

초음파탐상시험의 최신응용

조 정 상*

Update Application of Ultrasonic Flaw Detector

J.S. Joe*

1. 서 론

비파괴 검사분야에서 특히 최근에 각광받는 초음파 탐상분야는 다양한 분야에 있어서 상당히 많이 응용이 되고 있다. 이러한 응용분야에 걸맞게 최근에는 FULL DIGITAL방식의 제3세대 초음파탐상기가 발표되었다.

처음으로 獨逸의 Krautkramer에 의해 ANALOG 타입의 초음파탐상기가 소개되었고, 1970년에는 처음으로 미국의 Panametrics에 의해 FULL DIGITAL타입의 초음파두께기가 소개가 되었다. 1984년에는 처음으로 미국의 Panametrics에 의해 제1세대의 FULL DIGITAL타입의 초음파탐상기가 소개가 되었고, 그런 후 6년이 지난 1991년에는 제2세대의 FULL DIGITAL 초음파탐상기가 선 보였다, 올 1994년에는 제3세대의 FULL DIGITAL 초음파탐상기가 발표되었다.

특이한 점은, 컴퓨터의 발달과 아울러 High Technology분야에서 급속도로 발전되어 FULL DIGITAL 초음파탐상기도 제 3세대의 NoteBook타입 초음파탐상기가 선보인 것이다. 휴대하기 간편하며, 다양한 기능을 갖추었으면서도 사용하기 아주 쉽게 된 것이 특징이다. 산업의 고도화 성장과 급속한 발전으로 인하여 다양한 재질, 다양한 형태, 다양한 적용범위가 폭 넓어지고 있기 때문에 여기에 가장 알맞는 기능을

가진 초음파 두께기와 탐상기를 고려하지 않으면 외화낭비, 시간낭비, 그 밖에 여러가지 낭비가 되게 된다. 따라서 이제부터 초음파 두께기분야와 초음파 탐상기분야에서 어떻게 변천되어왔고, 어떻게 산업에 응용할 수 있는지를 살펴보자.

2. 초음파 두께기의 변천

1970년에 처음으로 FULL DIGITAL 초음파두께측정기가 발표된 이후, 사실 초음파탐상기에 못지 않게 두께기분야도 상당부분이 날로 새롭게 응용이 되고 있다. 이는 FULL DIGITAL 타입의 초음파두께기가 놀라운 기능을 갖추면서 과거에는 측정하지 못했거나 힘들었던 부분의 두께측정이 가능하게 된 것이다. 초음파 두께기분야에는 다음과 같은 주요한 문제점이 있었다.

(1) 재질마다 음속값을 입력하기가 어렵다. (2) 각 두께값에 대한 직선성이 없다. (3) 측정값이 안정되지 않고 불규칙적으로 표시된다. (4) 측정이 안되는 경우가 많다. (5) 각 재질과 용도별로 알맞은 탐촉자를 선택하기가 어렵다. (6) 측정데이터를 처리하기가 어렵다. (7) 매번 교정해야 하는 불편함이 많다. (8) 고온등 특수측정부분에는 적용하기 상당히 어려웠다. (9) 탐상기처럼 내부의 상태를 파악하고 싶거나, 다중재질인 경우 각각의 두께를 측정하거나

* 비회원, 한국파나메트릭스(주)

관찰하기에는 어려움이 있었다. (10) Paint나 Coating이 되어 있을 경우, 페인트나 코팅의 두께를 제외한 실제 모재(母材)만의 두께를 측정하는데 어려움이 있었다.

과거에는 단순히 두께($T=V\Delta t/2$)만 측정하였는데, 여기에서 가장 큰 문제점은 (1) 재질마다 음속값(V)을 입력해 주어야 한다는 점이다. 산업체에서 각 재질이 Pure Material인 경우에는 문제가 적지만, 대부분의 재질은 혼합된 재질이 대부분이어서 각 재질의 알맞은 음속을 측정하기도 어렵고, 설사 그 음속값을 안다고해도 과거에는 음속값을 두께기에다가 정확하게 입력하기 어려움이 많았다. 따라서 대부분 초음파를 이용한 두께측정에는 신빙성이 없다고들 하였다. 이러한 문제점을 어떻게 해결할 수 있는가가 가장 중요한 문제였다. 그래서 각각 재질의 음속값을 자동으로 측정할 수가 있다면 해결되는 문제이다. FULL DIGITAL 타입의 두께기가 소개된 이후에는 재질의 음속을 DIGITAL로 절대값으로 표시하였다. 먼저 왕복시간을 어떻게 측정하는가? 먼저 음속[VEL]키를 누르고 음속값을 2,000M/S로 셋팅을 하여 측정되는 값(Δt)은 그 측정재질의 왕복시간을 내장 마이크로 프로세서가 계산해 주도록 하였기 때문에, 이 숫자(Δt)를 대입하면 음속값 V는 $2T/\Delta t$ 값으로 유도되므로, 음속값이 자동으로 구해진다. 그런데, 최근에는 재질의 음속을 FULL DIGITAL타입의 두께기가 자동으로 계산해 주는 기능을 갖추어져 있어서 재질의 음속값을 자동으로 구할 수가 있고, 그 재질의 음속차이를 이용하여 간단히 동일한 재질인지, 혹은 다른 재질이 섞여 있는지를, 材質分析器를 이용하지 않더라도 섞여있는 재질을 손쉽게 分離해 낼 수 있게 되었다.

두께값(T) = $V\Delta t / 2$ 따라서 음속값(V) = $2T/\Delta t$

(2) 각 두께값에 대한 직선성(Linearity)이 없는 이유는 대부분의 경우 듀얼(Pitch-Catch)타입의 탐촉자를 사용하기 때문이다. 듀얼 타입의 탐촉자는 송신탐촉자와 수신탐촉자가 일정한 각도(Roof Angle)를 유지하면서 발진(發進)하기 때문에 최소(最小)측정할 수 있는 두께범위와 최대(最大)측정할 수 있는 범위가 정해진다. 그리고 그 사이에선 직선성이 없게 된다. 종전의 1 Point방식은 두께기 본체에 붙어있는 5mm의 시편에 대고 교정하였다. 그러나 20mm등 다른 두께를 측정하였을 경우에는 측정오차가 커지게 되어 측정에서 직선성이 없었다. 따라서

이를 해결하기 위해서는 교정하는 지점을 2 Point 방식으로 교정해야 한다. 즉 [CAL]과 [VEL]키로 두꺼운 쪽의 두께를 먼저 측정하고, [CAL]과 [ZERO]키로 얇은 쪽의 두께로 교정하고, 맨 나중에는 [MEAS]키로 완료하면 두께기 본체내부에선 마이크로 프로세서가 정확하게 교정된 값으로 표시해 준다. 그러면 얇은 쪽의 두께에서 두꺼운 쪽의 두께까지 모두 직선성을 유지할 수가 있다. 따라서 이와 같이 탐촉자와 함께 두께기를 교정할 경우에는 반드시 2 Step이상의 시험편을 가지고 교정해야 한다.

- 1 Point교정방식=[CAL], 두께값입력, [MEAS]
- 2 Point교정방식=[CAL], [VEL], 두께입력, [CAL], [ZERO], 두께입력, [MEAS]

(3) 측정값이 安定되지 않고 불규칙적으로 표시가 되는 경우에는 우선 피검물의 대부분 표면위에 페인트가 여러겹으로 씌워졌거나, 얇은 재질인 경우에는 초음파가 여러번 왕복운동하거나 난반사(亂反射)를 하고, 굴곡이 심한 파이프인 경우에는 탐촉자가 닿는 진동자의 방향에 따라서 발생하는 경우가 많다. 이럴 때에는 감도최적화(Sensitivity Optimization)기능이 필요하다. [O]을 누르고, 예상되는 두께값을 입력한다. 그리고선 [MEAS]키를 누르면, 측정표시가 깜박이면서 감도최적화 기능이 작동되고 있음을 알려 준다. 이런 상태에서 측정을 하면 안정된 두께측정값을 얻을 수가 있다. 이는 초음파탐상기에서 응용한 부분인데 대부분의 두께기는 Threshold가 정해져 있어서 Noise나 불규칙적인 Signal이 Threshold에 걸리면 무조건 처음에 나오는 두께값을 표시해 주기 때문에 잘못된 두께값을 표시해주었다. 이러한 불합리함을 보완한 것으로 Threshold값을 입력되는 Signal에 따라서 자동으로 움직여서 가장 최적의 감도 상태로 만들어 주고, 안정된 정확한 두께값을 읽도록 마이크로 프로세서로 감지하는 기능이다. 그러면 안정된 두께값을 읽을 수가 있게 된다.

감도최적화 = [O], 두께입력, [MEAS]

(4) 측정이 안되는 경우도 많은데, 이는 측정하고자 하는 재질특성상 초음파가 내부로 침투하기 어렵거나, 침투했다하더라도 내부에서 초음파가 난반사(亂反射)하거나, 산란(散亂)이 되기 때문이다.

특히 요즈음에 많이 응용되는 복합재질, Fiberglass, 고무, 주물(鑄物), 오스테나이트계 스테인레스 강(Stainless Steel)등, 상당히 많다. 이 경우 게인 부스터(Gain Booster)기능을 이용하면 해결이 된다. 게인 부스터란? 초음파가 피검물 내부에서 반사되어 나오지 않을 경우에 더 많은 초음파를 발사하여 되돌아 오는 초음파를 측정하는 방식인데, [3]키를 누르고 [MEAS]키를 누르면 역시 측정표시가 깜박이면서 게인 부스터기능이 작동되고 있음을 알려준다. 게인 부스터기능을 작동시키면, 게인값이 3배(약10 dB)로 증폭이 된다. 이는 Signal의 Amplitude가 변화하여 증폭되는 기능이다. 따라서 두께측정이 가능하게 된다.

게인 부스터 = [3], [MEAS]

(5) 각 재질과 용도별로 알맞는 탐촉자를 선택하기가 어렵다. 이는 상당히 중요한 부분중에 하나인데, 대부분의 경우 먼저 두께측정기에 중점을 두고 있으나, 사실은 두께기 본체보다는 더욱 중요한 것이 탐촉자이다. 어떠한 탐촉자를 사용하는가에 따라서 측정할 수 있는 두께범위도 달라진다. 즉, 같은 5 MHz의 탐촉자라 하더라도 다음 표(*)에서 알려 주는 바와 같이 측정범위는 상당한 차이가 있다. 그 밖에 동일한 탐촉자를 사용했다고 하더라도, 사용하는 곳의 표면조건, 온도등에 따라서 두께측정범위는 달라진다는 점도 기억해야 한다. 따라서 먼저 두께기를 선택할 것이 아니라, 먼저 탐촉자를 선택해야 한다. 왜냐하면, 측정 적용할 분야에 따라서 탐촉자의 특성에 가장 알맞는 타입의 탐촉자를 선택하고 사용하여야 올바른 측정과 신뢰성있는 두께측정값을 알아낼 수가 있기 때문이다. 과거에는 듀얼 엘레먼트(Dual Element)타입의 탐촉자를 주로 사용하였고, 주파수도 5MHz로 고정(固定)되었다. 이는 R진 곳이나, 파이프등의 굴곡진 곳에 적용하도록 만들어진 것이다. 그러나, 평판등, 그 밖의 경우에 있어서는 적합하지가 않다. 평평한 면의 정확한 두께를 측정하기 위해서는 수직(Straight Contact)용 탐촉자가 적합하며, 얇은 두께일 경우에는 지연재(遲延材:Delay Line)가 붙은 수직용 탐촉자가 필요하다. 또한 물속에서 두께를 측정하기 위해서는 수침(Immersion)용 탐촉자가 필요하다. 그런데, 이들 탐촉자의 특성상 수직용 탐촉자를 이용하는 모드를 Mode 1이라고 하며, 지연재붙은 탐촉자를 이용하는 모드는 Mode

2, 수침용 탐촉자를 이용하는 모드를 Mode 3이라고 하여 각각 모드로 구분이 된다. 따라서 이들 모드를 모두 커버하기 위해서는 멀티모드(Mode 1~Mode 3)용 두께측정기가 최근에 개발이 되어 이제까지 탐촉자에 따라서 별도의 두께측정기를 사용할 필요가 더는 없어지게 되었다. 또한 측정할 재질의 특성에 따라서 부식(腐蝕)전용두께기, 고무두께기, FRP두께기, 정밀두께기, 기타 특수용 두께기등 각각의 용도에 알맞는 두께기가 개발되었다. 또한 이제까지 사용했던 탐촉자를 그대로 수용하여 두께측정을 할 수가 있게 되었다. 다양한 곳에 실제로 적용하기 위해서는 다양한 주파수, 다양한 크기의 탐촉자를 준비해야 한다.

표(*) 5MHz의 탐촉자인 경우(예)

D790 5MHz, 11mm 1.0mm to 200mm

D794/5 5MHz, 7.2mm 0.75mm to 50mm

(6) 측정데이터를 처리하기가 어렵다. 이제까지는 단순히 두께를 측정하고 手動으로 일일이 두께값을 기록하였다. 그러나, Sampling검사에서, 전수검사로, 일부분에서 대부분으로 측정된 데이터를 관리하다 보면, 수 많은 데이터를 어떻게 처리할 것인지 결정하지 않으면 안된다. 또한 매달, 매년 얼마나 두께값에서 변화가 있었는지를 관리하기 위해서는 과거의 측정 데이터와 비교하지 않으면 안된다. 그러기 위해서는 먼저 ID(Identification Number)방식에 변화가 있는데, 처음에는 단순한 "단수열ID"로 1에서 19,999까지의 숫자만으로 입력할 수가 있었는데, 만일의 경우, 넓은 면적의 두께를 측정하거나, 둥근 파이프의 경우 동서남북으로 두께값을 측정하고 관리하는데에는 "단수열ID"만으로는 부족하여 "복수열ID"(X값, Y값)방식으로하여 각X, Y값을 1에서 999까지 숫자만으로 입력할 수 있어서 약 1,000,000 (= 999×999)개까지의 숫자로 정할 수가 있도록 발전되었다. 그런데 이제는 숫자뿐만 아니라, 문자까지도 입력하고, 특수기호(!, %, #, \$, %, ₩, &, *, ...)까지도 입력이 되며, 그 길이도 12문자에서 16문자까지로 입력할 수 있는 "알파벳숫자 ID"방식으로 변화되고 있다. 따라서 이러한 ID번호를 적절하게 이용한다면 측정된 데이터는 2-D, 3-D등 칼라로 입체적으로 표시할 수가 있어서 한 눈에 두께값의 변화된 부분을 손쉽게 식별할 수가 있게 되었다. 두께의 분포사항을 2-D나 3-D로 입체적으로 나타낼 수 있게

되어서 데이터를 보다 효율적으로 관리하는데 이용하고 있다. "알파벳숫자 ID"방식을 다음과 같이 이용하면 된다.

알파벳숫자 ID방식의 예 :

TANK1-AAZZ1199 (14자)

측정부분 = TANK1-

X값 = AA에서 ZZ까지

Y값 = 11에서 99까지

측정 데이터 숫자는 $676 \times 99 = 66,924$ 개가 소요된다.

(7) 매번 교정(Calibration)해야 하는 불편함이 많다. 사실 탐촉자를 바꾸어서 사용할 경우에는 반드시 탐촉자교정을 하지 않으면 안된다. 교정절차는 상당히 번거로운 것이지만 반드시 해 주어야 하므로 이를 어떻게 하면 간편하면서도 정확하게 교정할 수가 있는지가 가장 큰 문제였다. 그런데, 교정은 이제까지 두께기 본체가 붙어 있는 일정한 두께(통상 5mm의 스텐인레스강)의 시험편에다가 탐촉자를 대고 탐촉자를 강제로(?) 교정하였다. 그러다가보니, 시험편의 재질과 다른 재질을 측정할 경우에는 문제가 되었고, 두께가 시험편과 다른 경우에도 역시 어려움이 따랐다. 시험편에다가 강제로 교정하는 것은 On-Block교정이라고 하며, 시험편없이 교정하는 것을 Off-Block교정이라고 한다. 따라서 이제는 On-Block에서 Off-Block교정방식으로 바뀌면서 보다 더 정확한 교정을 할 수가 있게 되었고, 일일이 피측정물에 따른 시험편을 두께별로 만들지 않더라도 손쉽게 정확한 교정을 할 수가 있게 되었다.

On-Block방식 = [CAL], 두께값입력, [MEAS]

Off-Block방식 = [ZERO]

(8) 고온(高溫)등 측정부분에는 적용하기 상당히 어려웠다. 최근에는 가동(稼動)중에 두께측정을 하기 위해서는 고온조건아래에서도 두께를 측정하지 않으면 안되었다. 따라서, 고온인 상태에서도 두께를 측정하기 위해서는 몇가지 준비하여야 하며, 측정상에 주의사항을 반드시 지켜주지 않으면 안된다. 우선, 가)고온용 탐촉자, 나)고온용 커플런트, 다)고온용 측정 조건을 준비해야 한다. 고온용 탐촉자는 대개 250℃ 혹은 500℃정도로 크게 나누어 지며, 고온용 커플런트로 0℃에서 250℃, 혹은 200℃에서 500℃정

도로 나누어 진다. 물론, 고온용 커플런트를 일반 상온(常溫)에서 사용한다면 커플런트에서 감쇠등이 심하여 측정이 되지 않으며 설령 측정이 된다하더라도 불안정된 두께값을 나타낼 것이다. 고온에서 측정조건이란 무엇인가? 우선 [HOLD]기능을 만들고, [FAST SCAN]모드와 [MINimum]모드로 하고, 감도최적화(= [O], 두께입력, [MEAS])로 조건을 만든다음, 탐촉자를 피측정물에 대는 시간은 5초이내에서 하여야 한다. 그리고선 1분이상 충분히 Air Cooling을 시켜야 한다. 그런 다음에 반드시 원래의 탐촉자 상태로 되돌아가기 위해서는 [ZERO]키를 눌러주어야 한다. 이러한 절차를 올바르게 지켜주지 않으면 탐촉자는 열에 의해 변형이 일어나서 다음 번 측정 때에는 변화된 두께값을 나타낼 것이다.

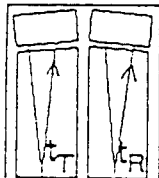
(9) 탐상기처럼 내부상태를 파악하고 싶거나, 다중(多重)재질인 경우 각각의 두께를 측정하거나 관찰하기에는 어려움이 있었다. 단순히 두께측정값만을 가지고는 올바른 두께를 측정하기가 어려운 경우가 종종 발생한다. 즉, 용접(銲接)을 하여 내부에 결함이 크게 발생하였을 경우, 다중으로 겹쳐있어서 각각의 두께를 측정해야 할 경우, CLAD강처럼 이종(異種)재질간에 집합(接合)이 되었을 경우등에는 두께측정이 간단하지가 않다. 이를 해결하기 위해서는 두께기와 A-SCAN파형이 동시에 있는 기종이 필요하고, A-SCAN파형을 보고 초음파 탐상기처럼 판독을 할 수가 있다. 특히 두께측정값이 얇게 나타나는 경우, 부식이 심하게 되어 얇아진 것인지, 결함이 있어서 얇게 두께표시가 되는 것인지등에 따라서 구별하기 위해서는 A-SCAN파형이 있는 두께측정기가 적합하다. 실제로 여천공단에서 염소(鹽素)탱크의 두께를 측정한 결과 47mm의 두께가 어떤 부분에서는 갑자기 15mm로 얇게 표시가 되어 원인을 알 수가 없었는데, A-SCAN파형이 있는 두께측정기를 이용한 결과 Back Echo가 발견이 되어 결국 15mm는 모재(母在)안의 큰 결함이 발생하였음을 정확하게 알 수가 있었고, 다음날 개방검사(開放檢査)한 결과 확인이 된 경험이 있었다. 부식이 되었다면 Back Echo가 나타나지 않기 때문이다.

(10) 페인트나 코팅이 되어 있을 경우, 페인트나 코팅의 두께를 제외한 실제 모재만의 두께를 측정하는데 어려움이 있었다. 대부분의 두께측정기는 페인트나 코팅이 되어 있을 경우에 두께표시가 안되는

ZERO CALIBRATION

OFF BLOCK ZERO - [ZERO]

$$t_{ZERO} = t_{XDELAY} + t_{\Delta}$$



TIME DELAY
IN XDCR
BUFFER RODS
IS MEASURED
DIRECTLY.

$$= t_T + t_R$$

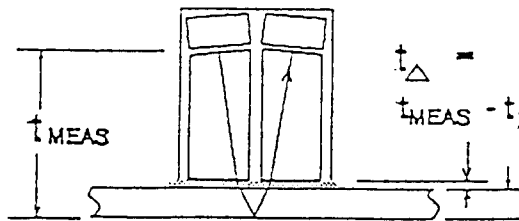
= VALUE FROM TEST
BLOCK ZERO CAL IF IT
HAS BEEN DONE,
OTHERWISE, = DEFAULT
VALUE FOR XDCR TYPE.

TEST BLOCK ZERO - [CAL] [ZERO] ENTER THICKNESS

$$t_{ZERO} = t_{XDELAY} + t_{\Delta}$$

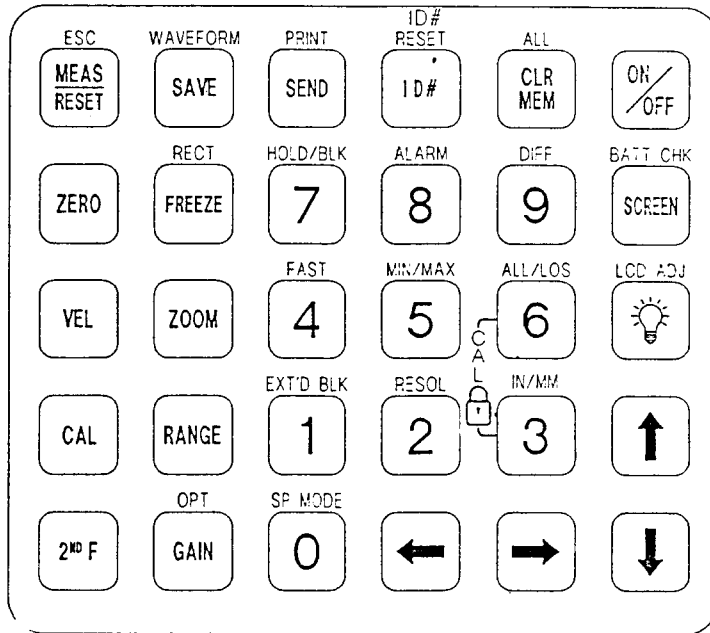
FROM LAST
OFF BLOCK
ZERO

FINE ZERO CALIBRATION
WHICH ACCOUNTS FOR THE
PART OF THE TOTAL ZERO
VALUE WHICH CAN'T BE
MEASURED BY XDCR DELAY.
DELAY.

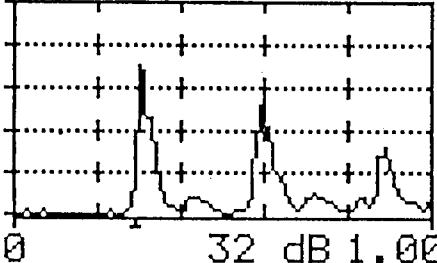


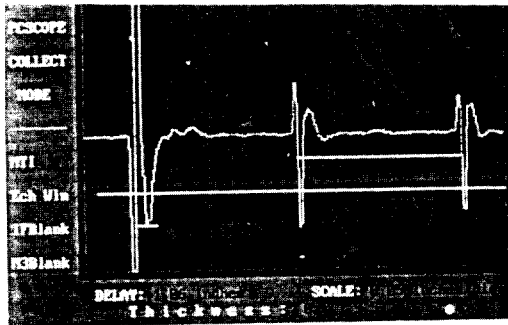
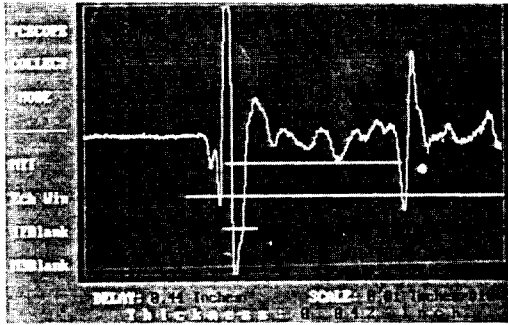
$$t_{\Delta} = t_{MEAS} - t_{XDELAY} - t_{MAT}$$

$$t_{MAT} = \frac{\text{BLOCK THICKNESS}}{\text{BLOCK VELOCITY}}$$



Panametrics 26DL PLUS Interface Program 1.10
Snapshot Mode

| | |
|---|---|
| <p>ID : E.66FT-T#45A THK: 0.287 IN</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px; border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p>M</p> <p>G</p> <p>M</p> </div> </div> | <p>Filename: klcd .LCD Operator: Steve Smith Location: ASNT Date: 3/23/1992 Time: 16:18 Probe ID: xxx Comments:</p> |
| <p>Temperature 500 deg. F Insulation was removed and replaced No obstructions A-Scan taken and stored in memory Tube number 4 reading number 5A</p> | |



경우가 많다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 여러 가지 기능을 복합적으로 이용해야 한다. 먼저 감도 (Sensitivity)를 올려주지 않으면 안된다. 그러나, 감도를 올려 주게 되면 자연히 잡음(Noise)도 증가하여 틀린 두께값을 읽기가 쉬어 오판(誤判)을 할 가능성이 높아진다. 그런데 대부분의 두께측정기는 초기 펄스반사부터 측정하기 때문에 페인트나 코팅의 두께를 지난 다음부터 측정하기 위해서는 Main Bang Blanking을 페인트나 코팅두께 이후로 옮겨주지 않으면 안된다. 또한 실제 모재만의 두께측정을 원할 경우에는 Echo-to-Echo기능을 이용하면 된다. Echo-to-Echo기능이란 두께측정을 원하는 Echo부터 측정하기를 원하는 Echo까지 측정하여 두께로 표시해주는 기능이다. 그 다음에 Echo-to-Echo기능을 작동한 상태에서 교정을 하면 올바른 모재만의 두께를 측정할 수가 있게 된다.

3. 초음파 탐상기의 영향

초음파탐상시험의 신뢰성은 사용하는 초음파탐상

기와 초음파탐촉자가 크게 영향을 준다. 직접접촉법에 의한 펄스반사법으로 탐상데이터를 얻을 때까지의 경로는 다음과 같다.

송신기 → 탐촉자 → 수신증폭부 (1) → 수신증폭부 (2) → 검파부 → 과형정형 → 비디오증폭부 → 표시부 → 시간축발생기

여기에서 초음파 탐상기가 탐상결과에 지대한 영향을 미치는 요인들은 다음과 같다.

(1) 送信펄스増幅과 波形, (2) 送信器出力인피던스와 受信器入力인피던스, (3) 受信器 게인 調整器의 STEP의 정확도와 주파수 特性, (4) 증폭 直線性, (5) 受信器의 주파수 帶域幅, (6) 檢波回路, (7) 波形整形, (8) 비디오 増幅器의 포화특성, (9) 時間軸 發生器의 SWEEP과형의 直線性, (10) 時間經過, 온도, 전압에 의한 송신펄스전압, 파형, 수신감도, 증폭직선성, 시간축의 직선성 및 화면표시기상의 탐상 圖形의 DRIFT등이 있다.

또한 초음파탐촉자가 탐상결과에 영향을 주는 요인은 다음과 같다.

(1) 탐촉자의 진동자의 유효크기, (2) 탐촉자의 주파수특성, (3) 탐촉자의 비임 중심축의 편심, (4) 탐촉자의 인피던스, (5) 분해능, (6) 감도등도 탐상결과에 상당히 많은 영향을 미친다. 탐촉자는 전부 수동으로 만들기 때문에 동일한 규격으로 요구한다고 해도 전부 똑같은 탐촉자는 만들어지지 않는다. 그러므로, 그 탐촉자를 실제로 테스트하여 탐촉자의 특성(특히, 분해능, 감도등)을 규격에 의해 표시한 탐촉자성적서(CERTIFICATE OF TRANSDUCER)를 반드시 구비해야 하며, 그 탐촉자성적서에 표시된 특성에 따라 용도에 알맞게 사용해야만 올바른 탐상결과를 얻을 수가 있게 된다. 따라서, 이러한 각 탐상장비의 각 부분이 탐상결과에 상당히 많은 영향을 주므로, 각 부분을 보완하여 보다 더 정확하고, 더 손쉽고, 더 빠르게 탐상결과를 얻을 수 있는지를 개발하지 않으면 안되었다. 따라서 초음파 탐상기는 다음과 같이 변천하여 왔다.

초음파 탐상기의 변천 1984년은 세계에서 처음으로 FULL DIGITAL 초음파탐상기가 발표되어 신기원(EPOCH)을 이룩한 년도가 된다. 처음으로 제1세대

의 FULL DIGITAL 초음파탐상기가 발표된지 6년뒤인 1990년에는 제2세대의 FULL DIGITAL 초음파탐상기가 개발되었다. 그리고선 꼭 10년이 되는 올해에는 제3세대 FULL DIGITAL 초음파탐상기가 발표되었다. 처음으로 FULL DIGITAL이 발표된 이래, 그 다음해인 1985년에 다행히도 국내에 소개되었다. 그러나, 대부분 워낙 ANALOG타입으로 상당히 오랫동안 익숙해져 있고, 대부분의 규격(CODE)들이 ANALOG를 중심으로 만들어졌기 때문에, 누구라도 섭뜻 DIGITAL타입을 받아들이기에는 쉽지 않았다. 그러나, 컴퓨터 산업의 급속한 발달로 인하여 탐상기부문에 많은 변화가 있게 되었다. 제1세대의 탐상기에는 기판(基板)을 16장 사용하였고, 제2세대의 탐상기에는 4~5장을 사용하였고, 이제 제3세대의 탐상기에는 기판을 단 1장 사용하고 있다. 이는 SMT(Surface Mounting Technology)를 이용한 결과, 더 적은 기판으로 더 많은 기능을 갖춘 장비로 바뀌게 된 것이다. 또한 고장율이 현저히 떨어졌으며, 무게(1.2kg)와 크기(노트북크기-B5)가 상당히 줄어들었고, 기능면에서는 상당히 많은 기능을 갖추고 있다.

그러면 왜 ANALOG타입에서 FULL DIGITAL타입으로 바뀌게 되는 걸까? ANALOG타입인 경우에는 상당히 많은 부분에서 보완되어야 할 여지가 많았다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 FULL DIGITAL 타입으로 개발되지 않으면 안되었다. ANALOG 타입의 초음파탐상기를 사용하는데 다음과 같은 어려움 점이 있었다.

- (1) 교정절차가 상당히 복잡하고, 여러차례 교정해 주어야 하므로 많은 시간을 요한다.
- (2) 장비의 고장여부를 자가진단하기가 어렵다.
- (3) 기록을 남기기가 어려웠다.
- (4) 분할화면이 안되어 한눈에 모든 변수를 보고 조정하기가 어려웠다.
- (5) Knob가 볼륨식으로 되어 있어서 현장에서 먼지나, 커플런트등 기타 오염물이 Knob속으로 들어가서 정확한 셋팅이 어렵다.
- (6) 탐상결과를 일일이 계산해야 하는 불편함이 따랐다.
- (7) 다양한 소프트웨어를 이용하기가 어렵다.
- (8) 수직, 수평직선성이 없는 불편함이 있었다.
- (9) 게이트를 사용하는데 불편함이 많았다.
- (10) 음속(VELOCITY)값을 입력할 수가 없었다.
- (11) 배터리사용에 어려움이 있었다.
- (12) 장비가 무거워 현장에서 오랫동안 작업하기에 불편하였다.
- (13) 많은 데이터를 보관하고 관리하기가 어려웠다.
- (14) 스캐닝할 때에 또한 ANALOG에서는 PRF가

중요한데, FULL DIGITAL타입에서는?

(1) 교정(Calibration)하는 면에서는 지정된 규격(Code)에 의해 일일이 日常점검과 定期점검과 特別점검을 수시로 해 주어야 한다. 각각 점검을 할 때에는 수직직선성, 수평직선성등을 교정해 주어야만 하였다. 대부분 100dB 즉 100,000배이상을 증폭하는 장비이기 때문에 주위 온도변화등에 따라 상당한 영향을 받게 되어 사용중에도 수시로 교정해 주어야 한다. 따라서 교정하는데 걸리는 시간과 숙련을 요구하므로 이를 해결하는 것이 큰 난제였는데, FULL DIGITAL타입의 초음파탐상기에서는 사용중에도 연속적으로 연속교정(CONTINUOUS CALIBRATION)을 장비 스스로 해주는 기능을 추가하였기 때문에 수동으로 하는 교정에러(Error)를 줄였다.

*교정하는 키 조작 : [ZERO OFFSET] --->
[RANGE] --->
[VELOCITY]

(2) 장비의 故障여부를 자가진단(SELF TEST)하기가 어렵다. 초음파탐상기는 외부의 영향을 상당히 많이 받는다. 따라서 수시로 장비가 고장났는지, 혹은 DRIFT현상이 일어나는지등을 점검하지 않으면 안된다. FULL DIGITAL 탐상기는 처음 전원을 켰을 때에 자가진단(SELF TEST)을 하여 이상유무를 알려주고, 이상이 있을 경우에는 이상이 있는 부분에 표시를 해 준다.

*SELF TEST : PROGRESSING 63

(3) 기록을 남기기가 어려웠다. ANALOG타입의 큰 어려움은 탐상결과를 기록으로 남기는 것이었는데, FULL DIGITAL 초음파 탐상기는 이것을 완전히 해결하였다. 또한 제3세대의 탐상기는 출력도 종전의 RS-232를 이용한 시리얼(Serial:직렬)방식은 물론 일반 OA용으로 사용되는 패러렐(병렬)방식(HIGH SPEED DATA PORT)으로도 지원이 되어 별도의 프린터를 구입하지 않아도 아무 현장에서나 직접 출력할 수가 있게 된 것이다. 기록은 또한 단순한 A-SCAN뿐만이 아니라, B-SCAN, RF모드파형및 DAC 곡선등 다양한 형태의 포맷을 바로 출력할 수가 있게 되었다. 특히 RS-232포트를 이용하여 리모트 콘트롤(Remote Control)이 된다. 따라서 로봇(Robot)를 이용하거나 여러 대의 탐상기를 서로 연결하여 콘트롤하거나, 원자력발전소같이 접근하기 어려운 곳

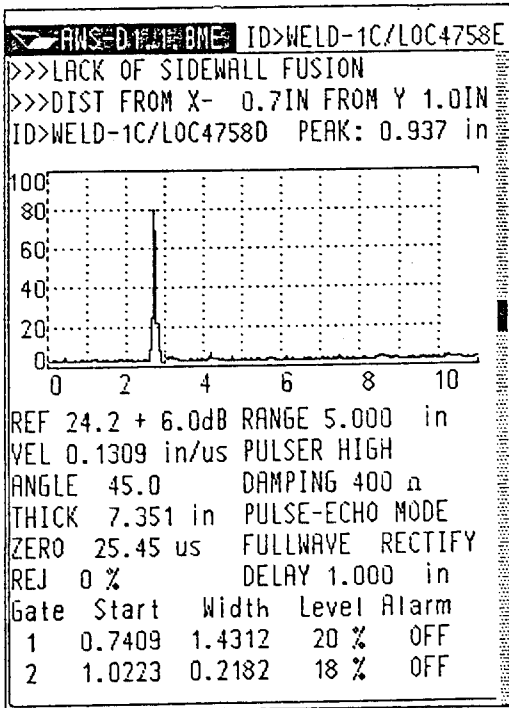
에서 탐상기를 사용할 경우에는 변수(Parameter)를 멀리서 컴퓨터 키보드로 조절할 수가 있고, 측정 데이터를 컴퓨터 키보드를 통해 Download받거나, 원하는 변수를 Upload할 수도 있다. HARDWARE HANDSHAKE로는 DSR과 DTR을 사용하고, SOFTWARE HANDSHAKE로는 <XON>, <XOFF>을 사용한다

*Remote Control 키를 이용한 명령어의 예:

AE=<angle>; DG=<damping>; 1D=<depthalarm><units>; 2D=<depthalarm><units>;

GN=<gain>; 1A=<alarm>; 2A=<alarm>; 1L=<level>; 2L=<level>; ..

(4) 분할화면이 안되어 한 눈에 모든 변수(Parameter)를 보고 조정하기가 어려웠다. ANALOG 타입에서는 Knob를 조절하여도 얼마의 수치로 조정이 되었는지 정확하게 알 수가 없었다. 제3세대의 FULL DIGITAL 탐상기는 모든 셋팅값을 수치(數值)로 표시해 주고, 또한 변수를 바꿀 때마다 자동으로 계산해 주고, A-SCAN파형과 함께 동시에 보여 주므로, 셋팅(Setting)을 하면서 어떤 키를 조작해야 올바르게 셋



팅이 되는지, 키를 조절하면 A-SCAN파형이 어떻게 변화하는지, 그리고 더욱 중요한 사실은 A-SCAN파형과 함께 설정조건(Status)이 동시에 출력되므로 정확한 조건하에서 정확한 판독이 가능하도록 한 점등이 눈에 띈다. 또한 화면에는 FLAG들과 MARKER들도 함께 표시가 된다.

*.MARKER들

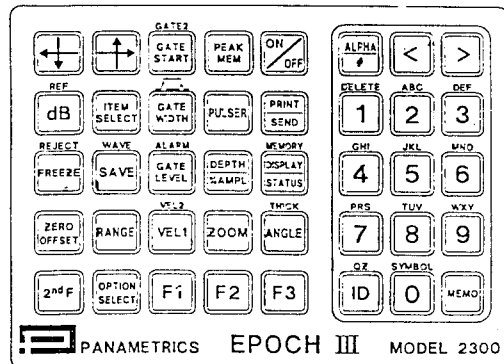
PEAK DEPTH; EDGE DEPTH; P=PEAK MEMORY; F=FREEZE; Z=ZOOM;

A=ALARM; BATTERY LEVEL INDICATOR..

*.분할화면의 예:

(5) Knob가 볼륨식으로 되어 있어서 현장에서 먼지나, 커플런트등 기타 오염물이 Knob속으로 들어가서 정확한 셋팅이 어려웠다. 제3세대 FULL DIGITAL 탐상기는 Knob를 전부 밀폐형 키패드(Sealed Keypad)를 사용하고, 기능별로 칼라로 표현함으로 누구라도 손쉽게 익힐 수 있도록 배려하였다.

*.키 패드(Keypad)의 예:



(6) 탐상결과를 일일이 계산해야 하는 불편함이 있었다. 수직 탐촉자를 사용할 경우에는 큰 문제가 없지만, 사각(Angle Beam) 탐촉자를 사용할 경우에는 일일이 공학용 계산기를 이용하여야 하였고, 일일이 공식을 외워서 적용해야 하는등 많은 불편함을 단 1개의 [계산]키를 누르기만 하면 자동으로 정확하게 계산해 주므로, 판독의 에라(Error)를 없었다. 또한 사각 탐촉자를 이용할 경우에 SOUNDPATH의 LEG를 정확하게 표시(\, V, V\, VV)해 주므로 결함의 위치를 더 정확하게 알 수가 있게 되었다.

(7) 다양한 소프트웨어(DUAL GATE, DAC CURVE-WITH ALARM, INTERFACE GATE, FLOATING GATE, B-SCAN, ECHO-TO-ECHO, BLANKING, MINIMUM DEPTH ALARM..)를 이용하기가 어려웠다. 특히 결함 판독에 많이 사용되는 DAC곡선을 이제는 일일이 수동으로 그리지 않더라도 소프트웨어로 처리가 된다. DAC곡선 형태도 JIS, KS, ASME등 규격이 다르기 때문에 각각의 규격에 알맞은 DAC곡선을 선택한 다음에 이용할 수가 있다. DAC곡선도 한걸음 더 발전하여, ASME규격에서 요구하는대로 DAC곡선에다가 알람기능을 추가하였다.

(8) 수직, 수평직선성이 없는 불편함이 있었다. 특히 ANALOG 타입으로는 REJECT(잡음제거)를 사용하거나 GATE를 이용하면 직선성이 없기 때문에 가급적 규격에서도 사용하지 않도록 규정하고 있으나, FULL DIGITAL 초음파탐상기에서는 REJECT키를 사용해도 완전한 직선성을 유지하고, GATE를 사용해도 원래의 에코에는 전혀 영향을 주지 않기 때문에 이제는 잡음제거(REJECT)와 게이트(GATE)를 안심하고 사용할 수가 있다.

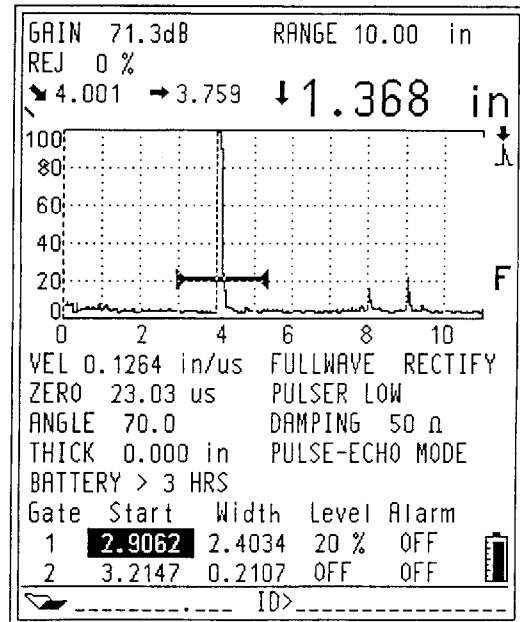
(9) 게이트를 사용하는데 불편함이 많았다. ANALOG타입에서는 게이트의 역할이란 단순히 알람을 울리는 정도이나, FULL DIGITAL 타입에서는 게이트의 역할이 상당히 중요하다. 게이트로 알람을 울릴 뿐만 아니라, 계산을 하고, B-SCAN을 그려주는 등 다양한 기능을 발휘한다. 그런데, ANALOG 타입에서는 게이트를 설정하게 되면 원래 기준으로 정한 에코의 높이가 달라지게 된다. 따라서, 결함을 판독할 경우에는 게이트를 설정하지 않도록 하고 있다. 이는 게이트 마커의 높이가 장비마다, 메이커마다 일정하지 않기 때문이다. 또한 게이트 마커의 개시점과 종지점이 비스듬하게 설정되므로 게이트마커를 읽을 때에는 각별히 조심해야 한다.(부속서 3.9.4)

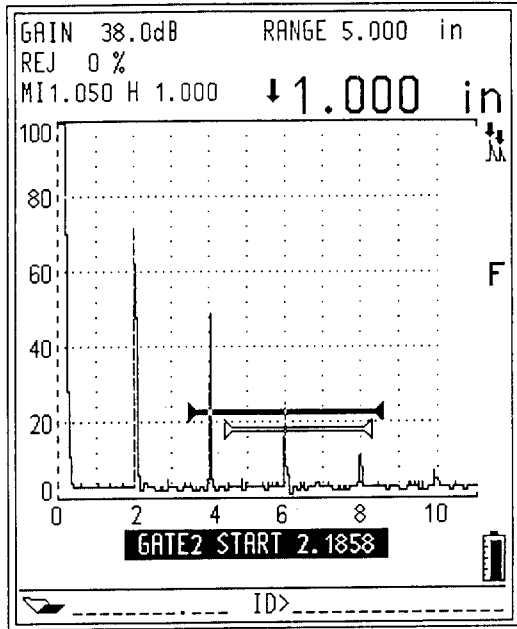
(10) 음속(VELOCITY)값을 입력할 수가 없었다. ANALOG 타입에 있는 음속조절키에 숫자가 있으나 의미가 없었다. 그러나 FULL DIGITAL 타입에서는 큰 의미를 가지고 있다. 즉, 각 재질마다 고유한 음속값이 있는데, ANALOG 타입으로는 그 값을 알아낼 도리가 없지만, FULL DIGITAL 타입에서는 그 값이 곧 그 재질의 올바른 음속값이 된다는 점이다. 특히 교정할 때에 반드시 사용하여 정확한 재질의 음속

값을 알아내어서, 혼합되어있는 이종(異種)재질을 손쉽게 분리해 주는 역할로도 응용할 수가 있다. 음속값도 종파음속값과 횡파음속값을 미리 입력하여 번갈아가며 쉽게 바꿀 수가 있다.

(11) 밧데리사용에 어려움이 있었다. 대부분의 ANALOG 타입은 NiCd(니켈카드뮴)타입의밧데리를 사용해 왔다. 그러나, NiCd타입은 시간에 따라서 점차 전압이 떨어져서 주로 2시간을 주기로 자주 교정을 해 주고, 자주 충전을 해 주어야 하는 불편함이 따랐다. 이를 해결하기 위해서 대용량의 LEAD-LEAD 타입의 밧데리로 교체가 되었다. LEAD-LEAD타입은 대 용량이고 부피도 작고 연속 8시간이상 오랫동안 사용할 수가 있게 되었다. 또한 급속 충전도 가능하다. 탐상기없이도 밧데리만 충전이 가능하다. 또한 밧데리의 남아있는 용량이 화면에 표시도 된다. 충전기/AC아답터도 85~264VAC까지 프리볼트로 안심하게 사용할 수가 있다. 밧데리가 남아 있는 양이 적을 경우에는 깜박이면서 경고를 하여 장비사용에 주의를 주고 있다.

(12) 장비가 무거워 현장에서 오랫동안 작업하기에 불편하였다. ANALOG 타입은 탐상장비의 많은 기판과 무거운 CRT화면을 사용하고, 무거운 NiCd타





입의 배터리를 사용하므로 무게를 줄인다해도 5kg 이하로 만들기가 어려웠다. 화면을 CRT--→ LCD--→ E.L.화면으로 바뀌었다. FULL DIGITAL타입이 발표된 이후에 무게를 줄이기 위해 LCD화면을 채택하였으나, LCD만의 약점(스캐닝하기에는 Display Update Rate가 너무 늦고, 어둡고 방향성이 있는 화면, 열, 온도등에 약하고, 외부의 영향에 손쉽고, 깨지기 쉬움등)이 많은 것이 흠이라, 결국 더 밝고 보는 각도에도 영향이 없는 E.L.화면으로 바꾸었다. E.L.화면은 부피도 적고, 무게도 가벼워졌다. 배터리는 LEAD-LEAD타입을 사용하므로 전체의 탐상기의 무게가 1.2kg로 줄어들었다. 또 화면을 보호하고 햇빛아래에서는 햇빛에 반사되어 화면이 안보이는 것을 방지하기 위해서, E.L.화면위에 햇빛가리개를 부착하였다.

*E.L.화면=ElectroLuminescent Display

(13) 많은 데이터를 보관하고 관리하기가 어려웠다. ANALOG 타입으로는 데이터를 처리하기가 어려웠다. 그러나 FULL DIGITAL타입으로는 탐상기 자체적으로 약 160개의 A-SCAN파형 혹은 3,000개의 두께측정값을 현장에서 저장하였다가 사무실로 돌아와서 저장된 데이터를 컴퓨터나 프린터로 즉시

출력할 수가 있었다. 두께값 데이터와 파형데이터를 혼합하여 저장할 수도 있고 저장할 때에는 년월일과 검사시간 및 8문자의 화일이름(예:TANK-021.DAT..)과 16문자의 LOCATION CODE(예:ID>TANK-21/LOC255..)를 알파벳숫자 방식으로 채택하고 1개의 화일안에는 많은 LOCATION CODE로 많은 데이터를 입력할 수가 있어서, 많은 데이터를 손쉽게 구별할 수가 있게 되었다. 데이터는 또한 ID, DEPTH, UNITS, COMMENTS, WVEFORM, STATUS중에서 전부 혹은 일부를 선택하여 출력할 수가 있다. 인터페이스 프로그램이 윈도우로 제공되어 저장된 데이터를 자유자재로 응용할 수가 있게 되었다.

(14) 스캐닝할 때에 또한 ANALOG에서는 PRF (Pulse Repetiton Rate)가 중요한데, FULL DIGITAL타입에서는 어떠한가? 사실 ANALOG타입에서는 빠른 PRF를 요구하고 있는데 반하여 FULL DIGITAL타입에서는 SAMPLING RATE가 중요한데 일반적으로 기본 SAMPLING RATE는 8MHz를 이용한다. (최근에 발표된 기종은 Sampling Rate가 150 MHz)

그 밖에 중요한 특징으로는

1) 단지 엄지손가락만 가지고 3개의 키([ITEM SELECT], [←], [→])만들 이용하여 모든 변수(Parameter)를 조절하고 있다.

2) 장비가 고장이 났을 경우에 MASTER RESET 기능을 이용하여 장비를 원래의 상태로 돌려 놓아서 안심하게 사용할 수가 있게 된다. MASTER RESET에는 PARAMETERS 와 DATABASE를 선택할 수가 있다.

3) 수직 탐촉자를 사용할 때에는 EDGE DEPTH를, 사각 탐촉자를 사용할 때에는 PEAK DEPTH를 정확하게 알려 준다.

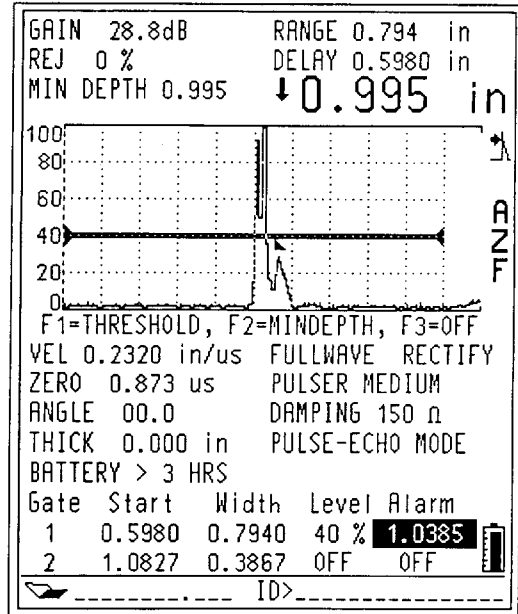
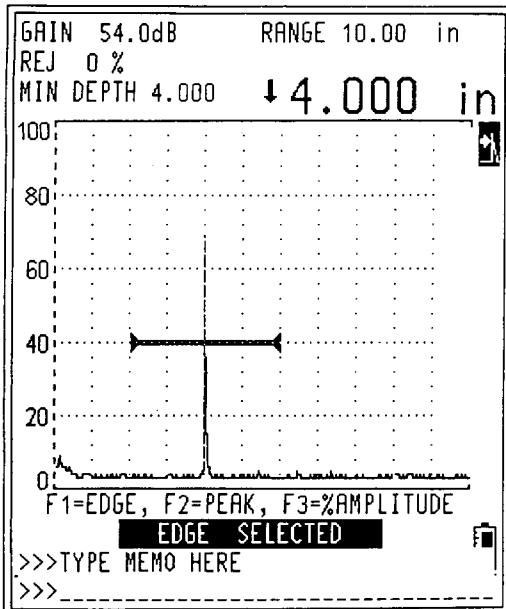
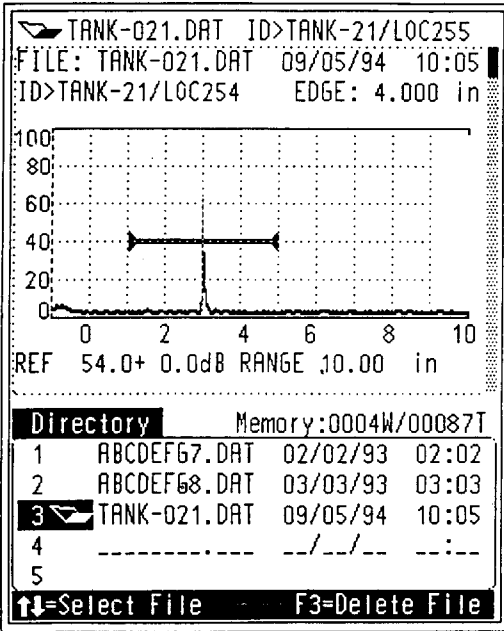
4) 최소(Minimum)측정범위가 정밀해졌다. 이는 얇은 두께나 표면가까이에 있는 분해능을 좋게하기 위해서 필요하다.

5) MINIMUM DEPTH가 표시되고, 알람기능도 있다.

6) 또한 탐상결과를 보고서에 기록하기가 쉽지가 않았으나, 이제는 MEMO MODE(>>>) 에서 각 줄에 33자, 4줄까지 탐상결과(LACK OF SIDEWALL FUSION,..)를 입력하여 탐상결과보고서에 함께 기록하는 일이 가능해져서 더 빠르고, 손쉽게 탐상결과를

제출 할 수가 있게 되었다.

7) 탐상기의 내부 SOFTWARE를 VERSION UP 시킬 경우에는 탐상기를 제조 메이커로 보내어 VERSION UP 서비스를 받을 수 있었으나, 이제는 FLOPPY DISK로 제공받을 수가 있어서 언제든지 새로운 기능을 제공받을 수가 있게 되었다.



4. 초음파 응용사례

다음과 같은 응용분야에 어떤 기능을 사용할 수 있는지를 간추려 본다.

- #) AWS/DIN/ASME EXAMINATIONS
 - SOUNDPATH CALCULATOR
 - DAC WITH DAC ALARM (ASME INSPECTION)
 - MULTIPLE SROED CALS
 - REFERENCE GAIN LEVEL
 - DOCUMENTATION/DATALOGGING
- #) CORROSION
 - THICKNESS DISPLAY
 - B-SCAN (WITH ENCODER CAPABILITY)
 - MIN. DEPTH DISPLAY/ALARM
 - PEAK MEMORY
 - DATALOGGING
- #) TIP DIFFRACTION
 - ZOOM
 - RF DISPLAY WITH THICKNESS READOUT
 - STORED SETUPS

- KEYPAD
- #) THIN MATERIAL
 - HIGH RESOLUTION PULSER
 - SUPERIOR MIN RANGE
 - RF DISPLAY WITH THICKNESS READOUT
 - ZOOM
- #) INSPECTION COMPANIES
 - MANY OPTIONS
 - STATE OF THE ART
 - DOCUMENTATION/DATALOGGING
 - DIGITAL REPEATABILITY
- #) NAVAL FACILITIES
 - TVG
 - MINIMUM RANGE

초음파와 관련되어 그동안 국내에서 발표된 사례의 제목만을 간추려 보면, 국내에서도 얼마나 많은 관심있으며, 앞으로 개발되어야 할 여지가 많음을 여실히 증명해 주고 있다.

초음파탐상시험에 의한 결함의 크기 측정 방법 (C. H.HAN, K.S.HAN); 초음파탐상시험에 있어서 결함의 크기 측정에 영향을 미치는 인자 (C.H.HAN, K.S.HAN); 해양구조물의 초음파탐상시험 적용 사례 (B. K.CHOI, J.H.KIM); 대형鍛造品 로터의 UT 결함 크기 계산 방법 (Y.S.PARK, N.G.KWAG), 초음파 RF 모드를 이용한 베어링 접합부에 대한 결함탐상 (H.J.CHANG, Y.S.PARK, S.Y.PARK); 항공기 부품의 자동 초음파탐상 검사 (S.W.LEE); 점탄성 재료의 기계적 성질 측정; 비접촉식 초음파 탐상 방법 자동화 기술, 탄소纖維/페놀수지 복합재료에서의 초음파 감쇠 특성; AISI 4130 결함재의 손상역 평가; 물/복합적층판/물 경계면에서의 초음파 반사에 의한 이론적 고찰; 초음파에 의한 매질입자의 변위에 따른 박리두께 측정에 관한 연구; 형상 인식을 이용한 압력용기 용접부 초음파탐상 결함 특성 분류; 특수 초음파 탐상기를 이용한 특용 사례; 초음파에 의한 Spot 용접부의 비파괴평가-화상기법을 중심으로; Golay 코드를 사용한 초음파 펄스압축에서의 신호대 잡음비; 초음파시험 자동화 시스템 개발 기술; 얇은 두께의 세라믹에서 초음파를 이용한 가공평가; 가시화법에 의한 사각 탐상기의 지향성 해석; 초음파 속도와 미시역학 모델을 이용한 고급 세라믹스의 비파괴적 평가; 도파관을 이용한 고온 액침 초음파 센서의 가능성 연구; 수침 초음파를 이용한 확산접합부 평가, Nonde-

structive Characterization of Metal-Matrix-Composites by Ultrasonic Technique; α -알루미나 燒結體의 기공률 및 結晶立크기 變化에 따른 機械的 特性과 초음파 특성과의 關係 (Y.K.CHANG); 초음파 斜角 探傷時 缺陷形狀에 따른 周波數特性에 관한 研究 (W. H.LEE);

5. 결 론

주목할 만한 점은 이제까지는 두께가 한 종류로 여러 분야에 모두 적용하여 왔으나, 산업의 고도화로 인하여 점점 더 정밀하고, 더 정확한 두께 측정값이 요구되면서 각 분야별로 초음파 두께계도 탐상기처럼 다양한 타입의 탐촉자를 이용하여 각 분야에 맞는 두께계를 사용해야 할 필요성이 요구되었다. 그래서 이제는 정밀 두께계, 부식두께계, FRP/고무 두께계 등으로 각 적용하는 분야별로 다양한 모델이 선보이고 있다. 따라서, 두께계도 자신이 적용할 분야가 어떤 분야인지를 먼저 파악한 다음에, 그 적용에 알맞는 두께계를 사용하여야 비로서 정확하고 정밀한 두께 측정이 된다. 특히 멀티모드(Multi Mode) 타입의 두께계를 이용하면 다양한 탐촉자를 사용하여 다양한 APPLICATION에 응용할 수가 있어서, 여러 기종의 두께계를 이용하는 것보다 절감이 된다.

초음파탐상기 분야에서는 처음 제1세대에서 제2세대까지 걸리는 기간은 6년, 제2세대에서 제3세대까지 걸리는 기간은 4년이 걸린 것을 보면 앞으로 제4세대, 5세대 등으로 연결되는데에는 기간이 상당히 짧아질라 본다. 물론 앞으로 더 발전되고, 보완되어야 할 기능들은 자동화와 함께 현장에서 바로 결함판독이 쉬운 소프트웨어와 C-SCAN을 이용한 정밀한 화상 처리가 붙은 휴대용 탐상기가 곧 선보이게 될 것이다. 간과해서는 안될 사항은 탐촉자인데, 탐촉자의 특성을 잘 숙지하여 각 APPLICATION에 가장 알맞는 탐촉자를 선택하는 길이 중요하며, 새로운 탐촉자가 개발되면 빨리 숙지하여 사용해 봄이 바람직하다고 본다.

그러므로, 이제는 우리도 새로운 기능이 발표된 것을 가능한 빨리 소화하여 보다 선진국으로의 발돋움의 하여야 할 것이다. 장비는 날로 새로워지고 있기 때문에, 우리의 기술도 이에 못지 않게 발전되어야 할 것이다. 그런데, 대부분의 경우 사실 우리의 현실은 그렇지 않은 것 같다. 장비의 고도화는 무

관하게 아직까지도 과거 습관에 젖어 과거에 하던 방식을 고집한다면, 기술의 발전은 상당히 느려지게 된다. 또한 해외로부터의 시장 개방의 압력으로 인하여 다른 나라와의 교류가 가면 갈수록 많아지고 있는 현실을 고려해 볼 때, 우리도 하루빨리 우리의 기술을 보다 높이는데 앞장 서야 할 것이고 더 나

아가서는 다른 나라에게 우리의 수준 높은 기술을 역 수출할 수 있는 기회로 삼아야 할 것이다. 그러기 위해서는 초기단계에서 하루 속히 탈피하기 위해 먼저 최근의 장비의 특성을 빨리 정확하게 익히는 것이 앞서가는 일이라고 생각되며, 이러한 길을 기꺼이 추천하고 싶다.