[별표 1]

# 세 부 검 증 방 법(제7조제2항 관련)

## 1. 일반사항

토양정화 검증은 정화방법에 따라 크게 현장 내(on site)와 현장 외(off site) 정화로 구분하고, 현장 내(on site) 정화는 오염토양 굴착 여부에 따라 지중(in-situ) 및 지상(ex-situ) 처리로 구분하여 수행한다. 정화방법에 따른 검증절차는 아래와 같다.

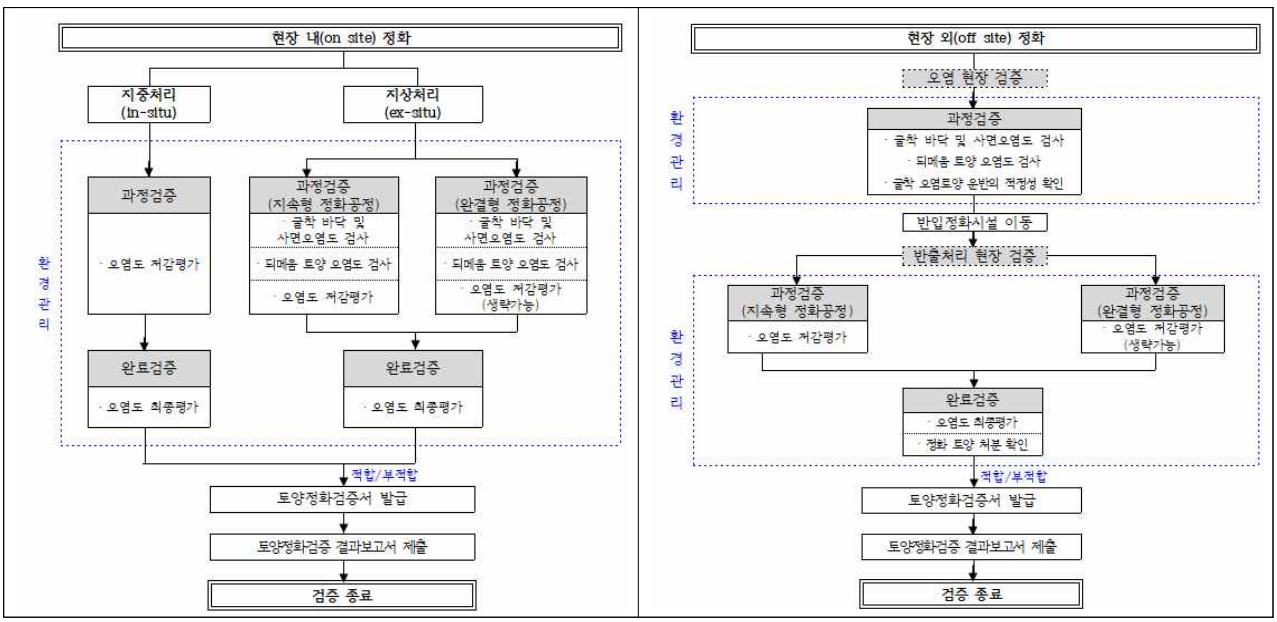



**그림 1. 정화방법에 따른 검증절차**

검증의 신뢰성이 훼손되지 않는 범위에서 검증기관의 판단에 따라 다음의 사항은 일부 조정되어 수행될 수 있다.

가. 굴착 바닥 및 사면 오염도 검사 깊이

나. 되메움토양 검사항목

다. 완결형 정화방법(토양세척법, 열탈착법 등)에 대한 오염도 저감평가 생략 여부

라. 지하수 시료채취 및 분석 여부

마. 검증 시료 수 등

다만, 되메움토양 검사항목과 검증 시료 수를 일부 조정하는 경우는 조정 사유와 이를 증명할 수 있는 자료를 토양정화검증 결과보고서에 포함하여 작성 · 제출하여야 한다.

## 2. 현장 내(on site) 정화에 대한 검증

### 가. 지중처리(in-situ) 검증

#### (1) 과정검증

##### ① 오염도 저감평가

정화 처리과정 중에 있는 토양시료를 채취하고 분석하여 오염도 저감 정도를 평가하는 단계이다. 과정검증을 통하여 최초 오염도 또는 정화 목표 대비 저감 정도를 판정한다. 과정검증에 요구되는 시료 수는 <표 1>에 따라 산정된 완료검증 시료 수의 30% 이상으로 한다. 토양정화계획서 상의 오염범위(면적 및 깊이)를 대상으로 적용 중인 정화기술의 특성과 처리 소요 기간, 오염농도 수준 등을 고려하여 오염의 잔류가 주로 예상되는 지점을 중심으로 산정된 시료 수를 배분하여 토양시료를 채취하고 오염도를 평가한다.

#### (2) 완료검증

##### ① 오염도 최종평가

정화 처리완료 여부를 최종 판정하기 위하여 토양시료를 채취하고 분석하여 오염도를 최종 평가하는 단계이다. 토양정화계획서상의 오염 면적(중복 면적 제외)을 기준으로 <표 1>에 따라 시료 채취 지점수를 산정한 후 과정검증 결과를 고려하여 오염의 잔류가 주로 예상되는 지점을 중심으로 산정된 시료 수를 배분하여 토양시료를 채취하고 오염도를 최종평가한다.

## <표 1> 면적 기준 시료채취 지점수 산정방법

| 면 적(㎡) | 지 점 수(점) | 격자간격(m) |
|---|---|---|
| 500미만 | 5이상 | 10～14이내 |
| 500이상~1,000미만 | 6이상 | 13～17이내 |
| 1,000이상~2,000미만 | 7이상 | 18～22이내 |
| 2,000이상~3,000미만 | 9이상 | 20～24이내 |
| 3,000이상~4,000미만 | 11이상 | 21～25이내 |
| 4,000이상~5,000미만 | 13이상 | 21～25이내 |
| 5,000이상~6,000미만 | 15이상 | 22～26이내 |
| 6,000이상~7,000미만 | 17이상 | 22～26이내 |
| 7,000이상~8,000미만 | 19이상 | 22～26이내 |
| 8,000이상~9,000미만 | 20이상 | 23～27이내 |
| 9,000이상~10,000미만 | 21이상 | 24～28이내 |
| 10,000이상~15,000미만 | 25이상 | 27～31이내 |
| 15,000이상~20,000미만 | 30이상 | 29～33이내 |
| 20,000이상~25,000미만 | 35이상 | 30～34이내 |
| 25,000이상~30,000미만 | 40이상 | 30～34이내 |
| 30,000이상~35,000미만 | 45이상 | 31～35이내 |
| 35,000이상~40,000미만 | 50이상 | 31～35이내 |
| 40,000이상~45,000미만 | 52이상 | 33～37이내 |
| 45,000이상~50,000미만 | 55이상 | 34～38이내 |

<비고>

가) 오염면적이 50,000㎡ 이상일 경우에는 면적을 50,000㎡ 단위로 나누고, 각각의 면적에 대해 상기 기준을 적용하여 시료 채취 총 지점 수를 결정한다.

나) 각 시료 채취 지점의 오염 심도에 1m를 연장한 총 깊이(m)를 구하고 이를 1m 간격으로 나누어 지점별 채취 시료 수를 구한다. 각 지점별 채취 시료를 합산하여 전체 완료검증 시료 수를 결정한다.

다) 시료 채취 지점 수와 완료검증 시료 수를 결정하기 위해서 토양정화계획서에 기재된 오염 면적(중복 면적 제외), 지점별 오염 심도 및 오염분포 등을 확인해야 한다.

## 나. 지상처리(ex-situ) 검증

### (1) 과정검증

#### ① 굴착 바닥 및 사면 오염도 검사

오염 토양을 굴착 한 후 현장 내 지상처리하는 경우 굴착 바닥과 사면의 토양시료를 채취·분석하여 오염도를 평가함으로써 굴착의 적정성을 확인하여야 한다. 굴착 바닥 및 사면의 오염도를 평가하기 위해 요구되는 시료 채취 지점수를 산정하기 위해서 굴착된 지역의 바닥과 사면의 합산 면적(중복 면적 제외)을 자료 또는 실측을 통하여 확인한 후 <표 1>에 따라 산정한다. 각 시료 채취 지점에서 1개 이상 시료를 채취하되 시료 채취 심도는 현장 상황을 고려하여 검증기관이 판단하여 수행한다. 굴착 지역에서 다수의 오염 징후가 발견되는 등 오염토양 굴착 상태가 불량한 경우는 바닥과 사면을 구분하여 시료 수를 산정할 수 있으며, 동일 현장 내에 굴착 지역이 구분되어 있을 시는 각각의 굴착 지역에 대하여 시료 수를 별도 산정하고 검사를 수행한다. 부지 경계 지역, 고농도 오염지역, 오염확산 방향 등 오염의 특성과 분포를 고려하여 굴착 후 오염의 잔류가 의심되는 지점을 중심으로 산정된 채취 시료 수를 배분하여 오염도를 평가한다. 굴착 바닥 및 사면 오염도 검사에서는 오염도 평가와 함께 자료 및 현장 확인을 통한 굴착 오염토양의 현장 내 분류, 야적, 보관, 이송 여부의 적정성을 확인해야 한다.

#### ② 되메움토양 오염도 검사

오염토양 굴착 지역을 정화 현장 외부 또는 현장 내부 여타 지역(토양오염이 확인되지 않은 지역)에서 반입된 토양으로 되메울 때는 되메우기 전에 토양오염물질 전체 항목에 대한 토양오염우려기준 충족 여부를 검사한다. 이 경우 되메우는 토양이 동일한 장소에서 채취된 토양이 아니라면 채취된 장소별로 구분하여 검사한다. 되메움토양의 채취 장소, 오염 개연성(이력, 토색, 냄새 등) 등 관련 정보에 근거하여 검증기관의 판단하에 토양오염물질 전체 항목 중 일부를 조정하여 검증할 수 있다. 당해 부지에서 굴착된 후 정화 및 검증을 완료한 토양으로 되메우는 경우와 현장 외에서 적법한 절차에 따라 정화완료된 토양으로 되메우는 경우는 완료

검증 결과로 되메움토양 오염도 검사를 대체할 수 있다. 검증 대상 토양 시료 수는 <표 2>에 따라 산정된 시료 수의 10% 이상이어야 한다. 다만, 되메움토양의 부피가 200㎥ 미만일 때는 최소 1개 이상의 시료를 채취하여 검증한다.

**③ 지속형 정화방법에 대한 오염도 저감평가**

오염토양을 굴착하여 현장 내에서 토양경작, 바이오파일, 퇴비화 등 지속형 정화방법(정화완료 시점까지 오염저감에 대한 경시적 변화 관찰이 필요한 방법)을 통하여 오염을 처리하는 경우에 수행한다. 정화가 진행 중인 적치토양에서 시료를 채취하고 분석하여 최초 오염도 또는 정화 목표 대비 저감 정도를 판정한다. 오염도 저감평가에 요구되는 시료 수는 <표 2>에 따라 산정된 최소 시료 수의 30% 이상이어야 한다. 적치토양 검증의 신뢰성 향상을 위해 2m 이내로 토양이 적치된 상태에서 검증을 수행해야 한다.

**④ 완결형 정화방법에 대한 오염도 저감평가**

오염토양을 굴착하여 현장 내에 토양세척법, 열탈착법 등 완결형 정화방법(정화완료 시점까지 오염의 경시적 변화 관찰이 필요하지 않고 1회 공정 과정을 통해 정화완료를 달성하고자 하는 방법)을 사용하는 경우에는 과정 검증 절차 중 오염도 저감평가를 생략할 수 있다. 단, 높은 오염 잔류 개연성 등 필요시 검증기관의 판단에 따라 오염도 저감평가를 생략하지 않는 경우 위의 ③ 지속형 정화방법에 대한 오염도 저감평가와 같은 절차로 수행한다.

**(2) 완료검증**

**① 지속형 정화방법에 대한 오염도 최종평가**

오염토양을 굴착하여 현장 내에서 토양경작, 바이오파일, 퇴비화 등 지속형 정화방법을 사용하는 경우에 수행한다. 정화완료 여부 판정을 위하여 정화공정이 완료된 적치토양에서 시료를 채취 · 분석하여 오염도를 최종 평가한다. 오염도 최종평가에 요구되는 시료 수는 <표 2>에 따라 산정한다. 검증의 신뢰성 향상을 위해 2m 이내로 토양이 적치된 상태에서 검증을 수행해야 한다.

### ② 완결형 정화방법에 대한 오염도 최종평가

오염토양을 굴착하여 현장 내에서 토양세척법, 열탈착법 등 완결형 정화방법을 사용하는 현장에서 수행한다. 정화완료 여부 판정을 위하여 정화공정이 완료된 적치토양에서 시료를 채취·분석하여 오염도를 최종 평가한다. 오염도 최종평가에 요구되는 시료 수는 <표 2>에 따라 산정한다. 과정검증 절차 중 오염도 저감평가가 생략된 현장의 경우 검증기관의 판단에 따라 생략된 해당 절차에 요구되는 최소 시료 수를 오염도 최종평가 시료 수에 더하여 수행할 수 있다. 검증의 신뢰성 향상을 위해 2 m 이내로 토양이 적치된 상태에서 후 검증을 수행해야 한다.

**<표 2> 적치토양 부피 기준 시료채취 시료수 산정방법**

| 적치 토양 부피(㎥) | 시료 수(개) | 비 고 |
|---|---|---|
| 75미만 | 3 이상 | · 적치토양 부피 200 ㎥ 미만 일 때 시료 수 산정 구간 |
| 75이상~100미만 | 4 이상 | |
| 100이상~125미만 | 5 이상 | |
| 125이상~150미만 | 6 이상 | |
| 150이상~175미만 | 7 이상 | |
| 175이상~200미만 | 8 이상 | |
| 200이상~300이하 | 10 이상 | · 적치토양 부피 200 ㎥ 이상일 때 시료 수 산정 구간<br>· 적치토양의 부피가 5,000 ㎥ 초과할 때 시료 수 산정방법 : 적치토양 부피(㎥) ÷ 250 ㎥ |
| 300초과~400이하 | 10 이상 | |
| 400초과~500이하 | 10 이상 | |
| 500초과~600이하 | 10 이상 | |
| 600초과~700이하 | 10 이상 | |
| 700초과~800이하 | 10 이상 | |
| 800초과~900이하 | 10 이상 | |
| 900초과~1,000이하 | 10 이상 | |
| 1,000초과~1,500이하 | 10 이상 | |
| 1,500초과~2,000이하 | 10 이상 | |
| 2,000초과~2,500이하 | 10 이상 | |
| 2,500초과~3,000이하 | 12 이상 | |
| 3,000초과~4,000이하 | 16 이상 | |
| 4,000초과~4,500이하 | 18 이상 | |
| 4,500초과~5,000이하 | 20 이상 | |

## 3. 현장 외(off site) 정화에 대한 검증

### 가. 오염 현장 검증

#### (1) 과정검증

##### ① 굴착 바닥 및 사면 오염도 검사

오염토양을 굴착한 후 운반하여 현장 외에서 처리하는 경우 굴착 바닥과 사면의 토양시료를 채취·분석하여 오염도를 평가함으로써 굴착의 적정성을 확인하여야 한다. 굴착 바닥 및 사면 오염도 검사방법은 현장 내(on site) 정화의 지상처리(ex-situ) 과정검증에서 수행하는 방법과 동일하다.

##### ② 되메움토양 오염도 검사

되메움토양 오염도 검사방법은 현장 내(on site) 정화의 지상처리(ex-situ) 과정검증에서 수행하는 방법과 동일하다.

##### ③ 굴착 오염토양 운반의 적정성 확인

굴착된 오염토양을 오염 현장 밖으로 운반하는 경우, 검증기관은 토양정화업자로부터 반출오염토양 전산관리시스템 입력자료(인계번호, 운반차량번호, 정화장소, 오염토양의 양 등에 관한 정보)를 제출받아 굴착된 오염토량이 적정하게 정화 장소로 운반되는지를 확인한다.

### 나. 반출정화 현장 검증

#### (1) 과정검증

##### ① 지속형 정화방법에 대한 오염도 저감평가

오염토양을 굴착하여 현장 외에서 토양경작, 바이오파일, 퇴비화 등 지속형 정화방법을 사용하는 경우에 수행한다. 오염도 저감평가에 요구되는 시료수는 <표 2>에 따라 산정된 최소 시료 수의 30 % 이상이어야 한다. 검증의 신뢰성 향상을 위해 2m 이내로 토양이 적치된 상태에서 검증을 수행해야 한다.

##### ② 완결형 정화방법에 대한 오염도 저감평가

오염토양을 굴착하여 현장 외에서 토양세척법, 열탈착법 등 완결형 정화

방법을 사용하는 경우에는 오염도 저감평가를 생략할 수 있다. 높은 오염 잔류 개연성 등 필요시 검증기관의 판단에 따라 오염도 저감평가를 생략하지 않는 경우 위의 ① 지속형 정화방법에 대한 오염도 저감평가와 같은 절차로 수행한다.

### (2) 완료검증

#### ① 지속형 정화방법에 대한 오염도 최종평가

오염토양을 굴착하여 현장 외에서 토양경작, 바이오파일, 퇴비화 등 지속형 정화방법을 사용하는 경우에 적용한다. 정화완료 여부 판정을 위하여 정화공정이 완료된 적치토양에서 시료를 채취·분석하여 오염도를 최종평가한다. 오염도 최종평가에 요구되는 시료 수는 <표 2>에 따라 산정한다. 검증의 신뢰성 향상을 위해 2m 이내로 토양이 적치된 상태에서 검증을 수행해야 한다.

#### ② 완결형 정화방법에 대한 오염도 최종평가

오염토양을 굴착하여 현장 외에서 토양세척법, 열탈착법 등 완결형 정화방법을 사용하는 현장에 적용한다. 정화완료 여부 판정을 위하여 정화공정이 완료된 적치토양에서 시료를 채취·분석하여 오염도를 최종평가한다. 오염도 최종평가에 요구되는 시료 수는 <표 2>에 따라 산정한다. 과정검증 절차 중 오염도 저감평가가 생략된 현장의 경우 검증기관의 판단에 따라 생략된 해당 절차에 요구되는 최소 시료 수를 오염도 최종평가 시료 수에 더하여 수행할 수 있다. 검증의 신뢰성 향상을 위해 2m 이내로 토양이 적치된 상태에서 검증을 수행해야 한다.

#### ③ 정화토양 처분 확인

자료검토 및 현장확인을 통하여 정화된 토양이 적법하게 처분되었는지를 판정한다. 이 경우 필요시 처분과 관련된 확인서, 사진 등 관계서류를 참고할 수 있다.

## 4. 공통사항

### 가. 환경관리

토양정화 현장에서 폐기물, 폐수, 폐가스, 소음 및 진동에 대한 적정 관리 여부를 관련 자료 검토와 현장 확인을 통하여 판정한다.

### 나. 재검사 및 시료 수

굴착 바닥 및 사면 오염도 검사, 되메움토양 오염도 검사 그리고 완료검증의 오염도 최종평가 결과가 토양오염우려기준 또는 정화기준을 초과하는 경우는 추가적인 정화처리 과정을 거친 후 정화책임자의 요청에 따라 재검사를 수행할 수 있다. 굴착 바닥 및 사면 오염도 검사와 현장 내 지중처리 오염도 최종평가에 대한 재검사는 토양오염우려기준 또는 정화기준 초과 지점에 한정하여 수행할 수 있다. 되메움토양 오염도 검사와 오염도 최종평가에 대한 재검사는 최초 검증에서 산정된 시료 수를 동일하게 적용하여 수행한다.

### 다. 재검증 시료 수

이전에 실시된 완료검증에서 정화완료가 확인된 부분을 제외한 나머지를 대상으로 시료 수를 <표1> 또는 <표2>에 따라 산정하여 재검증을 수행할 수 있다.

### 라. 토양정화검증서 발급 요건

현장 내 정화의 경우에는 완료검증의 오염도 최종평가가 완료된 후 토양정화검증서를 발급할 수 있고, 현장 외 정화의 경우에는 오염도 최종평가와 정화토양의 처분 적정성이 확인된 경우에 토양정화검증서를 발급한다.

### 마. 검증 보조지표 확인(선택사항)

토양정화업자와 토양정화검증기관은 토양정화공사가 설계에 따라 적합하게 운용되었음을 판단하기 위하여 <표 3>과 <표 4>의 검증 보조지표를 확인할 수 있다.

## <표 3> 검증 보조지표(정화방법별 토양정화업자 자가 점검 항목)

| 정화방법 | 토양정화업자 자가 점검 항목 |
|---|---|
| 토양세척법 | 공정 슬러지 입경, 세척 공정수 오염농도, 공정슬러지 수분함량, 세척제 사용량 |
| 토양경작법 | 종속 영양 미생물 수, 토양 pH, 질소/인 함량, 토성 |
| 열탈착법 | 연료 사용량, 압력측정계 설치 여부, 배출가스 연속측정 결과, 종속 영양미생물 수, 유기물함량, 토성 |
| 토양세정법 | 세정액 추출정에서의 오염물질농도, 세정액 주입 및 추출 유압/유량, 배관압력 및 밸브 개·폐 점검, 지하수 수위 |
| 화학적산화법 | 토양 산화환원 전위, $NO_3^-$, $SO_4^{2-}$ 농도 |
| 토양증기추출법 | 추출관정 휘발성유기화합물(이하 VOCs), 공기추출 유압/유량, 영향반경, 배관입력 및 밸브 개·폐 점검, 지하수 수위/자유상유류 |
| 동전기법 | 토양 pH, 적용 전압/전류, 전해질 pH, 전극 부식 상태, 전력 소모량 |

## <표4> 검증 보조지표(검증기관 정화방법 적용 여부 확인 기준)

| 정화방법 | 지 표 | 정화방법 적용 여부 확인 기준 |
|---|---|---|
| 토양 세척법 | 세척공정 수 오염물질 농도 | 세척 후 공정수 중 해당 오염물질이 불포함되어 있는 경우 중대한 결함 개연성 높음 |
| | 공정슬러지 입경 | 정화설계 입경 이상의 입자 함량이 10% 이하(30% 초과는 중대한 결함 개연성 높음) |
| | 공정슬러지 수분함량 | 70% 이하 |
| 토양 경작법 | 종속 영양 미생물 수 | $10^6$CFU/g soil 이상($10^3$CFU/g soil 미만의 경우는 중대한 결함 개연성 높음) |
| | 토양 pH | 토양 pH 6~8(pH 4 미만 또는 pH 9 이상은 중대한 결함 개연성 높음) |
| | 토성 | 공정 중에 다른 토양의 유입과 입자 분리 공정이 없으므로 토성 변화 없음(토성 변화가 발생 시 중대한 결함 개연성 높음) |
| 열탈착법 | 종속 영양 미생물 수 | 열처리 방법이므로 처리된 토양에서 종속 영양 미생물 수의 감소가 없는 경우는 중대한 결함 개연성 높음 |
| | 유기물함량 | 열처리 방법이므로 처리된 토양에서 유기물 함량의 감소 경향 확인 필요 |
| | 토성 | 공정 중에 다른 토양의 유입과 입자 분리 공정이 없으므로 토성 변화 없음(토성 변화가 발생 시 중대한 결함 개연성 높음) |
| 토양세정법 | 세정액 오염물질 농도 | 세정액 중에서 오염물질이 검출되지 않은 경우 중대한 결함 개연성 높음 |
| 화학적 산화법 | $NO_3^-$, $SO_4^{2-}$ 농도 | 산화 처리 시 질소 및 황산화물 증가 경향 확인 필요 |
| | 토성 | 공정 중에 다른 토양의 유입과 입자 분리 공정이 없으므로 토성 변화 없음(토성 변화가 발생 시 중대한 결함 개연성 높음) |

| 정화방법 | 지 표 | 정화방법 적용 여부 확인 기준 |
|---|---|---|
| 토양 증기추출 | 추출관정 VOCs(PID 등 간이측정 장비 활용 가능) 농도 | 토양정화업자 일반 모니터링 자료와의 부합성 여부 확인 |
| | 자유상 유류 두께 | 감소 경향이 없는 경우는 중대한 결함 개연성 높음 |
| 동전기법 | 전기삼투 용출액 중의 오염물질 함량 | 전기삼투 용출액 중에 오염물질이 불포함 되어 있는 경우 중대한 결함 개연성 높음 |
| | 토양 pH 분포 | 전극봉 주변 토양 pH가 강산 또는 강알칼리를 나타내는 경우 동전기 효율 저하로 판단 |

**비고. 2개 이상의 정화방법을 혼합 적용한 경우 각 정화방법별 지표를 확인함**

## 바. 지하수 연계 검토

지하수 현황을 고려하여 시료채취 및 분석 후 의견을 제시한다. 단 특정토양오염관리대상시설 관련하여서는 지하수법 시행규칙 별표 8을 참고한다.

## 사. 재오염 가능성 지역 확인

토양정화 완료 후 향후 재오염 가능성이 있다고 판단되는 경우 관련 내용을 토양정화검증 결과보고서에 증빙자료를 포함하여 상세히 기술한다.