

유류탱크 수명과 구조 개선 방안에 대한 사례연구

A Case Study on the Method to Improve on the Structure of Oil Tank

윤 태 국*
Yoon, Tae Gook

이 송**
Lee, Song

Abstract

This study carried out an evaluation of an oil tank that was defective in structure. This paper is divided into two sections which are analysis for the working process and suggestion for improving on the structure of the oil tank. As stated above, it has three major factors as to an improvement, such as the life cycle of structure (especially physical life cycle), and the many factors related to the duration years of the oil tank and analysis result. Based on this study, the improvement of oil tank was established. For example, the ground investigation needs before design and construction of oil tank, and constructing the oil tank by retaining wall type tank is good for maintenance. Also, it is important that the system for drainage is related to maintenance.

요 지

유류탱크 구조물을 대상으로 기 실시한 유류탱크 정밀안전진단 결과를 중심으로 구조적 문제점을 도출하고 이를 근간으로 내구년수를 결정하는 기법에 대하여 제시하고자 하였으며 추가로 구조적 개선사항도 제안하였다. 정밀안전진단 결과 폐기된 유류탱크를 분석하면 시공년도와는 상관없이 시공, 유지관리 등의 정도에 따라 상이한 것으로 분석되며, 탱크형식별로는 매립형의 건전성이 가장 취약한 상태이다. 또한 손상원인별로 분석한 결과 강재 부분에 대해서는 강재의 두께, 용접 불량이가장 많은 상태이며, 기초의 영향에 따른 부등침하의 원인도 다수 조사되었다. 또한, 유류탱크의 수명은 일반적으로 30년 정도를 예상수명으로 관리하고 있으며 연구 결과 내구년수는 30년으로 추정 할 수 있었다.

Keywords : Oil Tank Analysis, Ground Investigation, Retaining Wall Type Tank

핵심 용어 : 유류탱크 안전진단, 내구년수, 탱크 손상원인별 수명

* 정회원, 한국시설안전기술공단 진단1본부 차장

** 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

E-mail: yoon7647@kistec.or.kr 011-359-3233

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 4월 30일까지 학회로 보내주
시면 2006년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

본 연구는 국내외에서 휘발유, 등유, 항공유 등의 각종 유류 등을 저장하기 위하여 사용되어지는 유류탱크에 대하여 1999년부터 5년간 실시한 유류탱크 안전진단 결과를 중심으로 유류탱크 구조물에 발생한 구조적 문제점을 도출하고자 한다. 또한 이를 근간으로 여러 가지 방법을 통하여 유류탱크 구조물의 수명을 제시하였으며 추가적으로 이에 따른 설계, 시공, 유지관리의 중요 점검사항 및 개선사항을 제안하여 체계화하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 유류탱크 수명과 문제점 도출

2.1 구조물의 수명

유류탱크와 같은 강제 시설물은 준공 후 여러 가지 이유로 인하여 구조물의 사용이 정지하게 된다. 이의 내적인 원인으로는 균열과 같이 구조물 자체에 기인하는 것이며, 외적인 원인으로 하중의 증대, 주변지형의 변화 등으로 구분할 수 있다.

또한 이러한 구조물이 사용정지 되기까지를 구조물의 수명이라고 하며 일반적으로 물리적 수명, 기능적 수명, 경제적 수명으로도 분류할 수 있다.

첫째 물리적 수명은 사용개시 후 손상, 마모, 부식, 재해 등으로 성능이 저하되어 사용할 수 없게 되거나, 외력에 저항할 수 없게 되는 한계로서의 수명이다. 예를 들면 부식의 진행과 함께 강재의 두께가 얇아져 내하력이 부족하게 됨에 따라 사용이 정지된 탱크나 송유관 등의 수명이 그 예이다.

둘째 기능적 수명은 건설 후 사회적 환경의 변화에 의해 강제구조물에 요구되는 기능도 변화하고, 기대되는 기능을 만족할 수 없게 됨에 따라 사용정지가 결정되는 경우의 수명이다. 예를 들면 재하하중의 급격한 변화, 기지의 폐쇄, 관로의 이설 등으로 사용이 정지된 경우가 그 예이다.

셋째로 경제적 수명은 강구조물의 성능을 유지하거나 저하된 성능을 향상시키기 위해 요구되는 비용과 교체에 필요한 비용을 감안하여 계속 사용하는 것보다도 교체하는 것이 경제적이란 판단으로 결정되는 재산관리 개념의 수명이다. 그 예로서는 비교적 사용연수가 긴 관로의 부식, 균열 등의 경우 보수·보강 보다는 교체하는 것이 경제적인 경우가 많다.

2.2 유류탱크의 내구년수에 영향을 미치는 요인

본 연구에서는 전술한 3가지의 수명 중 그 영향 범위가 크고 기술적인 주요 검토사항인 물리적 수명에 대

Table 1. 내구년수에 영향을 주는 요인

수명	항목	요인	
물리적 수명	설계	<ul style="list-style-type: none"> · 설계 내용년수 · 사용강재 · 방식설계 · 내마모설계 	<ul style="list-style-type: none"> · 하중과 허용치 설정 · 구조상세 · 부속시설 · 지수시설
	시공	<ul style="list-style-type: none"> · 제작정밀도 · 도장품질 	<ul style="list-style-type: none"> · 용접품질 · 구조물의 방수
	유지관리	<ul style="list-style-type: none"> · 구조물 점검방법 · 손상부재의 보수 · 보강 · 전기방식의 관리 	<ul style="list-style-type: none"> · 건진도 평가 · 도장보수 · 부속설비 보수 · 교체
	재해	<ul style="list-style-type: none"> · 지진 · 홍수 · 해일 · 화재 · 가스폭발 	<ul style="list-style-type: none"> · 강풍 · 동결융해 · 충돌
	외적요인	<ul style="list-style-type: none"> · 기초지반의 이동 · 지반의 침하 · 융기 	<ul style="list-style-type: none"> · 기초의 부동침하 · 인접공사의 영향

하여 고려하고자 한다. 이를 위해서 강구조물의 내수년수에 영향을 미치는 영향을 각각 설계부분, 시공, 유지관리, 재해, 외적인 요인 등을 구분하여 세부적인 사항을 검토 분석하고자 한다. 각각의 영향인자는 Table 1과 같다.

2.3 정밀안전진단 결과 분석

기 시행한 22기에 대한 안전진단결과 10기에 대하여 폐기 등급인 E등급으로 판정된 유류탱크를 조사하여 경과년수, 형식별, 폐기된 손상원인별로 구분하여 내구년수와 관계를 분석하였다.

1) 시공년도별 분석

시공년도별 폐기된 유류탱크의 현황을 보면 '76~'80에 시공된 시설물이 '75 이전에 시공된 시설물보다 더 많이 조사되었으므로 유류탱크의 손상원인은 경과년수에 비례하고 있지 않고 있음을 알 수 있다. 즉 이러한 결과는 경과년수와는 상관없이 구조적인 특성을 고려한

설계, 시공, 유지관리 여부에 따라 구조물의 상태가 다를 수 있다.

2) 유류탱크 형식별 분석

형식별 폐기된 유류탱크는 일반적으로 노출형이 가장 건전하고 다음은 지상복토형, 매립형 순으로 건전성하지 않는것으로 분석되었다.

3) 손상 원인별 분석

손상원인에서는 철판두께부족에 의하여 폐기된 시설물이 가장 많이 조사되었는데 이는 과거 건설된 시설물이 현기준의 허용기준에 미달된 강재두께를 사용하여 발생된 것이며 부식에 의한 철판두께부족은 아닌 것으로 판단된다.

4) 잔존수명평가

형식별 경과년수에 따른 평균수명은 노출형은 31년 매립형은 21년으로 조사되었으므로 매립형의 경우 노출형보다 현저하게 수명을 적은 것으로 분석되었다.

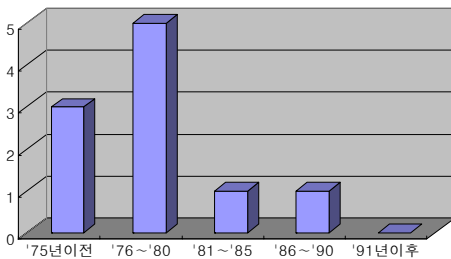


Fig. 1 시공년도별 폐기 유류탱크 현황

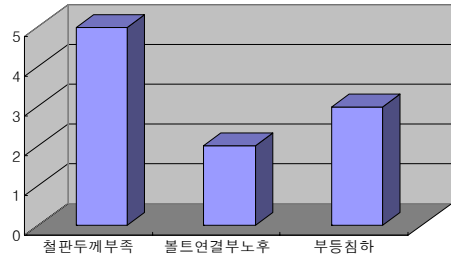


Fig. 3 손상원인별 폐기 유류탱크 현황

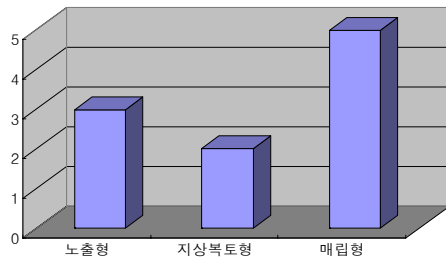


Fig. 2 형식별 폐기 유류탱크 현황

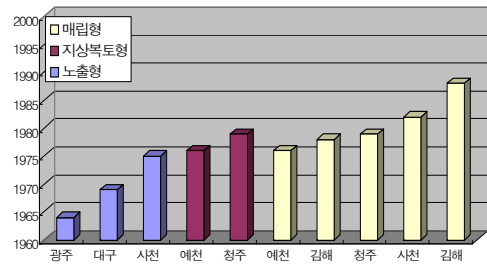


Fig. 4 형식별 경과년수에 따른 폐기 유류탱크 현황

2.4 유류탱크 구조물의 수명

2.4.1 부식을 고려한 수명

이상과 같은 강구조물의 수명과 관련한 사항을 근거로 하여 현재 사용중인 유류탱크에 대한 수명예측방법으로 부식으로 인한 철판두께 감소를 측정하여 내구수명을 예측하는 방법을 통하여 유류탱크 구조물의 수명을 예측하고자 하였다. 부식으로 인한 철판두께 감소는 설계시 철판두께와 현재의 철판두께를 정확히 측정하여야 하나 최근의 탱크를 제외하고는 자료가 미비하여 정확한 수명을 예측하는데는 한계가 있었다. 그러므로 신설 유류탱크가 부식으로 폐기되기까지의 내구수명을 추정하여 내구년수과약의 기초자료로 활용토록 한다.

구조물의 수명추정에 인용된 설계도서는 매립형의 경우 입수한 설계도면을 근거로 하였으며 2만 배럴에서부터 3천 배럴까지 규격별로 내구수명을 추정하였고 노출형은 1천 배럴을 계산하였다.

추정방법은 설계시 강재두께가 최소두께에 도달하는 기간을 부식허용두께로 보고 이 두께가 부식으로 모두 감소하는 기간을 내구년수로 판단하였다. 여기서 최소두께는 하중조건을 적용하여 구조해석 후 최소두께를 적용하여야 하나 편의상 미국석유협회(API 650)에서 제정하고 있는 규격별 최소두께를 적용하였고 부식속도는 국내 방식기술편람에서 발표한 부식속도 값과 일본에서 발표한 문헌을 적용하여 부식속도를 적용하여 내구수명을 계산 하였다.

분석결과 내구수명은 최소 32년~3,200년 까지 나타났다으나 1,650년 이상으로 계산된 내구수명은 해석적

인 결과로서 무의미한 수치이므로 적정값은 32~160년으로 판정할 수 있다. 그러나 부식환경에 따라 급격한 변화에 기인한 것으로서 계산치만으로는 유류탱크의 내구수명을 예측할 수는 없을 것으로 판단된다. 이에 안전성평가에서 시설물에 대한 건전도를 평가하여 잔존수명을 추정하였다.

2.4.2 안전성 평가에 의한 수명

기 실시한 안전진단 결과 조사된 안전도 평가 결과는 A~E등급으로 구분하였으며, A등급으로 분류된 시설물은 건전한 것으로 조사되었으므로 상기 내구년수 기준치인 30년을 적용하되 조사된 시설물의 경과년수 5년 정도를 제외하여 25년을 잔존수명으로 추정하였고 매립형 유류탱크는 노출형보다 평균수명이 현저하게 적게 나타나고 있으므로 20년을 잔존수명으로 추정하였다. 그외 B, C, D, E등급은 차등을 두어 잔존수명을 추정하였다.

Table 3 강재 부식속도 (방식 기술 편람)

구분		부식속도(mm/yr)
대기중	해양 및 항만 도시 내륙	0.05~0.15 0.09 0.025
	수중	해수 오염해수 공업용수
지중		해저토양 매립토양 일반토양
	해수비말대	0.1~0.3
	해수간만조대	0.3~0.5

Table 2 규격별 내구수명

구분	규격	설계두께 (a)mm	최소철판두께 (b)mm	부식허용두께 (a)-(b)mm	내구수명	
노출형	1,000BBL	측벽판	6.35	4.76	1.59	32년~80년
		바닥판	7.94	6.35	1.59	32년~80년
매립형	3,000BBL 5,000BBL 10,000BBL	측벽판	6.5	4.76	1.74	34년~87년
		바닥판	8	6.35	1.65	33년~82년
	20,000BBL	측벽판	10	6.80	3.2	64년~160년
		바닥판	8	6.35	1.65	33년~82년

Table 4 강재 부식속도 (일본)

구분	기준·지침·시방서	부식속도 또는 부식한계
항만	항만시설의 기술상의 기준 · 동해설 (일본 항만 협회, 1979)	HWL이상 0.3mm/yr, HWL과 해저간 0.1mm/yr 해저니층중 0.03mm/yr, 육상대기중 0.1mm/yr 흙안(잔류수위위) 0.03mm/yr, 흙안(잔류수위아래) 0.02mm/yr
건축관계	건축기초구조설계기준 · 동해설 (일본건축학회)	부식한계(0.2mm/yr) x 내용연수
	건설성 주택국 건축지도서	지반의 부식성시험을 행한 경우 : 연간부식한계(mm/yr) × 80 부식성시험을 행하지 않은 경우 : 2mm
	동경도 건축구조설계 지침 (1979. 5)	연간부식한계(mm/yr) × 80 말뚝의 주변 흙에 접한 표면 : 2mm 강재로 둘러싸인 안쪽의 표면(개단말뚝) : 0.5mm
토목	구조물설계표준해설, 기술구조물 및 말뚝도압 구조물 등 (1974. 6) (일본국유철도)	말뚝의 주변 흙에 접한 표면 : 2mm 강재로 둘러싸인 안쪽의 표면 : 0.5mm 6cm 이상의 두께인 콘크리트에 접한 표면 : 0 이들의 값은 중간 정도의 부식성인 지반에서 80년 정도의
	설계기준 (1978. 4) (한신고속도로공단)	부식한계 2mm를 표준으로 한다.
관계	설계요령 제2집(1978.4) (일본도로공단)	부식한계 2mm
	도로교시방서·동해설 IV 하부구조편 (1979. 8) (일본도로협회)	해수와 유해한 공장배수의 영향을 받지 않는 경우에는 환경의 부식성조사를 행하지 않으며, 방식처리도 실시 하지 않을때는 상시 물안 및 흙안에 있는 부분 (지하수안 부분을 포함) 에 대해서는 2mm의 부식한계를 고려한다.
	토지개발사업계획설계 기준. 설계. (농림수산성 구조개선국)	말뚝이 주변 흙에 접한 표면 2mm 강재로 둘러싸인 안쪽의 표면 0.5mm 6cm 이상의 두께인 콘크리트에 접한 표면 0

Table 5 안전성 평가에 의한 내구년한

구분	등급	점수	대상 시설물 (개소)	잔존수명 추정(년)
노출형	A	80이상	11	25
	B	65~75	7	20
	C	55~60	11	15
	D	40~45	7	10
	E	35이하	18	5미만
매립형	A	90이상	36	20
	B	75~85	19	15
	C	60~70	16	10
	D	40~55	10	5
	E	35이하	19	3미만

Table 6 시설물별 내구년수 와 안전진단 결과 분석

형식	규격	내구년수(년)	안전진단 결과(년)
노출형	1,000 (BBL)	32	31
	3천~1만(BBL)	33	21
매립형	20,000 (BBL)	33	

추정 할 수는 없으나 학계, 설계전문회사, 정유사 등 전문가 집단에서는 일반적으로 30년 정도를 예상수명으로 관리하고 있다. 본 연구에서 분석된 내구년수 결과는 노출형과 매립형이 각각 21년과 31년으로 확인되었다. 일반적으로 사용하고 있는 내구년수를 시설물의 부식도에 따른 내구년수 계산치와 폐기된 유류탱크의 평균수명과 비교하면 32년과 31년 으로서 대체로 30년 정도의 범위에 있으므로 유류탱크의 내구년수는 30년으로 추정 할 수 있다.

이들 내구년수 판단을 위한 계산치와 안전진단 결과

2.4.3 유류탱크의 수명

유류탱크의 수명은 여러 가지 조건에 따라 변수가 많으며 다양한 경과년수를 갖고 있어 정확한 내구년수를

에 따른 내구년수는 강제 재료의 부식환경에 따라 급격한 변화치를 나타내고 있고 안전진단 결과도 조건별 편차가 커서 정량적인 내구수명의 기준치로 하는 것은 어렵지만 여러 조건에 대한 변수를 감안한다면 내구년수 판단을 위한 기초자료로 인용은 가능한 것으로 판단된다.

3. 결 론

유류탱크 구조물을 대상으로 기 실시한 유류탱크 정밀안전진단 결과를 중심으로 구조적 문제점을 도출하고 이를 근간으로 개선사항을 제시하고자 하였으며 이의 결론은 다음과 같다.

- 1) 구조물의 수명은 크게 물리적 수명, 기능적 수명, 경제적 수명으로 구분되며 본 연구에서는 그 영향 범위가 가장 크고 기술적인 검토사항인 물리적 수명을 중심으로 결과를 도출하였다.
- 2) 정밀안전진단 결과 폐기된 유류탱크를 분석하면 시공년도와는 상관없이 시공, 유지관리 등의 정도에 따라 상이한 것으로 분석되며, 탱크형식별로는 매립형의 건전성이 가장 취약한 상태이다. 또한 손상 원인별로 분석한 결과 강제 부분에 대해서는 강재의 두께, 용접 불량률이 가장 많은 상태이며, 기초의 영향에 따른 부등침하의 원인도 다수 조사되었다.
- 3) 유류탱크의 수명은 여러 가지 조건에 따라 변수가 많으며 다양한 경과년수를 갖고 있어 정확한 내구년수를 추정 할 수는 없으나 일반적으로 30년 정도를 예상수명으로 관리하고 있으며 연구 결과 내구년수는 30년으로 추정 할 수 있었다.
- 4) 이에 본 연구에서 제안한 주요문제점으로서서는 첫째, 설계 및 시공 개념이 정립되지 않아 일체화 시공이 되지 않은 점, 둘째, 기초에 대한 역학적 거동의 개

념이 미흡한 점, 셋째, 용접부가 불량한 점, 넷째, 배수 시스템에 대한 인식이 부족한 점 등을 분석하여 개선사항을 제안하였다.

강구조물은 물리적 수명에 의한 한계가 명확하지 않기 때문에 지금까지 교체한 강구조물의 수명이 경제적 수명인지 물리적 수명인지 판단하기에는 현실적으로 어려운 점이 많다. 강구조물의 교체는 실제로는 경제적 이유에 의해 교체된 것도 많은 것으로 추정된다. 즉 강구조물의 수명은 물리적인 수명이 좌우하지 않으므로 기능적, 경제적 수명을 감안하여 LCC(Life Cycle Cost) 분석을 통한 적절한 교체시기를 결정하기 위한 지속적인 연구분석이 필요하다.

참고문헌

1. 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 1999.
2. 시설안전기술공단, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 1996.
3. 시설안전기술공단, 안전점검 및 정밀안전진단 실무요령, 1997.
4. 건설교통부, 방식기술편람, 1998.
5. 건설부, 시설물 유지관리지침, 1987.
6. 한국건설방식기술연구소, 부식과 방식기술, 1993
7. ASTM (American Society for Testing and Material)
8. John A. Franklin, Mcgraw-Hill, Rock Engineering Applications, 1991.
9. B.H.G Brady & E.T., RockMechanics for underground mining chakpman & Hall
10. Geotechnical Engineering Office Civil Engineering Department Hong Kong, Guide to Rock and soil Descriptions, 1989.
11. Welded Steel Tanks for Oil Storage, API STANDARD 650.

급행 (접수일자 : 2006년 1월 17일)