

초음파를 이용한 Austenitic Stainless Steel 용접부의 결함검출에 관한 기초적 연구

박문호 · 박광희 · 서동만 · 윤광식

(한국에너지연구소 비파괴시험연구실)

A Basic Study on the Defect Detectability of Austenitic Stainless Steel Weldments using Ultrasonic Testing

M. H. Park, K. H. Park and D. M. Seo, K. S. Yoon

Abstract This paper presents the ultrasonic characteristics of weldment and detectability of defects of weldment in Austenitic Stainless Steel Type 304 that is composed of mostly coolant piping system in nuclear power plants.

The results of this experient show as follows :

1. When the ultrasonic beam detects the defects on the side of base metal and on the opposite side of weldment, the indications which was detected on the screen show different amplitude and different metal path each.
2. The ultrasonically estimated notch depth is generally oversized than actual notch depth.
3. It is easy for the false indication to show up on the screen because of columnar structure of weldment in austenitic stainless steel.
4. The higher frequencies of transducer have more difficulties to detect the defects of the opposite side of weldment because of ultrasonic attenuation in weldment and the longitudinal transmitter-receiver transducer is the most effective in detecting the opposite side defects of weldment.

I. 서 론

국내의 원자로발전소의 안전성 확보를 위한 일환으로 원자로발전소의 가동전 검사(Preservice Inspection : PSI) 및 가동중검사(Inservice Inspection : ISI)의 중요성은 날로 증가해 가며, 이들 검사의 기간단축, 신속한 데이터 처리 및 결함분석의 중요성은 날로 증가되고 있는 실정이다.

이와같이 원자로발전소의 주요계통 및 원자로 압력용기, 가압기, 증기발생기 및 이것들과 연결된 배관계통에서의 결함발생은 이들 각각의 사용목적에 치명적인 손상을 입힐 것이다.

특히 이들중 원자로 냉각계통 배관들은 오스테나이트계 스테인레스강으로 되어있어서 탄소강 등 페라이트(ferrite)계에 적용되고 있는 초음파탐상방법으로는 초음파의 감쇄가 크고, 임상 Echo가 많이 나타나므로

이들 재질의 용접부 결합 등을 검출한다는 것은 오래 전부터 어려움¹⁾이 많은 것으로 알려져 왔다.

이러한 오스테나이트계 스테인레스강 탐상에 관하여 최근 DAVIS, Kupperman과 DARL J. Reimann²⁾은 오스테나이트계 스테인레스강 용접부의 초음파 진전 및 이방성에 대하여 실험 및 이론을 규명하였고, J. R. Tomlison, A. R. Wagg 및 M. J. Whittle³⁾은 종파의 이용 및 Butt Weld 용접부의 형상을 변경하므로써 결합검출은 더욱더 손쉽게 할 수 있다는 연구와 H. Yoneyama, S. Shibata 및 M. Kishigami⁴⁾는 Transmitter-Receiver 형의 종파 경사각 탐촉자를 이용한 용접부의 결합검출에 관한 연구 등이 활발히 진행되어 상당한 진전을 이룩하였다.

초음파가 용접부를 통과할 때 초음파 감쇠현상⁵⁾ 및 용접부의 주상정 조직으로 인한 초음파 진행에 많은 변화를 주어 거짓 결합지시⁶⁾(False Indication) 등을 나타내어 이것에 대한 원인분석이 필요하였다.

본 연구는 오스테나이트계 스테인레스강 Type 304⁷⁾ 용접부의 인공결합인 Notch 및 Side Drill Hole에 대한 초음파를 이용한 결합의 검출능력을 초음파, 주파수, 탐촉자 크기, 형태 및 각도별로 비교 검토하였고, 용접부 조직에 의한 초음파 특성⁸⁾의 변화를 분석하였다.

II. 본 론

1. 용접부의 조직 및 성질

1-1. 용접부의 일반적인 성질

용접부의 조직은 Gas 용접과 Arc 용접에서 상당히 다르며, 모재의 종류, 전극봉 및 용접봉의 종류, 작업 조건에 따라서도 상당히 복잡하다.

일반적으로 용접부의 조직을 Fig. 2-1에서 관찰해 보면 다음과 같다. 여기서 A는 용착금속부로서 전극봉이나 용접봉이 용융하여 퇴적한 부분, B는 용합부로서 모재가 용융하여 용착금속과 용합하고 있는 부분 C는 변질부로서 용접열에 의하여 모재조직이 변화한 부분이며, D는 원질부로서 용접에 의하여 변화를 받지 않는 부분이다. 따라서 A·B부분이 협의의 용접부이다. A중에서도 공기에 접하는 부분과 B에 접

하는 부분 및 그 중간부분에서도 조직이 다르며, A중 B에 접하는 부분 및 B부분은 용접열이 급격히 모재측에 흡수되는 결과로 이 부분은 강에서 담금질 했을 때의 조직과 같은 경향을 보인다.

보통강에서는 경도에 큰 변화가 없으나 고탄소강 또는 특수강에서는 용접후 냉각속도로 Martensite조직이 출현¹⁰⁾하므로 용합부 및 변질부의 경도는 현저히 높아진다.

이와같이 변질부내의 경도의 극대부분의 출현은 변형에 대한 변형능이 적어지므로 이 부분이 파괴될 우려가 있다.

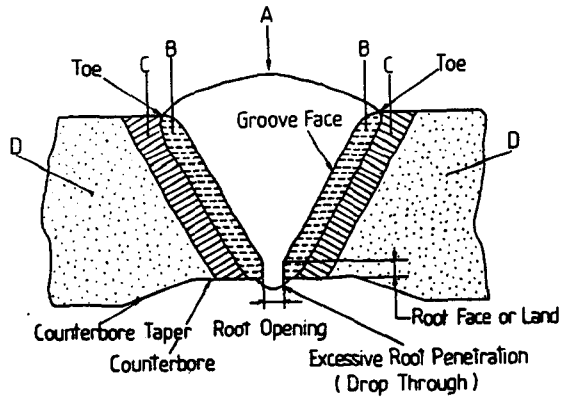


Fig. 2-1. A typical pipe weld cross section configuration.

1-2. 오스테나이트계 스테인레스강의 조직에 대한 초음파의 특성

1-2-1. 오스테나이트계 스테인레스강의 조직 및 성질

오스테나이트계 스테인레스강의 모재 및 용접부의 광학현미경 조직은 Photo. 2-1에서 보여주고 있다. 여기서 모재의 조직사진에서는 쌍정(Twin)이 나타난 구조를 볼 수 있고 용접부에서는 <100>의 결정학적 방향으로 성장한 주상정 조직을 볼 수 있다. 이러한 용접조직들은 용접비드에서 최대열구배(Thermal Gradients)를 따라 성장한 주상정 조직이 그대로 유지되기 때문이다. 즉 저합금강(Low Alloy Steel)을 Multipass 용접할 때, 열에 의해 용융되었던 용접금속이

응고되면서 그 위에 새로이 생성되는 용접비드와 함께 응고된다. 용접비드내에는 응고시 조대한 결정립들이 일정한 방위를 가지고 형성되어 이전에 형성된 결정립의 방위와 거의 동등하게 된다. 그리고 일반 페라이트강을 용접할 때에는 용접시 생성된 조대한 결정립들이 냉각시 온도구배에 따른 재결정 과정을 거쳐 Equiaxed Grain의 구조를 갖게된다.

그러나 오스테나이트계 스테인레스강을 용접할 때는 용접시 생성된 조대한 주상정 조직이 냉각시 재결정 과정을 거치지 않고 응고된 상태의 구조로서 상온까지 그대로 유지되기 때문에 전체적으로 축<100>에 평행하여 등온면에 수직한 방열선을 따라 성장한다.

1-2-2. 오스테나이트계 스테인레스강에 있어서 초음파의 특성

오스테나이트계 스테인레스강의 주상정 조직은 단결정이어서 음속과 감쇠의 이방성을 나타내므로 초음파의 진행에 영향을 준다. 이 결정의 방위에 의한 음속의 이방성은 결정립계에서 음향임피던스의 차를 유발한다. 이것이 곧 산란이다. 반사된 성분중에 탐촉자에 돌아온 것이 임상에코이다. 또한 입계에서의 산란반사에 따라 초음파에너지의 일부분이 소실되어 감쇠의 원인이 된다. 오스테나이트계 스테인레스강의 탐상을 가능하게 하기 위하여 결함 Echo를 강조하고 임상 Echo를 억제할 필요가 있다. 즉 이 Signal to Noise비를 향상시키는 것이 탐상을 가능케하는 가장 중요한 조건이다.



(a) Optical microstructure of base metal(x 100)



(b) Optical microstructure of deposited metal (x 100)

Photo.2-1. Optical microstructure of base metal and deposited metal in austenite stainless steel.

2. 실험

2-1. 시험편의 준비

본 실험에서는 오스테나이트계 스테인레스강 용접부의 초음파 탐상시에 발생하는 여러가지 문제점을 규명하고자 원자력 발전소의 배관재료로 널리쓰이고 있는 오스테나이트계 스테인레스강 Type 304인 두께 50mm 압연판을 절단가공하여 40°±4°인 V형 끝벌림 형상으로하여 각각의 시험편을 동일한 용접조건하에서 맞대기 용접을 하였다. 용접방법은 전극으로서 비소모성의 텅스텐봉을 쓰고, 용가재를 별도로 쓰는 TIG 용접¹¹⁾(Tungsten Inert Gas Welding)을 행하였으며, 용접봉으로는 Nikko Yozzi 회사제품인 Wire Rod 19 Cr-9 Ni인 AWSE-308-16을 사용하였다.

용접후 시험편 두께를 44.4mm 되도록 기계가공후 Grinding하여 표면 거칠기를 동일하게 하였으며 염산과 질산의 비율을 3 : 1로 배합한 왕수로¹²⁾ 용접부위를 5~6시간 Etching하여 용접부의 형상을 현저하게 나타내었다.

이것을 Fig. 2-2~2-5와 같이 시험편크기 45mm×90mm×650mm 1개와 45mm×90mm×610mm인 3개와 표면 거칠기가 동일하게 인공결함을 가공하여 실험하였다. 용접시험편 4개 중에서 Fig. 2-2는 초음파

탐상장비화면위에 인공결함에 대한 DAC (Distance Amplitude Correction) 곡선을 작성하기 위하여 모재두께 (T)의 1/4, 2/4, 3/4 위치에 $\phi 3.2\text{mm}$ 드릴구멍 및 4/4T 위치에 폭 3mm, 깊이 1mm의 Notch를 가공하였다.

한편 모재와 용접부의 경계면에는 $\phi 3.2\text{mm}$ 드릴 구멍을 Fig. 2-2~Fig. 2-4와 같이 각각 3/4T, 2/4T, 1/4T 위치에 가공하여 각 탐촉자별 초음파 Beam의 감도, 주사방향 및 특성 등을 살펴보도록 하였다.

Unit; mm

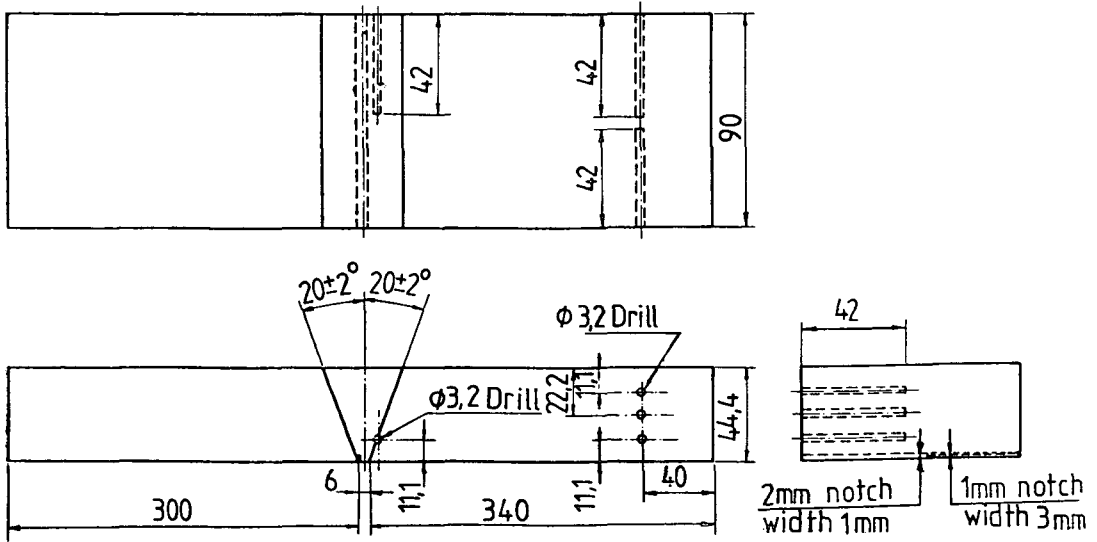


Fig. 2-2. Configuration of ultrasonic test specimen.

Unit; mm

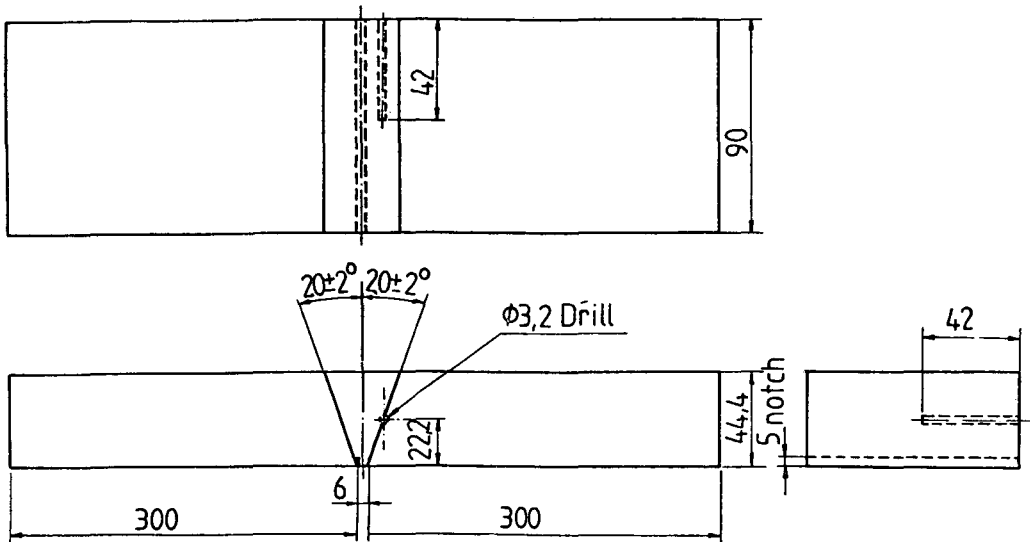


Fig. 2-3. Configuration of ultrasonic test specimen.

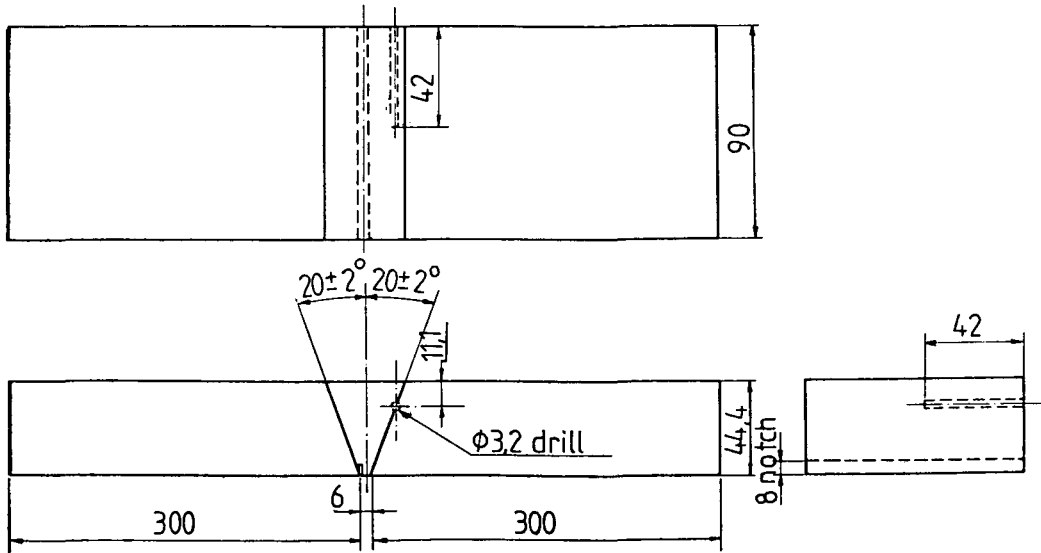


Fig. 2-4. Configuration of ultrasonic test specimen.

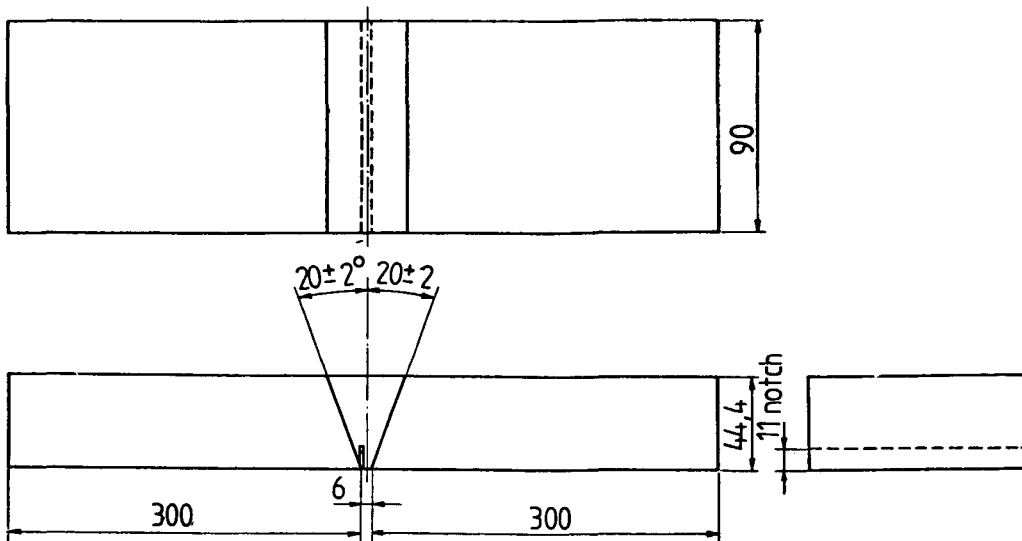


Fig. 2-5. Configuration of ultrasonic test specimen.

한편 시험편 Fig. 2-2~2-5에서는 초음파를 이용하여 측정된 Notch의 크기와 실제가공한 Notch의 크기를 비교검토하기 위하여 Notch의 폭을 1mm로 하고 깊이를 각각 2, 5, 8, 11mm가 되도록 제작 가공하였다.

2-2. 실험장비

본 실험실에서 사용된 장비들은 표2-1에 나타나 있으며, 이들 초음파탐상장치의 Block Diagram은 Fig. 2-6과 같다.

이와같이 그림에서 보는 바와같이 결합신호는 증폭기를 거쳐 신호를 증폭하여 초음파탐상장비화면위에 Fig. 2-6~2-8과 같이 A-scan, B-scan 및 C-scan으로 나타낼 수 있으나 이 실시에서는 A-scan 방법으로 결합에 대한 신호해석을 하였다.

한편 Fig. 2-9는 실험에 사용된 AVS Applied Test Systems, INC. 의 STB-A1 표준 시험편 및 KB-AERO-TECH사의 오스테나이트계 스테인레스강 Type 304로 제작된 DC Test 표준 시험편(Distance Calibration Standard Block)으로 초음파장비의 화면크기를 정하고 탐촉자의 경사각을 측정하여 실험하였다.

1. 초음파 탐상장비

- Sonic Mark 1
- Spectrum Analyzer
- Oscilloscope
- Ultrasonic Transducer Analyzer

2. Standard Reference Block

- 초음파 경사각 탐상용 A1형 표준 시험편(STB-A1)
- DC Test Block(Stainless Steel Type 304)

3. 금속광학현미경

4. Polaroid Camera

5. 초음파 탐촉자

탐촉자크기	주파수(MHz)	검사각도
1/2"×1.0"	1.5	45°, 60°, 70°
1/2"×1.0"	1.25	45°, 60°, 70°
1/2"×1.0"	3.5	45°, 60°, 70°
1/2"×1.0"	5	45°, 60°, 70°
직경 0.5"	1.5	45°, 60°, 70°
직경 0.5"	2.25	45°, 60°, 70°
직경 0.5"	3.5	45°, 60°, 70°
직경 0.5"	5	45°, 60°, 70°
직경 0.5"	2.25	45°, 60°
직경 0.5"	2.25	45°, 60°
1/4"×1/4"	2.25	45° L. T. R

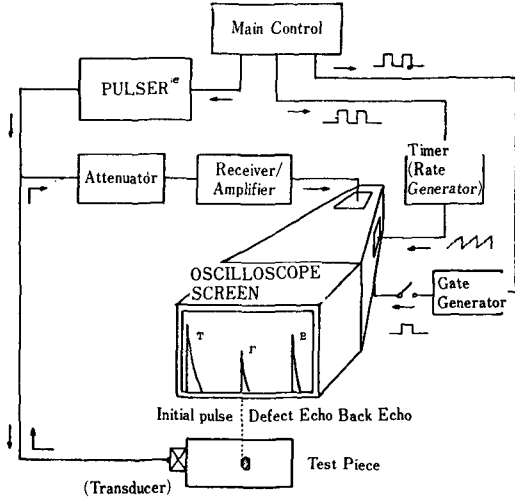


Fig. 2-6. Constitution of ultrasonic instrument.

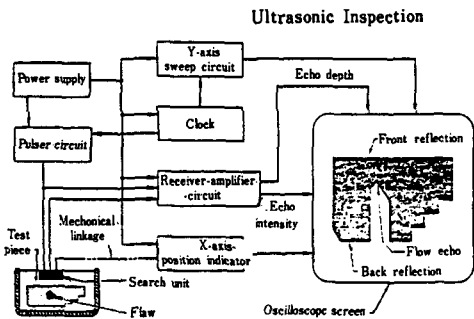


Fig. 2-7. Typical B-scan setup, including video-mode display, for a basic pulse-echo ultrasonic inspection system.

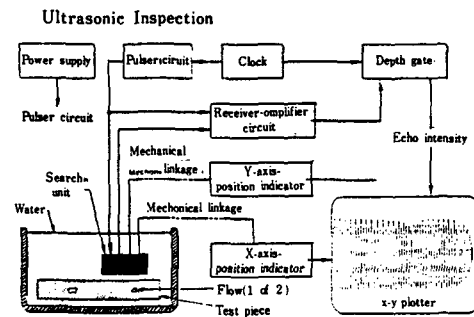
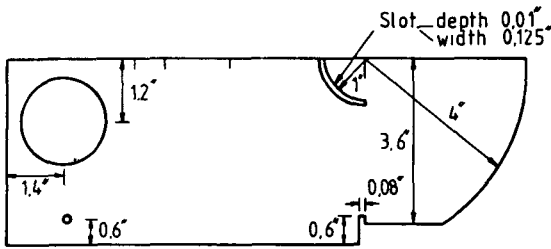
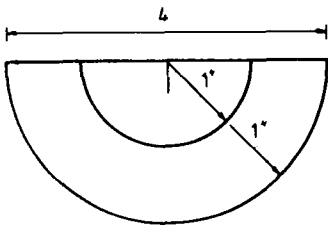


Fig. 2-8. Typical B-scan setup, including video-mode display, for a basic pulse-echo ultrasonic inspection system.



STB-A1 Standard Block (UNIT: INCH)



Distance Calibration Block (UNIT: INCH)

Fig. 2-9. Standard reference block.

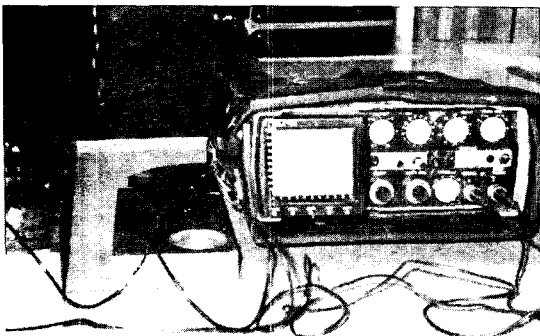


Photo. 2-2. Experimental apparatus.

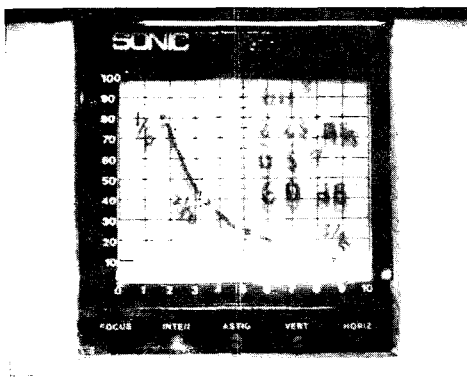


Photo. 2-3. Example of DAC curve.

2-3. 실시방법

먼저 실험의 신뢰성 및 정확성을 기하기 위하여 미국기계학회(The American Society of Mechanical Engineers : ASME) Section XI에 의해 실험 전후 반드시 실험장치 Photo. 2-2에 사용된 초음파 장비의 직진성을 점검하여 ASME Code내의 조건을 만족함을 입증하였다.

이렇게 장비 직진성을 확인한후 Fig. 2-2에서와 같이 시험편 두께 1/4, 2/4, 3/4 위치에 $\phi 3.2\text{mm}$ 의 Side Drill Hole과 4/4T 위치에 1mm 사각 Notch를 100% 결함으로 가정하여 Photo. 2-3과 같이 각 탐촉자별 및 경사각별 DAC(Distance-Amplitude Correction) 곡선을 그린다. 이러한 DAC 곡선을 화면위에 설정한 후 용접부와 모재사이의 경계면에 1/4T, 2/4T 및 3/4T 위치에 $\phi 3.2\text{mm}$ Hole 기계가공한 시험편에서 초음파가 모재만을 통과하여 Hole을 검출한 결함Echo와 용접부를 통과하여 용접부 반대편의 Hole을 검출한 결함Echo의 감도 및 초음파의 출절현상¹³⁾ 등에 대한 특성을 살펴보았다.

한편 Fig. 2-2~2-5에 가공한 Notch에 대하여서도 다음과 같은 경우를 관찰하였다. 즉

1. 모재만을 통과하여 검출한 Notch Echo
2. 용접부를 통과하여 검출한 Notch Echo
3. 용접부 통과시 초음파 비임 굴절현상에 대한 분석
4. 실제가공한 Notch 깊이와 초음파로 측정된 Notch 깊이와의 비교 등에 대한 자료를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2-2~2-4의 시험편 1/4T, 2/4T, 3/4T Hole 인공결함에 대하여 각 탐촉자 형상, 크기 및 굴절각도 45°, 60°, 70°에 대한 초음파의 감도를 초음파 비임이 모재만을 통과하여 결함을 검출한 경우와 용접부를 통과하여 용접부 반대편의 결함을 검출하는 경우를 비교 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

시험편의 2/4T Hole 인공결함 및 3/4T Hole 인공결함에 대하여 탐촉자 직경이 0.5"이고, 주파수가 1.5, 3.5 및 5MHz인 탐촉자로 초음파감도를 비교해 보면

주파수가 낮은 1.5MHz의 탐촉자를 사용하는 것이 주파수가 높은 3.5MHz 및 5MHz 탐촉자를 사용하는 것보다 초음파가 용접부를 통과할 때 감도의 차이가 작다는 것을¹⁶⁾¹⁷⁾ Fig. 2-10 및 Fig. 2-11에 알 수 있다. 이것은 즉 주파수가 낮을수록 용접부를 통과하여 용접부의 반대편 결함을 검출한다는 것이 용접부 통과시 초음파 감쇠현상이 적어서 결함검출이 쉽다는 것을 알 수 있다.

이 그림에서 Gain이 높다는 것은 상대적으로 Amplitude가 낮다는 것을 의미한다.

Fig. 2-12 및 Fig. 2-13에서도 Fig. 2-10과 Fig. 2-11과 같이 주파수가 높을수록 용접부통과시 감쇠 현상이 심하다는 것을 알 수 있다.

한편 Fig. 2-12 및 Fig. 2-13에서 보는 바와 같이 굴절각도 60°의 탐촉자를 사용하면 굴절각도 45° 및 70°보다 낮은 Gain을 나타내므로 2/4T Hole 또는 3/4T Hole에 위치한 결함검출에 대해서는 더욱더 효과적이다. 또한 굴절각도 60°, 주파수 3.5MHz 및 5MHz 탐촉자를 이용하여 용접부를 통과하여 용접부 반대편의 결함을 검출하고자 할 때는 결함검출이 불가능하다.

이것은 굴절각도 70°와 더불어 굴절각도 45°인 탐촉자보다 초음파의 Metal Path가 길어져 감쇠현상이 심하다는 것을 나타낸다.

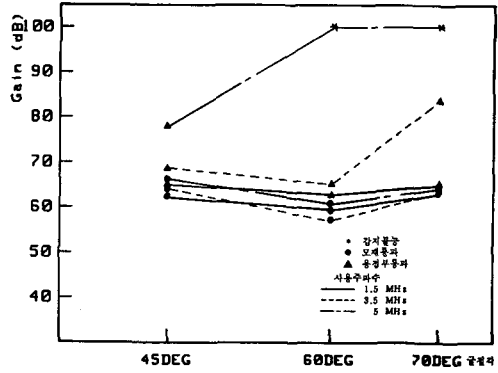


Fig. 2-11. Comparison of gain obtained from 3/4T side drilled hole.(transducer size dia. 1/2")

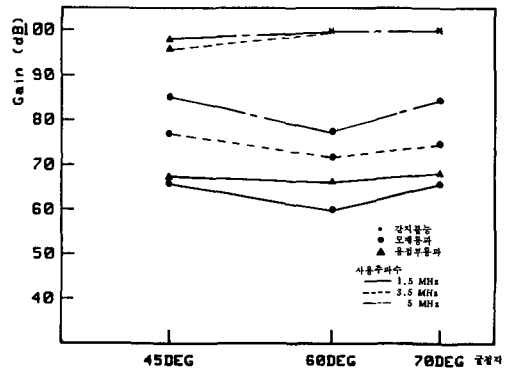


Fig. 2-12. Comparison of gain obtained from 2/4T side drilled hole.(transducer size 1/2" x 1.0")

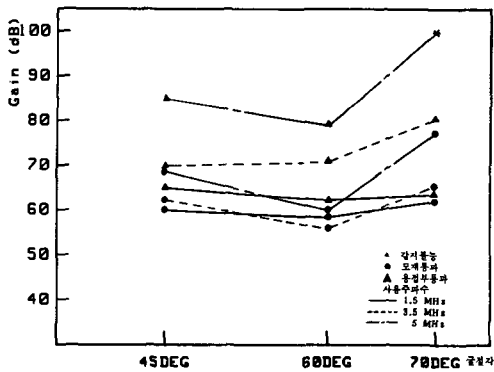


Fig. 2-10. Comparison of gain obtained from 2/4T side drilled hole.(transducer size dia. 1/2").

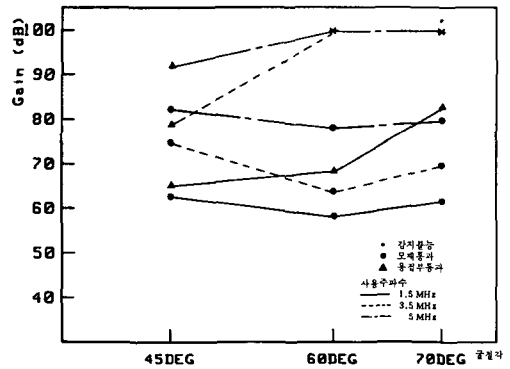
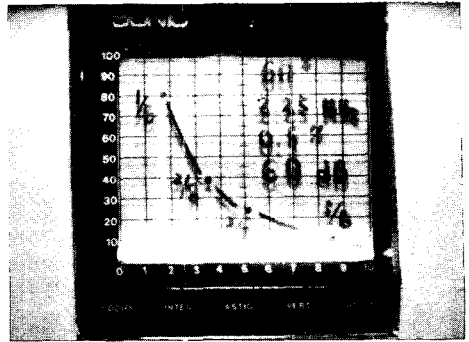


Fig. 2-13. Comparison of gain obtained from 3/4T side drilled hole.(transducer size 1/2" x 1.0")

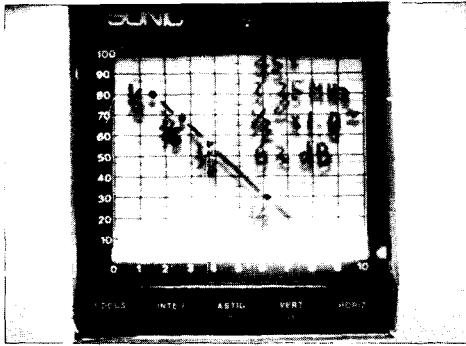
한편 초음파가 모재를 통과하여 용접부와 모재와의 경계면에 존재하는 결함을 검출할 때도 용접부 열영향부(Heat Affected Zone : HAZ)에 의해서 감도가 변한다는 것을 Photo. 2-4~2-6에서 보였다. 이처럼 용접부를 통과하여 결함을 검출할 경우에는 용접부의 경계면에서부터 주상정의 성장방향을 따라 진행하여 Metal Path가 길어지는 것이 일반적이거나 용접부 조직의 특성으로 말미암아 Metal Path가 짧아지는 경우도 있다. 이것은 Fig. 2-14에서 위치 A에서 결함이 검출된다.



(a) Echo distance from 2/4T hole through the base metal only

Gain = 60dB

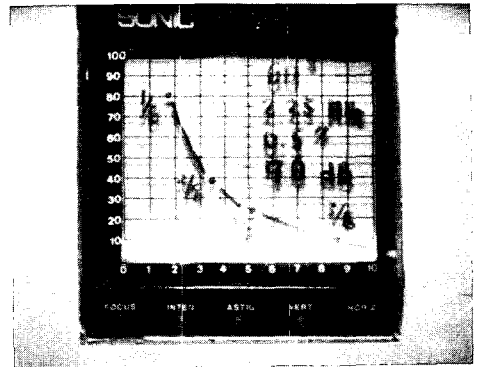
Screen distance = 127mm



(a) Echo distance from 2/4T hole through the base metal only

Gain = 62dB

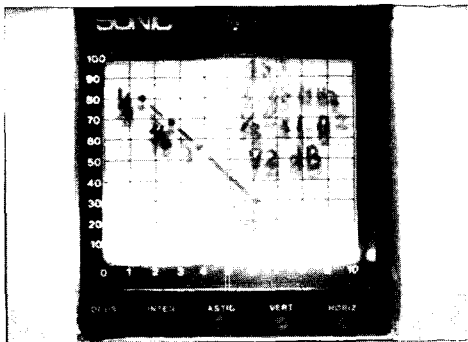
Screen distance = 127mm



(b) Echo distance from 2/4T hole through the weld metal.

Gain = 70dB

Screen distance = 127mm



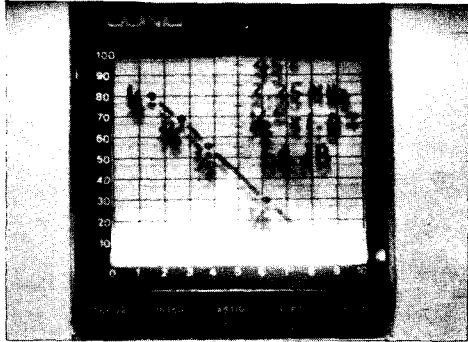
(b) Echo distance from 2/4T hole through the weld metal

Gain = 72dB

Screen distance = 127mm

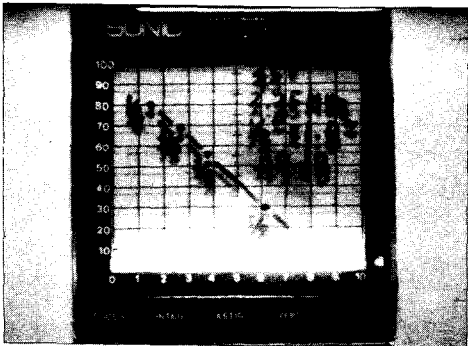
Photo. 2-4. Comparison of CRT screen using transducer size 1/2" x 1.0", frequency 2.25 MHz, angle 45 degree.

Photo. 2-5. Comparison of CRT screen using transducer size dia. 1/2", frequency 2.25 MHz, angle 60 degree.



(a) Echo distance from 5 mm notch through the base metal only

Gain = 47dB
Screen distance = 127mm



(b) Echo distance from 5 mm notch through the weld metal

Gain = 64dB
Screen distance = 127mm

Photo. 2-6. Comparison of CRT screen using transducer size 1/2" x 1.0", frequency 2.25 MHz, angle 45 degree.

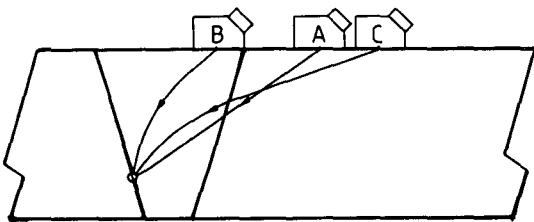


Fig. 2-14. Direction of ultrasonic beam propagation.

따라서 위치B에서 결함까지의 Metal Path가 위치A에서 보다 짧으며 위치C에서는 위치A에서보다 길어진다. 한편 초음파가 모재만을 통과하여 결함을 검출할 때와 용접부를 통과하여 결함을 검출할 때의 감도가 각각 다르다.

이것은 Fig. 2-10~2-13에서 보는 바와 같이 초음파가 모재만을 통과할 때와 용접부만을 통과할 때의 감도 차이는 +6dB이상이다.

이와 같이 현재 원자력발전소 현장에서 초음파 검사를 수행하는 방법대로 보정시험편의 인공결함에 대해 100% DAC 곡선을 작성한 뒤 50% DAC곡선을 초과하는 결함검출을 위해 +6dB만큼 높여 초음파탐상을 행하고 있다. 이것은 용접부를 통과하는 반대편의 결함을 검출할 때 굴절각 45°는 검출가능하나 굴절각 60° 및 70°에서는 불가능하다.

즉 굴절각 60° 및 70°의 경우는 모재만을 통과하여 결함을 검출하는 경우에만 가능할 뿐 용접부를 통과하여 용접부 반대편의 결함을 검출하기에는 곤란하다. 이와같은 실험의 결과로서 어떠한 제한장애물로 인하여 용접부 반대편의 결함검출에 있어서 모재측에서만 초음파탐상이 가능하다면 용접부 반대편 결함의 50% DAC 지시값은 가르키는 결함을 검출하기 위해서는 적어도 +14dB이상 높여 탐상하여야 한다는 것이다. 한편 결함검출에 있어서 탐촉자 크기에 따라 검토해보면 탐촉자의 크기가 클수록 근거리음장이 길어져서¹⁸⁾ 표면근방의 결함검출이 어려우나 직진성이 강하여²⁰⁾ 용접부를 통과하는 결함검출에는 작은 탐촉자보다 용이하다.

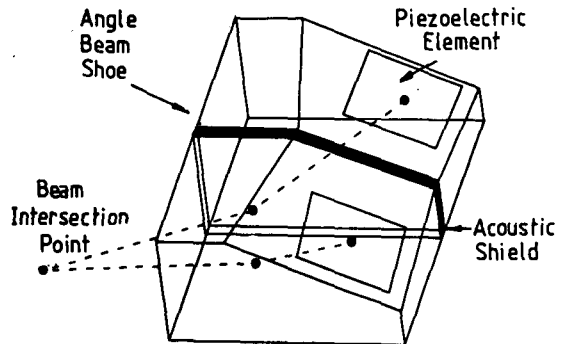


Fig. 2-15. Dual-element angle beam transducer design.

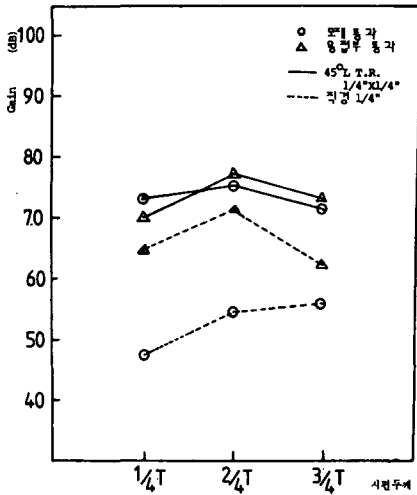


Fig. 2-16. Comparison of gain using frequency 2.25 MHz. (transducer size 45 degree longitudinal T.R., 1/4 X 1/4, and dia. 1/4")

위와같은 이유로 하여 용접부 반대편 결함을 효과적으로 검출하기 위하여 Fig. 2-15와 같이 Dual-Element 형상^{21) 22)}의 Transmitter-Receiver(T. R.) 종파탐촉자를 사용하면 Single-Element 횡파탐촉자를 사용하는 것보다 Fig. 2-16에서 보는 바와 같이 2-3 dB차이로 용접부를 통과하여 용접부 반대편 결함을 검출할 수 있다.

따라서 이러한 T. R. 형 종파탐촉자를 사용하면 오스테나이트계 스테인레스강 Type 304 용접부의 결함 검출에 커다란 효과를 기대할 수 있다.

그러나 이러한 T. R. 형 탐촉자의 단점은 일정한 거리에 초음파비입을 집중시키기 때문에 검사체두께에 따라 각각다른 탐촉자 Wedge를 사용하여야 한다.

다음은 용접부에 실제 가공한 Notch 깊이를 초음파로 측정하기 위하여 모재두께 1/4, 2/4, 3/4에 위치한 Side Drill Hole에 대하여 각 탐촉자별로 Photo. 2-2의 예와 같이 DAC 곡선을 그린다.

이것을 기준으로 각각의 Notch 깊이를 측정하기 위하여 50% DAC와 100% DAC때의 Metal Patch W와 초음파 경사각 탐상용 A1형 표준시험편에서 측정된 탐촉자 굴절각도 θ 로부터 시험편의 표면으로부터 측

정한 결함깊이 d를 다음 식으로 구한다.

$$d = W \cos \theta \dots\dots\dots (2-2)$$

여기서 시험편의 두께는 T라고 가정하면 시험편 저면에서 부터의 결함깊이 d'는 다음과 같다.

$$d' = T - W \cos \theta \dots\dots\dots (2-2)$$

식2-2를 이용하여 탐촉자 직경 1/2", 주파수 2.25 MHz, 굴절각 45° 및 60°일 경우에 초음파로 측정된 결함의 깊이와 실제가공한 결함의 깊이를 비교하면 Fig. 2-17 및 Fig. 2-18과 같이 된다.

이 그림에서 관찰하여 보면 50% DAC로 크기를 측정했을 때 초음파가 모재를 통과할 경우에는 실제 결함 크기보다 약 150~200% 크게 측정되고 용접부를 통과할 경우에는 감쇠현상 때문에 이보다 Amplitude가 작게 나타나 작게 측정되나 또한 100% DAC로 크기를 측정했을 때 모재를 통과한 경우에는 실제 결함 크기보다 100~150% DAC 크게 측정된다는 것을 알 수 있다.

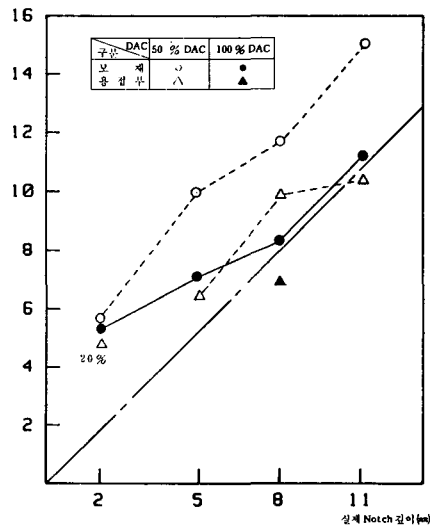


Fig. 2-17. Comparison of measured depth and actual depth. (transducer size dia. 1/2", 2.25 MHz, 45 degree)

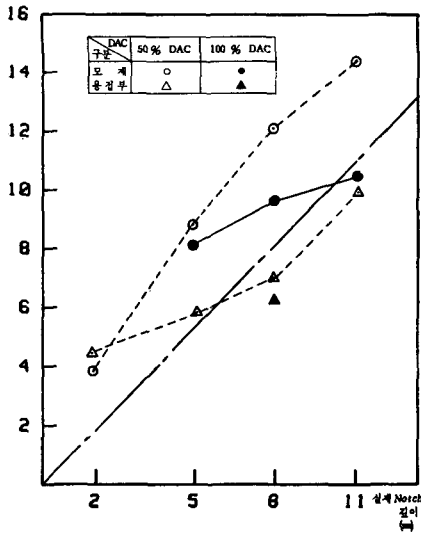


Fig. 2-18. Comparison of measured depth and actual depth.(transducer size dia. 1/2", 2.25MHz, 60 degree)

따라서 50% DAC로 크기를 측정할 경우가 100% DAC로 크기를 측정할 경우보다 측정된 크기가 커진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2-17 및 Fig. 2-18과 같이 2mm Notch와 같은 작은 결함은 용접부 반대편 결함을 검출할 경우에 탐촉자 굴절각이 45°에서 20% DAC 크기로 측정할 수 있었으나 60°에서는 50% DAC 크기로 측정할 수 있었다. 이것은 한편 Notch에 대해서 굴절각이 클수록 용접부의 작은 결함을 검출하기 쉬우며 거짓 결함지시의 발생이 적다는 것을 입증하였다.

Fig. 2-19는 2, 5, 8, 11mm Notch에 대하여 초음파 탐상을 했을 경우에 주파수가 높을수록 용접부를 통과할 때 초음파 감쇠가 심해 용접부 반대편 결함을 검출하는데 부적당하다는 것을 재확인 하였다.

한편 사용한 탐촉자는 Photo. 2-7~2-9와 같이 Spectrum Analyzer를 이용하여 정확한 주파수를 측정하여 사용하였다.

결론적으로 오스테나이트계 스테인레스강의 Notch와 같은 용접부 저면결함 검출에는 초음파가 모재만을

통과한 경우와 용접부를 통과한 경우의 감도차가 적은 낮은 주파수 탐촉자를 사용하는 것이 용접부 반대편 결함검출에 더욱더 효과적이거나 Beam Spread 현상 때문에 크기 측정에 오차가 심하므로 시험편의 두께에 따라 탐촉자를 선별하는 것이 바람직하다.

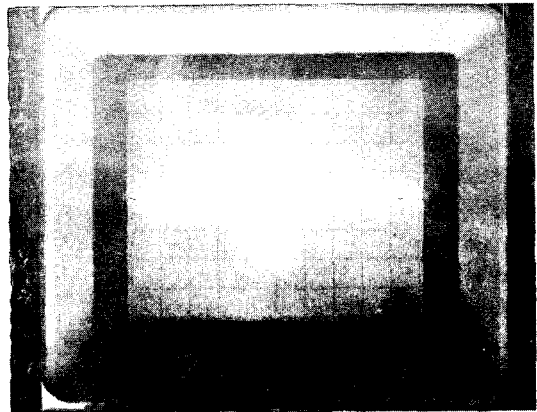


Photo. 2-7. Frequency spectrum.(transducer size 1/2" x 1.0", 1MHz)

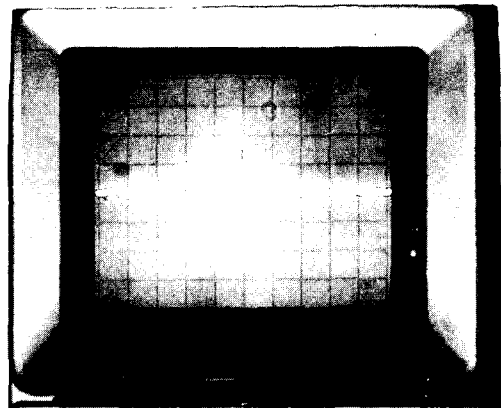


Photo. 2-8. Frequency spectrum.(transducer size 1/2" x 1.0", 3.5MHz)

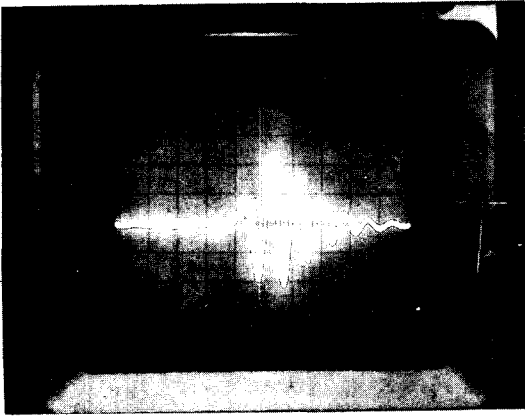


Photo. 2-9. Frequency spectrum.(transducer size 1/2" x 1.0", 5MHz)

III. 결 론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 초음파가 용접부를 통과하여 용접부 반대편의 결함을 검출하고자 할 때 종파를 이용한 Transmitter-Receiver 탐촉자가 가장 효과적이며 탐촉자의 주파수가 높을수록 용접부에 대한 감도의 차이가 심하여 용접부 반대편의 결함검출이 어렵다.

2. 용접부의 열영향부 및 용접부의 금속조직변화가 거짓결합지시를 발생시키기 쉬우며 이것은 용접부의 주상정이 성장한 방향을 따라 초음파를 안내하기 때문이다.

3. 두께 44.4mm의 오스테나이트계 스테인레스강 Type 304의 결함검출에 있어서 용접부를 통과하는 초음파로 용접부 반대편의 결함을 횡파를 이용한 Single-Element 탐촉자로 검출하고자 할때 적어도 +14 dB이상 높여 탐상하여야 할 것으로 사려된다.

4. 탐촉자의 직경 1/2", 주파수 2.25MHz, 굴절각도 45° 및 60°에 대하여 dB Drop Method에 따라 초음파가 모재만을 통과하여 Notch의 크기를 측정할 때, 50% DAC로서는 실제 결함 크기보다 150~200%, 100% DAC로서는 100~150% 크게 평가된다.

References

1. H. Yoneyama, S. Shibata and M. Kishigami, "Ultrasonic Testing of Austenitic Stainless Steel Welds, False Indication and The Cause of Their Occurrence", NDT International, pp.3-8, February, 1978.
2. DAVID S. Kupperman and Karl J. Reimann, "Ultrasonic Wave Propagation and Anisotropy in Austenitic Stainless Steel Weld Metal", IEEE Transaction on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-27, No. 1, January, 1980.
3. J. R. Tomlinson, A. R. Wagg and M. J. Whittle, "Ultrasonic Inspection of Austenitic Welds", British Journal of NDT, May, 1980.
4. H. Yoneyama, S. Shibata, and M. Kishigami, "Ultrasonic Testing of Austenitic Stainless Steel Weldments by Means of Transmitter-Receiver Type Longitudinal-Wave Angle Beam Probe", Material Evaluation, April, pp. 554-559, 1982.
5. M. K. Murali and K. Neelakanton, "Improved Ultrasonic Flaw Detection Technique for Austenitic Stainless Steel Welds", NDT International, December, 1981.
6. 姜錫哲, 李然匹, "스테인레스鋼 熔接部の 超音波減衰 및 거짓信號에 關한 研究", 韓國 非破壞檢査 第3號 第1號, pp.19~25, 1983.
7. Metals Handbook, Eighth Edition, Properties and Selection, American Society for Metal, Vol. 1.
8. D. S. Kuppermann, K. J. Reimann, and N. F. Fiore, "Role of Microstructure in Ultrasonic Inspectability of Austenitic Stainless Steel Welds", Materials Evaluation, pp.70~80, April, 1978.
9. S. J. Mech and T. E. Michaels, "Development of Ultrasonic Examination Methods for Austenitic Stainless Steel Weld Inspection", Materials Evaluation, pp.81-86, July, 1977.
10. 康明順, 孫明煥, 最新機械工作法, 文運堂, 1976.
11. Metal Handbook, Eighth Edition, Welding and Brazing, American Society for Metals, pp. 245-248,

- Vol. 6.
12. Gunter Detzow, *Metallographic Testing*, American Society for Metals, 1976.
 13. X. Edelman, "The Practical of Ultrasonic Testing of Austenitic Weld Joints", *Materials Evaluation*, pp.47-50, September, 1979.
 14. W. C. McGaughey, "Detection and Sizing of Intergranular Stress Corrosion Crack Using Laboratory Ultrasonic Examination Techniques Converted to Field Products", *Eurotest International Conference on "Remnant Life : Assessment and Extension"*, Brussels, Belgium, March, 1985.
 15. *Metals Handbook*, Eighth Edition, *Nondestructive Inspection and Quality Control*, American Society for Metals, pp.179, Vol. 11.
 16. 木村勝美, 富士岳, 非破壊検査便覧(新版), 日本非破壊検査協會編, 日刊工業新聞社.
 17. Josef Krautkrämer 外1名, "Ultrasonic Testing of Materials", Second Edition, pp.63-66, 1977.
 18. 일본 학술진흥회 제강제 19위원회편, 초음파 탐상법(개정신판), 일간공업 신문사
 19. J. L. Rose and G. P. Singh, "An Analysis of The Dual-Element Angle Beam Transducer", *Materials Evaluation*, pp.38-43, July, 1980.
 20. J. L. Rose, M. J. Avioli, Jr., and M. Lapidés, "A Physically Modeled Features-Based Ultrasonic System for IGSCC Classification", *Materials Evaluation*, Vol. 40, pp.1367-1373, December, 1982.