

# 스테인레스鋼 熔接部の 超音波減衰 및 거짓信號에 관한 研究

姜 錫 哲, 李 然 匹

韓國에너지研究所

〈1983年 6月 17日 接受〉

## Study on the ultrasonic attenuation and false indications of austenitic stainless steel Steel weldment.

Suk-Chull Kang and Yun-Peel Lee Korea Advanced Energy Research Institute

### ABSTRACT

Some studies have been made on the effects of the attenuation on the result of ultrasonic examination of austenitic stainless steel weldment and also on the cause of false indications. The differences in the amplitudes and the metal paths of the ultrasonic examinations have been measured experimentally, for two kinds of waves, one passed through only the parent material and the other one through the weldment. The effect of probe angles and frequency on the examination data have been investigated using the shear wave. It has been found that the false indications were caused by back reflection from the weld metal surface due to the characteristics of ultrasonic wave propagation.

It has been confirmed that the probe of 2.25 MHz and 60° is the best choice in the ultrasonic examination and that the correction of amplitude for attenuations is necessary.

### 1. 序 論

일반 炭素鋼의 熔接部에서는 열구배에 따라 성장한 結晶粒子가 相變態點 즉 910 °C 부근에서 FCC결정구조가 BCC결정구조로 바뀌면서 方向性이 있는 오스테나이트組織은 再結晶을 일으킬 때 方向性이 없는 펄라이트組織으로 바뀐다. 그러나 오스테나이트계 스테인레스鋼의 熔接組織은 용접 비드에서 最大 熱勾配 ( thermal gradients ) 를 따라 성장한 柱狀晶組織이 常溫에서도 그대로 남게 된다. 이들 結晶粒子는 대개 結晶學方向 <100> 에

나란한 方向의 軸을 갖게 되고 이 柱狀晶組織이 超音波探傷을 어렵게 만드는 要因이 된다. 즉, 雜音 ( spurious signal ) 을 높게 만들고 減衰가 심할 뿐만 아니라 超音波速度가 柱狀晶組織의 方向에 따라 싸인 ( sine ) 曲線의 變化가 있기 때문이다. 熔接되었거나 鑄造된 오스테나이트계 스테인레스鋼에서는 縱波의 速度는 結晶學方向 <111> 에서 가장 빠르고, 結晶學方向 <100> 에서 가장 느리며, X-선 회절법에 의해 <100> 方向과 結晶粒子의 성장방향과 거의 나란한 것으로 알려져 있고, 橫波일 때는 그와 반대이다. 1) 2) 3) 또 熔接部の 柱狀晶組織은

超音波빔을 집중 혹은 퍼짐현상이 일어나게 만든다. 이 현상도 종파 혹은 橫波의 進行方向에 따라 싸인 曲線의 變化가 있다. 3)

오스테나이트계 스테인레스강의 超音波探傷時에 發生되는 問題點을 分析하기 위해 原子力發電所의 配管材料로 쓰이는 스테인레스강중 가장 많이 使用되는 Type 304 오스테나이트계 스테인레스鋼을 選擇하여, 그 熔接部의 熱影響部에 人工缺陷(notch)을 만들어, 超音波가 熔接部를 통과할때 생기는 減衰(attenuation)의 影響과 熔接部 組織의 特性으로 인한 거짓缺陷指示(false indication)의 原因을 分析하였다.

## 2. 實 驗

### 2.1 實驗裝備

이 實驗에 使用된 裝備는 다음과 같다.

- 超音波探傷器 : Sonic Mark I  
(S/N : 06243 E)
- STB - A1 block
- STB - G block
- 스테인레스 Type 304 half-round block
- 放射線透過探傷器 : Rigaku 250 - EG
- 金屬光學顯微鏡
- Palaroil Camera
- 超音波探觸子 :

Brand	S/N	Size	Freq- uency (MHz)	Angle
Sonic	S790768	0.5"×0.5"	2.25	45°, 60° 70°用 wedge使用
Sonic	S791224	0.5"×0.5"	5.0	"
Sonic	00180 T	0.5"×1.0"	1.0	"
Sonic	S782403	0.5"×1.0"	2.25	"
Sonic	O7243 T	0.5" D	5.0	0°
Sonic	S773760	7/8" D	5.0	0°
Tokyo Keiki	1407	10×10 mm	5.0	45°
"	1736	"	5.0	60°
"	1100	"	5.0	70°
Kraut- krämer	53475	8×9 mm	4.0	45°
"	53476	"	4.0	60°

### 2.2 實驗節次

오스테나이트계 스테인레스鋼인 Type 304의 두께 30 mm인 압연판을 切斷하여 接合部의 모양을 V-홈과 이중 V-홈 두가지로 하여 맞대기 熔接을 하였다. 熔接方法은 두가지 모두 flat position(1G), sheilded metal arc welding 으로 AWS E-308-16의 熔接棒을 使用하였다. 熔接後 reinforcement를 grinding하고 放射線透過試驗을 하여 缺陷이 없는 부분을 택하여, 이중 V-홈 熔接은 25×40×200 mm 3개, V-홈 熔接은 20×40×200 mm 2개의 試片으로 表面거칠기를 똑같이 加工하였다. 이중 V-홈 熔接試片 3개중 Specimen A는 그대로, Specimen B는 熱影響部에 폭 4 mm, 깊이 1 mm의 flat notch를 만들어 試驗하고, 다시 깊이 2 mm, 3 mm로 加工하여 각각 試驗하였으며, Specimen C는 熱影響部에 깊이 3 mm의 60° notch를 만들었다. V-홈 熔接試片 2개중 Specimen D는 그대로, Specimen E는 두께의 10%인 깊이 2 mm, 폭 1.5 mm의 flat notch를 만들었다.

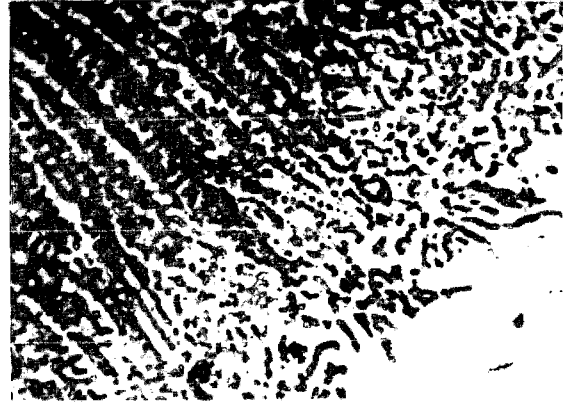
實驗의 精確성을 기하기 위해 ASME Section XI에 따라 試驗前 每日 screen height linearity 및 amplitude control linearity에 따라 校正하여 要求 內임을 확인하였고, KS-B-0817에 따라 시간축 직선성을 측정한 結果 0.6%로 양호하였고, 實驗中 Gain값이 변하지 않음을 확인했다. 또한 探觸子の 入射點 및 屈折角을 측정하여 Type 304 스테인레스鋼의 屈折角으로 환산하였다.

熔接部와 母材의 組織을 비교하기 위해 측면을 polishing하여 물 500 ml에 Oxalic acid 50 g을 첨가한 용액에서 전해부식을 시켜 金屬組織을 관찰하였다. (사진 1 참조)

각 試片에 대한 超音波의 注射方向은 그림 1과 같고, 각 探觸子별 metal path 및 gain 값을 구했다.



① 오스테나이트 용접부중심의 현미경조직 (배율  $\times 200$ )



② 오스테나이트 용접부와 모재의 경계면에서의 현미경조직 (배율  $\times 200$ )

사진 1. 熔接試片의 금속현미경 조직

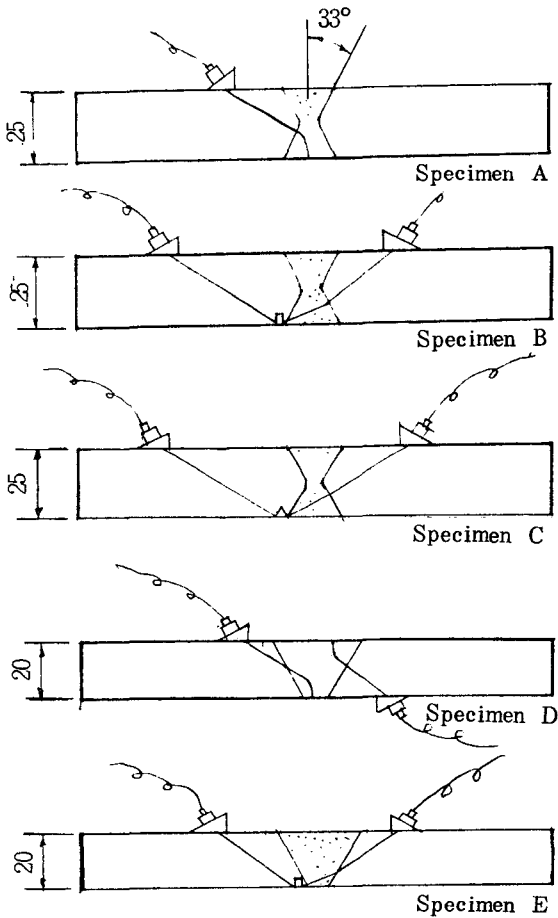


그림 1. 熔接試片의 형상 및 超音波 注射方向

### 2.3 實驗結果

試片의 人工缺陷에 대한 各 探觸子別 metal path 및 gain 값은 表 1, 2, 3 과 같고, gain 값을 graph로 나타낸 것이 그림 2, 3, 4이며, 이들 중에 몇 가지는 사진 2, 3, 4, 5에서 에코의 모양과 metal path를 비교할 수 있다. 이 내용을 요약하면 다음과 같다. (表 1, 2, 3)

1) 超音波의 屈折角이 작을수록 熔接部の 底面에서 생기는 에코의 amplitude가 높아 缺陷으로 오판될 우려가 많다. 母材의 底面에서는 에코가 생기지 않으나 超音波빔이 熔接部に 도달하면 noise보다 amplitude가 훨씬 큰 에코가 생긴다. 또, 이 에코는 母材의 底面に 있는 缺陷의 metal path보다 짧게 나타나므로 内部缺陷으로 생각할 수 있으나, 熔接部の 底面에서 damp가 일어나므로 거짓缺陷임을 確認할 수 있다. 또한 屈折角이 작을 경우 熔接部를 통과한 缺陷에코는 이 底면에 코 때문에 식별이 불가능하거나, 식별이 된다해도 amplitude 차이가 적어 구별이 어렵다. (그림 2, 3 및 사진 2 참조)

2) 超音波의 周波數가 높을수록 noise에 비해 底면에코의 amplitude가 높고, 缺陷과 底면에코의 amplitude 차이도 많으나, 超音波가 熔接部를 통과한 때와 母材만 통과한 때의 缺陷에 대한 amplitude 차이가 周波數가 낮을 때보다 훨씬 크므로 周波數가 높을수록 熔接部에 대한 減衰의 影響이 크다. (그림 2, 3 및 사진 3 참조)

< 표 1 > 두께 25 mm 이 중 V-홈 熔接試片의 探觸子별 路程 (단위 : mm) 및 Gain 값 ( 輻호속숫자 단위 : DB ) - 1

인공결합의 구분	탐촉자크기		0.5"×0.5"						0.5"×1.0"					
	탐촉자주파수		5 MHz			2.25 MHz			2.25 MHz			1 MHz		
	공칭입사각		45°	60°	70°	45°	60°	70°	45°	60°	70°	45°	60°	70°
용접부 저면의 에코	32.0 (87)	43.0 (104)	54.5 (98)	33.0 (75)	45.5 (88)	52.5 (86)	34.5 (77)	45.5 (87)	56.0 (90)	34.5 (64)	38.0 (70)	*		
용접부를 통과한 1 mm flat notch의 에코	*	*	*	35.5 (75)	49.5 (83)	59.5 (87)	38.0 (75)	51.0 (84)	66.0 (90)	35.5 (65)	54.5 (67)	73.5 (75)		
모재만을 통과한 1 mm flat notch의 에코	34.5 (75)	47.0 (98)	57.0 (96)	35.5 (61)	48.5 (78)	58.5 (84)	35.5 (84)	48.5 (77)	58.5 (82)	35.5 (60)	48.5 (63)	61.0 (72)		
용접부를 통과한 2 mm flat notch의 에코	*	*	*	37.0 (75)	49.5 (80)	51.0 (81)	37.0 (70)	48.5 (77)	61.0 (81)	38.0 (63)	51.0 (66)	73.5 (74)		
모재만을 통과한 2 mm flat notch의 에코	34.5 (67)	45.5 (84)	61.0 (86)	35.5 (59)	47.0 (76)	63.5 (81)	35.5 (57)	47.0 (69)	63.5 (77)	35.5 (54)	45.5 (66)	*		
용접부를 통과한 3 mm flat notch의 에코	*	45.5 (101)	*	35.5 (72)	47.0 (79)	58.5 (80)	37.0 (70)	47.0 (77)	58.5 (83)	38.0 (61)	51.0 (66)	73.5 (71)		
모재만을 통과한 3 mm flat notch의 에코	33.0 (64)	47.0 (80)	58.5 (82)	34.5 (57)	47.0 (74)	63.5 (77)	35.5 (55)	45.5 (68)	67.5 (74)	35.5 (54)	45.5 (65)	*		
용접부를 통과한 3 mm 60° notch의 에코	*	44.5 (92)	*	35.5 (75)	48.5 (73)	53.5 (70)	33.0 (72)	45.5 (73)	56.0 (73)	33.0 (61)	43.0 (66)	66.0 (63)		
모재만을 통과한 3 mm 60° notch의 에코	35.5 (71)	45.5 (71)	48.5 (81)	35.5 (62)	45.5 (62)	51.0 (69)	35.5 (62)	44.5 (63)	57.0 (69)	35.5 (64)	43.0 (60)	56.0 (66)		

\* 표시는 잡음 혹은 저면에코 때문에 결함에 대한 에코를 구별할 수 없는 경우임.  
Gain 값이 높을수록 Amplitude 가 낮음.

< 표 2 > 두께 25 mm 이 중 V-홈 熔接試片의 探觸子별 路程 (단위 : mm) 및 Gain 값 ( 輻호속숫자 단위 : DB ) - 2

인공결합의 구분	탐촉자크기 및 주파수		8×9 mm		10×10 mm 5 MHz		
	공칭입사각		45°	60°	45°	60°	70°
용접부 저면의 에코	34.5 (64)	45.5 (84)	34.5 (81)	42.0 (90)	*		
용접부를 통과한 1 mm flat notch의 에코	*	*	*	*	*		
모재만을	35.5 (54)	47.0 (78)	37.0 (68)	44.5 (81)	63.5 (95)		
용접부를 통과한 2 mm flat notch의 에코	*	*	*	*	*		
모재만을	35.5 (48)	47.0 (68)	35.5 (62)	45.5 (76)	62.0 (89)		
용접부를 통과한 3 mm flat notch의 에코	*	*	*	*	*		
모재만을	34.5 (47)	47.0 (64)	34.5 (61)	44.5 (71)	62.0 (86)		
용접부를 통과한 3 mm 60° notch의 에코	*	*	*	*	*		
모재만을	35.5 (53)	43.0 (51)	35.5 (69)	44.5 (62)	61.0 (86)		

\* 표시는 잡음 혹은 저면에코 때문에 결함에 대한 에코를 구별할 수 없는 경우임.  
Gain 값이 높을수록 Amplitude 가 낮음.

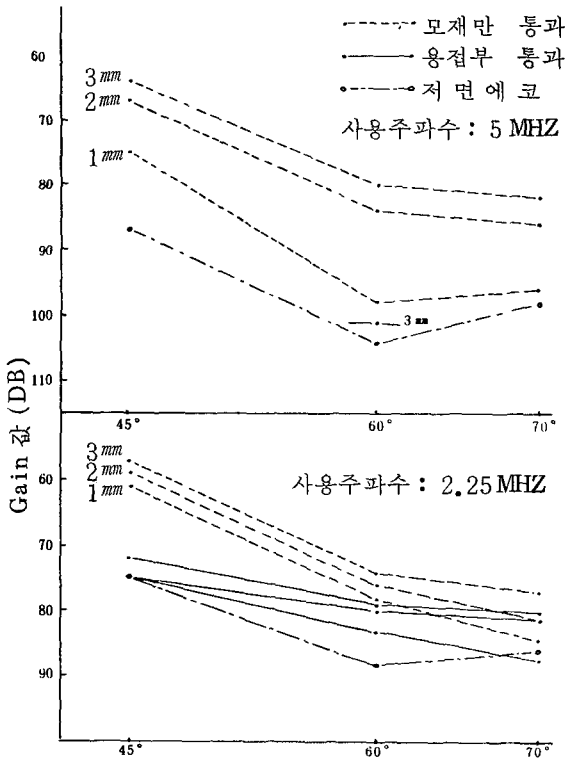


그림 2. 0.5" × 0.5" 探觸子일때 屈折角度 別 人工缺陷에 대한 感度比較

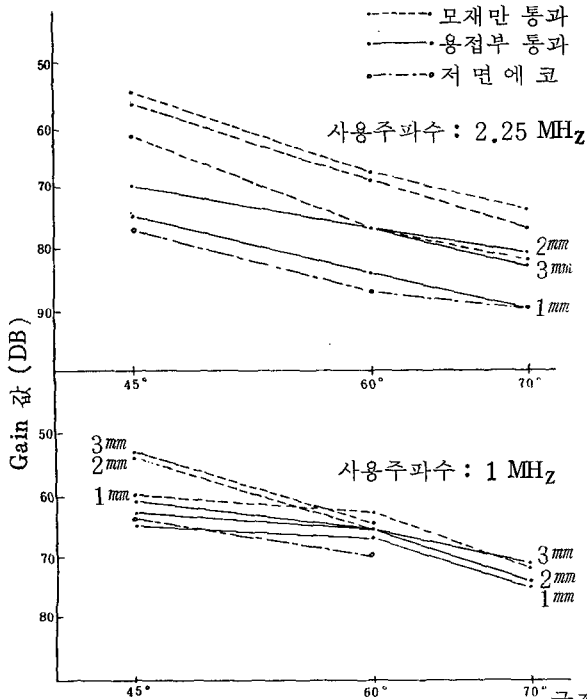
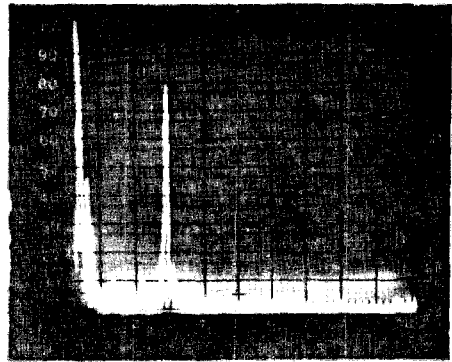
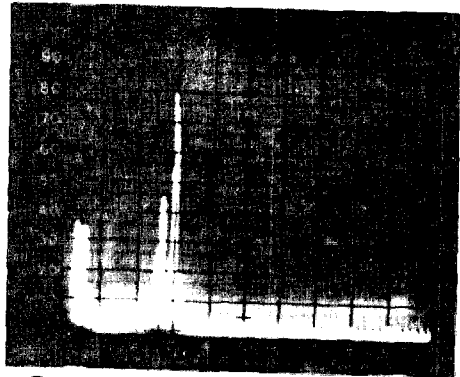


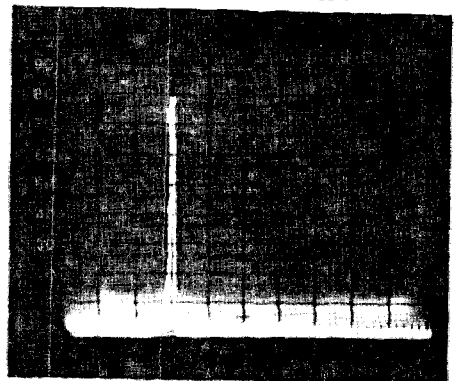
그림 3. 0.5" × 1.0" 探觸子일때 屈折角度 別 人工缺陷에 대한 感度比較



① 용접부저면의 에코  
Gain = 75 DB  
Screen distance = 125 mm



② 용접부를 통과한 1mm flatnotch의 에코  
Gain = 75 DB  
Screen distance = 125 mm



③ 모재만을 통과한 1mm flatnotch의 에코  
Gain = 61 DB  
Screen distance = 125 mm

사진 2. 1/2 skip 위치에서 0.5" × 0.5", 2.25 MHz, 45° 探觸子를 사용한 25mm 이중 V-홈 熔接試片의 超音波畫面의 比較 (용접부 저면의 에코와 용접부를 통과한 1mm flat notch의 에코와 amplitude가 같기 때문에 실제 超音波 탐상에서는 구별이 불가능하다)

〈표 3〉 두께 20 mm V 홈 용접시험편의 탐촉자별路程 (단위: mm) 및 Gain값 (괄호속숫자 단위: DB)

탐촉자크기, 주파수, 각도	Crown에서 root로 주사할때의 저면 에코	root에서 crown으로 주사할때의 저면 에코	용접부를 통과할 2mm flat notch의 에코	모재만 통과한 2mm flat notch의 에코
10 × 10mm, 5 MHz, 45°	25.5(74)	26.5(74)	*	28.0(54)
" 60°	24.5(79)		*	35.5(66)
" 70°	*		*	48.5(77)
8 × 9mm, 4 MHz, 45°	26.5(64)	26.5(61)	*	28.0(39)
" 60°	32.0(71)	34.5(71)	*	35.5(55)
0.5" × 0.5", 5 MHz, 45°	26.5(84)	26.5(81)	*	28.0(60)
" 60°	37.0(93)	35.5(92)	*	38.0(77)
" 70°	*	38.0(90)	*	45.5(80)
0.5" × 0.5", 2.25 MHz 45°	28.0(76)	26.5(73)	*	29.0(55)
" 60°	38.0(85)	37.0(85)	40.5(81)	38.0(72)
" 70°	45.5(87)	48.5(86)	*	53.5(77)
0.5" × 1.0", 2.25 MHz 45°	26.5(71)	25.5(74)	*	28.0(52)
" 60°	33.0(82)	32.0(80)	40.5(79)	35.5(65)
" 70°	52.5(84)	52.5(85)	57.0(83)	56.0(69)
0.5" × 1.0", 1 MHz 45°	23.0(63)	28.0(64)	23.0(59)	28.0(51)
" 60°	*	35.5(70)	37.0(72)	35.5(64)
" 70°	*	*	48.5(75)	45.5(68)

\* 표시는 잡음 혹은 저면 에코 때문에 결합에 대한 에코를 구별할 수 없는 경우임.

Gain값이 높을수록 Amplitude가 낮음.

3) ASME Section V에 따라 製作한 calibration block을 사용하여 용접부를 超音波探傷時 周波數가 낮거나 屈折角이 클수록 유리하나, 1 MHz, 70°의 경우 beam spread 현상때문에 정확한 metal path를 알기 어렵고, 缺陷의 크기와 에코 amplitude와의 비례성이 없다.

4) 超音波빔이 용접부를 통과하여 熱影響部(HAZ)에 있는 缺陷을 探知할 때는 용접부의 경계면에서 屈折이 일어나고 母材와 용접부의 超音波速度차이 때문에 metal path가 변한다. 대개 용접부 통과시 metal path가 길어진다. (사진 2, 3, 4, 5 참조)

5) 같은 깊이(3mm)의 缺陷인, flat notch와 60° notch의 경우는 60°와 70°探觸子일 때

感도가 좋으나, flat notch의 경우는 45°探觸子일 때 感도가 좋다. (그림 4 참조)

6) 探觸子の 크기가 작을 경우는 beam spread 현상 때문에 용접부 반대편의 缺陷探知가 어렵고, 크기가 클 경우, 직진성이 강하여 유리하다. 그러나 探觸子の 크기가 클 경우는 near field가 길어지므로 試驗體의 두께에 따라 決定되어야 한다.

### 3. 結 論

3.1 周波數가 낮을수록 용접부에 대한 減衰의 影響이 적어 좋으나, signal to noise ratio가 적고 感도가 낮은 問題點이 있으며, 屈折角이

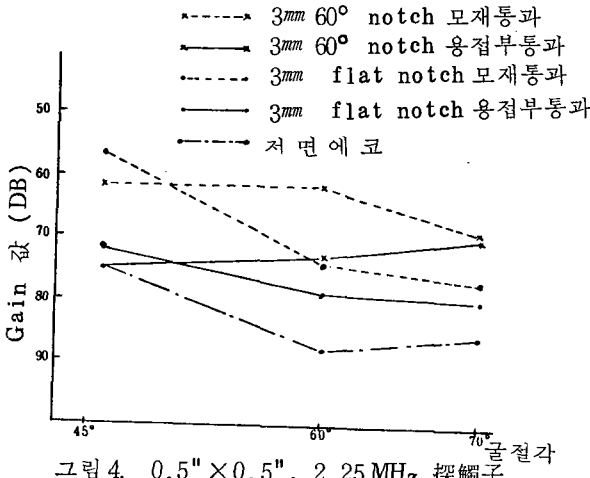


그림 4. 0.5" × 0.5", 2.25 MHz 探觸子 일때 flat notch 와 60° notch 의 感度比較

클수록 熔接部에 대한 感度차이가 적고 거짓 缺陷 指示의 發生이 적으나 metal path가 不正確하다 는 問題點이 있음이 再確認되었다. 周波數가 2.25 MAz이며 屈折角은 60°일 때가 가장 適合하였으나, 다른 周波數 및 屈折角을 함께 使用하여 缺陷을 評價하는 것이 바람직하다.

3.2 熔接部の 柱狀晶組織으로 인하여 熔接部底面에서 거짓缺陷指示가 發生하며, 그 原因은 柱狀晶組織이 wave guide 와 같은 역할을 하기 때문인 것으로 판단되었다.

3.3 이 實驗에서는 人工缺陷을 使用하였으나, 自然缺陷에 대한 定量的인 實驗分析을 통하여 더욱 信賴性있는 Austenite계 Stainless 鋼의 超音波探傷試驗에 대한 基準化가 이루어져야 하겠다.

### 參 考 文 獻

- 1) J.R. Tomlinson, A.R. Wagg and M.J. Whittle, "Ultrasonic inspection of austenitic weld," British Journal of NDT, Vol. 22, pp. 119 - 127 (1980)
- 2) B.L. Baikie, A.R. Wagg, M.J. Whittle and D. Yapp, "Ultrasonic inspection of austenitic weld," Journal of British Nuclear Energy Society, No. 3, pp. 257 - 261(1976)
- 3) S.A. Bush, "Reliability of Nondestructive Examination," Nuclear Power Educational Seminar at Southwest Research Institute, No. 28 (1981)
- 4) S.I. Ibrahim, P.A. Kapranos and V.N. Whitter "Ultrasonic inspection of fatigue cracks in the HAZ of austenitic weldments, using shear wave probes", British Journal of NDT, No. 3, pp. 65 - 74 (1980)
- 5) P.A. Kapranos and V.N. Whittaker "Ultrasonic inspection of fatigue cracks in austenitic 316 and 347 weldments," British Journal of NDT, No. 5 pp. 129 - 134 (1982)
- 6) X. Edelmann, "The practical application of ultrasonic testing of austenitic weld joints," Material Evaluation, Vol. 37, pp. 47 - 51 (1979)
- 7) H. Honeyama, S. Shibata and M. Kishigami, "Ultrasonic testing of austenitic stainless steel welds", NDT International, Vol. 11, pp. 3-8 (1978).