

# I. 폐기물 소각시설 주변지역 환경 중 다이옥신 잔류실태조사 (4차년도)

## 1. 과업의 개요

### 1.1 연구 배경 및 필요성

다이옥신은 강한 독성, 환경매체 내 잔류성, 장거리 이동성 및 생물 농축성 등의 특징을 가진 물질로 잔류성유기오염물질 (POPs, Persistent Organic Pollutants) 중 하나이다. 이들 물질은 생태계의 먹이사슬을 통해 최종적으로는 인간에게 악 영향을 끼치는 환경오염물질로 알려져 있어, 국제적으로 스톡홀름협약 등을 통해 전 지구적인 대책을 마련하고 있다.

다이옥신은 도시쓰레기 및 산업폐기물 소각시설이나 각종 산업시설 등 점 오염원 이외에도 자동차 배출가스, 농약사용이나 기타 화학물질의 제조공정, 산불 등 다양한 배출원에서 환경 중으로 배출되어 주변의 다양한 환경매체 (대기, 토양, 생물체 등)에 폭넓게 존재하는 것이 알려진 이후 이에 대한 환경오염 및 인체 유해성과 관련된 논란이 계속되어져 왔다.

현재 다이옥신의 가장 큰 오염원은 소각과정으로 폐기물 소각시설 주변과 같이 어떠한 특정 지역이나 환경매체가 다이옥신에 의해 오염되었을 경우 주변의 다양한 환경 시료를 채취하여 환경 중에 존재하는 다이옥신의 잔류 농도 및 이성질체 분포 특성을 파악하여 오염 수준, 오염 경로 및 발생원과의 관계를 파악하는 것이 급선무이다. 이때 소각시설과 환경오염의 상호 인과관계를 규명함으로써 향후 효과적인 오염 대책 수립이 가능하게 된다.

그러나 소각 시설 운영으로 인해 다이옥신 오염이 일어난 것으로 추정되는 경우, 주변 환경과 인간에 미치는 악영향의 정도에 대해 해명되지 않은 부분이 많아 이에 대한 근본적인 원인규명과 대책 마련이 필요한 실정이다.

본 연구는 국립환경과학원이 환경부 「소각시설 주변지역 환경 중 다이옥신 잔류실태 조사」사업의 일환으로 추진한 연구 사업으로, 소각시설 주변의 다이옥신 잔류실태를 조사하여 소각시설에 의한 주변 환경 영향을 파악하고자 하였다.

1차년도 조사 사업에서는 대상 소각시설 이외의 배출원이 존재하지 않거나 적은 시설의 주변 환경 영향 조사가 이루어진 반면, 2차년 조사 사업에는 대상 소각시설이 공단지역 내에 위치해 있는 지역을 조사 대상에 포함시켜 다이옥신 잔류실태 조사와 소각시설에 의한 주변 환경 영향을 평가하고자 하였다. 그러나 조사대상 시설과 주변 환경오염과의 인과관계 규명이 어려워 3차년도 과제에서는 조사대상 시설이 공단 등 밀집 배출원이 존재하는 지역에 위치하고 있는 경우 다이옥신 잔류실태 조사 방법과 오염원 해석방안을 마련하고자 연구를 수행하였다. 금번 4차년도 과제에서는 대상 소각시설 이외의 배출원이 존재하지 않은 시설과 공단지역 내에 위치해 있는 지역을 모두 포함하였고 특히 민원이 제기되었던 시설을 대상 시설로 선정하여 조사 연구를 수행하였다.

## 1.2 연구 목적

본 연구는 국내·외 소각시설 주변의 다이옥신 오염실태 자료 및 관리기준을 조사하고, 소각시설 주변 지역의 환경시료를 채취·분석하여 다이옥신 잔류실태 조사와 함께 소각시설에 의한 주변 환경 영향을 파악함으로써 이에 대한 효과적인 관리대책 제시 및 토양에서의 다이옥신 가이드라인 설정을 위한 기초 자료를 제공함에 있다.

## 1.3 연구 기간

○ 2006년 09월 11일 ~ 2007년 07월 10일 (계약일로부터 10개월)

## 1.4 참여 연구기관 및 업무 내용

본 연구는 전북대학교 화학물질안전관리연구센터와 환경관리공단 환경분석연구센터의 공동참여로 수행되었다.

전체적인 총괄업무는 표 1.1에 나타난 바와 같이 전북대학교 화학물질안전관리연구센터가 수행하였으며, 시료의 채취와 정제 및 분석 등은 표 1.2와 같이 세분화하여 환경관리공단 환경분석연구센터와 공동 수행하였다.

[표 1.1] 세부업무 수행내용

업무명	세 부 업 무 내 용	수행기관
자료 조사 및 결과 해석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소각시설 및 주변환경 관련 다이옥신 자료 조사</li> <li>- 대기 확산 모델링 및 시료 채취지점 선정</li> <li>- 결과 해석</li> <li>- 다이옥신 잔류실태 및 주변환경 영향 파악</li> <li>- 다이옥신 관리방안 제시</li> <li>- 소각시설 주변(단일 및 밀집배출원)의 다이옥신 적정관리방안 제시</li> <li>- 기타 : 행정, 보고회(착수, 중간, 최종), 자문회의, 전문가세미나</li> <li>- 보고서 작성</li> </ul>	전북대

[표 1.2] 시료채취 및 분석의 세부내용 및 업무분담

업무명	세 부 내 용      및      업 무 분 담						
시료 채취 및 분석	매질		시료수 (개)	시료 채취	시료조제 및 전처리	추    출	정제 및 분석
	토양	토양	145	전북대	전북대	전북대(85개) 환경관리공단 (60개)	전북대(85개) 환경관리공단 (60개)
		저질 및 방류수	0	-	-	-	-
	대기	배출가스	10	환경관리공단	환경관리공단	환경관리공단	환경관리공단
		환경대기	10	환경관리공단	환경관리공단	환경관리공단	환경관리공단
	합    계		165	전북대(85개)/환경관리공단(80개)			

## 2. 과업범위 및 세부내용

### 2.1 과업의 범위

본 연구의 목적은 소각시설에서 배출되는 배출가스, 방류수와 소각시설 주변 지역의 환경대기 및 토양 중 다이옥신 오염정도 및 분포특성을 파악하고, 소각시설에 의한 주변 환경매체의 오염 영향 정도를 파악하는 것과 공단 등 밀집배출원에 의한 다이옥신 오염원 해석방안을 제시하는 것이다.

이러한 목적을 달성하기 위해 2006년 9월부터 2007년 7월까지 10개월 동안 대상 소각시설인 (주)메디코, (주)동양환경, (주)동운산업, (주)수정개발, 수광산업(주) 시설의 반경 약 2 km 이내의 공간적 범위를 대상으로 환경매체별로 시료채취 계획을 수립하였다. 조사 지점은 기상 데이터에 의한 대기확산 모델링 자료를 검토한 후 선정하였다. 아울러, 조사대상 소각시설의 일반사항, 기존의 다이옥신 측정 분석자료 및 대상 지역의 환경에 영향을 미칠 수 있는 주변 소각 시설 관련 자료를 조사하였다. 또한 국내·외 소각시설 주변의 다이옥신 오염실태조사 자료와 관리기준 등에 대한 자료도 조사 정리하였다.

다이옥신 잔류 실태조사에서는 조사대상 소각시설의 배출가스, 주변 환경대기, 토양, 저질 및 방류수 등 환경시료를 채취·분석하였다. 다이옥신 잔류농도 및 이성질체 분포특성을 조사하여 소각시설에 의한 주변 환경 영향을 파악함으로써 이에 대한 효과적인 관리대책 제시 및 토양에서의 다이옥신 가이드라인 설정을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

### 2.2 연구 내용

- 자문위원단과의 협의를 통한 대상 소각시설의 선정.
- 대기오염 모델링을 통한 환경대기 시료 및 토양시료 채취 지점 선정.



- 조사대상 소각시설의 일반사항 (처리용량, 처리효율, 방지사설의 종류 등), 기존의 다이옥신 측정자료 및 주변 지역 환경에 영향을 미치는 주변 현황조사(지형 및 토지이용, 폐수 방류구, 기타 오염원 등을 조사한다 5,000:1지도에 표시).
- 대상 소각시설의 배출가스, 방류수, 소각시설 주변 환경대기 및 토양에서의 다이옥신 농도 측정 및 분석.
- 기상데이터 및 다이옥신 이성질체 분포 패턴을 이용한 상관성 및 다이옥신의 거동 특성 평가.
- 통계학적 기법을 통한 대상 소각시설 주변 토양에 미치는 오염 영향 여부 추정 및 관련성 조사.
- 자료조사와 환경매질 조사결과를 바탕으로 소각시설에 의한 주변환경 영향 분석 및 다이옥신 관리방안 제시.

## 2.3 세부 내용

### 2.3.1 대상 소각시설 및 시료채취지점

#### 2.3.1.1 조사 대상 소각시설

조사대상 소각시설은 전국 사업장 폐기물 처리업소와 소각규모가 시간당 2.5톤 이상인 자가처리 업소 중에서 ①가동기간이 오래되고 ②시설이 노후 되었으며 ③과거 높은 다이옥신 배출농도 이력이 있어 주변 환경에 영향을 미쳤을 가능성이 높으면서 ④인근 주민들의 민원이 제기되어 조사의 시급성이 요구되는 지역을 우선 순위로 선정한 후 자문위원단과 현지 조사 후에 최종 선정하였다. 선정된 5개 소각시설은 표 2.1에 나타난 바와 같이 감염성폐기물 소각시설 1개소((주)메디코)와 지정폐기물 소각시설 1개소((주)동양환경)와 일반/지정폐기물 소각시설 3개소((주)동운산업, (주)수정개발, 수광산업(주))이다.

[표 2.1] 조사대상 소각시설 개요

No	업 소 명	소 재 지 (주 소)	처리대상폐기물
1	(주)메디코	경기도 용인시 남사면 진목리 257	감염성
2	(주)동양환경	대전 대덕구 문평동 69-3	지정
3	(주)동운산업	인천 서구 석남동 223-21	일반/지정
4	(주)수정개발	인천 서구 경서동 678-1	일반/지정
5	수광산업(주)	경남 창원시 대원동 86-4	일반/지정

### 2.3.2 분석 대상 매체 및 시료수

분석대상 매체는 각 대상 소각시설의 배출가스, 환경대기, 토양, 대조군 토양, 방류수 및 저질시료로서 각 소각시설별 평균 분석 시료 수는 33개이다.

총 시료 수는 과업지시서에 제시된 5개 지점에서 160개 및 각 대상시설별 1개 지점의 대조군 시료 총 5개가 추가되어 165개이다.

시료채취는 기본적으로 배출가스, 환경대기, 방류수, 저질 시료의 경우 하절기와 동절기로 구분하여 각 지점 당 2회씩 채취하여야하나 대상소각시설 모두 발생폐수 전량은 재이용 또는 하폐수 처리장으로 보내기 때문에 방류수와 저질은 채취 불가능한 상태였다. 따라서 표 2.2에 정리한 바와 같이 대체시료가 추가적으로 발생하여 실제 분석을 수행한 총 시료 수는 165개이다.

토양 시료의 경우 반경 2 km 이내를 대상으로 이격거리와 주풍향을 고려하여 24개 지점을 채취하였다. 또한 각 소각시설로부터 5 km 이상의 지역에서 대조군 시료 1개씩 채취하는 것을 원칙으로 하였다.

조사대상 시설의 주변여건이나 불가피한 상황에 의해 대상 소각시설에서 배출가스, 방류수 및 저질 시료채취가 불가능한 경우 감독기관과 협의·조정하여 매질별 시료수를 변경하고 토양을 대체 시료로 선정하여 분석하였다.

대상 소각시설별 실제 채취·분석한 시료수를 매질별로 구분하여 표 2.3에 상세히 기술하였다.

[표 2.2] 대상 매질별 분석 시료 대조표

매 질		당초계획 (과업지시서)	실제분석 시 료 수	증감 여부	비 고 (시료수 증감 근거)
토 양	토 양	120	140	△20	· 타매체 시료채취가 불가능한 경우 에 대체시료로 토양 시료추가 채취 → 대체 시료로 20개 채취 (거주지와 학교 중심으로 선정)
	저 질	10	0	▽10	· 5개 소각시설 모두 위탁처리 및 자 체순환함 → 타 매체시료로 대체 【토양10】
	대조군	5	5	-	
대 기	배 출 가 스	10	10	-	
	환 경 대 기	10	10	-	
수 질	방류수	10	0	▽10	· 폐수전량 재이용, 소각시설 주변에 하천이 없어 채취불가 → 타 매체시료로 대체 【토양10】
합 계		165	165	-	

[표 2.3] 매질별 실제 분석 시료 상세 현황

No	매 질 소각시설	토 양			대 기		수 질	총 계
		토양	저질	대조군 토 양	환경 대기	배출 가스	방류수	
1	(주)메디코	28 <sup>(1)</sup>	-	1	2	2	-	33
2	(주)동양환경	27 <sup>(1)</sup>	-	1	2	2	-	32
3	(주)동운산업	29 <sup>(1)</sup>	-	1	2	2	-	34
4	(주)수정개발	28 <sup>(1)</sup>	-	1	2	2	-	33
5	수광산업(주)	28 <sup>(1)</sup>	-	1	2	2	-	33
총 계		140	-	5	10	10	-	165

1) 저질 및 방류수의 채취불가로 인하여 토양시료로 대체한 시료 수를 포함

## 2.4 조사 범위

### 2.4.1 자료조사

자료조사는 조사대상 소각시설의 일반사항(처리용량, 처리효율, 방지시설의 종류 등)과 대상 소각 시설에서 실시한 기존의 다이옥신 의무 측정자료 결과를 수집하였다. 대상 시설 주변에 존재하고 있는 기타 오염원을 파악하기 위해 해당 도·시·군청을 방문하여 대기오염물질 배출시설과 기타 소각 시설에 대한 자료를 수집하여 지도에 표시하였으며, 최근 국내·외에서 보고된 소각시설 주변의 다이옥신 환경오염 실태 조사 자료와 관리기준에 대해서도 조사하였다. 또한 공단 등 밀집배출원에 의한 오염원 해석방안을 위한 자료도 조사하였다.

### 2.4.2 소각시설 배출가스 및 환경매질 중 다이옥신 잔류실태 조사

본 연구에서의 주요 조사 매질은 토양이며, 토양에 미치는 영향을 검토하기 위해 대상 시설의 소각로 배출가스와 대상 지역의 환경대기를 측정·분석하였다. 또한 대상 시설에서 발생하는 방류수가 하천에 유입될 경우를 고려하여 각 시설에서 발생하는 방류수와 저질을 채취하여 분석하고자 했으나 최종 방류구 및 주변에 하천이 없어 방류수 및 저질시료의 채취가 불가능하여 토양시료로 대체하였다.

#### 2.4.2.1 환경 대기 조사

환경대기 시료는 대기오염 모델링 결과로부터 최대농도 착지지점을 예측하여 배출가스 시료와 동시에 채취하고, 시료채취 시에는 현지에서 기상측정 장비를 이용하여 풍향, 풍속, 온도 및 습도 등 기상 데이터도 동시 측정하였다.

#### 2.4.2.2 토양 조사

폐기물 소각시설 주변 다이옥신 잔류량 조사 매뉴얼(국립환경과학원, 2005)<sup>(13)</sup>에 근거하여 해당지역의 최근 3년간 기상데이터를 이용하여 풍향별 발생빈도(바람장미)를 파악하고, 대기확산 모델링 결과를 토대로 소각로의 영향권 범위로 추정되는 지역(반경 2 km 이내)을 중심으로 시료를 채취하였으며 동시에 대조 지역에 대해서도 시료를 채취하여 분석하였다.

#### 2.4.2.3 방류수 및 저질 조사

대상소각시설에서 폐수가 발생할 경우 배출되는 방류수가 주변 하천에 미치는 영향을 파악하기 위하여 하천에 배출되기 직전의 방류수 및 하천의 저질 시료를 채취하여 분석한다. 그러나 금번 4차년도 조사 대상지역에서는 방류수 및 저질시료는 채취 불가하여 토양시료로 대체하도록 하였다.

### 2.4.3 소각로의 영향 규명

본 연구에서는 소각시설에 의한 다이옥신 오염의 원인규명과 함께 관리 방안을 수립하기 위하여 상기에서 언급된 소각 시설의 배출가스 농도와 주변 환경 매질의 다이옥신 분석 결과를 토대로 다이옥신 농도 및 이성질체 분포 특성을 검토하고, 통계적 해석 기법(군집 분석: Cluster Analysis, 주성분 분석: Principal Component Analysis)을 활용하여 소각로가 주변 토양 환경에 미치는 영향을 해석하였다.

#### 2.4.3.1 다이옥신의 동족·이성질체 패턴 비교

다이옥신은 비교적 환경 중에서 안정하기 때문에 발생원의 특징이 수용체인 토양에 그대로 남아있을 가능성이 매우 높다. 따라서 다이옥신의 동족체와 이성질체의 패턴을 비교함으로써 발생원과의 관련성을 추정하였다.

### 2.4.3.2 통계적 해석

다이옥신은 많은 이성질체를 가지는 다변량 데이터이기 때문에 환경매체와의 관련성 추정에 통계적 기법을 이용할 경우 단순한 동족체나 이성질체 패턴 비교보다 발생원의 특징을 파악하는데 효과적이다. 또한 수용체에 영향을 주는 발생원의 규명 이외에도 발생원으로부터의 영향 정도를 정량적으로 추정이 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 수용체에 영향을 미치는 발생원의 동정에 사용되는 대표적인 해석기법으로 인자분석/주성분분석을 사용하였다. 주성분 분석은 해석하고자 하는 다변수(이성질체)의 값에 포함된 정보의 손실을 최대한 줄여서 보다 적은 숫자의 종합적 지표(주성분)로 요약하는 방법이다.

### 2.4.4 관리방안 제시

본 연구의 토양 오염 조사 결과를 일본·미국·독일 등 외국의 다이옥신 기준(또는 가이드라인)<sup>(7)</sup>과 비교·검토하였다. 또한 오염이 진행되고 있거나 기준을 초과할 경우 발생원으로부터의 거리, 기상조건, 농약류 등의 사용여부 및 오염사고 등 관련 정보를 수집하여 오염원과의 관련성을 조사하고 이에 따른 대책을 제시하고자 하였다.

## 2.5 조사 대상 소각시설 개황

선정된 각 대상 소각시설은 주로 사업장 및 지정폐기물을 처리하는 업체들이다. 처리 대상 폐기물, 가동 용량, 최초 가동일, 방지 시설 종류 및 굴뚝 높이를 표 2.4에 나타내었다.

(주)메디코의 경우 주요 소각대상 물질은 감염성 폐기물이며, '04년에 가동되기 시작하였다.

(주)동운산업, (주)수정개발, 수광산업(주)의 경우 주요 소각대상 물질은 폐유, 폐유기용제, 폐합성수지, 폐합성고무 및 오니 등 일반/지정폐기물을 처리하는 시설로서, 각각 '98년, '95년, '82년에 가동되기 시작하였다. 그 밖에 (주)동양환경의 경우 일반폐기물을 소각하는 시설로 '93년에 가동되기 시작하였다.

이들 조사 대상 시설의 방지 시설 장치는 주로 백필터(Bag Filter; BF), 습식세정기(Wet Scrubber; WS)였다.



[표 2.4] 조사 대상 소각 시설의 운영 개황

No.	업소명	처리대상 폐기물	연소방식	가동용량 (톤/시간)	최초 가동	다이옥신 배출량 (ng I-TEQ/Sm <sup>3</sup> )	배출속도 (m/sec)	연돌 높이 (m)	방지 시설	주변여건	주변 배출 시설 현황
1	(주)메디코	감염성폐기물	스토커	1.7	'04.3	0.91 <sup>a)</sup>	3.15	50	BF/WS	2km 이내 1000명 미만 (농촌)	없음
			스토커	1.7	'07.5	-	2	35	BF/WS		
2	(주)동양환경	지정 폐기물	스토커	3.0	'93.5	3.28 <sup>b)</sup>	5.62	26.4	BF/SDR	1km 이내 1,750여가구 약 7000명 거주 (도시/농촌/공단)	소각 3개 시설 1종 1개 시설 2종 4개 시설
			스토커	1.0	'94.7	0.23 <sup>c)</sup>	3	20.3	EP/WS		
			스토커	3.0	'94.10	9.04 <sup>b)</sup>	8	30.0	WS		
3	(주)동운산업	일반폐기물	스토커	3	'98.9	2.48 <sup>d)</sup>	11	30	SDR/BF	1~3km 이내 약 30,000명 거주	소각 4개 시설 2종 17개 시설
		일반폐기물	스토커	1.25	'99.7	2.72 <sup>d)</sup>	6	30	SDR/BF		
		일반/지정폐기물	R/K+스토커	2	'93.9	3.19 <sup>d)</sup>	10	30	SDR/BF/WS		
4	(주)수정개발	지정/일반 폐기물	스토커	4.0	'95.4	34.03 <sup>b)</sup>	2.88	36	BF/WS	인천서구공단지역	1종 1개 시설 2종 24개 시설
5	수광산업(주)	지정/일반 폐기물	스토커	1.5	'82.2	0.51 <sup>e)</sup>	3	50	SNCR/ WS	창원 공단지역	1종 8개 시설 2종 19개 시설
				1.5	'93.2	0.54 <sup>e)</sup>					
			스토커	3.0	'94.10	3.89 <sup>d)</sup>	7	31	SNCR/ WS		

a) '05~'06년 평균, b) '02~'06년 평균, c) '04~'06년 평균, d) '03~'06년 평균, e) '05~'06년 평균

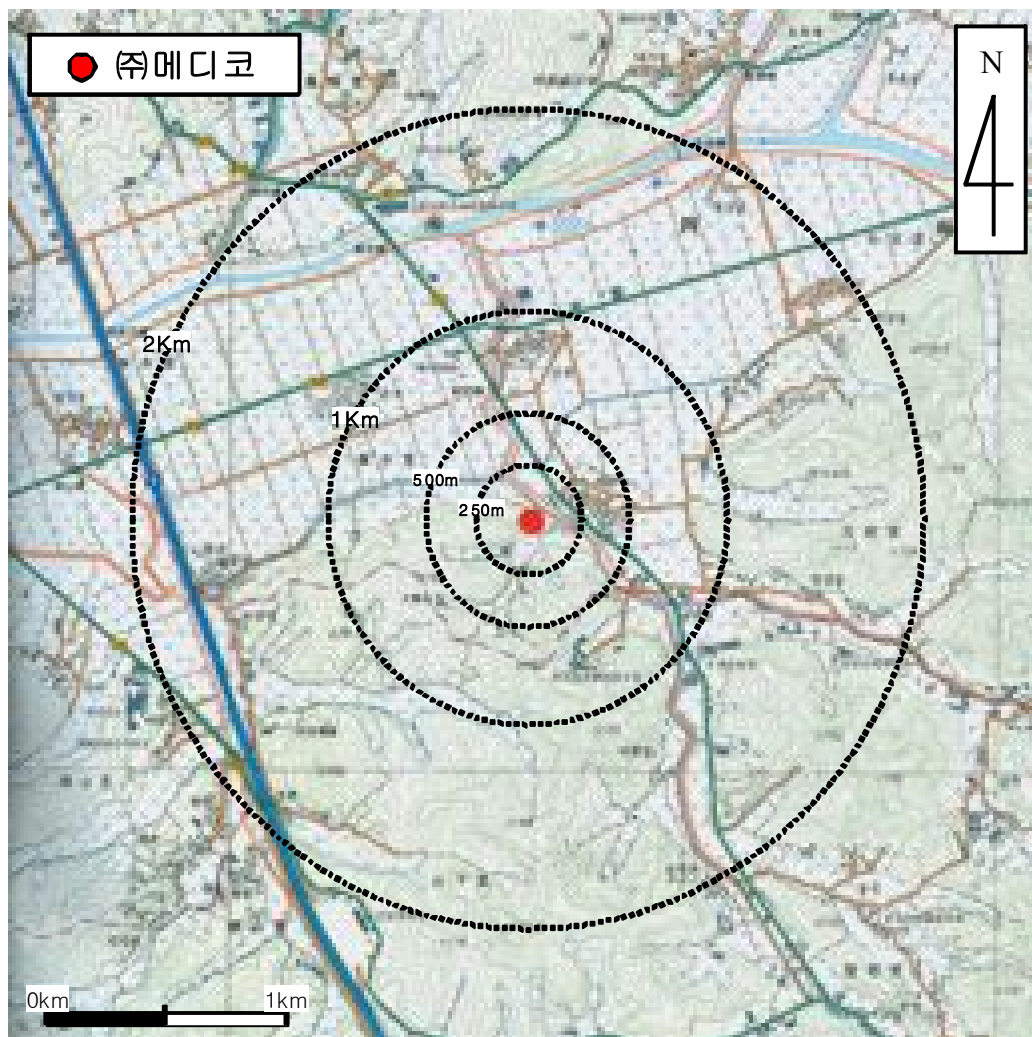
## 2.6 대상시설 주변 오염원

조사 대상 소각시설이외에 주변 환경에 영향을 줄 가능성이 있는 기타 오염원을 조사하기 위하여 각 대상 소각시설 반경 2 km 이내에 존재하는 기타 소각시설과 대기오염물질 배출시설에 대한 자료를 수집하였다. 대기오염물질 배출시설은 소각시설과 연간 오염물질 발생량에 따른 1종 대기오염물질 배출시설(연간 80톤 이상) 및 2종 대기오염물질 배출시설(연간 20톤 이상 80톤 미만)로 구분하여 나타내었다. 자료는 해당 도·시·군청을 방문하여 처리용량, 처리효율, 방지시설의 종류 등 일반적인 사항의 자료를 수집하여 정리하였다.

### 2.6.1 (주)메디코

(주)메디코를 중심으로 반경 2 km 이내에 기타 소각시설과 대기오염물질 배출 시설들은 없었고, 전형적인 농촌의 조건을 갖추고 있다(그림 2.1).

(주)메디코를 중심으로 북쪽으로는 주로 논과 거주지가 형성되어 있었고, 남쪽으로는 주로 산 지역이 형성되어 있었다.



[그림 2.1] (주)메디코 반경 2 km 내 대기오염물질 배출시설

## 2.6.2 (주)동양환경

(주)동양환경을 중심으로 반경 2 km 이내에 위치하고 있는 소각 시설과 대기오염 배출시설을 조사하여 그림 2.2에 나타내었다.

(주)동양환경을 중심으로 남쪽 부근에 소규모의 공단이 위치해 있으며 주로 금속제품을 제조하는 대기오염 배출시설이 있는 것으로 조사되었다. (주)동양환경을 중심으로 반경 2 km 이내에 소각시설 2개소, 반경 2 km 이상인 지역에서 소각시설 1개소, 1종 1개소 및 2종 4개소 시설이 위치해 있는 것으로 조사되었다(표 2.5, 표 2.6).

(주)동양환경의 주위환경으로는 북쪽 방향으로 산악지역과 금강이 위치해 있고 남동쪽으로는 주거지역이 위치해 있다.



[그림 2.2] (주)동양환경 반경 2 km 내 소각시설 및 대기오염물질 배출시설

[표 2.5] (주)동양환경 반경 2 km 내외 기타 소각시설

번호	업체명	업종 형태	종별	소재지	설치신고일
1	한솔제지 (주)대전공장	종이제품	1	대전시 대덕구 신일동 1674-2	'95.4.22
2	신일동환경에너지사업소	생활폐기물 소각	1	대전시 대덕구 신일동 1690-5	'97.7.7
3	한국타이어(주)대전공장	타이어제조	1	대전시 대덕구 목상동 100	'79.8.21

[표 2.6] (주)동양환경 반경 2 km 내 대기오염물질 배출시설

번호	업체명	업종 형태	종별	소재지	설치신고일
1	유한킴벌리(주)	종이제품제조	2	대전시 대덕구 문평동 41-1	'93.6.19
2	대전열병합발전(주)	열병합발전	1	대전시 대덕구 신일동 1675-5	'04.6.25
3	한라공조(주)	조립금속	2	대전시 대덕구 신일동 1689-1	'95.10.12
4	(주)피엔씨테크	금속제품제조	2	대전시 대덕구 신일동 1688-32	'02.9.25
5	(주)진합 대덕공장	금속제품제조	2	대전시 대덕구 문평동 48-12	'06.6.20

### 2.6.3 (주)동운산업

(주)동운산업을 중심으로 반경 2 km 이내에 위치하고 있는 소각 시설과 대기오염 배출시설을 조사하여 그림 2.3에 나타내었다.

(주)동운산업을 중심으로 남서쪽 부근으로 공단이 자리잡고 있으며 주로 비금속광물 제조나 목재 가공을 중심으로 대기오염 배출시설이 있는 것으로 조사되었다. (주)동운산업을 중심으로 반경 2 km 내외에 소각시설 4개소, 반경 2 km 밖에 소각시설 1개소, 2종 17개소 시설이 위치해 있는 것으로 조사되었다(표 2.7, 표 2.8).

(주)동운산업의 주위환경으로는 남서쪽으로 공단이 위치해 있으며 동쪽 지역은 주거 지역이 형성되어 있다.





[그림 2.3] (주)동운산업 반경 2 km 내 소각시설 및 대기오염물질 배출시설



[표 2.7] (주)동운산업 반경 2 km 내외 기타 소각시설

번호	업체명	업종 형태	종별	소재지	설치신고일
1	태영환경(주)	폐기물처리,폐수처리	1	인천 서구 원창동 382-34	'00.02.28
2	국민산업(주)	폐수처리	2	인천 서구 원창동 382-84	'99.08.17
3	(주)디어포스	비금속광물제품제조	2	인천 서구 가좌동 290	'80.05.27
4	(주)동양목재	목재가공	2	인천 서구 가좌동 178-59	'84.05.15
5	(주)에이치엔	폐수처리	2	인천 서구 원창동 382-83	'91.08.14

[표 2.8] (주)동운산업 반경 2 km 내 대기오염물질 배출시설

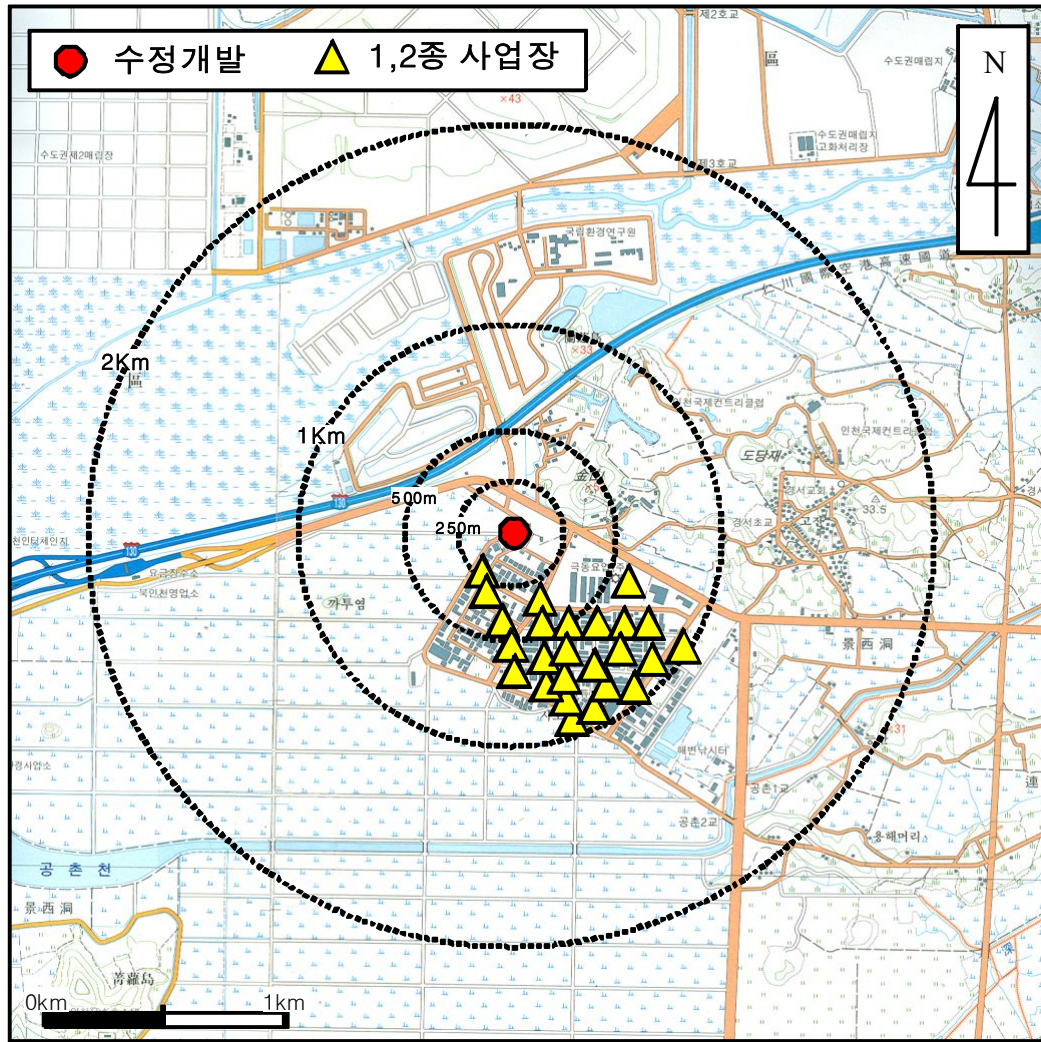
번호	업체명	업종 형태	종별	소재지	설치 신고일
1	회성목재(주)	목재가공	2	인천 서구 가좌동 178-37	'83.07.01
2	한국세큐리트(주)가좌공장	유리가공업	2	인천 서구 가좌동 585-1	'86.07.24
3	경인실업(주)	비금속광물	2	인천 서구 원창동 20	'90.11.12
4	동양메이저(주)인천레미콘	비금속광물	2	인천 서구 원창동 382-10	'91.04.27
5	(주)경인양행	산업용화학	2	인천 서구 석남동 223-48	'76-08-04
6	달재화학(주)	비금속광물제품제조	2	인천 서구 가좌동 173-115	'78.01.19
7	(주)한남코퍼레이션	산업용화학	2	인천 서구 석남동 223-53	'77.02.26
8	경산산업	목재	2	인천 서구 가좌동 148-2	'81.09.04
9	(주)진성엔텍	폐수처리	2	인천 서구 석남동 223-518	'06.06.07
10	인천아스콘	아스콘제조업	2	인천 서구 석남동 223-403	'01.07.13
11	한일시멘트(주)인천공장	비금속광물	2	인천 서구 원창동 132-75	'91.08.23
12	(주)하텍스	제대 및 목재가공	2	인천 서구 가좌동 178-112	'02.04.25
13	(주)선화아스콘	아스콘제조업	2	인천 서구 석남동 223-527	'02.07.23
14	(주)브이샘	재생용금속가공원료 생산업	2	인천 서구 가좌동 602-7	'03.12.24
15	동화자연마루(주)	표면가공목재 및 특 수제재목제조업	2	인천 서구 가좌동 148-9	'03.12.30
16	썬스타산업봉제기계(주)	금속제품제조	2	인천 서구 가좌동 178-212	'00.09.25
17	성남기업(주)	목재 및 나무제조	2	인천 서구 석남동 223-228	'89.03.14

#### 2.6.4 (주)수정개발

(주)수정개발을 중심으로 반경 2 km 이내에 위치하고 있는 소각 시설과 대기오염 배출시설을 조사하여 그림 2.4에 나타내었다.

(주)수정개발을 중심으로 남쪽 부근으로 공단이 위치해 있으며 주로 금속제품 제조나 선철주물 제조업을 중심으로 대기오염 배출시설이 있는 것으로 조사되었다. (주)수정개발을 중심으로 반경 2 km 내외에 1종 1개소, 2종 24개소 시설이 위치해 있는 것으로 조사되었다(표 2.9).

(주)수정개발의 주위환경으로는 수정개발의 남쪽 지역 1 km 이내 지역으로 공단이 위치해 있으며 수정개발의 북쪽 500 m 떨어진 곳으로 인천국제공항고속도로가 지나고 있다. 수정개발의 동쪽 지역 2 km 이내 지점에는 소규모의 마을이 위치해 있었으며 서쪽 지역은 주로 개발예정지인 논이 주를 이루었다.



[그림 2.4] (주)수정개발 반경 2 km 내 소각시설 및 대기오염물질 배출시설

[표 2.9] (주)수정개발 반경 2 km 내 대기오염물질 배출시설

번호	업체명	업종 형태	종별	소재지	설치 신고일
1	(주)진홍주물	금속제품제조업	1	인천 서구 경서동 363-190	'87.04.03
2	경인금속공업(주)	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-166	'90.07.18
3	광희주물제작소	선철주물주조업	2	인천 서구 경서동 381-75	'85.05.31
4	극동요업(주)	타일및유사제품제조	2	인천 서구 경서동 363-801	'80.09.04
5	극동주공(주)	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-199	'86.10.10
6	금남주철공업(주)	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-161	'87.03.31
7	대원제강(주)	금속열처리업	2	인천 서구 경서동 692-3	'99.08.25
8	대한금속공업(주)	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-195	'99.11.06
9	도림주철관공업(주)	주철강관제조업	2	인천 서구 경서동 363-165	'87.03.31
10	동진주공(주)	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-157	'97.07.28
11	동진주공(주)제2공장	선철주물주조업	2	인천 서구 경서동 363-172	'01.09.01
12	(주)삼성주공	선철주물주조업	2	인천 서구 경서동 363-182	'86.12.05
13	삼양주물공업사	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-192	'87.02.11
14	삼우메탈	알루미늄2차제련	2	인천 서구 경서동 681-1	'00.05.22
15	삼창주철공업(주)	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-177	'87.04.03
16	삼화주철공업(주)	선철주물주조업	2	인천 서구 경서동 363-175	'87.02.11
17	(주)신원주공	선철주물주조업	2	인천 서구 경서동 363-162	'02.12.18
18	(주)제물포금속	알루미늄압연압출	2	인천 서구 경서동 684-4	'03.06.17
19	진흥기업(주)	선철주물주조업	2	인천 서구 경서동 363-186	'03.5.17
20	풍전비철(주)	동제1차제련 및 정련업 등	2	인천 서구 경서동 680-3	'00.11.13
21	화성특수금속(주)	선철주물주조업	2	인천 서구 경서동 363-183	'03.01.24
22	화영주물공업(주)	금속제품제조업	2	인천 서구 경서동 363-159	'87.03.14
23	(주)우리	비금속광물제조업	2	인천 서구 경서동 683-4	'01.09.24
24	(주)한국특수주물	선철주물제조업	2	인천 서구 경서동 381-78	'87.03.14
25	신영산업	기타내화요업제품제조업	2	인천 서구 경서동 693-6	'04.06.11

### 2.6.5 수광산업(주)

수광산업(주)을 중심으로 반경 2 km 이내에 위치하고 있는 소각 시설과 대기오염 배출시설을 조사하여 그림 2.5에 나타내었다.

수광산업(주)을 중심으로 전반적으로 반경 2 km 이내에 창원 공단이 위치해 있었으며 주로 금속제품들을 제조하거나 기계 기구를 제조하는 대기오염 배출시설이 많이 산재되어 있었다. 수광산업(주)을 중심으로 반 경 2 km 내외에 1종 8개소, 2종 19개소 시설이 위치해 있는 것으로 조사되었다(표 2.10).

수광산업(주)의 주위환경으로는 바로 동쪽으로 부영산이 위치해 있고 남쪽 지역은 대규모의 공단이 위치하고 있다. 북쪽 지역으로는 마찬가지로 차룡 단지가 형성되어 있었고 서쪽 지역으로는 군부대를 포함한 산악 지대가 주를 이루고 있다.





[그림 2.5] 수광산업(주) 반경 2 km 내 소각시설 및 대기오염물질 배출시설

[표 2.10] 수광산업(주) 반경 2 km 내 대기오염물질 배출시설

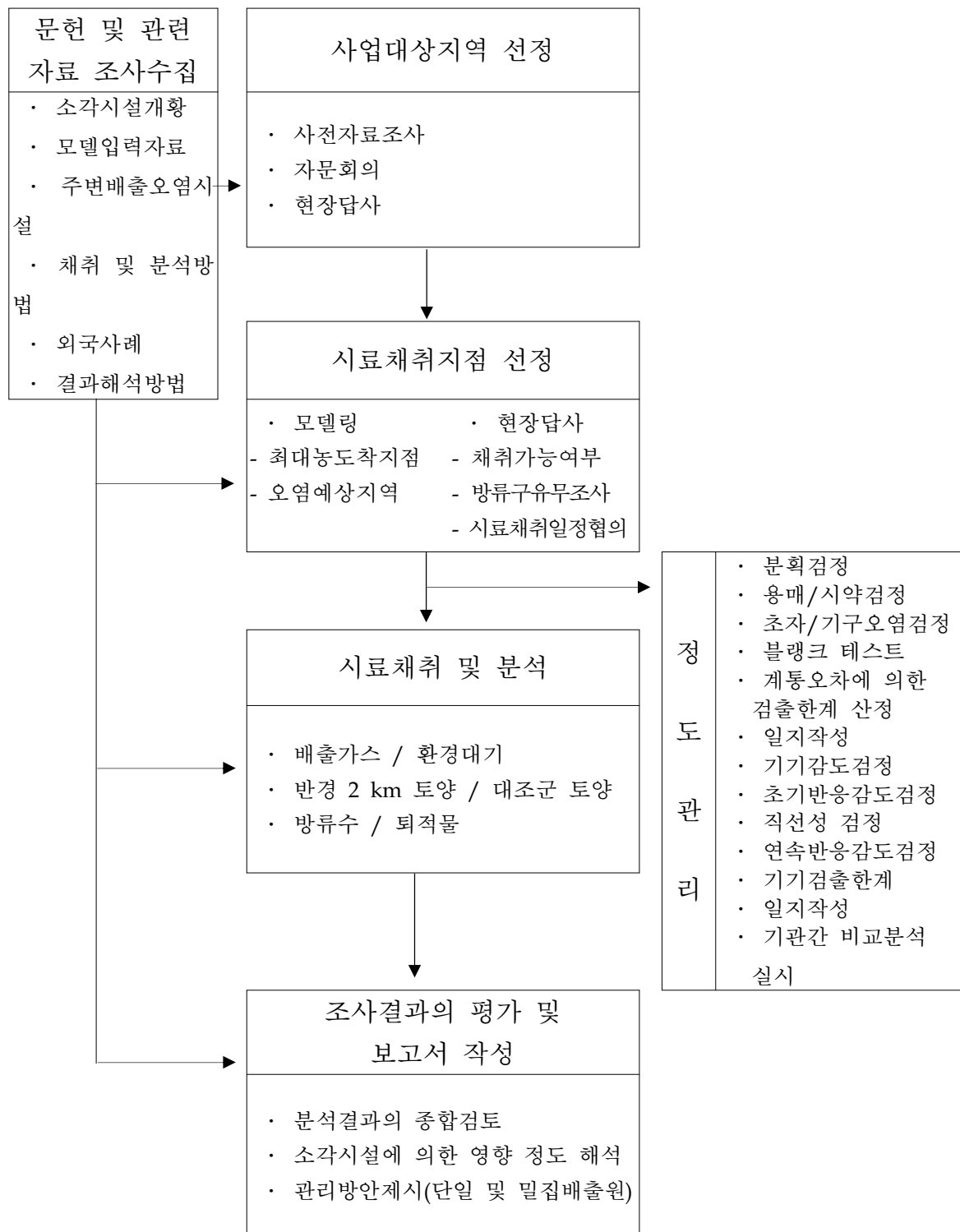
번호	업체명	업종 형태	종별	소재지	설치 신고일
1	효성(주)창원1공장	기계기구제조	1	경남 창원시 내동 454-2,3	'77.12.15
2	S&T중공업(주)기계사업본부소재공장	금속제품제조	1	경남 창원시 대원동 83	'80.03.25
3	메티아(주)	금속제품제조	1	경남 창원시 신촌동 192-7	'77.07.18
4	한국철강(주)	금속제품	1	경남 창원시 신촌동 70	'77.09.12
5	영흥철강(주)	조립금속제품제조	1	경남 창원시 신촌동 71-1	'78.06.21
6	대림요업(주)	요업제품	1	경남 창원시 양곡동 574	'72.08.16
7	효성(주)창원3공장	조립금속	1	경남 창원시 웅남동 43-1	'72.07.16
8	대원강업(주)창원공장	조립금속	1	경남 창원시 웅남동 54	'79.03.24
9	세플리코리아(유)창원1공장	금속제품제조가공	2	경남 창원시 내동 452-9	'83.11.24
10	삼성공조(주)	조립금속	2	경남 창원시 내동 456-4	'75.05.30
11	(주)로템	조립제품	2	경남 창원시 대원동 85	'78.05.23
12	대주건영(주)	아스콘제조	2	경남 창원시 대원동 86-3	'85.08.17
13	(주)동원F&B창원공장	음식료품	2	경남 창원시 대원동 91-1	'86.08.12
14	엘지전자(주)창원2공장	조립금속	2	경남 창원시 성산동 76	'87.01.07
15	효성기계공업(주)	기계기구제조	2	경남 창원시 성산동 77	'80.07.16
16	서울주철공업(주)	금속제품제조	2	경남 창원시 신촌동 73	'91.06.04
17	피케이밸브(주)	금속제품제조	2	경남 창원시 신촌동 192-1	'75.03.22
18	티아이씨선일(주)	금속제품제조	2	경남 창원시 웅남동 44-7	'89.10.04
19	(주)세아제강창원공장	기계기구제조	2	경남 창원시 웅남동 50	'78.10.21
20	칠성산업(주)	기타화학	2	경남 창원시 팔용동 20-25	'88.12.09
21	STX엔파코(주)	조립금속	2	경남 창원시 내동 452-7	'77.08.10
22	두산엔진(구.HSD엔진(주))	조립제품제조	2	경남 창원시 신촌동 69-3	'00.05.18
23	두산메카텍(주)창원공장	조립제품제조	2	경남 창원시 대원동 82	'87.10.21
24	(주)클라크 머터리얼 핸들링 아시아	조립제품제조	2	경남 창원시 웅남동 40-1	'87.09.22
25	(주)건화기계공업	조립제품제조업	2	경남 창원시 팔용동 60-7	'98.01.15
26	동양기전(주)창원2공장	조립제품제조업	2	경남 창원시 웅남동 62-4	'00.04.27
27	대승기업	조립금속제품제조	2	경남 창원시 팔용동 59-1	'06.4.28

## 2.7 과업 수행 방법 및 일정

본 연구의 과업수행 개략도를 그림 2.6에 나타내었으며 전체적인 수행 내용을 표 2.11에 일정표로 나타내었다.

전체적인 과업 내용은 선정된 대상 소각 시설 및 주변지역에 대한 답사를 시작으로 하여 본 연구의 목적에 타당한 시료채취 방법과 분석 방법 검토가 우선적으로 수행되었다. 아울러 정도관리의 신뢰성을 확보하기 위해 각 매질별 분석법을 확립하고 회수율과 재현성을 검토한 다음 시료채취 및 분석을 거쳐 얻어진 결과를 토대로 소각 시설 가동으로 인한 주변 환경의 영향 정도를 해석하고 관리방안을 수립하였다.





[그림 2.6] 과업수행 절차 개략도

[표 2.11] 월별 과업 수행 일정

구 분	사업 내용	추진일정 (월)										
		2006년				2007년						
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
1	<b>대상지역 선정 및 시료채취 방법 검토</b>											
	· 문헌 및 관련자료 조사 수집											
	· 대상지역 답사 및 대상 소각시설 선정											
	· 조사대상 소각시설에 대한 자료수집											
	· 대상지역 대기오염 모델링											
	· 지점 선정 및 시료채취계획 수립											
2	<b>QA/QC확립</b>											
	· 매질별 시료채취 및 분석법 확립											
	· 블랭크, 회수율, 재현성 검토											
	· 참여기관간 허용농도편차 검토											
	· 이상치에 대한 실험실간 비교분석											
3	<b>시료채취 및 분석</b>											
	· 소각로 배출가스 채취분석											
	· 환경대기 채취 분석											
	· 토양, 퇴적물, 수질 시료 채취 분석											
	· 분석 결과의 해석											
	· 분석 데이터 처리											
4	<b>조사결과의 평가 및 보고서 작성</b>											
	· 분석결과의 종합검토											
	· 소각시설에 의한 영향 정도 해석											
	· 전문가 세미나 등 외부의견 수렴											
	· 소각시설 주변 다이옥신 오염원 적정관리방안 제시											
	· 보고서 작성 및 최종발표											

### 3. 조사 방법

본 연구 수행을 위해 먼저 대상 소각시설의 현황과 해당지역의 최근 3년간 기상자료 및 기존 다이옥신 측정결과에 대한 자료를 수집하였다. 이들 자료를 이용하여 연구 목적에 부합되는 지점을 시료 채취 지점으로 선정하기 위해 대기오염확산 모델링을 수행하였다. 대상 소각시설과 관련하여 조사된 자료들은 표 3.1에 나타난 바와 같이 모델링에 적합한 형태로 변형하여 사용하였다.

또한 각 대상지역의 기상과 대기오염확산 모델링 결과를 바탕으로 대상 소각시설의 영향이 가장 잘 나타날 것으로 예상되는 방향과 지점을 선정하여 토양시료를 채취하였으며 토양시료 이외에 대상 소각시설의 배출가스, 환경대기, 방류수 및 저질시료도 채취하였다.

채취된 시료는 대기오염공정시험법<sup>(8)</sup>과 내분비계장애물질시험방법(국립환경과학원, 2002. 5)<sup>(10)</sup> 및 폐기물 소각시설 주변 다이옥신 잔류량 조사 매뉴얼 (국립환경과학원, 2005)<sup>(13)</sup>에 준하여 배출가스와 환경매질 중 다이옥신 잔류농도를 조사하였다.

아울러 시료에서 검출된 다이옥신 농도와 이성질체 유형을 국·내외 자료와 비교하고 소각시설이 주변 환경에 미치는 영향 정도를 검토하였다. 또한 대상 소각시설이 위치한 지역의 다이옥신 오염 대책 및 관리 방안을 수립하고자 하였다.

#### 3.1 시료 채취 지점의 선정

토양오염 조사는 주로 각 대상 소각시설 소각로를 중심으로 2 km 반경 이내에서 수행되었다. 다른 오염원에 의한 간접영향을 파악하기 위해 주변 기타 오염원의 현황을 파악하고 대상지역의 기상과 대기오염 모델링 수행 결과를 바탕으로 토양시료 채취지점을 선정하였다.

### 3.1.1 대기 확산 모델링

본 연구에서는 발생원과 그 영향권 내의 오염물질 농도분포를 예측하기 위하여 산업오염원 복합모델 (Industrial Source Complex, ISC)모델을 선정하였으며, 특히 장기간에 걸친 영향의 정도를 추정하기 위해 산업오염원복합장기모델(Industrial Source Complex Long Term, ISCLT) version 3을 이용하였다. 모델은 대상 소각로를 중심으로 하여 250 m × 250 m 단위의 격자점으로 구성된 총 5 km × 5 km의 T.M(Transverse Mercator)좌표계를 이용하였으며 각 격자점에서의 지형 고도를 입력하여 지형의 영향을 고려하도록 하였다. 기상데이터는 대상 소각시설과 가장 근접한 기상대 자료를 이용하였고, 다이옥신 배출량 산정은 소각로 개황 조사 및 다이옥신 배출량 조사 자료를 토대로 산출하였다.

#### 3.1.1.1 모델의 개요

ISC3는 가우시안 플룸식을 사용하여 농도를 구하기 때문에 기상조건과 배출량은 시간에 따른 변화가 없다고 가정하는 정상상태 모델이다. ISC3는 입자의 중력침강과 건성침적, 오염물질의 반감기를 고려하여 비교적 간단한 오염물질의 변화를 계산할 수 있고, 오염물질에 대한 장·단기 농도예측이 가능하다.

또한 다양한 배출원으로 구성된 도시지역이나 구릉지역에서도 적용이 가능하며 점오염원, 선 오염원, 면 오염원 뿐 만 아니라 입체 오염원(volume source) 및 노천 배출원(open pit source)등에도 적용 가능한 장점을 가지고 있다.

#### 3.1.1.2 입력 자료 형태

대상 소각시설이 위치한 지역의 기상자료와 소각시설 관련 자료를 바탕으로 대기 중으로 배출된 다이옥신의 오염 확산 예측 모델링을 수행하였다.

기상자료는 대상 소각시설이 위치한 지역의 기상 관측소로부터 최근 3년간(2004년 1월 1일~2006년 12월31일)의 기상데이터 중 기온, 풍향, 풍속, 운량 및 운고의 5가지 항목에 대하여 매 시간별 측정값을 사용하였고, 기상자료처리 모형인 STAR(STability ARray)로 처리하여 안정도별 풍향·풍속 발생빈도를 산출하였다.

소각시설 관련 자료는 대상 소각시설로부터 입수한 운영자료와 다이옥신 측정 대행기록부의 자료를 기본으로 하여 소각로의 높이, 배출가스 온도, 내경, 배출가스 속도, 다이옥신 평균농도 및 대상 소각시설의 TM 좌표 값을 사용하였다. 대상 소각시설이 위치한 지역의 기상 관측소가 없는 경우는 가장 근접한 기상 관측소의 자료를 사용하였으며 대기오염확산 모델링의 입력 자료를 표 3.1에 나타내었다.

[표 3.1] 대기오염 확산 모델링 입력자료

No.	소각시설	TM 좌표	위도,경도	소각로 높이 (m)	배출가스 온도 (℃)	소각로 내경 (m)	배출가스 속도 (m/sec)	다이옥신 배출계수 <sup>1)</sup> (ng-TEQ/m <sup>3</sup> ·s)
1	(주)메디코	N 372.350 E 212.575	N 37°5'39" E 127°8'29"	50	175	0.97	3	3.66 (‘05~’06)
2	(주)동양환경	N 323.300 E 236.375	N 36°26'56" E 127°24'27"	30	187	1.5	8	28.22 (‘04~’06)
3	(주)동운산업	N 444.825 E 169.425	N 37°30'3" E 126°39'32"	30	186	1.5	11	8.41 (‘04~’06)
4	(주)수정개발	N 450.900 E 168.025	N 37°33'13" E 126°38'25"	36	171	2.7	2.88	0.24 (‘04~’06)
5	수광산업(주)	N 191.825 E 167.225	N 35°13'9" E 128°38'32"	50	164	2.7	3	0.28 (‘05~’06)

1) 다이옥신 배출계수는 ‘04~’06년 다이옥신 의무측정자료와 배출가스속도를 이용하여 다음과 같은 식으로 계산되었다.

$$\text{다이옥신배출계수}(ngTEQ/m^3/sec) = \text{다이옥신배출농도}(ngTEQ/m^3) \times \text{배출가스속도}(m^3/sec) \times \frac{1}{(\frac{1}{2} \text{ 굴뚝내경})^2 \pi}$$

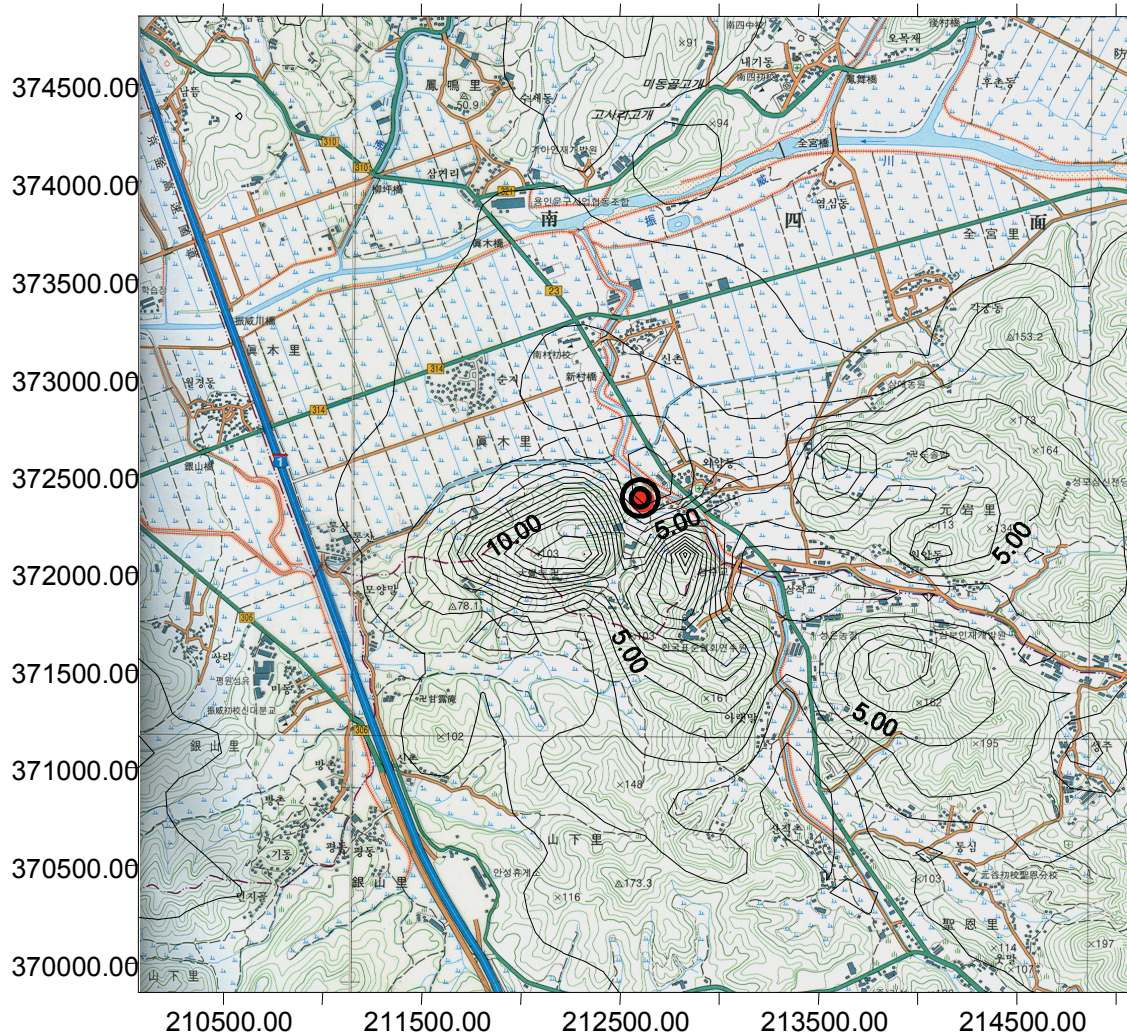
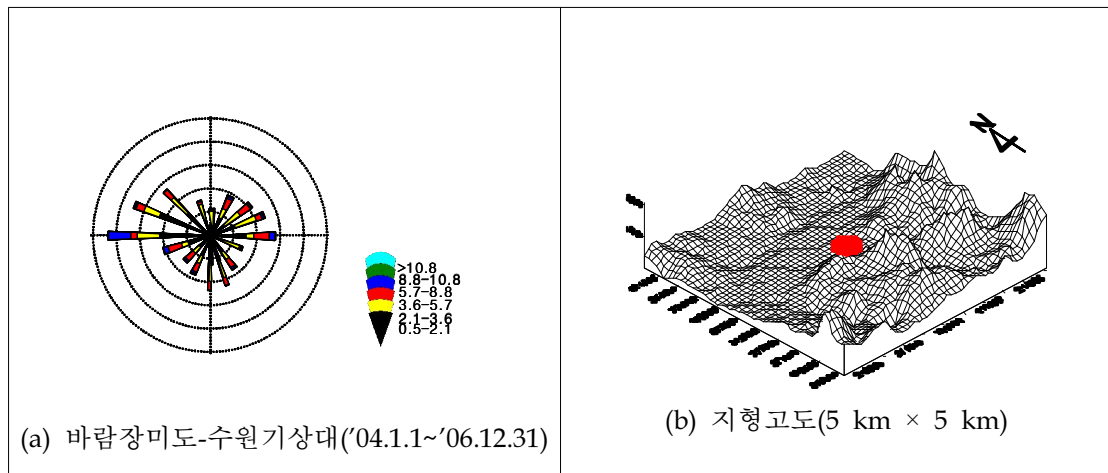
### 3.1.2 대기 확산 모델링 수행 결과

대상 소각시설이 위치한 지역 관측소의 기상자료와 소각시설 관련 자료를 바탕으로 대기 확산 모델링을 수행하여 바람장미도와 대상 소각시설을 중심으로 한 등농도 곡선을 얻었다.

(주)메디코는 수원 기상대 자료를, (주)동양환경은 대전 기상대 자료를, (주)동운산업과 (주)수정개발은 인천 기상대 자료를, 수광산업(주)는 마산 기상대 자료를 사용하였다.

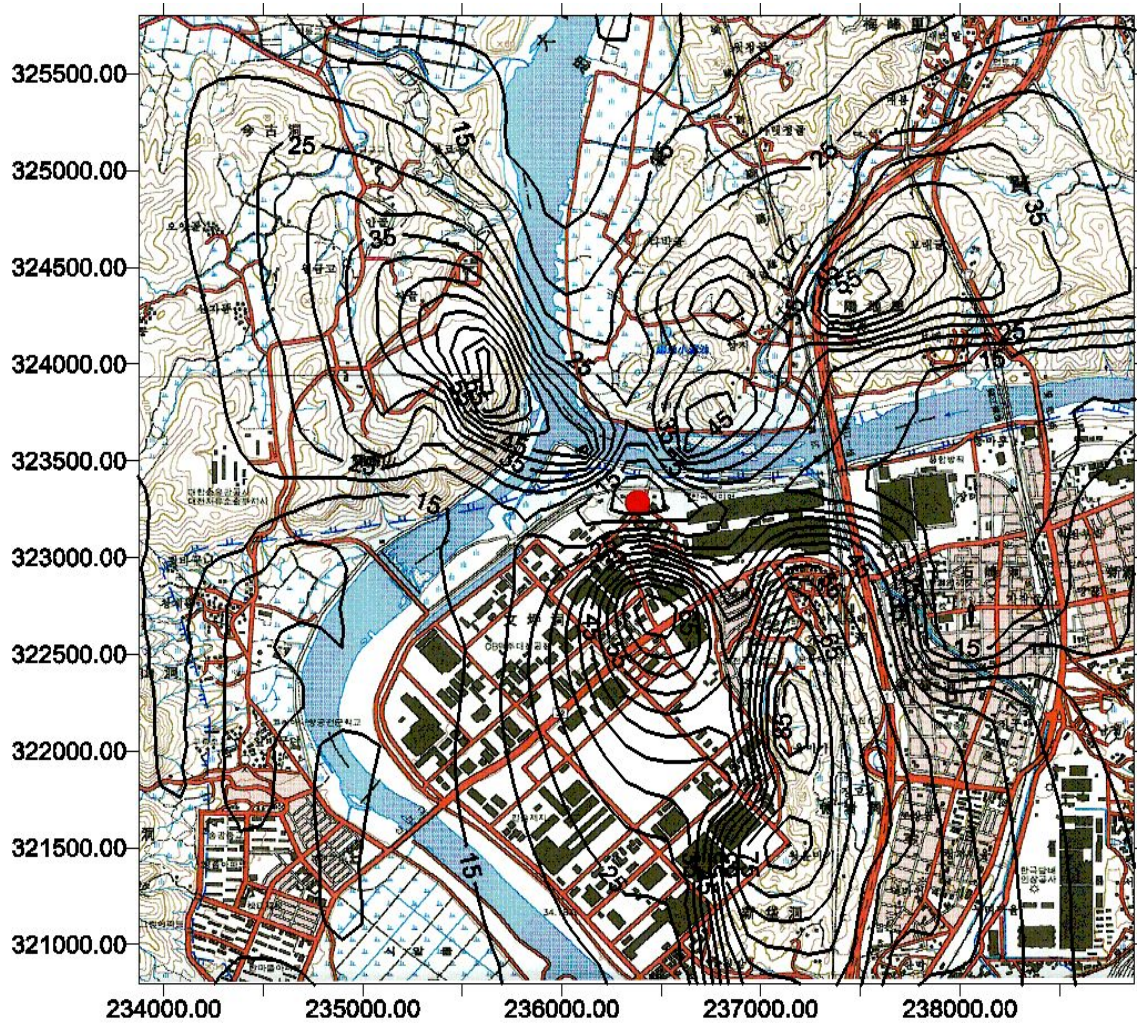
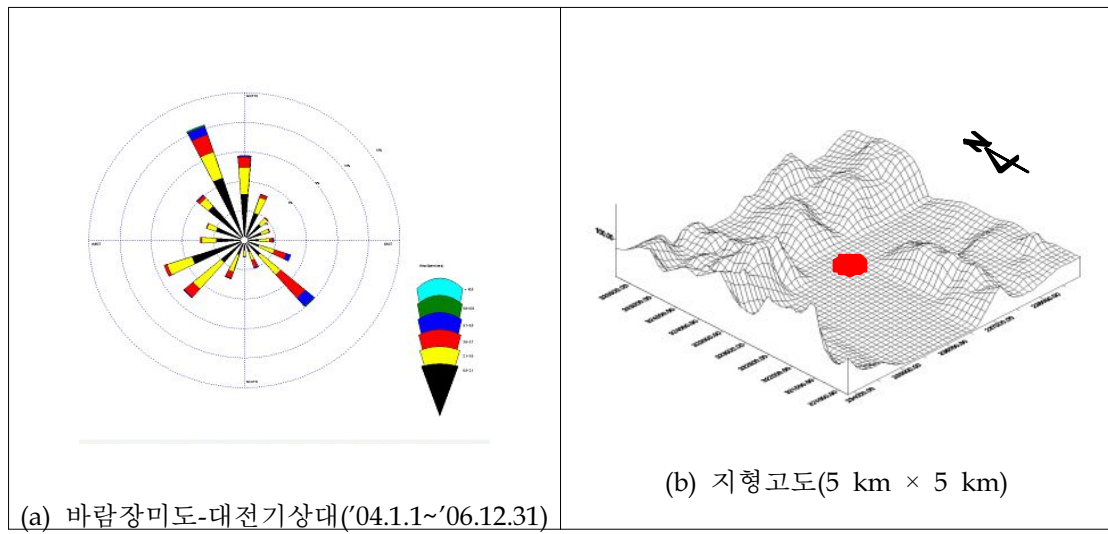
대기오염확산 모델링 수행 결과 (주)메디코의 경우는 지형과 풍향의 영향으로 인해 동쪽으로 주로 확산이 이루어지는 것으로 예측되어졌으며, (주)동양환경의 경우 남동쪽으로 주로 확산이 일어나는 것으로 예측되었다. (주)동운산업과 (주)수정개발의 경우 주로 남남동쪽으로 확산이 일어나는 것으로 예측되어졌고 수광산업(주)의 경우 주로 남남서쪽으로 확산이 일어나는 것으로 예측되어졌다.

각 기상자료로부터 산출한 바람장미도와 각 대상 소각시설의 지형고도와 다이옥신 예측 등농도 곡선을 그림 3.1에서 그림 3.5까지 나타내었다.



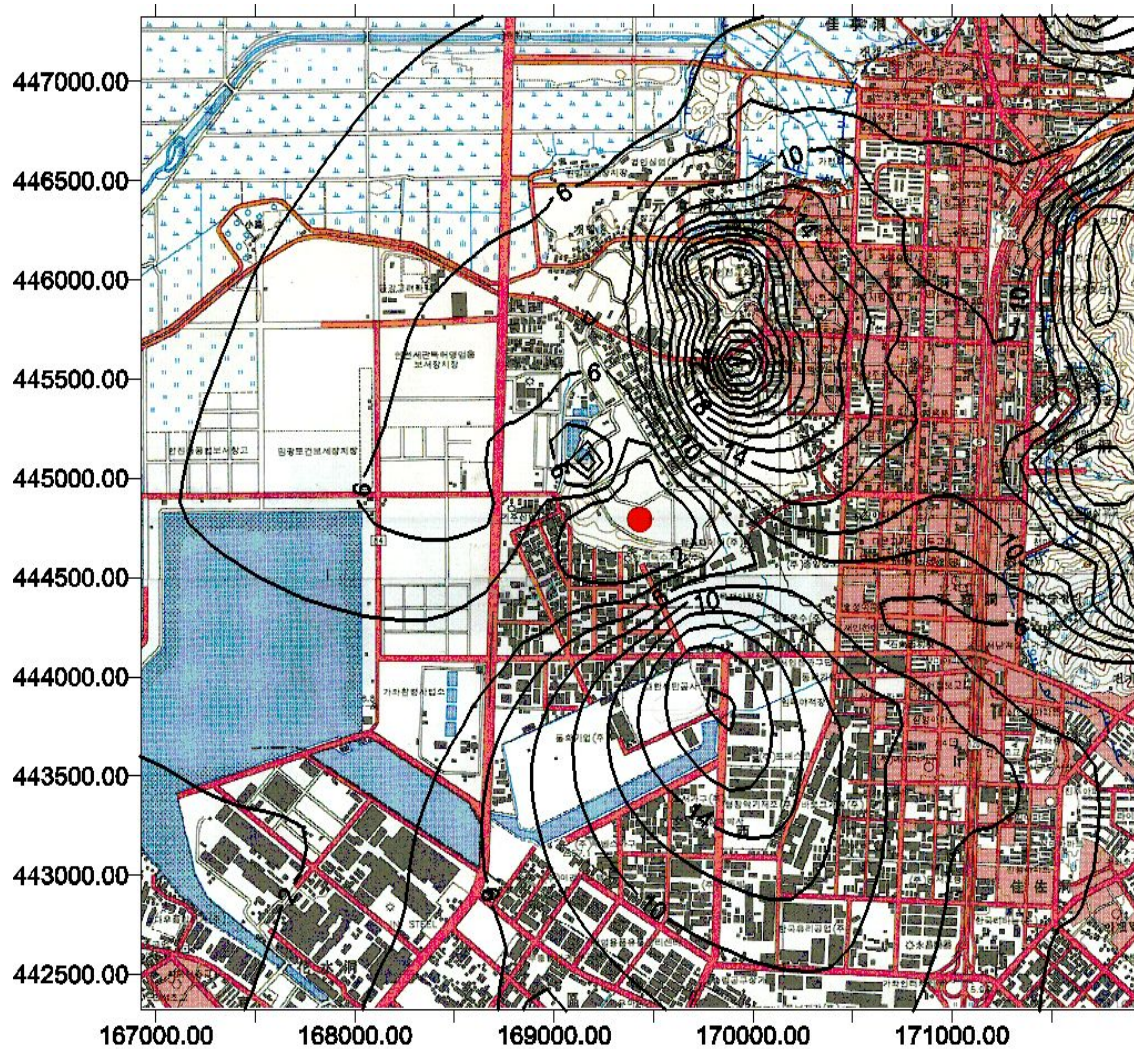
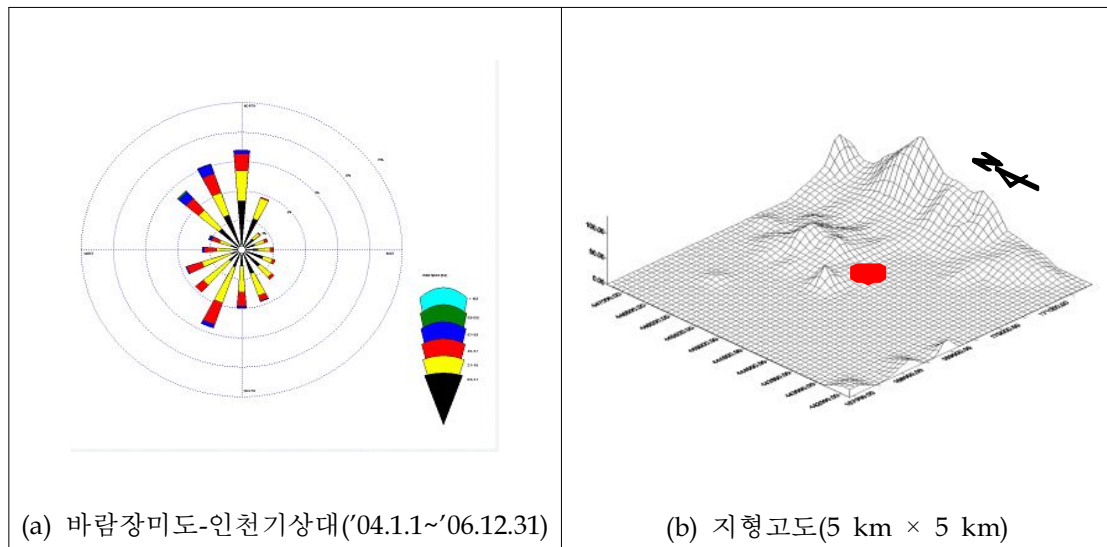
[그림 3.1] (주)메디코 모델링 자료 및 결과



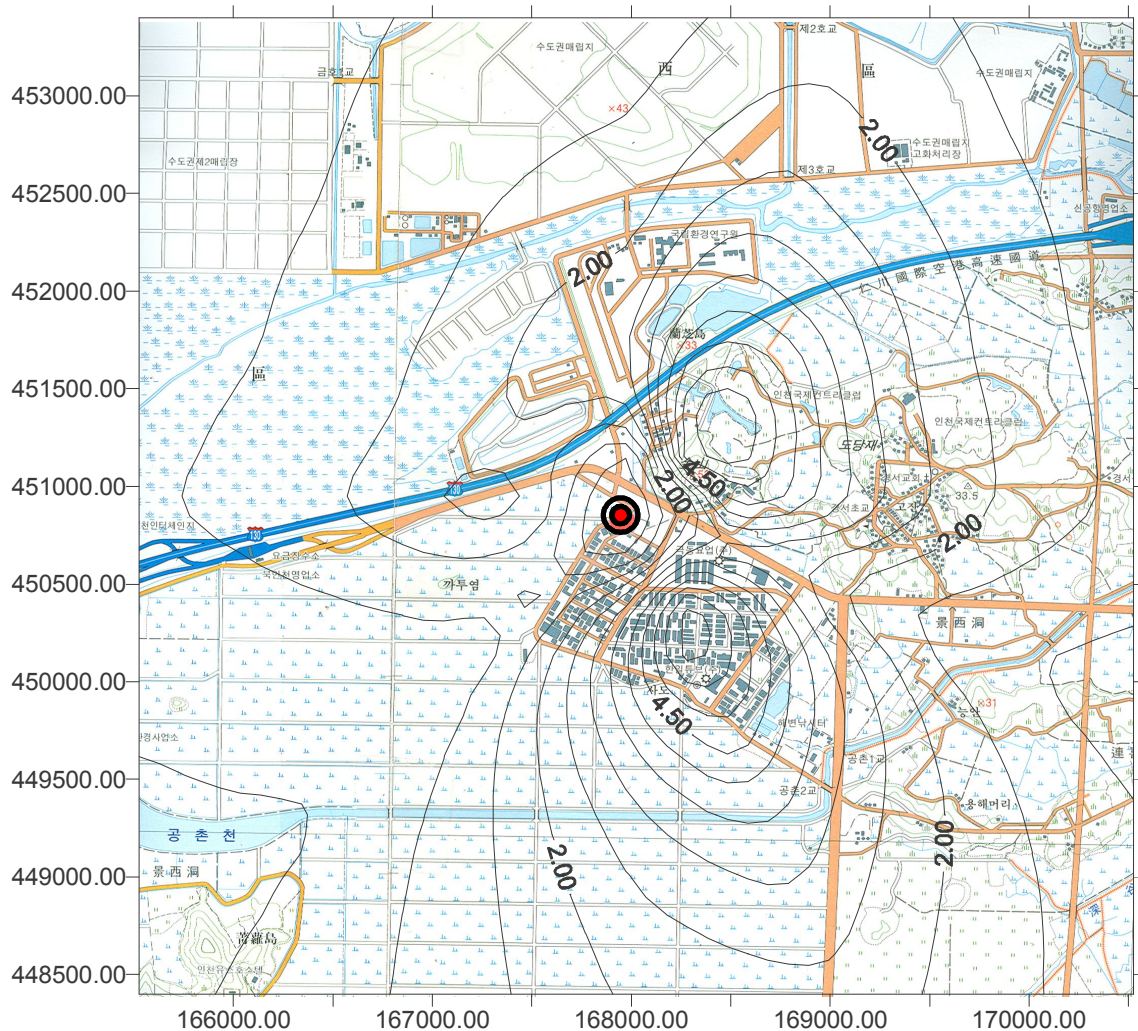
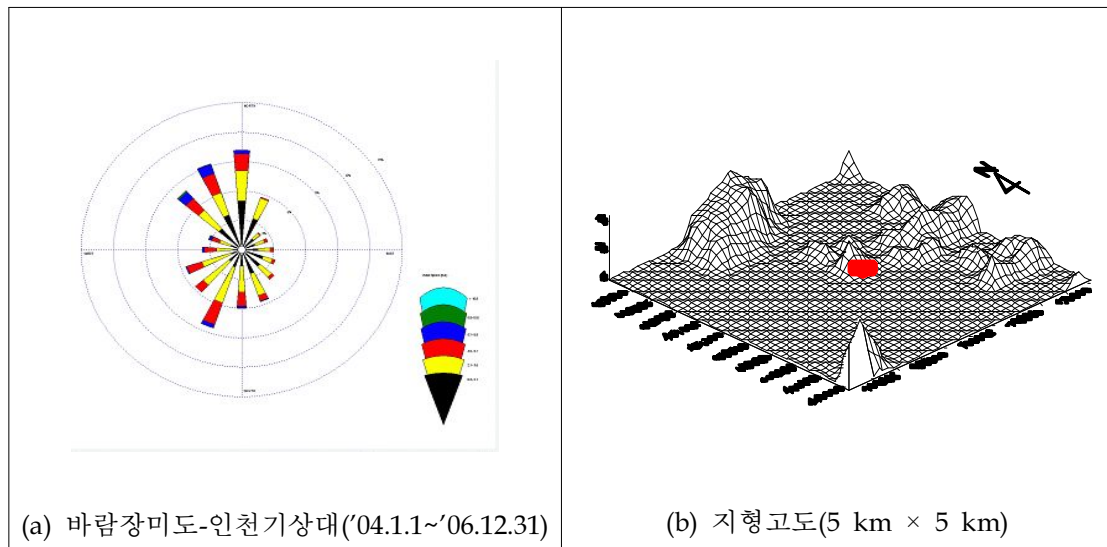


[그림 3.2] (주)동양환경 모델링 자료 및 결과



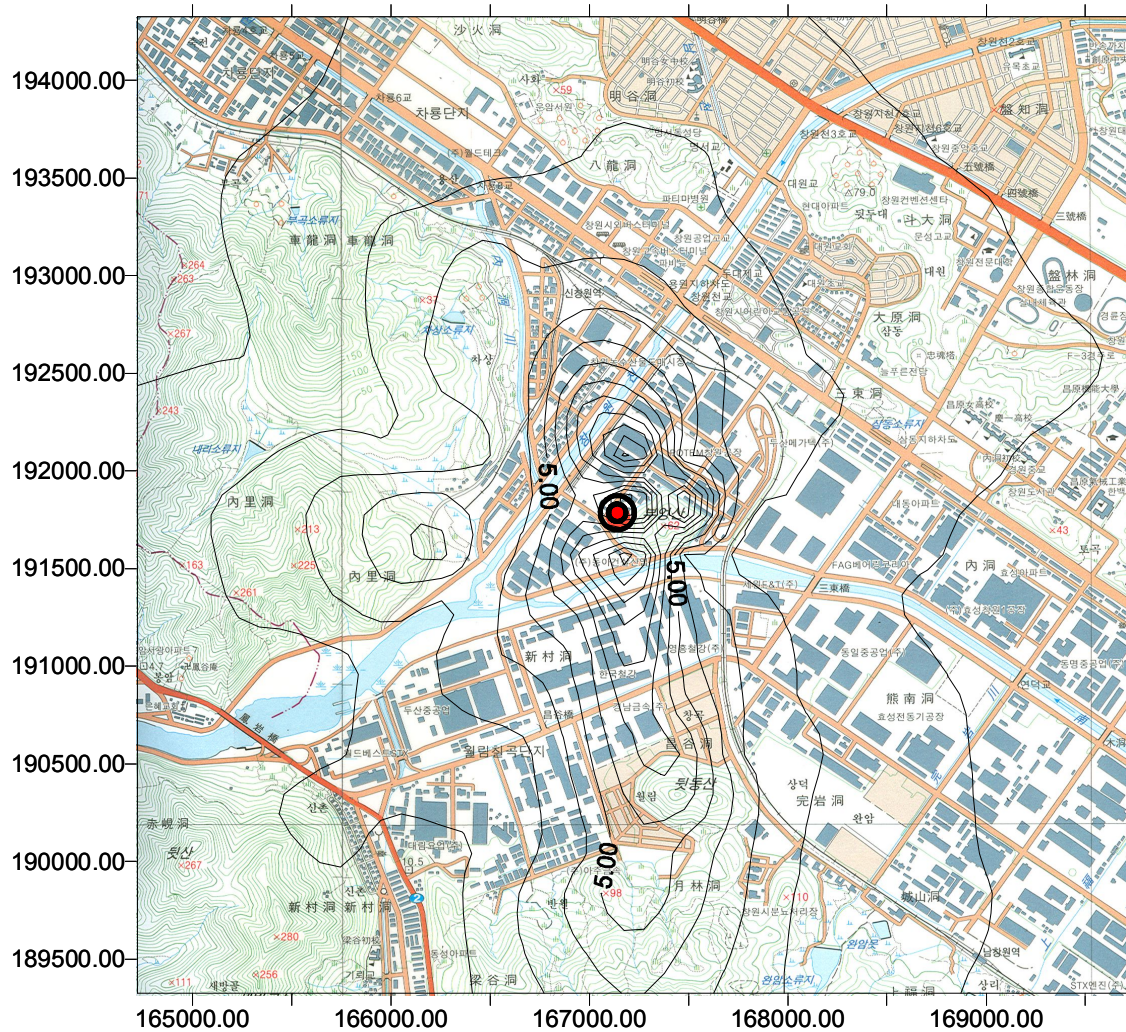
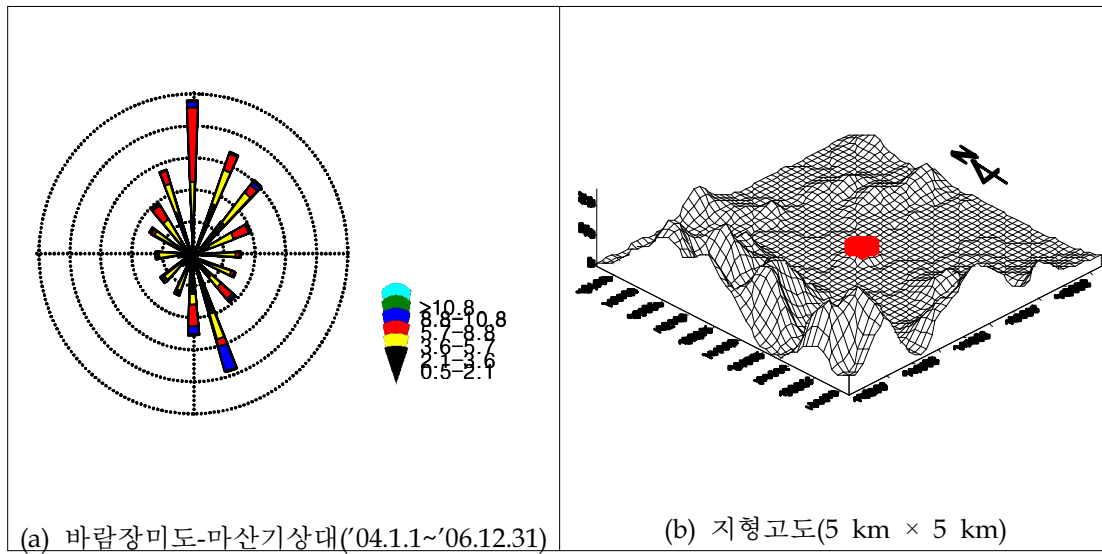






[그림 3.4] (주)수정개발 주변지역 모델링 자료 및 결과





### 3.1.3 시료 채취 지점 선정 방법

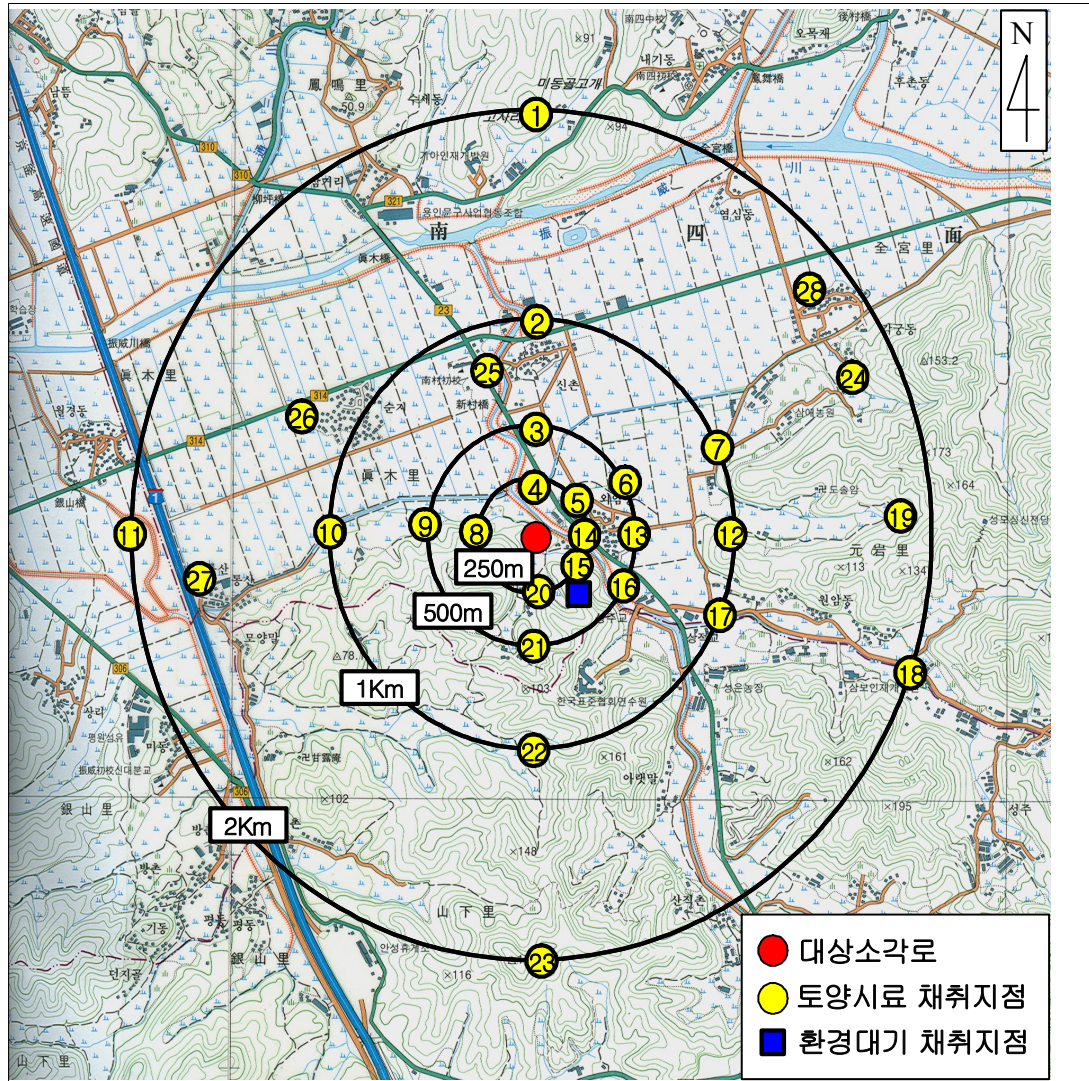
환경대기 시료는 대기오염확산 모델링의 결과를 기초로 등농도 곡선의 조밀도 등을 고려하여 최고농도 예측지점을 결정하고 전원의 사용유무와 건물이나 수목 등의 장애물과 주변여건 등을 고려하여 적절한 지점을 선정하여 시료를 채취하였다.

토양시료는 각 대상시설 소각로를 중심으로 한 오염물질 등농도 곡선의 분포에 따른 최고농도 예측지점을 기준으로 오염물질의 주된 확산방향과 직각 방향을 기본 골격으로 설정하고 지형여건을 고려하여 채취지점을 선정한 후 5지점 혼합방법에 의해 채취하였다.

저질 시료는 대상 소각시설의 방류구가 위치한 인근하천에서 채취를 원칙으로 하였으나, 이들 시료에 대해 채취가 불가능하여 감독기관과 협의·조정하여 토양시료로 대체하였다.

각 대상 소각시설별 토양시료 채취지점과 대기시료 채취지점을 그림 3.6 ~ 그림 3.10에 나타내었고, 채취한 토양시료의 관련 정보를 표 3.2 ~ 표 3.6에 나타내었으며, 방류수 및 저질 시료의 채취지점 정보는 표 3.7에 나타내었다.



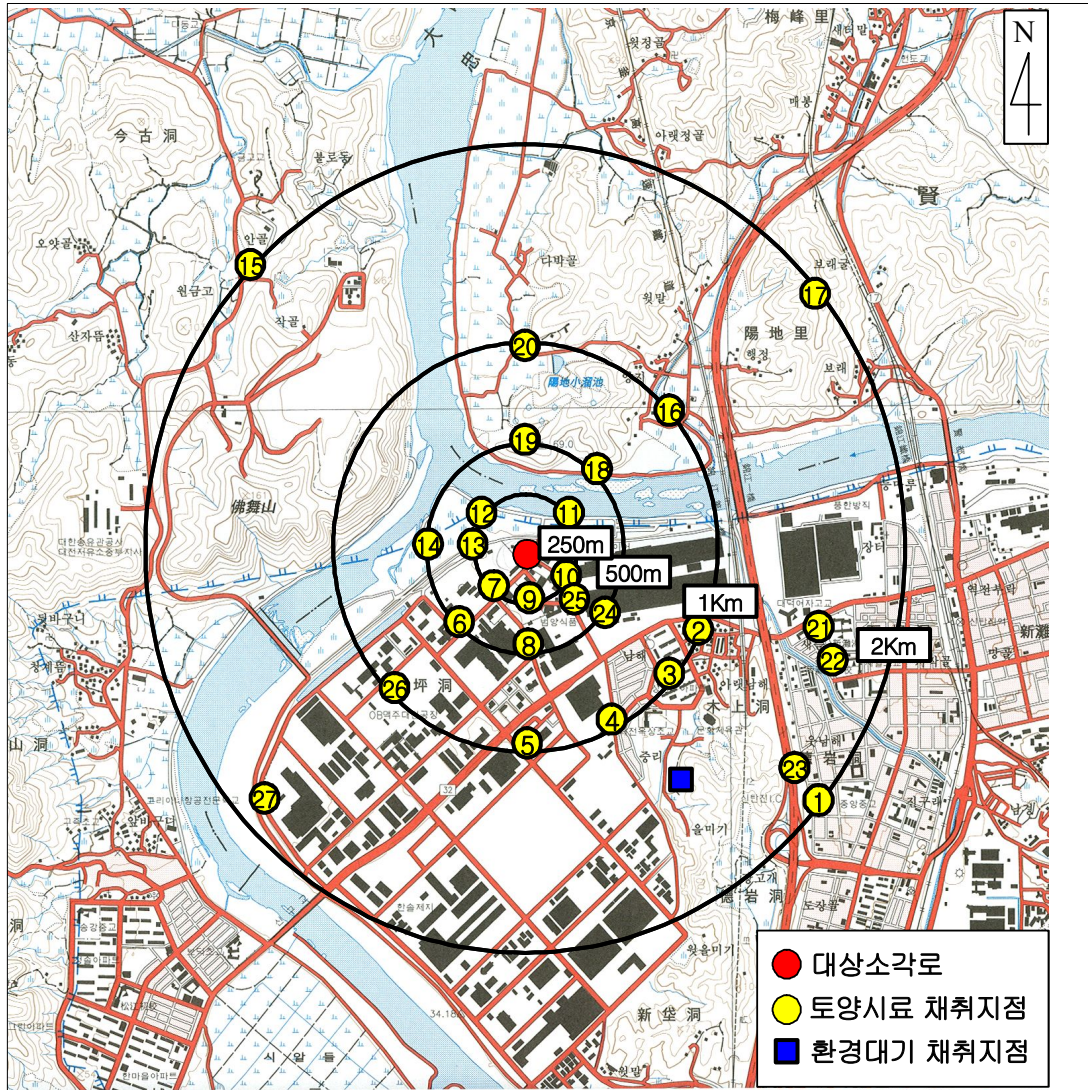


[그림 3.6] (주)메디코 토양 및 환경대기 시료 채취지점

[표 3.2] (주)메디코 토양시료 관련 정보

No.	Label	채취지점	GPS	토지 이용	특이사항
1	MDK-01	N-2km	E127°08'33" N37°06'30"	논/산	몽고장유열 노길 들어감
2	MDK-02	N-1km	E127°08'34" N37°05'59"	논	진폭교차로400후방 우측 논 중간 지점
3	MDK-03	N-500m	E127°08'40" N37°05'42"	논	원진교 맞은편 우측논
4	MDK-04	N-250m	E127°08'41" N37°05'34"	논	노란축사뒤편논 우측논
5	MDK-05	ENE-250m	E127°08'52" N37°05'30"	밭	300m지점 좌측비닐하우스 편 밭
6	MDK-06	ENE-500m	E127°08'55" N37°05'33"	논	제주양돈농협에서 400m들어와 왼쪽논 윗언덕논
7	MDK-07	ENE-1km	E127°09'10" N37°05'40"	산	(주)삼지컴텍 앞 야산
8	MDK-08	W-250m	E127°08'23" N37°05'35"	논	(주)메디코 좌측산 논 (배수천) 좌측산 아래
9	MDK-09	W-500m	E127°08'13" N37°05'35"	논	소각로 지점에서 서쪽방향으로 500m지점 논
10	MDK-10	W-1km	E127°07'31" N37°05'35"	논	소각로 지점에서 W방향으로 1km지점 논
11	MDK-11	W-2km	E127°07'09" N37°05'30"	논	경부고속도로 하향방향 우측 야산 앞 논
12	MDK-12	E-1km	E127°09'20" N37°05'29"	논	도솔암 앞 400m지점 외탄 민가옆논
13	MDK-13	E-500m	E127°08'57" N37°05'31"	논	(주)메디코 E 500m지점(마을동쪽 끝 논)
14	MDK-14	E-250m	E127°08'45" N37°05'29"	도로변	외양수퍼 앞 독방(농필산업 앞)
15	MDK-15	ESE-250m	E127°08'49" N37°05'28"	도로변	정원가든 앞 하천 건너편 독방
16	MDK-16	ESE-500m	E127°08'55" N37°05'22"	밭	(주)송학 건물 옆 밭(산 맞은편)
17	MDK-17	ESE-1km	E127°09'14" N37°05'16"	논	원암 1교 건너 우측으로 200m지점 좌측 논
18	MDK-18	ESE-2km	E127°09'50" N37°05'04"	논	(주)인바이포 지나 좌회전 50m 좌측 논
19	MDK-19	E-2km	E127°10'00" N37°05'20"	논	길끝(갯세마네의길)에서 50m 뒤쪽 좌측 논
20	MDK-20	S-250m	E127°08'35" N37°05'20"	논	(주)영동 뒤편 논/EM앞
21	MDK-21	S-500m	E127°08'31" N37°05'13"	논	대각사' 들어가는 삼거리 좌측 조립식 건물 뒤 논
22	MDK-22	S-1km	E127°08'35" N37°04'55"	논	포장도로에서 100m들어온 지점 우측논
23	MDK-23	S-2km	E127°08'15" N37°04'34"	논	포장도로에서 300m들어온 지점
24	MDK-24	ENE-2km	E127°9'31" N37°6'6"	논	전궁교회 부근 논흙 각궁노인정 앞 논
25	MDK-25	NNW-900m	E127°8'26" N37°5'55"	화단	남촌초등학교 내 화단 흙
26	MDK-26	WNW-1.2km	E127°8'9" N37°5'55"	논	순지 교회 앞 논흙
27	MDK-27	W-1.8km	E127°7'36" N37°5'15"	논	진궁교회 앞 논흙
28	MDK-28	WSW-350m	E127°8'28" N37°5'13"	산	메디코 근처 산흙



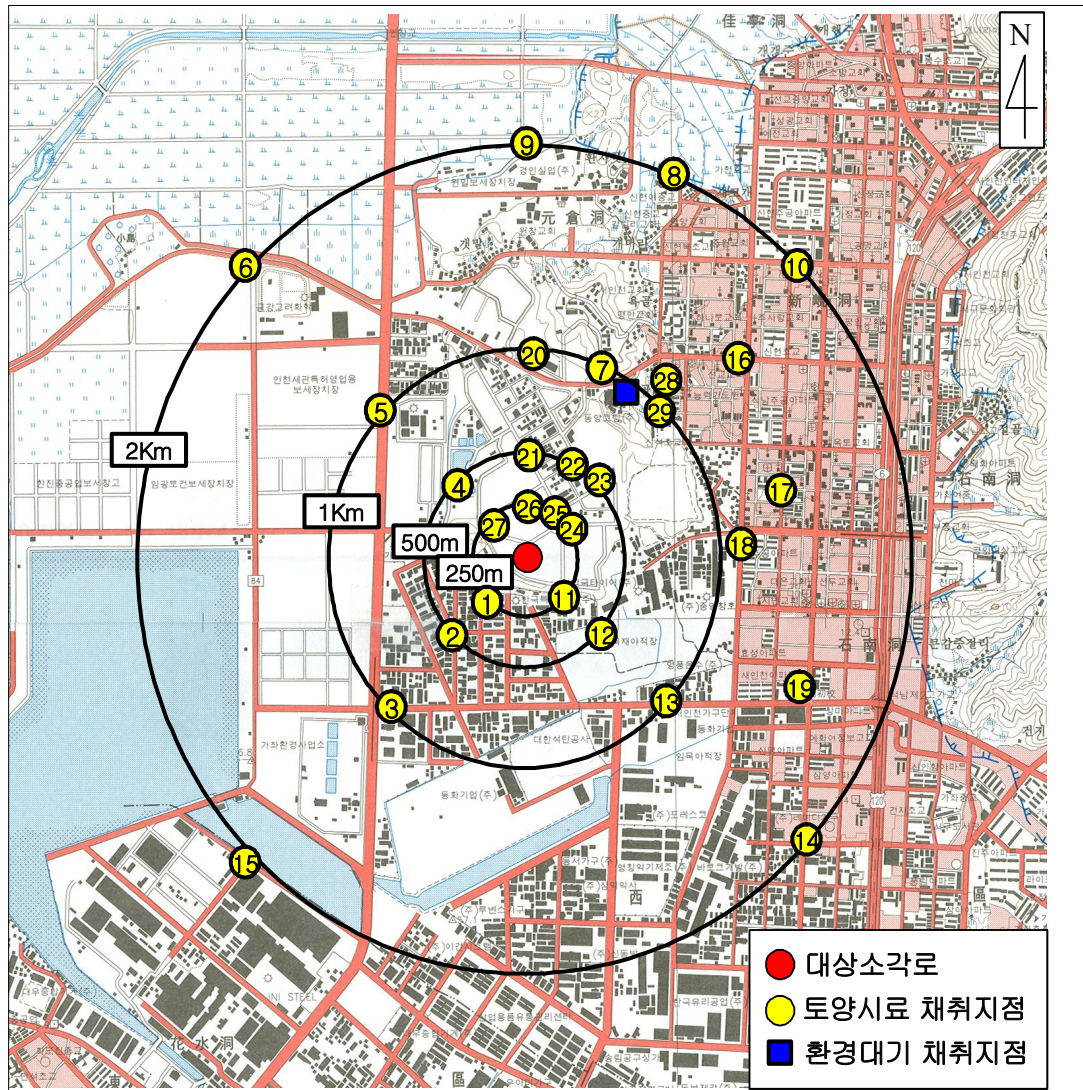


[그림 3.7] (주)동양환경 토양 및 환경대기 시료 채취지점

[표 3.3] (주)동양환경 토양시료 관련 정보

No.	Label	채취지점	GPS	토지 이용	특이사항
1	DY-01	SE-2km	E127°25'31" N36°26'45"	밭	사랑교회 옆
2	DY-02	ESE-1km	E127°25'10" N36°26'45"	밭	현대아파트 옆 도로 근처 밭
3	DY-03	SE-1km	E127°25'01" N36°26'37"	밭	다사랑아파트 옆 도로근처 밭
4	DY-04	SSE-1km	E127°24'47" N36°26'28"	밭	한라아파트 공원 맞은편
5	DY-05	S-1km	E127°24'28" N36°26'25"	밭	효성 대전공장 맞은편 도로근처 밭
6	DY-06	SW-500m	E127°24'15" N36°26'46"	밭	옥봉화학 앞
7	DY-07	SW-250m	E127°24'22" N36°26'51"	밭	하수처리장 앞
8	DY-08	S-500m	E127°24'29" N36°26'41"	밭	대전광역시 건설관리본부 직영사업장내
9	DY-09	S-250m	E127°24'24" N36°26'49"	밭	대전광역시 건설관리본부 직영사업장내
10	DY-10	SE-250m	E127°24'34" N36°26'49"	밭	풍안산업 앞 공터
11	DY-11	NE-250m	E127°24'32" N36°27'03"	밭	하천변
12	DY-12	NW-250m	E127°24'27" N36°27'03"	밭	하천변, 비닐하우스 옆 풀밭
13	DY-13	W-250m	E127°24'20" N36°26'59"	밭	폐수종말처리장
14	DY-14	W-500m	E127°24'02" N36°26'52"	밭	하천변
15	DY-15	NW-2km	E127°23'32" N36°27'44"	밭	(대전광역시 금고동 양묘장 밭) 원금고 옆
16	DY-16	NE-1km	E127°24'55" N36°27'24"	밭	양지리에 있는 하우스 옆(하우스사이사이)
17	DY-17	NE-2km	E127°25'29" N36°27'52"	논	내봉터널 근처(철도옆)
18	DY-18	NE-500m	E127°24'58" N36°27'09"	밭	하천변 한국타이어 건너편(갈대밭)
19	DY-19	N-500m	E127°24'32" N36°27'09"	밭	하천변
20	DY-20	N-1km	E127°24'24" N36°27'31"	논	중척 3리 버스정류장
21	DY-21	ESE-1.6km	E127°25'32" N36°26'43"	화단	신탄진 초등학교 내 화단
22	DY-22	ESE-1.8km	E127°25'31" N36°26'39"	화단	이문고등학교 내 화단
23	DY-23	SE-1.8km	E127°25'31" N36°26'18"	화단	신탄중앙중학교 내 화단
24	DY-24	SE-500m	E127°24'40" N36°26'44"	화단	한국타이어대전공장도로 옆 가로수 화단
25	DY-25	SE-300m	E127°24'36" N36°26'50"	공터	대전목립센터근처 흙
26	DY-26	SW-1km	E127°23'58" N36°26'28"	도로변	한국특수메탈도로 옆 가로수 흙
27	DY-27	SW-2km	E127°23'37" N36°26'20"	도로변	유한킴벌리 도로 옆 가로수 흙



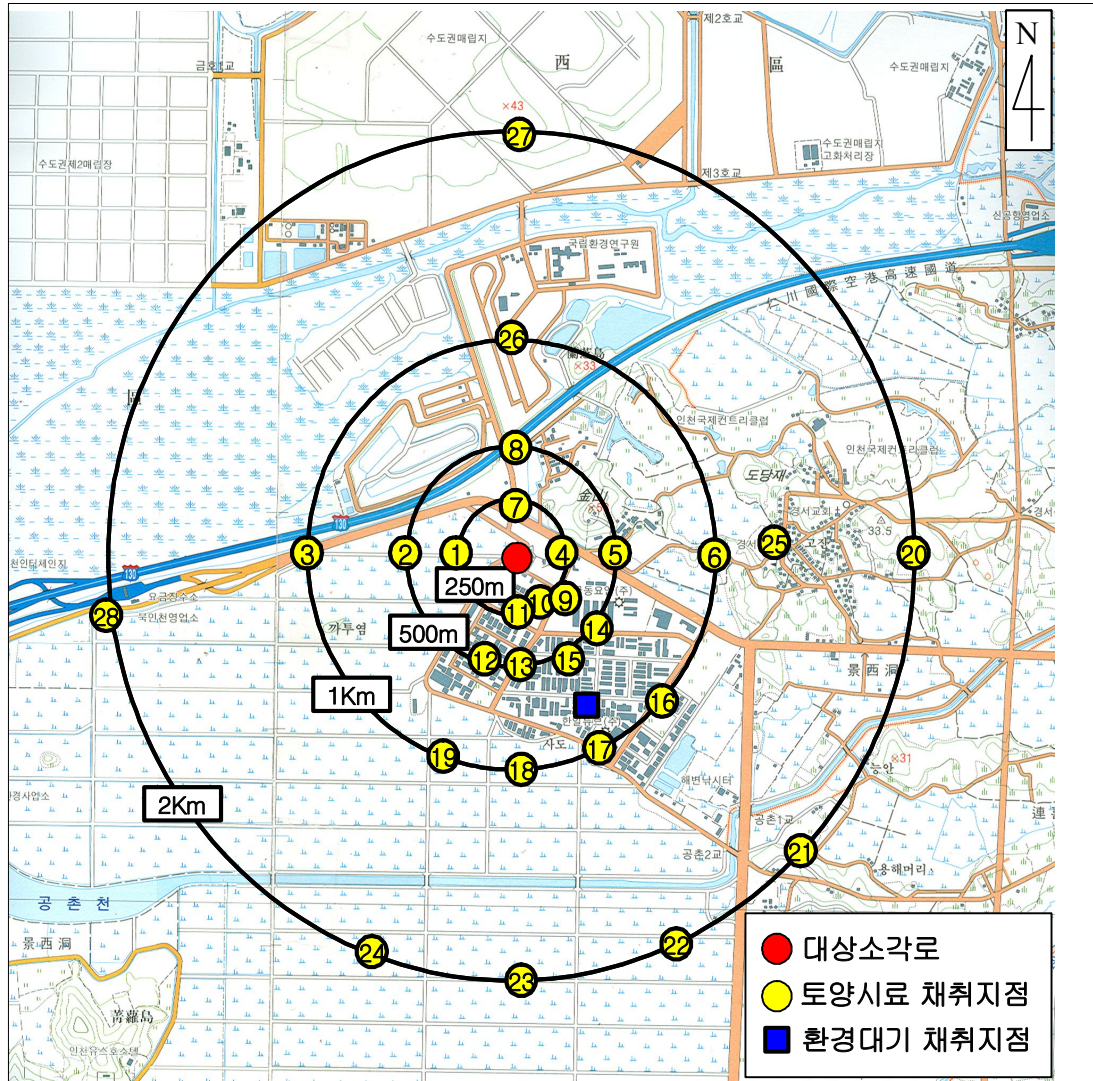


[그림 3.8] (주)동운산업 토양 및 환경대기 시료 채취지점

[표 3.4] (주)동운산업 토양시료 관련 정보

No.	Label	채취지점	GPS	토지 이용	특이사항
1	DU-01	SW-250m	E126°39'14.33" N37°30'8.03"	도로변	우림목재 주변 도로변, 건물 담벼락 아래
2	DU-02	SW-500m	E126°39'9.32" N37°30'0.82"	공터	건물 담벼락 밑의 흙, ㈜모던우드담벼락 흙
3	DU-03	SW-1km	E126°38'54.9" N37°29'48.66"	도로변	북항고가교와 바로크 종합전시장 근처
4	DU-04	NW-500m	E126°39'5.37" N37°30'22.98"	밭	원창동 352-34번지 Dopco 앞 공터 풀밭
5	DU-05	NW-1km	E126°38'46.81" N37°30'24.01"	밭	한진중공업 제1보세창고 정문 앞 풀밭
6	DU-06	NW-2km	E126°38'14.06" N37°30'50.84"	밭	임광토건 창고 사이의 골프장 뒤편 풀밭
7	DU-07	NNE-1km	E126°39'44.67" N37°30'41.88"	산	신광아파트 뒷산 공터 밭
8	DU-08	NNE-2km	E126°40'3.45" N37°31'12.61"	산	은영아파트 길 건너 야산 흙, 붉은색
9	DU-09	N-2km	E126°39'33.68" N37°31'18.05"	화단	성산임업 뒤쪽 산, 붉은색
10	DU-10	NE-2km	E126°40'2.55" N37°30'37.34"	화단	삼용아파트 정문 왼쪽동 담벼락 아래 화단흙
11	DU-11	SE-250m	E126°39'32.39" N37°30'7.77"	밭	한국펄저㈜ 잔디밭
12	DU-12	SE-500m	E126°39'36.43" N37°30'5.03"	도로변	㈜에스틸 도로변 흙
13	DU-13	SE-1km	E126°39'54.62" N37°29'56.82"	도로변	우리주유소 건너편 목재창고 담벼락 아래
14	DU-14	SE-2km	E126°40'39.72" N37°29'42.59"	화단	인천건지초등학교 화단
15	DU-15	SW-2km	E126°38'46.47" N37°29'15.65"	화단	INI(인천제철)지나 SK주유소 앞 보도 화단
16	DU-16	NE-1.6km	E126°40'22" N37°30'40"	화단	신현초등학교 내 화단
17	DU-17	ENE-1.3km	E126°40'20" N37°30'21"	화단	동우아파트 내 화단
18	DU-18	E-1km	E126°40'19" N37°30'1"	화단	장미아파트 내 화단
19	DU-19	ESE-1.3km	E126°40'19" N37°29'49"	화단	석남 서 초등학교 내 화단
20	DU-20	N-1km	E126°39'32" N37°30'37"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
21	DU-21	N-500m	E126°39'32" N37°30'19"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
22	DU-22	NNE-500m	E126°39'39" N37°30'14"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
23	DU-23	NE-500m	E126°39'46" N37°30'13"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
24	DU-24	NE-250m	E126°39'38" N37°30'7"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
25	DU-25	NNE-250m	E126°39'34" N37°30'12"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
26	DU-26	N-250m	E126°39'27" N37°30'12"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
27	DU-27	NW-250m	E126°39'15" N37°30'15"	부지내	(주)SK인천 정유공장 부지 내
28	DU-28	NE-1.2km	E126°40'2" N37°30'28"	화단	신석초등학교 내 화단
29	DU-29	NE-1km	E126°40'3" N37°30'21"	공터	신석체육공원 내 흙



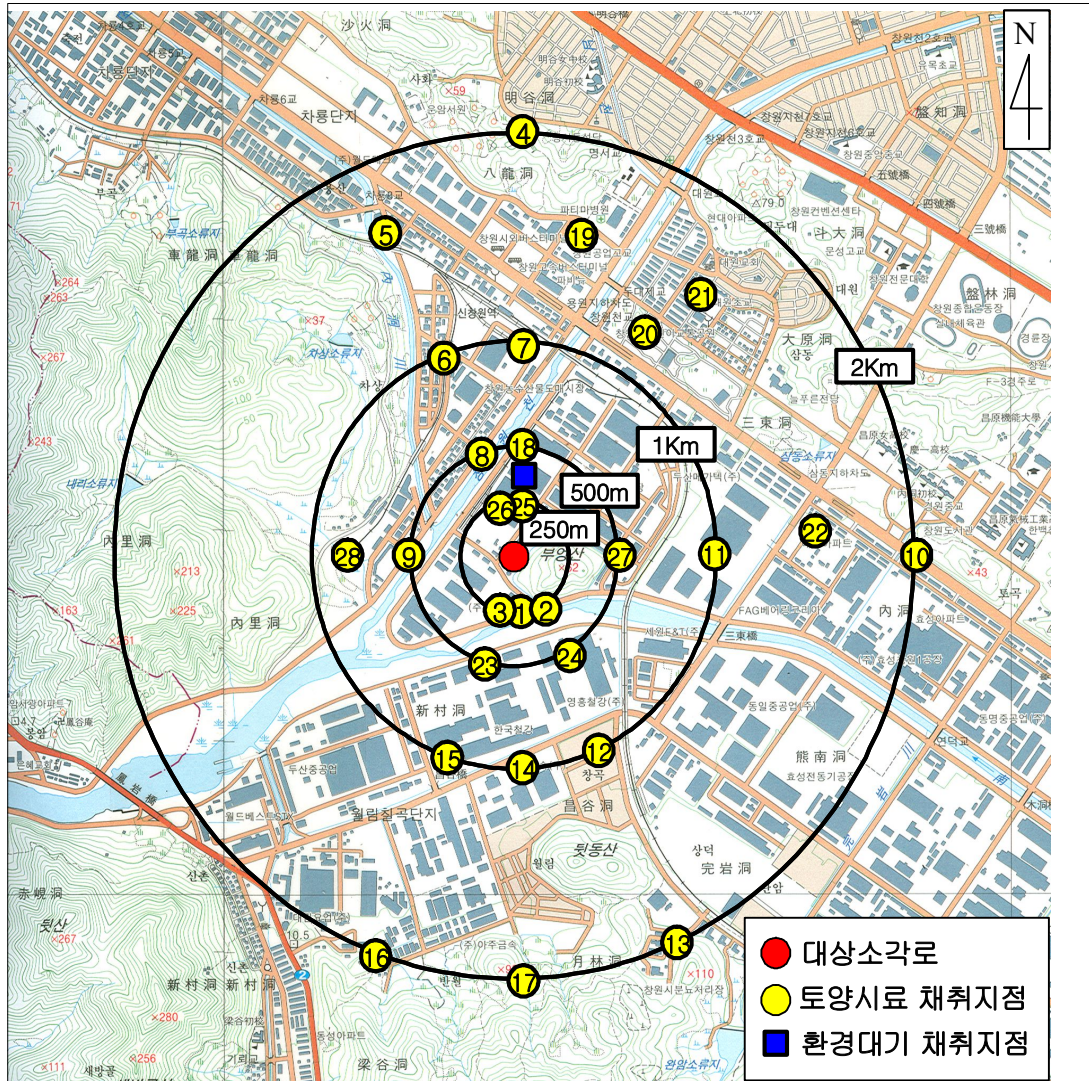


[그림 3.9] (주)수정개발 토양 및 환경대기 시료 채취지점

[표 3.5] (주)수정개발 토양시료 관련 정보

No.	Label	채취지점	GPS	토지 이용	특이사항
1	SJ-01	W-250m	E126° 38' 4" N37° 33' 22"	논	수정개발로부터 W250m 지점 논 흙
2	SJ-02	W-500m	E126° 37' 53" N37° 37' 22"	논	수정개발로부터 W500m 지점 논 흙
3	SJ-03	W-1km	E126° 37' 39.71" N37° 33' 21.57"	논	논(서쪽 1050m 지점 큰 도로)
4	SJ-04	E-250m	E126° 38' 25" N37° 33' 19"	화단	(주)두진 맞은편 공터 화단 흙
5	SJ-05	E-500m	E126° 38' 36" N37° 33' 20"	공터	경인주물공단 맞은 편 도로근처 논 흙
6	SJ-06	E-1km	E126° 38' 57" N37° 33' 21"	논	산호가구로부터 서쪽200m 떨어진 지점 논 흙
7	SJ-07	N-250m	E126° 38' 15" N37° 33' 32"	공터	종합환경연구단지 입구 옆 공터 흙
8	SJ-08	N-500m	E126° 38' 13" N37° 33' 36"	공터	인천국제공항고속도로 밑 공터 흙
9	SJ-09	SE-250m	E126° 33' 29" N37° 33' 02"	도로변	(주)하나비철 맞은편 공단 도로변 흙
10	SJ-10	SSE-250m	E126° 38' 26" N37° 33' 01"	도로변	(주)삼우 주변지역
11	SJ-11	S-250m	E126° 38' 22" N37° 33' 03"	도로변	한빛금속 주변지역
12	SJ-12	SSW-500m	E126° 38' 16" N37° 32' 54"	화단	부흥기업사 앞
13	SJ-13	S-500m	E126° 38' 20" N37° 32' 55"	도로변	대신철강 주변
14	SJ-14	SE-500m	E126° 38' 39" N37° 32' 00"	도로변	극동요업 주변
15	SJ-15	SSE-650m	E126° 38' 28" N37° 32' 05"	도로변	기일공업 주변
16	SJ-16	SE-1km	E126° 38' 48" N37° 32' 48"	도로변	진흥주물 주변
17	SJ-17	SSE-1km	E126° 38' 34" N37° 32' 45"	논	아이템 코리아 앞
18	SJ-18	S-1km	E126° 38' 13" N37° 32' 48"	논	서공단2길, 청라로 교차3거리에서 논쪽
19	SJ-19	SSW-1km	E126° 37' 58" N37° 32' 51"	논	서공단2길, 청라로 교차3거리에서 논쪽
20	SJ-20	E-2km	E126° 40' 14" N37° 32' 44"	산	수정개발로부터 동쪽 2Km 떨어진 지점 논 흙
21	SJ-21	SE-2km	E126° 39' 09" N37° 32' 34"	밭	경인화물 주차장 앞 삼거리 도로변 고추밭
22	SJ-22	SSE-2km	E126° 38' 46" N37° 32' 24"	논	청라지구 주변 논
23	SJ-23	S-2km	E126° 38' 27" N37° 32' 24"	논	청라지구 주변 논
24	SJ-24	SSW-2km	E126° 38' 07" N37° 32' 24"	논	청라지구 주변 논
25	SJ-25	E-1.2km	E126° 39' 14" N37° 33' 12"	화단	경서초등학교 화단
26	SJ-26	N-1km	E126° 38' 14" N37° 33' 43"	도로변	경서동 적환장 도로 주변
27	SJ-27	N-2km	E126° 38' 24" N37° 34' 07"	산	매립지 내 야산
28	SJ-28	W-2km	E126° 37' 37" N37° 33' 10"	산	북인천 톨게이트 옆 비탈길 산흙





[그림 3.10] 수광산업(주) 토양 및 환경대기 시료 채취지점

[표 3.6] 수광산업(주) 토양시료 관련 정보

No.	Label	채취지점	GPS	토지 이용	특이사항
1	SG-01	S-250m	E128°38'23" N35°13'12"	도로변	덕정길 입구로 가는데 약 180m 큰전신주 밑
2	SG-02	SSE-250m	E128°38'29" N35°13'15"	도로변	덕정길 팻말 앞 공단길 1사1하천 정화운동 팻말
3	SG-03	SSW-250m	E128°38'21" N35°13'12"	도로변	한국타워크레인 정문에서 덕정길로 80m 지나서
4	SG-04	N-2km	E128°38'27" N35°14'21"	산	용원기림비뒤쪽으로 약 40m지점 근처산혹
5	SG-05	NNW-1.7km	E128°38'05" N35°14'03"	밭	지하차도 오른쪽 밭혹 현대 택배 맞은편
6	SG-06	NNW-1km	E128°38'12'43" N35°13'49"	밭	경상남도 농어업인 회관 맞은편 철도길 옆 혹
7	SG-07	N-1km	E128°38'32" N35°13'56"	도로변	창원자동차운전전문학원 옆과 철도길 옆사이
8	SG-08	NNW-500m	E128°38'17" N35°13'37"	도로변	LG화학 창원 영업소 앞 도로변 가로수 혹
9	SG-09	W-500m	E128°38'05" N35°14'03"	도로변	창원자동차 매매 전시장 앞 도로 건너서가로수혹
10	SG-10	E-2km	E128°38'05" N35°14'03"	도로변	목련아파트 앞 창원대로 건너서 가로수 혹
11	SG-11	E-1km	E128°38'05" N35°14'03"	도로변	두산에카텍(주)창원2공장 앞 가로수
12	SG-12	SSE-1km	E128°38'44" N35°12'52"	도로변	금암유압(주)앞 도로변 가로수
13	SG-13	SSE-2km	E128°38'55" N35°12'20"	산	창원시 분뇨처리장정문앞 산혹
14	SG-14	S-1km	E128°38'25" N35°12'50"	도로변	(주)경남금속 앞 도로변 가로수혹
15	SG-15	SSW-1km	E128°38'9" N35°12'48"	화단	삼성테크원 정문 앞 화단혹
16	SG-16	SSW-2km	E128°37'56" N35°12'17"	산	한국전력공사 뒤 전신주탑 오른쪽 밑 산혹
17	SG-17	S-2km	E128°38'29" N35°12'24"	산	화천기전으로부터 남쪽 방향으로 100m
18	SG-18	N-500m	E128°38'25" N35°13'38"	도로변	KCC마산지점에서창원천가로질러공단길가로수혹
19	SG-19	N-1.5km	E128°38'46" N35°14'1"	밭	창원공업고등학교 정원,잔디밭
20	SG-20	NE-1.2km	E128°38'55" N35°13'49"	화단	창원시 어린이 교통공원내(길건너편 현재 APT)
21	SG-21	NE-1.6km	E128°39'14" N35°13'50"	화단	대원초교 화단
22	SG-22	E-1.5km	E128°38'27" N35°13'21"	화단	대동성원 APT화단
23	SG-23	SSW-500m	E128°38'25" N35°12'54"	화단	한국철강 부지내 하천변쪽 건물뒤 화단,표층
24	SG-24	SSE-500m	E128°38'48" N35°12'47"	밭	영흥철강부지내 운종장 옆 잔디밭+언덕
25	SG-25	N-250m	E128°38'31" N35°13'16"	밭	로템 부지내 잔디밭
26	SG-26	NNW-250m	E128°38'30" N35°13'14"	화단	화단
27	SG-27	E-500m	E128°38'52" N35°13'12"	화단	로템 방산구역으로 촬영불가 중기생산부분지역
28	SG-28	W-750m	E128°37'57" N35°13'21"	도로변	자동차 매매상사 뒤 가로수

[표 3.7] 방류수 시료와 저질시료 채취 정보

No.	소각시설	시료구분	비 고
1	(주)메디코	방류수	채취불가(방류구가 없으며, 폐수처리장으로 이송)
		저질	채취불가(방류구가 없으며, 폐수처리장으로 이송)
2	(주)동양환경	방류수	채취불가(방류구가 없으며, 전량위탁처리)
		저질	채취불가(방류구가 없으며, 전량위탁처리)
3	(주)동운산업	방류수	채취불가(방류구가 없으며, 자체순환)
		저질	채취불가(방류구가 없으며, 자체순환)
4	(주)수정개발	방류수	채취불가(방류구가 없으며, 전량위탁처리)
		저질	채취불가(방류구가 없으며, 전량위탁처리)
5	수광산업(주)	방류수	채취불가(방류구가 없으며, 자체순환)
		저질	채취불가(방류구가 없으며, 자체순환)

방류수와 저질 시료의 채취는 (주)메디코, (주)동양환경, (주)동운산업, (주)수정개발, 수광산업(주) 모두 방류수를 전량위탁 및 자체순환을 하고 있어서 방류수 및 저질시료의 채취가 불가능하였다.

### 3.2 대조군 토양 시료 채취 지점의 선정

#### 3.2.1 대조군 토양 시료 채취 지점 선정 방법

소각시설의 영향을 받았을 것으로 예상되는 지역과 비 오염지역의 토양 중 다이옥신 농도를 비교하기 위하여 다음 사항을 고려하여 다이옥신 배출원이 존재하지 않는 지역을 대조군 지역으로 선정하였다.

- 오염원의 영향권 밖에 있을 것
- 토지 이용도가 낮은 것
- 객토 및 복토가 이루어지지 않은 곳
- 토양 시료를 채취하기에 접근이 용이한 지점
- 주변에 대상 오염원뿐만 아니라 인위적인 기타 오염원이 없을 것
- 표층에 낙엽 등과 같은 피복물이 덮여 있지 않을 것

#### 3.2.2 대조군 토양 시료 채취 지점

토양 대조군의 경우 각 조사대상 시설과의 거리, 주풍향 방향 및 주변의 소각 시설 존재여부를 고려하여 소각로 운영으로 인한 오염원이 존재하지 않는 것으로 판단되는 지점을 선정하였다. 이들 지역은 주변에 기타 소각시설 및 산업시설과 같은 특정 오염원이 존재하지 않고 사방에 농지와 산악지형으로 이루어진 지점으로 토지 이용도가 낮고 인위적 기타 오염원이 존재하지 않는 산 토양을 위주로 샘플 채취가 이루어 졌다. 각 대조군 토양은 표 3.8에 나타낸 바와 같이 조사 대상 업소와 약 6~7 km 의 이격 거리를 두고 있다.



[표 3.8] 대조군 시료 채취 지점

소각시설명	시료채취지점 (소각로부터의 거리)	비교
(주)메디코	WSW-6.5 Km	- 주풍향 반대방향/도심과 원거리 - 특정 발생원이 없는 지역 (산 토양)
(주)동양환경	ENE-6 Km	- 주변에 오염원이 존재하지 않는 지역 - 특정 발생원이 없는 지역 (산 토양)
(주)동운산업	ESE-7 Km	- 주변에 오염원이 존재하지 않는 지역 - 특정 발생원이 없는 지역 (산 토양)
(주)수정개발	ESE-6.5 Km	- 공단지역과 인접하지 않은 지역 - 특정 발생원이 없는 지역 (산 토양)
수광산업(주)	WNW-6 Km	- 주풍향 반대방향/도심과 원거리 - 특정 발생원이 없는 지역 (산토양)

### 3.3 시료 채취 방법

#### 3.3.1 소각로 배출가스

##### 3.3.1.1 사전 조사

조사 대상 소각 시설의 규모 및 배출가스 처리방법 등에 따라 배출가스의 성상이 다르고 시료 채취시 위험한 경우가 많으므로, 미리 채취현장을 조사하여 배출가스의 성상 및 작업의 안전성 등을 확인하였다.

- 배출가스 성상 : 배출가스의 온도, 유속, 조성, 압력, 수분량 등
- 측정위치 : 지상에서의 높이, 측정공의 상황, 송·배풍기의 위치 등
- 덕트의 형상, 크기(치수)
- 작업의 안전성 : 측정 작업대의 넓이, 사다리의 상황 등
- 전원, 수도의 유무
- 기타

### 3.3.1.2 채취 준비

사전조사 결과로부터 채취현장의 상황을 파악하고, 필요한 채취장비를 선정 정비하고 다음 사항을 준비하였다.

- 굴뚝 배출가스 시료채취에 필요한 장치(먼지 포집부, 가스 흡입부, 가스 흡착부, 배출가스 유속 및 유량 측정부, 진공펌프 및 흡인가스 유량 측정부 등)
- 배출가스 중의 다이옥신을 포집하는 흡수, 포집관 등
- 시료채취 후 채취관 등의 세정에 필요한 시약(메탄올, 톨루엔 등)
- 흡수관 냉각용 얼음, 흡수액 및 사전 전처리한 XAD-2 수지
- 시료채취용 내부표준물질
- 기타

### 3.3.1.3 시료의 채취

배출가스 시료는 먼지시료의 채취방법과 같이 배출가스 유속과 같은 속도로 배출가스를 흡인(이하 등속흡인)한다. 이를 위해 배출가스의 유속, 온도, 압력, 수분량 등을 측정하고 즉시 등속흡인유량을 계산하였다. 이 경우 흡인펌프의 흡인능력(최대 흡인량)이 정해져 있으므로 노즐의 안지름을 적절히 선택하여, 필요한 등속흡인유량을 결정하였다.



[그림 3.11] 소각로 배출가스 시료 채취 장면

### 3.3.2 환경대기 시료

#### 3.3.2.1 사전 조사

대기오염확산 모델링의 결과를 기초로 하여 최고농도 예측지점을 확인한 후, 그 지역의 주위환경 및 기상조건을 고려하여 다음과 같이 선정하였다.

- 시료채취 위치는 원칙적으로 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 없을 것.
- 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 있는 경우에는 채취위치로부터 장애물까지의 거리가 그 장애물 높이의 2배 이상 또는 채취지점과 장애물의 상단을 연결하는 직선이 수평선과 이루는 각도가 30이하가 되는 곳을 선정.
- 주위에 건물 등이 밀집되어 있을 경우에는 건물 바깥벽으로부터 적어도 1.5 m 이상 떨어진 곳을 채취지점으로 선정.
- 시료채취 높이는 그 부근의 평균오염도를 나타낼 수 있는 곳으로 3.0~10 m 지점.

#### 3.3.2.2 채취 준비

시료채취 지점을 선정 후 채취현장의 상황을 파악하고 필요한 기자재를 선정, 정비하고 다음 사항을 준비하였다.

- 환경대기 시료 채취에 필요한 장치
- 환경대기 중 다이옥신 등의 포집에 필요한 PUF, 여지 등
- 채취장치 세정에 필요한 시약(n-헥산 등)
- 기타

#### 3.3.2.3 시료의 채취

시료의 채취는 대기오염공정시험방법 제4장, 제1절 시료채취방법<sup>(8)</sup>을 원칙으로 기상조건 등을 고려하여 시료를 채취하였다.



[그림 3.12] 환경대기 시료 채취 장면

### 3.3.3 토양 시료

#### 3.3.3.1 사전 조사

시료채취지점 주변에 대해 자료조사, 청취조사, 현지조사 등을 필요에 따라 수행하고, 시료채취지점에 관한 상황을 조사하여 기록하며, 조사는 다음 항목에 대해 실시하였다.

- 토지이용 및 관리상황의 파악 (인위적 교란, 객토의 실시, 자재 사용의 가능 등)
- 토지의 기복, 가상되는 바람의 흐름 등 주변상황
- 토양의 종류 (국토 조사법에 근거한 토지분류조사 등을 참조)
- 발생원 근방의 경우는 발생원으로부터의 거리, 배출상황, 배출 경로 (사고 등의 경우는 다이옥신의 누출 가능성, 시기, 장소, 누출 물질명 및 누출량 등)

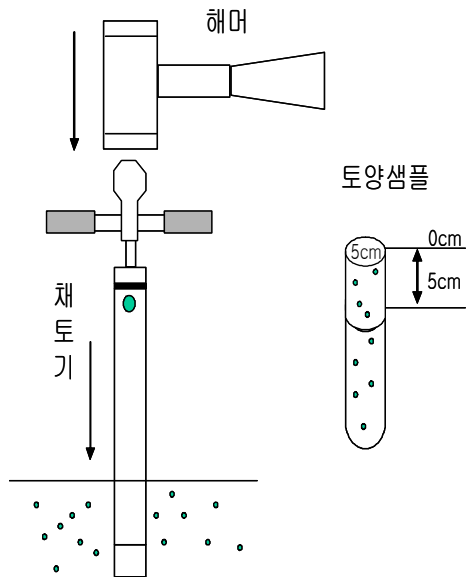
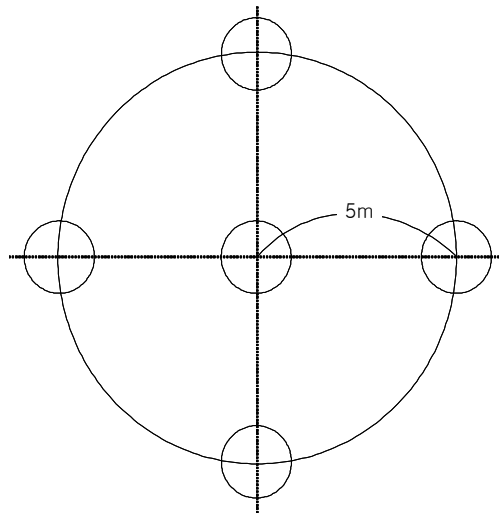
#### 3.3.3.2 채취 준비

사전조사 결과로부터 채취현장의 상황을 파악하고, 필요한 채취 장비를 선정 정비하고 다음 사항을 준비하였다.

- 코어 채취기(Core Sampler)
- 토양 중 다이옥신 등이 흡착하기 어렵고 밀봉이 가능하며, 차광성이 있는 시료용기
- 기타

## 3.3.3.3 시료 채취

- 시료채취는 기존 자료 등을 조사하여 토지이용 및 관리 상황 등의 파악이 명확한 장소에서 시료를 채취하였다.
- 시료채취는 10 m 사방정도의 평지에서 낙엽 등으로 덮여있지 않은 장소를 선정하는 것이 바람직하다. 표층에 낙엽 등의 피복물이 있는 경우에는 이를 제거한다. 어쩔 수 없이 초지 등에서 채취할 경우에는 식물체의 지상부를 낮 등으로 베어 제거한 다음 식물체의 뿌리 부분을 포함한 상태로 채취하였다.
- 원칙적으로 5지점 혼합방식에 의해 시료채취를 한다. 즉 1개소당 중심 1지점과 주변 4방위의 5~10 m까지의 사이에서 각각 1지점씩 총 5지점에서 시료를 채취한다(그림 3.8, 토양오염공정시험방법 제2장 1항<sup>(8)</sup>). 또한 채취지점의 상황에 따라 5지점의 간격이 충분하지 않은 경우에는 간격이 작아도 5지점으로부터 채취하였다.
- 시료채취 심도는 기본적으로 지표면으로부터 5 cm까지의 부분을 채취한다. 또한, 농경지 등 인위적인 교반을 하는 토지에서 조사하는 경우에는 인위적 교반에 의한 영향을 고려하기 위하여 논두렁 등의 토양도 채취하였다.
- 사질토양 등으로 주상시료를 채취할 수 없는 경우에는 삽, 모종삽 등을 사용하여 소정 깊이의 토양을 채취한다. 채취에 사용하는 도구는 금속제의 것으로 하고, 다이옥신의 오염(2차 오염)에 충분히 주의하며, 채취할 때는 다른 지점 채취 시에 부착한 토양 등을 완전히 제거하였다(필요에 따라 세정한다).
- 시료채취시의 기록으로 아래와 같은 정보를 기록하여 정리·보관하였다.
  - 시료채취에 사용한 기구의 종류 및 상황
  - 채취지점 부근의 건축물이나 수목 등의 유무와 위치, 일조 등의 주변상황
  - 채취 지점상 낙엽 등 피복물의 유무
  - 채취방법, 채취지점간의 거리
  - 채취시료의 성상



[그림 3.13] 토양의 5지점 혼합방식에 의한 시료채취 (좌:모식도, 우:실제장면)

### 3.3.4 방류수 및 저질 시료

#### 3.3.4.1 사전 조사

시료채취지점 주변에 대해 청취조사, 현지조사 등을 필요에 따라 수행하고, 시료채취지점에 관한 상황을 조사하여 기록하며, 조사는 다음 항목에 대해 실시하였다.

- 소각 시설의 가동상황
- 방류수의 처리·처분방법
- 방류구가 위치한 곳의 지형여건(시료채취가 가능한지 여부)
- 방류수가 방류되는 하천의 개황
- 기타

#### 3.3.4.2 채취 준비

사전조사 결과로부터 채취현장의 상황을 파악하고, 필요한 채취장비를 선정 정비하고 다음 사항을 준비하였다.

- 저질 중 다이옥신 등이 흡착하기 어렵고 밀봉이 가능하며, 차광성이 있는 시료 용기
- 사전에 용매(n-헥산, 톨루엔 등)세정한 밀봉이 가능한 유리병
- 저질시료 채취에 필요한 채취장비(모종삽 등)
- 기타

#### 3.3.4.3 시료의 채취

방류수 시료의 채취는 수질오염공정시험방법 제2장 제3항 시료채취 및 보존방법<sup>(14)</sup>에 따른다. 대상 소각시설의 가동상황 등을 고려하여 각각의 소각시설을 대표할 수 있도록 하천으로 유입되기 직전의 방류수 시료를 채취하였다.

저질 시료의 채취는 방류수가 방류되는 하천의 상황 등을 고려하여 방류구로부터 하류방향으로 약 10 m 간격으로 5개의 시료를 채취한 후 등량 혼합하여 1개의 합성시료(composite sample)를 제조하여 사용하였다.

## 4. 분석 방법

### 4.1 분석용 시료 준비 방법

폐기물 소각시설 주변 다이옥신 잔류량 조사매뉴얼(국립환경과학원, 2005)<sup>(13)</sup>에 근거하여 매질에 따라 분석용 시료를 준비하였다.

#### 4.1.1 소각로 배출가스 시료

배출가스 채취 후에 시료 채취부의 흡인장치 및 연결관, 흡수병 등은 메탄올 및 톨루엔으로 세정하고, 여지홀더 다음의 임핀저 세정액과 합하였다. 흡수액, 원통여지, XAD-2 수지는 4℃이하의 냉암소에 보관하였다.

#### 4.1.2 환경대기 시료

채취된 입자상 시료(여지)와 가스상 시료(PUF)는 호일에 싸서 냉동 보관하였고 30일 이내에 전처리하여 분석하였다.

#### 4.1.3 토양 및 저질 시료

채취된 토양시료는 파쇄 전 표층으로부터 일정한 길이(3.3.3.3 시료의 채취 참조)로 절단한 다음 용기에 담아 덩어리를 잘게 부수고 먼지가 들어가지 않도록 하여 실내에서 풍건하고, 2~3일 마다 수분감소량을 측정하였으며, 또한 저질시료도 용기에 담아 먼지가 들어가지 않도록 하여 풍건하고 2~3일 마다 수분감소량을 측정하였다.

풍건한 토양 및 저질 시료는 작은 돌, 목편, 식물잔재 등을 제거하고 흙덩어리와 단립을 파쇄한 다음 2 mm체를 통과시켰으며 이때 체 위 자갈 등의 중량을 측정하여 체 조각의 잔류비율을 기록하였다.

5지점 혼합방식에 의해 채취한 5개의 시료를 각각 50 g씩 등량으로 충분히 혼합하여 총 250 g의 시료를 준비하였고, 이 중 50 g을 추출용 시료로 사용하였다.



## 4.2 시약, 재료 및 기구

### 4.2.1 시약

분석에 사용된 모든 시약류는 다이옥신의 측정 분석시 불순물에 의한 영향을 미치지 않는 것을 확인 후 사용하였다.

- 무수황산나트륨 : 잔류농약 시험용(Kanto社)을 사용, 사용 전에 400℃ 에서 약 4시간이상 baking한 것을 사용.
- 메탄올 : 잔류농약 PCB 분석용(J · T Baker社)
- n-헥산 세정수 : n-헥산을 이용하여 2회 추출한 후 사용
- 황산, 염산 : 특급시약(J · T Baker社)
- 아세톤, n-헥산, 톨루엔, 디클로로메탄 : 잔류농약 PCB 분석용 (J · T Baker社)
- 디에틸렌글리콜 : 잔류농약 PCB 분석용(J · T Baker社)
- 노난 : 99%(Sigma - Aldrich社)
- 질산은 : 잔류농약 PCB 분석용(Merck社)
- 실리카겔 : PCB 분석용(0.063mm~0.200mm)을 130℃에서 3.5시간 활성화시켜 사용 (Wako社)
- 황산 실리카겔(Silica gel acidified with 44% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) : 전처리된 실리카겔 56g에 진한 황산 44g을 조금씩 넣어가며 덩어리가 분말이 될 때까지 섞어 사용
- 알루미늄 : 컬럼크로마토그래피용 알루미늄(활성도 1, 염기성) 일정량을 190℃에서 19시간 활성화시켜 사용(Merck社)
- 질산은 실리카겔(Silica gel modified with 10% AgNO<sub>3</sub>) : 헥산세정수로 질산은 1g을 녹여서 전처리된 실리카겔 10g에 넣어 덩어리가 분말이 될 때까지 섞어 사용
- 표준물질
  - 정량용 : 검량선 작성용으로 다이옥신 및 퓨란류 혼합 5단계 용액을 사용(EPA 1613 CS1~CS5, Wellington laboratories社)
  - 정제용 : 시료의 전처리 과정 중 정제과정 전에 첨가하여 정성 및 정량에 이용 (EPA 1613 LCS, Wellington laboratories社)
  - 실린지 첨가용 : 분석 직전에 첨가하여 회수율 측정에 이용 (EPA 1613 ISS, Wellington laboratories社)

- 기타 : 다이옥신 분석에 적합한 것

#### 4.2.2 재료 및 기구

##### 4.2.2.1 재료

- 원통형 여지(thimble filter) : 유리섬유 재질을 사용하였고, 아세톤 및 톨루엔으로 세정한 후 사용(Advantec社)
- XAD-2수지 : 앰버라이트(amberlite) XAD-2 수지를 사용 전에 아세톤 : 증류수(1 : 1), 아세톤, 톨루엔( 2회 ), 아세톤을 이용하여 각각 순서대로 세정한 후 진공건조기에서 건조시켜서 사용(Supelco社)
- PUF(Poly Urethane Foam) : 아세톤으로 속실크 추출기에서 14시간 이상 세척 후 사용(SIBATA社)
- 유리섬유여지 : 400℃에서 5시간 동안 구워 불순물을 제거한 후 사용(Advantec社)
- 유리솜(Glasswool) : 톨루엔으로 속실크 추출기에서 6시간이상 세척 후 사용(Kanto社)
- 파스퇴르 피펫(1회용)
- 테프론제 Boiling Stone (Supelco社)
- 기타 : 다이옥신 분석에 적합한 것

##### 4.2.2.2 기구

- 속실크 추출장치 : 직경 50mm와 용량 200mL의 몸통과 500mL 플라스크, 직경 43mm×길이 125mm의 원통형여지(thimble filter), 그리고 냉각장치 및 가열맨틀 등으로 구성된 것을 사용
- 정제용 컬럼
  - 다층실리카겔 정제용 컬럼 : ID=1.3cm, length=30cm인 유리컬럼(PYREX)
  - 알루미나 정제용 컬럼 : ID=1.2cm, length=15cm인 유리컬럼(PYREX)
- 농축기구 : 회전증발농축장치

※ 초자세척 : 모든 기구는 사용 전에 아세톤으로 3회 세정한 후 사용하는 용매로 3회 세정하여 건조한 것을 사용하였다. 사용 후의 기구도 사용한 용매

와 아세톤으로 각각 3회씩 세정한 후 세제를 이용하여 초음파 세정기에서 세정한 후 증류수로 다시 행구어 기구로부터 발생하는 오염을 최소화하였다.

### 4.3 다이옥신 분석 방법

배출가스 중 다이옥신은 대기오염공정시험방법<sup>(8)</sup>에 근거하여 분석하였고, 기타 환경대기, 토양, 저질, 방류수 중의 다이옥신은 폐기물 소각시설 주변 다이옥신 잔류량 조사매뉴얼(국립환경과학원, 2005)<sup>(13)</sup>에 근거하여 분석하였다. 배출가스, 환경대기, 토양, 저질, 방류수 시료 중 다이옥신 분석 방법 개략도는 그림 4.1~그림 4.4에 나타내었다.

#### 4.3.1 추출

##### 4.3.1.1 소각로 배출가스 시료

배출가스시료는 입자상과 가스상을 구별하지 않으므로 각 포집부는 다음과 같이 추출하고 추출액을 혼합하였다. 흡인관은 흡인관 및 연결관 등을 메탄올 및 톨루엔으로 세정하고, 여지홀더 다음의 임핀저 세정액과 합하였다. 원통형 여지(thimble filter)는 2N 염산을 사용하여 시료 1g 당 20mmol-H<sup>+</sup> 이상으로 염산처리한 다음 수분을 풍건하여 제거하고, 잔존수분을 메탄올로 제거한 후 톨루엔으로 16시간 이상 속실텯 추출하였다. 메탄올 세정액은 톨루엔으로 추출하여 속실텯 추출액과 합하였다. 여지홀더 다음에 설치된 가스 흡수부의 임핀저들은 메탄올 및 톨루엔 등으로 세정액, 흡수액과 세정액을 분액여두에 넣어 용액 1L에 대하여 톨루엔 100mL로 2회 추출하였다. 흡착관(XAD - 2 수지)는 톨루엔으로 16시간 이상 속실텯 추출하였고, 흡착관 다음에 설치된 가스흡수부의 임핀저는 메탄올로 세정하고 세정액과 흡수액(디에틸렌글리콜)을 분액여두에 옮겨, 같은 양의 물을 넣어 1L에 대하여 톨루엔 50mL로 2회 추출하였다. 추출된 용매는 n-헥산으로 용매전환을 완전히 한 후 황산처리를 실시하였으며 헥산세정수로 세정한 다음 탈수 후 감압농축기로 농축하였다.

#### 4.3.1.2 환경대기 시료

환경대기시료는 입자상과 가스상을 구별하지 않고 분석하므로, PUF와 유리섬유여지를 톨루엔으로 16시간 이상 속실텟 추출하였다. 추출된 용매는 n-헥산으로 용매전환을 완전히 한 후 황산처리를 실시하였으며 헥산세정수로 세정한 다음 탈수 후 감압농축기로 농축하였다.

#### 4.3.1.3 토양 및 저질 시료

등량 혼합된 시료를 톨루엔으로 16시간 이상 속실텟 추출하였다. 추출된 용매는 n-헥산으로 용매전환을 완전히 한 후 황산처리를 실시하였으며 헥산세정수로 세정한 다음 탈수 후 감압농축기로 농축하였다.

#### 4.3.1.4 방류수 시료

여액과 고형분으로 분리한 방류수 시료의 경우 여액은 1L에 대하여 톨루엔 100mL로 2회 액-액 추출하였고, 고형분은 아세톤으로 탈수한 후 톨루엔으로 16시간 이상 속실텟 추출하였다. 고형분과 여액의 추출액을 합한 후 추출된 용매는 n-헥산으로 용매전환을 완전히 한 후 황산처리를 실시하였으며 헥산세정수로 세정한 다음 탈수 후 감압농축기로 농축하였다.

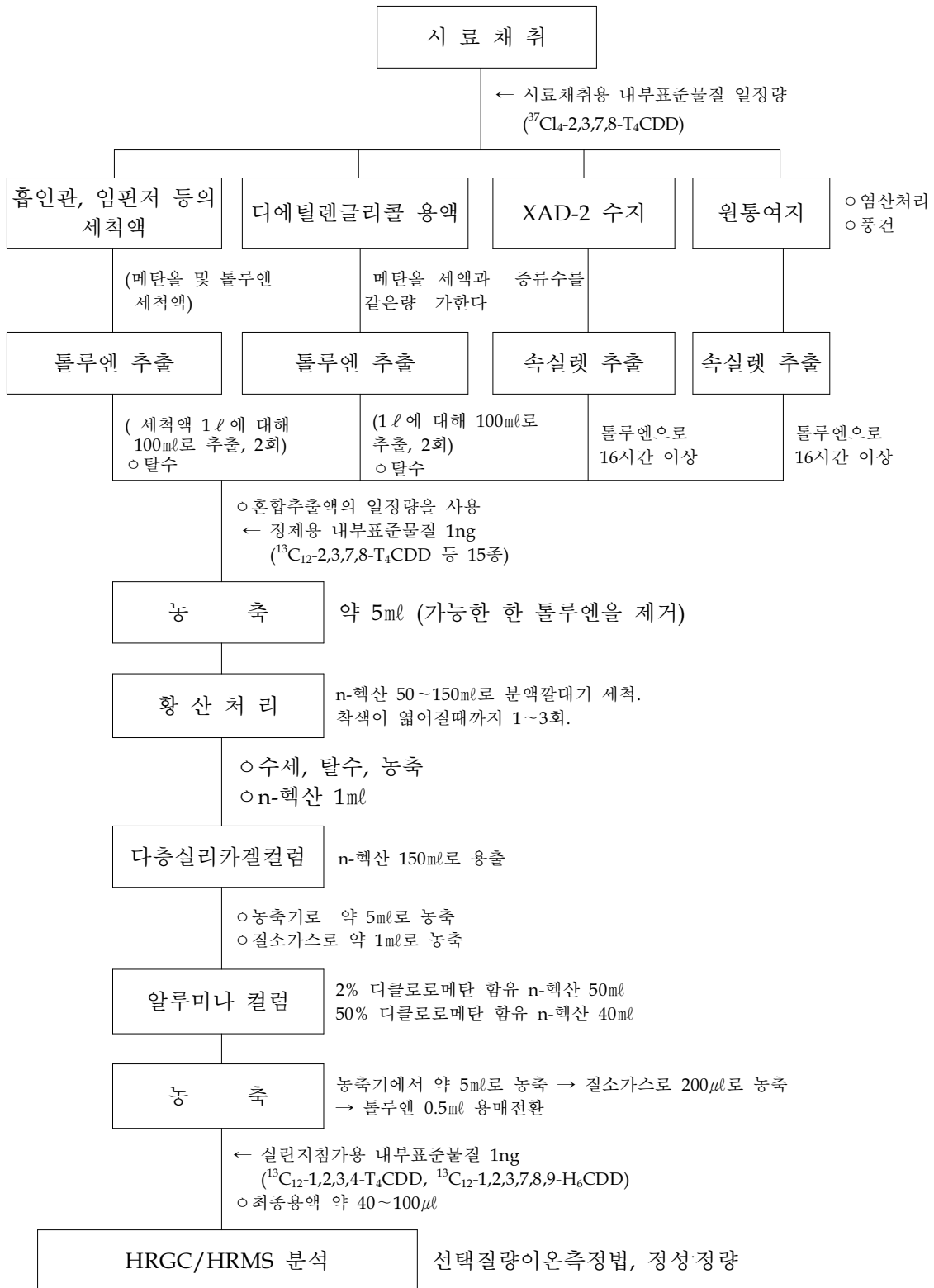
### 4.3.2 정제

#### 4.3.2.1 다층실리카겔 컬럼

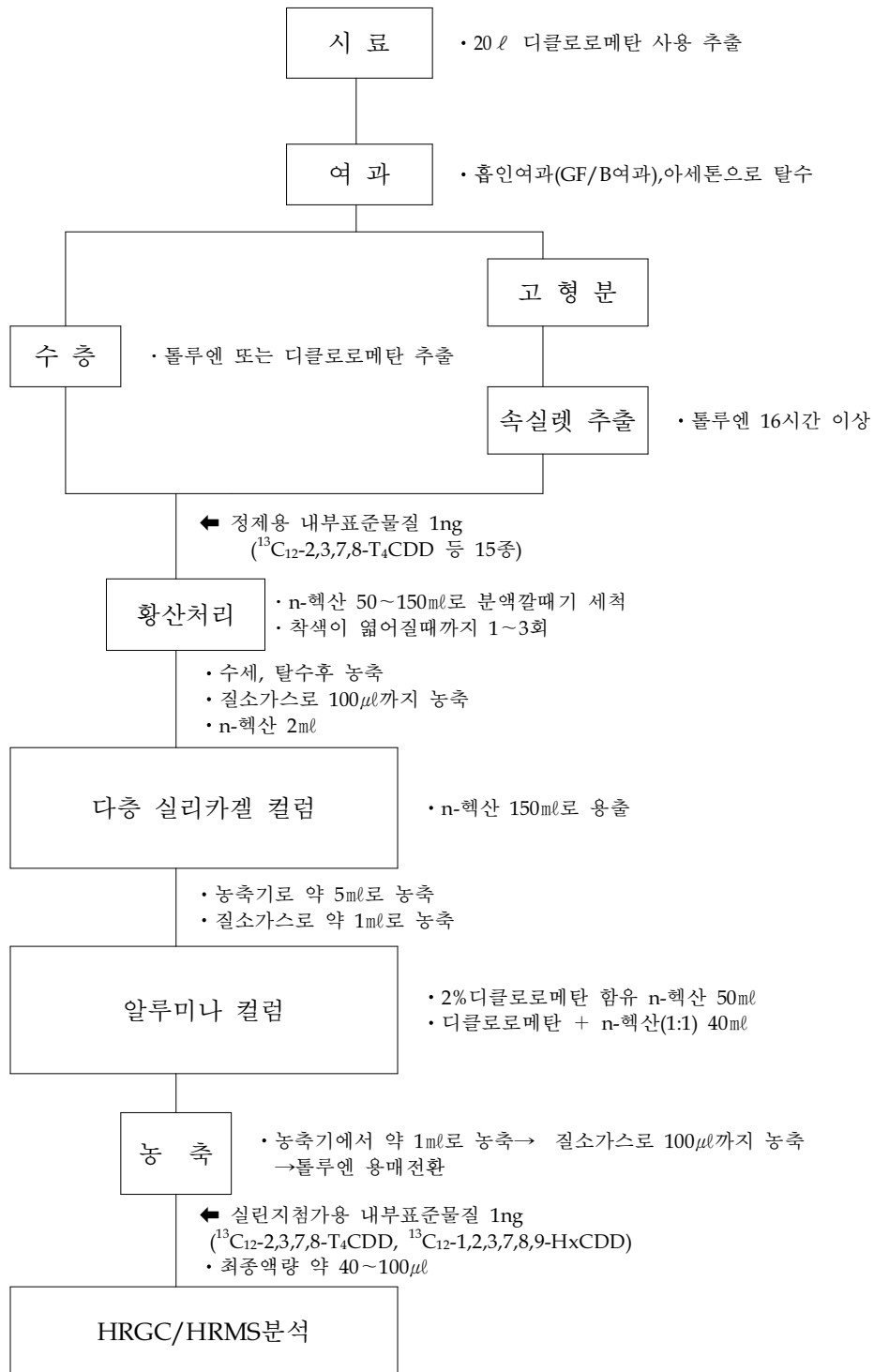
실리카겔 컬럼은 일반적으로 컬럼 정제의 첫 단계에서 행해지는 정제 과정으로서 극성 화합물이나 농약류, 착색물질 제거가 목적이다. 컬럼 제작은 컬럼 밑부분에 유리섬유여지를 끼우고, 무수황산나트륨을 약 1cm 채운 후 130℃에서 3.5시간 활성화시킨 실리카겔을 1g 충전하였다. 그리고 44% 황산실리카겔을 5g 충전하고, 다시 190℃에서 19시간 활성화시킨 실리카겔을 1g 충전하였다. 그 위에 10% 질산은 실리카겔을 1g 충전하였고, 마지막으로 무수황산나트륨을 1cm 충전하였다. 완성된 컬럼을 50mL의 n-헥산으로 세정하고 황산처리 후 농축한 시료를 컬럼에 얹고 용출용매인 n-헥산 130mL를 사용하여 매초 1방울의 속도로 용출시켰다. 농축 후 알루미나 컬럼 정제용 시료로 제공하였다.

#### 4.3.2.2 알루미나 컬럼

알루미나 컬럼은 분석상 방해물질이 되는 저극성 화합물이나 PCB(Poly Chlorinated Biphenyl), PCN(Poly Chlorinated Naphthalene)등의 제거를 목적으로 한다. 컬럼 제작은 컬럼 밑부분에 유리섬유여지를 끼우고, 무수황산나트륨을 약 1cm 채운 후 190℃에서 19시간 활성화시킨 알루미나 8g을 충전하고 그 위에 무수황산나트륨을 약 1cm 충전하였다. 완성된 컬럼을 50mL의 n-헥산으로 세정하고 다층실리카겔 컬럼 정제 후 농축한 시료를 컬럼에 얹었다. 용출용매는 2%의 디클로로메탄/n-헥산과 50%의 디클로로메탄/n-헥산을 사용하였는데 2%의 디클로로메탄/n-헥산 50mL을 흘려보내 방해물질을 용출 제거한 후 50%의 디클로로메탄/n-헥산 40mL로 매초 1방울의 속도로 용출시켰다. 농축한 후 GC/MS 분석용 바이알에 옮겨 실린지 첨가용 표준물질을 주입한 후 최종 농축액을 40-100 $\mu$ L로 조제하여 HRGC/HRMS 분석을 수행하였다.

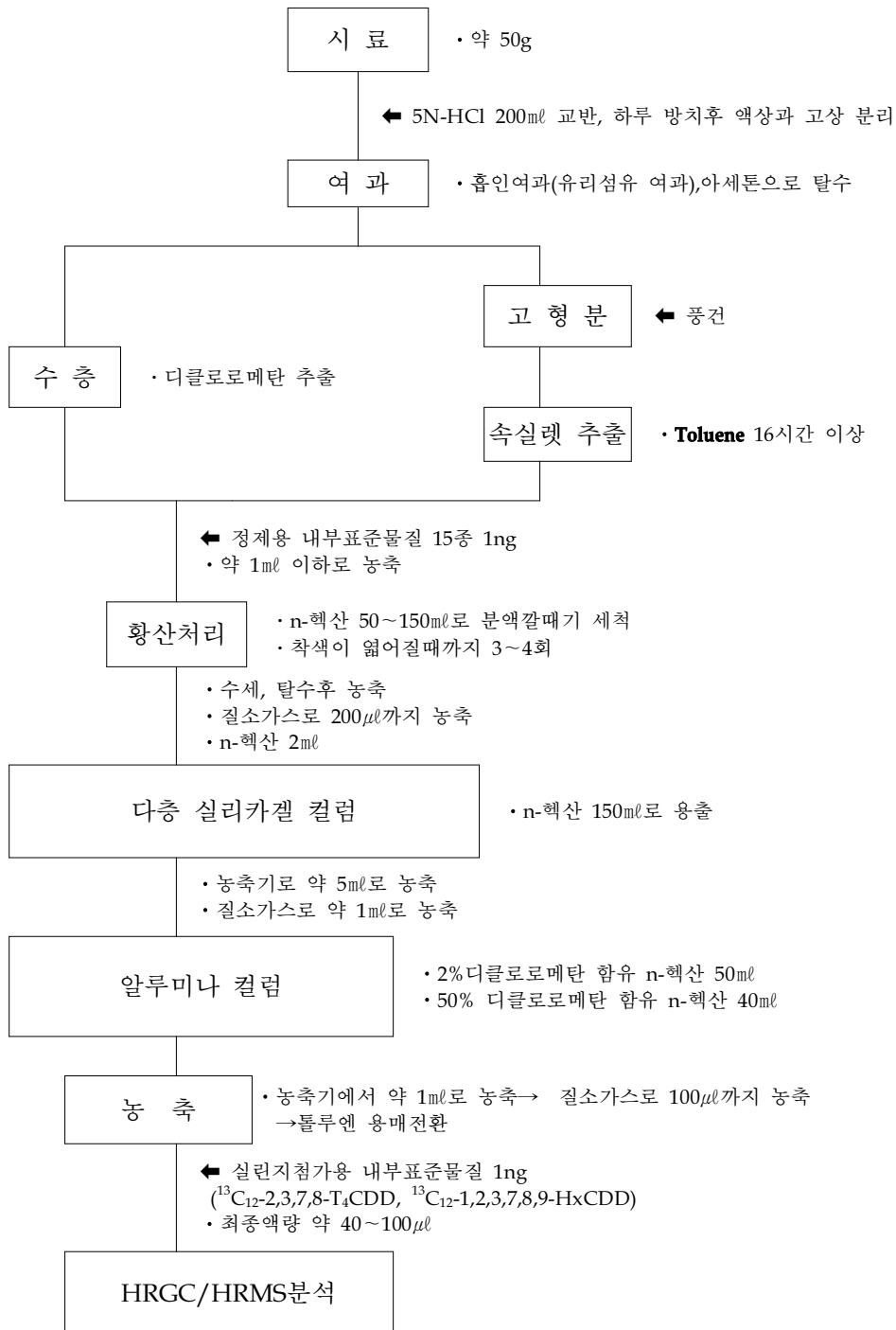


[그림 4.1] 배출가스의 시료전처리 및 분석흐름도

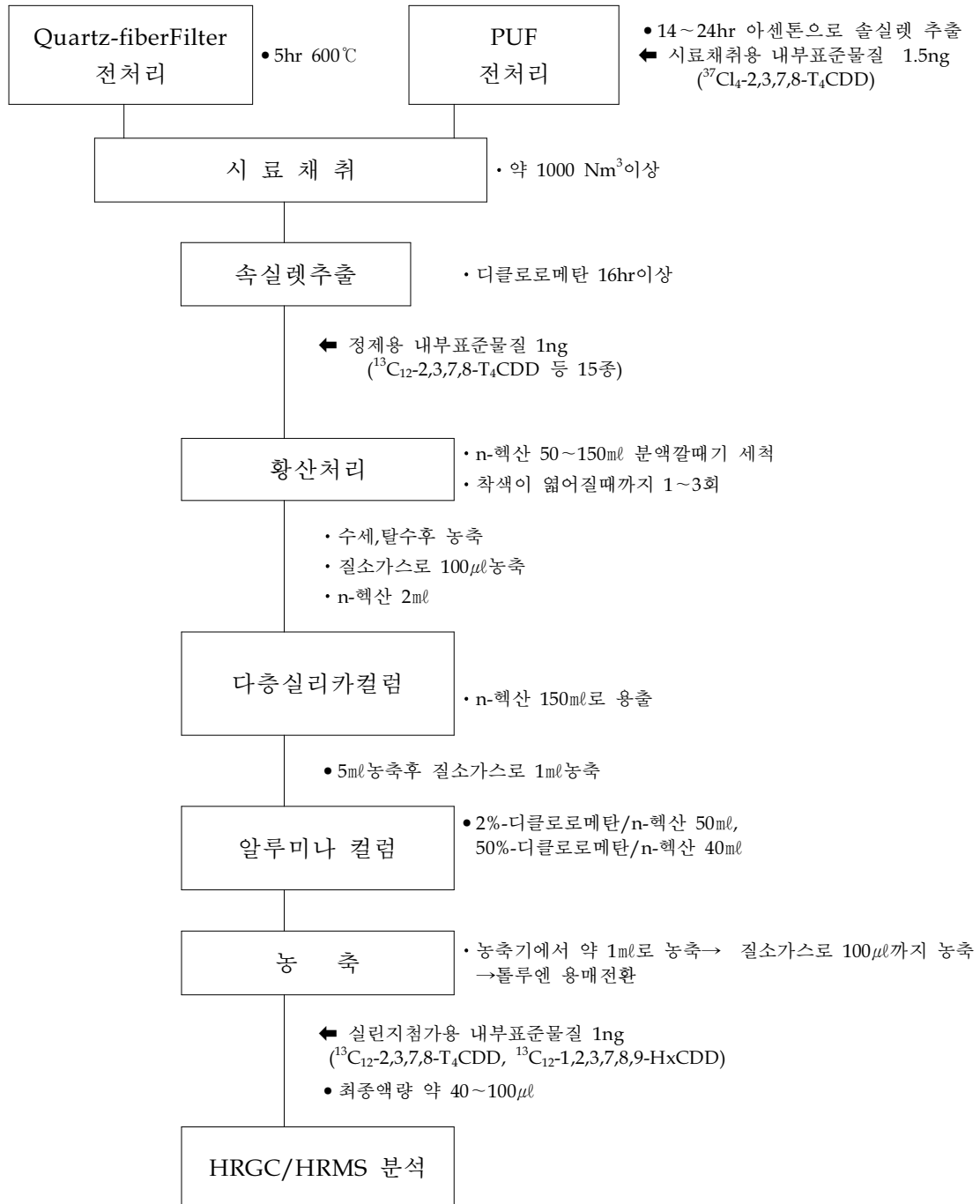


[그림 4.2] 방류수 시료 전처리 및 분석흐름도





[그림 4.3] 토양 및 저질시료의 전처리 및 분석흐름도



[그림 4.4] 환경대기시료의 전처리 및 분석흐름도

### 4.3.3 기기 분석

#### 4.3.3.1 분석 기기의 조건

가스크로마토그래피/질량분석계(GC/MS)에 의한 다이옥신의 분석은 각 동족체의 2개 이온을 선택이온검출법(SIM)으로 검출하고, 그 선택이온의 면적비를 검사하여 다이옥신인 것을 확인한 다음 가스크로마토그램의 피크 면적으로부터 내부표준법으로 정량하였다.

##### ○ 가스크로마토그래피/질량분석계

4염화물에서 8염화물까지의 2,3,7,8 위치의 염소 치환 이성질체 분석을 위한 가스크로마토그래피/질량분석계에 사용한 캐필러리 컬럼(capillary column)으로는 2,3,7,8-치환이성질체를 포함한 전 이성질체의 분리가 양호하고, 각 이성질체의 크로마토그램 상에서의 용출순위를 판명할 수 있는 컬럼이 사용되었으며 분리능이 10,000이상인 질량분석계를 사용하였다. 본 연구의 대상시료 중 PCDD/Fs의 분석을 위한 HRGC/HRMS의 조건은 표 4.1에 나타내었으며 분석에 사용된 이온의 질량을 표 4.2에 나타내었다.

#### 4.3.3.2 이성질체 정량 방법

##### ○ 검량선 작성

정량용 표준물질은 0.5~2ng/μL의 농도 범위에서 5단계로 혼합한 CS1~CS5(EPA 1613 CS1~CS5 Wellington laboratories社)을 사용하였다.

##### ○ 질량검정(mass calibration)

가스크로마토그래피/질량분석계는 시료분석조건과 동일한 조건에서 분해능 10,000이상으로 조절(tuning)한 다음, 4염화물에서 8염화물의 선택이온들을 최소 4개 이상의 그룹으로 나누어 마그네트 전환방식(magnet switching)으로 PFK에 대한 질량검정을 실시하였다. 각 그룹은 최소한 하나 이상의 잠금질량(lock mass)을 사용하였고 1회 사이클 시간(cycle time)은 1,000mm/sec 이내로 하였다.

##### ○ 정성

분석 시료를 1~10μL 분취하여 가스크로마토그래피/질량분석계에 주입한 다음

선택이온들에 대한 크로마토그램을 그려서, 얻어진 크로마토그램상의 피이크와 체류시간이 같고 측정한 2개의 선택이온의 피이크 면적비가 동위체의 면적비에 대하여  $\pm 15\%$  이내에 있으면 정량하였다.

[표 4.1] HRGC/HRMS의 조건

HRGC(High Resolution Gas Chromatography)	
기기명	HP 6890
주입방법(Injection)	Splitless
주입구 온도(Injector Temp)	260℃
운반기체	He
온도 조건	SP2331 : 70℃(1min)→40℃/min→180℃(10min)→ 2℃/min→260℃(3min)  DB-5MS:140℃(1min)→40℃/min→220℃(10min)→ 1℃/min→250℃→5℃/min→320℃ (3min)
컬럼	SP2331(60m×0.32mm ID×0.2μm) DB-5MS(60m×0.32mm ID×0.25μm ) DB-5MS(30m×0.25mm ID×0.1μm )
HRMS(High Resolution Mass Spectrometry)	
기기명	Thermo MAT 95XP VG Autospec Ultima
이온화 방식	EI(전자충격이온화 방식), 35eV
이온화 조건	Trap Current 500μA, 380μA
이온화실 온도	270℃, 250℃
분해능	10,000이상(5% Valley 기준)

## ○ 정량

검출된 각 2,3,7,8-이성질체와 이에 대응하는  $^{13}\text{C}_{12}$ 체 및  $^{37}\text{Cl}_4$ 체를 내부표준물질로한 상대검량선법을 이용하여 정량하였고, 시료 중 OCDF는  $^{13}\text{C}_{12}$ -OCDF가 첨가되지 않아  $^{13}\text{C}_{12}$ -OCDD를 이용한 상대검량선법으로 정량하였다. 또한,  $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-TeCDD등 15종의 내부표준물질에 대한 농도는 절대검량선법을 이용하여 회수율을 계산하였으며, 정량 피이크의 S/N비는 2.5이상으로 하였다.

[표 4.2] 분석에 사용된 이온의 질량

Homologues	정확한 질량수				Ion type	
	Native		<sup>13</sup> C <sub>12</sub> labelled ions			
TeCDFs	303.9016	305.8987	315.9419	317.9389	M /M+2	M /M+2
PeCDFs	339.8597	341.8568	351.9000	353.8970	M+2/M+4	M+2/M+4
HxCDFs	373.8207	375.8178	383.8639	385.8610	M+2/M+4	M /M+2
HpCDFs	407.7818	409.7788	417.8250	419.8220	M+2/M+4	M /M+2
OCDF	441.7428	443.7398			M+2/M+4	
TeCDDs	319.8965	321.8936	331.9368	333.9339	M /M+2	M /M+2
PeCDDs	355.8546	357.8517	367.8949	371.8919	M+2/M+4	M+2/M+4
HxCDDs	389.8156	391.8127	401.8559	403.8530	M+2/M+4	M+2/M+4
HpCDDs	423.7767	425.7737	435.8169	437.8140	M+2/M+4	M+2/M+4
OCDD	457.7377	459.7348	469.7780	471.7750	M+2/M+4	M+2/M+4

## ○ 농도계산

독성 등가 환산 농도는 검출된 농도에 NATO/CCMS Working Group에서 정한 (1988, Kulzet al. 1990) 국제 독성 등가 환산계수(International Toxicity Equivalency Factor) 표 4.3을 적용하였다.

[표 4.3] 독성등가 환산계수(I-TEFs, WHO-TEF)

Dioxins	WHO-TEF (1997)	I-TEFs	Furans	WHO-TEF (1997)	I-TEFs
2,3,7,8-TeCDD	1	1	2,3,7,8-TeCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0.5	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
OCDD	0.0001	0.001	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
			1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01
			1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01
			OCDF	0.0001	0.001

## 4.3.4 결과 표시

농도에 대한 유효숫자는 소수점 이하 3자리를 표시하였고, 실측치가 목표 정량 하한값 이하인 경우 불검출(N.D.)로 표시하였다.

## 4.3.5 물질별 목표 정량 하한값

각 시료 종류에 따른 물질별 목표 정량 하한값을 표 4.4에 나타내었다.

[표 4.4] 물질별 목표 정량 하한값

시료 종류	4~5염화물	6~7염화물	8염화물
방류수	0.5 pg/L	1.0 pg/L	2.5 pg/L
토양 및 저질	1.0 pg/g	2.0 pg/g	5.0 pg/g
대 기	0.01 pg/Sm <sup>3</sup>	0.02 pg/Sm <sup>3</sup>	0.05 pg/Sm <sup>3</sup>

Sm<sup>3</sup> : 0℃, 1atm 표준상태의 부피

## 4.4 토양 시료의 환경 특성 인자 분석

토양 중 다이옥신 농도를 건조 중량으로 단위를 환산하기 위해 수분함량을 측정하였으며, 토양의 특성 중 유기물 함량을 고려한 다이옥신 농도 결과를 검토하기 위해 강열감량을 측정하였다.

### 4.4.1 수분 함량

토양오염공정시험방법<sup>9)</sup> 제4장 2항의 수분 측정법에 따라 측정하였다.

평량병 또는 증발접시<sup>(주1)</sup>를 미리 105~110℃에서 1시간 건조시킨 다음 데시케이터에서 방냉하고 항량을 하여 무게를 정확히 단다(W<sub>1</sub>). 여기에 시료 적당량을 취하여 평량병 또는 증발접시와 시료의 무게(W<sub>2</sub>)를 정확히 단다. 다음에 수욕상에서 수분을 거의 날려 보내고 105~110℃의 건조기안에서 4시간 건조시킨 다음 데시케이터 안에 넣어 방냉하고 항량으로 하여 무게 (W<sub>3</sub>)를 정확히 단다.

$$\text{수분 (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100 \quad \dots \dots (\text{식 1})$$

(주1) 평량병 또는 증발접시는 시료의 두께를 10mm이하로 넓게 펼 수 있는 정도로 하부 면적이 넓은 것을 사용해야 하고 가급적 무게가 적은 것을 사용한다.

#### 4.4.2 강열 감량

토양 및 저질 중 강열감량은 내분비계장애물질 측정분석방법<sup>(10)</sup> 중 함수율 및 강열 감량(국립환경연구원, 2002. 5)분석법에 따라 측정하였다. 백금제, 석영제 또는 사기제 도가니 또는 접시를 미리  $600\pm 25^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 강열하고 황산테시케이터 안에서 방냉한 다음 그 무게( $W_1$ )을 정확히 달고 여기에 시료 5g 이상을 취하여 도가니 또는 접시와 시료의 무게( $W_2$ )를 정확히 단다. 다음에  $600\pm 25^{\circ}\text{C}$ 의 전기로 안에서 2시간 강열하고 황산테시케이터 안에서 방냉하여 그 무게( $W_3$ )를 정확히 단다.

$$\text{강열 함량 (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

$$\text{유기물 함량 (\%)} = \frac{\text{휘발성 고형물(\%)}}{\text{고형물(\%)}} \times 100$$

· · · (식 2)

$$\text{휘발성 고형물 (\%)} = \text{강열감량(\%)} - \text{수분(\%)}$$



## 5. 정도 관리

### 5.1 기관별 비교 분석

분석결과에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 대기오염확산 모델링을 통해 각 소각시설별로 다이옥신의 최대 착지지점으로 예측된 5개의 토양시료에 대해 3개 기관(전북대학교 화학물질안전관리연구센터, 환경관리공단 환경분석연구센터, 한국 기초과학지원연구원)이 비교 분석을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 비교분석은 다이옥신 분석에 이용된 정제 및 정량 방법 등에 대해서도 동등한 조건에서 분석을 수행하도록 협의를 거쳐 분석하였다.

이를 위하여 토양시료 중 최고 농도로 예측되는 지점의 5개 시료((주)메디코(MDK-14 , E-250m), (주)동양환경(DY-8 , S-500m), (주)동운산업(DU-1 , SW-250m), (주)수정개발(SJ-11 , S-250m), 수광산업(주)(SG-14 , S-1km)를 정도관리 시료로 하였다.

기관별 총 TEQ 농도는 (주)메디코 주변지역 시료(MDK-14)가 30.129~46.405pg I-TEQ/g dry, (주)동양환경 주변지역 시료(DY-8)가 6.549~9.055pg I-TEQ/g dry, (주)동운산업 주변지역 시료(DU-1)가 83.730~114.564pg I-TEQ/g dry, (주)수정개발 주변지역 시료(SJ-11)가 42.466~51.216pg I-TEQ/g dry, 수광산업(주) 주변지역 시료(SG-14)가 38.770~43.765pg I-TEQ/g dry 범위로 분석되었으며 동일 시료에 대한 분석값을 표 5.1에 정리하였다.

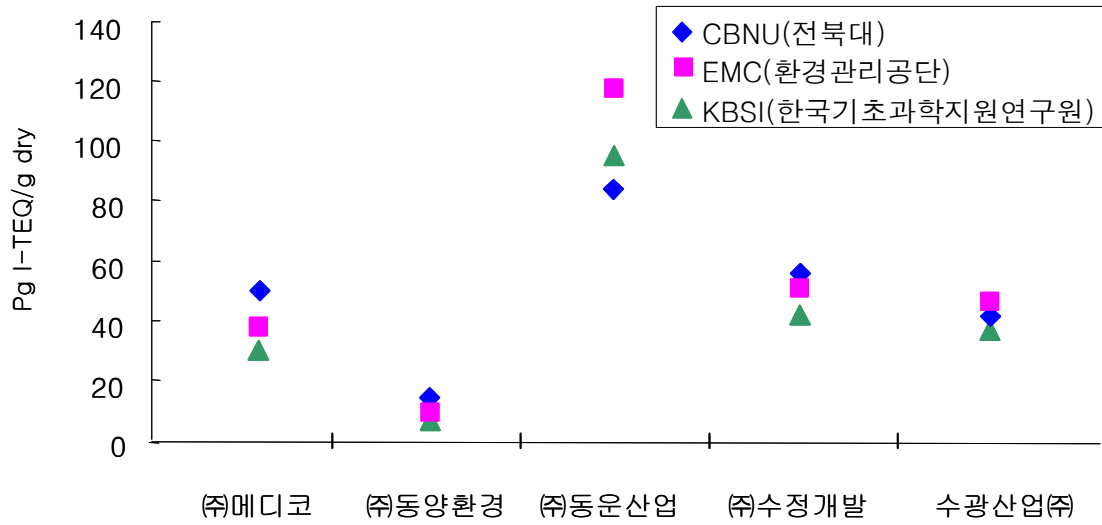
[표 5.1] 정도관리 시료에 대한 기관별 총 다이옥신 농도

(단위 : pg I-TEQ/g dry)

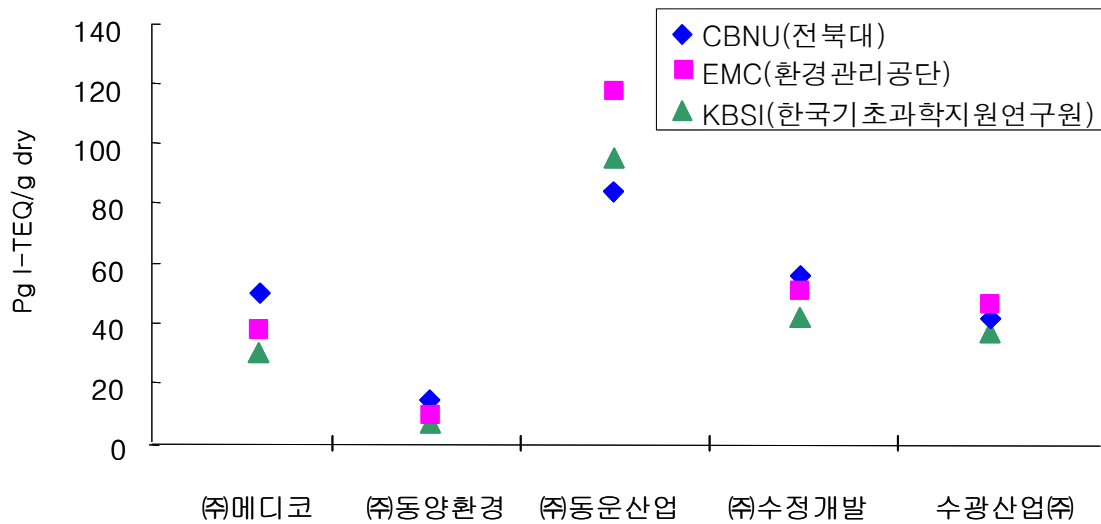
No	대상지점 (시료명)	CBNU	EMC	KBSI	3개 기관 평균	표준 편차
1	(주)메디코 (MDK-14)	46.405	37.326	30.129	37.953	8.156
2	(주)동양환경 (DY-8)	6.549	8.375	9.055	7.993	1.296
3	(주)동운산업 (DU-1)	83.730	114.564	94.658	97.651	15.633
4	(주)수정개발 (SJ-11)	52.319	51.216	42.466	48.667	5.398
5	수광산업(주) (SG-14)	41.080	43.765	38.770	41.205	2.500

그림 5.1과 5.2에 분석 기관별 검출 TEQ농도 분포와 상대농도차이(RPD; Relative percent difference)를 각각 나타내었다.

그림 5.2에서 보는 바와 (주)메디코 토양을 제외한 나머지 4개 시료에 대해서는 분석한 세 기관간의 상대농도차이가 20% 이내로 양호한 결과를 나타내었다.

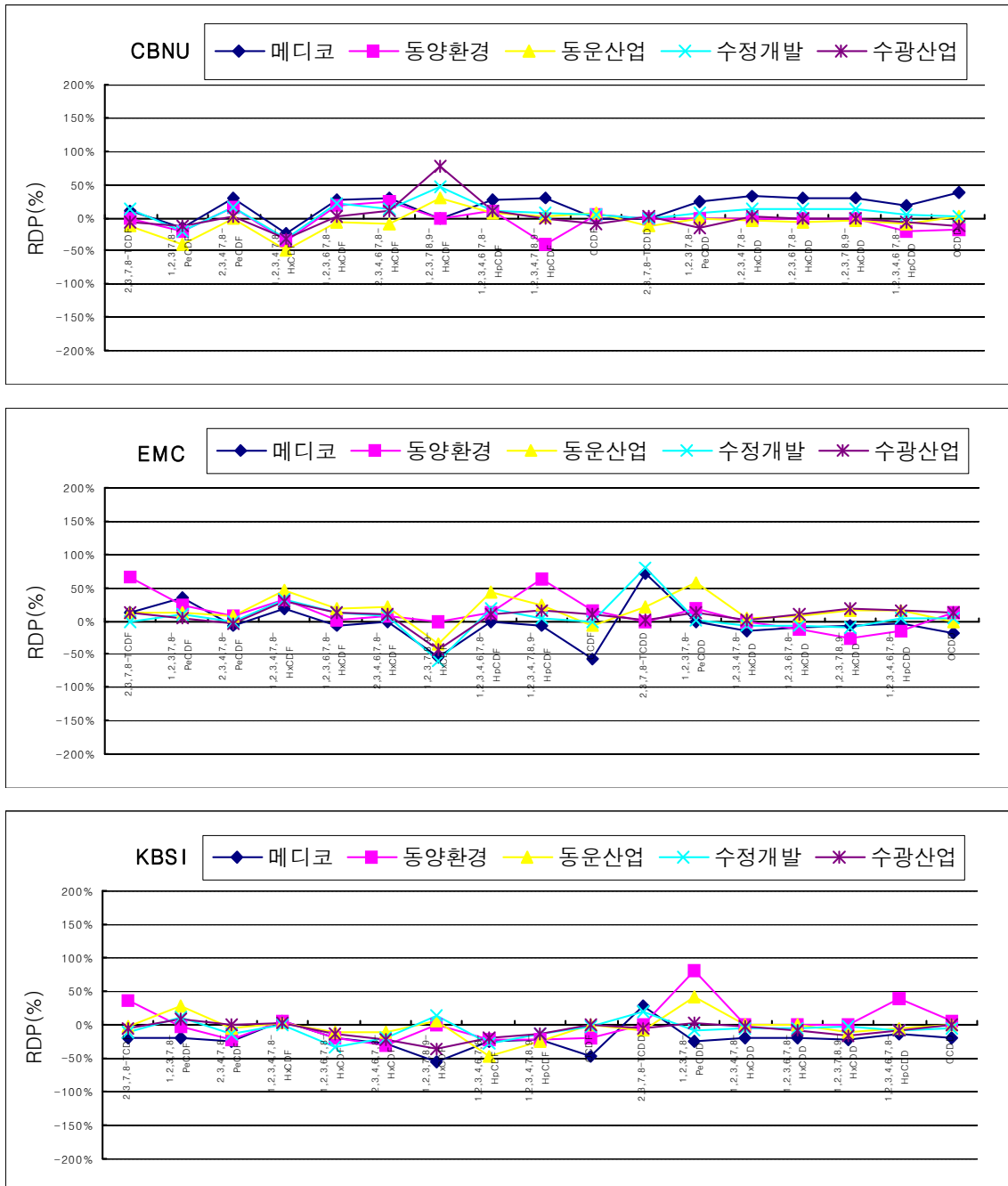


[그림 5.1] 정도관리 시료에 대한 기관별 총 다이옥신 농도 분포



[그림 5.2] 정도관리 시료에 대한 기관별 총 다이옥신 상대농도차이

<sup>a)</sup> 상대농도차이 (RPD; Relative percent difference)=(각분석기관의 농도결과-3기관평균농도)/3기관평균농도×100

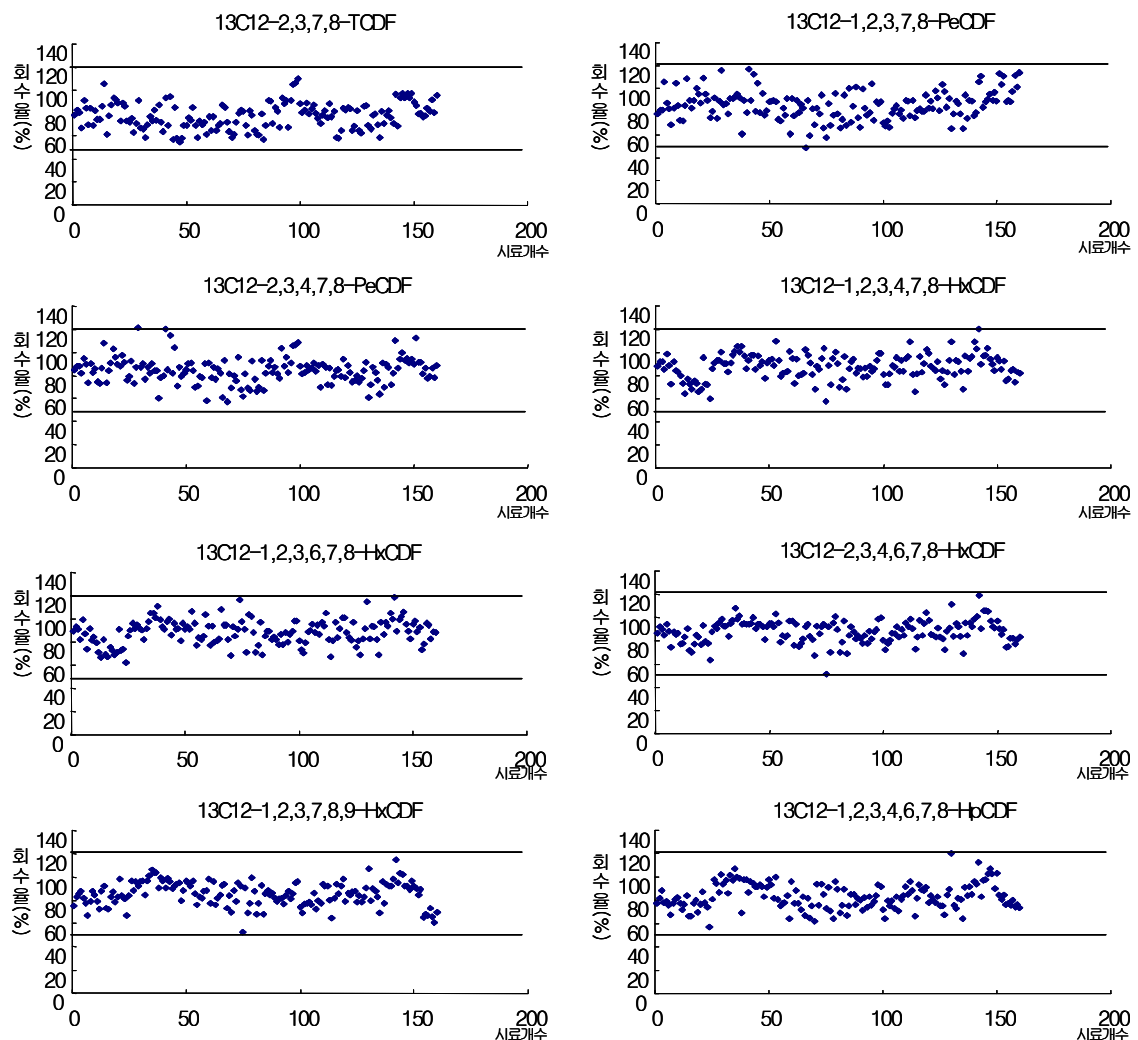


[그림 5.3] 정도관리 시료에 대한 이성질체별 상대농도차이

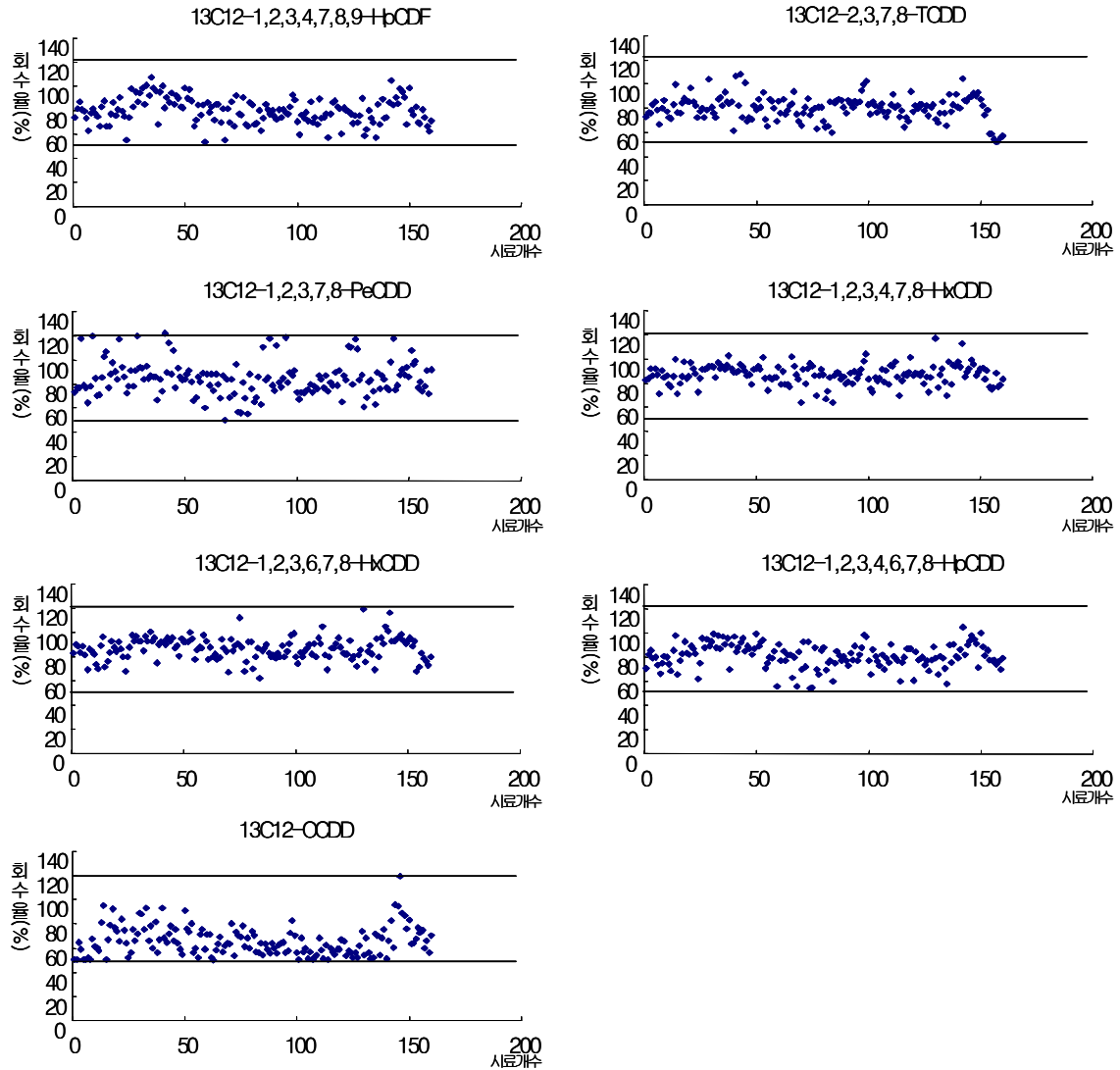
## 5.2 회수율 결과

본 연구에서 분석된 각 시료에 대한 다이옥신 15개 이성질체의 회수율 결과를 그림 5.4에 나타내었다. 15개 이성질체의 회수율은 대부분 시료에서 50~120% 범위에 분포하였고 회수율 평균이 83%로 양호한 결과를 나타내었다.

각 이성질체별 재현성은 대부분의 시료에서 10~19% 범위에 분포하였고, 평균 13%의 결과를 나타내었다.



[그림 5.4] 이성질체별 다이옥신 회수율 분포도



[그림 5.4] 이성질체별 다이옥신 회수율 분포도(계속)