

## 토양측정망 운영 결과 분석 연구

정 승 우\*

군산대학교 환경공학과

### Analysis on Monitoring Results of Korean Soil Monitoring Network

Seung-Woo Jeong\*

Department of Environmental Engineering, Kunsan National University

#### ABSTRACT

Usability of soil quality monitoring network for ascertaining soil quality changes was evaluated by analysing soil quality monitoring results. Tolerance limits of soil quality monitoring results from 1997 to 2007 were calculated and compared with Korean soil quality standards. This study determined that soil quality was changed if the upper 95% tolerance limit value was greater than the soil quality standard. Fluoride most frequently exceeded the soil quality standard and nickel, zinc, arsenic, copper, lead and cadmium were followed. Analysis on land use showed that tolerance limits of industrial land use most frequently exceeded the soil quality standards and residential, road and various land uses then frequently exceeded. Tolerance limits of land uses expecting high contaminant loads frequently exceeded the soil quality standards. This fact imply that the soil quality monitoring network generates reasonable data to represent change in Korean soil quality. This study also suggested that representative sampling from well identified points should be done to improve data reliability and accurately ascertain soil quality changes.

**Key words :** Soil quality monitoring network, Soil quality standard, Land use

#### 1. 서 론

현재 전국적인 토양조사는 Table 1에 나타난 바와 같이 토양측정망과 토양실태조사로 구분된다. 토양측정망은 고정 지점에 대해 환경부가 주관하며 토양실태조사는 오염 우려지역을 지자체가 주관하여 운영하고 있다. 토양측정망은 전국의 토양오염추세를 파악하기 위한 고정식 운영 방식이며 토양실태조사는 오염우려지역의 오염토양여부를

적극적으로 찾고자하는 유동식 운영방식이다.

토양측정망은 토양환경보전법이 제정되기 이전인 1987년부터 지금까지 운영되고 있다. 1991년부터 1995년까지는 격년제로 잠시 변경되었다가 토양환경보전법 제정 이후 제5조 1항의 규정에 의하여 토양측정망 설치계획이 고시되고, 1,500개 지점에 대한 오염도를 매년 측정하여 오염추세를 파악하고 있다 (환경부, 2007a).

토양측정망 운영결과는 매년 토양실태조사 결과와 함께

**Table 1.** Classification of Korean soil quality monitoring networks

Soil Monitoring Schemes	National Soil Monitoring Networks	Regional Soil Contamination Survey
Objectives	Evaluation of soil quality variation	For discovery of contaminated sites
Points	1500	2400
Monitoring points	Fixed points	Variable for possible contamination areas
Managing organization	Ministry of Environment	Local government
Number of monitoring substances	17 (8 metals, 8 general substances, pH)	Possible contamination substances

\*Corresponding author : swjeong@kunsan.ac.kr

원고접수일 : 2009. 7. 27 심사일 : 2009. 8. 28 게재승인일 : 2010. 2. 25

질의 및 토의 : 2010. 6. 30 까지

발표된다. 2006년 토양측정망 운영결과 4개 지점(0.3%)에서, 2007년 토양측정망 운영결과 13개 지점 (0.9%)에서 토양오염우려기준을 초과하는 것으로 나타났다(환경부, 2007b; 환경부, 2008a). 토양오염우려기준을 초과하는 지점의 대부분은 뚜렷한 주변 오염원이 존재하지 않아 기준 초과는 국지적으로 높은 배경농도에 기인한 것으로 추정하고 있다. 그러나 토양환경보전법상 토양측정망 관련 조항이 토양실태조사와 혼용되어 규정되어 있다보니 원래 목적인 전국 토양의 질과 오염추세를 파악하는 데 보다 오염 부지를 발견하는 데 목적이 있는 것으로 인식되고 있다.

지금까지 축적된 토양측정망 운영결과가 토양측정망 운영목적과 부합하는지 평가가 제대로 이루어지지 못했다. 그동안 토양측정망 운영 및 조사체계에 관한 연구는 다수 이루어졌으나 조사결과에 대한 분석은 일부밖에 이루어지지 않았다(박용하, 1997; 환경부, 1999; 임성재, 2007; 황상일 외, 2006). 본 연구의 목적은 첫째, 토양측정망 운영 결과를 전반적으로 분석하여 토양측정망 원래의 목적인 토양질의 변화여부를 파악하고자 하였고 둘째, 분석결과를 바탕으로 효율적 토양측정망 운영을 위한 시사점을 도출하고자 하였다.

## 2. 토양측정망 운영결과 분석방법

1997년부터 2007년까지의 토양측정망 운영 결과를 수집하고 각 지점의 연도별 측정결과를 재정리하였다. 지금까지의 토양측정망 운영결과에 대한 분석은 토양오염우려기준 만족여부에 대한 단순 비교가 대부분이었다. 본 연구에서는 지금까지의 모든 데이터를 활용하기 위하여 데이터의 허용한계를 산정하였다. 각 지점의 연도별 토양오염물질 농도 평균값과 표준편차를 계산하였고 이를 이용하여 데이터 허용한계(Tolerance limits)를 산정하였다.

$$TL = \bar{x} \pm kS_x \quad (1)$$

TL : 허용한계(Tolerance limits)

$\bar{x}$  : 평균(Mean)

$S_x$  : 표준편차 (Standard deviation)

k : 허용계수 (tolerance factor)

허용구간(Tolerance interval)은 평균보다 크거나 작은 허용한계 값 사이의 구간을 말하며, 표준통계분포상 현재 데이터의 평균 및 표준편차 등의 조건에 비춰 차후 모든 측정데이터의 95%가 위치하게 되는 구간을 일컫는다 (McBean and Rovers, 1998). 허용계수(tolerance factor)

는 자유도(degrees of freedom)와 허용한계확률(tolerance limit probability)에 따라 t-table로 부터 얻게 된다.

데이터 허용구간은 데이터의 평균과 표준편차를 고려하여 통계학적으로 데이터가 분포할 수 있는 전체 범위를 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 상위 허용한계값이 토양오염우려기준을 넘게 되는 지점은 그동안 토양질의 변화가 어느 정도 일어났으며 차후 모니터링시 우려기준을 초과하게 될 가능성이 매우 높은 지점으로 판단하였다. 단, 아연, 니켈 및 불소는 현재 지점적으로 높은 배경농도 및 전 함량 시험법 적용 등에 따라 타 물질과 동일하게 비교하는 데 한계가 있어 허용한계값이 우려기준의 1.25배 이상에 해당하는 지점을 선별하였다. 비교 분석의 신뢰성을 높이기 위해 7개 이상의 데이터, 즉 7년치 이상의 측정 데이터를 가지고 있는 지점에 대해서만 토양질의 변화를 평가하였다. 그리고 유기인, PCB, CN, 페놀, BTEX, TPH, TCE, PCE 등은 그동안 거의 불검출로 보고되고 있으며 7개 이상의 의미있는 데이터가 부재하므로 분석에서 제외하였다.

## 3. 토양측정망 운영결과 분석

### 3.1. 조사물질별 운영결과 분석

현재 토양측정망은 1,500지점으로 운영되고 있지만, 1997년부터 2007년까지 운영되어온 전국의 토양측정망 지점은 모두 2,568개로 나타났다. 이는 그동안 토지이용용도 변경 등의 사유로 토양측정망의 변화가 자주 발생하였기 때문이다.

1997년부터 2007년까지의 토양측정망 운영 결과를 바탕으로 산정된 측정농도 평균값과 표준편차로 부터 상위 95% 데이터 허용한계값을 산정하고, 각 지점의 허용한계값이 토양오염우려기준을 초과하는 물질을 선별하여 조사물질별로 정리하였다. 허용한계 값이 우려기준을 초과하는 지점 수를 각 물질별로 Fig. 1에 도시하였다.

허용한계값이 우려기준을 초과하는 지점수가 가장 많은 물질은 불소로서 264개 지점이며 다음은 니켈, 아연 순이다. 2001년 토양오염기준으로 추가 설정되면서 전 함량 시험법을 도입한 불소, 니켈, 아연 등 3개 물질이 토양측정망에서 가장 주요한 물질로 꼽히고 있다. 상기 3종의 물질 이외 비소와 구리가 각 각 32개, 31개 지점이었고 그 다음 납, 카드뮴 순이었다. 수은은 2개 지점에 불과하였으며 6가 크롬은 우려기준을 초과할 가능성이 없는 것으로 나타났다.

허용한계가 우려기준을 초과할 가능성이 있는 지점은

그동안의 토양측정망 운영결과의 변화폭이 크게 나타남을 말한다. 이는 그동안 토양질의 변화가 있었음을 시사한다. 그러나 그 변화의 원인은 다양하게 해석해 보아야 한다. 첫째, 지속적 오염부하에 의해 토양질의 변화가 있었을 가능성과 둘째, 토양의 불균질성으로 인해 일관된 시료채취가 이루어지지 못했을 가능성이 있으며 셋째, 분석상 오류일 가능성 등 다양한 원인이 존재할 수 있다. 보다 정확한 원인 분석은 토양측정망 각 지점 및 주변 지역에 대한 지속적 오염부하 존재 여부, 일정한 장소에서의 시료채취 여부 등을 종합적으로 판단하여 이루어져야 한다.

3.2. 토지용도별 운영결과 분석

Fig. 1은 토양측정망 운영결과 분석의 허용한계가 토양 오염 우려기준을 초과할 가능성이 높은 지점을 물질별로 도시하였으며 Fig. 2는 이를 각 토지용도별로 재분석하여 도시하였다. 공장용지가 187지점으로 가장 많았으며 다음은 대지(101지점), 도로(62지점), 잡종지(57지점) 순이다. 허용한계가 토양오염우려기준을 초과할 가능성이 가장 적은 지점은 공원과 유원지로 각 각 5지점씩이었다.

토지이용용도별 분석결과, 인위적 오염부하가 다소 높을 것으로 예상되는 공장용지에서 역시 허용한계가 우려기준을 초과할 가능성이 가장 높게 나타났다. 즉 토양측정망의 공장용지 지점에서 그동안 토양질의 변화가 가장 심하게 일어났음을 시사한다. 이와 같은 결과는 또한 그동안 운영되어온 토양측정망이 전국 토양질의 변화를 일

정 부분 파악할 수 있는 데이터를 양상하고 있음을 시사한다.

토지이용용도별 분석결과 공장용지 다음으로 대지에서 토양질의 변화가 일어나고 있는 것으로 나타났다. 대지도 외부 오염부하를 지속적으로 받아 그동안 토양질의 변화가 어느 정도 진행되었음을 시사한다. 공장용지, 대지 다음으로 도로의 토양질 변화가 심하게 일어나고 있다. 도로도 지속적인 오염부하로 토양질의 변화를 예상할 수 있는 지역이다.

지속적인 오염부하가 일어나는 토지용도에서 토양측정망 운영결과의 허용한계가 토양오염우려기준을 초과할 가

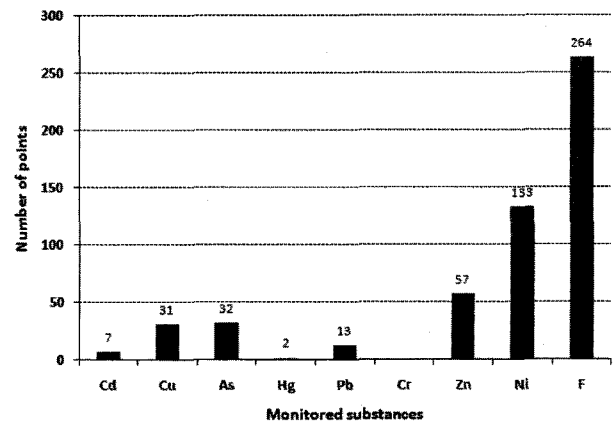


Fig. 1. Number of soil quality monitoring points having tolerance limits greater than Korean soil quality standards- shown as monitored substances.

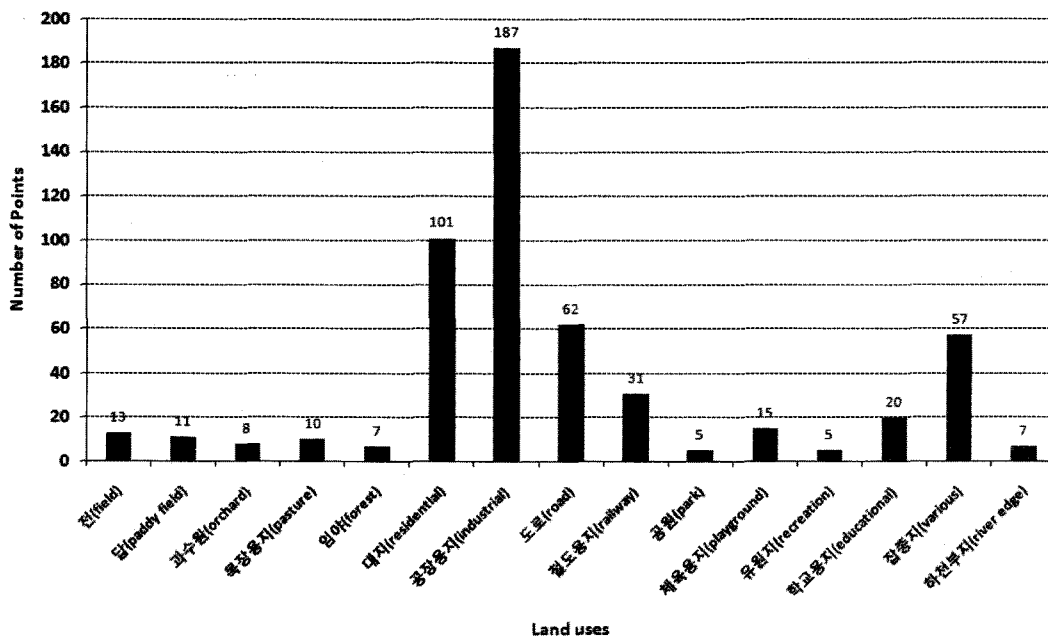


Fig. 2. Number of soil quality monitoring points having tolerance limits greater than Korean soil quality standards- shown as land uses.

**Table 2.** Calculated Tolerance limits of soil quality monitoring points exceeding Korean soil quality standards in the 2007 Soil Monitoring Result

Point Serial Number	2007 Soil Monitoring Results (mg/kg)		Standard1/ Standard2	Number of Available Data	Mean	Standard Deviation	Tolerance Limit
	Substance	Concentration					
RA-37	Ni	45.080		5	49.079	5.716	64.946
RA-41	Ni	59.040		5	33.720	18.250	84.383
RB-01	Ni	47.680		5	43.923	19.927	99.240
RB-03	Ni	57.240		5	31.174	11.707	63.673
RB-12	Ni	60.360		5	59.701	37.759	164.521
RB-14	Ni	48.360		5	33.963	28.639	113.466
RK-40	Ni	41.104	40/100	5	33.901	16.929	80.896
RK-43	Ni	54.670		5	30.352	19.899	85.592
RL-03	Ni	61.790		5	46.044	28.816	126.036
RM-05	Ni	45.570		5	36.450	13.691	74.457
RM-07	Ni	70.140		5	29.114	12.492	63.792
RS-65	Ni	50.320		5	52.070	12.778	87.542
RN-55	Ni	65.960		New point			

능성이 높게 나타나 본 연구 분석 및 해석에 대한 합리성을 간접적으로 파악할 수 있었다. 본 연구 분석결과 공장용지, 대지, 도로 및 잡종지 등은 지속적인 토양오염 부하로 토양질의 변화가 일어나고 있는 것으로 판단되므로 차후 보다 많은 관심을 두고 토양환경정착을 수립하여야 하겠다.

**3.3. 운영결과 분석의 합리성**

최근 2008년도에 발표된 2007년 토양측정망 운영결과 중 우려기준을 초과한 12개 지점(1개 지점은 신규지점임)에 대해 본 연구에서 정리한 2002-2006년도 토양측정망 운영결과와 허용한계를 비교 분석하였다. Table 2에서 제시한 바와 같이 12개 지점 모두 허용한계를 초과하고 있어 당초 우려기준을 초과할 가능성이 매우 높은 지점들이었다.

앞 절에서 언급한 바와 같이 지속적인 오염부하가 일어나는 토지용도에서 토양측정망 운영결과와 허용한계가 토양오염우려기준을 초과할 가능성이 높게 나타난 점과 Table 2의 2007년 토양측정망 운영 분석결과로 미루어 본 연구 분석 및 해석의 합리성을 간접적으로 알 수 있었다.

**3.4. 종합분석 결과 시사점**

Table 3은 Fig. 1과 Fig. 2에 제시한 토양측정망 결과 분석의 허용한계가 우려기준을 초과하는 지점들을 토양오염물질별 및 각 토지이용별로 종합한 결과이다. 우려기준 초과 가능지역은 토양측정망 운영결과로 비추어 토양질의

변화가 어느 정도 발생한 것으로서 해석할 수 있다.

아연, 니켈 및 불소 등 과거 기준 설정 상 문제가 되는 물질(배경농도가 기준치보다 높은 경우 및 전 함량 추출분석법 적용 등)을 제외한다면 문제시 되는 지점은 많지 않다. 아연, 니켈 및 불소를 제외한 Cd, Cu, As, Hg, Pb, 6가Cr 으로 인한 우려기준 초과 가능지역은 85개 지점이며 이중 14개 지점이 두 개 이상 우려기준 초과 가능 지점이므로 모두 71개 지점이다. 71개 지점은 그동안 토양질의 변화가 어느정도 진행되었음을 시사한다.

아연, 니켈, 불소의 경우 그동안 자연 배경농도가 높거나 전함량 추출분석법 적용 등으로 토양측정망 및 실태조사에서 기준초과사례가 많이 발생하는 것으로 알려져 있었다(환경부, 2005). 그러나 Table 3의 분석 결과를 보면 특이사항을 몇가지 발견할 수 있다. 니켈의 경우는 토지용도 전반에 걸쳐 허용한계가 우려기준을 초과하는 것으로 나타나 전반적으로 높은 배경농도가 존재하는 것으로 판단된다. 반면 아연과 불소는 배경농도 및 분석법에 의한 원인보다 지속적 오염부하가 결과에 반영된 것으로 보인다. 특히 불소의 경우는 오염부하가 타 토지용도에 비해 상대적으로 높게 예상되는 공장용지, 대지, 도로 등에서만 허용한계가 기준치를 초과하고 있으므로 배경농도보다는 외부 오염부하가 원인일 가능성이 높다.

**3.5. 조사 지점 현장조사 결과**

본 연구에서는 21개 토양측정망 지점을 방문하였다. 이중 9개 지점은 토양측정망 운영결과 허용한계가 우려기준

**Table 3.** Summarized number of soil quality monitoring points having tolerance limits greater than Korean soil quality standards

Substances	Total	Field	Paddy field	Orchard	Pasture	Forest	Residential	Industrial	Road	Railway	Park	Play-ground	Recre-ational	Educa-tional	Various	River edge
Cd	7	1	1					3				1			1	
Cu	31	1	2	1			4	10	5	2		1		2	1	2
As	32	2	1	1	2		4	2	5	3	2	1		2	6	1
Hg	2	1						1								
Pb	13	1	1	1		1	1	3	2			2				1
Cr	0															
Zn	57	1	2			1	2	20	12	6	1		1	3	5	3
Ni	133	6	4	5	8	5	18	35	6	4	2	10	4	13	13	
F	264						72	113	32	16					31	
Total		13	11	8	10	7	101	187	62	31	5	15	5	20	57	7

Remark : Tolerance limits of Zn, Ni and F > 125% of Korean Soil Quality Standards

을 초과하는 지점으로 선정하였다. 토양측정망 현장조사 결과 나타난 문제점 및 시사점은 다음과 같았다.

첫째, 조사지점의 확인이 매우 어려운 문제점이 있었다. 토양측정망 대장에는 위치 및 사진이 수록되어 있으나 이와 같은 정보로 측정망 지점을 찾아가기는 매우 어려운 현실이었다. 주소에 의해 측정망 지점 부근에 도착하였고 사진에 의존하여 지점을 찾을 수밖에 없었다. 그러나 대부분 토양측정망 대장의 사진이 측정망 표시목을 설치한 직후 촬영된 것이므로 5-8년이 경과한 현재의 주변 모습이 변화하여 지점을 확인하기 매우 어려운 문제점이 있었다.

둘째, 조사지역이 확인되었다 하더라도 표시목이 분실된 지점이 대부분이었다. 21개 조사 지점 중 표시목이 존재하고 있는 지점은 5개 지점에 불과하였다. 토양은 매우 불균질한 특성을 가지고 있으므로 일정한 지점에서의 시료채취가 이루어지지 않을 경우 그 결과의 변화폭이 커지는 문제점을 양산할 수 있다.

토양측정망운영결과에 대한 분석결과 허용한계가 우려기준을 초과하는 지점에 대해 3.1절에서 이미 언급한 바와 같이 세가지 해석이 가능하다. 이중 두 번째 해석이었던 일부 토양측정망 지점에서 토양의 불균질성으로 인해 일관된 시료채취가 이루어지지 못했을 가능성도 존재한다. 따라서 토양측정망 운영결과에 신뢰성을 확보하기 위해서 일정한 장소에서 대표적인 시료채취 대책이 강구되어야 할 것이다.

#### 4. 결 론

1997년부터 2007년까지의 토양측정망 운영 결과를 바탕으로 상위 95% 허용한계값을 산정하고, 각 지점 허용

한계값의 토양오염우려기준 초과여부를 분석하여 그동안 토양질의 변화를 판단하였다.

허용한계값이 우려기준을 초과하는 지점수가 가장 많은 물질은 불소로서 264개 지점이며 다음은 니켈, 아연 순이다. 상기 3종의 물질 이외 비소와 구리가 각각 32개, 31개 지점이었고 그 다음 납, 카드뮴 순이었다. 수은은 2개 지점에 불과하였으며 6가 크롬은 우려기준을 초과할 가능성이 없는 것으로 나타났다. 토지이용용도별 분석에서는 공장용지가 187지점으로 가장 많았으며 다음은 대지(101지점), 도로(62지점), 잡종지(57지점) 순이다. 허용한계가 토양오염우려기준을 초과할 가능성이 가장 적은 지점은 공원과 유원지로 각각 5지점씩이었다.

허용한계의 우려기준 초과지역은 토양측정망 운영결과로 비추어 토양질의 변화가 어느 정도 발생한 것으로서 해석할 수 있다. 오염부하가 상대적으로 타 토지용도보다 높게 예상되는 공장용지, 대지, 도로 등의 허용한계가 우려기준 초과하였다. 따라서 그동안 운영되어온 토양측정망이 전국 토양질의 변화를 일정 부분 파악할 수 있는 데이터를 양상하고 있는 것으로 나타났다.

토양측정망 운영결과 분석으로 새롭게 해석할 수 있는 점은 니켈의 경우 전반적으로 높은 배경농도가 그동안 토양측정망 운영결과 기준초과를 야기했을 가능성이 높은 것으로 나타났고, 반면 아연과 불소는 지속적 오염부하로 인한 결과가 토양측정망에 반영된 것으로 나타났다.

토양측정망의 본연의 목적인 토양질의 변화를 파악하고 신뢰성 있는 데이터를 양상하기 위해서는 측정망 지점의 일정한 장소에서의 대표적 시료채취가 가장 시급한 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 환경부에 의해 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

박용하, 1997, 토양질 측정자료의 관리체계 구축방안, 우선관리 대상 토양오염물질 선정 연구: 선정기법 및 적용성 연구, 한국환경정책평가연구원, p. 50.

임성재, 2007, 토양 및 지하수수질 보전제도 분석과 관리개선방안- 토양 및 지하수수질 측정망 운영체계 중심으로, 연세대학교

보건대학원, p. 65.

환경부, 2005, 2004년도 토양측정망 및 실태조사 결과

환경부, 2007a, 환경백서

환경부, 2007b, 2006년도 토양측정망 및 실태조사 결과

환경부, 2008a, 2007년도 토양측정망 및 실태조사 결과

환경부, 2008b, 토양측정망 재평가 및 확대 관리방안 연구, p. 143.

황상일, 김훈미, 이양희, 2006, 효율적인 오염토양부지 정보관리 체계 구축방안: 국내외 현황 및 시사점, 지하수토양환경, 11(6), 1-7.

McBean, E.A. and Rovers, F.A., 1998, Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data & Risk Assessment, Prentice Hall, Inc, Upper Saddle River, NJ, p. 99.