

超音波 探傷法에 의한 熔接部の 缺陷높이 測定에 관한 研究

安 逸 榮 林 東 圭 韓 應 教
Ahn Il Young, Yin Tong Kyu, Han Eung Kyo,

(1982年 5月 8日 接受)

Consideration on the Experimental Measurement of
Flaw Height of Welds by Ultrasonic Testing.

Abstract

This study was carried out to measure the flaw height of welds in consideration of the effective probe angle in ultrasonic oblique detection. Specimens with inserted artificial flaws were made and flaw heights were estimated from detecting these specimens. Two different methods were applied to estimate flaw heights.

From the result of the experiment, flaw height could be measured within the accuracy of 15% percent error and the difference between the probe distance method and beam path method is about 5% relatively small.

It is considered that the results obtained this experimental study could be helpful informations for measuring flaw height.

記 號 說 明

- Y : Distance between reference line and probe
- a : Distance between detecting surface and flaw
- hr : Actual flaw height
- hu : Flaw height obtained from ultrasonic detection
- l : Beam path
- θ_0 : Angle of refraction of probe
- θ_1, θ_2 : Effective probe angle
- ϵ : Percent error

1. 序 論

非破壞檢査 分野에 있어서 超音波探傷은 구조물의 熔接部 또는 素材의 檢査 등으로 많은 發展을 거듭하고 있다.

초음파探傷에서 缺陷의 길이는 이미 비교적 精度 높은 測定이 可能하여 높은 평가를 받고 있으나 缺

陷높이에 대해서는 아직 뚜렷한 定量化의 단계에 이르지 못하고 있는 실정이다. 그러나 缺陷의 形狀은 溶接부의 기계적 性質을 크게 좌우 한다고 알려져 있으며 缺陷의 높이 測定에 대한 必要性이 요구되고 있다. 현재까지 초음파 탐상에 의한 결함 높이의 測定에 대하여 發表된 여러가지 方法을 살펴보면 첫째, 周波数分析法 둘째, 積分法 셋째, 最大에코우 높이를 기준으로 하는 방법 넷째, 最小에코우 높이를 기준으로 하는 방법 다섯째, 端部피이크 에코우法 여섯째, 表面波에 의한 方法 일곱째, 有効비임幅法 등이 있으나 아직 確固하게 規格화 되지 않은 狀態에 있다. 1969年 DiGiacomo등에 의해서 發表된 有効 探觸子角度를 利用한 크랙의 높이 推定方法이 有効 비임幅法의 始初가 되었으며 그후 1977年 小野澤元久와 石井勇五郎에 의해 有効비임幅法이 보고 되었다. 위의 方法들 中 有効 비임幅法이 缺陷의 표면상태에 관계없이 어떤 형태의 결함에도 적용될수 있는 가장 包括的인 결함 높이 測定法이라 생각된다. 따라서 본

* 漢陽大, 工大大学院
** 漢陽大, 工大 教授, 正會員

研究는 有効비임의 각도를 고려하여 缺陷의 높이를 測定한 것이며 실험적인 연구결과를 보고한다.

2. 測定原理

超音波探傷은 探觸子속에 들어있는 振動子에서 발생된 超音波를 시험체내에 入射시키고 入射된 초음파가 缺陷에서 부터 反사되어 다시 振動子에 부딪혀 올때의 평균 受信音압을 전기적인 量으로 변환시켜서 探傷器의 CRT 스크린에서 에코우로 檢出하는 방식이다. 보통 熔接部의 探傷을 도식적으로 表示한 것이다. 그림 1 (a)는 傾斜角探傷의 幾何學을 그림 1 (b)는 CRT 스크린을 나타내며 이때 Y, a, ℓ, θ 는 式(1)과 같은 관계가 있다,

$$\begin{aligned} Y &= \ell \sin \theta \\ a &= \ell \cos \theta \end{aligned} \quad (1)$$

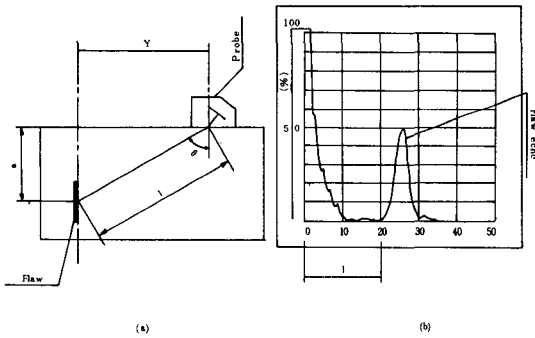


Fig. 1 Schematic diagram of oblique detection and CRT Screen.

· 위와같은 基本原理로 부터 缺陷높이 推定을 위하여 超音波 有効비임의 角度를 고려해 보면 다음과 같다.

方法 1) 缺陷에서 부터 探觸子까지의 거리에 의한 方法

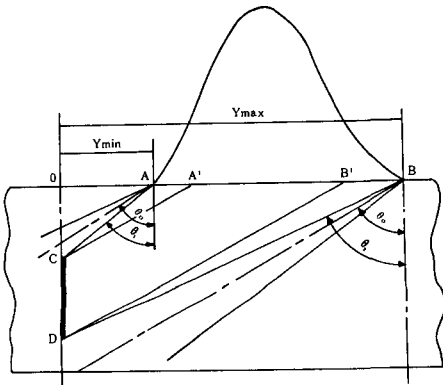


Fig. 2 Schematic diagram of scanning.

그림 2는 前後走査로 0~0.5스킵 사이를 探傷할 때의 狀態를 나타내며 0에서 B의 位置로 探觸子를 움직여 갈때 A의 位置에서 缺陷 에코우가 나타나기 시작하여 B의 位置에서 소멸된다. 이때 缺陷의 상하단 C, D에서 비임의 中心線에 平行하게 線을그어 交點을 A', B'라 한다. 缺陷에코우의 出現範圍 \overline{AB} 로부터 補正量 $\overline{AA'}$, $\overline{BB'}$ 를 고려하여 缺陷높이를 求할 수 있다. $\overline{AA'}$ 와 $\overline{BB'}$ 는 幾何學的으로 式(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \overline{AA'} &= Y_{\min} (\tan \theta_0 / \tan \theta_1 - 1) \\ \overline{BB'} &= Y_{\max} (1 - \tan \theta_0 / \tan \theta_1) \end{aligned} \quad (2)$$

따라서 缺陷의 높이 h는 $h = \overline{CD} = (\overline{AB} - \overline{AA'} - \overline{BB'}) \cot \theta$

$$h = \{ Y_{\max} - Y_{\min} - Y_{\min} (\tan \theta_0 / \tan \theta_1 - 1) - Y_{\max} (1 - \tan \theta_0 / \tan \theta_1) \} \cot \theta$$

$$= \{ Y_{\max} \frac{\tan \theta_0}{\tan \theta_1} - Y_{\min} \frac{\tan \theta_0}{\tan \theta_1} \} \tan \theta$$

$$= \frac{Y_{\max}}{\tan \theta_1} - \frac{Y_{\min}}{\tan \theta_1} \quad (3)$$

方式 2) 缺陷까지의 비임路程에 의한 方法

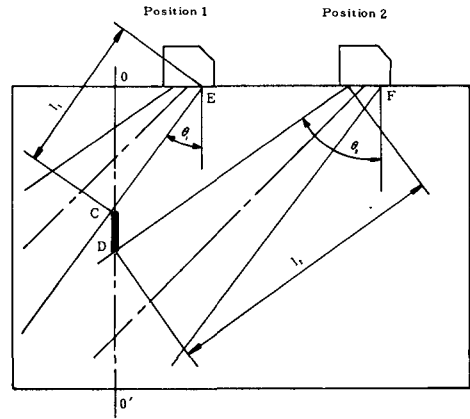


Fig. 3 Flaw height measurement using beam path.

그림 3에서 位置 1과 位置 2는 缺陷에코우의 始作점과 소멸점을 表示한다. 이때 缺陷의 높이 \overline{CD} 는 式(4)와 같다.

$$\overline{CD} = \overline{OD} - \overline{OC} = \ell_2 \cos \theta_2 - \ell_1 \cos \theta_1 \quad (4)$$

前後走査로 探傷하여 完全한 走査그래프를 얻기가 곤란한 경우에는 윗면과 아랫면의 양쪽 探傷面에서 에코우가 소멸될 때의 비임路程을 고려하여 缺陷의 높이를 求할수 있다. 먼저 位置 2에서 \overline{OD} 를 求한다음 반대면을 探傷하여 $\overline{O'C}$ 를 求한다. 이때 \overline{OD} 와 $\overline{O'C}$ 를 더한 값에는 板두께 $\overline{OO'}$ 를 빼면 缺陷의 높이 \overline{CD} 가 된다. 즉 \overline{CD} 는 式(5)와 같다.

$$\overline{CD} = \overline{OD} + \overline{O'C} - \overline{OO'} \quad (5)$$

3. 実験

3-1. 実験装置

- ① 超音波探傷器(SM80D 東京計器製)
- ② 傾斜角探觸子 5 Z10×10A45
5 Z10×10A70(東京計器製)
- ③ 標準試験片(STB-A3)
- ④ 矯正試験片
- ⑤ 人工缺陷을 挿入한 試験片(3개)
- ⑥ 接觸媒質(엔진오일)

熔接部の缺陷의 높이를 推定하기 위해서는 傾斜角探觸子の有効비임의 角度를 測定해야 하며 이를 測定하기 위하여 그림 4와 같은 矯正試験片을 製作하였다. 矯正試験片에 있는 6개의 구멍은 3mm φ 드릴로 貫通시킨 것이며 이 試験片材質은 SB41이다.

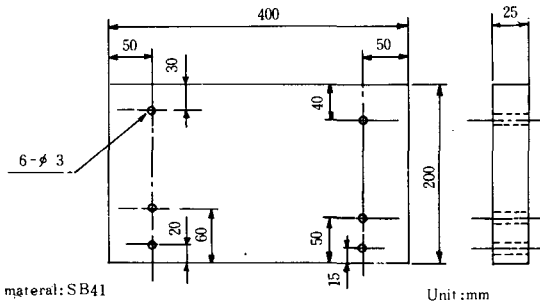


Fig. 4 Specimen for calibration

그림 5는 人工缺陷을 挿入하여 熔接한 試験片의 形狀을 나타낸 것이다.

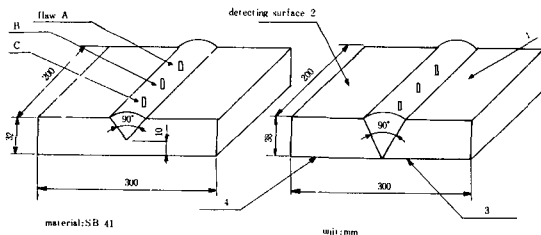


Fig. 5 Specimen with inserted artificial flaw

試験片은 32mm 두께의 試験片 1개와 38mm 두께의 試験片 2개를 製作하였는데 各 試験片에 人工缺陷을 5cm 간격으로 3개씩 넣어 熔接하였다.

熔接方法은 交流 아아크 熔接을 擇하였고 熔接棒은 熔入이 깊지않은 4mm φ의 低水素系를 使用하였

다. 人工缺陷은 그림 6 (a)와 같이 丸棒에 3mm φ의 드릴로 貫通구멍을 鑿어 한쪽을 熔接하여 미리 熔接되지 않은 다른 쪽을 그라인딩하여 그림 6 (b)와 같이 製作하여 미리 熔接된 그루우버속의 熔接비이드 위에 그림 6 (c)와 같이 세우고 熔接함으로써 人工缺陷을 挿入할때 熔入不良에 의한 缺陷을 防止하도록 하였다.

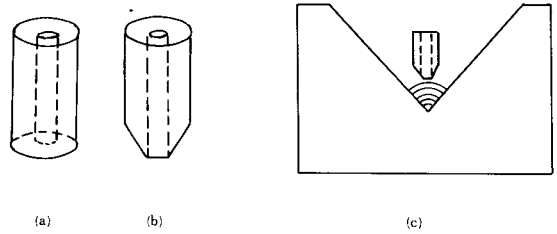


Fig. 6 Insertion of artificial flaw

이때 32mm, 두께의 試験片에는 6mm φ, 38mm에는 9mm φ의 丸棒을 잘라 使用했고 探傷에 便利하도록 熔接面을 그라인딩하였다. 사진 1은 実験裝置이고 사진 2는 実験에 使用된 試験片이다.

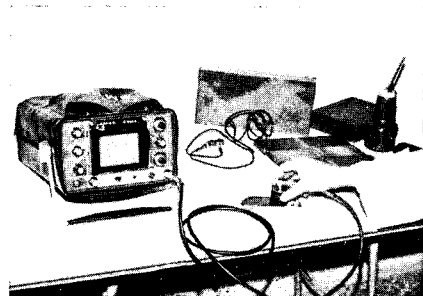


photo. 1 Experimental apparatus

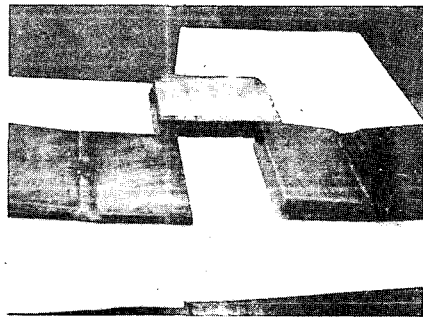


photo. 2 Specimen

3-2 実験方法

標準試験片 STB-A3를 利用하여 傾斜角探觸子에서 試驗체로 入射하는 超音波비임의 入射點과 實際

의 屈折角을 測定한다. 이는 探觸子의 옆면에 表示되어 있는 入射點과 公稱屈折角을 實際의 값으로 補正해 주기 위함이다.

그 다음 그림 4의 矯正試驗片을 使用하여 超音波 有效비임의 角度를 決定한다. 探傷面에서 30, 40, 50, 60mm의 距離에 있는 貫通구멍을 前後走査하여 에코우의 始作點과 消滅點에서의 비임路程을 CRT스크린 위에서 읽어 45° 傾斜角探觸子의 有效비임의 角度를 測定한다. 探傷面에서 15, 25, 30, 40mm에 位置하는 구멍은 70° 傾斜角探觸子의 有效비임의 角度測定에 使用되었다.

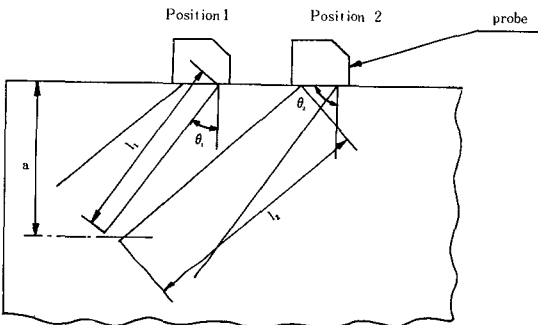


Fig. 7 Measurement of effective probe angle.

그림 7에 나타난 바와 같이 貫通구멍의 바로 위에서 探傷面을 따라 探觸子를 오른쪽으로 進행시키면서 구멍에 의한 最大 에코우가 80%가 되도록 感度を 調整한 後에 位置 1과 位置 2에서 비임路程을 읽는다.

이때 有效비임의 角度 θ_1, θ_2 는 式(6)과 같다.

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{a}{l_1} \dots \dots \dots (6)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{a}{l_2}$$

實際의 測定에서는 θ_1 을 구할때 a값 代身 구멍의 반지름에 해당되는 1.5mm를 考慮한 값(a-1)mm를 使用하였다. 위와 같은 實驗後에 熔接部의 人工缺陷의 高度를 推定하기 위하여 다음과 같이 測定하였다. 人工缺陷을 熔接部의 中央에 插入하였으므로 熔接部의 中央을 基準으로 하여 探觸子를 缺陷에서 멀어지는 方向으로 走査해 가면서 缺陷에 의한 最大 에코우 高度가 70~80%가 되도록 感度を 調整한 後에 에코우의 始作點과 消滅點에서의 비임路程 l_1, l_2 및 基準線으로부터 探觸子의 入射點까지의 距離 Y min, Y max를 CRT스크린과 눈금자에서 각각 읽는다. 이렇게 얻은 Y min, Y max으로 부

터 方法1)에 의해 또 l_1, l_2 로부터 方法2)에 의해 缺陷의 高度 hu를 推定한다. 단, 探傷面에서 부터 缺陷先端까지의 距離가 比較的 작아서 缺陷에코우가 送信펄스에 의한 에코우의 끝점內에서 始作되는 경우에는 缺陷에코우의 始作點을 識別하기가 어렵다.

이런 경우에는 兩面을 探傷하여 에코우의 消滅點만을 考慮하는 方法2)의 式(5)에 의해 缺陷高度를 推定했다. 이때의 探傷感度 역시 缺陷에코우의 最大高度를 70~80%로 調整하였다.

4. 實驗結果 및 考察

標準試驗片 STB-A 3를 利用하여 測定한 探觸子의 入射點이 그림 8에 화살표로 나타나 있다. 또 實測屈折角은 45°, 傾斜角探觸子의 경우 46°, 70° 傾斜角探觸子의 경우 72°를 얻었다.

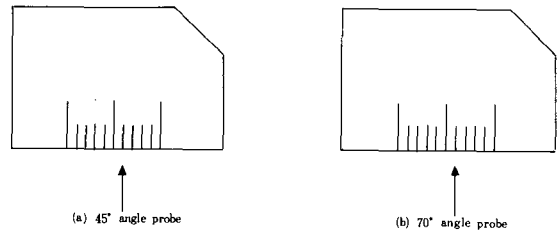


Fig. 8 Point of incidence.

그림 4의 矯正試驗片에서 測定한 비임路程 및 有效비임의 角度 θ_1, θ_2 는 表1 및 表2에 나타나 있다. 따라서 45° 傾斜角探觸子에서 $\theta_1=38^\circ, \theta_2=53^\circ$ 및 70° 傾斜角探觸子에서 $\theta_1=66.5^\circ, \theta_2=77^\circ$ 를 얻었다.

Table 1. Obtained data (45° angle probe)

unit : mm

| a | l_1 | $\theta_1 (^\circ)$ | $\theta_2 - \theta_1 (^\circ)$ | a | l_2 | $\theta_2 (^\circ)$ | $\theta_2 - \theta_1 (^\circ)$ |
|------------|-------|---------------------|--------------------------------|------------|-------|---------------------|--------------------------------|
| 29 | 38 | 40.3 | 5.7 | 30 | 52 | 54.8 | 8.8 |
| 39 | 50 | 38.7 | 7.3 | 40 | 68 | 54 | 8 |
| 49 | 60 | 35.2 | 10.8 | 50 | 80 | 51.3 | 5.3 |
| 59 | 74 | 37.1 | 8.9 | 60 | 94 | 50.3 | 4.3 |
| mean value | | 8 | | mean value | | 7 | |

Table 4. Obtained data using beam path

unit : mm (70° angle probe)

| specimen number | detecting surface | flaw | l_1 | l_2 | h_u | h_r | error $ h_r - h_u $ | $\epsilon(\%)$ |
|-----------------|-------------------|------|-------|-------|-------|-------|---------------------|----------------|
| 1 | 3 | A | 30 | 105 | 11.6 | 13 | 1.4 | 10.8 |
| 1 | 3 | B | 30 | 108 | 12.3 | 14 | 1.7 | 12.1 |
| 1 | 3 | C | 36 | 114 | 11.2 | 14 | 2.8 | 20 |
| 2 | 1 | A | 48 | 120 | 7.9 | 7 | 0.9 | 12.9 |
| 2 | 3 | A | 34 | 102 | 9.4 | 7 | 2.4 | 34.4 |
| 2 | 1 | B | 54 | 123 | 6.2 | 9 | 2.8 | 31.1 |
| 2 | 3 | B | 28 | 82 | 7.2 | 9 | 1.8 | 20 |
| 2 | 2 | C | 42 | 126 | 11.6 | 16 | 4.4 | 27.5 |
| 2 | 3 | C | 26 | 100 | 12.1 | 16 | 3.9 | 24.4 |
| 3 | 2 | A | 36 | 108 | 10 | 14 | 4 | 28.6 |
| 3 | 3 | A | 30 | 111 | 13.1 | 14 | 0.9 | 6.4 |
| 3 | 2 | B | 42 | 108 | 7.6 | 9 | 1.4 | 15.6 |
| 3 | 1 | C | 42 | 105 | 6.9 | 7 | 0.1 | 1.4 |
| mean value | | | | | | | | 18.9 |

그림10은 表4의 結果를 그래프로 나타낸 것이다.

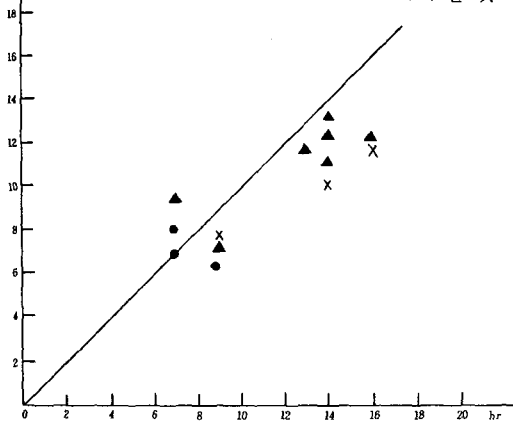


Fig. 10. Relationship between h_r and h_u .
(using beam path, 70° angle probe)

45° 探觸子를 使用하여 探傷할 경우는 같은 位置에 있는 缺陷에 대해서 70° 探觸子의 경우보다는 비임路程 및 基準線에서 부터 探觸子 까지의 거리가 훨씬 짧아져서 완전한 步査 그래프를 얻을수가 없었다. 本實驗에서 비임路程이 30mm 보다 짧을때는 缺陷에코 우의 始作점을 識別하기가 곤란 하다 따라서 45° 探觸子의 경우는 方法2의 양면結果를 表5와 그림11에 表示한다.

Table 5. Obtained data using beam path

unit : mm (45° angle probe)

| specimen number | flaw | detecting surface | l_2 | h_u | h_r | error $ h_r - h_u $ | $\epsilon(\%)$ |
|-----------------|------|-------------------|-------|-------|-------|---------------------|----------------|
| 1 | A | 2 | 32 | 13.8 | 13 | 0.8 | 6.2 |
| | | 4 | 44 | | | | |
| 1 | B | 1 | 32 | 9 | 14 | 5 | 35.7 |
| | | 3 | 36 | | | | |
| 1 | C | 1 | 30 | 10 | 14 | 4 | 28.6 |
| | | 3 | 40 | | | | |
| 2 | A | 1 | 46 | 10.2 | 7 | 3.2 | 45.7 |
| | | 3 | 34 | | | | |
| 2 | B | 1 | 44 | 7 | 9 | 2 | 22.2 |
| | | 3 | 32 | | | | |
| 2 | C | 1 | 46 | 14 | 16 | 2 | 12.5 |
| | | 3 | 40 | | | | |
| 3 | A | 2 | 44 | 12.5 | 14 | 1.5 | 10.7 |
| | | 4 | 40 | | | | |
| 3 | B | 2 | 44 | 10.2 | 9 | 1.2 | 13.3 |
| | | 4 | 36 | | | | |
| 3 | C | 2 | 42 | 9 | 7 | 2 | 28.6 |
| | | 4 | 36 | | | | |
| mean value | | | | | | | 22.6 |

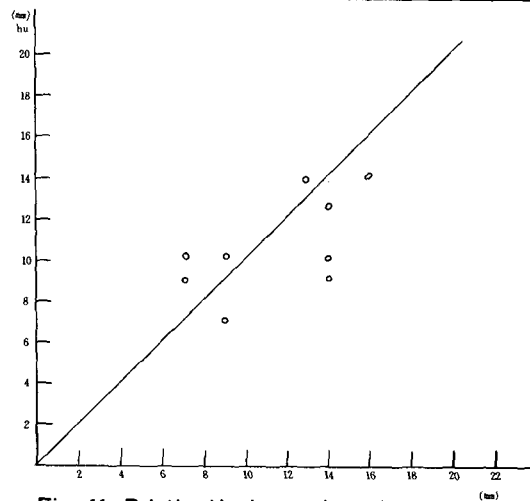


Fig. 11 Relationship between h_r and h_u .
(using beam path, 45° angle probe)

5. 結論

傾斜角探觸子の有効비임의 角度를 고려하여 測定한 結果를 報告하면 다음과 같다.

Table 2. Obtained data (70° angle probe)

unit : mm

| a | l_1 | $\theta_1 (^\circ)$ | $\theta_0 - \theta_1 (^\circ)$ | a | l_2 | $\theta_2 (^\circ)$ | $\theta_2 - \theta_0 (^\circ)$ |
|------------|-------|---------------------|--------------------------------|------------|-------|---------------------|--------------------------------|
| 19 | 44 | 66.7 | 5.3 | 15 | 60 | 75.5 | 3.5 |
| 29 | 72 | 66.3 | 5.7 | 30 | 132 | 76.9 | 4.9 |
| 39 | 96 | 66 | 6 | 40 | 204 | 78.9 | 6.7 |
| mean value | | | 5.5 | mean value | | | 5 |

人工缺陷을 挿入한 試驗片을 探傷하여 얻은 결과가 表3, 4, 5에 記錄되어 있다. 이때 實際의缺陷 높이 h_r 은 試驗片의 熔接部를 기계톱으로 절단하고 이 절단면을 세이퍼로 깎아 눈금자로 測定한 값이며 사진 3은 人工缺陷을 다타낸다.

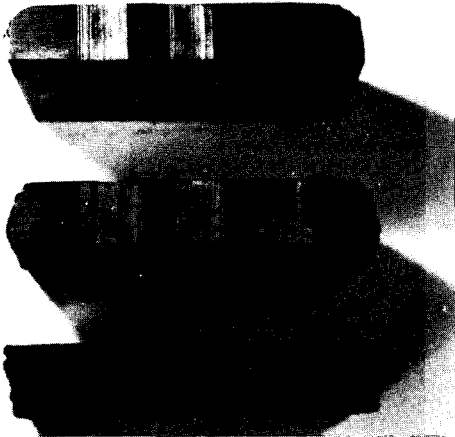


Photo. 3 Artificial flaw

缺陷의 실제 길이를 測定해본 結果 人工缺陷을 挿入할때의 높이 즉 丸棒의 길이보다 1~2mm 짧게 나타났으며 이는 丸棒의 구멍을 熔接하여 막을때 發生된 것이라고 생각된다. 또 人工缺陷을 挿入할때의 의도와는 달리 사진 3과 같이 몇개의 缺陷이 熔接線 방향으로 조금씩 기울어져 있으나 熔接線에 수직인 方向에 대해서는 比較의 기울어지지 않고 精確히 位置하여 있으며 實際의 缺陷높이 h_r 을 板두께 方向의 길이의 測定값으로 취했기 때문에 人工缺陷의 정도에 대한 영향은 無視될수 있다고 생각된다. 表3은 70° 傾斜角探觸子를 使用하여 方法1에 의해 얻은 結果를 나타낸다.

Table 3. Obtained data using probe distance

unit : mm (70° angle probe)

| specimen number | detecting surface | flaw | Y'_{mix} | Y_{max} | h_u | h_r | error $h_u - h_r$ | $\epsilon (\%)$ |
|-----------------|-------------------|------|------------|-----------|-------|-------|-------------------|-----------------|
| 1 | 3 | A | 20 | 98 | 11.3 | 13 | 1.7 | 13.1 |
| 1 | 3 | B | 22 | 98 | 13.1 | 14 | 0.9 | 6.4 |
| 1 | 3 | C | 25 | 106 | 13.6 | 14 | 0.4 | 2.9 |
| 2 | 1 | A | 38 | 107 | 8.2 | 7 | 1.2 | 17.1 |
| 2 | 3 | A | 37 | 96 | 6.1 | 7 | 0.9 | 12.9 |
| 2 | 1 | B | 39 | 114 | 9.4 | 9 | 0.4 | 4.4 |
| 2 | 3 | B | 13 | 74 | 11.4 | 9 | 2.4 | 26.7 |
| 2 | 2 | C | 45 | 133 | 11.2 | 16 | 4.8 | 30 |
| 2 | 3 | C | 17 | 93 | 14.1 | 16 | 1.9 | 11.9 |
| 3 | 2 | A | 33 | 109 | 10.8 | 14 | 3.2 | 22.9 |
| 3 | 3 | A | 21 | 106 | 15.4 | 14 | 1.4 | 10 |
| 3 | 2 | B | 42 | 107 | 6.8 | 9 | 2.2 | 24.4 |
| 3 | 1 | C | 35 | 97 | 7.2 | 7 | 0.2 | 2.9 |
| mean value | | | | | | | | 14.3 |

그림 9는 表3의 結果를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 9 및 그림 10에서 記號 ●, ×, ▲, 는 各各 1面, 2面, 3面の 探傷을 표시한다.

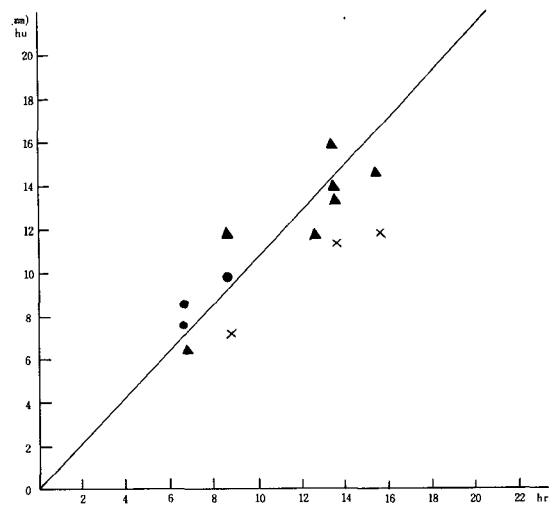


Fig. 9 Relationship between h_r and h_u (using probe distance, 70° angle probe)

表4는 70° 傾斜角探觸子를 使用하여 方法2에 의해 얻은 結果를 나타낸다.

1. 70° 傾斜角探觸子の 경우 探觸子距離에 의하여 測定한 결과 誤差의 백분률의 平均값 14.3%, 비임路程에 의하여 測定한 결과 誤差의 백분률의 平均값 18.9%를 얻었으며 方法1과 方法2의 誤差는 5% 미만으로 僅少하다.

2. 70° 傾斜角探觸子로 完全한 走査그래프를 얻을 수 없는 경우 즉 熔接線에 수직한 方向으로 探傷面의 길이가 비교적 짧을때 45° 探觸子를 사용하여 方法2의 兩侧面 探傷에 의해 20%정도의 誤差内로써 缺陷의 높이를 測定 할 수 있다.

3. 本方法을 다른方法과 比較檢討할 必要가 있다고 생각되며 自然缺陷에 가까운 人工缺陷을 갖는 試驗片의 제작에 관한 研究가 必要하다.

(參 考 文 獻)

1) Whaley, H.L., Adler, L.; Flaw Characterization by Ultrasonic frequency analysis, Material Evaluation, 29-8 (1971) 181~188, 192
 2) 石井勇五郎, 富士岳; 熔接部の内部欠陥と非破壊 試驗像とその 實態との相關性 非破壊檢査 21-2 (1971), 65~85
 3) 石井, 藤盛; 超音波斜角探傷試驗による熔接缺

陷高さの測定方法概論, 非破壊檢査, 25-5 (1977), 324~330.

4) Silk, M.G., Lidington, B.H; Defect Sizing using an ultrasonic time delay approach, Brit. J. of NDT, March 1975, 33~36

5) DiGiacomo, G, Crisci, J.R, Goldspiel, S; An Ultrasonic method for measuring crack depth in structural Weldments, Material Evaluation 28-9 (1970) 189-193, 204

6) 小野澤元久, 石井勇五郎; 超音波探傷による 缺陷高さの 測定實驗, 非破壊檢査, 第26卷 第5號, 昭和52年, 324~330

7) 非破壊試驗概論A, 日本非破壊檢査協會 1975, 45~50

8) Peter N.T. Wells, Physical Principle of Ultrasonic diagnosis, Academic Press London and New York, 1969, 28~33

9) 한국공업규격 KSB0817-1977 부속서 5. 경사각탐촉자의 성능측정 방법.

10) 한국공업규격 KBS0896~1977 부속서 2. 경사각탐촉자의 주사방법.