

〈地質調査用〉

DIGITAL SEISMIC TIMER의 製作과 活用に 對하여

農業振興公社
姜 長 信

目 次

1. 序 論	2-3 CLOCK
2. 原 理	2-4 COUNTER PART
2-1 增幅回路	3. 機器의 構成과 現場測定法
2-2 START/STOP FLIP FLOP 및 TIME GATE	4. 機器의 利用分野
	5. 結 言

1. 序 論

우리나라 電子技術의 急速한 發展은 各種 物理探査裝置의 國產製作에 커다란 도움을 주게 되었으며 앞으로 많은 機器의 製作이 이루어 지기를 바라는 바이다. 本 機器도 geophone만을 除外하고 完全 國產部品으로 組立되었으며 價格面에서도 外國產에 比해 저렴한 價格으로 製作可能하였다.

Format's Principle에 依하면 大地中の 一點에서 發散된 彈性波가 地下로 傳播되어 受振點에 도달하는 初動의 경로는 minimum time path를 通過하게 될 것이고 이 初動의 走時는 彈性波 屈折法에서 가장 重要한 役割을 하게 되는 것이다.

人工震源에서 發生한 波群中 가장 速度가 빠른 것은 P波(primary wave 혹은 종파)이고 따라서 受振點에 最初로 도착하는 彈性波는 P波가 될 것이다. 彈性波 屈折法에서는 이 初動의 走時와 距離와의 함수關係인 走時曲線을 作圖하여 地下地質構造를 解析하는 것이고, 두 地點間

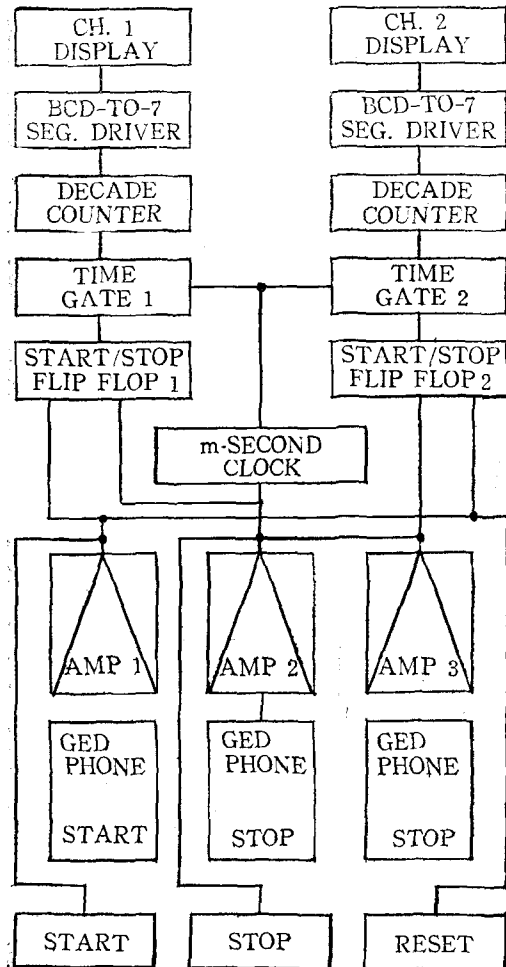
※ 産業應用技術士(地球物理)

의 彈性波 初動의 走時를 測定記錄하는 本 裝置는 Hammer의 衝擊에 依해 發生한 彈性波를 受振器로 受信하고 增幅器로 增幅시켜 檢波器를 通過 Timer의 數字로서 時間을 나타내게 하였다. 여기서 얻어진 走時曲線을 解析하여 地層의 두께, 物理的性質, 彈性係數의 算出, 構造帶의 位置, 幅, 地層構造成分 等을 찾아내서 資源, 土木, 建築 分野 等に 應用하게 되는 것이다.

2. 原 理

本 裝置는 震源에서 一定地點까지 彈性波가 도달하는 時間을 測定하는 一種의 時間計數器로서 增幅部分外는 二進法 論理回路를 도입하였다. 彈性波에는 여러 種類가 있으나 傳播速度가 가장 빠른 P波가 測定 對象이며 震源은 Hammer의 衝擊에 依存하였다. 衝擊으로 發生시킨 彈性波를 震源에서 가까운 地點인 Hammer-plate 인접部分에서 “microphone” 혹은 “geophone”으로 檢出하여 “Amp1”에 依하여 增幅한 후 “Start/stop Flip Flop”에 보내어 진다. 이때 “Start/stop Flip Flop”의 各各의 出力은 “Time Gate”에 “ON”의 信號를 보내어 Clock回路에서 發生한

初當 1,000회의 矩形波가 通過하도록 한다. 같은 方法으로 衝擊波인 彈性波를 受振器인 “Geophone 2”와 “Geophone 3”에 依해 檢出한후 各各 “Amp 2”와 “Amp 3”로 增幅하여 “Start/stop Flip Flop”回路에 보내어 지면 이 出力은 “OFF”에 信號를 보내어 “Time Gate”로 하여 各 Clock信號가 通過하지 못하게 하였다. 이 “Start/stop Flip Flop”에 일단 Start信號가 전달되어 “ON”의 出力을 낸후에 계속하여 Start信號가 들어가도 “ON”의 出力은 變化하지 않으며, 같은 方法으로 Stop信號가 계속하여 들어와도 첫번째 信號만 有效하게 製作되었다. 또한 Start信號에 依하여 “ON”이 되고 Stop信號에 依하여 “OFF”가 된후 다시 Start信號가 전달되어도 “OFF”의 出力은 變化하지 않도록 補助回



〈그림 1〉

路가 첨부되어 있다. 2-channel인 本 裝置의 Block Diagram은 그림 1에 表示되어 있다.

一般的으로 digital 探查裝置는 從來의 analog 型探查裝置에 比해 dynamic range가 크고 操作이 간편하고 測定이 수월한 장점이 있다.

2-1 增幅回路

“Amp 1”은 Microphone 혹은 Geophone 1에서 檢出하는 Start信號를 “Start/stop Flip Flop”의 論理回路 入力에 맞게 各 增幅하는 回路로서 60~70db의 增幅度를 나타내며 여기에는 gain 조절장치가 부착되어 있지 않다. microphone 혹은 Geophone 1은 衝擊震源인 Hammer-plate 인접부분에 設置하므로 60db정도로 충분하였다. “Amp 2” “Amp 3”은 “geophone 2,3”에서 檢出하는 stop信號를 增幅하는 回路로서 90-110 db까지 임의로 조절할 수 있는 gain이 各 各의 channel에 부착되어 있고 gain의 數値는 0.1.2.~9.10까지 表示되어 있다. “Amp 1,2,3”의 增幅回路圖는 그림-2와 같다. “Amp 3”은 “Amp 2”와 同一한 回路로 構成되어 있으며 “Amp 2”의 回路는 “Start/stop Flip Flop 1”의 回路와 “Amp 3”의 回路는 “Start/stop Flip Flop 2”의 回路와 연결되어 있다. “Amp 1”은 Stop이 된 후 Reset 되기 前에는 다시 Start가 되지 않게 하는 補助回路를 통해 “Start/stop Flip Flop 1,2”에 各 各 연결되어 있다. 震源에서 멀어짐에 따라 Amplitude는 弱화되며 다음 式으로 表示된다.

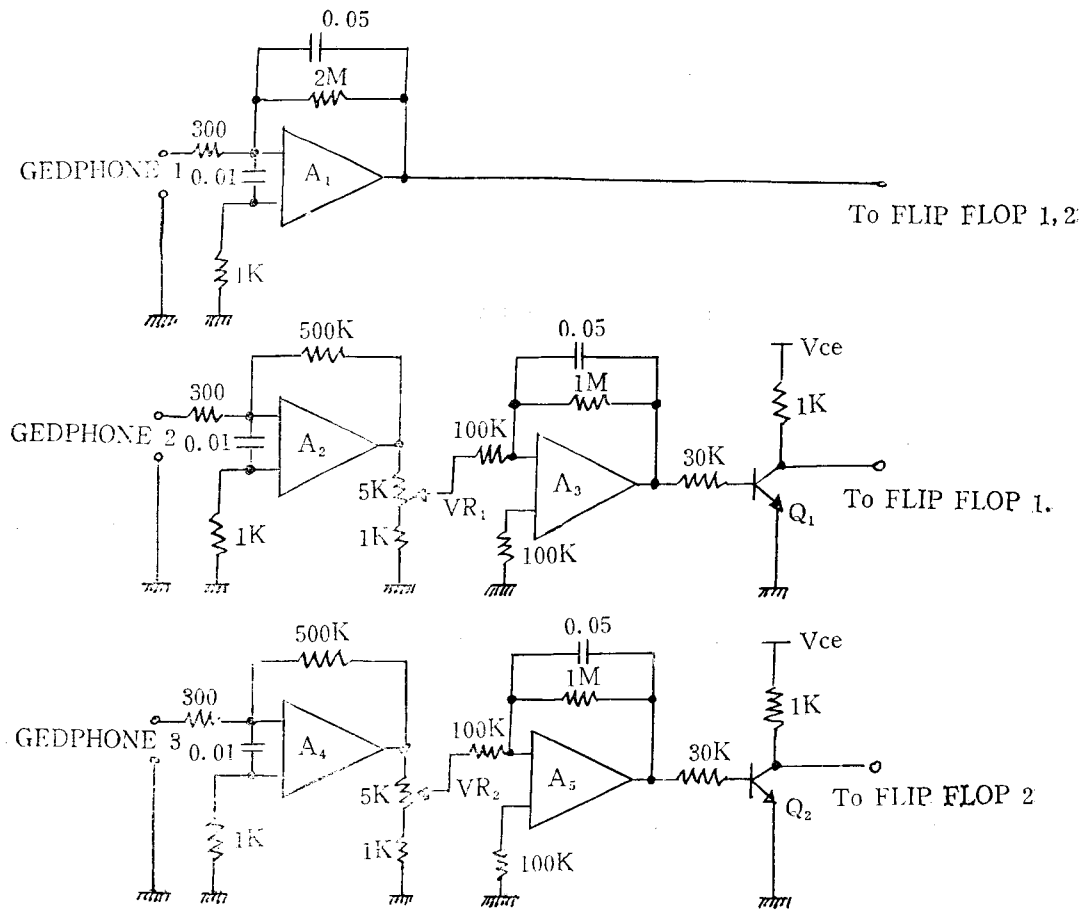
$$A = A_0 \cdot \frac{1}{r} \cdot e^{-f(w) \frac{r}{v}}$$

여기서 A_0 : Amplitude without attenuation

$\frac{1}{r}$: Spreading factor

$f(w) \frac{r}{v}$: Attenuation factor

上記 式을 Attenuation과 時間으로 圖示하면 그림-3과 같다. 故로 時間의 增加 即 距離가 멀어 짐에 따라 增幅度를 높여야 하며 이것을 調整할 수 있도록 gain (VR_1, VR_2)이 부착되어 있다. 本 裝置로서 測定한 바에 依하면 震源과 受振點 距離 50m에서 110db정도 增幅이 되어야만 初動의 衝擊波를 檢出할 수 있었으며 測定 最大距離는 地質, 地表의 條件 Hammer-plate의 位置,



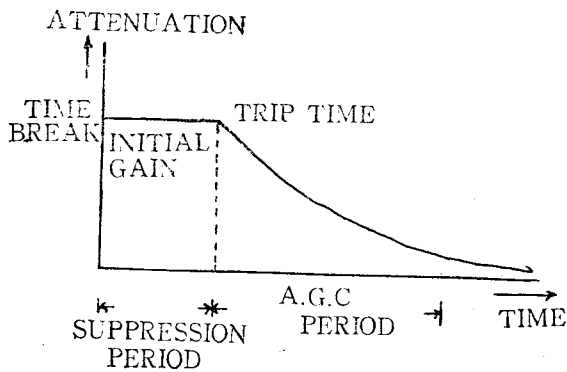
〈그림 2〉

接地條件, Hammer의 重量 等에 따라 相異하겠으나, 大略 50m內外가 될 것이다. 測定時는 1回 Geophone과 Hammer-plate를 設置한후 10回 정도 衝擊波를 發生시켜 測定 記錄하고 平均値를 求하여 兩地點間의 彈性波의 傳播時間을 算出하여야 한다. gain의 調整은 距離에 맞게 조

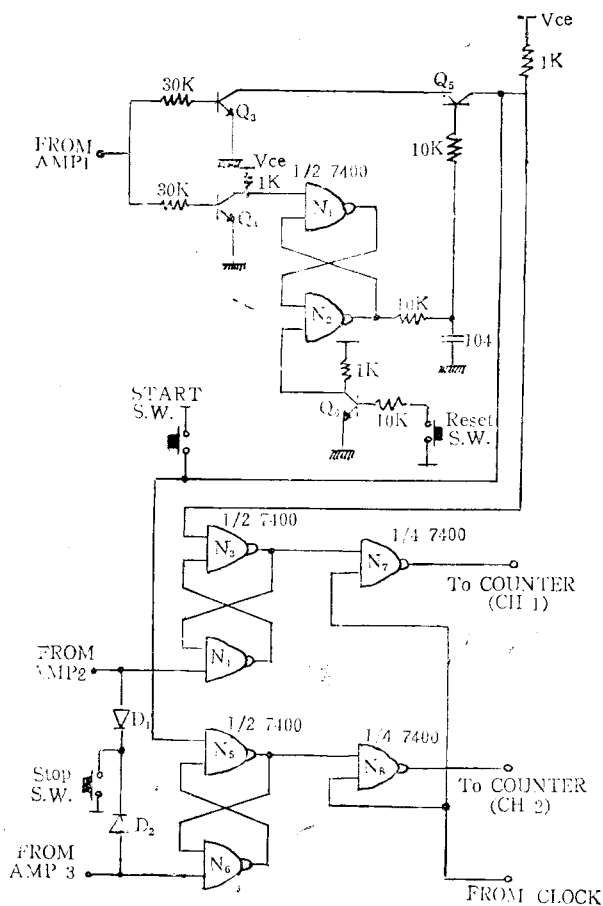
정하여야 하나 最大値에서 부터 줄여가는 方向으로 調整함이 좋을 것이다.

2-2 Start/stop Flip Flop 및 Time gate

“Nand Gate” N_3 와 N_4 로 channel 1 (geophone 2)의 Start/stop을 맡는 基本 Flip Flop을 構成하고 “Nand Gate” N_5 ‘ N_6 로는 channel 2 (geophon 3”)의 Start/stop을 맡는 基本 Flip Flop을 構成한다. “Nand Gate” N_1 과 N_2 및 Transistor Q_3 , Q_4 , Q_5 , Q_6 로는 stop이 된후 Reset되기 전에는 Start가 되지 않도록 하는 補助回路로서 Amp 1과 Flip Flop回路에 연결되어 있다. “Nand Gate” N_7 은 channel 1의 Time Gate이고 N_8 은 channel 2의 Time gate로서 各 各 Flip Flop의 出力이 “ON”이 되어 있을 때만 clock回路에서 만들어진 初當 1,000회의 矩形波를 counter에 전달하게 된다. “Time Gate” N_7 과 N_8 의 共同回路는 clock回路에 連結되어 있으



〈그림 3〉



〈그림 4〉

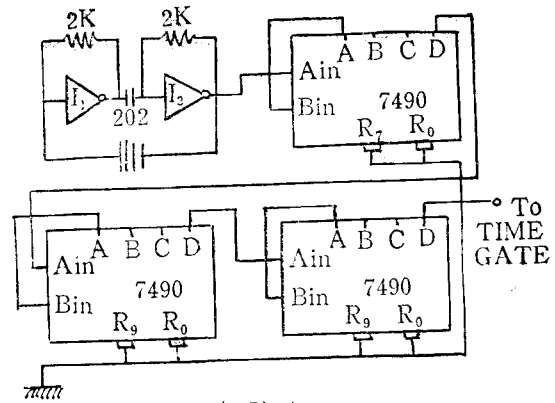
며 각각의 "Nand Gate" N_7 및 N_8 은 channel 1, 2의 counter에 연결되어 있다. "Start/stop Flip Flop" 및 "Time Gate"의 회로圖는 그림-4에 表示되어 있다.

2-3 CLOCK

固有진동수 1MHz를 갖는 X-tal Oscillator와 "Inverter" I_1 및 I_2 로 1MHz의 矩形波를 만드는 발진회로로 構成되어 있으며 이 矩形波 信號가 DECADE COUNTER "7490"을 3개 通過하되 各各의 DECADE COUNTER "7490"은 出力을 D단자로 할때 入力 진동수가 十分之一로 줄어나오게 되므로 最終으로 初當 1,000個의 矩形波를 "Time Gate"로 전달 하게 되어 있다. CLOCK의 회로圖는 그림-5에서 볼수 있을 것이다.

2-4 COUNTER PART

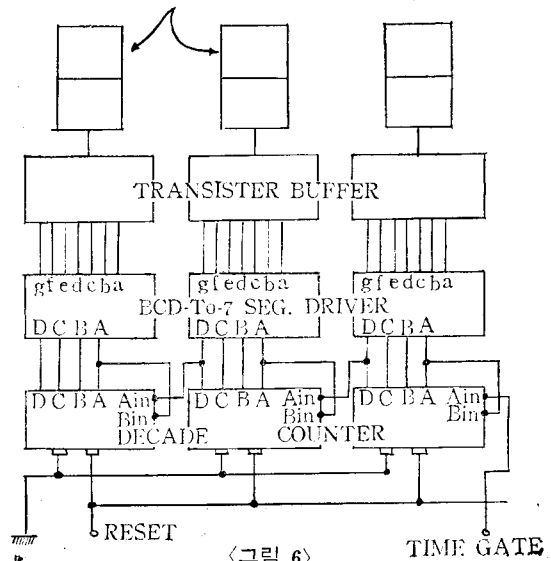
"Time Gate" 이후의 회로를 총괄적으로 COUNTER PART라고 하며 Counter方式은 다음



〈그림 5〉

과 같다. "CLOCK회로에서 Time Gate" N_7 및 N_8 를 거쳐 들어온 初當 1,000회의 矩形波 信號는 DECADE COUNTER "7490"를 通過해 BCD-To-7 SEGMENT DRIVER "7448" 회로로 전달되며 다시 7회의 L.E.D. DISPLAY에 전달되도록 設計되었다. BCD-To-7 SEGMENT DRIVER "7448"의 各各의 出力을 補強하기 爲하여 TRANSISTOR BUFFER를 使用하였다. 회로 "7448"의 出力 a,b,c,d,e,f,g는 各各 DISPLAY의 7획 a,b,c,d,e,f,g를 담당하여 불을 켜 줌으로써 十進法의 數字를 만들어 주게되는 것이다. 이 회로는 外部 회로에서 들어오는 數를 세기만 하는 회로로서 本 裝置의 경우 初當 1,000회 發生하는 矩形波의 CLOCK信號 즉 m-Second(ms)가 測定 單位가 된다. "Time Gate" 以後의 COU-

7 SEGMENT L.E. D. DISPLAY



〈그림 6〉



〈그림 7〉

7. Seismic Timer

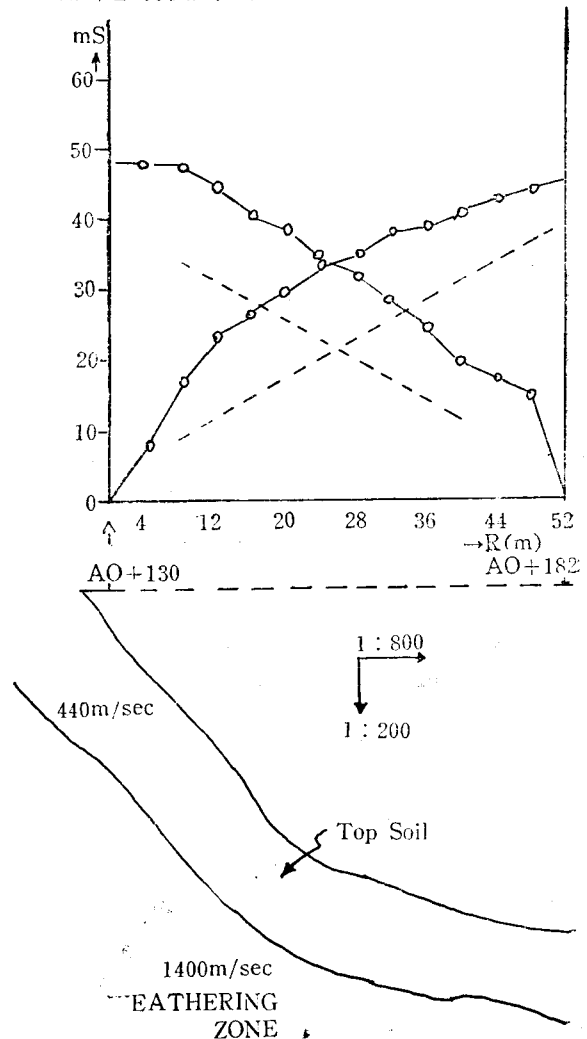
OUNTER PART 회로圖는 그림-6과 같이 形成되어 있으며 그림-6은 Channel 1의 counter part이고 Channel 2의 counter part는 그림-6의 回路圖와 同一하게 設計되어 있다. 7회圈的 L.E.D DISPLAY는 3개로 右로부터 1ms, 10ms, 100ms를 나타내게 되며 最大 999ms까지 記錄될 수 있게 製作되었다. 實測에서는 100~200ms 以內가 有用하며 一般적으로 100ms 以下의 數值로서 測定되고 있다. 例를 들면 P波 速度가 500m/sec인 Isotopic하고 Homogeneous한 土砂層이 깊고 넓게 分布하는 地域에서 Hammer-plate와 受振點과의 間격이 20m인 경우 P波의 傳播時間은 40ms가 될 것이다. 實測에서는 距離別(受振點과 震源의 距離) 彈性波의 走時를 測定하게 되는 것이다.

3. 機器의 構成과 現場測定法

本 裝置의 主要 構成成分은 2-channel의 Digital Seismic Timer 本體와 Hammer, Hammer-plate geophone cable, hammer cable, geophone과 microphone으로 이루어져 있고 geophone은 U.S.A. Geo SPACE會社 製品인 12°CPS의 Seismometer를 利用하였다. 電源은 Amp用으로 9Volt의 Dry-Battery가 使用되며 機器 全體의 作動은 6Volt의 Dry-Battery에 依存하였다. 電源을 節約하기 爲하여 切換 switch가 부착되어 있다. 또한 電源의 Test用으로 Battery Check Switch가 부착되어 있으며 start, stop Reset switch가 부착되어 있다. 本 裝置의 外形은 그림-7과 같으나 그림-7은 1-Channel의 Seismic Timer 本體의 外形이다.

現場調查方法은 調查 目的에 맞도록 選定되어

야 할 것이나 一般적으로 三大別할 수 있다. 그 하나인 斷面構造調查法은 測線下의 地下構造를 鉛直斷面을 따라 探查하는 方法으로 이를 細分하면 一般斷面法, 連續折點法, 屈折相關法, 그리고 2個孔의 試錐孔을 利用하여 地下構造를 探查하는 方法이 이에 屬하며 通常적으로 屈折法에서는 一般斷面法이 널리 使用되고 있다. 本 裝置로서 實測한 資料도 이 方法에 依存하였다. 두번째로는 平面構造調查法이 있으며 扇形法, 展開交散法이 이에 屬한다. 上記 두 方法中 測點, 測線間격을 좁힌 細密調查方法을 微細構造調查法이라고 하는데 土木, 建築 設計를 爲한 調查時 利用되며 여기에는 時差를 利用하는 方法, 零走時를 利用하는 方法, 一般斷面法을 利用하는 方法, 定常波法 등이 있다.



〈그림 8〉

산 頂部인 淸平揚水發電所 댐 建設 예정지의 物理探査 測線 (A-測線)에서 行한 實測資料와 走時曲線 및 解析斷面은 그림-8과 같다. 調查區間은 A-測線 O+130~O+182이며 本 裝置는 補助探査器로서 使用되었다. 本 調查에서는 12成分 Seismograph 機器가 利用되었고 震源은 Gelatine Dynamite가 利用되었다. 本 機器는 現場調查時 岩盤露頭의 速度測定 또는 風化帶의 速度測定에 應用될 수 있으므로 multi-channel Seismograph機器의 補助探査器로서 絶對적으로 必要하며 여기서 얻어지는 資料는 屈折基準面의 決定, 第一層의 速度 決定 等으로 走時曲線의 解析精度에 重要한 役割을 하게 되는 것이다. 本 測線下部 母岩은 Banded-Gneiss이고 심한 風化를 받은 地域으로 走時曲線의 解析結果 Top soil은 440m/sec의 速度層으로 그 深度는 2~3m 이고 第二層인 風化層은 1,400m/sec의 速度層으로 解析方法은 왕복走時를 利用한 不規則한 地層構造解析法에 依하였다. 地層傾斜가 一定치 않은 경우의 解析은 그림-9에서와 같이 一般斷面法과 時差를 利用한 調查法으로 實測하여 第一, 二, 三層의 彈性波 速度, 各層의 厚, 斷層의 有無 및 斷層이 있을 경우의 幅, 方向, 物理的 性質 等を 解析하게 된다. 그림-9에서 A, B

를 震源, 第一, 第二層의 速度를 V_1, V_2 D를 埋의의 受振點이라고 하고 屈折臨界角을 "i" D에서의 深度를 H_D 라 할대 Reciprocal travel time 을 利用하여 補正走時曲線을 作成한다. 그림-9에 示한 走時曲線圖上의 粘線走時 T_{AD}' 와 T_{BD}' 는 表層을 經거한 第二層의 走時를 나타내는 曲線으로 여기서 第二層의 速度 V_2 또는 軟弱部의 位置, 幅, 速度 等を 解析해 낼수 있게된다. 第一層의 速度는 原走時曲線上에서 求할수 있으므로 埋의의 受振點에서의 深度計算式으로 深度를 구할 수 있을 것이다. 深度計算式과 補正走時曲線의 關係式은 다음과 같다.

$$H_D = \frac{V_1}{2\cos i} (T_{AD} + T_{BD} - T_{AB})$$

$$T_{AD}' = T_{AD} - \frac{1}{2}(T_{AD} + T_{BD} - T_{AB}) = \frac{x}{V_2} + \frac{H_A \cos i}{V_1}$$

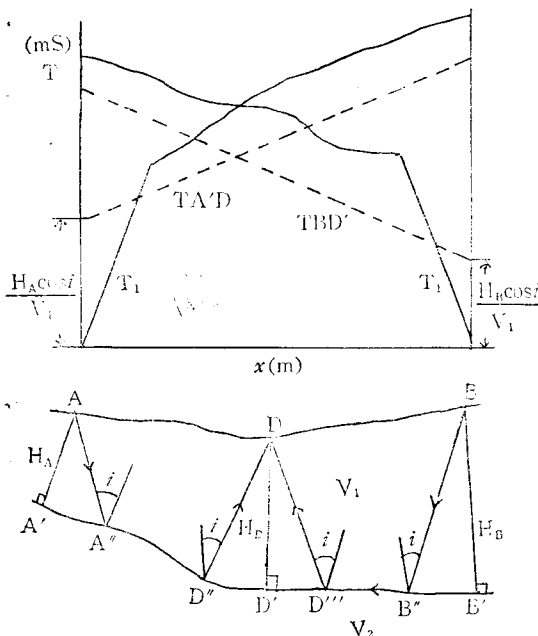
$$T_{BD}' = T_{BD} - \frac{1}{2}(T_{AD} + T_{BD} - T_{AB}) = \frac{x}{V_2} + \frac{H_B \cos i}{V_1}$$

$$\text{여기서 } \cos i = \sqrt{1 - \sin^2 i} = \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}$$

V_1 은 原走時曲線에서 V_2 는 補正走時曲線에서, 그리고 T_{AD}, T_{BD}, T_{AB} 는 實測值임으로 H_D 를 計算할 수 있게 된다. 여기서 T_{AD} 는 震源을 A에 두고 受振點을 D에 놓았을 경우 P波의 走時이며 T_{BD} 는 震源을 B에 두고 受振點을 D에 놓았을 때의 走時를 나타낸다. 또한 H_A, H_B, H_D 는 A, B, D點에서의 深度를 뜻하며 x 는 受振點과 震源의 距離를 나타낸다. 地層傾斜가 不規則한 경우라도 震源과 受振點거리가 가까운 거리일 경우는 水平二層 構造와 같이 취급할 수 있으므로 原點走時나 臨界距離를 利用하여 그 深度를 計算하기도 한다. 이렇게 하여 얻어진 各 受振點別 深度로 半球를 作圖하여 그 球面의 包絡面을 연결한 것이 第一, 第二層의 境界面이 되는 것이다.

4. 機器의 利用分野

彈性波探査의 一般的인 利用分野는 資源의 探査, 地質構造調查, 一般地質調查, 地球內部構造調查, 그리고 土木 建築 設計施工을 爲한 物理量의 획득수단으로 大別할 수 있겠다. 本 機器 本 裝置로 京畿道 加平郡 加平面 福長里 호명



〈그림 9〉

는 前述한 바와 같이 大規模의 地質構造調査나 深部探査 地球內部 構造調査 等 그 規模가 큰 探査에서는 그 利用價値가 별로 없으며 단지 multi-channel seismograph機器를 利用한 探査時 補助機器로서 利用될 수 있을 것이다. 大規模의 地質構造調査나 深部探査時에는 岩盤 露頭의 速度分布, 風化帶의 速度 第一層의 速度의 測定은 屈折基準面의 決定에 도움을 줄수 있을 것이다. 그러나 屈折法에 依한 小規模의 地質構造調査나 一般地質調査, 土木 建築 設計施工을 爲한 物理量의 획득수단 및 施工中인 土木工事 現場의 計劃조정時의 資料를 얻기 爲해서는 使用이 편리하고 조작이 간편할 뿐만 아니라 운반하기 쉽고 測定費가 저렴한 本 機器의 活用은 크게 기대되는 바이다. 또한 地表에 露頭가 있는 金屬鑛床, 石炭層의 探査나 沖積層 地下水 探査에 有用하게 利用될 것이다. 土木 建築 工事用 骨材源의 매장량 調査나 매설물의 探査에도 利用될 수 있고 基礎岩盤內部的 彈性波의 速度分布를 測定 解析하여 岩盤內部的 特性을 究明하는데 利用될수도 있겠다. 그리고 Damsite, Tunnel site, Cutting site, 用排水路의 路線 地質調査, 道路의 路線地質調査나 工業團地 造成 等の 土木工事を 爲한 基礎地質調査用으로 本 機器의 利用이 기대되는 바이다.

屈折法 探査로 얻을수 있는 資料는 堆積層의 構成成分, 層厚, 物理的性質 및 風化帶의 厚, 特性 岩盤의 深度, 斷層 破碎帶의 性狀, 分布 等이며 走時曲線에서 얻어지는 各地層의 彈性波 통과속도는 各種 物理量의 計算 基礎資料가 된다. 즉 彈性係數, 岩盤의 軟硬度의 판단 等이다. 彈性係數에는 Dynamic Young's modulus 와 static young's modulus가 있으며 算出公式는 다음과 같다.

$$Ed = \rho V_p^2 \cdot \frac{1}{g} \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)}$$

$$Es = \frac{1}{2}(V_p/V_R)Ed$$

여기서

E_d : Dynamic young's modulus

ρ : Density

μ : Poisson's ratio

V_p : Velocity of elastic wave. from seismic

prospectings

E_s : Static young's modulus

V_R : Velocity of elastic wave in rock picce

g : 重力加速度

또한 $E_s \approx \frac{1}{5}Ed$ 로 表示하기도 한다.

그리고 岩盤, 風化帶의 軟硬度는 다음식의 I_c 로 판단하기도 한다.

$$I_c = \frac{E_D - E_d}{E_D} = \frac{V_R^2 - V_P^2}{V_R^2}$$

여기서 E_D : 試料의 動彈性係數

E_d : 現場의 動彈性係數

V_R : 試料의 彈性波速度

V_P : 現場의 彈性波速度

上記 I_c 의 값이 0.25以下인 경우의 岩石을 軟岩, 0.25~0.65인 岩石을 硬岩, 0.65以上인 岩石을 軟岩으로 分類하기도 하나 岩石의 種類 分布狀態, 分類者에 따라 相異하다. 또 基礎地盤으로서 岩質의 良否判斷으로 I_c 의 값이 利用되기도 한다. 日本 土木學會에서는 I_c 의 값이 0.25以下인 岩盤을 아주 良質로, 0.25~0.5인 岩盤을 良質堅岩으로, 0.5~0.65인 岩盤을 堅岩質로, 0.65~0.8인 岩盤을 약간 不良한 岩盤으로, 0.8以上인 岩盤을 不良岩盤으로 區分하였다. 岩盤, 風化帶의 軟硬度의 判斷은 掘削工法의 決定, 掘進量과 火藥使用量을 推定할수도 있다.

以上の 資料들은 基礎地盤의 適否判斷의 基礎資料로서 Damsite, Tunnel site, Bridgesite Cutting site 등의 位置選定 및 各種 構造物의 位置 基礎지리工法의 決定等に 重要한 役割을 하게 된다.

地下水의 賦存狀態는 各地層의 構成成分과 層厚로서 판단할 수 있으며 他 調査資料와 對比解析함으로써 地下水 採水量을 추정할 수 있을 것이다.

5. 結 言

各種 物理探査의 目的은 짧은 時間內에 저렴한 費用으로 넓은 地域의 地質 및 地質構造를 파악하는데 있다 하겠다. 本 裝置도 이러한 目的에 符合되도록 設計 製作되었고 增幅部分 外는 二進法 論理回路를 도입하였다. 本 機器는

90~110db까지 增幅할 수 있는 增幅部와 Start/stop Filp Flop回路, Time Gate回路, Clock回路 그리고 단순히 clock回路에서 들어오는 初當 1,000회의 矩形波를 세기만 하는 counter part로 構成되어 있다. 本 機器를 利用한 彈性波 探查는 資源, 地下水, 土木 建築 設計施工을 爲한 地質調査, 콘크리트 또는 아스팔트의 強度 測定에도 利用될 수 있으며 特히 Damsite, tunnel site, cutting site, 用排水路, 道路의 路線, 工業團地 造成을 爲한 各種 土木工事의 基礎地質 調査에 有用하게 利用될 수 있을 것이다. 本 機

器를 利用한 屈折法으로 얻어질 수 있는 資料는 堆積層의 構成成分, 層厚, 物理的 性質, 風化帶의 厚, 性質, 岩盤의 深度 狀態, 岩盤의 軟硬度 彈性係數 等이며 이들 資料는 各種 構造物의 位置, 選定, 基礎地盤으로서의 適否判斷, 基礎처리工法의 決定 資料로서 工事費 計算에 重要한 役割을 하게 될 것이다.

끝으로 本 機器의 製作에 協助하여준 국제광학전자주식회사의 김 국배씨에게 감사를 드리는 바이다.

會

告



韓國技術士會의 技術士 패용
뱃지입니다.

純金 및 白金(3.75g)으로 製
作 費 實費로 普及하오니 申
請 있으시기 바랍니다.

連絡處: 韓國 技術士會 事務局

서울特別市 中區 明洞 2街 2-7

電話 (76) 1265·1866