



환경오염물질의 위해성 통합평가 및 시스템 개발

주관연구기관 : 연세대 보건대학원
위탁기관 : 아주대 의대, 서울대 환경대학원, 서울대 약학대학

신동천, 장재연, 이동수, 정진호

기술개발요약

환경오염물질의 위해도를 기반으로 하는 위해도 관리(risk management)의 범위는 매우 광범위하기 때문에 이와 연관된 여러 가지 정책들은 엄청난 사회·경제적 비용을 수반하며, 이러한 비용은 개별 산업의 경쟁력뿐만 아니라, 국민경제 전반에 큰 영향을 미칠 수 있다. 위해성 평가는 궁극적으로 위해도 관리와 관련된 정책결정을 위하여 과학적인 근거자료를 제공하는 과정이며, 환경 정책의 우선 순위를 결정하기 위해서는 환경 문제의 위해도뿐만 아니라 이와 관련하여 여러 측면에서 검토된 종합적인 자료가 필요하다.

특히, 인체를 중심으로 환경을 보는 입장(receptor oriented)에서는 오염물질에 인체가 노출될 수 있는 가능한 모든 경로를 종합적으로 평가하는 다중매체(multi-media)에 의한 위해도의 종합적 평가 결과가 요구되며, 위해도 관리의 우선 순위가 결정될 수 있도록 하기 위해서는 오염물질의 종류, 노출경로의 차이에 따른 위해도를 서로 비교, 연결할 수 있는 비교 위해도 평가(comparative risk assessment)가 요구된다. 위해성 평가를 고려한 위해도 관리(risk management)

에 있어서는 기술적인 측면의 연구뿐만 아니라 실제로 위해(risk)에 대한 정의 자체가 인식주체의 사회적 위치 또는 입장에 따라 다르므로 바람직한 환경정책이나 대안제시를 위해서는 환경전문가들의 인식뿐만 아니라 비전문가인 일반대중의 사회적 인식과 태도를 종합적으로 반영하여야 한다.

또한, 오염물질의 통합적인 위해도 평가와 관리시스템의 효율적 구축과 운영을 위해서는 위해도를 줄이기 위한 여러 가지 조치를 통해 얻어지는 편익과 이에 수반되는 비용을 비교·분석하는 경제적 측면의 분석이 필요하다. 위해도 관리의 최종적인 단계에 있어서 인체 및 생태의 위해를 감소시키기 위하여 계속적으로 진행될 필요가 있는 방안은 제도화되어야 하며 이를 위해서는 관련법이 제정되고 관련 행정시스템이 구축이 요구된다.

이번 과제는 G7 1, 2 단계의 매체별(수질, 대기) 위해성 평가 기술개발 결과를 토대로 환경오염물질의 위해성을 통합적으로 평가하는 기법을 연구하고 위해도 기반을 둔 위해도 관리정책의 수반 요소들을 적용함으로써 국내에 부재한 환경오염물질의 통합적 위해도 관리 기반 시스템 구축을 목적으로 하고 있다. 세부 연구수



행 내용은 크게 통합 위해성 평가와 통합 위해도 관리 시스템 구축 분야로 이루어진다. 통합 위해성 평가 분야는 오염물질의 다매체 동태모형(cross media, transport model)을 개발하고, 인구집단을 대상으로 오염물질 다경로 노출평가(multimedia exposure assessment)를 실시하여 다경로 노출평가 모델과 노출 시나리오에 의한 통합 위해성 평가 수행이 주요 연구 내용이다. 위해도 관리시스템 과정에서는 사회적 위해도 인식(risk perception) 및 위해도 홍보(risk communication) 연구와 위해도 기반 비용-편익 분석 연구(risk based cost-effectiveness) 및 위해도 관리 체계 구축을 위한 제도적 연구가 진행되고 있다.

이 연구는 국내에서는 처음 시도되는 선도적 기술과제로 환경오염에 대한 인체노출을 통합적으로 평가하고 이를 관리하기 위한 환경관리체계를 통합적 시스템으로 전환하고자 하는 목표를 갖고 있으며, 이는 다학문적, 다학제간의 연구로서 과학적 기술개발과 동시에 사회, 경제, 제도에 관한 전반적인 평가가 수반되어 종합적인 결과 시스템을 제시토록 되어 있다. 따라서 이 연구를 통한 유해 환경오염물질의 통합 위해성 평가와 관리시스템 결과 제시는 인간과 환경 및 산업과 경제에 대한 영향 등을 동시에 고려한 환경기준 마련에 적극 활용할 수 있을뿐더러 산적하고 있는 수많은 환경문제를 이 과제를 모델로 하여 이러한 연구체계와 접근 방법을 통해 포괄적으로 해결해 나갈 수 있을 것이다. 더욱이 위해도에 기반을 둔 환경오염에 대한 통합적 평가 관리 지향은 인식과 사고의 전환이 요구되는 세계적으로 최근에 대두된 새로운 패러다임으로서 무한히 개척해야 할 여지가 많은 분야이다.

1. 서론

환경오염물질은 수질, 대기, 토양 등의 한 매체에 국한되어 존재하는 것이 아니고 여러 매체에 존재하며 서로

이동하면서 여러 경로를 통해 인간에게 영향을 미치기 때문에 여러 매체로 이루어진 환경을 하나의 시스템으로 인식하는 것이 필요하다. 즉, 오염원과 오염물질을 특정 매체(media specific approach)에서 관리하는 현재의 관리체계 접근법내에서는 한 매체에서의 오염물질 감소가 결국은 다른 매체로 전이되는 것에 불과하며 궁극적으로 생태계 보존과 인간의 건강보호 측면에서 위해도는 감소하지 않을 수 있다는 것이다. 따라서 인체에 대한 위해도는 모든 경로를 통한 위해도가 통합적으로 고려되어야 하며, 위해성 평가 역시 다경로 노출에 의한 위해도를 통합적으로 평가하는 기법이 요구되고 있다.

오염물질의 통합적 관리 개념이 출현하게 된 배경에는 고밀도 인구밀집 국가들이 모여 사는 유럽국가들의 오염에 대한 적극적인 환경관리 인식에 기인한다. 스웨덴, 네덜란드 등에서는 과거의 단일 매체별 관리체계를 포기하고 통합관리의 개념을 도입하여 이에 따라 지난 10여년 전부터 경제정책과 환경정책을 통합한 환경정책을 연구하고 일부에서는 이에 관한 법률을 제정, 시행하고 있다. 한편, 오랫동안 단일매체 접근법을 취해왔던 미국의 경우에는 비교적 조심스럽게 통합적 오염관리 방식을 타진하고 있는데 총 노출량 통합평가에 대한 체계적인 과학적 자료를 구축하고 체계화하는 방법으로 접근하고 있다.

오염물질의 노출을 종합적으로 평가하여 위해도를 통합적으로 평가하고자 하는 것은 결국 통합적 오염관리로 발전시키기 위함이다. 이 과정에 여러 가지 위해도의 비교방법인 비교 위해도 평가(comparative risk assessment), 주민들의 위해도에 대한 인식의 반영, 경제적인 비용-편익분석 등이 고려되는 통합적 위해도 평가기법들이 도입되고 있다. 선진국들의 경험과 연구 사례에 의하면 환경오염의 통합적 평가와 관리를 위한 노력에 있어서 가장 문제가 되는 것은 다매체를 관리하는 각 부처와 전문가들의 상호 유기적인 협조관계가 어



렵다는 것이다. 또한, 그 이전에 다학문적, 다학제간의 협동과 새로운 인식의 전환, 방법론에 대한 적극적인 개발을 하고자 하는 노력이 상호 교환되어야 한다는 점을 강조하고 있다.

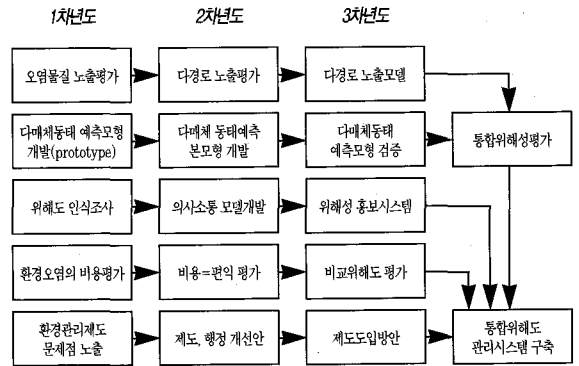
국내의 경우 행정당국과 주요부처에서는 위해성 평가 결과에 근거한 유해물질의 관리, 환경오염관리에 관심을 두고 있고 이들의 통합평가 및 관리기법개발이 향후 주요 공공 기술로서 매우 필요한 것으로 평가하고 있다.

우리나라와 같이 도시 중심적이고 인구밀도가 높은 산업사회에서는 무엇보다도 통합적인 개념의 환경관리의 개념 도입이 필요한데 외국의 경험에서와 마찬가지로 통합적 관리를 위해서는 필요한 우리나라 상황에 맞는 과학적 기초자료가 불충분하다는 것이 현실이다.

그동안 우리나라에서 위해성 평가에 대한 조사연구가 시작된 것은 환경기술연구개발사업(G7 사업)에서 수질 및 대기 중 오염물질의 위해성 평가가 이루어지면서이다. 이 사업을 통해 위해성 평가의 기초적인 연구방법이 소개되었고, 현재 위해성 평가는 국내 개발 신농약 등록에 적용하도록 되어 있으며, 일부 매체별 관리에 있어서 위해성 평가에 대한 필요성이 제기되고 있고, 제도적으로 위해성 평가 관리의 도입이 타진되고 있다. 최근 여천공단 등에서 일부 오염물질에 대한 위해성 평가가 이루어졌으나, 아직도 국내의 위해성 평가 기법이 일정 수준에 도달하기 위해서는 보다 많은 연구 경험의 축적이 필요한 상황이며, 위해도 관리를 위한 수단으로서의 인식의 확대와 제도적 개발이 시급하다.

따라서 이번 연구는 환경오염물질의 다경로 노출, 다매체 이동 등을 종합적으로 고려한 다경로 노출 평가 모델과 이를 활용한 위해도의 통합평가를 수행하는 일련의 과정을 연구하고, 환경오염물질의 통합적 관리를 위해 요구되는 사회적, 경제적, 제도적 방안을 고려하는 통합 지향적인 연구이다.

2. 연구방법



3. 연구개발결과

3.1 통합 위해성 평가를 위한 오염물질의 다 매체 동태 모형 개발

3.1.1 매체별 mass balance

다매체 동태 모형을 개발하기 위해 1차년도의 예측모형개발에 이어 본 모형을 개발하고자 환경 중 가장 ubiquitous한 물질인 다환방향족 탄화수소류 (polycyclic aromatic hydrocarbons: 이하 PAHs) 를 사례로 하여 공기, 지표수, 고형물(suspended solid), 토양, 침전물, 식물 등 6가지 모듈에 대한 mass balance 수식을 정립하고 각 인자(parameter) 를 추정하였다.

3.1.2 실측분석

모형 실행에 필요한 입력자료를 실측 자료를 통해서 분석, 획득 또는 문헌 또는 환경관련기관의 측정자료를 유기적으로 구성하기 위하여 다음과 같은 사항을 조사하였다.

3.1.2.1 주요 기상 및 환경 인자 분석



- 유량, Suspended solid, 유속의 월별 변동 추이
- 풍속, 기온의 월별 변동 추이

3.1.2.2 PAH 측정

- 대상 시료 : 한강 물(입자상/용존상), 한강 저토(퇴적물), 토양시료(부식층/토양층) 등
- 채취 기간 : 총 4회 채취 (1999년 8월-여름시료, 1999년 11월-가을시료, 2000년 1월-겨울시료, 2000년 5월-봄시료)
- 총 PAHs 농도는 전체적으로 상류층에서 50 ng/g, 하류층에서 최고 250 ng/g 검출
- 검출된 농도의 공간적 분포는 한강 상류에서 하류로 이동됨에 따라 점차적으로 증가하는 추세를 보여주고 있음
- 채취 지점에서의 추가 오염 가능성에도 불구하고 검출된 16개 PAHs 화합물의 구성비는 매우 유사
- 토양시료에서 PAHs 농도는 최표층인 낙엽부식층의 경우 50~350 ng/g, 토양층에서는 50ng/g 이하의 값
- 한강 물 중 용존상에서는 100 ng/L 이하의 농도로 측정됨

3.2 인구집단 대상의 오염물질 다경로 노출평가

3.2.1 다경로 노출평가 기법의 개발을 위한 소규모집단 파일럿 테스트

3.2.1.1 자원자를 대상으로 한 PAHs에 대한 다경로 동시 노출평가 기법 점검

- 실험내용 : 대상자 5명에 대해 3일간 food(아침, 점심, 저녁 식사), water(보리차, 생수, 정수기,...), air(집, 도로, 회사)와 생체지표인 urine 채취, 동시에 24시간 활동설문조사 실시
- 연구내용

- 대기 중 PAH농도 분석을 위한 시료 수집
- 음식물 수집 : 매 식사량의 10%를 채취하여 -20℃에서 보관
- 24시간 활동설문조사 : 음식물 섭취, 교통수단 이용 등
- 소변내 1-hydroxypyrene glucuronide(이하 1-OHPG)농도분석 : IAC/SFS로 분석
- 생체지표 연구를 위한 PAHs 대사물질의 분석방법 구축
 - 1-OHP : modified Jongeneelen's method(가수분해/SPE/HPLC)
 - 1-OHPG : immunoaffinity column 제작 /SPE/IAC/SFS
 - B[a]P-tetrol : 가수분해/IAC/HPLC
- 연구결과: 자원자들의 노출 1-OHPG 농도 분석 결과를 보면, 기름에 튀긴 음식을 섭취한 이후의 소변에서 1-OHPG의 농도가 높게 올라간 것을 볼 수 있으며, 이는 소변의 1-OHPG 농도가 식품에 의해 영향을 받는 것으로 추정

3.2.1.2 고노출 집단을 대상으로 유전자다형이 PAH-DNA adduct와 뇨중 PAHs 대사산물에 미치는 관계분석연구

- 실험내용 : 안산 시화공단 산업폐기물 소각장에서 실제 소각 업무에 참여하는 28명의 근로자를 포함하여 총 51명의 근로자. 소각로에서 근무하는 9명의 근로자는 호흡기 주변에 개인 시료 포집
- 연구내용
 - 1-OHPG를 측정
 - peripheral blood WBC의 PAH-DNA adduct를 정량(biological effective dose)
 - Glycophoryn A(GPA)의 variant frequency : flow cytometry로 분석, multiplex PCR로 genotype을 확인, PCR 후 NcoI 또는 MspI 효



소 절단으로써 CYP1A1의 두 가지 유전자 다형성 결정

- 인구학적 특성, 흡연, 알콜 소비, 식이, 보호구 착용 그리고 상기도 증상 등의 정보는 자기 기입식 설문조사
- 연구결과 : 일반 근로자에 비해 산업 폐기물을 취급하는 근로자의 소변내 1-OHPG 수준이 더 높았다 (p=0.08, two-sample Kolmogorov-Smirnov test). 모든 근로자에서 1일 소비한 담배 개비수와 소변내 1-OHPG 농도 사이에 통계적으로 유의한 상관 관계를 보임(Spearman's correlation coefficient=0.40, p=0.01). PAH-DNA adduct의 농도는 흡연 상태나 GST genotype에 의해 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 모든 연구 대상에서 소변내 1-OHPG농도와 peripheral blood WBC에서의 PAH-DNA adduct 농도 사이에 유의한 상관관계가 있었다.

3.2.1.3 자원자를 대상으로 중금속에 대한 다경로 동시 노출평가 기법 점검

- 실험 내용 : 20명(남-흡연 10명, 비흡연 5명, 여-5명)의 대상자에 대해 1주일간 food(아침, 점심, 저녁 식사), water(보리차, 생수, 정수기,...), air(집, 도로, 회사), 기타(간식, 음료수,...)와 Blood, Urine을 채취하여 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg) 등의 중금속 분석
- 연구내용
 - 자원자들에게 대한 교육 → 설문지 작성법 설명 및 배포 → 필요도구 배포 → Sampling → 전처리 및 분석 → 평가
- 다경로 노출평가를 위한 매체별 전처리 방법 및 분석방법 구축
 - 분석방법 : Food, Air, Water는 Perkin-Elmer사의 ELAN6000 model ICP-MS 사용, Blood,

Urine은 Shimadzu사의 AA-600 model AAS 사용

- 생체지표 분석을 위한 중금속 대사물질의 분석 : 혈중 납, 카드뮴, 및 수은, 뇨중 납, 카드뮴, 및 수은
- 노출평가를 위한 설문지의 개발

3.2.2 Population-Based Survey를 통한 다경로 노출평가

- 조사대상 지역 : 서울 및 경기를 중심으로 한 수도권과 오염이 비교적 적은 지역(충청), 공단지역
- 조사대상 : 조사대상지역 거주 일반 성인
- 조사내용 : 소변 및 혈액을 채취하여 biomarker survey설문지를 이용한 indirect exposure measurement
- 조사방법 : 조사대상 지역에 위치하는 각 대학기관의 검진장소를 이용하여 각 지역별로 인체 시료 채취 및 설문 조사를 실시, 현재 약 30% 정도 진행
- 분석중인 내용
 - 지역별 일반인구집단의 오염물질 농도
 - 영향인자(성, 나이, 음주, 환경적 요인, 생활습관, 음식물 섭취환경)와의 관련성 검증
 - 다경로 노출평가와 관련 변수별 상관관계 분석을 통하여 오염물질의 농도와 상관관계가 높은 변수에 대한 선택하고 그 변수가 공기, 물, 식품과 같은 노출경로 중 어떠한 경로를 통한 흡수일 것인가를 파악한 후 Modeling 실시

3.2.3 일반 인구집단을 대상으로 한 Exposure Factors Survey

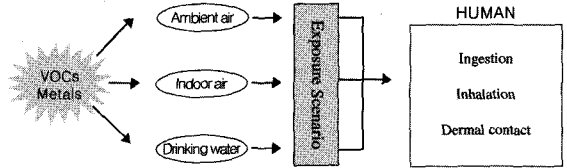
- 조사대상자 선정 : 전국 1,050 세대
- 조사방법 : 24시간 회상 설문 방법을 이용하여 우편 조사를 실시. 한 세대를 대상으로 성인 3, 학생용 2개의 설문지를 동봉, 응답 설문지의 내용이 부실할 경우 전화를 통한 보충 조사



- 조사내용

| 연구내용 | 세부내용 |
|--|--|
| 노출평가를 위해 기본적으로 요구되는 우리나라 국민들의 일일 Time active pattern을 파악 | → 지역, 연령, 성 등을 대표할 수 있도록 한다 → 아동과 성인을 구분하여 작성 |
| 오염 물질 전달 매체 중의 하나인 물 또는 액체 소비량 및 접촉을 통한 피부 흡수 정도를 파악 | → 세면, 샤워, 목욕, 수영 등의 Activity의 빈도와 시간 파악 |
| 오염 물질 전달 매체 중 다른 매체에 비해 폭로에 대한 기여도가 높은 식품에 대한 소비 형식을 파악 | → 음식분류에 따른 섭취 빈도를 파악하고 농축 정도는 다른 연구 결과에서 제시하고 있는 오염 농도 분석결과를 참고하여 추정 |
| 오염 물질 폭로 추정에 있어 가장 큰 변수인 흡연 및 간접 흡연에 대하여 파악 | → 모든 활동 장소 및 시간대 별도 파악 |

- 다양한 환경 매체와의 접촉을 통한 다경로 노출 시나리오 구축
- 휘발성 유기오염물질(VOCs) 및 중금속류(Heavy metals)에 대한 총 인체 노출 평가 시나리오 결정



- 분석항목

- 하루 24시간 생활 대표성
- 실내/외의 활동 시간 분포
- '실내'로 구분된 활동이 이루어진 장소, 시간분포
- '실외'로 구분된 활동이 이루어진 장소, 시간분포
- 교통 수단별 이용빈도, 시간분포
- 물질접촉 빈도 및 소비량
- 음식 종류별 식품 섭취 빈도
- 개인별 / 장소별 흡연 및 간접흡연 실태

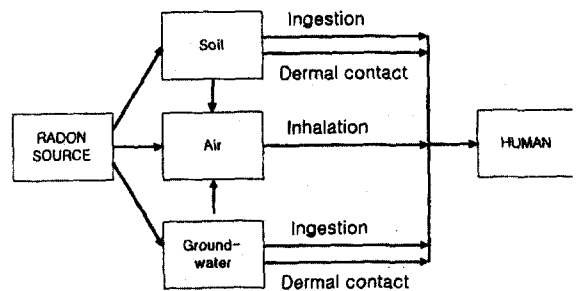
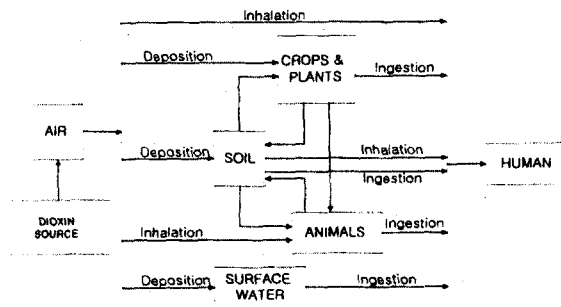
- VOCs 및 metals의 다경로 노출 시나리오의 주요 노출 경로는 음용수 섭취, 실내공기중의 호흡 노출, 대기 중 호흡 노출, 수도수의 피부 접촉의 4 가지 노출경로 결정
- 다경로 노출 시나리오에 따른 총 인체 노출량을 예측하기 위해 SmartRISK VER. 2.0(PIONEER Environmental Consulting)를 이용
- 각 환경 매체별 접촉율 및 농도 자료는 G-7 연구의 1단계 및 2단계 연구 및 위탁기관 연구결과 이용

3.3 다경로 노출평가 모델과 노출 시나리오에 의한 통합 위해성 평가

3.3.1 노출 물질 scenario 1 : Multimedia-Multiroute-Multiagent

3.3.2 노출 물질 scenario 2 : Multimedia-Multiroute-Uniagent

- 다매체/다경로 노출의 특성이 뚜렷한 다이옥신과 라돈을 대상으로 다매체/다경로 노출 시나리오 구축
- 다이옥신은 점 오염원으로부터 배출되어 다양한 환





- 경 매체로 전이되면서 생태계 축적으로 인해 다매체 및 다경로 노출의 두가지 면을 모두 고려하여야 함
- 라돈은 자연오염원(광물, 토양)으로부터 모든 환경 매체로 전이되어 존재하지만 인체 접촉시에는 쉽게 공기 중으로 방출되어 궁극적으로 호흡기 노출로 인한 문제를 발생시킴
- 본 연구에서는 오염물질의 특성을 유동적으로 고려하기 쉬운 CALTOX 모델, 다매체/다경로를 고려하여 인체 위해도까지 평가할 수 있는 MMSOIL 모델과 현재 통합 위해성 평가를 추구하고 있는 유럽에서 적용하고 있는 EUSAS 모델을 비교·검토하여 다이옥신 및 라돈의 다매체/다경로 노출 시나리오 모델을 결정하고자 함

3.4 위해성 평가 사례(case) 연구 : 비소

3.4.1 비소의 용량-반응 평가

3.4.1.1 In vivo test

- Sodium arsenite를 음용수에 5, 10, 25, 50 ppm으로 희석하여 rat에 투여
- 2주간의 결과에서는 비소 투여량에 따른 유의적인 차이를 발견할 수 없었지만, 4주간 투여한 경우는 비소의 고용량 섭취군에서 혈관이완 능력이 다소 억제됨을 관찰
- 현재는 6주간 drinking water study를 통하여 혈관에 독성이 일어남을 관찰

3.4.1.2 흰쥐를 이용한 혈압 영향 실험

- 흰쥐에서 carotid artery 및 jugular vein을 cateterisation 시키고 sodium arsenite 1 mg/kg in bolus를 주입시킨 후 acetylcholine에 의한 혈압 저하 및 phenylephrine에 의한 혈압 증가에 대하여 관찰
- 연구 결과 acetylcholine에 의한 혈압저하 효과는

상실되었으며, phenylephrine에 의한 혈압 증가를 potentiation 시킴을 관찰

- 현재 이러한 비소의 비발암성 용량-반응 평가로부터 얻어진 자료를 이용하여 Threshold 모델에 필요한 NOAEL(No observed adverse effect level; mg/kg/day)를 산출하고자 함

3.4.2 비소의 노출평가

- 음용수 중 비소의 유기 및 무기 또는 3가 및 5가 상태에 따른 분리 정량 분석법 확립
- 일부 광산 지역을 대상으로 비소의 노출평가 실시
- 본 연구에서는 폐광산 지역의 광미 중의 비소가 자연수나 산도가 높은 빗물에 의해 용출될 수 있다고 보고 용출 정도를 확인하기 위해 물과 0.1M HCl로 용출시켰을 때 용출되는 전체 비소의 함량을 분석하고, 아울러 비소의 산화상태를 확인하고자 수소화시킴
- 비소 함량이 비교적 높은 폐광산 지역의 광미 중 비소의 함량은 1M HCl에서 용출한 시료에서는 1,000~18,000ppm이 검출되었으며, 물로 용출한 시료에서는 0.05~63.0ppm이 검출되었으나 이들 광미 시료 중에는 비교적 독성이 적은 As(V)의 함량이 90% 이상을 차지함을 알 수 있었음
- 물에 의한 토양 용출 결과 음용수 기준치인 0.05ppm 이상의 값을 보이긴 했으나 전체 비소 중 As(V)가 대부분이고, 강한 산성 조건을 제외하고는 비나 눈에 의한 자연적 토양 용출에 의한 지하수나 지표수의 비소의 오염 가능성은 적을 것으로 사료됨
- 폐광산 지역에서 지하수를 식수로 하는 수질 시료의 채취와 분석

3.5 위해도 인식(risk perception) 및 위해도 홍보(risk communication)시스템 개발 연구



3.5.1 환경문제의 위해도 인식차이에 따른 비교위해도

- 연구 대상 : 일반시민(773명) 및 환경전문가(353명)
- 조사 시기 : 2000년 3월 ~4월
- 조사 내용 :

- 선정한 환경문제가 사람의 건강에 미치는 위해에 관한 인식도
- 환경문제를 개선 및 방지하기 위한 정부의 규제 정도에 관한 필요성
- 환경문제가 사람의 건강에 미치는 유해한 영향에 대한 지식정도
- 환경문제로 인해 생활에 불편함을 느끼거나 건강에 영향이 있었던 경험
- 환경문제로 인해 생기는 피해를 사람의 기술이나 능력으로 감소할 수 있는 정도에 관한 인식
- 문화적 경향에 관한 인구통계학 요인

- 조사 방법 : 약 1,270부의 설문지를 환경전문가와 일반시민을 중심으로 배포, 총 1126부를 회수

- 분석 방법:인식 척도 점수 7점 척도 이용 t-test, chisq-test 및 상관분석, 다변량 회귀분석을 이용하여 주요 영향 요인 분석

환경문제를 mapping 분류

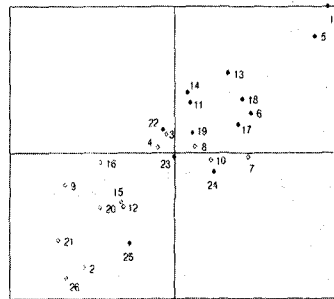
- 연구결과

- 일반인 및 전문가의 환경문제의 위해도 인식에 관

한 순위

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

· 환경문제에 대한 정부 규제 필요성에 대한 인식분포의 비교



- 자동차 배기가스
- 실내공기 중의 악취
- 대기 중 먼지(부진)
- 담배연기(흡연)
- 공해성 가연물로 인한 배출물질
- 유해화학물질로 인한 대기오염
- 이산화탄소증가와 지구온난화 현상
- 산성비
- 실내공기오염
- 장충천의 오존층 파괴
- 농약살포로 인한 지표수오염
- 담배연기(흡연)로 인한 지표수오염
- 가정, 공장 및 축산폐수 유입으로 인한 지표수의 오염
- 우뚝물, 염소소독과 소독부산물로 인한 음용수의 오염
- 오염물질 및 가연성물질로 인한 배양오염
- 공장 및 병폐배기물
- 쓰레기 및 음식쓰레기
- 소음, 진동문제
- 식위생
- 농약살포로 인한 음식물 오염
- 환경호르몬
- 전자파
- 방사능 오염
- 진사제

| | 일반인 | | | 전문가 | | | P-vaule |
|-----|-------|-------|------|-------|-------|------|---------|
| | 매체 | 빈도(명) | % | 매체 | 빈도(명) | % | |
| 1순위 | TV | 594 | 76.8 | 전문서적 | 184 | 52.3 | 0.001 |
| 2순위 | 신문,잡지 | 507 | 65.6 | 신문,잡지 | 140 | 39.8 | 0.001 |
| 3순위 | 가두캠캐인 | 191 | 24.9 | TV | 84 | 23.9 | 0.001 |

- 환경문제에 관한 내용이나 정보의 전달 매체

| 환경문제 | 일반인 | | 전문가 | |
|-------------------------------|---------|----|------|----|
| | 평균값 | 순위 | 평균값 | 순위 |
| 자동차 배기가스 | 6.25 | 1 | 6.30 | 1 |
| 공단의 대기오염배출물질 | 6.19 | 2 | 6.10 | 2 |
| 유해화학물질로 인한 대기오염 | 5.88*** | 3 | 5.57 | 7 |
| 이산화탄소증가와 지구온난화현상 | 5.87*** | 4 | 5.28 | 14 |
| 공장 및 병폐배기물 | 5.84** | 5 | 5.67 | 5 |
| 산업폐수 및 기름유출로 인한 해양오염 | 5.82*** | 6 | 5.50 | 8 |
| 가정, 공장 및 축산폐수 유입으로 인한 지표수의 오염 | 5.77 | 7 | 5.85 | 3 |
| 다이옥신 | 5.71*** | 8 | 5.17 | 18 |
| 프레온가스 사용에 따른 성층권의 오존층 파괴 | 5.69*** | 9 | 5.25 | 16 |
| 산성비 | 5.62*** | 10 | 5.34 | 12 |
| 쓰레기 및 음식찌꺼기 | 5.60** | 11 | 5.44 | 10 |
| 농약살포로 인한 지표수오염 | 5.59 | 12 | 5.64 | 6 |
| 지하수오염 | 5.58 | 13 | 5.71 | 4 |
| 환경호르몬 | 5.52** | 14 | 5.28 | 15 |
| 대기 중 먼지(부진) | 5.48 | 15 | 5.43 | 11 |
| 농약살포로 인한 음식물오염 | 5.46 | 16 | 4.93 | 22 |
| 담배연기(흡연) | 5.44 | 17 | 5.34 | 13 |
| 해발지에서 발생하는 방사능오염 | 5.30*** | 18 | 4.68 | 24 |
| 방사능 미생물(바이러스)로 인한 음용수의 오염 | 5.28*** | 19 | 4.93 | 21 |
| 수돗물 염소소독과 소독부산물로 인한 음용수의 오염 | 5.27*** | 20 | 4.96 | 20 |
| 소음, 진동문제 | 5.17** | 21 | 4.93 | 22 |
| 트야오염 | 5.16 | 22 | 5.23 | 17 |
| 실내공기 중 라돈 | 5.09*** | 23 | 4.52 | 25 |
| 컴퓨터 및 가전제품에서 발생하는 전자파 | 5.00*** | 24 | 4.44 | 26 |
| 실내공기오염 | 4.99 | 25 | 5.08 | 19 |
| 악취공해 | 4.96** | 26 | 4.70 | 23 |
| 평균 | 6.25 | | 6.30 | |

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

3.5.2 위해도 홍보 프로그램 적용을 통한 위해도 인식 개선에 대한 효과분석연구

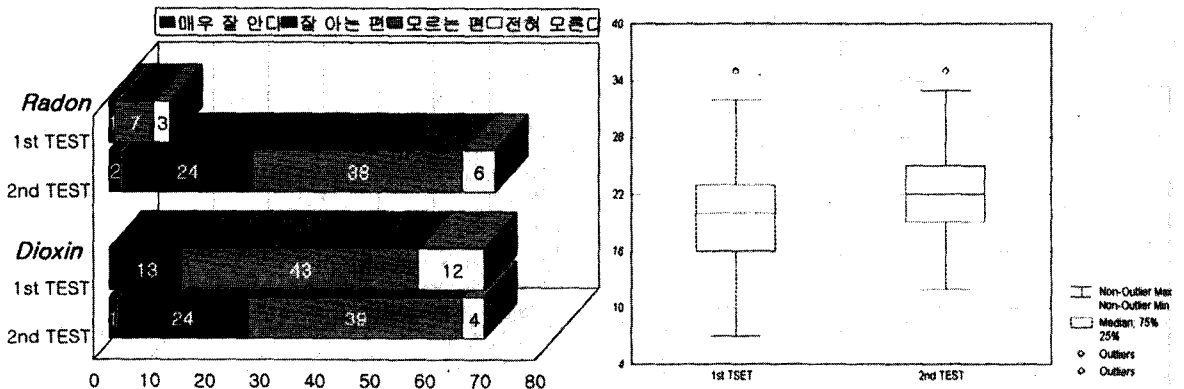
- 연구 대상 : 서울시내 9개 초·중·고등학교의 학생 450명 및 교사 200명
- 조사 시기 : 2000년 4월 ~ 6월
- 연구 내용 :

- 환경문제에 대한 관심도와 오염인식도
- 환경정보습득의 수단
- 라돈과 다이옥신에 대한 인지정도와 건강 위해인식도

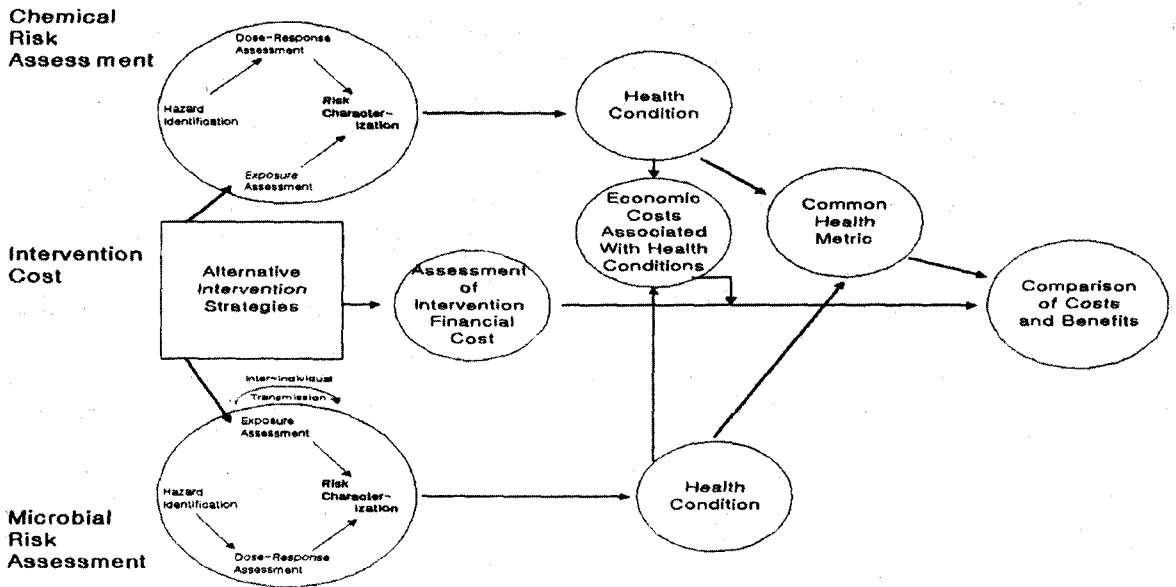
- 라돈과 다이옥신의 비교위해인식도
- 프로그램 적용후 위해도 인식개선에 대한 실천
- 적용프로그램 :
 - 라돈과 다이옥신의 건강위해에 대한 비디오 홍보 tape 및 교육자료
 - 간이측정기를 이용한 라돈 측정에 대한 직접적 참여
- 연구 방법 : 구조화된 설문지를 이용하여 1차 설문

조사를 통해 조사 대상자들의 현재 라돈과 다이옥신에 대한 인지정도와 인식도 조사후 위해도 의사소통 프로그램을 적용하고 이후 2차설문을 통해 인지도 및 인식도를 조사하여 변화 분석

- 분석 방법 : 환경오염물질에 대한 인지도-Scaling test를 통해 5점에 가까울수록 많이 알고 있는 것으로 평가



<라돈과 다이옥신의 위해성에 대한 인지도의 변화>





위해도 인식 - 10점에 가까울수록 매우 위험하게 인식하는 것으로 평가

대상자들의 인식도와 실천도에 있어 교육 전후 차이 분석은 t-test와 분산분석법을 적용

- 분석 결과(현재 결과분석중) : 일부결과에서 프로그램의 적용에 대한 인식과 이에 따른 실천 의지의 변화가 관찰

3.6 위해도 기반 비용-편익 분석 모델의 개발

- 연구배경 : 위해도 관리(risk management) 분야에 있어서 환경위해의 새로운 위해도 저감기법에 대한 의사결정자의 의사결정을 돕기 위한 수단으로서 비용-편익분석이 필수적이고도 효과적인 근거로 이용됨

- 연구내용 : 기술적용 전후에 대한 환경오염에 대한 건강을 위해도를 평가하고 이를 common metric(예, QALYs)으로 전환하여 비용과 효과에 대한 분석을 실시함

- 연구진행사항 :

- 우리나라에 적용가능한 QALYs개발을 위한 타당성 검토 및 외국의 사례연구(아래 그림 참조)를 통해 국내 사례연구를 시행하고 있음
- 사례 : 현재 우리나라에서 가장 많은 비용과 국민적 관심사로 논란이 되고 있는 먹는 물 문제에 대한 고도정수 처리효과에 대한 위해도 기반 비용-효과 분석을 염소소독 부산물과 미생물의 risk trade off 문제와 연결하여 위해도 분석, QALYs 산출, 비용-효과 분석을 시행 중에 있음
- 이는 국내 최초의 위해도를 적용한 환경문제의 비용-효과분석으로서 향후 다른 환경정책의 위해도 관리 수단의 모델이 될 것임

3.7 환경관리제도 중 위해도 관리체계의 개선 안 도출연구

3.7.1 위해도 관리체계 연구를 위한 학술 forum 구성

- 목적 : 국내 환경오염관리체계에 있어서 위해성 평가 및 위해도 관리체계를 제도적으로 적용하고 입안하기 위함

- 방법 : 전문가 포럼을 구성하여 월1회 세미나 개최

- 내용 :

- 현 위해도 관리의 현황과 문제점을 파악
- 제도적 도입 가능한 방안 도출

- 1차 포럼결과(위험에 대한 제도적 대응)

- 위험 관리를 상정할 수 있는 기본적 틀 제시
- 위험에 대한 미국 법제도의 대응에 대해 검토
- 위험에 대한 독일 법제도의 대응에 대해 검토
- 위험에 대한 우리 법제도의 대응

- 향후 계획 : 매월 주제토론을 실시하여 구체적 도입 방안을 제시할 예정임.

4. 기술개발 효과 및 적용분야

4.1 기술개발효과

다경로 노출의 종합적인 평가기법은 다매체내 환경오염수준을 예측하고 인체노출을 추정하여 위해도의 종합적 평가와 오염물질의 통합적 관리를 가능하게 하는 가장 중요하고도 필수적인 기술이다. 또한 오염경로나 매체별로 총 위해도에 대한 기여도가 정량화될 수 있기 때문에 위해도 관리 측면에서 우선순위의 설정이 가능하며, 위해도를 저감시키기 위한 여러 가지 경제적, 기술적 방안에 의한 위해도 저감효과를 예측할 수 있다.

연구의 수행을 통해 얻어지는 자료는 구체적으로 우리나라 환경정책의 기초자료로 활용이 가능하며, 앞으로 유한한 조사가 이루어 질 경우 기본조사의 역할을 할 수 있을 것이다. 조사내용의 일부는 우리나라의 환경지표로 발전시킬 수 있고, 이 분야에서 이루어지는 많은 연구성과들을 정책에 반영하고 제도화하는데 기여하도록 하는 방안을 제시하는 연구로 활용할 수 있을 것이



다.

4.2 적용분야

이 과제는 공공기술분야의 과제로서 사업성이나 상업화를 목표로 하는 기술분야이기 보다는 공공기술에 대한 실용화 및 제도를 최종목표로 하고 있다. 따라서 연구결과 1차적인 활용은 공공기술의 수요자인 정부기관이 될 것이나 부차적으로 연구결과의 각 단계에서 도출되는 각 정보는 정보화 산업에 있어서 학계, 연구계, 산업계 등 유해물질관리와 관련된 모든 분야에서 장기적으로 활용 가능한 중요한 자원이 될 수 있다. 환경오염으로 인한 인체위해를 줄이기 위한 조치로 우선적으로 목표설정, 대책의 우선순위, 효과분석 등을 통해 인체오염물질에 대한 다경로 노출을 종합평가하고 이를 토대로 통합위해도를 산출하는 기법이 완성되면 우리가 달성해야 할 위해도 저감목표의 설정, 가장 효과적이고 효율적인 조치들을 선정할 근거가 마련되어 정책이나 행정의 시행착오를 방지함으로써 막대한 사회적, 경제·산업적인 낭비를 방지할 수 있다.

5. 결론 및 향후 전망

이 연구는 환경오염물질의 노출로 인한 인체피해를 최소화하기 위해 다경로 노출과 다매체간 이동을 설명하는 모델을 개발하고 이를 이용한 위해도 통합평가기법을 확립하며, 위해성 평가에 근거한 환경오염물질의 통합오염 관리시스템, 사회·경제적 영향 분석기법을 수립하는 것이 최종 목표이다. 특히, 그간의 G7 1, 2 단계의 매체별(수질, 대기) 위해성 평가 기술개발 결과를 토대로 환경오염물질의 위해성을 통합적으로 평가하는 기법을 연구하고 위해도 기반을 둔 위해도 관리정책의 수반 요소들을 적용함으로써 국내에 부재한 환경오염물질의 통합적 위해도 관리기반 시스템 구축을 목

적으로 하고 있다. 세부 연구수행 내용은 크게 통합위해성 평가와 통합 위해도 관리시스템 구축 분야로 이루어지며, 통합 위해성 평가를 위하여 오염물질의 다매체 동태 모형(cross media, transport model)을 개발하고, 인구집단을 대상으로 오염물질 다경로 노출평가(multimedia exposure assessment)를 실시하여 다경로 노출평가 모델과 노출 시나리오에 의한 통합위해성 평가를 수행하는 것이 주요내용이다. 또한, 위해도 관리시스템 과정에서는 사회적 위해도 인식(risk perception) 및 위해도 홍보(risk communication) 연구와 위해도 기반 비용-편익 분석연구(risk based cost-effectiveness) 및 위해도 관리체계 구축을 위한 제도적 연구 등이 사례별로 진행되고 있다.

환경오염으로 인한 인체의 위해도를 줄이기 위하여 취하는 여러 가지 조치들은 경제적이거나 기술적으로 많은 투자가 필요하다. 그러나 현재는 목표의 설정, 대책의 우선순위, 효과분석 등이 이루어지지 않은 상태에서 경제·산업적으로 큰 낭비를 가져올 요소가 많다. 따라서 인체의 오염물질에 대한 다경로 노출을 종합평가하고, 이를 토대로 통합위해도를 산출하는 기법이 완성되면 우리가 달성해야 할 위해도 저감목표의 설정, 가장 효과적이고 효율적인 조치들을 선정할 근거가 마련되어 정책이나 행정의 시행착오를 방지함으로써 사회적, 경제·산업적 낭비를 방지할 수 있는 효과가 기대되며 이러한 기술은 환경오염으로부터 인체의 건강과 생태계를 보호하고, 이에 관련된 제반기술의 선진화를 이루기 위한 공공복지의 핵심기술로 평가되고 있다. ◀