

特 輯 : 용접부의 비파괴시험

## 초음파탐상시험에 의한 강용접부 결함평가

이 의 종\*

### Defect Evaluation of Steel Welds by Ultrasonic Testing

E. J. Lee\*

#### 1. 개 요

건축철골, 교량, 압력용기, 배관, 해양구조물 등의 강구조물은 그 대부분이 용접구조이다. 이러한 구조물의 용접부의 결함검출법으로는 방사선투과시험방법도 적용되지만, 구조물의 형상등에 따라서는 초음파탐상시험방법이 단독적으로 또는 방사선투과시험방법과 더불어 적용되는 경우가 많다. 따라서 이들 각각의 구조물에 대한 초음파탐상시험규격이 제정되어 있다. 예를들어 구조물의 종류에 따라 구조물의 규격과 비파괴시험규격을 정리해 보면 아래표 1과 같다.

여기서는 결함평가만으로 한정하여 자주 이용되는 규격인 KS B 0896 및 AWS D1.1에 대해 기술한다.

#### 2. KS B 0896(강용접부의 초음파탐상시험방법 및 시험결과의 등급분류방법)에 의한 결함의 평가

##### 2.1 등급분류와 합부판정

KS B 0896(1977)은 두께 6mm이상의 페라이트계강의 완전용입 용접부의 A Scope 표시 탐상기를 사용하는 펄스반사법에 의한 초음파수동탐상시험방법 및 시험결과의 등급분류방법에 대해 규정하며 다만, 곡률 반지름이 125mm미만 또는 살두께 대 바깥지름 비가 13%이상의 곡률을 가진 시험재의 길이방향이음 및 강관 분기이음에는 이 규격은 적용되지 않는다. 이 규격에서는 합부판정에 대해 규정하지 않고

표 1 각종 구조물의 규격과 비파괴시험 규격

구조물의 종류	구조물의 규격	비파괴시험 규격
압력 용기	ASME Sec.VIII Div.1 & Div.2(Boiler and Pressure Vessel Code)	ASME Sec. V Article 5(합격기준은 Sec.VIII Div. 1과 Div.2)
	BS 5500(Unfired Fusion Welded Pressure Vessel)	BS 3923 Part 1 & 3
	KS B 0896 KS B 6231	KS B 0896
교량, 건축철골	AWS D1.1(Structural Welding Code-Steel)	Sec.6 Part C(판정기준은 Sec.8, Sec.9)
해양구조물	API RP 2A(Planning, Designing and Construction Fired offshore Platforms)	API RP 2X

\* 정회원, 한국비파괴검사(주)

표 2 결함예코높이의 영역과 결함지시길이에 따른 결함의 등급분류

영역 판두께 tmm	M검출레벨의 경우는 III L검출레벨의 경우는 II와 III			IV		
	18 이하	18~60	60이상	18이하	18~60	60 이상
등급	1 급	2 급	3 급	4 급	5 급	6 급
	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하	4mm 이하	t/4 이하	15mm 이하
	9mm 이하	t/2 이하	30mm 이하	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하
	18mm 이하	t 이하	69mm 이하	9mm 이하	t/2 이하	30mm 이하
4 급	3급을 초과하는 것					

비고 : ±는 개선을 취한 쪽의 모재 두께(mm). 단 맞대기 용접에서 맞대어진 모재의 판두께가 다를 때는 얇은 쪽의 판두께로 한다.

있으며 합부판정은 법규, 기준등에서 정하는 것이 일반적이다. 즉 이 규격에서는 결함의 등급분류만을 규정하고 있다. 물론 합격기준이 이 규격에 포함되어 있지 않지만 합격기준을 정하는 기준으로 각등급에 대응하여 각등급별로 다음을 고려하고 있다.

- 1급-반복하중을 받고 피로강도를 특히 고려해야 하는 것으로 덧붙임을 제거하는 것 또는 파괴에 의해 중대한 재해가 일어나는 것
  - 2급-덧붙임을 제거하지 않던가, 반복하중을 받던가 또는 강도가 중요하다고 고려되는 것
  - 3급-피로강도를 고려하지 않아도 좋은 것
- 결함의 등급분류는 시험의 대상이 되는 용접부의 모재의 두께에 따라

- ① 결함예코높이의 영역
- ② 결함지시길이

에 의해 분류한다. 이 규격에서의 등급분류는 표2에 따른다. 이 경우의 등급은 하나 하나의 결함 또는 연속한 결함으로써 볼 수 없는 것의 각각에 대한 등급분류이며, 방사선투과시험에 있어서 KS B 0845에 따라 어느길이의 용접부전체를 등급분류하는 것과는 다르다.

표 2의 적용에 있어서, 이 규격에서는 “동일한 깊이에 있다고 고려되는 2개의 결함이 인접되어 있을 때 결함과 결함의 간격이 큰쪽의 결함지시길이보다 짧을 경우에는 연속한 결함으로보고, 결함과 결함의 간격이 큰쪽의 결함지시길이보다 긴 경우에 독립된 것으로 본다.”로 규정하고 있다. 또한 “2방향이상으로 탐상한 경우에 동일한 결함의 등급분류가 달라질 때는 아래의 등급의 것으로 한다.”로 정해져 있다.

아래에서는 표 2의 적용과 관련하여 영역 및 결함지시길이를 구하는 방법에대해 기술한다.

## 2.2 탐상의 준비

### 2.2.1 모재의 탐상

용접부 근처의 모재에 모재결함이 존재하면 용접부탐상에 방해가 되므로, 탐상시에 초음파가 통과하는 부분의 모재는 필요에따라 미리 수직탐상하여 장해가되는 결함을 기록해야 한다. 이때의 감도는 건전부의 제2저면예코가 80%가 되도록 한다.

### 2.2.2 탐촉자의 선정

탐촉자의 선정이라 함은 주파수, 진동자 크기, 굴절각을 결정하는 것이다. 선정방법은 탐상하는 모재의 판두께에 따라서 결정하고 있다. 다음은 탐촉자의 선정방법을 서술한 것이다.

(a) 주파수-주파수는 표3에 따라 결정한다.

표 3 사각탐상의 주파수

모재의 두께 t mm	주파수 MHz
75 이하	5 또는 2(4 또는 2.25)
75를 넘는 것	2(2.25)

\* 괄호안의 주파수는 되도록 사용하지 않는다.

판두께가 두껍게 되면 빔거리가 길어져 초음파의 감쇠가 크게된다. 그러므로 판 두께가 75mm를 넘는 경우는 2MHz(2.25MHz)를 선정하도록 정하고 있다. 판두께가 75mm이하의 경우에는 5 또는 2MHz(4 또는 2.25MHz)로 하고 있는것은 통상은 5MHz(2.25 MHz)를 사용하는 것을 의미하고 있다.

단, 낮은 주파수에서 굴절각이 큰 탐촉자(예를 들면 70°)를 사용하면, 표면파가 발생하여 방해예코의 원인이 되는 경우가 있기때문에 얻어진 예코가 결함에 의한 것인지 아닌지를 확인할 필요가 있다.

(b) 진동자 크기-진동자 크기는 표 4에 의해 결정한다.

표 4 진동자 크기

주파수 MHz	진동자 크기 mm
2(2.25)	10×10, 20×20
5(4)	10×10

주파수가 5MHz, 20×20mm의 진동자는 근거리음장 한계거리가 길게 되어 에코높이의 변화가 크게 되어 실용상 부적당하기 때문에 제외하고 있다.

(c) 굴절각-굴절각은 표 5에 의해 결정된다.

표 5 굴절각의 선정

재질두께 mm	굴절각
40이하	70°
40초과 60이하	70° 또는 60°
60초과	70°와 45° 또는 60°와 45°

재질두께가 60mm를 넘는 경우, 굴절각 70° 또는 60°의 경우는 빔거리가 길게된다. 또 굴절각 45°의 경우는 개선면에 있는 융합불량 등 탐상면에 수직에 가까운 각도에서 발생하는 면상결합(面狀缺陷)의 검출능은 저하된다. 그러므로 70°와 45° 또는 60°와 45°를 병용하여 탐상하도록 규정하고 있다. 단, 굴절각이 60°인 경우는 탐상면에 직각인 반사면을 갖는

결함에 대해서는 모드변환 손실로 인해 에코높이가 저하한다.그러므로 탐상면에 수직인 반사면을 갖는 결함의 발생이 예측되는 경우에는 되도록 60° 탐촉자를 사용하지 않는 것이 좋다.

2.2.3 탐상면, 탐상방향 및 측정범위의 선정

탐상면, 탐상방향의 선정은 탐촉자의 선정과 마찬가지로 중요한 포인트가 된다. 탐상면은 배관용접부나 건축구조물의 상자모양의 기둥 등에서와 같이 탐상면이 한정되는 경우도 있지만 통상 작업상, 예측되는 결함위치와 결함검출의 용이성, 방해에코의 발생에 의해 결정된다.

KS B 0896에서는 탐상면, 탐상방향은 표6과 같이 정해놓고 있다. 여기에서 면(面)과 측(側)은 시험재의 표면(表面)과 이면(裏面) 및 용접부를 기준으로 양측(兩側) 또는 편측(片側)을 나타낸다.

측정범위의 선정은 원칙적으로 표 7에서 구한 범위를 표 8에 의해 선정하면 좋다.

표 7의 계산에서 굴절각은 실측값을 사용하는 것이 이상적이지만 공칭값을 사용하여 측정범위를 선정하여도 좋다. 단, 실측굴절각을 측정후 표 7에 만족하는가를 확인할 필요가 있다.

표 6 탐상면의 선정과 탐상방법

판두께 mm	맞대기 이음부	T이음부, 모서리이음부
60이하	일면양측, 직사법과 1회반사법	일면편측, 직사법과 1회반사법
60초과 100이하	일면양측, 직사법과 1회반사법	양면편측, 직사법
100초과하는 것	양면양측, 직사법	양면편측, 직사법

표 7 측정범위의 선정

판 두께	맞대기이음부	T이음부, 모서리이음부
60mm 이하	$2t/\cos\theta * T.R \langle 3t/\cos\theta$	$2t/\cos\theta * \langle T.R \langle 3t/\cos\theta$
60mm 초과 100mm이하	$2t/\cos\theta * T.R \langle 3t/\cos\theta$	$t/\cos\theta * \langle T.R \langle 2t/\cos\theta$
100mm 초과하는 것	$t/\cos\theta * T.R \langle 2t/\cos\theta$	$t/\cos\theta * \langle T.R \langle 2t/\cos\theta$

단, T.R : 측정범위

t : 판두께

θ : 굴절각

\* : 이 값을 사용하는 최대 빔거리로 고려한다.

표 8 많이 사용되는 측정범위

100mm, 125mm, (150mm), 200mm, 250mm, (300mm), (400mm), 500mm
--

( )안의 측정범위는 그다지 사용되지 않는다.

2.2.4 입사점측정, 측정범위의 조정 및 굴절각의 측정

STB-A1 또는 STB-A3를 사용하여 행한다. 단, 두 개의 시험편을 혼용하여서는 안된다.

(a) 입사점측정-STB-A1의 R100면 또는 STB-A3의 R50면을 사용하여 측정한다. 측정은 R100(STB-A3의 경우는 R50)의 중심을 나타내는 슬리트(Slit)의 에코가 최대가 되는 탐촉자의 위치를 구한다. 시험편 슬리트의 R100측의 모서리에 대응하는 탐촉자의 눈금을 읽는다. 이 눈금의 위치가 입사점이 된다. 눈금을 읽을 때에는 0.5mm의 단위로 행한다.

R100면으로부터 최대에코를 구할때 탐촉자의 목 돌림주사를 행하면 R100면으로부터의 에코 이외에 R100면과 측면과 모서리로부터도 에코가 나타나기 때문에 R100면으로부터의 에코인지 확인해야한다.

(b) 측정범위의 조정-탐촉자의 주사는 입사점을 측정하는 경우와 똑같다. STB-A1의 R100면(STB-A3의 경우는 R50면)의 최대에코 높이가 얻어지는 탐촉자의 위치에서 탐상기의 감도를 높이면 R100면으로부터 반복에코가 나타난다. 이것은 그림 1에서와 같이 R100면으로부터 반사된 초음파가 R100면의 중심을 나타내는 슬리트의 모서리에 닿아서 다시 R100면까지 가서 거기에서 반사하여 다시 탐촉자로 돌아오기 때문이다. 그러므로 R100면으로부터의 에

코와 그의 반복에코의 2개로써 측정범위를 조정한다. 그림 2는 조정 예이다.

또한 수직탐촉자를 사용하여 측정범위의 예비조정을 행하는 것도 가능하다. STB-A1의 91mm(STB-A3의 경우는 45.5mm)를 종파가 진행하는 시간은 횡파가 50mm(STB-A3의 경우는 25mm)를 진행하는 것과 똑같다. 여기에서 수직탐촉자로 STB-A1 91mm의 다중반사도형을 횡파의 50mm거리의 다중반사도형으로 고려하여 조정을 행한다.

(c) 굴절각의 측정-STB-A1의  $\phi 50mm$ ,  $\phi 1.5mm$  또는 STB-A3의  $\phi 8mm$ 를 사용하여 측정한다. 측정은 그림 3에 나타난 위치에 탐촉자를 놓고, 횡구멍으로부터의 에코높이가 최대가 되는 탐촉자의 위치를 구하고, 그 때의 입사점눈금에 대응하는 시험편의 각도눈금을 0.5°단위로 읽는다. 단, 공칭굴절각 70°에서 STB-A1을 사용하는 경우는 0.2° 단위로 읽는다.

2.2.5 거리진폭특성곡선에 의한 에코높이 구분선의 작성

거리진폭특성곡선(距離振幅特性曲線)은 동일명칭의 탐촉자에 있어서도 차이가 나타날 수 있기 때문에 원칙적으로 탐상에 사용되는 탐상기, 탐촉자의 조합으로 작성한다. 그러나 탐상할 때마다 에코높이 구분선을 작성하는 것은 번거롭다. KS B 0896 해설에

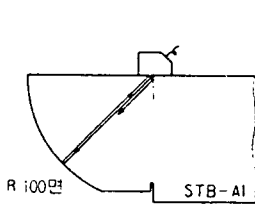
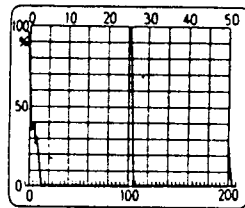
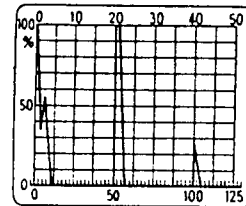


그림 1 R100에서의 반복

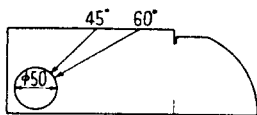


(a) STB-A1을 이용하여 측정범위를 200mm로 조정한 예



(b) STB-A3을 이용하여 측정범위를 125mm로 조정한 예

그림 2 측정범위의 조정



(a) STB-A1

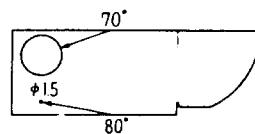
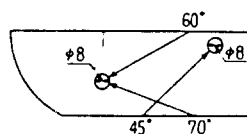


그림 3 굴절각 측정



(b) STB-A3

서는 “미리 평균적인 특성의 탐촉자로 측정범위 125 mm, 200mm, 250mm 등으로 나누어 표준거리진폭 특성곡선을 정하여 놓고, 빔거리에 따라 그것을 바꾸어 에코높이 구분선으로 사용하면 좋다. 그러나 탐상시에는 사용하는 탐상기와 탐촉자로 표준거리진폭특성곡과의 편차를 측정하여, 그 편차가 사용하는 빔거리에 있어서 1dB를 넘을때에는 실측값에 의한 거리진폭특성곡선을 새로 만들어서 사용한다.”고 되어있다. 에코높이 구분선은 통상 탐상기의 브라운관 전면에 보조눈금판을 부착하고, 보조눈금판에 기입한다. 이 때 눈금판과 보조눈금판 사이에 공간이 생기기 때문에 시차(時差)가 발생한다. 이 때문에 탐상도형을 눈의 위치가 일정하게 하여 관찰할 수 있도록 에코높이 구분선을 작성하기 전에, 예를들면 눈금판 횡축의 눈금 25와 종축의 50%의 교차점에 십자(十字)표시를 해놓고, 십자표시와 눈금판의 교점이 중첩되는 눈의 위치로 에코높이 구분선을 작성하면 시차가 적게 된다.

에코높이 구분선의 작성은 다음에 의한다.

a) STB-A2를 사용하는 경우

① STB-A2의  $\phi 4 \times 4\text{mm}$ 를 0.5S에서 탐상하여 그 최대에코높이를 눈금판의 80~100%의 범위가 되도록 감도스위치를 조정후후 에코의 피크점(先端)을 그림 4(a)에 나타낸 것과 같이 보조눈금판에 표시한다. 이때의 탐상기의 감도를 거리진폭 특성곡선을 작성할때의 기준감도로 한다. 단, 진동자의 크기가  $20 \times 20\text{mm}$ 이고 굴절각이  $45^\circ$ 인 탐촉자를 사용하는 경우는  $\phi 4 \times 4\text{mm}$ 를 1.0S에서 탐상한다.

② 탐촉자의 위치를 변경하지 않고, 기준감도보다 6dB 및 12dB감도를 내렸을때의 에코의 피크점을 그림 4(b)에 나타낸 것과 같이 보조눈금판에 표시

한다.

③ 탐촉자의 위치를 1.5S의 위치로 이동시켜  $\phi 4 \times 4\text{mm}$ 의 최대에코높이가 얻어지는 탐촉자의 위치에서 기준감도 및 기준감도로부터 6dB단위로 감도스위치를 변화시켜 눈금판의 5~100%의 에코의 높이를 나타내는 피크점을 보조눈금판에 표시한다.

④ 다음에 탐촉자의 위치를 1.0S, 2.0S, …………… 변화시켜 그림 4(c)에 나타낸 것과같이 3에서와 마찬가지로 표시한다. 이때  $\phi 4 \times 4\text{mm}$ 까지의 빔거리가 2.2.3에서 설명한 사용하는 빔거리보다 크게 되도록 한다.

⑤ 동일감도로 표시한 점들을 직선으로 연결한다. 0.5(1.0S)보다 짧은 빔거리의 범위는 0.5S(1.0S)의 에코높이에서 횡축으로 평행한 직선이 되도록한다. 그림 5는 작성예이다.

(b) RB-4를 사용하는 경우

RB-4의 횡구멍을 가장 짧은 빔거리의 스킵(Skip)점에 위치한 후 그 에코높이가 눈금판의 80~100%가 되도록 감도스위치를 조정한다. 다음에는 STB-A2의 경우에서와 마찬가지로 에코높이 구분선을 작성한다. 그림 6은 작성예의 하나이다.

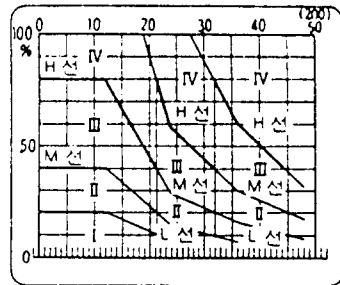


그림 5 STB-A2에 의한 에코높이 구분선의 예

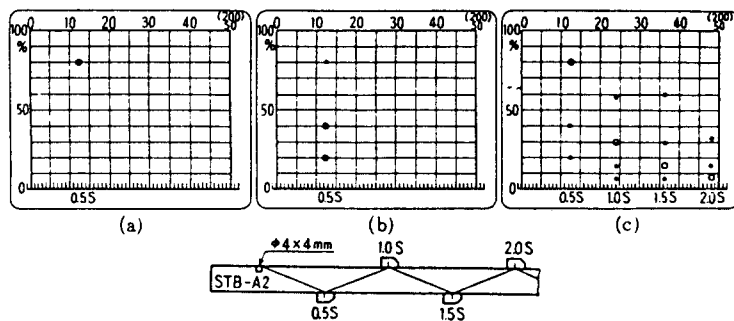


그림 4 STB-A2에 의한 에코높이 구분선의 작성순서

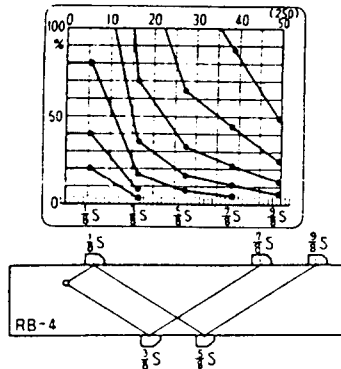


그림 6 RB-4 No.2에 의한 에코높이 구분선의 예

2.2.6 H선, M선 및 L선의 결정 및 에코높이의 영역구분

KS B 0896에서는 “작성된 에코높이 구분선 중 목적에 따라서 적어도 아래로부터 3번째 이상의 선을 선택하여 H선으로 하고, 이것을 감도조정기준선으로 한다. H선은 원칙적으로 결함에코의 평가에 사용되는 범거리의 범위에서 그 높이가 40% 이하가 되지 않는 선으로 한다. H선보다 6dB 낮은 에코높이 구분선을 M선으로 하고, 12dB 낮은 에코높이 구분선을 L선으로 한다.”라고 정하고 있다.

이것은 에코높이가 낮은 상태에서는 에코높이를 읽는데 오차가 크고, 브라운관의 끝부분은 증폭직선

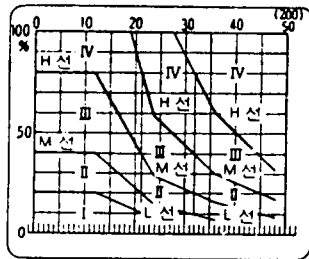


그림 7 H, M, L선의 결정과 영역구분의 예

성이 나쁘고, 에코높이 구분선의 간격이 좁게됨으로 L선의 높이가 10% 미만으로 되지 않도록 배려한 것이다. 또 H선, 및 L선으로 구분한 영역을 표 9와 같이 명명한다. 그림 7은 H선, M선 및 L선으로 구분한 영역을 표9와 같이 명명한다. 그림 7은 H선, M선 및 L선의 결정과 영역구분의 한 예를 나타낸 것이다.

표 9 에코높이 영역구분

에코높이의 범위	에코높이의 영역
L선 이하	I
L선초과 M선이하	II
M선초과 H선이하	III
H선을 초과하는 것	IV

2.2.7 탐상감도의 조정

STB-A2, STB-A3 또는 RB-4를 사용하여 감도조정을 행한다. 사용하는 시험편 및 굴절각에 따라 표 10과 같이 정하고있다.

STB-A2, STB-A3의  $\phi 4 \times 4\text{mm}$ 로 굴절각  $45^\circ$ 의 탐촉자를 사용하여 감도조정을 행하는 경우에 감도를 6dB 높이는 것은 모드변환이 없는 결함(예를 들면 브라우홀)에 대하여 굴절각  $70^\circ$ 의 탐촉자와 같은 정도의 감도가 되도록 하기 위해서이다.

에코높이 구분선의 작성과 탐상감도의 조정사이에서 STB-A2와 RB-4의 혼용은 원칙적으로 피하는 것이 좋다.

2.2.8 수정조작(修正操作)

STB-A2를 사용한 경우에 시험재의 탐상면이 거친 경우, STB-A2와 시험재 사이에 전이손실(Transfer Loss)이 다르기 때문에 시험재에 입사하는 초음파의 강도가 달라진다. 이 양을 보정하기 위해 수정조작을 행한다.

2.2.9 검출레벨(Level)의 지정

KS B 0896에서는 검출해야 하는 결함의 정도에

표 10 감도의 조정

시험편, 표준구멍	굴절각	감도조정 방법	
		STB-A2 $\phi 4 \times 4\text{mm}$	$45^\circ$
		$60^\circ$	$\phi 4 \times 4\text{mm}$ 의 에코높이를 H선에 맞춘다.
		$70^\circ$	$\phi 4 \times 4\text{mm}$ 의 에코높이를 H선에 맞춘다.
RB-4 황구멍			황구멍의 에코높이를 H선에 맞춘다.

따라 M검출레벨과 L검출레벨의 2종류의 검출레벨을 지정할 수 있도록 하고 있다. 표 10에서 나타난 감도로 조정된 후 에코높이 구분선의 M선을 초과하는 결함에 대해 평가를 행하는 것을 M검출레벨, L선을 초과하는 결함에 대해 평가를 행하는 것을 L검출레벨이라 한다. 용접부에 발생하는 결함을 여러가지 모형결함(模型缺陷)으로 취급하고 그들 상호간의 에코높이의 관계를 계산에 의해 구하는 것이 가능하다.

KS B 0896에서 정한 탐상감도(STB-A2를 사용한 경우)로써 자연결합의 에코높이를 나타낸 결과가 그림 8이 된다. 그림 8에 의해 KS B 0896 해설에서는 검출레벨에 관하여 다음과 같이 기술하고 있다.

“M검출레벨에서는 굴절각 70° 또는 60°를 사용하면 브러우홀의 대부분과 슬래그 개재의 일부는 검출되지 않지만 그 이외의 결함은 거의 모두가 검출된다. L검출레벨에서는 미세한 브러우홀과 미세한 슬래그 개재를 제외한 용접결함 모두가 검출된다.”

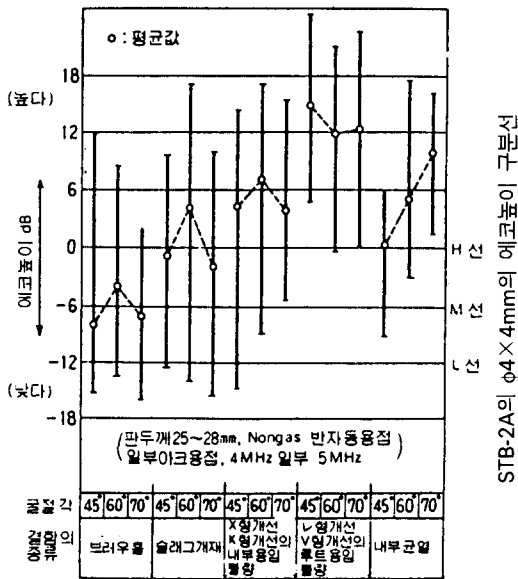


그림 8 용접자연결합의 사각탐상에 있어서의 에코높이

### 2.3 용접부의 탐상

#### 2.3.1 거친 탐상

거친탐상은 결함의 유무와 분포상태를 알기 위해

행하는 탐상으로 표 10에 정해져 있는 감도보다 6~12 dB 감도를 높여서 행한다. 탐촉자의 주사는 지그재그 주사법을 이용하여 용접부의 전역에 초음파빔이 진행하도록 한다. 지그재그 주사는 직사법과 1회반사법으로 분할하여 행하는 편이 탐상이 쉽다.

탐촉자가 직사법의 주사범위에 위치할 때는 0~W<sub>0.5S</sub>의 범위를, 1회반사법의 주사범위에 위치할 때는 W<sub>0.5S</sub>~W<sub>1.0S</sub>의 범위를 관찰하면 결함을 빠뜨리지 않고 탐상할 수 있다.

용접부의 탐상에서는 결함이외에 덧붙임으로부터의 에코, 뒷면으로부터의 에코(襄波), Backing Strip으로부터의 에코등(이것을 방해(妨害)에코라 한다)이 나타나기 때문에 결함에코와 방해에코를 판별해야만 한다. 판별방법은 반사원(反射源)의 횡단면위치(橫斷面位置)를 구하는 것과 초음파의 진행 경로를 추정하는 것에 의한다. 초음파진행경로의 추정방법은 초음파가 반사하는 위치(스킵점이나 덧붙임)를 접촉매질을 문힌 손가락으로 눌러주면, 초음파가 손가락으로 통과하기 때문에 에코높이가 낮아지는 현상을 이용한다.

그러나 STB-A1의 R100면과 같이 횡과의 진행방향에 수직인 면에 초음파가 반사하는 경우에는 반사원을 손가락으로 눌러도 에코높이는 변하지 않는다. 그러므로 모든 방향 에코가 손가락으로 반사원을 누르는 것에 의해 확인될 수 있는 것은 아니다.

거친 탐상에서는 앞에서 기술한 거친탐상을 행할 때의 감도에 있어서 L검출레벨로 지정되어 있는 경우에는 L선을, M검출레벨로 지정되어 있는 경우에는 M선을 넘는 에코가 검출된 경우에는 그림 9와 같이

① 탐촉자-용접부거리(Y)

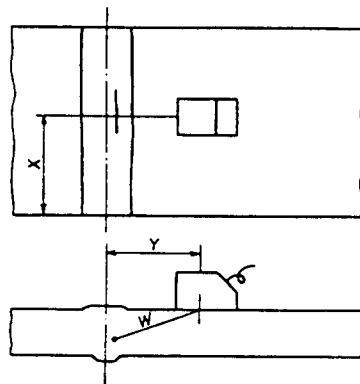


그림 9 탐촉자위치의 기록

② 빔거리(W)

를 측정하고, 반사원의 횡단면 위치등에 의해 그 에코가 결함에 의한 것인지 방해에코에 의한 것인지 판단한다. 결함에코로 판단된 경우는 표시(Marking)한다.

2.3.2 정밀탐상

정밀탐상은 결함의 위치, 용접선방향의 길이 및 에코높이를 측정할 목적으로 행하는 것으로, 거친탐상에서 표시한 부분에 대하여 표 10에서 정한 감도로 행한다.

우선 거친탐상에서 검출한 결함에 대하여 전후주사(前後走査), 좌우주사(左右走査) 및 목돌림주사를 해서 결함에코가 최대가 되도록한다(이때 결함에코 높이가 100%를 넘는 경우 에코높이를 50~80%가 되도록 탐촉자를 주사한 후, 감도를 원래대로 한다). 결함에코가 검출레벨을 초과한 경우는 그림 9에 나타난

- ① 용접선방향의 결함위치(X)
- ② 탐촉자-용접부거리(Y)
- ③ 빔거리(W)

를 측정하여 기록한다.

결함위치(깊이 : d, 용접중심선으로부터의 거리 : ΔY)는 다음과 같이 계산한다.

$$d = W \cos \theta \text{ (직사법)}$$

$$d = 2t - W \cos \theta \text{ (1회 반사법)}$$

$$\Delta Y = Y - W \sin \theta$$

여기서, t : 모재의 판두께  
θ : 실측굴절각

또한,  
④ 결함에코높이의 영역(I, II, III 또는 IV)을 읽어둔다.

⑤ 결함지시 길이를 구한다. 결함지시 길이는 탐촉자를 좌우주사 했을때 결함에코높이가 일정한 높이를 넘기 시작하는 점으로부터 다시 그 높이가 될때까지의 탐촉자의 이동거리에 의해 추정한다. 이를 결함의 결보기 길이라 한다. KS B 0896에서는 그림 10에 나타낸 것과 같이 “최대에코높이를 나타내는 탐촉자-용접부거리에 있어서 좌우주사를 행하고(약간의

전후주사를 행하지만 목돌림주사는 하지 않는다) M, L선의 어느 쪽의 검출레벨이라해도 에코높이가 L선을 넘는 범위의 이동거리를 1mm의 단위로써 측정하여 결함지시길이로 한다.”고 규정하고 있다.

이것은 초음파의 빔중심축이 결함의 끝을 향하고 있을때의 에코높이가 L선의 높이가 똑같다고 가정하는 것이 된다. 그러므로 용접선 방향으로 늘어져 있는 결함에서는 그 양끝을 향하고 있는 용접선방향의 탐촉자 위치, 다시 말하면 시작쪽 끝을 향하는 위치 X<sub>s</sub>(mm)와 끝쪽 끝을 향하는 위치 X<sub>E</sub>(mm)를 측정하면, 결함지시길이 1(mm)은 다음식에 의한다.

$$\text{결함지시길이} : l = X_E - X_S$$

덧붙여서, KS B 0896에서는 “판 두께가 75mm 이상인 재료를 탐상하는 경우, 주파수 2MHz(또는 2.25 MHz), 크기 20×20mm의 탐촉자를 사용하는 경우에는 최대에코높이의 1/2이 되는 점을 결함의 끝으로 하고, 1/2이상의 높이의 에코가 연속하고 있을때의 탐촉자의 이동거리를 결함지시길이로 한다.”고 정해져 있다.

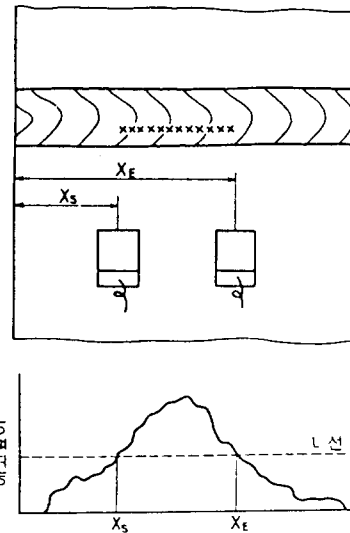


그림 10 결함지시길이 측정



### 3. AWS D1.1 Part C에 의한 결함평가

이 절차서는 두께 5/16in.(8.0mm)~8in.(203mm)의 용접부 및 열영향부의 초음파탐상 시험에 대해 규정하고 있다. 그러나 튜브의 T,Y 또는 K 이음에 대해서는 적용되지 않는다. 탐상준비 및 탐상절차는 앞절에서 설명한 KS B 0896과 일맥상통하는 바가 있으므로, 판정기준의 적용에 대해서만 기술한다.

AWS D1.1의 Chapter 8은 정적하중을 받는 구조물(예를들면 빌딩), Chapter 9는 동적하중을 받는 구조물(예를들면 교량)에 대해 별도의 초음파탐상시험 판정기준을 정하고 있다. 표 11에 나타낸 것은 Chapter 8에서 규정한 판정기준을 나타낸 것이다.

표 11의 합부기준의 적용은 용접부 두께와 사용한 탐촉자각도(이 각도도 임의로 선택하는 것이 아니라 절차서에서 별도로 규정하고 있음)에 따라 Indication rating(d) (표 11의 숫자로 나타낸 부분)로써 먼저 등급을 결정한다. 이 등급이 결정되면 아래쪽의 결함지시길이에 따라 합격불합격을 결정하게 된다.

표에서 나타낸 Indication rating(d)은 개인형 장치의 경우  $d[dB]=a-b-c$ 의 식으로, 감쇠기형 장치의 경우  $d[dB]=b-a-c$ 의 식으로 구하게되며, 여기서 b는 기준감도(Zero Reference Level Sensitivity)를 말하며, IIW 시험편의  $\phi$  1.5mm 관통구멍으로부터의 에코를 일정높이(보통은 60~80%)로 했을때 개인값이고 a는 Indication Level로써 불연속 지시값이다. 개인형 장치는 개인값(dB)값을 올리면 따라서 에코

의 높이가 상승하는 장치를 말하며, 감쇠기형 장치는 이와 상대적으로 작동한다. 즉 개인형 장치에서(a-b)가 갖는 의미는 불연속으로부터의 지시와 기준감도의 차를 말한다. 그러나 이 방법에서는 초음파빔이 진동자로부터 멀어짐으로 일어나는 빔분산의 영향을 전혀 고려하지 않게 되어있어서 감쇠를 고려한 감쇠인자(Attenuation Factor, c)를 적용한다. KS B 0896에서는 앞절에서 설명한 바와같이 이를 에코높이구분선(일종의 거리진폭특성곡선)으로 해결하고 있다. 즉 감쇠인자 c는 결함까지의 빔진행거리에서 1in.(25mm)를 뺀후 두배한 값으로 계산하도록 규정하고 있다. 즉 이와같이하여 얻은 d값을 표에 적용하여 등급을 결정하게된다.

등급이 일단 결정되면, 결함의 길이를 적용하게 되는데 이 절차서에서는 6dB drop법을 규정하고 있다. 즉 불연속이 등급 D를 초과하는 dB rating에 대해 결함지시길이를 측정해야한다. 측정방법은 지시의 진폭이 50%(6dB)저하되는 진동자의 중심간 거리를 측정하여 그길이를 "불연속길이"로 한다. 결국 위에서 결정된 등급 및 불연속길이에 의해 각각의 결함 지시의 합부를 결정하게된다.

기타 이 판정기준을 적용할때 고려해야할 사항으로는

① 등급 B 및 등급 C 불연속은 L을 긴쪽 불연속의 길이라할때 적어도 2L만큼 분리되어 있어야 한다. 다만 들뜨는 그 이상의 불연속이 적어도 2L만큼 분리되어있지 않으나 불연속의 길이 및 분리된 간격의 합이 등급B 또는 등급 C의 불합격기준 이내인 경우에는 하나의 합격불연속으로 고려할 수 있다.

표 11 초음파탐상시험 합부기준

불연속의 진폭등급	용접부두께(mm) 및 탐촉자 각도												
	8~19		19~38		39초과 64까지			64초과 100까지			100초과 200까지		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
등급 A	+5이하	+2이하	-2이하	+1이하	+3이하	-5이하	-2이하	0이하	-7이하	-4이하	-1이하		
등급 B	+6	+3	-1	+2	+4	-4	-1	+1	-6	-3	0		
등급 C	+7	+4	+1	+4	+6	-2	+1	+3	-4	-1	+2		
등급 D	+8 이상	+5 이상	+3	+6	+8	+2	+3	+4	+3	+3	+5		
등급 A(대불연속)	이 범주에 속하는 모든 지시는 길이에 관계없이 불합격												
등급 B(중불연속)	이 범주에 속하는 지시중 길이가 19mm를 초과하는 모든 지시는 불합격												
등급 C(소불연속)	이 범주에 속하는 지시중 길이가 51mm를 초과하는 모든 지시는 불합격												
등급 D(미세불연속)	이 범주에 속하는 모든 지시는 길이 및 용접부내의 위치에 관계없이 합격												

② 등급 B 및 등급 C 불연속은 L을 불연속길이일 때 주인장용력을 받는 용접부끝으로부터 2L인 위치로부터 시작해서는 안된다.

③ 완전용입 이중홈 용접이음부의 루트부를 “주사레벨(Scanning Level)”에서 검출된 불연속은 그 용접부가 “인장용접부”로 도면에 지정되었을 경우에는, 식  $d=a-b-c$ 에서 구한 Indication Rating에서 4 dB 더 엄격하게 평가해야 한다.(즉 d값에서 4dB을 뺀다)

④ Electro-Slag 또는 Electro-gas 용접부에서 “주사레벨”에서 측정된 지시길이가 2in.(51mm)를 넘는 불연속은 Piping Porosity로 고려하여 방사선투과시험방법에 의해 추가로 평가되어야 한다.

## 4. KS B 0896과 AWS D1.1 Part C의 비교

### 4.1 검출레벨

판두께가 25mm인 경우 사용탐촉자의 굴절각은 70°이다. STB-A2의  $\phi 4 \times 4$ mm의 표준구멍으로부터의 에코높이와 IIW형 시험편의  $\phi 0.060$ in. 횡구멍으로부터의 에코높이는 거의 동일하다. KS의 거리진폭특성곡선에 상당하는 곡선을 AWS의 규정에 따라 작성하면 범진행거리가 1in. 이내의 범위에서는 곡선의 높이는 일정하고 1in.를 넘기 시작하면 범진행거리가 1in. 증가할때마다 2dB의 비율로 곡선의 높이는 저하하게 된다. 실제로 이와같이 작성해보면 KS의 H선과 곡선의 기울기는 비교적 근사하게 나타난다.

AWS에서 평가의 대상이 되는 최하위의 결함에 대한 결함평가 레벨값은 +11dB이고, KS 표현방법으로 나타내면 검출레벨은  $\phi 0.060$ in.의 표준구멍으로부터의 에코높이를 기준으로 했을때의 -11dB이다. 이들의 결과를 종합하면 평가의 대상으로 하는 용접결함의 최소크기에 대한 고려방법의 기본은 KS와 AWS가

같은 것을 알 수 있다.

### 4.2 결함평가방법

AWS 규정에서는 예를들면, 교량(AWS D1.1 Chapter 9 Table 9.3)의 판두께 1in. 맞대기용접부에서는 굴절각 70°의 탐촉자로서 탐상하도록 규정하고 있다. 검출된 결함은 결함평가레벨값(d)에 따라 +8dB이하의 대불연속, +9dB일때 중불연속, +10dB일때 소불연속, +11dB이상은 미소불연속으로 분류하고, 대불연속은 길이에 관계없이, 예를들면, 점형태의 불연속도 모두 불합격, 중불연속은 길이 19mm를 넘는것, 소불연속은 51mm를 넘는것을 불합격으로 하고 있으며, 미소불연속에 대해서는 길이에 관계없이 합격으로 하고있다. KS에 있어서의 STB-A2에 의한 L검출레벨로 지정하고, 2급이상을 합격으로 고려하면 허용되는 결함길이는 12mm이하이다. AWS에서 결함평가레벨값 +8dB은 KS에 있어서의 에코높이 영역II에 해당하고 그러나 길이에 관계없이 불합격이므로 결함지시길이가 12mm이하 일때는, AWS는 결함을 대단히 엄격히 평가하는 경우가 생기고, 단독의 블로우홀과 슬래그개재에서 사실상 유해하다고 고려하기 어려운 결함도 불합격되는 경우도 있다.

에코높이의 영역구분이란 관점에서 AWS와 KS는 유사하지만, AWS의 결함평가레벨의 구분은 대불연속, 중불연속, 소불연속, 미소불연속사이 각 1dB씩이다. 에코높이의 측정값의 변동을 고려하면 측정오차내에 들어갈 우려가 있다. 대불연속은 길이에 관계없이 불합격인 반면 그것보다 결함평가레벨이 2dB 큰(에코높이가 2dB 낮은) 소불연속은 길이가 51mm까지 합격이 된다. 또한 AWS에서는 감도보정에 대한 규정을 두지 않으므로해서 현장작업의 실태가 감안되지 않았음을 염두에 둘 필요가 있다.