KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE 기술지원규정

배관 수명관리 기술지원규정
B-M-18-2026

한국산업안전보건공단

기술지원규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 등 산업안전보건법령의 요구사항을
이행하는데 참고하거나 사업장 안전·보건 수준향상에 필요한 기술적 권고 규정임

기술지원규정의 개요

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 제・개정경과
- 2025년 12월 기계·전기안전분야 전문위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료
- 미국 ASME B31.3: 2024, Process Piping (ASME Code for Pressure Piping, B31)
  : 석유화학공장 배관설계 지침
- 미국 ASME SEC. Ⅷ, DIV. 1(Pressure vessels) Part UG : 압력용기 기술지침

○ 관련 법규・규칙・고시 등
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2편 제2장 제4절 제256조(부식방지)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제257조(덮개 등의 접합부)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제259조(밸브 등의 재질)

○ 기술지침의 적용 및 문의
- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 산업안전포털 홈페이지(portal.kosha.or.kr)의 기술지원규정(KOSHA GUIDE) 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 규정 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2026년 1월 30일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

목 차

1. 목 적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 용어의 정의 ····· 1

4. 배관 수명관리 관련 법적 필수사항 ····· 3

5. 배관 응력해석 및 허용 두께 산출 기술 규정 ····· 3

5.1 배관두께 결정 절차 ····· 3

5.2 배관두께 계산 방법 ····· 4

5.3 배관두께 검사 ····· 8

5.4 배관 응력해석의 주목적 ····· 13

5.5 배관응력 해석시 고려되어야 할 하중 ····· 13

5.6 배관 응력 해석시 필요한 자료 ····· 14

5.7 배관응력 해석 절차 ····· 15

5.8 배관응력 평가기준 ····· 16

5.9 배관응력 해석의 평가 ····· 17

5.10 열응력 해석의 필요성에 대한 판단기준 ····· 19

5.11 열응력 해석의 필요성에 대한 판단기준 ····· 20

6. 잔여 수명 산출 및 관리 기술 규정 ····· 20

7. 점검 및 유지 관리 ····· 20

7.1. 일반사항 ····· 20

7.2. 검사 ····· 21

<별표 1> 한국산업표준(KS)와 미국재료시험학회(ASTM)의 배관 치수 비교표 ····· 36

<별표 2> 배관 두께 검사 기록지 ····· 38

<별지그림 1> 배관 두께 검사 절차 ····· 39

<별표 3> 배관응력 해석 흐름도 ····· 40

<별표 4> 배관설계 조건표 ····· 41

<별표 5> 배관지지물 하중 집계표 ····· 42

<별표 6> 노출하중 집계표 ····· 43

배관 수명관리 기술지원규정

1. 목 적

이 규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제2편 제2장 제4절 제256조 및 별표 7의 규정에 따라, 화학설비의 부속설비인 배관계에 대하여 배관두께의 계산, 응력 해석 및 운전 중 열화 상태의 검사에 필요한 기술적 기준을 정함으로써, 내압, 열응력, 자중, 바람, 지진 등의 외력에 의한 재해를 예방하고 배관의 안전성과 수명을 확보하는 것이 목적이다.

2. 적용범위

이 규정은 화학설비 및 그 부속설비 중 배관계의 안전성을 확보하기 위하여 적용하며, 배관두께의 계산 및 검사, 배관응력 해석, 그리고 사업장에 설치되어 운전 중인 금속 및 비금속 배관의 열화가 예상되는 경우의 검사에 관한 사항에 적용한다. 다만, 배관 등의 재질이 비금속인 경우에는 응력 해석에는 적용하지 아니한다.

(1) 이 규정의 두께 산정 및 응력해석은 ASME B31.3 301(설계조건) 및 302(설계기준)의 정의에 부합하도록 적용한다.

(2) 설계압력, 설계온도, 최소금속설계온도(MDMT), 지속하중, 변위하중, 우발/주기 하중의 분류 및 허용기준은 ASME B31.3의 용어·범위를 따른다.

3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “배관(Piping)”이란 유체를 이동시키거나 유체의 압력을 전달하기 위해 사용되는 원통의 관을 말한다.

(나) “배관시스템(Piping system)”이란 유체의 이동, 배분, 혼합, 계량 등의 작업을 수행하기 위해 사용되는 일련의 연결배관을 말하며, 배관지지 부품은 시스템에 포함하고 지지를 위한 구조물은 포함하지 않는다.

(다) “직관부(Straight piping section)”란 유체 흐름 방향이 바뀌지 않는 직선 배관을 말한다.

(라) “곡관부(Elbow section)”란 유체 흐름 방향이 바뀌는 곡선 배관을 말한다.

(마) “용가재(Filler metal)”란 용접 시 열원에 의해 용착되는 금속을 말한다.

(바) “주입점(Injection point)”이란 화학적 성질 또는 다른 공정변수(온도, 압력, 유량)를 제어하기 위하여 공정 흐름에 소량의 화합물이 주입되는 지점을 말한다.

(사) “1차 응력(Primary stress)”이란 유체 내부 압력, 배관 자체의 무게 등의 내력 및 바람, 눈 등의 외력에 의하여 발생되는 응력을 말한다.

(아) “2차 응력(Secondary stress)”이란 배관계 내부에 흐르는 유체의 온도에 의한 열팽창 응력을 말한다.

(자) “허용응력(Allowable stress)”이란 사용 온도에서 재질이 허용하는 최대 응력을 말한다.

(차) “허용응력 범위(Allowable stress range)”란 배관계의 정상 운전, 운전 정지 등 반복적인 상태에 따른 응력이완 현상으로 인해 발생할 수 있는 응력의 범위를 말한다.

(카) “배관지지물(Piping support)”이란 배관계에서 발생하는 자중, 열팽창, 유체 및 기계진동, 지진 등 외부 충격으로부터 배관을 지지·보호하기 위해 설치하는 장치를 말한다.

(타) “배관지지대(Pipe support frame)”란 배관을 지지하는 철구조물을 말한다.

(파) “위험기반검사(Risk Based Inspection, RBI)”란 설비의 고장발생 가능성과 사고피해 크기의 곱에 의해 결정되는 위험도에 의해 검사의 우선순위를 결정하는 기법을 말한다.

(2) 그 밖에 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 이 규정에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 고용노동부 고시에서 정하는 바에 따른다.

4. 배관 수명관리 관련 법적 필수사항

다음은 배관 수명관리 관련 산업안전보건법령에 관한 사항으로서 반드시 준수하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제256조(부식 방지)
사업주는 화학설비 또는 그 배관(화학설비 또는 그 배관의 밸브나 콕은 제외한다) 중 위험물 또는 인화점이 섭씨 60도 이상인 물질(이하 "위험물질등"이라 한다)이 접촉하는 부분에 대해서는 위험물질등에 의하여 그 부분이 부식되어 폭발·화재 또는 누출되는 것을 방지하기 위하여 위험물질등의 종류·온도·농도 등에 따라 부식이 잘 되지 않는 재료를 사용하거나 도장(塗裝) 등의 조치를 하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제257조(덮개 등의 접합부)
사업주는 화학설비 또는 그 배관의 덮개·플랜지·밸브 및 콕의 접합부에 대해서는 접합부에서 위험물질 등이 누출되어 폭발·화재 또는 위험물이 누출되는 것을 방지하기 위하여 적절한 개스킷(gasket)을 사용하고 접합면을 서로 밀착시키는 등 적절한 조치를 하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제259조(밸브 등의 재질)
사업주는 화학설비 또는 그 배관의 밸브나 콕에는 개폐의 빈도, 위험물질등의 종류·온도·농도 등에 따라 내구성이 있는 재료를 사용하여야 한다.

5. 배관 응력해석 및 허용 두께 산출 기술 규정

5.1 배관두께 결정 절차

(1) 유체의 부식성, 설계온도 및 설계압력을 검토하여 배관의 재질을 결정한다.

(2) 설계유량, 압력손실 등을 고려하여 배관의 크기를 결정한다.

(3) 배관의 크기, 재질의 허용응력, 용접이음계수 등을 고려하여 5.2.1항 및 5.2.2항에 따라 내압 및 외압에 의한 두께를 계산한다.

(4) 기계적 이음, 유체의 부식 및 마모를 고려한 추가두께를 합하여 5.2항에 따라 최소 요구두께를 산출한다.

(5) <별표 1>의 배관치수표를 참조하여 배관크기별 두께를 선택한다.

(6) <별표 2>의 배관재질별 제작공차여유를 고려한 두께를 구한다.

5.2 배관두께 계산 방법

5.2.1 직관부 두께 계산

직관부에서 요구되는 최소요구두께는 〈식 1〉과 같이 구한다.

$$t_m = t + c \quad \cdots\cdots\cdots\

(다) 기계적 강도에 대한 보상

배관지지물 또는 기타 원인으로 인해 부과된 하중에 의한 배관의 손상, 파괴, 과도한 처짐 또는 좌굴방지를 위해 기계적 강도를 유지하기 위한 보상

5.2.1.1 내압을 받는 직관부의 두께계산 방법

내압을 받는 직관부의 최소허용두께는 〈식 2〉와 같이 구한다.

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2(SE + PY)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

여기서, P : 내부설계압력(kPa)

D_0 : 배관의 바깥지름(㎜)

S : 온도에 따른 배관재질의 허용응력(kPa)

Y : 보정계수(<표 1> 참조)

E : 용접이음계수(<표 2> 참조)

<표 1> 배관재질의 온도에 따른 보정계수

재질 \ 온도	482 ℃이하 (900°F이하)	510 ℃ (950°F)	538 ℃ (1000°F)	566 ℃ (1050°F)	593 ℃ (1100°F)	621 ℃ (1150°F)	649 ℃ (1200°F)	677 ℃이상 (1250°F이)
페라이트강	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
오스테나이트강	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
니켈합금 및 다른재질	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7

* 1) Y 값은 보간법에 의해 구하며 주철 및 비철금속 재료의 Y 값은 0.4이다.

2) $\frac{D_0}{t}$ 값이 6보다 작은관에 대하여 482 ℃ 이하 온도에서 설계된 페라이트강 및 오스테나이트강의 Y값은 아래와 같이 구한다.

$$Y = \frac{D_i}{D_i + D_0}$$

여기서 D_i : 배관의 안지름(mm)

<표 2> 이음이 있는 배관의 용접이음 계수

이 음 형 태	용접이음 계수
· 전기 또는 가스 용융용접	
- 용가재를 사용한 한쪽면 맞대기 용접	0.8
- 용가재를 사용하지 않는 한쪽면 맞대기 용접	0.85
- 양쪽면 맞대기 용접(용가재 무관)	0.90
- 한쪽면 또는 양쪽면 맞대기 용접의 100 % 방사선 투과 시험 검사(RT)를 할 경우(용가재 무관)	1.00
· 전기 저항 용접	0.85

5.2.1.2 외압을 받는 직관부의 최소허용두께계산 방법

외압을 받는 직관부의 두께는 다음의 절차에 따라 구한다.

(1) $D_0/t \geq 10$일 경우

(가) t의 값을 가정하고, L/D_0 및 D_0/t를 구한다.
여기서, L : 강화테 사이의 직관부 길이(mm)

(나) (가)호에서 구한 L/D_0의 값을 <그림 1>의 세로축에서 찾는다. L/D_0의 값이 50보다 큰 경우에는 L/D_0 = 50의 값을 사용한다. L/D_0의 값이 0.05보다 작을 경우에는 L/D_0 = 0.05의 값을 사용한다.

(다) (가)호에서 구한 D_0/t의 값에 대한 선까지 수평으로 이동한다. D_0/t의 중간값에 대해서는 보간법을 사용하고, 이 교점으로부터 아래 방향으로 수직이동하여 계수 A의 값을 구한다.

(라) (다)호에서 계산된 A의 값을 <그림 2>의 해당 재료에 대한 도표의 가로축에서 찾는다. 도표의 A값에서 설계온도에 따른 각각의 탄성계수선에 수직교차선을 그린다. 특정한 설계온도에 대해서 2개의 인접한 탄성계수선 사이에 놓인 B의 값을 결정하기 위해서는 선형보간법을 이용하거나 다른 합리적인 보간법을 이용할 수 있다.

(마) (라)호에서 구한 교점으로부터 오른쪽으로 수평이동하여 계수 B의 값을 구한다.

(바) 〈식 3〉을 이용하여 최대허용 외부사용압력 P_a의 값을 계산한다.

$$P_a = \frac{4B}{3(D_0/t)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

(사) A 의 값이 해당 재료/온도 곡선의 왼쪽을 벗어나는 경우에는 〈식 4〉를 이용하여 P_a 의 값을 계산할 수 있다.

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_0/t)} \quad \cdots\cdots (4)$$

(아) (바)호 또는 (사)호에서 계산된 P_a 의 값과 P 를 비교한다. P_a 의 값이 P 보다 작으면 보다 큰 t 의 값을 선택하여 P_a 의 값이 P 와 동일하거나 이상이 될 때까지 t 값을 증가하여 두께계산을 반복한다.

(2) $D_0/t < 10$ 일 경우

(가) (1)호에서와 같은 절차를 이용하여 B의 값을 구한다. D_0/t 의 값이 4보다 작은 경우에는 계수 A의 값을 〈식 5〉을 이용하여 계산할 수 있다.

$$A = \frac{1.1}{(D_0/t)^2} \quad \cdots\cdots (5)$$

(나) (가)호에서 얻은 B의 값을 가지고 〈식 6〉을 이용하여 P_{a_1} 의 값을 계산한다.

$$P_{a_1} = [\frac{2.167}{(D_0/t)} - 0.0833]B \quad \cdots\cdots (6)$$

(다) 〈식 7〉을 이용하여 Pa_2의 값을 계산한다.

$$P_{a_2} = \frac{2S}{(D_0/t)}[1 - \frac{1}{D_0 t)}] \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서 S 는 해당 재료의 설계 온도에서의 최대 허용응력값의 1.5배, 또는 설계온도에서의 재료의 항복강도의 0.9배 중에서 작은 값이다.

(라) (나)호에서 계산된 P_{a_1} 의 값 또는 (다)호에서 계산된 P_{a_2} 의 값 중에서 더 작은 값을 최대허용 외부사용압력 P_a 로 사용하여야 한다. P_a 와 비교해서 P_a 가 P 보다 작으면 보다 큰 t의 값을 선택하여 P_a 의 값이 P와 같거나 이상이 될 때까지 설계절차를 반복한다.

5.2.2 곡관부 두께 계산

(1) 곡관부의 관의 굽힘이 완료된 어느 부위에서도 관의 최소두께는 5.1항에서 구한 직관부의 최소허용두께보다 작아서는 안 된다.

(2) 곡관을 만들 때 곡관외곽부의 얇아짐에 대해 보상을 위해 <별표 2>에 나타난 여유값을 적용한다. 다만, 배관지름은 호칭지름을 사용하며, t_m은 5.1항에서 구한 값을 적용한다.

<표 3> 곡률 반경에 따른 곡관부 최소 두께

곡률 반경	곡관부 최소 두께
배관 지름의 6배 이상	t_m의 1.06배
배관지름의 5배	t_m의 1.08배
배관지름의 4배	t_m의 1.14배
배관지름의 3배	t_m의 1.25배

5.3 배관두께 검사

배관두께 검사는 <별지 그림 1>에 제시된 절차에 따른다.

5.3.1 검사대상 배관 선정

검사결과를 분석하여 공정배관 계장도(P&ID, Piping and Instrumentation Diagram)로부터 검사대상 배관을 선정한다.

5.3.2 도면 준비

(1) 검사해야 할 배관의 3차원 도면(Isometric Drawing)을 작성한다.

(2) 검사대상 배관은 공정별 유종별로 분류하여 준비한다.

(3) 3차원 도면상에 엘보우, 티 등을 위주로 검사번호를 부여한다.

(4) 유체흐름방향으로 일련번호를 부여하되 주 배관으로부터 번호를 부여한 후 분기 배관에 번호를 부여한다.

5.3.3 검사 위치 선정

(1) 한 부위에 집중되지 않도록 하며, 배관 내에서 부식, 유속이 큰 곳, 기액상 변화, 유체의 정체 등으로 두께감소가 동일 배관계 보다 심할 것으로 예상되는 아래와 같은 장소를 선정한다.

(가) 유체흐름이 급격히 변화하는 부위 또는 압력변화가 심한 부위
- 유량・압력조절밸브 전・후단
- 오리피스 후단
- 스팀트랩 후단

(나) 2상 유체 흐름 부위
- 스팀・응축수 배관

(다) 이물질이나 촉매 등에 의한 와류가 발생하는 부위

(라) 정상 운전시 유체흐름 없이 정체되는 부위
- 벤트, 드레인 배관

(마) 주입 노즐 부위

(바) 부식 가능성이 높은 부위

(사) 응축 부식 심화 부위
- 내부 응축을 유발시키는 지지대 부위

(아) 계장 배관 부위

(2) 현장 확인 후 검사할 곳을 선정한다.

(3) 검사 위치가 선정되면 검사지점을 배관 단면상의 시계방향으로 90°, 180°, 270° 및 360° 지점 4곳에 대하여 실시한다.

(4) 검사 시 취약부위가 발견되면 인근부위를 집중 검사한다.

5.3.4 검사방법 선정

(1) 배관의 재질, 유체의 특성, 배관의 파손기구 등 공정상 특성을 고려하여 검사방법을 결정한다.

(2) 위험기반검사(RBI : Risk based inspection) 기법을 활용하여 각 배관의 위험도에 근거하여 검사방법을 선정할 수 있다.

5.3.5 검사방법 종류

설치된 배관의 정밀한 두께 검사하기 전에 통상적으로 제일 많이 사용하는 방법은 육안검사이며, 그 후에 배관두께와 용접부위 검사를 실시한다.

(1) 육안에 의한 검사 주요 항목

(가) 배관 외부의 부식, 변형 및 파손여부

(나) 보온재 상태

(다) 도장 상태

(라) 배관 지지대 이탈 및 부식상태

(마) 신축이음 상태 및 플랜지 체결상태

(2) 배관두께 검사방법

(가) 초음파 탐상시험

(나) 방사선 투과시험

(3) 용접부위 검사 방법

(가) 초음파 탐상시험

(나) 방사선 투과시험

(다) 자분탐상 시험

(라) 침투탐상 시험

(마) 열탐상 시험

(바) 압력 시험

5.3.6 검사

배관의 비파괴검사에 관한 사항은 KOSHA GUIDE C-C-91-2026「화학설비 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 기술지원규정」을 따른다.

5.3.7 잔여수명 결정

아래와 같은 방법에 의해 부식률을 계산하고 예측 잔여수명을 결정한다.

$$\text{부식률}(㎜/year) : \frac{\text{사용두께} - \text{측정두께}}{\text{사용연수}} \text{ 또는, } \frac{\text{전번측정두께} - \text{금번측정두께}}{\text{검사기간}}$$

$$\text{예측 잔여수명}(\text{년}) : \frac{\text{측정두께} - \text{최소요구두께}}{\text{부식율}}$$

5.3.8 검사주기 결정

(1) 5.3.7항의 잔여수명에 대한 배관의 검사주기는 <표 4>를 적용한다.

<표 4> 예측 잔여수명별 검사주기

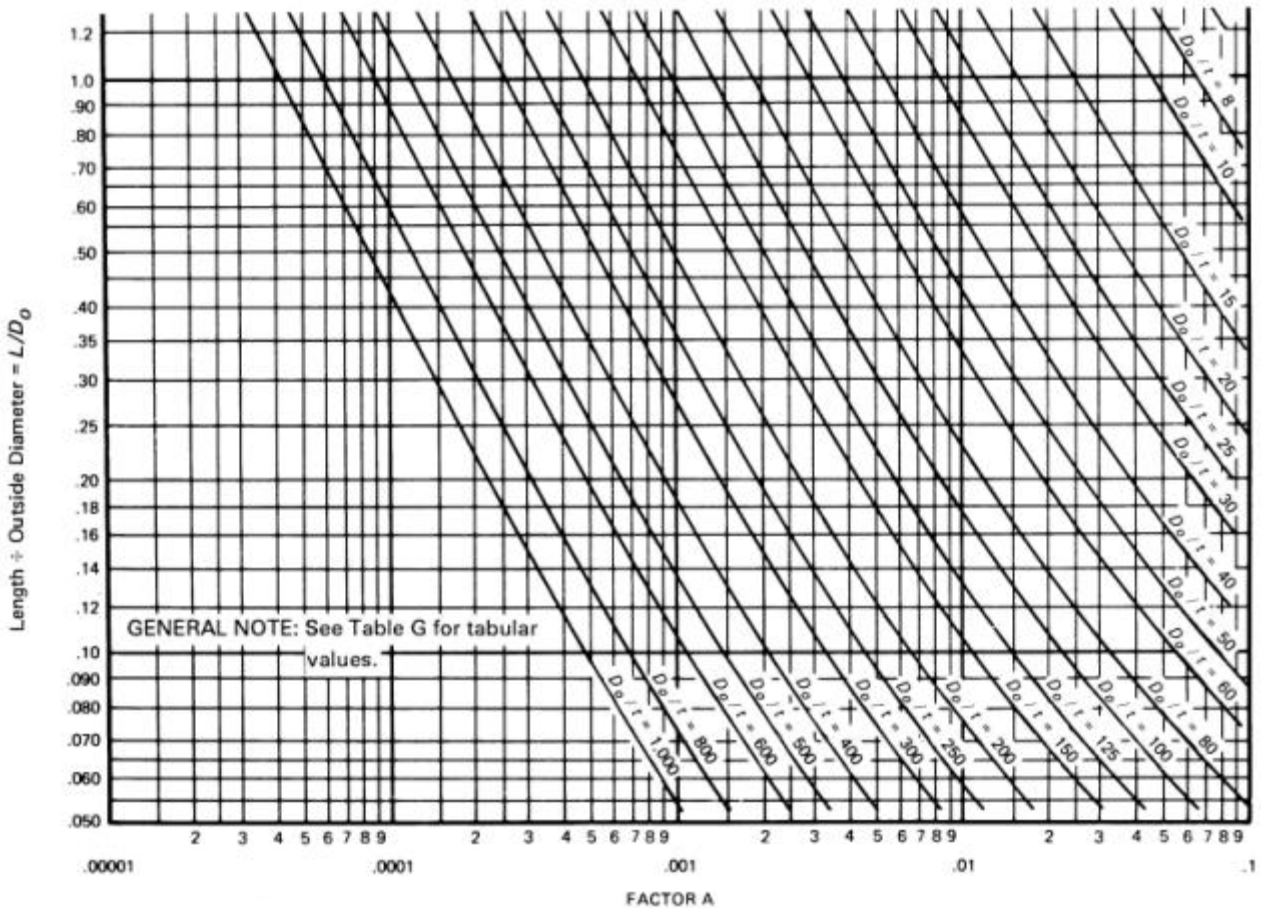
예측 잔여 수명	검사주기
5년 이상	2년
2년 이상 5년 미만	1년
1년 이상 2년 미만	6개월
1년 미만	즉시교체

(2) 특별히 부식상태가 심해지는 경우에는 위의 검사주기와 관계없이 검사주기를 단축하여 실시한다.

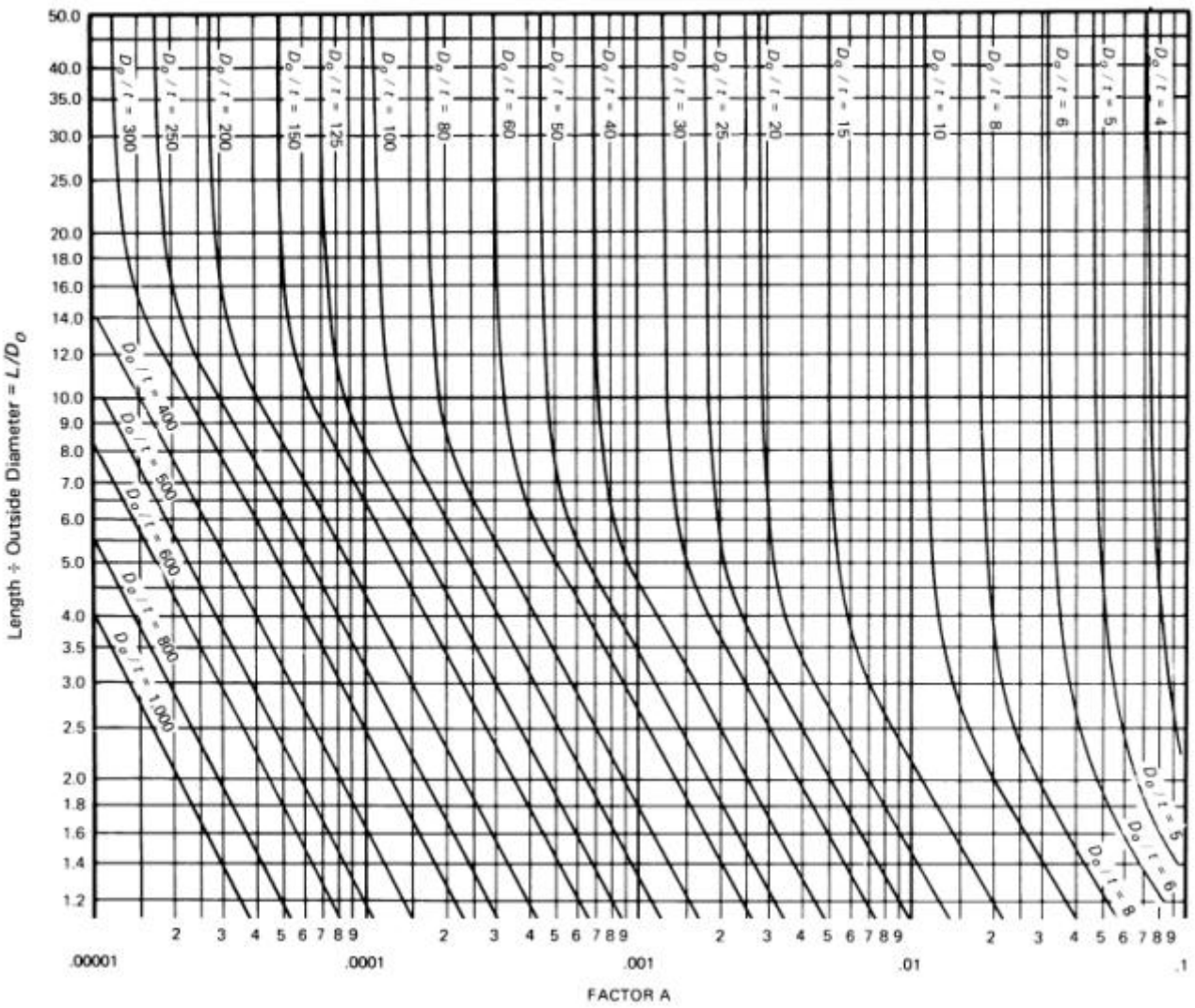
5.3.9 기록 및 보관

(1) 검사 및 판정결과는 <별지서식 1>의 배관두께 검사 기록지에 기록・유지한다.

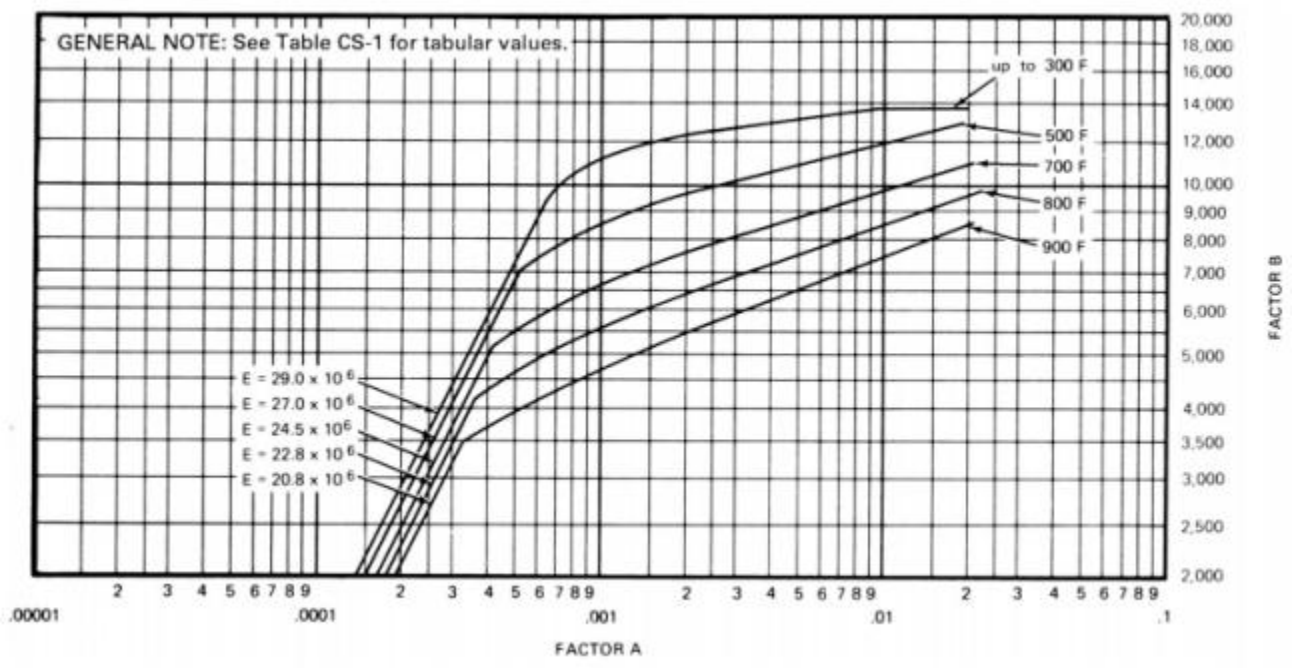
(2) 배관검사결과의 필름은 공정별로 분류하여 다음 검사 시점까지 보관한다.



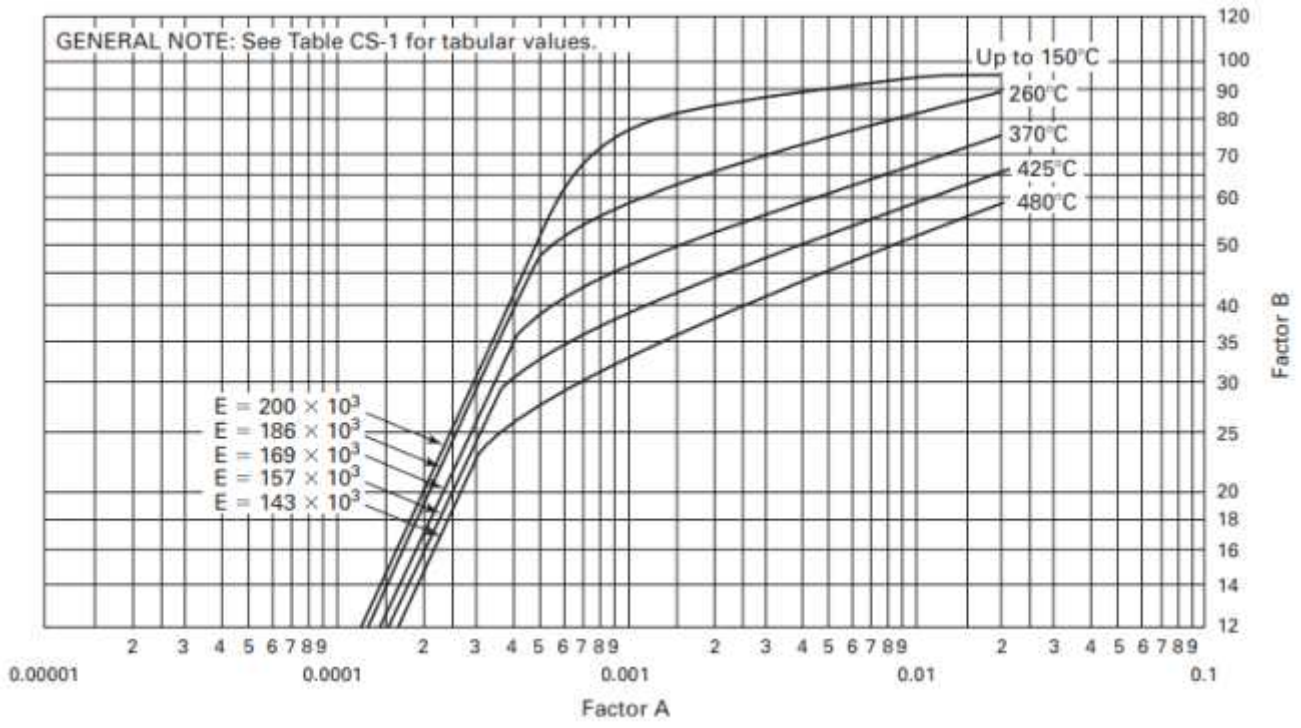
<그림 1> 외압을 받는 배관의 L/D_0 및 A 값 도표



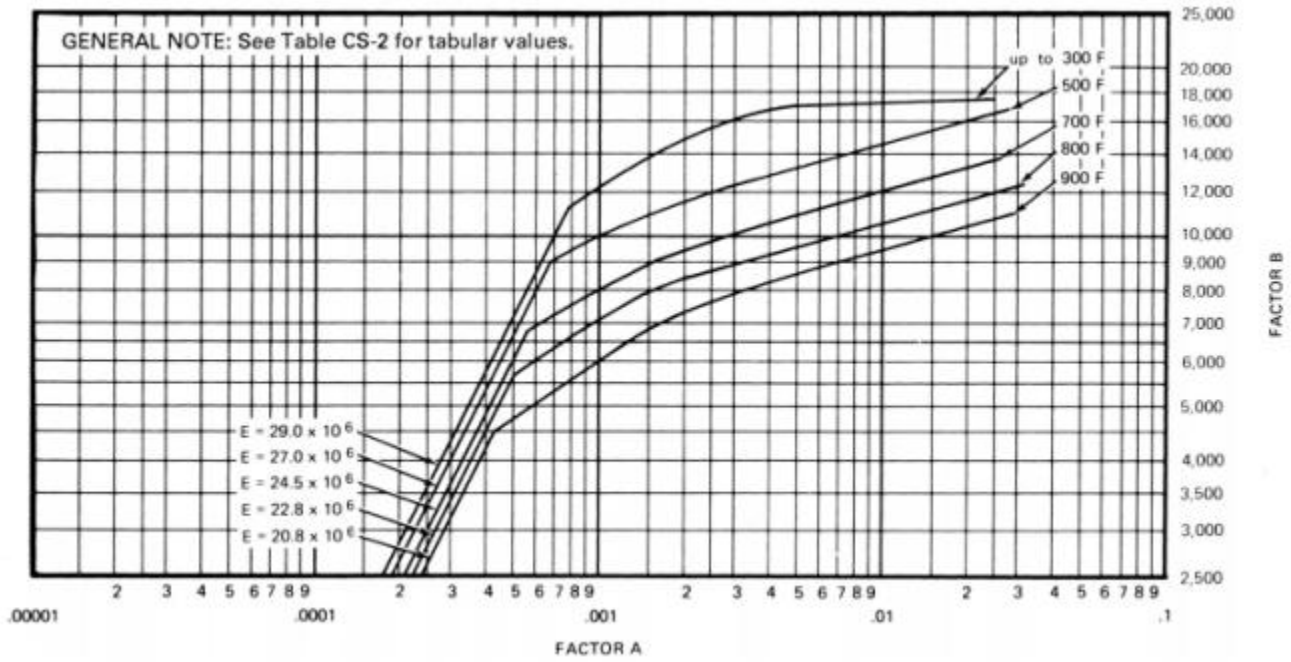
<그림 1> 외압을 받는 배관의 L / D_0 및 A 값 도표



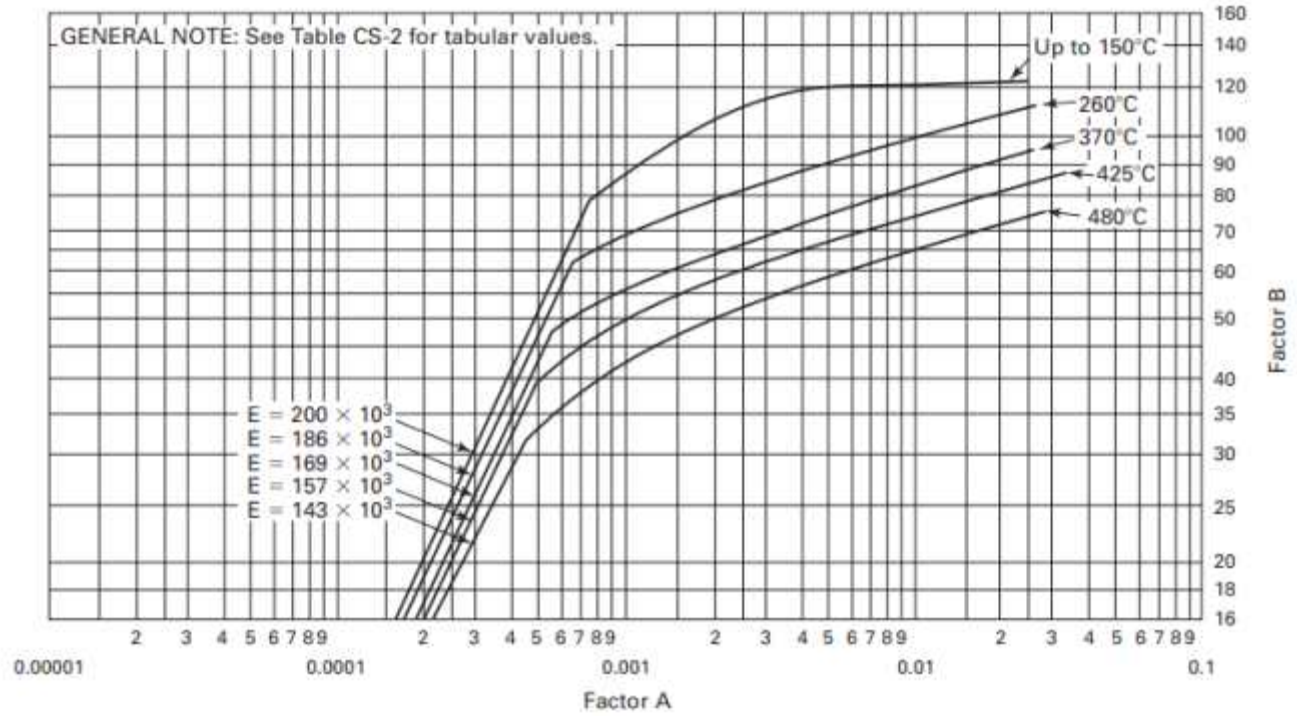
(a) 최소항복강도가 30,000 psi 미만인 탄소강 또는 저합금강에 적용



(b) 최소항복강도가 207 MPa 미만인 탄소강 또는 저합금강에 적용



(c) 최소항복강도가 30,000 psi 이상인 탄소강 또는 저합금강에 적용



(d) 최소항복강도가 207 MPa 이상인 탄소강 또는 저합금강에 적용

<그림 2> 외압을 받는 배관의 A에 대한 B값의 도표

5.4. 배관 응력해석의 주목적

(1) 배관의 내압, 열팽창, 자중, 바람, 지진 등의 하중에 대한 배관계의 안전성을 검토한다.

(2) 배관과 연결되는 기기상의 노즐에 대한 안전성을 검토한다.

(3) 배관설치와 관련 있는 배관지지대 및 배관지지물의 설계에 필요한 자료를 제공한다.

5.5 배관응력 해석시 고려되어야 할 하중

(1) 배관자중

배관자체의 무게, 밸브류 등 부속설비 및 보온재 무게를 포함한 하중

(2) 유체 내부압력

배관내부에 흐르는 유체의 압력

(3) 열팽창에 의한 하중

배관내부에 흐르는 유체의 온도로 발생되는 배관의 팽창 또는 수축에 의한 하중

(4) 바람

배관계의 휨을 유발시키는 풍하중

(5) 지진

지진에 의한 배관계의 흔들림 하중

(6) 진동

펌프, 압축기 등의 회전기기 등에 의한 배관계의 진동 하중

(7) 기타

수격현상, 공동현상 등 유체의 일시적인 압력상승

5.6 배관 응력 해석시 필요한 자료

(1) 공정흐름도

온도, 압력, 유량 등을 참조하여 응력해석 업무의 계획을 수립한다.

(2) 공정배관・계장도

배관크기 및 보온재 두께 등을 파악한 후 해석하려고 하는 배관의 기능을 검토하여 밸브, 플랜지, 스트레이너 등의 부속설비를 파악한다.

(3) 배관자재 사양서

배관크기별 재질, 보온재의 재질 및 밸브, 플랜지, 스트레이너 등의 재질을 파악한다.

(4) 설비 배치도

해석하려고 하는 배관과 연결되는 설비에 대한 위치를 검토한다. 특히 설비의 노즐 크기 및 위치를 확인한다.

(5) 철구조물 도면

배관의 구속력을 기초에 전달하는 철구조물의 위치, 높이, 방향 및 부재의 크기를 확인한다.

(6) 배관도

모든 배관들에 대한 종합적인 정보가 있는 도면으로서 배관의 위치, 높이 및 방향, 인접배관에 대한 간격 및 각 설비와의 이격거리를 알 수 있어야 한다.

(7) 3차원 배관도

개별 배관에 대한 형상을 3차원으로 나타낸 도면으로서 배관 지지점을 포함하여야 하며 전산 입력용으로 활용한다.

5.7. 배관응력 해석 절차

5.7.1 배관응력 해석 흐름도

배관응력 해석 흐름도는 <별표 3>과 같다.

5.7.2 해석 절차

배관응력 해석 절차는 아래와 같다

(1) 배관 사양서와 배관 목록표를 검토하여 응력 해석 대상 배관을 선정한다.

(2) 배관도를 검토하며 10.(4)항에 의한 간편한 검증방법을 통해 응력 해석이 필요한 배관을 최종 확정한다.

(3) 응력 해석에 고려해야 할 하중을 결정하며, 응력 해석 대상 배관에 대한 배관설계 조건을 기록한다.(<별표 4> 배관설계 조건표 참조)

(4) 응력 해석 대상 배관에 대한 응력 해석용 3차원 도면을 작성하며, 이 때 주위 설비위치 및 철구조물 도면을 참조하여 배관 지지점을 선정한다.

(5) 배관 지지점 선정방법은 KOSHA GUIDE B-M-20-2026 「배관지지물 설치 및 유지에 관한 기술지원규정」에 따른다.

(6) 컴퓨터 프로그램을 사용하여 응력 해석을 수행한다.

(7) 해석결과, 최대 응력발생 위치와 하중 그리고 노즐 및 배관지지물에 부과되는 하중을 검토한다. 검토시 최대응력이 허용응력 및 허용응력 범위를 초과할 때는 상기 (4)항, (5)항 및 (6)항을 반복 수행한다.

(8) 반복 수행 결과, 배관계에서 발생되는 응력이 허용응력 범위내에 존재하며, 배관과 연결된 설비의 노즐에 작용하는 하중조건을 확인, 안전성 검토가 완료되면 컴퓨터 프로그램을 사용한 응력 해석을 끝낸다.

(9) 배관응력 해석 결과에 따라 배관지지물 하중 집계표를 작성하여 배관지지물의 선정 및 구매, 설계업무에 참조한다.(<별표 3> 배관지지물 하중집계표 참조)

(10) 배관응력 해석 결과에 따라 노즐 하중집계표를 작성하여 노즐의 안전성 여부를 재확인한다.(<별표 4> 노즐 하중집계표 참조)

(11) 응력 해석이 완료되면 8항의 검토를 최종적으로 실시하며, 검토 완료 후 관련업무 즉 배관도의 작성, 지지물 설계 업무를 시작한다.

(12) 9.1항의 내용을 포함한 응력 해석 보고서를 작성하여 검토 자료로 보관한다.

5.8 배관응력 평가기준

(1) 배관계의 1차 응력에 대한 평가는 각 배관 재질의 허용응력과 비교하여 판정한다.

(2) 압력과 배관자중 등의 지속하중에 의한 배관계의 1차 응력은 다음 식을 만족하여야 한다.

$$SL = \frac{PDo}{4tm} + \frac{1000(0.75i)Ma}{Z} < 1.0Sh \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

여기서 SL : 배관계의 1차응력(kPa)
P : 배관계 내부의 유체압력(kPa)
Do : 배관의 외경(㎜)
tm : 공칭 배관두께에서 부식여유를 제외한 배관 두께(㎜)
Z : 배관 단면계수(㎣)
i : 배관 응력 집중 계수
Ma : 지속하중에 의한 모멘트(N-㎜)
Sh : 배관재질 및 유체 온도에 따른 허용응력(kPa)

(3) 지진 등 임시 하중을 고려한 배관계의 1차 응력은 다음 식을 만족하여야 한다.

$$SL = \frac{PDo}{4tm} + \frac{1000(0.75i)MA}{Z} + \frac{1000(0.75i)Mb}{Z} < K\ Sh \cdots\cdots (2)$$

여기서 Mb : 임시하중에 의한 모멘트(N-㎜)
K : 1.2

(4) 열팽창에 의한 배관계의 2차응력은 다음 식을 만족하여야 한다.

$$SE = \sqrt{Sb^2 + 4St^2} < Sa \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

여기서 SE : 배관계의 2차응력(kPa)
Sb : 배관 열팽창에 의한 굽힘응력(kPa)
St : 배관 열팽창에 의한 비틀림응력(kPa)
Sa : 배관계 운전조건에 있어서의 허용응력 범위(kPa)

(5) 배관계의 2차응력에 대한 평가는 허용응력 범위와 비교하여 판정한다. 허용응력 범위 산출은 아래와 같이 계산한다.

$$Sa = f[1.25(Sc+Sh)-SL] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

여기서
Sa : 허용응력 범위(kPa)
Sc : 운전사이클 내에서의 배관재질의 최소온도에서의 허용응력(kPa)
Sh : 운전사이클 내에서의 배관재질의 최대온도에서의 허용응력(kPa)
SL : 배관계의 1차응력(kPa)
f : 운전사이클수에 의해 결정되는 응력 보정 계수

운전 사이클수	응력보정계수(f)
7 000회 미만	1.0
7 000이상 14 000미만	0.9
14 000이상 22 000미만	0.8
22 000이상 45 000미만	0.7
45 000이상 100 000미만	0.6
100 000이상 200 000미만	0.5
200 000이상 700 000미만	0.4

5.9 배관응력 해석의 평가

5.9.1 배관응력 해석 보고서

배관응력 해석 수행 후 모든 자료 및 결과는 문서화하여 검토자료로 보관해야 한다. 이 보고서에는 최소한 다음 사항이 포함되어야 한다.

(1) 해석적용 코드, 전산프로그램

(2) 배관응력 해석용 3차원 배관도

(3) 배관응력 해석에 참고된 자료 및 도면

(가) 공정흐름도

(나) 공정배관・계장도

(다) 배관자재 사양서

(라) 설비 배치도

(마) 철구조물 도면

(바) 배관도

(4) 설비의 열팽창 변위 계산근거 및 변위량

(5) 배관설계 조건표(<별표 2> 배관설계 조건표 참조)

(6) 설비의 노즐하중 집계표 및 검토서(<별표 4> 노즐하중 집계표 참조)

(7) 고정점을 포함한 배관지지물에 대한 하중, 모멘트 및 변위량 집계표(<별표 3> 배관지지물 하중집계표 참조)

(8) 전산계산 결과물

5.9.2 배관응력 해석 후 검토되어야 할 사항

(1) 최고 응력이 허용응력 범위내에 존재하는가?

(2) 설비노즐이 배관계에서 작용하는 하중 및 모멘트에 대하여 안전한가?

(3) 배관계의 고정점에 과대한 하중이 발생되지는 않는가?

(4) 배관계의 열팽창 변위 값이 커서 인접 배관과 간섭이 발생하지 않는가?

(5) 열팽창 변위로 인하여 배수점보다 더 낮은점이 존재하지 않는가?

(6) 스프링 타입 지지물은 적절한 장소에 설치하였으며, 선정은 적절히 되었는가?

(7) 배관 처짐량이 2.54 mm 이내에 드는가?

5.10 열응력 해석의 필요성에 대한 판단기준

(1) 배관호칭경이 100 ㎜ 이상으로서 설계온도가 120 ℃이상인 배관은 열응력 해석을 수행한다.

(2) 배관호칭경이 100 ㎜ 미만인 경우에는 설계 온도가 250 ℃이상일 경우에 열응력 해석을 수행한다.

(3) 아래 배관에 대하여는 별도의 열응력 해석을 수행한다.

(가) 펌프의 인입·토출배관으로서 온도가 100 ℃이상 혹은 -20 ℃이하인 배관 호칭경이 50 mm 이상의 배관

(나) 발열 반응기의 인입·토출배관

(4) 간편한 검증방법

배관 배치상 다음 조건을 만족하면 열응력 해석을 하지 않아도 된다.

$$\frac{D \times I}{(L-U)^2} \leq 208.3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

여기서 D : 배관의 외경(㎜)
L : 배관의 총연장 길이(m)
I : 배관계에 의해 흡수될 전체 변위(㎜)
U : 고정단 간의 거리(m)

$I = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$

X : X방향에서 흡수될 변위
Y : Y방향에서 흡수될 변위
Z : Z방향에서 흡수될 변위

5.11 열응력 해소 방안

배관계에서 변위량을 흡수하여 열응력을 해소하는 방안은 일반적으로 아래와 같은 방법을 활용한다.

(1) 배관의 배열(Route)을 조정하여 배관계에 유연성(Flexibility)을 준다

(2) 배관계에 루프(Loop)을 주거나 벤드(Bend)를 사용한다.·

(3) 장소의 제한을 받아 배관의 배열을 불가피하게 일직선으로 하는 경우는 익스펜숀 조인트(Expansion joint)를 사용한다. 익스펜숀 조인트를 사용할 시에는 익스펜숀 조인트 주위의 배관 지지점 및 지지방법에 주의하여 익스펜숀 조인트에 손상이 가지 않도록 한다

6. 잔여 수명 산출 및 관리 기술 규정

(1) 배관 부위 별 예상 하중타입과 부식정도에 따라 설계 허용 배관두께 대비 잔존 두께를 감안한 잔여 수명을 산출한다.

(2) 배관 설치 환경의 부식 및 침식 정도를 주기적으로 측정하여 이를 토대로 예상되는 잔여 수명을 산출 관리에 활용한다.

(3) 해당 잔여 수명은 배관의 설치 환경 재질 운전 조건 등 여러 변수에 영향을 받음으로 주기적인 측정과 산출 데이터를 기록함으로써 예상되는 잔여 수명 산출에 활용한다.

(4) 축적된 현장 데이터를 활용한 AI나 딥러닝 기술 적용을 통해 배관 잔여수명의 예측 정확도를 개선한다.

7. 점검 및 유지 관리

7.1. 일반사항

(1) 운전 중인 배관의 검사는 다음 사항을 결정하기 위하여 수행된다.

(가) 차기검사까지 계속 사용여부

(나) 수리의 필요성

(다) 대체의 필요성

(라) 검사주기의 단축

(마) 검사주기의 연장

(2) 운전중인 배관의 안전조치는 다음과 같다.

(가) 배관 시스템의 내부 표면을 검사하기 위해 개방하는 경우 적절한 안전상의 대책을 수립하여야 한다.

(나) 적절한 안전대책은 배관시스템이 개방되기 전에 배관시스템을 격리하고 블라인드를 설치하여야 한다.

(다) 개방하는 배관을 유해한 액체, 가스 또는 증기와 같은 모든 발생원으로부터 격리하고, 독성물질, 가연성 가스 구름 및 유증기를 제거하기 위하여 퍼지시켜야 한다.

(라) 검사원은 검사를 시작하기 전에 배관 시스템을 책임지고 있는 운전원으로부터 작업 승인을 얻어야 한다.

(3) 제작·용접·예열·열처리·성형·조립 기록은 B31.3 327~335 적용 기준에 따라 작성·보관하고, 수리 후에는 동일 기준으로 재검증한다.

7.2. 검사

용접·플랜지·나사·브레이징 등 접합 유형별 점검항목을 ASME B31.3 310~318 분류에 맞춰 설정하고, 누설 경로·표면상태·체결토크·재체결 기록을 포함한다.

7.2.1 특별한 형태의 부식과 균열에 대한 검사

열화에 쉽게 영향을 받는 배관 시스템을 검사하기 위해서는 다음과 같은 부분에서 특별한 주의가 필요하다.

(1) 주입점

(2) 끝이 막힌 배관(Deadleg)

(3) 단열재 밑에서의 부식

(4) 토양과 공기의 계면부식

(5) 운전특성에 따른 국부부식

(6) 침・부식/침식

(7) 사용 환경요인에 의한 응력부식균열

(8) 라이닝과 침전물 밑에서의 부식

(9) 피로 균열

(10) 크리프 균열

(11) 빙점이하 온도에서의 손상

7.2.1.1 주입점

(1) 주입점은 정상 혹은 비정상 운전 조건에서 국부적인 부식이 진행되므로, 정기적인 검사일정에 따라 철저히 검사한다.

(2) 검사를 목적으로 주입점의 검사범위를 지정할 때에는

(가) 상 방향흐름인 경우 검사범위는 최소 300 mm 또는 주입하는 배관 직경의 3배 중 큰 값을 선택한다.

(나) 하 방향흐름인 경우 검사범위는 주입점을 지난 후 흐름방향이 두 번 바뀌거나, 흐름방향이 최초로 바뀐 후 7.6 m 지난 거리 중 작은 값을 선택한다.

(3) 필요에 따라서는 압력을 가진 주변 설비까지 주입점 범위를 확장하는 것이 더 적절할 수 있다.

(4) 국부적인 부식이 예상되는 주입점의 검사범위 내에 두께 측정 위치의 설정은 다음에 따라야 한다.

(가) 주입점의 검사범위 내에 있는 해당 접합류

(나) 주입된 유체가 흐르면서 배관 벽과 충돌이 예상되는 위치에 있는 배관 벽

(다) 주입점 범위내의 가장 긴 직선 배관방향의 중간 위치

(라) 주입점의 상 방향흐름과 하 방향흐름 양쪽 경계

(5) 주입점 검사시험은 방사선투과시험법과 초음파탐상시험법이 있다.

7.2.1.2 끝이 막힌 배관

(1) 끝이 막힌 배관에서의 부식률은 공정흐름이 있는 배관과 매우 다를 수 있다. 검사원은 흐름이 없는 끝부분과 공정흐름이 있는 배관라인 연결부를 포함하여 끝이 막힌 배관의 벽두께를 모니터링하여야 한다.

(2) 고온의 배관시스템 내에서는 끝이 막힌 배관에서 생기는 대류 흐름으로 인해 부식이 촉진된다.

(3) 공정에서 더 이상 사용되지 않는 끝이 막힌 배관은 제거한다.

7.2.1.3 단열재 밑에서의 부식

(1) 공정물질의 온도유지를 위해 단열 처리된 배관은 단열재 밑에서 표면 부식을 유발할 수 있다. 단열재 밑에서의 부식은 지역적 기후조건 즉, 온도 및 강수량과 공정지역 내의 냉각수, 스팀 등에 따라 크게 달라지므로 비중을 고려하여 점검주기 등을 결정하여야 한다.

(2) 비가 많이 오고 습한 해양에 위치한 지역은 검사 범위를 확대하고, 반면에 좀 더 시원하면서 건조한 지역에 위치한 배관은 검사범위를 축소할 수 있다.

7.2.1.3.1 단열재 밑에서의 부식에 민감한 배관 시스템

단열재 밑에서의 부식에 민감한 배관시스템은 다음과 같다.

(1) 냉각탑 미스트에 노출되는 부분

(2) 스팀 벤트에 노출되는 부분

(3) 살수(Deluge) 시스템에 노출되는 부분

(4) 공정유체 유출, 수분 침투 또는 산성 증기에 노출되는 부분

(5) 탄소강 배관이 -4 ℃~120 ℃사이의 온도범위에서 사용되는 경우

(6) 120 ℃이상에서 사용하는 탄소강 배관

(7) 공정배관의 운전온도에서 운전되는 끝이 막힌 배관과 부착물

(8) 염소응력부식균열에 민감한 65 ℃~204 ℃사이에서 사용되는 오스테나이트 스테인리스강 배관 시스템

(9) 단열덮개에 손상을 줄 수 있는 진동배관 시스템

(10) 코팅이나 포장재가 손상된 배관 시스템

7.2.1.3.2 부식에 민감한 단열배관 시스템의 일반적인 위치

7.2.1.3.1에 열거된 배관 시스템에서 부식에 민감한 특정부위는 다음과 같다.

(1) 다음과 같이 단열재로부터 노출되어 수분의 침투가능성이 있는 개방구

(가) 사용하지 않는 배관부속품(벤트, 드레인 및 다른 유사한 부품들)

(나) 배관 걸이와 다른 받침대

(다) 밸브와 피팅 류(Fitting)

(라) 볼트로 조여진 배관 슈즈(Shoes)

(2) 플랜지와 다른 배관 부품에서 단열의 끝부분

(3) 손상되거나 떨어져나간 단열 덮개

(4) 수평 배관의 상부에서 적절하지 않게 단열된 덮개의 접합선

(5) 수직 배관의 단열 끝부분

(6) 경화되어 분리되거나 떨어져 나간 코킹(Caulking)

(7) 밴드가 손상되어 단열재 또는 단열재 덮개가 벌어진 부분

(8) 개방구 반대쪽의 배관 시스템 아래 부분

7.2.1.4 토양과 공기의 계면부식

(1) 방식대책 없이 매설된 배관에 대한 토양과 공기의 깊이측정값을 확인하여야 하며, 외부 배관검사 항목에 포함한다.

(2) 코팅이 손상된 부분, 코팅되지 않은 배관(Bare pipe)과 피팅이 국부적으로 발생한 부분에서 부식이 발생되었다면 매설배관 전체로 진행되었는지 여부를 평가하기 위해 두께 측정과 굴착이 요구될 수 있다.

(3) 토양과 공기 경계면에서 두께 측정을 한 후 적절히 복구하지 않으면 부식을 가속시킬 수 있다. 매설 배관의 손상된 증거가 있다면 굴착이 요구된다.

(4) 부식이 우려되는 매설 배관의 경계면에서 코팅 처리가 손상되었다면 부식에 의한 손상여부를 확인하기 위해서 150 mm~300 mm 깊이로 굴착한다.

7.2.1.5 운전특성에 따른 국부부식

(1) 운전 중에 국부부식을 확인하고 두께측정위치를 설정하는데 필요한 사항은 다음과 같다.

(가) 부식의 발생요인과 부식 메커니즘(Mechanism)에 대해 전문지식을 갖고 있는 검사원의 확보

(나) 비파괴검사의 확대적용

(다) 운전원으로 부터 농도, 온도, 압력, PH 등 부식률에 영향을 미치는 공정사고에 대한 정보

(2) 국부부식이 예상되는 발생장소는 다음과 같다.

(가) 제품분리기의 상 방향흐름과 주입점의 하 방향흐름

(나) 응축흐름(Condensing stream)에서 노점 부식

(다) 비합금 배관에 산 또는 알칼리 용액이 흘러드는 경우

(라) 슬러리, 용액 결정체 또는 코크스를 생산하는 유체에서 하부 침전 부식

(마) 촉매제 재생 시스템에서 염화물에 의한 부식

(바) 외부 열 흔적이 있는 배관의 고온부식

7.2.1.6 침·부식/침식

(1) 침식은 다수의 고체 또는 액체의 충돌 작용에 의해 표면의 물질이 제거됨으로써 발생한다.

(2) 침식은 보통 기화가 발생하는 조절 밸브의 하 방향흐름부위 또는 배관시스템에서 방향이 바뀌는 난류 흐름의 지역에서 발생한다. 침식 피해는 대개 많은 양이 빠른 속도로 흐르는 고체 또는 액체의 흐름에서 증가된다.

(3) 부식과 침식의 결합된 경우에는 부식 또는 침식이 단독으로 생성시키는 부식량보다 훨씬 더 큰 부식을 초래한다. 이런 형태의 부식은 흐름속도가 빠른 난류 흐름지역에서 발생한다.

(4) 침식이 일어나기 쉬운 장소는 다음과 같다.

(가) 콘트롤 밸브의 하 방향 장소

(나) 오리피스의 하 방향 장소

(다) 방출펌프의 하 방향 장소

(라) 엘보우의 안쪽과 바깥 반지름과 같은 흐름방향이 바뀌는 장소

(마) 난류를 만드는 배관 용접부, 구멍, 플랜지 등의 하 방향 장소

(5) 국부적인 침·부식이 의심되는 부분은 초음파탐상시험, 방사선투과시험 또는 와전류탐상시험과 같은 적절한 비파괴검사법을 사용하여 두께측정 데이터를 수집하여야 한다.

7.2.1.7 사용 환경요인에 의한 응력부식균열

(1) 배관 재료는 응력부식균열에 견딜 수 있도록 선택되지만, 공정조건의 변경, 단열재 밑에서 부식 및 예상되지 않은 응축수가 발생하는 경우 응력부식균열이 발생할 수 있다.

(2) 사용 환경요인에 의한 응력부식균열은 다음과 같다.

(가) 단열재, 침전물, 가스킷 밑 또는 갈라진 틈에서 염화물과 수분의 가수분해로 오스테나이트 스테인리스강의 염소이온에 의한 응력부식균열

(나) 황화물, 증기응축 또는 산소에 노출된 오스테나이트 합금강의 다중티온산(Polythionic acid) 응력부식균열

(다) 알카리기(OH^-)에 의한 응력부식균열

(라) 응력이 완화되지 않은 배관 시스템에서 아민기에 의한 응력부식균열

(마) 탄산염 응력부식균열

(바) 산성수(Sour water)가 들어있는 시스템과 같이 습식 수소 황화물이 존재하는 분위기에서의 응력부식균열

(사) 수소 부풀음과 수소에 의해 야기되는 균열손상

(3) 검사원은 사용 환경요인에 의한 응력부식균열 발생이 의심되는 배관에 대해서는 추가검사를 하여야 한다. 추가검사는 액체침투탐상시험, 습식형광자분탐상시험 또는 초음파탐상시험으로 한다.

(4) 압력용기의 내부점검 시 응력부식균열이 발견된 경우 배관도 압력용기와 동일하게 검사하여야 한다.

7.2.1.8 라이닝과 침전물 밑에서의 부식

(1) 외부의 내화성 라이닝과 내부의 내 부식성 라이닝이 파손되거나 부식이 되면 내부 라이닝의 일부분을 제거하여 상세히 검사하거나, 외부표면에서 초음파탐상시험을 하여 벽 두께를 측정한다.

(2) 내화성 라이닝이 사용 중에 조각으로 떨어지거나 균열이 생기는 경우 내화성 라이닝 아래 금속은 부풀음을 초래할 수 있다.

(3) 용기나 배관은 고착된 침전물에 의해서 심각한 부식을 일으킬 수 있으므로, 침전물이 확인되면 직경이 큰 배관라인은 부분시험을 할 수 있도록 선정 부위의 침전물을 제거한다.

(4) 직경이 작은 배관 라인은 부분 시험을 할 수 있도록 스풀을 제거하거나 방사선투과시험과 같은 비파괴시험을 선정 부위에서 수행한다.

7.2.1.9 피로 균열

(1) 피로 균열은 배관에 과도한 응력이 주기적으로 부과될 때 생기며, 이러한 주기적인 응력은 압력의 부과라든가, 기계적 또는 열적인 수단에 의해 부과될 수 있다.

(2) 피로 균열의 발생은 경험적으로 열 상승 또는 냉각 순환의 횟수와 직접적인 관계가 있으며, 배관시스템내의 유체흐름에 의해 유발되는 과도한 진동은 피로손상을 유발할 수 있다.

(3) 피로 균열은 전형적으로 가지 연결부와 같은 높은 응력이 발생하는 부분에서 최초로 탐지될 수 있다. 다른 열팽창 계수를 갖고 있는 금속이 용접에 의해 연결된 곳에서는 열적 피로에 의한 영향을 받기 쉽다.

(4) 피로 균열을 탐지하는 비파괴검사방법에는 액체침투탐상시험, 자분탐상시험, 음향방출탐상시험이 있다.

7.2.1.10 크리프 균열

(1) 크리프는 온도, 시간 및 응력에 영향을 받으며 운전 조건이 크리프 영역이면서 반복응력이 작용하여 크리프와 피로가 상호작용하는 경우 균열은 가속된다.

(2) 만일 온도가 과도하게 올라간다면, 금속내부에 기계적인 특성과 미세구조의 변화가 발생할 수 있고 이는 영구적으로 설비를 약화시킨다.

(3) 크리프 균열을 탐지하는 비파괴검사방법은 액체침투탐상시험, 자분탐상시험, 초음파탐상시험, 방사선탐상투과시험 및 음향방출탐상시험이 있다.

7.2.1.11 취성파괴(Brittle fracture)

(1) 취성파괴는 대부분이 최초의 수압시험 또는 과압과 같이 특별한 응력이 적용될 때에 발생한다.

(2) 수압시험 또는 기압시험을 다시 하는 경우 취성파괴의 가능성이 고려되어야 한다.

7.2.1.12 빙점 이하의 온도에서 손상(Freeze damage)

(1) 빙점 이하의 온도에서 배관의 유체는 결빙될 수 있으므로 팽창으로 인한 배관의 손상이 유발될 수 있다.

(2) 추운 날씨로 인해 배관이 파열된 경우 누수된 유체가 녹기 전에 노출된 배관이 빙점이하의 온도에서 손상됐는지를 점검하여야 한다.

7.2.2 검사의 형태

검사의 형태는 사용 환경과 배관시스템에 따라 다양하며, 다음과 같은 종류가 있다.

(1) 내부육안검사

(2) 외부육안검사

(3) 배관진동 및 이동감시

(4) 두께측정검사

7.2.2.1 내부육안검사

(1) 내부육안검사는 큰 지름을 갖는 운송라인, 덕트, 촉매라인 또는 큰 지름을 갖는 배관시스템에 대해 적용한다.

(2) 원격 육안검사(Remote visual inspection) 기술은 너무 작아 들어갈 수 없는 배관을 검사할 때 사용한다.

(3) 배관 플랜지를 해체하여 육안검사가 가능할 때는 추가적으로 내부검사를 할 수 있다.

7.2.2.2 외부육안검사

(1) 외부육안검사는 배관, 단열 시스템, 도색 및 코팅 시스템의 외부 상태를 확인하기 위해 행해지고, 축 정렬불량, 진동, 누설의 징후를 점검하기 위해 수행된다.

(2) 배관지지접촉 부분에서 부식생성물이 쌓이는 경우, 지지부분을 떼어내고 검사할 필요가 있다.

(3) 외부 검사는 배관 걸이와 지지대에 대한 검사를 포함하며, 스프링 지지대의 기초가 떨어져 나갔거나, 균열 또는 파손된 걸이, 지지 구조물에서 이탈된 받침대 등과 같이 부적절한 상태는 기록하고 시정한다.

(4) 수직으로 지지하는 동체다리(Dummy leg)는 내부 부식을 유발할 수 있는 물이 차 있는지의 여부를 확인한다.

(5) 수평으로 지지하는 동체다리는 외부 표면에 습기가 발생되지 않았는지를 확인한다.

(6) 벨로우 신축이음은 설계범위를 벗어나는 비정상적인 변형, 어긋남 또는 이탈이 있는지 육안으로 확인한다.

(7) 검사원은 사용 중에 부적절한 플랜지, 임시적인 수리(클램프), 변경(구부리기 쉬운 호스) 또는 부적절한 사양의 밸브와 같은 장기간 운전에 대해 적절하지 않은 부품을 사용하였는지를 주의 깊게 관찰하여야 한다.

7.2.2.3 배관진동 및 이동감시

(1) 운전원은 운전 중에 진동 또는 흔들리는 배관이 발견되면 검사원에게 보고하여야 하며, 유체 해머, 증기 라인 내에 액체 슬러그 또는 비정상적인 열팽창을 유발하는 다른 중요한 변동사항은 보고하여야 한다.

(2) 진동 배관 시스템이 끝나는 접합부에는 주기적으로 자분탐상시험 또는 액체침투탐상시험을 하여 피로 균열의 징후에 대해 점검하여야 한다.

(3) 감시 결과는 ASME B31.3 319~321 유연성/지지 기준에 따라 평가하며, 지지 불량 또는 과도 변위 발견 시 응력모델 재평가 및 점검주기 상향을 즉시 시행한다.

7.2.2.4 두께측정검사

7.2.2.4.1 두께측정위치 모니터링

(1) 두께측정위치는 검사가 행해지는 배관 주위를 따라 선정한다.

(2) 각각의 배관시스템은 두께측정위치에서 두께측정을 함으로써 모니터링 되어 진다.

(3) 두께측정위치는 각각의 배관에 대해 적절히 분배되어야 한다.

(4) 각각의 두께측정위치에서 최소두께는 초음파탐상시험 또는 방사선탐상투과시험에 의해 알아낼 수 있다.

(5) 부식/침식이 부식률을 증가시킬 수 있는 엘보우와 티(Tee)의 내·외부에 특별한 주의를 가지고 두께 측정을 하여야한다.

(6) 단열재 하에서의 부식, 토양과 공기의 계면부식, 전면적인 균일부식 또는 잠재적인 국부부식이 발생되는 위치를 두께측정위치로 선정한다.

(7) 두께측정위치는 동일 두께측정위치에서 반복적인 측정이 가능하도록 검사도면 또는 배관시스템에 표시한다.

7.2.2.4.2 두께측정위치 선정

(1) 검사원은 두께측정위치의 숫자를 정하는 경우 그 공정에서 경험했거나 예상되는 부식 형태를 고려하여야 한다.

(2) 정제와 석유화학설비에 대한 부식은 축방향 또는 원주방향 위치와 무관하게 일정한 두께 감소를 가져오는 등 비교적 균일하므로. 추가적인 두께측정위치가 요구된다.

(3) 다음과 같은 배관시스템에 대해서는 보다 많은 두께측정위치를 선정해야한다.

(가) 누출되면 안전이나 환경측면에서 비상사태를 야기할 가능성이 큰 경우

(나) 부식률이 보다 클 것으로 예상되거나 경험한 경우

(다) 국부적인 부식이 발생할 가능성이 큰 경우

(라) 접속품, 끝이 막힌 배관, 주입점 및 다른 유사한 부품과 같이 구조가 복잡한 경우

(마) 단열재 밑에서의 부식이 발생할 가능성이 큰 경우

(4) 다음과 같은 배관시스템에 대해서는 보다 적은 두께측정위치를 선정할 수 있다.

(가) 누출되더라도 안전이나 환경측면에서 비상사태를 야기할 가능성이 작은 경우

(나) 상대적으로 부식성이 없는 배관시스템

(다) 긴 일직선의 배관시스템

7.2.2.4.3 두께 측정 방법

(1) 초음파두께측정은 NPS 2.54 cm(1인치)(Norminal pipe size)이상인 배관의 두께를 측정하기 위한 방법이다.

(2) 방사선투과시험은 배관 지름이 NPS 1이하인 배관의 두께를 측정하기 위한 방법이다.

(3) 배관 부식이 균일하지 않거나 잔존두께가 최소요구두께에 근접할 때는 추가적인 두께 측정이 요구되며, 방사선투과시험, 초음파탐상시험법 또는 와전류탐상시험법을 사용한다.

(4) 유용한 부식률을 결정하기 위해서는 가능한 동일위치에서 가까운 곳의 가장 얇은 부위를 측정한다.

(5) 측정값은 측정된 최소값 또는 평균값을 선택할 수 있다.

(6) 배관 시스템이 가동중지 중인 경우 배관을 열고서 캘리퍼스를 사용하여 두께를 측정할 수 있다.

7.2.3 배관시스템의 검사

7.2.3.1 밸브검사

(1) 일반적으로 배관 부분에 있는 밸브에 대해서는 일상적인 두께 측정을 하지 않는다.

(2) 일반적인 설계 조건에 따르면 밸브본체는 다른 배관 부품보다 더 두껍다. 그러나 밸브가 사용과 수리를 위해 해체될 때 비정상적인 부식형태나 두께감소 부분에 주의를 기울여야 한다.

(3) 심하게 온도가 바뀌는 공정에 노출된 밸브 본체(예를 들어 촉매 재 결정 발생기와 증기세척)는 정기적으로 열 피로 균열을 검사하여야 한다.

(4) 콘트롤 밸브나 다른 감속밸브는 특히 압력강하가 크고, 슬러리가 사용되는 경우에는 국부적인 부식/침식이 발생할 수 있다.

(5) 체크밸브가 역류되는 유체는 차단할 수 있는지 확인하기 위하여, 내부를 육안 검사하는 방법은 다음과 같다.

(가) 마모되어 과도한 느슨함이 없고, 요구되는 대로 플레퍼(Flapper)의 움직임이 원활한지 점검한다.

(나) 플래퍼 멈춤쇠가 과도하게 마모되어서는 안된다.

(다) 플래퍼 너트는 사용 중에 떨어져 나가는 것을 막기 위해 플래퍼 볼트에 고정되어야 한다.

7.2.3.2 사용중 용접부의 검사

(1) 배관 용접부의 검사는 신규설치, 수리 또는 변경 시 이루어진다.

(2) 선택적인 용접 부식이 기록될 때는 동일배관이나 시스템의 용접부 부식에 대해 추가적인 검사가 이루어져야 한다.

(3) 균열과 같은 결함이 원래 용접 구조물에 있었는지, 사용 환경요인에 의한 균열 메카니즘으로 있었는지를 규명하여야 한다.

(4) 기록된 결함이 원래 용접구조물에 있었던 결함이라면, 전체 배관에 대한 용접결함을 평가하기 위하여 다음의 내용을 검토하여야 한다.

(가) 검사원의 판단

(나) 인증된 용접 검사원의 판단

(다) 배관기술자의 판단

(라) 사용적합성(Fitness for service) 분석

(5) 용접부를 평가할 때 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

(가) 최초로 용접할 때 검사합격기준

(나) 결함의 진행정도와 크기 및 방향성

(다) 운전시간

(라) 설계조건 대비 운전조건

(마) 이차적인 배관응력의 존재

(바) 피로 하중의 가능성

(사) 주배관 또는 보조 배관 시스템

(아) 충격 또는 일시적인 하중의 가능성

(자) 사용 환경요인에 의한 균열의 가능성

(차) 용접 경도

7.2.3.3 플랜지 접합부 검사

(1) 신규 설치된 죔쇠(Fastener)와 가스킷에 대해서는 재료사양을 표시하고 결정하기 위하여 검사하여야 한다.

(2) 플랜지와 밸브몸통을 조이는 죔쇠는 육안으로 부식에 대한 검사를 한다.

(3) 플랜지와 밸브몸통을 연결하는 접합부는 흠이나 침전물 또는 떨어지는 물방울 소리와 같은 누수의 증거에 대해서도 검사하여야 한다.

(4) 플랜지에 밀봉제가 주입된 클램프 접합부는 볼트에서 누수되고 있는지를 점검하여야 한다.

7.2.4 검사후의 조치

검사의 목적을 달성하기 위해 변경시킨 배관의 구성요소, 지지물, 절연(격리), 접지 등이 제거되거나 풀린 상태는 제 기능이 유지되도록 보완검사를 통하여 복구한다.

7.2.5 기록

배관의 검사결과에 대한 모든 내용은 기록으로 유지·관리를 한다.

<별표 1>

한국산업표준(KS)와 미국재료시험학회(ASTM)의 배관 치수 비교표 [단위 : ㎜]

호칭지름		바깥지름			스케줄 10			스케줄 20			스케줄 30			스케줄 40			스케줄 60			스케줄 80			스케줄 100			스케줄 120			스케줄 140			스케줄 160		
A	B	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이	KS	ASTM	차이
15	½	21.7	21.3	0.4										2.8	2.77		3.2	-		3.7	3.73											4.7	4.78	
20	¾	27.2	26.7	0.5										2.9	2.87		3.4	-		3.9	3.91											5.5	5.56	
25	1	34.0	33.4	0.6										3.4	3.38		3.9	-		4.5	4.55											6.4	6.35	
32	1¼	42.7	42.2	0.5										3.6	3.56		4.5	-		4.9	4.85											6.4	6.35	
40	1½	48.6	48.3	0.3										3.7	3.68		4.5	-		5.1	5.08											7.1	7.14	
50	2	60.5	60.3	0.2				3.2						3.9	3.91		4.9	-		5.5	5.54											8.7	8.74	
65	2½	76.3	73.0	3.3				4.5						5.2	5.16		6.0	-		7.0	7.01											9.5	9.53	
80	3	89.1	88.9	0.2				4.5						5.5	5.49		6.6	-		7.6	7.62											11.1	11.13	
100	4	114.3	114.3	0				4.9						6.0	6.02		7.1	-		8.6	8.56					11.1	11.13					13.5	13.49	
125	5	139.8	141.3	-1.5				5.1						6.6	6.55		8.1	-		9.5	9.53					12.7	12.70					15.9	15.88	
150	6	165.2	168.3	-3.1				5.5						7.1	7.11		9.3	-		11.0	10.97					14.3	14.27					18.2	18.26	
200	8	216.3	219.1	-2.8				6.4	6.35		7.0	7.04		8.2	8.18		10.3	10.31		12.7	12.70		15.1	15.09		18.2	18.26		20.6	20.62		23.0	23.01	
250	10	267.4	273.0	-5.6				6.4	6.35		7.8	7.80		9.3	9.27		12.7	12.7		15.1	15.09		18.2	18.26		21.4	21.44		25.4	25.40		28.6	28.58	
300	12	318.5	323.8	-5.3				6.4	6.35		8.4	8.38		10.3	10.31		14.3	14.27		17.4	17.48		21.4	21.44		25.4	25.40		28.6	28.58		33.3	33.32	
350	14	355.6	355.6	0	6.4	6.35		7.9	7.92		9.5	9.53		11.1	11.13		15.1	15.09		19.0	19.05		23.8	23.83		27.8	27.79		31.8	31.75		35.7	35.71	
400	16	406.4	406.4	0	6.4	6.35		7.9	7.92		9.5	9.53		12.7	12.70		16.7	16.66		21.4	21.44		26.2	26.19		30.9	30.96		36.5	36.53		40.5	40.49	
450	18	457.2	457.2	0	6.4	6.35		7.9	7.92		11.1	11.13		14.3	14.27		19.0	19.05		23.8	23.83		29.4	29.36		34.9	34.93		39.7	39.67		45.2	45.24	
500	20	508.0	508.0	0	6.4	6.35		9.5	9.53		12.7	12.70		15.1	15.09		20.6	20.62		26.2	26.19		32.5	32.54		38.1	38.10		44.4	44.45		50.0	50.01	
550	22	558.8	558.8	0	6.4	6.35		9.5	9.53		12.7	12.70		15.9	15.89		22.2	22.23		28.6	28.58		34.9	34.93		41.3	41.28		47.6	47.63		54.0	53.98	
600	24	609.6	609.6	0	6.4	6.35		9.5	9.53		14.3	14.27		17.5	17.48		24.6	24.61		31.0	30.96		38.9	38.89		46.0	46.02		52.4	52.37		59.5	59.54	

<별지서식 1>

배관 두께 검사 기록지

공정	적용 유체	도면 번호	검사배관번호		설치 년도	재질	크기	사용 두께 (mm)	최소 요구두께 (mm)	두께 측정치(mm)				검사 방법	예측 잔여 수명 판정	기타
			FROM-TO	NO						'05	'06	'07	'08			

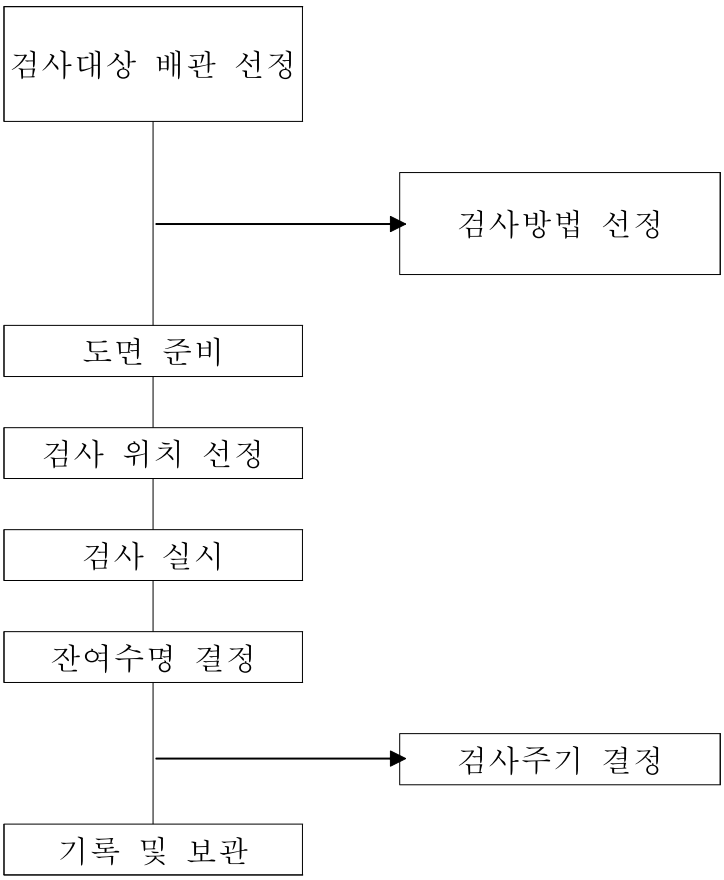
<별표 2>

배관재질별 제작공차 여유

배관재질사양	구 분	두께 허용차
KS D 3562, 압력배관용 탄소 강관	열간 가공, 이음매 없는 강관	4 ㎜ 미만 + 0.6 ㎜ - 0.5 ㎜ 4 ㎜ 이상 + 15 % - 12.5 %
	냉간가공, 이음매 없는 강관 및 전기저항용접 강관 및 아크 용접 강판	3 ㎜ 미만 ± 0.3 ㎜ 3 ㎜ 이상 ± 10 %
KS D 3564, 고압배관용 탄소 강관	열간가공, 이음매 없는 강관	4 ㎜ 미만 ± 0. 5 ㎜ 4 ㎜ 이상 ± 12. 5 %
	냉간가공 이음매 없는 강관	2 ㎜ 미만 ± 0.2 ㎜ 2 ㎜ 이상 ± 10 %
KS D 3576, 배관용 스테인리스 강관	이음매 없는 열간 가공 강관	4 ㎜ 미만 ± 0. 5 ㎜ 4 ㎜ 이상 ± 12. 5 %
	이음매 없는 냉간 가공 강관, 자동 아크 용접 강관, 전기저항 용접 강관 및 레이저 용접 강	2 ㎜ 미만 ± 0.2 ㎜ 2 ㎜ 이상 ± 10 %

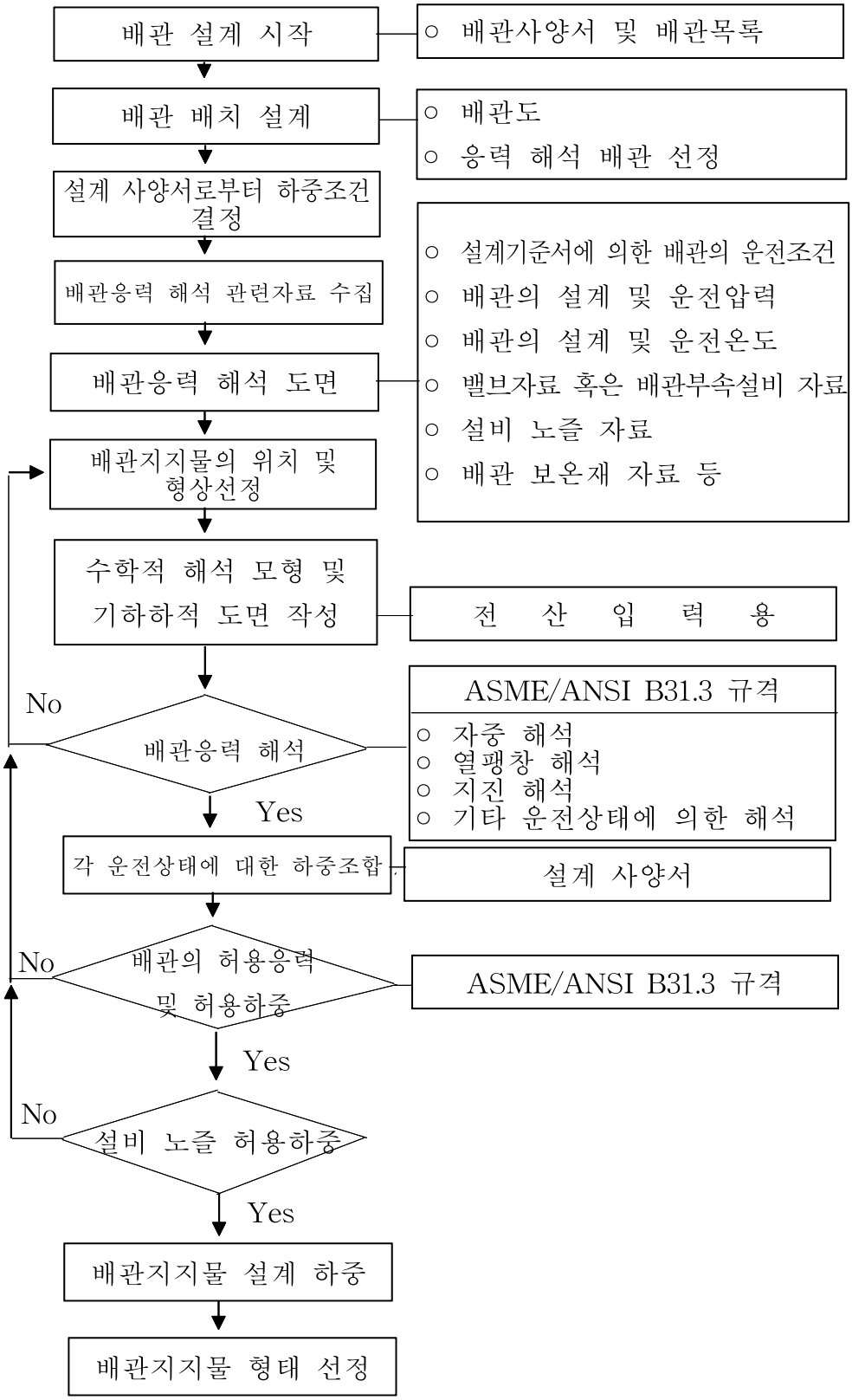
<별지그림 1>

배관두께 검사 절차



<별표 3>

배관응력 해석 흐름도



<별표 4>

배관설계 조건표

항목 \ 배관		HS-4001-250-A4-H	MS-4025-200-A4-H
배관호칭경(㎜)			
배관내경(㎜)			
배관두께(㎜)			
배관외경(㎜)			
배관 재질			
설계압력(kPa)			
설계온도(℃)			
열팽창량(㎜/㎜℃)			
프와송비			
탄성계수	Ec		
	Eh		
허용응력 (kPa)	Sc		
	Sh		
보온재를 포함한 무게			
비 고			

<별표 5>

배관지지물 하중 집계표

배관지지물 종 류	방향	힘 또는 모멘트			열팽창			비고
		자중	열팽창	지진	△X	△Y	△Z	
앵커	X							
	Y							
	Z							
	Mx							
	My							
	Mz							
스프링 행거	Y							
고정지지물	X							
	Y							

<별표 6>

노즐하중 집계표

하중 / 노즐	하중 종류	힘			모멘트		
		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
보일러 과열기 출구노즐	열 팽 창						
	자 중						
	지 진						
터어빈 입구 노즐	열 팽 창						
	자 중						
	지 진						
보일러 공급수 펌프노즐	열 팽 창						
	자 중						
	지 진						

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 개정사유 : 유사규정 통폐합

관리번호	기술지원규정명	정비유형
B-M-18-2026	배관 수명관리 기술지원규정	통폐합(개정)
M-115-2013	배관두께 계산 및 검사 기술지침	통폐합(폐지)
M-105-2012	배관응력 해석에 관한 기술지침	
M-143-2012	운전중인 배관의 검사기술지침	

- 4번 항목 법적 필수사항 추가
- 2번 항목 적용범위 ASME B31.3 수정 보완
- 6번 항목 잔여 수명 산출 및 관리 기술 규정 추가

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : B-M-18-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.