

開水路의 流量 測定을 爲한 梯形

Cutthroat Flume에 關한 研究

A Study on the Trapezoidal Cutthroat Flumes for Measuring Flow in Open-Channels

尹 柱 相* · 鄭 夏 禹**
Ju Sang Yun , Ha Woo Chung

Summary

The purpose of this study was to investigate and compare flow discharges of rectangular, V-notch and trapezoidal types of cutthroat flumes, and the published data for trapezoidal parshall flumes.¹⁰⁾ And the trapezoidal cutthroat flumes were also compared in their accuracy of discharge [measurements for various convergence ratios in the inlet section and divergence ratios in the outlet section.

Five flumes were studied, and all the flumes were 45cm long with flat-bottom and were made of well-finished transparent acryl plate of 3mm thickness. One rectangular, one V-notch and three trapezoidal types were numbered 1 to 5 as shown in Fig. III-1.

The measured depth of water was ranged from 5 to 20cm.

The results obtained in this study are summarized as follows:

1. The general discharge equations for tested prototypes are listed for free flow in Table IV-1 and for submergence flow in Table IV-4.

2. In both free and submerged flow, the accuracy of the discharge formula obtained by this test is highly significant at 1% level as shown in Table IV-2 and Table IV-6.

The accuracy of discharges measured depends upon the convergence and divergence ratios in the trapezoidal types: the less the ratios of convergence as well as divergence, the lower the accuracy.

3. Submergence ratios tend to increase in the order of flume number except flume No. 4. This implies that trapezoidal cutthroat flumes are more acceptable than rectangular or V-notch ones for free flow.

4. The transition submergence for the trapezoidal Parshall flumes ranges from 80-85 per cent, which is slightly higher than the tested flume. However, the trapezoidal cutthroat flume No. 5 has higher transition submergence ratio, ranging from 73-78 per cent, than other trapezoidal ones. The difference between the trapezoidal Parshall flumes and the trapezoidal cutthroat flumes in transition submergence seems small enough to be

* 梁山建設株式會社 土木部

** 서울大學校 農科大學 農工學科

ignored in their field use.

5. Trapezoidal cutthroat flume is simple and economical to construct in existing open-channels whose shapes are generally trapezoidal. In order to obtain the best rating accuracy, flume No. 3 among the tested trapezoidal types is recommended, because it shows the highest accuracy for both free and submerged flow.

I. 序 論

開水路의 流量測定을 爲하여 一般의 으로 널리 利用되고 있는 器具 또는 裝置는 weir, orifice, flume 등을 들 수 있다.

이 中에서 weir는 上下流의 水頭差를 주기 爲한 notch를 通하여 물의 越流量을 測定하는 器具²⁰⁾이고, orifice는 水槽의 側壁 또는 밑면에 位置한 구멍을 通하여 흐르는 流量을 測定하는 器具이다²¹⁾. 그런데 이들 weir나 orifice를 開水路의 流量測定에 利用할 경우 發生되는 問題點은 流水에 依한 土砂의 沈澱이나 接近流速에 依한 에너지 損失水頭的 增大 등을 들 수 있다²²⁾²³⁾.

따라서 開水路의 流量은 대부분 flume을 利用하여 測定하고 있다. Flume은 그 形狀과 斷面에 따라 여러가지로 大別할 수 있으나 Venturi flume이나 Parshall flume이 널리 利用되어 왔다. Venturi flume은 土砂의 沈澱을 防止할 수 있으나 測定值의 精度가 낮은 短點이 있으며 Parshall flume은 精度가 높으나 流水中 土砂의 沈澱이 發生되므로 flume의 作動이 阻害받게 된다. 이러한 Parshall flume의 缺點을 補完하기 爲한 試圖로서 1960年 Robinson¹⁹⁾은 Parshall flume의 throat部와 擴大部 사이의 바닥이 V形으로 製作됨에 起因한 것으로 分析하고, 이를 扁平한 바닥으로 만들므로써 flume內의 土砂의 沈澱을 抑制하는 方法을 講究하였고, 1967年 Skogerboe, Hyatt, Anderson 및 Eggleston²⁴⁾ 등은 throat部를 除去하고 바닥이 扁平한 矩形 flume을 開發하여 이를 cutthroat flume이라고 하였다.

Cutthroat flume은 throat部가 除去된 關係로 製作이 간단하며 開水路의 流量測定器具로서 經濟的인 構造物임은 물론 測定의 精密度에 있어서도 매우 良好한 것으로 알려져 있다¹⁹⁾²⁵⁾.

또한 flume을 製作할 때 斷面은 矩形, V-notch形, 梯形이 있는데 矩形 斷面에 比하여 V-notch形, 梯形 斷面은 側壁이 傾斜진 關係로 製作 및 施工上

의 어려움은 있다. 그러나 土工水路와 같은 梯形水路에 flume을 設置하려면 矩形斷面보다, V-notch形 및 梯形斷面이 流入部에서 물의 渦流를 除去시켜 에너지 損失水頭가 적고, 動水半徑이 큼으로 大小流量을 測定할 수 있어 實際로 梯形水路에 널리 適用되는 flume의 斷面은 梯形 斷面이다¹⁷⁾.

따라서 이 試驗은 梯形 flume의 長點을 살리며 아직 研究되지 않은 梯形 cutthroat flume을 만들어 開水路에서 流量을 正確히 測定할 수 있는지를 究明하기 爲하여,

- ① 矩形 cutthroat flume을 1種, 側壁 기울기가 1:1인 V-notch形 cutthroat flume을 1種, 梯形 cutthroat flume 3種을 製作 試驗하여 流量을 比較하였고,
- ② 梯形 cutthroat flume들 間에 있어서도 流入部의 收縮比와 流出部의 擴大比의 變化에 따른 流量值의 精度를 比較 檢討하였다.

II. 文獻概要

Flume의 發展過程을 살펴보면 다음과 같다.

1917年 Cone, V.M.은 美國 Colorado州立大學에서 Venturi flume을 開發하였는데, 이는 Venturi meter의 原理를 利用한 最初의 flume이었다.

1926年 Ralph L. Parshall은 Venturi flume으로 流量을 實測할 때 缺點으로 提起된 潛水흐름 狀態의 흐름을 改良하기 爲하여, flume의 特徵을 收縮斷面比를 5:1, throat部의 바닥기울기를 下方向로 8:3, 擴大部의 바닥기울기를 上方向으로 6:1, 擴大 斷面比를 6:1, flume의 形狀을 矩形로 한 Improved Venturi flume(Parshall flume)을 開發하였다 (本 論文에서 斷面比 및 기울기의 表示는 모두 tangent 기울기로 하였음). 이 때 上流水深(Ha)과 下流水深(Hb)의 比, 즉 潛水比(S)가 0.70보다 적을 때의 흐름을 自由흐름이라 하였고 이 때의 流量值는 實際 流量值와 一致하였으며, 潛水比가 0.70 以上인 경우는 潛水흐름으로 取扱하여 上

下流水深差에 依하여 流量值로 求하도록 하였다. 그러나 throat部와 擴大部에서 바닥이 V形의 傾斜로 因하여 土砂의 沈澱은 어쩔수 없이 問題點으로 擡頭되었다.

Parshall은 1932年¹⁾, 1945年⁷⁾, 1950年²²⁾, 1953年²³⁾에 Parshall flume에 對한 設計指針을 마련하여 그 flume을 灌溉水路의 流量測定 器具로 實用化시켰다²³⁾.

한편 1928年 印度의 Inglis는 Bombay에서 Standing Wave flume을 開發하였는데, 이는 flume의 바닥을 丘陵모양의 smooth hump를 두고 側壁을 둥글게 收縮(warped transition)하여 제작된 관계로 潛水比가 0.94까지도 自由 흐름으로 測定이 되었으며, 그 以上인 흐름은 flume으로 測定이 困難하다고 發表하였다²⁴⁾.

1942년에 스위스의 Anwar Khafagi는 flume의 收縮部의 側壁長을 둥글게 하고 擴大部를 Venturi meter의 形狀으로 微細히 變化시켜 水頭損失을 極小化시킨 Curved Entrance Venturi flume을 開發하였다⁵⁾.

또한 1955年 美國의 Balloffet는 flume의 擴大部가 自由 흐름 狀態에서는 限界水深에 영향을 미치지 않는다고 發表하였으며²⁾, 1961年 Otto Haszpra는 收縮部의 側壁을 둥근 形狀으로 誘導한 Warped transition 보다 直面으로 誘導한 Broken Plane Transition이 水頭損失을 15~30% 減少시켰고, flume의 施工도 容易하다고 發表하였다²⁾. 그런데 美國 農務省 農業調查研究所(Agricultural Research Service)에서는 自然河川의 流量을 測定하기 爲한 試圖로서, 1962年 Horton³⁾은 weir와 flume의 複合 構造物인 H-flume을 開發하였고, 1949年 Gwin⁷⁾은 flume內를 通過하는 流量이 限界流 以上으로 흐르도록 한 Large Critical Depth flume을 開發하여 大小流量을 測定하고자 하였다.

한편 1915년에 美國 內務省開拓局³⁾, 1919년에 Ferguson과 Garton⁶⁾, 1968년에 Rasheed¹³⁾가 開發한 Modified Venturi Section은 矩形水路에 拋物線形 頸개를 設어 Modified Venturi-tube의 역할을 하게 함으로써 그 Venturi 斷面을 通過한 流量을 上下 水深差에 依하여 測定할 수 있도록 하였다.

1960年 Robinson과 Chamberlain¹⁸⁾, 1964年 Kruse²⁰⁾, 1965年 Hyatt²¹⁾는 梯形 flume에 關한 研究에서 梯形 flume의 바닥을 扁平하게 하였을 경우에도 flume壁의 收縮比와 擴大比를 變化시키면, Parshall flume의 바닥을 V形으로 製作한 것과 마

찬가지로 潛水比가 0.80~0.85까지 自由 흐름 狀態가 된다고 發表하였다.

이에 着眼하여 1967年 Skogerboe, Hyatt, Anderson 및 Eggleston¹⁹⁾,²⁰⁾,²¹⁾,²²⁾,²³⁾,²⁴⁾ 등은 throat部가 없고 flume의 바닥이 扁平한 矩形 cutthroat flume을 開發한 바 flume의 全長(L)을 9ft, throat의 幅(W)을 1~6ft로 變化시켜 自由 흐름 및 潛水 흐름에 對한 試驗을 하였으며, 1972年 Bennett⁹⁾는 flume의 全長(L)을 1.5ft, 3.0ft 및 4.5ft를 scale model로 하여 flume의 幅과 全長의 比 W/L을 1/18, 1/9, 2/9, 4/9 등으로 變形하면서 試驗한 結果 cutthroat flume도 流量測定 器具로 妥當하다고 發表하였다.

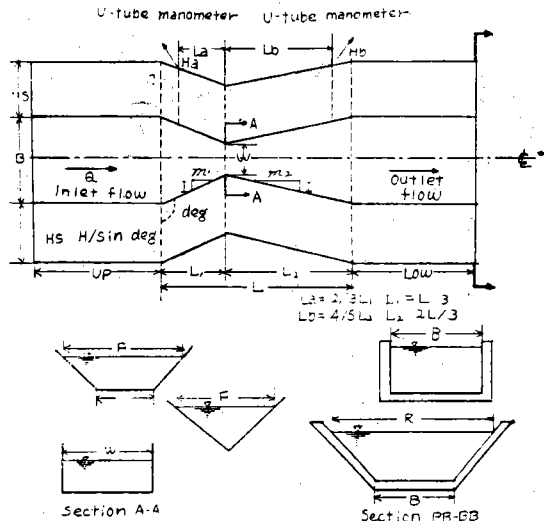
Ⅲ. 試驗材料 및 方法

1. 試驗材料

1) Flume의 材料: flume의 材料는 模型製作이 쉽고 粗度係數가 작은 두께 3mm의 透明아크릴板을 使用하였다.

2) Flume의 模型: 이 試驗에서 使用된 cutthroat flume의 種類는 矩形 1種 V-notch形 1種, 梯形 3種이며 製作試驗된 模型은 Fig. Ⅲ-1과 같고 各 flume의 諸元을 다음과 같이 便宜上 記號로 呼稱하였다.

① Flume No.1: 矩形 cutthroat flume, flume의 流入部 및 流出部의 底幅(B)—15cm, throat의 底幅(W)—5cm, flume의 全長—45cm.



Flume No.	Description of sizes (deg.-W×L)	m ₁ :1	m ₂ :1	L cm	B cm	W cm	F cm	R cm	H, cm	U, cm	Low cm	Remarks
1	90deg. 5cm×45cm	3:1	6:1	45	15	5	5	15	22	30	30	H range = 5~20cm
2	45deg. 0cm×45cm	2:1	4:1	45	15	0	45	60	31	30	30	
3	45deg. 5cm×45cm	3:1	6:1	45	15	5	50	60	31	30	30	
4	45deg. 7.5cm×45cm	4:1	0:1	45	15	7.5	52.5	60	31	30	30	
5	45deg. 9cm×45cm	5:1	10:1	45	15	9	54	60	31	30	30	

Fig. Ⅲ-1 Dimensions of cutthroat flumes used in experimental desing.

- ② Flume No.2: V-notch cutthroat flume, B-15cm, W-0cm, L-45cm, 側壁 기울기(SS)-1:1.
- ③ Flume No. 3: 梯形 cutthroat flume, B-15cm, W-5cm, L-45cm, SS-1:1.
- ④ Flume No. 4: 梯形 cutthroat flume, B-15cm, W-7.5cm, L-45cm, SS-1:1
- ⑤ Flume No. 5: 梯形 cutthroat flume, B-15cm, W-9cm, L-45cm, SS-1:1.

3) 實驗裝置 및 場所

Table Ⅲ-1. Testing instruments used in this experiment.

Items	Instruments of water measurement
Discharge	V-notch weir, Venturi meter, Water tank, stop watch
Water Depth	Hook gauge, U-tube manometer.
Velocity	Midget current meter.
Channel	Movable open-channel of length 9.6m, width 0.6m height 0.6m.

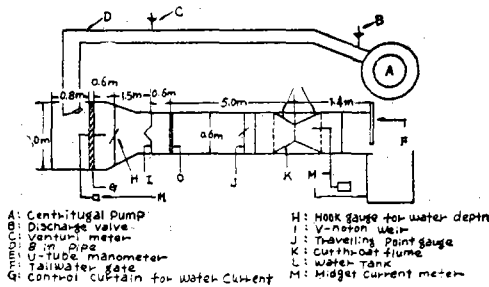


Fig. Ⅲ-2. Experimental cutthroat flume faculty.

2) 흐름의 測定方法

Fig Ⅲ-2에서 보는 바와 같이 10馬力 펌프를 使

이 試驗은 農業振興公社 農工試驗所 水理實驗室에서 flume들은 可動水路에 設置하여 실시하였으며 實驗裝置의 略圖는 Fig Ⅲ-2에서 보는 바와 같다.

2. 測定方法

1) 測定器具

이 試驗에서 使用된 實驗器具는 Table Ⅲ-1과 같다.

用하여 물을 供給하였고, 큰 流量調節은 펌프에 附着된 手動式 밸브를 使用하여 行하였고 微小의 流量은 壓縮空氣에 依하여 自動調節되는 Venturi meter를 利用하여 調節하였다.

(1) 流量의 測定

Flume內를 通過하는 流量을 決定하기 爲하여 다음 2가지 方法을 檢討하여 그 中 精度가 좋은 方法을 擇하였다.

① V-notch weir에 依한 流量의 測定

weir에서의 越流水深은 weir의 設置點으로부터 5-10倍 以上되는 上流에서 測定된다⁴⁾. 이 試驗에서 越流水深은 最大의 越流水深을 30cm로 보았을 때 이의 5倍인 1.5m가 되는 weir의 設置點 上流部에서 1/10mm까지의 눈금을 가진 Hook gauge로 水深을 3回 反復하여 測定한 값의 平均值로 하였다.

또한 V-notch weir의 水位—流量 關係를 알기 爲하여 90° V-notch 鏡頂 weir의 各 水深別로 越流한 물을 容積 1.05m³인 水槽에 받아 滿水되는데 걸리는 時間으로 나누어 水位別 流量을 求하였다.

이때 使用된 流量式은 다음과 같다.

$$Q_w = 14.64h^{2.47}$$

여기서 $Q_w = V$ -notch weir로 越流한 流量(cm³/sec)

$h = V$ -notch weir에서의 水深(cm)

② Current meter에 依한 流量와 測定

이 試驗에서 使用된 流速計는 Midget current meter로서 流速의 測定範圍가 3~60cm/sec 이었다. 이 器具를 使用하여 流速(V)을 換算하는 方法은 30 秒間 水流에 依한 날개의 回轉數(n)을 읽어 다음 式을 利用하여 流速을 求하는 것이다.

$$V = 0.785n + 2.2 \dots\dots\dots(2)$$

따라서 V-notch weir의 水深을 測定한 位置에서 三點法에 依해 날개의 回轉數를 測定한 후 (2)式에 依하여 平均流速을 求하였다.

Table III-2와 같이 (2)式에 依한 current meter에서의 流量値와 V-notch weir에서 水深測定에 依한 流量値와를 比較할때 V-notch weir로 越流한 流量이 流速計로 求한 流量보다 水深이 增加할수록 增大하였다. 이것은 current meter의 流速의 測定範圍가 3~60cm/sec이고 水深이 20cm 以上이면 그 範圍를 超過하기 때문에 流速의 精度가 低下된 것이 라 할 수 있다. 따라서 이 試驗에서 flume內를 通過하는 流量値는 V-notch weir에 依한 流量으로 取하였다.

Table III-2. Comparison of discharges measured by current meter to those by V-notch weir.

h cm	Current meter		Q _w cm ³ /sec	Q _w - Q _c	Q _c /Q _w × 100%	Remarks
	V _c cm/sec	Q _c cm ³ /sec				
3.4	22.1	296	301	5	98.3	Average % of Q _c /Q _w = 97.4%
7.5	37.5	2,087	2,121	34	98.6	
11.6	46.4	6,126	6,232	106	98.3	
14.1	50.8	9,890	10,096	206	98.0	
17.5	56.1	16,802	17,233	431	97.5	
21.4	61.8	27,723	28,551	828	97.1	
24.5	65.8	38,367	39,718	1,351	96.6	
28.0	68.1	52,607	55,260	2,652	95.2	

V_c = Velocity by current meter.
Q_c = Discharges by current meter.
Q_w = Discharges by V-notch weir.

(2) Flume內的 水深의 測定

Flume內的 上流水深(H_u)은 throat로 부터 上流 쪽으로 收縮部의 長(L)의 2/3距離인 10cm點에서, 下流水深(H_d)은 throat로 부터 下流쪽으로 擴大部의 長(L₂)의 4/5距離인 24cm 點에서 決定하였다.

Flume의 水深測定器具로서는 U-tube manometer를 使用하였으며 manometer의 눈금은 1/2mm까지 읽을 수 있었다.

또한 下流水深을 調節하기 爲하여 flume의 設置點 下流 1.0m되는 곳에 tailwater gate를 設置하여 必要한 潛水흐름을 誘導하였다.

3. 흐름의 分析方法

1) 自由흐름

自由흐름(Free flow)이란 "flume의 throat部에서 흐름이 限界流(critical flow)이고, 下流水深의 變動이 上流水深(H_u)에 영향을 주지않는 흐름"을 말한다⁹⁾.

이때 流量은 H_c點에서 水深을 測定하여 throat部의 限界水深에 依하여 決定할 수 있다.

自由흐름에 對한 一般流量式은 cutthroat flume에서

$$Q_f = CH_c^{n_1} \dots\dots\dots(3)$$

$$H_u = H_c + V_c^2/2g \dots\dots\dots(4)$$

여기서 Q_f = 自由흐름일때의 流量(cm³/sec)

C = 流量係數

n₁ = 自由흐름의 指數

H_u = 收縮部에서의 上流水深(cm)

H_c = 收縮部에서의 限界水深(cm)

V_c = 收縮部에서의 限界流速(cm/sec)

g = 重力加速度

이에 對한 分析은 對數紙에서 橫軸을 水深, 縱軸을 流量으로 하여 自由흐름의 係數 및 指數를 決定할 수 있으나^{9),21),22),23)}이 分析에서는 보다 正確한 係數値를 얻기 爲하여 最小自乘法에 依한 回歸分析^{9),20)}을 하였는데 이는 電子計算機 FACOM 230/25를 利用하여 計算하였다.

2) 潛水흐름

潛水흐름(Submergence flow)이란 "下流水深(H_d)이 throat部의 限界水深보다 클때의 흐름"을 말하며⁹⁾ 이때 下流水深의 變動이 上流水深에 影響을 주므로 上流水深과 下流水深을 同時에 測定하여 上下流水深差 및 그의 潛水比로서 潛水흐름의 流量을 決定하였다.

潛水흐름에 對한 一般流量式은 cutthroat flume

에서²¹⁾

$$Q_s = Q_{\Delta h} (H_a - H_b)^{n_1} \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_{\Delta h} = C_1 (-\log S)^{-n_1} \dots\dots\dots (6)$$

$$S = H_b / H_a \dots\dots\dots (7)$$

여기서 Q_s = 潛水흐름일때의 流量(cm³/sec)

$Q_{\Delta h}$ = H_a 와 H_b 의 差가 1.0일때 流量(cm³/sec)

C_1 = 潛水흐름의 係數

n_1 = 潛水흐름의 指數

이 分析에서 潛水흐름의 各 項目도 最小自乘法에 依한 回歸分析을 하였는데 이는 FACOM 230/25를 利用하여 計算하였다.

2) 遷移흐름

遷移흐름(transition submergence)이란 “自由흐름”에서 潛水흐름으로 變할때 또는 潛水흐름에서 自由흐름으로 變할때의 흐름을 말하며²⁾, 이때 自由흐름식과 潛水흐름식을 等式으로 놓으면 遷移흐름에 있어서 潛水比를 決定할 수 있다.

遷移흐름에 對한 一般式은 cutthroat flume에서²¹⁾

$$CH_a^{n_1} = Q_{\Delta h} (H_a - H_b)^{n_1} \dots\dots\dots (8)$$

이다.

(8)式的 遷移흐름에 있어서 潛水比는 試算法으로 決定하였다.

Fig III-3은 cutthroat flume에서 自由흐름, 潛水흐름, 遷移흐름의 狀態를 나타낸 略圖이다.

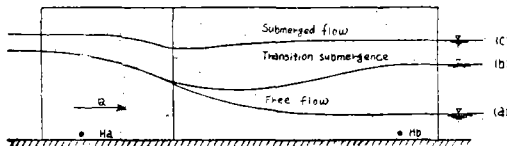


Fig. III-3. Illustration of flow conditions in a cutthroat flume.

IV. 結果 및 考察

1. 自由흐름

測定 flume에서 물이 自由흐름 狀態일때는 水面의 變化를 일으키지 않는 上流水深(H_a)만 測定하여도 그 때의 流量은 얻을 수 있다.

Flume에서 接近流速의 增大와 急激한 水面의 變動을 防止하기 爲하여 flume의 全長과 上流水深의 比 H_a/L 는 0.4以下 이어야¹⁰⁾하므로 이 試驗의 自由흐름에서 測定된 水深의 範圍는 5cm부터 20cm까

Table IV-1. Equations for free flow of the cutthroat flumes.

Flume No.	Equation (Q_f cm ³ /sec)	Correlation coefficient
1	$Q_{f1} = 109.365 H_a^{1.26}$	0.994**
2	$Q_{f2} = 14.08 H_a^{2.74}$	0.987**
3	$Q_{f3} = 65.24 H_a^{2.66}$	0.981**
4	$Q_{f4} = 82.51 H_a^{2.021}$	0.977**
5	$Q_{f5} = 131.22 H_a^{2.818}$	0.974**

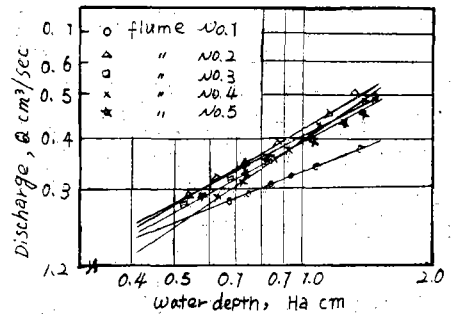


Fig. IV-1. Calibration curves for cutthroat flumes under free flow conditions.

Table IV-2. Analysis of variance for free flow.

Flume No.	S. V.	d. f.	S. S.	M. S.	F ratio
1	Total	5	0.390268		121.005** > 21.20
	Regression	1	0.377779	0.377779	
	Error	4	0.012488	0.003122	
2	Total	5	1.563928		104.110** > 21.20
	Regression	1	1.506062	1.506062	
	Error	4	0.057865	0.014466	
3	Total	5	1.052957		98.562** > 21.20
	Regression	1	1.011891	1.011891	
	Error	4	0.041066	0.010266	

開水路의 流量 測定을 爲한 梯形 Cutthroat Flume에 關한 研究

4	Total	5	1.019555		63.798 ^{**} > 21.20
	Regression	1	0.959401	0.959401	
	Error	4	0.060154	0.015038	
5	Total	5	0.881657		48.632 ^{**} > 21.20
	Regression	1	0.814651	0.814651	
	Error	4	0.067005	0.167512	

Note: **.....Significance at 1% level.

지 3cm간격으로 6회 測定하였던 바, 自由 흐름에서의 水深과 流量과의 關係式은 Table IV-1에서와 같이 얻었다.

自由 흐름에서 各 flume에 대한 實測值를 對數紙에 옮기면 Fig. IV-1에서와 같다. 各 flume의 流量式에 對한 相關係數 r 은 $r_{s,0.01}=0.917$ 에서 $0.947 \sim 0.994$ 이므로 高度의 有意性을 보여 주었다. 또한 이에 對하여 Table IV-2에서와 같이 分散分析을 한 結果 이 試驗의 flume에서 流量值의 F 檢定比는 121.005~48.632로서 $F_{s,0.01}=21.20$ 에서 모두 高度의 有意性을 보여 주었다.

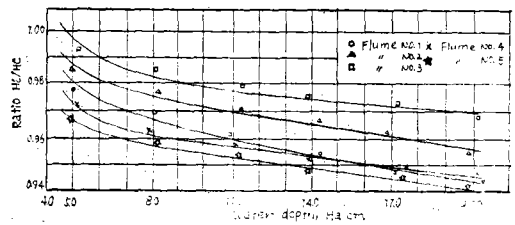
Fig IV-1에서 水深의 增加에 따른 流量의 增加幅이 큰 것은 矩形, V-notch形 및 梯形 cutthroat flume의 順이었으며 梯形 cutthroat flume들 間에 있어서는 流入部의 收縮比, 流出部의 擴大比가 클수록 增加되었는데 이의 順은 flume No. 5, No. 4, No. 3이었다. 이는 收縮比, 擴大比가 增加할수록 水面의 攪亂이 적어 에너지 損失이 감소되므로 自由 흐름의 狀態가 良好하다는 것을 보여 주는 것이라고 思料된다.

한편 上流水深(H_a)의 變化에 따른 throat部의 觀測限界水深(H_c')과 計算된 限界水深(H_c)를 比較하면 Fig IV-2와 같이 圖示되며 flume No. 3의 경우의 表는 Table IV-3과 같다.

Table IV-3. Ratio at observed critical depth(H_c') and computed critical depth(H_c) in the throat section for different values of upstream depth (H_a) at flume No.3.

H_a cm	H_c cm	H_c' cm	H_c'/H_c	Q cm ³ /sec
5.2	5.11	5.07	0.992	1854
8.1	7.98	7.87	0.986	4537
11.3	11.15	10.93	0.980	8739
13.8	13.67	13.34	0.976	14443
17.2	17.05	16.61	0.974	22034
20.4	20.21	19.64	0.972	31673

Fig IV-2에서 H_a 가 낮을수록 觀測限界水深과 計算된 限界水深의 比 H_c'/H_c 는 微小하게 增加하였으며 梯形 cutthroat flume에 있어서는 收縮比 및 擴大比가 클수록 增加하였다.



- flume No.1 × flume No. 4
- △ " No.2 ☆ " No. 5
- " No.3

Note: H_c : computed critical depth
 H_c' : observed critical depth

Fig. IV-2. Ratio of actual critical depth & computed critical depth for different values of H_a

이는 收縮比 및 擴大比가 一定하더라도 水深이 增加할수록 自由 흐름 狀態가 良好함을 나타내 주는 것이다.

이들을 綜合하면 自由 흐름을 誘導하기 爲하여 Parshall flume에서는 throat部와 擴大部의 바닥을 V形으로 製作하여 上下流 水深差를 增大시킨 것과 Standing Wave flume에서는 throat部의 바닥을 丘陵모양의 'smooth hump'를 둔 것에 比하여, cutthroat flume에 있어서는 側壁의 收縮比 및 擴大比를 크게 함으로써 流量值의 精度가 높은 自由 흐름을 誘發시켰다.

따라서 cutthroat flume에 있어서는 收縮比 및 擴大比를 크게 할수록 flume의 全長을 減小시켜 주게 되어, 製作 施工時에 材料의 節減效果를 얻을 수 있으리라 思料된다. 卽 梯形 開水路에 梯形 cutthroat flume을 設置하고자 할때 流入部의 收縮比가 3:1, 流出部의 擴大比가 6:1인 flume No. 3를 選擇함으

르써 flume材料의 節減效果는 물론 計算된 流量值와는 1% 以內의 誤差를 가지고 流量을 測定할 수 있다.

2. 潛水 흐름

cutthroat flume의 全長이 길어지면 潛水比의 增加는 짧은 것에 比하여 커지는 傾向이 있고¹⁹⁾²¹⁾, flume內의 上流部 쪽으로 水面의 上昇을 야기시키기 때문에, 이때의 流量을 求하려면 上流水深(H_a)

과 下流水深(H_b)을 同時에 測定하여야 한다.

이 試驗에서 이를 模型化시키기 爲하여²⁰⁾ flume의 下流端에서부터 1.0m 떨어진 곳에 tailwater gate를 설치하여 水深을 調節하였다.

Table IV-4는 이 試驗에서 誘導된 cutthroat flume의 潛水흐름에 對한 流量式이고, $H_a-H_b=1.0$ 일 때 潛水流量 $Q_{\Delta h}$ 의 實驗式에 對하여 flume No. 3의 流量表는 Table IV-5와 같다.

Table IV-4. Equations for submergence flow of the cutthroat flume.

Flume No.	Equation (Q , cm ³ /sec)	Correlation coefficient r
1	$Q_{\Delta h} = Q_{\Delta h}(H_a - H_b)^{1.28}$ $Q_{\Delta h} = 71.121(-\log S)^{-0.988}$	-0.982**
2	$Q_{\Delta h} = Q_{\Delta h}(H_a - H_b)^{2.47}$ $Q_{\Delta h} = 4.098(=\log S)^{-2.259}$	-0.985**
3	$Q_{\Delta h} = Q_{\Delta h}(H_a - H_b)^{2.053}$ $Q_{\Delta h} = 21.933(-\log S)^{-1.827}$	-0.978**
4	$Q_{\Delta h} = Q_{\Delta h}(H_a - H_b)^{2.02}$ $Q_{\Delta h} = 47.379(-\log S)^{-1.804}$	-0.971**
5	$Q_{\Delta h} = Q_{\Delta h}(H_a - H_b)^{1.875}$ $Q_{\Delta h} = 71.231(-\log S)^{-1.570}$	-0.968**

Table IV-5. Submerged discharge($Q_{\Delta h}$) table as $H_a-H_b=1.0$ under submerged flow of flume No.3.

H_a	H_b	S	(-log S)	$Q_{\Delta h}$
4.89	3.89	0.80	0.09936	2,472
8.12	7.12	0.876	0.05707	4,988
11.14	10.14	0.910	0.04085	8,350
13.94	12.94	0.928	0.03233	12,444
16.95	15.95	0.941	0.02641	17,550
20.16	19.16	0.950	0.02209	23,900

Tables IV-4 및 IV-5에서 log S 앞에 符號를 (-)로 한 것은 潛水比가 모두 1.0 以下이기 때문이며 $Q_{\Delta h}$ 의 潛水比는 모두 0.80 即 80% 以上임을 알 수 있다. 또한 Table IV-5에 潛水比(S)가 增加할 수록 (-log S)의 값은 減小되어, $Q_{\Delta h}$ 의 相關係數 r 은 負相關關係를 가지며, $r_{a,0.01}=0.917$ 에서 $r=0.968\sim 0.985$ 이므로 $Q_{\Delta h}$ 는 高度의 有意性을 보여 주었다.

이에 對한 分散分析을 한 結果는 Table IV-6에서와 같다. Table IV-6에서 F의 범위는 試驗된 flume이 모두 120,999~262,663으로서 1% 有意水

準에서도 高度의 有意性을 보여 주었던 바, 그 中에서도 V-notch cutthroat flume의 F의 값은 262,663으로서 가장 良好하였고, 梯形 cutthroat flume 中에 있어서는 flume No. 3의 F의 값이 177,983으로서 가장 良好하였다.

이를 볼 때 潛水흐름에서의 流量值의 精度도 自由흐름에서와 마찬가지로 收縮比 및 擴大比가 클수록 改善되어짐을 알 수 있다.

Table IV-4에서의 $Q_{\Delta h}$ 에 對한 實驗式을 對數紙에 圖示하면 Fig. IV-3에서와 같다. Fig. IV-3에

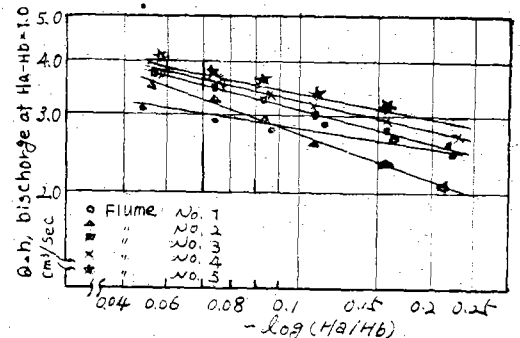


Fig. IV-3. Typical plot for developing submerged flow coefficient and submerged flow exponent.

Table IV-6. Analysis of variance for submergence flow.

Flume No.	S. V.	d. f.	S. S.	M. S.	F ratio
1	Total	5	0.301333		218.384** > 21.20
	Regression	1	0.295911	0.29591	
	Error	4	0.005422	0.001355	
2	Total	5	1.437579		262.663** > 21.20
	Regression	1	1.416016	1.416016	
	Error	4	0.021564	0.00539	
3	Total	5	0.767566		177.983** > 21.20
	Regression	1	0.7506795	0.750679	
	Error	4	0.016871	0.004217	
4	Total	5	0.699788		319.212** > 21.20
	Regression	1	0.680193	0.680193	
	Error	4	0.019545	0.004886	
5	Total	5	0.665521		120.999** > 21.20
	Regression	1	0.644224	0.644224	
	Error	4	0.021297	0.005324	

(註) **.....significance at 1% level

서 $Q_{\Delta h}$ 의 기울기는 3種의 梯形 cutthroat flume이 모두 矩形 또는 V-notch 形 cutthroat flume 보다 더 완만하였고 梯形 cutthroat flume들 中에 있어서는 $Q_{\Delta h}$ 의 기울기가 서로 비슷하였다.

이는 $Q_{\Delta h}$ 의 流量은 潛水比가 0.80 以上일때 流量

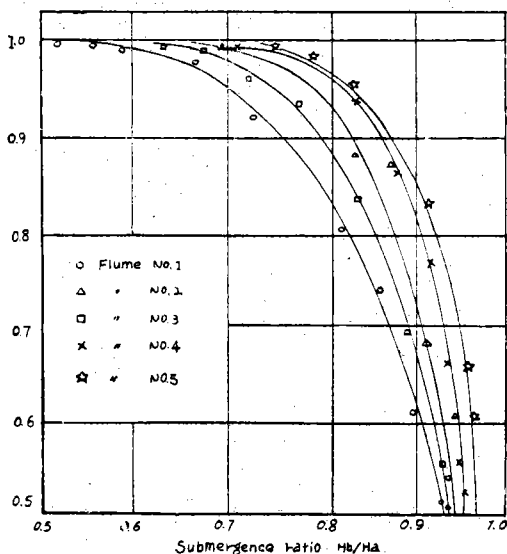


Fig. IV-4. Effect of submergence on the discharge relationship.

이므로 $Q_{\Delta h}$ 의 기울기는 收縮比 및 擴大比의 變化에 關係없이 同一形狀의 throat 斷面에서는 거의 平行한 것으로 나타난다.

이에 對한 流量의 減少曲線은 Fig IV-4에서와 같다. Fig IV-4에서 潛水比의 增加에 따라 流量의 減少는 潛水比가 0.80以下에서는 flume No. 1인 矩形 cutthroat flume을 除外하고 試驗된 cutthroat flume이 모두 自由 흐름일 때의 流量과 大差가 없었으나, 潛水比가 0.80以上에서는 모든 cutthroat flume이 自由 흐름일 때 流量보다 현저하게 減少되었다. 특히 3種의 梯形 cutthroat flume들을 서로 比較할 때 flume No. 3이 flume No. 4 및 No. 5 보다 현저히 減少됨을 알 수 있다. 即 水流가 潛水 흐름일 때 收縮比 및 擴大比가 클수록 流量이 減少되는 것을 알게 되었다.

3. 遷移 흐름

遷移 흐름이란 自由 흐름과 潛水 흐름의 境界層의 흐름을 말한다. 따라서 遷移 흐름에 있어서 流量은 自由 흐름식이나 潛水 흐름식으로 求할 수 있으나, 前者를 利用하는 것이 後者를 利用하는 것보다 더욱 簡便하다고 思料된다.

Flume으로 開水路의 流量을 測定할 때 水流의 狀態가 自由 흐름인지 또는 潛水 흐름인지를 判定하려

면 遷移區間에 있어서 潛水比 即 遷移潛水比를 알아야 한다. 이때 分析方法은 自由흐름式과 潛水흐름式을 等式으로 놓은 試算法을 利用하였으며, 그 結果는 Table IV-7에서와 같다.

Table IV-7 Submergence ratio under the flow conditions.

Flume No.	Free flow	Transition submergence	Submergence flow
1	Below 0.55	0.56~0.60	Over 0.61
2	0.61	0.62~0.69	0.70
3	0.70	0.71~0.75	0.76
4	0.67	0.68~0.75	0.76
5	0.72	0.73~0.78	0.79

한편 遷移區間에서 潛水比는 矩形 cutthroat flume 인 경우 Skogerboe, Hyatt, Anderson 및 Eggleston 이 求한 遷移潛水比가 0.60~0.65인데 比하여, 이 試驗에서는 0.56~0.60으로서 大差가 없었다. 또한 1966년에 Robinson¹⁹⁾이 開發한 梯形 Parshall flume 에 있어서 側壁기울기가 1:1이고, throat幅이 0.12 m, throat長이 0.30m, flume의 全長이 1.20m일때 遷移潛水比가 0.80~0.85인데 比하여, 이 試驗의 梯形 cutthroat flume인 경우는 0.71~0.78로서 精度가 低下되였지만 實用上 큰 不便은 없으리라 思料된다. 그 理由는 flume의 throat部가 除去되이고 流入部의 收縮比, 流出部의 擴大比에 따라 물이 흐르기 때문이다. 이는 矩形 cutthroat flume에서는 S=0.60 以上, V-notch形 cutthroat flume에서는 S=0.70 以上, 梯形 cutthroat flume에서는 flume No. 3, No. 4에서 S=0.75 以上, flume No. 5에서 S=0.80 以上에서 自由흐름의 狀態가 되지 않음을 意味한다. 即 梯形 開水路에 梯形 cutthroat flume을 設置하고자 할 때에는 flume의 製作 施工上의 經濟性, 維持管理上의 技術的인 問題 및 各 flume의 流量值의 精密度 등을 고려하여야 한다. 따라서 收縮比 및 擴大比를 各各 3:1, 6:1로 한 梯形 cutthroat flume이 上述한 長點으로 미루어 보아 實用化시키기에 좋은 것으로 思料된다.

V. 結 論

各 cutthroat flume의 全長을 45cm로 하고 矩形 cutthroat flume 1種, 側壁기울기가 1:1인 V-notch 形 cutthroat flume 1種 및 梯形 cutthroat flume 3種을 製作 試驗하여 流量值를 各各 比較하였다.

또한 梯形 cutthroat flume들 間에 있어서도 流入部의 收縮比와 流出部의 擴大比의 變化에 따른 流量值의 精密度를 比較 檢討하였다.

이들에서 얻어진 結果는 다음과 같다.

1) 自由흐름에서의 一般流量式은 $Q=CH_d^{3/2}$ 으로 나타나는 바 그의 實驗式은 Table IV-1과 같고, 潛水흐름에서의 一般流量式은 $Q=Q_{\Delta\Delta}(H_o-H_b)^{3/2}$ 으로 나타나는 바 그의 實驗式은 Table IV-4와 같이 얻었다.

2) 自由흐름 및 潛水흐름에서 實際流量值와 各 cutthroat flume에서의 實測流量值間의 流量精度는 1% 有意水準에서 高度의 有意性을 보여 주었다. 梯形 cutthroat flume들 間에 있어서는 流入部의 收縮比 및 流出部의 擴大比가 적을수록 流量精度는 減少되는 傾向을 보여 주었다.

3) 遷移潛水比는 矩形 cutthroat flume인 flume No. 1, V-notch 形 cutthroat flume인 flume No. 2, 梯形 Cutthroat flume인 flume No. 3 No. 4 No. 5의 順으로 增加現象을 보여 주었고, 그것은 Table IV-7과 같았다.

4) 遷移潛水比는 梯形 Parshall flume이 0.80~0.85인데 比하여 梯形 cutthroat flume들의 flume No. 3, No. 4, No. 5,가 各各 0.71~0.75, 0.68~0.75, 0.73~0.78로서 모두 작은 比를 보여 주었다.

5) 製作 施工上의 經濟性을 고려하여 梯形 cutthroat flume을 梯形 開水路의 流量測定器具로 選擇할 때, 收縮比 및 擴大比가 各各 3:1, 6:1인 flume No. 3이 他種에 比하여 自由흐름 및 潛水흐름의 測定值의 精度가 높았으므로 流量測定에 있어서 가장 바람직하다고 思料된다.

引用文獻

1. Balloffet., A., "Critical Flow Meters(Venturi flume)," Proceedings of the A.S.C.E., 81(1955), Paper No. 743, Jul., pp. 1-31, 1955.
2. Barrett, J.W. Hugh, "Width Constrictions in Open-channels," Water Management Technical Report No. 15, Colorado State University, 1972.
3. Bennett, Ray S., "Cutthroat Flume Discharge Relations," Water Management Technical Report No. 16, Color. State Univ., 1972.
4. Chow Ven Te, "Open-channel Hydraulics," McGraw-Hill Book Co., pp.39-85, 1959.

5. Cone, V.M., "The Venturi Flume," Jo. Agri. Res.9(4), pp.115-123, 1917.
6. Ferguson, J.W. & J.E. Garton, "A Modified Venturi Section for Measuring Irrigation Water in Open-Channels," Agri. Engr., Vol. 30, pp. 504-585, 1949.
7. Gwin Wendell R., "Walnut Gulch Supercritical Measuring Flume," Trans. A.S.A.E. Vol. 43, No.2, pp.197-199, 1949.
8. Horton, H.N., N.E. Minshall, & L.L. Harrold, "Field Manual for Research Agricultural Hydrology," Soil and Water Conservation Research Division, ARS, Agricultural Handbook No. 224, 1962.
9. Kirkpatrick, E.G., "Introductory Statistics and Probability for Engineering, Science and Technology," Prentice-Hall, New Jersey, 1974.
10. Kruse, E.G., "Trapezoidal Flume for Measuring Discharges in Irrigation Channels," Agri. Res. Ser., U.S.D.A., CER 64EGK14, 1964.
11. Kruse E.G. & F.J. Dragoun, "H-flumes for Measurement of Flows of Water Containing High Constrictions of Suspended Sediment," ARS 41-163, Agri. Res. Ser. U.S.D.A., 1970.
12. Mahmood, K., "Flow in Sand-Bed Channels," Water Management Technical Report," No. 11, Color. State Univ., 1971.
13. McCracken, Daniel D. & W.S. Dorn, "Numerical Methods and Fortran Programming," A Wiley International Edition, pp. 328-334, 1964.
14. Murphy, C.E. "Similitude in Engineering," The Ronald Press Co., New York, pp. 57-72, 1950.
15. Parshall, R.L., "The Improved Venturi Flume," Proc. A.S.C.E. Paper No. 1586, Sep., pp. 841-880, 1926.
16. Robinson A.R., "Water Measurement in Small Irrigation Channels Using Trapezoidal Flume," Trans. A.S.A.E. Vol. 9, No. 3, pp. 382-388, 1966.
17. _____, "Trapezoidal Flumes for Measuring Flow in Irrigation Channels," ARS 41-140, Agri, Res. Ser. U.S.D.A. 1968.
18. _____, & Chamberlain, "Trapezoidal Flumes for Open-Channel Flow Measurement," Trans. A.S.A.E. Vol. 3, No. 2, pp. 120-128, 1960.
19. Skogerboe, G.V., R.S. Bennett, & W.R. Walker, "Installation and Field Use of Cutthroat Flumes for Water Management," Water Management Technical Report No. 19, Color. State Univ., 1972.
20. _____, V.T. Somorey, & W.R. Walker, "Check-Up Drop Energy Dissipator Structures in Irrigation Systems," Water Management Technical Report No. 9, Color. State Univ., 1971.
21. _____, & M.L. Hyatt, "Rectangular Cutthroat Flume Measuring Flume," Jo. Irrigation and Drainage Division. A.S.C.E. Vol. 93, No. IR4, Dec., pp. 1-13, 1967.
22. _____, "Rating Side Constrictions in Open-Channels," Jo. Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E. Vol. 98, No. IR 3, Sep. pp. 76-80, 1972.
23. _____, et al, "General Discharge Relations for Cutthroat Flume," Jo. Irrigation and Division, A.S.C.E. Vol. 98, No. IR4, Dec., pp. 97-104, 1972.
24. _____, "Parshall Flume," Water Measurement Manual, Bureau of Reclamation, U.S.D. I., Denver Colorado, pp. 43-48, 1977.
25. Wu, T.Y., "Effect of Settlement on Flume Ratings," Water Management Technical Report No. 9, Color. State Univ. 1971.
26. 趙載英, 張權烈, "實驗統計分析法", 鄉文社, pp. 64-65, 1966.
27. 崔榮博, "水理模型實驗", 日潮閣, pp. 68-78, 1965.
28. _____, 劉漢烈, 鄭俊錫, "水理學," 光門社, 1975.