

특정토양오염관리대상시설의 실태에 관한 고찰

김기호* · 박재수 · 김해금 · 최상일

광운대학교 환경공학과

Present Status of Soil Contamination Facilities

Ki-Ho Kim*, Jae-Soo Park, Hae-Keum Kim, and Sang-Il Choi

¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

This study was to build the database by collecting the results of legal leak test and self-test conducted by the owners of soil contamination facilities at soil-related specialized agency to grip objective status on soil contamination facilities and evaluate classification results. The results of the study showed that the unsuitable rate of business unit is 53.6%, the business with leak that could cause actual pollution is 25.7%, the unsuitable rate of the voluntary self-test is 57.3%, that of the compulsory inspection is 17.2% depending on the test motivation, that of the direct-test is 58.9%, and that of the indirect-test is 22.5% depending on the test methods. There was a significant difference between the test motivation conducted and the test methods applied. From the results of the unsuitable reasons obtained we could assume that about 20% of the whole target tanks became potential sources with natural defects occurred when such tanks were made, and 2.2% of the whole tankers examined that persisting period was caused by progressing corrosion below the minimum thickness.

Key words: Leak test, Oil storage tank, Soil contamination facilities

서 언

특정토양오염관리대상시설은 1994년 토양보전법 제정이 후 정기적인 토양오염도검사를 통해 부지의 오염을 확인하여 정화를 하고 있으나 지속적으로 오염이 발생되고 있다. 주유소 등에서 토양오염은 넘침이나 흘림 등 취급상의 부주의로 발생되기도 하나 저장탱크 (Storage Tank)나 배관계통으로부터의 누설에 기인한 것이 절대다수를 차지하고 있다. 석유류 저장시설 (Petroleum Facilities)은 탄소강으로 제작·설치되고 부식되기 쉬운 환경에 노출되어 있어 시간이 지남에 따라 자연적으로 노후화가 진행되며, 설비에 작용하는 각종 물리력에 의해 시설이 손상되기 쉬우므로 정기적인 점검을 통해 시설의 이상을 조기에 발견하여 보완하는 것이 무엇보다 중요하다.

그러나 1993년 소방법에서 위험물제조소 등에 대한 정기 점검 제도가 도입되어 1995년부터 1996년 사이에 일부 실시된 것을 제외하면 석유류저장시설에 대한 국가적 차원의 사후관리제도는 사실상 전무하였으며, 토양오염도검사결과 오염의 개연성이 있는 경우에 누출검사를 실시하도록 한 토

양환경보전법의 규정만으로는 토양오염을 근본적으로 예방할 수 없어 이를 개선해야 한다는 의견이 꾸준히 제시되었다. 이에 따라 환경부에서는 2004년 토양환경보전법을 개정하여 설치 후 10년 이상인 시설에 대하여 정기적으로 누출검사를 받도록 하고, 동법 시행일인 2006년 7월 1일을 기준으로 이미 10년이 이미 경과한 시설에 대하여는 설치경과 연수에 따라 2006년부터 2008년까지 순차적으로 누출검사를 받도록 하였다.

이와 같이 시행된 누출검사결과 2007년에는 검사를 받은 업소 5,856개소 중 127개소가 부적합되어 부적합률은 2.17%로 나타났고, 2008년도에는 검사를 받은 5,843개소 중 57개소가 부적합되어 부적합률은 0.98%로서 2006년 이전까지의 누출검사 평균 부적합률 (7.9%)에 비해 매우 낮았으며, 각종 선행조사와 논문 등에서 발표된 실태와도 차이를 보여 이에 대한 원인 규명과 실제 시설의 객관적인 실태를 파악하는 것이 향후 특정토양오염관리대상시설에 대한 사후관리에 있어 중요한 과제로 대두 되었다.

이에 본 연구에서는 토양관련전문기관 (누출)이 신청을 받아 실시한 법정누출검사, 시설의 소유자가 자발적으로 의뢰하여 실시한 자체정밀검사, 기타 선행 연구결과 등을 토대로 국내 특정토양오염관리대상시설의 객관적인 실태를 파악하고, 점검유형에 따른 결과를 비교 평가하였다.

접수 : 2012. 2. 24 수리 : 2012. 3. 19

*연락처 : Phone: +82314271195

E-mail: khgold@firenv.co.kr

재료 및 방법

조사범위 본 연구는 한 토양관련전문기관이 2000년부터 2011년까지 실시한 법정누출검사와 자체정밀검사 결과를 기반으로 하였다. 조사 범위에는 총 1,715개 업소의 저장탱크 5,337기, 주입배관 5,208라인, 주유배관 13,091라인, 통기관 3,479라인의 점검결과가 포함되었으며, 자체정밀검사를 주기적으로 실시하여 점검시기가 다른 정유사 소유의 일부시설에 대하여는 점검시점에서의 특정토양오염관리대상시설의 상태를 나타내는 유효한 정보로 간주하여 중복 반영되었다.

조사범위에 포함된 1,715개 업소는 점검동기에 있어서는 법정누출검사를 실시 699개소, 자체정밀조사 실시 1,016개소이며 점검방법에 따라서는 직접법과 간접법으로 점검한 곳이 각각 870개소와 845개소이고, 시설의 소유자별로는 정유사 직영주유소가 922개소, 일반자영주유소와 산업체 등이 793개소이다. 한편, 점검 보고서상에 시설의 설치년도가 기록되어 설치시기가 확인된 곳은 총 1,387개소로서, 이를 5년 단위로 분류한 설치시기와 점검을 실시한 시점을 기준으로 환산한 설치경과년수별 조사대상시설의 분포는 Table 1과 같다.

조사방법 조사대상시설에 대한 평가는 토양관련전문기관에서 실시한 점검기록을 데이터베이스로 구축한 다음,

각각의 조건에 따라 분류하여 나타나는 결과와 특징을 분석하여 실제 특정토양오염관리대상의 실태 파악과 점검결과가 상이하게 나타나는 요인을 규명하는데 유효한 정보들을 수집하여 다음과 같이 평가하였다.

- 1) 시설의 실제 상태를 평가하는 항목은 탱크와 배관계통 전체에 대하여 직접법으로 점검한 업소의 점검결과만을 대상으로 하고, 조건에 따라 비교평가를 하는 항목은 조사대상 시설 전체를 대상으로 집계하였다.
- 2) 점검결과를 업소단위로 집계하여 현재 국내의 특정토양오염관리대상시설의 실태를 평가하고 이를 누출검사현황, 선행연구 결과 등과 비교하였다.
- 3) 특정토양오염관리대상시설에 대한 점검동기를 법에 따라 강제적으로 실시하는 법정누출검사와 시설의 소유자가 자발적으로 실시하는 자체정밀검사로 구분하여 각각의 경우에 있어서의 부적합률을 비교하였다.
- 4) 누출검사를 실시하는 검사방식을 저장탱크를 개방하여 비파괴검사법으로 실시하는 직접법과 저장탱크를 개방하지 않고 가압법·미가압법·액면레벨측정법 등으로 실시하는 간접법으로 구분하여 각각의 경우에 있어서의 부적합률을 비교하였다.
- 5) 시설을 구성하고 있는 저장탱크와 부속배관에 대한 점검결과를 토대로 부적합 요인별 발생비율과 실제 토양오염과의 연관성 등에 대하여 조사하였다.

Table 1. Overview of surveyed facilities.

Type	No. of businesses	
Motive of Inspection	Legal Leak Test	699
	Self-Precision Test	1,016
	Total	1,715
Method of Inspection	Direct Method	870
	Indirect Method	845
	Total	1,715
Year of Installation	Before 1985	126
	1986-1990	189
	1991-1995	609
	1996-2000	362
	2001-2005	57
	After 2006	44
	Total	1,387
Lapse of time after installation	Less than 5 Years	136
	From 6 to 10 Years	380
	From 11 to 15 Years	501
	From 15 to 20 Years	262
	More than 21 Years	108
	Total	1,387

결과 및 고찰

업소단위 평가결과 업소단위로 부적합 판정된 현황을 살펴보면 Table 2와 같다. 저장탱크나 배관계통에서 결함 또는 누출이 발생하여 부적합된 업소는 837개소중 491개소로서 부적합률은 58.7%였으며, 오염물질의 누출과 관련이 없는 통기관을 제외한 부적합률은 53.6%로 나타났다.

한편, 시설로부터 누출이 확인되어 부적합된 업소는 통기관을 포함하는 경우 30.7%, 통기관을 제외하는 경우 25.7%였다.

이를 선행연구와 비교하면, 건국대학교 부설연구소 (1993)가 발표한 75%에 비해서는 다소 낮으나 여타 조사결과보다는 높았으며, 법정 누출검사의 평균 부적합률과는 10배 이상 현저한 차이를 나타냈다 (Table 3).

점검동기 별 조사 결과 특정토양오염관리대상시설에 대한 점검결과를 실시한 동기에 따라 법정누출검사와 자

체정밀조사로 분류하여 평가한 결과는 Table 4와 같다.

점검동기에 따른 평가결과를 살펴보면, 법정누출검사의 경우 점검을 실시한 699개 업소 중 120개소가 부적합으로 부적합률은 17.2%인 반면, 자체정밀조사의 경우 1,016개 업소 중 582개소가 부적합으로 부적합률이 57.3%로 법정누출 검사에 비하여 불합격률이 약 3.3배 높게 나타나고 있는데 다음과 같은 요인들이 복합적으로 작용하고 있는 것으로 판단된다.

- 1) 자체정밀점검은 시설의 소유자가 시설에 대한 사전점검을 통해 시설의 이상으로 인한 직간접피해를 예방할 목적으로 자발적으로 실시하는 것이므로 사실적이고 엄격한 기준을 적용하는 반면, 법정누출검사는 법에서 규정하는 바에 따른 의무 이행의 관점에서 실시하는 경우가 대부분으로서 검사에 대한 기대치가 다르다.
- 2) 자체정밀점검은 저장탱크를 개방하여 비파괴시험법으로 점검하는 직접법에 의한 점검을 실시한 비율이 높고, 법

Table 2. Inspection results by business unit.

Decision Range	No. of Businesses	Suitable		Unsuitable	
		No.	Rate %	No.	Rate %
Defect and leak of facilities including vent pipeline	837	346	41.3	491	58.7
Defect and leak of facilities excluding vent pipeline	837	388	46.4	449	53.6
Leak of facilities including vent pipeline	837	580	69.3	257	30.7
Leak of facilities excluding vent pipeline	837	622	74.3	215	25.7

Table 3. Comparison with previous studies.

Study Case		Unsuitable Rate %
This research	Defect and leak of facilities including vent pipeline	58.7
	Defect and leak of facilities excluding vent pipeline	53.6
	Leak of facilities including vent pipeline	30.7
	Leak of facilities excluding vent pipeline	25.7
Konkuk Univ.	Affiliated research institute (1993)	75
Ju-young Kim	Pollution status of gas stations directly operated by refining companies	49
EPA	Steel Tank Leak	25
API	“50% leak experience in 15 years”	50
Legal Leak Test	Statistics of leak test (2001)	21.4
(Ministry of Environment)	Statistics of legal leak test (Average)	3.1

Table 4. Inspection result by each inspection motive.

Inspection Motive	No. of Businesses	Suitable		Unsuitable	
		No.	Rate %	No.	Rate %
Legal Leak Test	699	579	82.8	120	17.2
Self-Precision Test	1,016	434	42.7	582	57.3

정누출검사는 가압법·액면레벨 측정법 등 간접법에 의한 점검 비율이 높는데 기인한다. 직접법에 의한 점검은 저장탱크에 대한 비파괴검사 결과 누출의 잠재적 요인이 될 수 있는 용접부의 결함 등에 대하여도 누출여부와 상관없이 부적합 판정을 하게 되는 반면, 간접법에 의한 점검의 경우 누설이 되는 경우에만 부적합 판정을 하게 된다.

- 3) 법정누출검사는 시설에 이상이 발견되어 부적합 판정을 받은 경우 관할 행정관서에서는 누출부위에 대한 보수 및 재검사와 경우에 따라서는 토양정밀조사와 오염토양 정화 등의 시정명령을 하게 되는데, 이와 같은 2차적인 문제들로부터 회피하고자 즉시 보수를 하여 재검사를 실시하게 되는 경우 부적합으로 집계되지 않게 된다.
- 4) 법정누출검사로 실시한 점검의 불합격률은 17.2%로서 자체정밀조사의 57.3% 보다는 낮으나 전국 누출검사의 평균 부적합률 (3.1%) 보다는 5배 이상 높은 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 타 토양관련전문기관에 비하여 직접법으로 누출검사를 실시한 비율이 상대적으로 높았던 데도 일부 영향이 있었으나 근본적으로는 정확한 검사의 시행과 엄격하고 공정한 판정의 여부에 따른 결과로 추정된다.

검사방식별 평가결과 검사를 실시한 방식에 따라 저장물질이 없는 상태에서 탱크를 개방하고 비파괴검사법으로 실시하는 직접법과 저장물질이 없는 상태에서 실시하는 가압법이나 저장물질이 있는 상태에서 액면레벨측정법/미가·감압시험 등으로 실시하는 간접법으로 분류하여 평가한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5에서와 같이 직접법으로 실시한 경우 870개소 중 512개소가 부적합되어 부적합률은 58.9%를 나타냈으며, 간접법으로 점검한 경우는 845개소 중 190개소가 부적합되어 부적합률은 22.5%로 나타나 점검방식에 따라 큰 차이를 보

이고 있다. 이와 같이 직접법에 의한 부적합률이 간접법에 비해 배 이상 높게 나타나는 것은 다음과 같은 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 판단된다.

- 1) 간접법은 그 방법에 관계없이 특정토양오염관리대상시설로부터 누설이 되는 경우에만 부적합으로 판정이 되므로, 누설이 되지 않더라도 저장탱크의 성능에 영향을 줄 수 있는 용접부의 균열, 기공이나 부식, 두께부족 등에 대하여도 부적합으로 판정하는 직접법에 비해서 부적합률이 낮게 나타난다.
- 2) 배관계통에 대한 검사에 있어 직접법으로 누출검사를 하는 경우에는 개별 배관단위로 압력시험을 실시하므로 배관으로부터의 미세한 누출도 검출이 용이하나, 간접법으로 누출검사를 하는 경우에는 저장탱크의 기상부 또는 저장탱크와 동시에 가압하게 되므로 시험구역의 부피가 커서 배관으로부터의 미세한 누출을 검출할 확률이 떨어진다. 같은 압력에서 같은 크기의 결함으로 새어나가는 기체량이 동일하다고 할 때 압력강하속도는 시험구역의 부피에 반비례하기 때문이다.

시설별 조사결과 특정토양오염관리대상시설을 저장탱크와 부속된 배관계통으로 분류하여 각각의 점검결과를 평가한 결과는 Table 6과 같다.

저장탱크는 누출이 확인된 탱크는 2.6%, 누출은 없으나 결함이 발견되어 부적합된 것을 포함하면 22.2%였으며, 배관계통은 통기관<주유배관>주입배관 순으로 높았다.

주입배관은 타 배관에 비하여 상대적으로 부적합률이 낮게 나타났는데, 통상 주입배관으로 쓰는 강관(100A SCH40, 두께 6 mm)이 주유배관(40A SCH40, 두께 3.7 mm)이나 통기관(50A SCH40, 두께 3.9 mm)에 비하여 두께가 두껍고 규격이 커서 외부 물리력에 의한 손상이나 부식에 의한 누설이 적는데 기인한 것으로 보인다.

Table 5. Inspection result by test method.

Test Method	No. of Businesses	Suitable		Unsuitable	
		No.	Rate %	No.	Rate %
Direct Method	870	358	41.1	512	58.9
Indirect Method	845	655	77.5	190	22.5

Table 6. Unsuitable status by each facilities.

Type	Unsuitable Rate			
	Storage Tank	Inlet Line	Outlet Line	Vent Line
Leak Only	2.6	4.1	5.5	10.3
Non-leak Included	22.2	-	-	-

Table 7. Occurrence rate by each defect type of storage tank.

Type	By each defect type			
	Crack/Blow hole	Non-welding	Insufficient thickness	Partial corrosion
No. of inspected tanks	3,322	3,322	3,322	3,322
No. of non-conformed tanks	594	175	72	146
Occurrence rate (%)	17.9	5.3	2.2	4.4

주유배관은 그 기능상 저장탱크로부터 사용처로 저장물질을 공급하는 배관으로서 저장탱크와 함께 석유류 저장시설에서 누설로 인한 오염을 가장 많이 유발하는 시설중 하나이다. 다수의 저장탱크가 설치된 주유소의 경우 주입배관이나 통기관과는 달리 하나의 저장탱크에 다수의 주유배관이 설치되어 있는 경우가 많아 조사결과에서 나타난 바와 같은 부적합률 5.5%는 배관이 10개가 설치된 업소의 경우 주유배관으로부터의 누설로 인한 오염가능성이 55%에 이른다 고 볼 수 있으므로 각별한 주의가 필요하다.

통기관은 그 구조가 탱크 상단에 대기와 개방되어 설치되어 있고, 그 기능은 탱크내부에 저장물질이 증감함에 따라 대기로부터 공기가 유입되거나 유증기를 배출하는 것이어서 저장물질의 유출을 초래하지는 않으나, 동 배관이 새는 경우에는 외부로부터 지표수가 탱크로 유입될 수 있고, 간접법으로 점검하는 경우에는 당해 시설의 부적합 요인이 되므로 중요한 시설중 하나이다. 통기관이 주입배관이나 주유배관에 비하여 부적합률이 높은 것은 타 배관에 비해 작은 강관을 사용하고 상시 대기에 노출되어 있어 부식이나 물리적 손상 가능성이 큰 반면, 누출의 이상 징후를 확인할 방법이 없고, 동 배관을 통해 야기 될 수 있는 문제들이 상대적으로 덜 심각하여 관리에 소홀하기 때문으로 보인다.

불합격 사유별 조사결과 직접법에 의해 불합격 판정을 받은 저장탱크의 결함 유형별 집계결과는 Table 7에서와 같이 균열/기공 등의 용접부 결함이 전체 점검탱크의 17.9%를 차지하여 가장 많았고, 미용접, 국부적인 부식, 두께부족 등의 순으로 나타났다.

결함의 유형에 따라 미용접 또는 기공 (Blow Hole)과 설치 후 사용하는 과정에서 탱크에 작용하는 응력 등으로 발생하는 일부 균열 (Crack)을 제외하면 탱크 제작시에 발생하는 것으로서, 전체 대상탱크의 약 20%는 이미 제작당시에 발생한 결함을 안고 있다고 볼 수 있다. 이와 같이 탱크 제작 당시의 제작 및 점검 기준이 미흡하거나 점검을 소홀히 하여 현재까지 잠재되어 있는 오염유발 요인들에 대하여 적절한 대책이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 사용과정에서 발생하는 자연부식 또는 국부적인 부식에 의해 부적합되어 내구연한을 초과하고 있는 탱크는 전체의 6.6%에 이르는 것으로 조사되었다.

요 약

누출검사와 자체정밀조사 결과를 토대로 살펴본 국내의 석유류 시설에 대한 객관적인 현황 및 실태 조사 결과는 다음과 같다.

국내 특정토양오염관리대상시설을 업소단위로 평가한 결과 부적합률은 약 53.6%로 누출검사 평균 부적합률 3.1%에 비해 약 17.3배 높다. 특정토양오염관리대상시설의 점검방식별 부적합률은 직접법은 58.9% 그리고 간접법은 22.5%였다. 직접법에 의해 확인된 용접부 결함과 간접법 점검 시 확인되지 않는 배관계통의 누설을 포함한 부적합률은 최대 58.9%까지 증가한다. 실제 특정토양오염관리대상시설로부터 누출이 확인된 업소는 30.7%였으며, 저장탱크·주유배관·주입배관 등에서 누출이 확인되어 당해 시설로부터 오염물질이 외부로 유출되고 있는 업소는 25.7%였다.

특정토양오염관리대상시설의 소유자가 자발적 점검에 의한 부적합률은 57.3%인 반면, 강제적 부적합률은 17.2%로 자체점검 결과가 국내 특정토양오염관리대상시설의 현황에 가깝다고 판단된다.

특정토양오염관리대상시설을 구성하는 시설별 조사결과 각 시설의 부적합률은 저장탱크의 경우 누출 2.6%, 비누출을 포함한 부적합률은 22.2%였으며, 주입배관 4.1%, 주유배관 5.5%, 통기관 10.3%로 나타났다. 저장탱크의 부적합 사유별 요인은 균열 및 기공 17.9%, 미용접 5.3%로 전체 대상탱크의 약 20%가 당해 저장탱크 제작 시부터 잠재적 누출요인을 안고 있는 것으로 추정되며, 부식 또는 국부적으로 진행된 공식 등으로 석유류저장탱크의 최소두께 (3.2 mm)에 미달되어 부적합 판정된 6.6%의 탱크가 내구연한을 초과하거나 도래하고 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부의 “토양지하수복원관리환경기술교육혁신지원사업단”의 지원을 받은 연구이며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

Bae, W.K., J.C. Hong, W.J. Kang, and J.W. Chung, 1999.

- Prevention of soil contamination from underground storage facilities. *Bulletin of Environmental Science*, Vol. 20, 1999, EERI. Hanyang Univ.
- Choi, M.J. 2006. The characterization and management of leaking underground storage tank in gas station. Univ. of Seoul.
- Fleischer, D.W. 1993. Error sources in automatic tank gauging system. ASTM. Leak detection for underground storage tanks, pp. 17-29.
- Jeong, C.W. 2010. A study on interference of the stray current induced by electric railways on adjacent buried pipelines. SNU of S. and T.
- Jeong, J.S. 2000. A study of soil contamination sources and countermeasures in gas Station. Thesis. Yonsei Univ.
- Kim, B.R. 2003. An empirical study on safety management underground hazardous facilities. Thesis. Univ. of Seoul
- Kim, M.J. 2003. Plants of management reinforcement for underground storage tank. KIFE.
- Park, J.S. 2003. Comparison of leak testing methods for underground storage tanks. Hanyang Univ.
- Yoon, T.G. and S. Lee. 2006. A case study on the method to improve on the structure of oil tank. KSMI, Book 10 Vol. 2, pp. 185-190.