

技 術 解 說

# 最近의 超音波에 의한 非破壞 試驗

田 春 生\*

## 차 례

- 1. 序 論
- 2. 超音波探傷探傷
  - 2-1 裝置와 測定原理
  - 2-2 探觸子
  - 2-3 探傷法
  - 2-4 探傷情報의 表示法
- 3. 超音波計測
  - 3-1 두께計測器
  - 3-2 距離의 計測
  - 3-3 器流速의 計測
  - 3-4 其他의 計測
- 參考文獻

### 1. 序 論

사람의 귀에 들리는 音, 所謂 可聽周波數는 大體로 20Hz~20KHz이며 이보다 높은 周波數의 音波를 總稱하여 超音波라 함은 周知의 事實이다.

歷史的으로 超音波의 應用은 第二次世界大戰中 敵의 潛水艦의 所在探知에 처음으로 使用하였는데 이것은 飛行機의 位置 標定에 電波가 쓰여진 것과 마찬가지로 方式으로 潛水艦의 位置 標定에 超音波가 利用된 것이다 이와같은 測定技術은 終戰後에 魚群探知로서 轉用되었으며 最近에는 時計의 分解掃除나 岩石等의 裝身具의 清掃에 超音波洗淨이 水晶等의 硬固하고 脆弱性이 있는 材料의 穿孔, 切斷에 超音波加工이 또한 薄板이나 細線에 대하여 溶材나 flux도 必要치 않은 接合으로서 超音波溶接이 활발히 실용화하게 되었지만 이것들은 어느 것이나 超音波의 에너지를 利用한 것이며 電力工學的인 利用인 것이다. 以下에 記述하는 것은 超音波情報의 媒體로서의 利用이며 通信工學的인 利用인 것이다.

非破壞檢査方法에는 여러가지가 있는데 過去에는 主

로 放射線 透過試驗이 主役을 이루어 왔다고 볼수 있다. 그런데 最近에는 超音波를 利用한 探傷裝置의 性能이 向上하였고 超音波를 利用하지 않으면 檢査할수 없는 對象物의 檢査가 必要하게 되었다는 點에 의하여 超音波의 利用이 相當히 急速하게 擴大되어 그 應用範圍도 水道管에서 原子燃料까지 이루어 되었다. 그러나 放射線 透過式 試驗에서는 檢出困難한 龜裂을 檢出할 수 있는 技術의 特性 및 高價인 消耗品이 必要치 않고 또한 檢査速度도 빠르다는 經濟性에 注目하여 放射線 透過試驗이 可能한 對象物에 대해서도 利用하게끔 되었다. 超音波에 의한 非破壞試驗을 利用目的에 따라 分類하면 探傷과 計測으로 大別할 수 있다.

以下 이들의 各種方法에 대하여 順次的으로 그 概要를 說明하겠다.

### 2. 超音波 探傷

超音波를 探傷에 利用하는 때에는 表 I에 나타난 것과 같이 原理的으로 pulse 反射法, 透過法 및 共振法이 있지만 現在 超音波探傷器라고 하면 거의 反射法을 말한다. 따라서 以下에서는 主로 A scope 表示의 pulse 反射法이 대하여 論하겠다.

#### 2-1 探傷裝置와 測定原理

普通 裝置는 外觀的으로 探傷器, 探觸子, 探觸子用 接續 및 電波 또는 直流安定化 電源으로 構成되어 있다. 探傷器本體의 電氣系統을 目的에 따라 整理하면 그림 1과 같은 block diagram이 된다.

同期部는 Braun管의 映傷이 靜止하지 않으면 困難하므로 靜止한 映傷으로 하기 위하여 送信波를 만드는 送信部와 時間軸을 만드는 sweep를 同時에 周期的인 動作指令을 준다.

sweep는 同期部에서의 指令에 의하여 3角波 또는 사다리形과 같은 傾斜部分을 갖는 電氣信號를 만들어 이것을 Braun管에 넣는다. Braun管은 普通 外部에서의 電氣信號가 오지않으면 兩面의 中心에 찍은 spot만 나타나지만 橫方向으로 잡아당기는 電氣信號가 가려지면

\*正會員: 仁荷工大電氣工學科教授 · 工博

표 1. 초음파탐상법의 종류와 용도

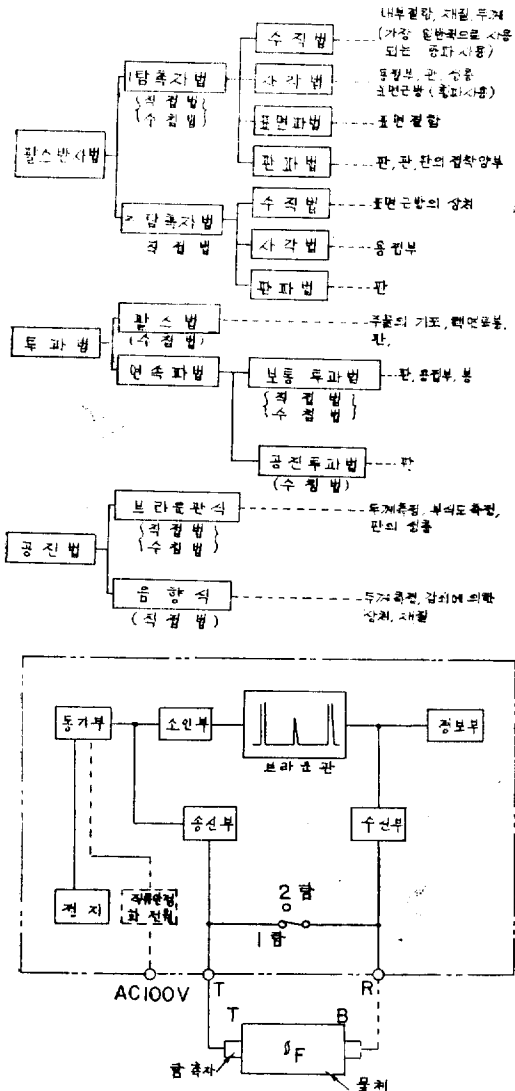


그림 1. 탐상기의 블록 다이어그램

는 左右로 움직여 線으로 보인다. spot를 水平으로 移動시킨 것은 電氣信號의 傾斜部分이고 移動速度는 傾斜角度에 따라 變한다. 送信部는 同期部에서의 指令에 의하여 超音波를 發生하기 위한 電氣의 信號를 만드는 곳이며 同期指令이 올때만 通電하고 그외에는 아무런 作用도 하지않는 스위치와 같은 役割을 한다. 送信部에서 振動子에 加해지는 高周波 pulse의 電壇은 水晶 振動子에서는 2000~3000(V)이며 ceramic 系振動子에서는 300~400(V)이다.

受信部는 振動子에서 받은 物體에서의 反射에너지를

揚曲시키지 않고 100~1000倍 程度로 連續적으로 變化시켜 echo를 大體로 그대로의 모양으로 크기를 加減하는 곳이며 振動子에서 보내는 波動은 A.C波形이지만 檢波하여 D.C波形으로 하고 高周波分은 除去하여 輪廓만 꺼내어 映傷增幅한다. 警報部는 測定距離內의 任意의 點에서 任意의 幅中에 echo를 發生하여 그 echo가 任意로 設定한 level 以上일 때에만 警報를 發하는 곳이다.

探傷에 超音波를 利用하는 것은 이것이 可聽音波에 比하여 指向性이 銳利하므로 音波를 集中할 수 있고 物體의 深部까지 浸透할 수 있는 特性때문에 缺陷의 모양을 正確하게 알 수 있기 때문이다.

그림 2에서 電氣의 pulse를 振動子에 주어서 超音波

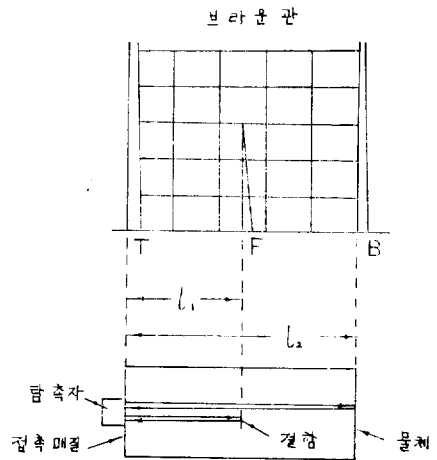


그림 2. 측정원리

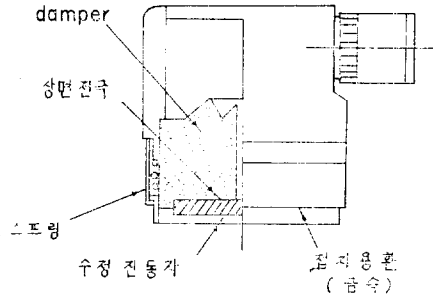
pulse(T)를 發生시키고 이 超音波를 물, 기류 등의 接觸媒質을 通하여 物體內部에 投射하면 材質에 應한 速度로 傳播하여 가다가 途中에 缺陷이 있으면 여기에서 反射波(F)가 되돌아온다. 또한 缺陷에 到達하지 않은 超音波는 底面에서 反射波(B)가 되어 되돌아온다. 이들 反射에너지는 振動子에 의하여 再次 電氣에너지로 轉換되어 增幅形成이 되어 그림과 같은 波形으로 Braun 管에 表示된다. 이것에서 物體의 表面으로부터 缺陷까지의 거리  $l_1$ 은 物體의 既知의 길이  $l_2$ 에서 쉽게 判讀할 수 있으므로 物體內部의 缺陷의 現態나 物體의 두께 등도 物體의 表面에다 探觸子를 接觸하므로써 簡單하게 測定할 수 있다.

2-2 探觸子

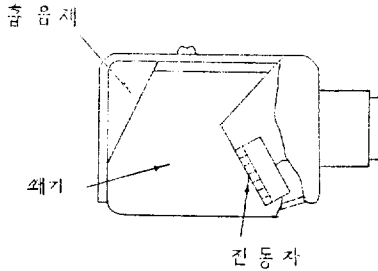
探觸子는 別名으로 probe, transducer, search unit

라고도 하며 超音波 振動과 電氣振動間的 電氣音響共振器이며 用途에 따라 裸水鑑探觸子, 斜角探觸子, 表面波探觸子, 水浸探觸子 등이 있다.

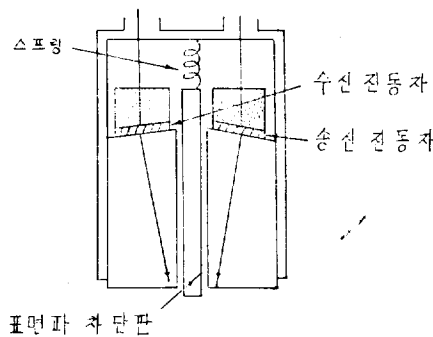
探觸子の 構造는 그림 3과 같이 되어있으며 그 主要部分은 垂直形에서는 振動子, damper, case, plug이며 斜角形에서는 더욱이 振動子の 前面에 arcylic 樹



(a) 수 직 용



(b) 사 각 용



(c) 2분할형

그림 3. 탐촉자의 구조

脂 또는 epoxy 樹脂를 傾斜지게한 왜기라고 부르는 것 을 附着시키고 있다. 이 속에서 振動子が 電氣와 超音波의 相互交換을 하는 役割을 한다.

使用하는 材料는 水鑑,  $BaTiO_3$ ,  $TiO_3+PbZrO_3$ ,  $Li_2SO$ , 等이며 이들 材料는 高周波振動의 電壓에 比例하여 두께가 伸縮하고 超音波振動으로 刺戟하면 兩面에 高周波의 電縮이 發生하는 性質이 있다. 水晶을 使用한 垂直形은 接地側이 露出하여 直接 物體에 接觸하는 것이 많지만 水晶 以外의 振動子는 모두 兩面 電極이며 直接形이라도 被覆된다. 振動子の 上部에 있는 damper는 高周波振動이 없어도 곧 振動子를 静止되게끔 吸音시키기 위한 것과 保護때문에 使用된다. 이를 위하여 吸音이 容易한 bakelite가 主로 使用되지만 epoxy樹脂나 gum을 使用한 것도 있다. 또 斜角形探觸子에서는 感度를 向上시키기 위하여 振動子の 背面에 damper를 附着시키지 않고 왜기로 하여금 damper의 作用을 시키는 것도 있다.

### 2-3 探傷法

#### 2-3-1 一探觸子法과 二探觸子法

超音波를 利用하여 材料를 檢査하는 경우에는 超音波를 보내는 送信探觸子와 反射 또는 透過하여온 超音波를 받는 受信探觸子가 있다. 이 경우 兩者를 하나로 共用하는 一探觸子法과 送受信 두가지로 나누어하는 二探觸子法이 있다. 兩쪽 모두 여러가지 특징이 있다. 즉 一探觸子法은 實際의 作業에 簡便하고 二探觸子法은 受信側쪽에 送信 pulse가 많이 들어가지 않으므로 近距離의 分解能이 좋고 또 透過式과 같이 送信, 受信의 探傷面이 相異하게 되는 경우에도 有效하다.

#### 2-3-2 垂直探傷法

이 方法은 그림 4에 나타낸 것과 같이 探傷面에 垂

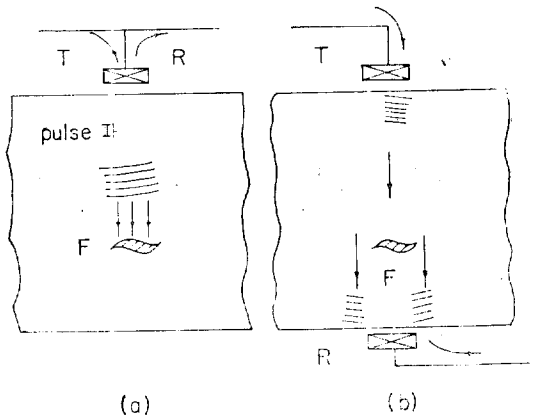


그림 4. pulse 수직탐상법

直으로 超音波를 照射하여 探傷하는 方法이다. 모양이 큰 鍛造品 等の 檢査는 이 方法을 利用하는 경우가 많

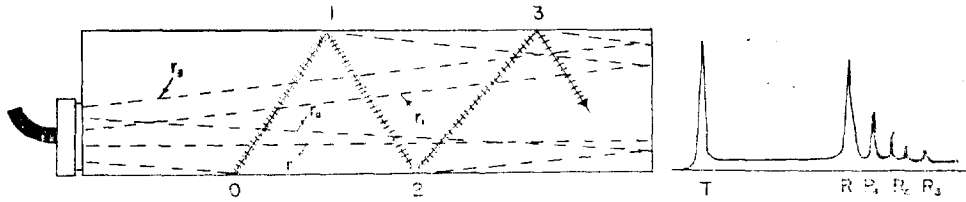
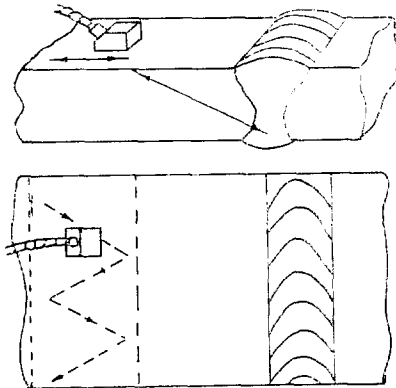


그림 5. 수직탐상법

다. 丸棒을 端面에서 이 方法으로 探傷하면 그림 5과 같은 A Scape 像(後述함)을 얻는다. 이 그림에서 보는 바와 같이 뒤진 echo는 側面에 到達하여 反射할때 縱波가 橫波로 變換하여 뒤져서 나타나며 大體로 棒의 直徑과 같은 距離마다 多數가 나타난다. 이 方法은 原則적으로 2~3MHZ의 周波數에서 使用되는 경우가 많고 減衰가 크거나 遠距離일때는 低周波를 使用하고 近距離의 探傷이나 적은 傷處의 發見에는 高周波를 使用하는 것이 바람직하다.

2-3-3 斜角探傷法

溶接部の 檢査 等の 경우에 使用되는 方法이며 振動子로 縱波를 發生시키고 楔기 또는 水浸法으로 探傷面에 傾斜진 方向에서 超音波를 入射시키는 方法이다. 普通은 屈折波로서 橫波의 屈折角 45~70°의 範圍를 使用한다. 이때 縱波는 監界角 以上이 되고 縱波의 屈折波는 없고 橫波만 되어 音波가 板의 表面裏面에서 反射하면서 그 사이를 進行하므로 斜角探傷에는 橫波가 利用된다. 縱波는 棒의 端面에서 약간 기우듬이 들어 가므로 橫波에 의하여 混亂을 일으키지 않는 경우 以外는 使用치 않는다. 斜角探傷法에는 一探觸子法과 二探觸子法이 있다. 그림 6은 一探觸子の 例을 나타내고



주사법  
그림 6. 탐촉자법

이 경우의 缺陷의 形狀을 推定하는 方法의 例은 그림 7에 나타난다. 二探觸子法의 例은 그림 8와 같다. 屈

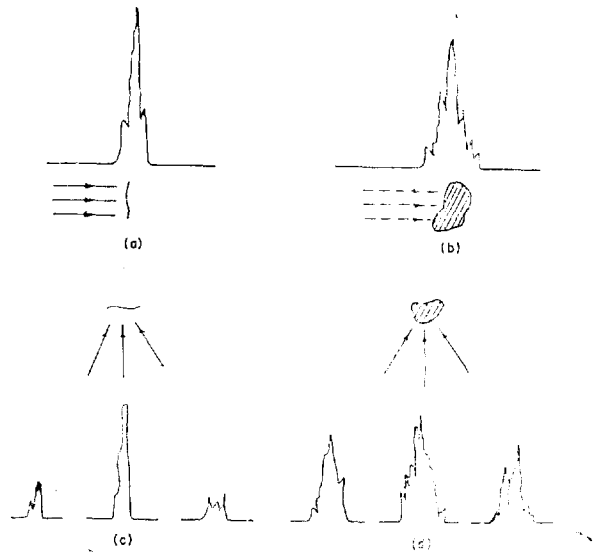


그림 7. 결합형성의 추정법

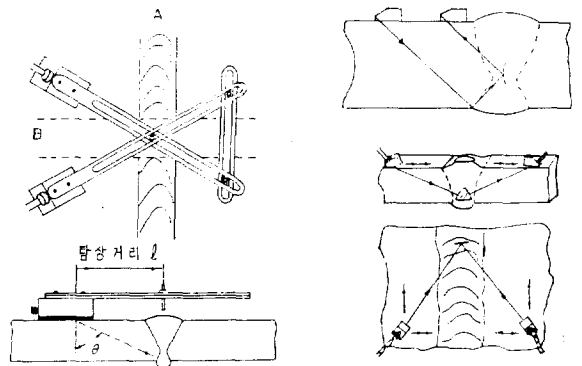


그림 8. 탐촉자법

折角은 板두께에 따라서 選定해야 한다. 가령 溶接部의 探傷의 경우 餘盛의 影響을 避하도록 入射하는 것도 必要하다.

2-3-4 表面波 探傷法

表面 가까이 缺陷은 表面波에 의한 探傷이 有效하

다. 이것은 超音波에너지가 表面下 數波長에 密集하여 있고 잘 研磨한 表面에서는 減衰가 적고 roll의 表面과 같은 圓筒面에 沿해서도 傳播하고 올한 稜線을 넘어서도 傳達하므로 陰이 되는 部分을 探傷할 수가 있다. 表面波를 發生하는 方法은 두가지가 있으며 그 하나는 Y-cut 水晶을 表面波 進行方向(x方向)의 幅  $l$ 와 두께  $t$ 의 關係를  $l=7t$ 로 한다. 이때 水晶의 振動狀態는 表面波의 變位分布와 一致하여 x방향으로 表面波가 나간다. x方向과 直角方向의 길이는 指向性에 關係된다. 또 하나의 方法은 斜角探傷法과 같은 X-cut의 水晶을 使用하고 plastic의 翹기를 使用하여 屈折角이 90가 되도록 하면 된다. 表面波探傷은 1~5MHz를 利用하고 表面波의 傳播方向과 直角으로 이룬 傷處는 數分の 1mm의 깊이의 傷處도 檢出할 수 있다. 이 方法을 適用한 例를 그림 8에 나타내었다. 또 honeycomb 構造의 檢査에는 送信探觸子와 受信探觸子를 20~30mm 떨어져 走査하면 된다.

2-3-5 板波 探傷法

板波는 音波의 波長과 같은 程度의 두께의 板이 全體로 振動하는 彈性波이다. 垂直探觸子에서 나온 縱波를 適當한 角度의 翹기를 通하여 板에 入射하면 角度板의 材資, 두께, 使用周波數에 의하여 板波가 傳播한다. 振動의 mode는 對稱形, 非對稱形이 있으며 또한 각각이 一次, 二次, 三次等 無數하게 存在할 수 있지만 實際는 其中의 一, 二가 使用되고 있을 따름이다. 板波의 特徵은 이 mode에 의하여 傳播速度가 다르므로 表面波나 橫波가 區別된다. 두께 數 mm이하의 薄振이나 薄 pipe의 探傷에 應用된다.

2-3-6 浸漬法

浸漬法은 試驗體를 全部 液體에 浸漬하든가 또는 探觸子와 試驗片의 사이에만 局部的으로 液體를 채우고 檢査하는 方法이 있으며 液體로서는 물, 기름 등을 使用한다. 이 方法에서는 探觸子와 試驗片이 直接 接觸치 않으므로 超音波의 送受가 安定하게 이루어지는 自動探傷에 잘 利用된다. 지금 물에서 鋼으로 縱波를 보내는 경우를 생각하면 水中의 縱波의 速度는 鋼의 約이다. 따라서 屈折角이 크고 垂直探傷의 경우에는 探觸子를 正確하게 試驗片에 垂直으로 向하게 할 必要가 있다. 水中에서는 波長이 짧아지므로 指向性이 좋게 된다. 그러나 水中에서 鋼에 들어간 音波 beam은 때로는 擴散하여 그림 9의(a)와 같이 된다. 그러나 浸漬法에서는 境界가 lense作用을 하는 現象을 利用하여 能率적으로 探傷할 수가 있다. 그 例를 그림 9-b에 表示한다. 이와같이 一定 位置에 焦點을 맺게하여 探傷感度を 높일 수 있다. 또 超音波의 範圍를 좁게 하여[走

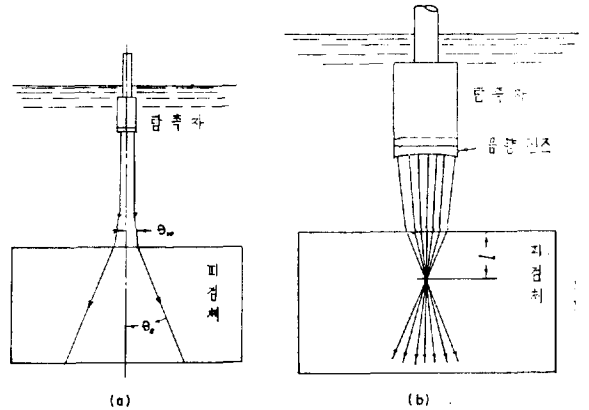


그림 9. 칩 지 법

査하는 경우 등 beam을 收束하기 위하여 collimator를 使用할 수가 있다. 이것은 구멍이 뚫린 反射板을 使用하여 구멍을 通하는 beam만 入射시키고 다른 것은 단곳으로 透過시키든가 吸收가 큰 物質로 만든 구멍이 뚫린 gap를 使用하는 경우가 있다.

2-3-7 透過法

送信探觸子에서 發生된 超音波가 試驗體를 透過하여 受信探觸子에 受信되는 경우에 만일 試驗體에 缺陷이 있으면 散亂, 反射等 때문에 透過에너지가 弱해지므로 透過音壓을 測定하므로써 材料의 狀態를 調查할 수 있다. 이 경우에는 連續波法도 pulse波로 使用된다. 이 方法에는 試驗體의 두께에 制限이 없고 超音波가 物質을 透過하는 經路는 反射法의 切半에서도 되므로 減衰가 큰 것이 利用된다. 또한 計器指示나 記錄이 容易하고 檢査速度가 큰 特徵이 있다. 그러나 缺陷의 位置를 알수 없고 缺陷의 檢出感도가 낮다. 또 探觸子の 接觸不良이 의한 減衰와 缺陷에 의한 減衰를 分別할수가 없고 또 2個의 探觸子를 正確하게 合致시켜야 하는 등의 缺點이 있다. 透過法에는 連續波를 使用하는 方法 以外에 周波數를 變化시켜서 試驗片中에 定常波를 만들어 檢出感도를 向上시킨 共振透過法도 있다. 즉 이 경우 試驗片의 두께가 半波長의 整數倍이면 定常波가 생기고 缺陷이 없을 때에는 音波의 透過率은 100%이고 反射率이 0이 되지만 缺陷과 減衰가 있는 경우에는 그렇게 되지 않는 것을 利用한 方法이다.

2-4 探傷情報의 表示法

音波를 材料의 一端에서 pulse式으로 보내는데 橫波 以外는 모두 X-cut 振動子를 使用하고 垂直 또는 斜角으로 被檢査物에 音波를 보낸다. 材料에 들어간 音波는 缺陷部 또는 端面에 부딪쳐 反射되어 온다. 이 反

射波를 捕捉하여 그 模樣에서 缺陷에 關한 情報를 얻게 되는데 이 反射波의 表示方法에 의하여 여러가지 方法으로 區別된다.

2-4-1 A scope

이 方法은 裝置가 簡單하므로 가장 널리 利用되고 있으며 AC형, DC형이 있다. 그림 10은 이 例를 나타낸 것이다. 이 그림의 圖形은 Braun管(CRT)에 나타나는

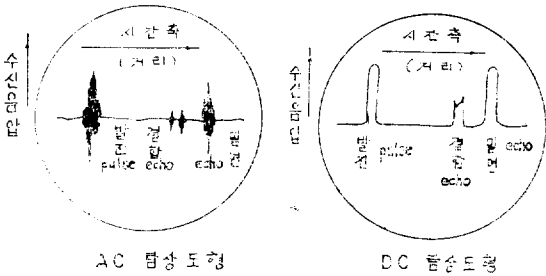


그림 10.

것이며 縱軸은 受信音壓에 比例하는 것을 表示하고 橫軸은 時間軸이며 超音波가 反射하여 되돌아오기 까지의 時間을 나타내고 探傷面에서 反射面까지의 距離에 對應한다. 따라서 이것을 距離軸이라고도 한다. 一般의 探傷器에서는 距離軸과 sweep速度의 비는 一定하게 되어 있지만 距離가 멀어짐에 따라 sweep 速度를 低下시키는 것도 있다. A scope는 echo의 높이에서 缺陷의 크기, 距離軸上的 位置에서 缺陷의 位置, 走査範圍에서 缺陷의 擴大範圍 等を 決定할 수가 있다.

그러나 一探觸點의 結果만 얻을 수 있으므로 判定에 重要한 圖形의 變化의 記錄을 남길 수가 없다. 受信音壓은 受信電壓으로서 CRT上에 echo의 높이로서 表示되지만 이 受信音壓의 記錄法에는 다음 3가지 方法이 있다.

1) 直續法 : echo의 높이를 CRT上에서 直接 읽을 수 있는 方法이다. AC형 圖形은 움직임의 頂點間에서 높이를 測定한다. 이 方法에서는 echo의 높이와 受信音壓의 關係를 알아 둘 必要가 있다. 이때문에 減衰器를 利用하든가 또는 標準試驗片(STB)를 使用하여 特性을 구한다.

2) 底面比法 : 缺陷에서의 反射音壓을 알기 위하여 同一條件에서 入射한 超音波의 試驗材의 底面에서의 反射音壓을 基準으로 使用하는 方法이며 底面에서의 反射音壓과 缺陷에서의 音壓下와의 比, 즉  $F/B$ 로 表示한다. 그러나 B는 缺陷發生部와 同一減衰度의 材質이며 缺陷이 없는 部分의 底面 echo  $B_f$ 를 意味하지만 이것을 保證한다는 것은 普通 不可能하며 探傷位置가 變

하면 總合感度가 變한다. 一般으로 缺陷 echo 發生部の 底面 echo  $B_f$ 로써  $F/B_f$ 를 나타낸다. F가 클수록  $B_f$ 는 적어진다.

3) 音壓表示法(decibel 表示法) : 缺陷에서 反射하여 온 超音波에 의하여 생긴 受信音壓과 標準音壓과의 比(decibel)로 表示하는 方法이다. 이 標準의 音壓을 表示하는 方法이다. 이 標準의 音壓을 表示하는 것으로서 探觸子의 接觸狀態의 差에 의한 影響을 除去하기 위하여 缺陷 echo를 얻은 位置에서의 底面 echo를 使用하는 일이 많다. 表示하려는 缺陷 echo의 CRT圖形上에서의 높이가 底面 echo의 CRT圖形上의 높이와 같게끔 減衰器를 操作하고 缺陷 echo의 音壓이 底面 echo의 音壓의 몇배인가 또는 몇분의 1인가는 減衰器의 dB 눈금에서 直讀한다.

4) L scope法 및 相殺 A scope法 : 形狀이 複雜한 것을 探傷할 때 缺陷以外的 反射도 있어서 缺陷 echo와 區別하기 힘들므로 標準이 되는 良品의 echo와 比較하여 使用하는 方法이다. 그림 11에 表示한 것과 같이 1臺의 pulse 發振器를 使用하고 2個의 探觸子를 交代로 切換하여 CRT上에 指示한다. 相殺 A scope는 標準材

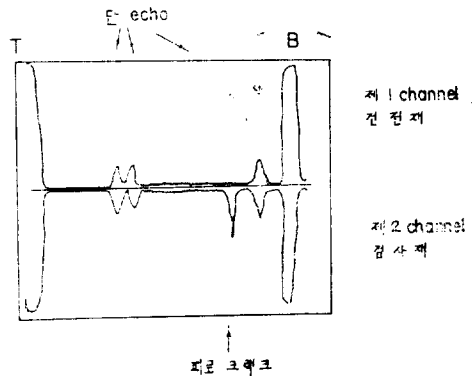


그림 11. L scope

와 같은 位置에 생기는 것을 相殺하여 消失되고 缺陷 echo만 畫面에 나타나게 된다.

2-4-2 MA scope

探觸子가 試驗材上을 走査할 때에 생기는 A scope 圖形을 重合시켜 얻은 圖形을 MA scope라고 한다. 蓄積形 CRT上에 直接記錄시키는 方法과 普通의 CRT를 使用하여 記錄 film上에서 重合시키는 경우가 있다. 停留性 echo와 移行性 echo를 識別하는데 좋고 또 缺陷 echo를 全部검치므로 探傷範圍 全域의 模樣을 알아 내는데 便利하다 그림 12는 이 例를 나타내고 있다.

2-4-3 B scope

A scope에서는 基線이 한쪽 또는 兩側으로 움직이

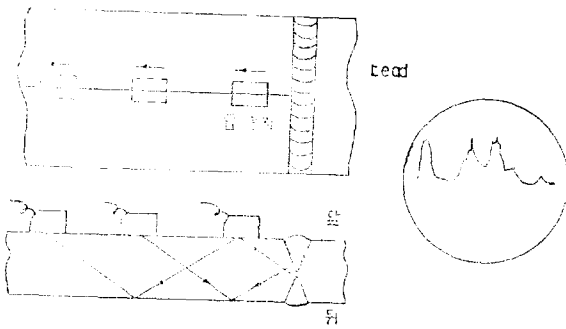


그림 12. MA scope법

지만 이 움직임 代身에 基線의 明度を 變化시키는 輝度 變調을 하여 探觸子의 移動에 따라 基線을 上下로 移動시키면 探觸子를 利動시킨 直下의 斷面內에 있어서의 傷處의 分布狀態를 直感的으로 알 수가 있다. B scope의 圖形을 얻는 方法으로서는 殘光性 CRT 上에 直接 그리게 하는 方法과 film 記錄紙上에 그리게 하는 方法이 있다. 그러나 近年에는 蓄積形 CRT가 實用하게 되었다. 그림 13은 이 例를 나타낸다. CRT 上에 受信音壓을 輝點으로 나타내는 positive 法과 暗點으로 나타내는 negative 法이 있다. 또 CRT 上에서 直接 그리게 하면 그 크기에 의하여 走査範圍가 限定된다. 이때 探傷位置軸의 移動과 走査速度를 一定하게 하는 것이 바람직하다. 殘光性 CRT에는 位置軸의 移動과 走査速度를 同期시켜 같은 走査를 몇 회라도 반복하여야 한다. 蓄積形 CRT는 1회의 走査라도 좋다. film 上에 記錄시킬 때는 探觸子의 走査에 同期시켜 CRT 記錄用 film을 移動시키면 된다. 이 方法에서는 探觸子 走査線下의 異常部分의 分布狀態, 表面에서의 깊이를 알게 되고 試料를 走査線으로 切斷할 때의 같은 圖形이 나타

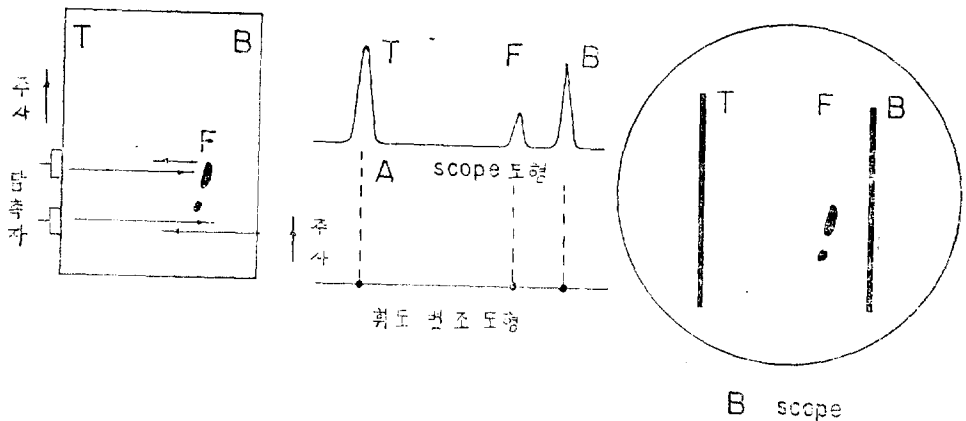


그림 13. A scope와 B scope

나지만 缺陷의 깊이는 顯示되지 않는다.

2-4-4 C scope

그림 14에 表示한 것과 같이 試驗材上에 있어서의 探觸子의 位置를 CRT 上에 나타내고 探觸點下에 있어서의 缺陷의 存否를 輝點(또는 暗點)으로 顯示한 것이며 X線 透過寫眞과 같은 圖形을 얻을 수 있다. 이 方法에서는 探傷面에서 缺陷까지의 거리 및 缺陷의 깊이는

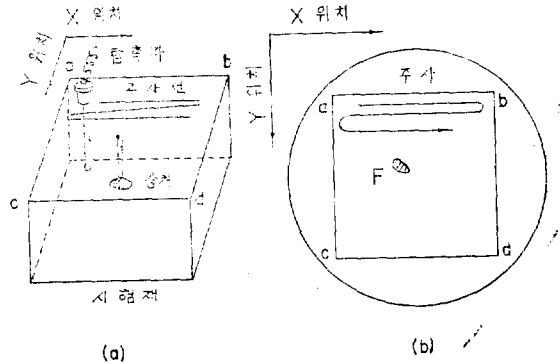


그림 14. C scope

나타낼 수 없다. 顯示로서는 CRT 上에 그리는 方法과 記錄紙上에 그리는 方法이 있다. 이 方法은 一般으로 自動走査로 한다. 이 方法에서 缺陷의 깊이를 色으로 나타내는 것도 製作되어 있다. 즉 深度를 gate에 의하여 段階로 나누어 靑綠, 赤色으로 表示하는 多色式 C scope에 의하여 缺陷의 깊이를 色으로 나타내는 方法이다.

2-4-5 立體表示法

缺陷의 位置를 立體感을 주어 나타내기 위하여 B scope와 C scope를 겹쳐놓는 것과 같은 方法이며 그림 15에 나타낸 것과 같이 1走査線의 探傷結果를 B

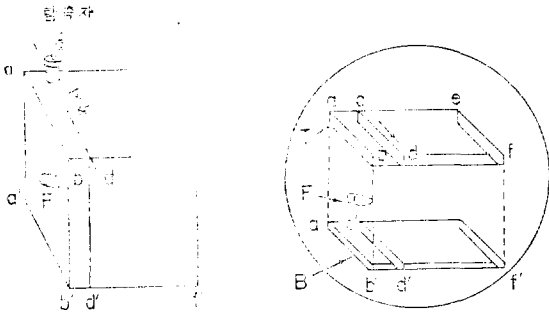


그림 15. 입체적 표시

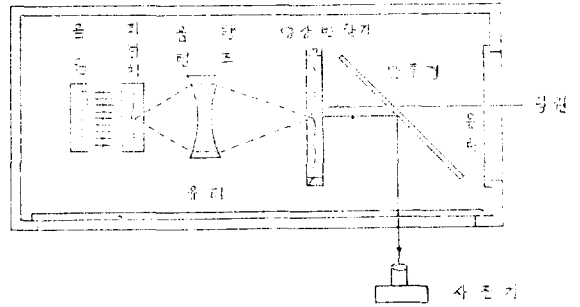


그림 16. 음상직시법

scope로 나타내고 이에 隣接한 走査線의 探傷結果를 前圖보다 약간 傾斜지게 뒤져서 나타내고 이것을 반복하여 가는 方法이다.

2-4-6 音像直視法(直像法)

試驗體液體에 浸漬시키고 한쪽에서 平行한 超音波를 보낸다. 材料中에 缺陷이 있으면 音波가 通하지 않으므로 그 背後에 音의 그림자가 나타나지 않는다. 이 音의 像을 적은 Al箔(直徑 20 $\mu$ , 두께 1.5 $\mu$  程度의 것)을 넣은 液에 入射시키면 超音波가 와있는 部分의 Al箔은 一定方向으로 配列되고 그림자의 部分은 몇대로 配向하므로 橫쪽에서 光을 쬐이면 音의 그림자를 볼 수 있다. 1회의 探傷 區域에서 約 10cm徑의 範圍를 볼 수 있다. 이 裝置의 略圖는 그림 16에 나타내었다.

2-4-7 計器指示法

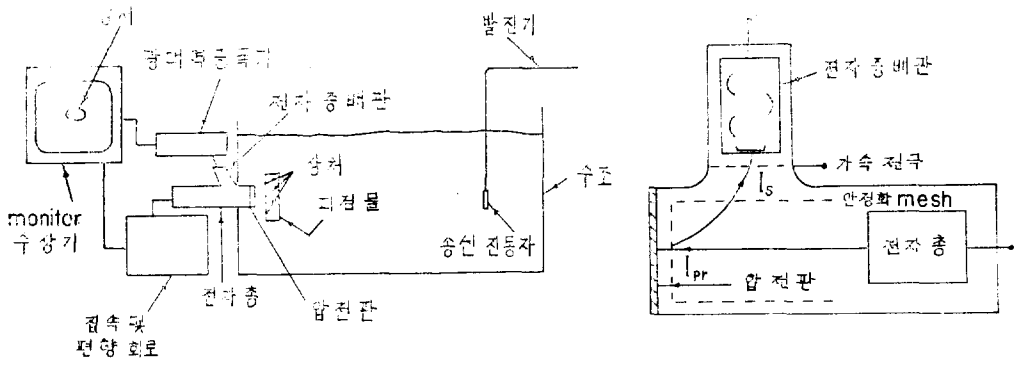
探觸子에서의 受信音壓은 計器에 의하여 指示하는 方法이며 受信音壓만으로 缺陷을 알 수 있는 경우에 使用한다. 이 音壓에 의하여 變化하는 電壓을 記錄紙에 曲線으로서 自己시킬 수도 있다. 더욱이 濕氣를 保持한 記錄紙에 電壓을 加하면 그 電壓에 比例하여 色調를 變化시키든가 黑白으로 變色시킬 수 있다.

2-4-8 超音波 TV法

超音波에 受信하는 壓電素子를 大形으로 하면 壓電素子上에는 受信壓像에 對應하여 電壓의 分布가 생긴다. 이 電壓을 機械的으로 受信電壓을 走査하면서 檢出해내면 超音波에 對應한 電壓分布像을 얻을 수 있다 이 原理를 利用하고 機械的 走査 代身에 電子線으로 走査하여 高速度走査로 TV 裝置의 Braun管에 超音波像을 나타내는 것이 成功되고 있다. 그림 17은 이 例를 나타낸다. 이것은 全體를 水槽中에 넣고 送信振動子에서 放射된 超音波의 試驗片을 通過한 後의 그림자가 壓電板에 나타나 超音波의 세기가 電壓分布로 變換되어 電子銃에서 나오는 走査 beam에 의하여 생기는 2次電子를 變調하여 TV像으로 한다.

2-4-9 gate法

連續 또는 自動探傷에서 缺陷의 echo만 選出하기 위하여 電氣的인 gate 回路를 使用한다. 즉 送信波와 底面 echo를 除去하기 위해서 注目區間을 Braun 管에서 보면서 gate起點과 gate 範圍點을 따로따로 決定한다. 이 以外에 減衰를 自動的으로 補正하기 위하여 電氣的으로 거리에 의한 增幅器의 利得을 自動的으로 變



(a) 초음파 TV 장치

(b) 초음파 TV camera

그림 17. 초음파 TV



화시키든가 또는  $F/B$ 를 얻기 위하여  $B$ 를 一定하게 하고  $F$ 의 값만 읽을 수 있게 할 수도 있다.

### 3. 超音波計測

超音波를 利用한 工業計測은 相當히 廣範圍한 應用이 있지만 여기에서는 狹義의 非破壞檢査로서 重要的 두께計測에 대하여 주로 記述하겠다.

#### 3-1 두께計測器(thickness gauge, TG)

放射線을 利用한 透過形, TG가 線源과 檢出器를 서로 對象物의 兩面에 配置해야 하는데도 불구하고 超音波를 利用한 TG에서는 透過形의 方式은 實用되는 일이 없고 共振形이나 反射形은 對象物의 한쪽面만 接觸하면 된다.

##### 3-1-1 共振形 TG

可變周波의 連續波發振器의 出力을 接續한 水晶振動子를 金屬板에 接觸시키면 超音波가 板中에 傳播한다. 板中에서의 波長은 音速을  $c$ , 周波數를  $f$ 라고 하면  $\lambda = \frac{c}{f}$ 의 關係가 있다. 周波數  $f$ 를 變化시키면 波長도 連續的으로 變化하고 整數  $n$ 倍의 板두께  $t$ 가 갈게 되면 즉  $n\lambda = t$  일때 板中에서 定在波가 생겨 板은 共振한다. 어떤 周波數에서 定在波가 생기지 않는 경우에는 振動子에서 거의 音響에너지가 나오지 않지만 共振하면 그 振動에너지를 供給하게 되어 發振器의 陽極電流가 增加하므로 이 變化를 增幅시켜 Braun 管으로 觀測한다. 따라서 共振이 생겼을때 板두께는

$$t = nc / zfn$$

에 의하여 구하지만 實際에는  $n$ 를 알 수가 없으므로 Braun 管上에는 2개 以上の 定在波를 내고 그 差를 구하면

$$t = c / z f_1 = c / z (f_n - f_{n-1})$$

觀察된 Braun 管上의 定在波의 基本周波數를 알기 위하여 미리 振動을 計算하여 놓은 눈금波를 별도로 發生시켜 놓고 이것과 定在波를 合致시키면  $f_1$ 을 알 수가 있으므로 두께  $t$ 를 구할 수 있다. 實際로는 눈금 dial을  $t$ 로 읽을 수 있게 하였으므로 定在波와 合致하였을 때의 dial 눈금을 읽으면  $t$ 를 直讀할 수 있다. 實用計測器로서는 測定範圍가 鋼板 0.4mm 以上이고, 測定精度는 鋼板 50mm 以下에서는 直讀 눈금範圍內의 1%, 50mm 以上에서는 2%이다. Braun管에 共振點을 圖示하는 代身에 受話器로 共振周波數를 구하는 可聽形도 있지만 現在에는 많이 쓰이지 않고 있다. 可聽形의 變形으로서 rail 等の 龜裂을 檢出하는 crack meter가 있다. 이것은 두께를 測定하는 것이 아니고 音色의 變化에 의하여 龜裂의 存在를 알 수 있는 것이며 鐵道의 保

線區에서 利用되고 있다. 共振形 TG는 두께의 計測에 使用하는 것이 普通이지만 二枚板이나 成層의 檢出, 音速測定, 薄板의 内部缺陷의 檢出, 反對面의 腐食狀況을 推定할 수도 있다.

#### 3-1-2 反射形 TG

反射形 TG는 定在波를 發生시키므로 板의 平行도가 나쁘고 振動子가 다른 部分의 板두께의 變動이  $\frac{\lambda}{4}$  以上이면 測定할 수 없다. 또 反對面에  $\frac{\lambda}{10}$  以上の 가 는 凸凹이 있으면 實驗的으로 測定이 困難하고 實用的으로는 腐食이 많은 경우는 測定이 不可能하다. 이에 대하여 送受 2分割形의 探觸子를 A scope 表示의 pulse 反射式 探傷器에 二探觸子法으로 使用하면 Braun管上의 echo의 立上位置에서 最小두께를 쉽게 읽을 수 있다. 특히 腐食部의 計測에는 最小肉厚를 구하는데 適當하다. 同一原理로 두께를 meter로 直讀할 수 있는 專用器가 있으며 最近에는 digital 表示의 計測器로 市販되고 있다.

#### 3-2 距離의 計測

pulse反射式의 原理에 따른 것이며 水中을 傳播시키는 것에는 水力發電所의 surge tank나 液體容器의 液面計沿岸파도의 波高計, 大形船의 測深器, 魚群探知器 海底地層探査器 등이 있다. 空中을 傳播시키는 것에는 積雪計, 盲人誘導用 障害探知器 등이 있다.

#### 3-3 流速의 計測

##### 3-3-1 音速의 傳播時間 또는 位相差量 測定하는 方法

바람 및 溫度에 의한 超音波의 傳播速度의 變化에 의하여 測定하는 超音波風速溫度計가 實用되고 있으며 每秒 數 cm의 微風에서 數 10m의 暴風까지  $x, y, z$ 의 3方向 成分이 獨立的으로 測定할 수 있다. 一般으로 氣溫의 測定은 어느것이나 空氣에 의하여 加熱된 物體의 性質의 變化를 測定하고 있지만 이것은 音速의 變化로 測定함으로 獨特한 方法이다.

##### 3-3-2 sing-around法

管體의 外面에 送受波器를 附着시켜 内部流體의 流速의 變化에 의한 超音波到着時間의 差를 sing-around法을 使用하여 測定하고 電子回路에 의하여 流量으로 換算하고 있다. 다른 流量計와 같이 管路를 開放하여 中間에 넣을 必要가 없고 水溫水質, 濁度의 影響을 받지 않으므로 浮水場이나 發電所에 널리 利用되고 있다

##### 3-3-3 doppler式

水中의 微細한 粒子(먼지, 氣泡 等)에 의하여 反射한 超音波의 周波數는 流速에 따른 doppler shift를 發生함으로 周波數의 變化에서 流速을 測定할 수 있다.

같은 原理로 自動車나 夜間步行者의 航行用으로서 始作되어 航空機의 電波 doppler 航法の simulator도 製作되어 있다.

3-4 其他의 計測

3-4-1 粘度計

液體中에 振動片을 넣어 超音波 振動을 시키면 振動은 試料의 密度와 粘度의 크기에 의하여 減衰를 받는다. 이 減衰運動을 檢出, 增幅整流한 電壓을 一定하게 되게끔 pulse의 반복周波數를 變化시키는데 이 pulse數에서 精度를 換算할 수 있다.

3-4-2 濃度計

液體의 濃도에 의하여 이것을 透過하는 超音波의 音速 및 減衰가 變化하므로 超音波 pulse의 透過時間에 의하여 濃度の 變動을 檢出할 수 있다. 단, 溫度 다른 成分의 混合化 等に 의해서도 變化하므로 濃度 以外の 條件을 同一하게 놓을 必要가 있다.

3-4-3 橫彈性係數의 計測

彈性體의 橫彈性係數를  $G$ , 密度를  $\rho$ 라 하면 彈性體

中の 橫波의 音速을  $v$ 라고 하면 다음 關係式이 成立한다.

$$G = v^2 \rho$$

따라서 密度  $\rho$ 와 橫波의 音速  $v$ 를 測定하면 橫彈性係數  $G$ 를 구할 수 있다. 船舶이 巨大化됨에 따라 torsion 振動이나 軸馬力의 計測值를 正確하게 구할 必要가 있는데 이때문에 大徑中間軸의 橫彈性係數를 正確하게 구해야 된다. 實際로 torsion力을 加하여 計測하는 從來의 方法으로는 時間이 걸리고 또 正確性을 期할수가 없으므로 超音波에 의한 方法이 造船業界에서 脚光을 받고 있다.

參考文獻

- (1) 日本 非破壞檢査協會：非破壞檢査便覽(1967-5-20)
- (2) 日本學術振興會：超音波操傷法(1964)
- (3) 富士岳：日本電氣學會誌, No. 975, Vol. 89-12, 12, 1969.
- (4) 研勇五部：非破壞檢査工學, 產報社, 2, 1977.