

토양 및 지하수수질 보전제도 분석과 관리개선방안
- 토양 및 지하수수질 측정망 운영체계 중심으로

연세대학교 보건대학원

환경보건학과

임 성 재

토양 및 지하수수질 보전제도 분석과 관리개선방안
- 토양 및 지하수수질 측정망 운영체계 중심으로

지도 신동천 교수

이 논문을 보건학 석사학위 논문으로 제출함

2007년 7월 일

연세대학교 보건대학원

환경보건학과

임 성 재

임성재의 보건학석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 보건대학원

2007년 7월 일

감사의 글

늦었다고 생각할 때가 오히려 빠른 것이란 격언처럼, 뒤늦게 공부를 한답시고 학교에 갔다가 저녁 늦은 시간에 집으로 돌아가는 버스안에서 졸던 때가 어제 같은 데, 벌써 졸업을 앞두고 있으니 참으로 세월은 빠르게 지나가고 있는 것 같습니다.

먼저, 바쁘신 가운데서도 부족한 저에게 본 논문을 쓰기까지 아낌없는 배려와 관심을 가지시고 지도해주시고 용기를 북돋아 주신 신동천 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

또한, 많은 시간을 할애하여 논문의 체계, 논리적 흐름과 내용을 바로 잡아 논문의 완성도를 높일 수 있도록 세심하게 지도해주신 임영욱 교수님, 항상 수업 시간이 지나서야 강의를 마치실 정도로 열정과 애정으로 강의를 해주시고 논문의 주제나 방향설정에 지도와 도움을 주신 양지연 교수님에게 감사를 드립니다.

학부를 마친지 20여년이 지나서 다시 학교라는 배움의 길로 들어선다는 것을 무척 망설이던 차에 지도교수님이신 신동천 교수님을 만나게 되었고, 교수님의 도움으로 새롭게 학문의 깊이를 더하게 된 것은 저에게 새로운 도전이자 변화였으며, 이를 무사히 마치게 된 것에 다시한번 신동천 교수님에게 깊은 감사의 말씀을 드립니다..

이제 배움의 깊이를 더하고자 시작했던 대학원 생활을 마무리할 시간이 다가오에 따라 많은 아쉬움이 남아 있기는 하지만, 보람찬 결실을 맺었다는 자긍심을 가지고 앞으로도 새로운 도전과 변화에 최선의 노력을 다하도록 하겠습니다.

대학원 생활중 입학때부터 서로의 학업을 도와주면서 어려움과 기쁨을 함께 했던 김홍균, 이은영, 오운영 동기생과 학업기간중에 자문과 도움을 주셨던 이강석 선배님 그리고 환경보건학과 단합을 위해 열심히 활동하느라 수고하신 여러 후배님들에게도 고마움을 전합니다.

또한, 본 연구를 수행하는 동안 정보와 자료를 아낌없이 제공해 주신 국립환경과학원 김태승과장님, 환경관리공단 박정구팀장님, 논문작성 참고를 위해 소장하

고계신 자료를 선뜻 내어주신 이기춘서기관님, 기초자료의 통계 분석을 도와준 전희경님 등과 그간 직, 간접으로 도와주신 모든 분들에게 진심으로 감사의 마음을 전하고자 합니다.

끝으로, 뒤늦게 공부한답시고 휴일에 사무실에 나가야하고 늦은 시간에 귀가하는 바람에 제대로 가장 역할을 못한 경우도 있었는데, 항상 변함없는 신뢰와 이해로 성원을 보내주고 직장생활과 아이들의 어머니 역할을 병행하면서 가정을 잘 돌보아 준 사랑하는 아내 이인숙, 밤늦은 시간까지 열심히 공부하면서 올바르게 착하게 잘 자라주고 있는 두아들 철순, 창순에게 미안한 마음과 함께 이 작은 결실의 기쁨을 같이 나누고자 합니다.

2007년 7월

임성재 올림

제 목 차 례

국문 요약	vi
I. 序 論	1
II. 研究內容 및 方法	3
1. 연구내용	
가. 현황분석	3
1) 토양 및 지하수오염의 특징	3
2) 우리나라 토양 및 지하수수질 측정망 운영실태	3
3) 외국의 토양 및 지하수수질 측정망 관리체계	3
나. 오염특성분석	3
1) 토양 및 지하수수질 측정망의 오염특성	3
2) 토양 및 지하수오염 관련 자료조사	4
2. 연구방법	4
가. 국내외 토양 및 지하수수질 측정망 제도 분석	4
나. 토양 및 지하수수질 측정망 개선방안 제시	4
3. 연구의 틀	5
III. 研究結果 및 考察	6
1. 현황분석	6
가. 토양 및 지하수 오염의 특징	6
(1) 토양 및 지하수 오염원	7
(2) 토양 및 지하수 오염물질	9
(3) 토양 및 지하수 오염 이동경로-	13
나. 우리나라 토양 및 지하수수질 측정망 운영실태	15
(1) 토양측정망 운영실태	15
(2) 토양오염실태조사 운영실태	20
(3) 지하수수질 측정망 운영실태	22

(4) 토양지하수정보시스템	27
다. 외국의 토양 및 지하수수질 관리체계	28
(1) 토양오염관리체계	28
(2) 지하수수질 측정망 운영체계	33
2. 오염특성 분석결과	41
가. 토양 및 지하수수질 측정망의 오염특성	41
(1) 토양오염도 현황	41
(2) 지하수수질 측정망 오염도 현황	48
(3) 토양 및 지하수수질 측정망의 오염 상관성 분석	52
(4) 지하수수질 측정망의 질산성질소와 전기전도도 상관성 평가	59
나. 토양 및 지하수오염 연계 조사결과	61
(1) 산업단지(창원) 토양·지하수환경조사	61
(2) 전국 주유소 주변 지하수 및 토양중 BTEX의 오염실태조사	69
(3) 우리나라 시설원예지 토양 및 지하수환경조사	72
3. 토양 및 지하수수질 측정망 개선방안	74
가. 토양측정망 운영체계	74
나. 지하수수질 측정망 운영체계	75
IV. 結 論	78
V. 參 考 文 獻	80
Abstract	82

표 차 례

[표 1-1] 토양 및 지하수 오염원과 오염물질	8
[표 1-2] 미국 토양오염부지에서 가장 빈번하게 발견되는 오염물질	10
[표 1-3] 우리나라 토양오염물질 및 오염기준	11
[표 1-4] 우리나라 지하수 오염물질 및 수질기준	12
[표 1-5] 토양측정망 운영 연혁	15
[표 1-6] 연도별 토양측정망 운영지점 현황	16
[표 1-7] 토양측정망 및 토양오염실태조사 개요	16
[표 1-8] 토지용도별 측정지점수	17
[표 1-9] 토양측정망 측정지점 세부 선정기준	18
[표 1-10] 토지용도별 조사항목	19
[표 1-11] 오염우려지역별 측정지점수	20
[표 1-12] 토양오염실태조사 측정지점 세부 선정기준	21
[표 1-13] 지하수수질 측정망 운영 연혁	22
[표 1-14] 연도별 지하수수질 측정망 운영지점 현황	23
[표 1-15] 지하수수질 측정망 측정지점 선정기준	24
[표 1-16] 오염우려지역별 측정지점 현황	25
[표 1-17] 일반지역별 측정지점 현황	25
[표 1-18] 국가별 토양오염물질의 수	32
[표 1-19] 유럽의 지하수수질 측정 항목	34
[표 1-20] 주요국가별 지하수수질 측정망 설치 및 운영현황	35
[표 1-21] 미국 플로리다 지하수 관리 프로그램	38
[표 2-1] 토양측정망(토지용도별) 평균오염도 현황	41
[표 2-2] 토양측정망(토지용도별) 유류, TCE, PCE 검출지점 현황	42
[표 2-3] 토양측정망(대지) 유류 검출지점 세부 현황	43
[표 2-4] 연도별 토양오염도 변화현황	44

[표 2-5] 토양오염실태조사지역별 평균 토양오염도 현황	45
[표 2-6] 토양오염실태조사지역별 유류, TCE, PCE 검출지점 현황	46
[표 2-7] 지하수오염우려지역별 초과건수 현황	48
[표 2-8] 지하수오염우려지역별 유류, TCE, PCE 검출건수 현황	49
[표 2-9] 지하수수질 측정망중 일반지역 유류, TCE, PCE 검출건수 현황	50
[표 2-10] 2005년 토양 및 지하수수질 측정망 오염물질별 기준초과현황	52
[표 2-11] 토양측정망 공장용지, 대지의 유류, TCE, PCE 검출지점 현황	53
[표 2-12] 토양측정망중 공장용지의 유류, TCE, PCE 검출지점 세부 현황	53
[표 2-13] 지하수수질측정망 공단, 도시주거지역 유류, TCE, PCE 검출지점 현황	54
[표 2-14] 지하수수질 측정망중 공단지역 유류, TCE, PCE 검출지점 세부현황	55
[표 2-15] 2005년 토양측정망 창원공단지역 운영결과	58
[표 2-16] 2005년 지하수수질측정망 창원공단지역 운영결과	45
[표 2-17] 유류 및 기타물질에 의한 토양오염도 현황	63
[표 2-18] 지하수 오염현황	64
[표 2-19] 오염지역의 토양오염물질 및 오염원인 추정	65
[표 2-20] 오염지역의 지하수 오염원인 비교	66
[표 3-1] 전국의 학교용, 민방위용, 간이상수도용 지하수관정 현황	76

그림 차례

[그림 1-1] 토양 및 지하수오염 경로도	7
[그림 1-2] 토양측정망 운영체계도	17
[그림 1-3] 지하수수질 측정망 운영체계도	23
[그림 2-1] 연도별 토양중 중금속등 주요항목 오염도 변화 추이	44
[그림 2-2] 공단지역 지하수의 질산성질소와 전기전도도의 상관성	59
[그림 2-3] 영농지역 지하수의 질산성질소와 전기전도도의 상관성	60
[그림 2-4] 창원공단지역 지하수위 분포	67
[그림 2-5] 도시 지하수중 MTBE의 농도 분포	70
[그림 2-6] 토양중 MTBE와 지하수 중에 BTEX의 농도와의 상관성	71

국 문 요 약

우리나라는 현재 토양환경보전법 및 지하수법 근거에 의거 토양측정망 및 지하수수질 측정망을 각각 운영중에 있으며, 토양측정망은 현재 전국 토지용도별로 1,500지점에 대한 토양측정망과 2,000지점 이상에 대한 토양오염실태조사로 구분하여 실시하고 있고, 지하수수질 측정망은 현재 전국 오염우려지역 781지점 및 일반지역 1,240지점에 대해 실시중에 있다.

환경부에서 매년 실시하고 있는 측정망중 2005년 토양측정망 운영결과를 보면, 공장용지 및 대지(垸地)의 TPH(Total Petroleum Hydrocarbons)가 전·답 등의 농경지보다 높게 검출되고, 2005년 지하수수질 측정망 운영결과에서는 공단 및 도시지역 등에서 수질기준 초과지점이 많은 반면에 유원지·공원지역에서 이들 오염물질의 수질기준 초과지점이 한 군데도 없는 것은 측정망 운영결과가 토지용도상 조사지역 특성을 어느 정도 대변하고 있다고 볼 수 있다.

하지만, 토양측정망의 조사지점별로는 토지용도상 대지의 평균 TPH 오염도가 37.192mg/kg으로 공장용지 23.112mg/kg 보다 높고, 검출지점수도 대지가 40지점, 공장용지가 29지점으로 대지에서 더 많으며, 창원공단에 대한 2006년 토양지하수 환경조사 결과에 의하면 토양오염지점과 지하수오염지점은 대부분 상이하며, 전체 50여개 지하수 조사지점중 5지점만이 토양과 지하수 오염이 연계된 것으로 조사되고 있고, 2005년 측정망 운영결과는 토양과 지하수수질 측정망의 조사지점 및 검출된 오염물질이 서로 상이하어 측정망 운영결과를 통하여 창원공단의 토양과 지하수오염의 연계성을 검토하기는 곤란하였다.

따라서, 토양 및 지하수 오염의 효율적 관리를 위해서는 토양 및 지하수수질 측정망의 운영체계를 검토하여 보다 효율적이고 상호 유기적인 관리 방안을 마련할 필요가 있으며,

토양 및 지하수수질 측정망 운영결과 오염 특성, 토양 및 지하수수질 오염 관련 조사 자료, 국내외에 토양 및 지하수 오염 관리체계, 각종 연구보고서 등을 분석하여 효율적인 측정망 운영을 위한 다음과 같은 결론을 얻었다.

먼저, 토양측정망은 토지용도별로 장기적인 오염추세를 파악하는 것을 목적으로 하고 있으나 토지용도별로 검출된 오염물질이 토지용도의 토양오염을 대표하기에 부적절한 조사지점으로 대지(垡地)중 TPH가 검출된 관공서, 아파트단지내 등의 조사지점은 오염원인 규명후 순수한 대지로 측정망 지점을 변경할 필요가 있다. 아울러, 토지용도별로 오염영향과 연계성이 미흡한 오염물질의 검출 여부를 사후관리를 통해 파악하여 적절한 대표성을 가진 지점으로 변경하는 것이 필요하다.

토양측정망의 조사항목은 매년 1회씩 동일한 항목을 조사하고 있으나 일부 중금속(Cd, Hg, Cr⁺⁶)은 오염도가 크게 증가하거나 변화하지 않고 있으므로, 이들 중금속에 대해서는 조사대상지역에 따라 조사주기를 2년~3년에 1회로 축소하고, 외국과 같이 사용량이 많고 위해성이 있는 유기오염물질들을 추가(PAHs(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), Benzo(a)pyrene 등)하며, BTEX는 세분화하는 등 조사항목 확대방안을 검토하여 지하수오염과 연계한 다양한 오염실태 및 추세를 파악하는 방향으로 개선할 필요가 있다.

지하수수질 측정망 운영체계는 먼저, 개인 등이 설치한 지하수관정을 줄이고 운영기관에서 직접 설치하는 방향으로 점차적으로 개선되어야 하며, 지하수수질 측정망을 선정시 기존에 수리지질 조사가 수행된 자료를 반영하여 조사대상지점을 추가하거나 부적절한 지점은 변경 선정할 필요가 있다.

또한, 지하수수질 측정망으로 포함된 공단지역의 지하수관정은 공업용수라도 BTEX(4개 항목)를 조사항목에 추가할 필요가 있으며, 지하수에서 불검출되거나 또는 수질기준 초과지점이 거의 없는 중금속(Cd, Hg, Cr+6 등)은 조사지점에 따라 측정주기를 현행 반기 1회에서 년 1회로 축소하고 대신에 다양한 유류오염물질류(VOCs, MTBE 등)의 측정항목을 확대하는 방향으로 개선할 필요가 있다.

지하수수질 측정망 운영결과를 활용함에 있어, 수질기준 초과여부만이 아닌 새로운 오염물질이 검출되거나 오염도 변화가 큰 지점에 대해서도 오염원인 규명 등 사후관리를 할 필요가 있다.

이와함께, 환경부에서 측정하고 있는 오염우려지역과 시·도에서 조사하는 일반지역의 구분이 명확하지 않으므로, 일반지역중 도시지역은 민방위 비상급수용 지하수

관정, 농림지역 및 자연환경보전지역은 학교급수용·간이상수도용 지하수관정을 대상으로 조사대상 면적을 고려한 등거리 격자로 배분하여 지하수수질 측정망으로 선정하는 방안을 제안한다.

이밖에 지하수수질 측정망에서 조사하는 전기전도도 측정치의 활용방안으로, 영농지역 등에서 전기전도도의 현장 측정치를 통한 질산성질소의 오염도 수준을 파악할 수 있는 방안을 검토하도록 제안한다.

토양 및 지하수측정망 등의 운영결과를 GIS(Geographic Information System)상에 나타내주는 토양지하수정보시스템(SGIS)의 측정망 조사지점별 오염도는 조사 항목 전체를 하나의 화면으로도 파악할 수 있도록 보완되어야 하며, 토양시료채취 지점 등 정확한 위치 확인이 가능하도록 위치정보를 보다 정밀화할 필요가 있다. 또한, 농림부의 농경지 토양오염도자료, 지하수법 제20조 규정에 의한 정기적인 수질검사결과, 지역별 지하수위분포도 등 수리지질조사 자료들도 SGIS에 추가함으로써 토양·지하수 오염의 원인 규명과 실태 파악 등이 보다 가능하도록 개선할 필요가 있다.

핵심어 : 토양 측정망, 지하수수질 측정망

I. 序 論

우리나라는 1987년 처음으로 전국의 250개 토양오염우려지역에 대한 토양오염도 조사를 시작한 이래, 현재까지 토양측정망을 운영중에 있으며, 지하수수질에 대해서는 1991년 전국에 260개 오염우려지역에 대한 실태조사를 시작으로 현재까지 지하수수질 측정망을 운영중에 있다.

구체적으로, 환경부에서 실시한 2005년도 토양측정망 운영결과를 보면, 유류(TPH)가 공장용지·대지(垡地)에서 각각 51.199mg/kg, 103.632mg/kg으로 검출되어 전·답 등의 농경지에서 검출되지 않은 것에 비해 오염도가 높으며, 2005년도 지하수수질 측정망 운영결과 공단·도시주거지역에서 TCE, PCE의 수질기준 초과건수가 각각 16건, 14건으로 많은 반면에 유원지·공원지역은 이들 조사항목의 수질기준 초과건수가 없었다.

그러나, 측정지점별로는 토지용도상 주거·상업용지인 대지(垡地)의 TPH의 평균 오염도가 오염물질 배출시설이 밀집되어 있는 공장용지보다 오염이 심각한 것은 토양측정망의 토지용도별 특성을 대변하고 있지 못하고 있는 것으로 볼 수 있으며, 창원공단지역의 토양·지하수 환경조사 결과에 의하면 총 50여개 지하수조사 지점중 지하수수질 측정망이 아닌 5지점만이 토양오염과 지하수 오염이 연계된 것으로 조사되고 있고, 토양오염지점과 지하수오염지점은 대부분이 상이한 것으로 나타나고 있다.

또한, 창원공단내 토양측정망은 2지점, 지하수수질 측정망은 6지점이 있으나, 측정망간의 위치가 동일하거나 유사한 지점도 없어 측정망에 따른 토양오염과 지하수오염간에 상관성을 평가하기 곤란하다.

이는 토양 및 지하수 측정망 운영목적이나 조사대상지역, 조사항목이 유사한 반면에 조사대상 매체가 토양은 조사지점이 표토층 위주로, 지하수는 생활용수 등으로 사용중에 있는 관정을 대상으로 함에 따라 동일지점일지라도 수리지질학적인 특성에 따라 토양오염과 지하수오염 현상이 상이하게 나타나게 될 가능성이 높고, 조사가 필요한 적정한 지하수수질 조사지점을 선정하지 못하기 때문이며,

토양 측정망의 토지용도별 오염특성이 대표성을 나타내지 못하는 것은 측정망 운영지점이 부적절한 것에 기인한다고 볼 수 있다.

따라서, 토양 및 지하수수질 측정망의 운영 목적인 전국적인 오염추세 파악과 오염실태조사에 보다 효율성을 증대시키고, 토양 및 지하수 측정망 상호간에 측정 결과가 상호 보완적이고 연계성이 증대되도록 하는 등 측정망 운영의 효율성을 증대시킬 필요성이 있는 것으로 판단된다.

이를 위해, 그동안 토양 및 지하수수질측정망 운영체계, 국내외에서 토양 및 지하수 오염관리와 관련된 연구 자료들을 수집 분석하고, 토양 및 지하수수질 측정망 운영결과 오염의 특성과 상관성을 분석 평가하여 보완점을 도출함으로써, 보다 효율적이고 상호 유기적인 측정망 운영을 위한 개선방안을 제시해 보고자 한다.

아울러, 지하수수질 측정망에서 측정항목으로 조사하고 있으나 활용되지 않고 있는 전기전도도를 질산성질소와의 오염 상관성을 평가해서 전기전도도의 활용성 제고 방안을 함께 제시해 보고자 한다.

Ⅱ. 研究內容 및 方法

1. 研究내용

가. 現況 분석

(1) 토양 및 지하수오염의 특성

대기, 수질오염과 달리 장기적이고 축적성이며 상호 오염의 연계성이 높은 토양 및 지하수의 오염 특성을 파악하기 위해 오염원, 오염물질의 종류, 오염물질의 이동경로 등에 관한 각종 자료, 문헌을 수집 정리하였다.

(2) 우리나라 토양 및 지하수수질 측정망 운영현황

(가) 토양측정망 운영현황

환경부의 토양측정망 및 토양오염실태조사지침, 측정망 운영결과, 환경통계연감 등의 자료를 통해 측정망 운영체계 및 전국의 토양오염실태 등의 현황을 파악하였다.

(나) 지하수수질 측정망 현황

환경부의 지하수수질 측정망운영계획, 측정망 운영결과 및 환경통계연감 등의 자료를 통해 지하수수질 측정망 운영체계 및 전국의 지하수수질 오염실태 등의 현황을 파악하였다.

(3) 외국의 토양 및 지하수수질 측정망 관리체계

유럽, 미국, 일본 등 외국의 토양오염관리 및 지하수수질 측정망 관리체계를 정리한 연구보고서와 외국의 관련자료 및 인터넷 검색 등을 통한 자료를 수집·정리하였다.

나. 오염특성 분석결과

(1) 토양 및 지하수수질 측정망의 오염특성

(가) 토양 및 지하수수질 측정망중 유류, TCE, PCE의 오염 특성

2005년 토양 및 지하수수질 측정망에서 조사된 오염물질중 토양속에서 이동성이 높고 우리나라의 경우에 인위적 오염요인에 의해서만 검출이 가능한 유류, TCE, PCE 오염물질에 대해서 조사대상지역별로 별도로 자료를 정리하고 측정망에 나타난 오염특성과 시사점을 분석하였다.

(나) 측정망에서 토양오염과 지하수오염의 상관성

토양 및 지하수수질 측정망 조사항목중 유류, TCE, PCE 오염물질에 대하여 공단지역, 도시지역 등을 대상으로 오염물질 검출 수준 등 토양 및 지하수오염 상관성을 분석하였다.

(다) 지하수 중 질산성질소와 전기전도도의 상관성

지하수수질 측정망 조사항목중 전기전도도, 질산성질소에 대하여 공단지역, 영농지역별로 비교하여 오염물질 검출농도의 상관성을 분석하였다.

(2) 토양 및 지하수 오염 관련 자료 조사

창원공단의 토양 및 지하수수질 오염조사 자료를 수집하여 측정망 조사결과와 연계 정리하였으며, 시설원예지(농경지)의 지하수중 전기전도도·질산성질소의 상관성 연구 자료, 전국 주유소 인근지역의 BTEX의 토양 및 지하수 오염의 상관성 조사 자료, 토양오염 및 지하수 오염과 관련된 각종 연구보고서, 외국의 관련 자료 및 인터넷 검색 등을 통하여 수집·정리하고 시사점을 분석하였다.

2. 연구방법

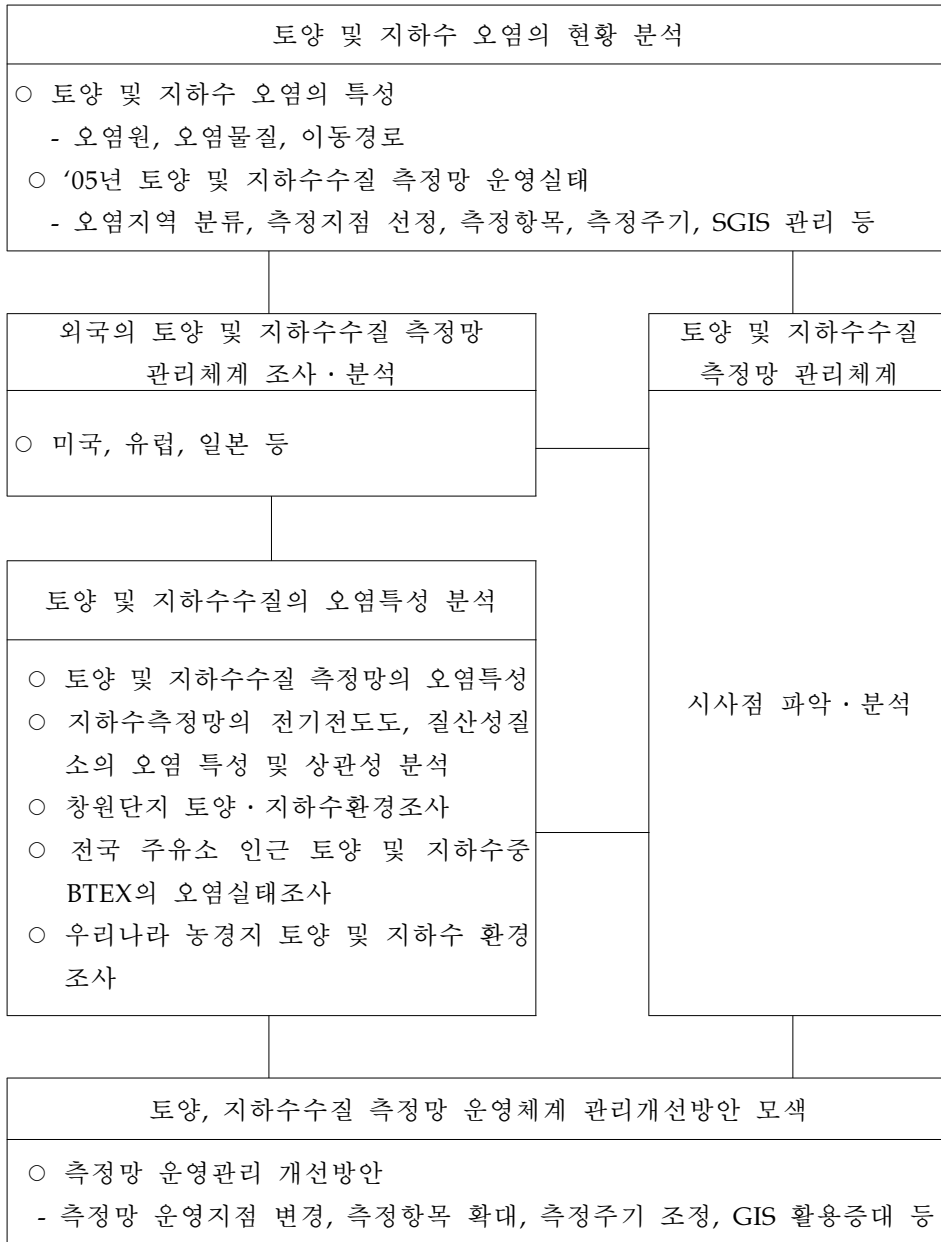
가. 국내외 토양 및 지하수수질 측정망 제도 분석

유럽, 미국, 일본 등 외국의 토양오염관리 및 지하수수질 측정망 관리체계와 우리나라 토양 및 지하수수질 측정망 운영체계를 분석하고 시사점을 제시하였다.

나. 토양 및 지하수수질 측정망 관리개선방안 제시

측정망 운영결과 오염특성, 외국의 관리체계, 각종 연구보고서 등을 토대로 도출된 시사점을 정리하여 보다 효율적이고 실효성이 있으며 상호 연계성을 강화하기 위한 측정망 운영체계 개선방안을 제시하였다.

3. 연구의 틀



Ⅲ. 研究結果 및 考察

1. 현황분석

가. 토양 및 지하수 오염의 특징

토양오염은 대기, 수질 등의 다른 환경오염과 달리 쉽게 눈에 보이지 않는다는 잠재성과 오염이 장기간에 걸쳐 서서히 나타나기 때문에 토양오염이 상당히 진전될 때까지는 인식하기가 어렵고 대부분은 피해를 입은 후에야 토양오염사실을 알게 된다.

또한 토양오염은 주로 토양에 서식하는 생물체와 지하수오염을 통하여 사람에게 피해를 유발하므로 오염행위와 피해발생간에 상당한 시차가 발생하고 그 피해는 장기간에 걸쳐 나타나게 된다. 아울러 토양오염은 대부분의 환경오염처럼 한번 오염되면 그 개선이 어려우면서도 대기나 수질오염에 비해 훨씬 더 많은 시간과 비용을 필요로 한다는 특징을 가지고 있다.

지하수 오염은 사업 활동이나 인간 활동에 의해 지하 환경내로 유입된 오염물질이 인간의 건강이나 주변 환경에 피해를 미치게 되는 것을 의미하며, 자연상태 하에서 지하수는 연간 1~5m 정도로 매우 서서히 이동하는 속성을 지니고 있기 때문에 지하수층이 한 번 오염되면 오염물질은 반영구적으로 잔존하면서 가장 심각하고 지속적인 환경오염의 부산물을 남기게 된다.

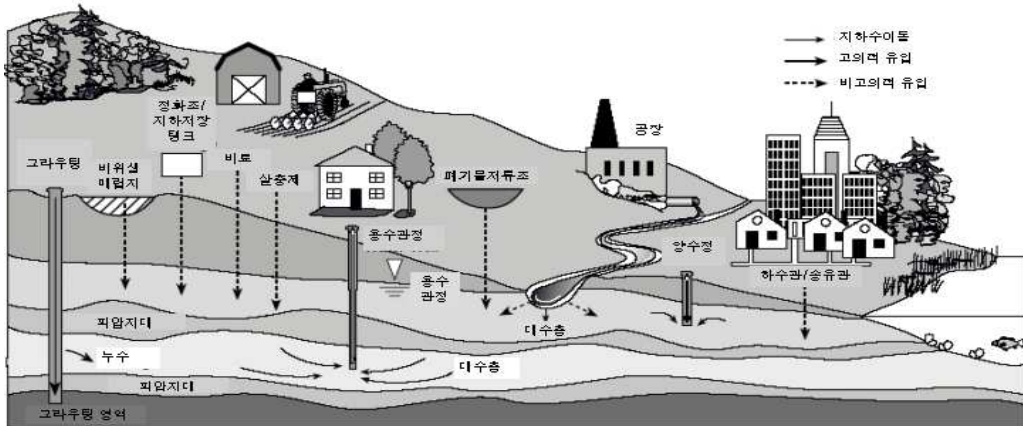
지하수 오염은 지하수의 순환체계 등에 대한 전문지식 부족, 과거에 각종 폐기물 매립지의 비과학적인 입지선정이나 부적절한 폐기물 처리, 지하저장시설 관리부실, 오염물질 투기 등 잘못된 규제나 일부 개인의 부도덕성으로 발생한다.

사람들의 생활, 공업과 농업 등의 생산 활동, 생산에 수반해서 발생하는 폐기물의 처리, 대기오염과 수질오염 등의 대부분이 지표면 부근에서 이루어지고 있으므로, 지표면 부근의 토양에 직접 작용하는 활동뿐 아니라, 지상에서 이루어지는 모든 인위 활동의 귀결이 토양 및 지하수오염 영향으로 귀결된다.

[그림1-1]은 지표면 부근에서 누출된 유해물질의 지층내로 침투하여 지하수를 오염시키는 구조를 나타내고 있다. 토양에 유출된 오염물질은 우수, 방치된 관정이나 파손된 관거 등을 통해 수직방향으로 침투하여 지하수층에 도달한 후 지하수와 함께 수평방향으로

이동하게 되며, 지표면 부근에서 이루어지는 인위 활동의 내용과 사용되는 모든 물질이 토양오염 및 지하수오염의 원인물질이 될 수 있다.

[그림 1-1] 토양 및 지하수오염 경로도



토양오염과 지하수오염은 상관성이 커서 토양오염과 연계된 지하수 수질관리가 요구되지만 땅속의 오염은 오염원을 특정하기 어렵고 특히 지하수는 유동성이 있어 인과관계를 규명하기 어려워 오염사실을 확인한 후에도 구체적인 대책 마련이 곤란하다.

다만, 공장, 매립지, 유류저장시설, 하수 등의 오염원에 의한 토양 및 지하수 오염은 최근 환경규제의 강화와 하수관거 등 기초시설 확충으로 오염의 개연성을 감소시키고는 있지만 일부 오염이 되어있는 공단, 광산, 대도시지역 등의 경우 지하수 오염이 지속되고 있다고 할 수 있다..

(1) 토양 및 지하수 오염원

토양 및 지하수 오염원으로는 오염물질을 생산, 저장, 취급, 운반, 가공 및 처리하는 모든 시설, 장치, 구조물, 장소 및 행위가 모두 해당이 된다고 할 수 있다.

먼저, 토양오염원으로는 대기오염, 수질오염, 각종 폐기물매립지, 유류저장시설, 유해화학물질 저장시설, 휴·폐광산, 산업시설지역, 과거 군부대 주둔지역 등이 해당될 수

있다.

이와 더불어, [표1-1]과 같이 지하수오염원으로는 대부분의 토양오염원이 함께 해당되고 있으며, 특히, 자연 현상에 의한 지하수 오염은 지층 내 무기물질의 용출에 의한 자연적인 무기물질 함량의 증가, 증발산에 의한 물의 농축에 따른 농도 증가 등도 오염원으로 작용한다. 이와함께 폐기물 처분장과 관련한 지하수 오염원으로는 산업폐수 저류조, 도시폐기물, 산업폐기물 매립장, 정화조로 방류되는 하수, 광산폐기물, 토양이나 웅덩이에 저류하는 축산폐액등이 해당된다고 할 수 있다. 아울러, 인간의 활동에 의해 야기되나 폐기물 처분과는 무관한 지하수 오염원으로는 기름 및 유기용제 누출 (spill / leak), 지하저장시설 (UST : Underground Storage Tank), 농업활동, 광산채굴, 해수 침투 (제주도의 경우), 오염된 강물의 지하수 내로의 유입 등이 지하수오염원에 해당된다고 할 수 있다.

[표1-1] 토양 및 지하수 오염원과 오염물질

오염원	오염물질
농경활동	질산성질소, 암모늄, 농약류, 배설물
정화조	질산성질소, 할로겐화탄화수소류, 미생물
주유소, 저유소, 주차장	방향족탄화수소, 벤젠, 페놀, 할로겐화탄화수소
고체 폐기물	암모늄, 염도(NaCl), 할로겐화탄화수소, 중금속
금속 공업	TCE, PCE, 할로겐화탄화수소, 페놀, 중금속, 시안
페인트 관련	알킬벤젠, 할로겐화탄화수소, 중금속, 방향족탄화수소, PCE
목재 가공업	pentachlorophenol, 방향족탄화수소, 할로겐화탄화수소
드라이크리닝	TCE, PCE
농약제조	할로겐화탄화수소, 페놀, 비소
하수슬러지처리	질산성질소, 할로겐화탄화수소, 납, 아연
가죽공업	크롬, 할로겐화탄화수소, 페놀
유전지역	염분, 방향족탄화수소
금속 및 석탄 광산	산도, 중금속, sulphates

(2) 토양 및 지하수 오염물질

토양 및 지하수오염물질은 천연적으로 지질상에 부존하는 물질부터 인간이 인위적으로 만들어 지구상에 유통되고 있는 모든 화학물질이 해당이 될 수 있다. 따라서, 너무나 그 종류가 다양하고 숫자가 많으며, 미국에서는 토양오염부지에서 가장 빈번하게 검출되는 오염물질이 TCE인 것으로 [표 1-2]에서 나타나고 있다.

나라마다 법으로 규정하여 관리하고 있는 토양 및 지하수 오염물질의 종류와 오염기준은 조금씩 차이가 있으며, 우리나라의 경우에 토양오염물질 및 오염기준은 [표1-3]과 같으며, 지하수의 오염물질 및 수질기준은 [표1-4]와 같다.

이 가운데 본 연구과제 대상으로 주로 다루고자 하는 오염물질은 유기용제류 계통 물질인 TCE(Trichloroethylene), PCE(Perchloroethylene, Tetrachloroethylene) 및 유류 등이다.

TCE는 현재 드라이클리닝의 용매제로서 널리 사용되고 있는 용매이며, TCE를 사용하고 있는 산업체에서는 금속 세정제로 가장 많이 사용되고 있다. TCE와 같이 널리 드라이클리닝 용매제 및 금속세정제로 사용되고 있는 것이 PCE로서 TCE보다 더욱 강력한 용매제로 알려져 있다.

이와 같이 TCE, PCE는 생활 또는 산업체에서 널리 사용하다 보니 자연히 중요한 토양오염원이 되고 있고 지하수까지 오염시키는 오염물질로 알려져 있다. 현재 환경부 지하수수질 측정망 운영 결과에 의하면 공장지역 및 주거지역에 이르기까지 TCE, PCE로 인한 지하수 오염이 심각한 현실이다. 이와 같이 지하수가 두 유기 용매성분으로 오염되어 있다는 것은 대부분의 제조 공장이 TCE, PCE오염의 오염원이라 할 수 있을 만큼 그 사용량이 많으며, 또한 부적절하게 관리되고 있기 때문이라고 할 수 있다.

이밖에 토양 및 지하수 오염원으로서 중요한 오염물질은 우리나라의 경우는 TPH(Total Petroleum Hydrocarbones), BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌) 등을 포함한 유류라고 할 수 있다.

유류는 지상 및 지하저장탱크로부터 유출되어 토양으로 유입된 후 토양 및 지하수를 오염시키게 된다. 대부분의 주유소는 현재 특정토양오염유발시설로 관리되면

서 정기 토양조사를 실시하게 되어 있지만 토양조사에 의해서 유류오염을 파악하는데는 한계가 있다. 우리나라에서 특정토양오염유발시설로 관리하고 있는 저장탱크는 2만리터 이상의 고정식 저장탱크로서 '05.12.31 현재 전국의 특정토양오염유발시설 설치신고 업소수는 22,239개소로 나타나고 있다.

그러나, 현재 2만리터 이하인 소규모 유류저장탱크의 경우는 이렇다할 관리가 되고 있지 않는 것을 감안한다면 유류에 의한 토양 및 지하수 오염은 현재 밝혀진 것보다 훨씬 심각할 수 있을 것으로 예상된다.

[표1-2] 미국 토양오염부지에서 가장 빈번하게 발견되는 오염물질

순위	물질	오염원
1	Trichloroethylene	드라이 크리닝, 금속세정제
2	Lead	가솔린, 광산, 건축자재
3	Tetrachloroethylene	드라이 크리닝, 금속 세정제
4	Bezene	가솔린, 관련제조공정
5	Toluene	가솔린, 관련제조공정
6	Chromium	도금공정
7	Methylene Chloride	세정액, 용매, 페인트, 제거제
8	Zinc	광산
9	1,1,1-Trichloroethylene	금속 및 플라스틱 세정제
10	Arsenic	광산, 관련제조공정
11	Chloroform	용매
12	1,1-Dichloroethane	세정제, 용매
13	1,2-Dichloroethane, trans	1,1,1-Trichloroethylene의 변형산물
14	Cadmium	광산, 도금공정
15	Manganese	광산, 관련제조공정, 자연광물
16	Copper	광산, 관련제조공정
17	1,1-Dichloroethene	관련제조공정
18	Vinyl chloride	플라스틱 제조공정, 음반제조공정
19	Barium	관련제조공정, 에너지생산공정
20	1,2-Dichloroethane	금속세정제, 페인트 제거제
21	Ethylbenzene	가솔린,
22	Nickel	광산, 관련제조공정
23	Diphthalate	플라스틱 제조공정
24	Xylenes	용매, 가솔린
25	Phenol	목재가공공정, 의약품제조

※ National Research Council. 1994. Alternatives for Ground Water Cleanup

[표1-3] 우리나라 토양오염물질 및 오염기준

(단위: mg/kg)

오염물질	토양오염우려기준		토양오염대책기준	
	가 지역	나 지역	가 지역	나 지역
카드뮴	1.5	12	4	30
구리	50	200	125	500
비소	6	20	15	50
수은	4	16	10	40
납	100	400	300	1,000
6가크롬	4	12	10	30
아연	300	800	700	2,000
니켈	40	160	100	400
불소	400	800	800	2,000
유기인화합물	10	30	-	-
폴리클로리네이티드비페닐	-	12	-	30
시안	2	120	5	300
페놀	4	20	10	50
유류(동·식물성 제외)				
- 벤젠,톨루엔,에틸벤젠,크실렌(BTEX)	-	80	-	200
- 석유계총탄화수소(TPH)	500	2,000	1,200	5,000
트리클로로에틸렌(TCE)	8	40	20	100
테트라클로로에틸렌(PCE)	4	24	10	60

비고)

1. 가지역 : 지적법에 의한 지목이 전,답,대,과수원,목장용지,임야,학교용지,하천,수도용지,공원,체육용지(수목,잔디 식생지에 한한다),유원지,종교용지 및 사적지인 지역
2. 나지역 : 지적법에 의한 지목이 공장용지,도로,철도용지 및 잡종지인 지역
3. 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 지목 구분에 관계없이 나지역의 토양오염우려기준을 적용한다.
 - 가. 특정토양오염유발시설이 설치된 경우
 - 나. 가지역에서 폴리클로리네이티드비페닐 또는 유류에 의한 토양오염사고 발생한 경우
 - 다. 가지역을 제외한 지역에서 토양오염사고가 발생한 경우

[표1-4] 우리나라 지하수의 오염물질 및 수질기준

(단위 : mg/ℓ)

항 목		이용목적별	생활용수	농·어업용수	공업용수
일 반 오염물질 (9개)	수소이온농도(pH)		5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0
	대장균군수		5,000 이하(MPN/100 ml)	-	-
	질산성질소		20이하	20이하	40이하
	염소이온		250이하	250이하	500이하
	일반세균		1 ml 중 100 CFU이하	-	-
특 정 유해물질 (15개)	카드뮴		0.01이하	0.01이하	0.02이하
	비소		0.05이하	0.05이하	0.1이하
	시안		불검출	불검출	0.2이하
	수은		불검출	불검출	불검출
	유기인		불검출	불검출	불검출
	페놀		0.005이하	0.005이하	0.01이하
	납		0.1이하	0.1이하	0.2이하
	6가크롬		0.05이하	0.05이하	0.1이하
	트리클로로에틸렌		0.03이하	0.03이하	0.06이하
	테트라클로로에틸렌		0.01이하	0.01이하	0.02이하
	1,1,1-트리클로로에탄		0.15이하	0.3이하	0.5이하
	벤젠		0.015이하	-	-
	톨루엔		1이하	-	-
에틸벤젠		0.45이하	-	-	
크실렌		0.75이하	-	-	

비 고

1. 생활용수 : 가정용 및 가정용에 준하는 목적으로 이용되는 경우로서 음용수·농업용수·공업용수 이외의 모든 용수를 포함한다.
 2. 농·어업용수 : 농업·농촌기본법 시행령 제2조에 의한 농업 및 농어촌발전특별조치법시행령 제2조제3호에 의한 어업의 목적으로 이용되는 경우를 말한다.
 3. 공업용수 : 수질환경보전법 제2조제5호의 규정에 의한 폐수배출시설을 설치한 사업장에서 사업활동 목적으로 이용되는 경우를 말한다.
 4. 어업용수 및 지하수의 이용 목적상 염소이온의 농도가 인체에 해가 되지 아니하는 것으로 환경부장관이 인정하는 용도로 지하수를 이용하는 경우 염소이온의 기준을 적용하지 아니한다.
- ※ 공통사항 : 농업용수·어업용수·공업용수일지라도 생활용수의 목적으로도 함께 이용되는 경우에는 생활용수 기준을 적용한다.

※ 지하수를 음용수로 이용하는 경우 : 먹는물관리법 제5조의 규정에 의한 먹는물의 수질기준 적용

(3) 토양 및 지하수 오염 이동경로

(가) 토양중 이동경로

토양내 오염물질의 이동은 오염물질과 토양구성 요소간에 일어나는 반응의 결과이다. 토양내 오염물질의 이동에는 화학적, 물리학적 및 생물학적 과정들이 수반되며, 오염물질이 토양내에서 이동하는 동안 오염물질과 토양구성요소 사이에 이루어지는 전반적인 반응에 대해서는 각 과정별로 정해진 기여도를 충분히 파악하거나 차별화하는 것은 어렵기 때문에 일반적으로 복잡한 과정을 거치는 것으로 간주되고 있다.

대표적인 토양과 오염물질간의 상화작용은 먼저, 오염물질과 토양의 상호작용에 의해 나타나는 흡착(adsorption) 반응으로서 흡착반응은 용액중에 용존되어 있는 오염물질이 토양입자의 표면에 붙는 과정이다. 즉, 양이온, 음이온, 비이온성 분자의 화학성과 물리성에 의해 통제되어진다.

다음은 복합체(complexation)로서 금속 양이온이 음이온과 반응할 때 발생하며, 토양구성물질로서 유기물질은 중금속 이온들에 대해 매우 높은 친화력을 가지고 있다. 다음은 침전으로서 토양고형물의 표면이나 공극수 내에서 발생한다. 흡착과 침전은 액상으로부터 물질의 제거와 관련이 있는 것으로써, 흡착은 토양-물의 사이에서 축적되는 것이라면 침전은 하나의 새로운 고상을 형성하는 것으로 볼 수 있으며 중금속이 토양권에 오래 머물게 되는 주요인은 침전에 의한 것이다.

토양종류별 여러종류의 오염물질에 대한 흡착 연구결과 토양의 이동특성은 오염물질의 축적에 따라 변화하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 토양중 오염물질의 이동은 토양의 비중, 입도, 토양유기물, 산화물, 함수비, 지표투수, 수리전도도 등의 토양지질학적 특성 등에 의해 좌우된다고 할 수 있다.

(나) 지하수중 이동경로

지하수의 정의상 불포화대(물로 채워지지 않은 공극의 나머지 부분이 토양공기로 채워져 있고 토양공기는 대기와 연결되어 있는 부분)의 물은 지하수라고 할 수 없지만 불포화대의 물이 하부로 이동하여 지하수면에 이르면 지하수로 합류하게 되

며, 불포화대의 지하수는 지표상이나 얇은 심도에 있는 오염물질을 운반하거나 용해시키는 역할을 하므로 지하수환경을 평가하는 데 중요하게 취급된다.

일반적으로 지하수 오염물질의 이동은 토양지질학적 특성과 자유면대수층의 흐름, 흡착, 분산, 유속, 지하수위, 순간 수위변화, 수리전도도 등의 수리학적 특성에 따라 크게 좌우된다.

이 가운데 본 연구의 대상이 되는 주요오염물질인 유류, TCE, PCE 등은 비수용성 액체(非水溶性液體)로서 NAPL(Non-aqueous phase liquid)이라고 불리며, 물과 혼합되지 않고 그 형태를 유지하고 있는 수용액체를 일컫는다. 비수용성 액체는 비중에 따라서 2가지 형태의 DNAPL과 LNAPL로 구분된다. DNAPL(Dense Non-aqueous phase liquid)은 밀도가 물보다 커서 가라앉는 비수용성 액체를 일컫으며 TCE($1.46\text{g}/\text{cm}^3$), PCE($1.63\text{g}/\text{cm}^3$), PCBs, 크로로페놀, 1,1,1-TCA 등이다. LNAPL(Light Non-aqueous phase liquid)은 밀도가 물보다 작아 물에 뜨는 비수용성 액체로서 대부분의 석유화학제품들이 여기에 해당하며 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 가솔린, 제트유, 등유 등이다.

NAPL은 지하에 유출되면 그 형태를 그대로 유지하며 토양과 지하수를 동시에 오염시키는 특징을 지닌다. 지하에 유출된 NAPL은 유출된 양과 토양의 성질에 따라 이동성이 결정된다. 따라서, NAPL에 의한 토양오염의 경우는 NAPL이 어디에 존재하고 있든지 여러가지 경로를 통해 지하수를 오염시키게 되며 지하수에서 NAPL성분인 BTEX 및 TCE, PCE 등이 검출되었다면 비포화 토양층 또는 대수층에 오염원이 되는 NAPL이 존재하고 있을 가능성이 높다. 특히, 비중이 물보다 작은 LNAPL은 대수층을 만나면 대수층 상부에 부유하게 되며, 지하수위에 따라 수직적으로 그 위치가 변할 수 있고 대수층 상부를 따라 수평이동을 할 수도 있다. 이러한 LNAPL의 계속적인 수직 및 수평이동은 토양내 LNAPL을 잔류시킬 수 있게 함으로써 토양오염 및 지하수 오염의 범위를 확대시키기도 한다.

나. 우리나라 토양 및 지하수수질 측정망 운영실태

국토의 토양오염 변화추이 및 토양오염실태를 파악, 정책수립의 기초자료로 활용하기 위하여 전국 토양에 대한 오염도를 상시 측정하고 있다. 현재 전국 토양 오염조사는 환경부장관이 설치·운영하는 측정망과 시·도지사가 실시하는 토양 오염실태조사의 두가지 경로를 통하여 이루어지고 있다.

한편, 전국적인 지하수 수질 현황과 수질변화 추세를 정기적으로 파악하여 지하수 수질보전 정책수립을 위한 기초자료를 확보하고자 지하수수질 측정망을 설치·운영하고 있으며 지하수 오염우려지역에 대해서는 환경부장관이 설치·운영하고 있고, 일반지역은 시·도지사가 실시하는 두가지 경로로 이루어지고 있다.

(1) 토양측정망 운영실태

(가) 설치목적 및 운영근거

토양측정망은 전국적인 토양오염추세를 정기적으로 파악하고 토양오염실태를 파악하여 토양보전정책 수립을 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 설치·운영되고 있다. 운영근거는 토양환경보전법 제5조제2항(토양오염의 측정) 및 동법시행규칙 제5조(측정망설치계획의 수립·고시)이다.

(나) 연혁

[표1-5] 토양측정망 운영 연혁

연도	측정망 운영내용	비고
1987	토양측정망 운영 개시('87년 119개소, '88년 250개소)	
1991~1995	격년제로 운영(동일지점을 2년마다 조사)	
1995. 1	토양환경보전법 제정(측정망운영 근거마련)	
1996	토양측정망(전국망 780지점) 지점 확충	
1997	전국망(1,000지점) 및 지역망(2,000지점) 확대 운영	
1999	전국망(1,500지점)과 지역망(3,000지점) 지점 확충	
2001. 11	지역망은 토양오염실태조사(2,000지역 이상) 체계로 전환	

환경부에서는 지난 1987년에 119개소(595지점)의 토양측정망을 설치하고 토양오염도를 상시측정하기 시작한 후 토양환경보전법이 제정된 이후에 1997년부터는 시·도지사가 실시하는 지역망을 추가하여 1999년에는 총 4,500지점의 토양측정망을 운영[표1-6]하여 왔으며, 토양환경보전법을 개정하고 2001년부터는 환경부장관이 운영하는 1,500지점의 토양측정망과 시·도지사가 토양오염우려지역을 선정하여 2000지점 이상 조사하는 토양오염실태조사로 나누게 되었다.

[표1-6] 연도별 토양측정망 운영지점 현황

구 분	1987년※	1997년	1999년	2001년	2003년	2005년
계	119	1,980	4,495	4,500	3,605	3,902
(지방)환경청*	119	949	1,499	1,500	1,500	1,500
시·도**	-	1,955	2,996	3,000	2,105	2,402

※ 1987~1994년에는 토양측정망 운영 1개소당 5지점을 측정

※ 1991~1995년에는 토양측정망 운영지점을 2그룹으로 나누어 격년에 1회 조사

* 토지용도별 : 공장용지, 전, 답, 도로, 대지, 잡종지 등

** 오염우려지역 : 공장및공업지역, 금속광산지역, 어린이놀이터지역 등

(다) 조사개요

토양오염도 조사목적은 [표1-7]과 같이 환경부장관이 토지용도별로 고정지점에 대한 오염추세 파악을 목적으로 운영하는 토양측정망 및 시·도지사가 관내 오염우려지역을 매년 선정하여 오염정도를 조사하고 오염정화 복원대책을 수립하기 위해 실시하고 있는 토양오염실태조사로 구분되고 있다.

[표1-7] 토양측정망 및 토양오염실태조사 비교

구 분	측 정 망	오 염 실태 조 사
목 적	전국의 토양오염추세 파악	오염우려지역 오염실태조사
조사대상	1,500 지점	2,000지점 ('05년: 2,402)
운영방식	조사지점 고정	조사지점 매년 변경
주 관	환경부(지방환경관서)	시·도(보건환경연구원)
조사항목	17항목(중금속 8, 일반 8, pH)	토양오염물질중 오염가능성이 높은 물질 및 토양pH

(라) 토양측정망 토지용도별 측정지점

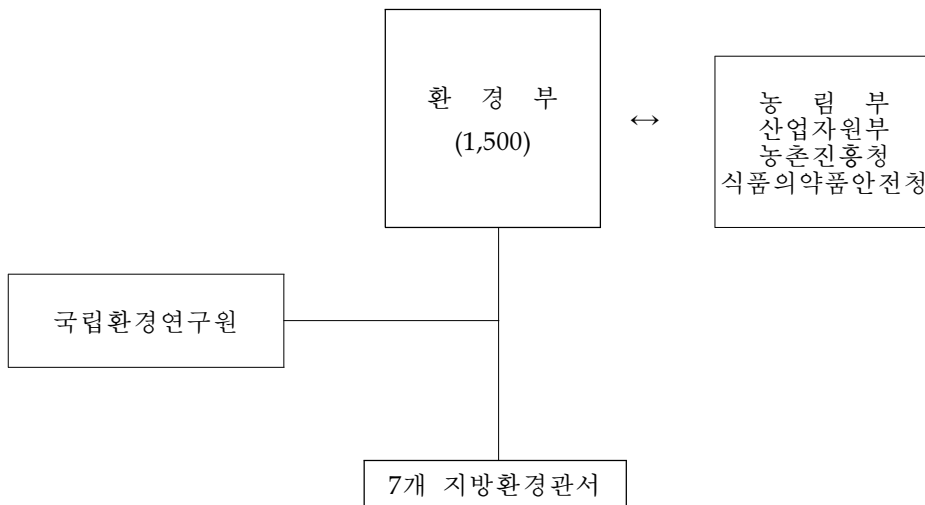
토양측정망은 15개 토지용도별로 분류하여 [표1-8]과 같이 실시하고 있으며, 측정망의 시료채취·시험분석 및 자료관리·분석 등 기관별 운영체계도는 [그림 1-2]과 같다.

[표 1-8] 토지용도별 측정지점수

계	전	답	과수원	목장지	임야	대지	공장용지	도로용지	철도용지	공원	체육용지	유원지	학교용지	잡종지	하천지
1,500	82	125	51	54	66	253	162	70	35	53	154	35	252	73	35
100 %	5.5	8.3	3.4	3.6	4.4	16.9	10.7	4.7	2.3	3.5	10.3	2.3	16.9	4.9	2.3

(마) 토양측정망 운영체계도

[그림 1-2]



※ 농림부, 산업자원부, 식품의약품안전청 등 관련기관은 각 기관의 목적에 따라 토양오염도 또는 농작물, 식품 등에 대한 오염도 실태조사를 실시하고 있으며, 토양측정망 등의 운영결과와 연계하여 상호 정보교환이나 토양보전대책을 협조하는 체계로 운영되고 있다.

(바) 측정지점 세부 선정기준

토지용도에 따른 대표성을 확보할 수 있는 측정지점을 선정하며, 세부기준은 [표1-9]와 같다.

[표1-9] 토양측정망 측정지점 세부 선정기준

구 분	면적 (km ²)	지점수	비율 (%)	세 부 선 정 기 준
계	99,408 (100%)	1,500	100	
임 야	65,274 (65.7)	66	4.4	자연공원법상 국립·도립 등 자연공원내 수림지 - 국립림 등 보전지역내 토양을 조사
답	12,478 (12.6)	125	8.3	영농화학물질에 의해서만 영향을 받는 논 - 경지정리된 대규모 논을 위주로 선정
전	8,222 (8.3)	82	5.5	영농화학물질에 의해서만 영향을 받는 곡물·채소 류를 재배하는 밭 - 곡물, 채소 종류별로 주산지 밭을 선정
과 수 원	518 (0.5)	51	3.4	영농화학물질에 의해서만 영향을 받는 과수원 - 과일 등 종류별로 주산지 과수원을 선정
목장용지	539 (0.5)	54	3.6	사육두수가 100두 이상인 목장 - 대규모 목장 초지를 대상으로 선정
잡 종 지	731 (0.7)	73	4.9	비행장, 자동차운전학원 등 부지 - 잡종지중 유형별로 선정
대지(垸地)	2,265 (2.3)	253	16.9	시·군·구별로 전용주거지역내 토양 1개소씩 선정 - 대규모 주거지 선정·조사
공장용지	468 (0.5)	161	10.7	국가·지방산업단지내 부지 - 가급적 관리사무소주변 토양
학교용지	230 (0.2)	253	16.9	시·군·구별로 1개 초등학교 - 가급적 오래된 학교를 선정
공 원	54 (0.05)	53	3.5	도시공원법상 도시자연공원, 어린이공원, 근린공원 - 공원용지별로 다양한 토양을 조사
체육용지	97 (0.1)	154	10.3	종합운동장, 야구장, 스키장, 골프장 등 부지 - 체육용지별로 다양한 토양을 조사
유 원 지	14 (0.01)	35	2.3	국민관광지 등 유원지 - 유원지, 국민관광지의 토양조사
도 로	2,179 (2.2)	70	4.7	자동차 주행에 의한 오염영향을 받는 도로변지역 (절·성토면, 진·출입부, 휴게소 주변 등) - 차량주행에 의한 영향을 조사
철도용지	117 (0.1)	35	2.3	철도부지내(절·성토면, 역사내) - 열차주행에 의한 영향을 조사
하천부지	2,810 (2.8)	35	2.3	호우시 침수되는 하천고수부지(일반토양, 농경지) - 평소 침수되지 않는 하천지역이나 호우시 침수 되는 부지

(사) 조사기간

- 시료채취는 시료채취가 가능한 기간으로 구분하여 농경지는 매년 3~4월에, 기타지역은 5~6월에 실시한다.

(아) 조사항목(17개 항목)

- 중금속(8) : Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁺⁶, Zn, Ni
 - 일반항목(8) : PCB, CN, 유기인, 페놀, 유류(BTEX, TPH), 불소, TCE, PCE
 - 토양산도(pH)
- ※ 지목(지적법상 분류)별로 전·답·과수원 등 농경지와 공장용지·잡종지 등으로 구분하여 조사항목을 달리 선정(주변오염원에 따라 필요시 조사항목 추가)

[표1-10] 토지용도별 조사항목

지 목	조사항목	
전, 답, 과수원, 임야, 목장용지, 공원, 유원지, 체육용지, 하천부지, 학교용지	중금속(8)	Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr ⁺⁶ , Zn, Ni
	일반항목(2)	CN, 유기인 * 유기인 : 전, 답, 과수원, 체육용지에 한함
	토양산도(1)	pH
도로, 대(埤), 공장용지, 철도용지, 잡종지	중금속(8)	Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr ⁺⁶ , Zn, Ni
	일반항목(7)	PCB, CN, 페놀, 유류(BTEX, TPH), 불소, TCE, PCE * PCB, 페놀, TCE, PCE : 공장용지, 잡종지에 한함
	토양산도(1)	pH

(자) 시료채취방법

농경지, 체육용지 등은 표토(0~15cm)를 대상으로 하고 있으며, 매립지·지하저장시설 등은 심토(60~100cm)를 대상으로하여 토양오염으로 인한 농작물 오염, 지하수 오염 가능성에 대한 판단이 될 수 있도록 하고 있다. 기타 사항은 토양오염공정시험방법에 따르고 있다.

(2) 토양오염실태조사 운영실태

(가) 설치목적 및 운영근거

토양측정망과 달리 시·도지사 또는 시장·군수·구청장은 관할구역 안의 토양오염이 우려되는 지역에 대하여 토양오염실태를 조사하고 오염토양을 정화하기 위하여 실시하고 있으며, 운영기관별·오염우려지역별 측정지점수는 [표1-11]과 같다. 토양오염실태조사의 운영근거는 토양환경보전법 제5조제3항 (토양오염실태조사) 및 동법시행규칙 제3조제3항이다.

(나) 오염우려지역별 측정지점수 [표1-11]

계	공장 및 공업지역	공장폐수 유입지역	원광석 · 고철 야적지역	금속제련 소 주변 지역	폐기물 적치·매립 · 소각지역	금속광산 주변지역	교통관련 시설지역	사고발생 · 민원유발 등 지역	기 타 토지개발 등 지역	공단주변 주거지역	어린이 놀이터 지역
2,402	683	92	85	27	443	228	186	97	251	121	189
100%	28.4	3.8	3.5	1.1	18.5	9.5	7.8	4.0	10.5	5.0	7.9

(다) 시료채취 및 대상

- 1) 시료채취위치는 자료조사, 현장조사 등을 통하여 지형, 풍향, 지하수유동 및 상·하류 등을 고려하여 토양오염의 가능성이 가장 높을 것으로 추정되는 곳으로 하되, 대상지역이 넓거나 오염 영향권이 다른 경우에는 분할하여 별도의 조사지역으로 선정할 수 있다.
- 2) 시료채취대상은 확인가능하거나 또는 추정하는 토양오염원인으로부터 오염 유형에 따라 표토 또는 심토까지 조사하는 것을 원칙으로 한다.
 - 가) 「지하수 수질측정망 운영계획」에 의한 지하수 수질조사결과 토양오염물질이 지하수수질기준을 초과한 지역은 표토 및 심토 굴착조사를 실시하여야 한다.
 - 나) 오염원이 대기나 수질에 의한 경우 표토를 중심으로 하며, 지하저장시설·매립지 등에 의한 경우 표토부터 오염개연성이 있는 깊이까지 표층·중간층·심토층 등 3개로 구분하여 채취하되, 지형에 따라 조절할 수 있다.

(라) 토양오염실태조사 측정지점 세부 선정기준 [표1-12]

오염원지역 종류	세 부 선 정 기 준
공장 및 공업지역	금속·전자·화학·기계·유류산업등의 토양오염물질배출 공장부지내 및 저장시설 설치 등 영향권지역(일반토양)
공장폐수유입지역	지하수수질검사결과 토양오염물질 기준초과지역·중금속 또는 유기용제류 등을 함유한 공장폐수등에 의한 영향권지역(일반토양, 농경지)
원광석·고철야적등 지역	금속물질(원광석, 고철, 고물등)을 야적, 하역, 상차, 도장하는 등 비산먼지 발생 및 오염물질을 유출시키는 부지내 또는 주변 등 영향권지역(일반토양, 농경지)
금속제련소지역	제련소의 배출가스, 분진 및 비산먼지등의 영향권지역(일반토양, 농경지)
폐기물 적치·매립·소각 등지역	일반폐기물 적치·매립·소각 및 자원화시설에 따른 침출수·배출가스등에 의한 영향권지역(비위생매립지, 일반토양, 농경지)
금속광산 지역	금속광산의 광미, 갱내수, 폐석, 폐수등의 영향권지역(일반토양, 농경지)
교통관련 시설 지역	자동차주차장, 차고지, 선박정비창, 열차정비창, 비행기 정비창, 조선소 등의 영향권지역
사고발생·민원유발 등 지역	토양오염 관련 사고발생 및 민원유발 등으로 인한 토양오염이 우려되는 지역(일반토양, 농경지)
기타 토지개발 등 지역	도시개발, 도로·철도건설, 산업입지·공단조성 등을 위한 개발 예정 또는 공사중인 지역으로 과거에 배출 업소, 오염관련 사업장, 군부대등이 위치하던 지역, 스포츠(클레이)사격장(일반토양, 농경지)
공단주변등 주거지역	공단 및 공장밀집지역 주변으로 주민건강조사를 실시했거나 토양조사가 필요한 주거지역 또는 세탁소주변지역(일반토양, 농경지)
어린이놀이터 지역	공단·공업지역내 및 주변지역의 어린이놀이터(일반토양)

주) 영향권지역 : 과거에 영향을 받았거나, 현재 영향을 받고 있는 지역 또는 향후 영향을 받을 가능성이 있는 지역을 말함

(3) 지하수수질 측정망 운영실태

(가) 설치목적 및 운영근거

지하수수질측정망은 전국적인 지하수수질 현황과 수질변화 추세를 정기적으로 파악하여 지하수 수질보전정책 수립을 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 설치 운영되고 있다. 운영근거는 지하수법 제18조제2항(수질오염의 측정) 및 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 제9조(측정망설치계획의 수립·고시)이다.

(나) 연혁

[표1-13] 지하수수질 측정망 운영 연혁

연도	측정망 운영내용	비고
1992	지하수수질 실태조사(전국 260지점)	
1994	지하수법 제정(측정망운영 근거마련)	
1996	지하수수질 측정망(총 2,021지점) 지점 확충 - 오염우려지역(781지점) 및 일반지역(1,240지점) 확대 운영	
2005	지하수수질 측정망(2,462지점) 확충 - 건설교통부의 국가 지하수관측정 441지점 포함	

지하수수질 측정망 운영은 [표1-13]과 같이 환경부에서 토양오염으로 인한 지하수오염의 연계성을 염두에 두고 지난 1992년에 전국 지하수오염우려지역 260지점에 대한 지하수수질 실태조사를 실시하였던 것을 모태로 시작하게 되었다. 이후 1994년 지하수법이 제정되면서 지하수수질 측정망으로 전환하여 측정을 하게 되었으며, 환경부장관이 운영하는 지하수오염우려지역 780지점의 측정망과 시·도지사가 도시·농촌·자연환경지역 등 일반지역을 대상으로 한 1,240지점에 대한 측정망으로 구분하게 되었다. 2005년부터는 건설교통부에서 수량·수질을 측정하고 있던 지하수관측정 441지점을 지하수수질 측정망에 포함하여 관리를 하고 있다.

또한, 지하수수질 측정망 운영은 환경부 소속 지방환경청에서 13개 오염우려지역 별로, 시도에서 3개 일반지역별 구분하여 실시하고 있으며, 연도별 지하수수질 측정망 운영지점 현황 및 운영체계도는 [표1-14], [그림1-3]과 같다.

[표 1-14] 연도별 지하수수질 측정망 운영지점 현황

(단위 : 지점)

구 분	1992년 ※	1999년	2000년	2002년	2003년	2004년	2005년
계	260	1,741	1,965	1,997	2,021	2,021	2,462
(지방)환경청*	260	781	781	781	781	781	781
시·도**	-	960	1,184	1,216	1,240	1,240	1,240
국가지하수관측망***	-	-	-	-	-	-	441

※ 지하수수질 실태조사 : 지하수수질 측정망 운영 이전에 조사지점수

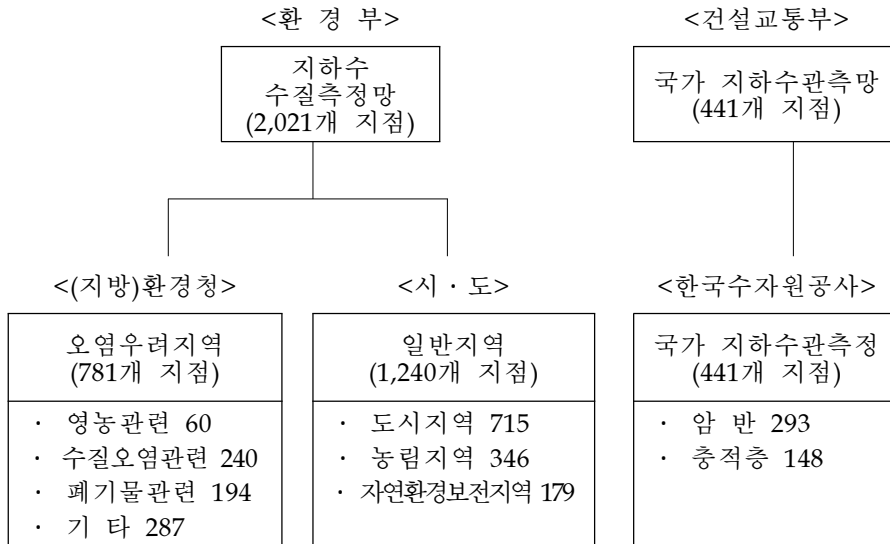
* 오염우려지역 : 공단지역, 저장탱크주변, 매립지주변, 폐금속광산, 오염우심하천 등

** 일반지역 : 도시지역, 농림지역, 자연환경지역 등

*** 국가관측망 : 건교부(수자원공사)에서 운영하며 '05년부터 수질측정망에 편입

(다) 지하수수질 측정망 운영체계도

[그림1-3]



(라) 측정지점 선정기준

1) 오염우려지역

- 지하수오염원 유형별로 13개 지역으로 구분한다. 동일 영향권에서 지점을 선정하며, 가급적 동일 관정을 지속적으로 조사한다.
- 오염우려지역별로 측정지점을 선정하는 세부기준은 [표1-15]와 같다.

[표1-15] 지하수수질 측정망 측정지점 선정기준

구 분		선 정 대 상	지점수
영 농	① 전용농업용수 사용지역	○ 논·밭·과수원 등 농업용 취수정 ○ 농가취수정	지역내 3
	② 농작물 주산단지	○ 한해대책용 공공관정	
수 질	③ 오염우려하천지역	○ 하천수측정망 운영결과 수질오염도(BOD)가 높은 지역의 취수정	자연유하 방향 3
	④ 공단지역	○ 전자·도금·기계·금속·화학·운수·석유업종이 밀집된 지역 우선 ○ 단지면적이 큰 공단은 세분	자연유하 방향 3
폐 기 물	⑤ 일반폐기물매립지역 ⑥ 지정폐기물매립지역 ⑦ 금속광산지역 ⑧ 분뇨처리장인근지역	○ 침출수, 갭내수, 분뇨처리수 등 지하수 오염우려가 있는 취수정	자연유하 방향 3
기 타	⑨ 주민건강조사지역 ⑩ 유원지 및 공원 ⑪ 골프장지역	○ 농약, 비료사용 등으로 지하수오염이 우려되는 취수정	지역내 3
	⑫ 도시주거지역	○ 주거·상업지역 중심의 취수정	
	⑬ 저장탱크지역	○ 저유소, 유해화학물질 저장시설 주변 취수정	자연유하 방향 3

2) 일반지역

- 도시지역, 농림지역(관리지역 포함), 자연환경보전지역으로 구분
- 현재 음용으로 이용하거나 이용할 가능성이 높은 지점
- 주변에 특정오염원이 없는 지점
- 관정상태가 양호하여 장기간 관측정으로 이용 가능한 지점
- 공공관정 우선 대상, 관측정의 제원(심도, 구경 등)이 확실한 지점
- 향후 관정 폐쇄계획이 없는 지점
- 우기시 침수 등 재해가 우려되지 않는 지역

(마) 측정지점

오염우려지역은 지방환경청, 일반지역은 시·도지사가 측정지점의 선정, 분석 등 관리하고 있으며, 오염우려지역별, 일반지역별 측정지점 현황은 [표-16], [표-17]과 같다.

[표1-16] 오염우려지역별 측정지점 현황

(단위 : 지점)

오염우려지역		측정지점	비율(%)
계		781	100
영농	농업용수사용지역	48	6.1
	농작물주산단지	12	1.5
수질	오염우려하천	57	7.3
	공단지역	183	23.4
폐기물	일반폐기물매립지역	99	12.7
	지정폐기물매립지역	29	3.7
	금속광산지역	30	3.8
	분뇨처리장인근지역	36	4.6
기타 지역	주민건강조사지역	15	1.9
	유원지 및 공원	36	4.6
	골프장 지역	35	4.5
	도시주거지역	165	21.1
	저장탱크지역	36	4.6

※ 1개지역에서 3개지점을 선정. 단 *표시된 지정폐기물매립지역 1곳과 골프장지역 1곳은 1개지역에서 2개지점을 선정

[표1-17] 일반지역별 측정지점 현황

(단위 : 지점)

계	도시지역					농림지역					자연환경보전지역				
	계	용도				계	용도				계	용도			
		음용	생활	공업	농업		음용	생활	공업	농업		음용	생활	공업	농업
1240	715	333	350	21	11	346	196	94	13	43	179	112	40	2	25
100 (%)	57.7	26.9	28.2	1.7	0.9	27.9	7.6	7.6	1.0	3.5	14.4	9.0	3.2	0.2	2.0

(바) 조사항목

1) 특정유해물질(15개항목) : 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1,1,1-트리클로로에탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌

※ 유기인은 영농지역 및 골프장 지역만 측정하며, 벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌은 생활용수만 측정한다.

2) 일반오염물질(5개항목) : 수소이온농도, 대장균군수, 질산성질소, 염소이온, 일반세균

※ 오염우려지역은 대장균군수 대신 전기전도도를 측정하며, 일반세균은 생활용수만 측정한다.

(사) 조사시기

조사는 매년 2회(상·하반기) 실시하고 있는데 상반기는 4~5월, 하반기는 9~10월에 실시한다. 이는 지하수의 수위변동에 따른 변화를 고려한 조사시기의 구분이다. 다만, 구체적인 조사시기는 조사기관의 형편에 따라 조정이 가능하도록 하고 있다.

(아) 시료채취방법

시료채취는 사용중인 지하수를 양수하여 수질분석을 하고 있기 때문에 고여 있는 물을 퍼내고 새로 나온 물을 시료로 한다. 일반적으로 시료채취는 취수정 내에 고여있는 물의 4~5배를 퍼낸 다음 행하며, 퍼내는 물의 양은 물의 수소이온농도와 전기전도도를 연속적으로 측정하여 이 값이 평행에 도달할 때까지로 한다.(원래 상태에서 지하수수질로 된 시점까지)

기타 휘발성물질과 민감한 무기화합물질 등 오염물질에 따른 시료채취 방법은 따로 규정하고 있다.

(자) 수질기준 초과지점 조치

측정망 운영결과 수질기준을 초과한 지점이 지하수법상 신고 또는 허가 대상 시설인 경우에는 이용중지, 수질개선조치 등 지하수오염방지조치를 하도록 하고 있다.

(4) 토양지하수정보시스템(SGIS)

(가) 설치 배경 및 목적

SGIS(Soil Groundwater Information System)은 산재된 토양·지하수정보의 전산화를 통한 체계적 정보관리 구축과 토양·지하수의 오염 통합관리를 위한 연계분석시스템을 구축하여 효율적으로 업무를 추진하며, 오염원의 분석관리 선진 기법 도입을 통한 오염 확산을 방지하고 아울러 토양·지하수환경 정보의 대국민 서비스를 증대하고자 2006년 11월부터 운영되기 시작하였다.

(나) 사업수행기관

환경부 토양지하수과를 주관으로 환경관리공단, 지방환경청, 지자체 등 관련기관, 건교부, 농촌진흥청, 농업과학기술원, 한국농촌공사, 수질검사기관, 농림부, 한국지질자원연구원 등 많은 기관에 연관되어 운영되고 있다.

(다) 제공되는 정보

토양·지하수측정망의 위치 및 오염현황 분포, 토양실태조사 위치 및 오염현황, 토양·지하수 오염원 분포 위치, 토양·지하수 오염도 지도, 특정토양오염관리대상시설 현황 및 오염도 검사 결과 등의 자료를 제공하고 있다.

(라) 정보자료의 시사점

토양 및 지하수수질 측정망, 토양오염실태조사지점의 지도상 위치 및 측정지점별로 2001년부터 2005년까지 조사항목별로 변화추세와 오염도 수준을 파악할 수 있는 자료를 제공하고 있으며, 주변의 주요 토양오염원 등의 분포 위치를 함께 확인할 수 있도록 하고 있다. 다만, 조사지점별로 조사항목 전체의 오염도를 하나의 화면으로 파악할 수 없어 보완이 필요하며, 측정지점 주변의 토양 및 지하수오염 분포와 오염 연계성 파악이 보다 수월하기 위하여는 농림부 등에서 실시한 농경지 토양오염자료, 지하수법상 지하수관정에 대해 실시하는 정기 수질검사 자료, 환경관리공단·한국수자원공사·한국지질자원연구원 등에서 실시한 지하수위분포도 등 수리지질조사자료 등이 SGIS에 포함되어 정보의 수준을 증대시킬 필요가 있다.

다. 외국의 토양 및 지하수수질 관리체계

(1) 토양오염관리체계

(가) 미국

1) 관리기관 및 제도

환경보호청 (Environmental Protection Agency: EPA)이 토양오염 및 지하수질 보호를 담당하고 있는 중앙기관이다. 다만, 오염된 지역의 복원과 이에 대한 복원 기준 등은 독립된 주법에 의하여 운용되고 있다. 대부분의 주(州)는 자체적으로 토양정화계획을 운용하고 있고, 토양오염지역이라도 그 위해성이 국가우선 순위목록 (National Priority List: NPL)에 오를 정도로 심하지 않은 지역은 주(州)의 자체 계획에 의거하여 대책을 수행하고 있다.

2) 오염조사

국가에서 토양오염이 우려되는 지역을 대상으로 관리하는 토양측정망은 없다. 토양오염의 조사 주체는 민간, 주(州)정부, EPA 등이 될 수 있으며, 대부분 민원에서 시작된다. 미국은 음용수의 절반 이상을 지하수에서 충당하고 있기 때문에 오염된 토양의 관리는 지하수를 중심으로 설정되어 있다. 토양이 오염되었는지 또는 오염지역이 복원되었는지를 결정하는 주체는 EPA 이며, 토양 오염의 법적 책임 및 비용 부담은 책임 있는 당사자에게 부과하는 것을 원칙으로 하고 있다. 법적으로 명확하게 제시된 조항은 없으나, 오염원인자가 불분명한 경우 정부에서 부담하고, 오염원인자가 2인 이상의 경우 연대적인 책임을 지고 있다.

3) 조사대상 오염물질

조사대상 토양오염물질은 건전한 지역과 오염토양 복원 지역으로 나누어서 고려된다. 건전한 상태의 토양에 대한 관리는 폐기물법에서 정한 지하수 중 유해물질의 규제농도를 정함으로써 간접적으로 행하고 있으며, 토양오염지역을 복원한 후에 조사하는 주요 대상물질의 종류는 토양의 이용 용도에 따라 다르다.

(나) 독일

1) 관리기관 및 제도

토양보전법이 발효되기 이전에도 기존 법률 및 규정에 토양보호 및 오염토양 정화에 관한 사항들이 포함되어 있었다. 오염된 토양의 법적 책임에 대해서는 오염 유발자나 소유자 또는 실권자의 책임을 모두 관련지어 개별적으로 엄하게 적용하고 있다.

토양보전법에 의하면 토양 정화의 목표는 현재 및 미래의 토지사용에 연계되어 있다. 이 법에서 토양이 오염되어 있음을 판단하기 위한 조사기준과 대책기준이 제시되어 있다. 즉, 오염토양을 판단하기 위한 기준은 조사기준이며, 대책 기준은 오염부지의 정화를 위한 조치기준을 뜻한다.

연방정부 차원의 전국적인 오염토양에 대한 조사가 되어 있지 않으며, 토양오염에 대한 조사는 주정부 차원에서 이루어지고 있다.

2) 조사대상 오염물질

주요 조사 대상 오염물질의 경우 독일의 연방 정부에서 설정한 것은 없으며, 각 주별로 독립적인 토양오염기준을 적용하고 있는데, 대표적으로 베를린 시의 'Berlin List'이 있다. Berlin List는 토양을 어린이 놀이터 지역, 주거지역, 공원 및 여가선용지역, 정원 및 농업경작지, 공장 및 산업지역의 5지역으로 구분하고, 각 토지의 이용 용도별로 중금속 9종류, 탄화수소계 25종류, 기타 3종류 등 37종류의 오염물질에 대한 오염물질의 농도기준을 설정하였다.

(다) 일본

1) 관리기관 및 제도

토양오염에 관한 정책을 담당하고 있는 중앙기관은 환경청이며, 1972년 제정된 농경지 토양오염방지에 관한 법률, 1994년 개정된 환경기본법, 1994년 마련된 토양·지하수 오염에 관한 조사대책지침 (이전의 시가지의 토양오염대책 확정지침), 중금속 등에 관한 토양오염조사 대책지침, 유기염소계 화합물 등에 관한 토양·지

하수 오염조사 대책 지침 등에 의하여 토양오염방지정책이 수행되고 있다. 오염 토양의 법적책임의 경우에는 오염조정공공작업 비용할당법에 의하여, 오염원인자는 추적이 가능하고 지불능력이 있는 한 경작목적으로 사용되는 부지를 정화 할 책임이 있다. 또한, 오염원인자를 추적할 수 없고 오염원인자가 지불능력이 없는 경우에는 정화비용은 농림부 및 도 정부에서 지원한다.

2) 조사대상 오염물질

토양오염을 조사하기 위한 주요 오염물질은 토지의 이용 용도에 따라 다르다. 농경지의 경우 Cd, Cu, As이며, 시가지의 경우에는 카드뮴, 시안, 유기인, 납, 6가크롬, 비소, 총수은, 알킬수은, PCBs, 구리 등을 주요 대상 오염물질로 조사하고 있다.

(라) 영국

1) 관리기관 및 제도

토양보호만을 위한 별도의 법률이 없으며, 환경부 (Department of Environment)가 토양오염에 관한 정책을 담당하고 있는 중앙기관으로 설정되어 있으나 토양보호를 위한 명확한 제도는 갖추고 있지 않다.

환경부는 오염부지 책임관리를 통한 오염부지에 관한 정책수립 및 이행, 폐기물관리 기술에 관한 정책수립 및 이행, 법에 정의되어 있는 것에 관한 계획 승인, 입법준비·지침서 발행·기술 및 행정적인 조언을 제공하는 책임을 지고 있다.

토양오염의 조사 주체는 토양오염의 원인자/부지 소유자/관리자, 지역당국 (Distinct Council), 환경부로 구분된다. 즉, 토양이 오염될 가능성이 있다는 것을 감지한 사람 또는 정부기관이 주체가 되어 해당 지역의 토양이 오염 여부를 조사할 수 있다. 단, 토양이 오염되었는가를 판단하는 것은 지역 당국이 결정한다.

2) 조사대상 오염물질

중앙정부가 조사하는 주요 토양오염물질은 일반적인 토양과 광산지역이 다르다.

일반적인 토양에서의 조사대상 오염물질은 총 20개 오염물질이며, 이들은 사람의 건강이나 동식물에 해를 끼칠 수 있는 무기오염물질과 일반적으로 인체에는 해를 끼치지 않으나 식물생장에 피해가 우려되는 무기물질, 그리고 유기오염물질의 3개 그룹으로 구분된다.

이러한 오염물질들은 토양의 이용·용도별 목적에 따라 가정의 정원 소규모의 경작지, 공원이나 놀이터, 개방지, 작물재배 지역, 건물, 경관지 등으로 구분하여 각각 독립적으로 오염농도가 설정되어 있다. 또한, 영국 지방정부에서 조사하는 토양오염물질의 종류는 연방정부에서 조사하는 오염물질 종류보다 많을 수 있다.

(마) 외국 토양오염관리체계 분석

1) 관리기관

토양오염관리는 중앙 및 지방정부로 이원화되어 있으며, 법령 등 제도와 정책 수립은 중앙정부에서 담당하고 대부분의 지방정부에서는 오염실태조사 및 토양정화계획을 수립 시행하고 있어, 우리나라와 토양보전정책 추진체계가 유사하다. 또한, 토양오염의 오염원인자 및 부지소유자에게 책임을 묻고 있으며, 토지이용용도, 토양오염으로 인한 영향정도를 구분(미국 예 : 주거지, 비주거지, 지하수보호지역 등)하여 관리기준을 적용하거나 오염복원대책을 시행하고 있다.

2) 조사대상 오염물질

선진외국은 중앙정부나 지방정부가 토양측정망을 주기적으로 운영하고 있지 않다. 이는 토양오염관리 목적이 주민들의 위해성 저감을 목표로 하고 있어, 중앙정부는 오염물질에 대한 오염판단기준을 설정하고 토양오염도 조사는 오염유발시설설치자 또는 오염지역에 대해서 필요시 실시하기 때문이다.

외국에서 정하고 있는 토양오염물질의 종류는 [표1-18]과 같으며, 미국은 토양오염을 지하수 오염의 차원에서 각종 중금속, 유기용제류, 농약류, 유류 등 131종의 오염물질을 토양오염물질로 정하고 있다. 독일은 베를린리스트의 경우에 총 37개(토지이용용도에 따라 중금속 9, 탄화수소계 25, 기타 3 등)의 오염물질에 대해 조사를 실시하고 있다. 일본의 경우는 농경지와 시가지로 구분하여 실

시하되, 우리나라와 비슷한 중금속 등의 오염물질 종류에 대한 조사를 실시하고 있으며, 영국은 총 20개이나 런던시의 경우에 이보다 많은 총 28개의 오염물질에 대해 조사를 실시하고 있다.

우리나라는 현재 토양오염물질인 중금속, 유류 및 유기용제류 등 17개 항목에 대해 조사를 실시하고 있으나, 유럽, 미국, 캐나다 등 외국과 비교할 때 그 수가 적다고 할 수 있다.

따라서, 우리나라도 토양오염으로 인한 국민의 건강과 환경문제를 최소화하기 위해서 외국과 같이 유류계 물질인 PAHs(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), Benzo(a)pyrene을 토양오염물질로 추가 규정하고, 유류중 BTEX는 개별물질의 위해성이 다르므로 세분화(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌)하여 각각의 물질별로 규정하는 방안(토지이용용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구. KEI. 2003)을 강구할 필요가 있다. 다만, 토양오염물질 조사항목 확대 문제는 실태 파악 등을 실시한 후에 점진적으로 추진하는 것이 바람직할 것이다.

[표1-18] 국가별 토양오염물질의 수

국 가		토양오염물질 내역
미국	연방정부	총 131개(유기화합물 88, 농약 27, 중금속 13, 기타 3)
	메릴랜드	총 150개(VOCs 39, sVOC 58, 농약류 29, 중금속 등 무기화합물 22, 기타 2)
	뉴저지	토양정화기준 109개
영국		총 20개(중금속 및 무기화합물질 6, 탄소혼합물질 10, 식물생장유해물질 4), 런던시 28개
독일		베를린리스트 총 37개(중금속 9, 탄화수소계 25, 기타 3) - 직접접촉경로의 경우 중금속 7, 유기화합물 7 - 농작물에 의한 접촉의 경우 중금속 5, 유기화합물 1 - 지하수오염유발의 경우 무기화합물 17, 유기화합물 10
네덜란드		총 83개(중금속 12, 무기화합물 4, 방향족화합물 9, 다고리탄화수소물 11, 염소화합물 24, 농약 16, 기타 11)
우리나라		총 17개(중금속 8, 유기화합물 등 일반항목 8, pH)

(2) 지하수수질 측정망 운영체계

(가) 유럽

유럽은 현재 약 27개 나라가 European Environmental Agency(EEA)에 가입하여 지하수의 수질과 수량에 대한 관측을 1970년대부터 현재까지 실시하고 있다. 특히 프랑스는 1902년부터 지하수 수질을 관측하고 있다. 지하수관측망은 국가마다 조금씩 차이는 있으나 대부분 음용수 수질관리를 위한 법령이나 광역적인 정보 및 경향성 파악을 목적으로 운영하고 있다.

유럽지역의 지하수관리망은 음용수 취수정 주위에 주로 밀집되어 있고, 기타 산업 및 농업지역 등에 산재해 있다. 관측정의 설치 밀도는 지하수 이용, 부존량, 대수층의 종류, 지형적인 조건, 인구 밀도, 토지이용도와 오염원 분포 등을 토대로 결정하므로 나라마다 차이가 있을 수 있으나, 대체적으로 지하수에 대한 영향이 심각한 지역에서는 100 km²당 4 ~ 5개 관측정을 설치운영하고 있으며, 비교적 지하수 영향이 적은 지역에서도 지역적 감시를 위하여 100 km² 당 1개소 정도를 설치·운영하고 있다.

1) 지하수 수질 분석 : 각 국가는 매 5년 주기로 관측 프로그램에 따라 연도별로 다음과 같이 지하수 수질을 측정하고 있다.

- 1차년도 : 2회 측정하여 초기 지하수 수질을 파악한다.
- 2 ~ 5차년도 : 연평균 3회씩 수질측정으로 대수층 특성 변화를 파악한다.
- 지하수수질측정항목은 [표1-19]와 같이 7개 그룹으로 나뉘어져 있으며 1 ~ 4그룹은 모든 유럽국가에 적용하고 있다.
 - 그룹 1, 2, 3은 관측망을 갖고 있는 모든 나라에서 측정한다.
 - 그룹 4, 5, 6은 소수의 EEA 국가에서 측정한다.
 - 그룹 4, 5는 매립지나 오염된 부지와 같이 점오염원에 의한 관측망에서 중요하며 Group 4, 6은 특별히 농업에 의해 오염이 확산된 곳에서 중요하다.
- 관측 항목은 관측망의 운영 목적과 재정 상태에 맞게 결정되어진다.

[표1-19] 유럽의 지하수 수질측정 항목(EEA, 1996b)

그룹 분류		측정 항목	적용
1	기본 항목	pH, EC, DO, 온도	모든 유럽국가에 적용
2	이온 물질	Ca, Mg, Na, Cl, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , HCO ₃ , SO ₄ , PO ₄ , TOC(Total Organic Compound)	
3	추가 항목	토지이용에 따라 오염물질 선택	
4	중금속	As, Hg, Cd, Pb, Cr, Fe, Zn, Cu, Al, Ni 등 토지이용에 따라 오염물질 선택	매립장과 같은 점오염원과 농장
5	유기 물질	방향족탄화수소, 할로겐화탄화수소, 페놀, 클로로페놀 등 토지이용에 따라 선택	점오염원
6	살충제	지역별, 토지이용 등에 따라 선택	공장, 농장
7	미생물	총대장균, 일반세균	점오염원

지하수수질 측정항목의 기본항목은 배경수질을 측정하기위한 항목을 위주로 전기전도도, 수온, Ca, Mg, Na 등을 필수항목으로 정하고 있으며, 토지이용 및 오염원의 유형에 따라 오염 가능한 물질을 추가로 선정하는 방식을 채택하고 있다. 다만, 우리나라는 배경수질에 대한 수질조사 보다는 각종 지하수오염우려지역에 대한 오염여부를 위주로 하다보니 오염물질을 조사대상으로 설정하고 있는 차이가 있다.

주요 외국의 지하수 수질 및 수량 관측망의 설치 밀도와 관측 항목 및 시료 채취 주기 등을 요약하면 [표1-20]와 같다.

[표1-20] 주요 국가별 지하수수질측정망 설치 및 운영현황

국가	지하수 특징	지하수 수질 측정				
	지하수 지질 매체	관측정개수	시료 채취 주기	관측항목	관측망 설치년도	
오스트리아	카르스트 지역 (전국의 18%)	1,800개	4번/년 (일부 중요지점 12번/년)	1 group: 모두 측정 (예: EC, pH, DO) 2 group: 광역적조사 (예:중금속, 탄화수소, AOX) 3 group: 농약, 벤젠, PAH 같은 환경독성에 관한 오염 우려가 높은지 역	1991년	
	다공질 매질 (전국의 12%)	250개				
덴마크	다공질 대수층	1,100개	2 ~ 4번/년	현장측정항목, 주이온, 중 금속, 농약 매년측정 염화유기용제 및 농약은 2년 마다 측정	1980년	
프랑스	다공질(30%), 카르스트(10%이하),나 머지(60%)	39,082	0.5 ~ 4번 /년	-	1902년	
독	Bayern	다공질 대수층	118	-	-	1985년
		카르스트 대수층	40			
		단열암반 대수층	121			
일	Sachsen -Anhalt	다공질 대수층	82	1 ~ 2번/년	-	1990년
		카르스트 대수층	20			
		균열암반 대수층	96			
독	Thuringe n	다공질 대수층	4	1 ~ 6번/년	-	1979년
		카르스트 대수층	20			
		균열암반 대수층	96			
독	Westfalen	다공질 대수층	2,256	1 ~ 2번/년	-	1984년
		카르스트 대수층	20			
		균열암반 대수층	310			

※ 출처 : EEA, 1996b와 건설교통부/한국수자원공사, 2004 재인용 및 일부수정

[표1-20] (계속)

국가	지하수 특징	지하수 수질 측정			
	지하수 지질 매체	관측정개수	시료 채취 주기	관측항목	관측망 설치년도
그리스	카르스트 대수층	275	3번/년	-	-
아일랜드	편마암 및 규암, 사암, 석회암, 4기 퇴적층과 카르스트가 주대수층	293(+a)	2회/년	-	1979년
핀란드	결정질암, 다공질 매질	전국에 50개 시료채취지점	6번/년	-	1974년
네델란드		380개	-	-	1980년
노르웨이	단열암반과 다공질	38개 monitoring station	2 ~ 4회/월	수위	1977년
			31개 station	수온	
			17개 station 1 ~ 2회/년 4개 station 1회/월	지구화학분석	
포르투갈	다공질과 카르스트 (염수침입과 질산염오염)	74개	1-4회/년	-	1977년
스페인	다공질, 카르스트, 나머지(지하수 수질과 염수침입)	다공질(1,147개), 카르스트(408개), 나머지(1,377개)	-	-	1967년
스웨덴	모래, 자갈의 빙하쇄설성퇴적물	27개 광역권마다 2개	-	-	1979년
영국 (잉글랜드와 웨일즈)	쇼크, 사암과 석회암의 고화층, 다공질	다공질(346개), 카르스트(270개), 나머지(1,920개)-앞으로 3,000개 계획	1 ~ 4회/년	-	1991년

(나) 미국

미국의 지하수 관리는 연방정부와 주정부의 이원화된 체계로 이루어져 있다.

내무부 산하 미지질조사국(USGS)에서는 국가 전체의 수자원에 대한 전반적인 조사를 실시하여 이들은 분석, 평가하는 책임을 맡고 있다. 또한 연방정부의 다른 부처들뿐만 아니라 주단위의 기관들과 협력하여 국가 전체의 수문자료 네트워크를 운영하고 수자원 관련 조사업무 및 연구를 수행하고 있으며, 수행 결과들은 수자원 활용과 관리계획 수립에 기초자료로 활용되고 있다(USGS, 2006).

지하수의 개발 및 관리에 대한 실질적인 권한은 각 주정부가 가지고 있으며, 연방정부에서 제시한 법령, 지침, 기준 등을 근거로 각 주의 실정에 맞게 계획을 수립하여 시행하고 있다.

미국 지질조사국에서는 국토를 66개의 주요 대수층으로 분류하여 이에 대한 지하수 개발, 이용량을 조사, 관리하고 있다. 최근 주요 대수층의 취수현황을 각 주별로 자세하게 분석하여 보고하고 있다. 그리고 대수층을 지질학적 특성에 따라 재분류하여 대수층의 자료를 종합, 분석하고 있다.

미국의 지하수 관리는 지질특성에 의해 분류된 대수층 단위로 이루어지고 있으며 연방정부에서는 기준 및 법령만을 제시하고 실질적인 지하수 관리는 주정부의 주도하에 시행되고 있다. 미국의 여러 주 중 우리나라와 입지 조건과 규모가 비슷한 플로리다주의 지하수 관측망 관리프로그램은 다음 [표1-21]과 같다.

[표1-21] 미국 플로리다 지하수 관리 프로그램

구분	운영기간	요약	운영 주체 및 근거
고정 관측망 (Status network)	1999 ~ 현재	주내 전국에 1,100개 관측정을 설치 (1,700개 계획) 유역 그룹별 관측주기는 5년	플로리다 환경보호국(FDEP)에서 운영하는 관측망
임시 보조 배경수질 관측망 (Background network temporal variability subnetwork; TV)	1985 ~ 1999	주 전국에 1,600개 관측정 운영 지역적 지하수 배경수질 관측 3년마다 수질분석	
임시 보조 관측망 (Ground water temporal variability subnetwork; GWTV)	1999 ~ 현재	주 전국에 46개 관측정 운영 고정 관측망을 보조하는 역할	
관심지역 집중 관측망 (Very intensive study area network; VISA)	1985 ~ 1999	23개 연구지역에서 토지사용형태에 따라 지하수 수질특성 조사 목적으로 운영	
공공관정 관측 (Public water system monitoring; PWS)	1975 ~ 현재	관련법규에 따라 모든 공공 관정은 정해진 관측기간에 따라 관측	식수 관련 일반 관정 관측 프로그램
오염우려지역 관측 (FDOH/FDEP water supply restoration program; WSRP-private well sampling program)	현재 운영중	잠재 지하수 오염원을 관측하기 위한 일반 관정을 이용한 관측	
지하수 함양 관측 (Monitoring of discharge to groundwater)	현재 운영중	지하수의 함양에 영향을 주는 시설 주변에서 지하수 수질 관측	

1) 플로리다 환경 보전국 운영 지하수 관측망

지하수수질측정망을 위하여 주 전체를 유역과 대수층으로 구분하고 있으며, 유역의 구분은 다시 유역관리에 편의를 도모하기 위하여 5개의 유역단위로 편성하고, 플로리다 주를 5개 대수층(Biscayne aquifer, Sand and Gravel aquifer, Shallow Aquifer, Highly mineralized , Floridan aquifer)으로 구분하였다. Maddox 외 (1992)의 계획에 의하면 주 전체를 약 232 km² 단위로 격자로 구분하여 각 격자에서 대수층의 종류에 최소 하나의 관측지점이 위치하도록 계획하여 모두 약 1,700개를 제시하였다.

2) 플로리다-식수 관련 일반 관정 관측 체계

플로리다 주의 일반 관정 관측 프로그램은 공공시설 혹은 개인 시설의 관정들은 관측망에 포함시켜 활용하고 있다. 플로리다주에는 약 5,000개의 공공시설 공급 지하수 시스템이 운영되고 있으며 이것은 약 11,000개의 지하수 관정으로 구성되어 공공 관정 관측망으로 운영된다. 공공 관정의 수질자료는 지역적, 전국적 수질 평가를 위해 취합되어 관리된다.

오염우려지역 관측망은 플로리다 환경보호국의 예산을 지원받아 운영되며, 오염우려지역 관측망은 최적화된 운영을 위하여 이미 오염정보를 알고 있거나 예상되는 지역에서 오염원별로 구분하여 관측을 수행한다.

오염원으로는 농경지역, 오염발생시설 주변지역, 매립지, 지하저장시설 주변지역 등으로 구분하고, 오염원 종류에 따라 유류 물질, 농약, 유기 용제 혹은 중금속 등으로 분석항목도 따로 분류된다. 오염우려지역 관측망의 관측정은 약 44,000개로 주 전체에서 운영된다. 44,000개의 관측지점은 전국에 균등하게 분포하는 것이 아니고 해당 지역 내 오염문제, 오염시설 규모 및 밀도에 비례한다.

플로리다의 식수와 관련하여 일반관정의 관측 체계는 공공 관정 및 개인관정 관측 외 지하수 함양지역에 대한 관측 계획도 세우고 있다. 플로리다 환경보호국은 지하수 함양지역에서 종합적인 지하수 수질 예방과 규제를 제시하고 있다. 지하수 관측정 설치는 지하수 배경수질 관측을 위하여 상류, 중간 지점, 하류 지점으로 최소 3개로 설치한다. 수질 분석은 연 4회 실시하여 그 결과를 플로리다 환경보호국에 보고한다.

(다) 외국의 지하수수질측정망 운영 분석

1) 관리기관

미국과 유럽은 지질 특성을 반영한 대수층 중심의 지하수 관리를 시행하고 있으며, 우리나라는 건설교통부에서 지하수 개발·이용 관련 자료들을 중심으로 대수층 중심의 지하수수량 관리를 하고 있으며, 지하수 오염원과 관련한 지하수 수질 관리업무는 환경부에서 담당하고 있는 이원체제로 운영되고 있다.

2) 수질조사

수질조사는 지하수 배경수질의 중요성을 기본으로 이와 관련한 다양한 연구 사업을 시행하고 있으며, 나아가 배경수질을 지하수 정책에 반영하여 체계적인 관리를 수행하기 위한 노력을 하고 있다. 배경수질은 외부 오염물질의 유입이 없는 상태에서 물과 광물 간의 반응에 의해 용해된 물질들이 지하수에 함유되어 있는 양을 말하며, 이는 대수층이 분포되어있는 지질의 종류와 특성에 따라 일차적으로 결정된다. 배경수질을 활용하면 수질검사시 검출된 물질이 지질유래인지 외부유입인지 판단할 수 있을 뿐만 아니라 지하수 오염사건이 발생한 경우에도 대수층 내부에서 일어날 반응을 미리 예측하여 적절한 대처방안을 마련하고 신속한 처리를 할 수 있다. 다만, 우리나라는 아직도 지하수 배경수질에 대한 조사를 실시하지 못한 실정으로 지하수 오염원지역 중심으로 오염물질 중심의 수질관리를 하고 있다.

3) 지하수수질 측정망 구조

지하수수질 측정망을 고정식 관측소와 이를 보완하는 관측지점으로 이원화하여 운영하고 있으며, 고정식 관측소는 중앙정부에서 운영관리하고, 이를 보완하는 관측지점은 전국의 공공시설 및 일반 관정으로 구성하여 최대한 많은 정보를 수집할 수 있도록 구성하고 있다. 그리고 각 관측 대상 지점들은 배경수질 관측, 오염원 관리, 지하수 수질 이력관리 및 함양지역 특성 관리 등 각각의 목적을 가지고 운영되고 있으며 운영방법과 주기, 항목들을 다르게 적용한다. 반면에 우리나라는 건설교통부에서 지하수 수량관리를 위해 고정식 관측소를 설치 운영중에 있으며, 환경부는 오염원 지역을 중심으로 개인관정을 활용한 지하수수질 측정망을 운영하고 있다. 수질측정은 매년 2회씩 동일한 측정항목을 반복하여 실시하고 있으며, 지하수법 규정에 의해 실시되고 있는 지하수관정의 정기적인 수질검사결과 정보를 수집하여 수질측정망과 연계하여 활용하고 있지는 못한 실정이다.

2. 오염특성 분석결과

가. 토양 및 지하수수질 측정망의 오염 특성

(1) 토양오염도 현황

(가) 토양측정망 오염도 현황

1) 토양측정망(토지용도별) 오염도 현황

환경부는 1987년도부터 매년 토양오염도를 상시측정하기 시작한 이후 2005년에는 총 1,500지점의 토양측정망을 운영하여 왔다. 측정항목은 카드뮴, 구리 등 중금속 및 유류, TCE, PCE 등 총 17종을 조사 분석하고 있으나, 토양중 이동성이 높은 유류, TCE, PCE를 대상으로하여 오염특성을 파악해 보았다.

[표2-1] 토양측정망(토지용도별) 평균오염도 현황 (단위 : mg/kg)

구 분	지점수	유 류		TCE	PCE
		BTEX	TPH		
전국평균	1500	0.021	5.153	0.000	0.009
임야	66	0.000	0.000	0.000	0.000
답	125	0.000	0.000	0.000	0.000
전	82	0.000	0.000	0.000	0.000
과수원	51	0.000	0.000	0.000	0.000
목장용지	54	0.000	0.000	0.000	0.000
잡종지	73	0.103	5.341	0.000	0.000
대 지	253	0.000	5.880	0.000	0.000
공장용지	162	0.000	4.163	0.000	0.013
학교용지	252	0.000	0.000	0.000	0.000
공 원	53	0.000	0.000	0.000	0.000
체육용지	154	0.000	0.000	0.000	0.000
유원지	35	0.000	0.000	0.000	0.000
도 로	70	0.071	5.411	0.000	0.000
철도용지	35	0.000	3.540	0.000	0.000
하천부지	35	0.000	0.000	0.000	0.000

2005년도 토양측정망 운영결과[표2-1], 공장용지 등 15개 토지용도별로 유류, TCE, PCE의 오염도 현황은 공장용지가 평균농도 TPH 4.163mg/kg, PCE 0.013mg/kg이며, 비오염지역인 유원지·공원 등에서 TPH, PCE가 각각 검출되지 않는 것은 일반적으로 공단지역에 각종 오염물질 배출원이 많이 밀집하여 있는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

2) 토양측정망(토지용도별) 유류, TCE, PCE 검출지점 현황

유류, TCE, PCE의 검출지점만 보면[표2-2], 대지의 경우 TPH 검출지점이 40지점, 평균농도는 37.192mg/kg이며, 공장용지에서 TPH 검출지점이 27지점, 평균농도 23.112mg/kg에 비해 대지의 오염지점이 더 많았다.

다만, 공장용지에서는 토지용도 특성상 다양한 공장들이 위치하고 있어 유류이외에 TCE, PCE 등 오염물질이 검출되는 지점도 다수 있었다.

[표2-2] 토양측정망(토지용도별) 유류, TCE, PCE 검출지점 현황

(단위 : mg/kg)

토지용도별	지점수	구분	유류		TCE	PCE
			BTEX	TPH		
공장용지	29	최고	0.000	51.199	0.000	1.741
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	23.112	0.000	0.071
대지	40	최고	0.000	103.632	0.000	0.000
		최저	0.000	10.071	0.000	0.000
		평균	0.000	37.192	0.000	0.000
도로	12	최고	2.652	58.667	0.000	0.000
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	1.241	31.565	0.000	0.000
철도용지	4	최고	0.000	36.054	0.000	0.000
		최저	0.000	26.620	0.000	0.000
		평균	0.000	30.977	0.000	0.000
잡종지	14	최고	3.823	81.674	0.000	0.000
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	1.497	27.851	0.000	0.000

대지중에서 유류(TPH)가 검출된 지점은 [표2-3]과 같이 총 40지점이며, 이 가운데 관공서가 10지점, 아파트단지 등 공동주택의 정원 등이 23지점으로서 토지용도별 대지의 선정기준인 대규모 주거지 선정에 부합 여부, 관공서나 공동주택의 정원에서 TPH가 검출되는 원인을 파악해 보는 것이 필요하다.

[표 2-3] 토양측정망(대지) 유류 검출지점 세부현황

(단위 : mg/kg)

연번	지점번호	토지 용도	조사지점 위치(지번)	BTEX	TPH
1	RK-01	대지	광주 서구 화정동 621	0.000	15.343
2	RK-46	대지	광주 북구 운암동 318(운암주공 3단지)	0.000	10.071
3	RK-13	대지	광주 광산구 도산동 1077-1 우미 (APT)	0.000	45.053
4	RK-15	대지	광주 남구 주월1동 1186 장미(APT)	0.000	20.319
5	RK-21	대지	구례군 구례읍 백련리 575 명지아파트	0.000	24.565
6	RK-22	대지	나주시 삼영동 355 나주부영 1차(APT)	0.000	43.189
7	RK-24	대지	담양군 담양읍 백동리 100 청전(APT)	0.000	65.810
8	RK-41	대지	북제주군 조천읍 조천리 2337-2	0.000	25.600
9	PK-01	대지	부산시 부산진구 범천동 864	ND	66.687
10	PK-02	대지	부산시 동래구 온천2동 럭키동래(아) 10동	ND	103.632
11	PK-03	대지	부산시 북구 덕천동 365-11	ND	31.355
12	PK-04	대지	부산시 남구 남천2동 삼익비치맨션 107동	ND	55.990
13	PK-05	대지	울산시 삼산동 1605-3 (현대문화아파트)	ND	51.681
14	PK-12	대지	울산시 남구 황성동 600(선경기숙사)	ND	49.857
15	PK-15	대지	거제시 서정리 745-1(한신계룡맨션)	ND	22.298
16	PK-18	대지	김해시 외동 705(외동주공아파트)	ND	59.987
17	PK-19	대지	마산시 회원구 구암1동 20-7(코리아타코마)	ND	63.917
18	PK-20	대지	마산시 내서읍 중리 1036(동신2차APT)	ND	72.488
19	PK-21	대지	양산시 상북면 대성리 665(일양하이츠APT)	ND	16.696
20	PK-22	대지	진주시 상봉서동 800-1	ND	47.450
21	PK-23	대지	진해시 풍호동 83-3(우성아파트)	ND	65.853
22	PK-25	대지	통영시 봉평동 156-1(중우라이프)	ND	38.671
23	PK-26	대지	거창군 거창읍 상림리 367-3(현대아파트)	ND	37.533
24	PK-27	대지	고성군 고성읍 성내리 198(고성군청)	ND	37.575
25	PK-28	대지	산청군 산청읍 옥산리 465-2(산청군청)	ND	23.159
26	PK-29	대지	의령군 의령읍 중동리 261-1(의령군청)	ND	27.144
27	PK-30	대지	창녕군 창녕읍 교상리 28-17(읍사무소)	ND	37.148
28	PK-31	대지	함안군 가야읍 말산리 213(함안군청)	ND	19.014
29	PK-32	대지	함양군 함양읍 운림리 31-2(함양군청)	ND	21.354
30	PK-33	대지	합천군 합천읍 합천리 337(합천군청)	ND	19.465
31	PK-34	대지	부산시 사하구 하단동 1161(가락타운 1단지)	ND	15.601
32	PK-35	대지	울산시 북구 양정동 523(현대문화회관)	ND	40.942
33	PK-36	대지	울산시 온산읍 덕신리 326(한국제지㈜사택)	ND	23.292
34	PK-37	대지	김해시 부원동 623(김해시청)	ND	20.233
35	PK-38	대지	마산시 합포구 신포동 2가 54(삼익맨션)	ND	22.737
36	PK-39	대지	밀양시 교동 1000-1(밀양시청)	ND	49.083
37	PK-40	대지	사천시 별리동 427-1(삼천포청사)	ND	28.976
38	PK-41	대지	진해시 자은동 910(대동빌라트)	ND	25.012
39	PK-42	대지	창원시 대방동 37B 3N(대방동성아파트)	ND	23.408
40	PK-43	대지	창원시 팔용동 124-1(극동아파트)	ND	19.483

3) 토양측정망(토지용도별) 연도별 주요항목 오염도 변화 추이

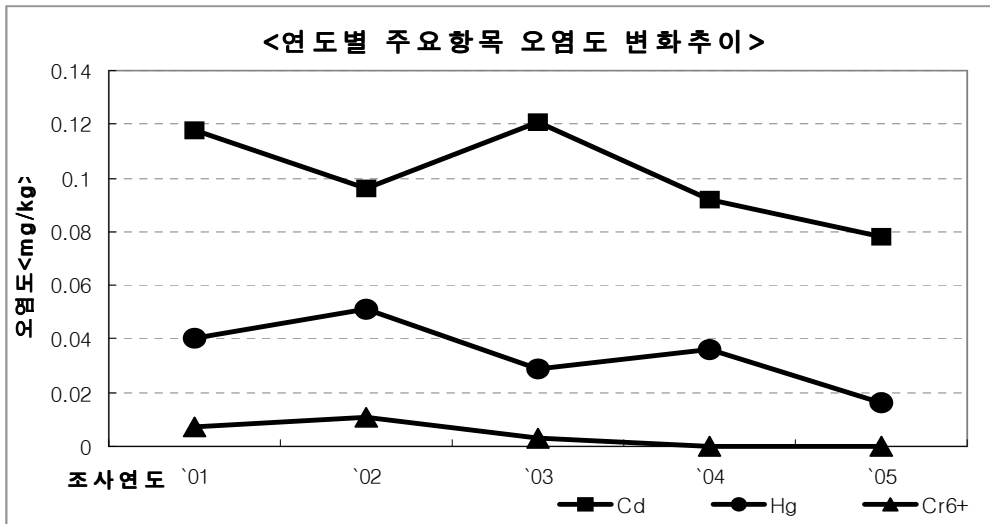
전국 평균 토양오염도는 전반적으로 매년 유사한 수준을 보이고 있으나, [표2-4]에서 항목별로는 Cd, Cr⁶⁺, Hg의 오염도는 감소하는 추세로서, 카드뮴(Cd)의 경우에 0.118mg/kg('01년)에서 0.078mg/kg('05년)으로 감소하였으며, 6가크롬(Cr⁶⁺)은 0.007mg/kg('01년)에서 0.000mg/kg('05년)로 감소하였다. 또한, 수은(Hg)은 0.040mg/kg('01년)에서 0.016mg/kg('05년)로 감소하였다.

[표2-4] 연도별 토양오염도 변화현황

(단위 : mg/kg)

구분	연도	Cd	Hg	Cr ⁶⁺
평균	'01	0.118	0.040	0.007
	'02	0.096	0.051	0.011
	'03	0.121	0.029	0.003
	'04	0.092	0.036	0.000
	'05	0.078	0.016	0.000

[그림2-1] 연도별 토양중 중금속등 주요항목 오염도 변화 추이



(나) 토양오염실태조사 평균오염도 현황

시·도지사는 관내 토양오염우려지역에 대해서 매년 토양오염실태조사를 실시하고 있으며, 측정항목은 카드뮴, 구리 등 중금속 및 유류, TCE, PCE 등 총 17종을 조사 분석하고 있으나, 토양중 이동성이 높은 유류, TCE, PCE를 위주로 오염특성을 파악해 보았다. 오염실태조사결과 토양오염도 현황[표2-5]은 교통관련시설지역에서 유류중 TPH의 평균농도가 가장 높은 444.107mg/kg, 공단주거지역에서 49.752mg/kg, 공장 및 공업지역에서 47.520mg/kg 순으로 높았고, BTEX는 공장 및 공업지역이 평균농도가 가장 높은 14.316mg/kg, 금속제련소지역이 0.349mg/kg, 어린이놀이터가 0.251mg/kg 순이었고, TCE, PCE는 기타 토지개발지역에서만 각각 0.003mg/kg를 보이고 있다.

[표2-5] 토양오염실태조사지역별 토양오염도 현황

(단위 : mg/kg)

구 분	지점수	유 류		TCE	PCE
		BTEX	TPH		
전국평균	2,402	4.591	85.887	0.001	0.000
공장 및 공업지역	683	14.316	47.520	0.001	0.000
공장폐수 유입지역	92	0.000	8.856	0.000	0.000
원광석·고철 야적등 지역	85	0.040	0.750	0.000	0.000
금속제련소 주변지역	27	0.349	0.000	0.000	0.000
폐기물적치·매립·소각등 지역	443	0.152	23.939	0.000	0.000
금속광산 주변지역	228	0.000	0.000	0.000	0.000
교통관련 시설지역	186	0.212	444.107	0.000	0.000
사고발생 민원유발등지역	97	0.052	54.149	0.000	0.000
기타토지 개발등지역	251	0.005	9.968	0.003	0.003
공단 주거지역	121	0.049	49.752	0.000	0.000
어린이 놀이터지역	189	0.251	6.021	0.000	0.000

반면에 토양오염실태조사지역의 유류, TCE, PCE의 검출지점[표2-6]을 보면, 금속광산주변지역에서 BTEX가 1지점, 폐기물적치·매립·소각지역은 가장 많은 165지점, 공장 및 공업지역에서 123지점, 교통관련시설지역에서 56지점이 검출되고 있어, 대부분 조사목적에 부합되는 지점에서 오염실태조사가 이루어진 것으로 보이나, 금속광산 주변지역의 영향권에 대한 조사항목으로 BTEX를 실시한 것과 BTEX가 검출된 것은 당초 오염실태 조사 목적에 부합되지 않는다고 볼 수 있다.

[표2-6] 토양오염실태조사지역별 유류, TCE, PCE 검출지점 현황

(단위 : mg/kg)

토지용도별	지점수 (415)	구분	유류		TCE	PCE
			BTEX	TPH		
공단주변 주거지역	8	최고	1.000	240.000	0.000	0.000
		최저	0.000	112.700	0.000	0.000
		평균	0.310	191.900	0.000	0.000
공장 및 공업지역	123	최고	6,230.000	1,978.912	0.631	0.000
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	71.287	133.470	0.011	0.000
공장폐수 유입지역	3	최고	0.000	140.418	0.005	0.000
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	64.944	0.002	0.000
교통관련 시설지역	56	최고	15.000	24,137.900	0.000	0.000
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.711	1,151.388	0.000	0.000
금속광산 주변지역	1	최고	0.010	0.000	0.000	0.000
		최저	0.010	0.000	0.000	0.000
		평균	0.010	0.000	0.000	0.000
금속제련 소주변지역	3	최고	0.805	0.000	0.000	0.000
		최저	0.380	0.000	0.000	0.000
		평균	0.581	0.000	0.000	0.000
기타토지개발 등 지역	29	최고	0.500	182.900	0.108	0.228
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.028	36.682	0.014	0.017
사고발생민원 유발 등 지역	12	최고	1.155	1,383.163	0.000	0.000
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.279	221.109	0.000	0.000
어린이 놀이터지역	14	최고	5.800	212.400	0.000	0.000
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	1.530	30.107	0.000	0.000
원광석·고철 야적지역	1	최고	0.800	12.000	0.000	0.000
		최저	0.800	12.000	0.000	0.000
		평균	0.800	12.000	0.000	0.000
폐기물적치· 매립·소각지역	165	최고	5.600	611.915	0.073	0.066
		최저	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.549	48.508	0.002	0.001

(다) 토양측정망 및 토양오염실태조사의 시사점

1) 조사대상지점 선정

토양측정망 조사지점은 토지용도별로 장기적인 토양오염의 추세파악을 목적으로 조사를 하고 있어 실제적으로 토지용도에 맞게 이용되고 있는 지점을 선정하여야 할 것이다. 토지용도상 대지에서 TPH의 검출지점이 40지점으로 공장용지 27지점 보다 많은 것은 대지의 경우에 유류(TPH) 사용의 증가 등으로 오염 요인이 증대될 여지가 있다고 하더라도, 주거전용지역내 대지의 선정기준과는 달리 관공서 등을 선정하거나 아파트 등 공동주택 정원 등에서 공장용지보다 TPH에 더 많이 오염되고 있는 것은 조사지점 선정 과정이나 오염원인에 대한 규명이 필요하며, 토지용도별로 장기적인 오염추세를 조사하는 토양측정망 운영 목적에 부적절하다고 볼 수 있다.

2) 조사항목

토양측정망 운영결과 조사항목의 오염도 변화추이를 보면 중금속에서 Cu, As, Pb은 매년 비슷한 오염도 수준이고, Cd, Cr⁶⁺, Hg은 오염도가 감소하는 추세로 있어, 조사대상지역에 따라서는 이들 항목의 조사주기를 매년 1회에서 2~3년에 1회로 변경하는 것으로 조정하는 대신에 토양오염의 가능성이 높고 지하수 오염의 우려가 있는 유기화학물질류 등을 새롭게 조사하는 방안이 필요한 것으로 판단되며, 토양오염실태조사시 유류오염지점을 금속광산주변지역으로 분류한 것은 개선할 필요가 있다고 할 수 있다.

3) 자료관리 시스템

토양측정망 및 토양오염실태조사의 토양오염도 자료는 토양지하수정보시스템(SGIS)을 통하여 조사지점별로 오염추세 파악 등을 하고 있으나 토양오염과 관련하여 조사한 농림부, 산업자원부 등 관계기관에서 실시한 각종 토양오염도, 오염원 자료들도 SGIS에 추가함으로써 토양오염의 원인과 토양오염으로 인한 농작물, 지하수 수질오염 등과 연계 분석이 가능하도록 할 필요가 있다.

(2) 지하수수질 측정망 오염도 현황

(가) 조사대상지역별 초과현황

1) 오염우려지역

2005년 지하수수질 측정망 운영결과 오염우려지역별로는 공단지역의 경우는 TCE가 10건(3.0%), PCE가 6건(1.8%)이 초과[표2-7]하였으며, 도시주거지역에서 TCE가 5건(1.6%), PCE가 1건(0.3%) 초과한 것을 포함하여 다른 오염우려지역에서 TCE, PCE가 초과하지 않은 것에 비해서 TCE, PCE의 초과율이 월등하게 높아 각종 오염원 배출시설이 밀집되어 있는 공단지역의 지하수오염이 높은 것을 알 수 있다. 다만, 도시주거지역에서도 유기용제인 TCE, PCE의 초과지점이 많은 특징을 보였다.

[표2-7] 지하수오염우려지역별 초과건수 현황('05년 상반기, 하반기 합계)

(단위 : 건수)

지역	조사 시료 (A)	초과 시료(B)	초과율 (%)(B/A)	초과항목별 건수						
				계	TCE	PCE	일반 세균	NO ₃ -N	Cl ⁻	
계	1,460	82	5.6	93	16	7	41	18	11	
영농	농업용수사용지역	93	4	4.3	4	-	-	2	2	-
	농작물주산단지	24	4	16.7	4	-	-	3	1	-
수질	오염우려하천	111	7	6.3	7	-	-	5	-	2
	공단지역	332	16	4.8	20	10	6	2	-	2
폐기 물	일반폐기물매립지역	183	9	4.9	9	-	-	5	4	-
	지정폐기물매립지역	57	3	5.3	4	-	-	-	2	2
	금속광산지역	58	2	3.4	2	-	-	1	1	-
	분뇨처리장인근지역	65	7	10.8	9	-	-	5	4	-
기타 지역	주민건강조사지역	25	2	8.0	2	1	-	1	-	-
	유원지 및 공원	67	4	6.0	4	-	-	4	-	-
	골프장 지역	66	3	4.5	3	-	-	3	-	-
	도시주거지역	310	14	4.5	18	5	1	6	2	4
	저장탱크지역	69	7	10.1	7	-	-	4	2	1

※ Cd, As, CN, Hg, 유기인, Pb, 페놀, 6가크롬, 1,1,1-TCE, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, PH, 등은 초과실적 없음

반면에 지하수오염우려지역의 유류, TCE, PCE의 검출지점을 보면[표2-8], '05년 상반기 조사결과 유류인 BTEX는 공단지역에서 검출지점이 2지점, 도시주거지역은 2지점이며, TCE의 경우는 공단지역에서 검출지점이 77지점, 도시주거지역은 35지점이고, PCE의 경우는 공단지역에서 검출지점이 22지점, 도시주거지역에서 6지점이다. '05년 하반기 조사결과 공단지역에서 유류인 BTEX 검출지점은 없으나, 도시주거지역은 1지점이며, TCE의 경우는 공단지역에서 검출지점이 34지점, 도시주거지역은 15지점이고, PCE의 경우는 공단지역에서 검출지점이 10지점, 도시주거지역에서 4지점이다. 전체 조사지점수 대비 검출율을 비교하면 공단지역은 35.8%, 도시주거지역은 19.4%를 차지하여 공단지역이 도시주거지역보다 약 2배 가까이 많이 검출되었다. 다만, 도시주거지역에서 TCE, PCE 등의 검출지점이 공단지역을 제외한 다른 지역보다 많은 것은 도심에서도 세탁소나 소규모 공장 등에서 많이 사용되는 유기용제류가 과거에 하수관거 부실 등으로 인하여 누적된 오염으로 추정되나, 조사지점 주변의 오염원에 의한 가능성을 배제할 수 없기 때문에 주변 오염원 여부 조사가 추가적으로 필요하다.

[표2-8] 지하수 오염우려지역별 유류, TCE, PCE 검출건수 현황

(단위 : 건수)

지역	시료수 검출/전체	검출건수		BTEX		TCE		PCE	
		상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기
공단지역	119/332	83	36	2	0	77	34	22	10
도시주거지역	60/310	41	18	2	1	35	15	6	4

2) 일반지역

2005년 지하수수질 측정망 운영결과 일반지역 전체 2,418건(연 2회)중 수질기준 초과건수는 69건에 초과율은 2.9%이지만, TCE, PCE, 유류가 초과한 건수는 없었다. 하지만, 일반지역에서 TCE, PCE, 유류가 검출된 건수현황 [표2-9]을 보면, 전체 183건수에서 이들 오염물질이 검출되었으며, 전체 조사지점수 대비 검출율을 비교하면 7.6%를 차지해 오염우려지역의 도시지역 19.4% 보다 적었다.

다만, 조사지점이 당초 목적인 도시, 농림, 자연환경보전지역으로 분류되어 있지 않아 지역별 분류는 할 수 없었다. 또한, 도시지역의 경우 오염우려지역의 도시주거지역과의 구분, 농림지역과 오염우려지역의 영농지역과의 구분, 자연환경보전지역과 오염우려지역의 유원지 및 공원지역과의 구체적인 구분기준이 없어 조사지역의 특성을 분류하는 의미가 미흡하다고 보인다.

[표2-9] 지하수수질 측정망중 일반지역 유류, TCE, PCE 검출건수 현황
(단위 : 건수)

지역	시료수 검출/전체	검출건수		BTEX		TCE		PCE	
		상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기
일반지역	183/2,418	118	65	69	39	41	21	14	8

(나) 지하수측정망의 시사점

1) 조사대상지점 선정

지하수측정망은 오염우려지역별로 장기적인 지하수오염의 추세파악을 목적으로 선정된 지점으로서 실질적으로 오염원에 따른 영향을 받을 가능성이 높은 지점에 대해 지속적인 조사가 가능하도록 지하수관정을 설치하여야 한다. 그러나, 개인이나 공공기관에서 용수이용 목적으로 설치한 지하수관정을 조사지점으로 선정할 수 밖에 없는 현실적 제약으로 인해 조사가 필요한 적정 지점을 선정하지 못함에 따른 위치의 부적정함이나, 수질기준 초과시 행정처분 또는 관정설치자 스스로에 의해 지하수관정 폐쇄, 사용중지 등을 함에 따른 지속적인 수질 조사가 불가능한 경우가 발생한다.

2) 조사항목

지하수수질 측정망의 조사항목이 용수목적에 따른 수질기준 항목 위주로 실시하고 있어 공업용수는 BTEX(벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌)를 제외하고 있으나, 공단지역은 유류 사용량이 많은 공장이 밀집한 지역의 특성상 공단지역내의 공업용수일지라도 BTEX(4개 항목)의 오염여부를 파악할 필요가 있다.

또한, 토양중에서 흡착성이 높아 지하수에서 검출되거나 또는 수질기준 초과지점이 거의 없는 중금속 항목의 측정주기를 년 1회로 축소하고 대신에 외국의 경우와 같이 토양중에 이동성이 높아 지하수 오염의 가능성이 높은 다양한 유기용제류(VOCs), 유류물질(MTBE 등) 등의 측정항목을 확대하는 방안이 필요하다.

3) 조사지역 분류

시·도에서 조사하는 일반지역과 환경부에서 조사하는 오염우려지역의 구분이 명확하지 않은데, 도시지역과 도시주거지역, 농림지역과 영농지역, 자연환경보전지역과 유원지 및 공원지역은 조사대상지역의 오염유형 특성이 비슷하다고 볼 수 있어 조사지역을 분류하는 의미가 미흡하다.

4) 자료관리 시스템

지하수수질 측정망 오염결과를 분석함에 있어 조사지점의 수질기준 초과여부를 주요 판단근거로 하고 있으나, 지하수수질 측정망 운영지점의 지속적인 오염도 변화추세 파악이 필요하며, 토양지하수정보시스템(SGIS)을 통해 지속적인 자료관리와 새로운 오염물질의 검출, 오염도 변화가 큰 오염물질 등에 대한 지하수 오염원 관리나 지하수오염 정화 등의 대책이 마련될 필요가 있다.

한편, 지하수법 제20조 규정에 의거 신고 또는 허가대상 모든 지하수관정은 정기적인 수질검사를 받고 있음에도 주변에 이들 지하수 관정의 수질검사 자료를 연계하여 활용하지 못하고 있는 실정으로서 향후에는 이들 지하수관정의 수질검사 자료를 수집하여 SGIS에 반영함으로써 지하수수질 측정망과 연계 분석하는 등 지하수수질 관리를 위한 효율적인 자료 관리가 필요하다.

(3) 토양 및 지하수수질 측정망의 오염 상관성 분석

(가) 토양 및 지하수질 기준 초과지점 현황

2005년도 토양 및 지하수수질 측정망 운영결과 오염물질별로 토양오염우려기준, 지하수수질기준 초과현황을 분석 비교[표2-10] 해보면, 토양측정망(토양오염실태조사 포함) 및 지하수수질 측정망에서 상호간 오염물질 검출의 상관성은 없는 것으로 보인다.

[표2-10] 2005년 토양 및 지하수 측정망 오염물질별 기준초과 현황

오염물질	토양측정망 (오염실태조사)	지하수수질 측정망
중금속	광산지역을 중심으로 토양오염(오염실태조사)	초과지점 없음
TCE, PCE	초과지점 없음	23개 지점 (공단, 도시주거지역)
TPH	3개 지점(오염실태조사)	조사안함
BTEX	2개 지점(오염실태조사)	초과지점 없음

※ 토양측정망은 토양오염우려기준 초과지점 없음

※ 오염물질별로 토양오염우려기준과 지하수수질기준은 상이함

이 결과에 의하면, 토양측정망 운영결과는 토양 표층부에서 중금속 물질의 축적이나 토양중 자연 함유되어 있는 중금속 물질이 문제가 되며 지하수층에서는 물질의 이동성이 뛰어난 TCE, PCE 등이 문제가 되고 있는 것으로 파악할 수 있다.

따라서, 토양측정망은 중금속에 대해 어느 정도 오염여부와 변화추이를 판단할 수 있는 도구로 사용될 수 있지만 유기오염물질류에 대해서는 오염정도를 파악하기 어려운 것으로 보여지며, 지하수수질 측정망은 중금속에 대한 오염여부와 변화추이를 위한 판단 도구로 사용하기가 곤란한 것으로 보인다.

이는 토양측정망과 지하수수질 측정망의 토양오염우려기준 및 지하수수질기준 초과 여부만으로 토양오염과 지하수오염의 상호간 오염연계성을 파악하기는 더욱이 곤란한 것으로 판단된다.

(나) 토양 및 지하수수질 측정망중 유류, TCE, PCE 검출현황

토양 및 지하수수질 측정망에서 유류, TCE, PCE의 검출지점 현황[표2-11], [표2-13]을 보면 토양측정망에서 공단지역인 공장용지에서 29지점(전체 조사지점 대비 17.9%)이 검출[표2-12] 되었고, 대부분인 26지점은 유류(TPH)가 차지하고 있다. 반면에 지하수수질 측정망에서는 TCE, PCE가 검출된 것이 81지점[표2-14]으로 거의 대부분을 차지하고 BTEX는 2지점이었다.

[표2-11] 토양측정망중 공장용지, 대지의 유류, TCE, PCE 검출지점 현황

(단위 : mg/ℓ)

토지용도	지점수 검출/전체	검출율 (%)	구분	유류		TCE	PCE
				BTEX	TPH		
공장용지	29/162	17.9	최고	0.000	51.199	0.000	1.741
			최저	0.000	0.000	0.000	0.000
			평균	0.000	23.112	0.000	0.071
대지	40/253	15.8	최고	0.000	103.632	0.000	0.000
			최저	0.000	10.071	0.000	0.000
			평균	0.000	37.192	0.000	0.000

[표2-12] 토양측정망중 공장용지의 유류, TCE, PCE 검출지점 세부 현황

(단위 : mg/ℓ)

연번	지점 번호	고 유 명 칭	조사지점위치(지번)	유 류		TCE	PCE
				BTEX	TPH		
1	PP-04	죽도산단	거제시 신현읍 장평리 삼성중공업	ND	32.225	0.000	0.000
2	PP-05	옥포산단	거제시 아주동 대우중공업	ND	31.395	0.000	0.000
3	PP-09	장림산단1	부산시 사하구 다대동 부산정기㈜	ND	23.629	0.000	0.000
4	PP-11	장림산단2	부산시 장림동 제일제당㈜2공장	ND	19.741	0.000	0.000
5	PP-12	삼성전관㈜	울산시 삼남면 가천리 삼성전관㈜	ND	25.392	0.000	0.000
6	PP-13	안동산단	김해시 삼방동 ㈜비락	ND	24.040	0.000	0.000
7	PP-14	창원산단1	창원시 성주동 삼성항공2공장	ND	24.605	0.000	0.000
8	PP-15	창원산단2	창원시 웅남동 효성EBARA	ND	20.362	0.000	0.000
9	PP-16	명지녹산산단	부산시 강서구 송정동 삼성전기㈜내	ND	25.159	0.000	0.000
10	PP-17	신호산단	부산시 신호동 르노삼성자동차㈜내	ND	23.636	0.000	0.000

11	PP-18	마포산단1	울산시 남구 고사동 SK(주)	ND	38.372	0.000	0.000
12	PP-19	마포산단2	울산시 북구 양정동 현대자동차(주)	ND	22.481	0.000	0.000
13	PP-20	온산산단	울산시 온산읍 처용리 대한유화(주)	ND	22.445	0.000	0.000
14	PP-21	자유무역지역	마산시 양덕동 자유무역지역관리원	ND	27.045	0.000	0.000
15	PP-22	사천진사산단	사천시 사남면 한국항공우주산업(주)	ND	26.129	0.000	0.000
16	PP-23	어곡산단	양산시 어곡지방산단 오·폐수처리장	ND	22.073	0.000	0.000
17	PP-24	유산산단	양산시 유산동 고려제강(주)유산공장내	ND	29.724	0.000	0.000
18	PP-25	진주상평산단	진주시 상평동 (주)카리스소프트	ND	51.199	0.000	0.000
19	PP-26	진해국가산단	진해시 원포동 대동조선(주)내	ND	32.217	0.000	0.000
20	PP-27	마천산단	진해시 남양동 진해마천지방산단	ND	30.065	0.000	0.000
21	PP-28	칠서산단	함안군 칠서지방산단 폐수종말처리장	ND	31.871	0.000	0.000
22	RP-11	여천산단 5	여주시 평여동 제일모직	0.000	0.000	0.0000	0.1016
23	RP-12	여천산단 6	여주시 화치동 LG화학	0.000	12.377	0.0000	0.0000
24	RP-18	초남산단	광양시 광양읍 초남리 미주산업	0.000	34.298	0.0000	0.0000
25	RP-21	하남산단2	광산구 안창동 동원산업(주)	0.000	17.698	0.0000	0.0000
26	RP-23	평동산단1	광산구 용동 소망식품	0.000	10.095	0.0000	0.0000
27	RP-28	첨단산단1	북구 월출동 970-3	0.000	11.989	0.0000	0.0000
28	RP-31	여천산단7	여주시 월하동 한국화인케미칼	0.000	0.000	0.0000	1.7411
29	RP-32	대불산단2	영암군 삼호면 나불리 339-2	0.000	0.000	0.0000	0.2105

[표2-13] 지하수 측정망 공단, 도시주거지역의 유류, TCE, PCE 검출지점 현황
(단위 : mg/ℓ)

오염우려지역	지점수 검출/전체	검출율	구분	BTEX	TCE	PCE
공단지역	83/167	49.7	최고	0.006	1.304	0.157
			최저	0.000	0.001	0.002
			평균	0.000	0.074	0.022
도시주거지역	41/155	26.4	최고	0.023	0.566	0.081
			최저	0.000	0.001	0.003
			평균	0.001	0.038	0.017

※ '05년 상반기 검출지점을 기준

[표2-14] 지하수수질 측정망중 공단지역의 유류, TCE, PCE 검출지점 세부현황
(단위 : mg/ℓ)

연번	지점코드	위 치	BTEX	TCE	PCE
1	FC0301	전북도 익산시 영등동 191-16	0.000	0.100	불검출
2	FC0303	전북도 익산시 신흥동 827-7	0.000	0.058	불검출
3	FG0202	서울시 구로구 구로동 1124-1	0.000	0.037	불검출
4	FG0202	서울시 구로구 구로동 1124-1	0.000	1.304	0.042
5	FG0301	경기도 성남시 중원구 상대원1동 513-22	0.000	0.026	불검출
6	FG0401	경기도 평택시 모곡동 440-1	0.000	0.011	불검출
7	FG0403	경기도 평택시 모곡동 433-9	0.000	0.003	불검출
8	FG0501	경기도 안산시 원시동 779-9	0.000	0.023	0.005
9	FG0501	경기도 안산시 원시동 779-9	0.000	0.389	불검출
10	FG0502	경기도 안산시 원시동 770-2	0.000	0.022	0.005
11	FG0502	경기도 안산시 원시동 770-2	0.000	0.023	불검출
12	FG0601	경기도 안산시 성곡동 647-2	0.000	0.005	불검출
13	FG0602	경기도 안산시 성곡동 616	0.000	불검출	0.003
14	FG0702	경기도 안산시 원시동 776-6	0.000	0.027	불검출
15	FG0903	인천시 남동구 남촌동 627-6	0.000	0.008	0.007
16	FG1001	인천시 부평구 청천2동 411-1	0.000	0.042	불검출
17	FG1002	인천시 부평구 청천2동 414-3	0.000	0.855	불검출
18	FG1102	경기도 안성시 신건지동 59	0.000	0.004	불검출
19	FG1102	경기도 안성시 신건지동 59	0.000	0.015	불검출
20	FG1202	경기도 안성시 대덕면 소현리 420	0.000	0.021	불검출
21	FG1301	경기도 안성시 신건지동 60-1	0.000	0.005	불검출
22	FG1303	경기도 안성시 대덕면 신건지동 55	0.000	0.020	불검출
23	FG1303	경기도 안성시 대덕면 신건지동 55	0.000	0.050	불검출
24	FH1203	강원도 춘천시 후평동 622-1	0.000	0.006	불검출
25	FH1203	강원도 춘천시 후평동 622-1	0.000	0.012	불검출
26	FK0101	대전시 대덕구 대화동 169	0.000	0.010	불검출
27	FK0103	대전시 대덕구 대화동 63-35	0.000	0.034	0.010
28	FK0103	대전시 대덕구 대화동 63-35	0.000	0.035	0.006

29	FK0202	충북도 청주시 흥덕구 송정동 150	0.000	0.008	불검출
30	FK0202	충북도 청주시 흥덕구 송정동 150	0.000	0.019	불검출
31	FK0203	충북도 청주시 흥덕구 송정동 140-34	0.000	0.152	0.030
32	FK0203	충북도 청주시 흥덕구 송정동 140-34	0.000	0.107	0.019
33	FK0301	충북도 청주시 흥덕구 봉명동 365-1	0.000	0.001	불검출
34	FK0302	충북도 청주시 흥덕구 송정동 140-40	0.000	0.709	0.087
35	FK0302	충북도 청주시 흥덕구 송정동 140-40	0.000	0.742	0.157
36	FK0303	충북도 청주시 흥덕구 복대동 555	0.000	0.004	불검출
37	FN0103	부산시 사상구 학장동 289-8	0.000	0.009	0.002
38	FN0103	부산시 사상구 학장동 289-8	0.000	0.011	0.003
39	FN0201	부산시 사상구 학장동 274-8	0.000	0.006	불검출
40	FN0201	부산시 사상구 학장동 274-8	0.000	0.017	불검출
41	FN0202	부산시 사상구 학장동 287-3	0.000	0.004	불검출
42	FN0202	부산시 사상구 학장동 287-3	0.000	0.028	0.010
43	FN0203	부산시 사상구 학장동 291-1	0.000	0.017	0.002
44	FN0203	부산시 사상구 학장동 291-1	0.000	0.006	불검출
45	FN0303	부산시 사상구 학장동 280-2	0.000	0.004	불검출
46	FN0303	부산시 사상구 학장동 280-2	0.000	0.008	불검출
47	FN0402	부산시 사하구 신평동 550	0.000	0.019	0.005
48	FN0402	부산시 사하구 신평동 550	0.000	0.014	0.004
49	FN0502	경남도 창원시 가음정동 391-2	0.000	0.016	불검출
50	FN0503	경남 창원시 가음정동 391-8	0.000	0.017	불검출
51	FN0503	경남 창원시 가음정동 391-8	0.000	0.006	불검출
52	FN0602	창원시 팔용동 24-7	0.000	0.002	불검출
53	FN0801	울산시 남구 황성동 313	0.000	0.003	불검출
54	FN0802	울산시 남구 황성동 308-1	0.000	0.003	0.005
55	FN0802	울산시 남구 황성동 308-1	0.000	0.022	불검출
56	FN0901	경남 마산시 회원구 양덕동 888-9	0.000	0.007	불검출
57	FN1001	경남 진주시 상평동 156	0.000	0.004	0.012
58	FN1301	경남 양산시 북정동 191	0.000	0.003	불검출
59	FN1303	경남 양산군 북정동 291-10	0.000	0.021	0.005

60	FN1303	경남 양산군 북정동 291-10	0.000	0.008	불검출
61	FN1403	울산시 울주구 삼남면 가천리 101	0.000	0.046	불검출
62	FT0101	경북도 구미시 공단동 300-11	0.000	0.002	불검출
63	FT0102	경북도 구미시 공단동 321-3	0.000	0.021	불검출
64	FT0102	경북도 구미시 공단동 321-3	0.000	0.020	불검출
65	FT0203	경북 구미시 구포동 628	0.000	0.026	불검출
66	FT0203	경북 구미시 구포동 628	0.000	0.034	불검출
67	FT0301	경북도 구미시 시미동 222	0.000	0.014	불검출
68	FT0301	경북도 구미시 시미동 222	0.000	0.011	불검출
69	FT0302	경북도 칠곡군 석적면 중리 구미3단지16B	0.000	불검출	0.052
70	FT0303	경북도 칠곡군 석적면 중동 12블록	0.000	0.002	불검출
71	FT0401	대구시 달성군 논공읍 북리 580-19	0.000	0.021	불검출
72	FT0402	대구시 달성군 논공읍 본리지 29-12	0.000	0.009	불검출
73	FT0501	경북도 김천시 용명동 360	0.000	0.045	불검출
74	FT0501	경북도 김천시 용명동 360	0.000	0.048	불검출
75	FT0902	3공단	0.000	0.058	불검출
76	FT1101	대구 달서구 갈산동 963-3	0.000	0.003	불검출
77	FT1203	대구시 서구 비산7동 2141-124	0.000	0.053	불검출
78	FT1203	대구시 서구 비산7동 2141-124	0.000	0.119	불검출
79	FW0103	강원도 원주시 우산동 1001	0.000	불검출	0.028
80	FW0103	강원도 원주시 우산동 1001	0.000	불검출	0.013
81	FW0301	충북도 충주시 목행동 457	0.006	불검출	불검출
82	FW0301	충북도 충주시 목행동 457	0.000	0.024	불검출
83	FW0303	충북도 충주시 용탄동 1	0.006	불검출	불검출

비록 토양측정망은 공단지역중 유류, TCE, PCE 오염물질의 초과지점이 없었지만, 지하수수질 측정망의 공단지역에서 TCE, PCE 등이 49.7%가 검출되고 토양측정망에서 공장용지(공단)에서 유류가 19.7% 검출된 것은 공단지역은 유류, TCE, PCE에 의한 토양오염과 지하수오염이 어느 정도 진행되고 있는 것으로 볼 수 있다. 다만, 앞으로 유류, TCE, PCE 등 이동성이 뛰어난 토양오염물질에 대해서는

토양측정을 통해 토양오염여부를 판단하는 것보다는 주변 지하수 수질측정 결과로서 지하수 오염여부를 먼저 파악하고 오염원의 존재여부를 판단하는 것이 효율적인 방안이라고 하겠다.

(다) 창원공단지역의 토양 및 지하수수질 측정망 오염 상관성

창원공단내 토양 및 지하수질 측정망 운영결과를 보면, 토양측정망이 설치된 2지점 모두에서 TPH가 검출[표2-15] 되었으나 토양오염우려기준 이내였으며, 2005년 지하수수질 측정망 상반기 조사결과의 경우 6지점중 3지점에서 TCE, PCE가 검출[표2-16] 되었으나 지하수수질기준 이내였고, 토양측정망과 지하수질 측정망의 위치가 동일하거나 유사한 지점도 없어 측정망을 통하여 토양오염과 지하수오염간에 상관성을 평가할 수는 없었다.

[표2-15] 2005년 토양측정망 창원공단지역 운영결과

(단위 : mg/kg)

조사지점 위치	토지	유류		TCE	PCE
		BTEX	TPH		
창원시 성주동 42 삼성항공2공장	공장용지	ND	24.605	0.000	0.000
창원시 웅남동 43-1 효성EBARA	공장용지	ND	20.362	0.000	0.000

[표2-16] 2005년 지하수수질 측정망 창원공단지역 운영결과

(단위 : mg/l)

조사지점 위치	용도	유류		TCE	PCE
		BTEX	TPH		
경남 창원시 성산동 76	생활	0.000	미분석	불검출	불검출
경남도 창원시 가음정동 391-2	생활	0.000	미분석	0.016	불검출
경남 창원시 가음정동 391-8	공업	미분석	미분석	0.017, 0.006	불검출
창원시 팔용동 24-22	공업	미분석	미분석	불검출	불검출
창원시 팔용동 24-7	생활	0.000	미분석	0.002	불검출
경남도 창원시 대원동 80-1	생활	0.000	미분석	불검출	불검출

※ 창원시 가음정동 391-8은 하반기 조사시 TCE가 0.006으로 검출

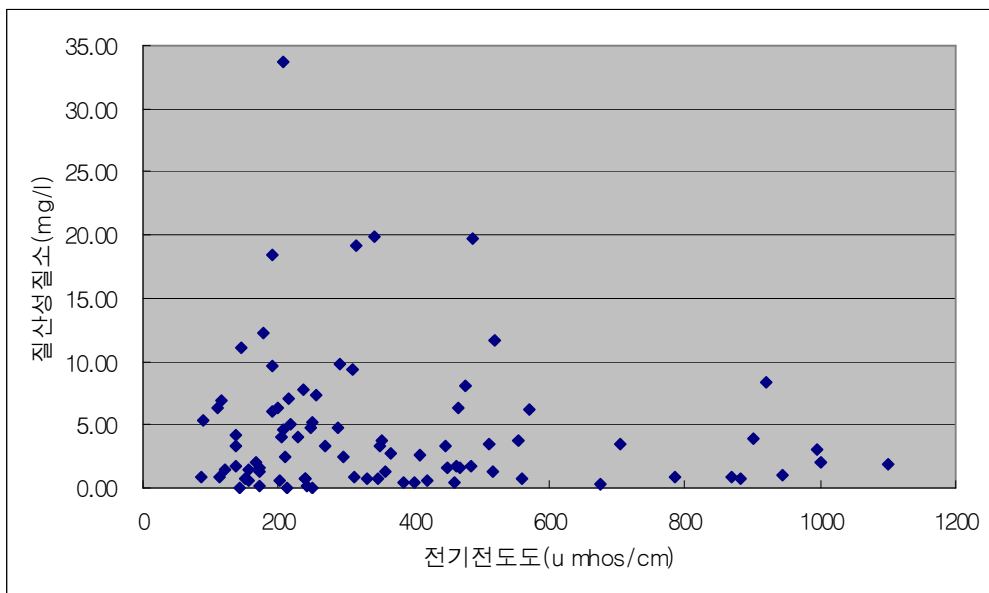
(4) 지하수수질 측정망의 질산성질소와 전기전도도 상관성 평가

지하수수질 측정망중 오염우려지역에 대해 조사하고 있는 전기전도도는 염류 이온물질 등 다양한 오염물질로 인한 지하수 수질을 개괄적으로 파악하기 위해 실시하고 있으며, 전기전도도 측정자료의 활용성을 제고하기 위해 지하수수질 측정망의 모든 지점에서 검출되는 질산성질소와 상관성을 평가해 보았다.

다만, 대상지역은 유류·유기용제 등의 오염가능성이 높은 공단지역과, 비료·분뇨 등의 질산성 오염가능성이 높은 영농지역에 대하여 비교 검토하여 활용성 여부를 검토하였다.

(가) 공단지역 지하수의 질산성질소와 전기전도도 상관성

공단지역은 유류, 유기용제 등 각종 산업체에서 배출되는 오염물질로부터 지하수오염의 영향을 받는 지역으로서, 2005년 상반기 지하수질 측정망 조사결과 전체 공단지역 332지점에 대한 전기전도도와 질산성질소 농도는 [그림2-2]와 같이 상관성을 보이고 있지는 못하고 있으며, 질산성질소 관련 오염물질보다는 다양한 영양염류 오염물질이 지하수에 유입되는 것에 기인하는 것으로 추정된다.

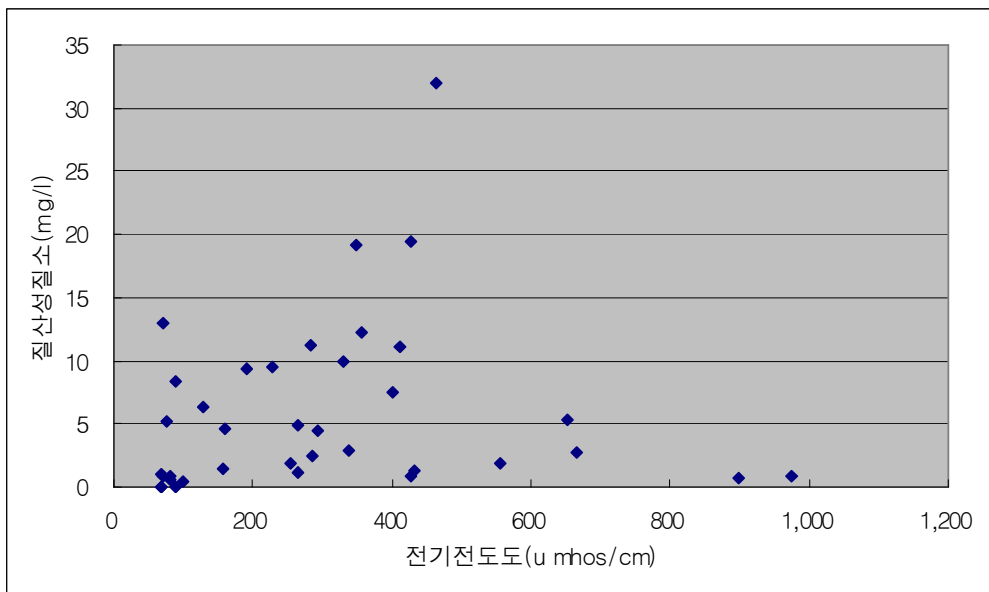


[그림2-2] 공단지역 지하수의 질산성질소와 전기전도도의 상관성

(나) 영농지역 지하수의 질산성질소와 전기전도도 상관성

영농지역은 비료, 분뇨, 퇴비, 축산폐수, 농약 등 각종 영농활동 과정에서 배출되는 오염물질로부터 지하수오염의 영향을 받는 지역으로서, 2005년 상반기 지하수수질 측정망 조사결과 전체 영농지역 117지점에 대한 전기전도도와 질산성질소 농도는 [그림2-3]와 같이 전체적으로는 상관성을 보이고 있지 못하나, 질산성질소 이외의 다른 영양염류 오염물질이 지하수에 혼입된 것으로 추정되는 지점을 제외하고는 전기전도도가 높을 수록 질산성질소의 농도가 높았다.

이는 영농지역의 경우에 지하수 오염요인이 대부분 질산성질소 오염과 일치하고 있는 것으로 보이며, 시설원예지 지하수중 전기전도도와 질산성질소 연구 결과(59쪽)에서도 전기전도도는 음이온인 NO_3^- , PO_4^{2-} 및 양이온인 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ 과 정의 상관성을 보이고 있다고 함에 따라 영농지역에서 전기전도도 측정자료의 활용 방안을 강구할 필요가 있다고 사료된다.



[그림2-3] 영농지역 지하수의 전기전도도와 질산성질소 상관성

나. 토양 및 지하수오염 연계 조사결과

(1) 산업단지(창원) 토양·지하수환경조사

창원산업단지에 대한 과학적이고 실증적인 토양지하수환경조사를 통해 오염현황을 파악하고 오염원인 규명 및 정화방안을 제시하고자 환경부(환경관리공단)에서 2006년에 조사를 실시하였다.

(가) 지역 개요

창원산업단지는 단지 조성 이전에는 대부분 논과 밭으로 사용되었으며, 조사결과 절토 및 성토 작업으로 부지를 조성한 후에 업체가 입주한 것으로 밝혀졌다.

현재 입주 업종은 조립금속, 1차 금속, 식품, 석유화학 순이고, 창원산업단지내에는 조립금속과 1차금속공업 관련업체가 가장 많이 위치해 있으며, 마산항 주변으로는 식품, 비철금속, 폐기물처리시설 등이 산재하여 위치하고 있다.

조사지역은 아연, 구리, 니켈과 같은 중금속과 유류 및 유기용제의 이동량과 사용량이 많은 것으로 조사되었고, 이러한 오염물질에 의한 토양오염 개연성이 높은 것으로 보인다.

(나) 오염도 조사 대상 시료채취 및 분석

토양의 경우 총 3회에 걸쳐 시료를 채취하였으며, 조사기간 동안 492개 지점에서 1,460개의 토양시료를 채취하였다. 효율적인 토양오염도 조사를 위해 1차조사에서 채취한 시료는 토양오염기준에 명시된 오염물질의 전 항목을 분석하였고, 2차조사와 3차조사에서는 기존조사 결과 확인된 오염물질 항목을 중심으로 분석하였다. 지하수의 경우 1차 토양오염도 조사결과를 바탕으로 토양과 연계된 자유면대수층의 조사를 목적으로 10개 지점에 관측정을 설치하였으며, 지하수수질측정망(암반대수층) 9개소와 연계하여 19개 지점에서 시료를 채취하였다. 2차조사에서는 토양오염도 결과 및 1차 지하수분석결과를 바탕으로 20개 지점에 관측공을 설치하였으며, 기존설치된 관측정 1개소를 개량, 보수하여 추가하여 총 31개소의 자유면대수층 시료와 기존 9개소의 암반대수층 시료를 채취하여 분석하였다. 3차조사

에서는 현재 사업장내에서 사용 중인 암반대수층 관정 7개소와 하천수 3개(상류, 중류, 하류)지점을 추가하여 총 50지점에서 시료를 채취하여 분석을 실시하였다.

(다) 토양지하수 오염 현황

토양오염도 조사결과 36개 지점의 토양시료에서 구리, 니켈, 납, 아연과 같은 중금속과 유류(TPH) 물질이 토양오염 우려기준 및 대책기준을 초과하였다.

토양시료를 채취한 492개 지점 중 중금속 물질은 20개 지점에서, 유류(TPH)물질은 16개 지점에서 토양오염 우려기준 또는 대책기준을 초과하였다. 중금속 물질의 경우 부품 및 생산품 적치장, 도금공장, 집진시설 등 주변이었으며, 유류 오염지역은 유류를 취급하고 있는 특정토양오염관리대상시설 주변 및 사용되던 유류저장시설 주변이었다.

지하수 수질오염 조사결과 50개 시료 중 자유면대수층 2개 지점에서 특정유해물질인 TCE, PCE가 지하수수질기준(공업용수)을 초과하였으며, 1개 지점에서 TPH, 벤젠, 에틸벤젠, 크실렌이 각각 지하수 정화기준과 지하수수질기준(생활용수)을 초과하였고, 1개지점에서 일반오염물질인 염소이온이 지하수수질기준(공업용수)을 초과하였다. 암반대수층의 경우 1개 지점에서 TCE 물질이 지하수수질기준(공업용수)을 초과한 것으로 나타났다. 매체별, 오염물질별 조사결과는 아래와 같다.

1) 토양

오염도조사는 3차에 걸쳐 수행하였으며, 1차조사에서 유류 및 기타물질이 우려기준 40% 이상인 지점을 대상으로 밀도를 높여 2차조사를 수행하였고, 오염의 개연성이 존재하거나 오염원인의 평가를 위한 지점에 대해 3차 조사를 실시하였다. 1차, 2차 조사결과 기준초과지역 및 3차 조사결과를 종합하여 [표2-17]에 있다.

조사결과, 토양오염은 TPH가 거의 대부분이며, 일부지점은 BTEX가 검출되고 있다. 그런데 TPH, BTEX가 검출된 지점의 경우에도 토양중에 TCE, PCE 물질이 검출된 지점은 없으며, 3차 토양조사시 2지점에서 TCE가 검출되었다.

[표2-17] 유류 및 기타물질에 의한 토양오염도 현황(1~3차 종합)

(단위 : mg/kg)

오염물질 우려기준(나지역)	TPH	BTEX	TCE	PCE
	2,000/5,000	80/200	40/100	24/60
조사지점				
총 계	18(14)	-	-	-
N석유	2,462	23.7	불검출	불검출
D중공업	1,817	불검출	불검출	불검출
	999	불검출	불검출	불검출
	2,811	0.7	불검출	불검출
	2,528	0.7	불검출	불검출
	2,740	불검출	불검출	불검출
(주)RT	6,224	불검출	불검출	불검출
	13,127	6.2	불검출	불검출
	2,213	불검출	불검출	불검출
	1,7156	27.6	불검출	불검출
	2,1905	9.8	불검출	불검출
ST	1,081	7.5	불검출	불검출
H철강	12,805	21.3	불검출	불검출
	16,614	6.8	불검출	불검출
	3,516	1.4	불검출	불검출
CM	1,888	불검출	불검출	불검출
	1,099	불검출	불검출	불검출
S금속	1,869	1.2	불검출	불검출
	1,462	불검출	불검출	불검출
	1,167	0.8	불검출	불검출
	1,031	불검출	불검출	불검출
D물산	998	불검출	불검출	불검출
	3,174	불검출	불검출	불검출
	9,050	불검출	불검출	불검출
	1,705	불검출	불검출	불검출
	1,337	불검출	불검출	불검출
M티아	1,762	0.8	불검출	불검출
	939	불검출	불검출	불검출
H합섬	892	불검출	불검출	불검출
S 코리아 3공장	미검사	불검출	0.25	불검출
	미검사	불검출	0.23	불검출
	미검사	불검출	0.17	불검출
	미검사	불검출	0.17	불검출
B스틸(주)	미검사	불검출	0.26	불검출

2) 지하수

지하수 수질오염조사는 자유면대수층 32개와 암반대수층 15개, 하천수 3지점으로 총 50개 지점에 대하여 2~3차례에 걸쳐 실시하였으며, 1차 관측정은 1차 토양오염도 조사결과를 바탕으로 토양내 오염물질이 우려기준 및 대책기준을 초과한 지점을 중심으로 수행하였고, 2차 관측정은 1차, 2차 오염도 조사결과 및 기존 오염지역 하류방향을 선정하여 조사를 수행하였다. 지하수수질오염 조사결과를 종합하여 [표2-18]에 나타내었다.

[표2-18] 지하수 오염현황

(단위 : mg/l)

구분 사업장	1차조사	2차조사	3차조사	비고
	오염물질 (공업용수기준)	오염물질 (공업용수기준)	오염물질 (공업용수기준)	
총 계				5개
1 N석유	TPH, BTEX	TPH, BTEX	TPH, BTEX	
2 B스틸(주)	Cl ⁻	-	Cl ⁻	
3 DM(주)	TCE	-	-	
4 J기술(주)	-	PCE	TCE	
5 S코리아 3공장	-	TCE	TCE, PCE	

※ TPH : 지하수수질 정화기준(1.5mg/L), BTEX : 지하수수질기준(생활용수)

지하수수질오염 조사결과 N석유는 유류인 TPH, BTEX물질이 3차례 모두 자유면대수층에서 검출되었고, 이는 유류물질에 의한 토양오염에 기인한 것으로 추정되며, 해안과 인접한 B스틸(주)의 경우에는 염소이온이 지하수수질(공업용수)기준을 초과하였으나, 인위적인 오염보다는 해안과 인접한 지형적인 영향이 큰 것으로 판단된다. DM(주)의 경우 1차조사시 기존 지하수수질측정망(환경부)에서 채취한 암반대수층의 지하수시료를 분석한 결과 TCE 물질이 수질기준을 초과하여, 주변 토양과 지하수와의 개연성을 조사하기 위하여 지하수수질측정망 주변에 신규 관측정을 착공하여 2차, 3차조사를 수행하였으며, 조사결과 지하수수질기준을 초과하

는 물질은 나타나지 않아 주변 토양오염에 의한 오염보다는 과거의 오염사고에 의한 오염인 것으로 추정된다. J기술(주)의 경우 1차조사시 지하수수질측정망(환경부) 암반대수층에서 TCE물질이 일부 검출되어 토양과의 개연성 조사를 위해 지하수수질측정망 주변에 관측정을 착공하여 대수층을 조사한 결과 TCE, PCE 물질이 지하수수질기준(공업용수)를 초과하였다. 또한, S코리아 3공장의 경우 신규 관측정을 설치하여 2차, 3차 지하수 오염도조사를 수행하였으며, 두 차례 모두 TCE, PCE 물질이 기준을 초과하였다. 이 지역의 경우 관측정 상부에 대한 추가조사를 실시하였으며, 토양내 TCE, PCE 물질이 소량 검출되어 토양과 지하수의 오염 개연성이 존재하는 것으로 판단되며, 인근지역에 오염원인이 존재할 가능성이 있는 것으로 추정된다.

(라) 오염원인 평가

1) 토양

금속, 1차 조립금속 등 사업장내 토양오염우려기준 및 대책기준을 초과한 유류 및 기타물질의 해당업체에서 발생한 오염물질과 오염원인을 추정한 결과는 다음의 [표2-19]와 같다.

[표2-19] 오염지역의 토양오염 물질 및 오염원인 추정

구분	업체명	오염물질	추정 오염원인
유	D요업(주)	TPH	특정토양오염관리대상시설에 의한 오염
	B스틸(주)	TPH	유류저장시설 취급 부주의
	N석유	TPH	특정토양오염관리대상시설에 의한 오염
	I주유소	TPH	유류간이취급기 관리소홀에 의한 오염
류	D중공업(주)	TPH	특정토양오염관리대상시설에 의한 오염
	(주)RT	TPH	과거 유류저장시설에 의한 오염
	H철강(주)	TPH	특정토양오염관리대상시설에 의한 오염
	D물산(주)	TPH	특정토양오염관리대상시설에 의한 오염
	M티아(주)	TPH	특정토양오염관리대상시설에 의한 오염

유류물질에 의한 토양오염은 사업장내 특정토양오염관리대상시설의 관리소홀에 의한 주유시 흘림, 유류탱크 및 배관의 노후, 부식에 의한 유류물질 누출, 과거 제철, 주물공정에 이용되는 로의 연료 공급을 위한 대형 송유관에 의한 주변토양 유

류오염으로 판단되며, 대부분의 오염원인은 오염지역내 해당사업장인 것으로 추정된다.

2) 지하수

사업장내 설치한 지하수관측정에서 지하수수질기준(공업용수)을 초과한 물질에 대한 오염원인을 제시한 결과는 [표2-20]과 같다.

[표2-20] 오염지역의 지하수 오염원인 비교

구분	업체명	오염물질	추정 오염원인	비고
자유면 대수층	N석유	TPH, 벤젠, 에틸벤젠, 크실렌	토양오염에 의한 지하수오염	-
	B스틸(주)	Cl ⁻	해수침투에 의한 영향	해안 인근
	J기술(주)	TCE, PCE	인근 토양오염에 의한 오염	-
	S코리아(주) 3공장	TCE, PCE	토양오염에 의한 오염	-
암반 대수층	DM(주)	TCE	과거 오염사고사례에 의한 오염	-

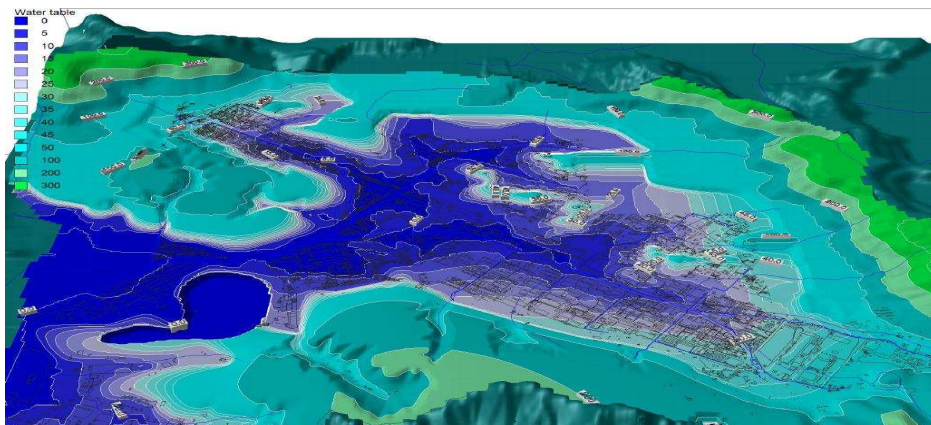
지하수수질기준을 초과한 지역은 총 5개 사업장으로 나타났으며, 지하수 오염지역에 대한 오염원인을 추정한 결과 N석유는 토양오염에 의한 유류물질의 오염으로 추정되며, B스틸(주)의 경우 해수침투에 의한 염소이온이 지하수수질기준(공업용수)을 초과한 것으로 판단된다. DM(주)의 경우 암반대수층에서 TCE 물질이 초과하였으나, 토양과 연계된 대수층의 조사결과 오염물질이 검출되지 않아 과거 오염사고에 기인한 것으로 추정되며, J기술(주)는 암반대수층과 자유면대수층에서 TCE, PCE 오염물질이 검출되어, 오염물질이 인근토양에서 유입되어 지하수로의 확산이 진행되고 있는 것으로 추정된다. S코리아(주)3공장의 경우 자유면대수층에서 TCE, PCE 물질이 지하수수질기준을 초과하였고, 관측정 상부토양의 조사결과 토양오염우려기준을 초과하지는 않았으나, 동일 물질이 검출되어 토양오염과의 개연성이 존재하는 것으로 판단되며, 오염원인이 해당지역에 존재할 가능성이 큰 것으로 추정된다.

(마) 지질학적 특성

창원공단내 지질특성을 확인한 결과 충적층이 대부분으로서, I주유소, D요업, B스틸의 모래함량이 50%가 안 되는 것은 남천과 마산만이 만나는 경계 지점에 위치하고 있어 퇴적층의 발달에 기인한 것으로 판단된다. I주유소, D요업, B스틸을 제외한 나머지 입도분포 시험 시료는 모두 50% 이상이 모래 이상의 입경을 가진 토양 입자를 구성하고 있다. 토양입자가 크면 입자가 작은 실트 또는 점토로 구성된 토양보다 수리전도도 또는 투수량 계수가 비교적 크다. 투수량계수가 크다는 것은 지하수의 흐름 속도가 크게 나타날 수 있으며 오염물질도 지하수와 함께 이동성이 좋다는 것을 의미한다.

(바) 지하수위관측

조사지역내 자유면대수층의 수위 분포조사결과[그림2-4] 산에 인접한 지역의 지하수위가 높고 해안으로 근접할수록 상대적으로 낮은 형태를 보인다. 지하수는 산에 인접한 지역에서 해안으로 흘러나가는 것으로 추정된다. 지하수위 분포는 지형구조와 서로 연관성이 존재하며, 일반적으로 지형 구배의 분포와 지하수위의 공간적 분포가 거의 유사하다. 조사지역의 최종 지하수 흐름은 산악지형에서 시작하여 산업단지내를 흘러 최종 남천을 거쳐 마산만을 경유하여 남해로 흘러들어가는 것으로 판단된다.



[그림2-4] 창원공단지역 지하수위 분포

(사) 창원공단지역의 토양 및 지하수 오염 연계성 검토

토양오염의 경우에 토양시료를 채취한 492개 지점 중 토양오염 우려기준 또는 대책기준을 초과한 지점은 16지점으로 TPH가 대부분을 차지하고 BTEX초과지점도 있었다. 토양오염우려기준을 초과한 유류 등의 해당업체에서 발생한 오염물질과 오염원인을 추정한 결과, 유류물질은 사업장내 특정토양오염관리대상시설의 관리소홀에 의한 주유시 흘림, 유류탱크 및 배관의 노후, 부식에 의한 유류물질 누출, 과거 제철, 주물공정에 이용되는 로의 연료 공급을 위한 대형 송유관에 의한 주변 토양 유류오염으로 판단되고, 대부분의 오염원인은 오염지역내 해당사업장인 것으로 추정하고 있다.

지하수 오염의 경우는 지하수수질기준(공업용수)을 초과한 지역은 총 5개 사업장으로 TCE, PCE 및 유류(TPH, 벤젠, 톨루엔 등) 초과지점의 지하수 오염원인을 토양오염에 의한 지하수 오염 2지점, 인근 토양오염에 의한 지하수오염 1지점, 과거 오염사고사례에 의한 오염 1지점으로 제시하고 있고, 지하수관측정 상부토양의 조사결과와 동일한 오염물질이 검출되는 경우에 토양오염과의 개연성이 존재하는 것으로 추정하고 있다.

이와는 별개로, 창원공단지역내 2005년 토양 및 지하수수질 측정망 운영결과에서는 토양측정망이 설치된 2지점 모두에서 토양오염우려기준 이내로 TPH가 검출되었고, 지하수수질 측정망의 경우 6지점중 4지점에서 지하수수질기준 이내로 TCE, PCE가 검출되어, 오염물질의 검출종류는 창원공단지역 정밀 토양지하수환경조사 결과와 비슷하나, 측정망 운영에서 토양측정망과 지하수수질 측정망의 조사지점이 서로 상이하고, 검출된 오염물질도 서로 상이하여 창원공단 지역의 측정망 운영결과를 통하여 토양오염과 지하수오염간에 연계성을 검토하기는 곤란하였다.

(2) 전국 주유소 주변 지하수 및 토양중 BTEX의 오염실태조사

지하수 및 토양 환경오염을 방지하고자 전국의 주유소·저유소 등의 주변 지하수 및 토양을 대상으로 국립환경과학원에서 2005~2006년에 걸쳐 연료첨가제 MTBE(Methyl Tert-Butyl Ether)의 사용에 따른 지하수 및 토양의 오염실태를 파악하면서 함께 조사한 BTEX의 검출 결과는 다음과 같이 나타나고 있다.

(가) BTEX 지하수오염 실태조사

전국의 총 413개 지점의 지하수 관정에서 휘발유의 주성분인 BTEX의 오염 실태조사를 실시한 결과, 조사대상 지하수 중에 총 BTEX가 138개 지점 (전체 중 33.4%)에서 0.1~375.1 $\mu\text{g/L}$ 의 농도로 검출되었다. 또한, 조사대상 지하수 중에 먹는물로 사용하고 있으면서 먹는물 수질기준 (벤젠; 10.0 $\mu\text{g/L}$, 톨루엔; 700.0 $\mu\text{g/L}$, 에틸벤젠; 300.0 $\mu\text{g/L}$, 크실렌; 500.0 $\mu\text{g/L}$)을 초과하는 곳은 3개 지점 이었고, 이들은 10.8~15.8 $\mu\text{g/L}$ 농도분포를 보였다.

(나) 토양 오염도 조사

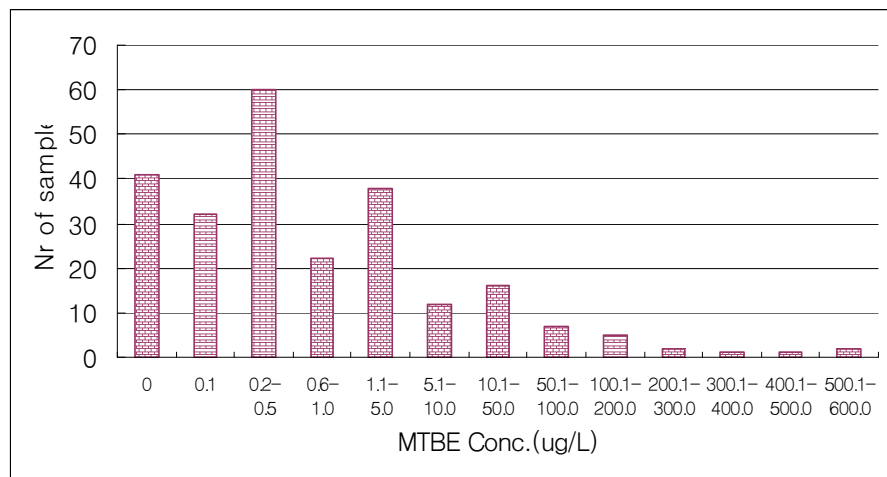
지하수 조사결과 MTBE 농도가 상위 50%인 곳 중 토양시료채취가 가능한 20개 지점을 선정하여 각 지점 당 3개 토양시료를 채취하여 총 60개 시료를 분석한 결과, MTBE는 총 20개 조사지점 모두에서 0.023~691.301mg/kg의 농도로 검출되었으나 1개 지점(691.301mg/kg)을 제외하면 0.023~5.180mg/kg으로 낮았으며, MTBE가 높게(토양오염기준 : 덴마크 500mg/kg, 스웨덴 6mg/kg). 검출된 지점은 복원계획이 있는 곳이었다. 한편, BTEX는 총 20개 조사지점 모두에서 0.003~114.819mg/kg의 농도로 검출되었으며 1개 지점 (MTBE가 높게 검출된 지점과 동일 지점)을 제외하면 0.003~9.397mg/kg로 낮았다.

한편, 지하수중에 높게 검출된 주유소를 조사대상으로 하여 모든 토양에서 휘발유첨가제인 MTBE와 주성분인 BTEX가 검출된 것을 알 수 있다. 따라서, 지하수의 오염원인은 토양인 것으로 판단된다.

(다) 측정값 간 상관성 조사

지하수 및 토양에서 측정값들 간에 상관성을 조사한 결과, 지하수 중 MTBE와 BTEX 농도 간에는 상관성이 매우 낮았다 ($r^2=0.004$). 이는 MTBE는 비교적 수용성이 강해 지하수에 용해되어 지하수중에 비교적 높은 농도로 존재할 수 있으나 BTEX는 유기물과 함께 토양에 흡착되어 있을 수 있는 물리적 화학적 성질의 차이로부터 발생한다.

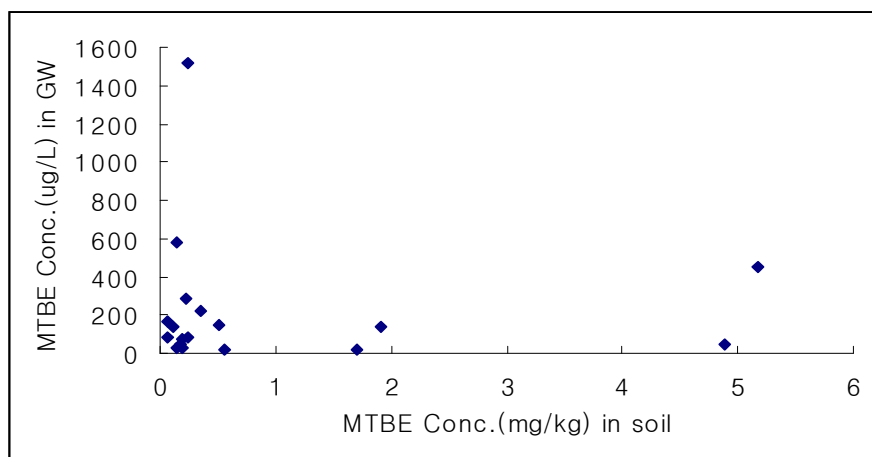
또한, 도시 지하수 중 MTBE 농도 값[그림2-5]이 농촌보다 전체적으로 높은 분포를 보였는데 (도시 평균 농도는 $19.0\mu\text{g/L}$, 농촌 평균 농도는 $4.7\mu\text{g/L}$), 도시지역에 MTBE오염이 농촌보다 심각함을 알 수 있으며, 인구밀도가 높으면서 휘발유사용량이 많아 다른 매질을 통한 오염량이 높고, 토지사용 기간이 길어 오염 개연성이 또한 높았기 때문으로 판단되며, 도시지역의 지하수관리가 시급한 것으로 판단된다..



[그림2-5] 도시 지하수 중 MTBE의 농도 분포

동일 위치에서 2개월 이상의 간격으로 반복 측정한 결과 약 46%가 감소, 34%가 증가, 19%는 변화가 적었다. 오염농도의 감소 경향은 MTBE의 오염량의 감소, 지하수위 변동이나 오염 확산 등 다양한 영향으로 판단된다.

토양 중 MTBE의 농도와 지하수 중 MTBE의 농도 간에는 상관성[그림2-6]이 매우 낮은 것으로 나타났는데($r^2=0.0003$). 지하수의 MTBE의 오염은 토양을 거쳐 발생이 되나 서로 간의 농도에서는 비례하지 않는다. 이는 MTBE의 토양 및 물에 대한 물리적 화학적 성질의 차이로부터 발생하는 것으로 판단된다.



[그림2-6] 토양 중 MTBE와 지하수 중에 MTBE의 농도와의 상관성

(라) 토양 및 지하수중 MTBE 및 BTEX 조사결과의 시사점

휘발유의 주성분인 BTEX는 전체 조사대상 지하수중 33.4%가 검출되어 주유소 주변지역에서는 BTEX로 인한 지하수오염이 어느 정도 진행되고 있는 것으로 보이며, 지하수중에 MTBE와 BTEX가 높게 검출된 주유소를 조사대상으로 하여 조사한 결과 모든 토양에서 휘발유첨가제인 MTBE와 주성분인 BTEX가 검출된 것은 지하수 오염원인이 토양인 것으로 판단된다.

MTBE가 미국의 먹는물 권고치를 초과하여 검출된 지점이 전체 조사대상의 8%에 달하고 있어, 앞으로 지하수수질 측정망 조사 항목으로 MTBE를 추가하여 관리할 필요가 있는 것으로 판단된다.

(3) 우리나라 시설원예지 토양 및 지하수 환경조사

우리나라 중부지방인 수원, 용인, 화성, 평택, 춘천에 위치한 대표적인 시설원예지로서 연중 멀칭상태를 유지하고 있는 11개지점을 대상으로 지하수와 토양의 특성에 대해 농업과학기술원 및 서울대학교 농과대학에서 조사(2003년)한 결과, 시설원예작물의 생산성 증대를 위한 각종 비료와 가축분 퇴비의 무분별한 사용과 작물의 연작은 토양내 염류집착을 초래하였으며,

그결과 염류의 용탈은 지하수의 오염을 가속화시키고 있는 실정이며, 이는 토양내 축적된 염류의 성분중 음전하를 띤 성분은 토양내 잔류성이 적고 이동성이 크므로 지하수오염으로 직결된다.

지하수중의 이온의 양과 영양염류의 양을 간접적으로 나타내는 전기전도도인 EC는 양이온인 경우 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ 와 정의 상관관계가 있었으며, 특히 2가의 양이온인 Mg^{2+} 와 Ca^{2+} 간에는 고도의 정의 상관관계를 보이고 있다. 또한, EC와 음이온간에는 NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 와 상관관계를 보이고 있었다. 지하수 오염지표인 NO_3^- -N의 경우에는 COD를 제외한 모든 이온들과 상관관계를 보이고 있었다. 특히 SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 와는 고도의 정의 상관관계를 보여주고 있다. 이는 NO_3^- -N는 EC와 함께 지하수오염의 중요한 지표중의 하나임을 보여주고 있다.

그러나, 지하수중의 유기물 지표인 COD(화학적 산소요구량)는 다른 오염지표들과는 상관관계가 없는 것으로 나타났는데, 이는 기존의 연구결과와 일치하였다. 질산성질소는 다른 이온물질들과 고도의 정의 상관관계를 보이고 있으므로, NO_3^- -N(질산성질소)의 오염은 곧 다른 이온들에 의한 오염을 의미한다.

따라서, 농업지역내에서의 지하수오염을 방지하기 위해서는 점원배출원에서는 오염물질의 지하유출을 차단하고, 농경지에서는 토양 검정을 통하여 작물별 최적 시비량으로 영농을 하며, 특히, 시설재배지와 같이 염류집적의 우려가 높은 곳에서는 정밀농업 및 제염을 통해 지하로의 오염물질 유출을 차단한다면 지하수계 오염방지의 첩경이 될 것이다.

(가) 전기전도도와 질산성질소의 특성

1) 전기전도도(EC)

전기전도도는 물속의 전해질 농도를 추정하는 데 이용하며, 현재 농업용수 수질 기준에는 전기전도도에 대한 규정이 없으나, FAO(세계식량기구)의 농업용수 수질 해석을 위한 지도기준에 의하면 전기전도도가 0.7ds/m이하에선 피해가 전혀 나타나지 않고, 0.7~3.0ds/m에서 피해가 조금 나타나며 그 이상에서는 피해가 심하게 나타나는 것으로 보고하였다.

전기전도도의 단위는(μ mhos/cm)로 표현하며, 물속에 전하를 띤 이온이 많을 수록 물의 전기전도도는 커진다.

물의 종류에 따른 전기전도도는 증류수는 0.05 또는 0.5~2 μ mhos/cm, 일반수(원수는 50~500, 산업용폐수는 10,000이상, 해수는 41,500이상으로 알려져있고, 총고용물질(TDS)과 전기전도도와는 정의 상관관계에 있는 것으로 밝혀져 있다.

아울러, 양이온인 Mg^{2+} , Ca^{2+} 과는 고도의 정의 상관을 보이고 있다.

2) 질산성질소(NO_3-N)

질산성질소는 지하수내 질소의 주된 형태이며, 지하수의 높은 질산성질소의 농도는 지질학적 퇴적, 자연유기물 분해 및 비료 사용에 따른 질산염의 심층 침투 등의 몇가지 원인에 의해 발생할 수 있다.

지하수에서 채수한 지하수 속에 질산염이 다량 함유되어 있을 때는 지하수속으로 질산염에 의해 오염된 지표수가 직접 유입되었거나, 또는 대수층 상부에 발달된 토양대속에 농축된 질산염이 강수에 의해 대수층으로 침투하여 지하수가 오염된 것으로 생각할 수 있다. 화장실, 재래식하수구, 정화조, 화학비료, 퇴비는 다량의 유·무기질소를 포함하고 있는 잠재오염원이다. 따라서, 지하수내에 다량의 질산염이 발견될 때는 상기 지역이 이들 물질에 의해 오염된 것으로 생각할 수 있으며, 질산성질소는 SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 와는 고도의 정의 상관을 보여주고 있다.

3. 토양 및 지하수수질 측정망 개선방안

가. 토양측정망 운영체계

(1) 조사대상지점 선정

토양측정망은 토지용도별로 측정항목에 대한 장기적인 오염추세를 파악하는 것을 목적으로 하고 있으나 현재 15개 토지용도별로 선정된 지점중에는 실질적으로 토지용도의 토양오염 대표성으로는 미흡한 지점이 있다. 유류, TCE, PCE 가 검출된 지점수는 [표2-2]에서 보듯이 공장용지가 29지점, 대지가 40지점으로 대지에서 검출지점수가 더 많으며, TPH의 평균 농도도 공장용지는 23.112mg/kg, 대지는 37.192mg/kg으로 대지가 더 높았다. 아울러, [표2-3]에서 유류(TPH) 등이 검출된 대지의 조사지점은 수많은 차량이 수시로 통행하는 관공서가 10지점 및 아파트 단지등 공동주택이 24지점으로서 오염원인 규명후 조사지점의 변경이 필요한 것으로 보이며, 대지의 선정지점을 변경시 주거전용지역내 오래된 보존가옥내 부지등으로 선정하는 것이 더 합리적일 것으로 사료된다. 이와 함께 측정망의 다른 지점에 대해서도 토지용도별로 오염영향과 연계성이 미흡한 오염물질이 검출된 지점들은 사후 검토를 통하여 토지용도에 맞는 오염영향 지점으로 변경하여 운영할 필요가 있다.

(2) 조사항목

토양측정망 운영 초기인 1987년부터 중금속물질을 측정하면서 현재는 총 17개 항목을 측정하고 있으나 [표2-4]와 같이 중금속물질중 Cd, Cr⁺⁶, Hg은 '01년보다 '05년이 감소하였으며, 전체적으로도 중금속물질은 오염도가 크게 증가나 변화하지 않고 있으므로, 중금속 물질에 대해서는 조사대상지역에 따라 조사주기를 2년~3년에 1회로 축소하고, 32쪽과 같이 외국처럼 사용량이 많고 위해성이 있는 유기오염물질인 PAHs, Benzo(a)pyrene 등을 추가하고 BTEX는 세분화하여 조사항목을 확대하는 방안을 검토하는 등 지하수오염과 연계한 다양한 오염실태 및 추세를 파악하는 방향으로 개선하는 방안을 제시한다. 다만, 조사항목 확대는 우리나라에서 사용량이 많고 토양중에서 검출되는 수준, 환경이나 인체에 유해한 정도 등 제반 여건을 감안하여 점진적으로 늘려갈 필요가 있다고 본다.

또한, 토양오염원 유형별로 오염 가능성이 높은 지점에 대한 토양오염실태조사를 하면서 [표2-6]에서 금속광산주변지역에서 TPH를 조사한 것은 부적절하다고 보이며 조사대상 토양오염원으로부터 오염의 가능성이 높은 오염물질로 조사항목을 선정하도록 개선할 필요가 있다.

(3) 자료관리 시스템

GIS(Geographic Information System)상에 토양측정망의 위치, 오염도, 주변 오염원 등 다양한 정보를 제공하고 있으나, 27쪽에서 제시했듯이 조사지점별로 조사항목 전체의 오염도를 하나의 화면으로도 파악이 가능하도록 보완되어야 하며, 고정조사지점에 대해 오염도 변화 추세를 지속적으로 관리하여야 하기 때문에 담당자의 교체나 2~3년에 1회의 토양시료채취 등을 하여야 하는 경우에도 정확한 조사지점의 위치 확인이 가능하도록 GIS상 조사지점의 위치정보를 보다 정밀화할 필요가 있다. 또한, 농림부의 농경지 오염도자료들도 토양지하수정보시스템(SGIS)에 추가하여 관리함으로써 토양오염의 원인과 토양오염으로 인한 농작물, 지하수 수질오염 등과 연계 관리가 가능하도록 개선할 필요가 있다.

나. 지하수수질 측정망 운영체계

(1) 조사대상지점 선정

지하수수질 측정망 지점은 24쪽과 같이 현재 개인 등이 설치한 지하수관정을 활용함에 따라 지하수수질결과에 따라서는 지하수법 규정에 의거 관정 폐쇄 등이 불가피하고, 이 경우에 지하수수질 측정망 설치목적인 지속적 오염 추세 파악이 불가능하게 된다. 이를 개선하기 위해서는 중장기적인 예산확보 등을 거쳐 수질측정이 필요한 지점에 지하수수질 관측정을 직접 설치하는 방향으로 가야 한다.

다만, 개인 등이 설치한 지하수관정을 측정망으로 선정하는 경우에도 토양측정망 등의 토양오염도 조사결과, 수리지질조사, 토양오염유발시설 설치현황, 산업단지 토양지하수환경조사, 폐광산지역 정밀조사 등 기존에 조사가 어느 정도 확보된 자료를 토대로 조사대상지점을 추가하거나 부적절한 지점은 변경 선정할 필요가 있다.

(2) 조사항목

지하수수질 측정망의 조사항목이 용수목적에 따른 수질기준 항목을 위주로 실시하고 있어, 26쪽에 있듯이 공업용수는 BTEX(벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌)를 제외하고 있으나 다양한 공장들이 밀집한 지역의 특성상 공단지역의 측정망으로 포함된 공업용수 지하수관정은 BTEX를 조사항목에 추가할 필요가 있다.

또한, [표2-7]에서 보듯이 조사항목중 지하수에서 불검출되거나 또는 수질기준 초과지점이 거의 없는 중금속(Cd, Hg, Cr+6 등)은 조사지점에 따라 측정주기를 현행 반기 1회에서 년 1회로 축소하고 대신에 외국과 같이 토양중에 이동성이 높고 지하수 오염의 가능성이 높은 유기용제류(VOCs), 유류물질(MTBE 등)의 측정항목을 확대하는 것으로 개선할 필요가 있다.

(3) 조사지역 분류

측정망중 일반지역은 24쪽과 같이 오염우려지역과 오염특성이 비슷한 지역(일반지역의 도시지역과 오염우려지역의 도시주거지역, 일반지역의 농림지역과 오염우려지역의 영농지역)으로 되어 있다. 다만, 일반지역은 주변에 지하수 오염원이 없는 관정을 선정하고, 오염우려지역은 주변에 오염원이 있는 관정을 선정하도록 구분하고는 있으나, 주변에 지하수 오염원 확인이 어려우므로 일반지역에 대해서는 도시지역의 경우에 민방위용 지하수 관정, 농림지역 및 자연환경보전지역은 학교급수용·간이상수도용 지하수관정을 대상으로 조사 면적을 고려한 등거리 격자 간격으로 배분하여 선정하도록 하는 방안을 제시한다.

[표3-1] 전국의 학교용, 민방위용, 간이상수도용 지하수관정 현황

(단위 : 개소수)

계	학교용	민방위용	간이상수도용	비고
21,636	5,856	1,415	14,365	2004 지하수조사연보

이들 공공용 지하수 관정은 다중 이용을 목적으로 설치된 것으로서, 일반지역의 측정망 선정기준(공공관정 우선, 지하수관정 제원이 확실)에도 부합되며, 측정망 운영기관에서 정기적인 수질검사를 실시해줌으로 인해 지하수관정 설치자의 수질검사 비용 절감과 지하수 이용자에게 수질측정결과를 지속적으로 파악해서 통보해주는 효과도 있게 된다.

(4) 자료관리 시스템

지하수수질 측정망 오염결과를 분석함에 있어 [표2-7]과 같이 조사지점의 수질기준 초과여부를 주요 판단근거로 하고 있다. 비록 개인 등이 이용중인 관정을 측정망으로 활용하는 어려운 점 때문에 수질변화 상태를 크게 고려하지 않는 부분도 있으나, 새로운 오염물질이 검출되거나 크게 증가하는 지 여부, 토양측정망지점의 오염도 자료와 연계되는 오염물질의 검출 여부 등을 분석하여 지하수수질측정망 운영에 반영하여야 할 필요가 있다.

또한, 수질기준 초과 등으로 지하수 관정을 폐쇄하는 경우에도 오염 측정자료의 지속적 관리가 필요하며, 지하수수질 측정망으로는 전국적인 지하수수질 오염실태 파악이나 오염추세 파악에는 한계가 있으므로, 지하수법 제20조 규정에 의해 정기적으로 수질검사를 받는 지하수관정의 수질검사자료 및 관계기관 등에서 실시한 지하수위분포도 등 수리지질조사 등을 현재의 SGIS에 함께 구축하여 활용하는 개선방안이 필요하다.

(5) 지하수수질오염과 토양오염간 상관성 활용

지하수수질 측정망과 토양측정망의 기준초과 여부만으로는 [표2-10]과 같이 지하수오염과 토양오염의 상관성을 판단하기 곤란하다. 그러나, 14쪽에서 보듯이 유류, TCE, PCE 등 토양중 이동성이 뛰어난 오염물질은 지하수에서 검출되는 경우에 토양에서도 검출될 가능성이 높기 때문에 유류, TCE, PCE 등 토양중 이동성이 뛰어난 오염물질이 지하수에 검출되는 경우에는 토양오염실태조사지점에 반드시 포함하여 주변 토양오염 및 오염원 여부를 확인하는 것을 체계화하도록 제안한다.

(6) 전기전도도 조사항목의 활용

지하수수질 측정망의 오염우려지역에서 측정하고 있는 전기전도도는 [그림2-2], [그림2-3]과 같이 다양한 오염물질이 지하수로 유입되는 공단지역에서는 질산성질소와 상관성이 미흡할 수도 있지만, 질산성질소가 주 오염인 영농지역 등에서는 전기전도도의 활용방안으로 현장 측정된 전기전도도의 수치를 통하여 질산성질소의 오염도 수준을 파악할 수 있는 방안을 검토하도록 제안한다.

IV. 結 論

현재 우리나라는 토양측정망 및 지하수수질 측정망을 각각 운영중에 있으나, 토양 및 지하수 오염의 효율적 관리를 위해서는 보다 효율적이고 상호 유기적인 측정망 관리방안을 마련할 필요가 있으며, '05년 토양 및 지하수수질 측정망 운영 결과 오염 특성, 국내외에 토양 및 지하수 오염 관리체계, 토양 및 지하수수질 오염관련 조사 자료 등을 분석하여 측정망 운영관리 개선을 위한 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 토양측정망 운영체계

토양측정망중 토지용도별 토양오염을 대표하기에는 미흡한 지점인 대지(垸地) 조사지점중 TPH가 검출된 관공서 10지점, 아파트 단지 19지점에 대해 오염원인을 규명후 조사지점을 변경하는 것이 필요한 것으로 판단되며, 그 밖에 지점도 토지용도별 오염영향과 연계성이 미흡한 오염물질의 검출 여부를 검증하여 적절한 대표성을 가진 지점으로 변경할 필요가 있다.

토양측정망의 조사항목중 일부 중금속(Cd, Cr⁺⁶, Hg)은 '01년보다 '05년이 감소하였으며, 전체적으로도 중금속은 오염도가 크게 증가나 변화하지 않고 있으므로, 이들 중금속에 대해서는 조사대상지역에 따라 조사주기를 2~3년에 1회로 축소하고, 대신에 위해성이 있는 유기오염물질류(PAHs, Benzo(a)pyrene 등)를 추가하고, BTEX는 각 항목별로 세분화하여 확대하는 방안을 검토하여 지하수오염과 연계한 다양한 오염실태 및 추세를 파악하는 방향으로 개선할 것을 제안한다.

토양지하수정보시스템(SGIS)에서 제공하는 측정망의 조사지점별 오염도는 조사항목 전체를 하나의 화면으로도 파악할 수 있도록 보완되어야 하며, 토양측정망의 정확한 위치확인이 가능하도록 위치정보를 보다 정밀화할 필요가 있다. 또한, 농림부 등 관계기관의 토양오염도 자료들도 SGIS에 추가하여 관리함으로써 토양오염의 원인 규명과 토양오염으로 인한 농작물 오염 등과 연계 관리가 가능하도록 개선할 필요가 있다.

2. 지하수수질 측정망 운영체계

지하수수질 측정망 지점은 개인관정 활용에서 운영기관이 관측정을 직접 설치하는 방향으로 연차적으로 개선되어야 하며, 측정망 지점은 기존에 수리지질조사가 수행된 자료를 반영하여 지점을 추가하거나 부적절한 지점은 변경 선정할 필요가 있다.

지하수수질 측정망의 조사항목중 공업용수는 BTEX(4개 항목)를 제외하고 있으나 공단지역은 다양한 오염물질의 배출 가능성이 높으므로 공단지역내 측정망의 공업용수 지하수관정은 BTEX(4개 항목)를 조사항목에 추가할 필요가 있으며, 조사 지점에 따라서는 지하수중 불검출되거나 또는 수질기준 초과지점이 거의 없는 중금속(Cd, Hg, Cr⁺⁶ 등)은 측정주기를 현행 반기 1회에서 년 1회로 축소하고 대신에 토양중 이동성이 높고 오염의 우려가 높은 유기용제류(VOCs), 유류물질(MTBE 등)의 측정항목을 확대하는 방향으로 개선할 것을 제안한다.

지하수수질 측정망의 조사지역은 오염우려지역과 일반지역으로 나누어 있으나 분류기준이 명확하지 않고 구분이 어려우므로, 일반지역중 도시지역은 민방위용 지하수 관정, 농림지역 및 자연환경보전지역은 학교급수용·간이상수도용 지하수 관정을 대상으로 조사대상지역 면적을 고려한 등거리 격자로 배분하여 지하수수질 측정망으로 선정하는 방안을 제안한다.

지하수수질 측정망 오염도 분석을 함에 있어, 수질기준 초과여부외에도 새로운 오염물질이 검출되거나 오염도 변화가 큰 지점, 토양측정망지점의 오염도와 연계되는 오염물질이 검출되는 지점 등을 분석하여 측정망 운영에 반영할 필요가 있다.

토양지하수정보시스템(SGIS)에는 지하수법 제20조의 규정에 의해 정기적으로 수질검사를 받는 지하수관정의 수질검사결과 및 지하수위분포도 등 수리지질조사 자료 등도 포함되어 활용하는 개선방안이 필요하다.

지하수수질 측정망의 오염우려지역에서 측정하고 있는 전기전도도의 활용방안으로, 영농지역 등에서 전기전도도의 현장 측정치를 통한 질산성질소(NO₃-N)의 오염도 수준을 파악할 수 있는 방안을 검토하도록 제안한다.

V. 參考文獻

1. 건설교통부, 한국수자원공사. 국가 지하수관측망 운영관리 최적화 방안 연구 보고서, 2004
2. 건설교통부, 환경부. 지하수법, 지하수수질보전등에관한규칙, 2005
3. 건설교통부. 2004 지하수조사연보, 2005
4. 국립환경과학원. 연료첨가제 MTBE의 오염실태조사, 2006
5. 김경숙, 정재춘. 토양 및 지하수보전을 위한 토양관리 및 대책방안. 대한지하수 환경학회, 한국토양학회 공동심포지움 및 추계학술대회 1998.11
6. 김미정. 지하유류저장탱크의 관리 강화방안, 한국환경정책평가연구원, 2003
7. 김익수, 이재영, 최상일. 서울지역의 지하수수질 특성에 관한 연구. 한국지하수 토양환경학회지 2004
8. 김진호 등 5인. 우리나라 중부지방의 시설원에 토양 및 지하수 환경. 한국환경 농학회지 2002
9. 김진희 등 10인. 광주지역 지하수 수질 특성에 관한 연구. 대한환경공학회 2005
10. 김학명 등 4인. 지하수오염론. 동화기술, 1996
11. 박용하 등 4인. 토양오염지역의 관리 및 복원방안. 한국정책평가연구원 2003.
12. 박용하. 토양질 측정자료의 관리체계 구축방안. 한국정책평가연구원 1997.12
13. 박현진 등 4인. 군용 지하수의 수질 특성에 관한 조사 연구. 한국물환경학회 2007
14. 박용하. 위해성평가방안에 관한 연구. 한국환경정책평가연구원 2003
15. 박용하 등 5인. 토지이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 한국환경정책평가연구원 2003
16. 서민우, 박재현. 외국의 지하수/토양 오염 평가 및 정화 지침 요약 및 국내 적용, 한국수자원공사 2005.4
17. 이민효 등 5인. 토양지하수환경. 동화기술, 2006
18. 정승우. 토양오염물질의 물리·화학적 특성과 이동성에 따른 환경영향평가 방안. 한국환경정책평가연구원 2003.12
19. 환경부. 지하수의 수질보전등에 관한 업무처리지침, 2004.10
20. 환경부. 지하수 수질관리 및 오염정화기준의 합리적 개선방안 연구, 2005
21. 환경부. 2004년 지하수 수질측정망 운영결과, 2005
22. 환경부. 2005년 지하수 수질측정망 운영결과, 2006
23. 환경부. 2006년 지하수 수질측정망 설치운영계획, 2006

24. 환경부. 2004년 토양측정망 및 실태조사결과, 2005
25. 환경부. 2005년 토양측정망 및 실태조사결과, 2006
26. 환경부. 2006년 토양측정망 설치운영계획, 2006
27. 환경부, 환경관리공단. 2004년 반월산단 토양·지하수 환경조사보고서, 2004
28. 환경부, 환경관리공단. 2005년 온산산단 토양·지하수 환경조사보고서, 2005
29. 환경부, 환경관리공단. 2006년 창원, 여수산단 토양·지하수 환경조사보고서, 2006
30. 환경부. 토양환경보전법, 2005.12
31. 환경부. 2006 환경백서, 2006.9
32. 환경부. 2005 환경통계연감
33. 환경부. 2006 환경통계연감, 2006.9
34. 황상일, 이양희. 오염토양부지의 정보관리체계 효율화 방안, 한국환경정책평가 연구원 2004.
35. 황상일. Improving Coherence beteen Soil and Groundwater Quality Standards. KEI, 2006
36. EPA. Handbook of suggested practics for the design and installation of groundwater monitoring wells, 1989
37. EPA. Protecting Local Groundwater Supplies Through Wellhead Protection, 1991
38. Evan K. Nyer. Groundwater treatment technology, Van nortrand reinhold, 1985
39. Minister of the Environment, Canada. Groundwater - Nature's Hidden Treasure, 1990
40. P.S.Mikkessen, M. Ochs,P. Jacobsen, J.C. Tjell and M. Boller. Pollution of soil and groundwater from infiltration of highly contaminated sormwater-A case study, Wat. Sci. Tech. Vol. 36. No.8-9, pp. 325-330. IAWQ. Published by Elsevier Science Ltd. 1997
41. UNEP. Environment Assessment Report. Characterisation and Assessment of Groundwater Quality Concerns in Asia-Pacific Region, 1996

ABSTRACT

A study on management improvement plan of Soil and Groundwater quality monitoring networks

Sung Jae Yim

Dept. of Environment Health

Graduate School of

Public Health Yonsei University

(Directed by Professor Dong Chun Shin, M.D., Ph D)

As the result of operating soil monitoring network in the 2005, TPH(Total Petroleum Hydrocarbones) appears to be higher in the factories and industrial sites than agricultural area. Also, groundwater quality network present that industrial and urban areas have many points which are over the standard. On the contrary, parks and recreational areas have no place over the standard, or exceed the standard only in nitrate.

But in the aspect of land-use, average TPH of residential sites seems to be higher than that of the factories and industrial sites and have more detection-points. Soil monitoring network of the industrial sites is not connected with groundwater quality network in contamination-detection. So operation system of Soil monitoring and groundwater quality networks needs to be administered organically and efficiently.

After operating Soil monitoring and groundwater quality networks, we have the following conclusion for the efficient operation of monitoring networks.

First, the points that pollutants detected in the land use are not relevant to represent soil contamination need to be changed into points that have the representation. Average contamination level of some heavy metal such as Cd, Hg, Cr⁺⁶ decreased, or didn't increase or change greatly on the whole. It is needed that while you should reduce period of investigating these heavy metal, you should enlarge the range of investigation including VOCs, BTEX, PAHs and elevate the utilization level of SGIS(Soil Groundwater Information system) by adding data of other examination institute SGIS built in the examination point of monitoring networks.

As for the groundwater quality network system, the number of groundwater wells that individuals installed should phase down, and groundwater quality network points should be selected reflecting the data of the investigation of hydrogeological.

Also, you need to add BTEX to the investigation item of industrial groundwater wells included in the groundwater quality network. You need to reduce measure period from once in 6 months to once in a year for the heavy metal such as Cd, Hg, Cr⁺⁶ that is not detected or has no point over the standard for groundwater quality while enlarging measure items such as

VOCs, MTBE.

You need to administrate the points in which new pollutants is detected or contamination range changes greatly though you consider now the result of groundwater quality network operation, whether to exceed the standards. You should database and build the data of regular water quality investigation performed by Groundwater law into the SGIS information management system.

In addition, I suggest that you should consider how to utilize EC(Electonical conductivity) which is investigated in the groundwater quality network in estimating the contamination level of nitrate.

Key word : soil monitoring network, groundwater quality network