

한국에너지공학회 (2008년도)
춘계학술발표회 초록집 .

해수에서의 초저온 용기 안전성 연구

김필종, 박장식

한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study on Safety of Cryogenic Vessel in the Sea Water

Pil-jong Kim, Jang-sik Park

Institute of Gas Safety R&D

1. 서론

2002년 이후 발생한 초저온 용기 관련 사고를 살펴보면, 주로 발생 위치가 해상, 선박 등에서 발생한 것으로 나타났다. 즉, 특수한 환경과 초저온용기의 안전이 밀접한 관계를 형성하고 있음을 알 수 있는 사항으로, 본 연구에서는 해수와 초저온 용기와의 상관관계를 확인하기 위해 초저온용기와 안전밸브를 선박, 축양장 등에 현장적용시험을 실시하였고, 실험실에서 염수분무시험 및 침지시험을 통해 염분이 용기 및 안전장치에 미치는 영향을 비교분석하였다. 또한 시험분석결과를 기초로 대책을 마련하였다.

2. 실험방법

2-1. 실험 일반사항

초저온용기에 대한 실험은 현장시험과 환경시험으로 나누어 실시하였다. 실험에 사용된 시료는 초저온용기 5개(용량 : 175리터), 초저온용기용 안전밸브 148개(스프링 48개, 파열판 100개)를 사용하였다. 이들 시료에 대해 실시한 실험의 일반적인 사항은 표 1과 같다.

표 1. 대상, 기간 및 방법

구 분	대 상 (개)							기 간	방 법	시 험 장 소			
	용기	계	안 전 밸 브		무코팅	코팅							
			스프링	파열판									
	무캡	캡											
현 장 시 험	해상시험	3	12	7	1	4	0	9. 6 - 12. 6	선박 각2개 (울산포항)				
	해안가	2	8	2	2	-	4	9. 6 - 12. 6	3개월 자연방치	(울산포항)			
환경 시 험	염수분무	-	63	18	18	16	11	10.15- 11.26	3 개	KGS			
	염수침지	-	65	-	-	21	44	10.6-11.21	5 개	KGS			
계 (개)		5	148	27	21	41	59	9. 6 - 12. 6					

2-2. 현장 시험

(1) 해상(선박) 시험

선박에서 실시한 해상 시험은 선박 3척에 안전밸브 12개를 설치하여 3개월간 사용하도록 한 후 확인하였다. 확인 결과, 용기는 불과 3개월밖에 경과되지 않았음에도 불구하고 용기 외부에 부식이 발생하였다. 또한 안전밸브(파열판)는 총 12개 중 10개가 작동시험을 실시해

본 결과 부적합한 것으로 나타났다.

(2) 육상(축양장) 시험

육상시험은 해안가에 인접한 축양장(가두리 양식장) 및 중간 축양장에 각각 초저온용기 1개와 안전밸브 4개(릴리프 2개, 파열판 2개)를 부착하여 2개의 지역(울산 1, 포항 1)으로 나누어 실험하였다. 그림 1에 육상(축장장)에서 사용한 초저온용기 시료 및 3개월 경과 모습을 나타내었다.



(울산 축양장 07. 9) (3개월경과 모습) (포항 축양장 07. 9.) (3개월경과 후 모습)

그림 1. 육상시험 결과

안전밸브를 수거하여 작동시험을 실시해본 결과 두 곳에서 사용된 모든 안전밸브(릴리프 4개, 파열판 4개)가 부적합한 것으로 나타났다.

(3) 용기의 외관 부식상태 비교

표 2는 해상 및 육상시험 용기의 외관을 비교한 자료를 나타낸 것이다. 대체적으로 선박에 설치되었던 초저온용기의 표면이나 부속품의 부식 진행속도가 축양장에 설치되었던 제품에 비해 빠르게 진행하고 있음을 확인할 수 있었다.

표 2. 해상 및 육상시험 용기 외관 비교

안 전 성 확인항목	해양(선박)시험		육상(축양장)시험	
	울산(ISO, KGS)	포항(DOT)	울산 (KGS)	포항 (DOT)
외부 용기	부식발생(중)	부식발생(중)	부식발생(경미)	부식발생(경미)
부 속 품	밸브스핀들 부식진행	밸브스핀들 부식진행	밸브스핀들 부식초기	밸브스핀들 부식초기

2-3. 환경시험

(1) 염수분무시험

표 3. 염수분무시험 대상, 기간 및 방법

계	대 상(개)					기 간	장 소	방 법			
	안전 밸브										
	스프링		파열판								
	무캡	캡	무코팅	코팅							
63	18	18	16	11	10-11월	KGS연구원 염수분무실	시험 1 : 2 hr/d 30회 시험 2 : 6 hr/d 30회 시험 3 : 24 hr/d 10회				

안전밸브 시료에 대한 염수분무시험은 가스안전연구원에서 보유하고 있는 염수분무시험기

를 사용하여 표 3과 같은 방법으로 진행하였다. 염수분무시험 결과, 외관상으로 나타나는 부식의 정도는 염수의 투입시간에 비례하는 것으로 나타났다. 즉, 염수에 오래 노출될수록 외면부식과 안전밸브 내면의 염분축적량이 빠른 속도로 증가하였다. 캡을 설치한 릴리프 안전밸브는 외면 부식은 비슷하게 진행되었으나, 내면의 염분축적량이 줄어들었으며, 이때 염수의 릴리프 안전밸브 내부 유입은 캡과 방출구 틈새에 일부 발생하는 것을 확인하였다. 파열판은 국내제품이 동을 사용하고, 수입품은 스테인리스 강을 사용하고 있으며, 일부 파열판은 코팅한 제품을 사용하여 시험하였으나 각각의 제품들에서 염수영향에 따른 차이점은 나타나지 않았다. 시험이 종료된 시료에 대해 안전밸브 작동시험을 실시하였으며, 작동시험의 결과를 요약하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

<안전밸브 작동시험 결과 : 2시간과 6시간은 30회, 24시간은 10회 분무시험 실시>

- 2시간보다 6시간의 불합격율이 높음
- 릴리프 경우 캡 있는 것이 무캡보다 불합격율이 낮음
- 파열판 코팅두께와 불합격율과 상관관계 : 0.1mm는 57%, 0.5mm는 75%로 0.1mm가 0.5mm보다 불합격이 낮음. 따라서 코팅두께는 얇아도 기능상 문제가 없는 것으로 판단됨
- 파열판에 코팅의 두께(코팅의 두께 0.5mm, 0.1mm)와의 큰 차이가 없음
- 작동불량(4Mpa) : 릴리프 5개(REGO 6시간 2개, 24시간 3개)로 분무시간이 길어질수록 4Mpa(안전측면 고려 압력)에서 작동 불량되는 수량이 많아짐

(2) 염수침지시험

염수침지시험은 염수에 초저온용기용 안전밸브(파열판)를 완전히 잠기게 한 뒤 일정시간이 지난 후 꺼내어 자연건조를 거치는 방법을 사용하였다. 이 때, 염수의 농도는 34.5%로 맞추었으며, 5개의 시간대를 정하여 45일간 30회 반복하여 진행하였다.

표 4 염수침지시험 대상, 기간 및 방법

계	대상(개)				기간	시험장소	방법			
	안전밸브									
	스프링		파열판							
	무캡	캡	무코팅	코팅						
65	-	-	21	44	10-11월	KGS연구원 기기연구팀	시간별5개 시험방법			

실험 ① ~ 실험 ④는 매일 같은 시간에 염수가 담겨있는 비커에 파열판식 안전밸브를 투입하여 각각 1, 2, 4, 8시간 경과 후 꺼내어 건조하였으며, 실험 ⑤는 24시간 동안 투입한 후 24시간을 건조하였다. 염수침지시험이 종료된 시료는 안전밸브 작동시험을 실시하였다.

안전밸브 작동시험 결과 실험 ①에 사용한 시료들의 불합격률이 낮았고, 실험 ② ~ 실험 ⑤에 사용한 시료들의 불합격률은 유사하게 나타났다. 이는 침지시험 후 누적된 염분이 재시험시 다시 용해되어 침지시간이 길어질수록 파열판에 염분의 누적이 어렵고, 염분에 의한 부식은 공기와의 접촉이 이루어질 때 부식이 급속히 진행되는데 침지시험은 공기와의 접촉이 이루어지지 않기 때문이다. 코팅이 되어있는 시료는 불합격률이 약 49%(22/45)로 나타났으며, 코팅이 되어 있지 않은 시료의 불합격률65%(13/20) 보다 낮은 것으로 나타났다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 현장시험 및 환경시험 결과 비교

안전밸브 작동시험 결과를 토대로 현장시험(선박, 축장장)에 사용한 시료의 안전밸브 작동

합격률과 환경시험에 사용한 시료 중 불합격률이 가장 높은 시간대의 시료들(염수분무 : 6시간, 염수침지 : 8시간)의 안전밸브 작동 합격률을 비교하여 그림 2에 나타내었다.

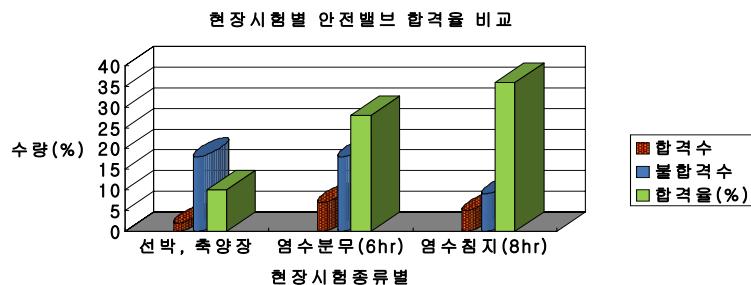


그림 2. 시험별 안전밸브 작동시험결과 비교

안전밸브의 작동 합격률은 염수침지시험 시료가 36%로 가장 높았으며, 염수분무 28%, 선박 및 축양장 10%의 순으로 나타났다. 실제 현장에서 사용되는 초저온용기 안전밸브의 작동불량이 많음을 확인하였다.

3-2. 환경시험 결과 비교

염수분무시험과 염수침지시험에 대한 결과를 외부 부식 정도와 안전밸브 작동 합격률의 관점에서 비교하여 보았다. 외부 부식에 있어서, 염수분무시험이 염수침지시험에 비해 외부 부식이 더 심하게 나타났다. 이는 염수분무시험이 염수침지시험에 비해 염수와 외부 공기와의 접촉이 상대적으로 많기 때문이다. 또한 염수침지시험의 경우, 침지시간이 외부 부식에 미치는 영향이 매우 적은 것으로 나타났는데, 이는 누적된 염분이 재침지시 다시 용해되어 침지시간에 비례하여 염분이 누적되지 않기 때문인 것으로 판단된다. 안전밸브 작동 불합격률에 있어서 염수분무시험이 염수침지시험보다 높은 것으로 나타났다.

4. 결론

국내규격 및 국외규격에 맞는 초저온용기 및 안전밸브에 대한 현장 및 환경시험을 실시하였다. 현장시험은 선박 및 축양장에 대해 실시하였으며, 환경시험은 실험실에서 염수분무 및 염수침지시험으로 실시하였다. 시험결과 초저온용기를 선박 등에서 사용하는 경우 안전밸브의 오작동률이 높은 것으로 나타났으며, 이에 대한 대책으로 릴리프밸브의 경우 작동시 개폐가 가능한 캡을 사용하고, 파열판에 약 0.1mm 이상의 코팅을 할 경우 오작동률이 줄어드는 것으로 나타났다. 파열판에는 추가적으로 방출부의 이물질 유입을 막을 수 있도록 종이(색 구분)를 부착하는 것이 필요하다.

스테인리스 재질의 외부용기를 선박에 설치할 경우 용기 외면의 부동태 피막을 파괴하는 염화물 이온이 존재하기 때문에 밸브스핀들, 압력계 및 용기 외부에 부식이 발생하는데, 이에 대한 대책으로 국내 법규에 선박 등 도서지방에서 용기를 사용할 경우 부식을 방지하기 위한 도색을 의무적으로 시행하도록 하여 용기의 외부 부식을 방지하는 것이 필요하다.

5. 참고문헌

- 산업표준심의회, “KSD 9502 염수 분무 시험 방법(중성, 아세트산 및 캐스 분무시험)”, 산업표준협회, 2005, pp. 1-7, 10
- 황현철, “초저온용기용 밸브 안전장치 불법개조방지장치 개발”, 한국가스안전공사 연구보고서, 2006. 12, pp. 63-64