

토양·지하수환경포럼

박용하 | 서경원

편집

박용하 | 서경원

© 2006 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성

발행처 한국환경정책·평가연구원
서울특별시 은평구 불광동 613-2 (우편번호) 122-706
전화 380-7777 팩스 380-7799
<http://www.kei.re.kr>

인쇄 2006년 12월

발행 2006년 12월

출판등록 제17-254호

ISBN 978-89-8464-187-7 93530

서 언

토양과 지하수는 지구상에 존재하는 생물의 생존에 직결되는 요소입니다. 농업과 산업 등 인간의 활동으로 인한 토양의 오염은 장기간에 걸쳐 다양한 경로를 통하여 지하수 오염을 유발시키게 되고 결국 인간의 건강과 동식물 서식지인 자연생태계에 악영향을 미치게 됩니다.

우리나라에서는 1990년대 이후 금속광산 및 석탄광산, 불량매립지, 산업시설배출오염물질, 유류누출 등에 의한 토양오염에 관심을 갖고, 이러한 문제들을 해결하기 위하여 1995년 ‘토양환경보전법’을 제정하였으며, 위해성평가제도, 토양정화 검증제도 등 토양환경보전제도를 선진화하기 위하여 2004년 12.31 개정법을 마련하여 이를 시행하고 있습니다. 또한, 토양오염이 심화된 지역에 대한 토양복원 사업이 이루어지지 않아 지하수오염이 확산되고, 지하수 오염지역에 대한 정밀조사 및 정화복원을 위한 기술 개발이 미흡함에 따라 ‘지하수수질보전종합대책(2005~2014)’을 수립하는 등 토양 및 지하수환경을 보전하기 위한 국내의 법, 제도가 강화되었습니다. 그러나, 이러한 토양지하수 관련 정책의 시행단계에서 세부절차가 미흡하여 토양오염조사의 효율성, 토양환경평가제도, 미군반환기지 복원, 광산오염 정밀조사 등에서 다양한 현안 문제들이 제기되고 있습니다.

이에 본 포럼은 토양지하수환경정책 및 기술 개발에 대한 전문가와 정책담당자가 이러한 문제점들을 파악하고 개선방향을 제시할 수 있는 장을 마련하는 취지로 2003년과 2004년도 「토양(·지하수)환경정책 및 기술발전을 위한 포럼」에 이어 2005년도부

터 「토양지하수환경포럼」을 운영하고 있습니다. 본 포럼에서 논의된 내용이 향후 토양지하수환경 정책을 추진하는데 귀중한 밑거름이 되기를 기대하면서, 2006년 한 해 동안 토론에 적극적으로 참여하여 포럼내용이 충실할 수 있도록 해 주신 산·학·연 전문가 및 정부 부서 담당자 모두에게 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

2006년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 윤 서 성

| 차례 |

1. 포럼의 취지	1
2. 포럼의 운영방식	3
3. 발표자료 및 주요토의 내용	5
제1차: 토양측정망과 특정토양오염관리대상시설부지에서 토양오염조사의 효율성 제고를 위한 환경정책의 고찰	5
(박용하 박사, 한국환경정책평가연구원)	
제2차: 워싱턴주의 토양 및 지하수 오염 정화법과 최근 경향	21
(박헌석 엔지니어, Washington State Department of Ecology)	
제3차: 미군 반환기지 오염현황과 복원방안	77
(김민철 박사, 한국농촌공사 환경지질사업처)	
제4차: 국내 휴폐광산의 토양오염 현황과 향후 과제	87
(정명채 교수, 세명대학교 자원환경공학과)	
제5차 제1주제: 국내 군사격장내 오염물질(중금속 및 화악물질)의 및 이동	119
(배범한 교수, 경원대학교 토목환경공학과)	
제5차 제2주제: 소유역에서 토양유실과 수질오염 방지를 위한 Best Management Practices	155
(주진호 교수, 강원대학교 자원생물환경학과)	

제6차: 토양정밀조사 지침과 토양환경평가제도의 비교 및 문제점	211
(김철 교수, 동의과학대학교 보건환경과)	
제7차: 사격장 토양오염현상 및 정화	229
(박정구 박사, 환경관리공단)	
제8차: Soil Washing 기술의 현황과 전망	251
(장정희 박사, 현대건설 기술연구소)	
포럼 참석자 명단(가나다 순)	263

1. 포럼의 취지

1990년대 초반 이후 토양오염지역의 조사 및 복원에 관한 정책 방안 및 기술개발에 관한 다양한 연구 결과는 우리나라의 토양보전정책 및 기술 발전에 기여해 오고 있다. 1995년에는 ‘토양환경보전법’이 제정되어 토양오염방지에 관한 정책이 본격적으로 마련되기 시작하였고, 이후 동법의 개정을 통하여 다양한 정책이 추진되고 있으며, 2002년부터는 토양오염에 대한 책임이 더욱 강화되었다.

그리고, 1993년 지하수법 제정이후 정부는 수질실태 파악 및 오염방지조치명령을 규정하는 ‘지하수수질보전등에관한규칙’을 제정, 운용하고 있으며, 지하수의 체계적이고 합리적인 이용관리를 위하여 1996년 지하수관리기본계획을 수립하였다. 2002년에는 지하수 환경 등 여건 변화를 고려하여 지하수관리기본계획을 보완, 수립, 공고하였다.

최근에는 국내 토양지하수의 환경보전 및 관리를 위하여 토양보전기본계획, 지하수수질보전종합대책 등을 수립하여 수행하고 있다. 그럼에도 토양, 지하수의 관리가 별개의 법으로 각각 시행되고 있어 연계 또는 통합관리 될 수 있는 수단 및 정책수립에 한계가 있으며, 이로 인해 토양지하수보전정책의 효율성을 제고하기 어렵다. 또한, 폐기물이나 매립지에 관련된 법령 등과의 상호 보완 및 공조도 필요하다.

현행 토양오염조사체계로는 토양측정망과 특정토양염관리대상시설에서 토양이 오염된 부지를 찾아내는 효율이 대단히 낮다. 또한, 매년 조사결과 자료에 대한 지역별, 지점별, 토지용도별 오염도 특성 및 지하수 오염과 상관관계 등 다각적인 오염도 분석에 한계가 있다.

토양환경보전법상의 오염물질 배출기준이 현실에 적용할 수 있는 적정기준으로 제시되지 못하는 문제, 유해물질 판단시 법체계에 따라 토양환경보전법의 기준을 따르지 못하는 문제, 토양환경보전법과 폐기물관리법 상의 기준에 따라 상충되는 문제 등이 발생하여 현실적 접근을 위한 토양환경보전법의 보완이 요구된다.

이상과 같은 토양 및 지하수의 관리상에 나타나고 있는 여러 가지 문제점들을 해결하기 위하여 다양한 정책적인 접근과 기술개발이 요구되고 있다. 이에 본 포럼은 토양지하수환경에 관한 전문가와 정책담당자의 심층 논의를 통하여 문제점을 파악하고 합리적인 정책대안을 제안하고 평가함을 목적으로 하고 있다. 이러한 토양지하수환경에 관한 평가 및 대안 제시의 과정을 통하여 국내 전문가의 역량 제고도 이루어질 것으로 기대한다.

2. 포럼의 운영방식

본 포럼은 월 1회 개최하도록 하고 각 1~2건의 주제발표를 듣고 이어서 질의토론을 하는 방식으로 진행된다. 포럼의 발표 및 논의주제는 주제발표 및 논의 과정 중에 도출되는 토양지하수환경보전에 관한 주요 현안 이슈를 대상으로 포럼을 운영하면서 결정한다.

토양지하수환경정책과 기술개발에 관한 현안 문제와 대안에 관한 발표, 이에 대해 심층 논의를 통하여 정부의 추진정책 및 기술개발에 대한 문제점을 도출하고 이에 대한 대안을 제시함을 목표로 한다.

포럼 참여자는 한국환경정책·평가연구원, 환경부, 환경관리공단, 한국농촌공사, 환경기술진흥원의 토양지하수보전에 관련된 전문 인력과 학계 등의 전문가들로 구성되나, 참여를 원할 경우 누구든지 참석할 수 있는 개방형을 기본으로 한다.

한편 포럼의 운영기간은 2006년 4월부터 12월까지를 대상으로 하고, 한국환경정책·평가연구원에서 주관하여 운영하기로 한다. 금년도 운영결과를 분석하여 차기 년도 운영 여부를 결정하도록 한다.

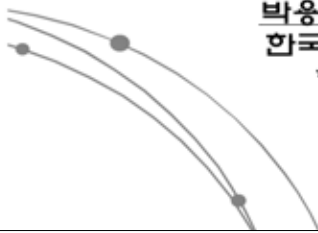
**토양측정망과 특정토양오염관리대상시설부지에서
토양오염조사의 효율성 제고를 위한 환경정책의 고찰**

1. 토양측정망
2. 특정토양오염관리대상시설
3. 외국조사사례
4. 국내조사사례
5. 토양오염조사의 효율성
6. 토양오염조사체계의 문제점
7. 토양오염조사체계의 효율성 제고 방향

박용하 박사

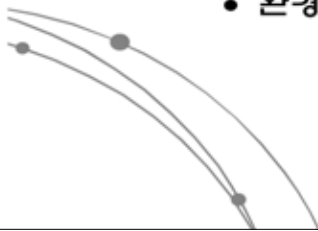
한국환경정책평가연구원

**토양측정망과 특정토양오염관리대상시설
부지에서 토양오염조사의 효율성 제고를 위한
환경정책의 고찰**



박웅하, 박상열*, 양재의**
한국환경정책·평가연구원,
*김&장법률사무소,
**강원대학교

토양이 오염된 지역을 조사하는 기본체계



- 토양측정망
- 특정토양오염관리대상시설
- 토양환경평가
- 환경영향평가

연구의 목적 및 자료

- 우리나라에서 토양오염지역을 찾아내는 주요 수단 인 토양측정망과 특정토양오염관리대상시설의 토양오염조사의 효율성 여부를 확인
- 두가지 수단의 효율성을 제고할 수 있는 방안을 찾아보고 정책방안 제시
 - 토양측정망과 특정토양오염관리대상시설의 조사자료 (- 2004년) 분석
 - 관련 국내외 토양오염조사자료 분석
 - 정책대안을 찾아보기 위해 국내 및 토양환경보전 정책을 활발히 전개하고 있는 미국, 영국, 독일, 네덜란드, 덴마크, 일본의 법과 제도를 분석

토양측정망

- 1987년 이후 가동
 - 250지점 ('87년) - 3683지점(측정망 1,500개소, 실태조사 2,183개소)('04년)
- 운영: 2002년부터 환경부가 운영하는 토양측정망과 시·도지사가 운영하는 토양오염실태조사(이하 '실태조사'로 칭함)로 구분 가동
- 목적
 - 측정망: 국토의 토양오염실태와 토양오염 변화추이를 파악하기 위한 기초 자료로 활용 (고정된 조사지점에서 매년 시료를 채취)
 - 실태조사: 시·도지사가 폐금속광산, 폐기물매립지 주변 등 토양오염이 우려되는 지역을 대상으로 토양오염 실태를 조사(토양이 오염된 지역을 대상으로 매년 조사지점을 달리 채취)
- 토양측정망의 토양조사는 토양오염물질을 대상으로 지방환경관서, 실태조사는 시·도의 보건환경연구원에서 수행

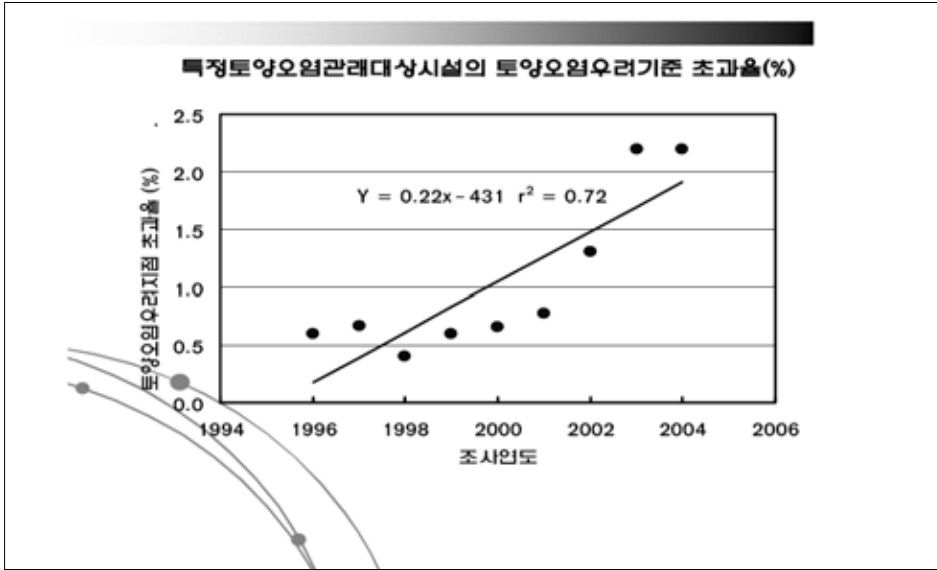
특정토양오염관리대상시설

- 특정토양오염관리대상시설: 토양을 현저히 오염시킬 우려가 있는 토양오염관리대상시설을 지칭
- 동 시설의 설치자는 동 시설의 설치를 관할 시장·군수·구청장에 게 의무적으로 신고하고, 대통령령이 정하는 바에 따라 '토양관련 전문기관'으로부터 당해 시설의 부지 및 그 주변지역에 대한 토양 오염검사(이하 "토양오염검사"라 칭함)를 받아야 함
 - 토양관련전문기관이란 국립환경과학원, 시·도보러환경연구원, 지방환경관서, 국·공립연구기관, 고등교육법에 의한 대학, 특별법에 의하여 설립된 특수법인 또는 환경부장관의 설립허가를 받은 비영리법인 등으로 2005년 9월 현재 44기관(26개 법정기관, 18개 지정기관)
- 대상시설: 토양오염의 가능성이 큰 석유류(2만/이상) 및 유독물 제조 및 저장시설, 송유관 시설 등으로 2004년 12월 현재 21,956개
- 1996년부터 가동
- 토양오염검사는 토양오염도 검사 및 누출검사로 구분이행

토양측정망과 토양오염실태조사 결과 토양오염우려기준 초과지점 현황

연도	계		전국망 또는 측정망		지역망 또는 실태조사	
	개소*	%	개소*	%	개소*	%
1997	38/2,904	1.3	17/949	1.8	21/1,955	1.1
1998	18/2,993	0.6	12/998	1.2	6/1,995	0.3
1999	29/4,495	0.6	12/1,499	0.8	17/2,996	0.6
2000	21/4,494	0.5	12/1,499	0.8	9/2,995	0.3
2001	20/4,500	0.4	2/1,500	0.1	18/3,000	0.6
2002	52/3,545	1.5	28/1,500	1.9	24/2,045	1.2
2003	58/3,605	1.6	25/1,500	1.7	33/2,105	1.6
2004	61/3,683	1.7	10/1,500	0.7	51/2,183	2.3

* 토양오염우려기준 초과지점/총 측정지점



- 외국조사사례**
- 미국
 - '05년 규제되는 UST 210만개이며, 1988년 이후 '04년까지 약 44만7천여 개의 UST에 의한 토양오염이 발견(US EPA, 2005)
 - 미국 전체 UST의 21% 정도가 토양오염을 발생
 - 영국
 - 1999년 11월부터 2000년 6월까지 National Groundwater and Contaminated Land Centre, Environment Agency, 그리고 Institute of Petroleum's Soil, Waste and Groundwater Working Group이 공동으로 잉글랜드와 웨일즈에서 777개소의 오염의혹부지를 조사하였고, 이 중에서 24%가 오염되었음을 보고 (Arthur D. Little Limited, 2001)
 - 일본
 - 토양오염대책법(土壤汚染對策法)이 2002년 5월 제정 이후 '03년 초부터 2004년 8월까지 1년 반 동안 동 법 제3조와 제4조에 따라 도쿄도내에서 조사한 토양오염 의혹부지는 24개소 중, 46%인 11개소에서 토양오염이 발견
 - 도쿄도의 '도민의 건강과 안전을 확보하기 위한 환경에 관한 조례' 제116조와 제117조에 의거한 2001~2003년간 도쿄도의 토양오염조사 결과에 의하면 토양오염이 가능한 시설 또는 지역에서 토양이 오염된 부지를 찾아내는 효율은 34.1~40.3%에 이릅니다

국내조사사례

- 사례1
 - 토양환경보전법이 제정되기 이전인 1993년 6월~1995년 9월 기간 중에 민간 환경업체와 대학연구팀이 전국 175개 주요소의 529개의 지하저장유류탱크를 대상으로 조속파 조사를 시행되었고, 조사결과 지하저장유류탱크의 36.1%가 누유됨이 보고(국립환경연구원, 1997)
- 사례2
 - 1995년도 소방법에 누설검사가 도입되어, 1996년도에 312개의 탱크가 누설검사를 받았으며, 이 중에서 101개(32.4%)가 탱크 균열이 있는 등의 불량으로 보고, 이들 불량탱크에 대해서는 보수명령(행정자치부, 1998)
- 사례3
 - 국내 유명 정유회사의 직영주유소 지하유류저장시설의 내부정소를 수행하는 과정에서 파악된 것으로, 161개 주유소 중에서 79개소 (49%)에서 누유 또는 인근 지역의 토양오염이 확인 (김주영, 1999)
- 사례4
 - 농촌진흥청 농업과학기술원 후패금속광산 인근 농경지의 토양조사사업 (2000년)에서 58개 지역(600 지점)의 토양시료가 금속광산 인근 지역의 농경지에서 채취되었고, 36개 지역(120 지점, 전체지점의 25%)에서 Cd, Cu, Pb, As 등 토양오염물질의 농도가 토양오염우려기준을 초과 (농업과학기술원, 2000)

토양측정망과 특정토양오염관리대상시설 부지 등에서 토양오염조사의 효율성

- 우리나라와 외국의 토양오염 조사방법, 토양오염물질의 기준 등이 동일하지 않음에 따라 우리나라와 외국의 토양오염분석 결과를 직접 비교·평가할 수는 없으나
- 그간 우리나라에서 수행한 토양측정망과 특정토양오염관리대상시설 토양오염조사에 의해 토양이 오염된 부지를 찾아내는 효율은 대단히 낮았음을 간접적으로 추정

토양측정망과 특정토양오염관리대상시설 부지에서의 토양이 오염된 부지를 찾아내는 효율이 낮았던 요인

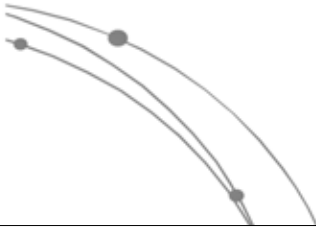
- i) 우리나라에서는 실제로 토양이 오염된 지역이 외국과 비교하여 매우 적어서 토양오염조사에 의해 나타나지 않거나,
- ii) 토양이 오염된 지역의 조사대상 토양오염물질의 종류가 너무 적어 적절한 토양오염물질을 조사하고 있지 못하거나,
- iii) 토양오염조사 및 토양오염물질의 분석방법에 문제가 있거나,
- 또는 iv) 토양이 오염된 지점을 찾아내기 위한 토양오염조사체계에 문제가 있는 경우

우리나라 토양오염조사체계의 문제점

- 해당 지역의 직접적인 이해당사자가 자발적으로 그리고 오염사실의 확인을 통하여 자신의 책임을 면하거나 타인에 대한 책임을 추궁하고자 하는 적극적 목적을 갖고 토양오염조사를 하는 경우가 많지 않음
- 이보다는, 토양오염에 대한 법적 규제를 받는 피규제지(즉, 잠재적 오염원인지)가 단지 규제를 준수한다는 비자발적 이유로 토양오염조사는 받되 토양오염이 발견될 경우의 제재를 우려하여 토양오염이 확인되는 것을 원하지 않는 소극적 목적을 갖고 토양오염조사를 의뢰하는 경우가 대부분
- 더욱이, 현행 토양측정망과 특정토양오염관리대상시설 부지의 토양오염조사를 수행하는 정부출연기관을 포함하는 비영리 토양관련전문기관은 의뢰자의 요구로부터 독립하여 적극적으로 토양오염조사업무를 수행할 만한 인센티브 또는 이유가 별로 없음
- 이들 토양관련전문기관들은 영리를 목적으로 하는 단체들이 아니어서 토양오염조사업무는 공익적 성격을 지닌 이들 기관들의 본업의 업무에 부수하는 번거로운 업무일 뿐이므로, 이들 토양관련전문기관들로서는 제한된 인력과 시설을 적극적으로 이러한 부수적 업무에 투입할 만한 동기를 갖기 어려울 뿐 아니라, 오히려 토양오염조사를 할 경우 그 결과를 둘러싼 법적 분쟁에 연루될 수 있고 조사결과가 부정확하다는 이유로 법적 책임을 질 수도 있기 때문에 토양오염조사업무에 소극적이 될 가능성이 훨씬 높음
- 우리나라에서의 토양오염조사는 토양오염을 유발할 가능성이 있는 시설과 지역의 소유자, 관리자 등 토양오염의 책임이 있는 자들에 대한 강력한 경고의 메시지라는 긍정적인 측면이 있으나, 현재의 제도에 의한 토양오염조사의 높은 효율성을 기대하기 어려울 것

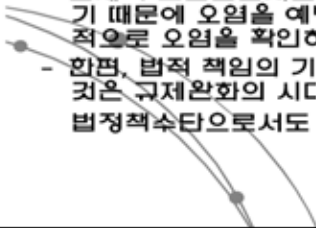
토양오염조사체계의 효율성 제고 방향

- 가능한 한 토양의 오염자 또는 그 지역의 이해당사자가 자기의 필요에 의해 자발적으로 토양오염조사를 전문기관에 의뢰하여 적극적으로 해당지역의 토양오염 여부를 조사하도록 함
- 토양오염조사를 의뢰하는 자가 비자발적이고 소극적인 목적을 가진 때에는 토양오염조사기관이 의뢰자로부터 독립하여 적극적으로 토양오염조사를 하도록 하는 한편, 토양오염조사기관이 전문성을 높이기 위하여 노력하도록 인센티브를 제공함으로써 효율을 높일 수 있음



토양오염조사 효율 제고를 위한 제언 1

- 토양환경보전법의 책임법규로의 기능 보완 및 강화
 - 토양오염으로 인하여 법적 책임(정화책임, 손해배상책임 등)을 저야 하는 기준(토양오염오려기준, 정화기준 등) 및 책임의 주체(예컨대, 실제 오염자, 오염된 토지의 매수인 등)를 토양환경보전법에 명확히 규정하면, 이해관계자(예컨대, 토양오염으로 인하여 피해를 입은 자, 토양이 오염된 토지의 매수인 등)는 자기의 비용을 들여 자발적, 적극적으로 토양오염을 확인하고 법에 정한 책임의 주체를 찾아 책임을 추궁하고자 노력하게 됨
 - 잠재적 오염원인자는 장래 그와 같은 책임을 지게 될 가능성이 높기 때문에 오염을 예방할 뿐 아니라 책임을 추궁당하기 전에 자발적으로 오염을 확인하여 정화하는 적극적 노력을 할 것임
 - 한편, 법적 책임의 기준을 강화하고 책임주체의 범위를 확대하는 것은 규제완화의 시대적 요구에 역행하는 것도 아니기 때문에 입법정책수단으로서도 유용하다고 할 것임



주요 국가별 토양오염조사의 제기 및 토양오염조사의 책임주체 1

국가/관련법	토양오염조사에 대한 법적 책임 (비용 부담주체)
미국/ CERCLA ¹	- 토양오염부지에 대한 조사 (및 정화) 책임을 잠재적인 토양오염책임자(PRP, Potentially Responsible Party)가 부담 - PRP가 확인되지 않은 부지에 대한 환경보호청(EPA)의 조사에 대해서는 EPA에서 이를 지불
영국/ EA Part IIA ²	- 부지 소유자, 거주, 점유자에게 토양오염부지의 조사책임(비용)을 부담
독일/ 인방토양보호법 ³	- 토양오염부지의 조사책임(비용)은 토지소유주가 부담 - 토양오염조사를 통해 토양오염의 의혹이 확인되지 못할시, 또는 토양오염 의혹의 근거가 되는 정황에 대하여 귀책사유를 갖지 않을 시 정부에 책임(비용을 보상)
네덜란드/ 수정토양보호법 ⁴	- 토양을 오염시킨 자, 그러한 행위를 수행하게 한 자, 또는 이 부지에 대한 소유권이 있는 자가 책임(비용 부담) - 1975년, 1987년을 분기점으로 하여 토양오염조사 (및 정화)책임(비용)을 국가와 토양오염의 책임자가 분담. 1975년 이전에는 중앙과 지방정부가 비용의 1/3(최대50%) 부담. 1975년~1987년간 발생한 오염은 부지의 용도 및 이용특성, 과실의 정도, 시건의 시기 등에 따라 정부와 개인 책임자가 비용분담. 1987년 이후의 토양오염은 오염책임자가 모두 부담
덴마크/ 토양오염법 ⁵	- 1991년 이후 발생하고 2000. 1. 1 이후 정화명령이 취해진 토양부지의 경우, 부지 소유자 또는 토양오염원인자에게 오염토양의 조사 및 정화책임(비용)을 부담 - 1974년 이후 발생 토양오염에 대해서는 토지소유자 또는 토양오염원인자가 조사 및 정화책임(비용)을 부과. 1974년 이전 토양오염은 국가에 책임이 있음

주요 국가별 토양오염조사의 제기 및 토양오염조사의 책임주체 2

국가/관련법	토양오염조사에 대한 법적 책임 (비용 부담주체)
일본/ 토양오염대책법 ⁶	- 토양오염원인자가 명확한 경우 토양오염원인자가 부담 - 부지 소유자가 조사 및 정화비용을 이미 부담한 경우, 이에 소요된 비용을 토양오염원인자에게 청구할 수 있음. 이러한 청구권은 오염원 제거 등의 조치를 강구하고 또는 오염원인자를 확인한 시기로부터 3년, 정화조치 실시로부터 20년의 소멸기간이 있음 - 토양오염에 대한 책임의 소급 적용을 배제하고 있지 않음. 이를 기본적으로 인정하고 있는 것으로 볼 수 있음 - 부지 소유자의 선의 무과실 책임을 인정. 오염원인자가 확인되지 않거나 또는 존재하지 않는 경우, 부지 소유자의 부담 능력이 낮은 경우에는 국가의 보조금과 신입계 등에서 각출하여 지정지원법인(指定支援法人)에 설치한 기금을 이용하여 오염 부지를 정화할 수 있음
우리나라/ 토양환경보전법	- 토양오염원인자, 토지의 소유자 또는 이용자 등 - 국가의 책임부담에 대해서는 내용 없음 - 동 법은 i) 토양오염지역에 대하여 책임을 지게 되는 당시지의 범위가 불확실하고, ii) 토양오염에 대한 무과실책임과 과실책임 간의 구분이 불분명하며, iii) 과거에 이루어진 토양오염에 대한 소급책임의 한계가 불확실한 것 등 책임법규로서의 기능을 수행하기에는 매우 불충분함

¹ Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act of 1980
² UK DETR (2000)
³ German Federal Ministry for the Environment (2002)
⁴ Walthaus (2003)
⁵ Edelgaard (1997)
⁶ 일본 환경성 (2002), 환경원 (2003)

토양오염조사 효율 제고를 위한 제언 2

- 토양오염조사체계의 획기적 개선

- 조사체계의 효율을 제고시킬 수 있는 핵심은 “누가 토양오염의 의혹이 있는 부지를 조사하는가?”에 있으며, 토양이 오염된 지역을 적극적으로 찾아냄으로써 인센티브를 얻을 수 있거나 또는 조사에 대한 책임을 질 수 있는 민간 환경전문업체가 토양오염을 적극적으로 조사하고 찾아낼 수 있도록 법과 제도를 개선함으로써 토양이 오염된 지역을 찾아내는 효율을 높일 수 있을 것임
- 토양오염 의혹부지에 대하여 이해관계를 갖고 있는 당사자로 하여금 적극적으로 그 부지 토양오염여부를 조사하도록 토양오염에 대한 법적 책임을 지는 자 및 책임의 내용을 명시하고, 일정한 요건을 충족하는 토양이 오염된 부지의 조사결과에 대해서는 법적인 효력을 인정하는 등의 인센티브를 부여하는 방안을 고려
- 정부는 이들 민간업체들이 정확하고 합리적인 절차와 방법으로 토양이 오염된 지역을 조사하는지 여부를 감시하고 확인하며, 이들 업체들이 토양오염조사에 대한 책임을 적절히 부담하도록 함

주요 토의내용(1차)

◎ 토양오염 정화 책임

의견 일반적으로 수질오염에 비하여 토양오염 조사비용(토양시료 채취부터 분석까지)이 고가로 알려져 있음. 사업자 입장에서 초기 분석 비용이 고가라는 점은 자발적 참여를 망설이게 하는 부담 요소로 작용할 수 있으므로, 오염 원인을 찾아내는 사람에게 인센티브를 주는 방법, 오염원이 있는 것을 알고 있는 사람들의 자발적 참여를 유도하기 위하여 정부에서 제도적으로 지원하는 방법 등을 고려하는 것이 필요함.

의견 미국에서 PRP(정화책임 부담 가능성이 있는자)의 범위는 오염된 토지의 소유자, 오염 발생 시점에서 오염물질을 생산 또는 이동시킨 사람, 오염물질을 현재의 오염된 장소로 투기한 사람 등이 모두 책임자에 속하여 정화책임 및 위해에 대한 손해배상의 책임이 있음. 미국의 경우 엄격한 책임법규의 실행으로 조사가 기본사항이며, 책임비용이 조사비용과 비교할 수 없을 정도로 크기 때문에 철저히 조사할 수밖에 없는 상황임. 책임범위의 한계를 명확히 규정하여 정화의 실행여부, 한계, 손해배상책임의 대상, 소급의 대상 여부 등 법체계가 정립되어야 조사 체계도 변화 가능할 것으로 보임.

질의 양수인의 책임 문제와 조사에 최선을 다했지만 발견하지 못했을 경우의 문제는 어떻게 해결해야 하는가?

응답 본인이 오염의 원인자이든 아니든 소유한 오염 토지의 재산가치가 떨어지므로 정화비용을 본인이 부담해야한다는 점은 일반 법 상식으로 받아들일 것으로 생각했으나 그 단계까지 가지 않고 있는 상태라 할 수 있으며, 현재 우리나라에서는 양수인의 경우

선의의 무과실일 경우에만 책임이 없음.

질의) 일본의 경우 현재 토지소유자에게 시정명령을 내리면 토지소유자는 과거 원인에게 책임규명을 묻는 다고 알려져 있음.

응답) 우리나라 법에는 오염원인자에 양수인도 포함되고 실제 오염자와 확대된 오염원인자 관계에서는 연대책임을 지도록 되어 있음. 정부가 소유자에게 정화명령을 내리면 현재 소유자가 거부권을 행사할 수는 없지만 민사상 실제 원인에게 정화비용에 대한 부산권을 요구할 수 있음. 미국의 PRP도 마찬가지이나 이럴 경우 법리상으로는 틀린 말은 아니지만 과거 사실을 현재의 법에 적용한다는 것에 한계가 있기 때문에 특정 지점을 정하여 정부지원 100%, 부분적 정부지원, 원인자부담 100% 등으로 나누고 있음.

질의) 일본의 경우 토지대장에 토지매매 거래시 전문기관에 토양분석 의뢰를 의무화하고 있다고 알고 있음.

응답) 토지매매시의 규제로 분석결과를 제출하는 것은 조사비용의 부담을 주는 것으로 우리나라에서 이런 제도를 제정하기에는 어려움이 있음. 시험방법의 기술적, 숙련도에 따라 다른 조사 결과가 나오는 것도 문제가 됨. 즉, 법체계의 문제와 함께 공정시험방법이 통일되어 있지 않다는 점도 문제로 보임.

◎ 토양측정망의 운영

의견) 환경시료의 분석 결과는 실제로 매번 같은 값을 기대하기 어려운 것이 사실이며, 여러 번의 비슷한 결과가 나왔을 때 신뢰도가 높다고 말할 수는 있음.

질의) 토양측정망에서 측정 지점에 대한 신뢰성이 과연 있을 것인가?

응답) 측정 지점들 간의 개연성에 대한 판단을 공무원이 하는 현실에서 조사자의 독립적인 의견을 반영하기 어려운 상황임.

의견) 토양측정망의 운영 목적이 오염을 찾아내기 위한 것이 아닌 지속적인 환경 모니터링이라고 볼 때 토양측정망과 토양오염실태조사 결과를 함께 놓고 논의하는 무리가 있는 것으로 생각됨.

의견) 문제의 초점을 중앙 정부에서 하는 측정망이 아닌 지자체에서 시행하는 실태조사에 맞추어야 함. 그리고 측정지점의 수를 늘리자는 의견이 있는데 근본적인 문제에 대한 해결이 선행되어야 할 것으로 생각됨.

워싱턴주 환경부: 토양 및 지하수 오염 정화법과 최근 경향

Cleanup Regulations in Washington State

1. Introduction of Washington State's environmental protection agency: goals statues, programs, budget(funding sources/expenses)
2. Outlines of cleanup regulations(soil, groundwater, and air related): Toxics cleanup Program and Model Toxics Control Acts
3. Emerging issues(soil and groundwater pollution related) in US

박헌석 엔지니어

Washington State Department of Ecology

와싱턴주 환경부 :
토양 및 지하수 오염 정화법과
최근 경향에 관련하여 ...

Cleanup Regulations in Washington State



May 9, 2006

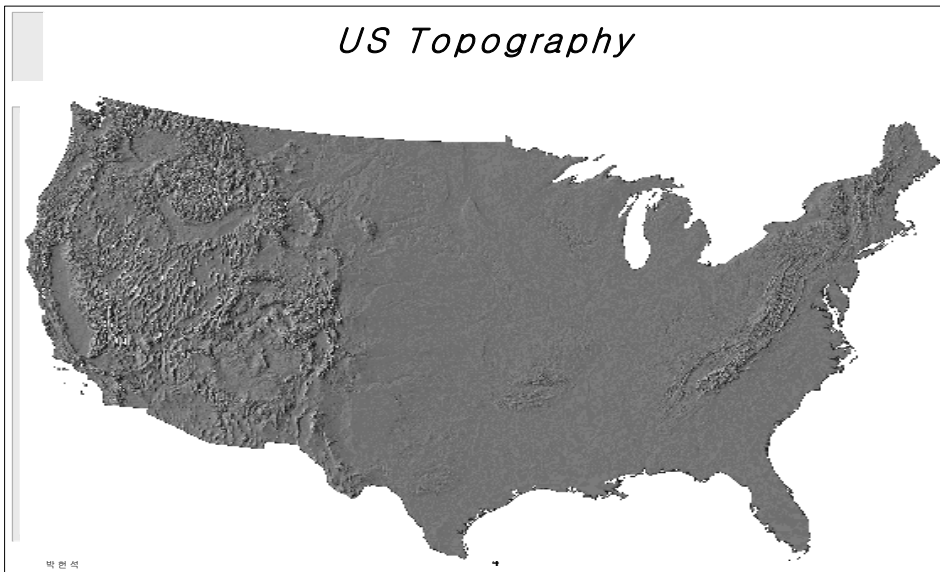


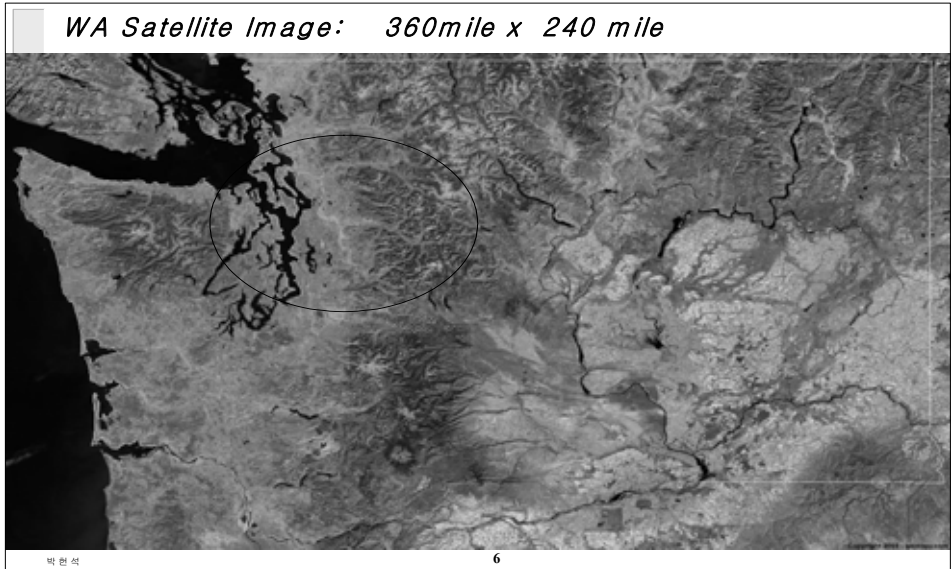
박현석

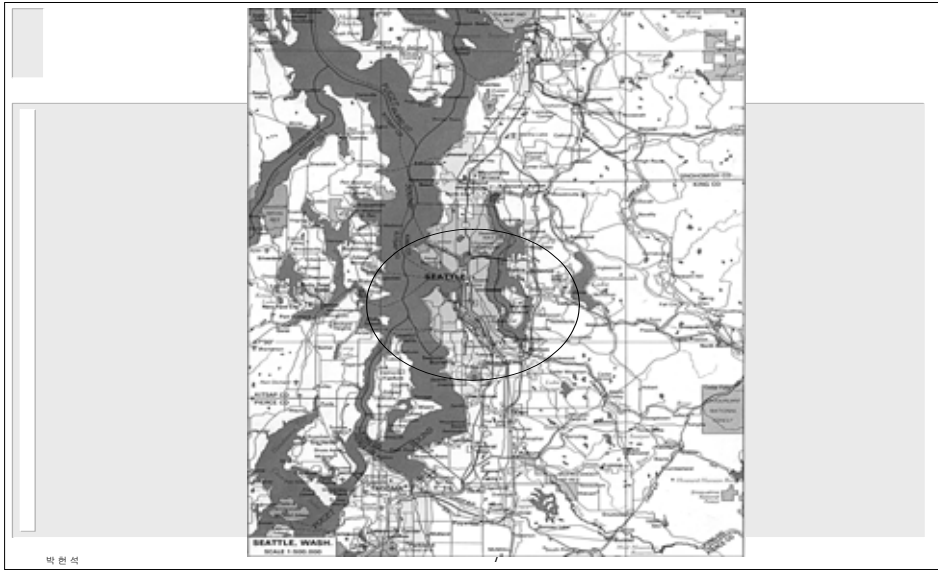
Senior Civil and Environmental Engineer
Toxics Cleanup Program :
<http://www.ecy.wa.gov/ecyhome.html>

Today's Agenda

- ✓ Introduction of Washington State's environmental protection agency: goals, statues, programs, budget (funding sources/ expenses);
- ✓ Outlines of cleanup regulations (soil, groundwater, and air related): Toxics cleanup Program and Model Toxics Control Acts;
- ✓ Emerging issues (soil and groundwater pollution related) in US; and
- ✓ Q/A: any personal or work related







박원석



박원석

Seattle



박현석

9

Mount Rainier (14,410')



박현석

10



박원석

11

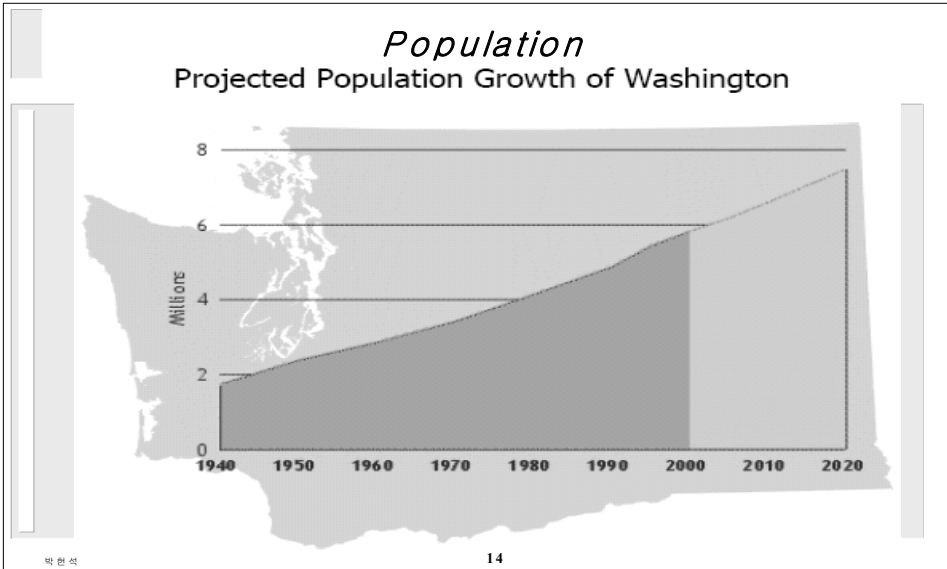
The anadromous variety of the rainbow trout, having silvery, unstriped sides.

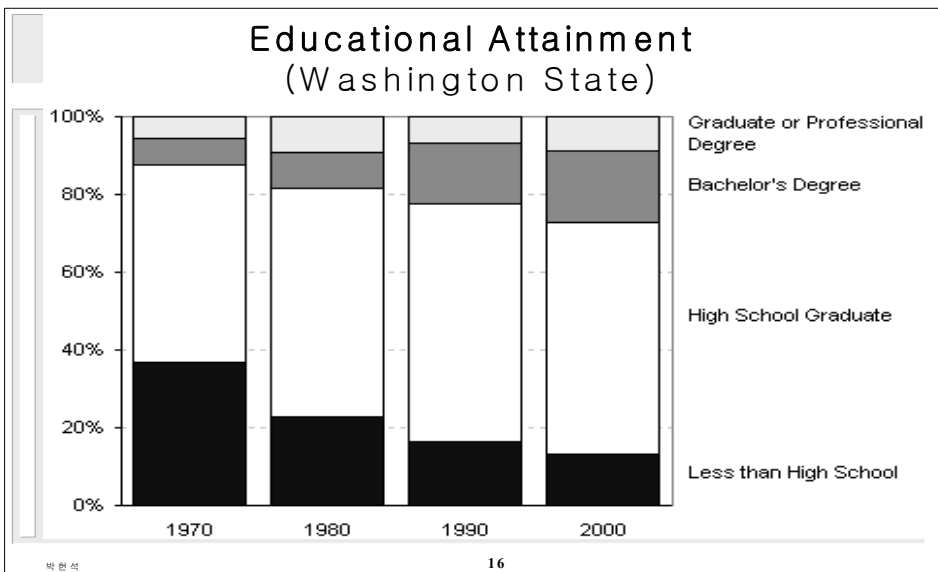
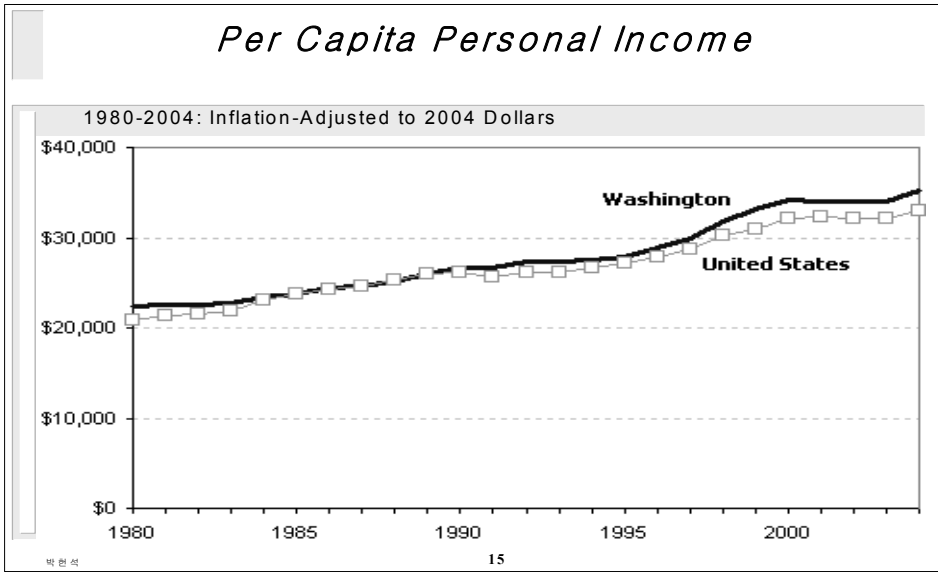


Steelhead

박원석

12





Misc.

- Population: 6.0 mil (2004);
- Land: 68,139 sq mi (176, 479 sq km)
- 42nd state in 1889; late 1890s, main staging point for gold miners to Alaska
- Industry: hydroelectric power, aircraft building, ship-building, high-tech, tourism, agricultures
- Incomes: Median \$35,000 per capita (11th; slightly higher than US Avg (2005 data)
- Political cloud: Liberal and Democratic party control: house, senator and governor

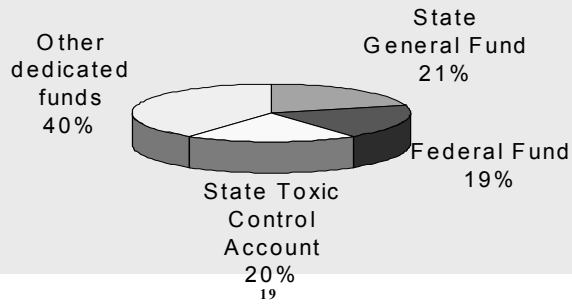
Washington State Department of Ecology

- ✓ Washington's principal environmental management agency and created in 1970,
- ✓ Protect both humans and the environment from pollution,
- ✓ Restore and preserve important ecosystems that sustain life, and find ways to meet human needs without destroying environmental resources and functions, and
- ✓ Improve the economic vitality of business and individuals.

Agency Overview (Budget and Program)

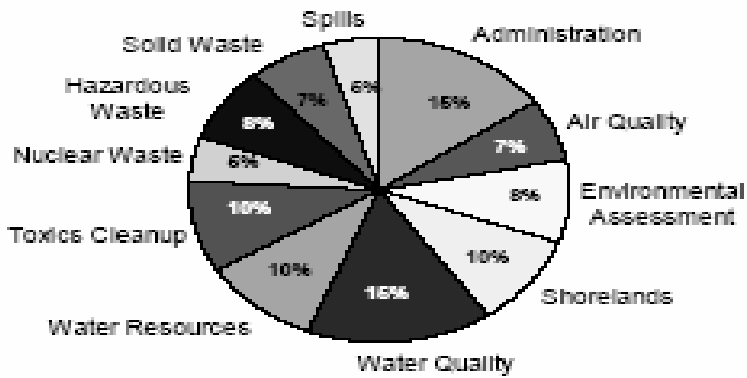
Biennial Budget: \$810 million (operating budget 1/2 + capital budget); \$70/citizen/year

Funding Source, 2006



박원석

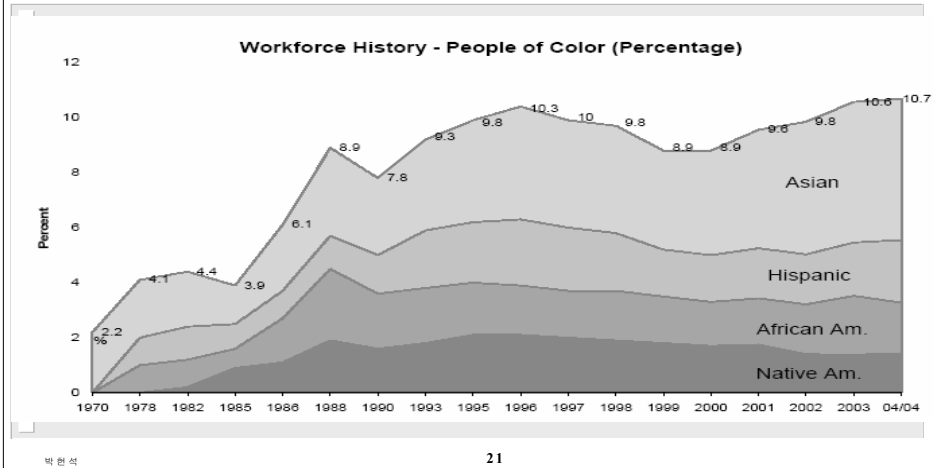
Ecology Staffing Levels by Program Full-time Equivalents (FTEs)



박원석

20

Composition of Workforce: DOE



Programs & Services

대기 관리국 (Air Quality): 워싱턴주의 대기상태를 보호하고 보존하며 향상시킴으로써 현재와 미래 세대가 살기에 안전한 공중보건과 환경, 그리고 보다 나은 삶의 질을 제공함.

환경 평가국 (Environmental Assessment): 환경상태에 관한 정확하고 객관적인 자료를 제공함으로써 워싱턴주 환경부가 얼마나 효과적으로 운영되고 있는지를 평가하고, 일반 시민에게 환경자료를 제공하여, 주어진 예산의 효용을 극대화 시킴.

유해 폐기물 및 독성 화학물질 재해 방지국 (Hazardous Waste and Toxics Reduction): 쾌적한 생활 환경의 조성, 오염방지 및 안전한 폐기물 관리.

핵 폐기물 관리국 (Nuclear Waste): 미국 연방 에너지 청으로 하여금 발생된 각종 폐기물 철저히 관리하게 하여 Hanford 지역 및 그 인접지역의 대기, 수질 및 토양을 보존함

해양 및 지표 수변 (Shoreland) 환경 보호국 (Shorelands and Environmental Assistance): 지역사회와 협력하여 건강한 분수계(watershed)를 보존하고, 주 전역의 환경적 관심들을 촉진함.

Programs & Services (continued)

고체 폐기물 관리국 (Solid Waste and Financial Assistance): 워싱턴 주에서 생성되는 쓰레기 양을 줄이고 그로 인한 악영향을 최대한 감소시킴.

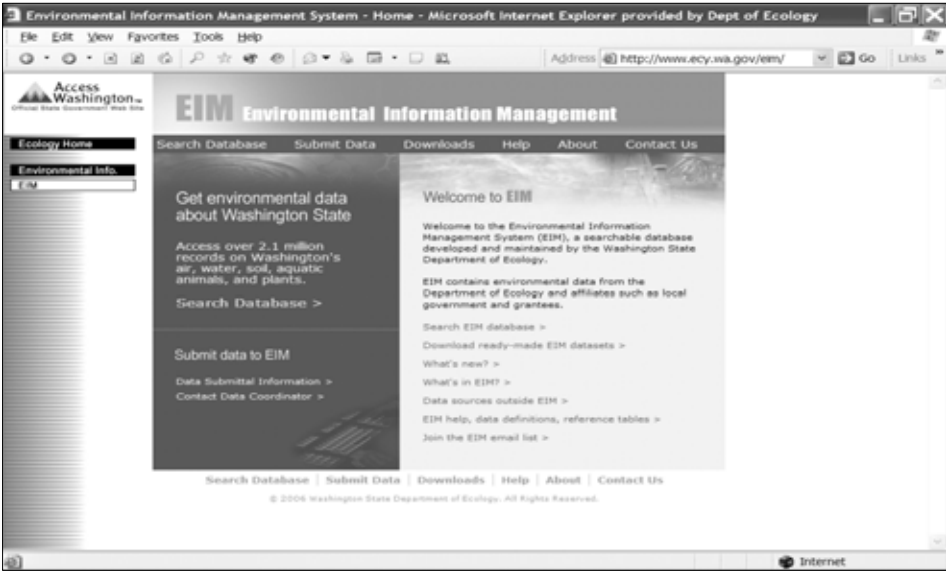
오염물 누출의 예방 및 대책 관리국 (Spill Prevention, Preparedness, and Response): 오염물 누출에 대한 포괄적인 준비, 대응을 통하여 워싱턴 주의 환경, 공중보건, 안전을 지키고 특별히 워싱턴 주의 하천과 토양에 유류 누출을 예방하고 유류나 유해물질이 누출됐을 경우 효과적인 대응을 할 수 있도록 함.

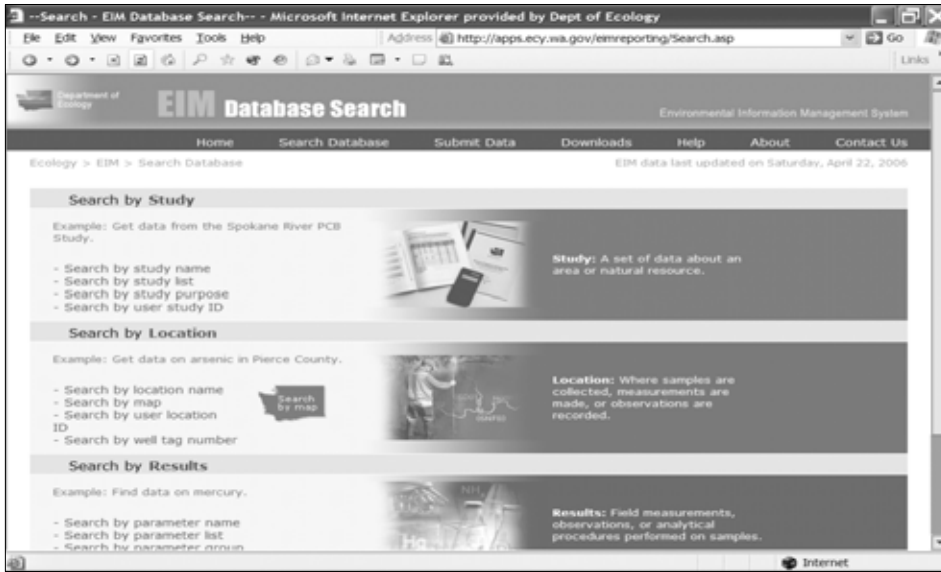
독극 화학물 정화 관리국 (Toxics Cleanup): 환경 오염물질 제거 및 정화. How Clean is clean?

수질 관리국 (Water Quality): 워싱턴 주의 수질을 보호하고 원상태로 회복 시키는 임무.

수 자원 관리국 (Water Resources): 현재와 미래 세대의 자연 환경과 워싱턴 주 지역사회의 수요에 대응 할 수 있는 수자원 관리 임무.

박현석



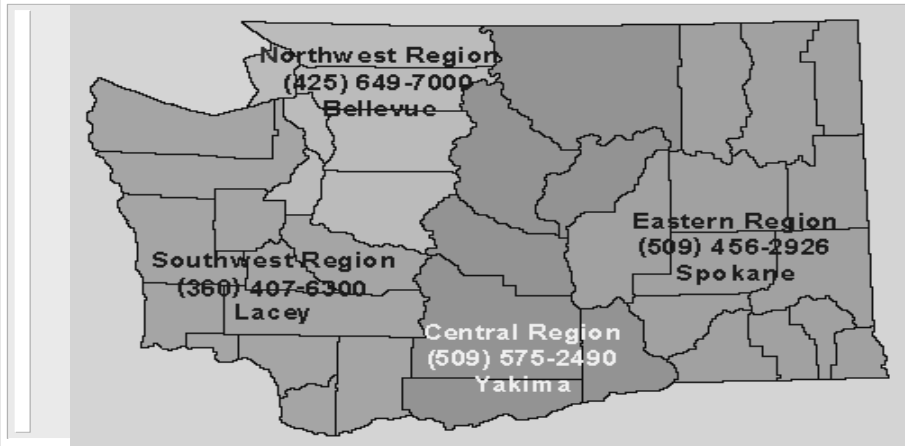


*An Overview of
Washington State Cleanup
Regulations:*

**Model Toxics Cleanup Act:
*Toxics Cleanup Program***

박원석 26

Regional and Field Offices



박원석

27

Regulatory Authority

Statute

- Initiative 97, passed by the voters in November, 1988 general election
- Codified as Chapter 70.105D RCW

Rules

- WAC 173-340 (Cleanup regulation)
- WAC 173-204 (Sediment management standards)

박원석

28

Key Principles

- Polluter pays
- Permanent remedies
- Public participation
- Favor towards action instead of arguing
- Innovation

Toxics Cleanup Program

- Around 10,000 cleanup sites (6000 from LUST); 144 FTE
- Major Stake Holders: *Petroleum companies, ports, environmental groups Business and individuals engaged in the cleanup of contaminated sites*
 - *Insurance companies, Lenders, developers, realtors*
 - *Owners of contaminated sites*
 - *Water purveyors*
 - *Citizens interested in, living near, or affected by contaminated sites*
 - *Tank owners/operators/providers*
 - *Homes and businesses affected by leaking*
 - *Underground storage tanks*

Hazardous Substance Definition

- Any substance that is a hazardous substance under federal superfund law
- Dangerous or extremely dangerous hazardous waste under state hazardous waste law
- Petroleum and petroleum products
- Other substances determined by Ecology by rule

Definition of Hazardous Facility

- Physical structures including:
 - Buildings
 - Landfills
 - Wells
 - Pipelines
 - Ponds
 - Vehicles
- Any site or area where a hazardous substance has been disposed of or otherwise come to be located.

Example Facility--Discarded Drums



박현석

33

Example Facility--Landfill



박현석

34

Example Facility-Gas Station



박원석

35

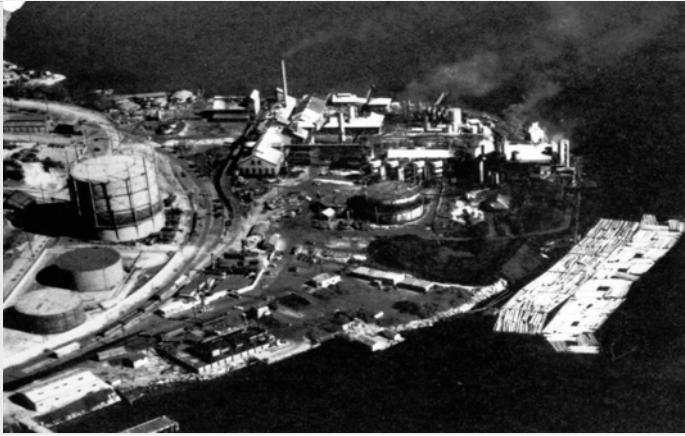
Example Facility- Electrical Substations



박원석

36

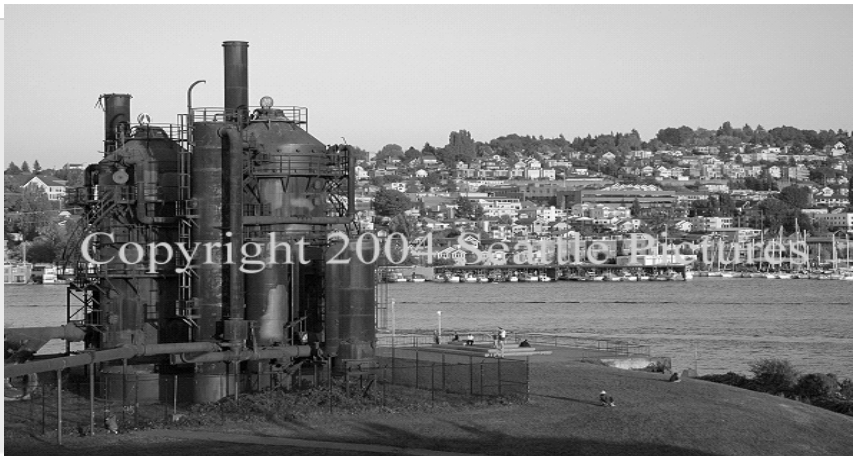
Example Facility—Gas Works Plants (coal and oil-processing facility; 1900 – 1956)



박현석

37

Gas Works Park now (on-going cleanup)



박현석

38

Gas Works Park (on-going cleanup)



박원석

39

Example Facility-Industrial Areas



박원석

40

Example Facility Mining Sites & Facilities



박원석

41

Example Facility—Military Bases



박원석

42

Example Facility—Military Bases



박원석

43

Example Facility—Hanford Site



박원석

44

Example Facility—Hanford Site



박원석

45

Example Facility Area-wide Contamination



박원석

46

Potentially Liable Person (PLP)

- Current owner and operator
- Owner and operator at the time of release
- Persons who owned the hazardous substance and arranged for disposal, treatment or transport (i.e., generators)
- Persons who transported the hazardous substance (i.e. transporters)
- Manufacturers of hazardous substances that cause pollution when used according to their instructions (e.g. pesticides)

Nature of Liability

- Joint and Several--One or all PLPs may be liable for entire cleanup
- Strict liability--PLPs are liable regardless of who's fault it was that pollution occurred

NOTE: Except in emergencies, Ecology must issue PLPs a notice using the procedures in WAC 173-340-500 before ordering action at a site

Defenses to Liability

- Act of God or Act of war
- Act or omission of a third party (e.g. trespasser), provided utmost care was used
- Innocent purchaser, provided used "all appropriate inquiry" into previous ownership and uses of property
- Substance lawfully used for domestic purposes

Defenses to Liability

- Substances applied to food crops without negligence and in accordance with all applicable laws and regulations
- Lenders that didn't participate in the management of the facility
- Plume Clause: Substance came to be located on the property solely as a result of migration through the ground water from an off-property source.

Steps in the Cleanup Process

- Site discovery and reporting
- Initial investigation
- Site hazard assessment & ranking
- Interim action (if necessary)
- Remedial investigation/feasibility study: Cleanup standards, points of compliance, risk assessment, how clean is clean??

박원석

51

Steps in the Cleanup Process (continued)

- Selection of permanent cleanup action
- Site cleanup
- Site-closure
- If contamination left on site:
 - ✓ Institutional controls
 - ✓ Financial assurance
 - ✓ Compliance Monitoring
 - ✓ Periodic reviews

박원석

52

Administrative Approval Processes

- Independent remedial actions
- Consent decree:
 - Standard settlement
 - Prospective purchaser agreement
- Agreed order
- Enforcement order
- "No Further Action" letter under Ecology's Voluntary Cleanup Program

Public Participation in Cleanup Decisions

- No backroom deals!
- Public participation plan
- Public notices/meetings/formal hearings
- Public participation grants
- Citizen technical advisor

Cleanup Standards

Cleanup Standard

- = Concentration (cleanup level, compliance statistics)
- + Applicable Standards in State & Federal Law (ARARs) + Point of Compliance
- Must use RME: "reasonable maximum exposure" &
- ARARs: Applicable or Relevant and Appropriate Requirements other than Superfund Law:
 - ✓ Chemical specific: PCB in soil <50 mg/kg
 - ✓ Action specific: RCRA's landfill design
 - ✓ Location specific: prohibition of land disposal in a floodplain

Cleanup Levels Calculation Methods

- Method A (Simple Site Method): Look-up Table values and standards from other applicable laws (ARARs) & procedures in the rule
- Method B (Universal Method): ARARs plus formulas & procedures in the rule
- Method C (Conditional Method): ARARs plus formulas & procedures in the rule (use limited to certain conditions)

Method A: Look-up Table of Cleanup Levels

Relevant Table 720-1 Ground Water Cleanup Levels for Gasoline Range Organics

<u>Parameter</u>	<u>Cleanup Level (ug/l)</u>
TPH	800 (with benzene) 1,000 (with no detectable benzene)
Benzene	5
Toluene	1,000
Ethyl Benzene	700
Xylenes	1,000 (total of o, p & m xylene)
EDB	0.01
EDC	5
Lead	15
MTBE	20
Naphthalenes	160 (total of naphthalene plus 1 and 2 methyl naphthalene)

박원석

Method B & C (Risk-Based Cleanup Goal)



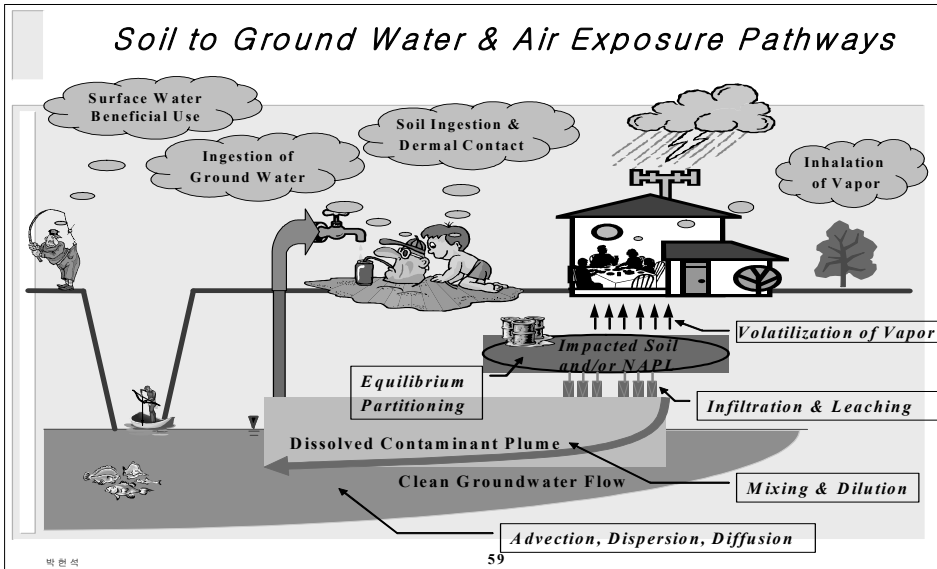
$$\text{Health Risk} = f(\text{Toxicity}, \text{Exposure})$$

*Receptors (type and activities)
*Routes (Fate/Transport models)

Chemical Concentration?

Solve for the concentration term!

박원석



Calculation Methods—Method B

- Cleanup levels are typically based on young child exposure
- Allowable risk for carcinogens:
 - Individual chemicals: 1×10^{-6}
 - Multiple chemicals & exposure pathways: one in one hundred thousand or 1×10^{-5}
- Allowable risk for non-carcinogens:
 - Individual chemicals: hazard quotient of one
 - Multiple chemicals & exposure pathways: hazard index of one

Calculation Methods—Method C

- Cleanup levels are based on adult exposure: different exposure factors applied
- Allowable risk for carcinogens:
 - Individual chemicals: 1×10^{-5}
 - Multiple chemicals & exposure pathways: 1 in 1 hundred thousand or 1×10^{-5}
- Allowable risk for noncarcinogens:
 - Individual chemicals: hazard quotient of one
 - Multiple chemicals & exposure pathways: hazard index of one

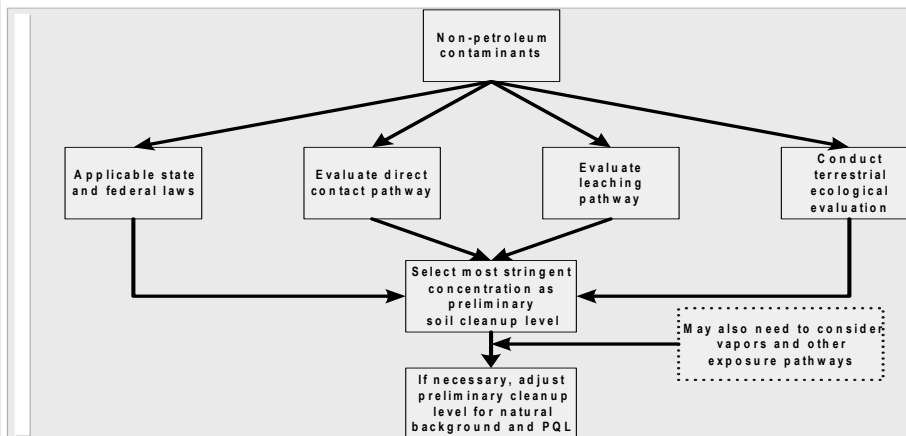
Reasonable Maximum Exposure (RMEs)

- Cleanup levels must be based on the reasonable maximum exposure (RME) expected to occur under both current and future site conditions
- The MTCA rule specifies default RMEs for ground water, surface water, soil and air

Reasonable Maximum Exposure (RMEs)

- Ground water: RME is a person drinking the water
- Surface water: RME is surface water classification (must consider both fish consumption and aquatic impacts)
- Air: RME is a person breathing the air in a residential land use setting
- Soil: RME is residential land use for most sites; Industrial land use an option for qualifying industrial properties

Example: Soil Cleanup Levels Exposure Pathways of Primary Concern



Example: Soil Cleanup Levels for petroleum products

- Over 20,000 constituents from crude oil: wide ranges of physical and chemical properties & tox values;
- Surrogate and fractionated (equivalent hydrocarbon ranges) approach.
- Use multi-phase & multi-component partitioning equilibrium model to assess the leaching potential

박원석

65

Microsoft Excel - MTCATPH10_unlocked.XLS

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Main Preview END Print

Properties of Chemicals commonly found at Petroleum Contaminated Sites

Note: Please refer to T2-APP-REF 2.0 2007 for the source of data.

CAS NO	Compound or Petroleum Equivalent Carbon Fraction	Physical-Chemical Properties					Toxicological Properties						
		Molecular Weight	Aqueous Solubility	Henry's Law Constant	Soil Organic Carbon-Water Partitioning Coef	Liquid Density	Oral Reference Dose	Inhalation Correction Factor	Inhalation Reference Dose	Dermal Absorption Fraction	Gastrointestinal Absorption Fraction	Oral Carcinogenic Potency Factor (with CalEPA's TEF for dPAHs)	Inhalation Carcinogenic Potency Factor (with CalEPA's TEF for dPAHs)
		GF _w	S	H _{oc}	K _{oc}	ρ	RfD _o	INH	RfD _i	ABS _d	GI	CPF _o	CPF _i
	mg/mol	mg/l	unitless	l/kg	mg/l	mg/kg-day	unitless	mg/kg-day	unitless	unitless	kg-day/kg	kg-day/kg	
Extractions													
	AL_EC > 5-6	8.100E+04	3.600E+01	3.300E+01	8.000E+02	6.700E+05	5.7	2	5.7	0.03	0.8		
	AL_EC > 6-8	1.000E+05	5.400E+00	5.000E+01	3.800E+03	7.000E+05	5.7	2	5.7	0.03	0.8		
	AL_EC > 8-10	1.300E+05	4.300E+01	8.000E+01	3.000E+04	7.300E+05	0.03	2	0.085	0.03	0.8		
	AL_EC > 10-12	1.600E+05	3.400E+02	1.200E+02	2.340E+05	7.500E+05	0.03	2	0.085	0.03	0.8		
	AL_EC > 12-16	2.000E+05	7.600E-04	5.200E+02	5.270E+06	7.700E+05	0.03	1		0.1	0.5		
	AL_EC > 16-21	2.700E+05	1.300E-06	4.800E+03	9.550E+09	7.800E+05	2	1		0.1	0.5		
	AL_EC > 21-24	4.000E+05	1.500E-11	1.000E+05	1.070E+10	7.900E+05	2	1		0.1	0.5		
	AR_EC > 6-10	1.200E+05	6.500E+01	4.600E-01	1.580E+03	6.700E+05	0.05	2	0.05	0.03	0.8		
	AR_EC > 10-12	1.300E+05	2.900E+01	1.400E-01	2.910E+03	9.000E+05	0.05	2	0.05	0.03	0.8		
	AR_EC > 12-16	1.500E+05	5.600E+00	5.300E-02	5.070E+03	1.000E+06	0.05	1		0.1	0.5		
	AR_EC > 16-21	1.900E+05	5.900E-01	1.300E-02	1.580E+04	1.160E+06	0.03	1		0.1	0.5		
	AR_EC > 21-24	2.400E+05	6.600E-03	6.700E-04	1.350E+05	1.300E+06	0.03	1		0.1	0.5		
71-43-2	Benzene	78.000E+04	1.700E+03	2.200E-01	6.200E+01	6.700E+05	0.003	2	0.0001	0.0005	0.95	0.065	0.027
106-99-3	Toluene	92.000E+04	5.260E+02	2.720E-01	1.400E+02	8.680E+05	0.2	2	0.14	0.03	1		
100-41-4	Ethylbenzene	106.000E+05	1.600E+02	2.220E-01	2.040E+02	6.670E+05	0.1	2	0.266	0.03	0.92		
	Total Xylenes	106.000E+05	1.700E+02	2.290E-01	2.330E+02	6.750E+05	2	2	0.2	0.03	0.9		
100-54-3	Total High Aromatics	126.000E+05	3.100E+01	1.960E-02	1.19E+03	1.145E+06	0.02	2	0.00066	0.13	0.89		
1034-04-4	MTHF	8.000E+04	5.000E+04	1.800E-02	1.090E+01	7.440E+05	0.06	2	0.057	0.03	0.8		
106-93-4	Ethylene Dibromide (EDB)	187.90E+05	3.400E+03	1.290E-02	4.400E+01	2.170E+06	0.000057	2	0.000057	0.03	0.8	0.5	0.76
107-06-2	1,2-Dichloroethane (DCE)	98.900E+04	8.520E+03	4.030E-02	1.430E+01	1.920E+06	0.03	2	0.004	0.03	0.8	0.091	0.091
156-55-3	Dinitrochlorobenzene	233.30E+05	9.400E-03	1.370E-04	3.575E+05	1.274E+06	1	1	0.13	0.89	0.73	6.1	6.1
205-99-2	Benzothiazanthrene	252.30E+05	1.500E-03	4.950E-03	1.230E+06	1.300E+06	1	1	0.13	0.89	0.73	6.1	6.1
207-09-9	Benzothiazanthrene	252.30E+05	8.000E-04	3.400E-05	1.230E+06	1.300E+06	1	1	0.13	0.89	0.73	6.1	6.1
90-32-6	Benzo[a]pyrene	252.30E+05	1.620E-03	4.630E-05	9.688E+05	1.300E+06	1	1	0.13	0.89	0.73	6.1	6.1
218-01-9	Chrysene	228.30E+05	1.600E-03	3.880E-03	3.980E+05	1.274E+06	1	1	0.13	0.89	0.073	0.061	0.061
57-70-3	Dibenzofuran	278.00E+05	2.490E-03	6.030E-07	1.719E+06	1.260E+06	1	1	0.13	0.89	2.92	2.44	2.44

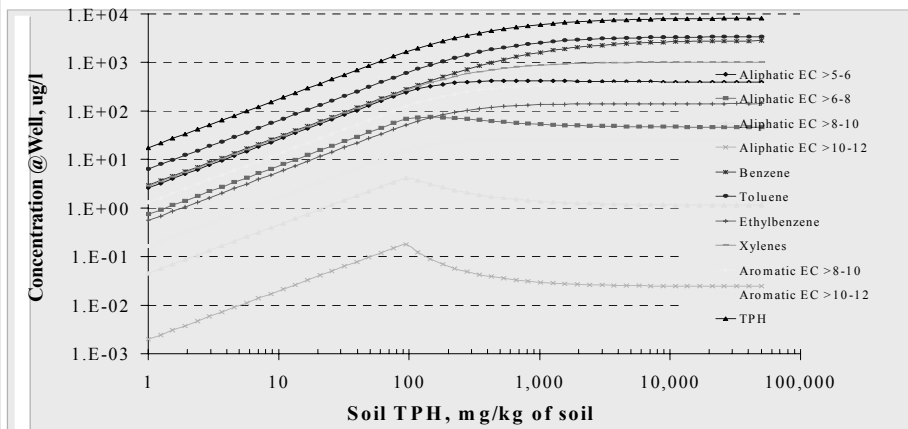
Sample Petroleum Product Weight Compositions

	Fresh Gasoline	Weathered Gasoline	Fresh Diesel	Weathered Diesel	Mineral Oil	Bunker C
Aliphatics						
EC >5-6	0.2300	0.0920	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000
EC >6-8	0.2200	0.2750	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000
EC >8-10	0.0900	0.1200	0.0200	0.0110	0.0010	0.0000
EC >10-12	0.0300	0.0130	0.0700	0.0600	0.0030	0.0000
EC >12-16	0.0000	0.0000	0.3500	0.3000	0.1600	0.0950
EC >16-21	0.0000	0.0000	0.3400	0.3700	0.7000	0.0790
EC >21-34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.1160
Aromatics						
Benzene	0.0250	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Toluene	0.1200	0.0980	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ethylbenzene	0.0200	0.0300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Xylenes	0.1100	0.1300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EC >8-10	0.1300	0.2200	0.0100	0.0010	0.0010	0.0000
EC >10-12	0.0250	0.0140	0.0100	0.0060	0.0010	0.0000
EC >12-16	0.0000	0.0000	0.0800	0.0320	0.0070	0.1450
EC >16-21	0.0000	0.0000	0.1200	0.1880	0.0800	0.3610
EC >21-35	0.0000	0.0000	0.0000	0.0320	0.0460	0.2040

박원석

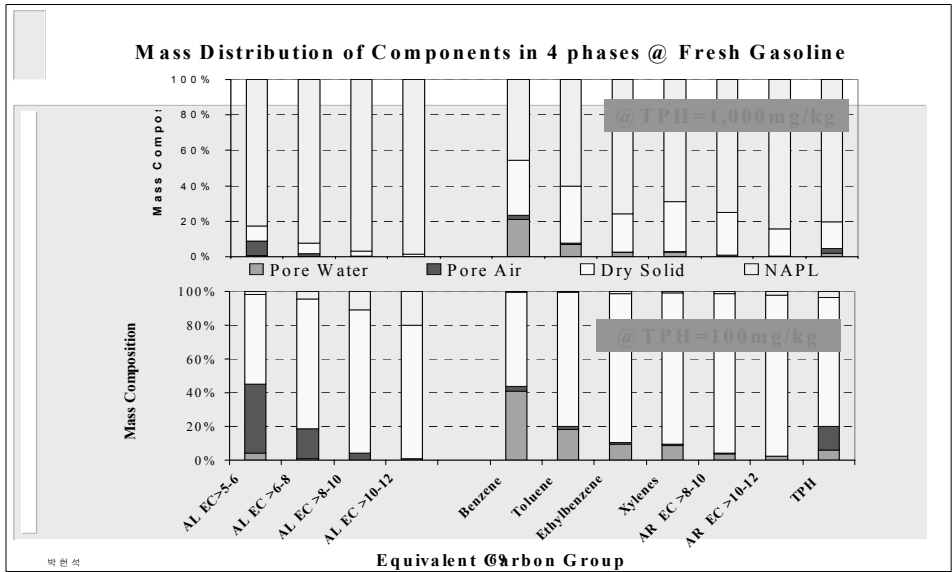
67

Figure 4. Predicted concentration of EC at well @ fresh gasoline

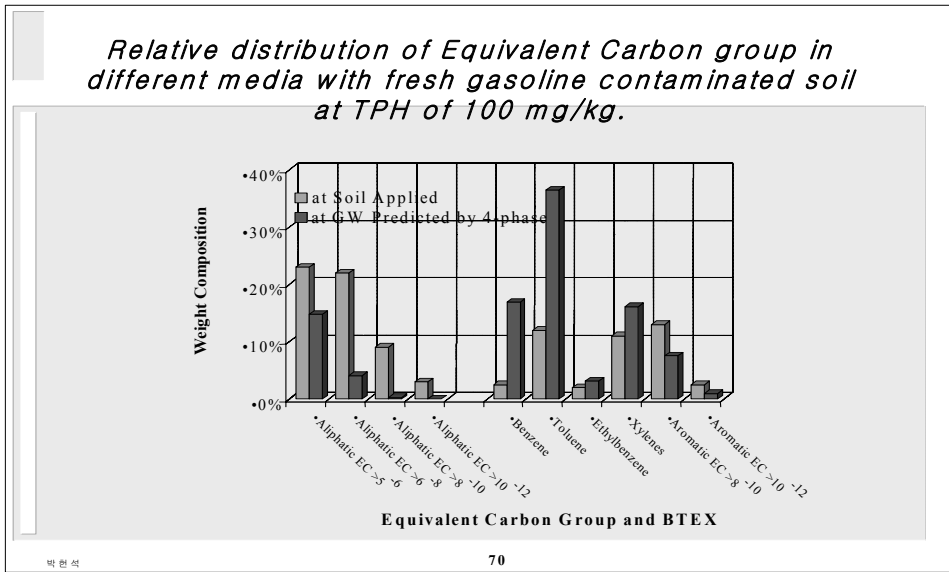


박원석

68

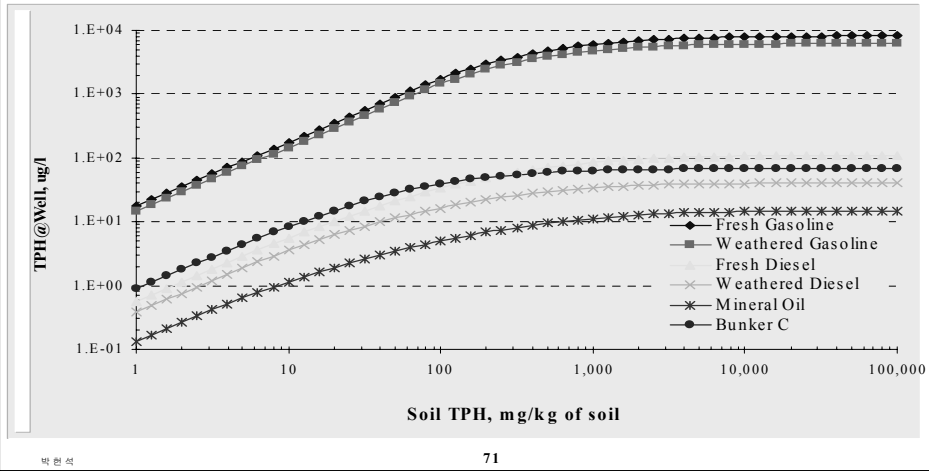


박원석



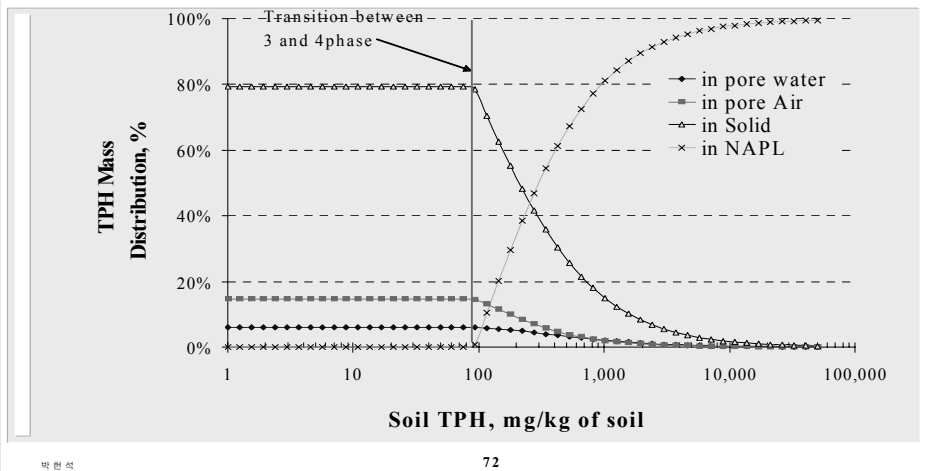
박원석

Figure 6. TPH Predicted at well versus soil TPH measured

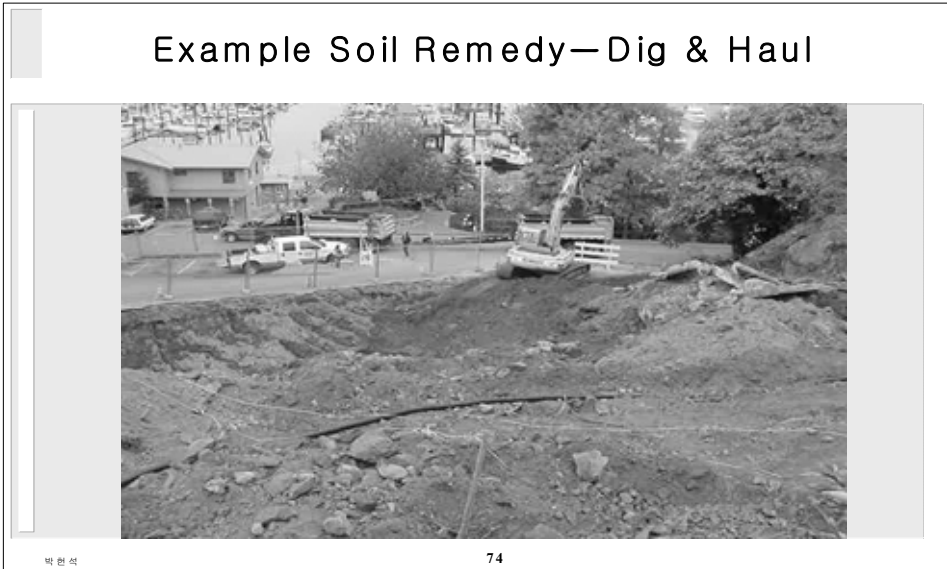
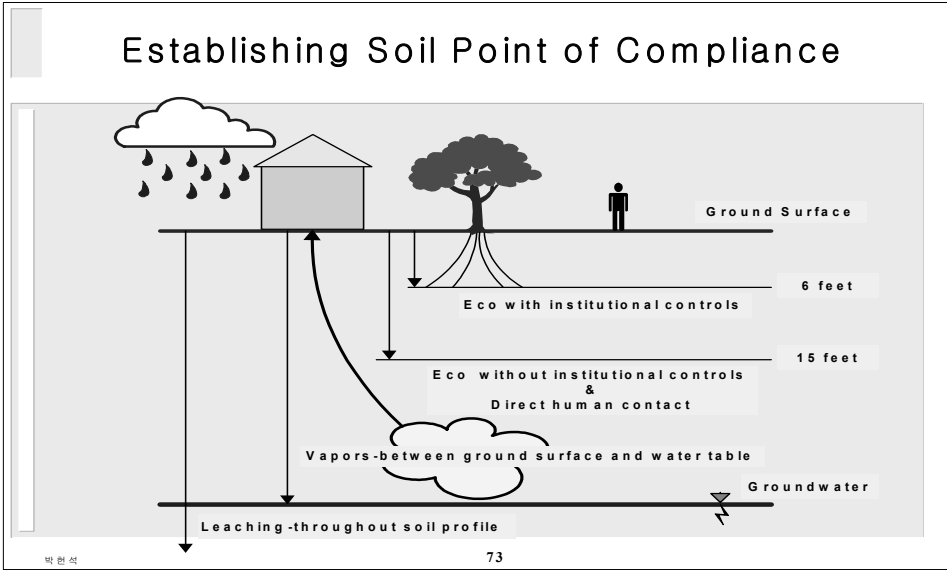


국립환경연구원

Figure 3. Mass distribution predicted by the study model @ Fresh gasoline



국립환경연구원



Example Soil Remedy—Cap



박원석

75

Example Remedy—Soil Solidification



박원석

76

Typical Cleanup Methods—Ground Water

- Pump and Treat
- Containment Systems
- Permeable Reactive Barriers
- “In Situ” (In Place) Treatment
 - Air-Sparging
 - Chemical Oxidation
 - Enhanced Bioremediation
 - Natural Attenuation

박원석

77

Example GW Remedy—Air Stripping



박원석

78

Example Remedy—Bentonite Slurry Wall



박원석

79

Example Remedy—Sheet Piling C/O Wall



박원석

80

Example GW Remedy—Air Sparging



박원석

81

Example Sediment Remedy Electrochemical Remediation



박원석

82

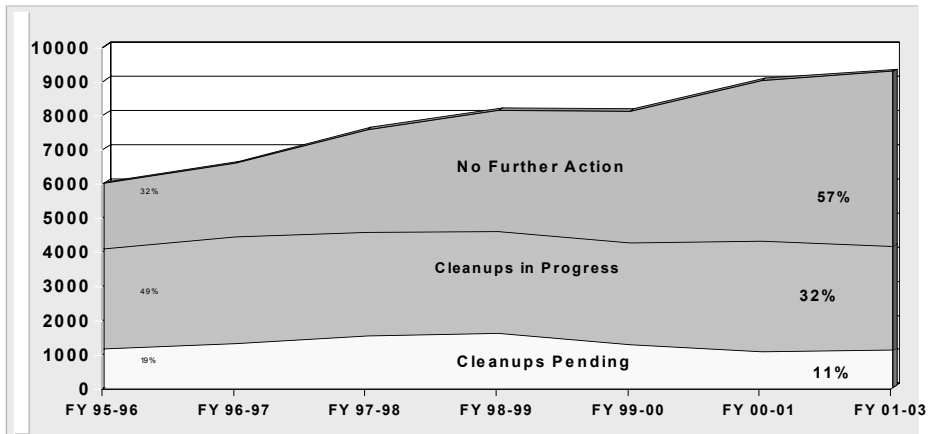
Example Sediment Remedy Electrochemical Remediation



박원석

83

Trend in Status of Known and Suspected Contaminated Sites (as of January 20, 2004)



박원석

84

Model Toxics Control Act-Summary

- Passed as a citizen's initiative in November, 1988 general election
- Rules intended to streamline process for setting cleanup levels
- Judgement involved in setting point of compliance & selecting remedies
- Community involvement in site cleanup decisions is key to success
- WA State has made significant progress in the cleanup of contaminated sites

Emerging Issues

Future Focus of Ecology Dept

- ✓ Regulatory consistency and predictability
- ✓ Till 1990's, focused on controlling pollution from "point" sources (air emissions from factory smoke stacks and water discharge from sewage treatment facilities)
- ✓ Not significantly improving despite industrial control technologies.
- ✓ Pollution coming from many diffused points, termed "non-point source pollution." (rainfall or snowmelt, fertilizers, pesticides, oil, grease, animal waste, sediment from soil erosion, atmospheric deposition)
- ✓ Persistent, Bioaccumulative Toxins (PBT) : Mercury and Flame retardants (Rule adopted 1/13/2006): Shoreline management issues and coastal restoration efforts: Mercury Chemical Action Plan and Pesticide Incident Reporting and Tracking
- ✓ Better water management (rivers, streams, lakes, and groundwater, etc.): coping demand for instream uses

박원석

87

Major Activities/Issues of TCP program

- ✓ Clean the Worst Contaminated Sites First (Upland and Aquatic)
- ✓ Manage Underground Storage Tanks to Minimize Releases
- ✓ Services to Site Owners that Volunteer to Clean up their Contaminated Sites
- ✓ Areas of Wide-Spread Contamination
- ✓ Exploded Ordnances at Federal Facilities
- ✓ Abandoned Mine Sites, orphan sites
- ✓ Superfund Site Transfers to the State.

박원석

88

Prospects of the sale/ownership of Contaminated properties via Brownfields Program

- ✓ Prime real-estate locations: gas stations, industrial and retail properties...
- ✓ New and expanded programs: Revitalizing contaminated sites/lands: land is valuable and finite resource: shifting the paradigm from "cleanup" to "cleanup and reuse"
- ✓ 2002 "small business liability relief and Brownfields revitalization act"; funding mechanisms from federal and state, private industries
- ✓ Remediation of petroleum contaminated property: old gas stations sites, less aggressive approach allowed, natural attenuation remedy; eligible relatively low-risk sites
- ✓ Marketability of contaminated property: "fixed" or "guaranteed" cleanup cost by consulting firms vs. lender's liability on prospective purchasers' other collaterals

박원석

89

Hot Issues: technical & policy

- ✓ Optimization of groundwater remediation systems at RCRA corrective action facilities
- ✓ Emerging contaminants: Perchlorate (rocket fuels); 1,4-dioxane (solvent & stabilizer in chlorinated solvents); N-Nitrosodimethylamine (NDMA: rocket fuels, pesticides, rubber tires, dyes)
- ✓ Current Status of RBCA: risk-based cleanup levels: resulting cleanup levels extremely variable
- ✓ Vapor Intrusion risk evaluation and corresponding remedial actions

박원석

90

Emerging legal issues

Toxic torts and product liability claims/
litigations: class action, Erin
Brockovich's movies (Civil Actions):

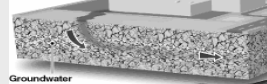
- In the past, mainly asbestos and mold
- Now increasing on silica (in sand via airborne for inhalation exposure) and perchlorate (in certain combustible materials, food, fireworks)
- Vapor Intrusion Claims

A Colorado family in harm's way

Pollution from the Redfield rifle scope factory flowed beneath Alex and Susie Jackson's southeast Denver neighborhood. Vapors from the chemical DCE entered the home at levels seven times worse than state health standards. Susie Jackson, a stay-at-home mom for her children Eric and Jessica, was diagnosed with cancer shortly after Labor Day in 1996. Six months later, six years after moving into the home, she died at 34. State officials are studying whether there was an abnormal number of cancer cases in the area, although they won't be able to say why Jackson got ill. "She didn't drink or smoke," said Alex Jackson. "We kept asking 'Why? How?'"

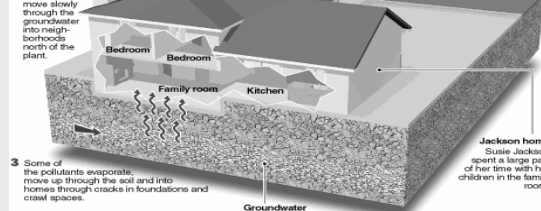
How the toxins spread

1 Industrial pollutants are spilled on the ground and percolate into the groundwater.



Groundwater

2 Pollutants move slowly through the groundwater into neighborhoods north of the plant.



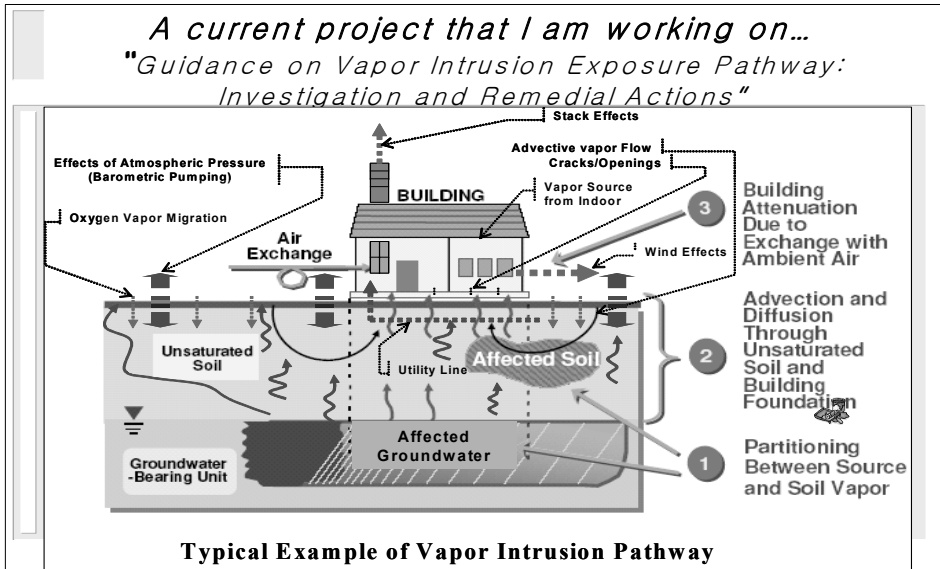
3 Some of the pollutants evaporate, move up through the soil and into homes through cracks in foundations and crawl spaces.



Special to The Denver Post

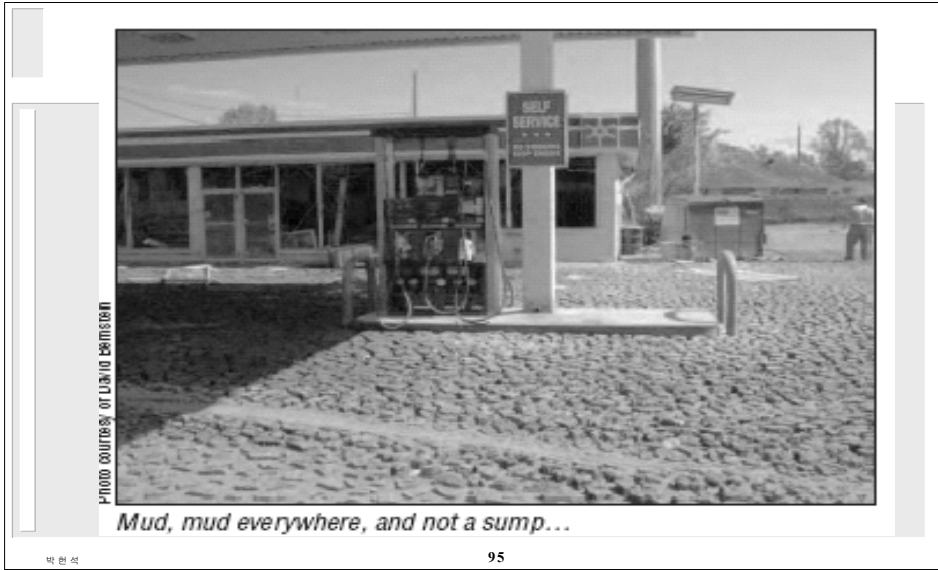
Denver Post: January 2002

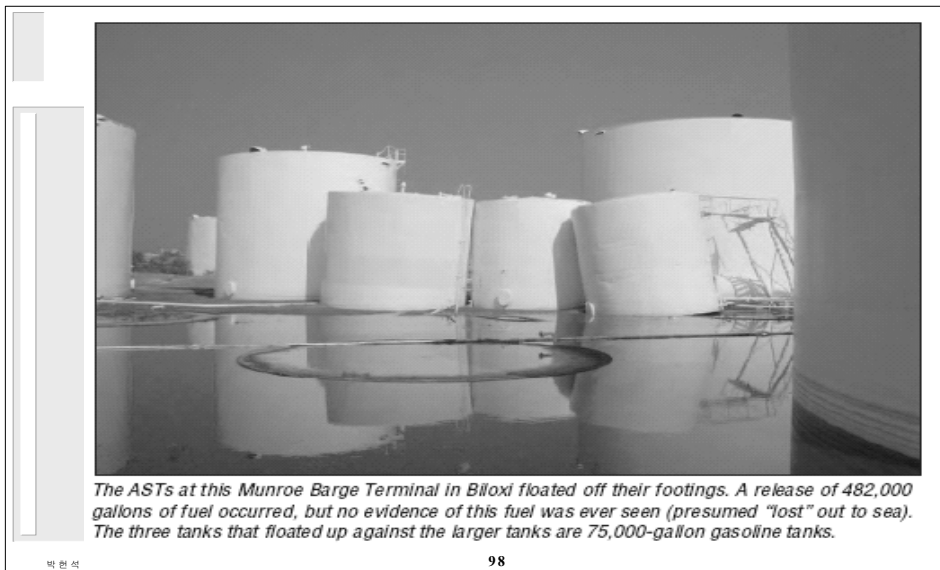
- A mother (a stay-at home mom) of two kids at age of 34 yrs died with a cancer.
- She lived this house for 6 yrs, did not smoke or drink.
- Concentration of DCE at indoor air is 7 times higher than regulatory level



Katrina

- Post-Katrina superfund site impact evaluation
- Evaluation of water, soils and sediments near industrial facilities affected by the Katrina storm surge
- Preliminary assessment: not as bad as expected







주요 토의내용(2차)

질의) 워싱턴 주에서 토양오염지역을 조사하고 복원하는데 소요되는 전체 비용 중 변호사 비용이 어느 정도 차지하고 있는가?

응답) Superfund법이 시행된 지 10여년이 넘었지만 실제로 Cleanup이 진행된 것은 얼마 되지 않았으며 지금까지 워싱턴 주에서 토양오염지역을 조사, 복원하는 전체 예산의 1/3 정도를 변호사 비용이 차지했던 것으로 파악됨.

◎ Brownfields Program

질의) Brownfields Program에 대하여 간략히 소개한다면?

응답) 일종의 황무지(brownfield) 개념으로 오염지역의 Cleanup 기준을 맞출 수 없어서 그 지역을 버리고 새로 건설하는 비용이 Cleanup 하는 비용보다 저렴한 경우 연방정부에서 그 지역의 정화를 지원하는 프로그램이라 볼 수 있음.

의견) 산업화과정에서 도시화되어 남아있는 황폐하고 오염된 토지 및 공장들로 인하여 오염이 된 지역을 brownfield라 할 수 있음. 오염이 너무 심하여 정화하지 못하는 경우도 있지만, 경우에 따라서는 오염이 심하지 않은 경우에도 더 심해지기 전에 그 지역을 버리고 다른 새로운 지역에 이주하는 것이 비용이 적게 들었기 때문에 이전에는 그러한 사례들이 많았음. 그러나 땅값의 상승으로 오염 지역을 버리고 가는 것도 상당히 부담되고 도시 미관도 해치게 되는 이유로 재개발하여 이용하고자 하는 경우가 생김. 이때 문제가 되는 것이 도시개발과 함께 토양 및 지하수오염의 복원의 문제인데 이것을 해결하기 위하여 Brownfield법을 만들어 그 지역을 복원하고 도시개발을 할 수 있게 하고 있음.

질의) Brownfield Program의 핵심이 fund 지원인가, Cleanup level을 낮춰주는 것인가? 또, 완전히 Cleanup이 되지 않은 상태에서도 땅을 사용할 수 있도록 허가해주는 것인가?

응답) 기준을 낮추어 주는 것이 아니라, 은행에서 돈을 쉽게 빌릴 수 있도록 법을 개정하고 정화기간을 최대한 연장해주거나 또는 모니터링만 하더라도 영업행위를 할 수 있도록 해주는 것임.

의견) 법적인 기준에 맞지 않더라도 그 지역에서 공장을 사용하거나 다른 용도로 전환할 경우 문제가 될 가능성이 있는 부분에 대하여 정부에서 유예시켜주고 경우에 따라서는 연방정부에서 보조금도 지원해주는 것으로 알고 있음.

◎ 토양과 지하수 오염 정화 연계

질의) 우리나라는 토양과 지하수에 대한 법이 따로 있어서 Cleanup goal 자체가 별개로 정해져 있음. 따라서 토양은 정화하지 않아도 되는 반면 지하수를 정화해야 하는 경우가 생길 수 있는데 오염원이 제거되지 않는데 지하수를 정화하는 것이 현실적으로 가능한 것인가?

응답) 어느 한 요소만 정화할 수는 없고 문제가 될 수 있는 모든 경우를 고려하게 되며, leaching의 문제가 있을 때 leaching pathway를 역으로 따져보고 그 영향을 계산하여 종합적으로 비교하여 적용하도록 하고 있음.

◎ Landfill

질의) 제련소 As 오염지는 어떤 방법으로 정화하고 있는가?

응답) 대부분 토양을 현장에서 태워버리거나 새로운 흙으로 Landfill 하고 있음.

질의) 우리나라도 대부분 그러하지만 engineering 측면에서 볼 때 막대한 비용을 들여 Landfill을 한다면 경제적 손실이 아닌가?

응답) 기준치만 정해진다면 방법적인 면에서는 영구적이고 확실한 방법을 사용하는 것이 우선적이고, 그러한 면에서 다른 방법보다 처리효율이 높은 Landfill이 가장 확실한 방법으로 적용되고 있음.

미군 반환기지 오염현황과 복원방안

1. 조사개요
2. 반환기지별 부지특성, 오염현황, 조사결과
3. 조사의 문제점
4. 복원의 문제점
5. 협상의 문제점

김민철 박사

한국농촌공사 환경지질사업처

**제3차 포럼 발표자료는 공식적으로 공개되지 않은 자료들이 포함되어 있어
발표자의 사전 요청에 따라 본 자료집에 첨부하지 않기로 함**

주요 토의내용(3차)

◎ 중금속 오염원 파악 및 위해성 평가

질의) 조사 항목에는 포함되지 않더라도 중금속의 오염원을 밝히기 원할 경우, 연속추출법 등의 방법으로 중금속의 존재 형태를 파악하면 가능할 것임. 또한 위해성 평가시 지렁이를 이용하면 토양의 위해성 정도에 대한 결과와 함께 복원 전후의 차이를 비교해 볼 수 있으므로 그런 항목이 추가되면 중금속의 위해성 평가 측면에 도움이 될 것임.

응답) 실제 계획상에는 오염원 파악과 위해성 평가 모두 포함되었으나, 조사 기간이 확보되지 못한 문제로 충분한 결과를 얻지 못했으며, 이러한 조사기간의 연장 문제는 향후 필히 해결해야 할 과제라고 생각함.

◎ 반환 지역 내 사격장 오염 현황

질의) 반환된 공유지 중에 사격장이 포함되어 있는 것으로 알고 있는데, 사격장은 기지에 비하여 외부에 노출되어 있고, 복합오염이며, 강수에 의해 오염물질이 이동한다는 점에서 볼 때 미국 측의 반환기지 환경오염 기준인 KISE 규정에 더 가깝지 않나 생각됨. 예를 들어 파주의 스탠리 사격장은 38만평의 대면적으로 미군의 사격 연습량이 많기 때문에 오염정도가 상당히 심할 것으로 예상됨. 사격장에 대한 조사 결과가 있는가?

응답) 파주의 오클라호마의 경우, 평균 총적층의 두께가 6m, 오염층의 두께 1m로 확인되었고, 납이 5,000ppm, 구리가 270ppm으로 기준치를 초과하였으며, ‘가’ 지역 기준 약 7,000평방미터, ‘나’ 지역 기준 1,700평방미터가 오염되어 전체 면적 8만평방미터 중 약 10% 정도가 초과한 것으로 확인됨. 텍사스 기지의 경우, 68,000평방

미터(2만평) 규모의 사격장에서 ‘가’ 지역 기준 2,600평방미터, ‘나’ 지역 기준 800평방미터로 납, 구리의 오염 농도가 상당히 높았고, 오염 총량은 ‘가’ 지역 기준 700-800큐빅미터, ‘나’ 지역 기준 240큐빅미터 정도로 확인. 노스캐롤라이나 사격장의 경우, 20,000평방미터(6,000평) 규모로 납과 구리가 초과되었고, ‘가’ 지역 기준 40,000평방미터(2,500큐빅미터) 정도가 오염된 상태이며, 수질 정화기준을 초과한 지하수는 확인되지 않았음.

◎ 복원비용의 부담 문제

질의) 우리나라의 경우 복원비용의 일부를 미군이 부담할 것이라고 했었지만, 독일이나 일본의 경우는 주둔 미군이 복원비용을 부담하지 않았다고 알고 있는데 어떠한가?

응답) SOFA 규정대로라면 원상회복 의무가 없으므로 미군이 부담할 이유가 없음. 그러나, 부속서류를 개정하고 반환공유지의 환경오염조사 절차에 대한 합의 과정에서 미측이 부담하겠다고 하여 환경부, 국방부에서는 세계적으로 유래가 없는 상황을 확보했다고 생각한 것이 사실임. 현재는 미군측에서 불가입장을 주장하고 있는 상태임. 한국 내의 미국에 대한 여론과 한미간 관계 악화가 실질적으로 중금속 오염을 조사하는 입장에 불리하게 작용하고 있는데, 실례로 미측에서 한국측을 믿지 못하기 때문에 미측 엔지니어가 별도로 샘플 분석과 검증을 하려 했지만 실행되지 못하였음. 이는 이라크전이 시작되면서 전 세계 해외주둔기지의 예산이 15% 정도로 낮아지는 등 자금압박으로 인하여 용역을 지원할 수 없는 상황이 된 것임. 현재 여러 가지 변수들로 인해 협상이 난항을 겪고 있음.

◎ Turn-key 방식의 책임 시공

질의) Turn-key 방식(설계부터 시공, 관리까지 일괄 수주하는 방식)의 책임 시공이 바람직한 방법인가?

응답) 대규모 사업(부산 문현, 부산 정비창, 부산역, 서울 정비창)들은 대부분 그러한 방식으로 가고 있는 실정이며, 그 이유는 공기관이 발주할 경우 책임 회피 문제가 생기는데 있고, 삼성, 한화 등의 대기업들은 일정 비용이 되어야만 사업에 착수하여 하청업체에 맡기는 형태로 진행되는 실정으로 볼 때, 이 분야의 부익부빈익빈 현상을 막기 위해서는 문제를 한시적으로 해결해야 할 것으로 생각됨. 또한, 소규모의 토양정화업체들이 안전하게 성장할 수 있을 때까지 과당경쟁이 되지 않도록 하며, 인력 양성과 시장 형성이 시급함.

의견) Turn-key 방식을 지구 단위로 묶어서 진행하는 것도 방법임.

질의) 사업의 대부분이 Turn-key 방식으로 가야하는 양상인가?

응답) 소규모의 경우 그럴 필요는 없으며, 대기업의 경우도 기술의 축적 없이 자본만으로 할 수 있는 사업은 아니라고 생각함. 소규모 사업이 많기 때문에 기술과 인력을 충분히 확보한 중소기업들이 많아져야 궁극적으로 토양환경이 개선될 수 있다고 봄. 현재까지는 시장의 부재와 더불어 투자만하고 달성하지 못하는 경우가 상당수이므로 중소기업이 성장할 수 있는 시간을 주어야 할 것임.

질의) 외국 엔지니어들이 들어오는 문제에 대해서는 어떻게 생각하는가?

응답) 국내 인력은 외국과 경쟁이 안되기 때문에 불가능하다고 생각됨. 실례로 SK에서 수년전에 이러한 문제를 예견하고 외국과 기술협력을 맺어 진행하려고 했는데 실제 사업 단계에서 몇 가지 문제점이 나타남. 첫째, 소규모 인력으로는 실질적인 도움이 되지 않으며, 둘째, 실질적 도움을 받기 위해서는 비용이 너무 많이 든다는 점이 있음. 즉,

우리와는 실질적으로 경쟁이 되지 않음.

질의) 중국을 중심으로 한 아시아지역을 겨냥하여 들어오는 업체들의 사례가 있는 현 상황으로 볼 때 미국에서 직접 들어오는 경우와 비교하면 중국을 거쳐 들어올 경우 단가는 낮아질 수 있음.

응답) 그런 일이 실제 있으며, 국내에 지사를 두고 활동하는 국제 환경컨설팅 회사들의 경우 주재하고 있는 인력이 1~2명 정도로 활용도가 낮은 것도 사실임. 그러나, 실제로 한국인의 임금보다 적게 받고 컨설팅을 해주겠다고 제의하는 회사들도 있음.

◎ 토양오염조사의 기준

질의) 토양조사시 조사는 어떠한 기준으로 하였는가?

응답) 토양정밀조사지침을 준용하였으며, 조사 착수 3개월 전 SOP(Standard Operation Procedure)를 세부지침으로 정하여 이를 근거로 조사하였음.

질의) 미군측에서 제공한 자료(BEI)에 부지 내 시설 이력 등의 자료가 포함됐었는가? 이는 Zn의 경우에도 해당되며, 건물에 유류 저장 탱크가 있어 오염되었다고 할 수도 있지만 그렇지 않을 가능성도 배제할 수 없기 때문임. 따라서 정확한 오염원을 찾고자 했다면 과거의 시설 배치와 같은 자료들이 필요했을 것으로 생각됨을 지적. 그리고 향후 기지가 반환 되어 국내법상으로 법적 조치가 내려질 경우, 조사항목이 17개에서 30개 수준으로 확대되는 문제에 대해서는 어떻게 대처해야 할 것인가? 복원 후 문제가 있을 경우를 대비하여 시료저장 문제도 고려해야할 것으로 생각되어 외국처럼 현시점에서 규제대상이 아니지만 향후 규제대상이 될 수 있는 물질이 있는 경우까지 시료 저장 대상으로 고려해야 할 것임을 지적. 정화기준 설정시 중금속의 배경농도가 복원 목표 달성에

중요한 고려요소라 생각되며, 향후 위해성 평가를 대비해서 하천, 마을, 주변 지하수 등도 조사해야 할 것임.

응답) 시설물 내역의 경우 BEI상에 설치, 년도, 면적 등의 기본적인 사항이 포함되었으나 보수내역이 없어 어려움이 있었음. 조사항목은 법상의 16개 항목 외에 별도로 RTX, 화약관련 물질, MTBE, 방사능까지 포함시켜 광역적인 배경농도와 기지 내 배경농도를 충분히 고려하여 조사하였음.

제4차 포럼

국내 휴폐광산의 토양오염 현황과 향후 과제

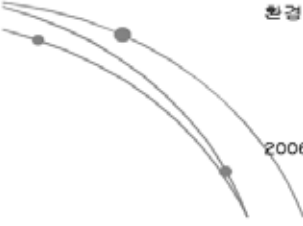
정명채 교수

세명대학교 자원환경공학과

세명대학교 자원환경공학과 환경지질 및 응용지구화학연구소

국내 휴폐광산의 토양오염 현황과 향후 과제

정 명 채
세명대학교 자원환경공학과
환경지질 및 응용지구화학연구소



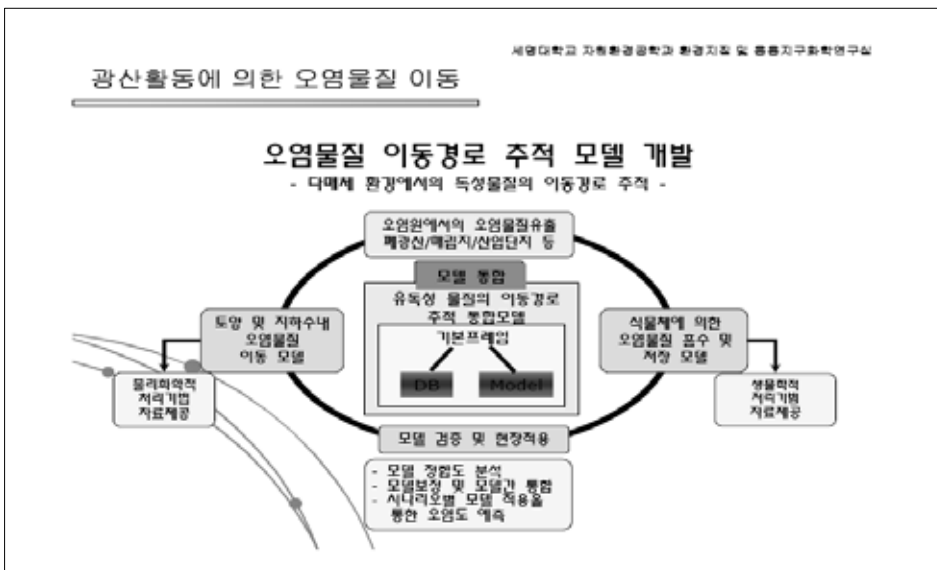
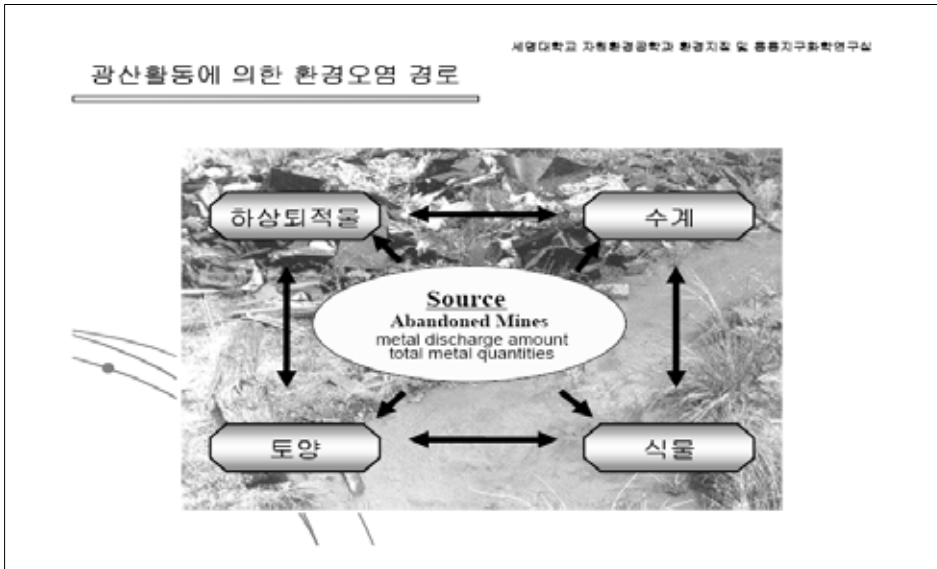
토양지하수환경모형
2006년 6월 22-23일, 세명대학교

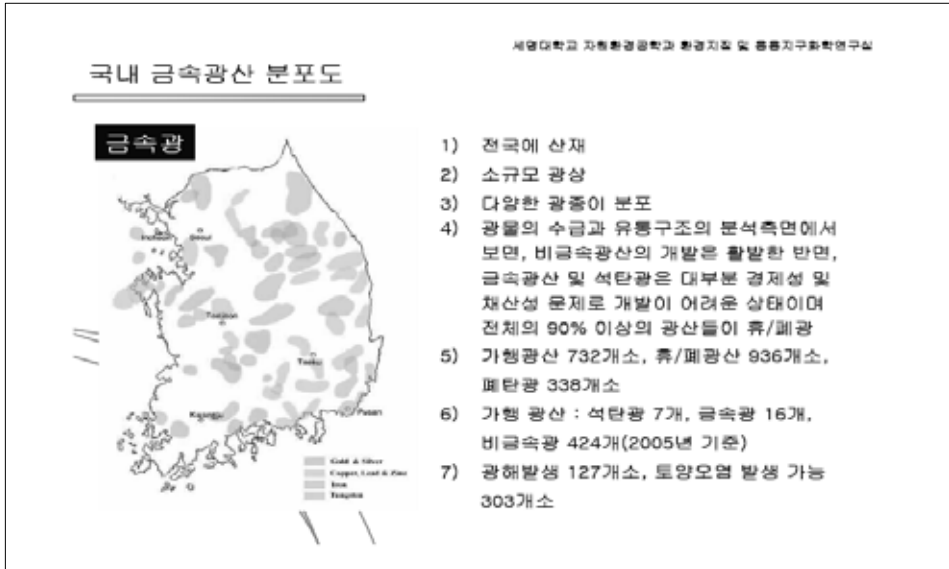
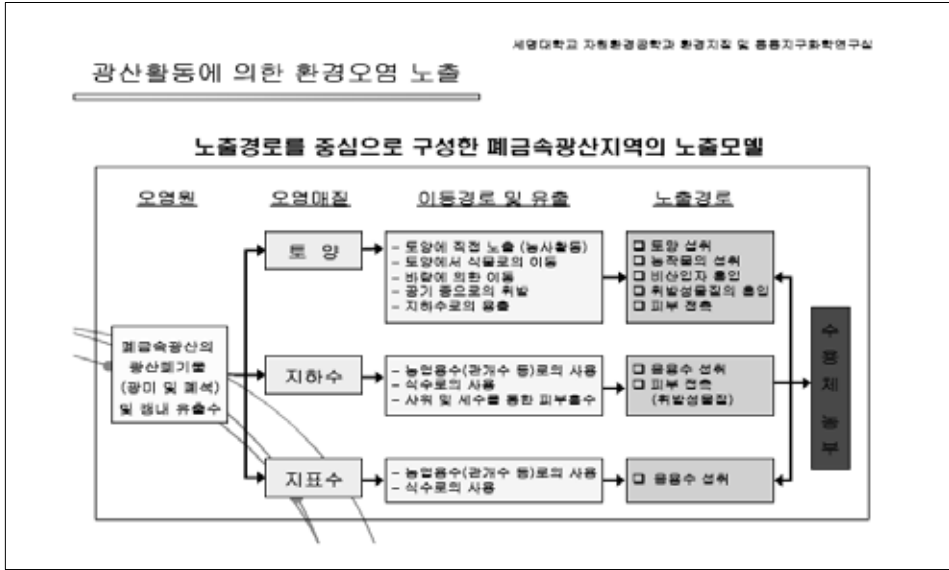
세명대학교 자원환경공학과 환경지질 및 응용지구화학연구소

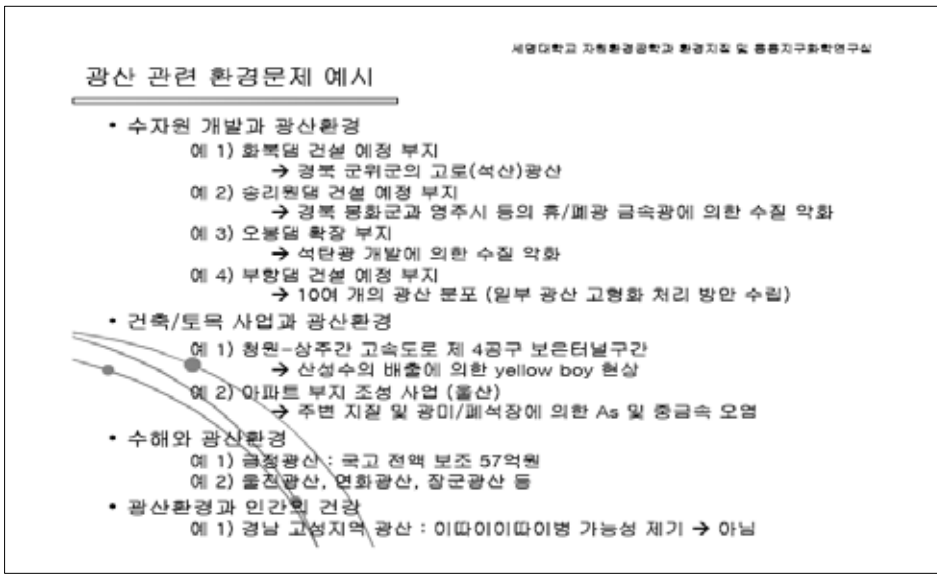
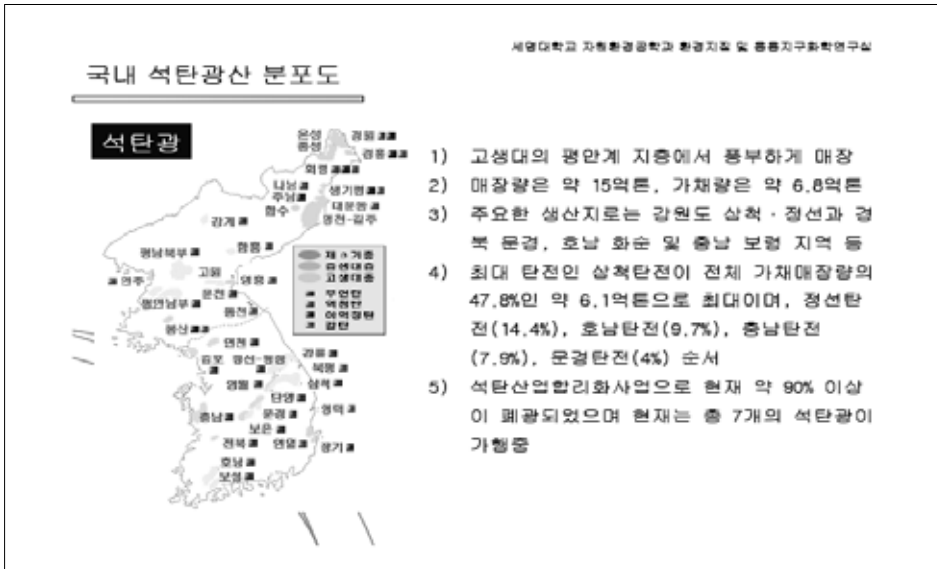
오염원과 영향

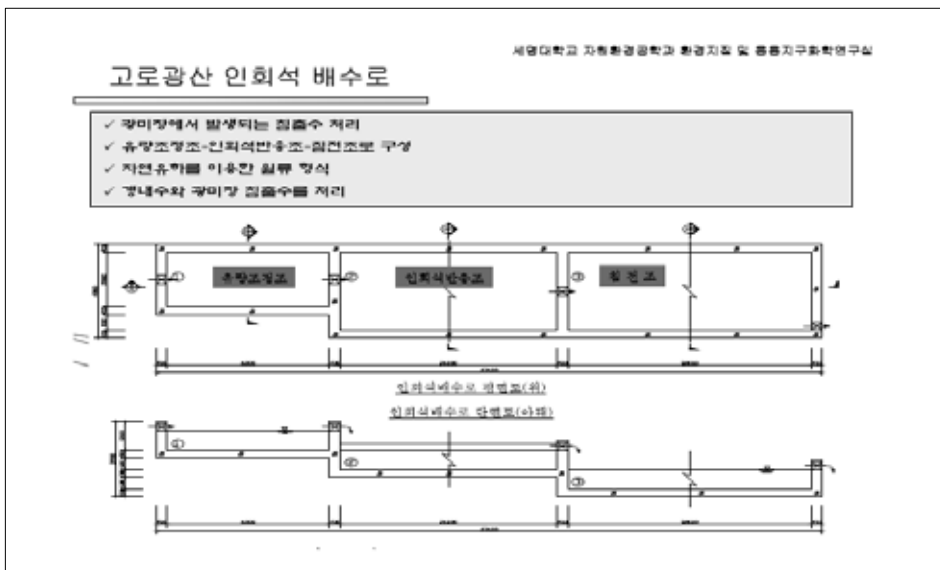
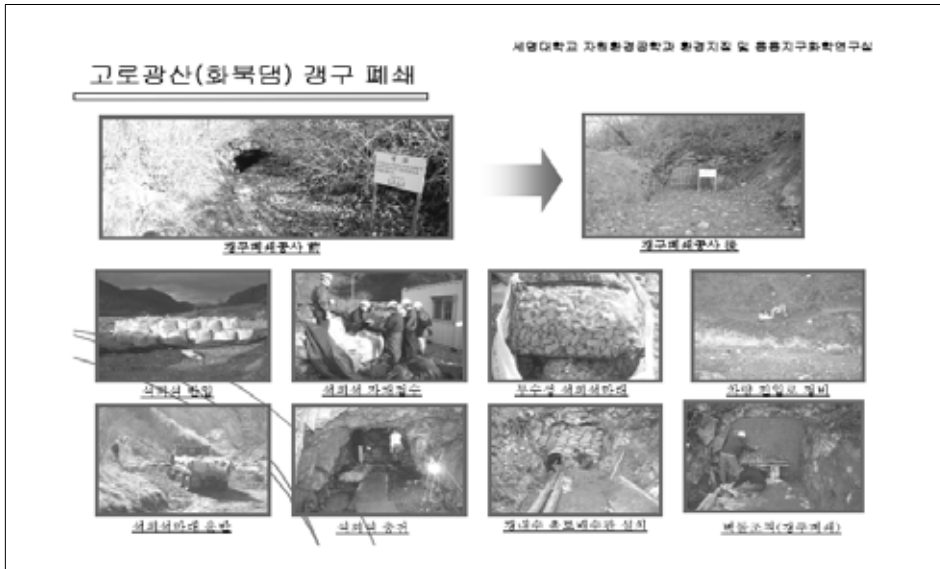
오염원	오염물질	발생기구	영향
대기 광부 (방사능물질) 광산정류의 소각 광장, 산성광물 지투출 배기가스 오존분해물질 (OPC)	U, Th, Ra SO ₂ , NO _x , CO, CO ₂ 포화가스 분진 Pb, Bi, Hg, HCl, CO, CO ₂ 염소	풍화 정류의 불완전 연소 연료소각, 불필의 불 광산-광석회석의, 연료연소 O ₂ + O ₂ → CO + O ₂ CO + O ₂ → CO ₂	방사능 오염 상승기, 광물학적 스무그, 산성광물, 중금속과 불 산성비, 포화기 염의 불 노출물, 포화기 염의 불 오존층의 파괴 자외선 노출, 피부병
수질 광장, 산성광물 산성광물 광산정류 부정정류 유출액	BO ₂ , 유기물, 무기물 중금속, 유기물 광산물, 산성물 암모니아성 질소, 포기인 유류	낙하수, 산성광물 세척, 포기 불 광물수, 불산물, 황/황산염 축산정류, 유류의 산성물 유출, 유출	수계를 통한 산성물 오염, 수중생물, 부정정류 최소오염, 원주오염 산성수의 유출, 원천에서 광물수오염 유출오염, 부정정류 유출액의 유출오염
토양 지하수, 광물 광산-지하수 산성광물 도시물 유출액	방사능물질, 중금속 중금속, 분진 광물수, 분진 중금속, 분진 유출액 휘발성유기물 (VOCs)	풍화 광물, 산물, 중금속 광물, 유출 유출 도시물 유출액 유출	농경지오염, 수계오염 중금속 유출, 유출기중의 유출액 유출 중금속 유출, 유출기중의 유출액 유출
기타 정비물 배기물	방사능물질 (U, Th, Ra) 유출액 유출	방사능광물, 유출액 유출액의 유출	방사능유출 중금속, 인공위 건강과 위험

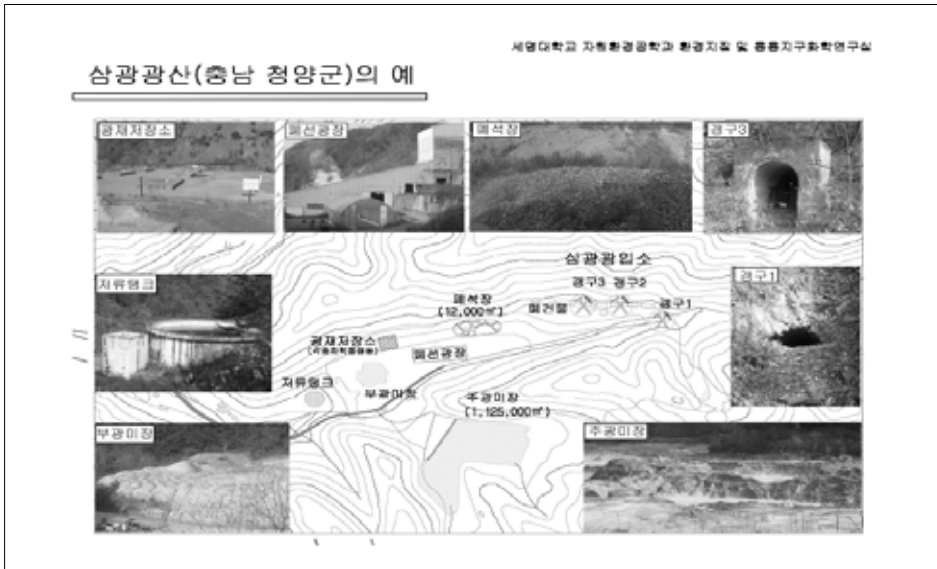












세명대학교 자연환경공학과 환경지도 및 환경지구화학연구소

광산 현장 사진

금호광업소(장군광산)



부동광산



세명대학교 자연환경공학과 환경지도 및 환경지구화학연구소

광산 현장 사진

승천광산



쌍진광산



광산 현장 사진

제2 연화광산



관해발생 광산 현황(단위: 개)

	◀ ↑	↑		▶ ↓	↓	
▶	732	732	732	46	81	732
◀	936	39	50	30	24	78
▶	338	28	319	-	36	58
	2,006	799	1,101	76	141	868

★ 참고 : 매년 가철광산율 10%가 휴/폐광 반복, 폐금속광 936개중 388개 관해사업 필요
 : 석탄광 7개, 일반광 440개 (금속 16, 비금속 424) 가철율 (2005년말 기준)

국내광산의 현황 및 조사

1. 국내의 휴·폐광산수

금속광 900여 개 (환경부에서 158개 금속광산 중점관리 : 현재 가철 광산 16개)
 석탄광 360여 개 (현재 가철 석탄광 7개 : 국영(석탄공사) 3개, 민영 4개)

2. 오염실태 조사

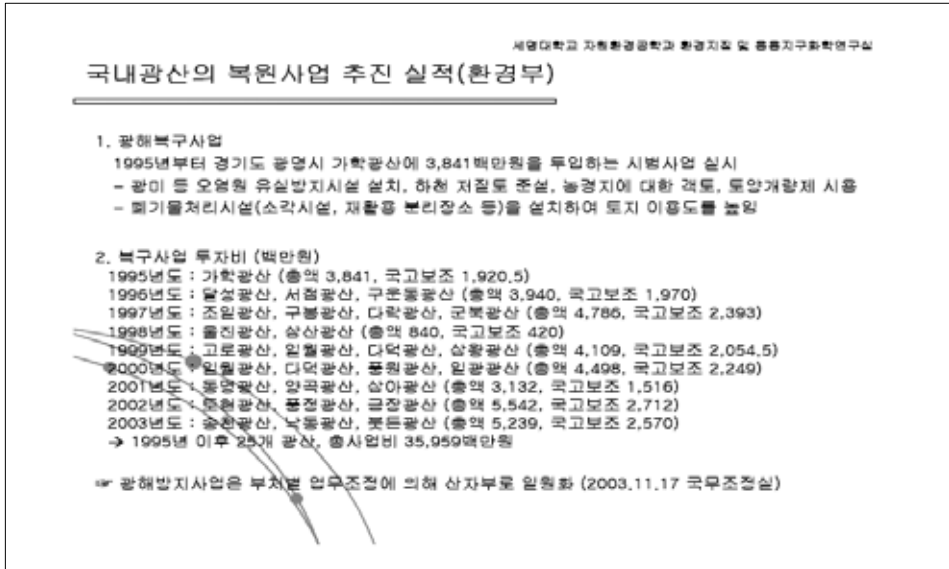
금속광산 : 환경부 및 지자체 등에서 토양/수계 오염실태 정밀조사사업 추진
 석탄광산 : 석탄산업합리화사업단에서 1988년부터 360여 개 석탄광 환경조사 및 평가 실시

3. 환경부 금속광산조사 실적 : 1995년 - 2005년 (168개 정밀조사)

'96년 이전 : 가철, 말성, 서정, 다락, 울진, 다덕, 구운동, 군북, 구룡, 일광 등 10개소
 '97년 이후 : 매년 지역별로 10-32개소 정밀조사 수행

168개 중점관리대상 폐금속광산 조사 결과(2005년 완료)

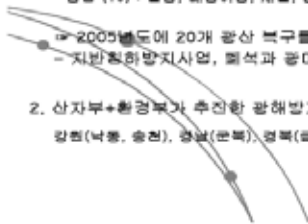
- 1) 지역별 : 경기(7), 강원(24), 전북(10), 전남(11), 경북/대구(31), 경남/부산(23), 충북(29), 충남(23) + 1996년 이전 10개소
- 2) 동북 광종별 : Au-Ag (81개), Au-Ag-base metal(52개), Cu-Pb-Zn(10개), Fe-(Mn)(9개), W-(Mo)(6개) : 금은관련 광산이 84% 정도임
- 3) 대책기준초과 광산 : 87개 (현재의 55%)
- 4) 대책기준초과 원소 : As(55개 광산), Cd(39개 광산), Cu(28개 광산), Pb(30개 광산), Hg(7개), Cr(6개 광산), Cr⁶⁺(2개 광산), Ni(1개 광산)



국내광산의 복원사업 추진 실적(산자부)

1. 광해복구사업

- ☞ 1995년부터 2004년까지 총 72개 광산에 대해 43,238백만원 지원
- 경기(6) : 부평, 연평, 영종, 포천, 용서, 삼포
- 강원(11) : 대관령석, 옥계, 송전, 제2연화, 일곡, 춘천, 고영, 세주, 낙동, 황장, 용암
- 충북(4) : 무극, 거봉, 삼덕, 봉산
- 충남(17) : 전포, 수북, 명사, 덕봉, 대영, 전의, 아미산, 부여, 우장, 일천, 서성, 소왕, 경양, 양천, 왕오
- 전북(2) : 전수일, 대부
- 전남(7) : 광순, 광양(+초남), 오광, 영봉, 순천, 대덕, 화순
- 경북(15) : 달성, 고령, 소모, 금정, 연화, 옥방, 산막, 금호, 양곡, 일월, 금장, 울진, 로현, 옥동, 지소
- 경남(10) : 월곡, 대성여항, 제일, 양성, 상정, 문북, 하동리탄, 일양, 고성, 상산제일



- ☞ 2005년부터 20개 광산 복구를 위해 136억원 지원
- 지방청(하)방지사업, 폐석과 광미 유실방지사업, 배수시설, 공기 정화 사업 수행

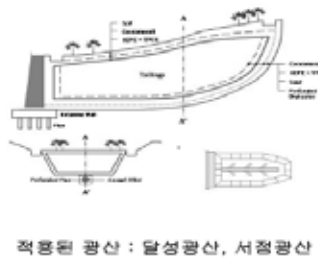
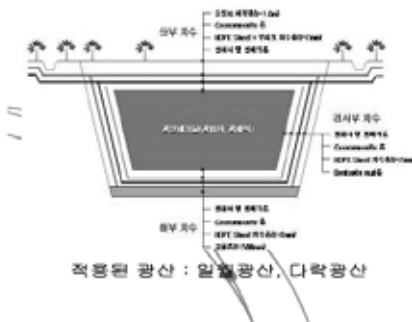
2. 산자부+환경부가 추진한 광해방지사업 (11개 광산)

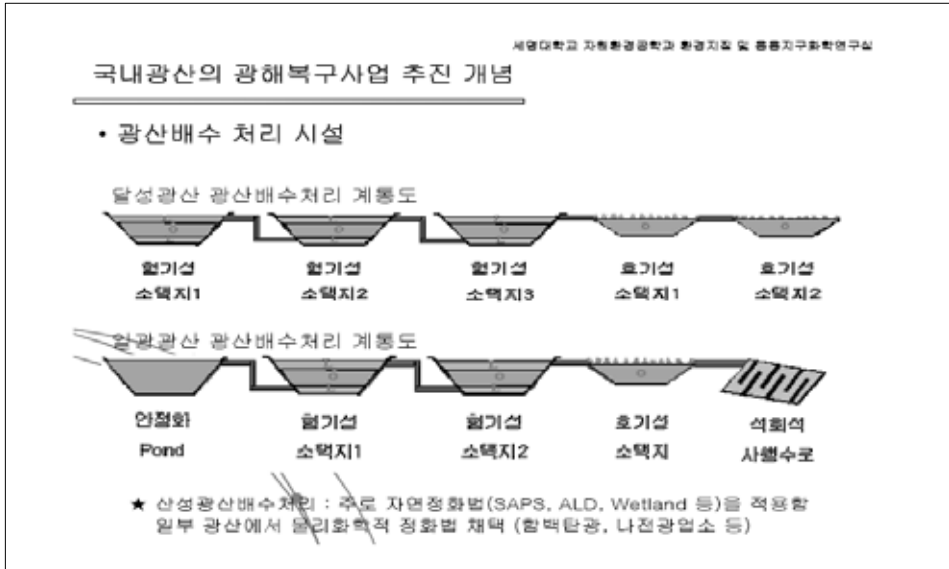
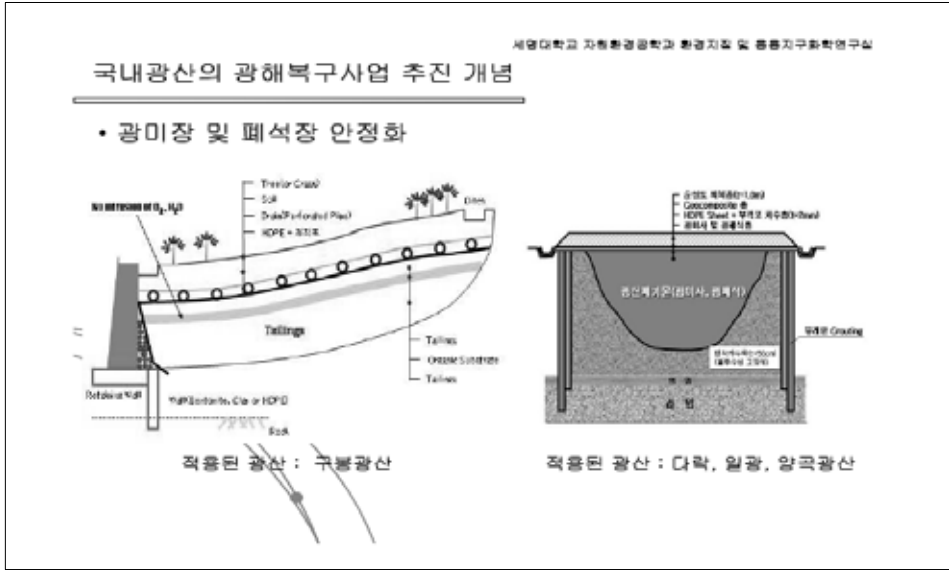
- 강원(낙동, 송전), 경북(문북), 경북(금정, 일월, 울진, 석산, 로현), 대구(달성), 부산(일왕), 충남(구룡)

국내광산의 광해복구사업 추진 개념

• 광미장 및 폐석장 안정화

- 현재까지 차단형 매립법이 주로 시행
- 침출수를 방지할 수 있는 영구적 처리방안 개발 연구 필요





국내광산의 광해복구사업 추진 개념

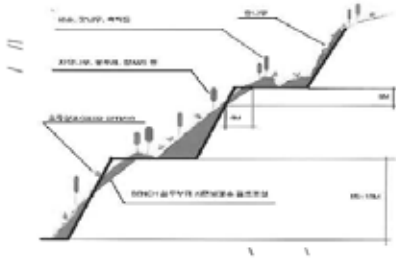
• 산림복화 공정

2-2. 2차 단계

□ 공법



□ 개요도



국내 광해방지 적용 사례 (금속광)



동양현천광산



금호광업소(경주광산)



쌍전광산



다덕광산







문백(유창)광산



임천광산

세명대학교 자원환경공학과 환경지도 및 정보지구공학연구소

국내 광해방지 적용 사례 (비금속광)

		취락용 자원개발 동해광산의 예	
전		후	
			

세명대학교 자원환경공학과 환경지도 및 정보지구공학연구소

국내 폐광산 관리 및 복원 실태

→ 과거의 광산 관리

< 단순 처리 방법 >

- 1) 광미 및 폐기물 유실 방지 : 광미장 울벽 설치, 중화제 처리, 중금속 분리 등
- 2) 광내수 정화 : 광내수 정화 처리, 인공 소택지, 자연정화법 적용
- 3) 주변 하천으로 유출된 광미 : 하상 준설 작업, 하천 유입 최소화
- 4) 주변 농작물 토양 오염 억제 : 토양 개량제 활용, 농경의 제한

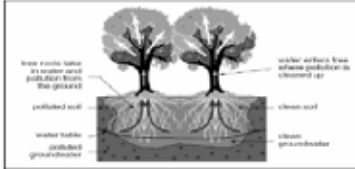
→ 향후의 광산 관리

< 체계적인 관리와 처리 방법 >

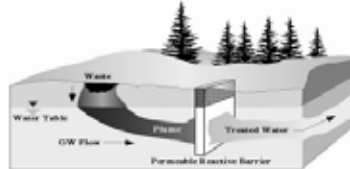
- 1) 오염물질의 정확한 진단과 평가
지질과 채굴 이해, 광종/성인별 오염물질 특성 파악, 오염물질 존재형태 규명
- 2) PRB를 활용한 오염물질 정화, 저비용 반응매질 제조, 적용
- 3) 화학물질을 활용한 고형화, 안정화 기술 적용
- 4) 산성광산배수 정화, 자연정화법 개발과 적용, SAPS, ALD 기술 개발과 적용
- 5) 후처리기술 → 환경복구기술로 승화
- 6) Phytoremediation technology 개발
- 7) 광미 및 광산폐기물의 재활용

광해방지 기술의 예시

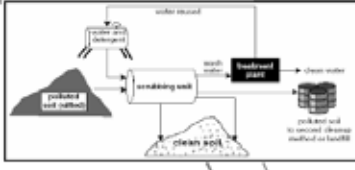
식물을 활용한 정화



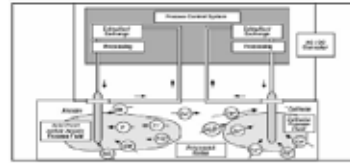
반응벽체를 활용한 정화



토양을 세척하여 정화

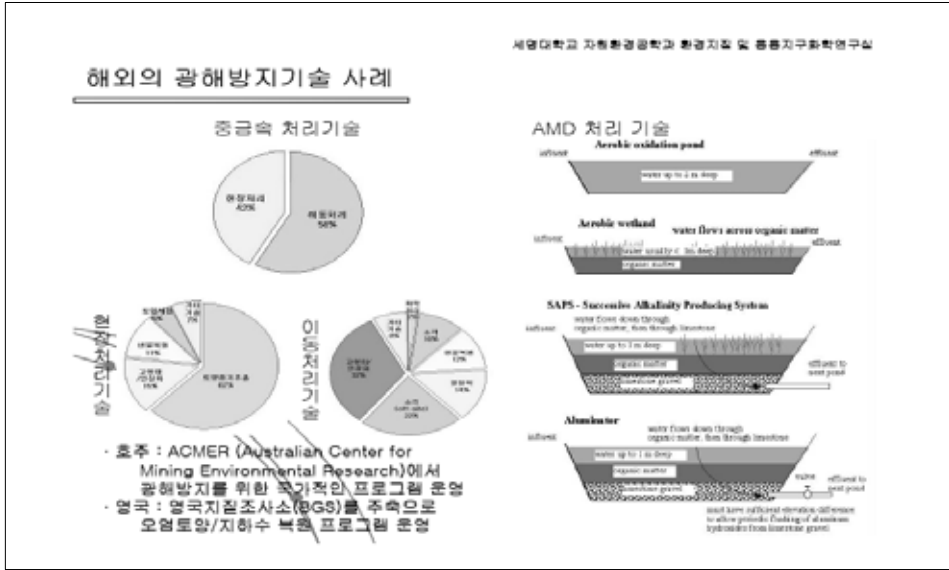


전기분해원리를 활용한 정화



국내 폐광산 관리 문제점 및 방안

- 1) 오염원 조사, 분석, 평가 분야 : 표준화 방안 및 시범서의 부족
- 2) 적정 복구 기술 분야 : 기술력 및 경제성의 한계
- 3) 관리 및 복구 분야 : 국가와 지자체의 한계 및 정책의 일관성 결여
- 4) 적정 광해 복구비 산정의 어려움
 - 1) 광산별 평균 15억 수준(지자체 부담금 50% 포함)
 - 2) 광해방지사업의 필요성 논란 (비용은 과다, 손해자는 소수)
- 5) 관리와 복구의 주체 : 조사 및 사후관리(환경부), 광해방지사업(산자부)
- 6) 광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률
 - 1) 총원입법 : 이광재외 150인 (2005. 5. 31. 국회 통과 → 2006년 6월 시행)
 - 2) 주요 골자 :
 - 광해의 범위, 광해방지사업의 대상 규정, 국가의 의무 규정
 - 광해방지책임범위 및 부담금의 부담주체 규정
 - 광해방지사업의 주체 규정
 - 광해방지사업인 선치와 전문광해방지사업자의 업무 수행
 - 광해방지사업기금의 설치



광해방지 기술 비교표

복합 기술	처리 용량	비용	장기 효과	상업적 적용성	일반적 적용성	고농도 처리성	유기물 적용성	중성 pH	이동도 감소	부피 감소
복토	1-3	A	C	A	A	C	A	C	A	C
지형방벽	1-3, 5	A	C	A	A	C	A	C	A	C
고형/안정화(이동)	1-3, 5	B	B	A	A	A	A	C	A	C
고형/안정화(침강)	1, 2, 4, 6	A	B	A	A	A	A	C	A	C
열처리(이동)	1-3, 5	C	A	B	B	A	A	C	A	C
열처리(침강)	1-3, 7	C	A	B	B	A	A	C	A	C
동원처리	2	D	B	B	B	D	D	A	A	C
투수벽체	2	D	B	B	B	D	D	A	A	C
상층처리	1-5	A	C	B	B	C	D	A	A	C
물리막벽	1-6	B	A	A	A	A	C	C	C	A
도양세척	1-3, 5-7	B	A	A	A	A	B	C	C	A
도양세척	1-5, 7	C	A	A	A	A	C	C	C	A
열추출	1, 2, 7	A	C	A	A	A	A	C	C	A
흡착기	6	B	A	A	A	A	D	C	C	A

참고1 : 1 = Pb, 2 = Cr, 3 = As, 4 = Zn, 5 = Cd, 6 = Cu, 7 = Hg
 참고2 : A=우수, B=평균, C=평균이하, D=정보부족

광미의 재활용(당체 제조)



당체 소성 전



Cubic형 제조 (소성 전)



Cubic형 제조 (소성 후)



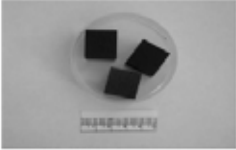
자로스ایت 30% 함유 Cubic형 (소성 전)



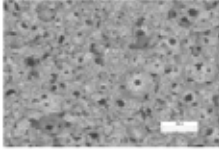
자로스ایت 20% 함유 Disc형 (소성 후)

세명대학교 자원환경공학과 환경지표 및 중금속지구화학연구실


광미의 재활용(담체 제조)




Cubic type



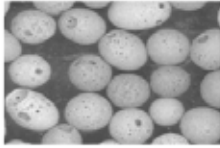
45배 확대



담체를 활용한 흡착실험



Pellet type



15배 확대

세명대학교 자원환경공학과 환경지표 및 중금속지구화학연구실

광미의 재활용(SCC 제조)



일반 콘크리트



현장시공 적용 예



자기중질형콘크리트(SCC)의 유동성



현장시공 적용 예

광미의 재활용(축포장재)



익산 미백사지 지역



전남 삼도 지역

사후관리

1. 목적
각 지자체가 관리하는 축/폐광산 복원사업 이후의 제반 환경오염피해 및 지역주민의 재산과 건강상의 위험을 사전에 예방
2. 조사 방법
시설 안전성 평가 : 광해방지시설물의 안전성 점검(년 2회 이상)
환경오염도 조사 : 토양오염, 하천수/지하수 오염, 농작물 오염도 조사(년 1회 이상)
→ 필요한 경우 정밀조사 실시
3. 사후관리기간
광해방지사업 이후 5년간(필요한 경우 기간 연장)
4. 조사 결과에 대한 조치
1) 환경기준을 만족함 → 사후관리 종료
2) 오염 영향을 적지만 개선성이 있는 경우 → 사후관리 계속
3) 주변으로의 오염확산이 우려되는 경우 → 정비작업 수행
5. 기타
1) 전문심의위원회 설치 : 사후관리 계속/종료 결정
2) 전문관리자 영도의 정립 : 지자체별 전문기관(대학, 연구소 등)에 위탁 관리
3) 담당공무원의 교육프로그램 운영
4) 주민신고제도의 확립
5) 광해방지기사 및 기술사의 육성과 광해방지사업전문업체의 활성화

세명대학교 자연환경공학과 환경지도 및 응용지구화학연구소

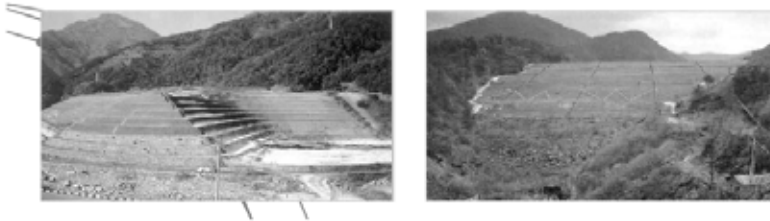
향후의 광해방지사업 추진 과제

- 휴·폐금속광산의 토양오염 정밀조사 실시
 - 개황조사가 수행된 687개 휴·폐금속광산 중에서 오염개연성이 확인된 광산에 대한 토양오염 정밀조사 → 전체의 약 48.6%
- 전국 휴·폐금속광산 환경DB구축 및 오염지도 발간
 - 전국에 산재된 휴·폐광산의 현황을 기재한 광산환경DB 작성
 - 전국에 산재된 휴·폐광산의 오염도를 기재한 오염지도 발간
- 휴·폐금속광산 오염확산방지와 주변 주민들의 환경위해성 평가
 - 광산 주변의 토양, 수계, 동식물에 의한 유해물질의 오염확산방지기술 개발
 - 광산지의 주변 주민들의 건강위해도 평가 및 지속적인 위해성 평가
- 휴·폐금속광산 사후관리와 효율적 오염관리 시스템 개발
 - 광해방지기술의 선정, 적용, 효율적인 사후관리를 위한 오염관리시스템 개발

세명대학교 자연환경공학과 환경지도 및 응용지구화학연구소

연구 사례 1 (상동중석광산)


구분	구 광미적치장	신 광미적치장
위치	강원도 영월군 상동읍 내덕리	강원도 영월군 상동읍 현동리
적치기간	1974. 3 - 1981. 4	1981. 5 - 1993. 5
면적	89,300 m ²	315,510 m ²
용적	1,700,000 m ³	6,075,000 m ³
담보이	40 m	98 m
광미량	약 400만 톤	약 800만 톤





세명대학교 지형환경공학과 환경지질 및 생물지구화학연구실


연구 사례 1 (상동중석광산)

광미장의 시추





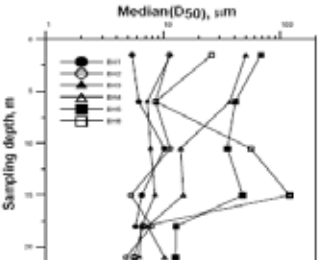


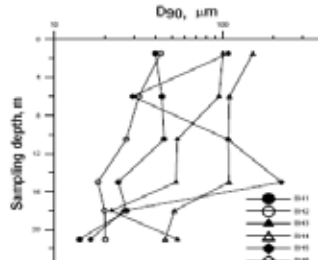


세명대학교 지형환경공학과 환경지질 및 생물지구화학연구실

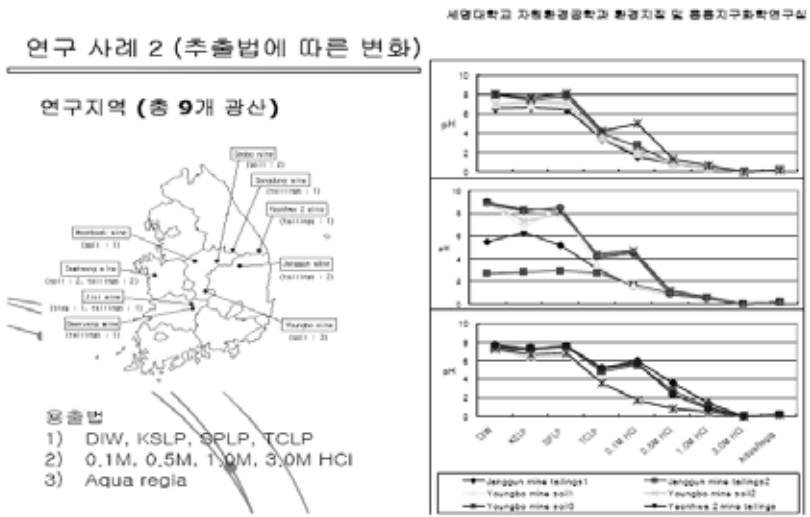
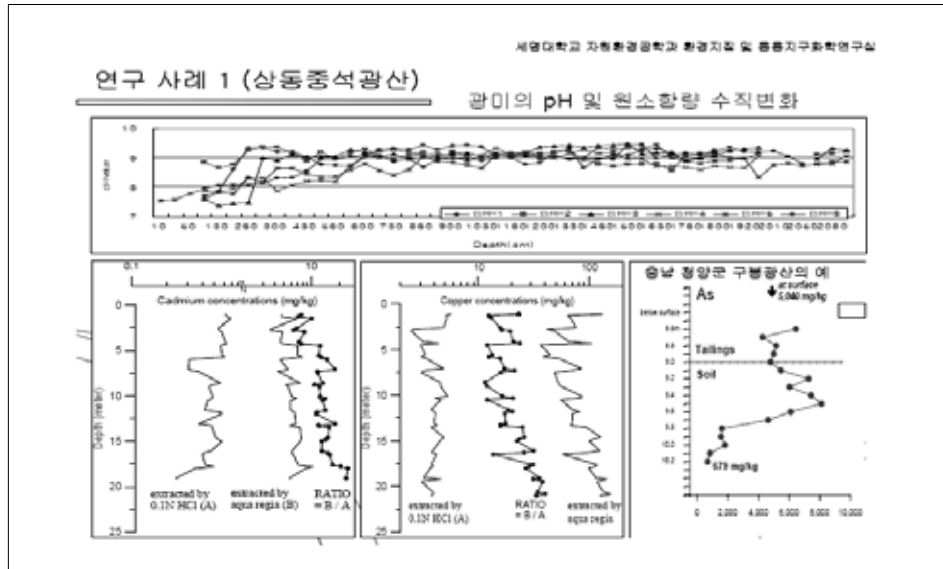
연구 사례 1 (상동중석광산)

광미의 입도분포





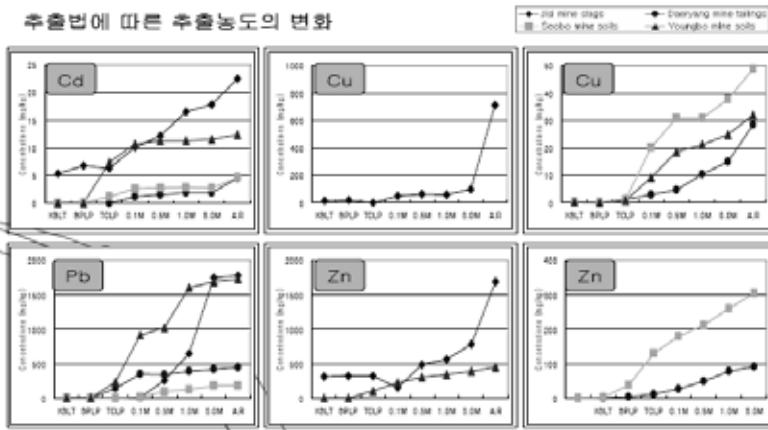
Particle size (μm)	Sampling depth						Average (μm)
	1.5 m	6.0 m	10.5 m	15.0 m	18.0 m	21.0 m	
Median, D ₅₀	28.6	18.1	22.3	33.6	7.8	7.9	19.7
90wt% passing, D ₉₀	87.9	64.0	71.5	87.7	30.2	32.6	62.3



세명대학교 지형환경공학과 환경지질 및 생물지구화학연구소

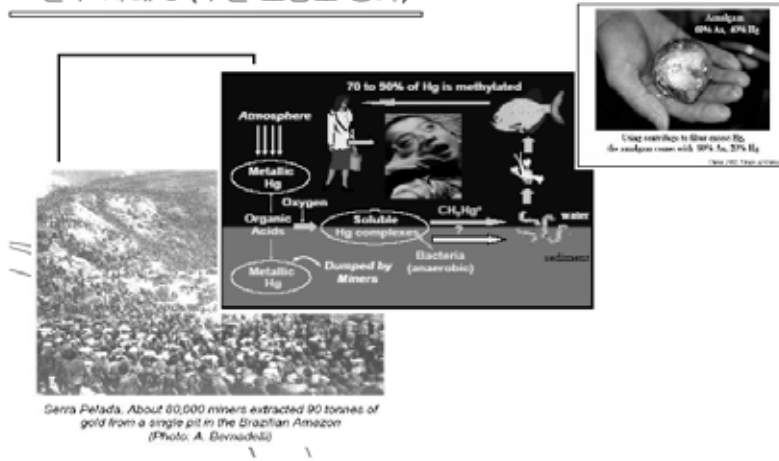
연구 사례 2 (추출법에 따른 변화)

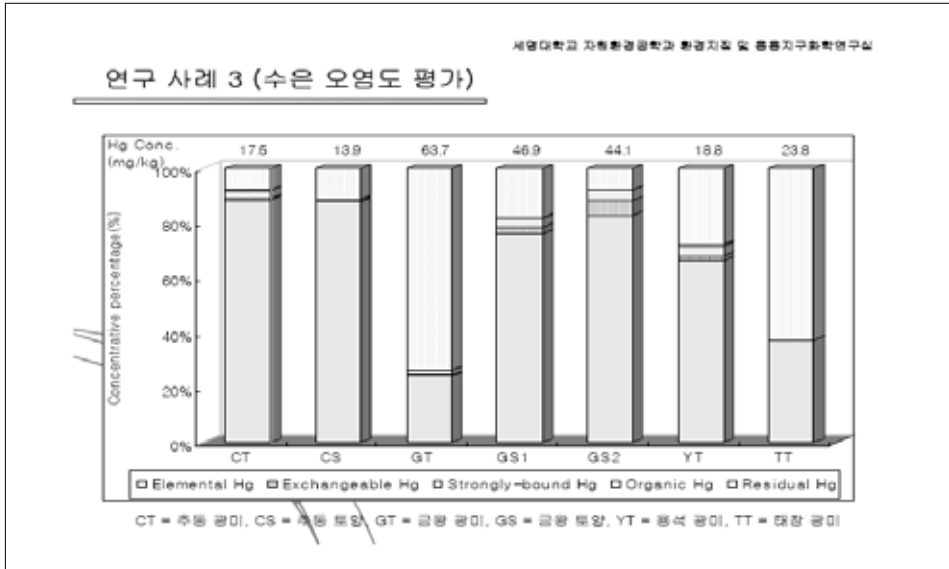
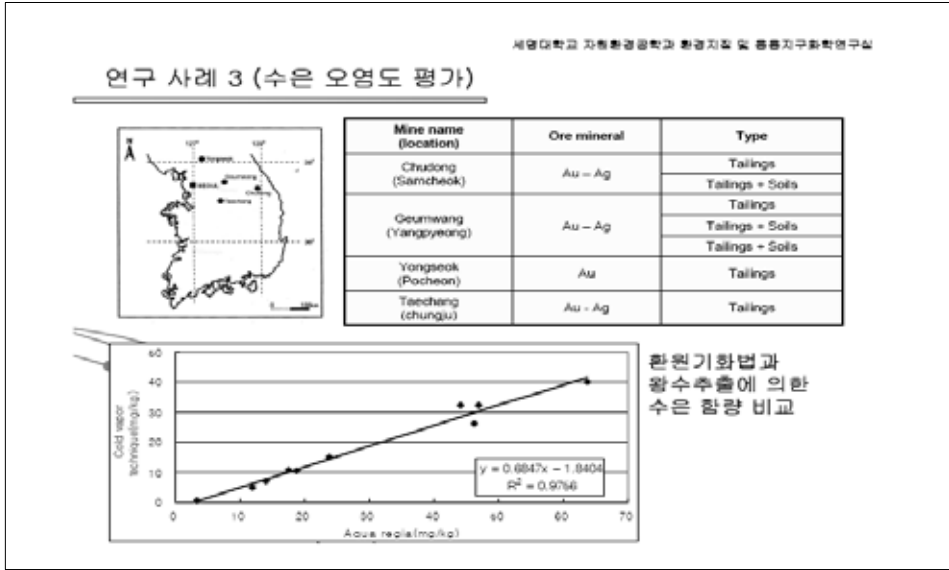
추출법에 따른 추출농도의 변화



세명대학교 지형환경공학과 환경지질 및 생물지구화학연구소

연구 사례 3 (수은 오염도 평가)

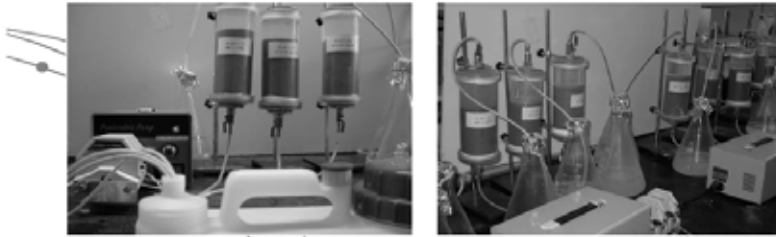




연구 사례 4 (광미의 안정화)

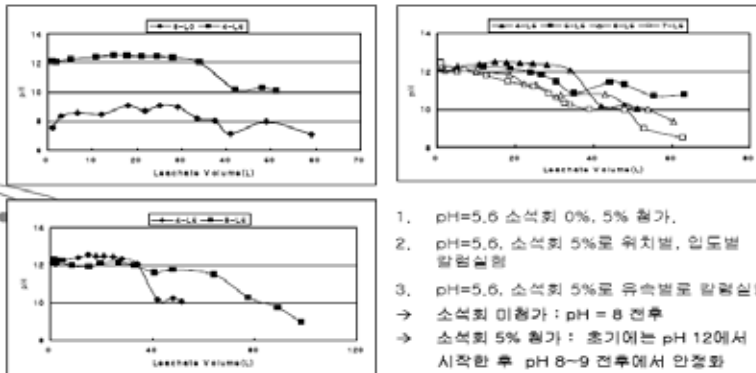
실험 방법 및 실험 장비

- 광미(1kg)와 소석회(0%, 5%)를 혼합한 후 알람(직경 8cm, 높이 24cm)에 넣고 pH=5.6으로 조정된 탈이온수를 정량펌프를 이용하여 0.9ml/min의 유속으로 알람 하부에 주입
- 시라블론 pH(Thermo Orion 250)와 TDS(Thermo Orion 115A+)를 측정하였으며, 샘플 60ml를 채취하여 농질산을 첨가한 후 4℃ 냉장보관
- 채취된 시료는 ICP-AES로 중금속(As, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn 등)을 분석

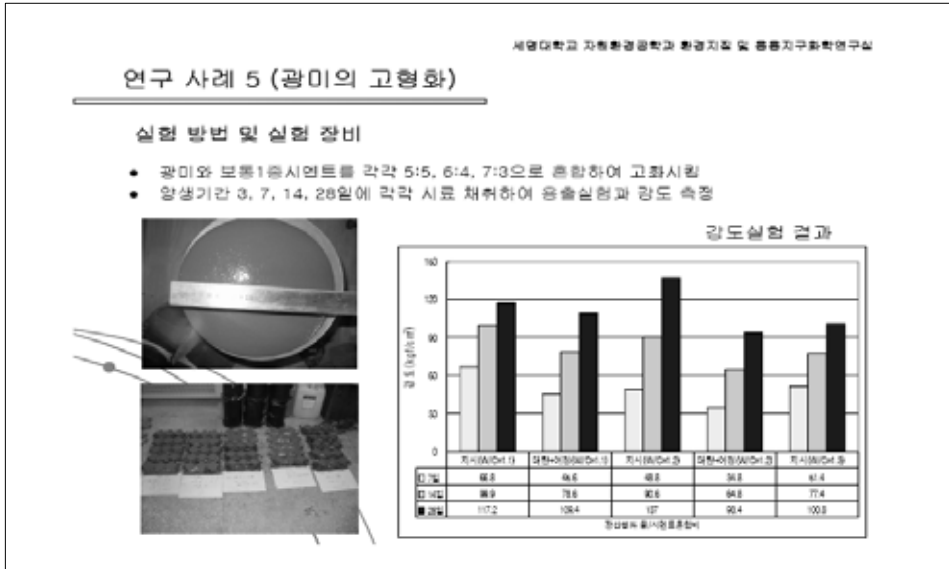
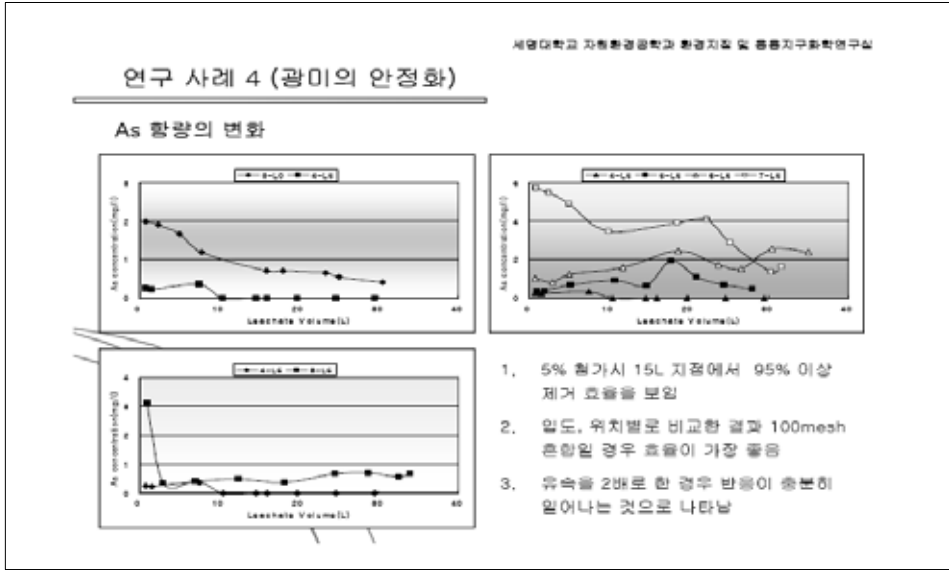


연구 사례 4 (광미의 안정화)

pH의 변화

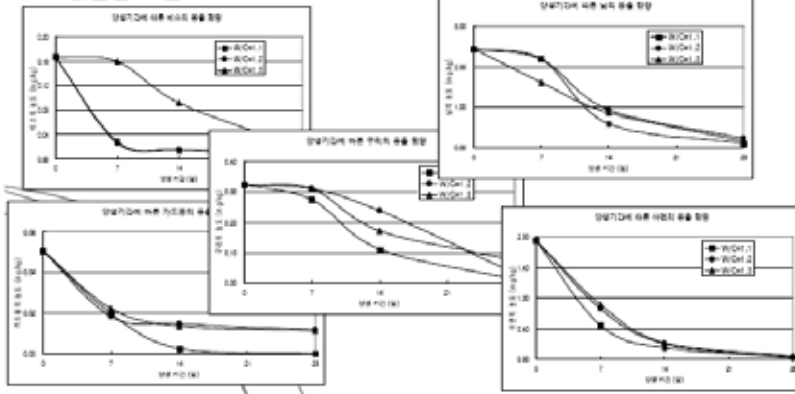


1. pH=5.6 소석회 0%, 5% 첨가.
2. pH=5.6, 소석회 5%를 유치할, 입도별 알람실험
3. pH=5.6, 소석회 5%로 유속별로 알람실험
 → 소석회 미첨가 : pH = 8 전후
 → 소석회 5% 첨가 : 초기에는 pH 12에서 시작한 후 pH 8~9 전후에서 안정화



연구 사례 5 (광미의 고형화)

용출실험 결과



주요 토의내용(4차)

◎ 광재 및 광미의 처리(재활용) 문제

질의) 광재란 어떤 것을 말하는가?

응답) 광미, 폐석 등 광산 개발로부터 나오는 모든 물질이 이에 해당되는데, 일반적인 인식과 달리 대부분의 규산염 광물로 이루어진 광미는 오염되어 있지 않은 경우도 많기 때문에 광미는 무조건 오염덩어리라는 사고는 틀린 것임.

질의) 광재를 재활용하여 도로포장재로 사용할 때, 이미 폐기물관리법에 의한 용출실험에서는 문제가 없었으나, 토양환경보전법에 의한 토양오염검사 결과에 따라 또 다시 정화를 해야 하는 문제가 생기는데 이렇게 토양환경보전법과 폐기물관리법 상의 기준에 따라 상충하는 문제들을 해결할 수 있는 방안을 강구해야 하지 않을까?

응답) 폐기물관리법에 따라 적합하게 처리하고 용출실험에서도 문제가 없었다면 그러한 경우 토양오염검사대상에서 제외되어야 함.

의견) 실제 폐기물을 기준으로 한 것은 폐기물공정시험법에 적용하되 무기물 계통은 다른 시험법으로 적용하여야 하는 것이 바람직함. 토양 담당부서와 산업폐기물 담당부서의 의견 조율이 필요할 것임

질의) 현재 광미를 재활용하여 쓰는 곳이 많은가?

응답) 현재까지는 주로 연구 목적이었으나, 앞으로 시도하려고 하는 곳은 많이 있음.

의견) 광미를 지정폐기물로 지정하여 사용하려는 측면은 법적으로는 문제가 없을지 모르지만 환경적인 측면에서는 광미의 재활용 자체도 문제가 된다고 생각하는데 그 이유는 광산에 있는 광미를 현지에서 처리하지 않고 일반인들이 접하게 되는 공공장소에서 사용하기 때문임. 따라서 토양환경보전법과 폐기물관리법이 상충하는 것은 당연한 일인 것임.

의견) 포철에서도 부산물로 나오는 광재들을 유용광물로 외부에 반출할 때, 돈을 받고 파는 것이 아니라 오히려 보조금을 지급하고 있는 실정임. 따라서 광재를 재활용할 때는 현실적으로 운반비 등의 기타 경비를 제외하고도 경제성이 충분히 있는지를 검토해보아야 할 것임.

◎ 수은의 오염조사 현황 및 특징

질문) 수은의 용출이 적어 수은에 대한 조사가 이루어지지 않았다는 것인가?

응답) 지금까지 수은에 대한 연구자체가 많지 않았음. 국내 광산 20~30% 정도의 오래된 광산의 경우 인위적으로 amalgam 처리 등의 선광과정에서 광미장에 그대로 버려진 경우가 많았으며, 수은의 특징이 외관상으로는 잘 보이지 않는 물질이면서 광미장 상단부의 지표로 노출되어 문제가 될 수 있음. 폐광산 조사가 일반적으로 As, Cd, Cu, Pb, Zn 등을 대상으로 이루어졌기 때문에 이제부터라도 수은에 신경을 써야 할 것임.

질문) 수은 검출이 쉽지 않다고 했는데 조사방법이 어려운 것인가?

응답) 다른 물질과 달리 샘플링 자체를 별도로 해야 하고, 전처리를 포함한 분석 자체도 분석기술에 따라 결과 차이가 많이 나고 있음. 수은을 검출해 내기 위해서는 수은

전용 분석기를 사용하여 제대로 분석하는 시스템이 갖추어져 있어야 하는데 이것도 쉽지 않은 실정임.

의견) 실제로 AAS와 ICP-MS의 기기에 따라 결과가 달라지며, 다른 원소에 비해 데이터의 신뢰도가 떨어지는 경향이 있음. 수은 전용분석기 조차도 믿기 어렵다 할 수 있음.

◎ 폐광미에 대한 Soil Washing의 적용

질의) 폐광미에 대한 soil-washing method의 적용 가능성은 어떠한가?

응답) 전혀 안된다라기 보다는 폐광산에서의 적용이 쉽지 않고, 적용하는 대상물질이 광미일 경우 효율이 낮을 것으로 생각됨. 미국에서는 성공 사례도 있으나 현지의 적당한 매질을 이용하는 것이 성공률을 높일 수 있다는 점에서 현실적으로 적용하기 쉽지 않은 방법임.

의견) 실제 울산에서 soil-washing method를 사용해 보았는데, 처리 전에 비해 처리 후의 농도가 더 높아지는 현상이 나타났음. 이는 두 가지 원인으로 볼 수 있는데, 첫째는 지질광물학적인 원인이고, 둘째는 제도상의 문제가 있다는 것임. 여기서 제도상의 문제점이란 아무리 규모가 큰 반응기에 넣어 반응을 시키더라도 토양의 완충능력 때문에 산처리시에 reactor 안에서 pH가 2~3으로 밖에 유지가 안된다는 것임. 그러나 이를 샘플링하여 분석할 때는 pH가 0인 상태에서 분석을 하게 됨. 현실적으로 이러한 기술적 문제가 발생하므로 중금속 처리 기술을 개발하여 상업화시켜야 할 것임.

의견) 울산의 경우, 그 지역 자체가 광화대로서 광산개발에 의한 오염이라기 보다는

자연적인 오염이라고 할 수 있으며, 그러한 측면으로 볼 때 지질학적으로 접근하는 것이 적합할 수 있었음.

◎ 광산에 대한 정밀조사 문제

질의) 환경부 개황조사를 통해 얻어진 자료는 낮은 예산을 고려할 때 조사 결과에 대해 신빙성이 낮다고 볼 수 있음. 실제로 오염지역이 있음에도 불구하고 찾지 못하는 부분이 상당하며, 광산의 역사를 모르는 상태에서는 찾기 어려운 소규모 광산들이 많을 것으로 생각됨. 환경부에 예산이 없다면 광해방지사업단 출범시 그 예산의 일부를 확보하여 정밀조사가 이루어져야 할 것이라 보는데 어떠한가?

응답) 95년부터 05년까지 168개, 06년까지 219개의 광산에 대한 정밀조사가 이루어지며, 총 687개 광산에 대하여 개황조사를 한 상태임. 향후 310개 광산에 대하여 정밀조사를 할 예정으로 내년 예산 3~5억을 증가시킬 예정임. 그러나 증가 예산도 많이 부족하다고 판단되어 광해방지사업단의 조사 용역비를 활용하는 방안도 예정하고 있음

의견) 20억 예산으로 광산 피해에 대한 인체 역학조사가 진행 중에 있다고 알고 있으나, 폐광산이나 토양 전문가가 참여하지 못하고 산업의학 관련 인력에 투자되고 있음.

제5차 포럼 - 제1주제

**국내 군사격장내 오염물질(중금속 및 화약물질)의
분포 및 이동**

배범한 교수

경원대학교 토목환경공학과

국내 군사격장내 오염물질 (중금속 및 화약물질)의 분포 및 이동

배범한

경원대학교 토목환경공학과

최근 판결

- 大法 “환경영향평가 안 거친 사업승인 무효”
- 대법원 3부(주심 박재윤 대법관)는 강원도 철원군 도항리 주민 244명이 “육군 1968부대의 강원도 철원군 박곡포 훈련장은 사적 환경영향평가와 산림청장 협의를 거치지 않았다”며 국방부를 상대로 낸 승인처분 무효확인 청구소송에서 원고승소 판결한 원심을 확정
- 환경영향평가를 하지 않아 주민 의견 수렴 및 환경부 장관과의 협의 과정을 전혀 생략한 것은 환경영향평가제도의 입법 취지에 어긋난 뿐만 아니라 주민들의 생명·개별적인 이익도 침해한 것
- 육군 1968부대는 1998년 4월 철원군 도항리에 박곡포 사격장을 설치하기도 하고 국방부 승인을 받아 13억원을 들여 보상절차를 마친 뒤 2001년 8월 설치공사를 완료했으나 주민들은 “사격장 준현이 실시될 경우 식수원 수질오염 등 환경오염 위험이 크다”며 소송 (KBS News)

국내 주요 군사격장 현황 (국방부, 66개소)

군별	구분	수량	용도
육군	제병형동/함동훈련장	8	제병형동/함동훈련, 공중화기 사격훈련
	포병 종합훈련장	30	포병사격 및 전술훈련
	전차포 증합사격장	12	전차포 사격 및 전술훈련
	대공(해상)사격장	9	공·지·해 합동사격훈련
	항공사격장	1	헬기/전차 사격훈련
해군	포병/전차포 종합훈련장	3	전차, 포병, 공중화기 전술 및 사격훈련
공군	공대지 사격장	8	항공기 실무장 및 연습장 사격훈련
	지대공 사격장	1	지대공 유도탄 및 방공포 사격훈련

사격장 사용 탄약

훈련장 종류	사격 훈련 탄약
저인화기 사격장	-K1, K2, M16A1 소총 (보통탄, 예광탄 사격)
직사공중화기 사격장	-K3 기관총, M203/K201 유탄발사기 -57mm/ 90mm/106mm 무반동총, 지뢰/공레모아
박격포 사격장	-60mm/81mm 박격포 사격 -고폭탄, 조형탄, 연막탄
포병 사격장	-105mm/155mm, 8인치, MLRS, 다량장 사격 -고폭탄, 조형탄, 연막탄, 연습탄(DP-ICM)
전차포 사격장	-90mm/105mm/120mm 전차포, 기관총 사격 -택팅 연막탄, 대인 & 연습 예광탄, 대전차 고폭탄, 날개임경 분리 용간탄
항공 사격장	-육군항공 2.75"RKT, 말탄, TOW, 기관총 - 2.75" RKT 고폭탄/ 연습탄, 다목적 고폭탄/연습탄, 7.62mm 보통탄, 장공조형탄, 구경 50탄, 20mm 고폭 소이예광탄, 20mm 연습예광탄
대공 사격장	-말탄, 순경포, M45/55D, 90mm 자주 대공포
소부대 전투사격장	-소화기 및 기관총 (보통탄, 예광탄)

오염원 및 오염물 종류

□ 탄종별 오염물질

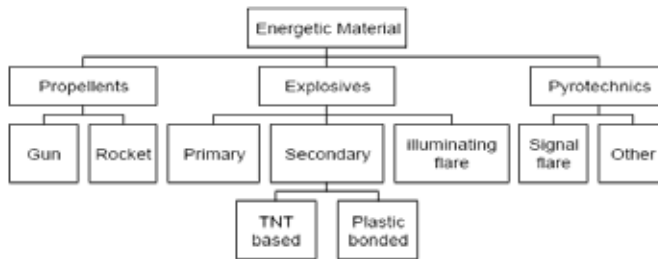
종류	오염물질
총알	중금속(구리, 납)
포탄, 전차포탄	중금속, 화약류
로켓	중금속, 화약류, Perchlorate
연막탄	백린
연습탄	중금속

□ 오염물질 유출원인

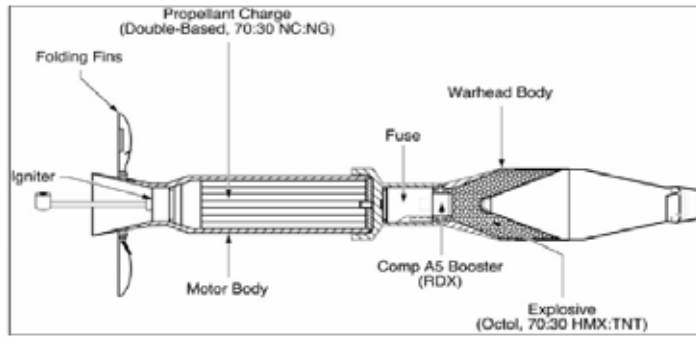
- 폭발시 파편, 미량의 화약류 잔류
- 피탄지에서의 불완전폭발(low order) 혹은 불발탄(DUD): 통칭 UXO

□ 사격지점에서의 추진체 불완전연소

화약류 분류체계



Light Armor Weapon rocket (US Army, 2001)



81mm Mortar (US Army, 2001)

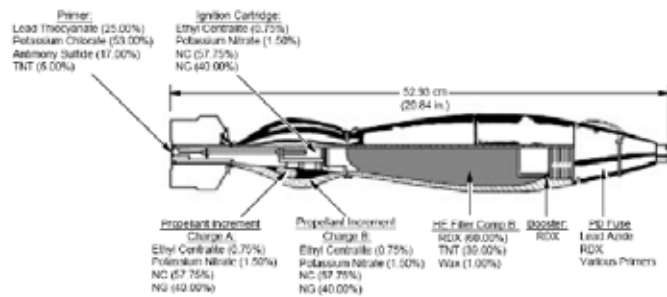


Figure 1. Diagram of 81-mm mortar rounds detonated with C4 at Camp Ethan Allen Firing Range.

60mm Mortar (US Army, 2001)

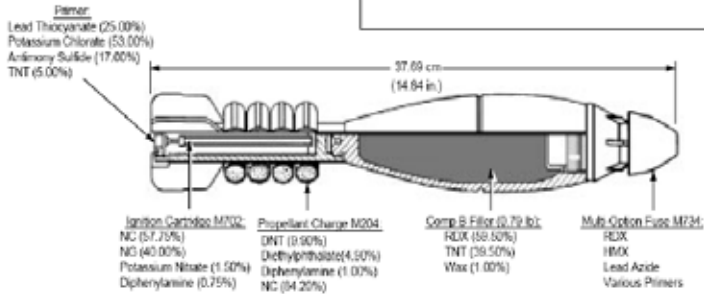


Figure 2. Diagram of 60-mm mortar rounds that were fired at Fort Drum, New York.

포탄별 화약류(US Army, 2001)

Table 1. High-explosive load carried by munitions items commonly fired at Fort Lewis.¹

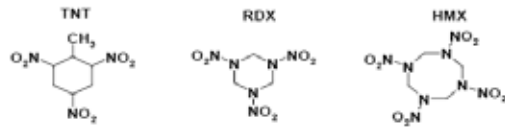
Round	DODIC ²	Main charge (g)		Supplemental charge		Pellet booster		Pellet auxiliary booster		Main charge total (g)
		RDX	TNT	HE ³	WT (g)	HE	WT (g)	HE	WT (g)	
M67	G881	110.6	71.9	—	—	Tetryl	22.1	Tetryl	63.0	184.3
81-mm	C205 ⁴	571.5	371.5	—	—	—	—	—	—	943
105-mm	C445	—	2086	TNT	136	—	—	—	—	2086
105-mm	C445 ⁴	1252	814	TNT	132	—	—	—	—	2086
120-mm	G623 ⁴	1790	1170	—	—	—	—	—	—	2960
120-mm	C788	—	2100	—	—	—	—	—	—	2100
107-mm	G697	1252	814	TNT	132	—	—	—	—	2086
155-mm	D544 ⁴	4191	2725	TNT	136	—	—	—	—	6916
155-mm	D544	—	6622	TNT	136	—	—	—	—	6622

¹ Source of data is the Munitions Items Disposition Action System (MIDAS) and personal communication, Mark Serben, Office of the Product Manager for Mortar Systems, TACOM, Picatinny Arsenal, New Jersey, 19 March 2000.
² Department of Defense Identification Code.
³ High explosive.
⁴ Main charge is Composition B, which is typically composed of 60 percent RDX and 39 percent TNT.
⁵ Not present.

화약류 물질의 독성 및 US 기준

화합물	Health Advisory Criteria (70kg 성인)			
	장기* (mg/L)	DWEL [†] (mg/L)	평생기준 [‡] (mg/L)	10 ⁻⁴ 발발생위해 (mg/L)
HMX	20	2	0.4	-
RDX	0.4	0.1	0.002	0.03
TNT	0.2	0.02	0.002	0.1

* 7년간 노출부하를 전, 양 이종과 다른 취침을 갖지 않을 것으로 예측되는 농도
 † Drinking Water Equivalent Level, 양 이종과 건강이 양하는 다른 취침을 갖지 않을 환경노출 농도로 인한 노출이 허용되어
 유전자 발암한다고 가정
 ‡ 평생 노출도에도 양 이종과 건강이 다른 취침은 영향을 받지 않는 농도



국외 사격장 오염실태

- Jenkins et al., (2006)
 - Soil analysis at 23 firing ranges in US
 - Hand grenade ranges
 - Higher RDX and TNT conc. due to C4 explosive for the blown-in place of low order detonation
 - Antitank rocket ranges
 - High levels of HMX due to high dud and rupture rate of rocket
 - Artillery ranges
 - Relatively low explosive concentrations
 - TNT and RDX from composition B is the major energetics
 - Valcaltier antitank rocket range (Canada)
 - High concentration of HMX
 - Cold Lake Air Weapons Range, Alberta, Canada
 - Heavy metals: Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn
 - Explosives: TNT(3.84~74.1mg/Kg), TNT intermediates

국내 군사격장 개황조사 결과(2002 국방부)

- 개인화기 및 자동화기 사격장
 - 중금속(납 최고 13g/Kg, 구리 최고0.5g/Kg),
- 직사/곡사화기 사격장
 - 중금속(납 205mg/Kg; RDX 21.2 mg/Kg)
- 전차포 사격장
 - 중금속(Pb, 7.2g/Kg; 구리 0.3g/kg)
 - 화약류(RDX, 12.8mg/Kg; TNT 1.2mg/Kg)
- 특성
 - 중금속의 오염의 10%만이 soluble
 - 대부분의 오염은 지중 60cm 이내

사격장 정밀조사 1: 다락대 사격장

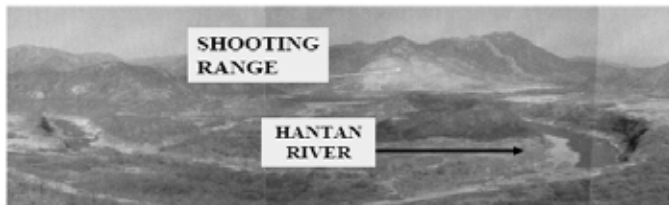


Contents

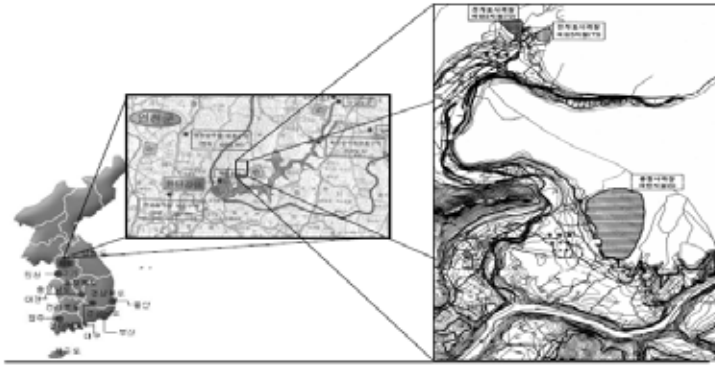
- Introduction and background
 - Preliminary investigation results
 - Phase II investigation results
 - GW contamination
 - Pilot plant experiments
 - On site adaptation results
 - Contaminants in surface run-offs
-

Introduction

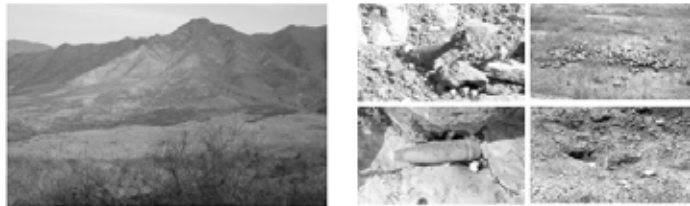
- Darakdae artillery shooting range
 - Operated for 50 years
 - One of the largest shooting range in Asia



Location



Situations



Well-maintained plants field



다락대 사격장 불발탄



출처: www.hantanlove.net

Background

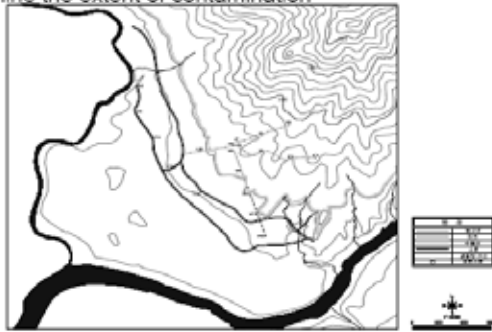
- Located on the side of Hantan river. (Area, 1.8km²)
 - A flood control dam downstream of the shooting range has been planned.
 - Contaminants may migrate to dam reservoir thus adversely impacting the water quality of the dam.
 - Phase II site investigation was conducted during 2002.03 to 2002.10.
 - Sampling locations were predetermined using Visual Sample Plan v. 1.4 (PNNL)
 - Surface soil and core samples were collected and analyzed for soil characteristics and contaminants concentrations.
 - Phytoremediation with bioaugmentation was selected for remediation study as the range is active in practice.
-

Tasks

- Phase II site investigation
 - Screening & selection of remediation technologies
 - Pilot scale tests for selected technologies
 - Water quality modeling
 - Leaching tests
 - Model selection and verification
 - Estimation of Risk assessment and proposition of remedial goals for each contaminants
 - Monitoring of GW and soil contamination
-

Preliminary site investigation

- To determine the extent of contamination

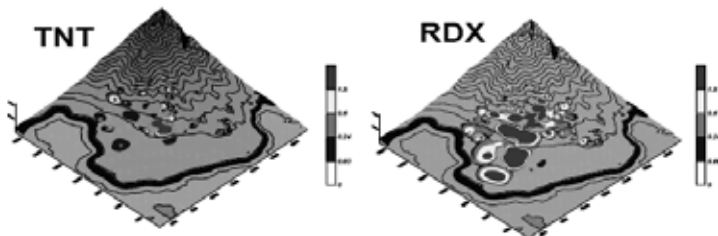


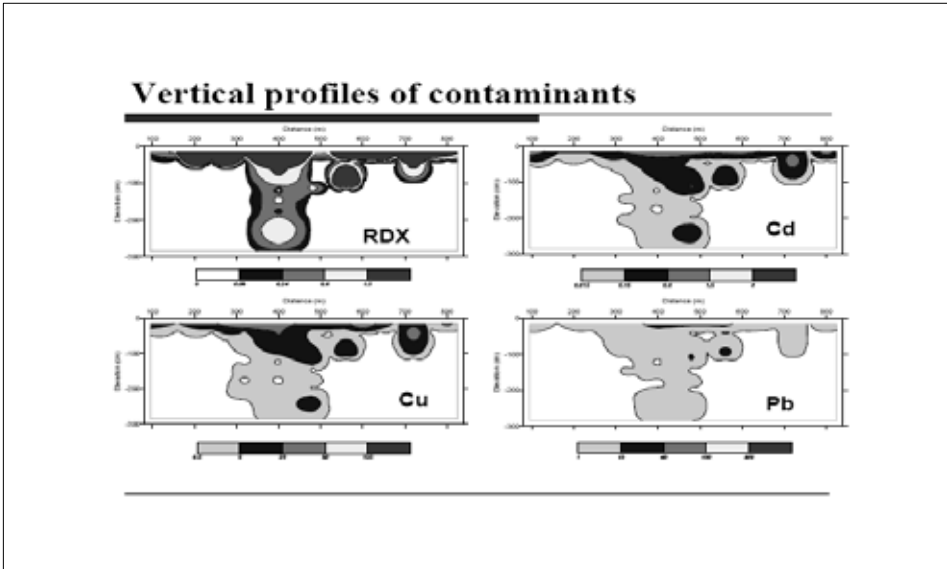
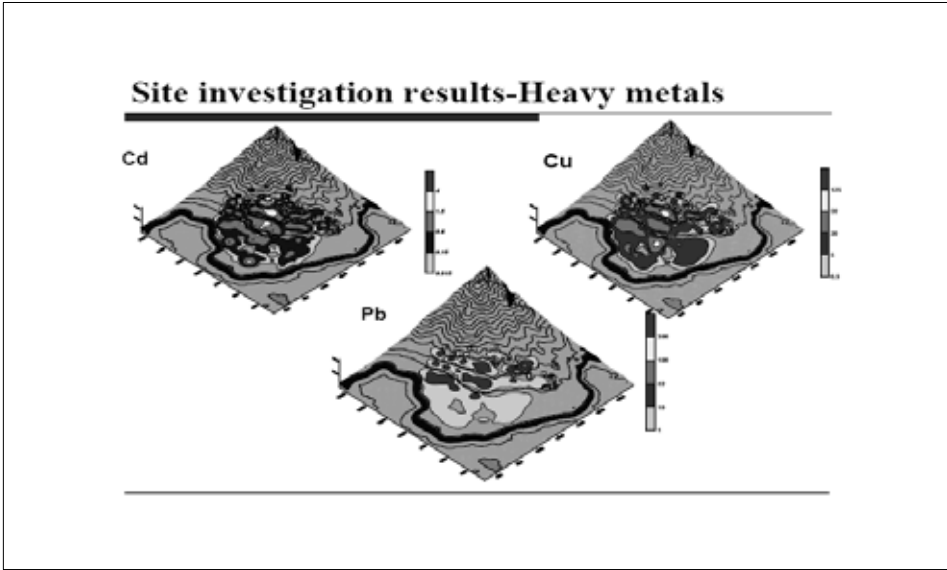
Site investigation

□ Predetermined sampling points using Visual Sample Plan ver.1.4



Site investigation results-Explosives





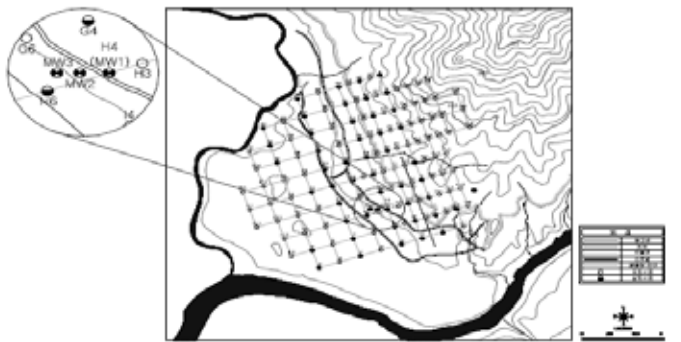
Site investigation summary

- **Contaminants: explosives (TNT&RDX) and heavy metals**
 - mostly located in topsoil (<40cm)
 - migration was retarded by the silty-clay soil of the site.
 - Contaminated soil movement in two directions during heavy rainfall in summer.

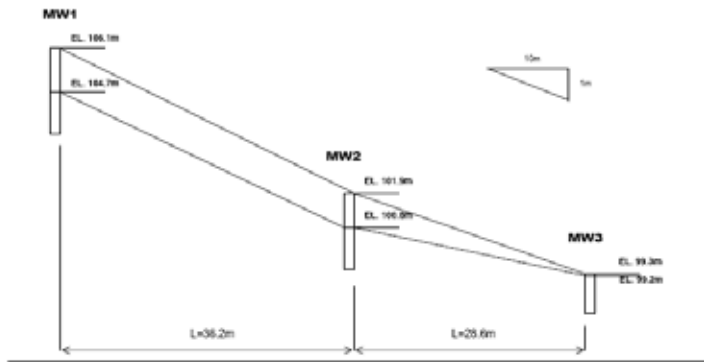
- **As the site has to be operable during remediation, a bio-assisted phytoremediation has been proposed as the process does not require intensive labor and equipment.**
 - A pilot scale feasibility study was conducted with the contaminated soil.

- **As the shooting range is still active and with abundant UXOs (Unexploded Ordnance), active remediation technologies can not be used.**
- **Remediation Goal: TNT & RDX-0.6mg/Kg-soil
Cd, Pb, Cu: 1.5, 100, 50 mg/Kg-soil**

Groundwater contamination



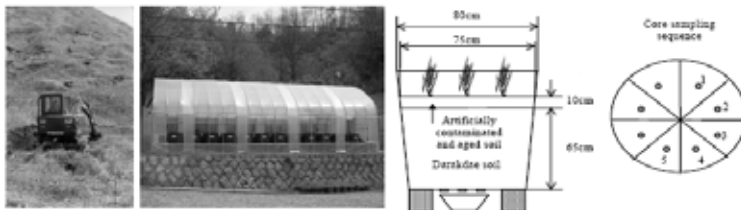
Monitoring well elevation



Characteristics of GW

- RDX max. concentration 1.48 mg/L
- Max. concentration of heavy metals (mg/L)
 - Cd (0.131), Cu(1.601), As(0.053), Pb(0.230), Zn(1.654), Ni(0.298), and Cr(0.160)
- GW not present in drought season.
- GW table fluctuation is very high.

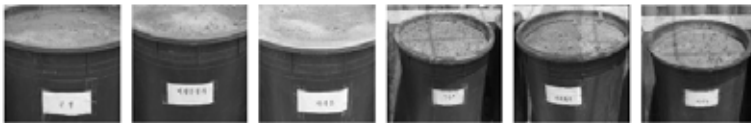
Pilot plant experiments



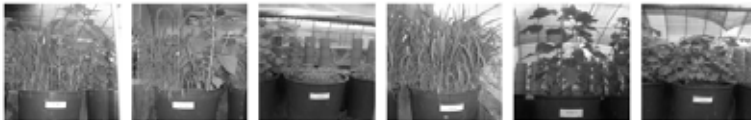
a. Excavation b. Green house c. Column reactor schematics

Plant growth 1

1 week

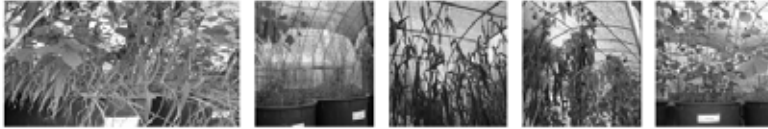


11 weeks



Plant growth 2

20 weeks just before harvest

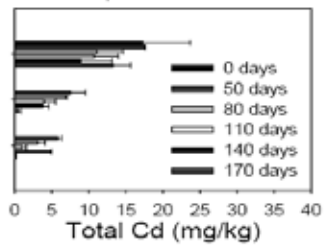


Harvested

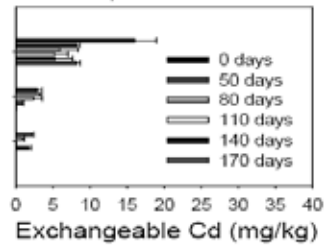


Contaminants removal 1

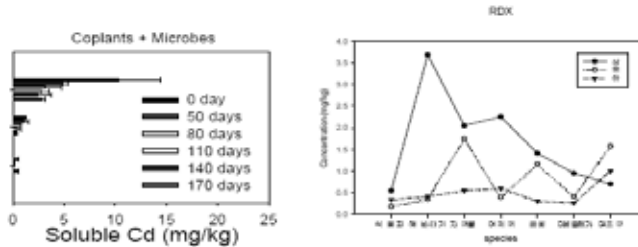
Coplants + Microbes



Coplants + Microbes



Contaminants removal 2



Summary

- Bioaugmentation of indigenous microbial culture resulted in higher removal of RDX as well as higher uptake of Cu in Indian mallow.
- Pb was accumulated in plant root, but it did not translocated to plant shoot except for sunflower.
- Phytoextraction of Cu and Cd was found to be effective.
- Phytostabilization is tentatively more practical in Pb control.
- Other study in Sweden (Lin et al., 1995) found that;
 - Pb released in shooting range is converted to hydrocerussite($Pb_3(CO_3)_2$), cerussite($PbCO_3$), and anglesite($PbSO_4$).
 - However, in 20~25 years, only 5% of metallic lead has been converted lead carbonate or lead sulfate.

On site adaptation



Before seeding



After 3 months

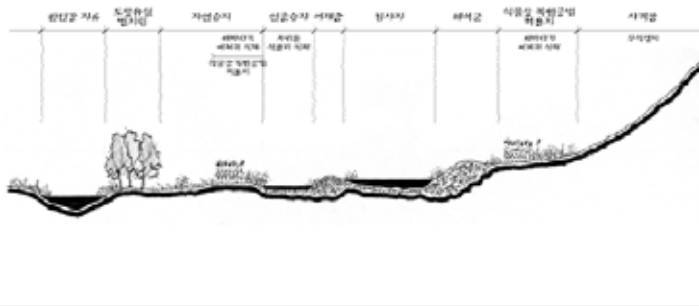


After 4 months



Before harvesting (6months)

Remediation plan schematics

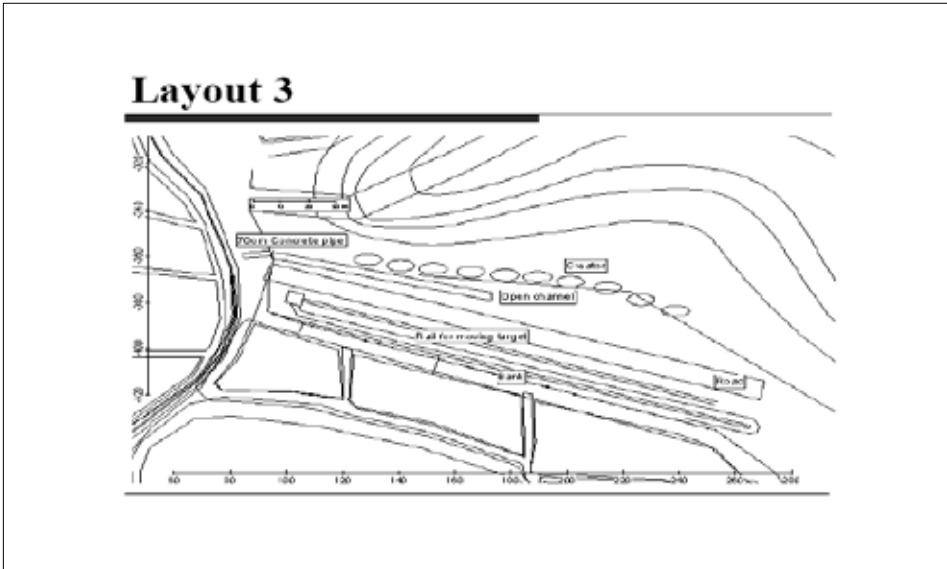
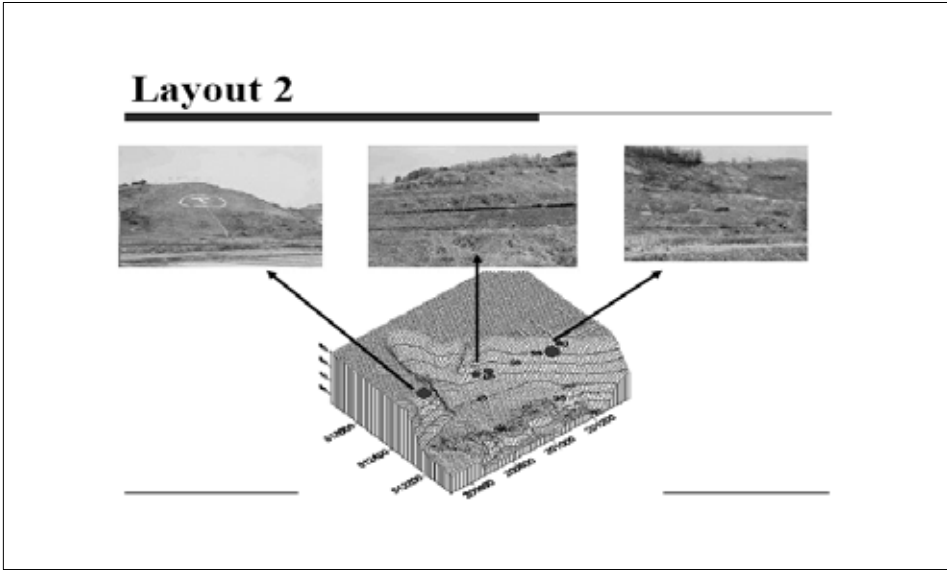


정밀조사 결과 2: 아방사격장

- Layout
 - Objects
 - Preliminary site investigation results
 - Site investigation results
 - Contaminants distribution
 - Remediation scheme
-

Layout 1





Objectives and Scope of the Study

- Determine the major contaminant concentrations, the scope of contamination, and the migration route of contaminants from the shooting range to the surrounding environments, especially to the ImJin river.
- Estimate the total amount of contaminants and leaching potential of the contaminants
- Quantify the risk associated with the site to the human health and environments
- Propose a site remediation plan based on feasibility and treatability studies

Preliminary investigation

- Sampling
 - 16 soil samples,
 - 5 surface water samples,
 - 1 sediment samples
- Results (explosives only)
 - HMX(207.1mg/kg), RDX(529.6mg/kg), and TNT(281.9mg/kg) at a crater in the shooting range (point O1)
 - TNT was repeatedly detected at samples collected to the south
 - HMX(0.84mg/L) was detected in water sample collected at EW3
 - The analytical results suggested possible migration of explosives through surface runoff and subsurface groundwater movement



Phase II investigation plan

- Based on the preliminary site investigation, 3 regions are included in the phase II site investigation
- Sampling plan
 - Region A: includes the target area in which craters are located (Ac) and the surrounding area
 - Region B: a newly constructed target area located to the west of region A across the valley
 - Region C: includes the area adjacent to the south of region A, the region B is mostly comprised of paddy soil
 - The sampling location was predetermined using Visual Sample Plan ver. 3.0 (PNNL)
- Groundwater monitoring wells
 - 7 GW monitoring wells are placed to 3 directions
- Surface runoff
 - Major route of contaminants migration is considered to be surface runoff. Therefore, water sample collection right after rain has been suggested.

Soil & Subsurface soil sample locations

- No. of samples
 - 90 surface soil samples
 - 47 subsurface samples at 14 cores
 - Subsurface sample in the region A was not collected due to the hazard of DUD explosion
- All samples were analyzed for explosives and heavy metal contents



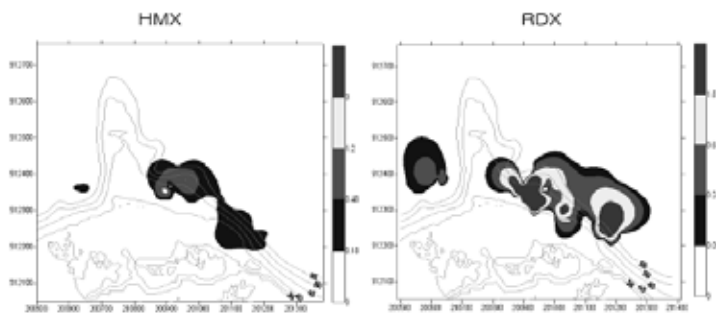
Water and groundwater sample locations

- No. of water samples
 - 11 surface water samples including 5 runoff samples
 - Sediments samples were collected at the location where water samples were collected
 - 15 groundwater samples at 7 GW monitoring wells

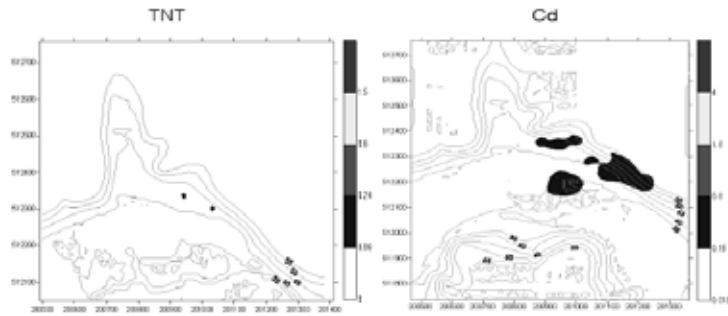
- All samples were analyzed for explosives and heavy metal contents



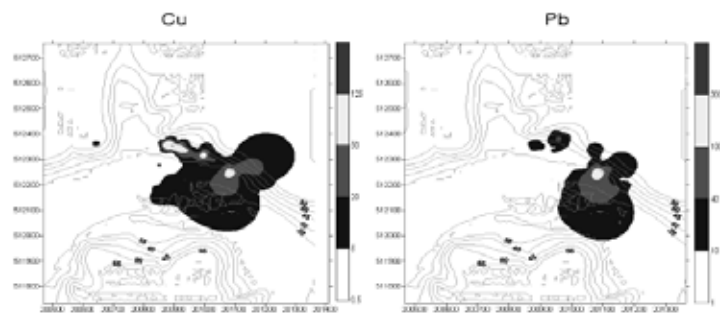
Contaminants distribution 1



Contaminants distribution 2



Contaminants distribution 3

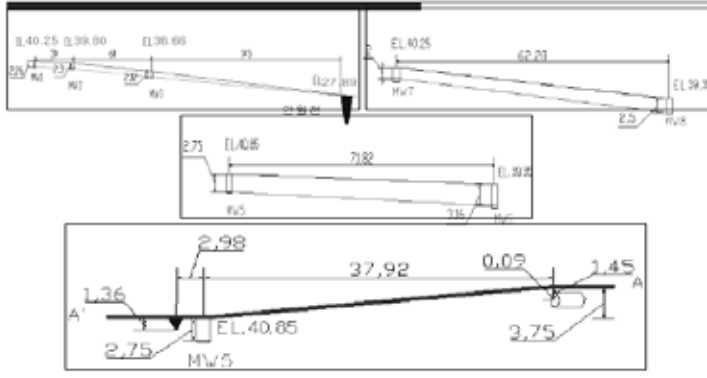


Groundwater contamination

- GW sample analysis
 - Low levels of HMX (25ug/L) or RDX(36ug/L) was consistently detected only at MW 5.
- Further investigation of site topography and sediment samples analysis (S7, S8) showed that RDX and HMX were transported to near MW 5 by surface runoff and infiltrated to MW5 (see figures at next page)



Site topography and GW water level



Total amount of contaminants

- Estimated total amount of contaminants/ area required for remediation by the Korean soil conservation law
 - HMX: 20.6 kg / 3200 m²
 - RDX: 457.0 kg / 69,000 m²
 - TNT: 1.39 kg / 4,800 m²
 - Cd: 35.2 kg / none
 - Cu: 4331 kg / 40,000 m²
 - Pb: 5115 kg / 6800 m²

 - Contaminated area overlapped but RDX contaminated soils encompasses all of the area required for soil remediation
-

Surface runoff

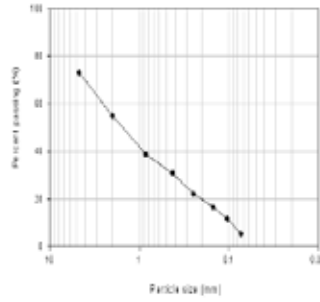
- Surface runoff water samples were collected and analyzed
 - Major contaminant: RDX
 - The rate of discharge = 8.3×10^{-6} mgRDX/sec
 - Calculated at 2hours of rain

- RDX was mostly associated within the soil particles

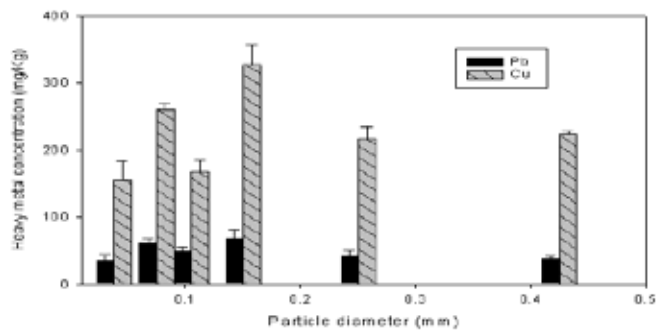


Soil type and contaminants distribution

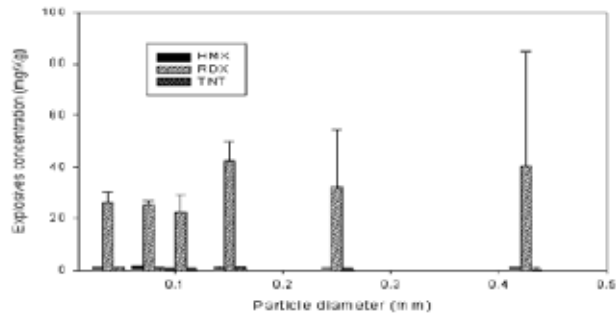
- The concentrations of contaminants were the highest in the samples collected from craters
- The particle size analysis and distribution of contaminants on the particle size fraction showed even distribution of contaminants to each size fraction
 - The input of contaminants is mainly by the explosion of mortar shells which disintegrated and distributed as large particles.
 - Smaller particles may have been easily moved by the surface runoff in the rain



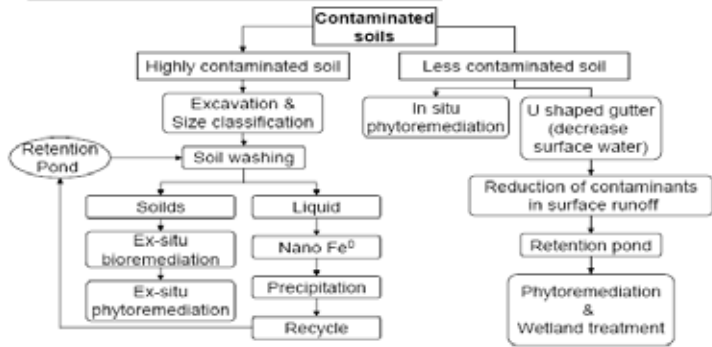
Atypical distribution of contaminants (heavy metals)



Atypical distribution of contaminants (explosives)



Remediation schemes



사격장 오염물질 제어방안

- 오염토사의 이동 방지
 - 군 자체 인력으로 운용 및 유지관리가 가능한 복원법
 - 사격장 피탄지 주변의 자연여건 최대한 활용
 - 에너지 최소 소요 공법
-

토양환경보전법 보완

- 법적 규제치 미비
 - 일반적 기준 설정법
 - 위해도에 근거한 기준 설정
 - 공해공정시험법 내 항목 신설
 - 시료 채취방법
 - Composite vs. Multi-increment composite sample
 - 시료추출방법 및 시료량
 - 분석방법
 - LC, GC, Enzyme immunoassay
 - UXO 탐지방법
 - Ground penetrating radar
 - Magnetic sensor
 - Electromagnetic sensor
 - Multispectral and thermal imaging
-



주요 토의내용(5차_1)

◎ 오염물의 이동성 조사

질의) 사격장별로 사용하는 화기가 다르고, 화기에 따라 나오는 성분들도 다를 것이므로 화기에 따른 오염물 조사를 제안함. 오염물의 이동성도 조사되었는가?

응답) 실제로 화기에 따른 오염물 조사가 이루어졌으며, 이동성도 고려되었으나 본 연구 결과 오염물의 이동성은 그리 크지 않았다. 이에 대한 많은 자료가 있으므로 필요시 공유할 수 있음. 그리고 환경영향평가가 이루어져 착공이 확정되면, 오염물질을 제거한 후 공사에 들어가는 것이 원칙이라 생각함. 어떤 사업을 하든 토양지하수오염이 실제로 일어나고 있는 곳은 사업장 허가를 받게 될 경우 사업자가 오염문제를 가장 우선적으로 해결 해야만 하는 제도적 장치 마련이 절실함.

◎ 오염물질의 배출기준 문제

질의) TNT와 RDX의 배출기준을 1.5로 제시하였는데 굉장히 낮게 잡은 것이 아닌가 생각되며, 토양환경보전법상에서 기준을 제시할 때 기준을 너무 낮게 정할 경우 여러 문제가 생길 수 있으므로 오염물질이 검출되더라도 용해도가 낮아 생물상에 큰 영향을 미치지 않는다면 그러한 부분을 고려하여 정할 필요가 있음.

응답) 연구 당시 현재 국내에 제시되어 있는 기준이 없어 택한 방법은 10⁻⁶ 암발생 확률을 가지고 사격장 주변 사람들이 식품, 어류, 패류, 물 등을 섭취한 위해도를 조사하여, 이에 근거하여 값을 제시하였음. 또한, 우리나라에서는 오염물질이 지속적으로 유출되지 않고 미국처럼 지하수를 사용하지 않는 특성을 감안하여 전공연구자들이 적정 기준

을 제시해줄 필요가 있음.

의견) 사격장의 경우처럼 매년 사용하게 되는 오염지역의 경우 기준의 중요성보다도 위해성을 차단하고 그러한 상태로 유지, 관리하는 것이 더 중요할 것임.

의견) 기준이 토양환경보전법에 들어가려면 일단 외국자료를 볼 것이고, 우리나라의 기존 연구 자료들을 검토하게 될 것으로 본 연구의 자료도 그러한 기준을 정하는데 중요한 참고 자료로 활용될 것임. 토양환경보전법에서 오염물질 관리 기준의 의미가 약하다는 생각이 드는데 유해물질을 판단할 때 상위법을 따르게 되고 이러한 경우 토양환경보전법의 기준을 따르지 못하는 예가 상당수 있음. 따라서 토양환경보전법이 이러한 사례들에 현실적으로 접근할 수 있도록 많이 보완될 필요가 있을 것으로 사료됨.

의견) 본 주제발표를 통해서 사격장 오염문제가 알고 있는 것보다 훨씬 심각한 것으로 생각되며, 이러한 문제점과 심각성들을 전문가와 일반인들에게 알릴 수 있는 방법을 모색해야 할 것임.

제5차 포럼 - 제2주제

**소유역에서 토양유실과 수질오염 방지를 위한
Best Management Practices**

주진호 교수

농업생명과학대학 자원생물환경학과

소유역에서 토양유실과 수질오염 방지를 위한 Best Management Practices



주진호, 양재익
강원대학교 농업생명과학대학 자원생물환경학과

고령지와 고령지 농업

□ 고령지 = 고령지 + 경사지

- 지대가 높은 곳으로, 기후 조건이 여름철에는 냉량하고, 겨울에는 매우 추운 지대
- 표고 400 ~ 600m인 지대를 준고령지, 표고 600m이상인 지대를 고령지라함

□ 고령지 경지 면적 (밭, 1998년): 52,972 ha

- 강원지역: 32,317 ha (전국의 63.4 %)
- 600 m 이상 고령지: 15,274 ha (전국의 90%)

고령지 농업의 중요성 [단경기, 고투입, 고소득 농업]

- ◆ 여름철의 식량공급원 지대임 (강원, 전북, 경북, 경남 지역 중심) - 여름채소, 여름감자 등
- ◆ 청정 농산물의 생산지대임
- ◆ 상수원 수계의 제1차 보호지역임
 - 한강, 낙동강, 금강 등 전국 수계의 상류권
- ◆ 백두대간의 중심임
- ◆ 관광농업의 최적지
 - 쾌적한 농산촌 환경, 체험소재, 휴식처

고령지 주요 재배 작목, 생산량 및 생산액

작 목	재배 면적(ha)	재배 농가수	생산량(천톤)	생산액(백만원 - 2001년 기준)
고령지 배추	6,951	4,635	274.3	83,878
고령지 무	2,594	2,376	77.7	-
감 자	4,656	-	43.9 (가락동 시장)	17,191
당 근	481	-	11.6 (가락동 시장)	12,087

고령지 주요 재배 작목, 생산량 및 생산액

작 목	재배 면적(ha)	재배 농가수	생산량(천톤)	생산액(백만원 - 2001년 기준)
고령지 배추	6,951	4,635	274.3	83,878
고령지 무	2,594	2,376	77.7	-
감 자	4,656	-	43.9 (가락동 시장)	17,191
당 근	481	-	11.6 (가락동 시장)	12,087

강원도 고령지 토양의 지역별 특성

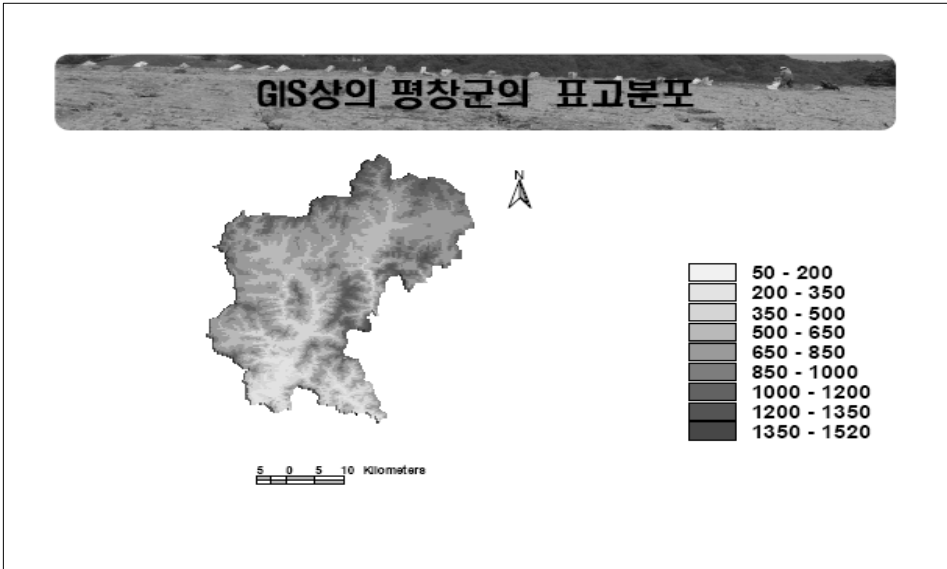
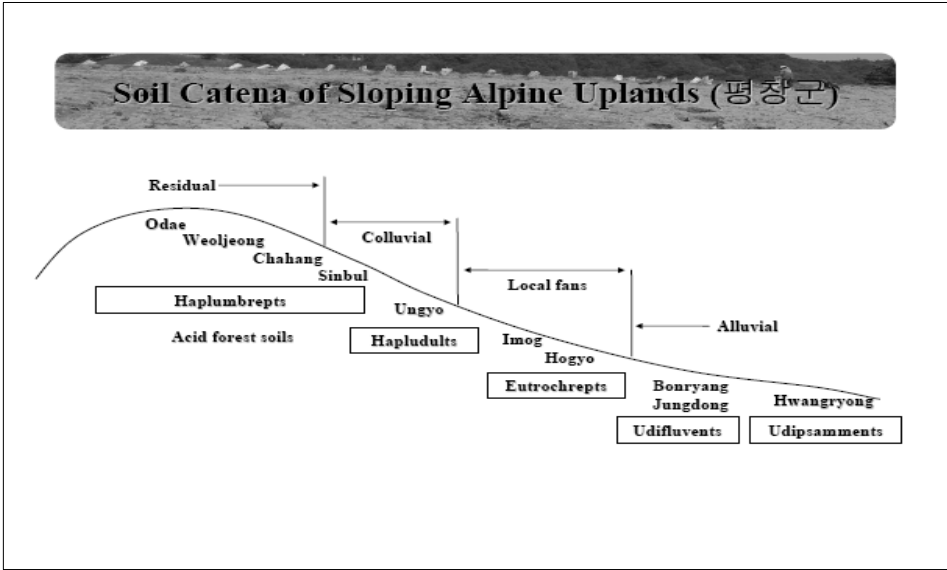
지역	시료수	pH	OM	Available P ₂ O ₅	Exchangeable			CEC
					K	Ca	Mg	
		1:5	g/kg	mg/kg	----- cmol(+) / kg -----			
평창	69	5.1	29.2	539	0.68	3.54	0.60	10.8
정선	61	5.7	31.8	466	1.11	7.87	1.28	11.9
영월	15	5.8	35.5	601	1.02	2.15	0.36	10.9
태백	12	5.9	43.7	512	1.03	7.36	1.41	11.6
강릉	10	5.7	28.5	749	0.90	4.00	0.57	10.6
삼척	10	5.6	27.4	629	0.96	7.94	0.88	11.4
홍천	11	5.6	35.0	897	0.80	2.69	0.75	10.0
횡성	12	5.7	34.2	795	0.92	5.19	1.15	10.2
양구	11	5.1	28.2	443	0.48	3.75	0.65	9.8
고령지평균	211	5.6	32.7	626	0.91	4.94	0.85	11.0
한국평균		5.7	20.0	109	0.34	4.20	0.34	10.3

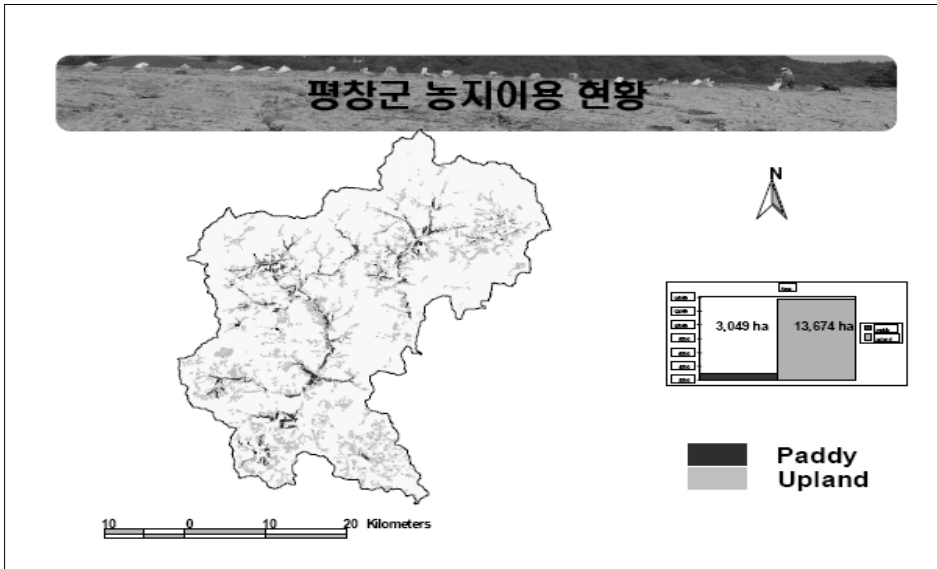
토지 이용 적성 등급 분류

등급	토지 이용성
I급지	▪ 생산력 높음; 배수 양호한 식양질 및 사질계; 2% 미만 경사
II급지	▪ 생산력 보통; 배수 약간 양호한 토양 및 식질계 ; 7% 미만 경사지
III급지	▪ 생산력 낮음; 15% 미만 경사지
IV급지	▪ 생산력 매우 낮음; 30% 미만 경사지
V급지	▪ 등외

적성 등급과 생산성 제한 요인 [평창군]

토지 이용	적성 등급					
	I 급지	제한 요인	II 급지	III 급지	IV 급지	V 급지
밭	2	경사	2(B)	7(C ~D)	11(C ~E)	19(C ~F)
		석력		2(B)	1(B)	
		사질	1			
		중점	2(B)			





전북 고랭지밭 현황조사 및 우선관리지역 제시

✓ 고랭지 한여름 채소 재배 현황 및 문제점

- 재배현황

- 배추, 무 : 파종(6월하순~7월상순), 수확(8월하순~9월중순)
- 감자 : 파종(5월상순), 수확(8월하순~10월중순)

- 문제점

- 생육기간이 짧고 나지 노출기간이 길음
- 배추, 무의 정식초기 강우로 토양유실 피해다발
- 감자는 8월 하순 이후 지상부 고사

전국 고령지발 원장과의 및 추진관리지역 제시

✓ 고령지 채소재배지 입지환경

지역	표고(m)	작토깊이(cm)	토성
평창	578	28.1	-
홍천	631	20.2	SL(75%)
태백	816	17.7	SL(84%)
정선	731	17.6	SL(68%)
평균	679	21.6	SL(76%)
봉화	591	39.0	SL(49%)
무주	556	20.4	SL(62%)
장수	532	19.3	SL(74%)
남원	482	19.6	SL(66%)
평균	523	19.8	SL(67.3%)

※ 자갈함량 조사중



토양유실 방지 및 대책(외국사례)

토양보전법 (Soil Conservation Act) 제정

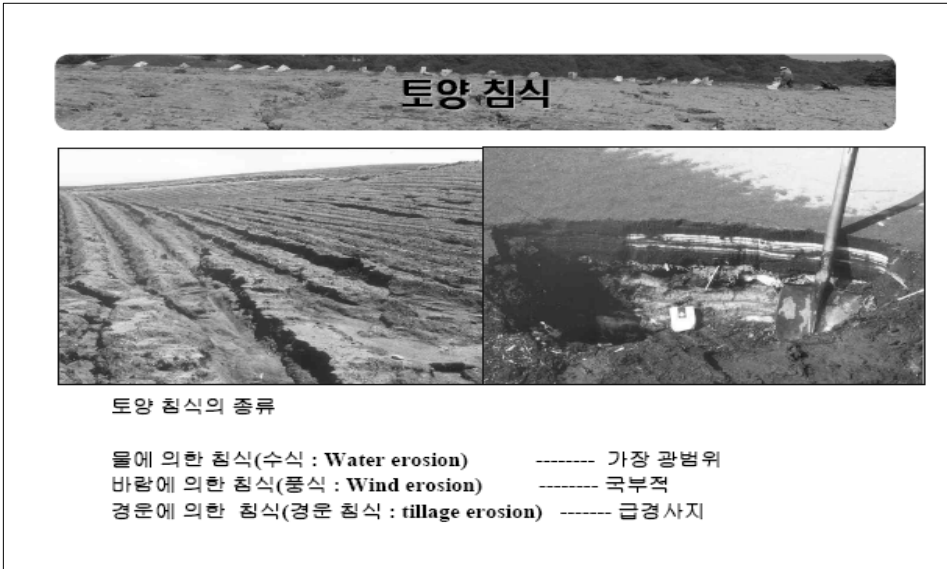
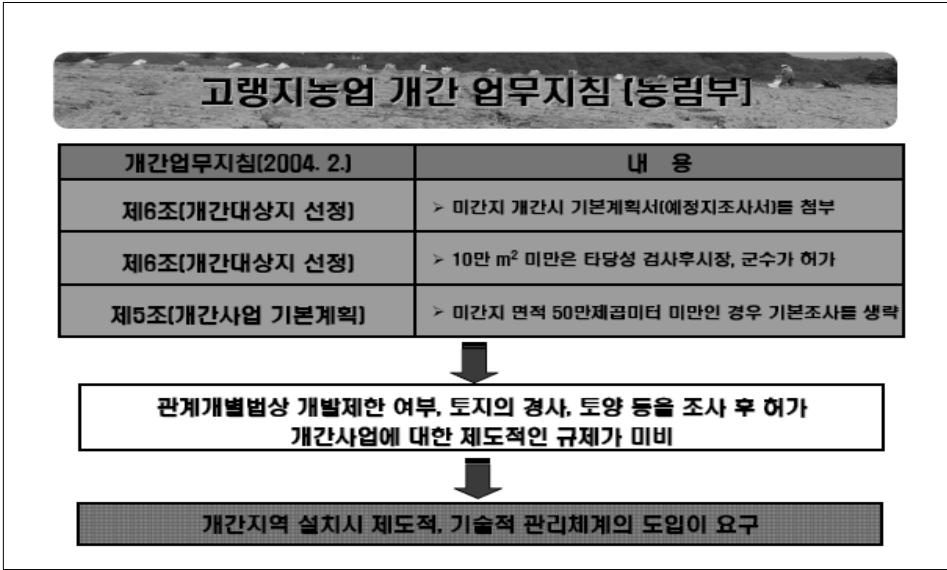
- 캐나다의 Alberta 주 (Soil Conservation Act, 1988년)
- 캐나다의 British Columbia 주 (Soil Conservation Act, 1996년)
- 미국 (Soil Conservation and Domestic Allotment Act, 1935년)
- 호주 (Soil Conservation Act, 1966) 등

고랭지농업 개간 업무지침 (농림부)

개간업무지침(2004. 2.)	내 용
제6조(개간대상지 선정)	> 미간지 개간시 기본계획서(예정지조사서)를 첨부
제6조(개간대상지 선정)	> 10만 m ² 미만은 타당성 검사후시장, 군수가 허가
제5조(개간사업 기본계획)	> 미간지 면적 50만제곱미터 미만인 경우 기본조사를 생략

관계개별법상 개발제한 여부, 토지의 경사, 토양 등을 조사 후 허가
개간사업에 대한 제도적인 규제가 미비

개간지역 설치시 제도적, 기술적 관리체계의 도입이 요구



토양 유실 문제

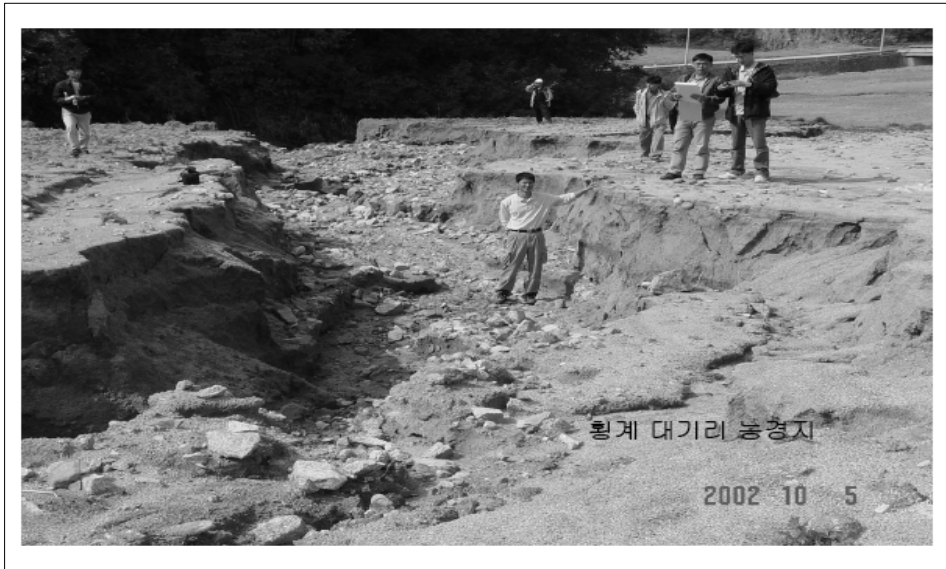
□ 토양의 생성 속도

(glacial till, Kohnke and Bertland, 1959)

$$\frac{dt}{dD} = 11 D^{0.783}$$

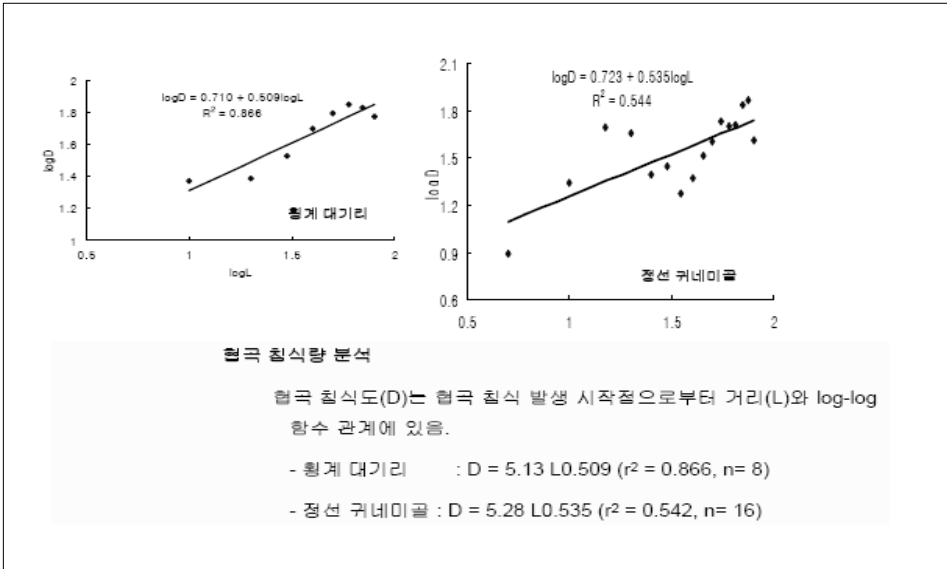
- D : 토양의 깊이(cm) t : 시간(년)
- 토심 50cm 깊이에서 1cm 생성에 걸리는 시간 230년
 - 토심 100cm 깊이에서 1cm 생성에 걸리는 시간 405년
 - * 토양 1cm는 1ha에 130MT의 흙에 해당

화산회토 : 0.14 - 0.86 cm`yr⁻¹
 잔적토 : 0.0014 - 0.0041 cm · yr⁻¹
 충적토 : 0.013 cm · yr⁻¹
 (Greenland and Szabolic, 1994)

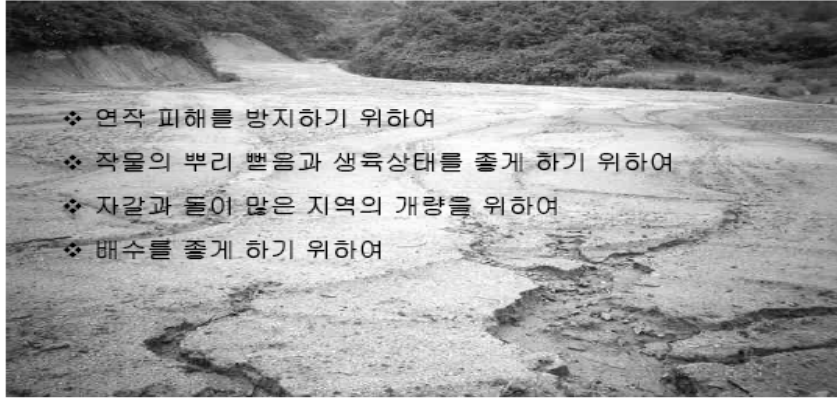


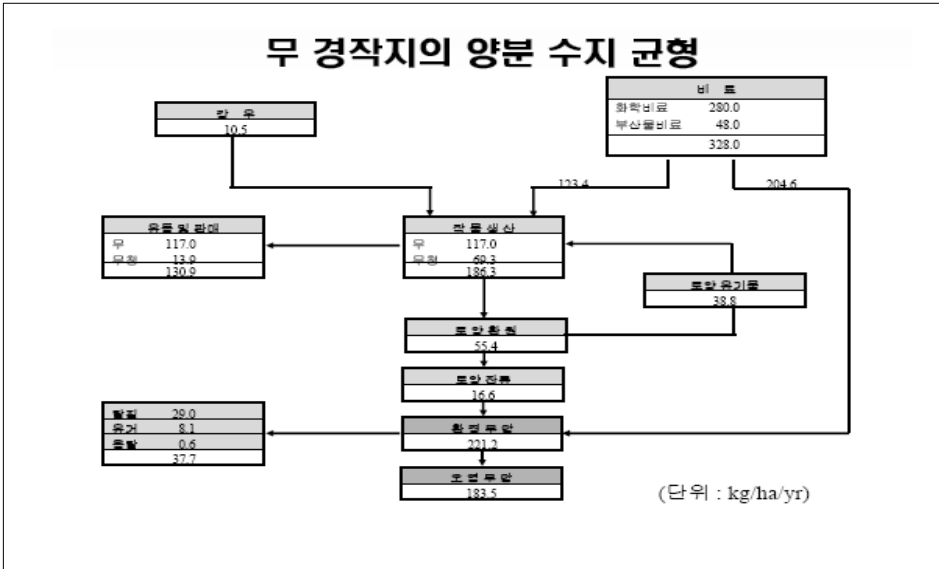
횡계 대기리 농경지

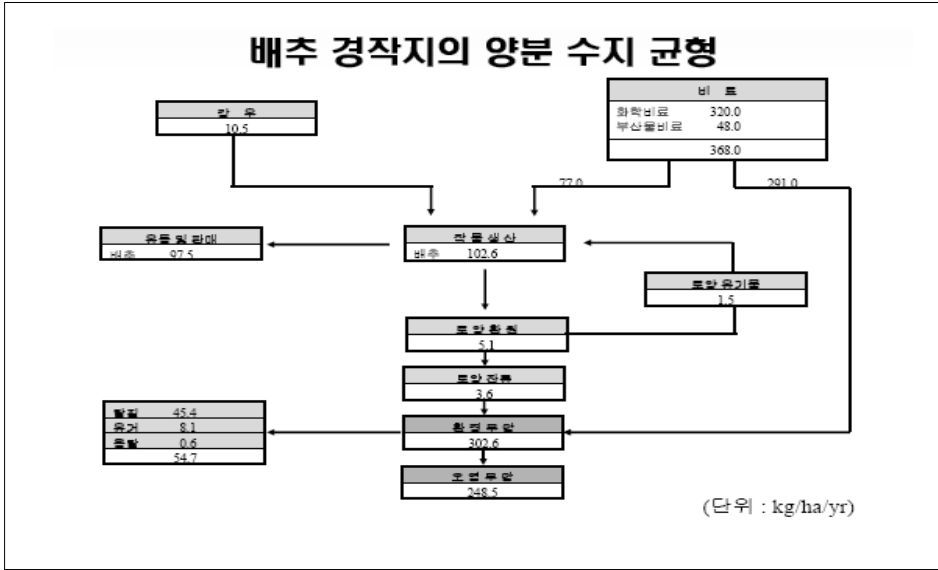
2002 10 5



모재 성토 시용







비료, 퇴비, 석회 사용량

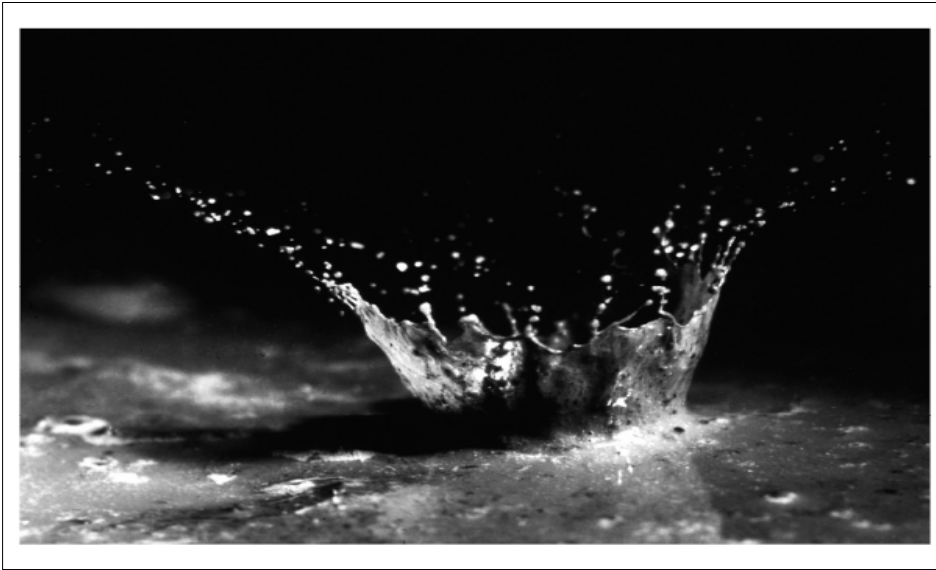
지역	Fertilizers (kg ha ⁻¹)			Manure (kg ha ⁻¹)	Lime (kg ha ⁻¹)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
평창	351	193	310	8,200	2,400
홍천	407	161	460	9,240	-
횡성	302	73	133	10,500	-
강릉	490	152	412	15,480	1,000
경선	477	169	402	9,520	1,770
태백	454	192	407	4,240	2,960
삼척	497	282	478	17,660	2,000
평균	444	188	390	9,920	2,160



Application	Requirement (kg ha ⁻¹)				Total requi. of high land area (ton)*			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
Farmers (A)	444	188	390	1,022	4,531	1,919	3,980	10,430
Standard (B)	320	78	198	596	3,266	796	2,02	6,083
Difference (A-B)	124	110	192	426	1,265	1,123	1,959	4,347

*Planted area: 10,206ha (2001, Ministry of Agriculture & Forestry)

농업활동에 의한 토양유실 산정



RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Soil loss MT ha ⁻¹ yr ⁻¹	—	R (rainfall-runoff erosivity factor) MT ha ⁻¹ cm ⁻¹
	—	K (soil erodibility factor) MT ha ⁻¹ /R
	—	LS (slope length and steepness factor) Dimensionless
	—	C (cover-management factor) Dimensionless
	—	P (support practice factor) Dimensionless



Rainfall and Rainfall index

Location	Rainfall	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Jul-Aug conc.
Chunchon	Rainfall (mm)	33	30	15	14	12	178	520	193	9	73	66%
	Rainfall index (Km)	5	5	2	2	1.3	59	270	66	1	17	Normal year 50%
Daegwan.	Rainfall (mm)	125	118	48	44	34	184	205	110	353	265	21%
	Rainfall index (Km)	38	33	9	8	6	62	72	30	156	104	Normal year 63%



Soil erodibility factor, K

$$K = [2.1M^{1.14}(10^{-4})(12-OM)+3.25(s-2)+2.5(p-3)] / 100$$

M : (% 0.002 - 0.1mm) • (% silt + % sand)

OM : % organic matter

s : soil structure

- 1-very fine granular
- 2-fine granular
- 3-moderate or coarse granular
- 4-blocky, platy, massive

p : permeability

- 1-rapid
- 2-moderate to rapid
- 3-moderate
- 4-slow to moderate
- 5-slow
- 6-very slow

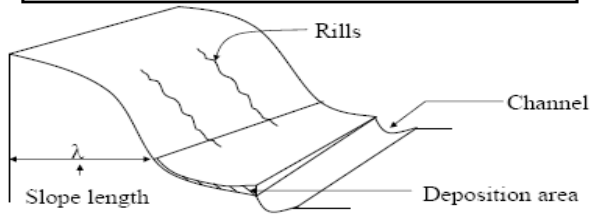
평창 지역의 토양 침식성 인자 K 값

토양 깊이	평균	범 위
표토	0.21	0.06-0.42
심토	0.28	0.07-0.45

Slope length and steepness factor, LS

$$LS = (\lambda/22.3)^m \cdot (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2)$$

λ : slope length in meter
 S : steepness, %
 m : 0.5 (>5%), 0.4 (3.5-4.5%), 0.3 (1-3%), 0.2 (< 1%)



Slope-length limits for successful contouring

Land slope (%)	Maximum slope length (m)
1-2	120
3-5	90
6-8	60
9-12	35
13-16	25
17-20	18
20-25	15

Source: Wischmeier and Smith (1978)

작부 체계에 따른 식생 피복 및 영농관리 인자 C 값

식 생	경운 방법			
	가을갈이	봄갈이	보전경작	최소 경운
작부 체계				
옥수수 연작	0.400	0.360	0.270	0.100
옥수수-콩	0.420	0.370	0.240	0.120
옥수수-귀리-목초	0.072	0.065	0.042	0.040
옥수수-옥수수-귀리-목초	0.130	0.120	0.100	0.064
옥수수-귀리-목초-목초	0.055	0.050	0.033	0.033
밀-콩 이모작		0.200		0.110
초지				
생육 양호 초본 목초				0.003-0.04
광엽 목초				0.01-0.04
임지				0.001-0.004
나지 상하경	1.00			

상하경 경작에 대한 토양보전 방법에 의한 토양 유실량 비인 P 인자 값

식생 조건	P - Factor
경사도 1-2 %, 경사장 120 m, 등고선 재배	0.60
경사도 3-8 %, 경사장 60 - 90 m, 등고선 재배	0.50
경사도 9-12 %, 경사장 30 -40 m,	0.60
경사도 21-25%, 경사장 15 m, 등고선 재배	0.90
경사도 6-8 %, 등고선 대상 재배, 폭 33m. 길이 120m 초생대	0.5
경사도 13-16 %, 등고선 대상 재배, 폭 24m. 길이 58m 초생대	0.7
경사도 6-8%, 곡물-키 작은 곡물-2년 초지	0.25

한국형 토양침식등급

토양침식등급	매우 양호 (A)	양호 (B)	약간양호 (C)	보통 (D)	약간 심함 (E)	심함 (F)	매우 심함 (G)
토양유실량 (MT/ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	0~2	2~6	6~11	11~22	22~33	33~50	50<
OECD기준	Tolerable		Low	Moderate	High	Severe	

**A = R · K · LS · C · P에 의한
Estimation of the soil erosion**

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

$$68\text{MT/ha/yr} = 343 \cdot 0.21 \cdot 1.6(\text{경사장 } 15\text{m, 경사도 } 16\%) \cdot 0.59 \cdot 1$$

토양유실한계: 11 MT/ha/yr → P 값을 0.16 이하로 (등고선 경작시 P값: 0.6/불충분)

강우 유출 평가

◆ SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number) Method

- 미농무부 토양보전국 현, 자연자원보전국 (NRCS)에서 1954년 개발
- 물수지식과 두 가지 기초적 가정에 근거함

물수지식

총강우량[S]은 초기감소[S_i]와 누적 침투량[S_f], 직접 유출량 [Q]을 합한 것

기초적 가정

- ① 총강우량에 대한 실제 직접 유출량[Q]의 비는 최대 보수 저장 가능량 [S_{max}]에 대한 실 침투량[S_f]의 비에 비례
- ② 초기감소[S_i]는 가능 최대 보수 저장 가능량[S_{max}]에 비례

강우 유출 평가

◆ SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number) Method

- 미농무부 토양보전국 현, 자연자원보전국 (NRCS)에서 1954년 개발
- 물수지식과 두 가지 기초적 가정에 근거함

물수지식

총강우량(P)은 초기감소(I_a)와 누적 침투량(A), 직접 유출량(Q)을 합한 것

기초적 가정

- ① 총강우량에 대한 실제 직접 유출량(Q)의 비는 최대 보수 저장 가능량(S)에 대한 실 침투량(A)의 비에 비례
- ② 초기감소(I_a)는 가능 최대 보수 저장 가능량(S)에 비례

SCS-CN법의 기본식

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad 0 \leq S < \infty$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

P : 총 강우량(Inch)

S : 최대 보수 저장 (침투 가능량)

Q : 직접 유출량

CN : 유출 계수

CN 값은 이론적으로 0~100의 값이지만 실제 40~98값 적용됨

S, CN 값에 영향을 주는 요인

- ◆ 유역의 토양형, 식생피복형, 토지이용 및 관리, 수문 조건, 선행 수분 조건, 기후 등
- ◆ 토양형, 식생피복, 토지 이용 및 관리의 조합 : 토양-식생-토지 이용 (SVL)
- ◆ SVL 조합은 크게 거주지, 농업지, 임목 및 삼림지로 구분

(1) 토양형

- 사토는 식토보다 침투율이 큼
- 지하 배수가 잘 되는 토양의 침투율은 다른 토양보다 큼
- 토성이 다른 층 분화가 이루어진 토양에서 토성의 배열은 침투 속도에 영향을 줌

(2) 수문학적 토양군

토양군 A	<ul style="list-style-type: none"> • 토층이 습윤한 상태에서도 빠른 침투, 투과 속도를 보임 • 토심이 깊고, 배수 양호/매우 양호한 사토/자갈 많은 토양 등임 • 유출능이 낮은 토양
토양군 B	<ul style="list-style-type: none"> • 토층이 완전히 습윤한 상태에서 중간정도의 침투 속도 보임 • 토심이 약간 깊고, 약간 양호/양호한 배수를 보임 • 약간의 세립질에서 약간의 조립질 토성을 보이는 토양
토양군 C	<ul style="list-style-type: none"> • 토양이 완전히 습윤한 상태에서 침투 속도 느림 • 식양토, 얇은 토심의 사양토, 유기불함량이 낮은 토양 • 약간 세립 또는 세립질 토양이다.
토양군 D	<ul style="list-style-type: none"> • 토양이 완전히 습윤한 상태에서 침투 속도가 매우 느림 • 주로 평윤성이 큰 식토 • 영구 지하수위가 높고, 지표부근에 점토 집적판이나 식토층을 가짐 • 불투수성 모재 위의 토심이 얇음

[3] 토지 이용	
도시 토지	<ul style="list-style-type: none">· 투수가 느리거나 매우 느린 지역· 주택, 포장 주차지, 가로와 도로, 상업 및 산업지역, 개발지역, 등· 나머지 투수 가능지는 양호한 초지 조건으로 간주
경작지	<ul style="list-style-type: none">· 휴한지(나지) - 유출 가능성이 가장 크다· 이랑작물 재배지 - 강우의 타격에 노출된 부분이 있다· 윤작 - 식생 피복 밀도 유지에 따라 수문조건이 달라짐· 초지 - 풀이 연중 자라는 곳, 강우의 타격으로부터 지면 보호
수림지와 삼림지	<ul style="list-style-type: none">· 수림지 - 농장과 목장에서 임목 이용을 위해 복토하여 조성 방목과 잔재물의 소각 등에 의한 제거 상태 주 요인· 삼림지 - 토양균, 피복형, 피복 밀도 등이 주된 영향 요인

[4] 수문 조건
<ul style="list-style-type: none">· 식생의 피복율에 의해서 정의 됨· 양호한 수문조건, 유출율이 낮고 침투율이 높다· 수문조건은 1~6으로 분류되며, 번호가 클수록 낮은 유출능
[5] 농업 관리 방법
<ul style="list-style-type: none">· 쟁기 경운은 무경운에 비해 토양공극을 10~20% 증가시킴· 유기물함량의 증가는 용적밀도를 낮추고, 공극률을 높임· 잔재물 피복은 토양 공극률을 높이며, 유출능을 낮춘다

(4) 수문 조건

- 식생의 피복율에 의해서 정의 됨
- 양호한 수문조건, 유출율이 낮고 침투율이 높다
- 수문조건은 1~6으로 분류되며, 번호가 클수록 낮은 유출능

(5) 농업 관리 방법

- 쟁기 경운은 무경운에 비해 토양공극을 10~20% 증가시킴
- 유기물함량의 증가는 용적밀도를 낮추고, 공극률을 높임
- 잔재물 피복은 토양 공극률을 높이며, 유출능을 낮춘다

선행 수분 조건(AMC)

AMC (Antecedent moisture condition)를 위한 선행강우량은 국립 공학 Handbook(SCS, 1971)에서 5일 강우량(P5)을 사용하며, 가장 광범위하게 사용

AMC I : 토양이 건조한 상태 (CN값은 건조 CN, 가장 낮은 유출능)

AMC II : 정상 또는 평균 상태 (CN값은 평균 CN, 평균 유출능)

AMC III : 습윤한 상태 (CN값은 습윤 CN, 가장 높은 유출능)

Table. Antecedent soil moisture conditions (AMC)

AMC	P5: 5-day antecedent rainfall (mm)	
	Dormant season	Growing season
I	Less than 13	Less than 36
II	13 to 28	36 to 53
III	More than 28	More than 53

- 유출계수를 얻기 위한 수단인 SCS-CN Method를 적용하기 위해서는 토양 수문군 분류가 먼저 이루어져야 함
- 우리나라에서 수문군의 분류는 정 등(1995)에 의해 시도
 - 토성급, 배수등급, 투수속도급, 그리고 불투수층의 깊이 등을 지수화

우리 나라 토양의 수문군 분류

Criteria of hydrologic soil groups for Korean soils

Soil characteristics	Marks denoted according to soil characteristics			
	4	3	2	1
• Textural family	Sandy (skeletal) Loamy sk. (coarse)	Co. loamy Co. silty Vol. ashes	Fine loamy Loamy sk. (fine)	Fine silty Clayey(F. & VF)
• Drainage classes	Somewhat excess.	Mod. well	Imperfectly	Poorly
• Permeability (cm/hour)	Very Rapid, Rapid (>12.0)	Mod. Rapid (12~6.0)	Mod., M.slow (6.0~0.5)	Slow, V.slow (< 0.5)
• Impermeable layer appeared (cm)	None	100~50	50~20	Within 25
Hydrologic groups divided	A (>13)	B (12~11)	C (10~8)	D (< 7)

(정 등, 1995)

- 우리나라에 분포된 것으로 조사된 전국의 378개(현 390개)의 토양통을 4개(A, B, C, D)의 수문군으로 분류한 기준
: 토성, 배수등급, 투수성, 투수저해토층의 유무 및 출현 깊이, 지하수위 등 침투수량을 지배하는 요인들을 적용
- 각 토양의 특성은 가급적 정밀토양도를 활용하여 얻을 수 있는 자료들을 기준

Hydrologic soil grouping for Korean soils.

Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
A	16	Bicheon, Daebon, Gapa, Hongcheon, Haeri, Hwabong, Hwangryong, Nagdong etc. (14)	76.45	0.80
	15	Baeksu, Geumcheon, Haengsan, Haggog, Hasa, Jangcheon, Jeogag, Myeongji, Namgye. (9)	241.62	2.52
	14	Abgog, Bonryang, Cheongsim, Danbug, Isan, Maegog, Mui, Nari, Odae, Weolgog etc. (30)	2,576.14	26.90
	13	Albong, Ara, Dosan, Euseong, Gacheon, Maji, Nagsan, Weoljeong, Yeongdong Yesan etc. (30)	1,061.0	11.08
Sub-Total		(83)	3,955.23	41.30

<Continue...>

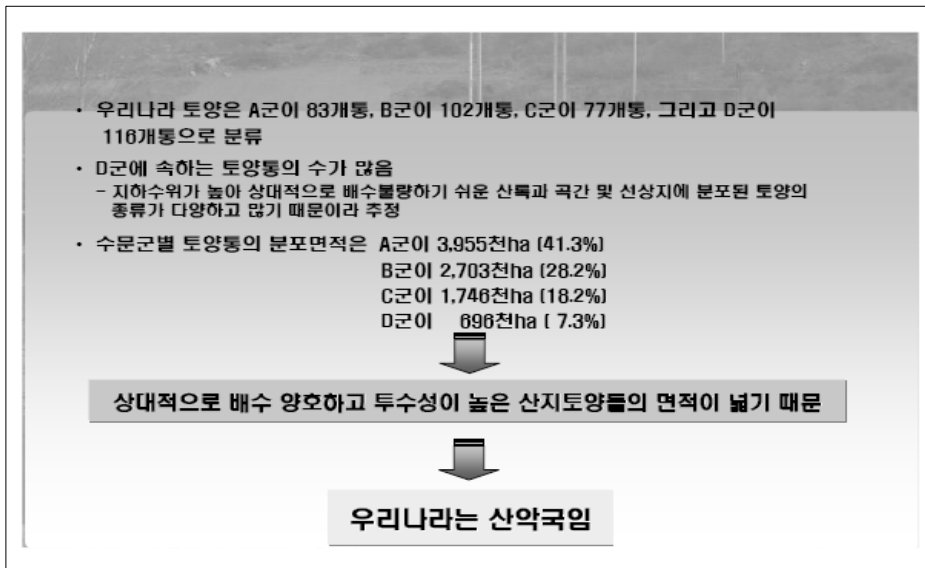
Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
B	12	Bognae, Changgog, Chobong, Dain, Dongam, Galgog, Gosan, Hamo, Hogye, Imog, Jocheon, Jugog, Maebong, Mulgeum, Namweon, Osan, Songdang, Tongcheon, Weolsan etc. (48)	1,289.36	13.46
	11	Anmi, Asan, Banho, Buyeo, Chusan, Daeheung, Dogye, Gamgog, Geunsan, Hagpo, Hyangmog, Jangsan, Jeongdong, Masan, Nonsan, Sinjeong, Teahwa, ?Ugog, Wansan, Yongdang etc. (54)	1,413.43	14.76
Sub-Total		(102)	2,702.79	28.22

<Continue...>

Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
C	10	Beompyeong, Danseong, Docheon, Gapo, Ido, Jecheon, Jeju, Mangyeong, Mudeung, Namgog, Ora, Sindab, Weonji, Yeongweol etc. (33)	708.67	7.40
	9	Andeog, Chilgog, Daegu, Geungog, Gugog, Hagsan, Inje, Oggye, Samam, Yongji etc. (23)	704.20	7.35
	8	Aeweol, Bansan, Bugog, Gangjin, Jindo, Jisan, Mitan, Pangog, Yulgog, Wangsan etc. (21)	333.28	3.48
Sub-Total		(77)	1,746.15	18.23


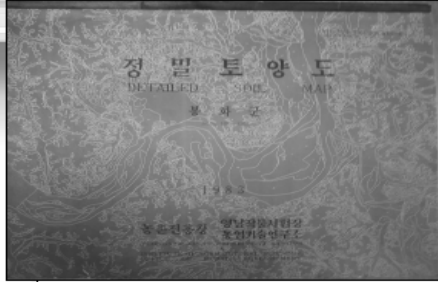
Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
D	7	Agog, Banggi, Bugog, Chuncheon, Daejeon, Dogog, Dongsong, Gangdong, Goheung, Gupo, Hwadong, Haean, Icheon, Jingog, Paju, Sincheon, Yanggog, Yongsu etc. (49)	353.82	3.70
	6	Agyang, Bancheon, Bonggog, Bongnam, Cheolweon, Cheongpung, Galjeon, Gimhae, Gimje, Gwangju, Gwangsan, Honam, Jangpa, Munpo, Namsan, Pyeongchang, Yuga etc. (55)	298.01	3.11
	5	Haecheog (1)	0.92	0.01
	4	Bogcheon, Bongrim, Gongdeog, Goryeong, Podu, Pori, Poseung, Seotan, Sinpyeong, Sugye, Yeosu (11)	43.4	0.45
Sub-Total		(116)	696.20	7.27
Others : River bed, Tidal flat, Rock outcrops, Reservoir etc.			477.71	4.98
Grand Total			9,578.06	100.0

* The urban areas, rivers etc. were excluded from the grand total



봉화군의 토양 수문군 분류

- 기상청 일별 강수량자료 (봉화군, 1988~현재) 이용
- 선행연구(정 등)를 바탕으로 봉화군의 정밀토양도를 이용하여 수문군 분류

Hydrologic soil grouping for Bonghwa soils.

Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
A	16	Ibseog, Togye	653	10.2
	15	Geuncheon, Namgye	595	9.3
	14	Gocheon, Deogcheon, Doggye, Maegog, Sangag, Weolgog, Pungcheon, Gwacheon	1308	20.5
	13	Noegog, Suam, Jigog, Sanggog	3821	60.0
Sub-Total		16	6377	100

Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
B	12	Sacheon, Yonggye	896	16.5
	11	Daegog, Daeheung, Mangsil, Banho, Seogcheon, Seogto, Sinjeong, Asan, Anryong, Wansan, Ungog,	4527	83.5
Sub-Total		13	5423	100

Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
C	10	Sindab, Unbong	281	11.5
	9	Geumgog, Yongji, Chilgog	838	34.3
	8	Sinheung, Jisan	1322	54.2
Sub-Total		7	2441	100

Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent	Acreage 1000ha	%
D	7	Bigog, Yecheon, Jangwon	1622	77.6
	6	Ogcheon, Yeongog	429	20.5
	5	-	-	-
	4	Gongdeog	40	1.9
Sub-Total		6	2091	100
Others : River bed, Tidal flat, Rock outcrops, Reservoir etc.			857	
Grand Total		42 Series	17189	100

* The urban areas, rivers etc. were excluded from the grand total

경사도를 고려한 SCS-CN법

- CNII 값의 산출 방법의 기본식**

$$CNII_s = 1/3 (CNIII - CNII^*) \times [1 - 2 \text{EXP} (-13.86 S)] + CNII$$

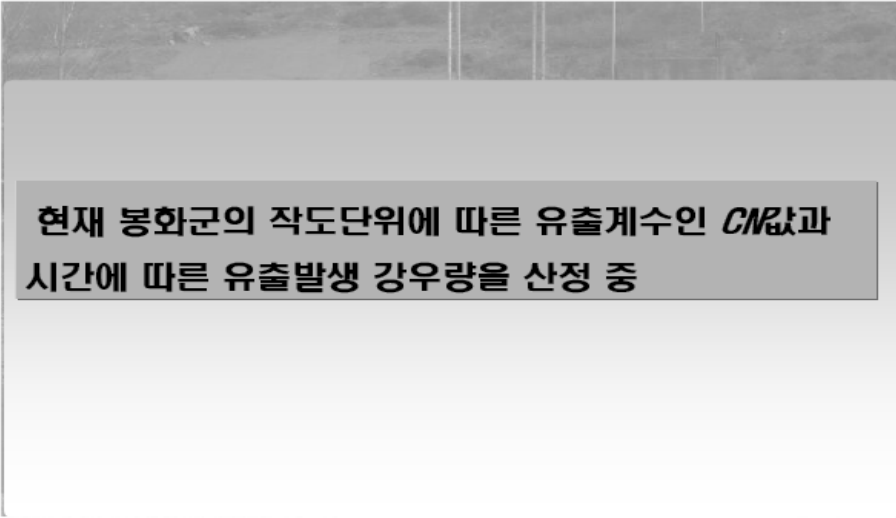
CNII_s : 경사도를 고려한 CNII 값
 S : 유역의 평균 경사도

* CNII 또는 평균 CN 값은 SCS Hydrology Handbook (SCS, 1972) 으로부터 얻음

선형수분강수량(AMC)을 이용한 토양수문군을 분류하고
 그 분류된 것을 앞서 설명한 것과 같이 작도단위(경사도 고려된)에 따라
 토지 이용형태 등을 고려하여 CN값을 계산한다.

The image shows a spreadsheet with multiple columns. The first column lists land use types such as 'Cultivated Land', 'Forest', 'Pasture', etc. Subsequent columns contain numerical values representing parameters like slope, soil moisture, and other factors used in the CN calculation process. The table is organized into rows corresponding to different land use units.

현재 봉화군의 작도단위에 따른 유출계수인 *CN*값과
 시간에 따른 유출발생 강우량을 산정 중



**현재 봉화군의 작도단위에 따른 유출계수인 *CN2*값과
시간에 따른 유출발생 강우량을 산정 중**

비점오염원 저감 방안 제시

비점오염원의 방지를 위한 중요한 대책

농업활동에 의한 환경오염의 특징	주로 토양과 수계 사이에서 일어나는 오염현상
대책	> 토양 영농관리방안: NPS의 발생 및 급원, 운송을 억제할 수 있는 방안 > 수질 관리방안: NPS가 지표수나 지하수에 도달하지 않도록 제한하는 방안
도구	> 최적영농관리방안 (Best Management Practices)

최적 영농 관리 방안 (Best Management Practices : BMP)

▣ 정의

비점오염원(NPS)에 의해 초래되는 오염량을 수질목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로서 기술적, 경제적, 행정적으로 볼 때 가장 효율적으로 실현 가능한 영농방법

▣ 범위

영농방법과 보전방안 (토양 및 수질)

■ 특징

- 지역특성에 따라 다름 (site-specific) (기후, 작물종류 등 생산환경에 따라 다름)
- One-Size-Fit-All의 개념은 없음
- 연구에 의해 개발된 체계
- 농민에 의해 이행 : 최적의 화학농자재의 투입효과, 수량과 환경 보전의 목표가 달성가능성 검증
- 모든 비점오염원을 관리, 억제할 수 있는 단일 기술이나 또는 단일 BMP는 없음

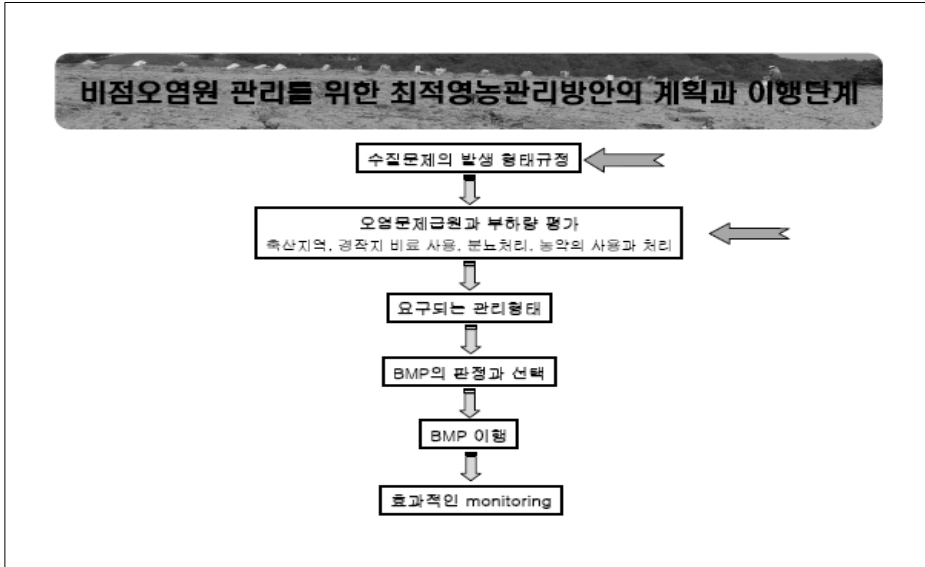
■ 고려사항

오염원의 종류와 양, 배출하는 농업활동형태, 부하 감소량, 특정 기후, 지형 등을 포함



이상적인 BMP의 조건

- ◆ 농업적 효율성 (agronomically effective)
- ◆ 환경적 효율성 (environmentally effective)
- ◆ 경제적 효율성 (economically effective)
- ◆ 사회적 인정성 (socially acceptable)
- ◆ 시행 가능성 (implementable)



■ 선정

문제를 파악, 평가한 후 대체할 수 있는 영농방안을 조사하고, 농민이 자발적으로 참여, 검토한 후에 지역 특성에 맞는 방안을 행정당국에서 결정

■ 목표

지속적, 경제적 생산량을 유지함과 동시에 NPS에 의한 오염문제를 경감하여 수질목표 달성을 도와주는 수단

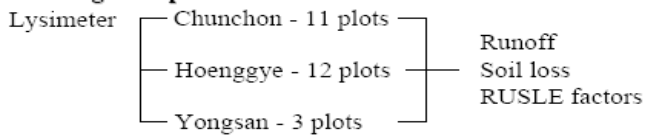
농경지에서 오염원의 억제를 위한 BMP

구분	오염원 억제수단
관리 방법	화학자재의 형태 사용시기, 사용률, 사용방법, 경운 방법 등
작부체계 : 식물 피복 방법	토양의 표면에 식물을 재배하거나 잔유물질을 사용하여 토양 유실을 방지하고, 토양을 제위치에 고정시키고, 유거수의 속도를 감소시키고, 토양의 수분보유력을 증가시키고, 침투수의 비율과 양을 증가
구조적 방법	시설물을 설치하거나 공사를 통해 포장을 변경시켜 오염원의 발생을 억제하는 수단으로 자본의 투자가 요구되나 비교적 영구적인 억제방법

Runoff Segment Plot (Case study)

Chunchon – Experimental farm in Kangwon National Univ.
 Daegwanryung - Hoenggyeri
 (National Alpine Agricultural Experiment Station, RDA)
 - Yongsanri
 (Potato Seed Experiment Station, Kangwon ARES)
 Hongcheon – Watershed of Naerincheon upper stream

Runoff segment plots



Runoff Segment Plot in Chuncheon

Cultivation :
up-down, slant, contour

Conservation treat. :
ex: None

- + Rice straw minimum mulching
- + Mini gravel bag

Plot size : 3m X 15m



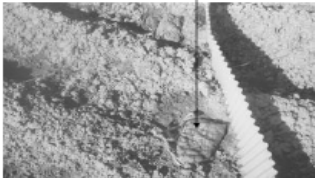
Crop :

Slope : 20 %



Minimum straw mulching

Mini gravel bag



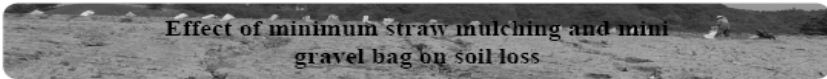


Effect of minimum straw mulching and mini gravel bag on soil loss

- reduce soil loss about 1/10 on slant-row plot

Treatments		Soil loss S(kg)	Runoff R(m ³)	S/R
Up-down Fallow		150.4	8.48	17.7
Slant	Fallow	54.5	8.32	6.6
	None	12.8	5.71	2.2
	Minimum straw	6.1	5.63	1.1
	Mini gravel bag	6.7	6.10	1.1
Contour	None	4.6	4.23	1.1
	Minimum straw	3.2	4.08	1.1

Chuncheon, plot size 20m² (2X10)



Effect of minimum straw mulching and mini gravel bag on soil loss

- Soil loss reduced to 1/3-1/6 by minimum mulching

Treatments		Soil loss S(kg)	Runoff R(m ³)	S/R
Slant	None	452	9.3	48.7
	Mini gravel bag	74	6.8	10.9
	Minimum straw	133	8.5	15.7

Daegwanryung (Yongsan), plot size 50m² (5X10)

산채류 Stubble mulch 농법 가능성(Case study)

곰취



두릅



Stubble mulch 농법

- 그루터기와 잔존지피물에 의해 토양수분을 보존
- 유기물함량을 증대함으로써 건전한 토양을 유지
- 바람·강우에 의한 토양유실을 방지하면서
경제적 이윤을 추구하는 농법임

산채류를 고령지 경사전에 입식

- ▶ 무·배추보다 수익성이 높으면서 Stubble mulch 효과가 높은 산채류를 선발
- ▶ 다년생 산채류 입식으로 최소경운에 의한 토양유실을 방지
- ▶ 비료·농약 저감을 통해 환경 친화적이면서 지속 가능한 농업 실천모형을 제시

오염유형과 저감방안

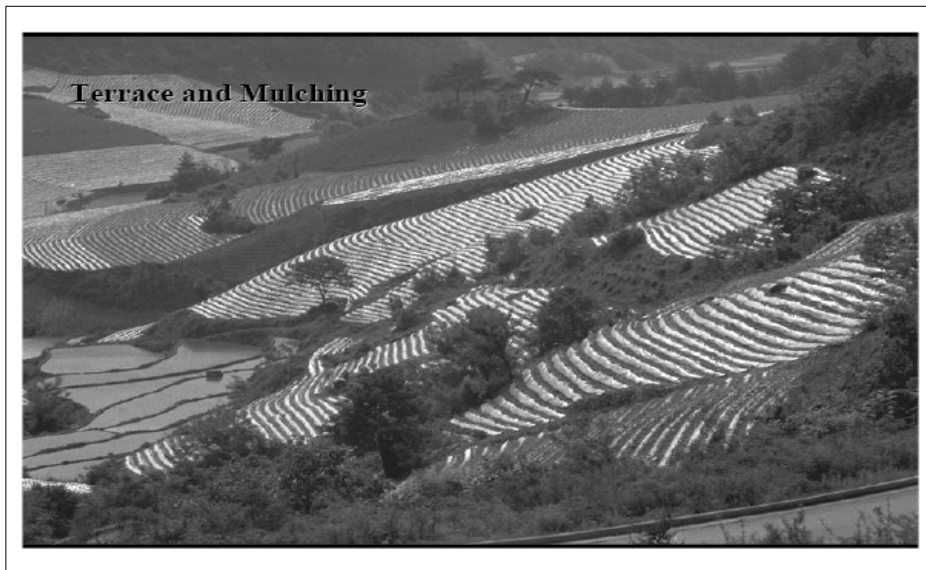
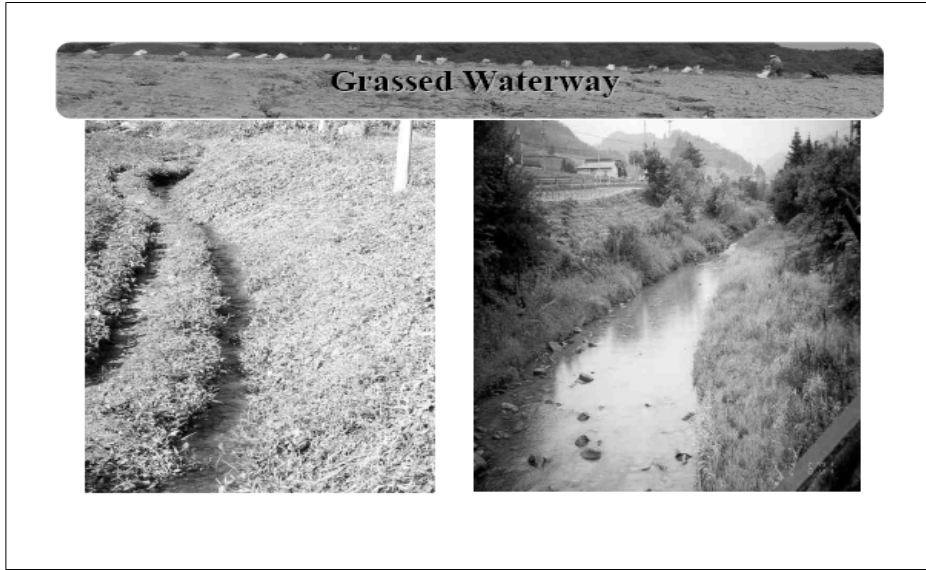
토양유실유형	기술적 체계 도입 모형	
		
토양 유실 요인	환경부담요인	관리방안
우회수로, 배수로, 식생대 없음, 나지, 성토, 상하경	토양유실 (gully, rill, sheet), 비료 및 농약성분, 하상상승, 수질오염	우회수로설치, 식생대설치, 등고선경운, 지표피복, 배수로 설치, 저류조 설치

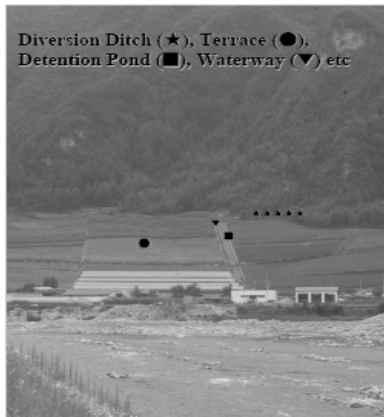
Bare lands during the non-cropping seasons(Case study)

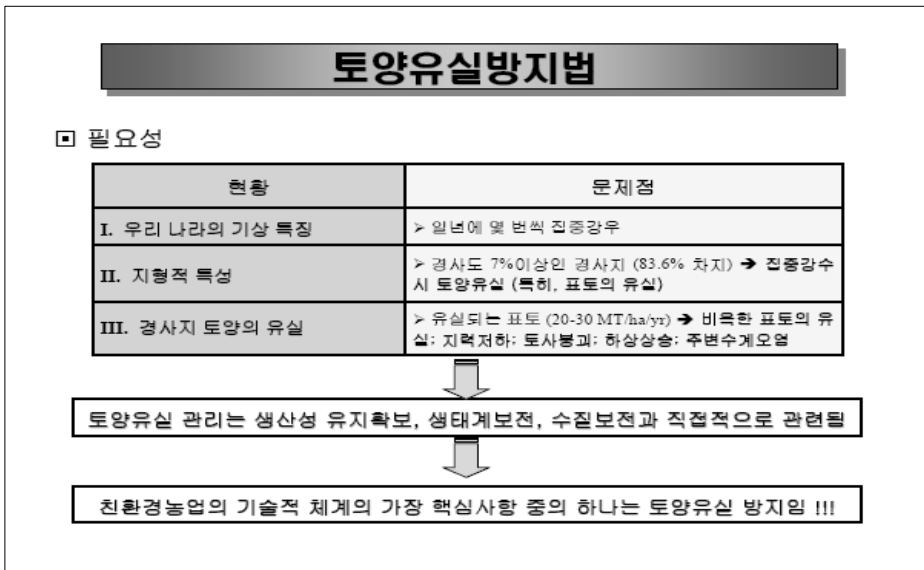
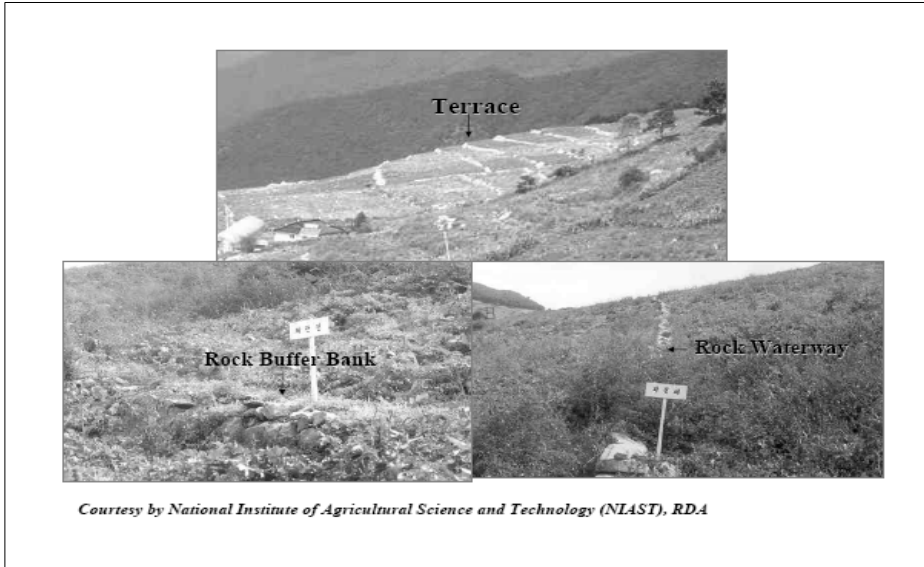


보리와 호맥 재배 (토양 보전 차원)





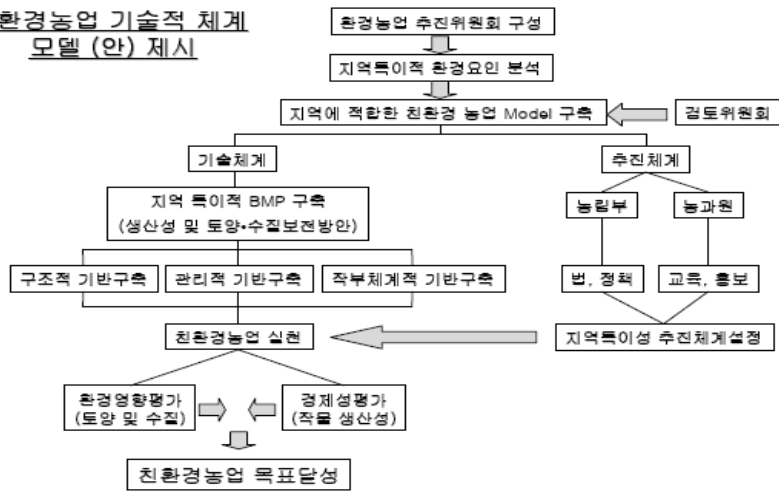




□ 토양유실방지법에 대한 우리 나라의 현황

현황	대책
> 강우 유출 양상에 대한 연구 아주 미흡 → 환경조건별 강우 유출량을 전혀 예측하지 못함	> 지역별 토양유실에 대한 D/B 구축 및 토양 유실 지도의 작성이 필요
> 경사도 및 재배작물별 토양유실량 조사 : Lysimeter시험을 통한 일부 연구만 수행 → 토양유실량 예측모형이 없음 (USLE model 사용)	> 우리 나라 환경조건에 적합한 토양유실 예측모형 개발이 시급 → 토양보전대책 수립이 요구
> 토양유실과 관련된 평가기법의 불확립	> 구체적인 환경조건을 고려한 토양유실 방지 대책 확립
> 토양유실의 예측과 관리에 관한 법적인 체계미비 → 토양환경보전법 제1조 토양보전을 명시하고 있으나 토양보전과 침식방지에 대한 구체적인 제도적 뒷받침이 없 는 실정, 토양법령 및 감시에 초점	> Agenda 21 규정 : 토양유실 방지대책 수립 이 법 지구적인 각 국가의 의무사항

친환경농업 기술적 체계 모델 (안) 제시



토양환경 관리와 공익기능 향상을 위한 제안

1. 토양검정에 따른 시비 처방 제도의 의무화

- ◆ 토양비옥도 판정 : BMP의 기본
 - ◆ 비료관리 : 추천량, 종류, 방법, 시기 등
 - ◆ 토양관리의 과학적 근거 제공
 - ◆ 조례안 제시 : 시비처방서 의무화, 비료 판매와 연계
-

토양환경 관리와 공익기능 향상을 위한 제안

1. 토양검정에 따른 시비 처방 제도의 의무화

- ◆ 토양비옥도 판정 : BMP의 기본
 - ◆ 비료관리 : 추천량, 종류, 방법, 시기 등
 - ◆ 토양관리의 과학적 근거 제공
 - ◆ 조례안 제시 : 시비처방서 의무화, 비료 판매와 연계
-

토양환경 관리와 공익기능 향상을 위한 제안

3. 토양관리(토양유실) 방지의 의무화

- ◆ 경사지, 임차농, 무분별한 관리 : 토양유실 가속화
 - ◆ 토양의 질 저하 및 수질오염
 - ◆ 토양관리의 핵심 : 토양유실방지
 - ◆ 토양유실 방지법 제정 : 제도, incentive, 자원 마련 등 필요
-

1. 경사도 15% 이하 지역

▶ 토양유실최대허용량: 5~13.3 Mg/ha/yr

▶ 정기적으로 토사유출을 모니터링

2. 경사도 15% 이상 지역

▶ 토양유실최대허용량: 6~16 Mg/ha/yr

3. 경사도 15~20% 인 지역

▶ 경사장 길이를 25~40 m 이하로 제한, 초생대, 승수로 설치

4. 경사도 20% 이상인 지역

▶ 경사장 길이를 25 m 이하로 제한, 승수로, 계단전 설치

결론

1. 친환경 농업의 기술적 체계 구축을 위한 BMP 도입 필요: 현행 친환경농업 모델로는 토양유실과 NPS 부하량 감소에 부적합: 토양유실 방지를 위한 제도적 장치 필요: 생산성과 환경의 질 보호를 동시에 고려하는 model 필요
2. 환경농업에 대한 지침서 마련, 농업경영인의 환경농업에 대한 인식 및 수용
3. 고랭지 농업의 지속성, 수익성, 고랭지 농촌의 어매니티

주요 토의내용(5차_2)

◎ 토양유실방지법 문제

질의) 토양유실방지법을 어디에 두는 것이 합리적이라 보는가?

응답) 토양유실문제에 대해 시책건의를 하여 받아들여졌지만 농림부의 무관심으로 법적 근거가 마련되지 못한 상태임. 원칙적으로 농림부에서 마련하는 것이 바람직 할 것이나 수질오염 측면으로 볼 때 환경부에서도 가능할 것으로 봄.

의견) 농업토양이라는 개념으로 봤을 때는 농림부에서 하는 것이 바람직하지만 그것이 어렵다면 현재 토양침식, 토사붕괴, 토사유출과 같은 사안을 다루는 재난방지청에 건의 해보는 것도 한 방법일 것임.

의견) 농업토양으로 보면 규모가 작을 수 있지만 최근 이슈화 되고 있는 run-off로 인한 land-sliding, 수질방지 등을 복합적으로 다루어 규모를 확대하는 것이 본 문제를 해결할 수 있는 방향이라고 생각함. 그러나 농업토양을 복원하는 원래 목적도 충분히 달성이 되어야 할 것임.

의견) 농업토양을 복원하는 문제에 있어서 농산물에서 검출되는 오염물질의 농도를 기준으로 몇 mg 밖에 되지 않는 토양 내 중금속을 컨트롤하기 위하여 객토를 해야 한다는 것은 효율성면에서 현실적으로 상당한 어려움이 있다. 또한, 농산물의 life-cycle에 따라 분석 수치도 달라지므로 측정시기에도 문제가 있어 여전히 우리나라 토양환경보전법에 맹점이 있다고 생각된다. 향후 한국환경정책·평가연구원에서 토양유

실방지법 문제에 대한 관심과 고려가 필요함.

토양정밀조사 지침과 토양환경평가제도의 비교 및 문제점

1. 관련법령
2. 비교
3. 문제점
4. 국가 측정망 현황
5. 보완 및 대책

김철 교수

동의과학대학교 보건환경과

토양정밀조사 지침과 토양환경평가 제도의 비교 및 문제점



동의과학대학 김철

차례

I 관련법령

II 비교

III 문제점

IV 국가 측정망 현황

V 보완 및 대책

I 관련법령

(1) 토양정밀조사

1. 관련법령

토양정밀조사지침

토양환경보전법 제5조제4항 및 동법시행령 제9조제2항

토양측정망 운영 및 토양오염실태조사 결과 토양오염우려기준을 초과하는 지역 또는 측정망 및 토양오염실태조사지점 설치구역 외의 지역으로서 토양오염우려기준을 초과할 가능성이 있다고 판단되는 지역에서 실시하는 토양정밀조사에 적용한다.

2. 평가항목·조사절차 및 분석방법

1) 평가항목

토양 측정망 및 실태조사 결과 우려기준 초과 항목
측정망 이외 지역 : 우려기준 초과할 가능성이 있다고 판단되는 항목

2) 조사절차

기초조사 : 자료, 청취 및 현지조사 - 토양오염가능성 유무 판단

개황조사 : 오염면적 및 오염범위 파악 실시 - 개략조사

정밀조사 : 개황조사 결과 대해 정밀조사 실시

3) 분석방법

토양 : 토양오염공정시험방법 / 수질 : 수질오염공정시험방법
기타 폐기물공정시험방법

3. 정밀조사결과 조치

정밀조사 보고서 작성 : 토양오염의 상태 및 인건
토양오염방지대책 방안 제시

(2) 토양환경평가

1. 관련법령

토양환경평가

토양환경보전법 제10조의2

토양오염유발시설이 설치되어 있거나 설치되어 있었던 부지 및 그 주변지역에 대하여 실시하는 토양환경평가에 적용한다. 토양환경평가는 본 지침을 따르되 대상부지의 상황에 따라 필요한 경우 평가항목·방법 및 절차를 조정할 수 있다.

1) 평가항목	
토양환경보전법 명시된 토양오염물질 그 외 필요한 경우 추가	
2) 조사절차	
기초조사	자료, 현장 및 청취조사 / 오염물질의 종류 및 오염범위 추정 1단계 토양환경평가 보고서 작성
정밀조사	오염물질의 종류 및 오염범위등 분석평가 최종보고서 작성

II 비교		
	토양환경평가	토양정밀조사
법령	토양환경보전법 제10조의2	토양환경보전법 제5조제4항 및 동법시행령 제9조제2항
시행근거	자율적	강제적 (토양환경보전법에 의거 명령)
시행지침	환경부 고시 제2001-202호 토양환경평가지침	환경부 고시 제2001-186호 토양정밀조사회침
중점사항	토양오염으로 인한 환경영향 (위해도)평가 및 토지거래 시 토양오염 책임의 명확화	토양오염우려기준 초과지점 오염범위 및 오염정도 파악 후 오염토양 정화

	토양환경평가	토양정밀조사
시행기관	토양관련전문기관	토양관련전문기관
시료채취기준	지목별 구분없이 일괄적	지목별 채취기준이 다름
시행 후 조치 사항	토양환경보전법 관련법령 없음	토양오염우려기준 이상일 경우 토양환경보전법 제 15조에 의거 오염원인자에게 시정명령 조치
자료활용	평가 당시의 토양오염의 정도를 나타내고 있는 것으로 추정	토양오염방지 및 정화사업 내용제시
자료 신뢰도	토양정밀조사 보다 신뢰성 낮음	토양오염방지 및 정화사업 자료로 미흡

III 문제점

1. 토양환경평가

1) 관련법령

토양환경보전법 상 토양환경평가 이후 규제나 의무사항 없음
토양 정화 의무 없음

2) 토양시료채취 지점 선정

일괄적인 시료채취면적에 대한 시료채취 지점수
토양의 지목/용도에 따른 구별 없음
오염현황 파악 자료로 부족

2. 토양정밀조사

1) 토양시료채취지점 선정

예) 토양정밀조사 폐광산지역의 시료채취기준

폐광산 정밀조사

1. 개황조사

오염가능 농경지가 대상, 시료는 표토와 심토

1) 표토

오염가능지역의 면적이 100,000㎡ 미만일 경우에는 10,000㎡당 1개 지점씩으로 하고, 100,000㎡를 초과할 경우에는 50,000㎡ 초과할 때마다 1개 지점씩 추가하되, 대상지역의 오염면적 및 상황에 따라 시료채취 밀도를 조정한다.

2) 심토

표토 시료수 3개 지점당 1개 지점의 비율로 표토에서 30cm까지의 토양을 채취

2. 정밀조사

정밀조사의 목적은 복원을 위한 정확한 오염토의 불량산정에 있다. 개황조사 결과 토양오염우려기준을 초과하거나 이에 근접하는 지역에 대하여는 정밀조사를 실시한다.

1) 표토

표토(0 ~ 10cm) 시료는 우려기준 초과 예상지역을 산정하여, 1,500㎡당 1개 지점을 선정

2) 심토

심토(10 ~ 30cm)는 표토 시료수 3개 지점당 1개 지점의 비율로, 깊이별 시료(0 ~ 10cm, 10 ~ 30cm, 30 ~ 60cm, 60 ~ 100cm)는 표토 시료수 6개 지점당 1개 지점의 비율로 채취

3) 농업용수 : 3 ~ 8지점 (조사면적을 감안 하여 조정)

4) 수로지점 : 3 ~ 8지점 (농업용수와 동일 지점)

5) 광채 : 2점

6) 경내수 : 경구당 1점

예 1) 토양오염지역 면적 500,000m²일 경우 개황조사 지점 및 시료수

조사지점	17지점
표토	17개
심토	6개
총 시료수	23개

↓ 개황조사 결과 토양오염우려기준 초과시 정밀조사 실시

↓ 약 500,000m²의 면적에 대해 23개의 토양시료로 오염유무 확인

→ 오염원인자에 의한 비용 부담으로 최소의 채취밀도로 시료채취

IV 국가 측정망 현황

2005년 토양 측정망 및 실태조사 현황

구분	측정망	실태조사
목적	전국의 토양오염추세 파악	오염우려지역 오염실태조사
조사대상	1,500 지점	05년: 2,402
운영방식	조사지점 고정	조사지점 매년 변경
주관	환경부(지방환경청)	시·도(보건환경연구원)
조사항목	17항목(중금속 8, 일반 8, pH)	토양오염물질 중 오염가능성이 높은 물질 및 토양 pH

2005년 토양 측정망 및 실태조사 시 나타난 문제점

토양측정망 및 실태조사결과에 체계적인 분석 및 보고시스템 결여

- 매년 조사결과 자료에 대한 지역별, 지점별, 토지용도별 오염도 특성 및 지하수 오염과 상관관계 등 다각적인 오염도 분석 안함
 - 조사결과 취합 후 통계·분석작업의 과다 시간소요 및 정확성 부족
- 조사결과에 대한 분석 미흡 등 결과보고서의 작성 부실
 - 기준초과지역에 대한 특성분석, 조치내용(계획) 및 조사지점 현황(위치, 장표 등) 등 작성 누락

토양오염실태조사시 오염가능성이 높은 지역에 대한 지점선정 및 발굴 부족

- 매년 지점별 토양오염도 추이 파악 및 오염도에 대한 분석이 미흡하고 사고발생·민원유발 지역 등에 대한 적극적인 조사지점 추가 발굴 부족

2005년 토양 측정망 및 실태조사 시 나타난 문제점 대책방안

토양오염도자료의 체계적인 관리 시스템 구축·운영

- 오염도 자료의 체계적인 DB 구축 및 자료 활용 극대화를 위한 시스템 개발
- 조사결과에 대한 신뢰성·정확성 등을 위한 충실한 보고기반 마련

토양오염 가능지역의 사전조사 철저 등 운영개선

- 사고발생·민원유발 지역 등에 대한 조사지점 추가 발굴 및 오염영향권지역 사전조사 후 선정 (시·도)

유관기관별 대책추진 협조요청

- 농경지 및 농작물 관리, 폐급속광산관리 등 관련 업무에 반영할 수 있도록 소관부처(농림부, 산업자원부, 식품의약품안전청 등)에 홍보
- 시·도, 지방환경관서 등 유관기관에 홍보하여 업무공조체계 유지

V 보완 및 대책

1. 토양환경평가 및 토양정밀조사 지침의 시료채취기준 선정 현실화

- 토양시료채취(지점 및 시료수) 기준 강화
- 토양환경평가/토양정밀조사 채취기준 일원화

2. 토양의 지속적인 관리 체계화

- 토양관련 전문기관의 전문성 확보(인력, 장비)
- 토양공정 시험법의 현실화
- 토양 측정망 및 실태조사 지역의 지점 확대


3. 토양관련전문기관의 활용 확대

- × 토양오염 관련 과중민원이나 신고 발생시 관련 시·군·구청 담당자의 처리 한계
- × 각 지역의 토양관련전문기관과 연계
- × 토양오염에 대한 즉각적인 대처 방안 모색/토양조사를 통해 정화방안을 제시

4. 토양환경평가 법령강화

- 토양환경평가 → 토양환경보전법 토양환경평가지침

미비한 토양환경평가에 대한 체계적이며 효율성 있는 법령의 개정



- 토양환경평가제도 의무화
→ 사업 진행 후 발생하는 토양환경오염에 대한 사고 방지

- 토양환경평가 및 토양정밀조사에 대한 펀드 제정
토양환경평가의 주체 : 정부 제안
토양환경평가의 결과 : 대상 부지의 사업자 개선사업 실시

주요 토의내용(6차)

◎ 토양환경평가의 적용과 토양환경평가제도 개선

의견 본 주제에서 두 가지 중요한 점으로 첫째, 토양환경평가의 실제 적용에 따른 문제점 발생임. 토양환경보전법으로 토양환경평가와 토양오염정밀조사를 규정할 때, 실제로 토양환경평가 조사를 실시하여 나온 결과는 매수인이든 매도인이든 조사 및 정화의 비용까지 고려해서 민간측에서 자체적으로 발견, 실제적으로 토지가에 반영하여 거래가 일어날 수 있도록 자율적으로 하는 것이 본래의 의도였다고 생각함. 이는 만약 토양환경평가를 실시하지 않았을 경우, 실제 토지를 산 사람이 향후 일어날 문제에 책임이 있다는 의미로 볼 수 있음. 문제는 토양환경평가가 도입된지 약 4년밖에 되지 않았다는 데 있다고 볼 수 있는데, 한 가지 예를 들어보면, 기업에서 토지를 1,000억을 주고 샀을 때 500억의 정화비용이 나올 수밖에 없는 상황이 되었다면 그런 경우 토지를 산 사람에게는 큰 문제가 될 것임. 그러나 현재 상황에서는 그것이 이슈화가 되지 않고 있는데, 이는 단지 토양환경평가가 제도가 잘못 되었다 라기 보다는 제도가 시행된 기간으로 볼 때 4년이라는 기간은 아직 단기간으로 보아야 할 것임. 둘째, 토양환경평가제도의 개선에 관한 것임. 토양오염정밀조사와 토양환경평가제도가 가지는 의미가 다른데, 토양환경평가결과를 다시 토양오염정밀조사 행정 명령에 적용하자고 한다면 민간측에서 자발적으로 찾으려고 하는 노력을 완전히 없애 버리는 상황이 올 수도 있다고 생각함. 따라서 현 제도를 유지하고 싶다면 책임의 문제를 어떻게 풀어내고 정부가 어느 정도의 책임을 가져올 수 있는지 등을 고민해야 함.

의견 토양환경평가제도가 잘못 되었다는 의미는 아니며, 현실적으로 어떤 측면에서

는 토양환경평가가 이용을 당하고 있거나 면죄부를 주고 있다는 생각이 드는 것임. 제도는 좋은 취지로 제대로 만들어졌다고 생각하는데, 4년간의 전국적인 사례들을 살펴볼 때, 많은 사례들이 자발적으로 한 것이 아니었음. 담당 공무원이 현장에서 대부분 지역이 주거지역으로 전환되고 있는 상황을 보게 될 때, 환경단체의 요구로 문제를 조사하는 경우가 있는데 이때, 토양환경평가제도를 악용하는 사례가 많다고 봄.

◎ 토양관리 규제 강화 문제

의견) 토양관리 규제를 강화하는 것은 현실적으로 어려움. 정부는 예산이 없기 때문에 나서서 할 수 없으며, 기업들에게 직접 하면 토양오염도 검사를 어떻게 해야 하는가도 고민이므로 규제 강화의 어려움이 현실적 이슈임. 실제로 사회에서 토양환경평가 제도를 잘 이해하지 못하고 있다고 생각함. 그리고 원래 토양환경평가는 강제화 하는 순간 제도 본래의 의미가 없어지기 때문에 강제화 할 수 있는 것이 아님. 또한 토양환경평가가 신뢰성이 떨어지기 때문에 이를 높이기 위해서 지침을 자세하게 써야한다 의견도 토양환경평가제도에 잘 맞지 않는다고 생각함. 토양환경평가는 고도의 기술을 가진 사람들이 판단을 해서 토양오염을 밝혀내고 만일 나중에 그 오염에 대한 보고서가 틀리면 자기들이 책임을 지는 시스템이고, 이 토양관리 시스템에서 토양환경평가와 토양정밀조사는 전혀 다른 성격의 것임. 발표내용을 들어보면, 오히려 토양환경평가지침을 만들지 말아야 하고, 어떻게 보면 엔지니어들이 자기들의 신뢰성을 확보하기 위한 나름대로 기준을 개발했어야 하는데 우리나라에서 이 제도를 만들 때 전문성과 경험이 미흡한 상황에서 정부가 나서서 제도를 만들다보니 현재의 문제가 발생한 것임. 정부 입장에서 보면 우리나라 업체들이 수준이 낮기 때문에, 업체 마음대로 하게 할 경우 생길 부작용을 우려하여 토양환경평가를 오히려 제도권으로 끌어들이는 것임. 이에 따라 제3자가 볼 때 토양환경평가제도를 이용하는 근거만 남겨주는 꼴이 되었다는 생각이 듦.

의견) 토양환경평가를 시행하기 위해 법적으로 등록된 전문기관 중 대학들이 대부분 분석실 위주로 되어 있으며, 엔지니어들이 없는 것이 문제임.

의견) 기본적으로 토양정밀조사는 엄연히 규제를 위한 것임. 어느 나라나 마찬가지로 규제 전에 책임을 지는 것이 중요하다고 할 수 있음. 우리나라에서 토양 분야의 발전이 늦은 이유로 큰 사건이 일어난 적이 없어 규제의 정당성이 잘 서지 않는 것도 이유로 볼 수 있음. 최근 미국에서는 석면이 문제가 되었는데 석면 때문에 기업들이 도산 위기에 직면하게 되자 정부에서 석면을 치우라는 법을 만들기 전임에도 기업들이 스스로 석면을 치우고 있는 상황임. 우리나라의 경우 적절한 규제를 한다는 것이 상당히 어렵기 때문에 규제 측면은 큰 사건이 터지기 전까지는 토양환경보전법에 적용해서 뭔가를 만든다는 것이 상당히 어려운 문제가 될 것임.

의견) 토양환경보전법의 원래 취지가 현장에서 왜곡되어 있음에도 문제점으로 크게 드러나지 않고 있음. 이는 현장에서 사실적인 문제가 없는 것이 아니라 의도적이든 비의도적이든 문제를 묻어두고 지나온 경우가 많은데, 본래의 토양환경보전법의 취지를 살리기 위해서는 실제 현장에서 본 제도의 취지를 살리기 위한 토양환경평가제도가 개선되어야 함.

의견) 기업들이 기본적으로 회계감사를 받게 되는데, 그 회계감사를 받는 취지는 채권자 및 투자자를 보호하려는 것임. 또한, 외부감사라는 것은 원래 문제를 찾아내고 제3자가 객관적, 공식적으로 볼 수 있도록 하는 것인데, 회계감사들이 그 제도를 악용하여 결탁해 버리면 분식회계를 눈감아주고 상장하고 투자받는 경우가 생기게 됨. 1960~80년대에 그런 문제점을 몰랐던 것이 아니었으나, IMF 이후 회계법인 및 개개 기업에

대한 회계감사의 규제가 강화되었음. 이러한 계기가 있으면 토양환경조사의 개선이 가능할 수도 있음.

◎ 토양환경평가제도의 개선 방안

질의) 토양환경평가제도의 본래 취지를 살리면서 유지하고자 한다면 어떤 방법이 있을 것인가?

응답) 영국이나 독일에서는 토지의 용도가 바뀌지 않을 경우, 오염 결과가 아주 나쁘지 않으면 정화책임을 요구하지 않는 반면, 주거의 용도로 바뀌는 경우에는 정화책임을 다하도록 요구하고 있음. 우리나라에서도 재개발을 가장 현실적인 문제로 볼 수 있는데, 예를 들어 공장을 팔고 아파트 부지로 재개발할 때 그 공장 주인을 위해서 토양환경평가를 한 경우가 있었음. 이는 10년, 20년 후 일어날 수 있는 아파트 주민들의 소송 우려가 있기 때문이었음. 그러한 작업들을 지금도 많이 하고 있는 현실임. 정밀조사 지침은 규제를 제대로 만들기 힘들고, 규제도 잘 안되므로 결국 기업들이 스스로 이 문제들을 인식하고 실천해야 함. 토양환경평가는 공기업이 아닌 사기업이 해야 한다고 생각하는데 그 이유는 첫째, 공공기관들은 열심히 찾아내서 하려고 하지 않기 때문임. 일단 공공기관들은 자본이 투입되어도 자기 돈이 아니라는 생각으로 그리 민감하지 않음. 둘째, 담당자들은 오히려 문제가 발생하는 것에 대하여 피곤하게 생각한다는 것임. 국립환경과학원이나 KIST, 대학 등 여러 곳을 접촉해봤는데 하지 않으려고 함. 이러한 문제의 해결책으로 토양환경평가는 고도로 전문화된 사기업의 영리사업으로 해야 할 것으로 생각됨. 민간업체들은 부실한 토양오염조사에 의해 업체가 받을 수 있는 책임을 피하기 위해, 토양오염조사기술 개발에 투자해야하고, 체계적인 토양오염을 시행하게 되며, 문제가 발생하게 될 경우를 대비하여 보험도 들게 되는 것임. 그렇게 해야 토양환경평가가 발전할 것으로 생각됨.

의견) 이런 내용들에 대해 오래전부터 공감하고 있는데도 불구하고 현실적으로 볼 때, 잘 이루어 지지 않고 있는데, 기획하는 공무원들의 공감이 무엇보다 중요하다고 생각함.

의견) 문제는 공무원들이 그 자리에 2년 정도 있으면 변경된다는 것임.

◎ 오염토양과 폐기물 구분 문제

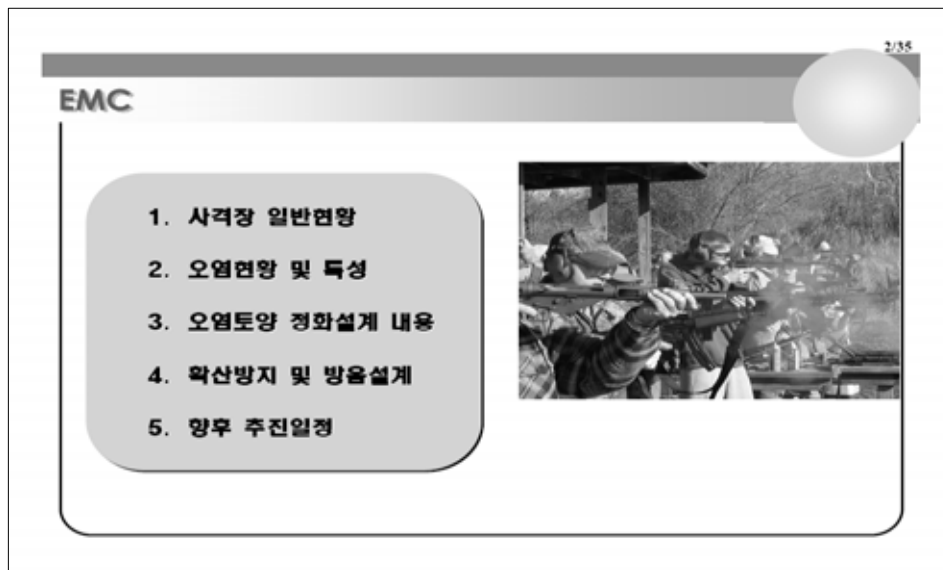
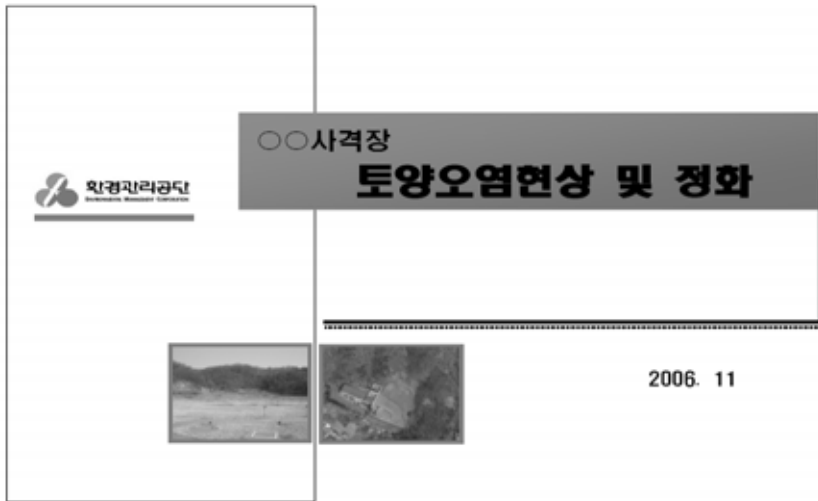
의견) 오염된 토양을 폐기물로 보는 것도 심각한 문제라고 할 수 있음. 토양환경평가제도를 기준으로 하였을 경우 오염되었다고 판단되는 토양이 단순히 일반폐기물로 처리되는 경우가 많음. 실례로 토양환경평가를 실시하여 14만m³ 정도의 오염토양이 나온 지역이 있었는데, 이 지역을 폐기물관리법으로 적용하여 처리한 사례가 있었음. 여기에서 나타난 문제점은 오염토양을 폐기물관리법에 의한 용출시험법으로 분석할 때 그 분석 결과가 지정폐기물로 나오는 경우가 드물다는 것임. 결국, 그 지역의 오염 토양이 일반폐기물로 구분되어 그 상태에서 아파트 설립허가가 난적이 있으며, 이런 상황이 비일비재하다는 것임. 두 가지를 강조하고 싶음. 첫째, 폐기물 조사 자체가 분석 위주로 현장 위주가 아니며, 법적인 근거가 없으면서도 현장에서 통하는 경우가 많음. 그러나 전문기관이 제대로 토양과 폐기물을 구분할 수 있는 상황이 조성된다면 개선이 가능할 것으로 봄. 둘째, 가장 우선적으로 주거지로 변경이 될 경우 토양정밀조사 규제가 반드시 적용되어야 한다는 것임.

사격장 토양오염현상 및 정화

1. 사격장 일반현황
2. 오염현황 및 특성
3. 오염토양 정화설계 내용
4. 확산방지 및 방음설계

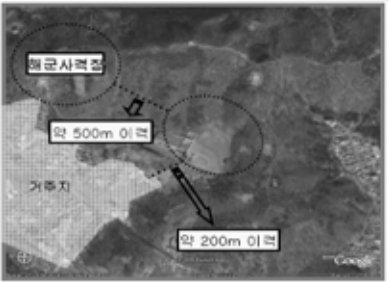
박정구 박사

환경관리공단 토양지하수사업처



EMC
3/35

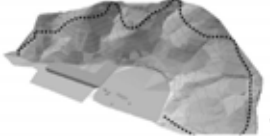
대상부지 현황



- 남북을 제외한 지역은 산으로 둘러싸여 있음
- 부지 서편에 해군 사격장 있음
- 북서방향의 지형이 높은 경사를 이루고 있음
- 대상부지 주변 전체로 돌산포가 형성되어 있음

- 1978년 이후 클레이 사격장 운영
- '01년 클레이사격장실태조사(환경부)
- '02년 바닥토양 폐기처분 및 치환
- '05년 토양정밀조사
- '05, 8월 토양정화조치영향
- 사용종지('05. 9 - '07. 4, 사격연명)

- 과거 미군 유류탱크 저장시설 및 예비군 사격장 운영
- 연간 사격장 명군 출입인원 : 11,570명
- 대상부지 용도지구 : 공원
- 산란 중 남의 양 : 연간 약 6톤 추정 / 염송량 : 추정불가



EMC
4/35

대상부지 현황



- 북서측 고지대
- 북서측 건물 및 산악 지형 진입지
- 북서측 저지대
- 서측 실내사격장 및 사격장 차량 진입로
- 북측 식축 형성 지역
- 북동부 Campus 형성 지역

EMC
5/35

사격장내 현황

초보자용 발사대
일반 발사대

바닥 흙 제거 처분 후 Campus 조성 공사 (2002년 4월)

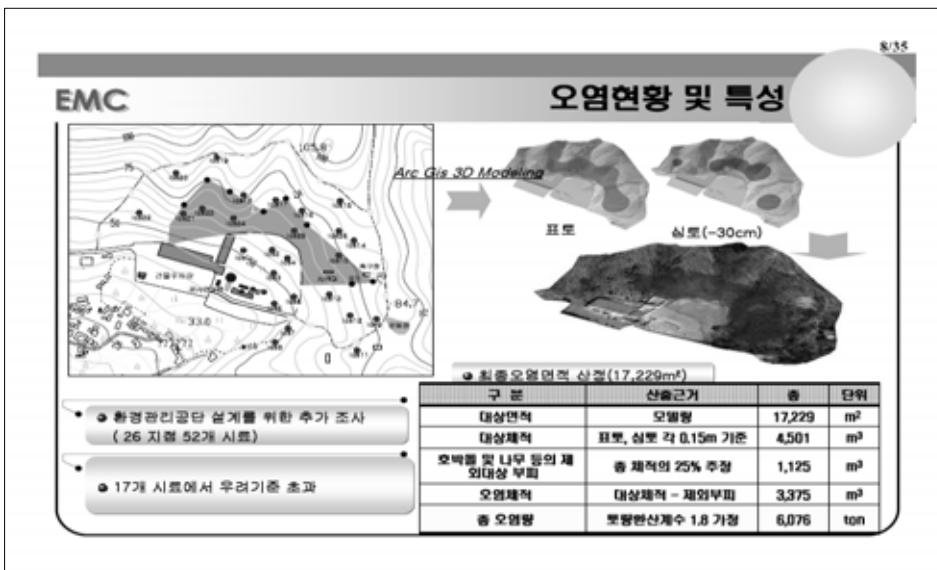
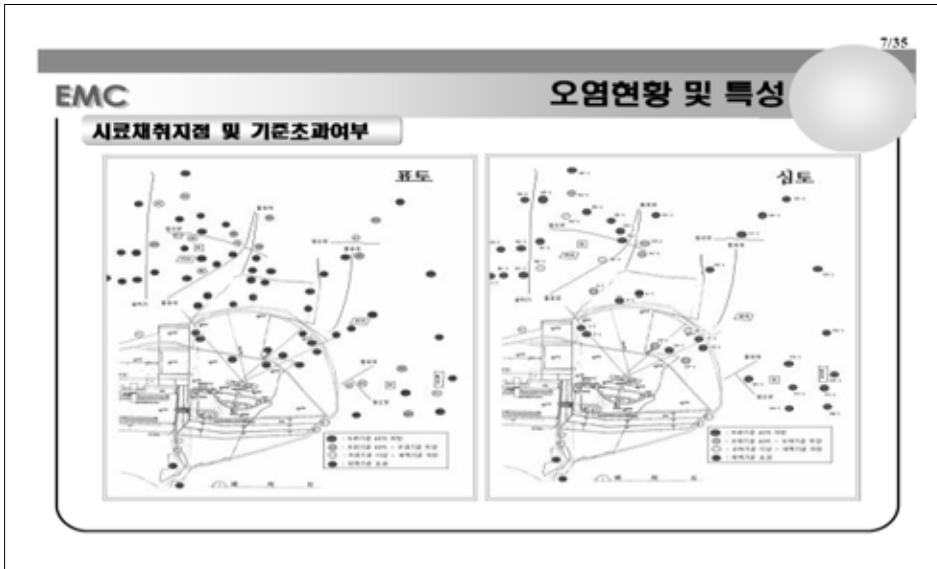
- 초보자용 5개 사포
- 일반용 13개 사포

EMC
6/35

오염현황 및 특성

○ ○ 시보건환경연구원 경밀조사 결과

구 분	채취시료		우려기준초과		대백기준초과	
	표 토	심 토	표 토	심 토	표 토	심 토
토 양	73	47	12	5	24	-
물(배수로)	5		기준 이내			
비 고	- 사격장내 10지점중 1지점 대백기준 초과, 9지점 우려기준 이내('02년 토양 치환) - 주변임야 61지점중 35지점 우려기준 초과(탄약지점) - 납(Pb) 최고 검출 농도 : 11,013mg/kg - 납(Pb) 평균 검출 농도 : 1,504mg/kg					



EMC
오염토양 정화설계 내용

토양정화

확산방지

방음시설

1 남 오염토양의 최적 정화공정 선정

2 재오염 방지를 위한 확산 방지시설 설치

3 소음방지를 위한 방음시설 설치

설계기간 : 2005년 12월 ~ 2006년 5월

EMC
지반/토성 현황

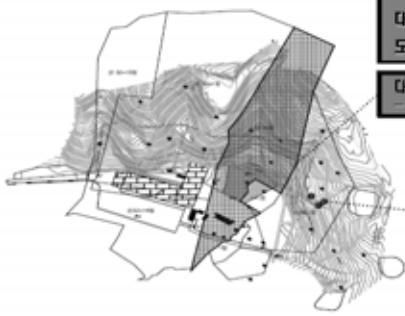
● 지반조사 결과 - 지층단면도

● 토양특성분석결과

항목	T-N (%)	TP (mg/kg)	TOC (%)	유기물 (%)	CEC (cmol/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	SO ₄ (mg/kg)	Sp.	M.C. (%)	US CS	Pb (mg/kg)
값	0.29	328	3.87	6.67	14.96	372	11.35	18720	299	25.08	2.62	27.13	SM	1823.6


11/35

EMC 토지용도/소유 현황



대상부지의 용도 : 녹지지역
도시계획시설상 : 공원

대상부지 중 일부(산 36번지) : 공동소유
- 위치가 명확하지 않음



대상부지 다수의 묘지 존재

12/35

EMC 규제기준 및 정화목표

관계법령	기준 구분	Pb의 각종기준
수질환경보전법	특정 수질유해물질 오염물질의 배출허용기준 방류수 수질기준	납 및 그 화합물 1mg/L이하 1mg/L이하
토양환경보전법	토양오염 우려기준	농경지, 임야 : 100mg/kg 공장, 산업지역 : 400mg/kg
	토양오염 대책기준	농경지 : 300mg/kg 공장, 산업지역 : 1,000mg/kg
폐기물관리법	광재, 분진, 폐주물사, 폐사, 폐 내화물, 도자기편류, 조각 잔재 물, 안정화 또는 고형화처리물, 폐촉매, 폐흡착제, 폐흡수제, 오니에 함유된 유해물질	납 또는 그 화합물 : 3mg/L(용출액)이상
수도법	음용수 수질기준	0.1mg/L이하
먹는물 관리법	먹는물의 수질기준	0.05mg/L이하
	먹는 샘물의 수질기준	0.05mg/L이하
지하수법	지하수 수질기준	0.1mg/L이하 (생활, 농업, 공업용수)

대상부지 산림지역 ("기" 기준 적용)

↓

• 토양오염 우려 기준 이내 : 100 mg/kg

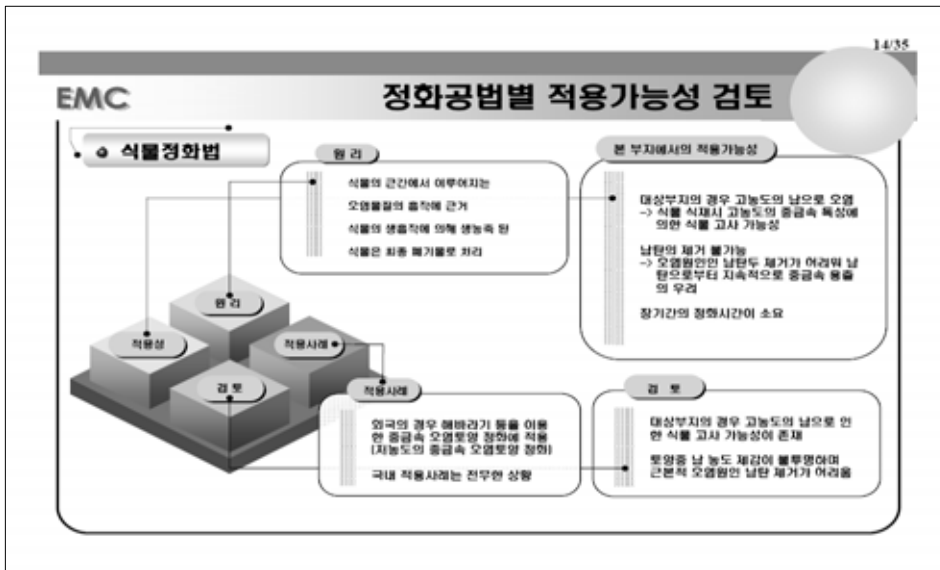
13/35

EMC 정화공법 검토

● 대상부지 정화를 위한 적용 가능공법 선정

본 부지 정화 대상 오염도 : 지표-30cm 깊이의 납으로 오염된 토층

공법	복원 대상	복원공법 검토
식화식 배수법	광미유출로 인한 지표 및 지하수 오염과 연계된 오염	X
SAPS		X
식물정화법	식물 뿌리의 침투가 가능한 오염 토양 및 지하수	○
고형화 및 안정화	일반적 오염도	○
동전기정화법	습윤한 오염 지반	X
반응벽체시스템	오염 지하수	X
토양세척법	굴착 가능한 오염토	○



15/35

EMC

● 고정화/안정화법

원리

- 오염원에 처리제를 주입, 또는 혼합하여 백상의 오염물질을 고정시켜 유동성을 감소시키거나 독성을 최소화시키는 공정

본 부지에서의 적용가능성

- 재용출 가능성
 - 공법 적용 후, pH 변화 및 유기물 토양에 의해 중금속이 용출될 수 있어 부지의 재오염 가능성이 존재
- 고가의 단위 오염량당 처리 비용
- 남탕 제거의 어려움
 - 오염원인 남탕 제거가 어려워 남탕으로부터 지속적으로 중금속 용출의 가능성 존재

적용사례

- 국내에서의 적용사례 미미

검토

- 근본적인 남탕의 제거가 어려우며, 복원 공법 적용 후, 환경변화에 따른 중금속 재용출 가능성이 있으며, 고가의 처리비용이 소요되는 단점이 있음

16/35

EMC

● 토양세척법

원리

- 용출제를 이용하여 토양에 흡착된 중금속을 역상으로 전환
- 토양입자로부터 유해한 중금속을 분리하여 처리

본 부지에서의 적용가능성

- 오염원인 남탕 제거 가능성
 - 오염원인 굴착 후 재용출 소극한 과정을 통하여 남탕 제거 가능
- 오염량당 양의 연차적 저감
- 공법적용 후 처리된 토양으로부터 중금속 재용출 등의 문제가 적음
- 비교적 큰 설비가 요구되며, 오염물질을 추출할 수 있는 용출제 선정 및 흡수 처리의 문제점

적용사례

- 국내에서의 적용사례 다수
- 검증된 공법

검토

- 비교적 큰 설비 및 흡수처리 시설이 요구되나 근본적 오염원인 남탕을 토양으로부터 분리 제거가 가능하며, 복원 공법 적용 후 환경변화에 따른 중금속 재용출 가능성이 적음

17/35

EMC 정화공법간 비교

• 최적공법의 선정

양적	해질	가중치	식물복원공법	고형화/안정화	도양채적	비교
처리기간	10	3.0	1·3 = 3	6·3=18	7·3=21	
정화 효율	10	3.0	1·3 = 3	5·3=15	7·3=21	
처리 비용	10	3.0	8·3 = 24	4·3=12	6·3=18	
시스템의 신뢰성	10	1.0	1·1 = 1	3·1=3	7·1=7	
2차 오염 발생에 대한 안전성	10	1.0	5·1 = 5	10·1=10	3·1=3	
재오염의 안전성	10	2.0	5·2 = 10	2·2=4	9·2=18	
소음, 악취 등 인위발생에 대한 안전성	10	1.0	10·1 = 10	6·1=6	3·1=3	
유지관리의 용이성	10	1.0	7·1 = 7	5·1=5	3·1=3	
사후관리의 용이성	10	1.0	8·1 = 8	2·1=2	9·1=9	
친환경성	10	1.0	10·1 = 10	4·1=4	1·1=1	
공법 적용의 안전성	10	1.0	1·1 = 1	5·1=5	5·1=5	
계			82	84	109	
선정					◎	

18/35

EMC 납탄 선별실험 (Lab)

• 납탄 선별 실험

• 목적

• 개요

• 시험기구

대상부지내 존재하는 납탄 선별에 대한 전처리 공정 요구


효과적인 납탄 선별공정 검토

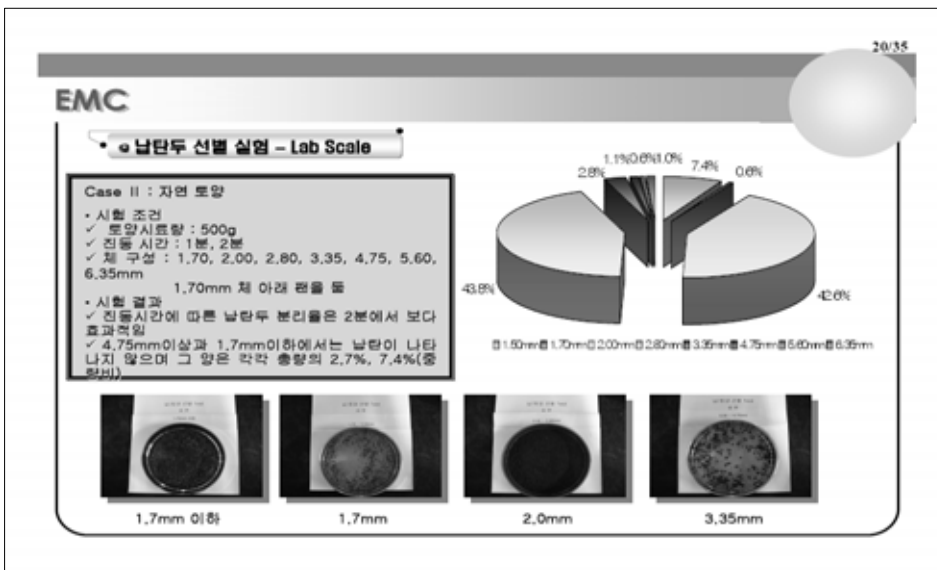
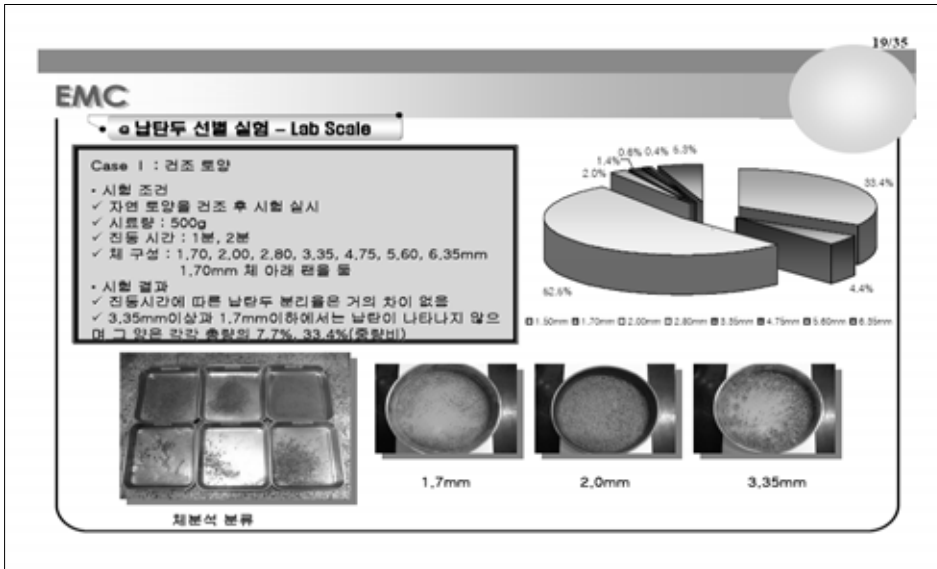
눈금 재를 이용하여 토양의 수분상태에 따른 납탄의 분리효율 고찰

납탄의 입경 및 분포 확인 및 적정 채눈금 선정

적정 진동시간 및 수분비율 검토

Case 1 : 건조도양
Case 2 : 자연도양
Case 3 : 습윤도양





21/35

EMC


• 납탄두 선별 실험 - Lab Scale

Case III : 습식


- 시험 조건
- ✓ 대상 시료 : 3.35mm미만 토양
- ✓ 토양 시료량 : 300g
- ✓ 토양과 물의 비 - 토양 : 물 = 1 : 1, 1 : 1.2, 1 : 1.5
- ✓ 진동 시간 : 1분, 2분
- ✓ 체 구성 : 1.70mm 체 아래 편을 뚫

• 시험 결과


- ✓ 진동 시간에 따른 토양과 납탄두의 분리는 2분에서 보다 효과 적임
- ✓ 토양과 물비는 1:1.5가 효율적임
- ✓ 건조되지 않은 자연토양에 1:1.5비의 물을 투입하여 선별시 견식태와 유사한 효율을 나타냄




1.7mm



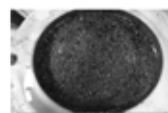
1.7mm 이하



1 : 1



1 : 1.2



1 : 1.5

22/35

EMC

납탄두 선별실험 (현장)

• 현장 실증 실험 : 1차 선별 견식



25mm
SCREEN FEEDER UNIT

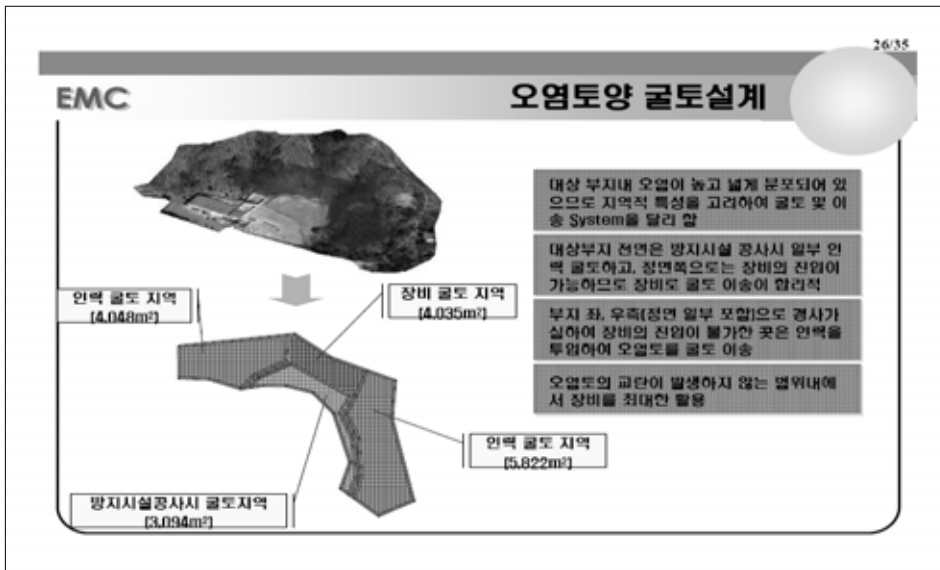
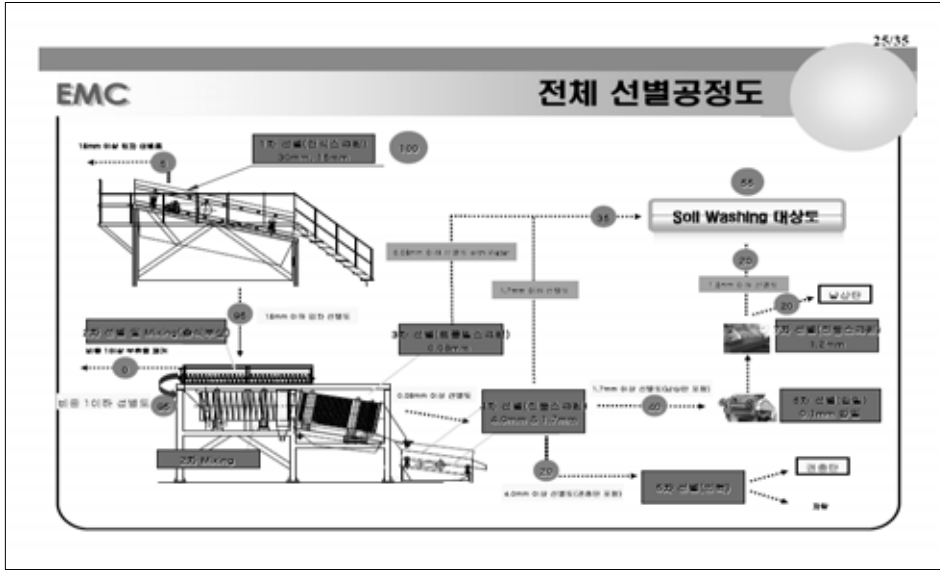
25mm 이상의 조대입자 선별

• 현장 실증 실험 : 2차 선별 습식



1차선별도 + 물 투입

Shaking



27/35

EMC 확산방지시설-사례분석

● 사례분석 - 창원종합사격장
 국내 최대 규모의 클레이사격장인 창원종합사격장
 방지시설 : 바닥면은 콘크리트 포장 후 예폭시를 타설, 좌우에는 남탄 확산 방지를 위한 절망이 조성.
 전망 : 사면 구배를 형성하여 콘크리트를 포장하였으며 녹색 페인트를 칠해 미관을 조성.
 사면 구배 : 남탄두와 우수를 효율적으로 회수하고 배수하기 위해 'Y' 형태의 침수라인을 구성.
 상부 : 좌우측과 같이 절망을 조성하여 남탄두의 확산을 차단.




반죽콘크리트를 포함 확산방지막

○ 사격장 적용 가능

창원종합사격장 우수 전경(확산방지막) 창원종합사격장 전경(사면 및 침수형선)

28/35

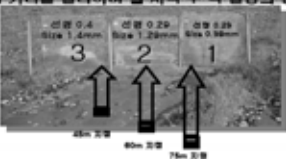
EMC 확산방지시설-방지막

● 오염확산방지시설의 선정

- 부지가 높고 협소함
- 현재 남탄에 대한 방지 시설이 전무함
- 전, 우, 좌측의 3방향으로 사격
- 사격장 주변 묘지 존재
- 창원사격장 확산방지시설 설치
- 연 부지내 배수 시설 우수함

● 방지막 관련 현장 실험 실험

방지막 설치에 의한 절망의 선경 및 Size 결정을 위한 3회에 걸쳐 거리를 달리하며 실험 사격 후 각 절망의 상태 확인



구분	손상 유무		
	1	2	3
	0.29 / 0.98	0.29 / 1.29	0.4 / 1.4
45m 지점	관통	관통	관통
60m 지점	일부 박형	큰 손상	작은 손상
75m 지점	큰 손상	작은 손상	작은 손상

- 총의 유효 사거리 100m, 발사각도 15도
- 여유를 20% 고려하여 설계 반영
- 여유를 고려 선경 0.6 / Size 1.4mm의 재도 선정
- 재질 : 부식성을 고려 STSISUS 304 재질도 선정

EMC

1안

정방의 사이를 확보하고(3m) 좌우측으로는 산악지역의 경면을 최소한 하는 방안

이 경우 우측으로의 방지막 설치 높이가 13m로 높게 나타난다

산악지역의 손실을 줄일 수 있으며, 콘크리트 자리 면적이 줄어드는 장점이 있으나, 사이확보의 문제가 있으며 높은 방지막의 설치로 인한 전설고비용에 문제가 있다는 단점이 있음.

예상 소요 비용 : 563,000,000

확산방지시설

2안

각 방향의 사이를 최대한 확보하는 방안.

부지 좌측의 경우 현재 자리한 실내 사격장과 지형적 경사도의 영향으로 조정이 어려움

부지 좌측을 제외하고는 3m 높이로 방지막 설치 가능

사이가 확보된다는 장점이 있으나, 산림의 훼손 정도와 콘크리트 자리 면적이 증가한다는 단점이 있음.

● 비용요약적으로 우수함.

● 예상 소요 비용 : 474,000,000원

EMC

우수 및 납탄 배제 시스템

스틸그레이팅 설치 예정 구역

기 스틸그레이팅 설치 구역

확산방지시설-우수/납탄 배제

기 설치된 배수로를 활용

스틸 그레이팅 보강 작업 : 나뭇가지, 낙엽 Clay 파편 등의 조대 쓰레기의 배수로 유입방지

배수로의 하단 : 10m 간격으로 0.1m 높이의 방지턱을 설치하여 비동아 높은 납탄이 유입되는 것을 방지

최종 배수구 : 1.0m, 길이 0.5m 자갈조를 설치하며, 자갈조의 전단으로는 50mm mesh, 후단으로는 1.7mm mesh로 0.5m 높이의 스크린을 설치하여 납탄의 확산을 최종적으로 제어

DETAIL

방지막 납탄 유입 제어

전단스크린 조대쓰레기 제거

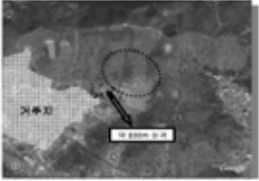
차장조 납탄두 통 차단

후단스크린 납탄두 제어

CLEAN OUT

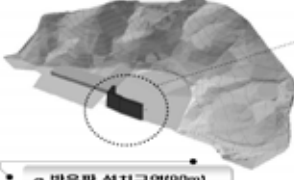
31/35

EMC 방음시설설계



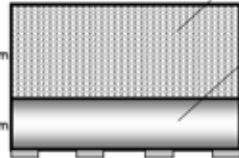
거주지

거주지 방향으로 방음 시설 설치
시각시의 소음(60B), 거주지까지의 거리 등을 고려하여 설계
방음시설의 높이 : 5.5m, 총 설치 길이 : 80m
시야 확보를 위하여 방음시설의 하단부는 투명한 재질로 설치
최대소음 105.5dB → 61.6dB로 차감 가능(기준 65dB, 보시간대)
상기 공법으로 적용시 약 150,000,000원의 비용 소요(관급자체기준)



방음판 설치구역(80m)

DETAIL



흡음형방음판
투명형방음판

32/35

EMC 종합정리

정화공법의 선정

중고속 오염투입을 정화할 수 있는 다양한 공법의 검토 결과 비용효과적인 측면에서 토양세척공법이 가장 타당하다고 판단됨

오염확산방지시설의 선정

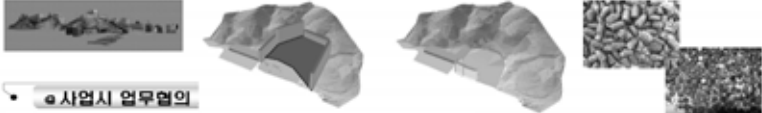
연 사격장의 협소한 부지 특성상 확산방지시설 설치 후 시야확보를 충분히 고려하였으며, 주후 산지 및 배수로를 통한 납오염의 확산 차단 방안 설계

방음시설의 선정

격렬시 거주지 방향으로 소음을 차단하며, 사격장 이용객들의 시야확보를 위한 투명형 방음판과 산지지역의 확산을 고려한 흡음형 방음판을 복합 설계

전처리 공정 선정

연 대상부지에 확산으로 확산 가능한 중속한 및 납산탄의 분리 공정이 정화사업의 핵심공정으로 다양한 실험을 통해 최적의 납탄 분리 공정 설계



사업시 업무협의

- ✓ 사유지 등 부지내 지적 구획의 명확한 확인
- ✓ 부지내 묘지 지역 오염부 처리 방안
- ✓ 산지현황/공원현황/집적차리 등 인여거 관련 사항
- ✓ 수처리 후 방류수 법적 기준 및 이수권거 이용 방류 가능 여부
- ✓ 분리된 납탄두 처리방안

주요 토의내용(7차)

◎ 사격장 오염물질 처리 공정

질의) 발표 내용에서 권총탄이 산포된 대지의 면적이 약 5,000m³라고 하였는 바, 권총탄을 인력으로 수거하는 것은 굉장히 큰 일이 될 것으로 생각되는데 어떠한가?

응답) 설계도상의 표토 기준을 보면 최상층은 나뭇가지나 낙엽이고, 중층은 부식된 형태의 유기토이며, 하층은 원지반임. 이에 따라 처리는 최상층은 긁어내고, 그 아래의 부식토나 원지반은 건식선별을 하게 될 것임. 또한, 그 아래의 권총탄은 컨베이어에서 수작업으로 선별할 예정임. 실제로 권총탄과는 달리 크기상으로 토사와 구별이 잘 안되는 납탄의 경우에는 별도의 밀링을 사용하게 되는데, 납탄을 누르면 흙은 작게 부서지겠지만 납은 연성이 있어 면적이 넓어지므로 이를 이용하여 걸러내도록 할 예정임. 선별과정에서 납탄에 물리적 충격이 가해지게 되면, 납탄 자체 외형에 변형이 일어나 세척공정 전체에 영향을 미칠 수 있으므로 가능하면 납탄의 원형을 유지하면서 분리할 수 있는 방법을 강구하려고 함. 그러나 권총탄은 일부면적에만 집중되어 있기 때문에 권총탄의 처리만을 위하여 설비를 갖추기에는 경제성이 낮다고 판단됨.

질의) 1차 선별단계에서부터 최종단계까지의 공정 시간을 얼마로 예상하고 있는가?

응답) 단위 공정 단계마다 흐름을 조정하는 기술이 다르기 때문에 공정 시간을 명확하게 답하기는 어렵지만, 단위 시간당 처리량은 10~15m³/hr의 토사를 처리할 수 있다고 판단. 각 단계의 흐름을 일정하게 유지하는 것이 관건이라 볼 수 있음.

질의) 세척수는 재순환되는 것인가?

응답) 세척수는 전량 분리/침전/재순환 됨. 그러나 건식선별 이후 습식선별 단계부터는 전량을 산세척하는 것은 아니고, 입경에 따라 분류하여 오염부하가 적은 것을 대상으로 세척하게 됨. 오염물질 중에서 최종적으로 물리·화학적으로도 분류가 안되는 부분은 전량 소각, 매립장으로 보내지게 되나, 납의 특성상 소각장으로 가는 것은 바람직하지 않기 때문에 물을 최대한 제거하여 처리하려고 함.

질의) 지정폐기물로 간다는 것인가?

응답) 약 20%정도 지정폐기물로 처리됨.

질의) 20%정도를 지정폐기물로 처리한다면 엄청난 양이라고 생각하는데 납의 재활용 가치는 얼마나 되는가?

응답) 순수한 납의 경우 1,200\$/ton 정도 되는 것으로 알고 있음.

의견) 본 공정을 볼 때 중요한 것이 첫째, 선별, 둘째, 굴착, 셋째, 토양세척(soil washing)이라 생각함. 특히, 토양세척 단계에서는 그 양을 최대한 줄이는 것이 관건일 것임. 그리고 발표 자료에서도 그러하듯이 물에 대한 납의 용해도(solubility)가 없기 때문에 물로 pH를 측정하면 토양 pH 그대로 나오게 됨. 그런데 pH를 맞추지 않는다면 납 세척이 안되므로 강산을 사용해야 함. 강산을 사용하여 세척한 토양은 다시 산에 뿌릴 수는 없는 것이므로 토양세척량을 가능한 최대로 줄여야 한다는 결론이 나옴. 이를 위한 방법으로 선진국에서는 열처리(thermal treatment)를 많이 사용하고 있는데 처음부터 열처리를 고려했다면 폐기물 처리 비용문제도 해결할 수 있었을 것으로 사료됨. 여기서 열처리란 간단하게 토양을 태우는 것으로, 마지막 단계에서 나오는 양을 소각할 것인지, 토양세척할 것인지에 대해 고민해 봐야 할 것이며, 이 또한 그 양을 최소한으로 하는 것이 관건임.

질의) construction waste는 어떻게 처리할 것인가?

응답) 2004년부터 외국에서 대부분 사용하고 있는 진공법을 사용할 것이며, 이 방법을 역으로 북토시에도 활용할 예정임

의견) 재용출 문제에 대하여는, 산으로 토양을 처리한 후 중화시킬 때, pH로 측정하지 말고 알칼리도로 측정하면 재용출 문제를 많이 해소할 수 있을 것임.

질의) Water balance는 어떻게 되는가?

응답) 전량 재순환시키는 것이 원칙이며, 오염수는 절대 유출되지 않을 것임. 그러나, 공정 진행 중에 손실되는 부분은 보충할 계획으로 있음.

◎ 오염정화공법 선택의 문제

질의) 발표자료에서 보면 정화공법간 비교 결과가 제시되었는데 이는 어떤 근거로 이루어진 것인가?

응답) 점수화하는 항목 자체는 주관적이었으며, 어느 정도 인위적인 부분이 있었음

의견) 토양세척을 이미 염두에 두고 작성된 자료 같아서 상당히 인위적인 생각이 듦. 예를 들어, 토양정화법으로 다른 방법들을 주로 사용하는 사람들이 볼 때, 객관적인 자료라고 보기는 어려울 수 있음.

의견) 많은 비교 항목들 중에서 우리나라 실정에서 할 수 있는 것들만 산정하다보니까 그러한 결과들이 나온 것이라 생각됨.

Soil Washing 기술의 현황과 전망

1. Soil Washing 기술에 대한 이해
2. 적용 사례
3. 현 시장 현황과 향후 전망

장정희 박사

현대건설 기술연구소



I. Soil Washing 기술에 대한 이해

1. 기술의 원리 및 구성

- 기술의 원리**
 오염토사를 물과 혼합하여 토립자와 오염물질을 분리, 정화하는 기술
 A Type : 고용해성 오염물질 ▶ 물을 추출용매로 사용
 B Type : 저용해성 오염물질 ▶ 물을 물질분리를 위한 매개체로 사용
- 계통도**

```

            graph LR
            A[오염토사 + 물] -- 혼합 --> B[조립토사 분리  
(자갈 + 모래)]
            B --> C[미립토사 분리]
            C --> D[미립토사]
            C --> E[오염물]
            D --> F[원위치 매립]
            E --> G[처리 / 처분]
            G --> H[슬러지]
            H --> I[간이처리]
            I --> J[하수처리장]
            
```

I. Soil Washing 기술에 대한 이해

2. 기술에 대한 오해들

- 오염물 전이에 대한 오해
 - 토양중의 오염물질 → 수계로 전이 → 수질오염(?)
 - A Type의 경우에 해당 : 고용해성 오염물질 함유시 물을 추출용매로 사용
 - 수처리가 오염도의 직접처리보다 경제적인 경우가 대부분
- 물사용량에 대한 오해
 - B Type < A Type
 - B Type의 경우 세척도사 부피의 3배 이하
 - A Type의 경우 단계적 추출방식으로 물사용량 최소화
 - 물사용량 \propto (오염물질의 용해도)⁻¹, 오염농도, 목표제거율

II. 적용 사례

1. 비위생 매립지 선별토 처리

- 대표적 B Type에 해당
- Humus, Cellulose, Lignin 등 분해속도가 느리고 용해도가 극히 낮으며 비중이 가벼운 오염물질이 주성분임

II. 적용 사례

2. 유류 오염토

- B Type에 해당
- 유류는 비표면적이 큰 미립토에 집중분포
: 입도분리로 미립토 분리 후 별도처리

3. 폐광산 비소 함유 광미 오염토 처리

- B Type에 해당
- 비소 함유 광미 → 입도분리 → 처리 / 처분량 최소화
↓
양질의 골재 생산

II. 적용 사례

4. 생활쓰레기 소각장 바닥재와 비산재 처리

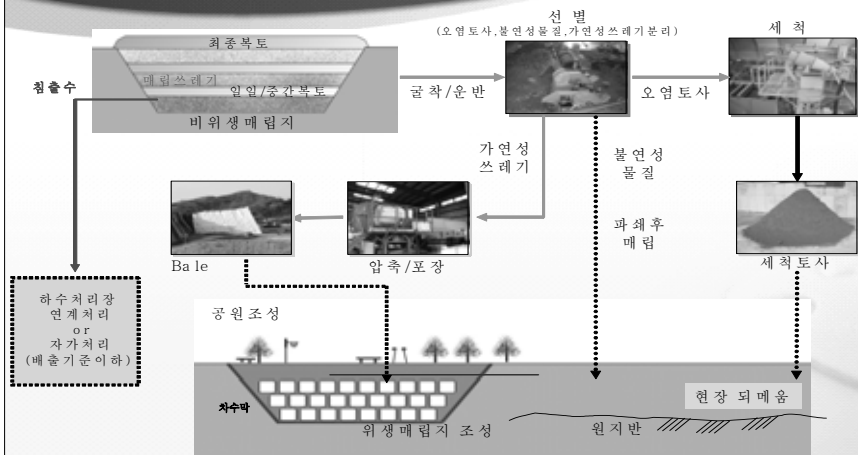
- A Type에 해당 : CaCl_2 , NaCl 제거가 목적
- 바닥재/비산재 → CaCl_2 , NaCl 용출제거 → 시멘트 재료로 재활용

Ⅲ. 현 시장 현황과 향후 전망

1. 국내

- 비위생매립지 정비사업 : 오염토 처리
- 매립지 재생, 수명 연장(용량증대)
- 준설토 처리 및 건설용 골재 회수

기존 매립지 정비 또는 재생 / 수명 연장 방안



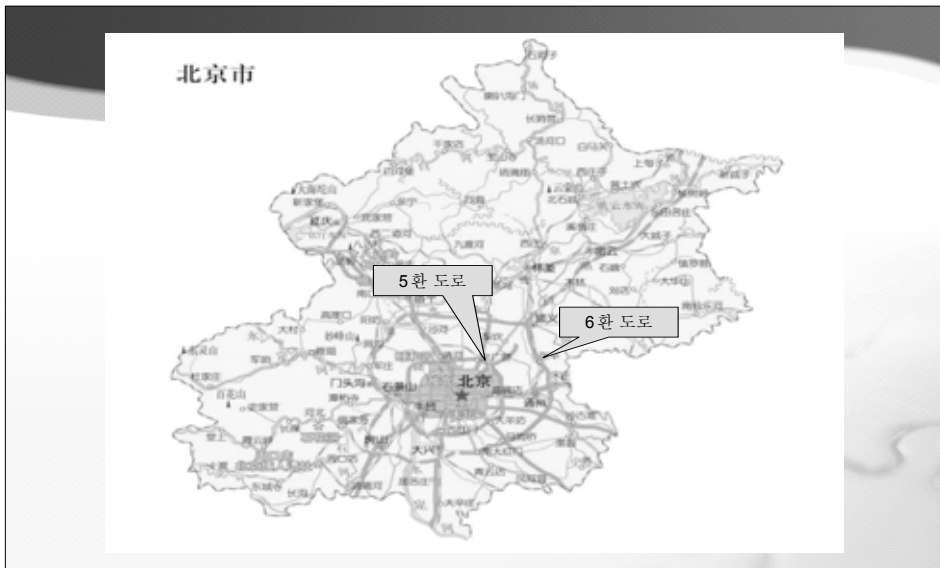
Ⅲ. 현 시장 현황과 향후 전망

2. 일본

- 비위생매립지 정비사업 : 매립쓰레기 선별후 선별토 세척 처리
- 소각장 소각재 처리 : 소각재 세척후 재자원화(시멘트 원료)
- 준설토 처리 : 오염 준설토 처리(다이옥신, 유기물, PCBs 등)

3. 중국

- 매립장 부지의 택지개발
- : 예) 북경시 5환과 6환 도로 사이 100 여군데 1억m³ 매립쓰레기 추정



주요 토의내용(8차)

◎ 오염토사 처리 문제

질의) 본 주제발표 내용의 핵심은 오염토사 부분이라 판단됨. 몇 가지 조사 사례에서 볼 때, 토양환경보전법 기준에 맞지 않으며, 법적 강제성을 부여할 수 없는 경우가 많음. 법적으로 뒷받침 되어야 행정명령을 기대할 수 있으나 이 문제가 해결되지 않고 있는 실정임. 선별과정 다음의 세척과정에 투입되는 오염토사의 대상은 어떤 것을 말하는가?

응답) 선별과정 후의 토양은 오염된 토사도 있고, 오염되지 않은 토사도 있음. 일단 현장 경험으로 볼 때, 용출성 오염물질이 많이 함유된 토사들은 냄새가 독하고 섬유성 물질들이 많음. 이러한 물질들이 오염토사의 대상이며 향후 발생할 수 있는 침출수 문제를 해결하기 위해 세척하고자 하는 것임.

의견) 10년 전 대규모 매립장 처리 사업에 참여한 사례가 있음. 특히, 매립장과 관련해서는 법률적으로 토양항목에 유기물관련 항목이 반드시 들어가야 한다고 판단됨. 이것이 해결되어야 오염토사로서 법률적인 판단을 받고 사업이 제대로 진행될 것으로 생각됨.

질의) 오염토양, 오염토사 등의 세척대상으로 구분되려면, 폐기물공정시험법에 의한 용출기준을 적용하기 어려우며 토양환경공정시험법을 적용하여야 할 것임. 선별토사가 부유물질 1% 내에 들면 성토재, 폐기물 매립지에서의 복토재 등으로 재활용이 가능하도록 되어 있으므로 세척토사로 분류되는데 어려움이 있다고 생각됨.

응답) 실제로 법적인 강제조항도 없기 때문에, 많은 사람들이 오염토사로 보지 않은 상황임. 향후 침출 수 문제가 우려되는 경우는 어떤 형태로든 처리를 해야 할 것임.

◎ 비위생매립지 현황

질의) 일본의 경우 20~30개의 비위생매립지가 있는 것으로 알고 있음. 발표 내용 중에는 불법투기 외에는 비위생매립지 토양 오염의 사례가 없다고 하였는데 어떠한가?

응답) 일본의 경우 공식적으로 그렇다는 것임. 비위생매립지가 없을 수는 없겠지만 불법투기가 많으며, 일찍부터 관리를 시작한 것으로 생각됨.

◎ 미세토의 함수율

질의) 미세토를 탈수하면 함수율이 50% 까지 나온다고 하였는데, 이는 filter를 이용한 것인가?

응답) 원심분리한 것임. 많은 사람들이 하수슬러지의 함수율과 같은 개념으로 생각을 하는데 하수슬러지의 경우 고형물의 비중 자체가 1.1인 반면 토양은 2.7임. 함수율이 40% 정도 되더라도 토양과 물의 비가 1:3 정도 되는 것임.

◎ Soil Washing 기술의 내용

의견) Soil Washing의 핵심은 토양을 세척하는 것이 아니고, 오염물질을 포함하고 있는 입자의 분류에 핵심이 있다고 생각함.

의견) EPA의 정의에 보면 Soil Washing은 오염토양을 씻은 후 물에서 오염물질을 걸러내는 것이라 표현되어 있음. 본 기술의 주요 핵심은 입도선별이라 할 수 있으며 다만 입도 선별의 매체로 물을 사용한 것이라 생각됨. Washing이라는 개념은 물을

사용하던 세제를 사용하던 오염물질을 추출하는 것이며, 발표 내용 중 기술 원리에서 A Type(고용해성 물질 - 물을 추출용매로 사용), B Type(저용해성 물질 - 물을 물질분리를 위한 매개체로 사용)으로 나눌 때 B Type이 대부분이라 하여 입도분석과 Soil Washing을 같은 개념으로 일반화 시키는 것은 맞지 않다고 생각함. 본 기술의 대상이 B Type을 위주로 한 것이라면 용어를 사용할 때 오해가 생길 수 있으므로, 기술의 핵심이 입도선별인 점을 고려하여 Soil washing이라고 명명하기 보다는 입도선별이라고 해야 맞을 것임.

의견) 이 기술의 형식이 Washing과 같기 때문에 그렇게 명명한 것임. 기술의 핵심적인 요소는 상황에 따라 바뀔 수 있음.

질의) 선별토사와 세척토사를 같은 것으로 보는가? 개인적으로는 다르다고 생각함. 선별토사란 입자의 크기만 다르며, 오염물질이 없어진 것은 아님. 이에 비해, 세척토사는 것은 이미 오염물질이 제거되었다고 볼 수 있음. 본 기술에 대해 설명할 때, 일반인들이 보편적으로 받아들일 수 있는 용어를 사용해야 기술 시장을 확대하는데 도움이 될 것으로 생각됨.

응답) Soil Washing이라는 용어 자체는 이미 공용어라고 생각함. 지적한대로 Washing과 기술의 형식은 같지만 이름을 따로 붙여야 하는 상황에서 마땅히 명명할 수 있는 방법이 없었음.

의견) 이 기술의 적용 대상을 넓게 잡았다는 생각이 듦. 비위생매립장 정비기술이라고 할 생각은 없는가? 여러 오염지에서 사용할 수 있다는 개념에서 Soil Washing이라는 용어를 사용한 것으로 판단되는데, 그러기에는 비위생매립장 정비기술 또는 준설토 세척 기술이라 명명하는 것이 더 나을 것으로 생각됨.

의견) 일본의 경우 공식적으로 그렇다는 것임. 비위생매립지가 없을 수는 없겠지만 불법투기가 많으며, 일찍부터 관리를 시작한 것으로 생각됨. 특정 사례로 다른 모든 경우가 일반화 될 수 없다는 점에서 오류가 있다고 봄. 토양 측면에서 보면 Soil Washing이 입도 분리가 주가 되는 것이 사실임. 그러나 오염물질에 따라 각종 세척제를 사용하게 되어 있으며, 그 중 하나가 물인 것임. 용해도가 높은 것들을 추출할 수 있으면 물만으로 가능한 것이고, 그것으로 충분치 않을 경우 유기용제, 산, 염기 등을 사용할 수 있음. Soil Washing에 산과 염기를 사용하는 것이 잘못이라 한다면 오류가 있음. 광미 같은 경우 그것들을 추출해 내기 위하여 산을 쓰는 것은 맞지 않음. 입도 분리에 초점을 맞추다 보면 다른 방법으로 Soil Washing을 하면 안되는 듯한 오해의 소지가 있을 수 있음.

의견) 발표 내용에서 광미 내의 중금속을 처리하기 위하여 산을 사용한 것은 잘못된 발상이라는 지적이 있었는데 광미 안에 있는 비소를 녹여내기 위해 Washing을 한 것이 아니었을 것이며, 광미 외부에 있는 물질을 걷어내기 위해서 그 방법을 사용했을 것으로 생각함.

의견) Washing 방법 자체의 문제가 아니라 실제로 중금속으로 오염된 토양을 처리할 방법이 없다는 것이 문제임. 중금속 오염이 광미에 국한 된 것이 아니며, 산업공단의 토양부지와 같이 아연, 크롬이 함유된 물질을 사용하여 토양을 오염시킨 경우도 고려해야 함.

포럼 참석자 명단(가나다 순)

정기 참석자	외부 참석자
권영덕(한국농촌공사)	박헌석(Washington State Department of Ecology)
권재섭(한국환경기술진흥원)	서태영(환경부)
김경웅(광주과학기술원)	이상진(환경부)
김민철(한국농촌공사)	장정희(현대건설 기술연구소)
김지형(고려대)	조영희(환경부)
김철(동의과학대)	주진호(강원대)
김태승(국립환경과학원)	
남경필(서울대)	
박상열(김&장 법률사무소)	
박응렬(환경부)	
박재우(한양대학교)	
박정구(환경관리공단)	
배범한(경원대)	
양재의(강원대)	
우남철(연세대)	
이강근(서울대)	
이승희(경기대학교)	
이재영(서울시립대)	
정명채(세명대학교)	
정병철(환경부)	
최상일(광운대)	
황상일(한국환경정책평가연구원)	