

AE기술을 이용한 평저형 저장탱크 하부 부식 진단

Corrosion Diagnosis in Bottom Plate of Above Storage Tanks Using Acoustic Emission Techniques

정희준 (한국가스안전공사)

Hee Jun Jung (E-mail: hjjung@kgs.or.kr)

1. 서론

내용물이 저장되어 있는 상태로 가동중인 평저형 저장탱크는 하부 바닥판의 부식상태 검사를 위해 내부로 접근하는 것이 거의 불가능하기 때문에 일반적으로 많이 사용되는 기존의 비파괴검사 기법 (NDT: nondestructive testing)으로 상태진단을 하는 것은 매우 어렵다고 할 수 있다. 그렇다고 해서 부식상태를 확인하기 위해 매번 저장탱크의 가동을 정지시키고, 저장되어 있는 내용물을 전부 비운 후, 청소를 마치고 난 후에 검사를 하기에는 소요되는 시간과 비용 지출이 크게 발생된다.

만약 저장탱크에 저장되어있는 제품을 비우지 않고도 하부 바닥판의 부식상태를 진단할 수 있는 방법이 있다면, 저장탱크 소유주들에게 큰 환영을 받지 않을까? 이번 강좌에서는 일본에서 제정한 기술지침을 살펴봄으로써 국내 유류저장탱크 하부 부식평가에도 음향방출시험을 활용할 수 있는 기반을 마련할까 한다.

2. AE 사용자 그룹

재료 내에서 생긴 균열, 변형 등과 같은 변화를 확인하는 방법으로 유용한 음향방출 (AE: acoustic emission)시험 기술은 비파괴검사 기술의 하나로 본격적으로 활용된 지 약 30여년 이상의 역사를 가진 현재, 많은 산업현장에서 널리 실용화 되고 있다.

특히 20세기 후반에 들어와서는 유럽과 미국 등에서 다수의 플랜트 소유자로 이루어진 AE 사

용자 그룹 (AE working group)이 결성되어 정보 교환을 위해 정기적으로 회의를 개최하고 새로운 측정법의 개발과 신뢰성 높은 데이터베이스 (D/B) 구축에 많은 노력을 하고 있다.

이렇게 작성된 데이터베이스 중 유류저장탱크 하부의 부식손상진단을 하기 위한 프로그램이 개발되었다. 이를 기초로 유럽, 미국, 일본 등에서 정유·석유화학 플랜트에서 실구조물의 손상진단 방법으로 AE기술이 이용되어 유지 관리 경비절감의 수단으로 활용한 것으로 나타나고 있다.

평저형 저장탱크 하부의 상태 평가에 이용되는 AE시험법 및 평가법이 발달된 것은 영국과 네덜란드를 중심으로 한 working group에 의해서이다. 1989년 영국의 석유회사인 BP (British Petroleum)의 요청에 의해 유류저장탱크 하부의 상태를 평가하기 위한 방법으로 음향방출시험법의 적용이 시작되었다. 이에 의해 적절한 AE센서와 측정기법을 이용된다면 하부에서 부식에 의해 발생하는 미약한 AE신호를 검출할 수 있고, 또 수집된 AE데이터는 하부의 부식 손상 상태와 강한 상관관계가 있는 것이 이들 working group에 의해 밝혀졌다.

그 후 1990년대 중반까지에 수십 개로 구성된 정유회사 및 석유화학회사로 구성된 AE user group이 결성되어 시험결과의 D/B화가 수행되게 되었다. 1998년에는 user group이 실시한 157개의 시험사례로 된 D/B를 기초로 tank 개방 전에 실시된 AE시험 결과와 개방 후의 자속누설시험 (MFL)에 의한 하부 개방검사 결과를 비교하여 양호한 상관관계가 형성되는 것이 확인되었다.

이러한 결과를 가지고 AE user group은 AE시



(a)



(b)

그림 1. 유류저장탱크의 화재

험의 신뢰성이 검증된 것으로 생각되어 이후 유럽과 미국에서 유류저장탱크 하부의 부식손상상태를 검사하는 표준시험법으로서 AE시험이 적용되고 있으며 현재 매년 1,000기 이상의 저장탱크에 대하여 AE시험이 실시되고 있다.

2.1. 일본

이러한 기술에 기초하여 유류저장탱크에 대한 AE시험 절차가 1999년에는 이웃나라 일본에 도입되었다. 일본 내부의 유관기관들인 (사)일본고압력기술협회와 석유공단, (재)석유산업활성화센터, 소방연구소, 석유연맹 등 복수의 연구기관들이 working group을 형성하여 기초 및 실용연구가 행해져 왔다. 2005년 상반기까지 수 m의 제품 저장탱크로부터 직경 97m의 대형 원유저장탱크에 이르기까지 80여기의 실제 저장탱크들에 대하여 AE시험이 실시되어 D/B가 작성되었고, 이를 기반으로 그림 2와 같이 유류저장탱크 AE시험 관련 지침도 제정하게 되었다 [1].

이 기술 지침은 AE시험 데이터 및 개방검사시 하부 바닥판 두께의 D/B를 기초로 실용적인 저장탱크 하부의 부식 손상진단 방법을 제시하고 있으며, 더불어 AE시험이 일반적으로 적용 가능한 것처럼 일본의 법체계와 관리체계 등 실정에 적합한 시험절차와 평가관정법을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

HPIS

HPIS G 110 TR

AE法による石油タンク底部の 腐食損傷評価手法に関する技術指針

Recommended Practice for Acoustic Emission Evaluation of Corrosion Damage
in Bottom Plate of Oil Storage Tanks

HPIS G 110 TR 2005

2005年5月制定

社団法人日本高圧力技術協会
High Pressure Institute of Japan

그림 2. HPIS G 110 TR (2005)

일본은 우리나라와 마찬가지로 유럽이나 미국과 달리 100만 리터를 넘는 저장능력을 가진 저장탱크에 대하여 그 용량에 따라 그 개방 주기가 정해져 정기적인 내부 개방검사를 실시하고 이산적인 하부 판 두께측정을 실시하여 저장탱크 하부의 부식관리가 행해지고 있다.

이제까지 얻어진 AE 시험 데이터는 종래 법적 판 두께측정 결과를 통계적으로 처리하여 평가된 경년열화를 고려하여 부식량과 부식속도 데이터를 비교 대조하는 것에 의해 상호 관련이 있는 것이 일본에서 확인되었다.

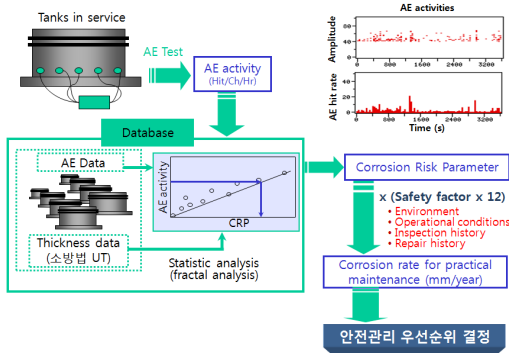


그림 3. 유류저장탱크 AE시험 부식손상평가 [1]

즉, 검출된 AE신호(hit)수 등의 변수를 이용하여 부식 활성도에 관한 정량적 정보를 얻을 수 있다.

이것은 AE 계측을 실시하여 그 데이터를 적절하게 처리한다면 상관관계를 기초로 AE시험 시점에 있어 저장탱크 하부의 부식 활성도에 관한 정보를 굳이 저장탱크 개방검사를 수행치 않고도 얻을 수 있다는 것을 있다.

그림 3은 유류저장탱크 하부 부식 손상평가의 체계를 보여준다.

2.2. 영국/네덜란드

유류저장탱크 하부의 상태 평가에 AE시험을 적용한 노력은 미국과 유럽 각국에서 1980년대 말경부터 실시되었는데, 오늘날 기법이 정립되어 있는 AE시험법, 평가법이 발달된 것은 주로 영국/네덜란드를 중심으로 한 working group에서 시작되었다.

1989년 영국의 Physical Acoustics Ltd (PAL)사는 Shell사와 BP사, Exxon사 등 대형 석유회사들의 요청에 의해 유류저장탱크 하부의 상태를 평가하는 방법으로 AE시험의 적용을 시도하였다.

이 기법을 통해 적절한 AE 센서와 계측방법이 이용된다면 하부에서 발생하는 미약한 AE신호를 검출할 수 있고, 또 이것은 하부의 부식 손상 상태와 강한 상관관계를 가지는 것이 밝혀졌다. 이러한 사실의 공표는 커다란 반향을 불러와 1990년대 중반까지는 대형 석유회사들과 수십 곳의 큰 석유화학회사들로 이루어진 AE working group이 결성되어, 시험결과의 데이터베이스가 정략적

으로 행해지게 되었다.

1998년에는 Shell사, Dow Chemical사 등에서 실시한 AE시험과 저장탱크 개방 후 자속누설시험(MFL)에 의한 하부 전면검사 결과와의 비교 데이터가 그림 4와 같이 공표되었다. 이것은 AE 시험으로 얻어진 모든 AE데이터에 의해 하부의 상태평가 결과(grade)와 개방시험 시의 자기누설 시험(MFL)에서 얻어진 하부의 부식손상상태를 비교 대조한 것이다.

여기에서 수집된 AE데이터에 대해서는 아래에 표시된 A, B, C, D, E의 Grade 분류가 되어있다.

- A : 부식손상은 존재하지 않는다고 생각된다.
- B : 80% 정도의 확률로 부식손상은 존재하지 않는다.
- C : 60% 이상의 확률로 부식손상이 존재한다.
- D : 85% 정도의 확률로 경미한 것을 포함한 부식손상이 존재한다.
- E : 90% 정도의 확률로 부식손상이 존재한다. 또 이때 60% 이상의 확률로 대규모의 보수 또는 저판의 일부 교환 등을 필요로 하는 중대한 손상이 존재한다.

그림 4에서 FU1/2는 개방 시에 보수를 필요로 하지 않는 사례를 나타내고, FU3는 경미한 보수를 필요로 한 사례, FU4는 대규모 보수 또는 하부 판의 일부 교환 등 중대한 손상이 존재한 사례를 나타내고 있다.

여기에서 Grade A로 판정된 경우에는 보수가 필요한 사례는 전혀 없었고, Grade B에 있어서도 그 80% 정도는 보수를 필요로 하지 않았다.

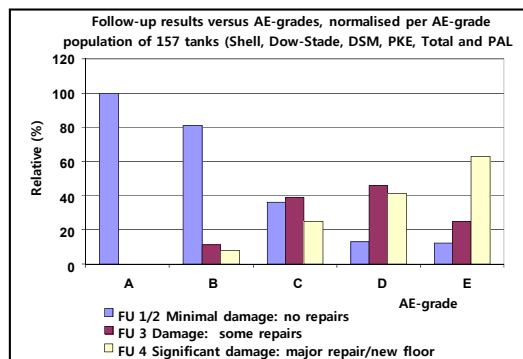


그림 4. AE 시험 결과의 grade 분류와 tank 개방 후 에 검증된 손상도와의 비교[1]

한편 Grade가 C, D, E로 변화함에 따라 보수의 필요 비율은 커지며, Grade E에 있어서는 90% 정도가 보수를 필요로 하고 있다. 따라서 AE시험에 의한 Grade 분류는 저장탱크 하부의 손상상태와 상관관계가 뛰어나 실용적 평가를 실시할 때에 유효한 정보를 주는 것이 이해할 수 있다.

이와 같이 AE시험 결과와 개방검사 시에 있어서 하부의 상태 평가 결과에는 양호한 상관관계가 형성되는 것이 확인되었다. 이러한 결과를 바탕으로 AE시험의 신뢰성은 검증된 것으로 생각되며, 이 후 AE시험의 적용 빈도는 세계 각국에서 급속하게 증가하게 되었다.

영국/네덜란드에서는 매년 약 250기 정도의 저장탱크에 대하여 AE시험이 적용되고 현재까지 5,000기 이상의 AE시험이 실시되었다고 보고되고 있다.

2.3. 프랑스 현황

프랑스에서 유류저장탱크 하부의 AE시험 적용이 시작된 것은 1990년대 초이다. 이 후 프랑스 석유공업연맹과 Euro Physical Acoustics (EPA)사가 중심이 되어 시험 결과의 데이터베이스화가 행해졌다.

2000년까지 시험을 실시한 대략 700기의 저장탱크 중 78기에 대하여 개방검사 시에 하부의 전면검사를 실시하여 AE시험 평가 결과와 하부의 검사결과가 의미있는 상관관계를 형성하고 있는 것이 확인되었다.

이 결과에 의해 AE시험은 프랑스 석유화학 공업계에 폭넓게 받아들여지게 되어 현재 프랑스와 스페인 등 서구 남유럽 여러 나라에서 매년 250기 이상의 저장탱크에 대하여 AE시험이 실시되고 있다.

2.4. 독일 현황

독일에서는 저장탱크에 대하여 정기 개방검사가 법적 의무로 되어있는 상황이라 "time-based maintenance (TBM)"가 실시되고 있다. 이러한 이유 때문에 저장탱크 하부의 상태 평가를 기초로 개방검사의 필요성을 판단한다고 하는 "condition-based maintenance (CBM)"에 관련한 AE 시험의 적용은 기타 다른 서구 선진국에 비하여 크게 있다.

하지만 최근 EU (European Union)의 경제통합에 의한 지역경제의 일체화가 진행되면서 다양한 분야에서 경쟁이 치열해지면서 유지 관리비용의 절감이 목적인 CBM의 TBM에 대한 우월성이 밝혀지게 되어 상황이 급속히 변화되고 있다.

독일은 Shell사와 Dow Chemical사를 중심으로 수 백기의 저장탱크에 대하여 AE시험이 실시되어 데이터베이스화가 진행되고 있다. AE시험 전 데이터로 얻은 평가와 개방검사 시의 바닥검사 결과로 얻어진 저장탱크 부식 손상 상태를 비교해 영국과 프랑스에서 구축된 데이터베이스의 경우와 마찬가지로 양자 사이에는 양호한 상관관계가 형성되는 것이 확인되었다. 이러한 결과를 바탕으로 독일에서도 AE시험의 적용은 향후 급속히 진행될 것으로 예상된다.

2.5. 이태리 현황

이태리도 독일과 같이 유류저장탱크에 대한 AE시험 적용은 영국과 프랑스에 비해 늦었으나 2000년대 초반 시실리 섬에 있는 대형 탱크기지에서 조직적인 AE시험 프로젝트가 실행되고 있다. 이 프로젝트에 의해 2003년 초에는 70기 이상의 탱크에 대한 시험결과로부터 데이터베이스를 구축하였다.

2.6. 미국 현황

미국에서 저장탱크에 대한 AE시험의 적용은 유럽의 경우에 비하여 큰 차이가 있다. AE계측장치, 계측방법, 계측절차 등에 관해 유럽과 대부분 일치하지만, 미국에서 AE시험을 실시하는 것은 저장탱크 하부의 상태 평가가 주목적은 아니고 환경규제가 엄격한 주에서 중대한 누설발생사고를 미연에 방지하는 것을 주목적으로 하고 있다. 이러한 누설 미연방지, 조기발견을 목적으로 연간 100~200기의 탱크에 대하여 AE시험이 실시되고 있다.

한편 2003년 이래 대형 석유회사에서는 위험도 기반검사 (RBI: risk based inspection) 개념에 기초하여 정유공장 내에 다수 존재하는 저장탱크의 위험도에 관한 순위를 부여한 후, 검사를 우선적으로 실시할 탱크를 선정하는 방법으로 AE 시험을 조직적으로 적용하기 시작하였다. 이와 관련

하여 캘리포니아 주에 있는 정유공장에서 대략 4개월 동안 합계 75기의 저장탱크에 대하여 AE시험이 적용되었다.

또 휴스턴의 플랜트에서는 384기의 전 탱크에 대하여 AE시험이 실시되었다고 보고되고 있다. 따라서 향후 AE시험의 적용은 미국 내에서도 급속히 일반화 될 것이 예상된다.

3. 규격화 동향

3.1. 유럽의 규격화 동향

유류저장탱크의 AE시험 적용 사례가 증가함에 따라 규격화의 움직임이 각국에서 확대되고 있다. 프랑스 석유공업연맹은 2000년 여름 저장탱크의 유지, 관리에 관한 지침 규격을 공포했다. 그 중에서 탱크 하부의 활성 부식 및 누설 검출법으로 AE시험을 추천하고 있다.

또 네덜란드와 벨기에는 2002년 봄 저장탱크 하부의 상태 평가기법으로 AE시험의 적용이 지방정부로부터 정식으로 인가 되었다. 이와 같이 탱크 유지, 관리 업무를 수행하기에 유효하고 합리적인 방법으로 AE시험을 일반적으로 적용하는 것이 보편화되고 있다.

한편, 이 시험방법의 발상지인 영국은 구조물의 유지관리에 기본적으로 자체검사를 전제로 행해진다. 따라서 시험방법에 관한 규정은 현시점에서 존재하지 않고 탱크 소유자 및 관리자의 판단에 의하여 AE시험이 실시되고 있다.

3.2. 미국의 규격화 동향

미국에서는 평저형저장탱크의 누설방지관리를 위해 새로운 규제가 EPA (environmental protection agency)에 의해 2002년 12월에 공포되었다. 이 규제에서 평저형 저장탱크의 건전성에 관한 사항으로 저장탱크의 건전성 진단을 위해 육안검사와 수면 높이 검사, 방사선투과시험, 초음파시험, 그리고 AE시험 등의 비파괴검사법을 병용하여 저장탱크 검사를 반드시 실시하도록 명시되어 있다. 특히 저장탱크 지주와 기초부도 검사를 하여 저장탱크 이력 비교의 목적으로 그 기록을 남기는 것이 의무로 부과 되었다.

저장탱크 하부의 검사에서는 직접 언급되어 있

지 않지만 탱크 전체의 건전성을 유지한다고 하는 관점에 기초를 둔다면 하부의 검사에 관하여도 당연 동일한 내용이 적용할 수 있는 것으로 생각된다. 따라서 미국에 있어서 탱크 검사방법으로 AE시험의 적용이 향후 넓게 검토될 가능성이 높다고 생각된다.

4. 유류저장탱크 안전관리 방법 제안

국내 유류저장탱크의 안전관리를 위해서는 정기적인 유지보수를 통한 안전운영이 가장 중요할 것이며, 설계 및 운영 중 부식을 방지하는 방재 대책 수립과 동시에 경제성이 뛰어난 AE기술 등을 활용한 정기진단 및 수시진단을 통해 잔여수명을 평가하게 되면 안전한 저장탱크 운영을 할 수 있을 것이다. 그림 5에는 유류저장탱크의 안전관리 방법을 도시하였다.

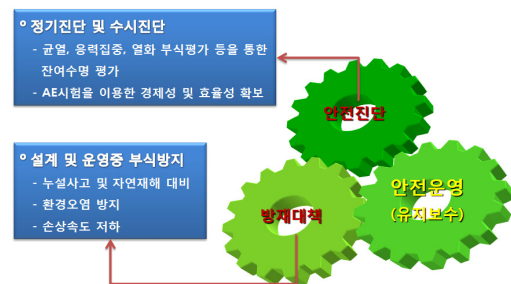


그림 5. 유류저장탱크 안전관리 시스템

5. 결론

영국, 프랑스, 네덜란드 등의 서구 주요국에서는 현시점에서 유류저장탱크의 하부 부식평가 시험법으로 AE시험이 일반적으로 이용되고 있으며, 시험 규격 등이 점차 정비되어가고 있다. 또 적용이 지연되고 있다고 하는 독일과 이탈리아에 있어서도 AE시험 실시 건수가 급격하게 증가하고 있으며, 데이터베이스의 구축이 꽤 빠르게 진행되고 있다. 따라서 서구에서 저장탱크 하부의 부식상태 평가시험법으로서 AE시험이 일반적으로 받아들여져 표준시험방법의 하나로 되었다고 하는데 이견이 없다.

한편 미국에서는 유럽과는 달리 누설 미연 방지를 주목적으로 하여 AE시험이 실시되고 있다. 2002년 12월에 EPA (미국 환경청)가 교부한 환

경보호규제의 한 항목에 지상 탱크저장물의 외부로의 유출을 방지하기 위하여 육안검사와, UT, RT, AE 등의 비파괴검사 방법을 병용할 것이 명기되어 있다. 또 2003년 이후 대형 석유회사의 정유공장에서 RBI의 일환으로 검사를 우선적으로 실시할 탱크를 선정하는 방법으로 AE시험의 적용이 시도되었다. 따라서 향후 AE시험의 적용이 확대되기 시작했다고 생각된다.

미국과 유럽에서는 자체 안전관리가 일반적이기 때문에 반드시 법제화하는 것이 AE시험을 확대 적용하기 위한 필수여건이라고 보지는 않는다. 예를 들면 저장탱크의 AE시험이 프로그램으로 개발된 영국은 완전한 자체안전관리가 실시되고 있기 때문에 관련된 여러 규제·법률은 전혀 존재하지 않는데도 불구하고 연간 수백건 이상의 AE시험이 수행되고 있다.

하지만 프랑스, 독일, 네덜란드 등의 유럽대륙의 여러 나라는 영국과 사정이 조금 다르다. 즉, 일본과 마찬가지로 규격과 제도를 정비하면서 AE시험을 적용하고 있다. 프랑스에서 석유공업연맹의 주도로 AE시험에 관한 guideline이 설정되어 그 규격에 기초하여 프랑스 국내를 중심으로 연간 300여건 정도의 시험을 행하고 있다. 또 독일에서는 저장탱크의 개방 검사가 의무로 되어 있기 때문에 AE시험의 적용은 영국, 프랑스에 비해 약간 지연되고 있다. 그러나 EU 통합 하에 경제적인 경쟁력을 유지하기 위해 탱크의 유지, 관리비용의 삭감은 피할 수 없으므로 최근에는 빠르게 AE시험 적용을 위한 데이터베이스 구축의 움직임이 진행되고 있다. 특히 미국에서도 대

형 석유회사에서 RBI 적용의 일환으로 대규모 AE 시험에 관한 프로젝트가 2003년 이래 실시되면서 급속한 기술력의 진전이 예상된다.

이와 같이 유류저장탱크 하부의 부식손상평가에 대한 AE시험의 적용은 세계적으로 표준적인 현상이며, 일반화되고 있다고 보는데 이견이 없다고 생각된다. 국내에서도 한국가스안전공사에서 세계적인 추세에 맞추어 정유 및 석유화학회사들과 함께 AE시험 데이터베이스 구축을 실시하고 있다. 향후 국내에서도 고가의 외국 데이터베이스를 활용하지 않고도 유류저장탱크 안전관리를 AE시험으로 실시할 수 있을 것으로 기대해 본다.

참고문헌

- [1] (사)일본고압력기술협회, "HPIS G 110 TR, Recommended Practice for Acoustic Emission Evaluation of Corrosion Damage in Bottom Plate of Oil Storage Tanks," (2005)
- [2] 정희준, "정유·석유화학설비의 진단기술", *가스안전*, Vol. 37 (2011)
- [3] P. T. Cole and P. J. Van de Loo, "Listen to Your Storage Tanks to Improve Safety and Reduce Cost, Acoustic Emission - beyond the Millennium," Elsevier, pp. 169-178 (2000)
- [4] NDT Handbook, "Acoustic Emission Testing," ASNT, Vol. 6 (2005)