

KOSHA GUIDE

M - 69 - 2012

압력용기의 잔여수명 평가에 관한 기술지침

2012. 6.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 장 희, 권현길
- 개정자 : 안전연구실

- 제 · 개정경과
 - 2011년 6월 기계안전분야 제정위원회 심의
 - 2012년 4월 기계안전분야 제정위원회 심의(개정)

- 관련규격 및 자료
 - API 510 (Pressure vessel inspection code)
 - ASME code section VIII Div.1 (Pressure vessels)
 - KS B 6750 압력용기 - 설계 및 제조일반
 - KS B 6755 압력용기 - 사용중 검사

- 관련 법규 · 규칙 · 고시 등
 - 산업안전보건기준에 관한 규칙 제35조(관리감독자의 유해·위험 방지 업무 등), 제36조(사용의 제한), 제120조(최고사용압력의 표시 등), 제2편 제2장 제4절 (화학설비·압력용기 등)

- 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 6 월 20 일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

압력용기의 잔여수명 평가에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제35조(관리감독자의 유해·위험 방지 업무 등), 제36조(사용의 제한), 제120조(최고사용압력의 표시 등), 제2편 제2장 제4절(화학설비·압력용기 등) 규정에 의하여 압력용기의 사용에 따른 두께 감소 등 예상되는 위험성을 평가하여 사전에 위험 요인을 제거하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 기술지침은 석유화학산업(석유정제, 석유화학, 비료제조산업 또는 이와 유사한 산업)에서 사용되는 탭조류, 용기, 열교환기 등의 압력용기(이하 “용기” 라 한다.)에 관하여 적용한다. 다만, KS 및 ASME 규격에서 적용을 면제한 용기는 제외한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “설계압력(Design pressure)”이란 압력용기 각부의 최소요구두께 또는 물리적 특성을 결정할 목적으로 압력용기 설계에 사용하는 금속온도에 부합하는 압력을 말한다. 압력용기 특정 부분의 두께를 결정하기 위해서는 경우에 따라 설계압력에 정수두압을 더한 압력을 사용하여야 한다.

(나) “운전압력(Operation pressure)”이란 정상운전 시 압력용기 최상부에서의 압력을 말하며, 정상운전 범위내의 최대운전압력과 최저운전압력을 의미한다. 최대운전압력은 최대허용사용압력을 초과해서는 안 되며, 또한 압력방출장치가 자주 열리는 것을 방지하기 위하여 일반적으로 압력방출장치의 설정압력보다 낮은 수준에서 유지한다.

- (다) “설계온도(Design temperature)”란 설계압력을 정할 때 설계압력에 부합되는 사용조건으로부터 정해지는 금속에서 유지될 수 있는 온도를 말한다.
- (라) “운전온도(Operation temperature)”란 해당 용기를 사용한 규정된 운전 중 최고운전온도와 최저운전온도의 정상운전 범위 내 온도를 의미한다.
- (마) “최대허용사용압력(Maximum allowable working pressure : MAWP)”이란 용기 제작에 사용된 재질 두께(부식여유 제외)를 기준으로 산출한 용기의 상부에 허용 가능한 압력을 말한다. 이 압력은 임의의 압력경계 부품에 대하여 정수두압을 포함하고, 부식여유를 제외한 공칭두께를 사용하며, 또한 압력에 부합하는 지정된 온도에서 일어날 수 있는 하중들의 임의 조합 영향을 고려하여, KS B 6750 규격에서 구하는 내압 또는 외압 중에서 가장 낮은 압력이다. 이 압력은 압력용기를 보호하는 압력방출장치의 압력설정에 대한 근거가 된다. 최대허용사용압력 값을 결정하기 위한 계산을 하지 않는 모든 경우에는 설계압력을 사용할 수 있다.
- (바) “최대허용응력값(Maximum allowable stress values)”이란 KS B 6750 압력용기 - 설계 및 제조일반 규격에 주어진 설계식에 사용하는 규정된 재료에 대하여 허용할 수 있는 최대 단위 응력을 말한다.
- (사) “최소두께(Minimum thickness)”란 온도, 압력 및 모든 하중을 감안한 계산두께에 부식여유를 더한 두께를 말하며, 설계두께라고도 한다.
- (아) “실제측정두께(Actual measured thickness)”란 두께를 구하고자 하는 해당 부위에 대하여 측정한 두께를 말한다.
- (자) “요구두께(Required thickness)”란 규격에 규정된 식에 의하여 계산한 두께로서 부식여유를 더하기 전의 두께를 말한다. 다만, 규격에서 최소한의 두께가 정해진 경우에는 그 두께를 말한다.
- (차) “공칭두께(Nominal thickness)”란 상업적으로 입수할 수 있도록 선택된

두께이고, 제조자에게 공급되는 두께를 말한다. 판재의 경우, 제조자의 선택에서 공칭두께는 성형전(승인된)에 재료시험증명서에 나타난 두께나 고려하고 있는 이음부 또는 그 자리에서 판에 측정된 두께로 하여야 한다.

(카) “컨디션 모니터링 위치”(Condition monitoring locations : CMLs) : 정기적 시험을 시행하는 압력용기의 지정된 장소. 이전에, 그들은 일반적으로 “두께 모니터링 위치 (TMLs)”라고도 했다.

(타) “가동 중 검사(On-Stream inspection)”란 압력용기의 계속운전을 위한 적합성을 확인하기 위해 실시하는 검사를 말한다. 압력용기의 적합성을 확인하기 위해 비파괴시험을 실시하며, 검사가 실시되는 동안 압력용기를 운전해도 되고 운전하지 않아도 된다. 압력용기에 대한 가동 중 검사를 실시하는 동안 압력용기가 운전 중일 수도 있기 때문에, 근본적으로 가동 중 검사는 내부검사를 위해 압력용기의 내부로 들어가지 않는 것을 의미한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 안전보건규칙, 고용노동부 고시 및 KS B 6750에서 정하는 바에 따른다.

4. 부식률의 결정

4.1 기존 압력용기

(1) 두께가 얇아지는 손상 메커니즘에 대한 부식률은 두 시점의 두께 기록 차이를 두 시점의 시간 차이로 나누어 결정된다. 부식률의 결정은 두 개의 이상의 서로 다른 시간에 수집된 두께 자료를 포함할 수 있다.

(2) 단기 대 장기 부식률의 적절한 사용은 공인된 압력용기 검사원(이하 “검사자”라 한다.)에 의해 결정되어야 한다. 장기 부식률은 가장 최근의 기록과 장

비 수명 초기의 기록을 사용하는 반면 단기 부식률은 일반적으로 가장 최근의 두 측정 두께 수치에 따라 결정된다. 이러한 서로 다른 부식률은 장기간에 걸친 그들의 활동으로부터 최근의 부식 메커니즘을 파악하는데 도움을 준다.

(가) 장기간(LT, Long-Term) 부식률은 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$\text{장기간부식률} = \frac{t_{\text{초기두께}} - t_{\text{실제두께}}}{t_{\text{초기두께}} \text{와 } t_{\text{실제두께}} \text{ 사이의 시간(년)}} \dots\dots\dots (1)$$

(나) 단기간(ST, Short-Term) 부식률은 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$\text{단기간부식률} = \frac{t_{\text{이전두께}} - t_{\text{실제두께}}}{t_{\text{이전두께}} \text{와 } t_{\text{실제두께}} \text{ 사이의 시간(년)}} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

$t_{\text{초기두께}}$: $t_{\text{실제두께}}$ 와 동일한 CMLs에서 초기 두께(이 CMLs에서 최초 측정두께이거나 새 부식률 환경 시점의 두께). mm

$t_{\text{실제두께}}$: 가장 최근 검사기간에 측정된 CMLs의 실제두께. mm

$t_{\text{이전두께}}$: 앞선 검사기간에 측정한 이전 두께($t_{\text{실제두께}}$ 와 동일 위치에서 이전검사 기간에 측정한 두께). mm

(3) 장기 및 단기 장기 부식률은 자료 평가의 일부로서 비교하는 것이 바람직하다. 검사자는 부식 전문가와 협의하여 현재 조건을 잘 반영한 부식률을 채택해야 한다.

4.2 신규설치 또는 변경 압력용기

(1) 신규 압력용기나 사용조건이 바뀌는 압력용기의 경우, 다음 방법 중 하나를 예상 부식률 결정을 위해 사용하여야 한다. 잔여수명과 검사주기는 이 부식률로부터 평가할 수 있다.

(가) 부식률은 동일 또는 유사조건에서 운전되는 압력용기에 대해 사용자에

의하여 수집된 자료로부터 계산할 수 있다. 만약 동일 또는 유사조건에서 운전되는 압력용기에 대한 자료를 이용할 수 없다면, 다른 대안을 고려한다.

(나) 부식률은 사용자의 경험으로부터 평가할 수 있다.

(다) 부식률은 동일 또는 유사조건인 압력용기에 대하여 공표된 자료로부터 평가할 수 있다.

(라) 만약, 예상 부식률을 위 항목 중 어느 하나에 의해 결정될 수 없다면, 가동 중(On-Stream) 부식률 결정은 적당한 부식감시장치 또는 실제두께측정에 의하여 약 1,000시간 사용 후 정하여야 한다. 차후의 결정은 부식률이 확정되기 전까지 적당한 시차를 가져야 한다.

(2) 부정확한 부식률 추정으로 나중에 결정된 경우, 잔여수명계산의 부식률은 실제 부식률로 변경해야한다.

4.3 잔여 수명 계산

(1) 용기의 잔여수명(년)은 다음 수식으로부터 계산해야 한다 :

$$\text{잔여수명(년)} = \frac{t_{\text{실제두께}} - t_{\text{요구두께}}}{\text{부식률(mm/year)}} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

$t_{\text{실제두께}}$: 가장 최근 검사에 측정된 CMLs의 실제 두께, mm

$t_{\text{요구두께}}$: 측정된 $t_{\text{실제두께}}$ 와 동일 CMLs 또는 구성품에서 요구두께, (부식여유 및 제조자의 허용공차를 포함하지 않고 설계 식(예, 압력 및 구조)에 따라 계산한 두께), mm

(2) 압력용기 부위(section)별 부식률 및 잔여수명 계산에서 통계학적 분석이 사용될 수도 있다.

(가) 이 통계학적 접근방법은 7.4 (1) (나)에 규정한 내부검사를 대체하는 평가

와 내부검사 주기를 결정하는데 적용할 수 있다.

- (나) 자료 결과의 통계학적 처리는 특히, 국부부식이 쉬운 압력용기 부위의 실제 상태를 반영하는지 확인에 주의를 기울여야 한다. 국부부식은 중대함으로 통계학적 분석은 임의로 압력용기에 적용되지 않을 수 있다.

5. 최대허용사용압력의 결정

- (1) 압력용기의 계속사용을 위한 최대허용사용압력(MAWP)은 그 용기에 적용한 KS, ASME 또는 제작규격의 최신판을 사용하여 구한 값을 근거로 해야 한다. 이들 계산식으로부터 구한 최대허용사용압력의 결과는 해당 규격에 따른 등급조정이 실시되지 않는 한 최초의 최대허용사용압력을 초과해서는 안 된다.
- (2) 다음의 필수 세부사항이 사용되는 해당 코드의 요건을 만족하였다면, 계산식을 사용할 수 있다. 필수 세부사항에는 경관, 동체 및 노즐보강 설계, 재료규격, 허용응력, 용접효율, 검사 합격기준 및 주기적인 사용요건이 있다.
- (3) 부식성 사용조건에서, 이들 계산식에 사용되는 벽두께는 검사 시 측정된 실제두께에서 차기 검사일 이전에 추정된 부식 손실량의 2배를 빼야 한다.

$$t = t_{\text{실제두께}} - 2(C_{\text{부식률}} \times I_{\text{검사주기}}) \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

$C_{\text{부식률}}$: 연간 지배 부식률, mm

$I_{\text{검사주기}}$: 연간 차기의 내부 또는 가동중 검사 간격.

$t_{\text{실제두께}}$: 가장 최근 검사에 측정한 CMLs의 실제 두께, mm

- (4) 검사 시 측정된 실제두께가 재료시험성적서 또는 제조자의 자료보고서에 기록된 두께보다 두꺼운 경우, 문제가 되는 구성품의 두께가 성형으로 인해 가장 많이 얇아질 것 같은 부위는 여러 번 두께측정에 의하여 실제두께를 확인해야 한다. 두께측정 절차는 검사자의 승인을 받아야 한다. 허용공차는 해당 제작규격에 따라 기타 하중 영향을 고려해야 한다.

6. 부식영역 분석의 적합성

6.1 일반

용기의 어느 부분에 대한 실제두께 또는 최대 부식률은 다음을 고려하여 검사에서 조정할 수 있다.

6.2 국부적으로 얇은 영역의 평가

(1) 상당한 크기의 부식영역 벽두께는 다음을 초과하지 않는 길이 이상 평균값일 수 있다.

(가) 안지름이 150 cm 이하인 압력용기의 경우, 압력용기 지름의 1/2 또는 50 cm 중 작은 값.

(나) 안지름이 150 cm를 초과하는 압력용기의 경우, 압력용기 지름의 1/3 또는 100 cm 중 작은 값.

(2) 지정된 길이를 따라 두께 기록은 같은 간격으로 하는 것이 바람직하다. 상당한 크기의 영역에 대하여, 가장 얇은 평균두께를 가지고 있는 길이 결정을 위하여 부식영역의 여러 라인을 평가할 수 있다.

(3) 원주방향 응력이 지배적인 경우(대부분 용기에 대표적인), 두께 측정은 세로 길이방향을 따라 실시한다. 길이방향 응력이 지배적인 경우(풍하중 또는 기타요인으로 인해), 두께 측정은 원주방향 길이(호)를 따라 실시한다.

(4) 노즐 근처의 평균부식을 확인할 때 지정된 길이는 제작코드에 정의된 보강범위보다 넓어서는 안 된다.

(5) 4.3에 따른 잔여수명을 계산할 때 실제두께를 부식영역에서 어떤 길이의 가장 얇은 평균으로 대체한다.

6.3 공식(Pitting)의 평가

현재 검사 중 넓게 분산된 공식이 다음 모든 사항에 해당되면 무시할 수 있다.

- (1) 공식 깊이를 제외한 잔여두께가 요구두께의 1/2을 초과하는 경우
- (2) 부식여유보다 더 깊은 공식의 총 면적이 지름 20 cm인 원 내에서 45 cm²를 초과하지 않는 경우
- (3) 20 cm 임의의 직선을 따라 부식여유보다 더 깊은 공식 크기의 합이 5 cm을 초과하지 않는 경우

6.4 얇은 부분의 대체 평가 방법

- (1) 6.2와 6.3의 절차에 대한 대안으로서, 요구두께 이하로 얇아진 구성품은 ASME Section VIII, Division 2, Appendix 4, 또는 API 579 Appendix B의 분석 방법으로 설계를 이용하여 평가할 수 있다.
또한 이들 방법은 결함이 제거된 완만한 연삭부위(Blend ground areas)를 평가하는데 이용될 수 있다. 응력집중영향을 최소화하기 위해 완만한 연삭 부위에는 날카로운 모서리가 없는 지 확인하는 것이 중요하다.
- (2) ASME Section VIII, Division 2, Appendix 4가 사용될 때, 설계응력이 해당 온도에서 규정된 최소항복강도(SMYS)의 2/3이하인 경우 Division 2의 σ 값을 최초 압력용기 설계에 사용된 응력값으로 대체시켜야 한다. 최초 설계응력이 해당 온도에서 규정된 최소항복강도의 2/3를 초과한 경우 σ 값을 규정된 최소항복강도의 2/3로 대체시켜야 한다. 이 방법이 사용될 경우, 기술자는 이 분석을 수행해야 한다.

6.5 용접이음효율 조정

용접부 주변 용기표면이 부식되고 이음효율이 1.0 미만인 경우, 적절한 용접 이음효율(일반적으로 1.0)을 이용하여 별도로 계산해야 한다. 이 계산에서, 용접부 표면은 용접부의 양쪽 면 2.5 cm[토우(용접끝단)로부터 측정된] 거리나 용접부의 양쪽 면 요구두께 2배 길이 중 더 큰 쪽을 포함한다.

6.6 용기 경판의 부식영역

(1) 타원형과 접시형 경판의 부식영역 요구두께는 다음과 같이 결정할 수 있다.

(가) 경판의 너클 영역은 제작 규격의 적절한 경판 계산식을 사용한다.

(나) 경판의 중앙 부분은 제작 규격의 반구형 경판 계산식을 사용한다. 경판의 중앙 부분은 동체 지름의 80%와 같은 직경을 갖는 경판의 중심으로서 정의된다.

(2) 접시형 경판의 경우, 반구형 경판 계산식에 사용하는 반지름은 구형부분 반지름(Crown radius)이다.(다른 반지름은 허용되어 있지만 표준접시형경판에 대한 동체의 외부지름과 같음)

(3) 타원형 경판의 경우, 반구형 경판 계산식에 사용하는 반지름은 이에 상응하는 구형 반지름 K_0D 로 해야 한다. 여기서 D 는 동체 지름(내경)이고 K_0 (구형 반지름 계수)는 <표 1>에 주어진다. <표 1>에서 h 는 짧은 축 길이[탄젠트 라인(경판 벤딩 라인)에서 측정한 타원형 경판의 안쪽 깊이와 같음]의 1/2이다. 많은 타원형 경판의 경우, $D/2h$ 는 2.0이다.

<표 1> 구형 반지름 계수 K_0 값

D/2h	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
K_0	1.36	1.27	1.18	1.08	0.99	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57	0.50

6.7 상기 6.4, 6.6에서 언급된 국부적으로 얇아진 부분에 대한 평가의 경우 동 지침 “8. 원형동체와 동체의 구형부분 내 국부적인 얇은 부위”의 세부 평가방법을 참조하여 결정할 수 있다.

7. 검사 범위, 주기 및 빈도

7.1 일반

용기의 신뢰성을 보장하기 위해 모든 압력용기는 이 장에서 제공된 빈도, 주기로 검사를 하여야한다.

7.2 외부 검사

- (1) RBI 평가에 의해 보증되지 않으면, 각 지상의 압력용기는 5년 또는 요구되는 내부 또는 가동 중 검사주기 중 더 짧은 기간을 초과하지 않는 주기로 육안 외부검사를 지정해야 한다.
- (2) 이 검사는 용기가 운전 중인 동안에 수행하는 것이 좋다. 주기는 사용자의 품질보증시스템에 따라 검사자 또는 기술자에 의해 확정된다.
- (3) 비 연속사용조건의 용기에 대한 외부검사 주기는 연속사용조건의 용기와 동일하다.

7.3 내부 및 가동 중 검사주기

- (1) RBI 평가에 의해 보증되지 않으면, 내부 또는 가동 중 검사의 주기는 용기 잔여수명의 1/2 또는 10년 중 더 짧은 기간을 초과하지 않아야 한다. 잔여수명이 4년보다 적은 경우 검사 주기는 최대 2년까지 전체 잔여수명으로 할 수 있다. 주기는 사용자의 품질보증시스템에 따라 검사자 또는 기술자에 의해 확정된다.
- (2) 비연속 사용조건의 압력용기의 경우, 주기는 사용정지 기간이 제공된 달력에 의한 년수 대신 실제사용(용기 운전) 년수를 기초로 한다. 그 용기는
 - (가) 공정유체로부터 격리되며,
 - (나) 내부 환경이 부식성에 노출되지 않음.(즉, 불활성가스 치환 또는 비 부식성 탄화수소 충전)
- (3) 비연속 사용조건과 부식 환경으로부터 적절하게 보호되지 않는 용기는 사용 정지 중에 내부부식 증가가 발생할 수 있다. 부식률은 내부 또는 가동 중 검사주기를 결정할 때 주의 깊게 검토하는 것이 바람직하다.

- (4) 요구되는 검사주기 설정을 위한 다른 방법은 “5. 최대허용사용압력의 결정
“에서 기술된바와 같이 각 용기 구성품의 설계된 최대허용사용압력을 계산하는 것이다. 이 절차는 검사주기선택, 검사주기 초과로 예상되는 부식손실의 결정과 설계된 최대허용사용압력 계산이 반복적으로 수반될 수 있다. 제한된 구성품의 설계된 최대허용사용압력이 명판 또는 등급 조정한 최대허용사용압력에 해당 정압두를 더한 것보다 크면 검사주기는 허용된 최대 주기 이내이다. RBI 평가가 수행되지 않는 한, 이 방법을 사용한 최대 검사주기는 10년이다.

7.4 가동 중 검사 범위

- (1) 검사원의 판단에 따라 다음과 같은 상황에서 내부검사 대신 가동 중 검사를 실시할 수 있다.

(가) 크기 또는 형상이 내부검사를 위한 압력용기 출입이 물리적으로 불가능하도록 만들어진 경우

(나) 내부검사를 위한 압력용기 출입이 물리적으로 가능하고 다음의 모든 조건을 충족하는 경우

- ① 용기의 일반적 부식률이 연간 0.125 mm 이하로 알려져 있다.
- ② 용기의 잔여수명이 10년보다 크다.
- ③ 미량 원소의 영향을 포함한 내용물의 부식 특성은 적어도 동일 또는 유사한 조건의 5년간에 의해 결정되었다.
- ④ 외부검사 결과에서 어떠한 의심스런 상태가 발견되지 않았다.
- ⑤ 강재 용기 동체의 운전온도가 용기재질의 크리프-파단(Creep-Rupture)이 발생하지 않는 온도영역에서 운전되는 경우
- ⑥ 용기가 취급유체로부터 균열 또는 수소손상(Hydrogen damage) 환경을 받지 않는 경우
- ⑦ 용기에 스트립 라이닝(Strip lining) 또는 판 라이닝(Plate lining)과 같이 비일체형으로 접합된 라이너가 없는 경우

- (2) 7.4 (1) (나)에 규정한 요구사항이 충족되지 않는다면 다음 검사는 내부검사

를 하여야 한다. RBI 평가가 용기와 관련된 위험이 수용할 만큼 낮고 외부 비파괴검사 기술의 효과가 손상 메커니즘 예측에 적합한 것으로 결정한 경우, 상기 제한의 대체방법으로 가동 중 검사를 수행할 수 있다. 이 평가는 과거 공정조건의 검토와 미래 공정조건의 가능성을 포함하는 것이 바람직하다.

- (3) 용기를 내부검사 했을 때, 그 검사결과는 동일 또는 유사사용 및 조건 내에서 운전되는 유사 압력용기에 대한 내부검사를 가동 중 검사로 대체할 수 있는지 여부를 판단하기 위해 사용할 수 있다.
- (4) 가동 중 검사가 실시될 때, 비파괴검사 범위의 유형을 검사계획에 지정하는 것이 바람직하다. 이것은 금속두께 측정과 압력경계(즉, 용기 벽 및 용접)의 신뢰성을 평가하기 위하여 초음파두께측정, 방사선투과시험 또는 기타 적절한 비파괴시험 방법을 포함할 수 있다. 가동 중 검사가 실시될 때, 검사자에게 용기 상태의 정확한 평가를 할 수 있도록 용기의 모든 부분(경판, 동체, 그리고 노즐)에 대한 충분한 평가 권한을 부여하여야 한다.

7.5 여러 부식영역을 갖는 용기

부식률이 다른 두 가지 이상 영역을 가진 대형 용기의 경우, 검사 주기 결정 또는 내부 검사를 가동 중 검사로 대체할 때 각 영역은 독립적으로 처리될 수 있다. 각 영역은 해당 영역에 대한 주기에 따라 검사를 하여야 한다.

8. 원통 동체와 동체의 구형부분 내 국부적인 얇은 부위

내압을 받는 원통형 동체나(구형압력용기, 반구형 경판 그리고 접시형 또는 타원형 경판의 구형 부분과 같은) 동체의 구형 부분 내에 있는 국부적인 얇은 부위(Local Thin Areas : LTA)]가 요구두께(계산두께)보다 얇은 것은 허용한다.

8.1 일반요건

- (1) 제조자는 계산의 기록과 “KS B 6750 부속서 31 원통 동체와 동체의 구형 부분 내의 국부적인 얇은 부위”를 사용하여 평가한 모든 국부적인 얇은 부위(LTA)의 위치와 범위의 기록을 유지하여야 하며, 요구가 있을 경우에는 그러한 정보를 구매자 또는 사용자나 사용자가 지정한 대리인에게 제공하여야 한다. 이 정보는 이 요건을 만족시키기 위하여 실시한 설계계산서에 기록하여야 한다.
- (2) 최고설계온도는 규격에서 명시한 최고온도한계를 초과해서는 안 된다.
- (3) 이 장은 단조압력용기에 적용해서는 안 된다.
- (4) 이 장은 방식용 라이닝이나 오버레이에는 적용되지 않는다.
- (5) 다음 세목(8.2~8.6)의 모든 해당 요건이 만족되어야 한다.

8.2 기호설명

- C = 원통형 동체 내의 LTA의 투영 원주방향 길이
- D = 경판 스커트의 안지름 또는 타원형경판 장축의 안쪽길이 또는 원추형 경판에서 길이방향 축에 수직으로 측정된 해당부위에서의 안쪽 반지름
- D_L = 구형 부분 내의 LTA의 최대 크기
- L = 원통형 동체 내의 LTA의 투영 축방향 길이
- LTA = 국부적인 얇은 부위
- R = 원통형 용기나 구형 부분의 안쪽 반지름, 타원형 경판에 대해서는 $R=K_0D$,
 K_0 는 볼록면에 압력을 받은 타원형경판에 대한 구의 반지름 계수
- t = 계산두께, 그러나 요구두께보다 작아서는 안 된다.
- t_L = LTA의 최소 두께
- Θ = <그림 1> (c) 참조

8.3 원통형 동체에 있는 단일의 국부적 얇은 부위

(1) 단일 LTA는 다음의 식을 만족시켜야 한다.

$$t_L/t \geq 0.9 \quad \dots\dots\dots (5)$$

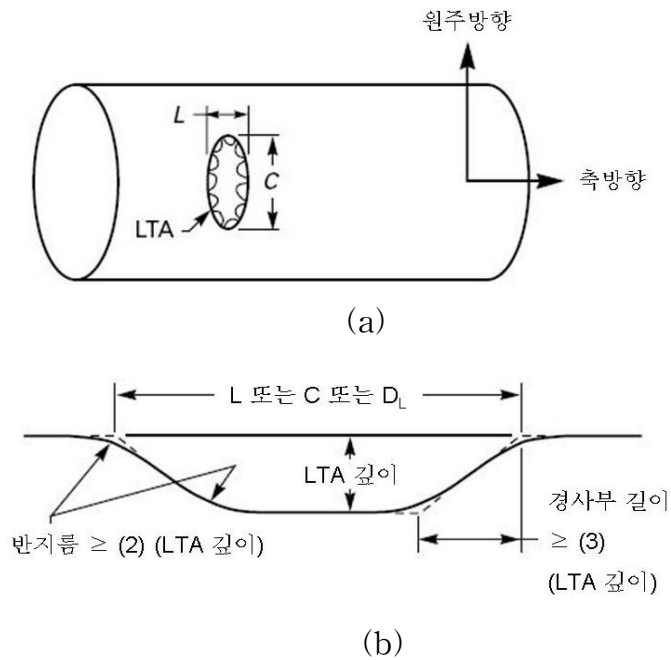
$$L \leq \sqrt{Rt} \quad \dots\dots\dots (6)$$

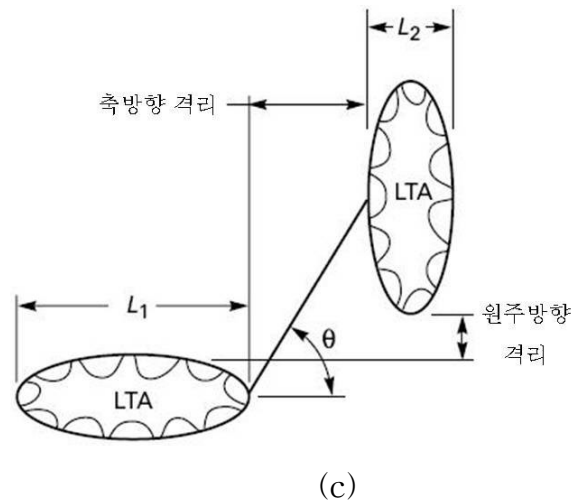
$$C \leq 2L \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$t - t_L \leq 5 \quad \dots\dots\dots (8)$$

(2) 단일 LTA의 어떤 가장자리이던지 경판이나 보강재와 같은 구조적 불연속 부로부터 $2.5\sqrt{Rt}$ 보다 가깝게 있어서는 안 된다.

(3) 보강이 필요 없는 구멍들에 대해서는, LTA의 가장자리와 구멍의 중심 사이의 최소 축방향 거리는 구멍의 안지름과 \sqrt{Rt} 의 합 이상이어야 한다.





<그림 1> 기호설명

- (4) 보강이 필요한 구멍들에 대해서는, LTA의 가장자리와 구멍의 보강 한계 사이의 최소 축방향 거리는 \sqrt{Rt} 이상이 되어야 한다.
- (5) LTA와 그보다 두꺼운 표면 사이의 중간부위는 <그림 1> (b)에서 보이는 것처럼 LTA 깊이의 3배 이상이 되는 경사부의 길이를 가져야 한다. 바닥 중간부위의 최소반지름은 <그림 1> (b)에서 보이는 것처럼 LTA 깊이의 2배 이상이어야 한다.
- (6) 내부압력 이외의 기계적 하중으로 인한 LTA의 길이방향 응력은 $0.3S$ 를 초과해서는 안 된다.
- (7) LTA에서의 두께는 길이방향의 압축력에 대한 최대허용응력 또는 외압을 받는 동체와 튜브 두께의 요건을 만족시켜야 한다.

8.4 원통형 동체에 있는 여러 개의 국부적 얇은 부위들

- (1) 마무리를 한 축방향 길이 L_1 과 L_2 [<그림 1> (c) 참조]를 가진 한 쌍의 국부적 얇은 부위는 그 개별 LTA가 8.3의 원통형 동체에 있는 단일 국부적 얇은 부위의 요건을 만족시키고 다음 조건들의 하나를 만족시키면 허용할 수 있다.

(가) θ 가 45° 이하인 경우, 최소 축방향 격리[<그림 1> (c) 참조]는 다음보다 커야 한다.

$$\frac{(1.0 + 1.5\cos\theta)(L_1 + L_2)}{2} \text{ 또는 } 2t$$

(나) θ 가 45° 를 초과하는 경우, 다음의 두 가지를 모두 만족시켜야 한다.

① 최소 축방향 격리는 다음의 이상이 되어야 한다.

$$\frac{2.91\cos\theta(L_1 + L_2)}{2}$$

② 최소 원주방향 격리는 $2t$ 이상이 되어야 한다.

(2) 모든 LTA의 쌍들이 (1)에서 명시한 단일 쌍의 규정을 만족시키면 LTA의 여러 쌍들을 허용할 수 있다.

(3) 여러 개의 국부적 얇은 부위들을 단일 LTA로 결합할 수 있다. 단일 합성 LTA가 8.3의 원통형 동체에 있는 단일 국부적 얇은 부위의 규정을 만족시키면, 그것은 허용할 수 있다.

8.5 동체의 구형부분 내의 단일 국부적 얇은 부위

(1) 단일 LTA는 다음의 식을 만족시켜야 한다.

$$t_L/t \geq 0.9 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$L \leq \sqrt{Rt} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$t - t_L \leq 5 \quad \dots\dots\dots (11)$$

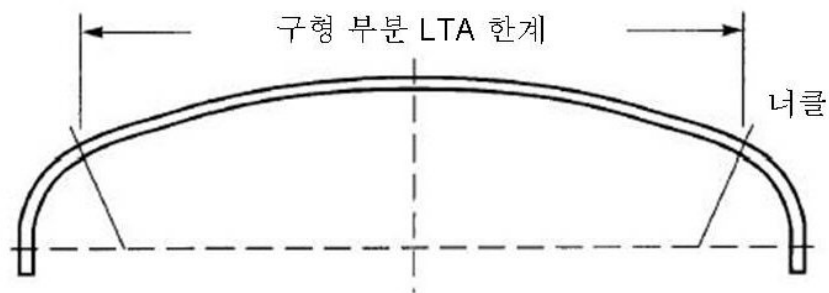
(2) 보강이 필요 없는 구멍들에 대해서는 그 LTA의 가장자리와 구멍의 중심

사이의 최소거리는 구멍의 안지름과 \sqrt{Rt} 의 합 이상이 되어야 한다.

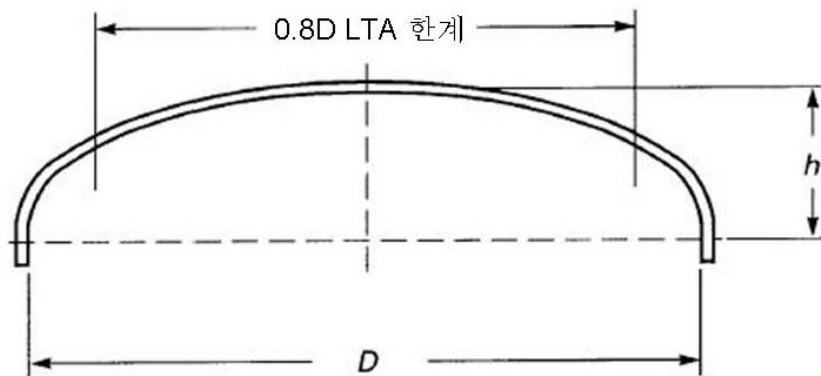
(3) 보강이 필요한 구멍들에 대해서는 그 LTA의 가장자리와 구멍의 보강 한계사이의 최소거리는 \sqrt{Rt} 이상이 되어야 한다.

(4) 단일 LTA의 어느 가장자리나 구조적 불연속부로부터 $2.5\sqrt{Rt}$ 보다 가깝게 있어서는 안 된다.

(5) 경판과 원통형 동체 사이의 일정한 두께의 연결부는 LTA 규정에 대하여 구조적 불연속으로 간주하지 않는다.



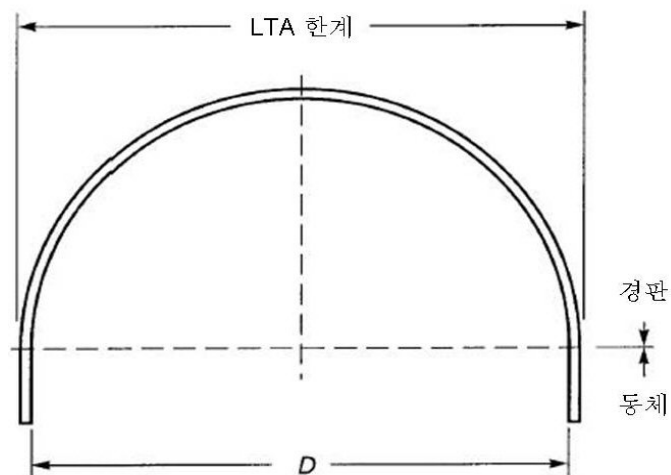
<그림 2> 접시형 경판의 한계



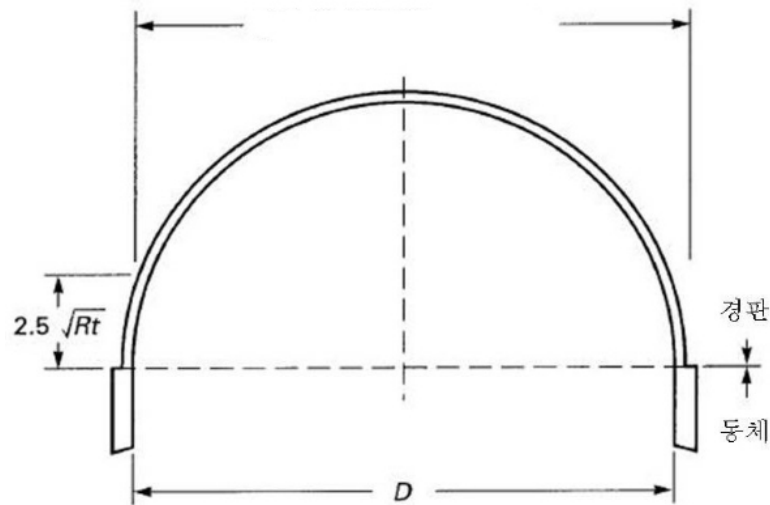
<그림 3> 타원형 경판의 한계

- (6) LTA와 그보다 두꺼운 표면 사이의 중간부위는 LTA 깊이의 3배 이상의 경사부 길이를 가져야 한다. 바닥 중간부위의 최소반지름은 LTA 깊이의 2배 이상이어야 한다.
- (7) 접시형 경판의 LTA는 그 경판의 구형 부분 내에 전부 위치해 있어야만 한다. [<그림 2> 참조].
- (8) 타원형 경판의 LTA는 전부 한 원 안에 있어야 하며, 그 원의 중심은 압력 용기의 축과 일치하고 그 직경은 동체의 안지름의 80%와 같다. [<그림 3> 참조]
- (9) 반구형 경판의 LTA는 (4)에 제한된 것을 제외하고는 경판의 어느 부분에서나 허용할 수 있다. [<그림 4> 참조]
- (10) LTA에서의 두께는 이음부가 없거나 맞대기 이음구조로 제조하는 외압을 받는 구형 동체 또는 성형경판에 대한 블록면의 압력에 대한 요구두께 요건을 만족시켜야 한다.
- (11) 이 장은 접시형 또는 타원형 경판의 원환부, 평경판 또는 원추형 경판에 적용하지 않는다.

LTA 한계



(a) 균일한 두께의 연결부



(b) 균일하지 않은 두께의 연결부

<그림 4> 반구형 경판의 한계

8.6 동체의 구형 부분 내의 여러 국부적 얇은 부위

- (1) 여러 개의 LTA를 결합하여 단일 LTA로 평가할 수 있다. 결합한 LTA의 둘러싸인 범위는 D_L 의 크기 내에 있어야 한다.
- (2) 둘러싸인 범위 내의 각 LTA는 동체의 구형부분 내의 단독 국부적 얇은 부위의 규정을 만족시켜야 한다.
- (3) 여러 개의 LTA는 그들의 가장자리가 $2.5\sqrt{Rt}$ 보다 가깝지 않으면 단일 LTA로 취급하여야 한다.

9. 압력용기의 검사기록 서식(예)

압력용기에 대한 검사기록은 압력용기를 검사하는 동안 수집한 자료를 보관, 활용할 수 있도록 별지 제1호 ~ 제5호 서식(예)을 나타냈다. 대부분의 플랜트에서는 다른 관련 자료를 포함하여 보다 상세한 서식들을 작성하여 사용하고 있다.

압력용기의 영구기록은 개별 압력용기의 모든 기초자료 기록 서식과 해당 압력용기에 대한 영구기록 서식을 나타낸다.

압력용기의 검사표는 부식률을 계산할 수 있도록 점진적 두께기록으로 사용되는 서식을 나타낸다. 하나의 압력용기에 대한 정보는 이 서식의 개별 사본에 기록해야 한다.

일반적으로 검사자는 이 서식의 사본 한 부를 현장 자료를 기록하는데 사용하고, 또 다른 사본은 사무실 기록용으로 사용한다. 검사자는 기본 자료를 이용할 수 없는 압력용기를 검사할 때 이 서식을 스케치 없이 사용해야 한다. 이러한 경우, 검사자는 현장에서 얻을 수 있는 모든 관련 치수 및 자료를 포함한 서식에 압력용기의 스케치를 만든다.

운전 중인 공정(unit)에 대한 모든 압력용기의 기록은 운전 중인 공정에 대한 모든 압력용기의 실제 물리적 조건 및 허용 운전조건을 기록하고 보고하는데 사용되는 서식은 나타낸다.

[별지 제1호 서식]

압력용기 검사기록 서식(예)

작성일 : _____		장치 번호 : _____		
사용자 명 : _____		압력용기 명칭 : _____		
기재사항(description)				
공정 명칭	: _____	사용자 번호	: _____	
설치위치	: _____	관할/검사기관 번호	: _____	
안지름	: _____	제조자명	: _____	
탄젠트 길이/높이	: _____	제조자의 일련번호	: _____	
동체 재료규격	: _____	제조일	: _____	
경판 재료규격	: _____	계약자	: _____	
내부 재료	: _____	도면번호	: _____	
공칭 동체두께	: _____	제작규격	: _____	
공칭 경판두께	: _____	이음효율	: _____	
설계온도	: _____	경판형태	: _____	
최대허용사용압력	: _____	이음형태	: _____	
최대시험압력	: _____	플랜지 등급	: _____	
설계압력	: _____	커플링 등급	: _____	
압력방출밸브 설정압력	: _____	출입구 개수	: _____	
내용물	: _____	중량	: _____	
특별조건 : _____				

두께측정 자료				
검사부위의 스케치 또는 위치 설명	위치	최초두께	최소 요구두께	측정일자
비고(주 2 참조) : _____				

검사방법 : _____				
공인검사원 : _____				
주 1. 필요한 경우 추가 서식을 사용한다.				
주 2. 각각의 설명과 관련된 검사부위를 반드시 기재한다.				

[별지 제2호 서식]

압력용기 영구기록(이력)

공정(unit) 명칭 :	
압력용기 명칭 :	
설치 위치 :	
최초 장치 번호 :	
설치일자 :	
압력용기 이력	
가 번호 :	제조자의 시험압력 :
주문번호 :	인수일자 :
제조자명 :	설치일자 :
제조자의 일련번호 :	사용자 번호:
제조자의 검사원 :	사용자 검사원:
기제사항	
일반사항 도면번호 : _____ 제작자 도면번호 : _____ 계약자 도면번호 : _____ 사용자 도면번호 : _____ 설치상태(수직 또는 수평) : _____ 제작규격 규격명 : _____, 공표년도 : _____ 합격표시 : _____ 재료사양 및 등급 또는 종류 소재 : _____ 라이닝 : _____ 라이닝 두께 : _____ 응력제거(최초) : _____ 방사선투과시험(최초) : _____ 전 길이 : _____ 교차 용접부 : _____ 크기 공칭 안지름 : _____ 기준선에서 기준선까지의 길이 : _____ 설계 설계압력, kPa : _____ 설계온도, ℃ : _____ 설계응력, MPa : _____ 최대허용운전압력, kPa : _____ 최고허용운전온도, ℃ : _____ 온도제한 근거 : _____	상부 경관 형태 타원형 : _____, 반구형 : _____ 접시형 크라운 부위 : _____, 너클 부위 : _____ 원추형(각도) : _____ 평형 : _____ 이음효율 : _____ 최초두께 : _____ 부식여유 : _____ 출입구(manway, manhole) 개수 : _____ 크기 : _____ 플랜지 등급 : _____ 보강 공장 또는 현장 : _____
동체 제작 형태 : _____ 이음효율 : _____ 지지부 형태 : _____ 내부 또는 외부 보강재 : _____ 최초 두께 : _____ 부식여유 : _____	하부 경관 형태 타원형 : _____, 반구형 : _____ 접시형 크라운 부위 : _____, 너클 부위 : _____ 원추형(각도) : _____ 평형 : _____ 이음효율 : _____ 최초두께 : _____ 부식여유 : _____ 출입구(manway, manhole) 수량 : _____ 크기 : _____ 플랜지 등급 : _____ 보강 공장 또는 현장 : _____ 노출 최소 플랜지 등급 : _____ 가공면(facing) 형태 : _____ 구멍 보강 : _____
출입구(manway, manhole) 개수 : _____ 크기 : _____ 플랜지 등급 : _____ 보강 공장 또는 현장 : _____	비고 _____ _____ _____ _____
비고 공정 내의 각 압력용기마다 이 기록표의 사본을 준비해야 한다. 신규 압력용기가 설치되거나 기제사항에 영향을 주는 변동사항이 있으면 이 기록표의 신규 또는 개정사본을 최신 검사보고서와 함께 제출해야 한다.	

KOSHA GUIDE

M - 69 - 2012

[별지 제3호 서식]

압력용기 검사표

공정(unit) 명칭 :											
압력용기 명칭 :											
압력용기 번호 :											
지름 :											
길이 :											
도 면											
	동체			라이닝				내부			
제작자											
계약자											
사용자											
스케치											
압력용기 두께 측정값											
측정지점		최초두께	최소 허용두께	측정일자							
검사주기	번호										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	6										
	7										
	8										
	9										
	10										

[별지 제4호 서식]

운전 중인 공정에 대한 모든 압력용기의 기록표(1)

공정 명칭 :				
설치 위치 :				
검사 및 시험 No. :				
일자 :				
압력용기의 명칭				
사용자의 압력용기 및 스케치 No.				
운전 자료 현재까지 압력을 받고 있는 시간				
사용조건 자료 평균 최대운전압력, kPa				
평균 최고운전온도, ℃ 상부(top) 하부(bottom)				
트레이 개수				
배플 개수				
코일 개수				
검사 및 시험 자료 검사원				
공칭 안지름				
최소두께 동체 위치(위치별 상이한 경우) 상부 경판 하부 경판				
이음효율 동체 경판				
경판개수 상부 하부				
최종 검사 내부 용접부 외부 용접부 보온재 밀 검사범위				

[별지 제5호 서식]

운전 중인 공정에 대한 모든 압력용기의 기록표(2)

공정 명칭 :				
설치 위치 :				
검사 및 시험 No. :				
일자 :				
압력용기의 명칭				
사용자의 압력용기 및 스케치 No.				
시험압력 압력용기, kPa 코일, kPa				
시험유체				
압력 유지시간 : ①+②				
최대허용운전압력, kPa				
최고허용운전온도, °C 온도제한 근거				
운전온도에서의 사용응력, kPa				
승인 운전압력, kPa				
승인 운전온도, °C				
안전밸브 설정압력, kPa				
보호 라이닝 자료				
도면 번호				
설치 일자				
재료 및 종류				
라이닝 부분				
수리 일자				
수리 범위				
이전 라이닝 제거 일자				
제거 이유				
비고				