



# 超音波에 의한 河川流量測定

## Discharge measurement in rivers by using Supersonic waves

李 善 浩  
Lee. sun Ho

### 1. 序 言

河川流量測定에는 浮子, 回轉流速計 航空寫眞, 超音波方式 등이 있는데 그중 超音波方式은 自動的으로 測定되며 連續的으로 測定할 수 있다는 特徵이 있다. 超音波測定方式은 時間差方法과 Sing-around方法, 位相差方法, 돌푸라方法 등이 있다. 今回紹介코져 하는것은 橫斷方向의 平均流速을 求하는 適當한 方法으로서의 時間差方法과 Sing-around方法을 간단하게 記述코져 한다.

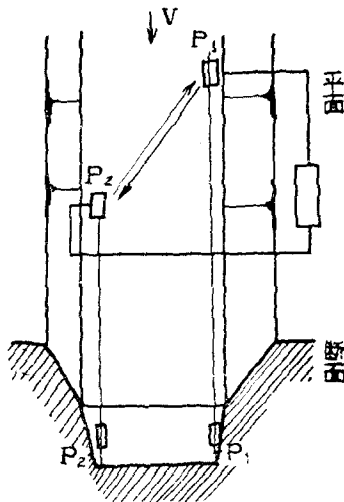


그림 1

時間差方法은 그림 1과 같이 水路의 兩岸에 設置한  $P_1, P_2$ 는 送波 및 受波의 兩作用을 한다.

지금 한쪽에 衝擊的으로 電壓을 加하면 送, 受波器로부터 超音波 pulse가 發射되어 媒介體를 通하여 다

른 한쪽의 送受波器에 傳達 電氣信號로 變換된다.

$P_1$ 으로부터  $P_2$ 에 向하여 超音波 Pulse가 發射되면 이음이  $P_2$ 에 到着할 때까지의 時間을 測定한다.  $P_1$ 부터  $P_2$ 까지의 傳播時間과 逆으로  $P_2$ 부터  $P_1$ 까지의 傳播時間을 測定 그時間差에 依하여 流速을 求하게 된다. 소리는 水中을 通할때 流速의 影響을 받으므로 물의 흐름과 同一方向( $P_1 \rightarrow P_2$ )일 때는 빨리 到達되고 흐름과 反對方向( $P_2 \rightarrow P_1$ )일 때는 늦게 到達하게 된다. 즉

$$\text{時間差 } \Delta t = \frac{2 \cdot l \cos \theta}{C^2} \cdot V$$

$$\therefore V = \frac{c^2}{2 \cdot l \cos \theta} \cdot \Delta t$$

여기에서

$V$ : 流速

$C$ : 音速

$l$ :  $P_1 - P_2$ 의 距離

$Q$ : 流速과  $P_1 - P_2$ 와의 角

로서 流速을 求할 수 있다.

다음 Sing-around方法은  $P_1$ 으로부터  $P_2$ 에 向하여 超音波 pulse를 發射하여 소리가  $P_2$ 에 到着하면 이  $P_2$ 부터 出力電壓을 增幅하여, 다시  $P_1$ 을 動作시켜  $P_1$ 으로부터 소리를 나게 한다. 이와같이 一定時間 반복한後 逆으로  $P_2 \rightarrow P_1$ 을 같은 方法으로 一定時間 반복하여 이들의 周期의 差를 求하면 된다. 即

$$\text{周期差 } \Delta f = \frac{2 \cdot \cos \theta}{l} \cdot V$$

$$\therefore V = \frac{l}{2 \cdot \cos \theta} \cdot \Delta f$$

여기에서

$V$ : 流速

$l$ :  $P_1 - P_2$ 의 距離

$Q$ : 流速과  $P_1 - P_2$ 와의 角

로서 流速을 求하게 된다.

이와같이 하여 超音波에 의한 水平方向의 平均流速 測定이 된다. 流量의 測定은 이와같이하여 求한 流速과 同時에 水位를 測定, 斷面積을 求하여 演算器에 의하여 流量을 算出한다.

## 2. 河川流量測定裝置의 概要

### (1) 概要

河川流量測定 裝置는 超音波流速測定部, 水位測定部 및 流量演算部로 나누어진다.

우선 超音波流速測定부에 의하여 河川의 몇군데 水深의 水平 平均流速을 測定하며 다음에 流量演算部에서 流速測定値와 河川斷面積을 곱하여 流量을 求한다. 이때 河川의 橫斷面積은 水位의 函數이므로 水位測定部에서는 水位를 測定하여야 한다.

現在 河川用 超音波 流速測定裝置에 實用되고 있는 것은 主로 Sing-around法과 時間差法인데 兩者 모두 다음의 特徵을 가지고 있다.

① 水路의 兩岸에 受感部를 固定, 自動的으로 連續的인 水平方向의 流速測定이 可能하며 그 測定 結果가 求하고자 하는 數値이므로 從來의 流速測定에 比하여 매우 簡便하다.

② 河川의 橫斷方向의 任意 水深에 對한 水平方向의 平均流速을 直接測定하게 되므로 流量이 쉽게 求하여 지며

③ 計器는 回轉等의 可動部分이 없으므로 흐름의 變動에 대하여 確實하게 測定할 수 있으며

④ 流速의 흐름 方向을 探知하면서 流速을 測定할 수 있는 點等이다.

### (2) 測定方法

#### ① Sing-around方法

그림 2와 같이 거리  $l$ 만큼 떨어져서 一對이 送受波器  $P_1, P_2$ 를 설치하고 흐름의 方向과 角度  $\theta$ 를 가지는 方向에 超音波를 發射하면 흐름과 같은 方向의 sing-around 周波數  $f_d$ 는

$$\frac{1}{f_d} = \frac{l}{C + V \cos \theta} + \tau$$

로 된다. 여기에서  $\tau$ 는 固定延遲時間이다. 또한 흐름과 逆方向때의 Sing-around 周波數  $f_u$ 는

$$\frac{1}{f_u} = \frac{l}{C - V \cos \theta} + \tau$$

로 되며 이 두가지 Sing-around 周波數의 差  $\Delta f$ 는  $C^2 \gg V^2 \cos^2 \theta$ 의 近似值로부터

$$\Delta f = f_d - f_u = \frac{2V \cos \theta}{l} \left( 1 + \frac{\tau C}{l} \right)^2$$

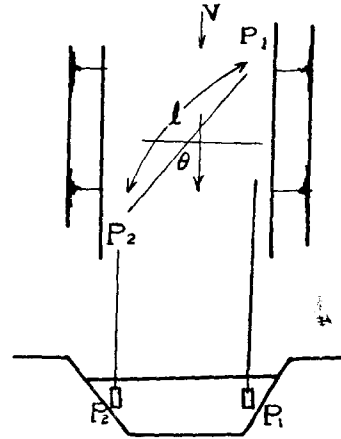


그림 2

로 된다. 또한 靜止水中에 있어서의 sing-around 周波數를  $f_0$ 라고 할때

$$\Delta f = 2l \cos \theta \left( \frac{f_0}{C} \right)^2 V$$

로 되며

$$f_0 = \frac{1}{2} (f_d + f_u)$$

로 된다. 上式에서

$$V = \frac{\Delta f}{2l \cos \theta} \left( \frac{C}{f_0} \right)^2$$

로 되며 따라서 周波數差  $\Delta f$ 를 電氣的으로 檢出하면 流速測定이 行하여진다.

式中에서 音速  $C$ 의 項이 包含되어 있으나 音速  $C$ 가 커지면 靜止된 水中에 있어서의 周波數  $f_0$ 도 比例하여 커짐으로  $\frac{C}{f_0}$  値는 大略 一定하며 따라서 流速  $V$ 는 音速  $C$ 와 大略 無關係하게 된다. 이와같이 sing-around法의 큰 特徵으로 水溫  $0 \sim 35^\circ \text{C}$ 에서는 音速  $C$ 의 變化를 補正할 必要가 없다는 것을 들 수 있다.

#### ② 時間差方法

지금 被測定에 變換器  $T_1, T_3$  對岸에  $T_2$ 를 그림 3과 같이 配置하며

$$T_1 \sim T_2 : l_1$$

$$T_2 \sim T_3 : l_2$$

$T_2$ 부터  $T_3, T_1$ 에 垂線을 그어 그 交點을  $M$ 라 할때

$$T_1 \sim M : d_1$$

$$T_3 \sim M : d_2$$

$$d_1 + d_2 = d$$

그림 3

$T_1, T_2$ 와 被測定流向과의 角度  $\theta_1$ ,  $T_2, T_3$ 와 被測定流向과의 角度  $\theta_2$ ,  $T_1, T_3$ 方向의 流速을  $V$ 라 하면 超音波가  $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$ 에 傳播하는 時間  $t_1$ 은

$$t_1 = \frac{l_1}{C \sqrt{1 - \left( \frac{V \sin \theta_1}{C} \right)^2} + V \cos \theta_1}$$

$$+ \frac{l_2}{C\sqrt{1 - \left(\frac{V \sin \theta_2}{C}\right)^2} - V \cos \theta_2} + \Delta t$$

$T_3 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$ 에 傳播하는 時間은  $t_2$ 로

$$t_2 = \frac{l_2}{C\sqrt{1 - \left(\frac{V \sin \theta_2}{C}\right)^2} + V \cos \theta_2}$$

$$+ \frac{l_1}{C\sqrt{1 - \left(\frac{V \sin \theta_1}{C}\right)^2} - V \cos \theta_1} + \Delta t$$

로 되며  $C \gg V$ 로서

$$t_2 - t_1 = \frac{2V}{C^2} d$$

$$\therefore V = \frac{t_2 - t_1}{2d} \cdot C^2$$

로 求할 수 있다(但  $\Delta t$ 는 電氣的 遲延時間)

그러므로  $T_1, T_3$  間의 距離  $d$ 와  $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3, T_3 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$ 의 傳播時間差를 求함으로써 流速  $V$ 를 求할 수 있으며 이때 音速은 水溫의 函數이므로 水溫을 測定하여 쉽게 補正할 수 있다.

(3) 送受波器의 配置와 測定數

① 送受波器의 配置

그림 4의 ( )와 같은 水路에서 流速이 沿岸線과 平行할 때는

$$V \cos \theta = \frac{l}{2} \cdot \Delta f$$

로 나타내며

平行하지 않고 偏流가 있으면

$$V \cos \theta' = \frac{l}{2} \Delta f$$

로 되고,  $\theta' < \theta$ 이면 沿岸에 平行한 흐름은 大體의 큰 值를 나타내며  $\theta' > \theta$ 일 때는 流速은 작은 值를 나타내게 된다. 또한 水路의 흐름이 흐트러지면 複雜하여 바른값을 나타내지 못한다.

그림 4 (b)에 있어서는  $BB', CC'$ 의 距離를 嚴密하게 一致시키지 않으면 誤差의 原因으로 된다.

그림 4 (c)에 있어서는

$$V = \frac{t_2 - t_1}{d} C^2$$

라 하면,  $D_1, D_3$ 에 平行한 흐름의 成分이 얻어진다. 또 音速은 水溫을 測定하여 쉽게 補正할 수 있으므로 偏流가 있어도 誤差는 생기지 않는다.

그림 4 (d)에 있어서는

$$V = \frac{l}{2 \cos \theta} \cdot \Delta f$$

라 하고 直線의인 偏流  $V$  때는 물론, 水路가 灣曲되어 진때에 생기는 曲線의인 偏流  $V''$  일 때에도  $E, F$ 에 平行한 흐름의 成分이 얻어지므로 偏流가 있더라도 誤差는 생기지 않는다.

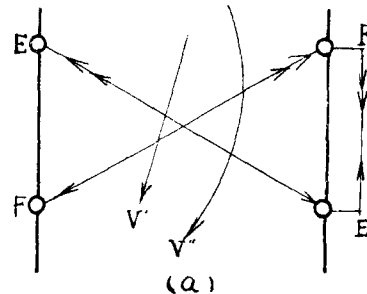
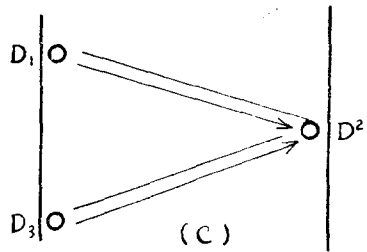
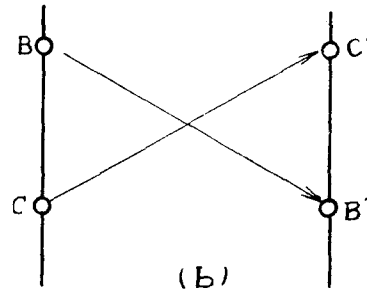
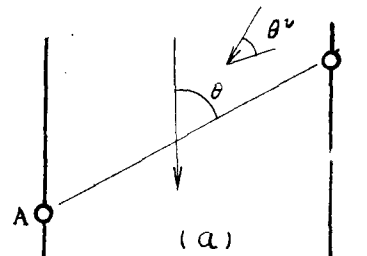


그림 4

그림 4 (c), (d)의 方法에 依하면, 對岸의 情報은 測定側에 보내오게 할 必要는 없고 河川을 橫斷하는 Cable等도 不要하게 된다. 또한 送受波器의 간격은 測定精度에 關係되므로 要求精度에 比例하여 送受波器間隔을 定할 必要가 있다. 即 똑같은 經路를 往復시키려는 方法과 같은 때의 要求精度가 1%라 하면 送受波器間隔도 規定의 間隔에 對하여 1%의 精度로 設置하는 것이 좋다. 또한 送受波器의 水平度 및 方向性도 送受波器의 指向性에 依하여 決定되므로 設置可能한 精度를 充分히 滿足하게 할 수 있도록 指向性의 送受波器를 選定하는 것이 重要하다.

使用超音波周波數가 높아지면 設置 精度도 높아야 할

必要가 있다.

② 測線數

水路가 灣曲하던지 水底가 凹凸로 되었다든지 할때는 꼭 偏流가 생기므로 이때에는 前項의 送受波器의 配置와 함께 測線位置 및 測線數를 考慮하지 않으면 안된다. 測定點의 上下流가 모두 直線이고 또한 그 區間의 水深에 比하여 水路底面의 凹凸이 比較的 적을때에는 一般的으로 偏流를 考慮할 必要가 없다. 또한 精度에 따라 橫斷面에 대한 調査를 充分히 한다음 適當한 測線位置를 設定하고 測線數를 적게 하는것이 規模面으로는 바람직하다. 但 在來式方法에 있어서는 一點法이나 二點法, 三點法等으로 制限되어 明確히 測線數를 決定하는 것이 困難하였다. 精度面으로 볼때는 測線數를 增加하는 것이 바람직하나 各各 水路에 對하여 充分한 注意와 調査檢討후 決定하는것이 좋을 것이다.

(4) 水位測定法

水位를 測定하는 方法은 여러가지 있으나 河川의 水位를 對象으로 한것은 다음과 같다.

① 超音波式水位計

그림 5와 같이 受感部 T부터 超音波를 水面에 發射하여 水面까지의 往復傳播時間을 測定하여 水位를 觀測하는 것이다. 即 水面까지의 往復時間 t는

$$t = \frac{2l}{C} \text{로 된다.}$$

l : 水面까지의 距離  
C : 音速

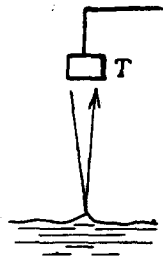


그림 5

即  $l = \frac{Ct}{2}$ 로 求하여지며 音速은 溫度를 測定補正한다. 이 方式은 他水位計들과같이 導水管을 設置한다든지 흐름을 방해한다든지 하는일없이 測定할 수 있는 것이 長點이다.

② 靜電容量型 水位計

이 裝置는 그림 6에 表示한 바와같이 水中에 插入한 probe에 의하여 水位變化를 靜電容量變化로 하여 檢出器에 依하여 水位로 變換시키는 것이며 이 方式에 依하면 水溫이 變化하더라도 補正할 必要가 없고 水位의 넓은 範圍에서 간편하게 測定할 수 있다.

③ Float式 水位計

Float式 水位計를 利用하여 水位를 電氣信號로 變換하는데는 gear에 直結되는 回轉軸과 電壓을 가한 可變

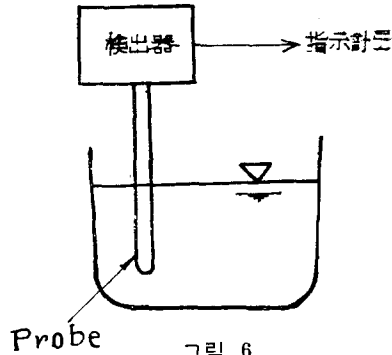


그림 6

抵抗器의 축을 gear에 連結하여 抵抗器의 中間端子로부터 信號를 측출하면 水位에 比例한 信號電壓을 얻어낸다.

(5) 流量演算方式

前述한 流速計, 水位計와 水路의 橫斷面積으로 부터 演算裝置를 利用하여 流量을 求하는 方法이며, 即 水路를 水深方向으로 任意의 測線에 依하여 N層으로 나누고(必要最少限) 水位에 無關係한 測線에 對하여는 各各 水路斷面을 그 測線에 두고 測定된 流速에 곱하여 두고 水位에 關係되는 測線만 水位計 出力부터 그때의 斷面을 求하여 積算, 各已 다음 그림 7과 같이 加算하여 流量을 얻는다.

3. 實驗實施의 例

日本國 江戸川의 市川橋 附近에서 實測한 超音波法에 依한 流量測定과 Current meter에 의한 流量測定結果를 比較하던 다음과 같다.

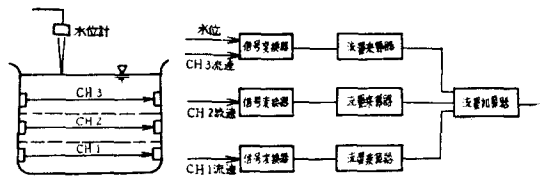


그림 7

1) 實驗方法

(1) 超音波法

① 平均流速

Probe의 可動範圍는 限定되어(그림 8 參照) 極히 狹은 範圍만이 測定可能하지만 다음과 같이 하여 求한값을 平均流速이라 본다.

② 우선 Probe를 水面下 50cm에 두어 流速을 測定한다. probe를 너무 水面가깝게 두면 正確한 測定이 困難하므로 安定한 測定을 爲하여는 水面下 50cm에 둔다.

㉔ 다음 그곳으로부터 40cm(30cm)씩 probe를 내리면서流速測定을 實施한다.

㉕ 이 測定値를 平均한값을 平均流速으로 한다.

② 水路斷面積

㉖ 超音波 Beam에 따라 斷面의 形狀을 求한다(그림 8 參照)

㉗ 여러가지 水位에 對應한 斷面積을 計算한다.

㉘ 水路斷面積은 흐름에 對하여 垂直方向의 斷面積이 必要되므로  $\sin \theta$ 를 곱한다. 여기에서  $\theta$ 는 超音波 Beam과 흐름의 方向과의 이루는 角이므로

$$\theta = 42^\circ 0' 20''$$

即  $\sin \theta = 0.6692$ 이며 計算結果는 그림 ㉙와 같다.

③ 流量

上記 ㉑㉒項의 積으로 流量을 求할 수 있다.

(2) current meter에 依한 測定

① 平均流速

㉚ 水路를 그림 10과 같이 13個 斷面으로 나눈다.

㉛ 4點法에 依하여 水深의 2, 4, 6, 8割地點에 있어서의 流速  $V_{0,2}, V_{0,4}, V_{0,6}, V_{0,8}$ 를 測定한다. 단 앞은 1點法 또는 2點法에 依한다.

㉜ 4點法에 依한 平均流速  $V_m$ 은 아래와 같다.

$$V_m = \frac{1}{5} \left\{ (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + \frac{1}{2} (V_{0,2} + \frac{1}{2} V_{0,5}) \right\}$$

② 水路斷面積

㉝ 實測에 依하여 求한다. 實測結果를 圖示하면 그림 10와 같으며

㉞ 水位와의 關係는 그림 9와 같다.

③ 流量

上記 ㉑㉒項의 積으로 流量을 求할 수 있다.

2) 實驗結果

① 成果概要

超音波法에 依하여 平均流速을 求하는데 問題點이 있으리라 생각하였는데 超音波法과 Current meter法은 表 1와 같은 差를 發生하였다. 지금 流量測定值의 差의 百分率을

$$\text{差의 百分率} = \frac{(\text{超音波計}) - (\text{currentmeter})}{\text{Currentmeter}} \times 100\%$$

라 하면 7回의 算術平均은 +3.98% 自乘 平均平方根은 5.25%, 最大偏差는 +11.49%였다.

참고적으로 本實驗場所는 減潮部로서 時間과 함께 水位, 流速 등이 變하므로 이들을 그림 11, 12, 13에 나타내두었다.

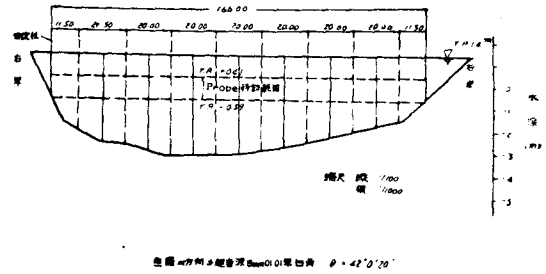


그림 8. 超音波 Beam 傳播經路의 橫斷面(市川橋附近) 흐름의 方向과 超音波 Beam 과의 이루는 角  $\theta = 42^\circ 0' 20''$

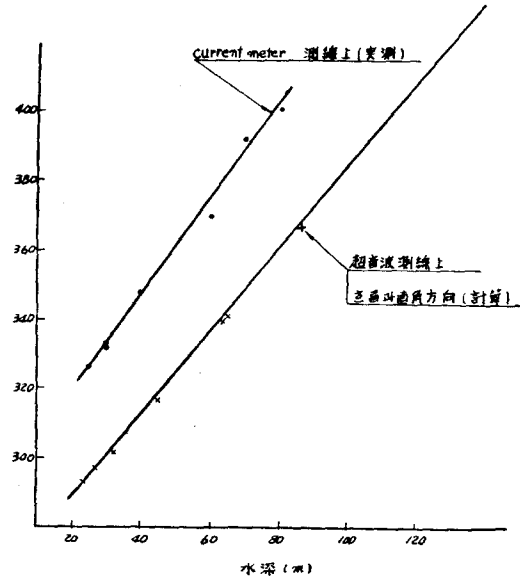


그림 9. 흐름에 垂直한 方路의 水路斷面積과 水深과의 關係

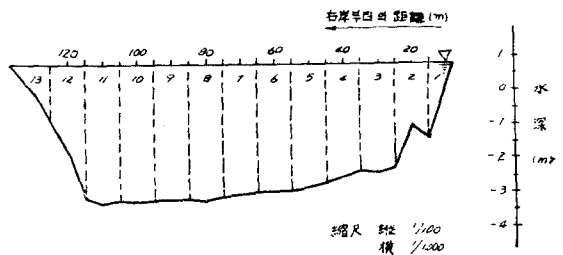


그림 10. Current meter 測線上의 橫斷面

表 1. 超音波法과 Current meter法の 流量測定 結果一覽表

測定 No	測定 流量 (m <sup>3</sup> /s)		差(m <sup>3</sup> /s)	差의 百分率 (%)
	㉔ 超音波計	㉕ current meter		
1	206.92	205.45	+1.47	+0.72
2	139.71	183.64	+10.07	+5.48
3	178.28	172.84	+5.45	+1.35
4	157.94	156.88	+1.06	+0.68
5	150.60	146.16	+4.44	+3.04
6	116.03	112.04	3.69	+3.28
7	71.28	63.93	+7.35	+11.49
8	20.15	—	—	~
算術 平均				+3.98

自來平均平方根=52.5%

超音波測線上(計算)

時間 (時)	水位 (m)	水路斷面積(m <sup>2</sup> )	
		㉔ 斜方向	㉕ 垂直方向
10	0.86	548	363
11	0.64	508	340
12	0.45	474	317
13	0.32	451	302
14	0.24	438	293
15	0.28	444	297
16	0.65	510	341
17	1.11	594	398

Current meter 測線上(實測)

時間 (時)	水位 (m)	水路斷面積 (m <sup>2</sup> )
10	0.80	401.14
11	0.60	369.92
12	0.40	348.01
13	0.30	332.85
14	0.25	326.30
15	0.30	332.05
16	0.70	392.94
17	—	—

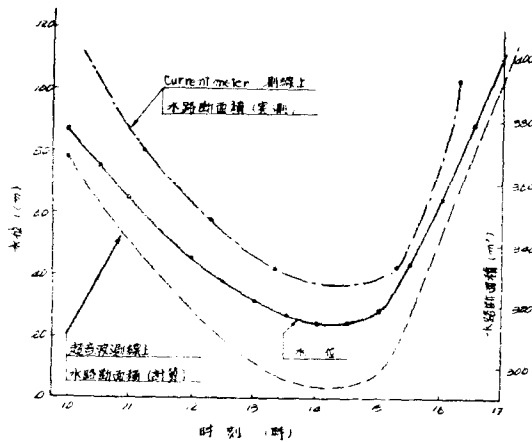


그림 11. 水位와 水路斷面積의 時間的 變化

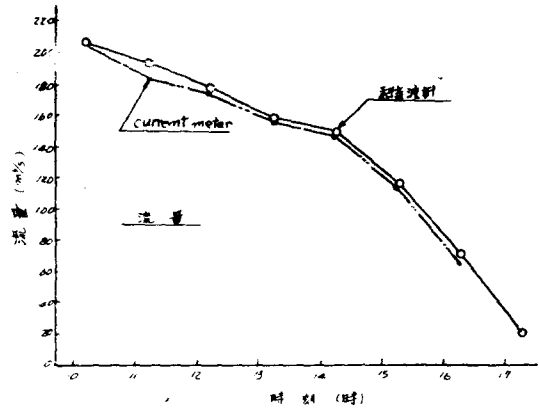


그림 12. 平均流速과 流量의 經過

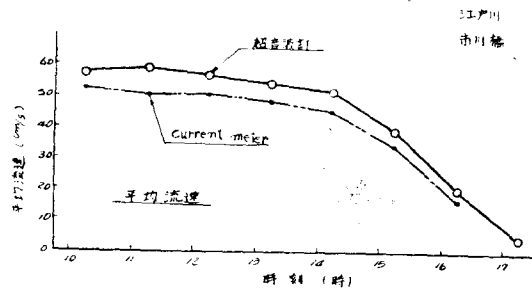


그림 13. 平均流速과 流量의 時間經過

㉔ 超音波法

㉕ 流速測定

流速測定에는 10~30分程度의 時間이 所要되므로 그 間의 水位는 大部分 變動할 때도 있다. 測定은 probe 의 長이를 于先 水面下 50cm로 하고 Relay memory 의 接點을 利用하여 10回 流速을 읽어 그 平均値를 그 水深의 流速으로 했다.

㉖ 流量計算

測定時間中 水位가 變動하였으므로 測定始作부터 끝난 時間까지의 平均時該의 水位로서 水路斷面積을 그림 9로 부터 求하였다.

4. 結 論

1) 一般的으로 超音波法の 測定値는 current-meter 의 測定値보다 크다. 이것은 超音波법의 通路는 그림 8에서와 같이 大部分 水深, 中央보다 위에 있어 그測定流速은 平均流速보다 크다고 생각된다.

2) 超音波法과 current-meter法の 流量 差의 百分率을

$$\text{差의百分率} = \frac{(\text{超音波法}) - (\text{current meter})}{\text{current meter法}}$$

×100%

로 定義한다면 7回의 測定值의 算術平均은 +3.98%, 自乘平均平方根은 5.25%이다.

3) 水深方向의 流速에 對해서는 適當한 水深을 選定하는 平均流速을 代表하는 結果가 되며 이런 境遇는 여러層으로 測定할 必要가 없다. 그러나 一般적으로 平均流速의 깊이가 흐름에 依하여 變動할 때에는 여러層으로 測定하지 않으면 않된다.

4) 濁度(浮遊砂量)의 影響에 對하여는 아직 結論이 없으나 1gr/l 程度의 濁度까지는 問題가 없다.

以上과 같은 結論에 의하여 現在까지의 實績으로부터 다음과 같은 限度內에서는 充分히 本流量計를 使用할 수 있다고 본다.

區 分	實 績	設 計 值
河 川 幅	35mm~800m	1000m 以下
깊 이	10cm~10m	300cm 까지
1초물당의 讀數精度	± 1cm/s	± 1cm/s
減速測定值	最 大 最 小	± 2.5m/s 10cm/s
濁 度(浮 遊 砂)	1.0gr/l	3gr/l
殘響 및 雜音 level	+35db 以下	+40db
流 速 測 線 數	3 層	5 層
水 溫	8°~27°C	0~30°C

技術資料 번역

册字名: 超音波河川流量測定裝置의 實用化について  
昭和 45年 3月 發行  
建設省河川局河川計劃課



發

展

4大江流域 綜合開發로

祖國繁榮 이룩하자!

三 扶 土 建 株 式 會 社

代表理事 趙 鼎 九

本社 서울特別市中區會賢洞 1가181-1

電 話 (24) 1 4 4 1