

한국지하수토양환경학회 2004 Workshop (경주)

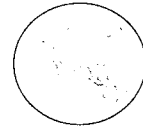
위해성에 근거한 오염토양 복원전략

“오염토양의 합리적 관리방안?”

2004년 2월 13일

남 경 필

서울대학교 지구환경시스템공학부



Soil Quality Laboratory, SNU

위해성에 근거한 복원전략 연구회

(2002.3. - 2003.2.)

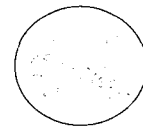
☞ 연구내용 :

1. 위해성에 근거한 오염토양 정화의 과학적 타당성
2. 오염원, 오염매질, 수용체의 특수성을 반영하는 방안
3. 위해성평가를 기초로 하는 복원전략

☞ 참가자 : 최상일, 이강근, 염익태, 배범한, 박재우,
안익성, 고석오, 남경필, 황인성, 이태윤

☞ 2003.2.14. 심포지움 개최 (경원대)

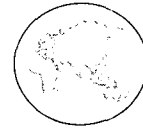
“위해성에 근거한 오염토양 복원전략”



Soil Quality Laboratory, SNU

발 표 순 서

1. 위해성에 근거한 복원전략 (RBRS)
2. 현행 오염토양관리 제도
3. 향후 개선안 (환경부)
4. RBRS를 이용한 오염토양관리 방안 (안)



Soil Quality Laboratory, SNU

위해성에 근거한 복원전략이란?

오염토양 복원을 위한 정화목표를
오염물질의 수용체에 대한 실질적인 위해성을 기준으로
설정하여 복원하려는 새로운 오염토양 관리 방안

- ☞ US EPA, 1996, Soil Screening Guidance
- ☞ ASTM, 2000, Standard Guide for Risk-Based Corrective Action



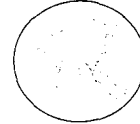
Soil Quality Laboratory, SNU

RBRBS의 필요성

토지이용용도와 오염물질의 실질적인 위해성을 기준으로
오염토양의 복원여부 및 정도를 결정하는
과학적, 경제적, 합리적인 복원기준을 설정하기 위함

☞ 현행제도의 문제점 :

현행 기준은 전국의 토지를 '가' 및 '나' 지역으로 구분하여 우려기준 초과 시 일률적인 수준으로 복원을 실시하도록 되어 있어 비경제적, 비합리적 복구사업의 우려가 있음

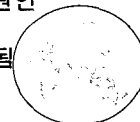


Soil Quality Laboratory, SNU

RBRBS의 과학적 타당성

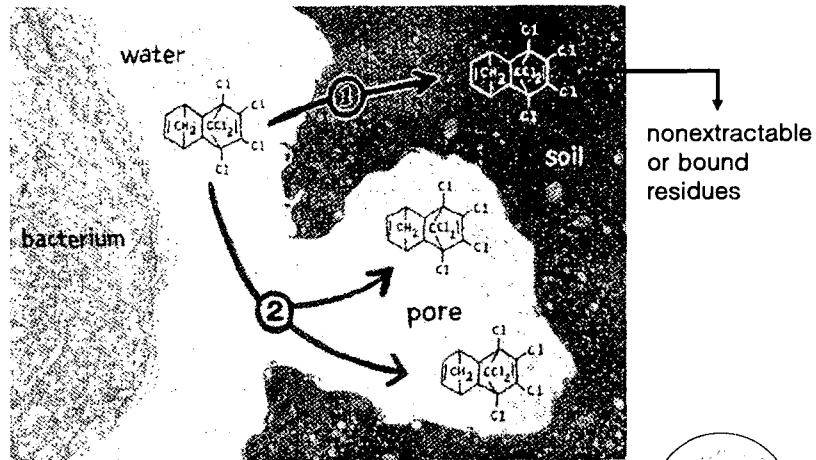
오염물질의 화학적 추출정도, 생물학적 이용성, 생독성은
토양의 물리화학적 성질, 오염물질의 종류, 오염기간 등에
따라서 다름 (주로 감소함)

- ☞ 토양에 존재하는 오염물질의 분해정도, 생물학적 이용성은 같은 물질이 수용액 상태에 존재할 때와 동일하지 않음
- ☞ 흡착, 비평형흡착, aging (sequestration) 현상이 주요 원인
- ☞ 토양에 aged, nonextractable, bound residues가 형성됨



Soil Quality Laboratory, SNU

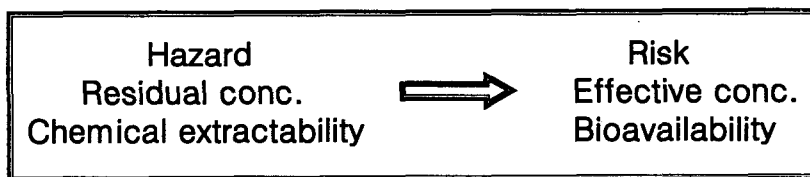
Diffusion into organic matter or entry into micropores



Proposed mechanisms of sequestration of aldrin in soil
(*American Scientist*, 1997, Vol. 85, p.319)

Soil Quality Laboratory, SNU

기존개념과 RBRs의 차이점



☞ Hazard vs. Risk :

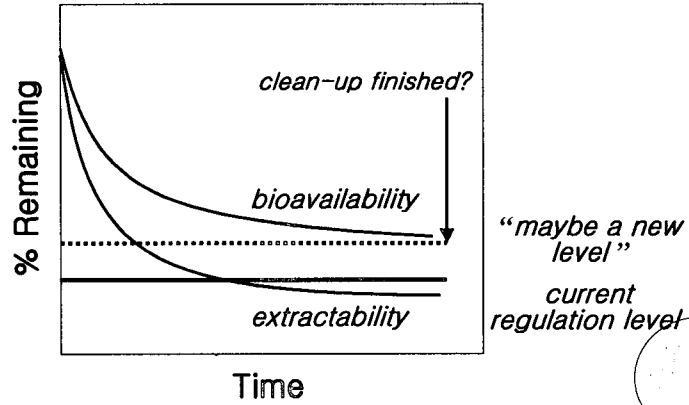
Hazard ; intrinsic toxicity (• total residual conc.)

Risk ; hazard + exposure + availability + probability
(• effective conc.)

Soil Quality Laboratory, SNU

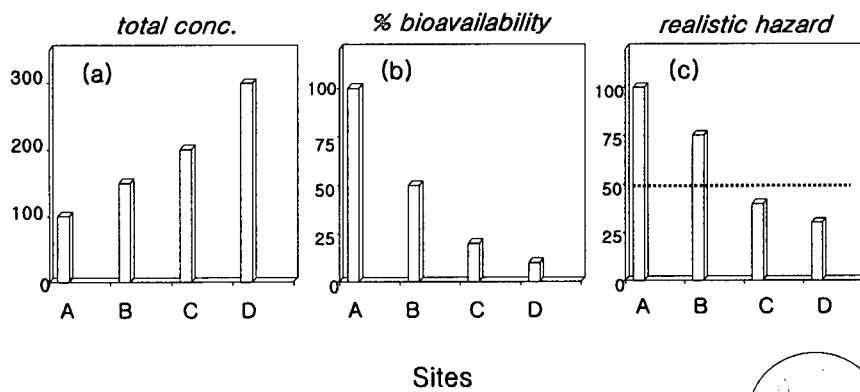
RBRs의 유용성

1) A new remediation goal possible?



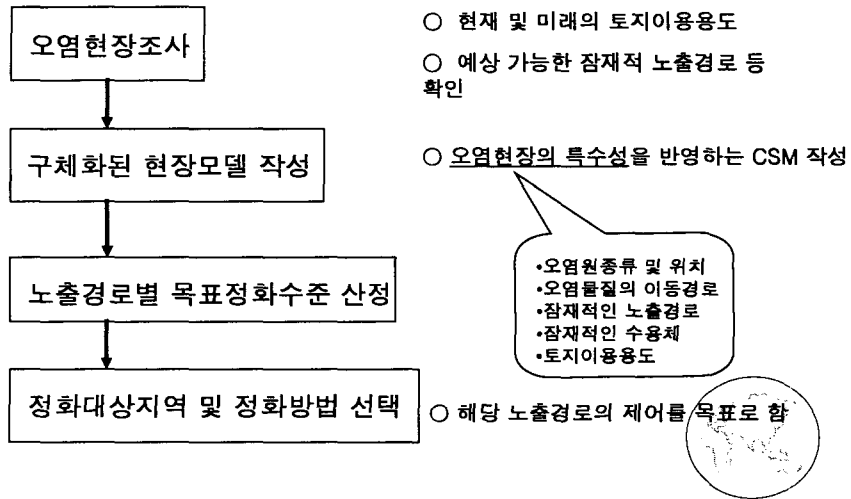
Soil Quality Laboratory, SNU

2) More realistic determination of clean-up priority?



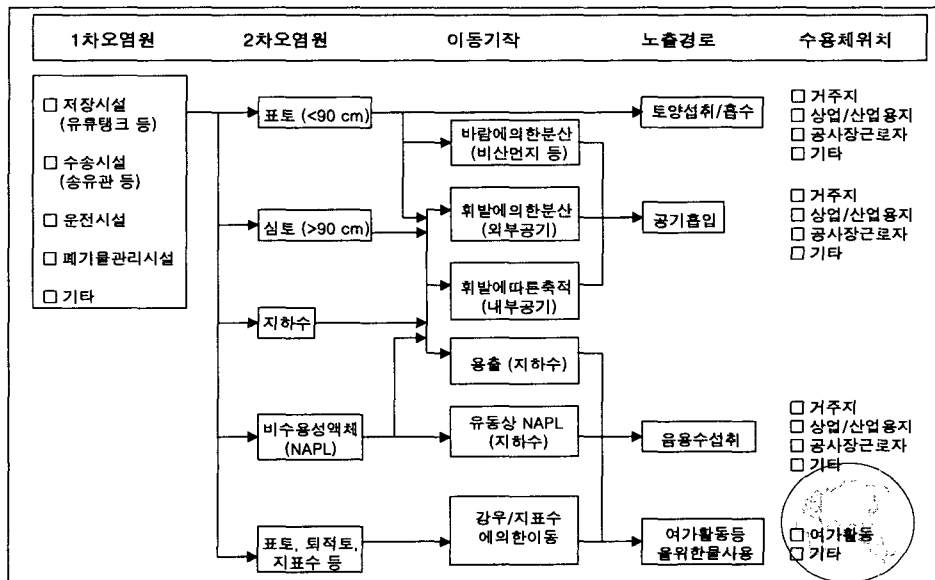
Soil Quality Laboratory, SNU

RBRS 수행과정 흐름도



Soil Quality Laboratory, SNU

[노출경로를 중심으로 제작한 CSM의 예]



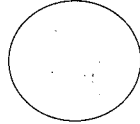
Soil Quality Laboratory, SNU

목표위해성을 고려한 목표정확수준의 산정

$$\text{Carcinogenic risk} = \frac{C_{\text{soil}} * (\text{EF} * \text{ED} * \text{IR}_{\text{air}} * \text{ABS}) * \text{CPF}}{\text{BW} * \text{AT}}$$

$$\text{TCL} = \frac{\text{target risk} * \text{BW} * \text{AT}}{\text{CPF} * \text{EF} * \text{ED} * \text{IR}_{\text{air}} * \text{ABS}}$$

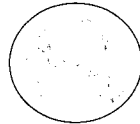
(target risk는 발암물질인 경우 일반적으로 10^{-6})



Soil Quality Laboratory, SNU

주요 노출경로별 목표정확수준 (TCL) 산정

- TCL_{air} (mg/m^3)
 - 내부/외부공기 흡입
- $\text{TCL}_{\text{groundwater}}$ (mg/L)
 - 지하수 섭취
 - 지하수로부터 내부/외부공기에 휘발된 물질의 흡입
- $\text{TCL}_{\text{subsurface soil}}$ (mg/kg)
 - 지하수로의 용출 (보호)
 - 심토로부터 내부/외부공기에 휘발된 물질의 흡입
- $\text{TCL}_{\text{surficial soil}}$ (mg/kg)
 - 토양의 섭취, 피부접촉, 증기 및 입자흡입



Soil Quality Laboratory, SNU

(RBRs 적용 예)

- 어떤 오염지역의 현장조사결과,
 $C_{\text{soil}} = 10 \text{ mg/kg}$, $C_{\text{subsurface}} = 2 \text{ mg/kg}$, $C_{\text{groundwater}} = 0.3 \text{ mg/L}$ 이었고
- 각 노출경로별 목표정화수준 산정결과,
 $\text{TCL}_{\text{soil}} = 7 \text{ mg/kg}$, $\text{TCL}_{\text{subsurface}} = 3 \text{ mg/kg}$, $\text{TCL}_{\text{groundwater}} = 0.1 \text{ mg/L}$ 이었으며
- CSM 작성결과 지하수를 통한 노출을 배제할 수 있었다면....



- 표토의 경우, 위해성이 인정되므로
 TCL_{soil} 수준 (7 mg/kg)으로 정화를 실시
- 심토의 경우, 유효 노출경로가 존재하지만
 토양농도가 TCL보다 낮으므로 정화불필요
- 지하수의 경우, 노출위험이 존재하지 않으므로
 검출농도가 TCL보다 높더라도 정화불필요

Soil Quality Laboratory, SNU

RBRs와 위해성관리

- ☞ 위해성평가는 과학이지만 위해성관리는 의사결정과정임
 - 위해성평가 결과를 바탕으로 위해성관리를 함
 - 위해성관리에는 수용체의 보호뿐만 아니라 복구를 위한 방법 선택, 비용, 시간적 요소까지 포함됨
- ☞ 과학적 객관성뿐만 아니라 사회적 합의도 중요함

Soil Quality Laboratory, SNU

현행 오염토양관리 방법

BTEX: 80 mg/kg TPH: 2,000 mg/kg 우려기준	BTEX: 200 mg/kg TPH: 5,000 mg/kg 대책기준
---	--

- 대책기준의 40% 수준
 - 초과시 정밀조사시행
 - 정부의 복원명령
 - 실질적인 토양오염기준
 - 복원기준 : 우려기준의 40%
- “토양오염대책지역” 선정기준

Soil Quality Laboratory, SNU

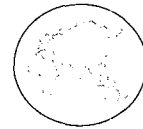
토양오염 관련정책 추진방향 (환경부)

- ☞ 토양오염실태조사 → 위해성평가 → 복원사업추진
- ☞ 오염토양의 무단투기 방지 등을 통한 환경피해 예방대책 강구
- ☞ 토지용도별 오염기준 및 복원기준의 설정 등 제도 합리화

Soil Quality Laboratory, SNU

1. 전국 토양오염 실태조사 및 복원사업 추진

- 1) 토양오염 우려지역 조사 :
폐금속광산, 폐기물매립지, 군부대 이전지역, 산업단지, 단위공장 등
- 2) 토양복원 우선순위 결정 :
향후 토지이용용도, 위해성 등을 고려하여
오염지도 및 토양복원 우선 순위목록 (NPL) 작성
- 3) 오염토양 복원사업 추진 :
폐금속광산, 폐기물매립지 : 국고보조 (50%)로 추진
군부대 이전 등 지역 : 오염원인자 부담원칙에 따름,
“오염원인자 없는 경우는 공공사업으로 추진”



Soil Quality Laboratory, SNU

2. 토양오염 예방대책 강화

3. 토양환경산업 육성

4. 제도개선을 통한 토양환경관리 선진화

- 1) 토양오염물질의 단계적 확대
- 2) 토지용도에 따른 토양오염기준 설정 :
현행 : ‘가’, ‘나’ 지역으로 구분
개선안 : 주거지역, 산업지역, 기타지역 등으로 세분
- 3) 토양오염 위해성평가제도 도입 :
토지용도를 고려한 복원기준 마련

5. 오염토양 복원 자원 조성방안 검토



Soil Quality Laboratory, SNU

환경부 개선안 요약

1. 위해성평가 개념을 복원에 도입

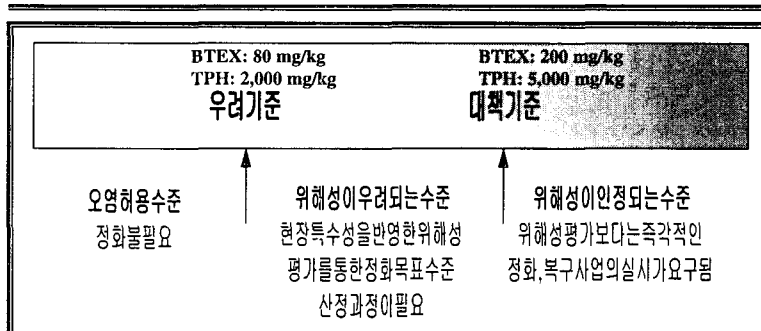
- 토지이용용도
- 정화목표수준

2. 특수한 오염지역에 한정하여 시행

- ☞ 우려, 대책기준은 어떻게 변화?
- ☞ 평가 시행자, 평가결과의 전문성, 객관성에 대한 대책?
- ☞ 오염지역거주자 및 관련 비전문가와의 문제해결 방안?

Soil Quality Laboratory, SNU

RBRS를 이용한 오염토양관리 방안 (안)

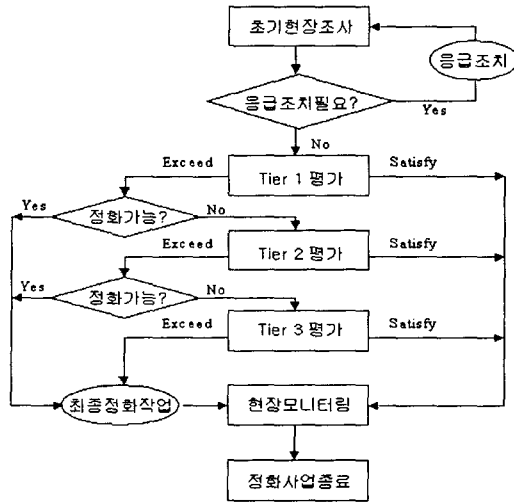


☞ “우려-대책기준 사이의 오염토양에 선택적으로 적용”

- 정부규제수준 준수 또는 ‘Acceptable Risk’임을 입증
- 용어 : 우려기준 → 오염기준

Soil Quality Laboratory, SNU

US EPA의 기본적인 RBRS 흐름도 (예)

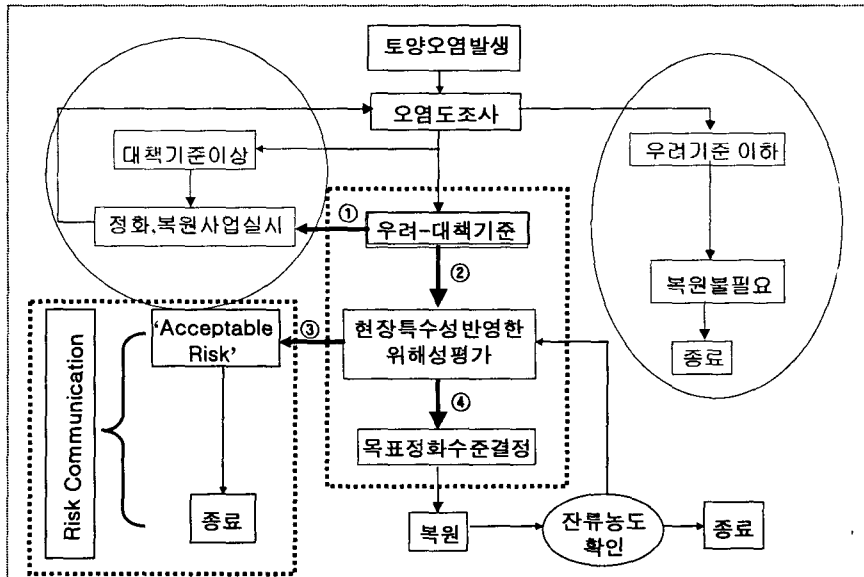


(modified from Atlantic PIRI, 1999)

Soil Quality Laboratory, SNU



위해성에 근거한 오염토양 복원전략 흐름도 (안)



Soil Quality Laboratory, SNU

복원여부 및 정화수준의 결정 (안)

- ☞ 현재와 같은 명문화된 규제수준은 필요 (우려기준 -> 오염기준)

- ☞ 경로 ①과 ②의 선택은 철저한 현장조사와 현장특이적
위해성평가
실시를 전제로 정화의무자가 자율적으로 결정하도록 함
- ☞ 경로 ③과 ④의 판단은 위해성평가 결과를 바탕으로 정화의무자
(위해성평가자 포함), 정부, 민간전문가 등으로 구성된 위원회
성격의 한시적인 심의기구에서 실시함



Soil Quality Laboratory, SNU