-1.4	-0.7	-0.2	0.1	0.2
426	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	-0.4	0.4	0.0	1.3	2.5	2.5	0.8	-0.5	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.1
430	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	-0.5	0.5	0.2	0.3	1.6	3.8	4.3	4.1	2.6	1.3	0.7	0.3	0.1
434	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	-0.3	0.5	0.6	0.2	0.2	3.4	7.7	8.3	5.9	2.6	1.2	0.5	0.1
438	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.0	0.4	0.7	0.6	-0.2	0.8	7.1	9.7	8.1	3.8	1.8	0.7	0.2
442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.6	0.8	0.1	-0.6	4.0	9.1	8.4	5.1	2.5	0.9	0.3
446	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	0.5	-0.6	1.5	6.6	8.0	5.7	2.9	1.1	0.3
450	0.6	1.0	0.6	0.7	0.7	0.5	0.9	0.7	0.6	0.6	0.9	1.5	-0.4	0.3	4.0	6.0	5.0	2.9	1.2	0.4
454	0.4	1.5	1.8	1.3	0.9	1.1	1.2	0.9	0.8	0.7	0.8	1.0	0.2	0.1	2.4	4.2	3.8	2.4	1.2	0.5
458	0.4	1.3	2.7	2.2	1.4	1.5	1.1	1.1	0.9	0.7	0.7	0.9	0.4	0.2	1.4	2.7	2.8	1.9	1.1	0.6
462	0.6	1.1	2.3	2.5	1.5	1.3	1.1	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6	0.3	0.4	1.3	2.0	2.0	1.7	1.1	0.7
466	0.6	1.2	2.3	2.4	1.6	1.2	1.1	0.8	0.7	0.5	0.5	0.3	0.2	0.5	1.2	1.7	1.7	1.5	1.1	0.8
470	0.6	1.3	2.0	2.2	1.8	1.1	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.5	1.3	1.7	1.5	1.1	0.8	0.5
474	0.7	1.3	1.9	2.0	1.8	1.1	0.7	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.5	1.5	1.7	1.3	0.8	0.5	0.3
478	0.5	1.4	2.0	2.0	1.7	1.0	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	-0.1	0.0	0.7	1.9	1.9	1.1	0.6	0.3	0.1
482	0.2	0.8	1.7	2.2	1.9	1.1	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	-0.2	0.0	0.8	2.0	1.8	1.1	0.5	0.2	0.1
486	0.1	0.3	0.7	1.2	1.3	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.2	-0.1	0.1	0.7	1.5	1.6	1.2	0.6	0.3	0.1
490	0.0	0.1	0.2	0.6	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	1.0	1.2	1.0	0.6	0.3	0.2



1998년 8월 22일 15시

청색 : 난지도VOC 배출량을 포함하지 않은 경우 오존 농도(ppb)

적색 : 오존농도차이(VOC 배출량 포함 후 오존 - VOC 포함 전 오존) (ppb)

〈그림 5-13〉 오존오염 기여도 분석모사(8월 22일)

4. 분석결과

난지도 매립지 배출 VOCs에 의한 대상영역에서의 오존오염 기여도 분석(1998년 8월 21일과 22일의 15시 오존농도 변화) 결과는 다음과 같이 요약된다.

- ① 대상영역의 특정지역에서 오존농도가 증가하거나 일부지역에서 광범위하게 증가
- ② 대상영역에서 오존농도는 각각 최대 8ppb(8월 21일), 5ppb(8월 22일) 증가
- ③ 최대오존농도가 나타난 지역과 최대오존농도 증가가 나타난 지역간 상이
- ④ 오존오염 농도의 증가량(최대 8ppb, 5ppb)은 대상영역에서의 최대오존농도(180ppb, 190ppb)에 비해 비교적 적으나, 오존농도 증가 지역에서의 오존농도 증가량은 상대적으로 높게 나타남.
- ⑤ 오존오염 농도의 변화율은 각각 최대 10.6%(8월 21일), 9.7%(8월 22일) 수준

이상과 같은 난지도 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석결과와 1994년 이후 매립가스 배출량 감소경향과 연계하면, 평균 오존농도 변화율은 +0.15%(8월 21일), +0.3%(8월 22일)과 비교하여 한층 낮은 수준이 될 것으로 예측된다. 그리고 향후 매립가스 활용계획과 함께 포집량(약 75% 수준)이 확대되면 난지도 매립가스에 의한 오존오염 기여도는 더욱 저감될 수 있을 것으로 추정된다.

第 VI 章 外國의 유해가스 모니터링 및 관리체제

- 제 1 절 유해대기오염물질 규제동향
- 제 2 절 도시지역 VOCs 농도분포
- 제 3 절 매립지 VOCs 모니터링 관리 사례
- 제 4 절 매립지 VOCs 모니터링 과정

제 VI 장 외국의 유해가스 모니터링 및 관리체계

제 1 절 유해대기오염물질 규제동향

1. 미국

대기중에 존재하며, 건강 및 환경에 악영향을 초래하는 물질을 유해대기오염물질로 규정하였으며, 이들 규제물질은 향후 정기적인 규정작업을 통하여 추가 및 삭제가 가능하도록 관리하고 있다. 미국의 유해대기오염물질 규제동향의 개략적인 내용은 다음과 같다.

1) 1990년 이전의 규제: 위해성 기준

402개 물질에 대해서 순차적으로 상세한 위해성 평가(Risk Assessment)를 실시하여, 유해대기오염물질(HAP)을 목록화 하였으며, 그 중에서 최종적으로 국가배출기준(NESHAP)을 결정하는 과정으로 이루어졌다. 그러나 1979년까지 유해대기오염물질로 목록화된 물질은 8개 물질(석면, 무기비소, 수은, 베릴륨, 벤젠, 염화비닐, 방사성물질, 코크스로 방출물)밖에 없으며, 국가배출기준이 결정된 것은 코크스로 방출물을 제외한 7개 물질만 해당되었다.

2) 1990년 개정이후: 제어기술 중심의 규제기준

1990년 이전의 유해대기오염물질의 규제과정이 당초 예상과 달리 많은 시간과 비용이 소비되자, 1990년에 법 개정을 통하여 유해물질에 대한 새로운 규제내용을 추가하게 되었다. 이에 189개의 물질을 HAP로 규정하고 이들 물질의 배출원을 분류하여, 그 영역별로 최대달성가능한 제어기술(Maximum Available Control Technology; MACT)을 바탕으로 하는 배출기준을 10년 이내에 작성하기로 했다. 그리고 MACT 기준을 시행한 후 최초 8년 이내에 연구·실험 등의 결과로 사람에게 잔여 위해성(백만명 중 한명(10^{-6})의 생애발암 위해성)을 초과하게 되면, 당초의 MACT 기준을 수정하기로 결정하였다. 대기정화법(CAA)의 1990년 개정이후의 유해물질 규제 내용을 요약하면 다음과 같다.

① 대상물질

-개정전의 7개 물질에서 1990년 개정후에는 189종으로 확대.

② 규제대상 배출시설

-17개 공정으로 분류된 174개의 오염원이 지정.

-HAP 배출시설의 분류는 주요(major) 오염원과 면(area) 오염원으로 구분(<표 6-1> 참조).

<표 6-1> 미국의 유해대기오염물질(HAP) 배출시설의 분류

주요오염원 (유리화합물 합성,제조산업 등 166개)	1종류의 유해대기오염물질 배출량이 연간 10톤 이상이거나 복수의 유해대기오염물질 배출량의 합이 연간 25톤 이상인 오염원
면오염원 (드라이크리닝 등 8개)	고정오염원 중에서 주요오염원은 아니지만 개개 또는 집합으로 건강 및 환경에 위협을 나타내는 작은 단위의 오염원

자료: 한화진, 1994.

3) 규제방법

1990년을 기준으로 그 이전인 1970년의 대기정화법 수정안(CAAA)에서는 유해대기오염물질의 국가배출기준(NESHAP)을 설정하였으나, 1990년의 대기정화법 수정안에서는 이러한 항목을 전면 개정하였다. 이에 최대달성가능한 제어기술(MACT)의 설비를 요하는 기준을 적용하였다. 이의 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) NESHAP

1970년부터 1990년까지 위에서 언급한 8개의 오염물질을 유해대기오염물질(HAP)로 목록화하였으며, coke oven emission을 제외한 7개 물질에 대하여 국가배출기준(NESHAP)이 공포되게 되었다.

(2) MACT/GACT

1990년 개정된 대기정화법 수정안에서는 유해대기오염물질을 189종으로 확대하였으며, 이들 물질의 배출원을 파악하고, 목록화하여 규제토록 하였다.

규제형태는 인체에 무위험성을 기초로 하는 HAP 각 물질의 개별적인 배출농도기준을 설정하기 어렵기 때문에 HAP 배출시설에 대한 기술위주의 접근방법인 MACT(최대한 실시가능한 오염방지기술) 및 GACT(일반적으로 실시가능한 오염방지기술) 기준을 적용하고 있다. 즉 유해대기오염물질 배출시설을 주요(major)오염원과 면(area)오염원으로 분류하여 주요오염원에 대해서는 MACT기준을, 면오염원에 대해서는 GACT기준을 준수할 것을 요구하고 있다. 이 가운데

주요산업시설에 대한 MACT 기준의 대략적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 174개 오염원 모두에 대한 MACT 기준 설정을 목표로 주요 산업시설 오염원을 우선대상으로 기준을 지정, 각 시설들에 대하여 기준적용 일정을 연차적(1992년, 1994년, 1997년, 2000년)으로 분류하여 목록화 하였다.

둘째, MACT 최저 기준은 최고의 이행실적을 보인 12% 그룹의 산술평균치로 설정되어야 한다고 결정하였다.

셋째, MACT 기준은 기술에 기초한 배출규제이면서, 오염물질을 개별적이 아닌 여러 HAP를 동시에 줄이는 것을 목적으로 하는 시설운영기준으로 HAP 배출구가 다양한 점을 고려하여 시설운영 중 누출감시, 점검/보수, 기록 및 보고를 특히 중요시하고 있다.

2. WHO 가이드라인

1) 가이드라인 설정배경

1984년 WHO 유럽지역사무국은 유럽지역의 대기질 가이드라인 설정작업에 착수하면서 유해 대기오염물질에 대한 유해성평가에 따른 가이드라인 수치를 제시하였다. 이러한 대기질 가이드라인 제시 목적은 인간의 건강과 행복에 위해하다고 알려져 있거나, 또는 위해 가능성이 있는 대기오염물질의 악영향으로부터 모든 사람의 건강을 지키는 것으로, 악영향을 제거 또는 가장 최소화하기 위한 기초정보를 제공하는 것이다.

이에 가이드라인은 대기오염물질에 관한 유용한 정보를 제공함으로써 중앙 또는 지방정부에 의해 배출기준의 결정과정에 활용되나, 법적인 구속력은 없다. 특히 대기질 가이드라인 수치는 기준치(Standard)가 아니라는 점이 강조되어 있으며, 기준치는 사회·경제적인 측면을 고려하여 결정되므로 유럽의 어느 지역에서든 오염물질농도가 가이드라인 수치이하 또는 이상으로 정책을 결정할 수 있다.

한편 WHO 유럽지역사무소는 대기질가이드라인에 대해 비발암성 물질의 경우 무작용량을, 인간에 있어 발암성물질 혹은 인간에 대해 발암성 물질이 된다는 증거가 있는 물질에 대해서는 생애위해성을, 그리고 각각 폭로시간을 고려하여 농도로 표시하며, 다음과 같은 권고사항을 제시하고 있다.

- ① 가이드라인 수치의 정기적 개정: 인간에 대한 대기오염물질의 독성은 아직까지 알려지지 않은 부분이 있으므로, 가이드라인 수치를 정기적으로 개정할 필요가 있다.
- ② 가이드라인 수치의 상대적 평가: 가이드라인 수치 이하의 폭로시간과 농도하에서 대기오염물질을 흡수한 경우, 건강에 유해한 영향을 주지 않거나 악취물질의 경우에 건강에는 직

접적으로 영향을 주지 않는다고는 생각할 수 없다. 가이드라인의 추천에 따라 그 수치이하에 있더라도 영향이 절대적으로 배제 가능하다고는 보증하지 않는다. 예를 들면, 어느 질병에 걸려 있는 경우, 혹은 그 이하의 농도라도 영향을 받을 수 있기 때문이다.

- ③ 가이드라인 수치의 권고치: 여러 가지 화합물질의 공존, 또는 동일화합물이라도 흡입을 포함한 그 외의 폭로경로에서 폭로가 심한 경우에는 가이드라인에 만족될 지라도 건강에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 가이드라인은 대부분 단일 물질의 추천값이기 때문이다.
- ④ 작업환경의 고려: 직업적 폭로가 환경폭로에 가산되는 것은 기본적으로 포함되어야 한다.
- ⑤ 평생노출 개념의 가이드라인 수치: 가이드라인 수치는 사고나 자연재해에 의해 일어나는 단기간 고농도의 경우는 적용이 불가능하다.

또한 WHO 유럽지역사무국은 가이드라인을 건강에 관한 영향외에 육상식물에 대한 악영향을 제어하기 위해 생태학을 기초로 가이드라인을 검토하여 몇 가지 물질에 대해 그 수치를 나타내었으나, 식물이외의 다른 종의 생태학적 영향을 고려하지 않았다. 그리고 기후에 대한 대기오염 물질의 영향도 고려되지 않았으며, 이는 발생가능한 건강과 환경에 대한 악영향을 평가하는 것은 너무나도 많은 불확실성이 있기 때문이다. 다만, 온실효과와 같은 기후에 대한 영향은 인간의 건강과 생태계에 직간접적으로 현저한 악영향을 줄 가능성이 있으므로 엄밀한 연구가 필요함을 부연하고 있다.

2) 오염물질의 선정 및 대상 유해오염물질의 가이드라인

대기질 가이드라인을 결정하는 과정에 있어 오염물질의 선택은 매우 중요하다. WHO 유럽지역사무소는 WHO Scientific Group에 의해 제안된 다음과 같은 기준을 토대로 하여 유럽지역의 각국을 대상으로 환경과 건강에 문제를 일으키는 물질을 확인하여 선정하게 되었다.

- ① 인간의 건강에 관찰되거나 또는 가능성이 있는 악영향의 세기와 빈도 : 비가 역적 영향은 특히 중요
 - ② 고농도의 존재
 - ③ 환경중에서의 구조변화와 신진대사에 있어 구조변화 : 독성효과를 갖는 화합물로의 변환에 관계
 - ④ 잔류성 : 환경중에서의 분해가 일어나지 않고 인간, 환경, 식물먹이사슬에 의해 축적되는 경우
 - ⑤ 폭로집단 : 폭로집단의 크기와 위해성 면에서 특별한 배려를 필요로 하는 집단
- 이외에 오염물질 선정 및 대상 오염물질의 가이드라인 설정계획의 시간적 제한과 선택한 화

합물에 대한 충분한 보고결과(예 : WHO Environmental Health Criteria Documents)가 있는지를 고려하여 <표 6-2>와 같이 28개의 화합물이 평가를 위해 선정되었다. 특히 1984년초 대기질가이드라인 프로젝트의 내용, 형식, 작업계획과 예정표가 제시된 후, 대기오염물질의 평가를 하기 위해 130명 이상의 전문가들에 의해 아홉차례의 회의가 개최되었다.

Working group의 회의 전에 가이드라인의 작성과 토론의 기초가 되는 과학적 사실에 기초한 보고서가 준비되어 회의 후 Working group의 의지와 추천수치를 포함하는 초안이 나왔다. 편집 group은 각각의 가이드라인의 기초원리의 적정성과 기준적용의 모순성등을 재평가하였다. 그리고 최종초안이 준비되어 이 지역의 정부, 대기질연구 혹은 대기질 관리에 관계되는 단체와 개인에, 재검토를 위해 제시되었다. 그리고 다시 결론을 최종평가하는 회의가 개최되어 대기질 가이드라인 결정의 과정이 종료되게 되었다.

<표 6-2> WHO의 위해성 평가를 위해 선정된 물질

무기 물질	유기 화합물
Arsenic	Acrylonitrile
Asbestos	Benzene
Cadmium	Carbon disulfide
Carbon monoxide	1,2-Dichloroethane
Chromium	Dichloromethane
Hydrogen sulfide	Formaldehyde
Lead	Polynuclear aromatic hydrocarbons
Manganese	(carcinogenic fraction)
Mercury	
Nickel	
Ozone/photochemical oxidants	Toluene
Nitrogen oxides	Styrene
Particulate matter	Trichloroethylene
Radon	Tetrachloroethylene
Sulfur oxides	Vinyl chloride
Vanadium	

자료: Background and purpose of the WHO environmental health criteria programme.In: Mercury. Geneva, World Health Organization, 1976(Environmental Health Criteria, No.1).

3. 독일

독일의 유해대기오염물질에 대한 배출규제는 4종류의 물질류(발암성물질, 무기금속, 무기가스, 유기화합물)에 대하여 각각 등급 I, II, III(무기가스는 IV까지)로 분류하여 관리하고 있다.

유해대기오염물질 배출허용기준의 경우, 1986년에 독일연방당국에서는 대기규제치를 보완하여, 약 160종류의 물질에 대하여 등급을 분류, BAT(Best Available Tech.)에 의한 배출기준을 설정하였다. 시설의 허가는 TA-Luft에서 규정한 배출기준을 따라야 하며, 발암물질 및 유기물질 대부분이 휘발성유기화합물(VOC)에 해당한다. 특히 대상시설에는 화학공장(드라이크리닝, 추출공정, 표면도장, 탈지시설 등을 포함), 식품공업, 인쇄, 도장산업, 폐기물소각시설 등이 있다.

4. 네덜란드

NEPP에 기준하여 「네덜란드 배출규제(NeR)」라고 하는 지침을 작성하였고, 많은 유해대기오염물질에 대한 배출기준을 BAT(Best Available Technology)의 방법에 근거하여 설정하였다. 배출기준을 적용받는 기업은 공장설립 허가를 취득할 때 지침을 참고하여 배출억제 대책을 수립하여야 한다. 특히 대기환경기준 설정항목에 있어서 주변 환경에 대해서는 배출기준을 충족시켜야만 한다.

환경기준치 설정은 인체건강 위해성 평가를 거쳐 발암성 물질과 비발암성 물질에 대한 최대 허용수준 및 목표치가 정해지면 그 사이에 사업자 등에게 적용하도록 하는 대기질 기준치를 정하고 있다(<표 6-3>, <표 6-4> 참조). 이러한 환경기준에는 최저한의 목표치와 달성 목표치가 내재되어 있으며, 이는 인체건강 위해성 크기, 사회·경제적 측면 및 관리가능성 등을 고려하여 결정된다. 현재는 위해성 하한값을 넘어선 물질을 대상으로 우선목록에 포함시켜 관리하고 있으며, 최대허용기준을 넘어선 물질이 가장 우선 지정대상이다.

<표 6-3> 네덜란드의 유해성 한계 고찰 방법

발암성물질		비발암성물질	
		수용 불가능 유해성	
최대 허용 수준 (Max acceptable level)	10 ⁻⁶ 년간 (10 ⁻⁴ 생애)		무작용량(NOAE)
Limit value			
		타당한 유해성 삭감	
Guide value			
목 표 치 (Target)	10 ⁻⁸ 년간 (10 ⁻⁶ 생애)		NOAE의 1/100
		무시하는 수준	

- 주 1. Limit value는 유해성, 경제성, 대책가능성을 고려하여 설정. 사업자에 있어서 최저 출발점
 2. Guide value는 사업자가 시간을 걸쳐서 노력해야 하는 목표.
 3. 목표치는 충분한 시간적 여유를 가지고 달성되기를 바라는 레벨. 이것보다도 작은 유해성은 무시한다.

자료 : 資源環境對策, 1995

〈표 6-4〉 네덜란드의 유해대기오염물질에 대한 대기질기준

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

물 질	Limit value	Guide value	Target value	측정 기간
1. 아크로레인	28			99.99 %/h
	8			98 %/24-h
	6			95 %/24-h
2. 아크릴로니트릴	1		0.1	year
3. 벤젠	10(2.86ppb)		1(0.29ppb)	year
4. 1,2-디클로로에탄			1	year
5. 에틸렌	300	120		99.99 %/h
	120	12		99.7 %/24-h
6. 에틸렌옥사이드			0.03	year
7. 브롬	2.8			day
	0.8			month
	0.4			growing season
8. 포름알데히드	100			99.99 %/h
	40			98 %/24-h
	30			95 %/24-h
	2.5			99.5 %/h
9. H_2S			1	year
10. 취하메탄			100	hour
			20	year
11. 염화메틸렌	5	0.5		year($\text{ng BaP}/\text{m}^3$)
12. PAV			1	year
13. 페놀			1	year
14. 프로필렌옥사이드			8	year
15. 스틸렌	50(8.52ppb)		50(8.52ppb)	year
16. 트리클로로에틸렌	300(51.1ppb)			98 %/h
17. 트리클로로메탄			1	year
(클로로포름)				
18. 테트라클로로에틸렌	2000(270.12ppb)	1000(135.06ppb)	25(33.77ppb)	year
19. 테트라클로로메탄	8300(1.12ppm=1212.01ppb)			98 %/h
20. 염화비닐			1	year
			1	year

제 2 절 도시지역 VOCs 농도분포

1993년과 1994년 동안 캘리포니아 환경보호국에서는 특히, 인체건강 및 환경에 영향을 미치는 여러 화학물질 및 병원체와 관련하여 상대적 위해성 순위 결정 프로젝트를 수행한 바 있다. 특히 주된 관심 대상의 하나인 배출원은 도시·산업 폐기물 매립지였으며, 매립종료 직전 또는 종료와 더불어 VOCs 관리대책이 적용되도록 하고 있다.

한편 외국의 주요 도시별 VOCs 농도자료와 난지도 매립지의 자료(<표 4-2> ~ <표 4-9> 참조)를 상호 비교할 경우, 난지도 매립지의 VOCs 농도가 비교적 높음을 알 수 있다.

<표 6-5> 외국 도시지역의 VOCs 농도 분포

(단위: ppb)

구 분	벤젠	톨루엔	에틸벤젠
Houston	3.0	6.8	1.9
Philadelphia	2.2	4.1	0.75
Boston	1.3	4.0	0.5
Tulsa	—	2.1	0.35
Milwaukee	0.7	2.3	0.4
Sidney	2.6	0.4	1.3

자료: Chemistry of The Natural Atmosphere.

<표 6-6> Staten Island (New York City, New York)의 VOC 측정 농도

(단위: ppb)

구분	농도	*AGC	**MDL
Benzene	0.86	0.04	0.2
Toluene	2.44	532	0.1
Ethylbenzene	0.46	230	0.04
p-Xylene	1.07	69.1	0.04
m-Xylene			
o-Xylene	0.42	161	0.04
Chloroform	0.04	4.7	0.04
Trichloroethylene	0.09	0.08	0.02
Tetrachloroethylene	0.23	0.18	0.04
Carbontetrachloride	0.06	0.01	0.06

주: “*” = Annual Guideline Concentration, “**” = Minimum Detection Limit

자료-1. New York State Department of Environmental Conservation 측정자료(측정기간 1994년 10월~12월)

제 3 절 매립지 VOCs 모니터링 관리 사례

1. 사례: Refuse Hideaway Landfill

1) 사례지역: Town of Middleton, Dane County, Wisconsin

매립지 상부 및 인근지역 실내 오염농도: 특히 벤젠의 경우 조혈기능 장애(범혈구감소증, 재생 불량성 빈혈), 부정맥, 발암성(백혈병) 등의 인체건강 위해 가능성이 있는 것으로 알려지고 있다.



〈표 6-7〉 Hideaway Landfill 배출 유해가스에 의한 위해도 평가

VOCs	매립지 상부 최고농도 (ppb)	인근지역 실내농도 (ppb)	암유발 임계치 (ppb)
Benzene	2,000	11*	2a
1,2-Dichloroethylene	ND	n/a	n/a
Tetrachloroethylene(PCE)	26,000	142	600a
Toluene	26,000	142	300a
Trichloroethylene	23,000	125	n/a
Vinyl Chloride	61,000	320*	2i

주: * = 발암유발 임계치(non-cancer comparison value)를 초과함

a = 미국 독성물질 및 질병관리청(ATSDR; Agency for Toxic Substance and Disease Registry)의 급성(<30일) 환경위해 평가지침

i = ATSDR의 중간(31일~365일) 환경위해 평가지침

자료: Wisconsin Dept. of Health and Social Service(1994).

2. 사례: 매립지 침출수 조사

Leachate 샘플은 침출수정(LH-1 및 LH-2)중 두군데에서 1987년 및 1988년에 채취하여 VOC 및 무기물질을 분석하고 있으며, 그 결과는 〈표 6-8〉에 제시하였다. 특징적인 모니터링 대상은 침출수 조사항목에 VOCs 항목이 추가되어 있다는 점이다.

〈표 6-8〉 매립지 침출수 조사 결과(예: Middleton, Dane County, Wisconsin)

항 목	well LH-1		well LH-2	
	8/88 ($\mu\text{g}/\ell$)	9/88 ($\mu\text{g}/\ell$)	8/88 ($\mu\text{g}/\ell$)	12/87 ($\mu\text{g}/\ell$)
Benzene	5	56	25	11
1,2-Dichloroethylene	2	5	불검출	2
Tetrachloroethylene(PCE)	불검출	불검출	불검출	불검출
Toluene	43	99	280	210
Trichloroethylene(TCE)	불검출	불검출	불검출	5
Vinyl Chloride	8	45	불검출	3

자료: RMT, Inc. Remedial Action Report for Refuse Hideaway Landfill, Middleton, Wisconsin, November, 1988, Tables 7-6 7-7

3. 사례: 매립지 인근 지하수 모니터링

1988년에 발행된 보고서에 의하면 주변 지하수가 매립지의 침출수에 의해 오염되었다고 보고된 바 있으며, 실제 조사결과 매립지 주변 지하수 오염의 정도는 예상했던 것보다 훨씬 심대한 것으로 밝혀졌다. 이에 주변 지하수 모니터링 15개 우물에서 채취한 샘플은 VOCs 및 무기물질을 분석하고 있으며, 1988년 인체건강문제와 관련한 오염물질의 조사결과는 〈표 6-9〉에 제시하였다.

〈표 6-9〉 매립지 인근 지하수 모니터링 결과예시

항 목	1987년 6월			1987년 8월			비교치 ($\mu\text{g}/\ell$)
	최소검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	최대검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	검출빈도	최소검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	최대검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	검출빈도	
Benzene	10*	24*	4/8	0	5	2/6	1.2a
1,2-Dichloroethylene	8	600*	6/8	19	620*	3/6	70b
Tetrachloroethylene(PCE)	34*	530*	7/8	2*	340*	6/6	1a
Toluene	1	3	3/8	1	2	2/6	343d
Trichloroethylene(TCE)	4*	180*	6/8	2	140*	5/6	3.2a
Vinyl Chloride	1*	130*	8/8	20*	200*	3/8	0.7c

주: 매립지에서의 특성, 그러나 well은 폐기물/쓰레기의 경계 바깥에 위치

*: 비교치 초과

a cancer risk를 10-6초과한 경우 구강암위험평가 지침

b US EPA의 성인 LTHA(Lifetime Health Advisory)

c 성인에 있어서 ATSDR의 만성 구강 EMEG(Environmental Media Evaluation Guideline)

d Wisconsin Public Health Groundwater Quality Enforcement Standard

자료: Creative Resource Ventures, Ltd. Infield Conditions Report on Refuse Hideaway Land. Table 6-3. 1/14/, 1988.

〈표 6-10〉 매립지 인근 지하수 모니터링(shallow monitoring wells) -1990년 12월 및 1991년 1월

항 목	매립지			매립지 외부			비교치 ($\mu\text{g}/\ell$)
	최소검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	최대검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	검출빈도	최소검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	최대검출농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	검출빈도	
1,2-Dichloroethylene	3	32	3/9	—	—	0/16	70c
Tetrachloroethylene(PCE)	3*	16*	5/9	2*	114*	5/16	1b
Trichloroethylene(TCE)	7*	28*	4/9	2	12*	3/16	3.2d
Vinyl Chloride	6*	525*	5/9	—	10*	1/16	0.7d

주: *: 검출량이 비교치 초과

a 모니터링 well은 매립지내 및 외부에 위치, 그러나 Superfund site는 아님(모니터링 well 없음)

b cancer risk를 10-6초과한 경우 구강암위험평가 지침

c US EPA의 성인 LTHA(Lifetime Health Advisory)

d 성인에 있어서 ATSDR의 만성 구강 EMEG(Environmental Media Evaluation Guideline)

자료: Hydro-Search, Inc. Groundwater Monitoring Study at the Refuse Hideaway Landfill, Middleton, Wisconsin. Table 5-16.
Brookfield, Wisconsin: June 24, 1991.

4. 사례: 매립지 주변지역 VOCs 모니터링

매립지 인근지역에서의 VOCs 농도를 측정하여 매립지에 의한 영향을 파악하기 위해 실내 VOCs 농도를 측정·비교한 결과, 매립지로부터의 확산 가능성은 우려할만한 수준은 아닌 것으로 분석되고 있다.

〈표 6-11〉 매립지 가스 VOC 농도 및 주변 빌딩의 실내 대기질 추정

구 분	매립지가스 최대검출농도 (ppb)	빌딩에서의 농도 예측 (ppb)	Non-cancer 비교치 (ppb)
Benzene	2,000	11*	2a
1,2-Dichloroethylene	ND	n/a	n/a
Tetrachloroethylene(PCE)	26,000	142	600a
Toluene	26,000	142	300a
Trichloroethylene(TCE)	23,000	125	n/a
Vinyl Chloride	61,000	320*	2i

* Non-cancer 비교치 초과

ND : 불검출

a : ATSDR 급성(<30일) 환경 미디어 평가 지침

i : ATSDR 중간(31~365일) 환경 미디어 평가 지침

s : 초기한계치 - 단기간 노출한계(15분간 최대 노출시킴)

5. 사례: New Jersey Landfills

1) 사례지역: New Jersey의 7개 매립지

뉴저지주의 과학기술연구부(OSR)는 매립 종료된 6곳의 유해폐기물 매립지와 1곳의 위생매립지를 대상으로 VOCs 배출성분을 모니터링한 결과, VOCs의 농도가 전형적인 도시지역의 VOCs 농도보다 높게 측정되고 있다.

〈표 6-12〉 지점별 목표 오염물질의 산술평균(ppbv)

오염물질	GEMS	BC	KRA	LP	WOOD	EDGE	PP	MAX
vinylidene chloride	—	0.50	38.9	2.80	1.50	2.63	0.4	96.7
methylene chloride	0.1	0.62	12.3	0.90	1.10	1.79	2.37	53.8
chloroprene	—	—	—	—	—	—	—	—
chloroform	0.34	0.70	0.82	0.21	0.08	0.07	0.13	4.74
1,2-dichloroethane	0.01	—	0.36	0.04	—	—	—	5.15
1,1,1-trichloroethane	0.41	0.55	2.61	0.82	0.65	1.28	1.72	14.7
benzene	4.81	2.60	7.51	1.12	0.65	3.33	2.19	21.5
carbon tetrachloride	0.06	0.14	0.12	0.05	0.03	0.02	0.06	0.60
trichloroethylene	0.39	0.40	2.43	0.13	0.08	0.32	0.28	12.3
dioxane	—	—	0.01	—	—	—	—	—
1,1,2-trichloroethane	0.02	0.22	1.22	0.32	0.33	0.12	0.26	6.91
toluene	40.5	12.6	46.5	15.2	3.37	27.8	4.23	228
1,2-dibromoethane	0.27	0.28	0.47	0.07	0.05	0.02	0.01	6.71
tetrachloroethylene	0.90	1.15	1.91	0.25	0.12	1.42	0.31	7.24
chlorobenzene	0.51	0.13	0.80	0.33	0.09	0.14	0.05	4.49
ethylbenzene	3.42	0.84	3.85	0.61	0.14	1.56	0.27	19.0
m,p-xylene	9.53	2.30	7.43	1.47	0.38	3.42	0.91	57.2
styrene	0.60	0.32	1.53	0.13	0.12	0.43	0.12	15.5
o-xylene	2.95	0.98	2.31	0.39	0.15	0.93	0.29	13.8
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.35	0.06	0.78	0.02	0.01	0.01	0.03	11.4
o-chlorotoluene	0.40	0.09	0.50	0.08	0.02	0.02	—	5.30
p-chlorotoluene	0.70	0.09	0.54	0.09	0.03	0.07	0.05	4.19
p-dichlorobenzene	0.31	0.09	0.54	0.09	0.03	0.07	0.04	8.40
o-dichlorobenzene	0.33	0.09	0.86	0.12	0.05	0.07	0.04	8.40
nitrobenzene	1.32	0.20	0.54	0.13	0.01	—	0.02	10.3
naphthalene	0.86	0.23	0.30	0.12	0.10	0.08	0.20	3.46

주1) 샘플은 BC, KRA, LP, WOOD, PP, 및 Edge에서 3일간 포집한 것이며, GEMS의 경우는 5일간 포집한 것임.

2) 평균치는 각 매립지별 매일 매일의 5개 지점에 대한 데이터에서 구한 것임.

3) GEMS: GEMS Landfill, BC: Bog Creek Farm, Kra: Kramer Landfill, LP: Lone Pine, Wood: Woodland #532, Edge: Edgeboro Sanitary Landfill, PP: Prices' Pt

제 4 절 매립지 VOCs 모니터링 과정

1. 미국

1) 매립지 배출가스 모니터링

(1) 개요

1950년대 캘리포니아 지역에서 위생 매립지가 조성되면서부터 매립지 매립가스에 관한 관심이 제기되어 왔다. 이에 1986년 캘리포니아 대기자원 위원회는 도시고형폐기물 매립지에서 배출되는 매립가스에 의한 환경영향을 평가하기 프로그램을 제안하게 되었다.

한편 캘리포니아 폐기물 관리국은 매립지 배출가스(LFG) 모니터링의 신뢰도를 향상시키기 위해 매립지의 LFG 모니터링에 이용될 수 있는 표준절차를 제시하고 있다. 특히 매립지 환경성 검토와 조사를 위한 LFG 샘플링은 공인된 매립지 경계와 내부지점에서 수행되도록 권고하고 있다.

캘리포니아 폐기물관리법(Title 27 CCR Section 20919)에 따라 환경성 검토대상 매립지의 경우 매립가스 배출에 의한 위해성 또는 악취 유발의 가능성이 있는 것으로 판단되면, LFG 이동을 제한할 수 있는 대책 수립과 병행하여 모니터링을 수정하도록 규정하고 있다.

(2) 모니터링 방법

일반적으로 수행되는 매립지 매립가스 모니터링 방법은 첫째, LFG 제어 여부 또는 관리대상 지점을 선정하기 위한 스크리닝 모니터링과, 둘째, LFG 성분분석과 가스발생 지점을 판별하기 위한 특별 모니터링으로 구분된다. 매립가스에 의한 환경영향을 사전에 예방하기 위해서는 두 가지 모니터링 방법의 혼용이 권장되고 있음은 물론이다.

〈표 6-13〉 매립지 매립가스 모니터링 구분: 스크리닝과 특별 모니터링

구 분	스크리닝 모니터링(Screening Monitoring)	특별 모니터링(Specialized Monitoring)
목적	• 매립가스 제어 여부 또는 관리대상 지점 선정을 위한 약식 모니터링	• 매립가스의 분석 또는 가스발생 지점을 판별하기 위한 특별 모니터링
활용	• 일반적으로 매립시설 검사에서 매립가스의 이동 여부를 결정하는데 이용 • 관리상의 문제여부를 파악하기 위한 정밀 모니터링의 전단계 • 적정 모니터링 시스템의 구축을 확인하기 위한 과정	• 스크린모니터링 이후 수행 • 보다 추가적인 매립가스 관리정보가 필요할 경우에 수행 -포집정의 특징, LFG 분석시 활용

2) 매립지 배출가스 모니터링의 부문요소

캘리포니아 폐기물관리국은 매립지 배출가스의 잠재적 위해성, 그리고 주변지역에 미치는 환경영향을 평가하기 위한 모니터링의 경우, 매립지 하부지역 모니터링, 매립지 상부 모니터링, 그리고 매립지 인근지역 토지이용에 대한 영향평가 등과 같이 3가지 부문요소로서 구성되어 있다. 이와 같은 분류는 매립가스의 탐색과 평가방법이 상호 차별적으로 나타나기 때문이다.

(1) 매립지 하부지역 모니터링(Monitoring of the Subsurface)

매립지 매립가스 모니터링의 일차적인 목적은 매립가스의 이동을 제어하는데 필요한 제반 조치를 평가하여, 모니터링 체계 설계시 이를 반영하고 효과적인 운영을 도모함에 있다. 이 경우 매립가스 탐침봉의 위치선정은 매립층 구조와 주변지역 토지이용을 고려하여 결정되어야 한다. 또한 매립가스의 이동은 토양 및 암석층의 침투성·투과율에 영향을 받기 때문에 지질학적 요소를 병행 고려하여 설치하여야 한다.

(2) 매립지 상부 모니터링(Monitoring of Surface Emissions)

매립가스의 이동 제어는 이차적으로 유해가스가 대기로의 확산됨을 저감하여 유해가스에 의한 부정적 영향을 예방하고, 한편으로는 지하로의 가스이동을 감소하여 에너지를 회수·이용함에 있다. 그러나 매립지 상부 모니터링의 경우 기본적으로 미량이나마 대기 상태로 배출됨으로써 유해가스에 의한 직접적인 인체건강 피해를 줄이고, 오존오염 형성에 따른 추가적인 영향을 최소화하기 위한 목적에서 고려되는 유해가스 성분분석과 농도측정이 중점사항이다.

(3) 매립지 인근지역 토지이용에 대한 영향평가(Monitoring of Structure)

매립 종료된 매립지를 새로운 토지이용 대상으로 전환할 경우, 배출 가능한 유해가스에 의한 영향을 지속적으로 판단하고 분석할 수 있는 모니터링이 또한 필요하다. 특히 매립지 상부의 피복 상태가 강우·기체의 투과율이 높을 경우에는 매립가스의 표면발산에 취약하기 때문이다.



〈그림 6-1〉 캘리포니아 사크라멘토시의 매립지 토지이용에 따른 매립가스 모니터링 설치지점

2. 유럽

(1) 개요

현재 영국의 경우 약 11,000개 매립지가 있으며, 이 가운데 약 300개 매립지에서 매립가스가 배출되고, 매립가스의 대부분은 메탄과 이산화탄소 성분인 것으로 분석되고 있다. 그러나 매립가스 배출 매립지 가운데 약 50여 곳에서는 매립가스의 모니터링을 실시하고 있으나, 정기적인 모니터링 절차는 제도화하지 못한 것으로 파악되고 있다(매립가스 측정은 일주일에 한 번 또는 두 번 이상 하지 않음). 이러한 경향은 영국뿐만 아니라 독일에서도 유사한 맥락을 보였었다.

그러나 매립지에서의 가스 배출은 매립지의 안정화 조건뿐만 아니라 지역 환경수준에 영향을 미치는 주된 요인의 하나로 등장하고, 또한 현행 매립가스 관리의 한계를 감안하여, 영국과 독일에서는 매립지를 대상으로 배출가스의 연속측정을 통해 관리하고 있다. 즉 1993년 이후부터 매립지를 대상으로 연속자동 모니터링 시스템의 설치가 제도화되고 있다.

이와 같이 배출가스 모니터링은 매립지 관리·운영의 핵심요소로서, 법적 요건의 일부가 되고 있다. 한편으로는 가스이동의 가능한 경로를 파악하기 위한 목적에서 매립지 층위분석에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

(2) 매립가스 모니터링 과정

매립가스 모니터링의 주된 목적은 배출가스의 검출과 단위시간당 배출량을 예측하고, 시간 변화에 따른 배출량 변화, 그리고 고농도의 매립가스 배출지점을 예측함에 있다. 이러한 모니터링 과정에는 매립가스의 생산 속도, 가스포집 및 이송과 관련된 정보가 파악되어야 한다.

또한 매립지 주변지점에서의 매립가스에 의한 환경영향, 토양오염 등을 예측하기 위해서는 매립지 배출 유해가스 배출량을 산정하는 것이 필수적인 바, 다음과 같은 4가지 단계를 제시하고 있다.

첫째, 매립가스 생산량의 결정

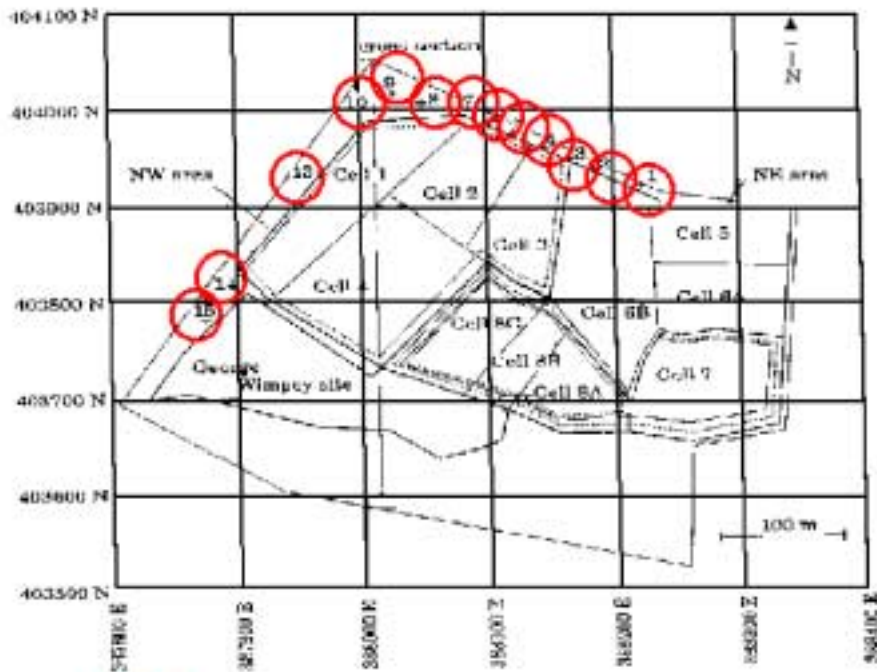
둘째, 지질학적 관점에서의 매립층 분석(토양 공극, 포화 정도 등)

셋째, 환경매개변수의 영향분석(기상, 기압, 강우량 등)

넷째, 예측치와 모니터링·실제 측정치와의 비교검토

(3) 매립가스 모니터링 사례: Chadderton 매립지

영국과 독일의 18개소 매립지를 대상으로 살펴본 배출가스 정기 모니터링 수집정보는 매립가스 배출량과 우수/침출수량·기온·기압 등과의 관련성 분석에 중점을 두고 있다. 특히 수위 변동에 따른 대기압 변화는 배출가스 제어에 중요한 요소로 활용될 수 있음을 보여주고 있다.



주: +숫자는 매립가스 시추공 위치를 의미함.

〈그림 6-2〉 영국 Chadderton 매립지 매립가스 추출공 모니터링

영국의 Chadderton 매립지 규모는 17ha(17×104 m²)이며, 현재 북동지역에서 매립과정이 진행 중이다. 매립가스의 배출상태를 모니터링하기 위해 55개의 매립가스 시추공(길이: 8m~20.5m, 직경: 38.1~150mm)을 20m~100m 간격으로 매립지 주변에 링 모양으로 설치하고 있다. 그러나 Chadderton 매립지의 매립가스 생산은 매립지 지점별 0~60% 정도 편차가 있으며, 이는 폐기물 조성·압축정도·수분함량 등의 차이에 기인하기 때문이다.

이에 매립가스 모니터링을 위한 연속적이며 지속적인 시스템 구축이 제안되고 있다. 특히 매립지 지점별 최대가스농도의 평가, 폐기물 분해시간에 따른 매립가스 조성변화를 분석하기 위한 시추공별 모니터링, 그리고 매립가스와 토양·대기와의 혼합도 등이 매립가스 모니터링 구축의 핵심과제로서 선정되고 있다.

第Ⅶ章 난지도 매립지의 유해가스 관리방안

제 1 절 선결과제

제 2 절 매립가스 모니터링의 우선순위 선정

제 3 절 위해성 평가 4단계를 활용한 VOCs 모니터링

제 4 절 HDPE 포설·복토에 따른 VOCs 측정·분석 및 위해도 평가

제 5 절 매립종료 매립지 사후관리 규정의 법적 근거 보완

제 6 절 매립시설 모니터링 및 매립가스 재활용의 장기계획 평가

제 VII 장 난지도 매립지의 유해가스 관리방안

제 1 절 선결과제

매립지에서 발생하는 주요성분은 메탄, 이산화탄소, 질소, 산소, 수분 등이며, 수집중의 미량성분이 함유되어 있다. 메탄가스는 화재 및 폭발의 위험성을 제공하며, H₂S, NH₃ 등은 악취를 유발시키고, 각종 유해미량성분은 인체 건강에 유해할 뿐만 아니라 식물성장을 저해하기도 한다. 특히 매립지에서 배출되는 유해 미량 물질인 휘발성유기화합물질(VOCs)은 최근의 국내·외에서 추진되는 유해물질 규제동향과 더불어 각별한 주의를 필요로 하고 있다.

이에 난지도 쓰레기 매립지의 친환경성 부여를 통하여 종래의 “버려진 땅” 또는 “매립지”라는 부정적 이미지를 개선하고, 한편으로는 안정화 기간내 적절한 활용으로 향후 토지이용의 합리성을 도모하고자 하는 시각에서 “기회의 땅”을 위한 타당성 검토의 선결과제는 휘발성유기화합물질에 의한 유해성을 사전에 저감하고, 피해를 최소화함에 집중되어야 한다.

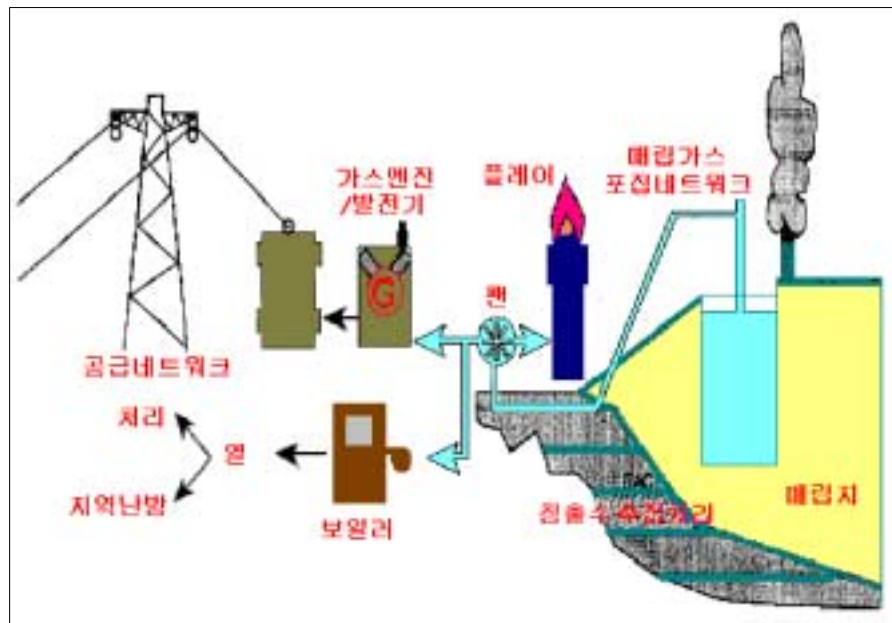
특히 난지도 매립지의 경우 서울시 지역에서 배출된 모든 유형의 폐기물이 체계적으로 선별 매립되지 못하고, 혼합처리됨으로써 지하수 오염, 토양오염 뿐만 아니라 대기오염물질의 합리적인 관리에도 한계를 나타내고 있음에 VOCs 모니터링 및 관리대책 수립은 시급한 당면과제로서 대두되고 있다.

그러나 현행 폐기물관리법 제47조(폐기물처리시설의 사후관리), 동법 시행령 제27조(사후관리 대상), 시행규칙 제51조(사후관리기준 및 방법) 등의 규정에 의해 매립 종료된 매립지를 대상으로 휘발성유기화합물질(VOCs)의 경우 벤젠, 톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠 등 4개 항목만 분석하고 있으나, VOCs 배출량·배출성분·인체 위해도 가능성 등에 관한 분석은 아직까지 뚜렷한 성과가 없는 상태이다.

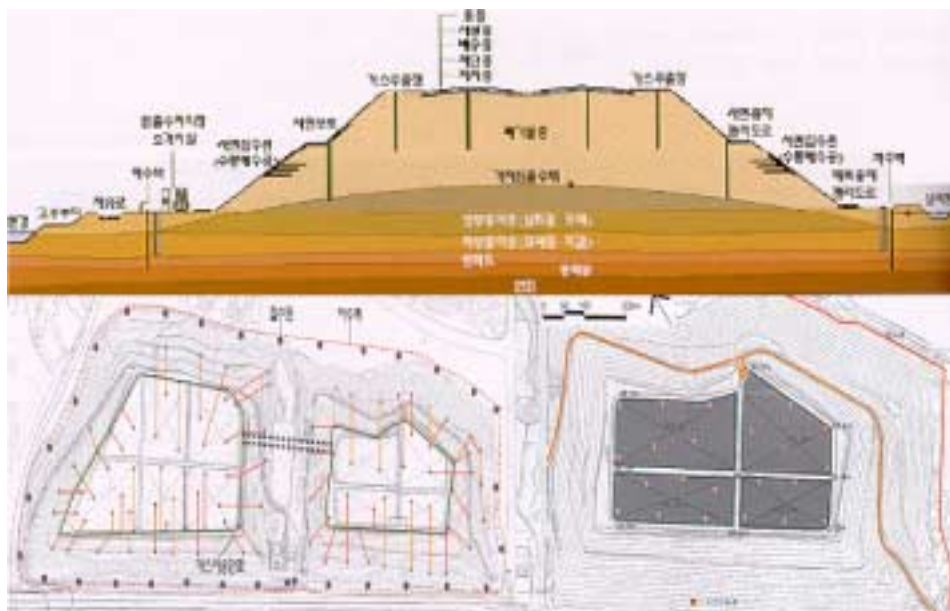
본 연구에서 상반기(3월·5월)와 하반기(8월·10월)에 측정·분석한 결과에 의하면, 인체건강에 위해한 VOCs 미량성분이 검출되는 것으로 조사되고 있고, 또한 특정 오염물질의 경우에는 지금과 같이 VOCs의 배출·확산이 난지도 매립지 상부·배출공·사면에서 이루어 진다면 향후의 매립지 토지의 활용시 이용시민과 주변 지역주민에 대한 인체건강 위해성이 추정될 수 있는 것으로 분석되고 있다.

다만, 현재와 같은 VOCs 배출양상은 매립지 상부에 HDPE를 포설하고, VOCs 포집공·사면 등에서의 확산제어, 그리고 (그림 7-1>과 같은 매립가스의 포집처리(에너지원으로서의 재활용: 지역 열병합 발전), VOCs 모니터링 등을 통하게 되면, 현재와 비교하여 환경 위해성을 최소화

할 수 있을 뿐만 아니라 매립지 매립가스 재활용의 이점을 낳을 수 있게 될 것이다.



〈그림 7-1〉 매립지 매립가스의 에너지 회수체계도



〈그림 7-2〉 난지도 매립지 매립가스 포집공 위치도

제 2 절 매립가스 모니터링의 우선순위 선정

1. 매립가스 포집효율의 향상

난지도 매립지의 안정화 사업을 진행함에 있어 기본설계과정에서 매립가스 발생량 전량을 포집할 목적으로 상부 20%, 사면부 80%의 가스 추출설비를 계획한 바 있었다. 그러나 외국 매립지의 매립가스 포집·활용실적이나 관련 문헌에 의하면 100% 포집은 사실상 불가능한 것으로 조사되어, 현재 매립지 상부 및 사면에 대하여 약 75% 정도의 가스포집이 가능하도록 설계가 진행되고 있다.

한편 최근 미국 환경청(EPA)에서 보고한 연구자료를 원용하게 되면, 매립지 매립가스의 포집과 에너지원으로의 재활용의 경우 매립가스 포집 효율은 효율적인 포집시설이 전제되면 약 85% 수준 이상 달성 가능한 것으로 제시하고 있다(U.S. EPA, 1999).

이러한 연구결과는 결과적으로 난지도 매립지 유해가스 배출에 의한 위해 가능성을 저감하기 위한 가장 효율적인 방법은 첫째, 매립가스 포집효율의 향상, 둘째, 매립가스 배출 취약지점의 집중관리, 셋째, 매립지의 표준모니터링 지점별 VOCs 측정 등으로 요약할 수 있음을 시사한다.

2. 매립가스 포집효율과 VOCs 오염농도 저감

본 연구의 상반기·하반기에 측정·분석한 VOCs 농도를 바탕으로 난지도 기본설계보고서상의 75% 매립가스 포집 설정에 의한 위해도 평가의 경우, 가장 최악의 호흡노출 시나리오인 Lifetime 노출의 경우에도 발암성 물질 모두 미국 환경청(U.S. EPA)의 안전기준을 초과하지 않는 수준으로 평가되고 있다. 또한 비발암성 물질의 노출에 의한 위해도(Hazard Quotient)지수는 매립지와 주변지역 모두 “1” 이하 수준으로 나타나, 모든 평가대상 지역에서의 위해도는 유의할 수준은 아닌 것으로 분석되고 있다.

특히 미국의 포집설계 효율을 적용하면 더욱 개선될 것으로 추정되어, 성인호흡 노출시나리오에 의한 인체건강 위해성은 안전용량 이하수준으로 기대된다.

이와 같이 난지도 매립지 매립가스에 의한 인체건강 위해평가와 관련하여, 유해물질 관리대책의 가장 효율적인 방법은 매립가스의 포집효율을 증진시키는 방안임을 알 수 있다. 연후에 매립가스 배출에 취약한 매립지 지점별 파악과 모니터링, 가스포집시설에서의 유해가스 누출 여부 등을 관리하기 위한 “유해가스 모니터링 점검표의 작성과 활용방안”을 고려할 수 있다. 점검표 작성과 활용은 캘리포니아 폐기물 관리국의 “매립지 배출가스(LFG) 모니터링의 신뢰도를 향상시키기 위한 LFG 모니터링의 표준절차”와 유사한 의미이다.

제 3 절 위해성 평가 4단계를 활용한 VOCs 모니터링

1. 매립지 유해가스 모니터링의 단계별 절차

캘리포니아 폐기물관리법(Title 27 CCR Section 20919)의 규정과 같이 환경성 검토대상 매립지의 경우 매립가스 배출에 의한 위해성 또는 악취 유발의 가능성이 있는 것으로 판단되면, LFG 이동을 제한할 수 있는 대책 수립과 연계된 모니터링 규정을 현행 폐기물관리법에 명문화할 필요가 있다.

또한 매립지 배출가스의 잠재적 위해성, 그리고 주변지역에 미치는 환경영향을 평가하기 위한 모니터링의 경우에는 매립지 하부지역 모니터링, 매립지 상부 모니터링, 그리고 매립지 인근 지역 토지이용에 대한 영향평가 등과 같이 3가지 부문요소로서 분류하여 유해가스 모니터링의 단계별 절차가 마련되어야 한다. 이는 매립가스의 탐색과 평가방법이 상호 차별적으로 나타나기 때문이다.

2. 유해가스 모니터링 점검표의 작성과 활용

매립지 배출 유해물질에 의한 인체건강 위해성 평가는 4단계로 구성되어 제5장에서 전술한 바와 같다. 이에 위해성 평가 4단계를 활용한 VOCs 모니터링 계획 예시안은 <표 7-1>~<표 7-3>과 같으며, VOCs 배출양상·노출경로 파악·위해도 평가과정 등이 예시와 같이 모니터링이 될 수 있도록 할 필요가 있다.

① 유해가스 배출가능성 평가: 유해물질의 확인(Hazard Identification)

인체건강에 유해한 영향을 미칠 수 있는 매립가스의 발생 여부와 지속 가능성을 판단하기 위한 목적에서 현행 매립가스 관리체계의 적합성 판단, 대기중으로의 방출 여부, 배출지점의 탐지와 제어, 그리고 사후보고 등을 통해 유해가스의 배출 가능성을 파악하기 위한 과정이다.

② 배출경로 분석평가: 유해가스의 이동, 포집 및 처리단계 분석평가

매립지 유해가스의 배출지점이 파악되면, 당해 지점과 주변지역에 미치는 위해 가능성을 저감하기 위해 확산의 용이성, 매립가스의 포집, 그리고 포집된 매립가스의 안전처리 등을 분석·평가하는 단계이다.

③ 유해가스 노출과 위해도 평가: 노출평가와 위해성 결정(Exposure Assessment & Risk

Characterization)

유해가스 배출에 의한 인체호흡 노출량과 위험도(Risk)를 판단하기 위해 VOCs 항목분류 및 안전성을 파악하는 최종 모니터링 단계에 해당된다.

〈표 7-1〉 배출가능성 평가: 예시1

구 분	예	부분적	아니오	점수
평 가 기 준				
적절한 관리체계가 있는가		○		2
완전히 밀폐되었는가		○		2
비상시 대책이 마련되었는가	○			1
불만제기에 대한 적절한 처리체계가 있는가			○	3
감시체계가 갖추어져 있는가		○		2
보호조치가 있는가			○	3
배출원인행위가 종료되었는가	○			1
배출물질중 유해물질은 없는가			○	3
계	2	6	9	17

주: 전체점수 20점 이상 : 상, 13~19점 : 중, 12점 이하 : 하
자료: 서울시(1996).

〈표 7-2〉 배출경로 분석평가: 예시2

평 가 기 준	예	부분적	아니오	계
지형상 대기확산이 어려운가			○	3
매립가스를 포집하고 있는가			○	3
매립가스를 처리하고 있는가			○	3

자료: 서울시(1996).

〈표 7-3〉 VOCs 노출 및 위험도 평가: 예시3

구 분	점 수	평 가
대기오염물질 중 검출된 항목 없음	0	
대기오염물질 검출	1	
특정대기오염물질 검출	2	
발암성 대기오염물질 검출	3	○
화재 및 폭발가능성이 있는 농도	4	

자료: 서울시(1996).

제 4 절 HDPE 포설·복토에 따른 VOCs 측정·분석 및 위해도 평가

난지도 매립지 배출 VOCs 측정결과에 의하면, 난지도 매립지 및 주변지역의 VOC 농도분포의 경우 가스 배출공을 제외하면 주변지역과 내부지점간 농도 편차는 크게 나타나지 않고 있다. 다만 오염물질별 농도는 가스배출공·매립지 상부·사면·주변지역의 순서로 높게 나타나고 있다. 결과적으로 매립지 및 주변지역의 지점별 VOCs 농도분포를 감안하면 현재 별다른 관리가 이루어지지 않은 상태에서 매립가스가 배출공에서 배출되기 때문에, 다른 지점에 비해 VOCs 농도가 높게 나타나게 됨을 시사하게 된다.

이와 같이 가스배출공 다음으로 매립지 상부지역에서 VOCs 농도가 높은 원인은 배출공의 영향을 광범위하게 받고 있기 때문이며, 그리고 사면지역에서 나타나는 농도는 배출공에서 배출·확산된 매립가스의 영향으로 추정된다. 특히 제1매립지와 제2매립지의 VOCs 측정농도를 상호 비교할 경우 제2매립지의 농도가 낮은 원인은 제2매립지의 경우 복토가 완료되었고 가스 추출작업이 진행되고 있음에 기인한다. 결과적으로 매립지 상부복토, 사면식재 및 관리, 가스포집·재활용 등과 연계된 난지도 매립지의 안정화 작업이 종료된 후에는 대기오염물질의 농도가 더욱 낮아지게 될 것이다.

이에 난지도 매립지의 HDPE 포설과 복토작업이 완료된 후, 2001년 상반기에 제1매립지와 제2매립지를 대상으로 VOCs 배출양상의 추가 모니터링을 통해 매립지 상부와 사면지점에서의 VOCs 농도측정과 HDPE·복토에 따른 VOCs 농도저감 효율성을 판단하는 다음과 같은 작업이 필요하게 된다.

첫째, VOCs 모니터링을 통한 매립지 및 인근지역에서의 위해도 비교평가

둘째, VOCs 배출 취약지점인 사면부 중심의 측정·관리의 필요성 판단

그리고 향후 난지도 매립지 매립가스의 포집효율을 적절히 조정할 수 있는 예비능력을 반영한 실시설계의 전제조건 충족, 그리고 사면부 생태복원을 위한 녹지조성방안과 연계가 이루어질 경우, 매립지 VOCs 오염농도는 현저히 저감될 수 있을 것이다.

제 5 절 매립종료 매립지 사후관리 규정의 법적 근거 보완

현행 폐기물관리법 제47조(폐기물처리시설의 사후관리), 동법 시행령 제27조(사후관리대상), 시행규칙 제51조(사후관리기준 및 방법) 등의 규정에 따라 매립 종료된 매립지의 사후관리가 행해진다. 이에 1993년 이후부터 사용 종료된 난지도 폐기물 매립시설을 대상으로 4개 분야 49

개 환경항목을 측정하여 환경오염 여부에 관한 지속적인 관리를 도모하고 있다.

그러나 매립지에서 배출되는 휘발성유기화합물질(VOCs)의 경우 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠 등 4개 항목만 분석하고 있으며, VOCs 배출량·배출성분·인체 위해도 가능성 등에 관한 분석은 다소 미흡한 상태이다.

이에 앞서 제4장에서 측정·분석한 VOCs의 조성분류와 같이, 인체건강 위해 가능성이 높은 VOCs의 지속적인 관리와 모니터링이 수행되기 위해서는 기본적으로 폐기물관리법상의 매립종류 사후관리 규정을 개정하여 포괄적인 VOCs 측정이 이루어질 필요가 있다. 또한 매립성분 구분에 의한 매립지 특성별 배출가능 유해물질목록의 작성과, 이를 통한 VOCs 관련 사후관리지침에 의한 관리가 필요하다.

제 6 절 매립시설 모니터링 및 매립가스 재활용의 장기계획 평가

1. 모니터링 개요

모니터링이란 매립 중 및 매립완료 후에 매립지의 환경 및 안정관리를 위하여 정기적 또는 부정기적으로 매립지를 조사 및 평가하는 것으로, 환경영향평가나 매립지 환경정비계획에 대한 사후조사도 포함된다.

현행법상 매립중 및 종료후 사후관리를 위하여 매립시설이 주변환경에 미치는 영향에 대한 종합보고서를 사용 종료 후 매 5년마다 20년 동안 작성하도록 되어 있다(정하익, 1998). 이에 모니터링 항목 중 매립가스 부문만 제시하면 <표 7-4>와 같다.

<표 7-4> 매립가스 모니터링 항목 및 주기

위 치	항 목	모니터링 주기
매립가스	정압, 흐름, 온도, 메탄농도 등	주1회
집수트렌치	정압, 흐름, 온도, 메탄농도 등	주1회
집수정	정압, 흐름, 온도, 메탄농도 등	일1회
LFG 연소실	압력, 산화가스농도	월1회
가스이동 탐침	양	월1회
응축기	질	월1회

2. 가스 모니터링

매립지 및 오염지역 주변의 가스는 모니터링 되어야 한다. 토양을 통한 가스의 이동가능성이 희박하다 하더라도 최소한의 모니터링 작업은 수행되어야 하기 때문이다.

매립가스의 모니터링에는 지상가스 모니터링과 지중가스 모니터링으로 분류된다. 먼저 지중가스 모니터링은 지하수조사정과 유사한 가스조사정을 오염지역이나 매립지 주위에 설치하여 수행하며, 모니터링 지점을 선정하기 이전에 지층구조의 조사가 선행되어야 한다. 보통 지층내의 가스는 사질토층이나 암석의 절리면을 따라 이동하므로 가스탐침을 설치하기 이전에 가스의 이동통로를 파악해야 한다. 이 경우 가스탐침의 바닥은 보통 지하수면 상부에 위치하도록 할 필요가 있다(Bachi.1990; 정하익1998).

이에 매립지에서는 보통 메탄가스의 농도가 주요 모니터링 대상이 되나, 다른 유해가스도 조사항목에 포함되어야 한다. 매립지에서 가스탐침을 통하여 조사된 결과를 보면 가스농도는 측정시기에 따라 굉장히 변화가 심하게 나타나므로 가스모니터링은 가스의 이동이 예상되는 계절에 7~8일 정도를 선정하여 하루에 2번 정도 실시할 것을 제안하고 있다(Bachi, 1990). 한편 난지도 매립지 안정화 공사와 관련하여 가스포집 및 처리시설의 검토내용에 따른 제안사항은 다음과 같다.

난지도 매립지 안정화 공사-실시설계보고서(1996.9)

- 가스포집처리 -

1. 가스포집방법

- 폐기물관리법에 따르면 난지도와 같은 대규모 매립시설에는 깊은 가스추출관을 설치하고 송풍기에 의한 강제 추출방법으로 가스를 처리토록 규정
- **기본설계:** 기본설계에서는 자연추출방식과 강제추출방식을 비교하여 가스포집효율이 높은 강제추출방식을 선정하였으며, 상부 및 사면에 가스추출정을 설치하되 상부보다는 사면에서의 가스발산량이 많다는 조사자료(2배에서 최고 36배)에 근거하여 사면포집에 중점을 두었으며 상부에는 수직이동하는 가스포집을 위해 HDPE sheet에 의한 차수재를 포설하고 중앙에는 수직추출정과 수평포집트렌치 설치계획.
- **검토의견:** 수평포집 트렌치는 설치에 소요되는 노력과 비용에 비하여 자연압에 의한 포집방법이므로 포집효율에 문제가 있으며 침하에 따른 유지관리가 곤란하고, 사용종료된 매립지에 적용하기에는 적합하지 않은 것으로 판단.

2. 매립가스 포집범위

- **기본설계:** 발생가스량 전량을 포집할 목적으로 상부에서 20%, 사면부에서 80%의 가스추출설비를 계획한 바 있으나, 외국 매립지의 실적이나 관련 문헌에 의하면 100% 포집은 사실상 불가능한 것으로 조사되었으며 가스포집에 소요되는 비용이 지나치게 높아져 비경제적인 계획 가능성.
- **검토의견:** 경제성을 고려하여 우선 가스포집이 가장 효율적인 매립지 상부 및 사면(EL 65M)에 대하여 약 75% 정도의 가스포집이 가능하도록 계획.

난지도 매립지 안정화 공사-실시설계보고서(1996.9)
- 가스포집처리(계속) -

3. 가스포집시설

구분	추출정규격(MM)	추출관경(MM)	설치관깊이(M)	설치간격(M)	수량(공)
상부	600	200	60	120	55
사면부(EL. 65M)	600	200	40	120	51

4. 수직추출정

구 분	추출정별 포집원단위 (m ³ /min)	계		제1매립지		제2매립지		포집비율(%)
		수량(공)	포집가스량(m ³ /min)	수량(공)	포집가스량(m ³ /min)	수량(공)	포집가스량(m ³ /min)	
상부	3.53	55	195	32	113	23	82	75
사면부(EL.65m)	3.53	51	180	26	92	25	88	-
계	-	106	375	58	205	48	170	

3. 매립가스 재활용의 장기계획 평가

매립지 매립가스 발생량 예측을 위한 미국 환경청의 추천모델인 LANDGEM 모델을 활용한 난지도 매립지 유해가스 발생량 예측결과에 의하면, 1994년~1995년을 정점으로 하여 점차 매립가스 발생량은 급격하게 감소하고 있음이 나타났다. 2000년의 경우 메탄 1.76E+05 Mg, NMOC 7.58E+03 Mg, Benzene 1.91E+01 Mg 정도의 발생량이 추정되나, 2010년의 발생량은 2000년과 비교하여 각각 64.5%, 64.8%, 64.7%씩 감소하는 것으로 예상되었다.

그러나 매립지 배출 유해가스에 의한 위해 가능성은 배출가스 포집·활용과 같은 특별한 대책이 수반되지 않는 한, 향후 30년~40년 정도 장기간이 경과하여야 하는 것을 알 수 있다. 이에 난지도 매립가스의 포집에 의한 열원 활용계획은 매립가스 발생기간별 포집량과 대기중으로 배출된 후 예상되는 위해 가능성을 상호 비교하여 위해성 저감과 에너지 이용의 공동선을 병행 추구할 수 있는 계획수립이 필요하다.

第Ⅷ章 結 論

제 1 절 요약

제 2 절 정책제언

제 VIII 장 결론

제 1 절 요약

최근 외국에서는 매립종료된 토지 및 주변 지역을 개발하여 체육시설, 상업시설 및 주거시설 등으로 이용하는 수요가 점증하고 있으며, 한편으로는 환경복원을 통한 자연성 회복에도 각별한 관심을 경주하고 있다. 국내의 경우에도 외국의 경우와 같은 맥락에서 매립 종료된 매립지 토지이용과 환경보전·복원에 관한 논의가 점차 활기를 띠고 있다.

특히 매립시설의 특성상 매립가스에 관한 환경위해도는 향후 매립지 토지이용의 주된 결정변수가 될 수 있음을 감안하여, 사전에 매립지로부터 인체건강에 실질적으로 영향을 미칠 수 있는 대기오염물질의 발생 정도, 대상지역 및 주변지역 오염도, 위해성 평가, 그리고 모니터링 및 관리대책 등이 당면과제로서 대두되게 된다.

본 연구에서는 난지도 매립지 배출 휘발성유기화합물질(VOCs)의 배출량 예측, 유해성분 측정·분석, 인체 위해도 평가, VOCs 모니터링 및 관리대책 등을 종합적으로 파악하고자 하였다. 이를 통해 단기적으로는 난지도 지역의 환경 위해성을 저감하고, 장기적으로는 매립 종료지역 토지이용에의 친환경성을 부여함으로써 향후 서울시민이 친근하며 안전하게 난지도 매립지의 활용에 기여하고자 하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 난지도 매립지 배출 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 배출량 예측

LANDGEM(V=2.1) 모델을 활용한 난지도 매립지 유해가스 발생량 예측결과에 의하면, 1994년~1995년을 정점으로 하여 점차 매립가스 발생량은 급격하게 감소하고 있음을 보여주고 있다. 2000년의 경우 메탄 $1.76\text{E}+05$ Mg, NMOC $7.58\text{E}+03$ Mg, Benzene $1.91\text{E}+01$ Mg 정도의 발생량이 예상되나, 2010년의 발생량은 2000년과 비교하여 각각 64.5%, 64.8%, 64.7%씩 감소하는 것으로 예상되고 있다. 이에 매립지 배출 유해가스에 의한 위해 가능성은 특별한 대책이 수반되지 않는 한, 향후 30년~40년 정도 장기간이 경과하여야 하는 것을 알 수 있다. 그리고 휘발성유기화합물질(VOCs)의 경우 서울지역내 다른 VOCs 배출원과 비교하여 배출기여도가 매우 높은 것으로 지적되고 있다.

결과적으로 매립가스 배출에 의한 난지도 지역과 주변 지역에 대한 위해 가능성은 VOCs의 모니터링과 관리대책이 병행되지 않는 한, 다소 우려될 수 있음을 시사하게 된다.

그러나 매립가스 발생량 추정의 경우, 난지도 대상지역에서 배출되는 매립가스를 포집하여 주변지역 열병합 발전시설의 건설·운영계획을 감안하면, VOCs 배출량 감소효과와 함께 매립

지 지역자체의 환경위해성 뿐만 아니라 주변지역에의 위해도는 보다 단기간에 경감될 수 있을 것으로 추정된다.

2. VOCs의 유해성분 측정·분석

1) VOCs 성분분석

현행 폐기물관리법 제47조, 동법 시행령 제27조, 시행규칙 제51조 규정에 따라 매립종료된 난지도의 환경관리를 위하여, 서울시 보건환경연구원에서 매년 분기별 1회씩 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠 등 4개 항목을 중점적으로 측정분석하고 있다.

그러나 앞서 LANDGEM 모델에서 제시되고 있는 VOCs 항목은 매우 다양한 분포를 보이고 있음을 감안하면, 현재 추진되고 있는 난지도의 환경성 회복과 친환경적 정비사업은 보다 다양한 VOCs 항목의 측정·분석, 개별 항목별 위해도 평가, 그리고 유해가스의 안전한 포집·처리 등이 전제되어야 한다.

2) VOCs 측정분석

측정분석 대상물질은 VOCs 중 대기중에 주로 존재하고 장기적으로 보아 건강상 악영향을 미치며 광화학 스모그의 전구물질로서의 역할, 대기 중 광화학 반응 정도, OH라디칼과의 반응 속도 등과 측정분석 여건 등을 고려하여 VOCs 물질들을 선정하였다.

그리고 난지도 매립지 상부, 사면, 그리고 주변지역에서의 VOCs 시료채취 지점의 경우, 매립지 내부 5위치(약 500m 이내 대표성을 갖는 위치)와 배경지역 2위치 (상암동, 가양동)를 선정하고(3월 1차 측정), 5월 2차 시료채취시에는 제2매립지의 사면·상부 2개 위치를 추가하였다. 그리고 3차(8월)과 4차(10월)의 시료채취시에는 현재 난지도 매립지 상부복토 작업진행 상황을 고려하여 측정지점을 제1매립지와 제2매립지에 측정지점을 균등 배분하여 각각 4곳을 선정하여 측정하였다.

(1) 1차 및 2차측정

난지도 매립지 및 주변지역의 VOC 농도분포의 경우 가스 배출공을 제외하면 주변지역과 내부의 농도 편차는 크게 나타나지 않았다. 다만 오염물질별 농도는 가스배출공·매립지 상부·사면·주변지역의 순서로 높게 나타났다. 그러나 상암 및 가양지역의 농도를 난지도 매립지의 배경농도임을 감안할 때 다소 높으며, 이는 주변지역이 매립지의 영향을 받기 때문으로 추정된

다.

가스배출공 다음으로 매립지 상부지역이 높은 것은 배출공의 영향을 광범위하게 받고 있기 때문이며, 사면지역에서 나타나는 농도는 배출공에서 배출된 매립가스의 영향으로 추정된다. 제1매립지와 제2매립지의 VOCs 측정농도를 상호 비교할 경우 제2매립지의 농도가 낮은 것은 제2매립지의 경우 복토가 완료되었고 가스 추출작업이 진행되고 있기 때문으로 추정되었다. 결과적으로 난지도 매립지 안정화 작업이 종료된 후에는 오염물질의 농도가 더욱 낮아질 것으로 사료된다.

한편 난지도 매립지 및 주변지역 VOCs 측정자료와 난지도 매립지 배출가스와 관련된 선행연구결과와 비교할 경우, 배출구에서 농도가 가장 높고 매립지 내부와 상암이나 가양동과 같은 주변지역의 경우는 비슷한 농도값을 나타내는 특성이 있음을 알 수 있다.

(2) 3차 및 4차측정

난지도 매립지와 주변지역의 VOCs 농도를 측정한 결과 배출공, 상부 사면 배경지역 순으로 농도가 높게 나타났으며 특히 배출공의 경우에는 Toluene의 경우는 100~300ppb, Ethylchloride, Ethylbenzene, o,m,p-Xylene, Chlorobenzene 및 Styrene의 경우에는 500~3000ppb로 매우 높은 농도수준을 보인다.

상부, 사면의 경우 Toluene의 농도가 30~80ppb의 수준으로 가장 높게 나타났으며 주변지역의 경우에도 Toluene의 농도가 가장 높았다. 또한, 제1매립지 보다 제2매립지의 농도가 낮은 것을 알 수 있으며, 이는 제2매립지의 경우에는 복토가 완료된 상태에서 가스 추출작업이 진행되고 있기 때문인 것으로 사료된다.

시간적인 경향성측면에서 볼 때 8월 측정과 10월 측정에 있어서 농도값에 큰 차이를 보이지는 않으나 8월의 농도가 약간 높음을 알 수 있다. 이는 10월 보다 8월 측정시의 온도가 높아서 미생물의 활발한 활동으로 인한 폐기물의 분해가 촉진되고, 또한 VOCs의 휘발에도 영향을 미치기 때문이다.

현재는 가스배출구에서 그대로 대기중으로 배출하므로 배출공의 농도가 주변환경에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 향후 계획으로는 추출정을 통하여 매립가스를 강제 추출 정제후 냉난방 열원 및 마포자원회수시설의 보조 연료로 활용 할 것이므로 안정화 사업이 완료된 후의 오염물 농도는 지금보다 낮아질 수 있을 것이다.

(3) 측정결과 종합검토

도시지역 VOCs 농도자료와 난지도 매립지의 자료를 비교할 경우, 난지도 매립지의 VOCs 농도가 비교적 높음을 알 수 있었다. 특히 난지도 매립지 가스배출구에서 현재와 같이 그대로 대기중으로 배출하므로 농도가 높게 나타날 수 있다.

그러나 향후 계획으로는 배출가스를 포집하여 지역난방등의 열원으로 활용하게 될 것이므로 오염물 농도가 지금보다 훨씬 낮아질 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 일반대기 중의 농도와 차이가 그다지 크지 않으므로 포집후 발전동력으로 활용할 경우 누출지점의 관리를 함으로써 주변 대기중 농도는 지금수준보다 훨씬 낮아질 것이고 또한 인체 위해성에 대한 큰 우려는 없을 것이다.

3. 매립지 및 주변지역에 대한 위해도 평가

1) 유해성분 선정

본 연구 대상 물질 중 benzene, chloroform, trichloroethylene, tetrachloroethylene, vinyl chloride, carbon tetrachloride, methylene chloride 및 1,2-dichloroethane은 발암물질로 분류하였으며, toluene, o-/m-/p-xylene, ethylbenzene, 1,1,1-trichloroethane, chlorobenzene, styrene 및 o-/m-/p-dichlorobenzene, 및 ethylchloride는 비발암 독성 물질로 분류하였다.

2) 시나리오 설정: 호흡 노출 시나리오 분류

난지도 매립지 주변 시설을 이용시 유해 환경 오염물질의 호흡기를 통한 다양한 노출 시나리오 결정하기 위해 본 연구에서는 폐기물 매립지 주변 시설 이용자를 아동과 성인의 두 그룹으로 분류하고, 이들의 이용 방법에 따른 최악의 호흡노출시나리오(Worst Inhalation exposure scenario ; WIES), 일반적인 호흡노출시나리오 (Moderate Inhalation exposure scenario ; MIES), 그리고 최소의 호흡노출시나리오(Lowest Inhalation exposure scenario ; LIES)를 설정하였다.

성인의 WIES는 난지도 체육시설에 근무하는 근로자에 대한 노출 시나리오로 설정하였으며, 성인의 MIES, LIES와 아동의 경우에는 난지도 체육시설을 사용하는 이용자들에 대한 노출 시나리오로 설정하였다.

3) 상반기 측정결과에 의한 위해성 평가

발암성 연구 대상 VOCs 중 매립지내에서의 carbon tetrachloride 초과 발암 위해도는 Lifetime과 WIES 시나리오에 의해 10^{-5} 수준으로, 미국 환경보호청의 권고기준을 다소 초과하는 것으로 나타났다.

그러나 2000년 후반에 완료될 난지도 매립가스 포집시설 설치와 지역난방공사의 열에너지 활용계획에 따른 총매립가스 대비 75% 포집계획을 적용할 경우, 난지도 지역에서의 위해도 평가는 훨씬 양호한 것으로 분석되고 있다. 특히 난지도 토지이용에 따른 시설 근무자의 호흡노출 시나리오에 따른 인체건강 위해도의 경우, carbon tetrachloride 항목만이 집중 관리대상으로 남게되며, 여타 VOCs 항목의 위해도는 임계치 이하 수준인 것으로 나타났다. 즉 난지도 매립가스 총발생량의 연도별 감소추세, 2001년 이후 매립가스의 본격적인 포집, 배출공과 사면의 모니터링 및 특별관리 등을 고려하면, 당초 설정된 75% 포집이상의 효과를 나타내어, carbon tetrachloride VOCs 항목에 의한 인체건강 위해도는 그 만큼 낮은 수준으로 산정될 것으로 사료된다. 그 외 시나리오에서는 10^{-7} 수준으로 평가되어 유의할 수준은 아닌 것으로 나타났다.

한편 비발암 물질들은 독성위험값이 모두 1 이하로 산출되어 안전한 수준인 것으로 나타났으며, 결과적으로 비발암성 VOCs에 의한 인체건강 위해도는 그다지 유의할 수준은 아나며, 모니터링을 통한 관리 필요성은 있는 것으로 평가되었다

4) 하반기 측정결과에 의한 위해성 평가

8월 3차측정의 경우 매립지내에서의 발암성 VOCs로 인한 초과 발암 위해도는 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 수준으로 평가되었다. 그리고 주변지역의 경우 carbon tetrachloride가 1.12×10^{-5} 으로 추계된 것을 제외하면 대부분의 물질들은 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 수준으로 추계되었다. 비발암물질의 경우에는 매립지내 및 주변지역 모두에 있어서 0.1 이하의 수준으로 평가되었다.

한편 10월의 4차측정의 경우 매립지내에서의 발암성 VOCs로 인한 초과 발암 위해도는 1,1,2,2-tetrachloroethane이 3.17×10^{-5} 으로 추계된 경우를 제외하면, 10^{-6} 이하 수준으로 평가되었다. 주변지역에서 역시 1,1,2,2-tetrachloroethane이 7.85×10^{-5} 으로 추계된 것을 제외하면 대부분의 물질들은 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 수준으로 추계되었다. 그리고 비발암물질의 경우 매립지내 및 주변지역 모두에 있어서 0.1 이하 수준으로 평가되었다.

4. 난지도 매립지 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석

난지도 매립지 배출 VOCs에 의한 대상영역에서의 오존오염 기여도 분석(1998년 8월 21일과 22

일의 15시 오존농도 변화) 결과는 다음과 같이 요약된다.

- ① 대상영역의 특정지역에서 오존농도가 증가하거나 일부지역에서 광범위하게 증가
- ② 대상영역에서 오존농도는 각각 최대 8ppb(8월 21일), 5ppb(8월 22일) 증가
- ③ 최대오존농도가 나타난 지역과 최대오존농도 증가가 나타난 지역간 상이
- ④ 오존오염 농도의 증가량(최대 8ppb, 5ppb)은 대상영역에서의 최대오존농도(180ppb, 190ppb)에 비해 비교적 적으나, 오존농도 증가 지역에서의 오존농도 증가량은 상대적으로 높게 나타나고 있음.
- ⑤ 오존오염 농도의 변화율은 각각 최대 10.6%(8월 21일), 9.7%(8월 22일) 수준

이상과 같은 난지도 배출 VOCs에 의한 오존오염 기여도 분석결과와 1994년 이후 매립가스 배출량 감소경향과 연계하면, 평균 오존농도 변화율은 +0.15%(8월 21일), +0.3%(8월 22일)과 비교하여 한층 낮은 수준이 될 것으로 예측된다. 그리고 향후 매립가스 활용계획과 함께 포집량(약 75% 수준)이 확대되면 난지도 매립가스에 의한 오존오염 기여도는 더욱 저감될 수 있을 것으로 추정된다.

5. 외국의 VOCs 모니터링 대책

1) 미국

캘리포니아 폐기물관리국은 매립지 배출가스의 잠재적 위해성, 그리고 주변지역에 미치는 환경영향을 평가하기 위한 모니터링의 경우, 매립지 하부지역 모니터링, 매립지 상부 모니터링, 그리고 매립지 인근지역 토지이용에 대한 영향평가 등과 같이 3가지 부문요소로서 구성되어 있다. 이와 같은 분류는 매립가스의 탐색과 평가방법이 상호 차별적으로 나타나기 때문이다.

2) 유럽

최근 매립가스 모니터링을 위한 연속적이며 지속적인 시스템 구축이 제안되고 있으며, 특히 매립지 지점별 최대가스농도의 평가, 폐기물 분해시간에 따른 매립가스 조성변화를 분석하기 위한 시추공별 모니터링, 그리고 매립가스와 토양·대기와의 혼합도 등이 매립가스 모니터링 구축의 핵심과제로서 선정되고 있다.

제 2 절 정책제언

앞서 분석된 외국자료와 난지도 매립지의 자료를 비교할 경우, 난지도 매립지의 VOCs 농도가 비교적 높음을 알 수 있으며, 이는 그 만큼 보다 세심한 VOCs 관리가 필요함을 의미한다. 더욱이 향후 상암새서울타운의 지역 이미지(Landmark)로서 난지도의 상징성이 더욱 가치가 있는 점을 감안하면, 난지도 배출 VOCs에 의한 위해 가능성은 충분히 검토되어 위해성을 제어할 수 있어야만 한다.

VOCs 환경위해성 예비평가의 경우, 현재는 가스배출구에서 그대로 대기중으로 배출하므로 농도가 높게 나타날 수 있으나, 향후 계획으로는 배출가스를 포집하여 지역난방등의 열원으로 활용하게 될 것이므로 오염물질 농도가 지금보다 훨씬 낮아질 수 있을 것이다. 이에 포집후 발전동력으로 활용할 경우 누출지점의 관리를 함으로써 주변 대기중 농도는 지금수준보다 훨씬 낮아질 것이고 또한 인체위해성에 대한 큰 우려는 없을 것으로 보여진다. 그러나 VOCs에 의한 위해성 우려를 최소화하기 위해서는 VOCs의 모니터링과 관리대책이 또한 필요하게 된다.

1. 매립지 배출가스 모니터링의 우선순위 선정

최근 미국 환경청(EPA)에서 보고한 연구자료에 의하면, 매립지 매립가스의 포집과 에너지원으로의 재활용의 경우 매립가스 포집 효율은 효율적인 포집시설이 전제되면 약 85% 수준 이상 달성 가능한 것으로 제시하고 있다. 이에 본 연구의 상반기·하반기에 측정·분석한 VOCs 농도를 바탕으로 난지도 기본설계보고서상의 75% 매립가스 포집 설정에 의한 위해도 평가의 경우, 미국의 포집설계 효율을 적용하면 더욱 개선될 것으로 추정되어, 성인호흡 노출시나리오에 의한 인체건강 위해성은 안전용량 이하수준으로 기대된다.

이와 같이 난지도 매립지 매립가스에 의한 인체건강 위해평가와 관련하여, 유해물질 관리대책의 가장 효율적인 방법은 매립가스의 포집효율을 증진시키는 방안임을 알 수 있다. 연후에 매립가스 배출에 취약한 매립지 지점별 파악과 모니터링, 가스포집시설에서의 유해가스 누출 여부 등을 관리하기 위한 “유해가스 모니터링 점검표의 작성과 활용방안”을 고려할 수 있다.

한편 캘리포니아 폐기물관리법(Title 27 CCR Section 20919)과 같이 환경성 검토대상 매립지의 경우 매립가스 배출에 의한 위해성 또는 악취 유발의 가능성이 있는 것으로 판단되면, LFG 이동을 제한할 수 있는 대책 수립과 병행한 모니터링 규정을 현행 폐기물관리법에 명문화할 필요가 있다. 또한 매립지 배출가스의 잠재적 위해성, 그리고 주변지역에 미치는 환경영향을 평가하기 위한 모니터링의 경우에는 매립지 하부지역 모니터링, 매립지 상부 모니터링, 그리고 매립지 인근지역 토지이용에 대한 영향평가 등과 같이 3가지 부문요소로서 분류하여 대응할 필요가

있다.

2. 위해성 평가 4단계를 활용한 VOCs 모니터링

매립지 배출 유해물질에 의한 인체건강 위해성 평가는 일반적으로 4단계로 구성되어 있는 점을 감안하여, 위해성 평가 4단계를 활용한 VOCs 배출양상·노출경로 파악·위해도 평가과정 등이 예시와 같이 모니터링이 될 수 있도록 할 필요가 있다.

① 유해가스 배출가능성 평가: 유해물질의 확인

인체건강에 유해한 영향을 미칠 수 있는 매립가스의 발생 여부와 지속 가능성을 판단하기 위한 목적에서 현행 매립가스 관리체계의 적합성 판단, 대기중으로의 방출 여부, 배출지점의 탐지와 제어, 그리고 사후보고 등을 통해 유해가스의 배출 가능성을 파악하기 위한 과정이다.

② 배출경로 분석평가: 유해가스의 이동, 포집 및 처리단계 분석평가

매립지 유해가스의 배출지점이 파악되면, 당해 지점과 주변지역에 미치는 위해 가능성을 저감하기 위해 확산의 용이성, 매립가스의 포집, 그리고 포집된 매립가스의 안전처리 등을 분석·평가하는 단계이다.

③ 유해가스 노출과 위해도 평가: 노출평가와 위해성 결정

유해가스 배출에 의한 인체호흡 노출량과 위해도(Risk)를 판단하기 위해 VOCs 항목분류 및 안전성을 파악하는 최종 모니터링 단계에 해당된다.

3. HDPE 포설·복토에 따른 VOCs 측정·분석 및 위해도 평가

난지도 매립지의 HDPE 포설과 복토작업이 완료된 후, 2001년 상반기에 제1매립지와 제2매립지를 대상으로 VOCs 배출양상의 추가 모니터링을 통해 매립지 상부와 사면지점에서의 VOCs 농도측정과 HDPE·복토에 따른 VOCs 농도저감 효율성을 판단하는 다음과 같은 작업이 필요하게 된다.

첫째, VOCs 모니터링을 통한 매립지 및 인근지역에서의 위해도 비교평가

둘째, VOCs 배출 취약지점인 사면부 중심의 측정·관리의 필요성 판단

그리고 향후 난지도 매립지 매립가스의 포집효율을 적절히 조정할 수 있는 예비능력을 반영한 실시설계의 전제조건 충족, 그리고 사면부 생태복원을 위한 녹지조성방안과 연계가 이루어질 경우, 매립지 VOCs 오염농도는 현저히 저감될 수 있을 것이다.

4. 매립종료 매립지 사후관리 규정의 법적 근거 보완

난지도 매립지를 대상으로 측정·분석한 VOCs의 조성분류와 같이, 인체건강 위해 가능성이 높은 VOCs의 지속적인 관리와 모니터링이 수행되기 위해서는 기본적으로 폐기물관리법상의 매립종류 사후관리 규정을 개정하여 포괄적인 VOCs 측정이 이루어질 필요가 있다. 또한 매립 성분 구분에 의한 매립지 특성별 배출가능 유해물질목록의 작성과, 이를 통한 VOCs 관련 사후 관리지침에 의한 관리가 필요하다.

5. 매립시설 모니터링 및 매립가스 재활용의 장기계획 평가

매립지에서는 보통 메탄가스의 농도가 주요 모니터링 대상이 되나, 다른 유해가스도 조사항목에 포함되어야 한다. 매립지에서 가스탐침을 통하여 조사된 결과를 보면 가스농도는 측정시기에 따라 굉장히 변화가 심하게 나타나므로 가스모니터링은 가스의 이동이 예상되는 계절에 7~8일 정도를 선정하여 하루에 2번 정도 실시할 것이 권장된다.

한편 매립지 배출 유해가스에 의한 위해 가능성은 배출가스 포집·활용과 같은 특별한 대책이 수반되지 않는 한, 향후 30년~40년 정도 장기간이 경과하여야 하는 것을 알 수 있다. 이에 난지도 매립가스의 포집에 의한 열원 활용계획은 매립가스 발생기간별 포집량과 대기중으로 배출된 후 예상되는 위해 가능성을 상호 비교하여 위해성 저감과 에너지 이용의 공동선을 병행 추구할 수 있는 계획수립이 필요하다.

參 考 文 獻

참고문헌

1. 국내문헌

- 남궁완·이동훈(공역), 폐기물 처리공학, 서울: 동화기술, 1997.
- 대우/건설, 난지도 매립지 안정화 공사 연구용역 종합보고서, 1996. 11.
- 서울시, 난지도 매립지 안정화 공사 실시설계보고서, 1996.9
- 이철호·전연호·이채영·김경·이환·이남훈, 사용종료 매립지의 가스 활용방안 평가“, 「폐기물자원화」, 제8권, 제2호, 154-160, 2000.
- 장영기·서정배, “LAEEM에 의한 전국 매립가스 발생량 추정에 대한 연구”, 한국대기보전학회지, 제14권, 제5호, 1998: 499-505.
- 정하익, 「지반환경공학」, 서울: 태훈출판, 1998.
- 한국대기보전학회, 대기환경과 휘발성유기화합물질, 1998.2.
- 한국건설기술연구소, 위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술, 1999.

2. 외국문헌

- Anderson, R., Young, P.E., and Crist, P.E., "Subsurface Landfill Gas Monitoring Strategies in California", from <http://www.ciwmb.ca.gov/LEACentral/Gas/SubLFgas.htm>.
- Boltze, U. and Freitas, H., "Monitoring Gas Emissions from Landfill Sites", Waste Management & Research, Vol.15, 1997: 463-476.
- Creative Resource Ventures, Ltd. Infield Conditions Report on Refuse Hideaway Land. Table 6-3. 1/14/, 1988.
- Hydro-Search, Inc. Groundwater Monitoring Study at the Refuse Hideaway Landfill, Middleton, Wisconsin. Brookfield, Wisconsin: June 24, 1991.
- RMT, Inc. Remedial Action Report for Refuse Hideaway Landfill, Middleton, Wisconsin, November, 1988.
- U.S.EPA, Municipal Solid Waste Landfills(Volume 1): Summary of the Requirements for the New Source Performance Standards and Emission Guidelines for Municipal Solid Waste Landfills, EPA-453R/96-004, 1999. 2.

U.S.EPA, Municipal Solid Waste Landfills(Volume 2): Summary of the Requirements for Section 111(d) State Plans for Implementing the Municipal Solid Waste Landfills Emission Guidelines, EPA-456R/98-009, 1998. 11.

U.S.EPA, User's Manual: Landfill Gas Emissions Model V.2.0, 1998. 2.

U.S.EPA, Landfill Gas-to-Energy Project Opportunities: Background Information on Landfill Profiles, EPA 430-K-99-002, 1999.1.

3. 기타자료

wysiwyg://25/http://www.epa.gov/oar/oaqps/landfill.html

http://www.epa.gov/earth1r6/6pd/rcra_c/protocol/volume_2/appa-toc.htm

http://www.epa.gov/oar/oaqps/air_risc/3_90_022.html

http:// home.pacvell.net/gfredlee/cal risk.htm

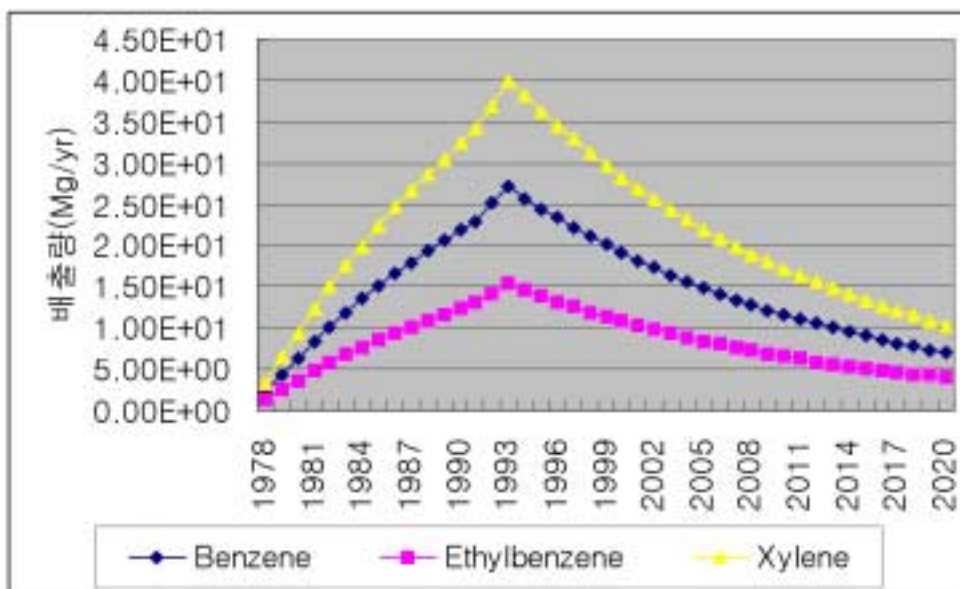
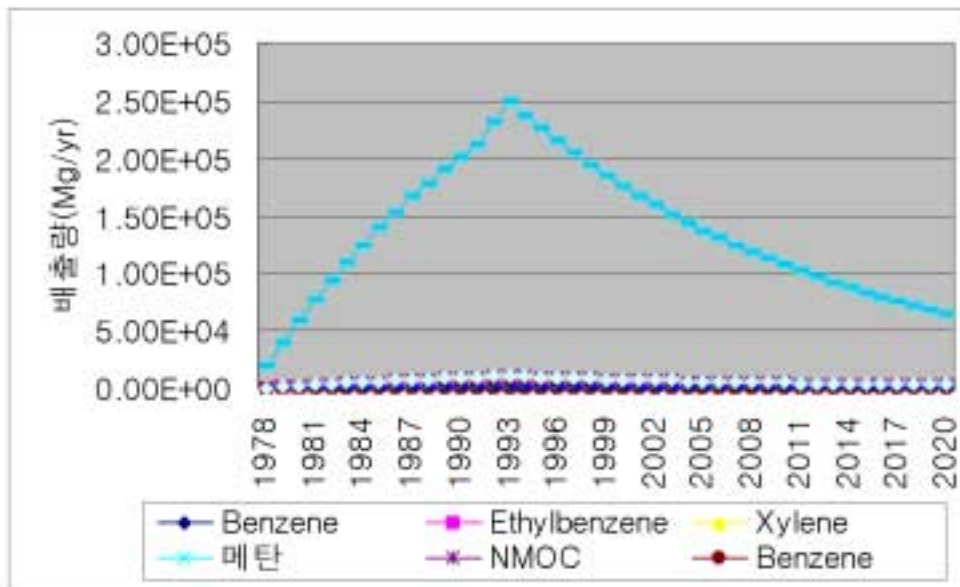
附 錄

1. 서울시 난지도 매립지에서의 연도별 VOCs 배출량 예측
2. 서울시 난지도 매립지 VOCs 측정결과
3. VOCs 호흡경로에 대한 발암등급과 기준
4. 서울시 난지도 매립지 VOCs의 위해도 평가
5. 4계절 VOCs 측정평균에 의한 인체 노출량과 위해도

부 록

부록1: 서울시 난지도 매립지에서의 연도별 VOCs 배출량 예측(단위: Mg/yr)

구 분	메탄	NMOC	Benzene	Ethylbenzene	Xylene
1978	2.06E+04	8.86E+02	2.23E+00	1.26E+00	3.30E+00
1979	4.02E+04	1.73E+03	4.35E+00	2.45E+00	6.44E+00
1980	5.89E+04	2.53E+03	6.36E+00	3.59E+00	9.43E+00
1981	7.66E+04	3.29E+03	8.28E+00	4.67E+00	1.23E+01
1982	9.35E+04	4.02E+03	1.01E+01	5.70E+00	1.50E+01
1983	1.10E+05	4.71E+03	1.18E+01	6.68E+00	1.75E+01
1984	1.25E+05	5.36E+03	1.35E+01	7.61E+00	2.00E+01
1985	1.39E+05	5.99E+03	1.51E+01	8.50E+00	2.23E+01
1986	1.53E+05	6.58E+03	1.66E+01	9.34E+00	2.45E+01
1987	1.66E+05	7.15E+03	1.80E+01	1.01E+01	2.66E+01
1988	1.79E+05	7.68E+03	1.93E+01	1.09E+01	2.86E+01
1989	1.91E+05	8.19E+03	2.06E+01	1.16E+01	3.05E+01
1990	2.02E+05	8.68E+03	2.18E+01	1.23E+01	3.23E+01
1991	2.13E+05	9.14E+03	2.30E+01	1.30E+01	3.41E+01
1992	2.32E+05	9.95E+03	2.50E+01	1.41E+01	3.71E+01
1993	2.50E+05	1.08E+04	2.71E+01	1.53E+01	4.01E+01
1994	2.38E+05	1.02E+04	2.57E+01	1.45E+01	3.81E+01
1995	2.26E+05	9.73E+03	2.45E+01	1.38E+01	3.63E+01
1996	2.15E+05	9.26E+03	2.33E+01	1.31E+01	3.45E+01
1997	2.05E+05	8.80E+03	2.22E+01	1.25E+01	3.28E+01
1998	1.95E+05	8.38E+03	2.11E+01	1.19E+01	3.12E+01
1999	1.85E+05	7.97E+03	2.00E+01	1.13E+01	2.97E+01
2000	1.76E+05	7.58E+03	1.91E+01	1.08E+01	2.82E+01
2001	1.68E+05	7.21E+03	1.81E+01	1.02E+01	2.69E+01
2002	1.60E+05	6.86E+03	1.73E+01	9.74E+00	2.56E+01
2003	1.52E+05	6.52E+03	1.64E+01	9.26E+00	2.43E+01
2004	1.44E+05	6.20E+03	1.56E+01	8.81E+00	2.31E+01
2005	1.37E+05	5.90E+03	1.49E+01	8.38E+00	2.20E+01
2006	1.31E+05	5.61E+03	1.41E+01	7.97E+00	2.09E+01
2007	1.24E+05	5.34E+03	1.34E+01	7.58E+00	1.99E+01
2008	1.18E+05	5.08E+03	1.28E+01	7.21E+00	1.89E+01
2009	1.12E+05	4.83E+03	1.22E+01	6.86E+00	1.80E+01
2010	1.07E+05	4.60E+03	1.16E+01	6.53E+00	1.71E+01
2011	1.02E+05	4.37E+03	1.10E+01	6.21E+00	1.63E+01
2012	9.68E+04	4.16E+03	1.05E+01	5.91E+00	1.55E+01
2013	9.20E+04	3.96E+03	9.95E+00	5.62E+00	1.47E+01
2014	8.76E+04	3.76E+03	9.47E+00	5.34E+00	1.40E+01
2015	8.33E+04	3.58E+03	9.00E+00	5.08E+00	1.33E+01
2016	7.92E+04	3.41E+03	8.57E+00	4.83E+00	1.27E+01
2017	7.54E+04	3.24E+03	8.15E+00	4.60E+00	1.21E+01
2018	7.17E+04	3.08E+03	7.75E+00	4.37E+00	1.15E+01
2019	6.82E+04	2.93E+03	7.37E+00	4.16E+00	1.09E+01
2020	6.49E+04	2.79E+03	7.01E+00	3.96E+00	1.04E+01



부록2: 서울시 난지도 매립지 VOCs 측정결과

VOC 측정농도 (3월 17일)

(단위: ppb)

구 분	상부		사면	배출공	주변지역	
	1	3	4	2	상압	가양
Vinyl chloride	6.87	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylenechloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	5.47	0.00	0.00	0.00
Benzene	6.03	0.50	0.00	13.99	0.00	0.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toluene	23.18	23.94	13.39	24.92	25.92	9.10
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	72.89	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	28.35	0.00	0.00
Ethylbenzene	10.05	0.87	2.69	11.16	2.94	1.83
p-xylene	5.50	0.92	2.37	6.43	1.97	1.39
m-xylene	10.04	0.87	2.68	11.15	2.93	1.82
o-xylene	16.13	0.91	3.90	35.11	6.29	3.89
styrene	0.00	0.00	0.00	78.36	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.32	0.00	0.00	4.54	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.32	0.00	0.00	4.54	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.31	0.00	0.00	4.41	0.00	0.00

VOC측정농도(3월18일)

(단위: ppb)

구 분	상부		사면		배출공		주변지역
	2	3	4	5	2	3	가양
Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylenechloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.19	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzene	1.27	0.00	0.00	0.00	5.82	0.96	1.57
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.72	0.00
Toluene	17.75	4.34	2.27	0.46	19.94	4.56	22.00
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	61.58	2.46	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	9.18	0.25	0.00
Ethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	0.99	0.00
p-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	1.97	1.13	0.00
m-xylene	0.00	2.28	1.12	0.00	6.69	2.45	0.00
o-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
styrene	0.00	0.00	0.00	0.00	8.21	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.36	0.00
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.36	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.35	0.00

VOC 측정농도 (3월19일)

(단위: ppb)

구 분	상부		사면	배출공		주변지역	
	1	2	5	2	3	상압	가양
Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	10.67	0.00	0.00	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylenechloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	141.69	0.00	0.00	0.00
Benzene	0.00	0.00	0.00	9.34	5.03	0.00	10.46
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	29.54	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	28.66	0.00	0.00	0.00
Toluene	21.05	10.12	18.67	47.84	49.36	43.64	48.17
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	41.17	0.00	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	20.94	0.00	0.00	0.00
Ethylbenzene	1.17	0.00	0.00	114.57	0.00	0.00	0.00
p-xylene	1.10	0.00	0.00	58.28	0.00	0.00	0.00
m-xylene	1.17	0.00	0.00	114.56	0.00	0.00	1.07
o-xylene	3.44	0.00	1.26	50.91	0.00	3.18	0.00
styrene	0.00	0.00	0.00	23.90	0.00	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	3.26	0.00	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	3.26	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	3.17	0.00	0.00	0.00

VOC 측정농도 (5월 12일)

(단위: ppb)

구 분	상부			사면		배출공	주변지역	
	1	2	3	4	5		상압	가양
Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylenechloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.25	0.00	0.00
Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
Toluene	13.03	11.53	14.71	8.84	8.94	18.04	29.37	31.54
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00	7.21	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.03	0.15	0.01	0.00	0.21	1.26	0.50
Ethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	0.00	0.00
p-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.66	0.00	0.00
m-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	0.00	0.00
o-xylene	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	0.00	0.00
styrene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

VOC 측정농도 (5월 13일)

(단위: ppb)

구 분	상부			사면		배출공	주변지역	
	1	2	3	4	5		상압	가양
Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylenechloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.72	0.00	0.00
Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toluene	9.59	12.32	10.89	8.61	8.87	18.30	9.52	11.66
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	3.36	0.00	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Ethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
p-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00
m-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00
o-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	1.96	0.00
styrene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
o-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

VOC 측정농도(5월 14일)

(단위: ppb)

구 분	1매립지					2매립지			주변지역
	상부		사면		배출공	상부	사면	배출공	
	1	2	4	5					
Vinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylenechloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	10.08	0.00	0.00	8.72	0.00
Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23	0.00	0.00	0.72	0.00
1,1,1-Trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Toluene	20.86	11.90	8.74	9.52	18.65	37.56	14.61	18.23	19.13
1,2-Dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	7.37	0.00	0.00	5.21	0.00
Chlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00
Ethylbenzene	0.00	0.21	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.36	0.00
p-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.31	0.00
m-xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.00	0.35	0.00
o-xylene	2.36	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00	0.98	0.00
styrene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.12	0.00
o-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VOC 측정농도(8월 16일)-2매립지

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w261	w272	w215	w222	w261배출공	w272배출공	상암
* Benzene	0.13	0.14	0.12	0.12	0.15	0.09	0.10
* Toluene	86.74	14.49	24.59	12.72	177.82	84.61	6.93
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.04	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00
cis-1,3-dichloropropene	0.08	0.05	0.08	0.08	0.04	0.06	0.07
1,1-dichloroethane	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14	0.11	0.12
1,1-dichloroethene	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.09	0.09
1,2-dichloropropane	0.12	0.14	0.12	0.12	0.13	0.10	0.10
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.11	0.24	0.00	0.09	2.10	0.07	0.08
trans-1,3-dichloropropene	0.08	0.09	0.04	0.08	0.13	0.06	0.07
1,1,1-trichloroethane	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.10	0.11
1,1,2-trichloroethane	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.07	0.08
* Chloroform	0.14	0.14	0.12	0.13	0.13	0.05	0.11
* Trichloroethylene	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08
* Tetrachloroethylene	0.08	0.22	0.08	0.08	0.40	0.06	0.07
Carbontetrachloride	0.14	0.16	0.14	0.14	0.22	0.11	0.12
Ethylchloride	0.13	0.15	0.13	0.14	0.14	0.11	0.12
* Ethylbenzene	0.72	3.16	0.12	1.29	2115.98	20.66	1.25
* p-Xylene	0.20	13.36	0.24	0.69	542.19	7.17	0.46
* o-Xylene	0.06	0.40	0.07	0.22	280.89	1.51	0.16
* m-Xylene	0.20	1.34	0.24	0.69	542.19	6.67	0.46
Chlorobenzene	0.09	0.45	0.14	0.18	4097.36	29.08	0.08
Styrene	0.20	41.04	0.00	0.05	2319.45	47.55	0.06
1,3,5-trimethylbenzene	0.01	15.89	0.01	1.57	15.89	0.02	0.01

VOC 측정농도(8월 17일)-2매립지

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w261	w272	w215	w222	w261배출공	w272배출공	상암	가양
* Benzene	0.07	0.17	0.07	0.11	0.50	0.09	0.06	0.11
* Toluene	37.28	106.26	82.15	14.90	68.26	140.68	6.02	49.62
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.94	0.00	0.00
cis-1,3-dichloropropene	0.09	0.09	0.10	0.08	0.26	0.19	0.08	0.07
1,1-dichloroethane	0.15	0.15	0.17	0.13	0.11	0.06	0.13	0.12
1,1-dichloroethene	0.12	0.12	0.06	0.10	0.04	0.09	0.00	0.10
1,2-dichloropropane	0.13	0.13	0.15	0.12	0.11	0.10	0.06	0.11
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.11	0.12	0.00	0.00	0.89	1.27	0.04	0.00
trans-1,3-dichloropropene	0.09	0.09	0.04	0.08	0.10	0.09	0.08	0.07
1,1,1-trichloroethane	0.14	0.14	0.15	0.12	0.15	0.10	0.12	0.11
1,1,2-trichloroethane	0.10	0.10	0.06	0.09	0.07	0.07	0.09	0.08
* Chloroform	0.14	0.14	0.15	0.12	0.10	0.10	0.12	0.11
* Trichloroethylene	0.11	0.11	0.12	0.09	0.08	0.13	0.09	0.08
* Tetrachloroethylene	0.09	0.09	0.10	0.08	0.29	0.10	0.08	0.07
Carbontetrachloride	0.15	0.15	0.17	0.13	0.11	0.31	0.13	0.12
Ethylchloride	0.15	0.15	0.16	0.13	0.11	0.11	0.13	0.12
* Ethylbenzene	1.02	11.96	0.48	0.78	1727.31	1676.51	0.98	0.00
* p-Xylene	0.35	0.74	0.21	0.00	450.62	450.28	0.39	1.35
* o-Xylene	0.05	0.83	0.01	0.07	199.42	196.89	0.14	1.22
* m-Xylene	0.35	0.74	0.21	0.00	450.62	450.28	0.39	1.35
Chlorobenzene	0.17	15.12	0.20	0.02	1156.17	1023.52	0.22	6.39
Styrene	0.02	23.62	0.01	0.03	33.61	80.07	0.12	2.25
1,3,5-trimethylbenzene	0.01	0.05	0.01	0.01	1.90	7.47	0.01	0.44

VOC 측정농도(8월 18일)-2매립지

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w174	w155	w120	w105	w174배출공	w155배출공	가양
* Benzene	0.11	0.11	0.10	0.06	0.16	0.16	0.10
* Toluene	12.94	18.85	7.20	1.69	122.72	323.54	77.98
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.56	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	1.53	0.43	0.00
cis-1,3-dichloropropene	0.08	0.08	0.07	0.13	1.58	0.86	0.07
1,1-dichloroethane	0.13	0.13	0.11	0.13	0.13	0.14	0.12
1,1-dichloroethene	0.01	0.02	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09
1,2-dichloropropane	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.10	0.09	0.07	0.09	3.32	1.03	0.08
trans-1,3-dichloropropene	0.08	0.08	0.07	0.07	0.18	0.15	0.07
1,1,1-trichloroethane	0.12	0.12	0.11	0.12	0.13	0.10	0.11
1,1,2-trichloroethane	0.08	0.09	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08
* Chloroform	0.11	0.12	0.10	0.11	0.10	0.10	0.11
* Trichloroethylene	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.07	0.08
* Tetrachloroethylene	0.08	0.08	0.07	0.08	0.30	0.53	0.07
Carbontetrachloride	0.13	0.13	0.11	0.13	0.20	0.12	0.12
Ethylchloride	0.12	0.13	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12
* Ethylbenzene	1.01	1.11	0.01	1.39	3440.88	3460.84	12.13
* p-Xylene	0.44	0.25	0.01	0.01	1166.67	1159.70	4.40
* o-Xylene	0.19	0.20	0.10	0.21	795.23	566.00	1.11
* m-Xylene	0.44	0.25	0.01	0.01	1166.67	1159.70	4.40
Chlorobenzene	0.08	0.07	0.10	0.23	2028.13	2316.27	0.04
Styrene	0.27	0.07	0.02	0.07	1114.99	952.41	11.77
1,3,5-trimethylbenzene	0.00	0.03	0.01	0.03	0.47	0.38	0.51

VOC 측정농도(8월 23일)-2매립지

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w174	w155	w120	w105	w174배출공	w155배출공
* Benzene	0.11	0.10	0.10	0.12	1.37	4.04
* Toluene	151.86	13.39	17.75	353.19	171.44	214.47
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.14
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.94
cis-1,3-dichloropropene	0.03	0.04	0.07	0.07	1.66	0.04
1,1-dichloroethane	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11
1,1-dichloroethene	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09
1,2-dichloropropane	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.00	0.04	0.00	0.04	0.36	2.22
trans-1,3-dichloropropene	0.05	0.06	0.07	0.08	0.03	0.08
1,1,1-trichloroethane	0.10	0.10	0.05	0.11	0.08	0.10
1,1,2-trichloroethane	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
* Chloroform	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.08
* Trichloroethylene	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08
* Tetrachloroethylene	0.07	0.07	0.07	0.07	0.20	0.09
Carbontetrachloride	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.40
Ethylchloride	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11
* Ethylbenzene	0.67	0.02	1.70	0.00	2924.38	1316.71
* p-Xylene	0.35	0.02	1.28	1.14	946.32	483.88
* o-Xylene	0.13	0.00	0.42	0.00	605.52	579.23
* m-Xylene	0.35	0.02	1.05	1.14	946.32	483.88
Chlorobenzene	0.09	4.78	0.06	0.03	2253.25	2573.13
Styrene	0.01	0.10	0.67	0.02	817.48	35.37
1,3,5-trimethylbenzene	0.02	0.05	0.04	0.19	2.61	0.63

VOC 측정농도(9월 25일)-2매립지

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w174	w155	w120	w105	w174배출공	w155배출공
* Benzene	0.09	0.11	0.08	0.09	0.09	0.10
* Toluene	0.79	0.34	6.80	5.47	161.82	231.01
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
cis-1,3-dichloropropene	0.03	0.07	0.03	0.06	0.07	1.60
1,1-dichloroethane	0.11	0.11	0.09	0.10	0.11	0.11
1,1-dichloroethene	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09
1,2-dichloropropane	0.09	0.10	0.00	0.09	0.09	0.12
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
trans-1,3-dichloropropene	0.06	0.04	0.03	0.06	0.11	0.15
1,1,1-trichloroethane	0.03	0.10	0.05	0.09	0.09	0.10
1,1,2-trichloroethane	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
* Chloroform	0.10	0.10	0.10	0.09	0.11	0.12
* Trichloroethylene	0.08	0.08	0.05	0.07	0.08	0.09
* Tetrachloroethylene	0.03	0.07	0.07	0.06	0.16	0.27
Carbontetrachloride	0.11	0.11	0.10	0.10	0.14	0.11
Ethylchloride	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11
* Ethylbenzene	0.19	0.61	1.23	3.90	1849.01	3163.56
* p-Xylene	0.07	0.24	0.95	1.96	415.42	997.53
* o-Xylene	0.00	0.12	0.36	0.53	844.92	527.67
* m-Xylene	0.07	0.24	1.00	1.96	414.92	997.53
Chlorobenzene	0.02	1.16	0.03	0.07	2792.62	1734.07
Styrene	0.05	0.10	0.54	0.07	122.98	213.41
1,3,5-trimethylbenzene	0.02	0.01	0.04	0.10	0.03	0.77

VOC 측정농도(9월 26일)-2매립지

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w261	w272	w215	w222	w261배출공	w272배출공
* Benzene	0.12	0.12	0.10	0.11	0.10	0.10
* Toluene	33.51	2.43	0.91	1.71	55.19	71.39
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
cis-1,3-dichloropropene	0.08	0.08	0.03	0.07	0.07	0.09
1,1-dichloroethane	0.14	0.14	0.11	0.12	0.11	0.11
1,1-dichloroethene	0.11	0.11	0.09	0.10	0.17	0.09
1,2-dichloropropane	0.12	0.12	0.10	0.11	0.09	0.11
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.09	0.09	0.07	0.08	0.07	0.07
trans-1,3-dichloropropene	0.08	0.08	0.04	0.07	0.11	0.15
1,1,1-trichloroethane	0.13	0.13	0.10	0.11	0.10	0.10
1,1,2-trichloroethane	0.09	0.09	0.03	0.08	0.07	0.07
* Chloroform	0.13	0.12	0.10	0.11	0.10	0.10
* Trichloroethylene	0.10	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08
* Tetrachloroethylene	0.08	0.08	0.07	0.07	0.19	0.26
Carbontetrachloride	0.14	0.13	0.11	0.12	0.11	0.13
Ethylchloride	0.14	0.13	0.11	0.12	0.11	0.11
* Ethylbenzene	1.47	0.03	0.64	0.62	1329.08	843.18
* p-Xylene	0.46	0.00	0.14	0.12	99.06	209.53
* o-Xylene	0.01	0.02	0.04	0.13	49.03	76.56
* m-Xylene	0.46	0.00	0.14	0.12	99.06	209.53
Chlorobenzene	0.04	0.06	0.02	0.05	204.32	213.00
Styrene	0.01	0.00	0.05	0.07	290.85	315.92
1,3,5-trimethylbenzene	0.00	0.11	0.02	0.00	1.39	2.31

VOC 측정농도(10월 7일)

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w174	w155	w120	w105	w174배출공	w155배출공	상암
* Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83
* Toluene	72.29	66.84	64.66	5.17	211.61	322.41	8.23
m-Dichlorobenzene	1.30	0.00	0.00	0.00	160.09	0.00	1.16
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	18.30	0.00	0.18
1,2,4-trimethylbenzene	3.27	2.42	1.01	4.68	115.51	2287.03	10.09
cis 1,3-dichloropropene	0.00	0.03	0.00	0.00	6.15	49.37	0.05
1,1-dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00
1,1-dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2-dichloropropane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.17	0.35	0.19	0.34	44.70	144.43	0.08
trans-1,3-dichloropropene	0.00	0.02	0.00	0.00	1.85	1.59	0.01
1,1,1-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.02
1,1,2-trichloroethane	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
* Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
* Trichloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00
* Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	39.47	0.01
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	4.04	26.37	0.02
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Ethylbenzene	3.62	4.42	0.00	0.00	3221.62	7552.35	0.00
* p-Xylene	8.68	10.12	1.43	4.98	3359.87	13402.94	0.88
* o-Xylene	2.33	1.52	0.00	3.61	1414.40	6719.97	0.78
* m-Xylene	2.79	3.25	0.46	2.77	1079.29	4305.41	0.78
Chlorobenzene	9.97	56.84	90.60	29.06	3719.42	4145.01	0.07
Styrene	1.60	2.04	0.00	0.00	3026.94	3651.70	0.07
1,3,5-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	2.63	433.24	0.00

VOC 측정농도(10월 8일)

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w174	w155	w120	w105	w174배출공	w155배출공	가양
* Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	179.35	0.00
* Toluene	92.85	66.30	60.41	22.77	499.99	590.24	30.77
m-Dichlorobenzene	0.00	0.36	0.00	0.00	249.55	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	21.35	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.04	0.16	0.01	0.28	117.95	87.94	0.05
cis 1,3-dichloropropene	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00
1,1-dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.97	0.00
1,1-dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.24	0.00
1,2-dichloropropane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	6.13	0.00
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.14	0.26	0.52	0.54	130.41	505.27	0.08
trans-1,3-dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	6.78	0.00	0.00
1,1,1-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,2-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Trichloroethylene	0.00	0.00	0.15	0.02	1.23	0.00	0.00
* Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.01	0.00	41.81	30.69	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	8.47	0.00	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Ethylbenzene	0.00	0.00	1.25	2.72	0.00	0.00	1.31
* p-Xylene	0.40	0.02	0.56	1.20	733.41	3409.03	0.68
* o-Xylene	0.29	0.00	0.00	0.00	236.76	0.00	0.00
* m-Xylene	0.40	0.02	0.56	1.20	733.41	3409.03	0.68
Chlorobenzene	47.64	102.76	92.63	43.80	5865.73	7514.34	9.08
Styrene	0.13	0.33	0.00	0.00	615.02	3580.43	0.15
1,3,5-trimethylbenzene	0.00	0.01	0.00	0.00	4.50	315.07	0.00

VOC 측정농도(10월 9일)

(단위: ppb)

측정지점 대상물질	w174	w155	w120	w105	w174배출공	w155배출공	상암	가양
* Benzene	0.21	45.09	0.00	3.79	0.00	751.99	0.64	0.70
* Toluene	81.70	151.57	20.60	20.31	249.96	403.07	5.89	16.65
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-1,3-dichloropropene	0.04	0.00	0.00	0.00	47.39	0.00	0.04	0.00
1,1-dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00
1,1-dichloroethene	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
1,2-dichloropropane	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.31	13.89	0.57	1.63	112.72	128.69	0.47	0.15
trans-1,3-dichloropropene	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.89	0.01	0.00
1,1,1-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
1,1,2-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.56	0.00	0.00
* Chloroform	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.04	0.00
* Trichloroethylene	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	39.62	19.85	0.00	0.00
Carbontetrachloride	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Ethylbenzene	1.78	4.27	1.32	2.20	1305.91	80.65	1.00	2.59
* p-Xylene	0.80	6.09	0.62	1.08	752.12	1784.42	0.44	1.70
* o-Xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	154.50	0.00	0.11	0.00
* m-Xylene	0.80	6.09	0.62	1.08	809.10	839.33	0.43	1.70
Chlorobenzene	65.13	96.72	216.81	189.10	6319.81	7802.24	0.04	13.45
Styrene	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	1448.34	0.00	0.00
1,3,5-trimethylbenzene	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01

VOC 측정농도(10월 10일)

(단위: ppb)

측정지점 대상물질	w261	w272	w222	w215	w261배출공	w272배출공	상암	가양
* Benzene	0.00	16.82	0.12	0.00	0.00	363.89	0.00	0.00
* Toluene	230.31	105.30	124.58	147.26	471.66	187.82	4.55	39.77
m-Dichlorobenzene	0.00	0.01	1.27	1.02	0.00	8.31	0.48	0.14
p-Dichlorobenzene	0.04	0.00	0.00	0.00	12.27	0.00	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.00	0.10	0.01	0.00	26.89	34.90	0.13	0.15
cis-1,3-dichloropropene	0.03	0.01	0.00	0.01	94.97	0.51	0.01	0.01
1,1-dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1-dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2-dichloropropane	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.29	0.13	0.33	0.22	141.19	15.28	1.46	0.12
trans-1,3-dichloropropene	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.01	0.00
1,1,1-trichloroethane	0.00	0.03	0.01	0.00	0.24	0.01	0.00	0.00
1,1,2-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
* Chloroform	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
* Trichloroethylene	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.98	0.02	0.00
* Tetrachloroethylene	0.01	0.01	0.00	0.00	49.54	20.01	0.00	0.01
Carbontetrachloride	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Ethylbenzene	5.53	0.53	7.15	3.44	3361.37	1026.61	0.72	2.78
* p-Xylene	2.84	0.25	3.82	1.77	830.86	274.69	0.49	2.07
* o-Xylene	0.00	0.00	0.01	0.00	445.91	72.96	0.09	0.24
* m-Xylene	2.84	0.25	3.82	1.77	830.86	274.69	0.49	2.07
Chlorobenzene	75.16	26.39	54.32	60.20	3673.95	408.40	0.04	19.25
Styrene	0.00	0.00	0.00	0.07	387.41	40.80	0.00	0.02
1,3,5-trimethylbenzene	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VOC 측정농도(10월 13일)

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w261	w272	w222	w215	w261배출공	w272배출공
* Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Toluene	1.15	10.46	43.64	23.06	240.58	215.24
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.16	0.00	0.00	0.00	209.18	32.19
cis 1,3-dichloropropene	0.00	0.01	0.00	0.00	10.74	0.17
1,1-dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00
1,1-dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2-dichloropropane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.03	0.02	0.02	0.02	32.61	2.48
trans-1,3-dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,1-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,2-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Trichloroethylene	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00
* Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	2.58
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	1.92	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Ethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* p-Xylene	2.64	0.58	0.00	0.00	6310.09	1131.68
* o-Xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	1832.49	128.54
* m-Xylene	0.95	0.19	0.00	0.00	1881.65	335.68
Chlorobenzene	3.59	13.16	29.33	9.69	1088.08	82.24
Styrene	0.00	0.00	0.00	0.00	1085.65	119.88
1,3,5-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	101.15	12.43

VOC 측정농도(10월 14일)

(단위: ppb)

대상물질 \ 측정지점	w261	w272	w222	w215	w261배출공	w272배출공
* Benzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Toluene	1.14	25.47	33.61	23.08	297.03	217.29
m-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
p-Dichlorobenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2,4-trimethylbenzene	0.06	0.00	0.00	0.00	119.18	33.03
cis 1,3-dichloropropene	0.00	0.01	0.00	0.00	10.74	0.18
1,1-dichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00
1,1-dichloroethene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,2-dichloropropane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,2,2-tetrachloroethane	0.03	0.02	0.02	0.02	47.51	2.24
trans-1,3-dichloropropene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,1-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,1,2-trichloroethane	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Chloroform	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Trichloroethylene	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00
* Tetrachloroethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	2.58
Carbontetrachloride	0.00	0.00	0.00	0.00	1.92	0.00
Ethylchloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* Ethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
* p-Xylene	3.64	0.68	0.00	0.00	6860.09	1129.68
* o-Xylene	0.00	0.00	0.00	0.00	1943.49	112.54
* m-Xylene	0.95	0.19	0.00	0.00	1764.65	346.68
Chlorobenzene	4.89	23.56	29.00	8.97	1241.08	113.24
Styrene	0.00	0.00	0.00	0.00	1143.65	107.88
1,3,5-trimethylbenzene	0.00	0.00	0.00	0.00	98.15	19.44

부록3: VOCs의 호흡경로에 대한 발암등급과 기준

• VOCs의 호흡경로에 대한 발암등급

VOCs	EPA	IARC
Benzene	A	1
1,3-Butadiene	B2	NAc)
Carbon tetrachloride	B2	2B
Chloroform	B2	NAc)
1,2-Dichloroethane	B2	NAc)
Dichloromethane	B2	3
1,1,2-Trichloroethane	C	NAc)
1,1-Dichloroethene	NAc)	NAc)
Ethylbenzene	D	NAc)
Naphtalene	D	NAc)
Styrene	NAc)	3
Toluene	D	NAc)
Xylenes(isomers and mixtures)	D	NAc)
o-, m-, p-Xylene	D	NAc)
Tetrachloroethylene	NAc)	NAc)
Trichloroethylene	NAc)	3
1,1,1-Trichloroethane	D	NAc)

• VOCs의 호흡경로에 대한 발암등급 기준

VOCs	RFD	Oral CSF	RFC	Inhalation URF	Inhalation CSF(mg/kg/day)
Vinyl chloride	ND	1.9E+0	ND	8.4E-5	3.0E-1
Ethylchloride	8.6E-2	1.3E-2	3.0E-1	1.8E-6	6.3E-3
Methylenechloride	6.0E-2	7.5E-3	3.0E+0	4.7E-7	1.6E-3
Chloroform	1.0E-2	6.1E-3	3.5E-2	2.3E-5	8.1E-2
Carbontetrachloride	7.0E-4	1.3E-1	2.5E-3	1.5E-5	5.3E-2
Benzene	1.7E-4	2.9E-2	6.0E-2	8.3E-6	2.9E-2
Trichloroethane	3.5E-2	NA	1.23E-1	NA	NA
	4.0E-3	5.7E-2	1.4E-2	1.6E-5	5.7E-2
Trichloroethylene	6.0E-3	1.1E-2	2.1E-2	1.7E-6	1.1E-2
Toluene	2.0E-1	ND	4.0E-1	ND	ND
Dichloroethane	1.0E-1	9.1E-2	5.0E-1	2.6E-5	9.1E-2
	2.9E-3	9.1E-2	1.0E-2	2.6E-5	9.1E-2
Tetrachloroethylene	1.0E-2	5.2E-2	3.5E-2	5.8E-7	2.0E-3
Chlorobenzene	2.0E-2	ND	2.0E-2	ND	ND
Ethylbenzene	1.0E-1	ND	1.0E+0	ND	ND
p-xylene	2.0E+0	ND	7.0E+0	ND	ND
m-xylene	2.0E+0	ND	7.0E+0	ND	ND
o-xylene	2.0E+0	ND	7.0E+0	ND	ND
styrene	2.0E-1	ND	1.0E+0	ND	ND
o-Dichlorobenzene	9.0E-2	ND	2E-1	ND	ND
m-Dichlorobenzene	8.9E-2	ND	3.12E-1	ND	ND
p-Dichlorobenzene	2.3E-1	2.4E-2	8.0E-1	6.9E-3	2.4E-2

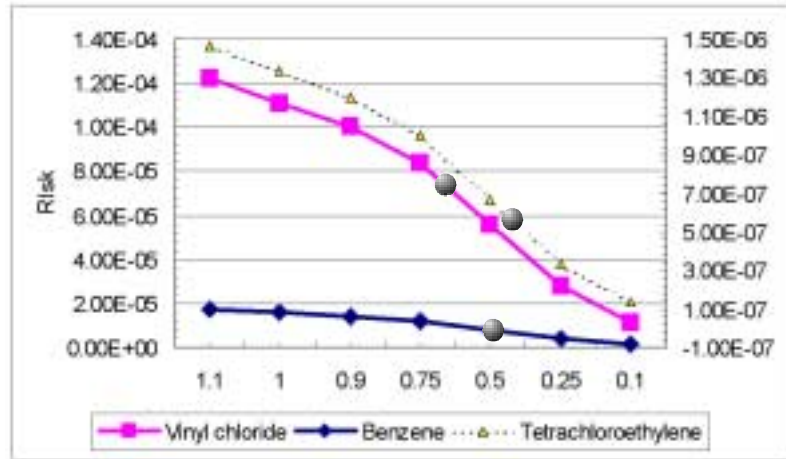
주: NA= not applicable, ND=no data available, CSF=Oral cancer slope factor, URF=Inhalation Unit Risk Factor, RFD = Reference Dose, RFC=Reference Concentration

자료: http://www.epa.gov/earth1r6/6pd/rcra_c/protocol/volume_2/appa-toc.htm

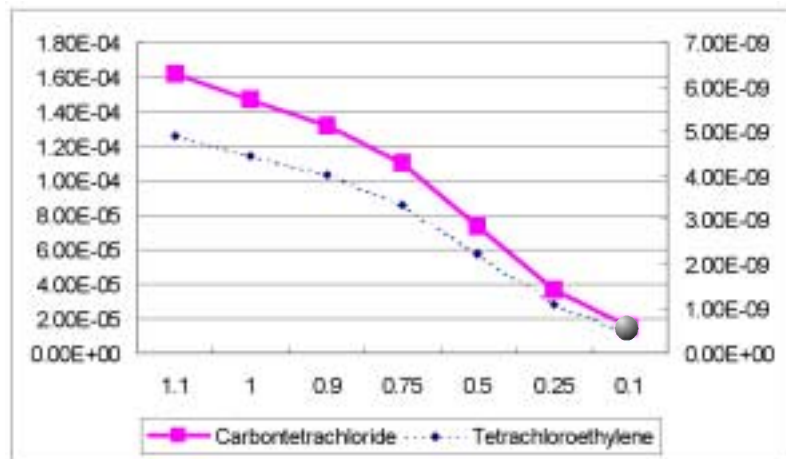
부록4: 서울시 난지도 매립지 VOCs의 위해도 평가: 매립가스 포집 Simulation Scenario

1. 발암성물질의 위해도

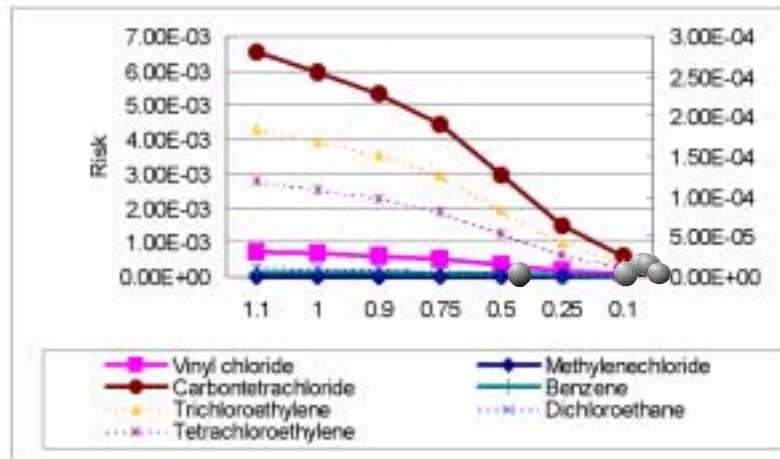
1) Lifetime



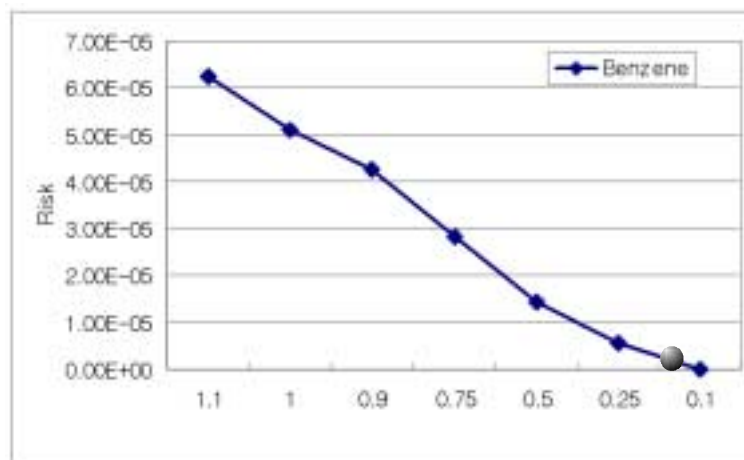
<상부-매립지>



<사면-매립지>



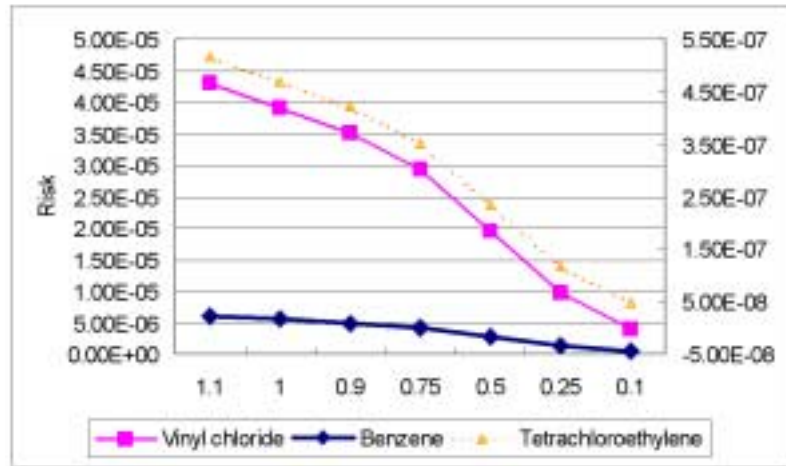
〈배출공-매립지〉



주: 〈주변지역-상암〉: 발암물질은 거의 배출되지 않는 것으로 조사됨.

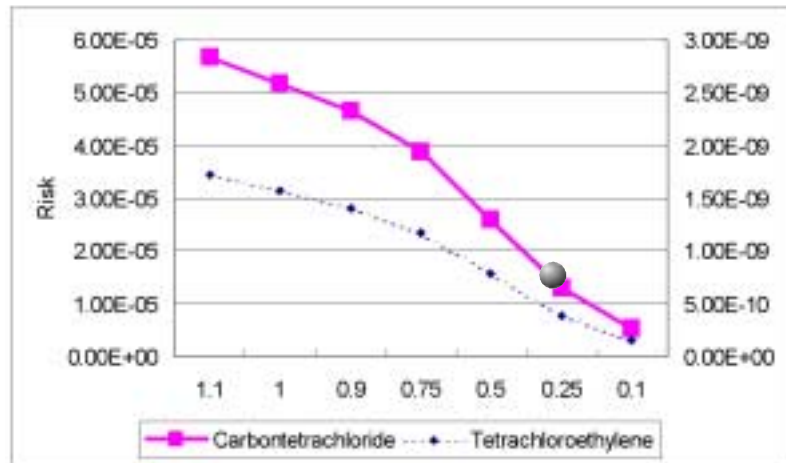
〈주변지역-가양〉

2) 난지도 매립지 토지이용시 근무인력: 8시간 노출



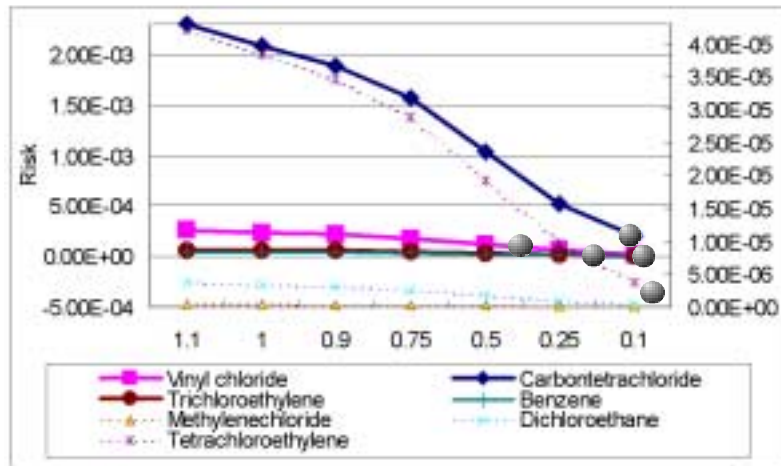
주: 포집하지 않아도 미국 EPA 기준 만족.

<상부-매립지>



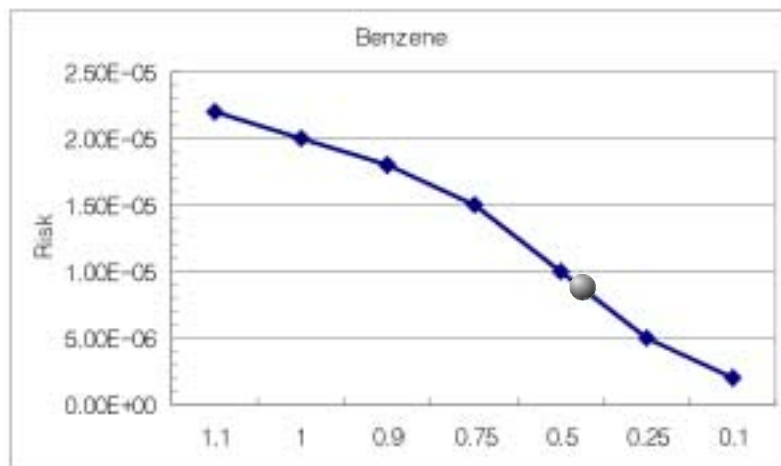
주: carbotetrachloride는 71% 이상 포집이 필요하고, tetrachloroethylene은 EPA기준 충족.

<사면-매립지>



주: methylenechloride 및 dichloroethane는 현상태에서도 EPA 기준 달성

〈배출공-매립지〉

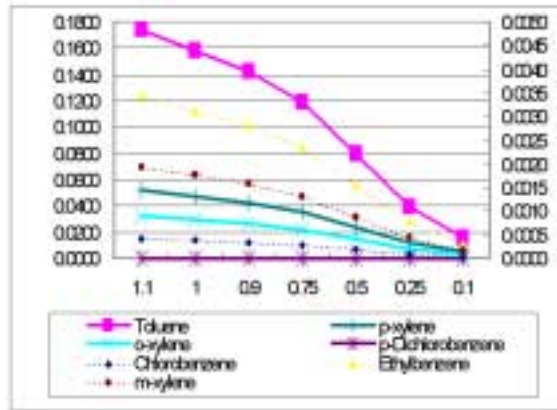


주: 〈주변지역-상암〉 : 발암성물질이 거의 배출되지 않는 것으로 조사됨.

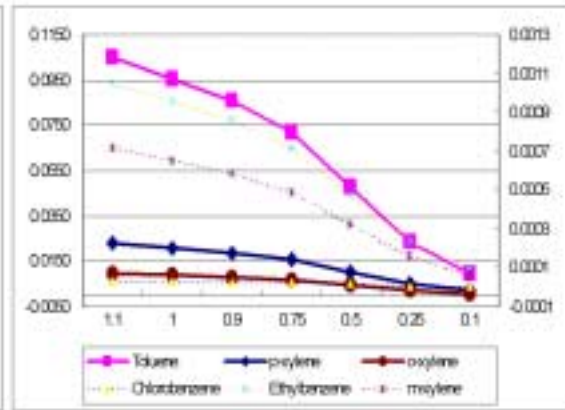
〈주변지역-가양〉

2. 비발암성물질

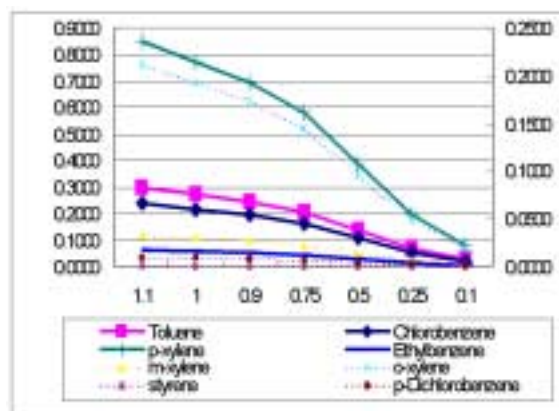
1) 평생노출(Lifetime)



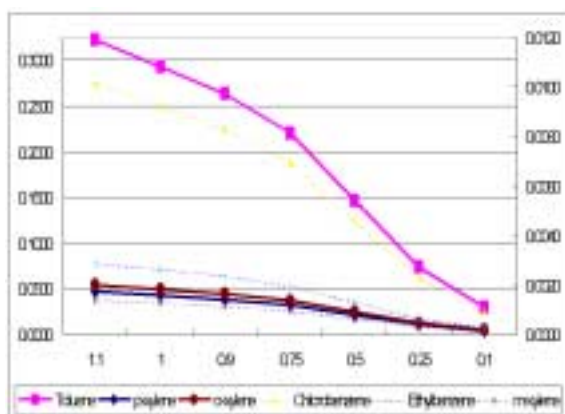
〈매립지 상부〉



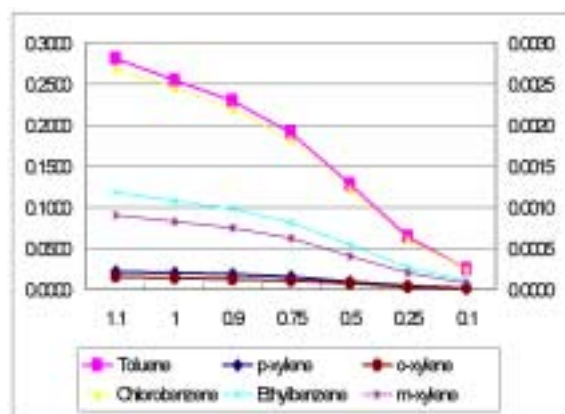
〈매립지 사면〉



〈배출공〉

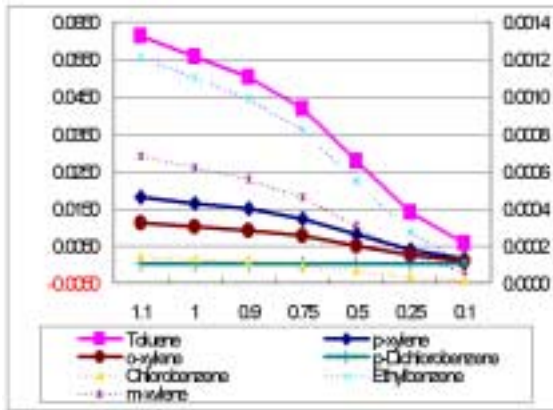


〈주거지역-상암〉

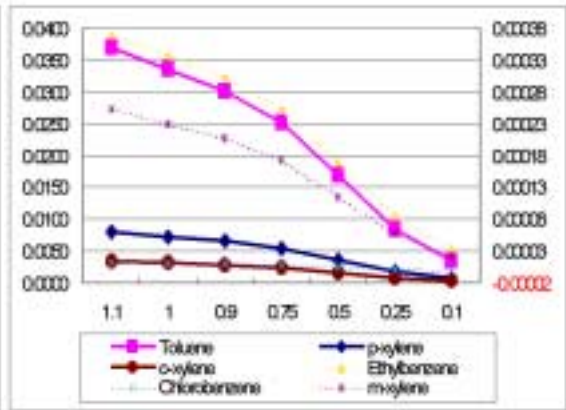


〈주거지역-가양〉

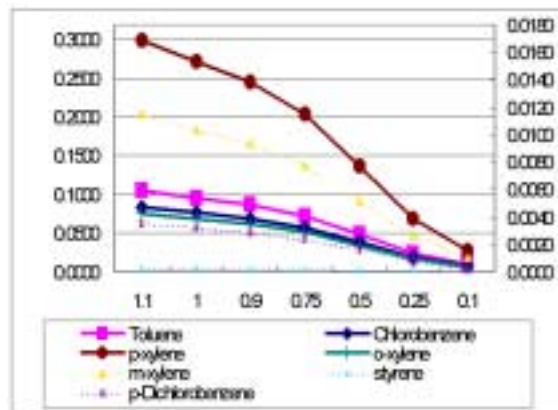
2) 난지도 매립지 시설 근무자의 위해도



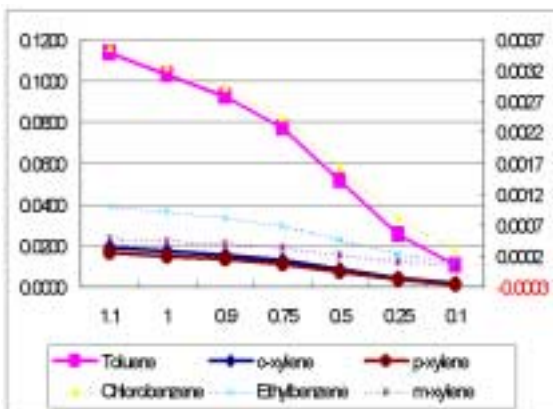
〈매립지 상부〉



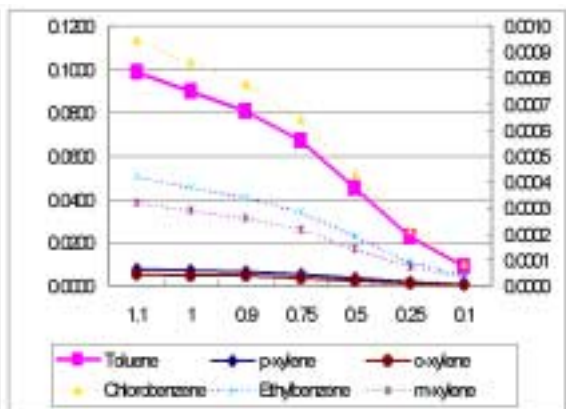
〈매립지 사면〉



〈배출공〉



〈주거지역-상암〉



〈주거지역-가양〉

부록 5: 4계절 VOCs 측정평균에 의한 인체 노출량과 위해도

1) 인체노출량 ADD

㉡ 발암성물질

제1매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Vinyl chloride	4.11E-05	0.00E+00	5.76E-04	1.41E-05	0.00E+00	1.98E-04	1.04E-06	0.00E+00	1.46E-05	2.41E-07	0.00E+00	3.37E-06	4.90E-07	0.00E+00	6.86E-06	1.13E-07	0.00E+00	1.58E-06
Methylenechloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Chloroform	7.39E-06	0.00E+00	4.56E-05	2.54E-06	0.00E+00	1.57E-05	1.88E-07	0.00E+00	1.16E-06	4.33E-08	0.00E+00	2.67E-07	8.81E-08	0.00E+00	5.44E-07	2.03E-08	0.00E+00	1.25E-07
Carbontetrachloride	6.91E-05	0.00E+00	2.82E-03	2.37E-05	0.00E+00	9.69E-04	1.75E-06	0.00E+00	7.17E-05	4.05E-07	0.00E+00	1.65E-05	8.23E-07	0.00E+00	3.36E-05	1.90E-07	0.00E+00	7.76E-06
Benzene	1.41E-04	0.00E+00	4.72E-03	4.84E-05	0.00E+00	1.62E-03	3.58E-06	0.00E+00	1.20E-04	8.26E-07	0.00E+00	2.77E-05	1.68E-06	0.00E+00	5.63E-05	3.87E-07	0.00E+00	1.30E-05
Trichloroethylene	7.61E-06	0.00E+00	6.64E-05	2.61E-06	0.00E+00	2.28E-05	1.93E-07	0.00E+00	1.69E-06	4.46E-08	0.00E+00	3.89E-07	9.07E-08	0.00E+00	7.91E-07	2.09E-08	0.00E+00	1.83E-07
Dichloroethane	6.54E-06	0.00E+00	4.18E-05	2.24E-06	0.00E+00	1.44E-05	1.66E-07	0.00E+00	1.06E-06	3.83E-08	0.00E+00	2.45E-07	7.79E-08	0.00E+00	4.98E-07	1.80E-08	0.00E+00	1.15E-07
Tetrachloroethylene	2.63E-05	0.00E+00	9.32E-04	9.03E-06	0.00E+00	3.20E-04	6.68E-07	0.00E+00	2.37E-05	1.54E-07	0.00E+00	5.46E-06	3.14E-07	0.00E+00	1.11E-05	7.24E-08	0.00E+00	2.56E-06
1, 1, 2, 2-tetrachloroethane	2.40E-04	0.00E+00	3.13E-03	8.22E-05	0.00E+00	1.07E-03	6.08E-06	0.00E+00	7.94E-05	1.40E-06	0.00E+00	1.83E-05	2.85E-06	0.00E+00	3.73E-05	6.59E-07	0.00E+00	8.60E-06
1, 1, 2-trichloroethane	1.23E-05	0.00E+00	3.75E-05	4.22E-06	0.00E+00	1.29E-05	3.12E-07	0.00E+00	9.52E-07	7.21E-08	0.00E+00	2.20E-07	1.47E-07	0.00E+00	4.47E-07	3.38E-08	0.00E+00	1.03E-07

제2매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Vinyl chloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Methylenechloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Chloroform	1.64E-05	0.00E+00	6.00E-05	5.63E-06	0.00E+00	2.06E-05	4.16E-07	0.00E+00	1.53E-06	9.61E-08	0.00E+00	3.52E-07	1.95E-07	0.00E+00	7.16E-07	4.51E-08	0.00E+00	1.65E-07
Carbontetrachloride	2.32E-05	0.00E+00	8.56E-05	7.96E-06	0.00E+00	2.94E-05	5.89E-07	0.00E+00	2.18E-06	1.36E-07	0.00E+00	5.02E-07	2.76E-07	0.00E+00	1.02E-06	6.37E-08	0.00E+00	2.36E-07
Benzene	7.83E-05	0.00E+00	1.76E-03	2.69E-05	0.00E+00	6.05E-04	1.99E-06	0.00E+00	4.48E-05	4.59E-07	0.00E+00	1.03E-05	9.33E-07	0.00E+00	2.10E-05	2.15E-07	0.00E+00	4.85E-06
Trichloroethylene	1.97E-05	0.00E+00	7.54E-05	6.78E-06	0.00E+00	2.59E-05	5.02E-07	0.00E+00	1.92E-06	1.16E-07	0.00E+00	4.42E-07	2.35E-07	0.00E+00	8.99E-07	5.43E-08	0.00E+00	2.07E-07
Dichloroethane	1.47E-05	0.00E+00	5.51E-05	5.05E-06	0.00E+00	1.89E-05	3.74E-07	0.00E+00	1.40E-06	8.62E-08	0.00E+00	3.23E-07	1.75E-07	0.00E+00	6.56E-07	4.05E-08	0.00E+00	1.51E-07
Tetrachloroethylene	1.61E-05	0.00E+00	5.55E-05	5.53E-06	0.00E+00	1.91E-05	4.09E-07	0.00E+00	1.41E-06	9.45E-08	0.00E+00	3.26E-07	1.92E-07	0.00E+00	6.62E-07	4.43E-08	0.00E+00	1.53E-07
1, 1, 2, 2-tetrachloroethane	3.18E-05	0.00E+00	1.83E-04	1.09E-05	0.00E+00	6.28E-05	8.07E-07	0.00E+00	4.65E-06	1.86E-07	0.00E+00	1.07E-06	3.79E-07	0.00E+00	2.18E-06	8.74E-08	0.00E+00	5.03E-07
1, 1, 2-trichloroethane	1.27E-05	0.00E+00	4.13E-05	4.35E-06	0.00E+00	1.42E-05	3.22E-07	0.00E+00	1.05E-06	7.43E-08	0.00E+00	2.42E-07	1.51E-07	0.00E+00	4.93E-07	3.49E-08	0.00E+00	1.14E-07

주변지역의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Vinyl chloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Methylenechloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Chloroform	3.61E-05	0.00E+00	1.90E-04	1.24E-05	0.00E+00	6.51E-05	9.17E-07	0.00E+00	4.82E-06	2.12E-07	0.00E+00	1.11E-06	4.30E-07	0.00E+00	2.26E-06	4.51E-08	0.00E+00	1.65E-07
Carbontetrachloride	4.35E-05	0.00E+00	2.69E-04	1.49E-05	0.00E+00	9.25E-05	1.10E-06	0.00E+00	6.84E-06	2.55E-07	0.00E+00	1.58E-06	5.18E-07	0.00E+00	3.21E-06	6.37E-08	0.00E+00	2.36E-07
Benzene	8.52E-04	0.00E+00	1.10E-02	2.93E-04	0.00E+00	3.76E-03	2.17E-05	0.00E+00	2.78E-04	5.00E-06	0.00E+00	6.42E-05	1.02E-05	0.00E+00	1.31E-04	2.15E-07	0.00E+00	4.85E-06
Trichloroethylene	2.61E-05	0.00E+00	1.62E-04	8.97E-06	0.00E+00	5.56E-05	6.64E-07	0.00E+00	4.11E-06	1.53E-07	0.00E+00	9.49E-07	3.11E-07	0.00E+00	1.93E-06	5.43E-08	0.00E+00	2.07E-07
Dichloroethane	2.60E-05	0.00E+00	1.74E-04	8.93E-06	0.00E+00	5.97E-05	6.60E-07	0.00E+00	4.42E-06	1.52E-07	0.00E+00	1.02E-06	3.10E-07	0.00E+00	2.07E-06	4.05E-08	0.00E+00	1.51E-07
Tetrachloroethylene	4.01E-05	0.00E+00	1.75E-04	1.38E-05	0.00E+00	6.01E-05	1.02E-06	0.00E+00	4.45E-06	2.35E-07	0.00E+00	1.03E-06	4.78E-07	0.00E+00	2.09E-06	4.43E-08	0.00E+00	1.53E-07
1, 1, 2, 2-tetrachloroethane	5.94E-04	0.00E+00	3.29E-03	2.04E-04	0.00E+00	1.13E-03	1.51E-05	0.00E+00	8.36E-05	3.48E-06	0.00E+00	1.93E-05	7.08E-06	0.00E+00	3.92E-05	8.74E-08	0.00E+00	5.03E-07
1, 1, 2-trichloroethane	3.01E-05	0.00E+00	1.56E-04	1.03E-05	0.00E+00	5.35E-05	7.64E-07	0.00E+00	3.96E-06	1.76E-07	0.00E+00	9.13E-07	3.58E-07	0.00E+00	1.86E-06	3.49E-08	0.00E+00	1.14E-07

㉔ 비발암성물질

제1매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Ethylchloride	4.28E-06	0.00E+00	2.67E-05	1.47E-06	0.00E+00	9.17E-06	1.09E-07	0.00E+00	6.79E-07	2.51E-08	0.00E+00	1.57E-07	5.10E-08	0.00E+00	3.18E-07	1.18E-08	0.00E+00	7.35E-08
Toluene	6.75E-03	4.21E-05	1.09E-01	2.32E-03	1.45E-05	3.75E-02	1.71E-04	1.07E-06	2.77E-03	3.95E-05	2.47E-07	6.39E-04	8.04E-05	5.02E-07	1.30E-03	1.86E-05	1.16E-07	3.00E-04
Chlorobenzene	6.42E-03	0.00E+00	8.18E-02	2.20E-03	0.00E+00	2.81E-02	1.63E-04	0.00E+00	2.08E-03	3.76E-05	0.00E+00	4.80E-04	7.65E-05	0.00E+00	9.75E-04	1.77E-05	0.00E+00	2.25E-04
Ethylbenzene	2.25E-04	0.00E+00	1.43E-03	7.74E-05	0.00E+00	4.91E-04	5.73E-06	0.00E+00	3.63E-05	1.32E-06	0.00E+00	8.39E-06	2.69E-06	0.00E+00	1.71E-05	6.20E-07	0.00E+00	3.93E-06
p-xylene	2.34E-04	0.00E+00	1.77E-03	8.04E-05	0.00E+00	6.09E-04	5.95E-06	0.00E+00	4.50E-05	1.37E-06	0.00E+00	1.04E-05	2.79E-06	0.00E+00	2.11E-05	6.44E-07	0.00E+00	4.88E-06
m-xylene	1.62E-04	0.00E+00	2.30E-03	5.55E-05	0.00E+00	7.88E-04	4.11E-06	0.00E+00	5.83E-05	9.48E-07	0.00E+00	1.35E-05	1.93E-06	0.00E+00	2.74E-05	4.45E-07	0.00E+00	6.32E-06
o-xylene	2.02E-04	0.00E+00	1.43E-03	6.95E-05	0.00E+00	4.91E-04	5.14E-06	0.00E+00	3.63E-05	1.19E-06	0.00E+00	8.38E-06	2.41E-06	0.00E+00	1.70E-05	5.57E-07	0.00E+00	3.93E-06
styrene	2.91E-05	0.00E+00	2.85E-04	9.98E-06	0.00E+00	9.79E-05	7.38E-07	0.00E+00	7.24E-06	1.70E-07	0.00E+00	1.67E-06	3.46E-07	0.00E+00	3.40E-06	7.99E-08	0.00E+00	7.84E-07
o-Dichlorobenzene	4.02E-06	0.00E+00	6.31E-05	1.38E-06	0.00E+00	2.17E-05	1.02E-07	0.00E+00	1.60E-06	2.36E-08	0.00E+00	3.70E-07	4.80E-08	0.00E+00	7.52E-07	1.11E-08	0.00E+00	1.74E-07
m-Dichlorobenzene	9.92E-06	0.00E+00	2.57E-04	3.41E-06	0.00E+00	8.83E-05	2.52E-07	0.00E+00	6.53E-06	5.82E-08	0.00E+00	1.51E-06	1.18E-07	0.00E+00	3.07E-06	2.73E-08	0.00E+00	7.08E-07
p-Dichlorobenzene	1.93E-06	0.00E+00	6.11E-05	6.63E-07	0.00E+00	2.10E-05	4.90E-08	0.00E+00	1.55E-06	1.13E-08	0.00E+00	3.58E-07	2.30E-08	0.00E+00	7.28E-07	5.31E-09	0.00E+00	1.68E-07
1,2-dichloropropane	1.24E-05	0.00E+00	4.22E-05	4.25E-06	0.00E+00	1.45E-05	3.14E-07	0.00E+00	1.07E-06	7.26E-08	0.00E+00	2.47E-07	1.48E-07	0.00E+00	5.03E-07	3.41E-08	0.00E+00	1.16E-07
1,1,1-trichloroethane	7.20E-06	0.00E+00	5.22E-05	2.47E-06	0.00E+00	1.79E-05	1.83E-07	0.00E+00	1.33E-06	4.22E-08	0.00E+00	3.06E-07	8.58E-08	0.00E+00	6.22E-07	1.98E-08	0.00E+00	1.44E-07
1,2,4-trimethylbenzene	1.40E-04	0.00E+00	1.89E-03	4.81E-05	0.00E+00	6.47E-04	3.56E-06	0.00E+00	4.79E-05	8.21E-07	0.00E+00	1.11E-05	1.67E-06	0.00E+00	2.25E-05	3.85E-07	0.00E+00	5.19E-06
cis 1,3-dichloropropene	1.01E-05	0.00E+00	4.94E-05	3.48E-06	0.00E+00	1.70E-05	2.58E-07	0.00E+00	1.26E-06	5.95E-08	0.00E+00	2.90E-07	1.21E-07	0.00E+00	5.89E-07	2.79E-08	0.00E+00	1.36E-07
1,1-dichloroethene	9.53E-06	0.00E+00	3.26E-05	3.27E-06	0.00E+00	1.12E-05	2.42E-07	0.00E+00	8.28E-07	5.59E-08	0.00E+00	1.91E-07	1.14E-07	0.00E+00	3.88E-07	2.62E-08	0.00E+00	8.96E-08
trans-1,3-dichloropropene	8.30E-06	0.00E+00	2.84E-05	2.85E-06	0.00E+00	9.77E-06	2.11E-07	0.00E+00	7.23E-07	4.87E-08	0.00E+00	1.67E-07	9.90E-08	0.00E+00	3.39E-07	2.28E-08	0.00E+00	7.82E-08
1,3,5-trimethylbenzene	7.92E-06	0.00E+00	7.82E-05	2.72E-06	0.00E+00	2.69E-05	2.01E-07	0.00E+00	1.99E-06	4.64E-08	0.00E+00	4.59E-07	9.44E-08	0.00E+00	9.32E-07	2.18E-08	0.00E+00	2.15E-07

제2매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Ethylchloride	9.38E-06	0.00E+00	3.52E-05	3.22E-06	0.00E+00	1.21E-05	2.38E-07	0.00E+00	8.94E-07	5.50E-08	0.00E+00	2.06E-07	1.12E-07	0.00E+00	4.20E-07	2.58E-08	0.00E+00	9.69E-08
Toluene	9.78E-03	1.40E-04	4.55E-02	3.36E-03	4.82E-05	1.56E-02	2.49E-04	3.57E-06	1.16E-03	5.74E-05	8.23E-07	2.67E-04	1.17E-04	1.67E-06	5.42E-04	2.69E-05	3.86E-07	1.25E-04
Chlorobenzene	3.73E-03	0.00E+00	2.27E-02	1.28E-03	0.00E+00	7.80E-03	9.48E-05	0.00E+00	5.77E-04	2.19E-05	0.00E+00	1.33E-04	4.45E-05	0.00E+00	2.71E-04	1.03E-05	0.00E+00	6.25E-05
Ethylbenzene	3.33E-04	0.00E+00	2.55E-03	1.14E-04	0.00E+00	8.74E-04	8.45E-06	0.00E+00	6.47E-05	1.95E-06	0.00E+00	1.49E-05	3.96E-06	0.00E+00	3.03E-05	9.15E-07	0.00E+00	7.00E-06
p-xylene	2.37E-04	0.00E+00	1.90E-03	8.12E-05	0.00E+00	6.53E-04	6.01E-06	0.00E+00	4.83E-05	1.39E-06	0.00E+00	1.11E-05	2.82E-06	0.00E+00	2.27E-05	6.51E-07	0.00E+00	5.23E-06
m-xylene	1.50E-05	0.00E+00	1.18E-04	5.16E-06	0.00E+00	4.04E-05	3.82E-07	0.00E+00	2.99E-06	8.81E-08	0.00E+00	6.90E-07	1.79E-07	0.00E+00	1.40E-06	4.14E-08	0.00E+00	3.24E-07
o-xylene	1.42E-04	0.00E+00	1.36E-03	4.87E-05	0.00E+00	4.66E-04	3.60E-06	0.00E+00	3.45E-05	8.31E-07	0.00E+00	7.96E-06	1.69E-06	0.00E+00	1.62E-05	3.90E-07	0.00E+00	3.73E-06
styrene	3.52E-04	0.00E+00	5.73E-03	1.21E-04	0.00E+00	1.97E-03	8.95E-06	0.00E+00	1.46E-04	2.07E-06	0.00E+00	3.36E-05	4.20E-06	0.00E+00	6.83E-05	9.69E-07	0.00E+00	1.58E-05
o-Dichlorobenzene	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
m-Dichlorobenzene	4.34E-05	0.00E+00	6.25E-04	1.49E-05	0.00E+00	2.15E-04	1.10E-06	0.00E+00	1.59E-05	2.54E-07	0.00E+00	3.66E-06	5.17E-07	0.00E+00	7.45E-06	1.19E-07	0.00E+00	1.72E-06
p-Dichlorobenzene	2.97E-07	0.00E+00	7.73E-06	1.02E-07	0.00E+00	2.65E-06	7.55E-09	0.00E+00	1.96E-07	1.74E-09	0.00E+00	4.53E-08	3.54E-09	0.00E+00	9.21E-08	8.18E-10	0.00E+00	2.13E-08
1,2-dichloropropane	1.67E-05	0.00E+00	5.57E-05	5.73E-06	0.00E+00	1.91E-05	4.24E-07	0.00E+00	1.41E-06	9.78E-08	0.00E+00	3.26E-07	1.99E-07	0.00E+00	6.63E-07	4.59E-08	0.00E+00	1.53E-07
1,1,1-trichloroethane	1.87E-05	0.00E+00	6.88E-05	6.43E-06	0.00E+00	2.36E-05	4.76E-07	0.00E+00	1.75E-06	1.10E-07	0.00E+00	4.03E-07	2.23E-07	0.00E+00	8.20E-07	5.15E-08	0.00E+00	1.89E-07
1,2,4-trimethylbenzene	2.53E-06	0.00E+00	2.54E-05	8.69E-07	0.00E+00	8.74E-06	6.43E-08	0.00E+00	6.46E-07	1.48E-08	0.00E+00	1.49E-07	3.02E-08	0.00E+00	3.03E-07	6.96E-09	0.00E+00	7.00E-08
cis 1,3-dichloropropene	1.03E-05	0.00E+00	3.69E-05	3.55E-06	0.00E+00	1.27E-05	2.62E-07	0.00E+00	9.37E-07	6.05E-08	0.00E+00	2.16E-07	1.23E-07	0.00E+00	4.40E-07	2.84E-08	0.00E+00	1.01E-07
1,1-dichloroethene	1.15E-05	0.00E+00	3.59E-05	3.95E-06	0.00E+00	1.23E-05	2.92E-07	0.00E+00	9.13E-07	6.74E-08	0.00E+00	2.11E-07	1.37E-07	0.00E+00	4.28E-07	3.16E-08	0.00E+00	9.88E-08
trans-1,3-dichloropropene	1.18E-05	0.00E+00	7.40E-05	4.06E-06	0.00E+00	2.54E-05	3.01E-07	0.00E+00	1.88E-06	6.94E-08	0.00E+00	4.34E-07	1.41E-07	0.00E+00	8.82E-07	3.26E-08	0.00E+00	2.04E-07
1,3,5-trimethylbenzene	1.35E-04	0.00E+00	2.56E-03	4.65E-05	0.00E+00	8.79E-04	3.44E-06	0.00E+00	6.50E-05	7.93E-07	0.00E+00	1.50E-05	1.61E-06	0.00E+00	3.05E-05	3.72E-07	0.00E+00	7.04E-06

주변지역의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

비발암물질	인체 노출량 ADD (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Ethylchloride	1.65E-05	0.00E+00	1.11E-04	5.66E-06	0.00E+00	3.82E-05	4.19E-07	0.00E+00	2.82E-06	9.67E-08	0.00E+00	6.51E-07	1.97E-07	0.00E+00	1.32E-06	4.54E-08	0.00E+00	3.06E-07
Toluene	3.18E-02	5.62E-03	9.63E-02	1.09E-02	1.93E-03	3.31E-02	8.08E-04	1.43E-04	2.45E-03	1.87E-04	3.30E-05	5.65E-04	3.79E-04	6.70E-05	1.15E-03	8.75E-05	1.55E-05	2.65E-04
Chlorobenzene	4.00E-03	0.00E+00	2.91E-02	1.37E-03	0.00E+00	9.98E-03	1.02E-04	0.00E+00	7.38E-04	2.34E-05	0.00E+00	1.70E-04	4.77E-05	0.00E+00	3.46E-04	1.10E-05	0.00E+00	7.99E-05
Ethylbenzene	1.97E-03	0.00E+00	1.73E-02	6.76E-04	0.00E+00	5.93E-03	5.00E-05	0.00E+00	4.39E-04	1.15E-05	0.00E+00	1.01E-04	2.35E-05	0.00E+00	2.06E-04	5.42E-06	0.00E+00	4.75E-05
p-xylene	1.40E-03	0.00E+00	6.26E-03	4.81E-04	0.00E+00	2.15E-03	3.56E-05	0.00E+00	1.59E-04	8.22E-06	0.00E+00	3.67E-05	1.67E-05	0.00E+00	7.46E-05	3.86E-06	0.00E+00	1.72E-05
m-xylene	1.33E-03	0.00E+00	8.95E-03	4.57E-04	0.00E+00	3.07E-03	3.38E-05	0.00E+00	2.27E-04	7.80E-06	0.00E+00	5.25E-05	1.59E-05	0.00E+00	1.07E-04	3.66E-06	0.00E+00	2.46E-05
o-xylene	1.61E-03	0.00E+00	6.26E-03	5.53E-04	0.00E+00	2.15E-03	4.09E-05	0.00E+00	1.59E-04	9.44E-06	0.00E+00	3.67E-05	1.92E-05	0.00E+00	7.46E-05	4.43E-06	0.00E+00	1.72E-05
styrene	1.06E-03	0.00E+00	1.64E-02	3.63E-04	0.00E+00	5.64E-03	2.68E-05	0.00E+00	4.17E-04	6.19E-06	0.00E+00	9.63E-05	1.26E-05	0.00E+00	1.96E-04	2.91E-06	0.00E+00	4.52E-05
o-Dichlorobenzene	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
m-Dichlorobenzene	1.92E-04	0.00E+00	2.29E-03	6.59E-05	0.00E+00	7.86E-04	4.87E-06	0.00E+00	5.81E-05	1.12E-06	0.00E+00	1.34E-05	2.29E-06	0.00E+00	2.73E-05	5.28E-07	0.00E+00	6.29E-06
p-Dichlorobenzene	2.24E-05	0.00E+00	3.53E-04	7.71E-06	0.00E+00	1.21E-04	5.70E-07	0.00E+00	8.98E-06	1.32E-07	0.00E+00	2.07E-06	2.68E-07	0.00E+00	4.21E-06	6.17E-08	0.00E+00	9.72E-07
1,2-dichloropropane	5.61E-05	0.00E+00	1.60E-04	1.93E-05	0.00E+00	5.49E-05	1.43E-06	0.00E+00	4.06E-06	3.29E-07	0.00E+00	9.37E-07	6.69E-07	0.00E+00	1.91E-06	1.54E-07	0.00E+00	4.40E-07
1,1,1-trichloroethane	3.38E-05	0.00E+00	2.17E-04	1.16E-05	0.00E+00	7.46E-05	8.57E-07	0.00E+00	5.52E-06	1.98E-07	0.00E+00	1.27E-06	4.02E-07	0.00E+00	2.59E-06	9.28E-08	0.00E+00	5.98E-07
1,2,4-trimethylbenzene	1.87E-03	0.00E+00	1.63E-02	6.41E-04	0.00E+00	5.59E-03	4.74E-05	0.00E+00	4.13E-04	1.09E-05	0.00E+00	9.54E-05	2.22E-05	0.00E+00	1.94E-04	5.13E-06	0.00E+00	4.47E-05
cis 1,3-dichloropropene	4.24E-05	0.00E+00	1.16E-04	1.45E-05	0.00E+00	3.99E-05	1.08E-06	0.00E+00	2.95E-06	2.48E-07	0.00E+00	6.81E-07	5.05E-07	0.00E+00	1.38E-06	1.17E-07	0.00E+00	3.20E-07
1,1-dichloroethene	5.78E-04	0.00E+00	4.13E-03	1.98E-04	0.00E+00	1.42E-03	1.47E-05	0.00E+00	1.05E-04	3.39E-06	0.00E+00	2.42E-05	6.89E-06	0.00E+00	4.93E-05	1.59E-06	0.00E+00	1.14E-05
trans-1,3-dichloropropene	4.15E-05	0.00E+00	1.15E-04	1.42E-05	0.00E+00	3.96E-05	1.05E-06	0.00E+00	2.93E-06	2.43E-07	0.00E+00	6.77E-07	4.94E-07	0.00E+00	1.38E-06	1.14E-07	0.00E+00	3.18E-07
1,3,5-trimethylbenzene	1.73E-04	0.00E+00	8.19E-04	5.93E-05	0.00E+00	2.81E-04	4.39E-06	0.00E+00	2.08E-05	1.01E-06	0.00E+00	4.80E-06	2.06E-06	0.00E+00	9.76E-06	4.75E-07	0.00E+00	2.25E-06

2) 인체 건강 위해도

㉔ 발암성물질

제1매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 위해도 평가(평균)

발암물질	인체 노출량 Risk (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Vinyl chloride	1.11E-05	0.00E+00	1.55E-04	3.81E-06	0.00E+00	5.34E-05	2.82E-07	0.00E+00	3.95E-06	6.51E-08	0.00E+00	9.11E-07	1.32E-07	0.00E+00	1.85E-06	3.05E-08	0.00E+00	4.28E-07
Methylenechloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Chloroform	6.06E-07	0.00E+00	3.74E-06	2.08E-07	0.00E+00	1.28E-06	1.54E-08	0.00E+00	9.50E-08	3.55E-09	0.00E+00	2.19E-08	7.22E-09	0.00E+00	4.46E-08	1.67E-09	0.00E+00	1.03E-08
Carbontetrachloride	8.98E-06	0.00E+00	3.67E-04	3.08E-06	0.00E+00	1.26E-04	2.28E-07	0.00E+00	9.32E-06	5.26E-08	0.00E+00	2.15E-06	1.07E-07	0.00E+00	4.37E-06	2.47E-08	0.00E+00	1.01E-06
Benzene	3.80E-06	0.00E+00	1.28E-04	1.31E-06	0.00E+00	4.38E-05	9.66E-08	0.00E+00	3.24E-06	2.23E-08	0.00E+00	7.47E-07	4.53E-08	0.00E+00	1.52E-06	1.05E-08	0.00E+00	3.51E-07
Trichloroethylene	9.89E-08	0.00E+00	8.63E-07	3.40E-08	0.00E+00	2.96E-07	2.51E-09	0.00E+00	2.19E-08	5.80E-10	0.00E+00	5.06E-09	1.18E-09	0.00E+00	1.03E-08	2.72E-10	0.00E+00	2.37E-09
Dichloroethane	5.95E-07	0.00E+00	3.80E-06	2.04E-07	0.00E+00	1.31E-06	1.51E-08	0.00E+00	9.66E-08	3.49E-09	0.00E+00	2.23E-08	7.09E-09	0.00E+00	4.53E-08	1.64E-09	0.00E+00	1.05E-08
Tetrachloroethylene	5.26E-08	0.00E+00	1.86E-06	1.81E-08	0.00E+00	6.40E-07	1.34E-09	0.00E+00	4.73E-08	3.08E-10	0.00E+00	1.09E-08	6.27E-10	0.00E+00	2.22E-08	1.45E-10	0.00E+00	5.13E-09
1, 1, 2, 2-tetrachloroethane	4.79E-05	0.00E+00	6.25E-04	1.64E-05	0.00E+00	2.15E-04	1.22E-06	0.00E+00	1.59E-05	2.81E-07	0.00E+00	3.67E-06	5.71E-07	0.00E+00	7.45E-06	1.32E-07	0.00E+00	1.72E-06
1, 1, 2-trichloroethane	7.01E-07	0.00E+00	2.14E-06	2.41E-07	0.00E+00	7.33E-07	1.78E-08	0.00E+00	5.43E-08	4.11E-09	0.00E+00	1.25E-08	8.36E-09	0.00E+00	2.55E-08	1.93E-09	0.00E+00	5.87E-09

제2매립지의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 위해도 평가(평균)

발암물질	인체 노출량 Risk (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Vinyl chloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Methylenechloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Chloroform	1.34E-06	0.00E+00	4.92E-06	4.62E-07	0.00E+00	1.69E-06	3.42E-08	0.00E+00	1.25E-07	7.88E-09	0.00E+00	2.89E-08	1.60E-08	0.00E+00	5.87E-08	3.70E-09	0.00E+00	1.35E-08
Carbontetrachloride	3.01E-06	0.00E+00	1.11E-05	1.03E-06	0.00E+00	3.82E-06	7.65E-08	0.00E+00	2.83E-07	1.77E-08	0.00E+00	6.53E-08	3.59E-08	0.00E+00	1.33E-07	8.29E-09	0.00E+00	3.06E-08
Benzene	2.11E-06	0.00E+00	4.76E-05	7.26E-07	0.00E+00	1.63E-05	5.37E-08	0.00E+00	1.21E-06	1.24E-08	0.00E+00	2.79E-07	2.52E-08	0.00E+00	5.67E-07	5.82E-09	0.00E+00	1.31E-07
Trichloroethylene	2.57E-07	0.00E+00	9.80E-07	8.82E-08	0.00E+00	3.37E-07	6.52E-09	0.00E+00	2.49E-08	1.50E-09	0.00E+00	5.75E-09	3.06E-09	0.00E+00	1.17E-08	7.06E-10	0.00E+00	2.70E-09
Dichloroethane	1.34E-06	0.00E+00	5.01E-06	4.60E-07	0.00E+00	1.72E-06	3.40E-08	0.00E+00	1.27E-07	7.85E-09	0.00E+00	2.94E-08	1.60E-08	0.00E+00	5.97E-08	3.68E-09	0.00E+00	1.38E-08
Tetrachloroethylene	3.22E-08	0.00E+00	1.11E-07	1.11E-08	0.00E+00	3.81E-08	8.19E-10	0.00E+00	2.82E-09	1.89E-10	0.00E+00	6.51E-10	3.84E-10	0.00E+00	1.32E-09	8.87E-11	0.00E+00	3.06E-10
1, 1, 2, 2-tetrachloroethane	6.36E-06	0.00E+00	3.66E-05	2.18E-06	0.00E+00	1.26E-05	1.61E-07	0.00E+00	9.29E-07	3.73E-08	0.00E+00	2.14E-07	7.58E-08	0.00E+00	4.36E-07	1.75E-08	0.00E+00	1.01E-07
1, 1, 2-trichloroethane	7.22E-07	0.00E+00	2.36E-06	2.48E-07	0.00E+00	8.09E-07	1.83E-08	0.00E+00	5.98E-08	4.23E-09	0.00E+00	1.38E-08	8.61E-09	0.00E+00	2.81E-08	1.99E-09	0.00E+00	6.48E-09

주변지역의 발암성 VOCs 농도에 따른 인체 위해도 평가(평균)

발암물질	인체 노출량 Risk (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Vinyl chloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Methylenechloride	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Chloroform	2.96E-06	0.00E+00	1.56E-05	1.02E-06	0.00E+00	5.34E-06	7.52E-08	0.00E+00	3.95E-07	1.74E-08	0.00E+00	9.12E-08	3.53E-08	0.00E+00	1.85E-07	8.15E-09	0.00E+00	4.28E-08
Carbontetrachloride	5.65E-06	0.00E+00	3.50E-05	1.94E-06	0.00E+00	1.20E-05	1.44E-07	0.00E+00	8.89E-07	3.31E-08	0.00E+00	2.05E-07	6.73E-08	0.00E+00	4.17E-07	1.55E-08	0.00E+00	9.63E-08
Benzene	2.30E-05	0.00E+00	2.96E-04	7.90E-06	0.00E+00	1.02E-04	5.85E-07	0.00E+00	7.51E-06	1.35E-07	0.00E+00	1.73E-06	2.74E-07	0.00E+00	3.53E-06	6.33E-08	0.00E+00	8.14E-07
Trichloroethylene	3.40E-07	0.00E+00	2.10E-06	1.17E-07	0.00E+00	7.23E-07	8.63E-09	0.00E+00	5.34E-08	1.99E-09	0.00E+00	1.23E-08	4.05E-09	0.00E+00	2.51E-08	9.34E-10	0.00E+00	5.79E-09
Dichloroethane	2.37E-06	0.00E+00	1.58E-05	8.12E-07	0.00E+00	5.43E-06	6.01E-08	0.00E+00	4.02E-07	1.39E-08	0.00E+00	9.27E-08	2.82E-08	0.00E+00	1.89E-07	6.51E-09	0.00E+00	4.35E-08
Tetrachloroethylene	8.03E-08	0.00E+00	3.50E-07	2.76E-08	0.00E+00	1.20E-07	2.04E-09	0.00E+00	8.89E-09	4.71E-10	0.00E+00	2.05E-09	9.57E-10	0.00E+00	4.17E-09	2.21E-10	0.00E+00	9.63E-10
1, 1, 2, 2-tetrachloroethane	1.19E-04	0.00E+00	6.58E-04	4.08E-05	0.00E+00	2.26E-04	3.02E-06	0.00E+00	1.67E-05	6.96E-07	0.00E+00	3.86E-06	1.42E-06	0.00E+00	7.85E-06	3.27E-07	0.00E+00	1.81E-06
1, 1, 2-trichloroethane	1.71E-06	0.00E+00	8.88E-06	5.89E-07	0.00E+00	3.05E-06	4.35E-08	0.00E+00	2.26E-07	1.00E-08	0.00E+00	5.20E-08	2.04E-08	0.00E+00	1.06E-07	4.72E-09	0.00E+00	2.44E-08

㉔ 비발암성물질

제1매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Ethylchloride	1.50E-06	0.00E+00	9.35E-06	5.14E-07	0.00E+00	3.21E-06	3.80E-08	0.00E+00	2.38E-07	8.77E-09	0.00E+00	5.48E-08	1.78E-08	0.00E+00	1.11E-07	4.12E-09	0.00E+00	2.57E-08
Toluene	5.90E-02	3.68E-04	9.54E-01	2.03E-02	1.26E-04	3.28E-01	1.50E-03	9.36E-06	2.42E-02	3.46E-04	2.16E-06	5.59E-03	7.03E-04	4.39E-06	1.14E-02	1.62E-04	1.01E-06	2.63E-03
Chlorobenzene	1.25E-01	0.00E+00	1.59E+00	4.29E-02	0.00E+00	5.46E-01	3.17E-03	0.00E+00	4.04E-02	7.32E-04	0.00E+00	9.32E-03	1.49E-03	0.00E+00	1.90E-02	3.43E-04	0.00E+00	4.38E-03
Ethylbenzene	5.64E-04	0.00E+00	3.58E-03	1.94E-04	0.00E+00	1.23E-03	1.43E-05	0.00E+00	9.08E-05	3.30E-06	0.00E+00	2.10E-05	6.72E-06	0.00E+00	4.26E-05	1.55E-06	0.00E+00	9.84E-06
p-xylene	1.44E-02	0.00E+00	1.09E-01	4.94E-03	0.00E+00	3.74E-02	3.65E-04	0.00E+00	2.77E-03	8.43E-05	0.00E+00	6.38E-04	1.71E-04	0.00E+00	1.30E-03	3.96E-05	0.00E+00	2.99E-04
m-xylene	1.95E-04	0.00E+00	2.77E-03	6.70E-05	0.00E+00	9.52E-04	4.96E-06	0.00E+00	7.04E-05	1.14E-06	0.00E+00	1.62E-05	2.33E-06	0.00E+00	3.30E-05	5.37E-07	0.00E+00	7.62E-06
o-xylene	2.44E-03	0.00E+00	1.72E-02	8.39E-04	0.00E+00	5.92E-03	6.20E-05	0.00E+00	4.38E-04	1.43E-05	0.00E+00	1.01E-04	2.91E-05	0.00E+00	2.06E-04	6.72E-06	0.00E+00	4.74E-05
styrene	1.02E-04	0.00E+00	9.98E-04	3.49E-05	0.00E+00	3.43E-04	2.58E-06	0.00E+00	2.53E-05	5.96E-07	0.00E+00	5.85E-06	1.21E-06	0.00E+00	1.19E-05	2.80E-07	0.00E+00	2.74E-06
p-Dichlorobenzene	8.45E-06	0.00E+00	2.67E-04	2.90E-06	0.00E+00	9.18E-05	2.15E-07	0.00E+00	6.79E-06	4.95E-08	0.00E+00	1.57E-06	1.01E-07	0.00E+00	3.19E-06	2.32E-08	0.00E+00	7.35E-07
1,2-dichloropropane	1.08E-02	0.00E+00	3.69E-02	3.72E-03	0.00E+00	1.27E-02	2.75E-04	0.00E+00	9.38E-04	6.35E-05	0.00E+00	2.16E-04	1.29E-04	0.00E+00	4.40E-04	2.98E-05	0.00E+00	1.02E-04

제2매립지의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Ethylchloride	3.28E-06	0.00E+00	1.23E-05	1.13E-06	0.00E+00	4.23E-06	8.34E-08	0.00E+00	3.13E-07	1.92E-08	0.00E+00	7.22E-08	3.91E-08	0.00E+00	1.47E-07	9.03E-09	0.00E+00	3.39E-08
Toluene	8.56E-02	1.23E-03	3.98E-01	2.94E-02	4.22E-04	1.37E-01	2.17E-03	3.12E-05	1.01E-02	5.02E-04	7.20E-06	2.33E-03	1.02E-03	1.46E-05	4.74E-03	2.35E-04	3.38E-06	1.09E-03
Chlorobenzene	7.26E-02	0.00E+00	4.42E-01	2.49E-02	0.00E+00	1.52E-01	1.84E-03	0.00E+00	1.12E-02	4.25E-04	0.00E+00	2.59E-03	8.65E-04	0.00E+00	5.26E-03	2.00E-04	0.00E+00	1.21E-03
Ethylbenzene	8.31E-04	0.00E+00	6.36E-03	2.85E-04	0.00E+00	2.19E-03	2.11E-05	0.00E+00	1.62E-04	4.87E-06	0.00E+00	3.73E-05	9.91E-06	0.00E+00	7.58E-05	2.29E-06	0.00E+00	1.75E-05
p-xylene	1.45E-02	0.00E+00	1.17E-01	4.99E-03	0.00E+00	4.01E-02	3.69E-04	0.00E+00	2.97E-03	8.51E-05	0.00E+00	6.85E-04	1.73E-04	0.00E+00	1.39E-03	4.00E-05	0.00E+00	3.21E-04
m-xylene	1.81E-05	0.00E+00	1.42E-04	6.23E-06	0.00E+00	4.88E-05	4.61E-07	0.00E+00	3.61E-06	1.06E-07	0.00E+00	8.33E-07	2.16E-07	0.00E+00	1.69E-06	4.99E-08	0.00E+00	3.91E-07
o-xylene	1.71E-03	0.00E+00	1.64E-02	5.88E-04	0.00E+00	5.63E-03	4.35E-05	0.00E+00	4.16E-04	1.00E-05	0.00E+00	9.61E-05	2.04E-05	0.00E+00	1.95E-04	4.71E-06	0.00E+00	4.51E-05
styrene	1.23E-03	0.00E+00	2.01E-02	4.23E-04	0.00E+00	6.89E-03	3.13E-05	0.00E+00	5.09E-04	7.23E-06	0.00E+00	1.18E-04	1.47E-05	0.00E+00	2.39E-04	3.39E-06	0.00E+00	5.52E-05
p-Dichlorobenzene	1.30E-06	0.00E+00	3.38E-05	4.47E-07	0.00E+00	1.16E-05	3.30E-08	0.00E+00	8.59E-07	7.62E-09	0.00E+00	1.98E-07	1.55E-08	0.00E+00	4.03E-07	3.58E-09	0.00E+00	9.30E-08
1,2-dichloropropane	1.46E-02	0.00E+00	4.87E-02	5.01E-03	0.00E+00	1.67E-02	3.71E-04	0.00E+00	1.24E-03	8.56E-05	0.00E+00	2.85E-04	1.74E-04	0.00E+00	5.80E-04	4.01E-05	0.00E+00	1.34E-04

주변지역의 비발암성 VOCs 농도에 따른 인체 노출량 산출(평균)

비발암물질	인체 노출량 HQ (mg/kg/day)																	
	Lifetime			성인 WIES			성인 MIES			성인 LIES			아동 MIES			아동 LIES		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
Ethylchloride	5.77E-06	0.00E+00	3.89E-05	1.98E-06	0.00E+00	1.34E-05	1.47E-07	0.00E+00	9.88E-07	3.38E-08	0.00E+00	2.28E-07	6.88E-08	0.00E+00	4.63E-07	1.59E-08	0.00E+00	1.07E-07
Toluene	2.79E-01	4.92E-02	8.43E-01	9.56E-02	1.69E-02	2.89E-01	7.07E-03	1.25E-03	2.14E-02	1.63E-03	2.88E-04	4.94E-03	3.32E-03	5.86E-04	1.00E-02	7.66E-04	1.35E-04	2.32E-03
Chlorobenzene	7.78E-02	0.00E+00	5.65E-01	2.67E-02	0.00E+00	1.94E-01	1.98E-03	0.00E+00	1.44E-02	4.56E-04	0.00E+00	3.31E-03	9.27E-04	0.00E+00	6.73E-03	2.14E-04	0.00E+00	1.55E-03
Ethylbenzene	4.92E-03	0.00E+00	4.32E-02	1.69E-03	0.00E+00	1.48E-02	1.25E-04	0.00E+00	1.10E-03	2.89E-05	0.00E+00	2.53E-04	5.87E-05	0.00E+00	5.15E-04	1.35E-05	0.00E+00	1.19E-04
p-xylene	8.61E-02	0.00E+00	3.84E-01	2.96E-02	0.00E+00	1.32E-01	2.19E-03	0.00E+00	9.76E-03	5.05E-04	0.00E+00	2.25E-03	1.03E-03	0.00E+00	4.58E-03	2.37E-04	0.00E+00	1.06E-03
m-xylene	1.61E-03	0.00E+00	1.08E-02	5.52E-04	0.00E+00	3.71E-03	4.08E-05	0.00E+00	2.74E-04	9.42E-06	0.00E+00	6.33E-05	1.92E-05	0.00E+00	1.29E-04	4.42E-06	0.00E+00	2.97E-05
o-xylene	1.94E-02	0.00E+00	7.55E-02	6.68E-03	0.00E+00	2.59E-02	4.94E-04	0.00E+00	1.92E-03	1.14E-04	0.00E+00	4.43E-04	2.32E-04	0.00E+00	9.00E-04	5.35E-05	0.00E+00	2.08E-04
styrene	3.70E-03	0.00E+00	5.75E-02	1.27E-03	0.00E+00	1.97E-02	9.39E-05	0.00E+00	1.46E-03	2.17E-05	0.00E+00	3.37E-04	4.41E-05	0.00E+00	6.85E-04	1.02E-05	0.00E+00	1.58E-04
p-Dichlorobenzene	9.82E-05	0.00E+00	1.55E-03	3.37E-05	0.00E+00	5.31E-04	2.49E-06	0.00E+00	3.93E-05	5.76E-07	0.00E+00	9.06E-06	1.17E-06	0.00E+00	1.84E-05	2.70E-07	0.00E+00	4.25E-06
1,2-dichloropropane	4.91E-02	0.00E+00	1.40E-01	1.69E-02	0.00E+00	4.80E-02	1.25E-03	0.00E+00	3.55E-03	2.88E-04	0.00E+00	8.20E-04	5.85E-04	0.00E+00	1.67E-03	1.35E-04	0.00E+00	3.85E-04

시정연 2000-R-10-5

**난지도 지역 환경성 검토 및
친환경적 정비방안**

— 대기오염(휘발성유기화합물질) 관리 —

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)726-1105 팩스: (02)726-1110

ISBN 89-8052-205-3-93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.