

EMPLUX Collector에 의한 토양 오염 가스 조사

김 정 성

대구대학교 과학교육학부

(2007년 12월 3일 접수; 2007년 12월 20일 채택)

Soil-Vapor Survey on Soil-Remediation by EMPLEX Collector

Jung-Sung Kim

Division of Science Education, Daegu University, Gyeongsan Gyeongbuk 712-174, Korea

(Manuscript received 3 December, 2007; accepted 20 December, 2007)

Abstract

Laboratory analytical results of 22 sets of hydrophobic adsorbent coils containing surface soil-vapor and two soil samples collected by conventional intrusive method from each boring location at two active dry cleaning facilities in the State of Illinois, U.S.A, were presented to evaluate the performance of soil-vapor survey. The most critical factor to determine the effectiveness of soil-vapor survey is the distance from the soil-vapor sampling device to the actual contamination, which is a function of soil porosity, permeability, primary lithology, and other geological and hydrogeological site-specific parameters. Also this factor can be affected by the history of contaminant-generating operations. The laboratory analytical results in this study showed longer drycleaning operation history (i.e., 50 years) and presence of fine sand at the beneath Site B allow the contaminants to migrate farther and deeper over a fixed time compared to Site A(i.e., 35 years and silty clay) so that the soil-vapor survey is not likely the most effective environmental site investigation method alone for Site B. However, for Site A, the soil-vapor survey successfully screened the site to identify the location reporting the highest soil concentration of chlorinated solvents.

Key Words : EMPLUX, EPA, ASTM, Soil-remediation, Soil-vapor

1. 서 론

토양은 지구상에 존재하고 생활하는 모든 생명체의 기본적인 지지체 역할을 하고 있으며 지구환경을 조화시키는데 매우 중요하다. 모든 생명체가 건전하게 서식하고 생활하기 위해서는 공기, 물, 온도 등 환경요인들은 서로 균형을 이루고 있어야 한

다. 토양은 이들 환경 요건을 직·간접적으로 생명체에 제공하기 때문에 환경 요인 중에서 가장 중요한 부분이다. 최근에는 환경오염의 문제가 전지구적으로 거론되고 있으며, 대기, 수질, 폐기물 등의 환경오염은 최종적으로 토양환경 오염으로 직결되고 있다¹⁾.

금세기의 토양오염은 농경지의 과도한 비료사용 살충제 제초제의 사용에 의한 것이었으나 최근에는 산업 활동에 의한 인위적인 오염이 더욱 심각해지고 있다. 예컨대 폐광산 주변에 있는 중금속 오염물질, 송유관 주변에 있는 휘발성 유기물질, 산업폐기

Corresponding Author: Jung-Sung Kim, Division of Science Education, Daegu University, Gyeongsan Gyeongbuk 712-174, Korea
Phone: +82-53-850-6984
E-mail: jskim2@daegu.ac.kr

물 등 모든 오염물질의 최종 집결지는 토양오염이다. 따라서 이러한 토양오염은 미리 방지하는 것이 최선의 방법이므로 정부에서도 많은 관계법령을 공포하고 있지만 그것이 쉽지가 않고, 이미 오염되어 있는 것을 어떻게싼 비용으로 복원시킬 것인가가 더욱 중요하다. 이를 위해서는 토양 오염도를 조사하는 방법은 대상이 무엇이냐에 따라서 여러 가지가 있다. 그리고 오염지역에서 얼마 떨어진 곳에 어느 정도가 오염되어 있는가를 먼저 조사해야 한다.

미국의 경우에는 환경법상으로 Phase 1 및 Phase 2⁵⁾라는 건물이나 토양의 역사기록을 반드시 기록하여 보관하게 되어있다. 일반 개인 주택이라 할지라도 지하에 무엇이 매설되어 있으며, 지붕이나 건물벽이 어떤 자재를 사용하였으며, 무슨 색의 페인트로 몇 년 주기로 몇 번 바뀌었는지도 기록이 남아 있어야 한다. 이와 같은 오염지역에 대한 역사적 기록을 토대로 하여 오염물질이 무엇이며, 이것이 시간이 경과됨에 따라 어떻게 변화되는지를 조사하고 있다. 만약 토양오염이 심각하여 지하수까지 영향을 끼칠 경우에는 지질학적인 고찰에 의하여 지하수의 이동방향까지 추적하여 검사하고 있다. 이를 위해서는 오염원을 중심으로 하여 순차적으로 boring(시추 혹은 굴착)을 하여야 하며, 깊이도 지하수가 있는 곳까지 시추를 해야 한다. 왜냐하면 토양이 오염이 되면 당연히 지하수도 오염이 되며, 지하수는 지질학적으로 이동하게 되어있기 때문이다. 그러나 이러한 것을 모두 다 조사하려면 시간과 경비는 너무 많이 든다.

따라서 본 연구에서는 보다 용이하면서 빠르고 정확할 뿐만 아니라 경비절감도 되는 토양오염 기체 시료 채취장치(EMPLUX collector)를 사용하여 미국 도심의 중심에 있는 상가지역 중에서 35년의 역사와 50년의 역사를 가진 두개의 드라이클리닝(dry cleaning) 공장을 선정하여 오염도를 검사하고, 그 검사결과가 종전의 boring을 하는 방법과 비교하여 어느 것이 더 효율적인가를 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상 장소(Site)

전 세계에서 드라이클리닝 공장이 가장 많은 곳이 미국인데, 이들 드라이클리닝 공장에서 사용하는

용제(solvent) 중에서 가장 문제가 되는 환경 공해 물질이 tetrachloroethylene (TCE)³⁾이다. 이 TCE는 대기나 토양을 오염시킬 뿐만 아니라 지하수를 오염시키기 때문에 미국 전역에서는 이 문제가 항상 크게 대두되고 있다. 특히 미국의 일부 지역에서는 주택가나 상가지역이라도 식료품 가게나 식당이 있는 지역에는 드라이클리닝 공장의 허가를 불허하고 있다.

본 연구에서는 연구 대상지역을 미국 일리노이주의 중심에 있는 상가지역 중에서 현재 가동 중인 35년의 역사와 50년의 역사를 가진 두개의 공장을 선정하였으며, 두 개의 방법 즉, EMPLUX collector의 사용과 기존의 시추 방법을 다 사용할 수 있는 지역을 선정하였다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 Site A는 35년의 역사를 가진 공장이며, 지반은 고운 모래흙이 많은 토양으로 지표면으로부터 13~15 ft까지 물이 존재하였다. 최대 깊이는 32 ft까지 시추하였으며, 시추의 수는 총 10개이며, 간격은 1~2 ft 정도이다.

Site B는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 50년의 역사를 가진 현재 가동 중인 공장으로써, 토양은 자갈 흔적이 있는 미세한 모래층으로 구성되어 있으며, 지표면으로부터 6~8 ft 정도의 물이 존재하였다. 최대 깊이 28 ft 까지 시추를 하였으며, 총 12개의 구멍을 뚫었다.

2.2. 연구 방법

2.2.1. EMPLUX collector

EMPLUX collector는 Fig. 3과 같이 흡착제가 들어 있는 특허제품으로써 유리병으로 구성되어 있다. EMPLUX collector를 설치할 때는 토양표면의 아스팔트나 콘크리트를 제거하고 지표면으로부터 약 3 ft 정도의 수직 구멍을 뚫었다. 또한 설치 후에는 그 구멍의 표면을 단단한 덮개로 잘 덮어서 설치물이 이동하거나 움직여서 기체가 빠져나가지 못하도록 잘 보존하고, 설치 장소에 위치, 날짜, 시간 그리고 참고자료를 기록하였다. 장치를 설치하고 약 48 ~ 72 시간이 지난 후 이 장치를 회수하여 깨끗하게 정리한 다음 밀봉하고 표시(위치, 날짜, 시간)를 부착한 뒤 분석 연구실로 보내어 미국환경청(United States Environmental Protection Agency, USEPA)⁴⁾ 규정 8021에 의거하여 분석하였다²⁻¹¹⁾.

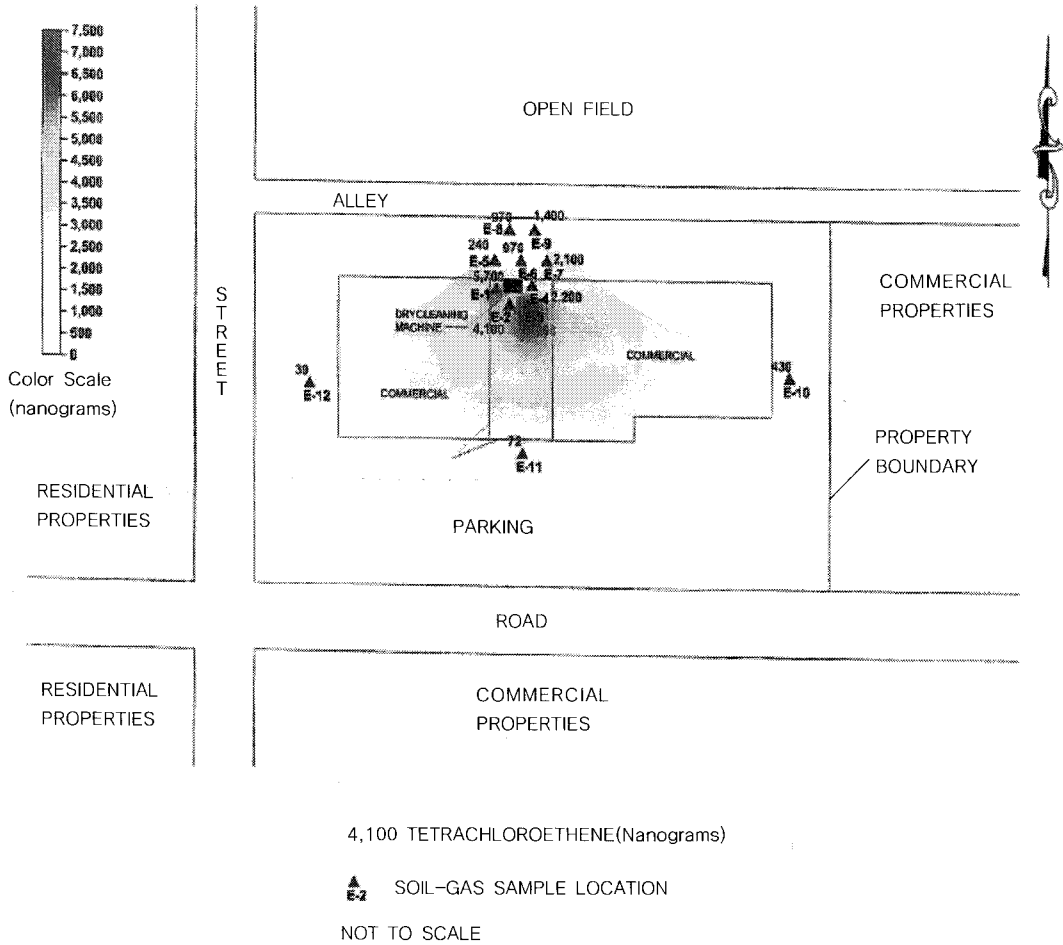


Fig. 1. Soil-vapor analytical control map-Site A.

2.2.2. Boring(시추, 굴착)에 의한 방법

시추 방법은 직접 직선 굴착 방법을 사용하였다. 시추 기계는 Dolly-mounted GeoProbe 설비를 사용하였으며, 직경 4 inch 전기 코어 기계로 콘크리트 제거한 다음에 토양 시료를 채취하였다. 토양 시료의 채취는 직경 1 inch 추출관(tube)과 깊이가 4 feet 간격이고 길이가 12 ~ 16 feet 범위의 일회용 추출 라이너를 이용해서 채취하였다. 채취한 토양시료들은 40 ml의 샘플용기에 담아 라벨을 붙여 분류한 다음에 얼음이 들어 있는 냉장고에 보관하였다. 토양 샘플이 끝난 뒤에는 시추했던 구멍들을 포화된 벤토나이트(화산재가 풍부한 점토) 콘크리트 또는 아스팔트로 메웠다.

각 시추공에서 채취한 토양 샘플들은 USEPA Method 8260B(EPA Target Compound List)⁶⁾에서 규정하는 VOC 성분들을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

EMPLUX collector에 의한 토양오염 기체 조사 방법은 오염원에서부터 나온 기체를 전부 포집하는 것으로, 다양한 시료 추출 지역으로부터 시료 양의 상대적 크기를 비교하여 정보를 얻을 수 있다. EMPLUX collector에 의한 시료의 분석결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이때, 주로 발견되는 물질들은 PCE, TCE, cDCE, VC와 같은 물질들이었으며, 이들

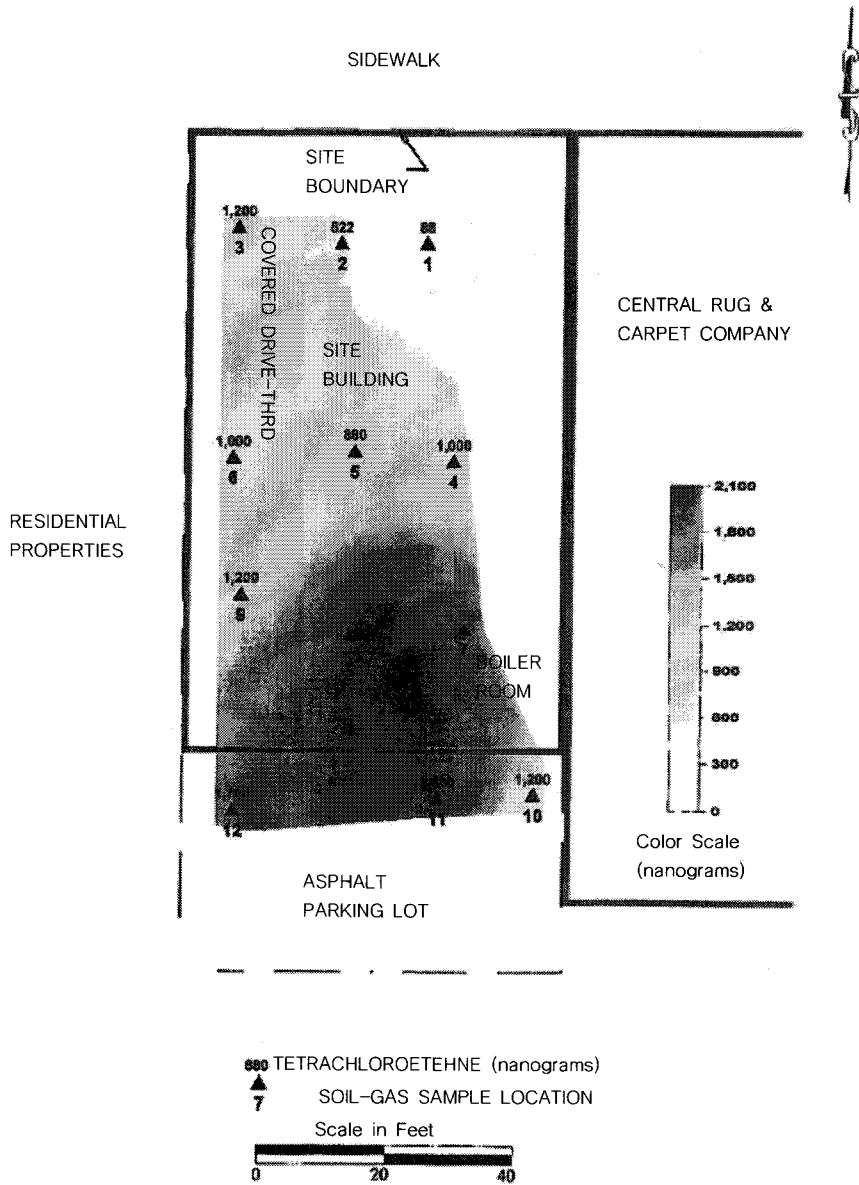


Fig. 2. Soil-vapor analytical control map-Site B.

물질들을 대상으로 하여 검토하였다⁷⁾.

Table 1에서 보여 지듯이 Site A에서 채취한 토양 시료가스의 분석결과는 PCE는 E-3에서 7400 ng, TCE E-2에서 1300 ng, cDCE는 E-8에서 1900 ng, 그리고 tDCE는 E-8에서 540 ng으로 최대로 검출되었다. PCE에 대해 살펴보면 Fig. 5에서 보여 지는 바와

같이 드라이클리닝 기계와 가까운 지역에서 시작되어 그 공장 밖으로 이동하는 오염원이 나타났다. Site B의 경우에는 PCE가 E-8과 E-11에서 2100 ng, TCE는 E-11에서 1000 ng, cDCE는 E-11에서 320 ng, 그리고 tDCE는 E-11에서 94 ng으로 최대로 검출되었다. 토양오염원과 드라이클리닝 기계의 설치장소

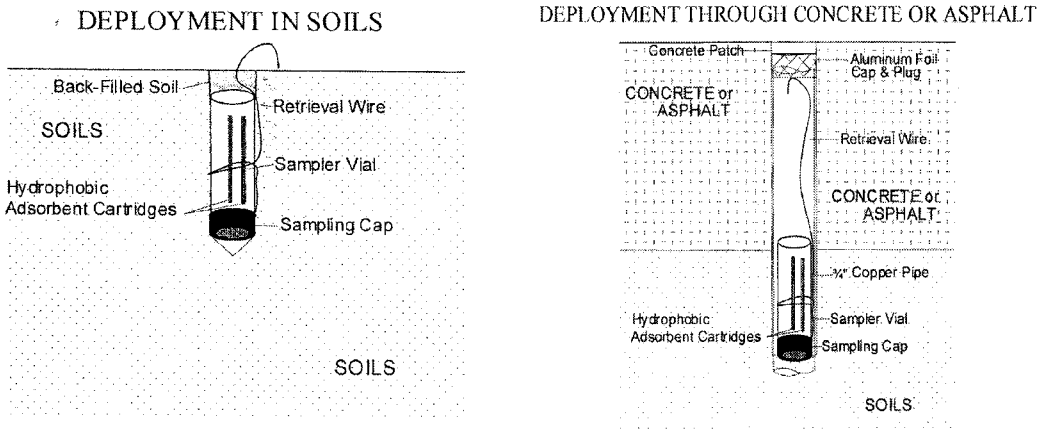


Fig. 3. Deployment of soil-vapor sampling device and deployment in soils.

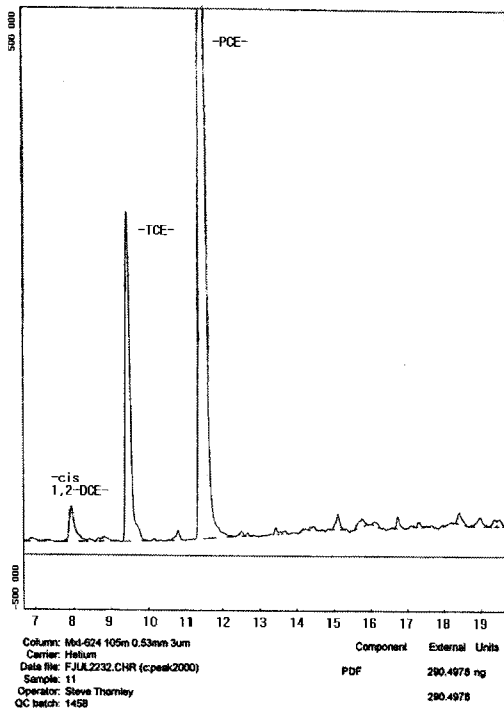


Fig. 4. Gas Chromatography.

와의 거리 관계를 나타낸 Fig. 6에서 보면 기계와 가장 가까이 있는 곳에서 가장 높은 치수의 오염도를 나타내었다.

또한 Table 1과 Table 2에서 boring 법으로 Site A와 Site B에서 채취한 44개의 토양 시료에 대한 분석 결과를 보면, Site A에서 boring 법에 의한 결과

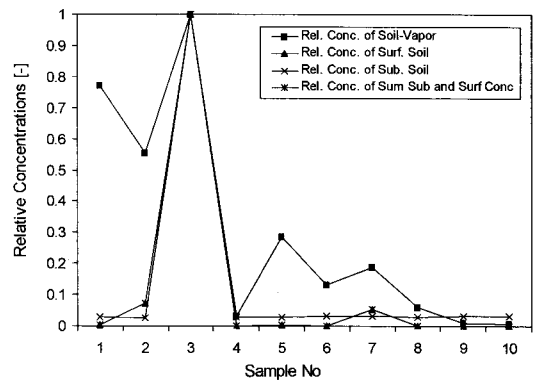


Fig. 5. Comparisons of laboratory analytical results of soil samples and soil-vapor samples at Site A.

(Table 1)는 최대치가 발견된 농도가 PCE는 660 mg/kg, TCE는 5,7 mg/kg, cDCE는 9.6 mg/kg, tDCE는 2.7 mg/kg 이하, 그리고 VC는 2.4 mg/kg이었으며, 이는 B-3 지역의 구멍에서 3에서 4.5 ft의 표본을 채취한 결과이다. 최대 PCE가 발견된 농도는 PCE의 토양 포화 한계보다 높았다.

Site B에서 최대치가 발견된 농도는 Table 2에서 보듯이 PCE는 3700 mg/kg, TCE는 15 mg/kg, cDCE는 4.8 mg/kg, tDCE는 2.9 mg/kg, 그리고 VC는 0.19 mg/kg이었다. 최대 PCE와 TCE는 B-12에서 10~12 ft의 토양 표본에서 발견되었으며, 최대 PCE 농도는 Site B에서 또한 포화 한계보다 높게 발견되었다.

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 Site A와 Site B에서 채취한 토양 시료와 토양오염기체 시료에서의 PCE 결과를

Table 1. Comparisons of soil laboratory analytical and soil vapor EMFLUX results at Site A

Sample ID	Depth	Sampled Date	PCE	TCE	cDCE	tDCE	VC
E-1	-	1-10-03	5,700	920	850	<25	NA
B-1	3-4.5 ft bls	1-30-03	2.5	<0.029	<0.015	<0.025	<0.022
	13.5-15 ft bls	1-30-03	<0.0013	<0.0011	<0.0027	<0.0025	<0.0019
E-2	-	1-10-03	4,100	1,300	790	<25	NA
B-2	3-4.5 ft bls	1-30-03	47	3.4	2.3	<0.12	<0.11
	13.5-15 ft bls	1-30-03	<0.0012	<0.001	<0.0024	<0.0023	<0.0017
E-3	-	1-10-03	7,400	1,100	1,400	81	NA
B-3	3-4.5 ft bls	1-30-03	660	5.7	9.6	<2.7	<2.4
	13.5-15 ft bls	1-30-03	0.047	<0.001	<0.0024	<0.0023	<0.0017
E-5	-	1-10-03	240	<25	93	<25	NA
B-4	6-8 ft bls	1-29-03	0.057	0.046	0.07	<0.0025	<0.0019
	18-20 ft bls	1-29-03	<0.0013	<0.0011	<0.0026	<0.0024	<0.0018
E-7	-	1-10-03	2,100	600	300	<25	NA
B-5	2-4 ft bls	1-29-03	2	0.39	0.18	<0.025	<0.022
	18-20 ft bls	1-29-03	<0.0013	<0.0011	<0.0026	<0.0025	<0.0019
E-8	-	1-10-03	970	550	1,900	540	NA
B-6	2-4 ft bls	1-29-03	0.14	0.032	0.082	<0.0029	<0.0022
	26-28 ft bls	1-29-03	<0.0014	<0.0011	<0.0027	<0.0026	<0.0019
E-9	-	1-10-03	1,400	690	740	<25	NA
B-7	6-8 ft bls	3-14-03	36	0.42	0.47	<0.13	<0.11
	18-20 ft bls	3-14-03	<0.0014	<0.0011	<0.0028	<0.0026	<0.002
E-10	-	1-10-03	430	<25	<25	<25	NA
B-8	4-6 ft bls	3-14-03	0.014	0.0052	<0.003	<0.0029	<0.0022
	18-20 ft bls	3-14-03	<0.0013	<0.0011	<0.0027	<0.0025	<0.0019
E-11	-	1-10-03	72	<25	<25	<25	NA
B-9	4-6 ft bls	3-14-03	<0.0014	<0.0011	<0.0028	<0.0026	<0.0019
	18-20 ft bls	3-14-03	<0.0014	<0.0012	<0.0029	<0.0027	<0.002
E-12	-	1-10-03	39	<25	<25	<25	NA
B-10	12-14 ft bls	3-14-03	<0.0015	<0.0012	<0.0029	<0.0028	<0.0021
	18-20 ft bls	3-14-03	<0.0015	<0.0012	<0.0029	<0.0028	<0.0021

- 1) PCE = Tetrachloroethylene, TCE = Trichloroethylene, cDCE = *cis*-1,2-dichloroethylene, tDCE = *trans*-1,2-dichloroethylene, and VC = vinyl chloride
- 2) Soil samples (i.e., B-1) were analyzed by the US EPA Method 5035/8260B and expressed in mg/kg.
- 3) Soil vapor samples (i.e., E-1) were analyzed by the US EPA Method 8021/8015B and expressed in nanograms (ng).
- 4) E = Soil vapor sampling location. E-4 and E-6 do not have corresponding soil boring locations.
- 5) B = Soil boring location
- 6) <25 = below reported quantitation level
- 7) NA = not analyzed
- 8) VC were not analyzed for vapor samples because Method 8021 did not use a focusing trap to target VC in 2002. Now VC are analyzed by 8260.

비교하여 나타낸 것이고, Fig. 9와 Fig. 10은 Site A와 Site B에서 채취한 토양 시료와 토양오염기체 시료에서의 TCE 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 이들

그림은 토양오염기체시료와 표층 토양 및 지표밀의 토양시료에서의 PCE와 PCE 농도와 상대적인 값을 나타낸 것이다. 각각의 검출값과 농도는 상대적인

Table 2. Comparisons of soil laboratory analytical and soil vapor EMFLUX results at Site B

Sample ID	Depth	Sampled Date	PCE	TCE	cDCE	tDCE	VC
E-1	-	7-15-02	88	<25	<25	<25	NA
B-1	1-2 ft bls	7-30-02	<0.0059	<0.0059	<0.0059	<0.0059	<0.0059
	8-10 ft bls	7-30-02	<0.0058	<0.0058	<0.0058	<0.0058	<0.0058
E-2	-	7-15-02	522	73	<25	<25	NA
B-2	2-3 ft bls	7-30-02	0.0056	<0.0051	<0.0051	<0.0051	<0.0051
	8-10 ft bls	7-30-02	<0.0056	<0.0056	<0.0056	<0.0056	<0.0056
E-3	-	7-15-02	1,200	240	<25	<25	NA
B-3	4-6 ft bls	7-30-02	0.021	<0.0051	<0.0051	<0.0051	<0.0051
	18-20 ft bls	7-30-02	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045
E-4	-	7-15-02	1,000	32	<25	<25	NA
B-4	1-2 ft bls	7-31-02	0.067	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	8-10 ft bls	7-31-02	<0.0058	<0.0058	0.0083	<0.0058	<0.0058
E-5	-	7-15-02	880	85	<25	<25	NA
B-5	8-10 ft bls	7-31-02	0.055	0.028	0.019	<0.0044	<0.0044
	18-20 ft bls	7-31-02	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044
E-6	-	7-15-02	1,000	57	<25	<25	NA
B-6	6-8 ft bls	7-30-02	3	0.095	0.039	0.0068	<0.0056
	18-20 ft bls	7-30-02	<0.0048	<0.0048	<0.0048	<0.0048	<0.0048
E-7	-	7-15-02	1,900	780	<25	<25	NA
B-7	6-8 ft bls	7-31-02	19	0.59	0.15	0.02	<0.0055
	18-20 ft bls	7-31-02	<0.0053	<0.0053	<0.0053	<0.0053	<0.0053
E-8	-	7-15-02	2,100	550	<25	<25	NA
B-8	4-6 ft bls	7-31-02	18	0.5	0.041	<0.0053	<0.0053
	18-20 ft bls	7-31-02	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045
E-9	-	7-15-02	1,200	150	<25	<25	NA
B-9	4-6 ft bls	7-30-02	6.2	0.039	<0.0046	<0.0046	<0.0046
	18-20 ft bls	7-30-02	<0.0053	<0.0053	<0.0053	<0.0053	<0.0053
E-10	-	7-15-02	1,200	100	<25	<25	NA
B-10	6-8 ft bls	7-31-02	0.92	1.7	0.077	2.9	0.19
	16-20 ft bls	7-31-02	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
E-11	-	7-15-02	2,100	1,000	320	94	NA
B-11	6-8 ft bls	7-30-02	49	9.5	4.8	0.069	0.019
	16-20 ft bls	7-30-02	<0.0043	<0.0043	<0.0043	<0.0043	<0.0043
E-12	-	7-15-02	1,700	430	60	<25	NA
B-12	10-12 ft bls	7-30-02	3,700	15	<2.7	0.024	0.071
	30-32 ft bls	7-30-02	0.018	<0.0049	<0.0049	<0.0049	<0.0049

- 1) PCE = Tetrachloroethylene, TCE = Trichloroethylene, cDCE = *cis*-1,2-dichloroethylene, tDCE = *trans*-1,2-dichloroethylene, and VC = vinyl chloride
- 2) Soil samples (i.e., B-1) were analyzed by the US EPA Method 5035/8260B and expressed in mg/kg.
- 3) Soil vapor samples (i.e., E-1) were analyzed by the US EPA Method 8021/8015B and expressed in nanograms (ng).
- 4) E = Soil vapor sampling location.
- 5) B = Soil boring location
- 6) <25 = below reported quantitation level
- 7) NA = not analyzed
- 8) VC were not analyzed for vapor samples because Method 8021 did not use a focusing trap to target VC in 2002. Now VC are analyzed by 8260.

값을 결정하기 위해서 표면 또는 표면 아래에 있는 유사한 화합물인 최고 검출 또는 최고 농도로 구분하였다.

Fig. 7과 Fig. 9에서 보면 Site A에서 토양시료에서의 PCE와 TCE 농도는 낮게 나타났으나, 토양오염 기체 결과로부터 PCE와 TCE의 농도가 최고를 기록

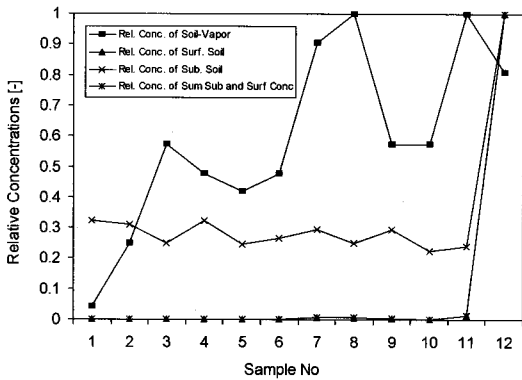


Fig. 6. Comparisons of laboratory analytical results of soil samples and soil-vapor samples at Site B.

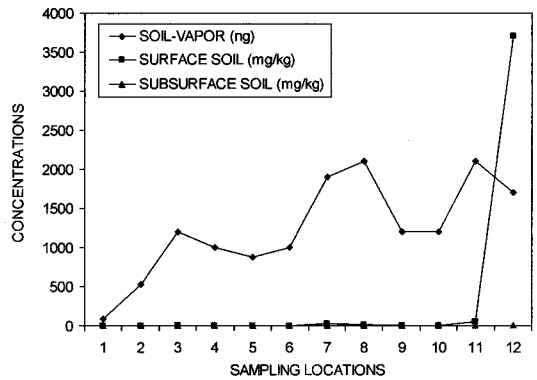


Fig. 8. Comparisons of analytical results for PCE at Site B.

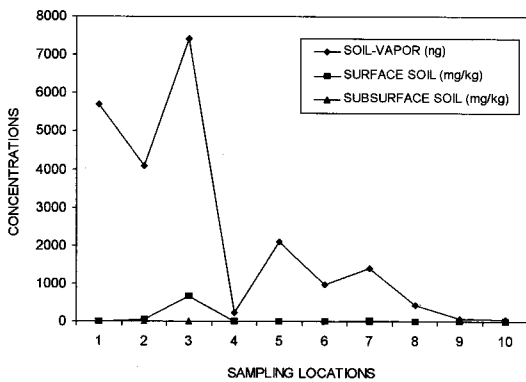


Fig. 7. Comparisons of analytical results for PCE at Site A.

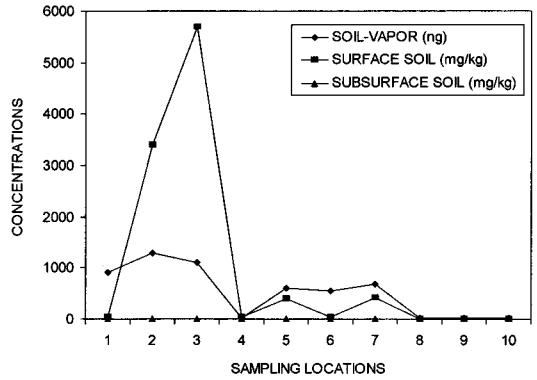


Fig. 9. Comparisons of analytical results for TCE at Site A.

한 토양영역을 확인할 수 있었다. 그러나 두 번째로 높은 토양오염기체가 검출이 두 번째로 높은 토양 농도와 관련이 없었으며, 이는 PCE가 네 번째로 높게 나타난 토양지역에 해당하였다. 일반적으로 PCE의 최고 농도를 기록한 5번째 영역을 알려주는 5번째 토양오염기체 검출값들은 모두 1000 ng 이상이었다. 토양오염가체 시료 검출 영역인 E-1에서 오염물질은 3 ft 보다 깊은 깊이에서 더 낮은 농도로 존재할 가능성이 매우 높는데, 이는 오염원이 토양가스 시료 추출 장치보다 더 가까이 있기 때문에 토양오염가스 농도가 보다 높게 측정된다.

한편 Site B에서 최고 PCE 토양오염기체는 E-8 및 E-11에서 측정되었으나 토양 PCE의 최고 농도는 Table 2에서 보여지는 것과 같이 검출되었다. Fig. 8에서 나타난 것처럼, Site B에서의 토양 PCE의 상대 농도와 토양오염기체의 상대적 검출값 사이에서 상

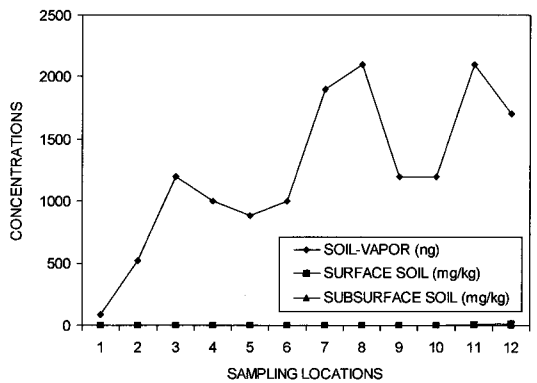


Fig. 10. Comparisons of analytical results for TCE at Site B.

관관계를 정의하는 것은 용이하지 않지만 시추 지점 B-12에서 토양 표본의 검출된 최대 PCE는 10 ~ 12 ft까지 깊이를 가졌다는 것을 주목해보자. E-8 및 E-11에서 최소한 열 번의 토양오염기체 시료가 채

취되었다. 토양오염가스 시료 추출장치로부터 얻은 토양오염가스에 존재하는 화합물의 양은 오염물질의 깊이에 영향을 받는다. 이 지역에서 이루어진 토양오염기체 조사 결과는 토양오염기체 시료와 실제 오염지역 사이의 상관관계가 높지 않아 표면 오염 한계를 확인하지는 못하였다.

토양오염기체 조사의 효과를 결정하는 데 있어서 시료와 실제 오염원까지의 거리는 가장 중요한 요소인데, 이것은 오염 생성작용과 한 지점에서의 지질학적 퇴적작용이 일어난 기간에 주로 의존한다. Site B에서는 드라이클리닝 공장의 사용 기간이 Site A보다 길고, 그 지역 아래에 존재하는 미세한 모래로 인하여 Site A에서와는 대조적으로 정해진 시간 동안 오염물질이 더 깊게 그리고 더 멀리 이동한 것으로 추정된다.

자료의 유용성을 결정하는 데는 질량이라는 특정 단위보다는 자료의 신뢰성과 일관성이 더 중요하다. 따라서 토양 및 지하수 오염에 대한 기준농도를 초과하는 비교적 높은 토양오염기체 값을 나타내는 하나 혹은 두개의 지점에서의 시료를 추출하는 것이 중요하며, 결과에서 이 값은 대략적으로 비례관계를 나타내고 있다. 이러한 결과는 토양오염기체의 측정량에 관련된 토지 측량과 지표면에 가까운 오염 농도를 예측하는 데 사용될 수 있다. 따라서 본 연구에서 검토된 EMPLUX collector에 의한 토양오염 기체 조사 방법은 시추 비용과 시간을 상당히 절약할 수 있는 정보를 제공한다. 예를 들면, 연구에 대한 활동시간과 예산의 25%가 연구에서의 토양오염기체 측정하는데 소요된다. 본 연구결과를 통해 얻어지는 자료는 각 조사 지역에서 예상되는 오염물질에 관한 체크리스트를 제공하며, 어디에서 어떻게 시추 예산을 가장 효율적으로 사용할지를 결정하는데 도움을 준다. 하지만 특정한 시료가 갖는 특정한 여건, 예를 들어 토양의 다공성과 투과성, 오염의 깊이, 높은 곳에 자리 잡은 지하수의 존재, 토양 가스 측정량의 위치 선정 등이 중대한 영향을 미치게 된다는 것을 염두에 두어야 한다. 본 연구에서는 단지 두개의 드라이클리닝 공장을 대상으로 진행하였지만 연구대상은 다양하다. 즉, 송유관의 파손에 의한 오염, 유류 저장 탱크의 파손에 의한 오

염, 도금 공장 주변의 오염, 기계 제조장 주변의 오염, 병원 등에서 사용한 화학 물질 등에 의한 오염 복원 등에 다양하게 적용할 수 있다.

그러나 본 연구에서 사용한 EMPLUX collector의 경우에는 오염원이 휘발성 유기물인 것을 Phase 1나 Phase 2에서 확인했기 때문에 이 방법으로 접근이 가능하지만 기계 제조장이나 도금공장등과 같은 경우는 중금속에 의해서 오염이 되었으므로 EMPLUX collector 에 의한 방법은 적용하는데 제한을 받을 것이다.

4. 결 론

미국 일리노이주에 있는 현재 가동 중인 두개의 드라이클리닝 공장을 선정하여 토양오염을 조사하였다.

표본을 채취하기 위하여 22개의 장소에서 전통적인 시추법과 새로운 방법인 EMPLUX KIT 를 사용하는 방법으로 채취한 시료를 실험실적 분석에 의하여 얻어진 결과를 비교 평가하였다. 이 연구에서 얻어진 가장 중요한 결과는 토양오염원에서부터 멀어진 거리와 그 장소에서의 오염농도와의 관계라고 말할 수 있다. 그 원인은 오염원에서 발생한 오염물질이 지하 토양속으로 스며들어 퍼져나갈 때, 토양의 성질 예컨대, 다공성이나, 찰흙이나, 모래나, 자갈 그리고 암석이나에 따라서 침투성이 다르기 때문에 나타나는 결과라고 본다.

또 하나는, 토양 오염물질에 오염된 기간이 매우 중요한데 그 이유는 토양의 성질이 세밀한 모래흙이나 혹은 점토흙이나 에 따라서 스며들어가는 시간과 농도가 달랐다.

그래서 SITE B에서는 EMPLUX kit에 의한 표본 조사방법이 권장할 만한 것은 못되지만, Site A 특히 휘발성 유기용매를 사용한 장소에서는 EMPLUX kit 가 매우 성공적이라고 할 수 있는 결과를 얻었다.

감사의 글

이 과제는 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 과제이다. 대구대학교에 감사하는 바이다.

참 고 문 헌

- 1) 오종민, 배재근, 2001, 토양오염학, 신광문화사, p17.
- 2) TITLE 35, Environmental Protection, Subtitle G, 2002, Waste Disposal, Chapter I. Pollution Control Board, Subchapter f, Risk based cleanup objectives, Part 742, Tiered Approach to Corrective Action Objectives, 37.
- 3) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), 2001, D 5092 Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers, 320pp.
- 4) Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical /Chemical Methods (The EPA publication SW-846), 2000, 12~15.
- 5) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), E 1527 Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process, 320pp.
- 6) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), 2001, D 1452 Practice for Soil Investigation and Sampling by Auger Borings, 320pp.
- 7) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), 2001, D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids, pp. 320.
- 8) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), 2001, D 1586 Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils, 320pp.
- 9) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), 2001, D 2487 Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), 320pp.
- 10) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), 2001, D 2488 Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure), 320pp.
- 11) ASTM Standards Related to the Phase II Environmental Site Assessment Process (2nd ed.), 2001, D 4220 Practices for Preserving and Transporting Soil Samples, 320pp.