

주민 설명회

## 캠프 마켓 정화방안 연구용역 (안)

2017. 12. 06.

국 방 부 · 한 국 환 경 공 단

## ☐☐ 목 차 ☐☐

I . 연구 용역 개요 .....	1
II . 정화대상 .....	4
III . 오염토양정화 개관 .....	5
IV . 정화방안 검토기준 .....	6
V . 다이옥신 오염정화 방법 .....	7
VI . 중금속 등 오염정화 방법 .....	11
VII . 추진상 고려사항 .....	13

# I. 연구용역 개요

---

## □ 추진배경

- 정부는 지난 10월 27일 반환예정 미군기지 캠프 마켓 환경오염 정보공개를 실시한 이후,
  - 주민안전이 최우선임을 고려, 신속한 정화가 필요하여 주민건강보호와 주민우려 해소를 위해 다이옥신류 오염지역을 우선 정화하기로 하였음.
  - 따라서 지역주민과 전문가 등의 의견을 적극 수렴하여 빠른 시일 내에 다이옥신류 오염토양에 대하여 적절한 조치를 실시할 예정임
- ※ 주민의 안전과 신속한 정화를 위한 사전준비로 향후 정화업무 시행기관인 한국환경공단에서 용역발주**

## □ 정화방안 연구용역

- 연구과제 : '캠프 마켓 다이옥신 등 복합오염토양에 대한 합리적인 정화방안 수립'
- 연구기간 : '17. 8월 ~ 12월(5개월)
- 발주기관 : 한국환경공단
- 용역기관 : 한국지하수토양환경학회
- 주요내용
  - 오염물질별 정화방법 및 정화사례
  - 구체적 추진 방안
  - 추진시 유의사항
  - 결론 및 제언

## □ 향후 계획

- '17. 12월 20일, 연구용역 완료
- '17. 12월 중순(예정), 지역주민 및 환경전문가 공청회
- 주민공청회 등을 거쳐 정화방안 결정
- 다이옥신 등 복합물질 사전 소량 정화시험
- 정화방안 검증·보완
- 업체 선정, 계약 및 정화 실시

## II. 정화대상

---

- 캠프 마켓 기지 오염은 다이옥신과 토양오염물질(유류계, 중금속 8종 등)에 의해 복합적으로 오염되어 있음.
  
- 주민건강보호와 우려 해소를 위하여 다이옥신 오염지역 우선 정화
  - 다이옥신 오염지역을 제외한 지역은 기지 반환 후 정화 실시
  
- 해당지역 내 주민 건강에의 영향을 최소화하기 위하여 다이옥신을 포함한 발견된 모든 오염물질을 정화하는 것이 바람직함.

### Ⅲ. 오염토양정화 방법 개관

---

#### □ 정화방법 : 환경부 고시 제2016-18호

- 생물학적 처리방법 : 미생물 등을 이용하여 오염토양을 정화하는 방법  
예) 토양경작법, 식물재배정화법 등
- 물리적·화학적 처리방법 : 물리·화학적 작용을 통해 토양을 정화하는 방법  
예) 토양세척법, 화학적 산화/환원법 등
- 열적처리방법 : 전기나 열을 가하여 오염토양을 정화하는 방법  
예) 열탈착법, 소각법 등
- 복합처리방법 : 상기 방법 중 2가지 이상을 조합하여 처리하는 방법  
예) 열탈착법+토양세척법 등

※ **다이옥신을 안전·신속하게 정화할 수 있는 방안을 우선 결정하고, 기타 오염물질 정화방안을 강구하는 것이 바람직 함.**

## IV. 정화방안 검토기준

---

### □ 기술적 측면

- (타당성) 기술적으로 목표한 정화수준의 달성이 가능한가?
- (신뢰성) 상용화된 기술인가, 실제 적용한 사례가 있는가?
- (효율성) 정화속도(기간)와 투입비용 측면에서 유리한가?
- (적용성) 타 공법과 연계 가능한가, 정화대상이 포괄적인가?

### □ 법률적 측면

- 현행 환경관련법령에 부합되는가?

※ 국내적용사례가 없는 다이옥신 정화방안은 주민의 안전을 고려, 타당성·신뢰성에 중점을 두고, 국내에 널리 활용되고 있는 중금속 등 정화방안은 효율성·적용성에 중점을 두어 검토하는 것이 바람직 함.

## V. 다이옥신 오염정화 방법

---

### □ 정화방법 【 참고 #1 참조 】

- (열적처리방법) 난분해성 유기오염물질 처리에 많이 사용되는 정화방법으로, 열을 이용하여 오염토양으로부터 오염물질을 분리하는 방법
- (방사선분해법) 고에너지 전자빔과 감마선의 형태인 전리방사선을 이용한 고에너지원이 다이옥신을 무해한 물질로 변형, 정화하는 방법
- (아임계수 처리법) 유기용매와 비슷한 성질의 아임계수를 이용하여 토양내 다이옥신을 추출하여 제거하는 방법

- (광분해법) 태양에 의한 광분해를 통해 다이옥신을 제거하는 방법
- (용매와 액화기체 추출법) 용매와 액화기체를 사용하여 물리화학적으로 토양이나 침전물에서 유기 오염물질을 분리·농축하여 제거하는 방법
- (증기증류법) 전자기파를 이용, 열을 발생시켜 다이옥신을 탈착하는 방법
- (기계화학적 방법) 기계에서 발생한 역학적 에너지를 오염토양에 전달시켜 정화하는 방법
- (생물학적 분해) 생물학적 방법을 활용하여 난분해성 오염물질을 정화하는 방법

## □ 다이옥신 해외 정화사례

- 베트남, 다낭공항('13년 ~ 현재) → 열탈착법
    - 별도 적치시설에 지중 파이프를 설치, 700 ~ 800℃의 고열로 가열하여 반응로 평균 온도를 335℃ 이상으로 유지하여 제거(9만m<sup>3</sup>)
  - 홍콩, 란타우섬 페니베이('02년 ~ '05년) → 열탈착법
    - 다이옥신 등 복합오염물질을 열탈착 공법 적용 정화(8.7만m<sup>3</sup>)
  - 호주, 홈부시 만('01년) → 열탈착법
    - 유니온 카바이트 생산공장의 다이옥신 등 매립 폐기물을 열탈착법으로 정화
  - 미국, 폭스 강 하류('02년) → 유리 용광로 기술 처리
    - 준설된 다이옥신 등 복합물질을 건조 후 유리화 하여 처리
- ※ 다이옥신에 대한 국내 정화사례는 없음.

## 【해외 정화사례】



베트남, 다낭공항 정화현장



홍콩, 란타우섬 정화현장

## VI. 중금속 등 오염정화 방법

---

### □ 국내 상용화된 방법

- (토양세척법) 세척제를 사용하여 토양입자에 결합되어 있는 중금속을 분리하는 방법으로, 빠른 시간내 처리할 수 있는 장점이 있으며, 타 공정과 복합적으로 사용할 경우 활용도가 높아질 수 있음.
- (식물재배정화법) 식물을 이용하여 오염토양 및 지하수를 정화하는 공법으로 친환경적이긴 하나, 처리기간이 오래 소요되고, 정화효과 규명이 불명확함.
- (고형화/안정화법) 오염토양에 고형화제를 첨가하여 오염물질의 이동성을 낮추고, 화학적으로 무해한 형태로 처리하는 공법으로, 오염물질을 제거하는 것이 아니라 재용출 등의 가능성이 있으므로 현행법상 정화방법에서 제외됨.
- (동전기법) 이온상태의 오염물을 전기장에 의하여 이동속도를 촉진시켜 오염토양을 처리하는 방법으로, 경제성이 낮고 단독 적용 불가

## □ 국내 정화사례

- 반환미군기지 환경오염정화시 토양경작법과, 토양세척법을 주로 적용
  - 춘천 캠프 페이지(열탈착법+토양세척법), 동두천 캠프 캐슬 등(토양 세척법)
- 장항제련소 주변지역 환경오염정화시 토양세척법 적용



캠프 페이지, 토양세척 시설



장항제련소, 토양세척시설

## VII. 추진상 고려사항

---

### □ 주민안전대책 강구

- 주민의 건강을 최우선적으로 고려하여 다이옥신 오염지역에 안전차단막(돔) 설치
- 정화실행간 대기환경 모니터링을 실시하여 실시간 지역주민에게 공개
- 열탈착 공법 적용간 연소시 발생하는 배기가스 처리

### □ 정화과정의 투명한 진행

- 정화사업 단계별 사업내용을 공개하여 투명성을 확보하고, 지역주민과의 소통 창구의 역할을 할 수 있는 '협의체 운영'
- 정화사업 시작 전에 주민대상으로 사업설명회 별도 실시, 정화사업과 관련한 정확한 계획과 정보를 공개
- 정화 착수 후, 다이옥신 오염량 및 대기오염 모니터링 결과 등을 공개

## □ 정화장소의 문제

- 기지내부 또는 기지외부 정화방안을 검토할 수 있으나,
- 기지외부 정화방법 고려시
  - 1) 현장정화가 원칙인 현 법령 상의 문제점과 【참고 #2】 ,
  - 2) 해당지역 주민들의 강한 반발이 예상되므로 적절한 지역의 선정이 어렵고, 또한 장기간 소요가 예상된다는 점,
  - 3) 국내 정화시설 중 다이옥신 정화능력이 검증된 시설이 확인되지 않았다는 점 등을 고려하여 신중하게 판단해야 함.

## □ 정화방안의 신뢰성 검증 (Pilot Test)

- 제시한 정화방안은 사전 소량 정화시험 등 테스트 과정을 거쳐 문제점을 보완 후 추진할 필요가 있으며,
- 테스트 전 과정은 전문가·지역주민에게 투명하게 공개해야함.

## 【 참고 #1. 다이옥신 정화방법 】

공 법	세 부 내 용
1. 방사선 분해법	<p>고에너지 전자빔과 감마선의 형태인 전리방사선을 이용한 고 에너지원이 다이옥신을 무해한 물질로 변형시키는 기술이다. 100 ppb 농도의 2,3,7,8-TCDD로 인공 오염시킨 토양에 25%의 수분함량을 유지하고 2%의 계면활성제(RA-40)를 첨가하여 고선량 감마선(800 kGy)을 조사 하였을 때, TCDD의 92%가 분해되었고, 토양잔류 TCDD 최종 농도를 7 ppb보다 낮게 유지할 수 있게 하였다는 연구결과가 있다. 이는 토양에 결합되어있는 TCDD를 방사선으로 분해가 가능함을 보여 준 것이다. 이때, 계면활성제는 TCDD 분자를 토양 내에서 반응이 유리하도록 분산시켜, 오염물질의 방사분해가 더 효과적으로 일어날 수 있도록 하는 역할을 한다. 전자빔 방사선 분해시 오염물질의 분해능을 향상하기 위해 촉진물질(활성탄, Cu<sub>2</sub>O)을 첨가할 수 있다.</p>
2. 아임계수 처리법	<p>임계점 이하의 온도 압력인 물을 아임계수라 하고, 유기용매와 비슷한 성질을 가지고 있어 오염토양 정화 시 유익한 물질로 사용할 수 있다. 이 물질은 토양과 침전물에 존재하는 PCBs 와 다른 유기오염물질을 추출하는데 사용 되었고, 다이옥신 오염토양에서 다이옥신을 추출하여 제거하는데 응용될 수 있다. 이 방법을 이용하여 350도 30분 내에서, 99.4% 이상의 다이옥신을 추출할 수 있으며, 이보다 낮은 온도에서 반응시킬 경우에는 훨씬 긴 시간이 필요하다. 주된 반응은 탈염소화이며, PCDDs의 환원성 탈염소화 (reductive dechlorination) 효율을 높이기 위하여 영가 철 (zero-valent iron, Fe<sup>0</sup>)을 사용한다. 국내에서 잔류성 유기오염물질에 상용화된 사례는 보고되지 않고 있다.</p>

공 법	세 부 내 용
3. 열탈착법	<p>국내에서 난분해성 유기오염물질 처리에 많이 사용되는 정화방법으로, 열을 이용하여 오염토양으로부터 오염물질을 물리적으로 분리하는 방법이다. 일반적인 열탈착법은 오염물질이 휘발되거나 물리적으로 토양으로부터 분리 (탈착)될 수 있도록 토양을 충분한 온도 (320~560℃)까지 가열한다. 다이옥신에 오염된 토양의 정화를 위해 직접가열식(direct heating) 열탈착장치의 지역연소방식(zone combustion method)를 기본으로, 안정되고 충분히 높은 온도(700℃ 이상) 유지 구간에서 다이옥신을 효과적으로 탈착 제거할 수 있다. 실험실 규모의 토양으로부터 98.9%이상의 다이옥신을 제거할 수 있는 것으로 보고된바 있다. 오염토양을 건조시키거나 입자를 작게 만들거나, 또는 석회석을 추가하면 제거효율이 증가된다.</p>
4. 광분해법	<p>적당한 조건에서 태양에 의한 광분해를 통해 다이옥신을 제거하는 방법이다. 광분해법은 오염토양 표면에 저 독성의 유기용매를 살포하고 태양광선 아래에서 광분해가 일어나도록 방치한다. 다양한 용매 중에서, isooctane, hexane, cyclohexane등을 오염토양 표면에 살포하면 광분해에 의해 다이옥신이 급격히 분해된다. 토양표면에 첨가한 저 독성 휘발성 용매가 증발하면서 토양 내에 존재하는 다이옥신이 대류현상을 통하여 토양 표면 쪽으로 이동하는 것이 이 기법의 중요 기작이다. 다만, 심토 중 오염물질 처리에 제한적이고 충분히 통제하는 환경에서 적용해야만 하는 한계점이 있다. 국내 적용사례는 보고된바 없다.</p>

공 법	세 부 내 용
<p>5. 용매와 액화기체 추출법</p>	<p>용매추출은 물리화학적으로 토양이나 침전물에서 유기 오염물질을 분리하여 농축하여 오염물질의 부피를 줄이는 기법이다. 액화기체 용매 추출법(liquefied gas solvent extraction, LG-SX)은 액화기체 용매를 이용하여 토양으로부터 유기물을 추출하는 방법으로 액화된 기체는 낮은 점도, 밀도와 표면장력을 가져 높은 추출 효율을 갖는 용매로 사용할 수 있다. 대표적인 액화기체 용매로는 액화 이산화탄소와 프로판으로 토양이나 침전물을 정화하는데 사용될 수 있다. 오염된 토양, 슬러리 혹은 폐수를 용매와 함께 추출계에 주입하여 처리하면, 보통 99%이상의 유기물질 추출효율이 보고되고 있다. 이 후, 용매와 유기물질을 분리하고, 용매와 유기물 혼합물은 용매회수 시스템으로 이동한다. 처리된 오염토양은 슬러리 형태로 추출계에서 방출되는데, 탈수를 통해 정화가 완료된다. 다만, 분리 추출된 용매의 회수와 재활용을 위한 별도 처리시설이 필요하다.</p>
<p>6. 증기증류법</p>	<p>마이크로파는 증기증류로 오염된 토양과 침전물을 처리하는데 효과적이다. 마이크로파는 파장범위 1mm-1m, 주파수 300 GHz-300 MHz사이의 주파를 가진 전자기파이다. 전자기파가 조사되면 피조사 물질 내부에서 열이 생성되는데, 에너지 전이가 아니라 에너지 전환이 일어나므로 그 가열속도는 매우 빠르다. 마이크로파는 시료를 관통하고 매체를 통하여 수분을 가열한다. 이렇게 발생된 증기는 휘발성 및 준 휘발성 유기오염물질을 직접 분해하지 않고 토양에서 탈착할 수 있다. 마이크로파 증기증류는 2,7-디클로로다이벤조-피-다이옥신(2,7-dichlorodibenzo-p-dioxin, DCDD) 오염토양에서 DCDD를 제거하는데 효과적인 것으로 알려졌다. 초기 DCDD 농도가 250µg/50 g인 토양에 20분 동안의 증기증류 기법을 적용하여 감소시킨 사례가 보고되고 있다.</p>

공 법	세 부 내 용
7. 기계화학적 방법	<p>이 기술은 사용하는 기계에 따라, 역학적 에너지가 밀링(milling) 본체에서 전단 응력(shear stress)나 압축을 통하여 처리대상 고체(토양) 입자에 전달된다. 밀링 에너지의 대부분이 열로 변환되고, 나머지 열은 과열, 스트레치와 압축을 유도거나, 반응을 일으키는데 사용된다. 기계화학적 분해법은 볼 밀(ball mill)을 사용하여 쉽게 적용할 수 있는데, 밀과 여과장치가 있는 세척조로 구성된 이동식 시설을 사용하여 유기성 폐기물을 처리할 수 있다. 기계화학적 탈염소화 방법을 사용하기 위해서는, 반응조 규모 결정을 위한 최적 조건을 찾아야 하는데, 유기폐기물 또는 오염토양의 탈염소화 반응속도와 분쇄상태(grinding condition) 사이의 상관관계를 파악하여야 한다. 실험실 규모에서는, PCBs 나 PCP(pentachlorophenol)과 같은 할로젠 화합물에서 무해한 염소와 바이페닐(biphenyl)로 90% 이상 탈염소화한 사례가 보고되고 있다.</p>
8. 생물학적 분해	<p>다이옥신, PCBs와 같은 잔류성유기오염물질은 생물학적으로 난분해성 오염물질이다. 생물학적 환경정화와 결합한 화학적 전처리를 적용하여 부분적인 산화를 실행함으로써 TCDD로 오염된 토양을 정화한 사례가 있다. 슬러리 반응조에서 TCDD를 생분해에 더 적합한 화합물로 변형시키려 Fenton 시료를 산화제로 사용한 실험에서 99% 이상의 TCDD가 변형되었음을 확인하였다. 그 후 슬러리 반응조는 생물학적 분해실험을 위한 생물반응기로 옮긴다. 이 연구를 통하여 두 단계, 즉 부분산화법+생분해 시스템으로 TCDD로 오염된 토양을 정화하는 기법개발 가능성이 발견되었다.</p>

## 【 참고 #2. 현장 정화에 대한 법령상 문제 】

### □ 토양환경보전법 제15조의 3(오염토양의 정화)

③ 오염토양을 정화할 때에는 오염이 발생한 해당 부지에서 정화하여야 한다. ~생략

### □ 토양환경보전법 시행규칙 제19조(반출정화대상)

다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 [법 제15조의3제3항](#) 단서에 따라 오염토양(토양오염도가 제1조의5에 따른 토양오염우려기준을 넘는 토양을 말한다. 이하 같다)을 반출하여 정화할 수 있다. <개정 2009.6.25., 2013.5.31., 2015.3.24.>

1. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 도시지역안의 건설공사 현장 등 [환경부장관이 정하여 고시하는](#) 경우
2. 토양오염물질 운송차량의 전복 등 긴급한 사고로 인한 오염토양으로서 즉시 처리하여야 하는 경우
3. 오염토양의 양이 5세제곱미터 미만으로서 현장에서 정화하는 때에는 정화효율이 현저하게 저하되는 경우
4. 영 제5조의2제2항, [제8조의3제2항 또는 제9조의2제1항](#)에 따라 오염토양의 정화 조치명령을 받은 자가 오염토양 정화공사를 시행하였으나 오염물질의 종류, 오염정도 및 기술적 한계 등으로 최초 조치명령기간 내에 이를 완료하지 못한 경우로서 [법 제15조의6제1항](#) 본문에 따른 토양오염조사기관의 정화과정 검증결과 반출하여 정화할 필요가 있다고 인정한 경우. 다만, [법 제15조의6제1항](#) 단서에 따라 정화과정에 대한 검증을 생략할 수 있는 경우에는 최초 조치명령기간 내에 본문에 따른 이유로 이를 이행하지 못하면 별도의 검증절차 없이 반출하여 정화할 수 있다.
5. 토양오염이 발생한 부지가 같은 시·군·구 내에 흩어져 있는 경우로서 오염부지의 소유자 또는 정화책임자가 같고 각각의 오염부지에 토양정화시설을 모두 설치하기 곤란하여 토양정화업자가 오염부지 중 어느 한 곳에 설치한 시설을 이용하여 한꺼번에 정화하는 경우(정화 대상 오염토양 전부를 하나의 토양정화업자에게 위탁한 경우만 해당한다)
6. 오염토양을 연구목적으로 이용하려는 경우로서 국립환경과학원장의 의견을 들어 환경부장관이 승인한 경우  
[전문개정 2005.6.30.]