

《技術報告》

非破壞檢査의 判定基準 設定에 對한 檢討

김성태, 임석운, 백남욱
유양원자공업(주)

1984년 12월 1일 접수

Review of Specifying Allowable Indication in NDT

Sung Tae Kim, Suk Woon Lim, Nam Wook Baek

1. 머릿말

결함을 갖지 아니한 소재나 제품을 생산한다는 것은 매우 어려운 일이다. 상대적으로 어느 정도 결함을 가진 소재나 제품을 검사하는 과정을 거쳐 사용 여부를 결정하게 된다.

그런데 검사를 할 때에는 사용 목적에 따라 기준을 설정하고 이 기준과 비교하여 적정여부를 결정한다. 이와 마찬가지로 방법으로 비파괴검사도 소재나 제품의 기능을 변화시키지 않고 품질수준을 결정하는 방법중의 하나이다.

이러한 비파괴검사에서도 역시 일정한 수준을 설정하여 기준과 검사결과를 비교하여 합부를 결정하게 되며 기준을 설정할 때 파괴역학적 관점이 이용되고 있다. 여기서 일례로써 ASME CODE Sec. III와 Sec. XI에 따라 파괴역학적 관점을 이용하여 비파괴검사 판정기준을 설정하는 방법을 살펴보기로 한다.

1) 제품을 만들 때는 우선 용도를 고려하여 설계하고 제작중 또는 제작후 설계와 일치하는지 여부를 검사하여야 하며 설비제품의 안정성 및 품질보증을 하여야 한다. 2) 비파괴검사는 설비제품의 품질관리 및 보증수단으로 사용한다. 3) 비파괴검사시 문제점으로 대두되는 것은 판정기준 설정시 명확한 근거가 제시되지 못하는 경우가 발생하며 4) 통용되는 판정기준은 각종 협회에서 제시된 것을 기초로 하고 있다. 이 기준은 경험

에 의해 표준화 되어 있고 적용대상의 범위가 주어진다. 5) 특수설비/제품은 사용조건등을 고려하여 기준을 설정해야 하며 제품/설비등의 설계 과정에서 비파괴검사의 판정기준 설정을 위해 비파괴검사 기술자가 설계기술자와 협조해야 한다.

6) 현재 비파괴검사의 판정기준 설정에 파괴역학의 개념이 응용되고 있으며, 일례로써 ASME Boiler & Pressure Vessel Code의 방법을 소개하고자 한다.

2. 본론

파괴역학적 관점을 이용한 판정기준 설정에 관한 일본의 소창신화씨의 강연내용을 보면 1)현재 균열상 결함이 없어야 한다는 것이 균열상 결함도 허용된다는 흐름이 형성되고 있으며 이에따라 파괴역학이 응용되어 안전대책이 수립되어야 하며 파괴역학의 이용방법은

ㄱ) 사용조건과 가정균열의 크기를 주고 재료의 파괴인성치 결정

ㄴ) 가정균열의 크기와 재료의 파괴인성치를 주고 사용조건 결정

ㄷ) 재료의 파괴인성치와 사용조건을 주고 균열상 결함의 허용한계를 결정하는 방법등이 있으며 안전대책 강구시, 비파괴검사의 판정기준 설정에 파괴역학의 응용이 필요하다는 것이다.

2) 또한 ASME Boiler & Pressure Vesse /

Code III App. G의 방법에서 기본사항은

- ㄱ) 상기 1)의 ㄴ)항 방법을 채택하여
- ㄴ) 선형 탄성파괴역학 원리를 사용해 강재의 허용부하를 결정하고
- ㄷ) 그림①의 파괴양식 Mode 1을 사용한다.

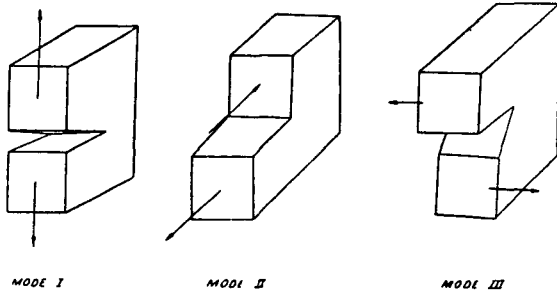


그림 1. Comparison of modes of fracture

ㄹ) 조사위치에서 최대 가상 결함을 결정하고 동일위치에서 K_I (Stress Intensity Factor : 응력강도계수)를 산출하여

ㄺ) 사용온도와 재료의 K_I 의 최대임계치인 K_{IR} (Reference Stress Intensity Factor)를 비교한다.

* Stress Intensity Factor : 선형탄성체의 파괴양식에 대한 이상적 균열 가장자리의 응력장 크기

ㄻ) 사용재료는 ASTM SA-533, Grad.B, class 1과 SA-508-1, 508-2 및 508-3의 강재를 사용하며

ㄼ) 상기 조건이외의 경우는 다른 방법이 규정되어야 한다.

또한 K_{IR} 의 산출은 그림 2에서 K_{IR} 의 값이 구해지며 K_{IR} 값의 근사식은

$K_{IR} = 26.78 + 1.233 \exp \{ 0.0145 (T - RT_{NDT} + 160) \}$ 이다. 단 이 곡선은 실온에서 50 Ksi 이하의 최소 항복강도를 갖고 NB-2331 항 요건을 충족하는 페라이트강에 적용한다.

여기서 RT_{NDT} 의 결정은 ASME-E-208에서 방

법을 제시하고 있으며 ASME Sec III, NB-2331에 의한 RT_{NDT} 결정방법은 다음과 같다. 우선 Drop Weight Test로 NDT를 결정하고 $T_{NDT} + 60^\circ F$ 이하에서 C_v Test (샤르피 충격시험 SA-370) 시편이 35 mils 이상 신장하고 적어도 50 ft-lb 에너지를 흡수하면 이때의 T_{NDT} 가 된다.

* NDT (Nonductility Transition Temperature) : Drop Weight 시편이 파괴하는 최대 온도.

이 검사는 모재, 용접열 영향부 및 용접금속에서 실시한다.

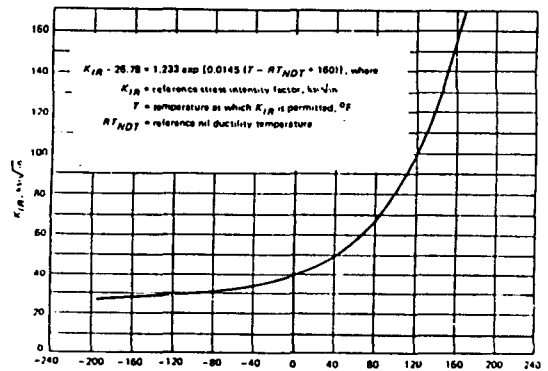


그림 2. Temperature Relative to $RT_{NDT} \{ (T - RT_{NDT}) \} ^\circ F$

또한 가상결함의 크기는 예리하고 최대 응력방향에 수직인 표면결함이며 4" ~ 12" 두께에서 결함의 깊이는 $\frac{T}{4}$ 이고 길이는 $\frac{3}{2} T$ 이다. 12" 이상은 12" 두께때와 동일하고 4" 미만은 1" 결함 깊이로 한다. 또한 K_I 값의 산출은 다음 공식을 이용한다.

* 막인장 (Membrane Tension)

$$K_{I_m} = M_m \times \text{막응력},$$

M_m 은 그림 3에서 구할 수 있다.

* 굽힘응력 (Bending Stress)

$$K_{I_b} = M_b \times \text{최대굽힘응력}$$

M_b 은 그림 3에서 구할 수 있다.

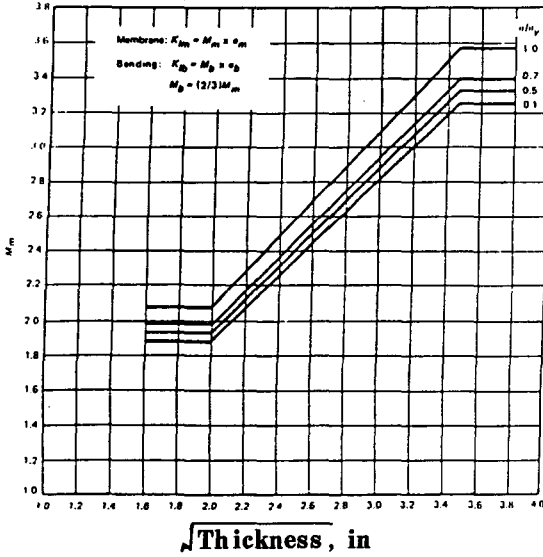


그림 3.

* 방사열구배

$K_{It} = M_t \times$ 벽 양면의 온도차

M_t 는 그림 4에서 구할 수 있다.

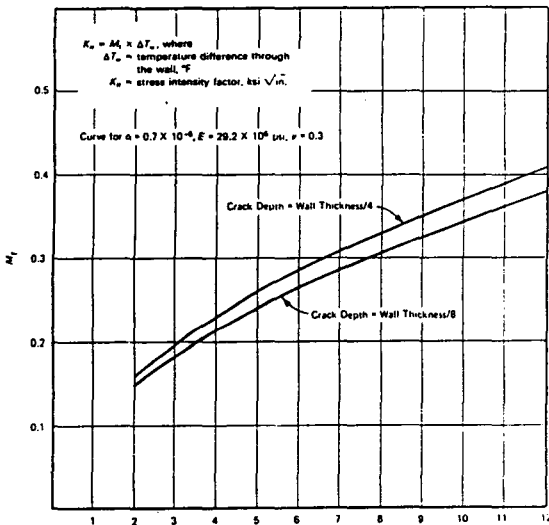


그림 4. Wall Thickness, in.

여기서 K_I 는 가동한계에 따라 K_{Im} , K_{Ib} 또는 K_{It} 등을 합하여 산출한다. 일반적으로 K 값에 대한 공식은

$$K = \sigma \sqrt{\pi a}$$

허용압력에서 불연속에서 멀리 떨어진 부위 (H

ead, Shall 등)은 $2 K_{Im} + K_{It}$ 가 K_{IR} 미만 이 되도록 허용압력을 결정하여 기하학적 불연속 에 가까운 부위 (Nozzel, Flange 등)는 $2 K_{Im} + 2 K_{Ib} + K_{Im} + K_{Ib}$ 가 K_{IR} 미만이어야 한다.

$2 K_{Im} + 2 K_{Ib}$: 일차응력 (설계압력)

$K_{Im} + K_{Ib}$: 이차응력 (사용압력 및 특수기계 적 부하)

여기서 고려된 안전율은 일차응력에 대해 2로 주어진다. 수압시험의 경우는 안전율 1.5가 고려되고 수압시험 온도는 비연성파괴 방지를 위해 $RT_{NDT} + 60^\circ F$ 초과온도에서 수행해야 한다.

수압시험 온도 산출예는 (단, 강판두께 3" 안전율 : 1.5)

$\sigma/\sigma_y = 0.5$, $\sigma_y = 60 \text{ Ksi}$ 이고 막응력만 고려한 허용압력이며 $1.5 K_{Im} = 1.5 \times M_m \times \sigma_y \times 0.5$ 이다. M_m 은 그림 3에서 구하고 그림 2에서 K_{IR} 이 $85.5 \text{ Ksi} \sqrt{\text{inch}}$ 인 온도는 ($NDT + 103^\circ F$)가 되며 만약 강판의 NDT 를 $20^\circ F$ 라 하면 수압시험 온도는 $123^\circ F$ 가 된다.

ASME Sec III, App. G에서는 각 부품별로 K_I 수치를 산출하는 방법이 열거되고 있으며 용기벽을 통한 온도구배에 따른 K_I 값을 산출하여 가동개시때나 가동중단시에 대한 평가도 가능하게 되어 있다. ASME Sec. III App. G에서는 결함의 깊이와 길이의 비가 $\frac{1}{4} t / \frac{3}{2} t = 0.167$ 인 결함을 기준으로 K_I 값을 산출하고 이에 따라 허용부하를 결정한다.

3) ASME B & P.V Code Sec. XI의 방법은 다음과 같다.

가) 가압경수로형 원자력발전 설비의 가동전 및 가동중 검사와 검출된 지시의 판정기준을 설정

나) 사용조건과 K_I 값이 주어지고 각 결함의 깊이와 길이의 비에 따라 결함 깊이와 모재의 두께비를 결정하여 결함을 평가

다) 상기 나)항의 기준은 ASME Sec. III, App. G와 같이 파괴역학의 관점이 적용되어 판정기준이 설정됨.

라) ASME Sec. III의 가상결함을 ASME Sec. XI의 기준에 따라 평가하면 a/t 가 2.5 % 이하여야하며 이것은 Sec. III에 비해 a/t 가 1/10 로 줄어들었으며 $K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$ 이므로 K_I 값, 즉 응력값에 $\sqrt{10}$ 의 안전율이 고려된 상황이다.

마) 여기서 각 부품별로 검사법주가 결정되고 이에 따라 비파괴검사 판정기준이 설정되어 있으며 압력이 걸리는 부품에서 다른 재질로 된 용접부나 파이프 용접부의 경우는 가동중 검사와 가동전 검사의 기준이 다르게 규정되어 있다. 일례로 1" 두께의 재료에서 표면결함 검출용 시험의 판정기준은 다음과 같다.

Sec. III NB-5,000.

1/16" 이상 선형결함과 3/16" 이상 원형결함은 불합격.

Sec. XI가 가동전 검사 3/16" 이상은 불합격.

Sec. XI 가동중 검사 1/4" 이상은 불합격이다.

바) 설비등의 가동중 주기적 검사가 필요하고 그 이전의 검사기록이 계속 검토되도록 되어 있다.

3. 결론

석유관련 설비규격인 API 1104에서도 파괴역학적 관점을 사용하여 일반적으로 경험에 의해 설정된 기준과 대체하여 적용할 수 있는 판정기준 설정방법이 제시되어 있으며 적용실례는 미국 알래스카에서 건설된 가스라인 설치시 파괴역학의 관점이 적용되었다는 것이 보고되어 있다. 미국의 D. Burn 과 R. P. Krolicki 두사람이 발표한 파이프 용접 품질평가 체계에서도 파괴역학의 관점을 이용한 방법과 결과가 제시되고 있으며 비파괴검사의 판정기준 설정시 상기와 같이 파괴역학의 관점을 응용하여 합리적인 설비/제품의 안전성 확보에 노력해야 하며 파괴역학의 관점을 적용하면 결함성장률등도 고려되어야 함으로 건설/제작시 뿐만 아니라 가동중에도 주기적 검사가 필

요한 것으로 사려되며 동시에 검사에 의한 효과와 경제성도 고려되어 저렴한 단가로 안전성을 확보할 수 있도록 산업계에 연구가 수반되어야 할 것이다.

* 소창신화 : 일본 요코하마공대 교수.

<참고문헌>

1. 소창신화: Allowable Planar Indication in ASME CODE 일본고압가스지 vol, 20. No 3. 1983.
2. Namio Urabe: Defect Assessment using NDT and Life Estimation of Welded steel Structures. - NDTJ vol. 1. No 4. 1983.
3. D. Burns & R. P. Krolicki; A System for Assessing pipe weld Quality - Materials Evaluation 41/May. 1983.
4. Hajime Nakazawa; Reliability Factors on Security Evaluation of Material - NDTJ vol. 1. No 3. 1983.
5. ASME SEC. III App. G - 1983.
6. " XI - 1983.
7. API Code 1104 App. A - 1981.

표 1. ALLOWABLE PLANAR INDICATIONS

Material: Ferritic steels that meet the requirements of NB-2331 and the specified minimum yield strength of 50 ksi or less at 100 °F
Thickness Range: $2\frac{1}{2}$ in. and greater

Aspect Ratio, ¹ a/ℓ	Surface Indications, ^{2,5} $a/t, \%$	Subsurface Indications, ^{2,4} $a/t, \%$
0.00	1.8	2.3 Y
0.05	2.0	2.4 Y
0.10	2.2	2.6 Y
0.15	2.4	2.9 Y
0.20	2.7	3.2 Y
0.25	3.1	3.6 Y
0.30	3.5	4.1 Y
0.35	3.5	4.6 Y
0.40	3.5	5.2 Y
0.45	3.5	5.8 Y
0.50	3.5	6.5 Y

