

토양정밀조사 보고서

- 의왕ICD주유소 -

2020 년 6 월



(재) 한국환경산업연구원

제 출 문

의왕ICD주유소 귀중

귀사에서 의뢰하신 ‘경기도 의왕시 이동 40-16번지’에 대한 토양정밀조사를 수행·완료 하였기에 그 결과를 보고서로 제출합니다.

수행기관 : (재)한국환경산업연구원

참여기술자 : 손경중, 김준영, 박종은, 원정옥,
빈시일, 이동권, 백아름, 윤정화,
황현돈

수행기간 : 2019. 12. 05. ~ 2020. 03. 03.

이 보고서는 토양오염조사기관인 (재)한국환경산업연구원이 “경기도 의왕시 이동 40-16번지” 의왕ICD주유소 토양정밀조사 용역을 수행하여 작성한 보고서로써, 발주처의 승인 없이 무단 복제 및 배포 등과 관련한 일체의 행위를 금하며, 본 보고서의 과업범위 이외의 사항에 대해서는 어떠한 책임도 지지 않음을 원칙으로 한다.

(재)한국환경산업연구원장

요 약 문

조 사 개 요	
조사지역	경기도 의왕시 이동 40-16
조사기간	2020. 02. 10 ~ 2020. 06. 26
조사기관	재단법인 한국환경산업연구원

조 사 내 용			
구 분	토 양		지하수
조사지점	개황조사	상세조사	관측공
	12	22	3
조사수량	개황조사	상세조사	관측공
	60	110	3
조사면적(m^2)	3,300		
조사항목	THP, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌		

조 사 결 과					
오염초과내역	오염항목	최고농도 (mg/kg)	대책기준초과 (지점수/시료수)	우려기준 ~ 대책기준 (지점수/시료수)	비고 (법적기준) ¹⁾
	TPH	5,327	-	3 / 6	2,000/6,000
	벤젠	10.9	1 / 1	9 / 24	3/9
	톨루엔	96.3	-	3 / 3	60/180
	에틸벤젠	17.2	-	-	340/1,020
	크실렌	229.9	2 / 2	7 / 12	45/135
	¹⁾ 토양오염우려기준/토양오염대책기준(mg/kg, 3지역) ※ 지하수는 TPH, BTEX 항목 모두 불검출				
오염 면적(m^2)	409.5				
오염 부피(m^3)	815.3				

결 론

대상 부지는 현재 ‘철도’ 용지로 현재 주유소를 운영하고 있으며, 컨테이너 야적장 내 위치하고 있어 대형 차량의 진출입이 활발하여, 부지 내 정화시설의 설치·운영이 불가하다.

따라서, ‘토양환경보전법’ 제15조의3제3항에 의거하여 부지 외 반출정화를 제안하며, 오염항목이 유류임을 고려할 때 적용 가능한 공법으로 토양경작법, 화학적산화/환원법 및 열탈착법으로 추천한다.

목 차

요 약 문	i
1. 서론	1
1.1. 용역명	1
1.2. 조사목적 및 범위	1
1.2.1. 조사배경 및 목적	1
1.2.2. 조사범위	1
1.3. 토양정밀조사 단계별 수행기간	2
1.3.1. 조사내용 및 조사기간	2
1.4. 참여인력	3
1.5. 제한조건	3
1.5.1. 대상부지 범위	3
1.5.2. 대상부지 조사항목	3
1.5.3. 제한사항	4
1.6. 사업수행 근거	5
1.6.1. 관련법규	5
2. 대상부지 현황	7
2.1. 대상부지 일반현황	7
2.1.1. 개요	7
2.1.2. 대상부지 및 주변지역 특징	8
2.2. 기초조사	9
2.2.1. 자료조사	9
2.3. 현장조사	12
2.3.1. 조사방법	12
2.3.2. 조사결과	12
2.4. 청취조사	15
2.4.1. 조사방법	15
2.4.2. 조사결과	15

3. 토양정밀조사	16
3.1. 수행 방법	16
3.1.1. 시료채취지점 선정	16
3.1.2. 시료채취지점 및 수량	16
3.2. 시료채취 및 분석	17
3.2.1. 시료채취지점 측량	18
3.2.2. 시료채취의 품질관리	18
3.2.3. 시료분석	19
3.2.4. 시험분석의 정도관리	20
3.3. 개황조사	21
3.3.1. 조사계획 수립	21
3.3.2. 수행계획 및 실적	23
3.3.3. 개황조사 토양오염물질 분석결과	23
3.4. 상세조사	26
3.4.1. 조사계획 수립	26
3.4.2. 수행계획 및 실적	29
3.4.3. 상세조사 토양오염물질 분석결과	30
3.4.4. 지하수 오염물질 분석결과	34
4. 토양정화	36
4.1. 오염토양 산정	36
4.1.1. 오염토양 산정방법	36
4.1.2. 오염토양의 양 산정	57
4.2. 정화방안 평가	58
4.2.1. 정화목표	58
4.2.2. 정화기준 및 정화대상	58
4.2.3. 정화공법 제안	59
5. 결론	68
5.1. 조사개요	68
5.2. 오염물질의 종류 및 오염 범위	68
5.3. 토양정밀조사 결과	69

부 록 70

부록 1. 정밀조사 명령 공문

부록 2. 시험성적서

부록 3. 토양시료채취기록부

부록 4. 토지대장

부록 5. 지적도

부록 6. GPS 좌표

표 목차

〈표 1〉 토양정밀조사 단계별 수행 기간	2
〈표 2〉 참여기술자	3
〈표 3〉 토양오염물질	4
〈표 4〉 관련 법령	5
〈표 5〉 토양오염우려기준 및 대책기준	6
〈표 6〉 조사부지 지질 범례	10
〈표 7〉 토양시료채취 내역	17
〈표 8〉 시료분석 방법	19
〈표 9〉 시험분석의 정도관리	20
〈표 10〉 산업지역 시료채취지점 수 산정기준	21
〈표 11〉 기초/개황조사 수행계획 및 실적	23
〈표 12〉 개황조사 토양오염물질분석결과	24
〈표 13〉 개황조사 결과 토양오염물질의 구분	25
〈표 14〉 산업지역 시료채취지점 수 산정기준	27
〈표 15〉 기초/개황/상세조사 수행계획 및 실적	29
〈표 16〉 상세조사 토양오염물질분석결과	31
〈표 17〉 상세조사 결과 토양오염물질의 구분	34
〈표 18〉 상세조사 지하수 분석결과	35
〈표 19〉 오염등급의 구분	36
〈표 20〉 심도별 오염면적 및 부피	57
〈표 21〉 정화목표 설정시 검토내용	58
〈표 22〉 정화대상의 오염물질 및 오염물량	58
〈표 23〉 정화공법 제안기준	60
〈표 24〉 정화공법 종류	60
〈표 25〉 오염토양 정화공법별 공정개요	61
〈표 26〉 매체 및 오염물질별 정화기술 선별 매트릭스	62
〈표 27〉 정화기술별 특성 비교	63
〈표 28〉 선정된 정화기술별 공법특성 비교	64
〈표 29〉 검증항목	66

<표 30> 세부 검증방법	67
<표 31> 조사개요	68
<표 32> 토양정밀조사 결과 토양오염물질의 기준초과 내역	68

그림 목차

<그림 1> 조사대상부지	7
<그림 2> 조사부지 위치도	8
<그림 3> 조사부지 지형도	9
<그림 4> 조사부지 지질도	10
<그림 5> 10년간 월별 평균강수량(mm) 및 평균기온(℃)	11
<그림 6> 연도별 항공사진	14
<그림 7> 토양시료채취지점 선정법	16
<그림 8> 토양시료채취 장비	17
<그림 9> GPS 측량사진	18
<그림 10> 개황조사 시료채취지점 위치도	22
<그림 11> 상세조사 시료채취지점 위치도	28
<그림 12> 지하수 착공지점 위치도	35
<그림 13> 심도별(1심도: 0.0 m ~ 1.0 m) 비소 오염 분포도	37
<그림 14> 심도별(2심도: 1.0 m ~ 2.0 m) 비소 오염 분포도	38
<그림 15> 심도별(3심도: 2.0 m ~ 3.0 m) 비소 오염 분포도	39
<그림 16> 심도별(4심도: 3.0 m ~ 4.0 m) 비소 오염 분포도	40
<그림 17> 심도별(5심도: 4.0 m ~ 5.0 m) 비소 오염 분포도	41
<그림 18> 심도별(6심도: 5.0 m ~ 6.0 m) 비소 오염 분포도	42
<그림 19> 비소 오염중첩도	43
<그림 20> 심도별(1심도: 0.0 m ~ 1.0 m) 불소 오염 분포도	44
<그림 21> 심도별(2심도: 1.0 m ~ 2.0 m) 불소 오염 분포도	45
<그림 22> 심도별(3심도: 2.0 m ~ 3.0 m) 불소 오염 분포도	46
<그림 23> 심도별(4심도: 3.0 m ~ 4.0 m) 불소 오염 분포도	47
<그림 24> 심도별(5심도: 4.0 m ~ 5.0 m) 불소 오염 분포도	48
<그림 25> 불소 오염중첩도	49
<그림 26> 심도별(1심도: 0.0 m ~ 1.0 m) 비소, 불소 오염중첩도	50
<그림 27> 심도별(2심도: 1.0 m ~ 2.0 m) 비소, 불소 오염중첩도	51
<그림 28> 심도별(3심도: 2.0 m ~ 3.0 m) 비소, 불소 오염중첩도	52
<그림 29> 심도별(4심도: 3.0 m ~ 4.0 m) 비소, 불소 오염중첩도	53
<그림 30> 심도별(5심도: 4.0 m ~ 5.0 m) 비소, 불소 오염중첩도	54

〈그림 31〉 심도별(6심도: 5.0 m ~ 6.0 m) 비소, 불소 오염중첩도	55
〈그림 32〉 대상부지의 비소, 불소 오염 총 중첩도	56
〈그림 33〉 정화공법 개념도	65

제 1장 서 론

1.1. 용역명

「의왕ICD주유소 토양정밀조사 용역」

1.2. 조사목적 및 범위

1.2.1. 조사배경 및 목적

조사대상 부지는 2019년 의왕시에서 실시하는 토양오염실태조사에서 TPH 항목이 토양오염 우려기준 3지역(2,000mg/kg)을 초과하여 의왕시로부터 정밀조사 명령을 받았으며, (재)한국환경산업연구원에 정밀조사를 의뢰하여 진행하였다.

본 과업의 목적은 대상부지 내 토양에 대한 시료채취 및 분석을 실시하여 토양오염현황(오염물질, 오염면적, 오염부피 등)을 파악하고, 그 결과에 따라 오염토양 정화를 위한 기초자료로 활용하는데 있다.

1.2.2 조사범위

본 토양정밀조사 대상 부지인 경기도 의왕시 이동 40-16번지 중 주유소로 사용하는 약 3,300㎡를 조사의 범위로 설정하였으며, 정밀조사의 주요내용은 다음과 같다.

- 자료조사
- 현장조사
- 청취조사
- 개황조사 시료채취 및 분석
- 토양 오염현황 및 오염범위 평가
- 상세조사 시료채취 및 분석
- 오염토양의 량 및 오염정화범위 산정
- 보고서 작성

1.3. 토양정밀조사 단계별 수행기간

1.3.1. 조사내용 및 조사기간

- 대상부지 : 경기도 의왕시 이동 40-16번지
- 조사기간 : 2020년 02월 10일 ~ 2020년 06월 26일

<표 1> 토양정밀조사 단계별 수행 기간

평가내용		평가기간
자료조사	일반 현황 조사	2020. 02. 04. ~ 2020. 02. 05.
	환경관리 현황 조사	2020. 02. 06.
현장조사	현장 방문 조사	2020. 02. 06.
청취조사	관련자 청취조사	2020. 02. 06.
시료채취 및 분석	개황조사 시료채취	2020. 02. 11.
	개황조사 시료분석	2020. 02. 11. ~ 2020. 02. 28.
	1차 상세조사 시료채취	2020. 03. 19.
	1차 상세조사 시료분석	2020. 03. 19. ~ 2020. 04. 01.
	2차 상세조사 시료채취	2020. 04. 22.
	2차 상세조사 시료분석	2020. 04. 22 ~ 2020. 05. 06.
보고서 작성	오염토양의 량 산출 및 보고서 작성	2020. 06. 15 ~ 2020. 06. 26

1.4. 참여인력

〈표 2〉 참여기술자

분 야	성 명	과업수행내용
과업수행 총괄	손 경 중	과업수행 총괄 책임
시료채취 및 보고서 작성	김 준 영	보고서 검토
	박 중 은	보고서 검토
	빈 시 일	자료조사/계획수립, 오염도조사, 보고서 작성
	이 동 권	자료조사, 오염도조사
시료분석	원 정 옥	분석 결과 및 정도관리 검토
	윤 정 화	시료전처리 및 기기분석
	황 현 돈	기기분석 및 시험성적서 작성
	백 아 름	시료전처리 및 기기분석

1.5. 제한조건

1.5.1. 대상부지 범위

본 조사의 대상부지 범위는 경기도 의왕시 이동 40-16번지 중 주유소로 사용하는 약 3,300 m² 이며, 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목은 ‘철도용지’이다. 「토양환경보전법」 제4조의2 및 같은 법 시행규칙 제1조의5의 토양오염우려기준 ‘3지역’으로 분류된다.

1.5.2. 대상부지 조사항목

본 조사는 「토양환경보전법」 제2조제2호 및 같은 법 시행규칙 제1조의2의 규정에서 정하고 있는 22항목의 토양오염물질(표 3) 중 정밀조사 명령을 받은 TPH와 토양오염의 개연성이 높은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌을 조사대상 항목으로 하였으며, 시료의 채취 및 분석은 「토양오염공정시험기준」(환경부고시 제2018-53호)에 따라 수행하였다.

<표 3> 토양오염물질

1. 카드뮴 및 그 화합물
2. 구리 및 그 화합물
3. 비소 및 그 화합물
4. 수은 및 그 화합물
5. 납 및 그 화합물
6. 6가크롬화합물
7. 아연 및 그 화합물
8. 니켈 및 그 화합물
9. 불소화합물
10. 유기인화합물
11. 폴리클로리네이티드비페닐
12. 시안화합물
13. 페놀류
14. 벤젠
15. 톨루엔
16. 에틸벤젠
17. 크실렌
18. 석유계총탄화수소
19. 트리클로로에틸렌
20. 테트라클로로에틸렌
21. 벤조(a)피렌
22. 1,2-디클로로에탄
23. 기타 위 물질과 유사한 토양오염물질로서 토양오염의 방지를 위하여 특별히 관리할 필요가 있다고 인정되어 환경부장관이 고시하는 물질

1.5.3. 제한사항

본 보고서는 ‘경기도 의왕시 이동 40-16’ 중 주유소로 사용하는 약 3,300 m² 에 대한 조사 당시의 토양정밀조사의 결과이며, 토양 오염의 특성상 시간의 경과에 따라 오염현황이 변화할 수 있다.

본 보고서는 정밀조사 명령을 받은 TPH와 토양오염의 개연성이 높은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌 항목에 대한 토양정밀조사이다.

1.6. 사업수행 근거

1.6.1. 관련법규

본 용역은 토양환경보전법 제2조제2호 및 같은 법 시행규칙 제1조의2의 규정에 의한 ‘토양오염물질’은 총 22개 항목으로, 이들 항목은「토양환경보전법」제4조의2 및 같은 법 시행규칙 제1조의5에 따른 ‘토양오염우려기준’과 토양환경보전법 제16조 및 같은 법 시행규칙 제20조에 따른 ‘토양오염대책기준’으로 구분하여 토양오염의 기준을 정하고 있다. ‘토양오염우려기준’이란 사람의 건강·재산이나 동물·식물의 생육에 지장을 줄 우려가 있는 토양오염의 기준이며, ‘토양오염대책기준’이란 우려기준을 초과하여 사람의 건강 및 재산과 동물·식물의 생육에 지장을 주어서 토양오염에 대한 대책이 필요한 토양오염의 기준을 의미한다.

또한 이들 ‘토양오염우려기준’과 ‘토양오염대책기준’은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목별로 지역 기준을 ‘1지역’, ‘2지역’, ‘3지역’으로 나누어 관리하고 있으며, 본 조사에서는 해당부지의 지목은 ‘철도용지’로 ‘3지역’의 기준을 적용하였다.

한편, ‘토양오염우려기준’은 해당지역에서의 토양오염 여부를 판단하는 기준이며, 오염이 되어 있는 경우 토양정화를 위한 목표치(기준치)가 되기도 한다.

‘토양오염우려기준’ 및 ‘토양오염대책기준’은 <표 5>에 나타내었다.

[표 3] 관련 법령

구 분	관 계 법 령
관련 법령	• 토양환경보전법(개정 2018.11.29. 법률 제15102호) • 토양환경보전법 시행령(개정 2018.11.29. 대통령령 제29292호) • 토양환경보전법 시행규칙(개정 2018.11.29. 환경부령 제776호)
시료채취/분석	• 토양정밀조사의 세부방법에 관한 규정(개정 2016.12.30. 환경부고시 제2016-261호) • 토양오염공정시험기준(개정 2018.12.07. 환경부고시 제2018-53호)

<표 5> 토양오염우려기준 및 대책기준(토양환경보전법 시행규칙 별표 3, 7)

항 목	토양오염우려기준(mg/kg)			토양오염대책기준(mg/kg)		
	1지역	2지역	3지역	1지역	2지역	3지역
카드뮴(Cd)	4	10	60	12	30	180
구리(Cu)	150	500	2,000	450	1,500	6,000
비소(As)	25	50	200	75	150	600
수은(Hg)	4	10	20	12	30	60
납(Pb)	200	400	700	600	1,200	2,100
6가크롬(Cr ⁶⁺)	5	15	40	15	45	120
아연(Zn)	300	600	2,000	900	1,800	5,000
니켈(Ni)	100	200	500	300	600	1,500
불소(F)	400	400	800	800	800	2,000
유기인화합물	10	10	30	-	-	-
PCB	1	4	12	3	12	36
CN	2	2	120	5	5	300
페놀	4	4	20	10	10	50
벤젠	1	1	3	3	3	9
톨루엔	20	20	60	60	60	180
에틸벤젠	50	50	340	150	150	1,020
크실렌	15	15	45	45	45	135
TPH	500	800	2,000	2,000	2,400	6,000
TCE	8	8	40	24	24	120
PCE	4	4	25	12	12	75
벤조(a)피렌	0.7	2	7	2	6	21
1,2-디클로로에탄	5	7	70	15	20	210

※ 비고

1. 1지역: 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목이 전·답·과수원·목장용지·광천지·대(「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령」 제58조제8호가목 중 주거의 용도로 사용되는 부지만 해당한다)·학교용지·구거(溝渠)·양어장·공원·사적지·묘지인 지역과 「어린이놀이시설 안전관리법」 제2조제2호에 따른 어린이 놀이시설(실외에 설치된 경우에만 적용한다) 부지
2. 2지역: 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목이 임야·염전·대(1지역에 해당하는 부지 외의 모든 대를 말한다)·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·유원지·종교용지 및 잡종지(「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령」 제58조제28호가목 또는 다목에 해당하는 부지만 해당한다)인 지역
3. 3지역: 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목이 공장용지·주차장·주유소용지·도로·**철도용지**·제방·잡종지(2지역에 해당하는 부지 외의 모든 잡종지를 말한다)인 지역과 「국방·군사시설 사업에 관한 법률」 제2조제1호가목부터 마목까지에서 규정한 국방·군사시설 부지
4. 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」 제48조에 따라 취득한 토지를 반환하거나 「주한미군 공여구역 주변지역 등 지원 특별법」 제12조에 따라 반환공여구역의 토양 오염 등을 제거하는 경우에는 해당 토지의 반환 후 용도에 따른 지역 기준을 적용한다.
5. 벤조(a)피렌 항목은 유독물의 제조 및 저장시설과 폐반침목을 사용한 지역(예: 철도용지, 공원, 공장용지 및 하천 등)에만 적용한다.

2장. 대상부지 현황

2.1. 대상부지 일반현황

2.1.1. 개요

조사대상 부지는 행정구역상 경기도 의왕시 이동 40-16번지(이하 이동 40-16번지로 칭한다)에 위치한다. 대상부지는 의왕ICD 주유소를 운영하고 있는 부지로, 의왕시에서 실시하는 2019년 토양오염실태조사를 진행하였다.

해당 조사결과 TPH 항목의 오염이 발견되어 의왕시청으로부터 「토양환경보전법」 제11조 및 동법 시행령 제5조의8에 의거 토양정밀조사 조치명령을 받았다.

토지대장을 통해 확인한 대상부지는 이동 40-16번지로 지목은 ‘철도용지’에 해당하며 부지면적은 24,738 m² 이나, 현재 주유소로 사용되고 있는 부지면적은 약 3,300m² 이다.



<그림 1> 조사대상 부지

2.1.2. 대상부지 및 주변지역 특징

대상부지 의왕ICD 제1터미널 내에 위치하고 있다. 동쪽으로는 오봉역이, 서쪽으로는 남-북으로 지하철 1호선이 종단하며, 골프장이 위치하고 있다. 남쪽으로는 컨테이너 야적장이 있으며, 북동쪽으로 오봉산이 위치하고 있다. 대상부지의 주변현황은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 조사부지 위치도

2.2. 기초조사

2.2.1. 자료조사

①. 지형

동부에는 청계산에서 뺀어내린 국사봉·바라산(428m)·백운산 등이 이어져 있으며, 서부에는 모락산·오봉산 등의 구릉성산지가 솟아 있다. 이들 산지 사이의 시 중앙부와 서남부는 비교적 낮고 평탄해 이 두 지역을 중심으로 시가지가 형성되어 있다. 조사 대상부지는 서남부의 낮고 평탄한 지역에 위치하고 있다.



〈그림 3〉 조사부지 지형도

②. 지질

대상부지 및 주변지역의 지질은 신생대 제4기의 매립지와 중생대 쥐라기 흑운모화강암층, 선캄브리아대의 흑운모대와 석영장석대의 교호 암석으로 이루어진 흑운모호상 편마암층 지질대에 해당하며, 조사대상지는 매립지층이 주를 이루고 있다.



〈그림 4〉 조사부지 지질도

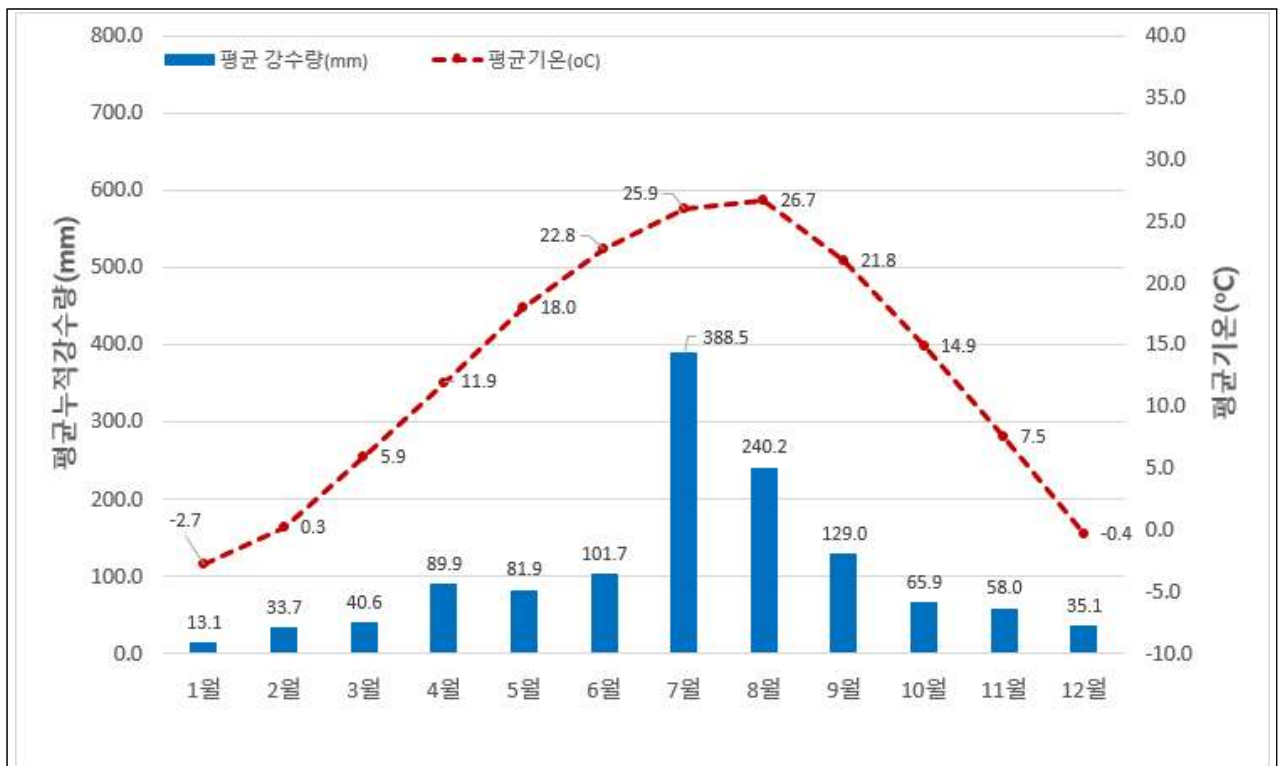
〈표 6〉 조사부지 지질 범례

범례	기호	시대	지층	암석
	PCEbngn	선캄브리아	흑운모대상편마암	흑운모대상편마암
	Qa	신생대 제4기	충적층	역, 사, 점토, 이탄
	PCEagn	선캄브리아	흑운모편암	흑운모편암 흑운모편마암 안구상 편마암

③. 강수량 및 기온분포

지표에 내린 빗물은 지표면을 따라 흐르기도 하며, 토양 속에 스며들어 지하에 포화된 상태로 정체 또는 이동한다. 이러한 지하수는 강수량에 따라 수직적 수위분포가 변화하며, 지질 및 지형 등에 따라 흐름방향 및 속도가 변화한다. 또한 유류로 오염된 지역의 경우 오염물질의 이동에 가장 큰 영향 매체로서 작용될 수 있다. 따라서 대상지역에서의 강수량은 오염물질 이동을 예측하는데 있어 주요 인자라 할 수 있다.

기상자료는 기상청 웹(Web) 사이트 내 과거 자료 검색을 통하여 수집하였으며, 해당부지에서 가장 가까운 수원기상관측소에서 측정된 자료로 2010년부터 2019년까지 최근 10년간의 기상자료를 분석에 이용하였다. 지난 10년간 월별 평균 강수량은 최저 13.1 mm ~ 최고 388.5 mm이며, 연강수량이 7월 ~ 8월에 집중되어 강수량의 계절적 편차가 크게 나타난다. 의왕시 지역의 월별 평균 강수량 및 기온은 <그림 5>에 나타내었다.



<그림 5> 10년간 월별 평균강수량(mm) 및 평균기온(°C)

출처 : 기상청(www.kma.go.kr) 홈페이지

2.3. 현장조사

2.3.1. 조사방법

대상부지에 대한 환경오염의 개연성을 확인하기 위해 현장을 방문하여 토양오염물질의 누출 흔적 및 변색과 같은 토양오염 징후, 식물 생장상태, 기타 현장 특이사항 등을 파악하는 방식으로 진행하였다.

2.3.2. 조사결과

①. 대상부지의 토양상태 및 식물 생장상태

대상부지 내의 토양오염물질의 누출흔적 및 변색과 같은 토양오염 징후, 식물 생장상태 등을 육안이나 취기 등의 방법을 통해 확인하여 토양오염 개연성 여부를 판단하여야 하나, 주유소를 운영하는 부지로 콘크리트 및 아스콘 포장으로 인하여 확인이 불가하였다.

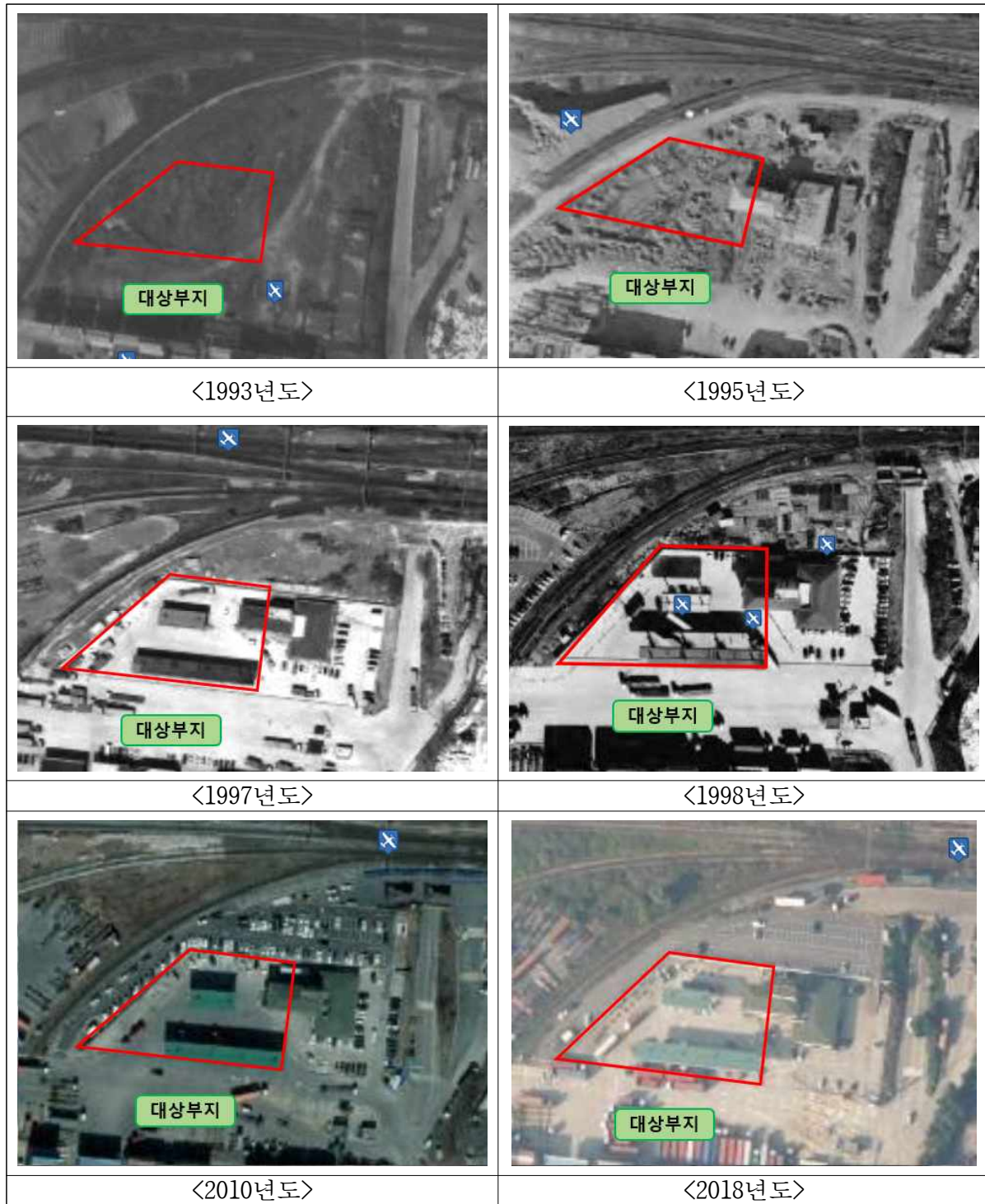
②. 환경관리 현황

대상부지 특정토양오염관리대상 시설로 토양오염의 우려가 상시 존재하는 지역으로, 콘크리트 및 아스콘 포장 상태, 유수분리조, 주유기 관리 상태 등을 확인 하였으며, 확인결과 양호한 것으로 판단된다.

③. 항공 사진

국토지리정보원에서는 기관 홈페이지를 통해 연도별 항공사진을 제공하고 있다. 이러한 항공 사진은 특정 지역에서의 시간 흐름에 따른 변화를 관찰하기 좋은 수단으로 활용될 수 있다. 대상부지의 시간 흐름별 변화상을 확인하기 위하여 <그림 6>과 같이 연도별 항공사진을 수집·조사하였다.

대상부지의 1993년, 1995년, 1997년, 1998년 2010년, 2018년도의 항공사진을 확인할 수 있었으며, 해당 사진을 참고하여 대상부지의 과거 변화를 살펴본 결과 신축되기 전까지 나대지 상태로 있었으며, 1995년 사진에서는 주유소 신축공사 중인 것을 확인 할 수 있었다. 주유소 신축 후 현재까지 주유소로 운영되고 있다.



<그림 6> 연도별 항공사진

2.4. 청취조사

2.4.1. 조사방법

대상부지의 오염개연성을 확인하기 위하여 관련자와의 유선문의를 통해 대상부지와 관련된 사항들을 확인하였다. 구체적인 방법으로는 부지의 주요 시설현황 및 폐쇄 또는 이전 사항, 대상부지의 관리상태, 오염사고 사례, 폐기물 매립 및 투기여부 등을 확인하는 형태로 수행되었다.

2.4.2. 조사결과

본 청취조사는 2020년 02월 진행하였으며 청취조사 결과 대상부지는 1995년 주유소 신축 후 현재까지 운영 중에 있으며, 그동안 정기 토양오염도검사에서 모두 적합 판정을 받았고, 오염사고 등의 사례가 없어 오염의 개연성은 낮았으나, 2019년 의왕시 실태조사에서 TPH 항목의 오염이 확인 되어 정밀조사 명령을 받았다.

제 3장 토양정밀조사

3.1. 수행 방법

3.1.1. 시료채취지점 선정

본 조사에서는 자료조사, 현장조사 및 청취조사를 통한 기초조사 결과 토양오염의 개연성이 높아 대상부지의 오염여부를 확인하기 위한 개황조사를 실시하였다. 시료채취는 항공사진 및 부지 내 토양오염유발시설위치도를 참고하여 오염개연성이 높을 것으로 판단되는 시설을 중심으로 채취하되 대상부지를 격자망을 구성한 후 고정격자법과 임의격자법을 준용하여 시료채취를 수행하였다.

•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
<고정격자법>				<임의격자법>			

<그림 7> 토양시료채취지점 선정법

3.1.2. 시료채취지점 및 수량

본 대상에서의 시료채취는 2020년 02월 11일 개황조사를 실시하였으며, 동년 3월 19일과 04월 22일 두 차례 상세조사를 진행하였다. 시료채취 내용은 <표 7>와 같다.

개황조사 시 시료채취심도는 0.0 m ~ 5.0 m 구간을 채취하였으며, 1 m 간격으로 5개 심도까지 시료를 채취하였고, 암반이 나올 경우 해당 깊이까지 시료를 채취하였다.

상세조사 시 개황조사 결과를 바탕으로 오염이 확인된 심도인 5 m까지 1 m 간격으로 시료를 채취하였으며, 암반이 나올 경우 해당 깊이까지 시료를 채취하였다.

<표 7> 토양시료채취 내역

구 분	토양	지점수(지점)	시료수(점)	비 고
개황조사	심토	12	60	심토: 0.0 ~5.0. m (1m 간격)
1차 상세조사	심토	14	70	
2차 상세조사	심토	8	40	
계		34	170	

3.2. 시료채취 및 분석

토양시료채취 과정은 기본적으로 국내 토양환경보전법(2018.11.29. 법률 제 15102호)에서 규정하고 있는 토양오염공정시험기준(국립환경과학원 고시 제2018-53호)에 따라 수행하였다.

토양시료채취 시 현장 담당자와의 협의를 통한 대상 채취지점 내 매설물 유무 등 특이사항의 검토가 완료된 지점을 대상으로 토양시료채취 작업을 수행하였다.

토양시료채취를 위해 지오프로브(Geoprobe)와 기계식 타격장비를 사용하였으며, 토양정밀조사의 세부방법에 관한 규정(환경부 고시 제2016호-261호)에 따라 심도별 토양시료 채취를 수행하였다.

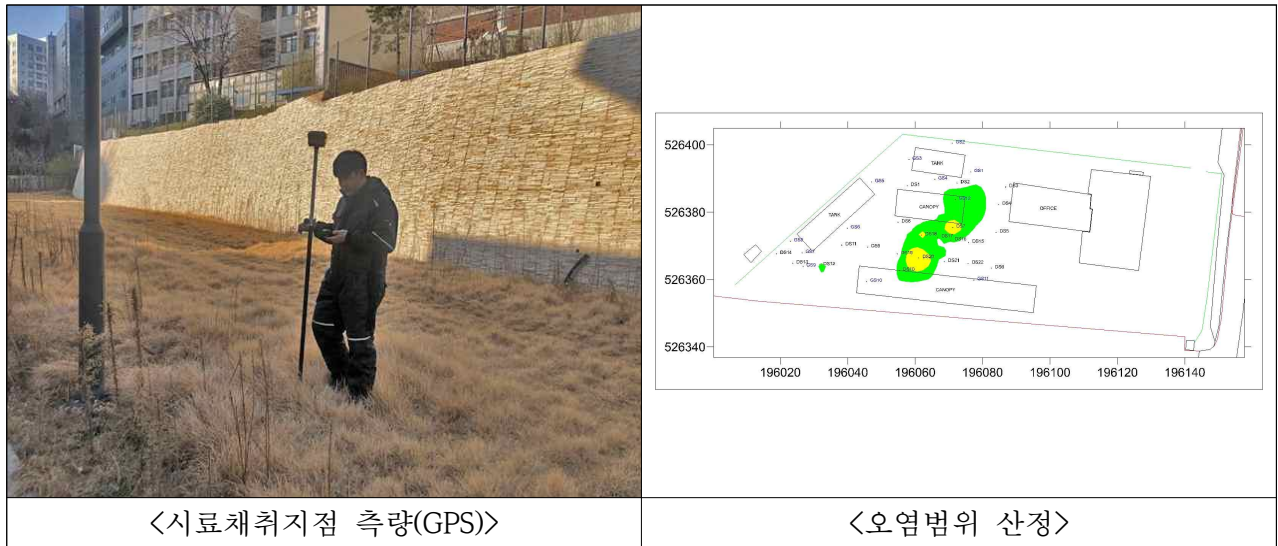
토양시료 채취 후 채취한 토양시료는 갈색광구병과 메탄올이 들어있는 30 ml 바이알에 담아 밀봉한 후, 0~4 ℃의 용기에 넣어 실험실로 옮겨 냉장 보관하였다.



<그림 8> 토양시료채취 장비

3.2.1. 시료채취지점 측량

토양시료 채취지점, 부지경계에 대한 정확한 위치를 측정하기 위하여 GPS 측량을 실시하였다. 측량 결과로 작성된 평면도는 정확한 오염범위와 오염부피를 산정하고, 오염토양 정화설계의 자료로 이용된다.



<그림 9> GPS 측량사진

3.2.2. 시료채취의 품질관리

① 현장기록

토양시료채취 과정에서 발생하는 모든 상황은 현장기록지에 관련양식에 따라 정확히 기록하였다. 시료채취 시 채취한 모든 시료에 대하여 시료번호, 토성, 수분함량, 색상, 취기 등 현장관측사항을 작성하였다.

② 사진촬영

사진촬영은 현장기록과 함께 과업진행의 기술적 검토 및 시료채취 위치 확인에 활용하고 과업진행의 증명자료로 활용되므로 사진촬영 시 다음과 같이 진행하였다. 시료채취 및 현장작업 수행 시 위치확인이 가능한 주변 배경, 지장물, 건물 등과 함께 촬영하여 위치 및 규모의 확인이 가능하도록 하였으며, 사진촬영 위치, 촬영 일련번호, 사진내용 등을 쉽게 파악하기 위해 현장명, 시료명 등을 기입한 명판을 이용하여 사진촬영을 하였다.

3.2.3. 시료분석

시료분석은 해당 부지의 오염 항목을 고려하여 정밀조사 명령을 받은 TPH 항목과 오염개연성이 높은 BTEX 항목에 대해 실시하였으며, 개황조사와 상세조사 모두 동일한 항목에 대하여 분석하였다.

〈표 8〉 시료분석 방법

항 목	내 용
석유계총탄화수소(TPH)	1. 토양 10~25 g에 무수황산나트륨을 적당량 넣어 섞고 디클로로메탄 100 mL을 넣어 초음파추출기를 이용하여 2회 이상 반복 추출함 2. 추출액을 무수황산나트륨 10 g을 충전시킨 분리관에 통과 시켜 탈수한 후 회전증발농축기를 이용하여 최종액량이 2 mL정도 되도록 농축함 3. 농축액을 실리카겔을 넣어 정제한 후 가스크로마토그래프(검출기: FID)를 이용하여 측정함
BTEX	1. 토양시료가 담긴 메틸알콜 Vial을 실험실 도착 즉시 무게를 정확히 달아 토양의 무게를 구함 2. 내부표준물질을 넣고 무수황산나트륨을 토양시료 양만큼 넣어 수분을 제거함 3. 시료를 2분간 세계 흔들어 섞은 후 정치하고 원심분리가 필요 없는 경우 2 mL을 취하여 적정용기에 넣고 보관함 4. 상등액이 혼탁하거나 이물질이 혼입되어 원심분리가 필요한 경우 상대원심력이 150이상인 조건에서 3분 이상 원심분리한 후 상등액을 취함 5. 검액을 퍼지-트랩 가스크로마토그래프-질량분석법을 이용하여 측정함

3.2.4. 시험분석의 정도관리

토양시료의 분석은 토양오염공정시험기준에 준하여 수행하였으며, 오염물질 분석의 신뢰성과 일관성을 확보하기 위해 분석정도관리(Analytical Quality Control)를 수행하였다. 정도관리란 정밀도(Precision)와 정확도(Accuracy)를 체계적으로 검토함으로써 결과의 신뢰도를 높일 수 있다. 정도관리의 일환으로 오염물질 분석결과의 재현성 확보를 목적으로 시료분석과정에서 초기검정곡선 작성 및 검증, 검량선 지속사용 검증, 시약바탕시료 검증 실험을 수행하였다.

〈표 9〉 시험분석의 정도관리

구 분	세 부 내 용
검량선 작성 (Calibration Curve)	1. Stock Solution을 이용하여 항목별 3~5개 수준의 농도구배를 두어 표준물질 제조 및 검량선 작성 2. 최적 수준의 농도는 검출한계보다 약간 높은 수준의 농도로 제조 나머지는 실제 시료에서 기대되는 농도와 기기 특성상 적정농도를 고려하여 제조
주기적인 검량선 작성 (Calibration check standard)	1. 시료를 분석하는 과정에서 검량선을 작성할 때 사용된 표준물질 중 중간농도의 표준물질을 재측정하여 검량선의 정확도를 수시로 점검 2. 변화가 10 % 초과시 새로운 검량선을 적용하였으며 필요시 Stock Solution 교체
바탕시료 점검 (Method blank)	1. 시료를 제외하고 분석과정을 동일한 방법으로서 추출부터 기기분석에 이르는 전 과정을 수행하여 시료의 정성, 정량분석에 방해요소로 작용될 수 있는 요인들을 결과로부터 배제
시료반복측정 (Sample duplicates)	1. 토양시료의 불균질성(Heterogeneity)에서 오는 정성, 정량분석성의 오류를 최소화 하기 위해 오염의 개연성이 발견되고 분석 값에 의문이 되는 시료에 한하여 동일시료에 대해 2회 반복측정값이 생산될 수 있도록 분석전략을 수립

3.3. 개황조사

2019년 토양오염실태조사에서 TPH 항목이 토양오염우려기준을 초과하여 의왕시청으로부터 정밀조사 명령을 받았으며, 토양오염의 개연성이 높은 BTEX 항목을 추가하여 대상부지의 개략적인 오염범위 등을 확인하기 위해 개황조사를 실시하였다.

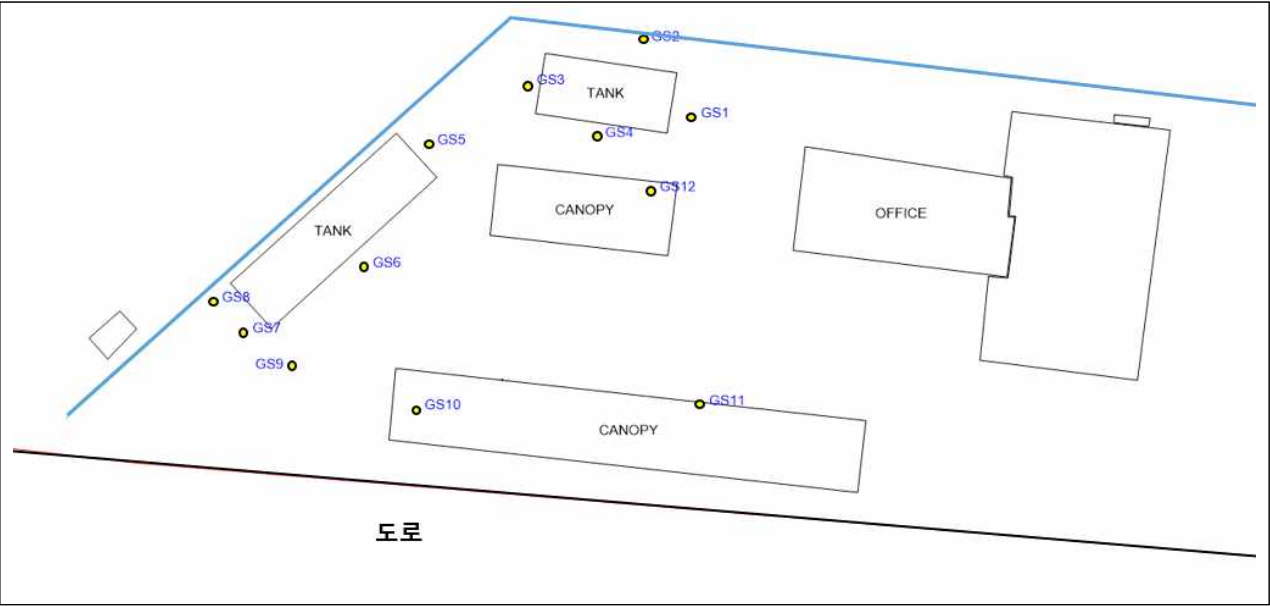
3.3.1. 조사계획 수립

조사대상부지의 면적은 약 3,300 m²으로 조사지점의 개수 및 조사대상부지에 대한 조사지점의 선정은 토양정밀조사의 세부방법에 관한 규정(환경부고시 제2016-251호)에 따라 ‘유류 및 유독물 등 저장시설’로 구분되어 기준에 따라 조사계획을 수립하였으며, 선정된 조사지점수는 12개 지점이다.

또한 시료채취 심도는 오염이 우려되는 농도의 깊이까지 1 m 간격으로 하여 지점마다 5심도(GL.0 ~ -5 m) 깊이까지 채취하였고, 암반층이 나타나면 해당 지점에서는 그 깊이까지 심도로 하였다. 개황조사 시료채취지점도는 <그림 10>와 같으며 해당 지점에 대해서는 GPS로 측량하였으며, 해당 자료는 부록에 첨부하였다.

<표 10> 유류 및 유독물 등 저장시설 시료채취지점 수 산정기준

시료채취지점 수 산정기준	시료채취 방법
우려기준을 초과하거나 초과할 우려가 있는 시설(토양오염도검사 결과에 따른 정밀조사 시에는 초과한 시설을 말함)에 대해 저장시설별로 주변 4방위와 배관주변(배관 누출이 의심되는 경우에 한하여 수행)에 오염의 우려가 큰 1개 지점 이상을 선정	(1) 토양오염물질 저장시설에 저장조실벽이 있는 경우 4면에서 시료를 채취 (2) 여러 개의 토양오염물질 저장 또는 사용시설이 조사대상 지역 내에 분산되어 있을 경우 각각의 시설 외곽 경계선을 기준을 4방위에서 시료를 채취 (3) 개황조사 과정에서 저장시설 설치부지 주변지역이 오염될 우려가 있는 경우 인근 부지를 조사대상에 포함하여야 함



<그림 10> 개황조사 시료채취지점 위치도

3.3.2. 수행계획 및 실적

앞서 수행한 토양오염도검사 및 기초조사 결과를 토대로 적법한 절차에 따라 개황조사를 계획하고 수행하였으며, 그 내용은 아래와 같다.

<표 11> 기초/개황조사 수행계획 및 실적

구 분			계 획	실 적	비 고
기초조사	현황자료조사		1식	1식	-
	현장방문조사		1식	1식	-
	청취조사		1식	1식	-
개황조사	토 양	조사지점선정	12공	12공	-
		시료채취 수량	60점	60점	-
		지점측량(GPS)	12공	12공	-
	상세조사계획수립		1식	1식	-

3.3.3. 개황조사 토양오염물질 분석결과

개황조사를 통해 채취한 12 개 지점, 60 개 시료를 대상으로 TPH, BTEX 항목의 토양오염 분석결과를 <표 12>에 나타내었다.

<표 12>를 통해 조사대상물질 중 기준을 초과한 항목은 벤젠, 크실렌, TPH 항목으로, 벤젠 항목은 최고농도가 6.2 mg/kg이며, 1개 지점, 4개 시료에서 토양오염우려기준(3 mg/kg, 3지역)을 초과하였고, 2개 지점, 2개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였으며, 크실렌 항목은 최고농도가 194.4 mg/kg이며 1개 지점, 4개 시료에서 토양오염우려기준(45 mg/kg, 3지역)을 초과하였고 2개 지점, 2개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다. 또한 TPH 항목은 최고농도가 4,059 mg/kg이며, 1개 지점, 2개 시료에서 토양오염우려기준(2,000 mg/kg, 3지역)을 초과하였고, 1개 지점, 1개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였으며,(<표 13> 참고)

토양시료의 항목별 분석 값에 대한 오염농도 구분을 위해 토양정밀조사의 세부방법에 관한 규정(환경부 고시 제 2016-261호)에 따라 토양오염농도를 <표 19>과 같이 구분하여 표시하였다.

<표 12> 개황조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-GS1-1	6.9	0.1	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS1-2	6.1	0.2	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS1-3	6.5	0.1	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS1-4	6.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS1-5	6.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS2-1	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS2-2	7.3	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS2-3	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS2-4	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS2-5	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS3-1	8.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS3-2	8.7	불검출	불검출	불검출	불검출	358
ICD-GS3-3	8.8	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS3-4	8.2	불검출	불검출	불검출	불검출	107
ICD-GS3-5	6.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS4-1	8.4	불검출	불검출	불검출	불검출	182
ICD-GS4-2	7.6	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS4-3	7.5	불검출	불검출	불검출	불검출	73
ICD-GS4-4	6.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS4-5	6.2	불검출	불검출	불검출	불검출	61
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역).

<표 12> 개황조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-GS5-1	9.9	불검출	불검출	불검출	불검출	88
ICD-GS5-2	10.3	불검출	불검출	불검출	불검출	67
ICD-GS5-3	8.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS5-4	7.6	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS5-5	8.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS6-1	7.8	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS6-2	6.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS6-3	5.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS6-4	5.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS6-5	6.7	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS7-1	7.7	불검출	불검출	불검출	불검출	128
ICD-GS7-2	7.2	불검출	불검출	불검출	불검출	52
ICD-GS7-3	7.2	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS7-4	6.5	불검출	불검출	불검출	불검출	142
ICD-GS7-5	6.5	불검출	불검출	불검출	불검출	170
ICD-GS8-1	7.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS8-2	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS8-3	7.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS8-4	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS8-5	9.4	불검출	불검출	불검출	불검출	56
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역).

<표 12> 개황조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-GS9-1	10.7	불검출	0.1	2.0	5.5	3,111
ICD-GS9-2	8.9	불검출	불검출	2.0	3.5	818
ICD-GS9-3	6.9	불검출	불검출	1.0	2.0	908
ICD-GS9-4	6.3	0.5	0.4	1.4	2.5	4,059
ICD-GS9-5	6.0	1.4	1.9	2.0	5.1	1,860
ICD-GS10-1	8.0	불검출	불검출	불검출	불검출	118
ICD-GS10-2	10.4	0.3	0.4	3.9	14.6	667
ICD-GS10-3	10.8	불검출	0.2	0.4	1.3	417
ICD-GS10-4	7.8	1.2	10.3	13.4	24.3	불검출
ICD-GS10-5	7.7	0.8	2.2	0.9	2.9	169
ICD-GS11-1	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS11-2	6.7	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS11-3	9.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS11-4	6.3	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS11-5	5.9	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-GS12-1	10.2	0.9	12.6	13.2	194.4	690
ICD-GS12-2	8.5	3.4	10.1	13.0	63.6	123
ICD-GS12-3	7.7	3.0	7.1	12.3	46.3	불검출
ICD-GS12-4	9.7	6.2	16.6	17.2	70.2	704
ICD-GS12-5	7.8	3.4	17.2	9.5	41.9	160
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역).

〈표 13〉 개황조사 결과 토양오염물질의 구분

지역	오염항목	최고농도 (mg/kg)	대책기준초과 (지점수/시료수)	우려기준 ~대책기준 (지점수/시료수)	우려기준 40% 초과 (지점수/시료수)	비고 (법적기준*)
3지역	벤젠	6.2	-	1 / 4	2 / 2	3/9
	크실렌	194.4	-	1 / 4	2 / 2	45/135
	TPH	4,059	-	1 / 2	1 / 3	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역)

3.4. 상세조사

개황조사결과에 따라 자세한 오염범위 등을 파악하기 위해 모델링을 이용하여 오염토양의 면적을 구하고 이를 바탕으로 상세조사의 범위를 산정하였다. 상세조사의 범위를 산정하는데 Golden Software 사의 Surfer 모델을 이용하였으며 산출된 면적은 약 2,000 m²이다.

3.4.1. 조사계획 수립

상세조사 대상부지의 면적은 약 2,000 m²으로 조사지점수는 18개 지점 이상이며, 선정된 조사지점은 <그림 11>과 같다. 대상부지의 면적산정은 개황조사결과 기준을 초과하는 지점의 격자를 합산하여 구하였다. 시료채취 심도는 개황조사의 결과를 바탕으로 오염이 확인된 심도와 그 이하의 심도까지 채취하였고, 암반층이 나타나면 해당 지점에서는 그 깊이까지의 심도로 하였다. 상세조사 시료채취 지점에 대해서는 GPS로 측량하였으며, 해당 자료는 부록에 첨부하였다.

○ 유류 및 유독물 등 저장시설

가) 대상시료 : 토양, 지하수(필요시 하천수 포함)

나) 시료채취 밀도 및 심도

(1) 토양 : 조사대상 지역이 1,000m² 이하일 경우 75m²에 1개 이상의 지점으로 하고, 1,000m²를 초과하는 경우 1,000m²까지는 75m²당 1개 이상의 지점과 1,000m²를 초과하는 경우 300m²당 1개 이상의 지점을 선정

(2) 지하수 : 개황조사 결과에 따른 토양오염도를 고려하여 3개 이상 지점에 지하수위를 기준으로 그 이하까지 간이 관측정을 설치하여 지하수를 채취하고 사용 후에는 양질의 토사로 되메움하여야 함. 다만, 암반층까지 굴착하여도 지하수가 나타나지 않을 경우 지하수 조사는 제외

(3) 채취심도 : 토양시료는 개황조사 결과 오염이 우려되는 농도의 깊이까지 채취하며, 암반층이 나타나면 해당 지점에서는 그 깊이까지로 함

(4) 특정토양오염관리대상시설에 대해 개황조사를 생략하고 정밀조사를 실시하는 경우에는 우려기준 초과지점과 오염확산 등을 고려하여 오염현황을 파악할 수 있는 상당거리 이격된 지점 1개 이상을 선정, 개황조사의 심도 채취방법에 따라 시료를 채취하여 지질 및 오염현황을 분석하여야 함

다) 시료채취방법

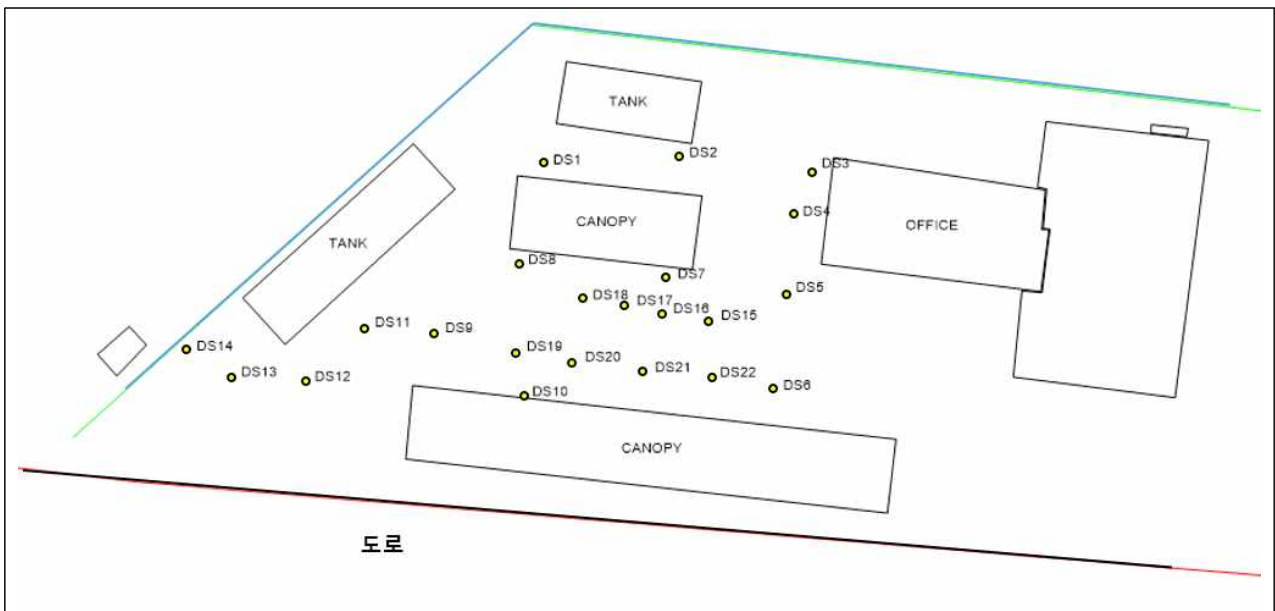
(1) 개황조사 결과 토양오염도가 지하수의 흐름방향에 따라 일정하게 나타날 경우에는 대상지역을 중심으로 조사밀도를 높여 시료를 채취

(2) 시료채취 간격 : 토양시료는 깊이 1m간격으로 채취하여야 함

(3) 그 밖의 사항은 개황조사 방법에 따름

〈표 14〉 산업지역 시료채취지점 수 산정기준

조사면적	시료채취지점 수 산정기준	최소지점 수
면적 ≤ 75 m ²	1,000 m ² 미만일 경우 75 m ² 당 1개 이상	1
75 m ² < 면적 ≤ 150 m ²		2
:		:
975 m ² < 면적 ≤ 1,000 m ²	1,000 m ² 를 초과할 경우 때부터는 300 m ² 당 1개 이상 추가	14
1,000 m ² < 면적 ≤ 1,300 m ²		15
:		:
1,900 m ² < 면적 ≤ 2,200 m ²		18



〈그림 11〉 상세조사 시료채취지점 위치도

3.4.2. 수행계획 및 실적

앞서 수행한 기초조사 및 개황조사 결과를 토대로 적법한 절차에 따라 상세조사를 계획하고 수행하였으며, 종합한 내용은 아래와 같다.

〈표 15〉 기초/개황/상세조사 수행계획 및 실적

구 분			계 획	실 적	비 고
기초조사	현황자료조사		1식	1식	-
	현장방문조사		1식	1식	-
	청취조사		1식	1식	-
개황조사	토 양	조사지점선정	12공	12공	-
		시료채취 수량	60점	60점	-
		지점측량(GPS)	3공	3공	-
	정밀조사계획수립		1식	1식	-
상세조사	토 양	조사지점선정	22공	22공	지하수 관측공 3공 포함
		시료채취 수량	110점	110점	
		지점측량(GPS)	25공	25공	
	수 질	지하수 시료분석	3점	2점	-
		부지오염평가		1식	1식
	정화방안평가		1식	1식	-
종합검토 및 보고서 작성			1식	1식	-

3.4.3. 상세조사 토양오염물질 분석결과

상세조사를 통해 채취한 22개 지점 110개 시료를 대상으로 TPH와 BTEX 4개 항목의 토양오염분석결과를 <표 16>에 나타내었다.

<표 16>을 통해 조사대상물질인 TPH, BTEX에 대한 토양오염분석결과를 보면 벤젠 항목은, 최고농도가 10.9 mg/kg이었고 1개 지점, 1개 시료에서 토양오염대책기준(9 mg/kg, 3지역)을 초과하였고, 8개 지점, 20개 시료에서 토양오염우려기준(3 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며, 2개 지점, 5개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다.

톨루엔 항목은 최고농도가 96.3 mg/kg이었고 3개 지점, 3개 시료에서 토양오염우려기준(60 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며 3개 지점, 4개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다. 크실렌 항목은 최고농도가 229.9 mg/kg이었고 2개 지점, 2개 시료에서 토양오염대책기준(135mg/kg, 3지역)을 초과하였고, 6개 지점, 8개 시료에서 토양오염우려기준(45 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며 4개 지점, 6개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다.

TPH 항목은 최고농도가 5,327 mg/kg이었고 2개 지점, 4개 시료에서 토양오염우려기준(2,000 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며 1개 지점, 1개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다.

토양시료의 항목별 분석 값에 대한 오염농도 구분을 위해 토양정밀조사의 세부방법에 관한 규정(환경부 고시 제 2016-261호)에 따라 토양오염농도를 <표 19>과 같이 구분하여 표시하였다.

<표 16> 상세조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-DS 1-1	6.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 1-2	6.5	불검출	불검출	불검출	불검출	53
ICD-DS 1-3	5.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 1-4	7.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 1-5	7.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 2-1	10.3	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 2-2	6.5	불검출	불검출	불검출	0.2	124
ICD-DS 2-3	6.1	불검출	0.3	4.6	6.0	155
ICD-DS 2-4	5.3	불검출	불검출	0.8	4.8	264
ICD-DS 2-5	6.5	불검출	불검출	불검출	0.3	168
ICD-DS 3-1	8.6	불검출	불검출	불검출	불검출	119
ICD-DS 3-2	10.9	불검출	불검출	불검출	불검출	130
ICD-DS 3-3	7.7	불검출	불검출	불검출	불검출	146
ICD-DS 3-4	7.3	불검출	불검출	불검출	불검출	129
ICD-DS 3-5	5.7	불검출	불검출	불검출	불검출	133
ICD-DS 4-1	8.1	불검출	불검출	불검출	불검출	258
ICD-DS 4-2	7.4	불검출	불검출	불검출	불검출	149
ICD-DS 4-3	5.2	불검출	불검출	불검출	불검출	93
ICD-DS 4-4	4.9	불검출	불검출	불검출	불검출	161
ICD-DS 4-5	7.2	불검출	불검출	불검출	불검출	83
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역)

<표 16> 상세조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-DS 5-1	9.1	불검출	불검출	불검출	불검출	167
ICD-DS 5-2	7.5	불검출	불검출	불검출	불검출	81
ICD-DS 5-3	7.5	불검출	불검출	불검출	불검출	177
ICD-DS 5-4	7.5	불검출	불검출	불검출	불검출	65
ICD-DS 5-5	7.2	불검출	불검출	불검출	불검출	134
ICD-DS 6-1	7.4	불검출	불검출	불검출	불검출	64
ICD-DS 6-2	5.3	불검출	불검출	불검출	불검출	149
ICD-DS 6-3	5.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 6-4	5.3	불검출	불검출	불검출	불검출	145
ICD-DS 6-5	4.9	불검출	불검출	불검출	불검출	64
ICD-DS 7-1	9.9	불검출	불검출	불검출	0.1	141
ICD-DS 7-2	6.0	5.6	9.3	2.9	13.8	162
ICD-DS 7-3	6.1	7.9	33.6	10.5	58.5	419
ICD-DS 7-4	5.5	5.6	25.8	9.1	49.9	314
ICD-DS 7-5	5.5	불검출	불검출	0.5	2.1	119
ICD-DS 8-1	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	76
ICD-DS 8-2	5.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 8-3	5.6	불검출	불검출	불검출	불검출	58
ICD-DS 8-4	5.1	불검출	불검출	불검출	불검출	61
ICD-DS 8-5	5.4	불검출	불검출	불검출	불검출	57
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역)

<표 16> 상세조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-DS 9-1	7.5	불검출	불검출	불검출	불검출	74
ICD-DS 9-2	6.3	불검출	불검출	불검출	0.1	67
ICD-DS 9-3	5.6	0.9	2.0	3.5	12.1	89
ICD-DS 9-4	6.1	불검출	1.2	1.2	7.5	79
ICD-DS 9-5	5.2	불검출	불검출	1.4	5.5	불검출
ICD-DS 10-1	9.1	불검출	불검출	불검출	0.1	불검출
ICD-DS 10-2	5.4	1.0	1.7	0.2	1.2	84
ICD-DS 10-3	5.8	5.8	14.1	3.5	20.2	96
ICD-DS 10-4	5.1	5.8	11.8	2.0	10.9	불검출
ICD-DS 10-5	6.9	3.0	1.9	0.1	0.6	67
ICD-DS 11-1	6.6	불검출	불검출	불검출	불검출	85
ICD-DS 11-2	5.0	불검출	불검출	불검출	불검출	71
ICD-DS 11-3	6.1	불검출	불검출	불검출	불검출	78
ICD-DS 11-4	5.3	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 11-5	5.8	불검출	불검출	불검출	불검출	79
ICD-DS 12-1	6.1	불검출	불검출	0.4	0.2	2,114
ICD-DS 12-2	5.4	1.4	0.7	0.1	0.6	91
ICD-DS 12-3	5.5	2.8	37.7	17.0	89.5	3,301
ICD-DS 12-4	5.6	5.7	14.9	1.6	11.9	1,964
ICD-DS 12-5	5.5	불검출	78.5	10.6	66.9	3,438
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역)

<표 16> 상세조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-DS 13-1	6.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 13-2	5.6	불검출	불검출	불검출	0.1	불검출
ICD-DS 13-3	5.8	2.9	3.6	3.1	3.3	5,327
ICD-DS 13-4	5.2	2.1	9.0	3.4	10.4	476
ICD-DS 13-5	6.4	1.2	0.2	불검출	0.1	69
ICD-DS 14-1	6.7	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 14-2	5.6	불검출	불검출	불검출	불검출	9.1
ICD-DS 14-3	5.2	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 14-4	7.3	불검출	불검출	불검출	불검출	75
ICD-DS 14-5	4.7	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역)

<표 16> 상세조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-DS 15-1	7.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 15-2	7.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 15-3	6.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 15-4	5.9	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 15-5	6.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 16-1	8.9	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 16-2	11.5	1.1	0.4	0.2	0.4	불검출
ICD-DS 16-3	6.2	1.1	1.3	0.2	0.9	불검출
ICD-DS 16-4	6.6	7.0	20.8	9.8	46.4	64
ICD-DS 16-5	6.3	6.5	20.5	8.2	40.4	85
ICD-DS 17-1	9.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 17-2	6.3	1.0	2.3	0.8	3.6	불검출
ICD-DS 17-3	6.9	4.6	10.4	3.9	18.7	196
ICD-DS 17-4	5.5	3.4	14.8	4.8	26.4	121
ICD-DS 17-5	5.2	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 18-1	8.3	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 18-2	10.9	4.2	9.4	6.0	33.8	679
ICD-DS 18-3	8.0	6.2	15.0	10.4	59.1	198
ICD-DS 18-4	7.2	0.6	1.8	0.4	2.7	70
ICD-DS 18-5	6.2	3.5	12.2	3.6	21.6	73
법적 기준(/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역)

<표 16> 상세조사 토양오염물질분석결과

(단위: mg/kg)

시료번호 (심도)	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
ICD-DS 19-1	5.9	0.1	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 19-2	5.4	불검출	0.2	불검출	0.4	128
ICD-DS 19-3	6.1	6.7	96.3	40.0	229.9	699
ICD-DS 19-4	6.1	5.3	13.7	7.3	42.7	471
ICD-DS 19-5	6.1	10.9	21.0	10.0	54.7	불검출
ICD-DS 20-1	10.8	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 20-2	6.2	8.8	62.0	25.0	143.1	불검출
ICD-DS 20-3	5.1	5.3	33.0	9.7	57.8	218
ICD-DS 20-4	6.2	4.1	9.0	1.6	9.2	69
ICD-DS 20-5	7.1	3.0	4.5	0.6	2.8	불검출
ICD-DS 21-1	9.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 21-2	6.8	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 21-3	6.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 21-4	5.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 21-5	5.5	0.6	0.1	불검출	0.2	51
ICD-DS 22-1	11.2	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 22-2	6.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 22-3	10.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 22-4	8.9	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
ICD-DS 22-5	5.9	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
법적 기준 (/)*	-	3/9	60/180	340/1,020	45/135	2,000/6,000

TPH와 BTEX 에 대한 기준초과 내역은 <표 17>와 같다.

<표 17> 상세조사 결과 토양오염물질의 구분

지역 구분	오염항목	최고농도 (mg/kg)	대책기준초과 (지점수/시료수)	우려기준 ~대책기준 (지점수/시료수)	우려기준 40% 초과 (지점수/시료수)	비고 (법적기준*)
3지역	벤젠	10.9	1 / 1	8 / 20	2 / 5	3/9
	톨루엔	96.3	-	3 / 3	3 / 4	60/180
	크실렌	229.9	2 / 2	6 / 8	4 / 6	45/135
	TPH	5,327	-	2 / 4	1 / 1	2,000/6,000

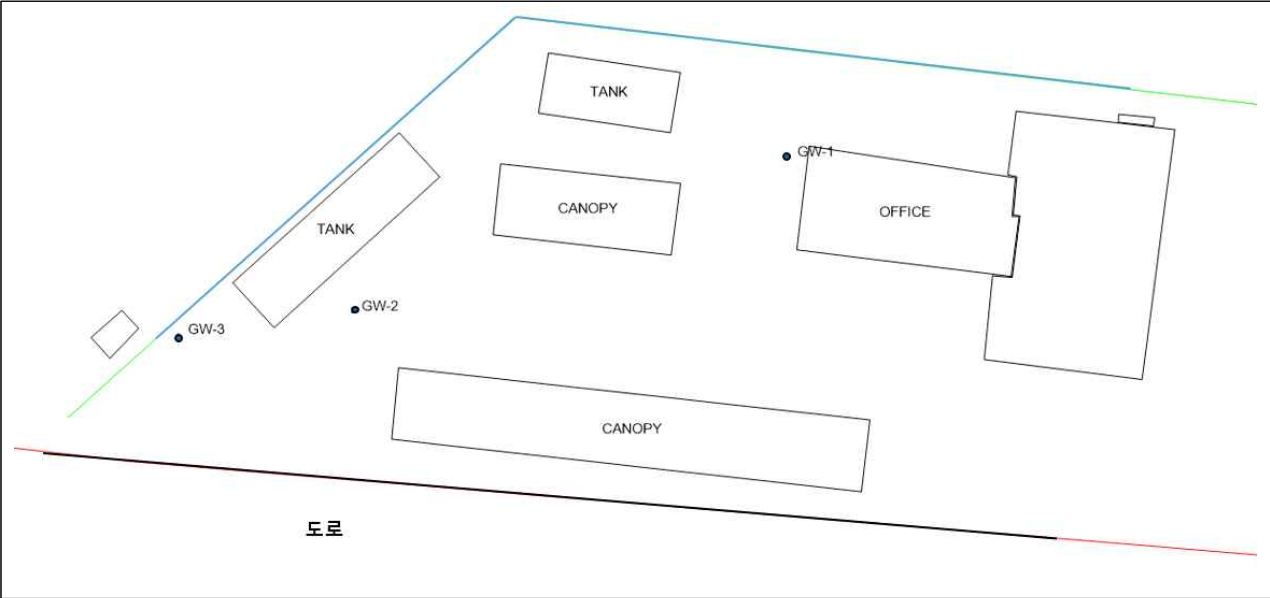
*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(3지역)

3.4.4. 지하수 오염물질 분석결과

토양오염이 확인되었거나 지하수 오염이 우려되는 지역을 대상으로 지하수 흐름 등을 고려하여 지하수 관측정 3개 지점을 착정하였다.

2020년 04월 22일 지하수 시료 채취를 실시하였으며, 교차오염 방지를 위해 일회용 베일러를 사용하여 지하수 시료 3점을 채취하였으며 해당위치는 <그림 12>과 같다.

지하수 시료들은 pH, TPH, BTEX 총 6가지 항목에 대하여 분석하였으며, 3개 시료 모두 불검출로 지하수의 오염은 확인되지 않았다. 해당 분석결과는 <표 18>과 같다.



〈그림 11〉 지하수 착공지점 위치도

〈표 18〉 상세조사 지하수 분석결과

(단위: mg/L)

시료번호	분석항목					
	pH	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	TPH
GW-1	7.1	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
GW-2	6.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
GW-3	6.4	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

제 4장 토양정화

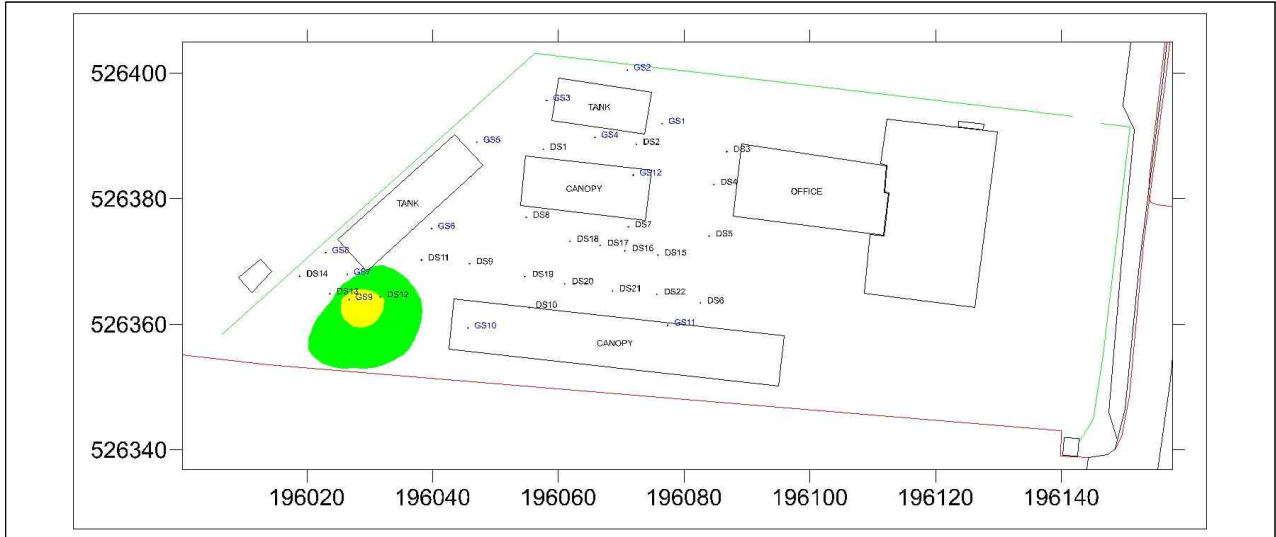
4.1. 오염토양 산정

4.1.1. 오염토양 산정방법

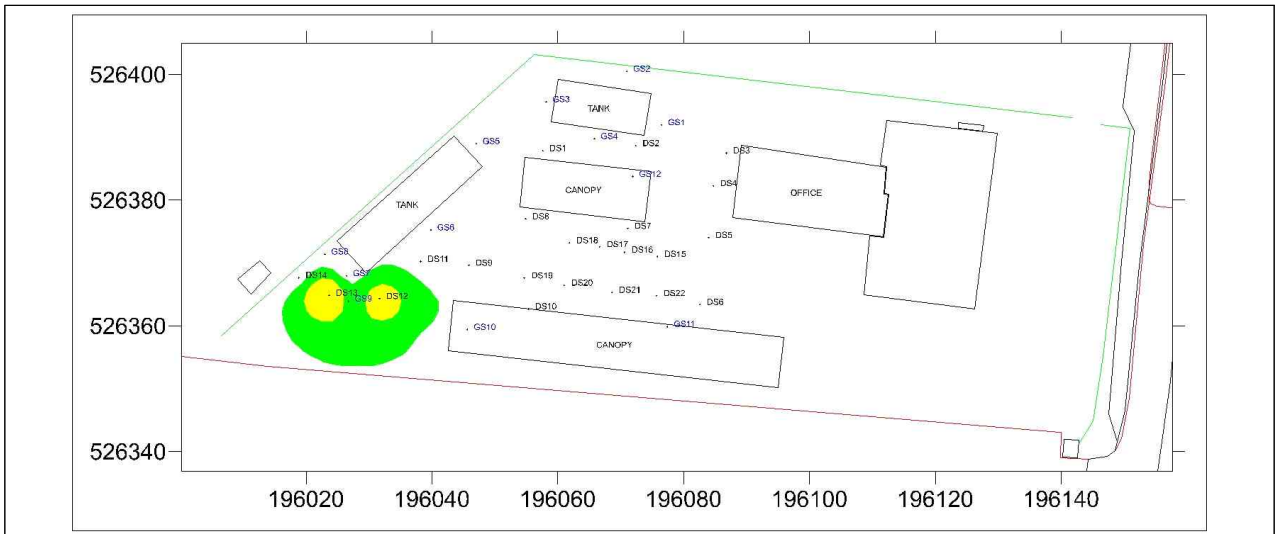
부지 전체의 토양에 대해 조사를 할 수 없으므로 모델링을 이용하여 심도별 오염토양의 부피를 구하고 이를 더하여 총 오염토양부피를 산정하였다. 오염토양을 산정하는데 Golden Software 사의 Surfer 모델을 이용하였다. 심도는 1 m 단위로 TPH, 벤젠, 톨루엔, 크실렌 총 4항목에 대하여 「토양정밀조사의 세부방법에 관한 규정」에 의거 오염이 우려되는 농도(우려기준의 40 %, 녹색), 우려기준(노란색), 대책기준(빨간색)으로 구분하여 농도분포를 작성하였다. 오염토양의 면적 및 부피 산정은 <표 16>의 결과 값에서 II등급 이상인 지역을 대상으로 모델을 이용해 산정하였다. 모델링에 대한 오염등급은 <표 19>와 같으며 그에 따른 분포도는 <그림 13> ~ <그림 32>에서 나타내었다.

<표 19> 오염등급의 구분

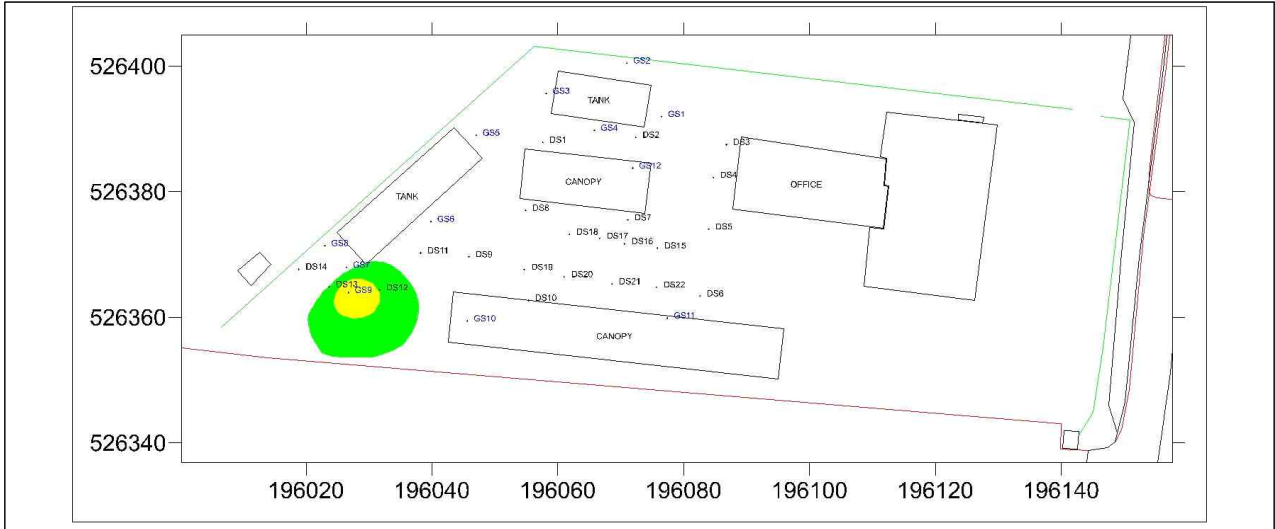
등급	등급기준	색 구분
I	토양오염우려기준의 40%(중금속과 불소는 70%) 이하인 지역	흰색
II	토양오염우려기준의 40%(중금속과 불소는 70%) 초과부터 토양오염우려기준 이하인 지역	녹색
III	토양오염우려기준 초과부터 토양오염대책기준 이하인 지역	노란색
IV	토양오염대책기준 초과지역	빨강색



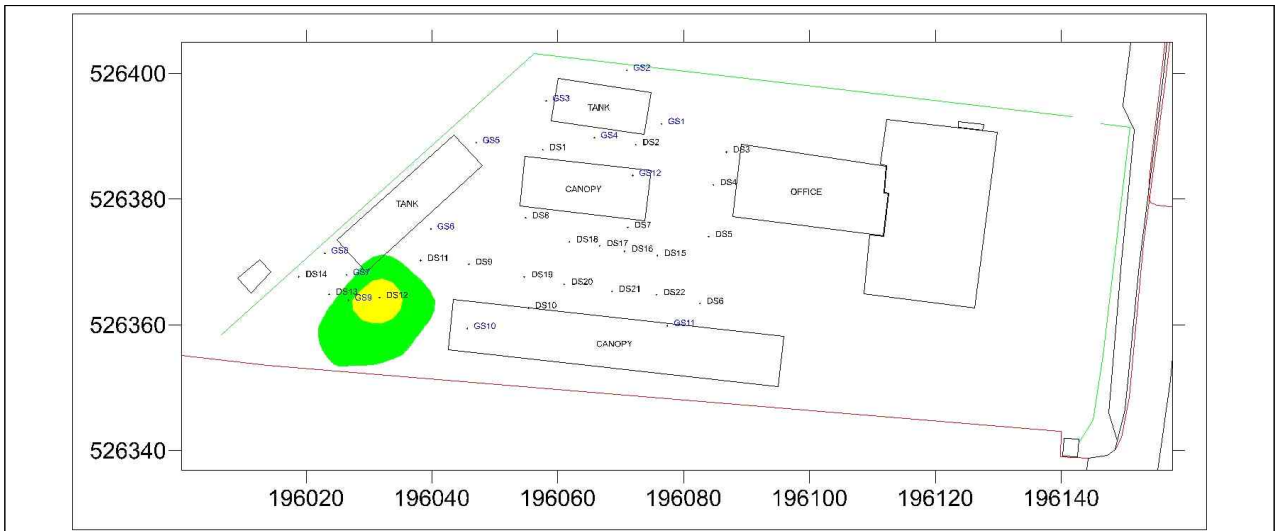
<그림 13> 심도별(1심도: 0.0 m ~ 1.0 m) TPH 오염분포도



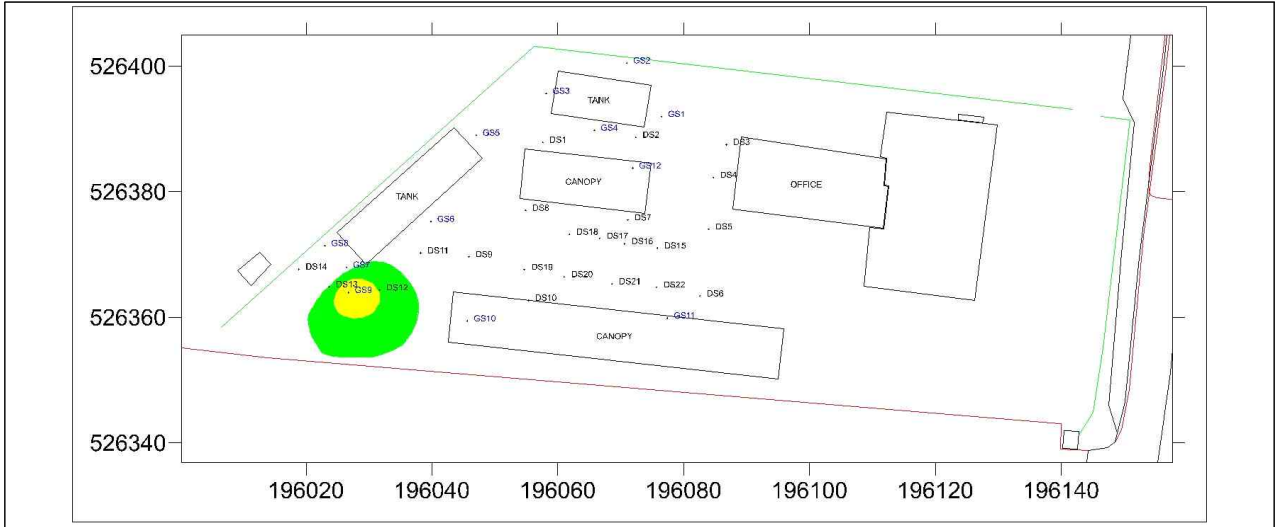
<그림 13> 심도별(3심도: 2.0 m ~ 3.0 m) TPH 오염분포도



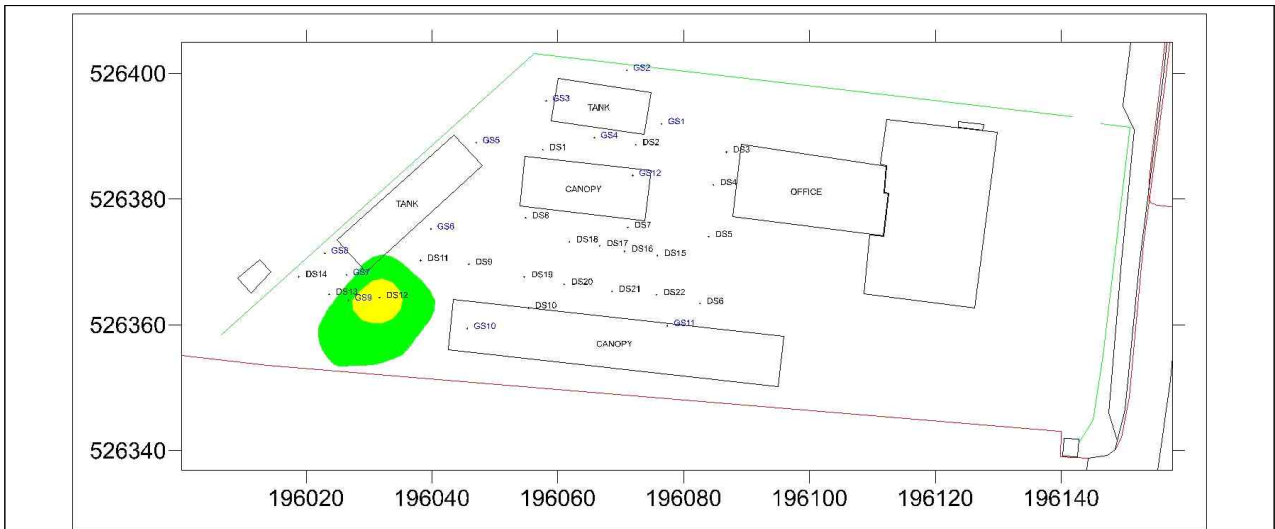
<그림 13> 심도별(4심도: 3.0 m ~ 4.0 m) TPH 오염분포도



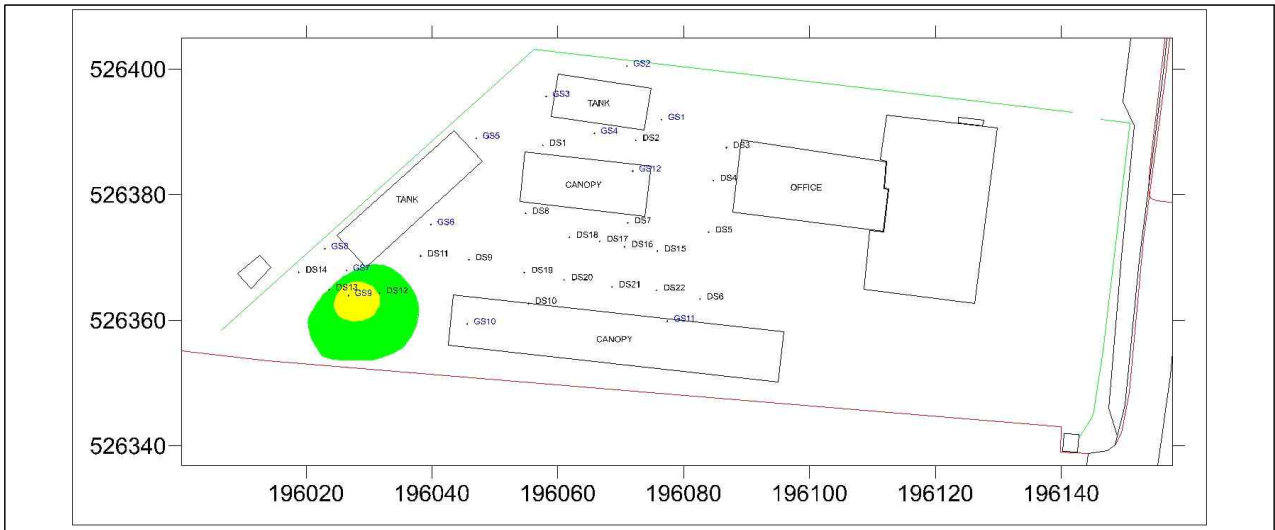
<그림 13> 심도별(5심도: 4.0 m ~ 5.0 m) TPH 오염분포도



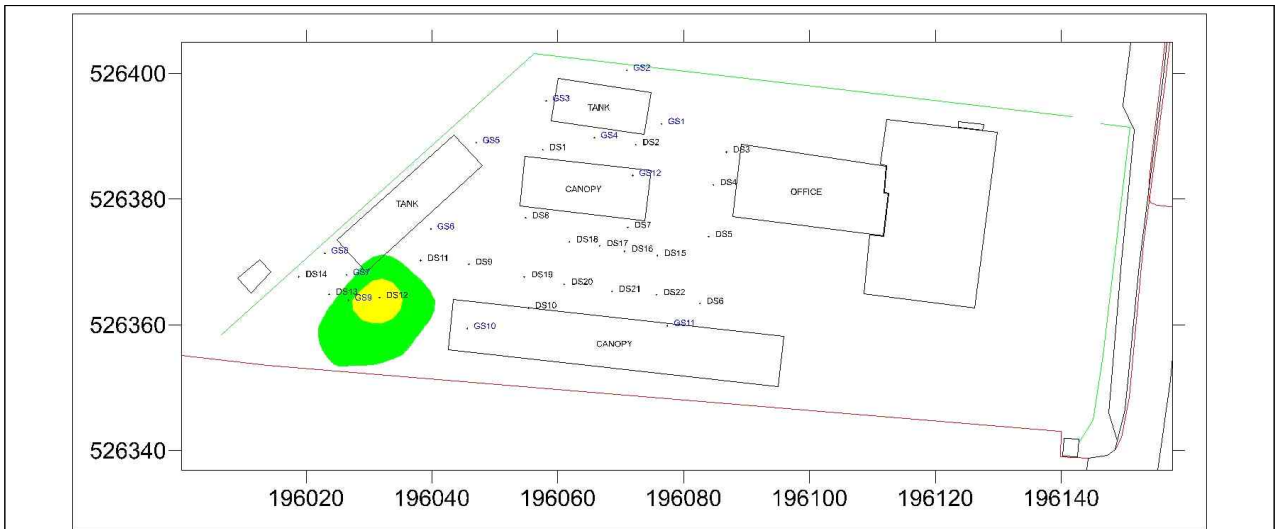
<그림 13> 심도별(2심도: 1.0 m ~ 2.0 m) 벤젠 오염분포도



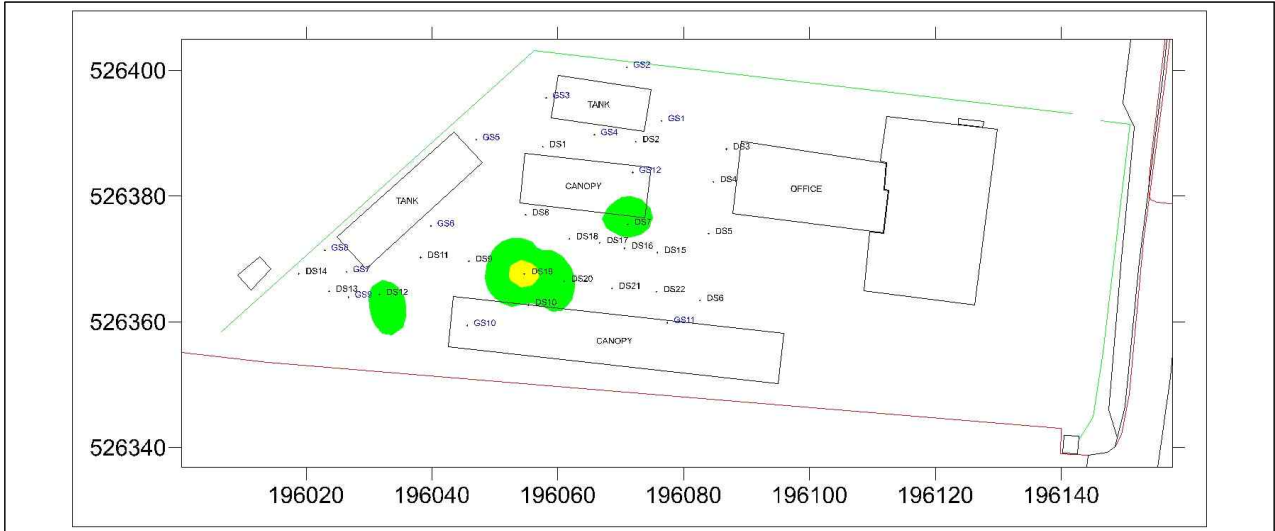
<그림 13> 심도별(3심도: 2.0 m ~ 3.0 m) 벤젠 오염분포도



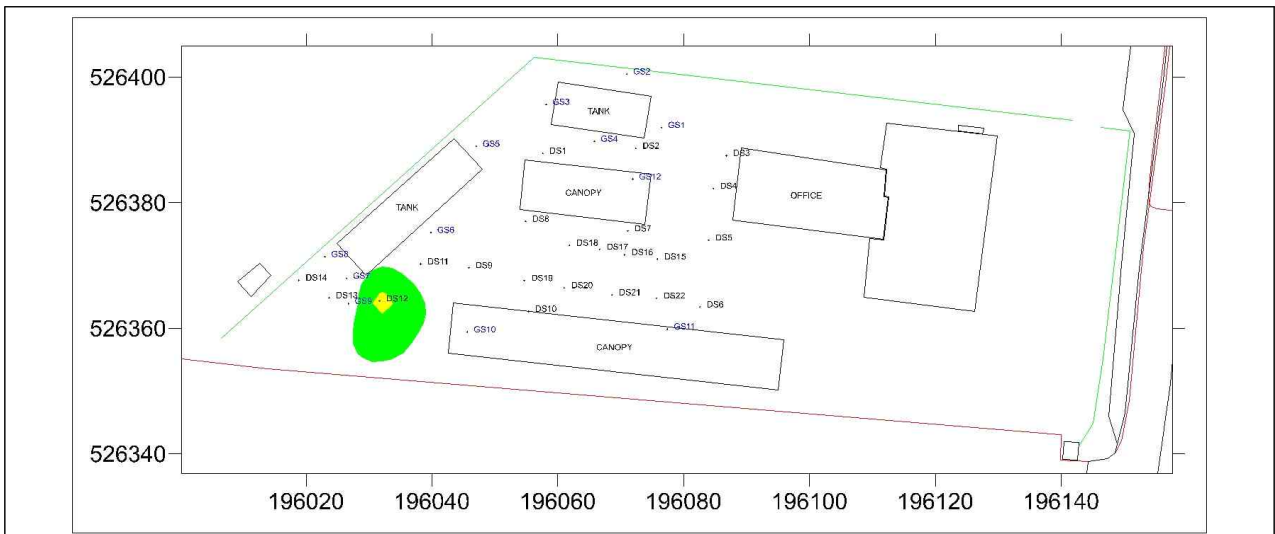
<그림 13> 심도별(4심도: 3.0 m ~ 4.0 m) 벤젠 오염분포도



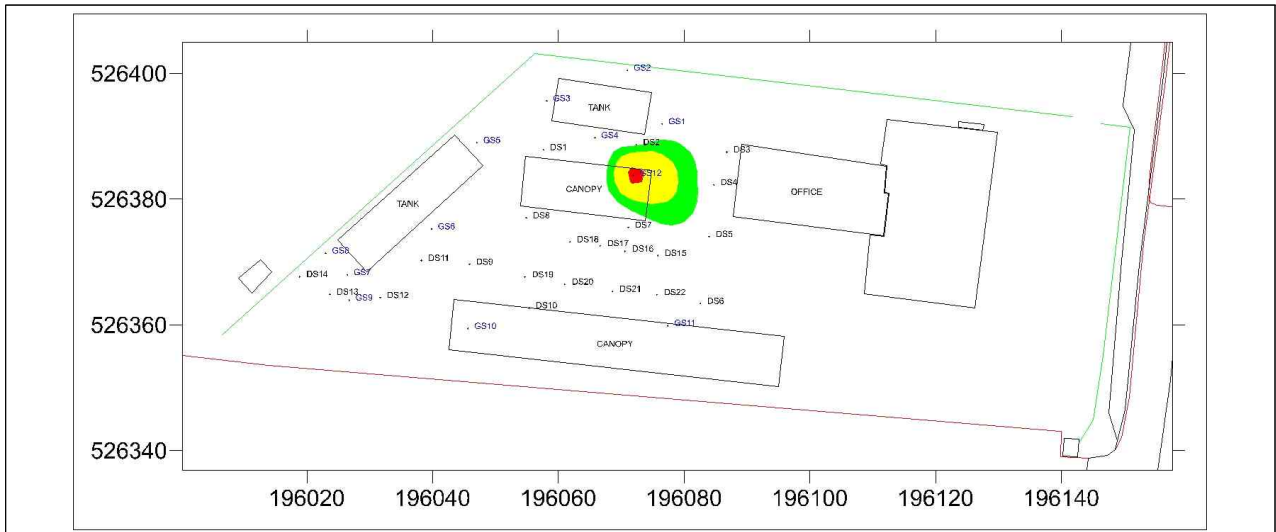
<그림 13> 심도별(5심도: 4.0 m ~ 5.0 m) 벤젠 오염분포도



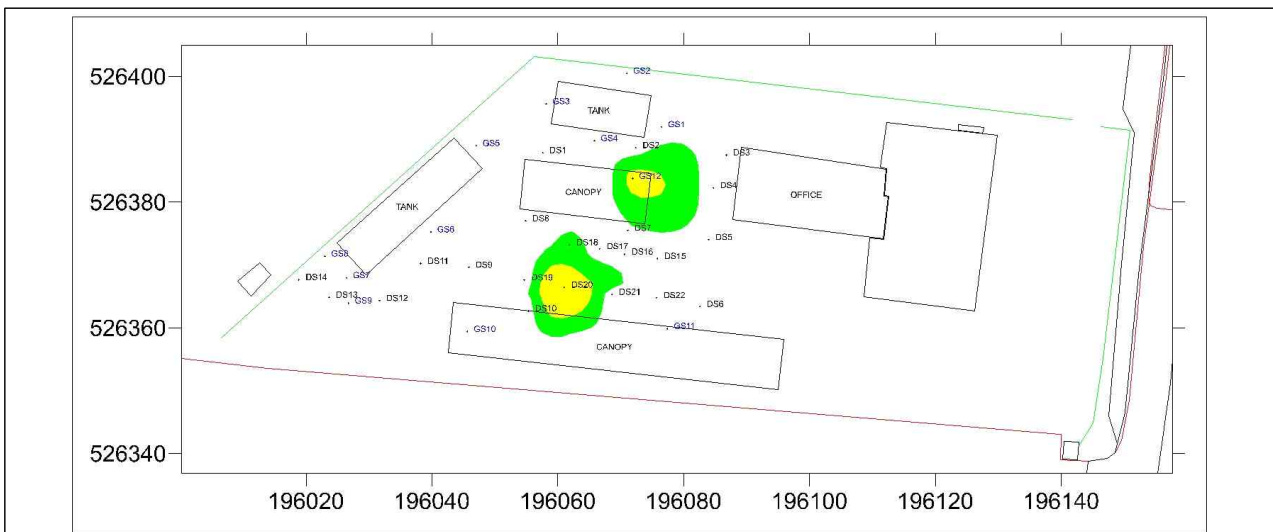
<그림 13> 심도별(3심도: 2.0 m ~ 3.0 m) 톨루엔 오염분포도



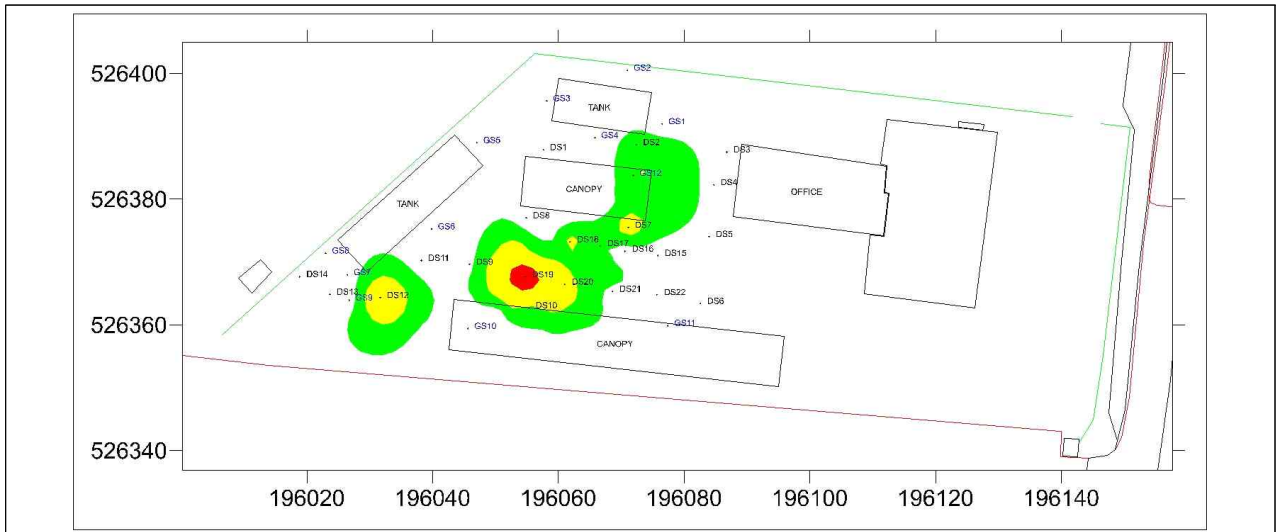
<그림 13> 심도별(5심도: 4.0 m ~ 5.0 m) 톨루엔 오염분포도



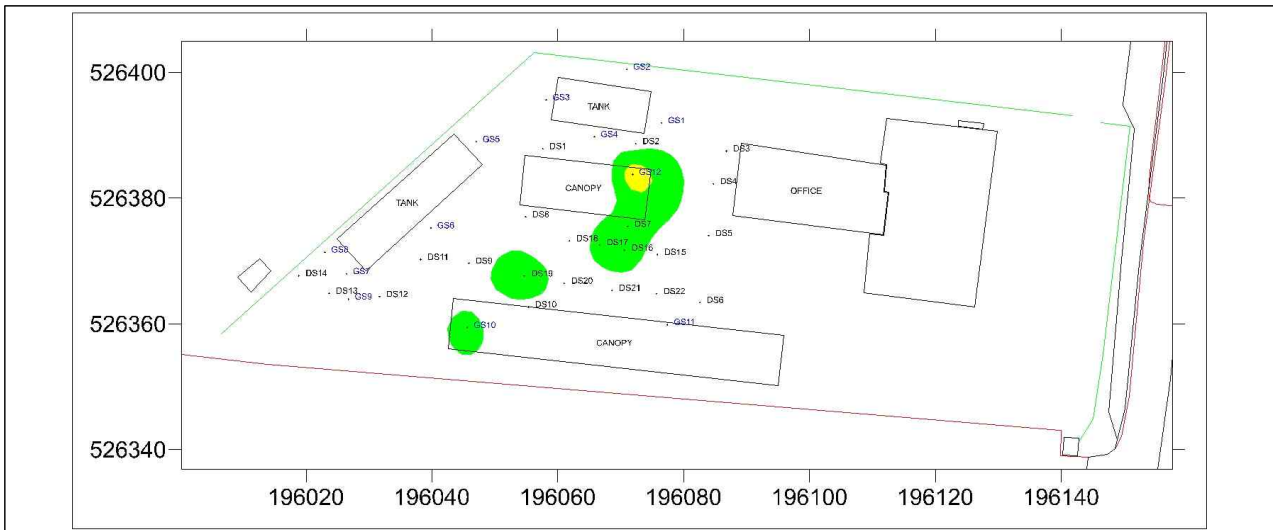
<그림 13> 심도별(1심도: 0.0 m ~ 1.0 m) 크실렌 오염분포도



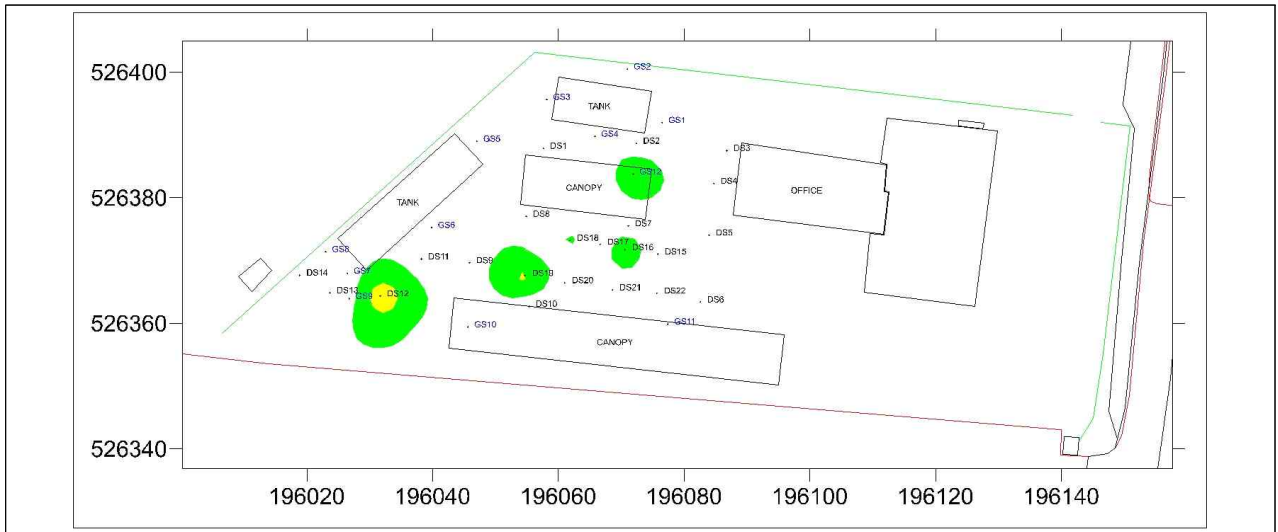
<그림 13> 심도별(2심도: 1.0 m ~ 2.0 m) 크실렌 오염분포도



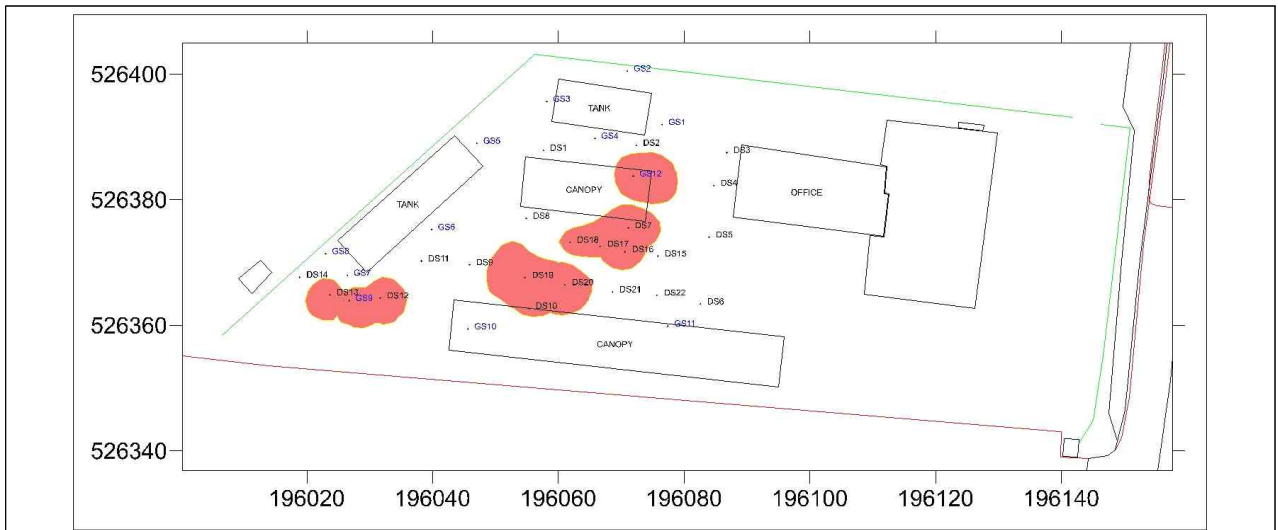
<그림 13> 심도별(3심도: 2.0 m ~ 3.0 m) 크실렌 오염분포도



<그림 13> 심도별(4심도: 3.0 m ~ 4.0 m) 크실렌 오염분포도



<그림 13> 심도별(5심도: 4.0 m ~ 5.0 m) 크실렌 오염분포도



<그림 13> 중첩도

4.1.2. 오염토양의 양 산정

<그림 13> ~ <그림 32>를 이용하여 조사대상 부지의 오염물질인 비소와 불소의 오염 면적 및 부피를 산정한 결과는 <표 20>과 같다.

<표 20> 심도별 오염 면적 및 부피

심도(m)	TPH(m ²)	벤젠(m ²)	톨루엔(m ²)	크실렌(m ²)	오염면적(m ²)
1심도(0.0~1.0)	31.8	—	—	67.7	99.5
2심도(1.0~2.0)	—	56.4	—	74.9	92.0
3심도(2.0~3.0)	56.5	174.8	14.3	149.4	280.2
4심도(3.0~4.0)	35.1	192.4	—	14.1	207.9
5심도(4.0~5.0)	40.4	95.3	5.8	15.0	135.7
오염면적 (m ²)			409.5		
오염부피 (m ³)			815.3		

* 오염범위의 중첩면적을 제외한 평 면적임.

4.2. 정화방안 평가

4.2.1. 정화목표

정화대상지역에 분포하는 오염물질의 확산을 방지하고 적법절차에 따라 오염토양을 법적기준치 이내로 정화하는 것을 목표로 한다. 본 절에서는 정밀조사 결과를 바탕으로 오염현황 및 부지이용계획 등을 고려하여 조사대상부지의 오염토양정화에 적용 가능한 정화공법을 비교 및 제시하였으며, 조사대상부지 특성을 고려하여 가장 효과적인 정화공법을 선정한다.

<표 21> 정화목표 설정시 검토내용

구 분	검 토 내 용
기술성	- 적용공법별 정화목표 달성을 위한 소요기간 검토 - 정화 목표 달성을 위한 정화 기간 반영
경제성	- 정화목표 설정은 정화공법 선정 및 소요기간 예측에 중요한 요소이며, 최종적으로 정화 비용에 영향을 미침 - 합리적이고 현실적인 정화목표 설정으로 정화비용의 최소화
부지활용성	향후 부지활용 등을 감안한 목표설정

4.2.2. 정화기준 및 정화대상

조사대상부지는 현 지목이 ‘철도용지’에 해당하며 토양환경보전법 시행규칙(2017.11.29. 시행) 별표3의 ‘3지역’ 토양오염우려기준을 정화기준으로 적용하였다. 다음 표에 정밀조사 결과 정화대상의 오염물량을 나타내었다.

<표 22> 정화대상의 오염물질 및 오염물량

구 분		오염확인	오염물량(m³)*
토양	유기물질	TPH, 벤젠, 톨루엔, 크실렌	

* 오염물량 : Surfer 구적물량(평면오염분포면적×심도)으로 중첩된 부분을 제외하고 산정된 결과임.

** 토양 정화기준 : 토양환경보전법 시행규칙(20.17.01.01 시행) 별표 3의 ‘3지역’ 우려기준 적용

4.2.3. 정화공법 제안

①정화공법 제안 기준

정화대상부지의 처리대상 오염물질에 대해 적용 가능한 기술을 선별하였으며, 현장조건을 감안한 기술적 타당성, 방법의 효율성, 현장시공성과 경제성 등을 종합적으로 평가하여 최적의 정화 공법을 제안하고자 한다.

가. 정화공법 선정 검토 목적

- 정화공법 선정의 타당성 검토
- 정화목표 달성을 위한 효과적인 정화공법 선정
- 부지 특성 및 오염 특성을 고려한 경제적인 정화공법 도출

나. 정화공법 선정 기본방향

- 정화목표 달성을 위한 최적 방법 산정
- 적용 방법의 경제성 확보
- 부지특성 및 향후 활용 계획을 고려

다. 정화공법 선정절차

- 1단계 : 매체별 적용기술의 선정
 - * 환경오염조사를 바탕으로 한 정화 범위 선정
 - * 토양오염에 따른 다양한 적용 가능 기술 분류
- 2단계 : 오염물질별 적용기술 선정
 - * 최선의 정화 효율 확보를 위한 방법 선정
 - * 정화공법의 특성 및 오염원 특성을 고려한 정화 방법 선정
- 3단계 : 최적 정화공법의 선정
 - * 부지의 오염 특성과 토양 성질을 고려한 최적 정화공법 선정
 - * 부지환경 및 오염물질의 특성을 세부적으로 반영
 - * 경제성을 충분히 반영한 정화공법 선정

라. 정화공법 선정시 중점 고려사항

- 오염토양 정화방법 가이드라인(환경부, 2007) 절차 준용
- 정화 목표 달성을 위한 최적 정화공법 선정

〈표 23〉 정화공법 제안기준

선정기준	세부검토사항
부지특성	토성, 부지특성, 향후 개발계획
오염물질 및 농도특성	오염종류, 오염규모 심도 및 농도분포
정화의 신속성	공기 준수 가능 여부
현장적용성	- 정화지역의 지형적 특성 고려 - 선정된 방법의 현장 적용 가능 여부
정화공법의 효율성	- 오염물질별 처리 효율성 - 향후 부지활용을 감안한 정화목표 달성여부 2차 오염물질의 발생여부
시공의 경제성	선정된 방법의 경제성 분석

②정화공법 검토

가. 정화공법 종류

오염토양을 정화공법은 크게 생물학적 처리와 물리·화학적 처리 및 열적처리 방법이 있다. 이 정화공법들은 각기 다른 장단점을 보유하고 있으며, 이를 토대로 정화대상부지의 주 정화공법 선정을 실시한다. 다음 표에 정화공법 종류 및 내용을 기술하였다.

〈표 24〉 정화공법 종류

선정기준	생물학적처리	물리·화학적처리	열적처리
처리개요	- 토양세균 활성화 - 토양세균 적정화 - 특화된 미생물 첨가 - 생존조건 적정화 - 유기화합물의 분해	- 물, 산 및 유기용매를 이용하여 처리하는 추출법 - 산화반응에 의한 처리방법 - 전기교정방법	열적처리 공정은 통제된 환경에서 토양을 고온에 노출시켜 소각이나 열분해를 통해 토양 중 함유되어 있는 유해물질을 분해
적용방법	- 생물학적 분해 - 식물재배 정화 - 자연저감법 - 토양경작법 등	- 토양세척법 - 화학적 산화/환원법 - 동전기법 등	- 열탈착법 - 소각법 - 유리화법 - 열분해법 등
기술적용시 고려사항	- 오염물질의 생물분해도 - 미생물지표 - 산화·환원조건-산소요구도 - 오염물질의 분해율 - 오염물질의 농도 - 철 및 망간 농도	- 오염물질의 분포 깊이·면적 - 오염물질의 농도 - 대수층 깊이 - 토양의 형태와 특성	- 밀도 수분함량 - 발열량 - 비가연성 재함량 - 오염물질의 농도

나. 정화공법 공정개요

앞 절의 정화공법 종류에서 언급한 오염 처리공법에 대하여 각기 공정개요를 다음 표에 간략히 기술하였다.

〈표 25〉 오염토양 정화공법별 공정개요

구 분		공정개요
생물학적 처리방법	생물학적분해	• 영양분과 수분(필요시 미생물)을 오염토양내로 순환시킴으로써 미생물의 활성을 자극하여 유기물 분해능을 증대시키는 방법
	식물재배정화	• 식물체의 성장에 따라 토양내의 오염물질을 분해·흡착·침전 등을 통해 오염토양을 정화하는 방법
	자연저감	• 토양 또는 지중에서 자연적으로 일어나는 희석, 휘발, 생분해, 흡착 및 지중물질과의 화학반응 등에 의해 오염물질 농도가 허용가능한 수준으로 저감되도록 유도하는 방법
	토양경작	• 오염토양을 굴착하여 지표면에 깔아 놓고 정기적으로 뒤집어줌으로써 공기 중의 산소를 공급해 주는 호기성 생분해 공정법
물리·화학적 처리방법	토양세척	• 오염토양을 굴착하여 토양입자 표면에 부착된 유·무기성 오염물질을 세척액으로 분리시켜 이를 토양내에서 농축·처분하거나, 재래식 폐수처리하는 방법
	화학적 산화/환원	• 오염토양에 오존, 과산화수소 등의 화합물을 첨가하여 산화/환원반응을 통해 오염물질을 무독성화 또는 저독성화 시키는 방법
	동전기	• 투수계수가 낮은 포화토양에서 이온상태의 오염물(음이온·양이온·중금속 등)을 양극과 음극의 전기장에 의하여 이동속도를 촉진시켜 포화오염토양을 처리하는 방법
열적처리 방법	열탈착	• 오염토양내의 오염물질을 휘발·탈착시키는 기법이며, 배기가스는 가스처리 시스템으로 이송하여 처리하는 방법
	소각	• 산소가 존재하는 상태에서 800~1200도의 고온으로 유해성 폐기물내의 오염물질을 소각·분해시키는 방법
	유리화	• 굴착된 오염토양 및 슬러지를 전기적으로 용융시킴으로써 용출특성이 매우 적은 결정구조로 만드는 방법
	열분해	• 산소가 없는 혐기성 상태에서 열을 가하여 오염토양 중의 오염물질을 분해시키는 방법

③정화공법 선정

가. 1단계 정화기술 선별(공법의 적용성)

1단계 정화기술 선별을 위해 대상 부지의 오염매체 및 물질을 고려하여 정화기술을 비교하여 다음 표에 나타내었다. 우리나라에서 수행 가능한 공법과 오염물질의 정화 효율이 높은 정화 기술 중 처리위치 및 포화·불포화 기준을 정하여 검토대상으로 선정하였다.

<표 26> 매체 및 오염물질별 정화기술 선별 매트릭스

처리원리	기술명	적용가능 위치		오염물질별 정화효율 ¹⁾							
		포화대	불포화대	비할로젠화 VOCs	할로젠화 VOCs	비할로젠화 SVOCs	할로젠화 SVOCs	유류	무기물질	방사성물질	화약류
생물학적	생물학적 분해법	√	√	고	고	고	-	고	-	-	고
	생물학적 통풍법		√	고		고	저	고	저	-	저
	토양경작법	√	√	중	중	고	중	고	저	저	-
	바이오파일법	√	√	고	고	중	-	고	-	저	저
	식물재배정화법		√	중	중	중	-	중	중	-	-
	퇴비화법	√	√	중	중	중	-	고	저	저	고
	자연저감법	√	√	고	중	중	중	고	저	저	저
물리화학적	토양세정법	√	√	고	고	중	중	중	고	저	저
	토양증기추출법		√	고	고	저	저	고	저	저	저
	토양세척법	√	√	중	중	중	중	중	중	저	저
	용제추출법	√	√	중	중	고	고	중	고	중	저
	화학적산화/환원법	√	√	중	중	중	중	고	고	저	저
	고형화/안정화법 ²⁾	√	√	저	저	중	중	저	고	고	저
	동전기법	√	√	중	중	중	중	저	고	중	저
열적	열탈착법	√	√	고	고	고	고	고	저	저	저
	소각법	√	√	고	고	고	고	고	저	저	고
	유리화법		√	저	저	중	중	중	고	고	저
	열분해법	√	√	중	중	고	고	중	저	저	저

1) 고:높음 / 중:중간 / 저:낮음 / 기타:오염물질 및 부지특성에 따라 상이

2) 현행법상 적용 불가하며, 위해성평가 결과에 따른 오염부지 관리기술로 적용 가능

※자료출처 : 환경부(2007), 오염토양 정화방법 가이드라인 재구조화

나. 2단계 정화기술 선별(공법의 효율성 및 시공성)

정화기술의 특성에 따라 공법의 적용가능 위치(지중/지상), 비용효율성, 처리효율성 및 부산물의 발생유무에 차이가 있으므로, 1차 선별된 정화기술별 특성을 비교하여 적용위치, 적용용이성, 정화기간 등을 고려하여 적용대상 부지에 적합한 기술의 범위를 좁힐 수 있다.

〈표 27〉 정화기술별 특성 비교

처리원리	기술명	적용위치		공법특성					
		지중 (IN-situ)	지상 (EX-situ)	단독적용 가능여부 ¹⁾	부산물 발생	초기 투자비	운영& 관리비	적용 용이성	정화 기간 ²⁾
생물학적	생물학적 분해법	√		○	X	X	X	고	중기
	생물학적 통풍법	√		○	X	X	X	고	중기
	토양경작법		√	○	X	X	X	고	중기
	바이오파일법		√	○	○	X	X	고	중기
	식물재배정화법	√		X	○	X	X	저	장기
	퇴비화법		√	○	X	X	X	고	중기
	자연저감법	√		○	X	X	○	저	기타
물리화학적	토양세정법	√		○	○	X	○	저	중기
	토양증기추출법	√		X	○	X	○	고	중기
	토양세척법		√	X	○	○	○	중	단기
	용제추출법		√	X	○	○	○	저	중기
	화학적산화/환법	√	√	○	○	○	○	중	중기
	고형화/안정화 ³⁾	√	√	○	○	○	X	저	단기
	동전기법	√	√	○	○	X	○	저	중기
열적	열탈착법		√	X	○	○	○	중	단기
	소각법		√	○	○	○	○	고	단기
	유리화법	√		○	○	○	X	저	단기
	열분해법		√	○	○	○	○	고	단기

1) 해당기술 외 잔여물질을 처리해야 하는 다른 기술의 필요여부

2) 정화기간(오염토양 20,000톤 정화기준)

적용위치	단기	중기	장기	기타
지중(In기타situ)	1년 이하	1~3년	3년 이상	오염물질에 따라 매우 다름
지상(Ex기타situ)	0.5년 이하	0.5~1년	1년 이상	

3) 현행법상 적용 불가하며, 위해성평가 결과에 따른 오염부지 관리기술로 적용 가능

※자료출처 : 환경부(2007), 오염토양 정화방법 가이드라인 재구조화

다. 3단계 최적 정화공법 제안

토양정밀조사 결과, 오염물질은 무기물질로 확인되었고, 오염물질과 불포화대인 대상 부지의 특성을 고려하여 적합한 정화공법을 1차 선별하였으며 1차 선별된 정화기술 중 효율성, 비용, 적용 용이성 등을 고려하여 토양경작법, 화학적산화/환원법 및 열탈착법을 정화기술로 선정하였다.

〈표 28〉 선정된 정화기술별 공법특성 비교

적용위치	기술명	공법특성					
		단독적용 가능여부	부산물 발생	초기 투자비	운영& 관리비	적용 용이성	정화 기간
지상 (EX-SITU)	토양경작법	○	X	X	X	고	중기
	화학적산화/환원법	○	○	○	○	중	중기
	열탈착법	X	○	○	○	중	단기

④. 정화기술 제안

현장조사 당시 대상 부지의 지질학적 특성, 부지의 이용특성, 행정상황 등을 종합적으로 고려하여 적용 가능한 정화공법은 다음과 같다.

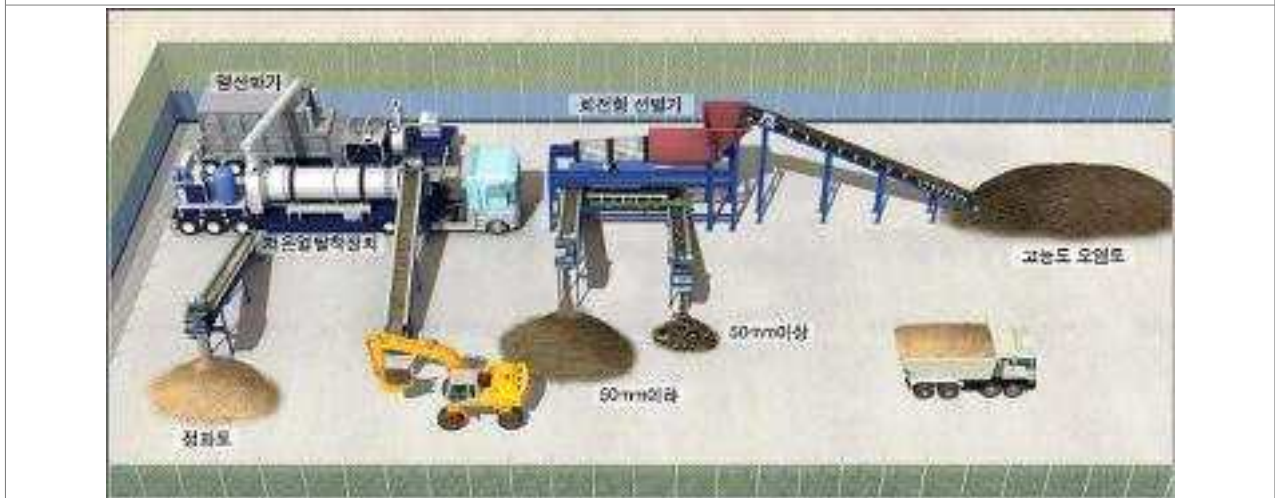
대상 부지는 현재 ‘철도’ 용지로 현재 주유소를 운영하고 있으며, 컨테이너 야적장 내 위치하고 있어 대형 차량의 진출입이 활발하여, 부지 내 정화시설의 설치·운영이 불가하다.

따라서, ‘토양환경보전법’ 제15조의3제3항에 의거하여 부지 외 반출정화를 제안하며, 오염항목이 유류임을 고려할 때 적용 가능한 공법을 1차 선별하고, 1차 선별한 정화공법 중 정화비용, 정화기간, 적용 용이성 등을 고려하여 적절한 정화공법을 2차 선별하였다.

이러한 과정을 거쳐 최종적으로 토양경작법, 화학적산화/환원법 및 열탈착법이 적용 가능한 공법이라 판단된다.



토양정밀조사



열탈착공법

<그림 33> 정화공법 개념도

<표 28> 화학적 산화/환원법

화학적 산화/환원법
오염된 토양에 오존, 과산화수소 등의 화합물을 첨가하여 산화/환원반응을 통해 오염물질을 무독성화 또는 저독성화 시키는 방법으로 타기술에 비하여 유류 오염물질을 빠른 시간 내에 분해하여 처리할 수 있으며, 현재 다양한 산화제 및 오염물질을 효과적으로 접촉시키기 위한 다양한 방법이 개발되어 적용 되고 있다.

⑤. 향후 관리방안

오염 토양 정화과정과 정화이후 오염확산 방지를 위하여 토양정화 검증방법에 관한 고시 (2016-262)에 따라 향후 오염의 확산 및 정화된 오염토양의 걱정 처분여부, 2차오염원의 발생을 야기하는 요소를 검증단계에서 확인할 것이다. 대상부지의 경계지역에 대하여 오염이 확인된 구역은 정화검증 굴착 시 사면검증을 통해 오염토양이 적정하게 굴착되는지 확인 및 관리 할 것이다.

〈표 29〉 검증항목

검증항목	세부검증항목 및 방법	비 고
1) 오염도 분석	시료채취 및 분석	세부방법 및 주기는 정화방법 특성에 따름
2) 환경 관리	2차 오염원의 발생 및 적정처리 확인	해당사항에 대해서 실시
3) 굴착작업	적정 굴착여부 현장확인, 시료채취 및 분석, 오염토양 걱정 분류 현장확인	위치 외 방법
4) 정화토양 처분	서류검토 및 현장확인	

<표 31> 세부 검증방법

구 분	세부항목	검증기준	세부검증방법
오염도 분석	과정검증	오염도의 저감정도를 확인하여야 한다.	오염도 분석결과를 최초 오염도 및 정화목표와 비교하여 저감정도를 판정한다.
	완료검증	오염도가 정화목표 미만이어야 한다.	오염도 분석결과를 정화목표와 비교하여 판정한다.
환경관리	환경의 적정 관리여부	폐기물이 적정하게 관리되어야 한다.	발생 폐기물 관련자료를 검토하고 현장확인하여 적정 관리여부를 판정한다.
		폐수가 적정하게 관리되어야 한다.	발생 폐수 관련 자료를 검토하고 현장확인하여 적정 관리여부를 판정한다.
		폐가스가 적정하게 관리되어야 한다.	발생 폐가스 관련 자료를 검토하고 현장확인하여 적정 관리여부를 판정한다.
		소음, 진동이 적정하게 관리되어야 한다.	-토양정화 운전 중 소음과 진동 범위의 적정성 여부 검토 -소음 측정기록 관련 자료검토
굴착작업	굴착작업의 적정 진행여부	오염토양이 적정하게 굴착되어야 한다.	-굴착현장을 현장확인하고 현장 잔류토를 채취·분석하여 오염 토양이 적정하게 굴착되는지를 확인하고 비오염토양이 불필요 하게 굴착되는 것을 방지한다. -자료검토 및 육안검사를 통하여 굴착토양이 오염토양과 비오염 토양으로 적정하게 분류되는지를 판정한다. -육안검사를 통하여 오염토양이 현장에서 적정하게 야적·보관·이송되는지의 여부를 판정 한다.
정화토양 처분	정화토양의 적정 관리여부	정화된 토양은 적정하게 처분되어야 한다.	-자료검토 및 현장확인을 통하여 정화된 토양이 적법하게 처 분되었는지를 판정한다.
되메움 토양 확인	굴착작업된 부지의 적정 관리 여부	오염도가 정화목표미만 이어야 한다.	-오염도 분석결과를 정화목표와 비교하여 판정한다.

제 5장 결론

5.1. 조사개요

〈표 31〉 조사개요

구분	내용
조사대상 부지	경기도 의왕시 이동 40-16
조사항목	THP, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌
조사면적	3,300 m ²

5.2. 오염물질의 종류 및 오염 범위

가. 오염물질의 종류 : THP, 벤젠, 톨루엔, 크실렌

〈표 32〉 토양정밀조사 결과 토양오염물질의 기준초과 내역

지역	오염항목	최고농도 (mg/kg)	대책기준초과 (지점수/시료수)	우려기준 ~대책기준 (지점수/시료수)	우려기준 40% 초과 (지점수/시료수)	비고 (법적기준)*
3지역	벤젠	10.9	1 / 1	9 / 24	4 / 7	3/9
	톨루엔	96.3	-	3 / 3	3 / 4	60/180
	크실렌	229.9	2 / 2	7 / 12	6 / 8	45/135
	TPH	5,327	-	3 / 6	2 / 4	2,000/6,000

*토양오염우려기준 / 토양오염대책기준(1지역)

나. 오염범위: 대상부지의 34개 조사지점 중 11개 지점에서 토양오염우려기준을 초과하였으며, 주유기 주변은 BTEX, 탱쿠주변은 TPH로 오염이 되어있다.

다. 오염면적 : 409.5 m²

라. 오염부피 : 815.3 m³

5.3. 토양정밀조사 결과

본 보고서는 ‘경기도 의왕시 이동 40-16’에 대한 토양정밀조사 결과이다. 대상부지는 「공간정보 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목구분에 따라 ‘철도용지’로 분류되어있는 부지로, 「토양환경보전법」상의 토양오염우려 기준 3지역을 적용하였다.

조사대상 부지는 행정구역상 경기도 의왕시 이동 40-16번지에 위치한다. 대상부지는 의왕 ICD 주유소를 운영하고 있는 부지로, 의왕시에서 실시하는 2019년 토양오염실태조사를 진행하였으나, 해당 조사에서 TPH 항목에서 토양오염우려기준을 초과하여 의왕시청으로부터 정밀조사 명령을 받았다.

대상부지에서 채취한 토양시료의 분석항목은 TPH, BTX 에 대한 토양오염분석결과를 보면 벤젠 항목은, 최고농도가 10.9 mg/kg이었고 1개 지점, 1개 시료에서 토양오염대책기준(9 mg/kg, 3지역)을 초과하였고, 9개 지점, 24개 시료에서 토양오염우려기준(3 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며, 4개 지점, 7개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다.

톨루엔 항목은 최고농도가 96.3 mg/kg이었고 3개 지점, 3개 시료에서 토양오염우려기준(60 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며 3개 지점, 4개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다. 크실렌 항목은 최고농도가 229.9 mg/kg이었고 2개 지점, 2개 시료에서 토양오염대책기준(135mg/kg, 3지역)을 초과하였고, 7개 지점, 12개 시료에서 토양오염우려기준(45 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며 6개 지점, 8개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다.

TPH 항목은 최고농도가 5,327 mg/kg이었고 3개 지점, 6개 시료에서 토양오염우려기준(2,000 mg/kg, 3지역)을 초과하였으며 2개 지점, 4개 시료에서 토양오염우려기준의 40 %를 초과하였다.

분석결과를 바탕으로 대상 부지의 토양오염 우려기준 ‘3지역’을 적용하여 토양오염면적과 부피를 산정하였으며, 토양오염면적과 부피는 각각 409.5 m², 815.3 m³로 추정된다.

대상 부지는 현재 ‘철도’ 용지로 현재 주유소를 운영하고 있으며, 컨테이너 야적장 내 위치하고 있어 대형 차량의 진출입이 활발하여, 부지 내 정화시설의 설치·운영이 불가하다.

따라서, ‘토양환경보전법’ 제15조의3제3항에 의거하여 부지 외 반출정화를 제안하며, 오염 항목이 유류임을 고려할 때 적용 가능한 공법으로 토양경작법, 화학적산화/환원법 및 열탈착법으로 추천한다.