路에 생기는 攪亂의 比較를 하면 梯形의 境遇는 矩形보다 水位上昇이 크다. 이것을 水面幅이 넓어진다는 事實에서 알 수있다. 그리고 梯形斷面에 있어서는 攪亂에 依하여 水面이 動搖할때 貯藏되는 Energy가 많고 따라서 波動의 減衰도 적은 것이라고 생각된다.

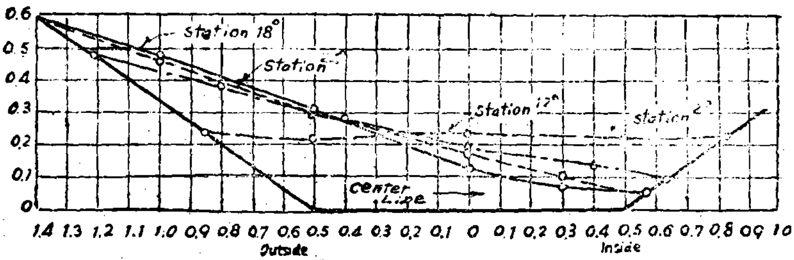


Fig. 33.- Composite Cross section Showing Variation With Position Along The Curve

§8. 應 用 範 圍

本文에서 說明한 解析 및 그의 應用은 射流가 흐르는 水路에 對한 것이다. Froude 數가 1에서 1.5까지의 水路에 있어서는 흐름이 根本的으로 不安定함으로 誤差가 크다. 即 작은 攪亂이 相當히 큰 影響을 주게 되고 流速이 急激히 波速以下로 되어 跳水現象을 이르키는 境遇도 있다. Froude 數가 1.5 보다 크게 되면 흐름은 갑작이 安定되어 計算의 信賴度도 크게 되는 것이다. 그리고 上記한 計算法은 空氣의 混入과 空洞現象에 依하여 그 適用流速의 上限이 決定되는 것이다. 이 境遇는 單一曲線水路와 Sill를 使用한 水路보다 複合曲線 或은 橫斷勾配를 가진 水路가 그 應用上 制限이 적다.

本論文의 對象은 平均流速이 一定. 即 마찰損失이 勾配와 平衡이 된 흐름에 制限되어 있다. 그러나 實際는 勾配가 變化하고 흐름에 加速 또는 減速이 생기는 境遇가 많으나 이와같은 境遇에 對해서도 上記計算方法은 信賴度가 있는 것이다. 그러나 餘水吐 또는 이에 類似한 急勾配水路構造에 있어서는 加速度가 크게 되므로 適用할 수 없다. 이와같은 境遇의 取扱을 基礎삼는 物理的法則은 明白히 不等流에 對해서도 應用할 수 있을 것이며 이것은 本論文의 다른 部分에서 論議될 것이다. 마지막으로 射流의 特性을 考慮하여 解決할 수 있는 問題가 아직 많이 있다는 것을 附記해 둔다.

(筆者, 서울大學校工科大學助敎授)

水路斷面에 있어서의 流速分布

白 殷 基

[I] 緒 言

물에 關한 모든 計劃 即 事業의 基本을 이루는 것은 流量이며 其流量은 單位時間에 水路의 橫斷面을 通過하는 水量으로서 이것을 Q로 表示하면 Q는 其 水路의 橫斷面積 A와 其 地點을 通過하는 流速V와의 相乘積 AV로 表示된다.

이 Q의 因數의 하나인 V 即 流速에 對하여는 其間 數世紀에 걸처 물에 關心을 가진 사람들의 硏究對象으로 되어 왔던 것이다. 이와같이 물에 關한 問題는 大端히 오래지만 同時에 이것은 또한 가장 새로운 問題의 하나이다. 水害, 灌漑, 排水, 水力發電 等을 생각할때 우리들이 最初에 當面하는 問題는 어떻게 하면 水量을 알고 또 바른(正) 水量을 알수 있을 것인가 하는것이 이들 問題의 解決點이 될 것이다.

그러면 이 問題의 解決點인 水量關係를 좀 더 正確한 立場에서 살핀다면 그것은 곧 流水狀態에 歸着될 것이다. 그러나 流水의 狀態는 顯著하게 其環境條件에 支配된다. 即 水路의 크기 水面幅과 水深과의 比 水面勾配等에 依해서

斷面內의 流速分布狀態가 흘리는 것이며 또 亂流의 程度도 相違하게 된다. 이 狀態를 明確히 알지 못하면 正確한 測定은 不可能하게 된다. 그러므로 流水狀態를 正確히 測定하는데는 其水路의 諸環境條件에 依해서 相違하는 流速分布를 明確히 하기 爲하여 主로 流水의 正斷面(Normal Section)에 있어서 流速分布 (主로 垂直流速分布) 狀態를 沿革으로 부터 살펴보기로 한다.

〔II〕 垂直流速曲線의 沿革

表面 或은 一垂直線上의 一點의 流速을 알고서 平均流速을 求하고 싶다는 생각에서 古來로부터 流水狀態에 對하여 硏究되었으며 或은 檢討 되었던 것이나 Pitot－管, 回轉式 流速計가 發明되기까지에는 明確한 結果를 誘導할수가 없었다. 17世紀 頃에는 伊太利 水理學者들은 orifice에서 流出하는 水流의 速度가 水路에 있어서의 流水의 速度나 同一한 것으로 생각하여 流速은 水表面부터의 깊이에 比例하여 增加하는 것으로 생각 하였다.

18世紀의 初葉 Mariotte가 처음 流水는 下方으로 감에 따라서 빨러지는 것이 아니고 오히려 느린 速度로 된다는 것을 試驗으로부터 證明하였다. Pitot는 또 流速이 가장 빠른 位置는 水面에서 조금 떨어진 下方에 있고 其以下의 流速은 대단히 느리 다는것을 認定하였다.

Du Buat는 깊이 5.4～27.1cm의 水路에서 38回의 實測을 한 結果 流速은 水面에서 河床까지 直線的으로 變化하는 것을 알고 平均流速은 다음 式으로 表示할 수 있다고 發表 하였다.

$$V_m=\frac{1}{2}(V_r+V_0)=V_0-0.164\sqrt{V_0}+0.014$$

式中 V_m＝平均流速 (m－單位)
V_0＝表面流速
V_r＝河床流速

R. Woltmann는 其後 垂直流速曲線은 流速 零의 點에 頂點을 갖고 垂直線을 軸으로 하는 拋物線이라 생각하고 또 J. A. Eytelwein도 같은 생각에서 다음과 같은 式을 提案 하였다.

$$V_m=(1-0.0127h)V_0$$

其後 이러한 形式으로 表示된 式은 여러가지 있었으나 後에 F. E. J. Funk는 垂直 流速曲線을 對數曲線으로 表示할 수 있다하며, 또 A. V. Gerstner는 이것을 楕圓의 縱線과 一致하다고 主張하였다. 다시 J. Weisbach은 流速은 水面에서 河床에 直線的으로 차차 變한다고 생각하여 表面과 河床과의 比는 1：0.83이라 하며 W. Lahmeyer는 이것을 다음 式으로 表示하였다.

$$\frac{V}{V_{max}}=1-(0.1383+0.0468h)\frac{Z}{h}$$

式中 V＝表面부터의 깊이 Z인 點의 流速
h＝水深

그러나 지금까지의 實驗中 가장 價値있는 것으로는 1855年부터 1860年 사이에 H. Darcy와 H. Bazin에 依해서 行하여진 것이며 H. Darcy는 改良한 Pitot－管에 依해서 84의 相異한 境遇에 있어서 水路 斷面內의 流速分布를 調査한 것이다. 처음에 Darcy가 實驗을 하였으나 1858年 Darcy 死後에 Bazin은 뒤를 이어 實驗을 하여 水路幅員과 水深과의 關係를 여러가지로 變更하여 詳細한 觀測을 한 結果 水面幅이 깊이의 5倍以上의 境遇는 中央에 있어서의 垂直流速曲線의 形은 大端히 넓은 幅을 갖는 水路의 境遇와 거의 一致하는 것을 認定하고 中央에 있어서 8個의 垂直線上의 觀測에서 直流速曲線을 다음과 같이 算定하였다.

$$\frac{V_0-V}{\sqrt{Jh}}=20\left(\frac{Z}{h}\right)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

또는 $V=V_0-20\frac{Z^2}{h^2}\sqrt{Jh}$

式中 J＝水面勾配

即 表面에 水平軸을 갖는 拋物線形으로 表示한 것이다. 다시 Bazin은 水路에 있어서 側壁影響이 全然없는 場所에서는 $(Z/h)^2$의 係數는 24를 採用하는 것이 適當하다고 생각 하였다. 이것에 對해서 Boussinesg는 極히 幅이 넓은 水路에 있어서 이 係數는 22.27이 適當하다고 主張하였다.

G. Hagen은 水平軸을 갖는 拋物線에 反對하여 流速은 垂直軸을 갖는 拋物線의 橫線에 相當하는 것으로 생각하여 이것을 다음 式으로 表示하고 있다.

$$\frac{V-V_r}{V_0-V_r}=\sqrt{\frac{h-z}{h}} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

또 Harder는 水路中央에서 求한 資料로써 流

速曲線을 表示하는데 2個의 楕圓을 써서 最大流速의 位置에서 共通接線을 갖는 것으로 생각 하였다. 한편으로 C. Hessle는 表面 及 河床이 같은 流速의 影響을 받는 것으로 생각하여 流速曲線形을 不變의 部分과 그것에 接續하는 2個의 抛物線으로 表示할수 있는 것으로 하여 다음 式을 提示 하였다.

$$V=\sqrt{2az}+\sqrt{2b(h-8)}+C \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

式中 a. b. c=常數

이 式에서 생각할때 最大流速의 位置는 $\frac{a}{a+b}h$의 깊이에 있고 平均流速은 다음 式과 같으며 其位置는 大體로 $Z=(0.56\sim0.60)h$에 있다 한다.

$$V_m=\frac{2}{3}\sqrt{h}(\sqrt{2a}+\sqrt{2b})+C$$

兩岸이 直壁이며 等水深의 水深에 있어서 J. Christen의 實驗結果에 依하면 水深이 水面幅의 約 0.31 以下의 境遇에는 最大流速의 位置가 水面에 있고 垂直流速曲線의 形을 다음과 같이 表示하였다.

$$V=V_{max}\sqrt[8]{\frac{h-z}{h}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

이 式은 水位가 얕은 境遇에는 잘 一致하는 것으로서 一般的으로 말하면 高次抛物線은 河床의 流速은 거의 零에 가깝고 그것보다 急히 流速이 빨라지는 境遇에 對하여서는 잘 適合하는 것이다.

H. A. Pressey는 New york 附近의 8個 河川에서 觀測한 78個의 垂直 流速曲線을 檢討하여서 이것을 河床이 平滑한 境遇 粗雜한 境遇及 其中間의 境遇의 3種으로 分類하여 V/V_m의 값을 調査하여 다음 表와 같이 報告 하였다.

H. A. Pressey가 觀測한 V/V_m의 값

$\frac{Z}{h}$의 位置	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	平 均
河底平滑한경우	118.7	111.8	116.2	112.4	107.6	102.0	95.4	87.8	78.1	63.0	100
〃 中間의경우	117.0	117.9	116.3	113.2	109.6	103.6	96.5	87.9	77.2	61.4	100
〃 粗雜한경우	116.2	117.0	116.0	113.8	110.3	105.3	97.7	88.3	76.5	58.9	100

一垂直線上의 一點의 速度를 觀測하여서 其線上의 平均流速을 求하고자 하는 努力은 19世紀에 있어서 以上과 같은 經路를 밟어서 進展하여온 것이다. 20世紀에 접어 들어서서 其 初期에는 E. C. Murphy의 大規模이며 詳細한 實驗을 한 것으로서 其 結果가 가르치는 것은 대체로 지금까지의 經過를 反證하였다.

19世紀에 있어서 垂直 流速曲線을 생각하는 方法은 其形이 水路의 깊이에 依해서만 相違하는 것으로 생각하고 다만 Pressey에 이르러 처음 河床의 粗度에 依한 影響을 取扱하여 온 것이다. Murphy는 다시 水路 幅員과 水深과의 比率도 曲線의 形에 影響 한다는 것을 認定한 것이다.

其後 E. kriiger는 河床이 아주 작은 모래(砂) 거치른 모래에 이르는 여러가지 境遇에 對해서 多數의 實測을 하였다. 이 境遇의 觀測流速은 每秒 0.08m 부터 每秒 0.90m에 이르렀던 것이다. 其 結果 垂直線上의 平均流速의 位置는 表面에서 0.42~0.86의 깊이에 있다는 것이 判明되었다. 그러나 實際上의 觀測에는 垂直線上 0.6 또는 0.65 깊이의 流速을 判定하면 별 支障없다는 것이다.

또 R. Jasmund는 Elbe 及 Rhein 兩 River에 있어서 觀測한 結果 各 垂直線上 表面에서 0.632의 깊이의 點의 流速을 測定하면 平均流速을 얻는다고 한다.

[III] 流速의 分布

(1) 斷面內의 分布

(II)에서 說明한 바와 같이 流水의 流速關係는 單純한 것은 아니었다. 따라서 開水路 斷面內의 流速分布도 决코 單純한 것은 아니다. 斷面形이 不規則한 境遇는 더욱 複雜하게 되며 때로는 最大流速의 位置가 2個以上 생길때도 있다. 또 水路가 屈曲한 境遇의 最大流速은 外側方向에 생긴다. 이것은 遠心力의 影響때문인 것이다. 以下 各斷面에 있어서 流速分布關係를 圖示 說明코저한다.

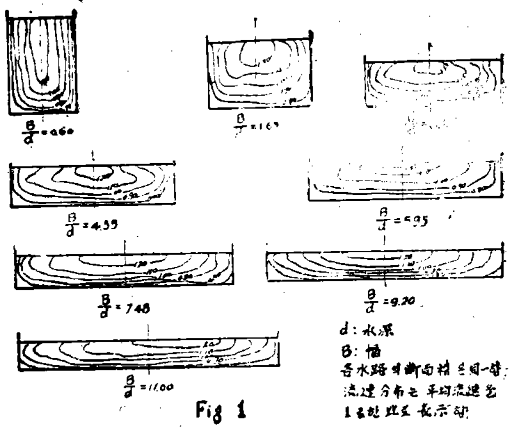


Fig 1

矩形斷面의 等流의 流速分布圖는 Fig. 1과 같으며 底面과 側壁의 影響에 依해서 等流速線은 曲線을 이루고 最大流速의 位置는 水路幅이 좁을 때에는 水表面에 存在치 않는것이 普通이다.

矩形斷面內의 流速分布에 關한 Nikuradse의 測定과 日本의 松尾教授에 依한 測定及其他의 測定에 依해서 最大流速의 位置 Z/H (See Fig. 2)와 水路의 斷面比 B/H (B=水路幅, H=水深)와의 關係를 調査하여 보면 Fig. 2와 같으며 다음 事項을 알 수 있다. 即 水路幅이 넓을수록 最大流速의 位置는 水表面에 가까워지며 大體로

$$\frac{B}{H}>10$$

이면 最大流速의 位置는 水表面에 있게 된다.

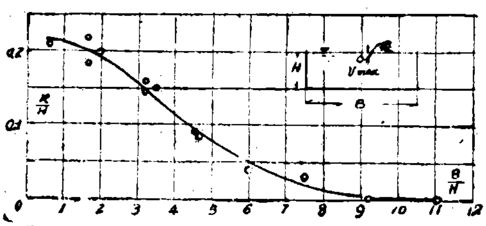


Fig 2

水路幅이 좁아지면 其 位置는 漸[illegible] 下位로 되나 其位置가 내려가는 程度는 水深의 中位까지 내려간다고는 볼 수 없다. Fig. 2에 依하면 水表面下의 位置에는 限度가 있고 其 값은

$$\frac{Z}{H}=0.20\sim0.25.$$

程度인것 같다.

以上에 依하면 水路幅이 顯著히 넓게 되어 흐름이 二次元이 된 境遇에는 最大流速의 位置는 水表面에 생긴다는 것. 따라서 最大流速의 位置가 水表面下에 存在하는 것은 側壁 其他의 影響이[illegible] 있다. [illegible] 開水路에 있어[illegible] 測定한 結果最大流速이 水表面下에 [illegible]있다 하면 이것은 側壁의 影響 斷面의 不規則性 水路灣曲에 依한 橫流 또는 水表面에 作用하는 바람의 影響等을 생각하지 않으면 안된다.

또 水路幅이 좁은 境遇에 있어서는 開水路에서 $\frac{Z}{H}=0.5$로 된다 하더라도 開水路인 故로 0.5 보다도 적은 값으로 생각할 수 있다.

Nikuradse는 圓形 三角形 及 矩形의 開水路에 對해서 流速分布를 精密히 測定하였다. 이것에 依하면 斷面의 隅部에 있어서는 兩便固定壁부터의 摩擦의 影響이 期待됨에도 不拘하고 等流速線은 隅部에 있어서 오히려 깊이 들어가는 傾向이 있다는 것을 알 수 있다.

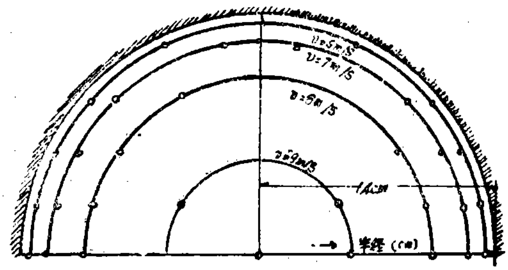


Fig 3 圓形斷面開水路의 流速分布 (Nikuradse)

Fig. 3은 圓形斷面의 暗渠의 流速分布로서 이

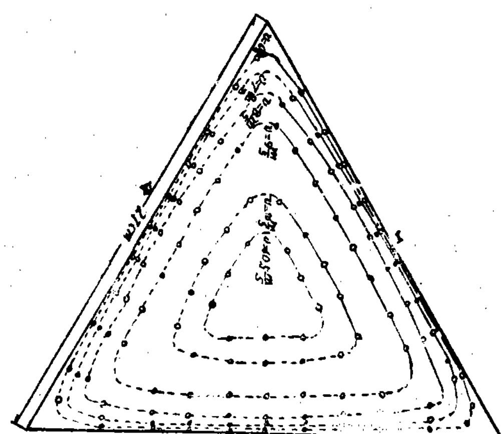


Fig. 4 三角形斷面開水路의 流[illegible](Nikuradse)

現象은 모든 方向에 軸對線을 이루어 等流速線은 同心圓을 그리고 있다. 다음 Fig.4의 三角形斷面에 對하여서는 斷面의 中心部附近에 있어서도 等流速線은 三角形的 形狀을 하고 隅角部에 있어서도 等流速線은 둥근 모양을 하는데 지나지 않는다. 이것은 Fig.5의 矩形斷面에 있어서 더욱 顯著하며 矩形의 隅角部에 있어서는 오히려 等流速線이 들어가 있다. 이 傾向은 單 暗渠뿐만 아니라 Fig.6~Fig.7에 表示한 바와 같이 開水路에 있어서도 明確히 存在한다.

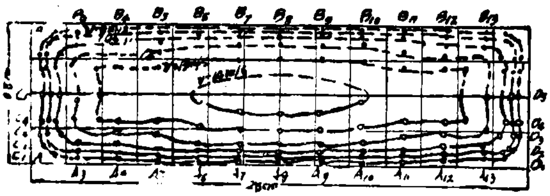


Fig 5 矩形斷面開水路의流速分布 (Nikuradse)

이와같이 軸對線이 아닌 斷面에 있어서 等流速線이 境壁의 形狀에 單純히 順應하여 있지않는 事實은 斷面內의 橫方向의 二次流의 存在를 表示하는 것이다. 그러나 現在의 段階에 있어서는 이 二次流가 무엇에 基因하는 것인가는 何等 定說이 없다.

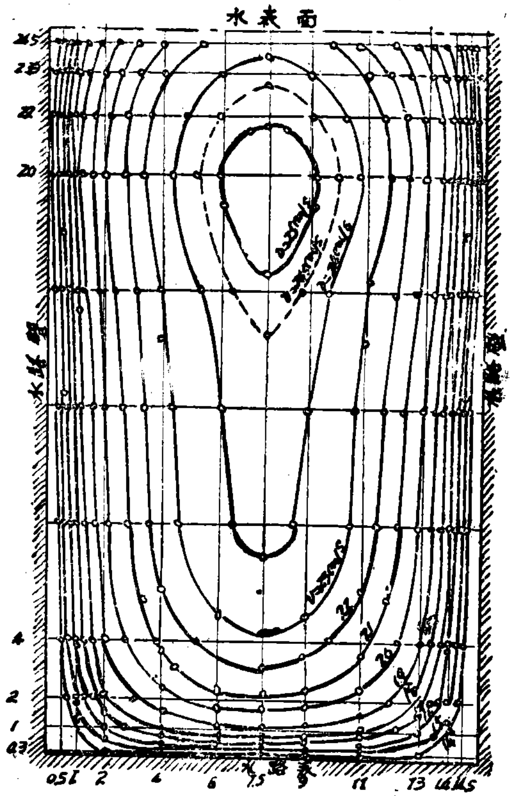
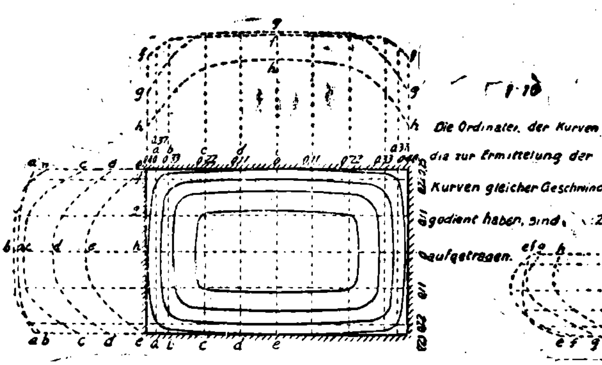
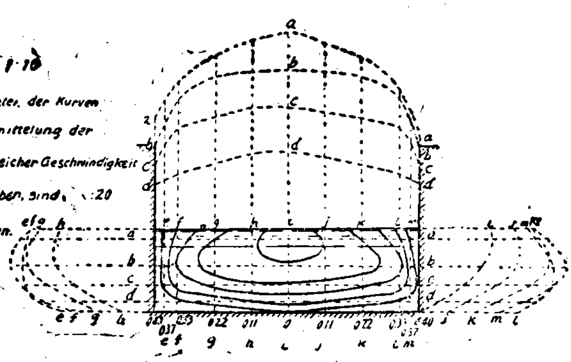


Fig. 6 矩形斷面開水路의流速分布 (Nikuradse)



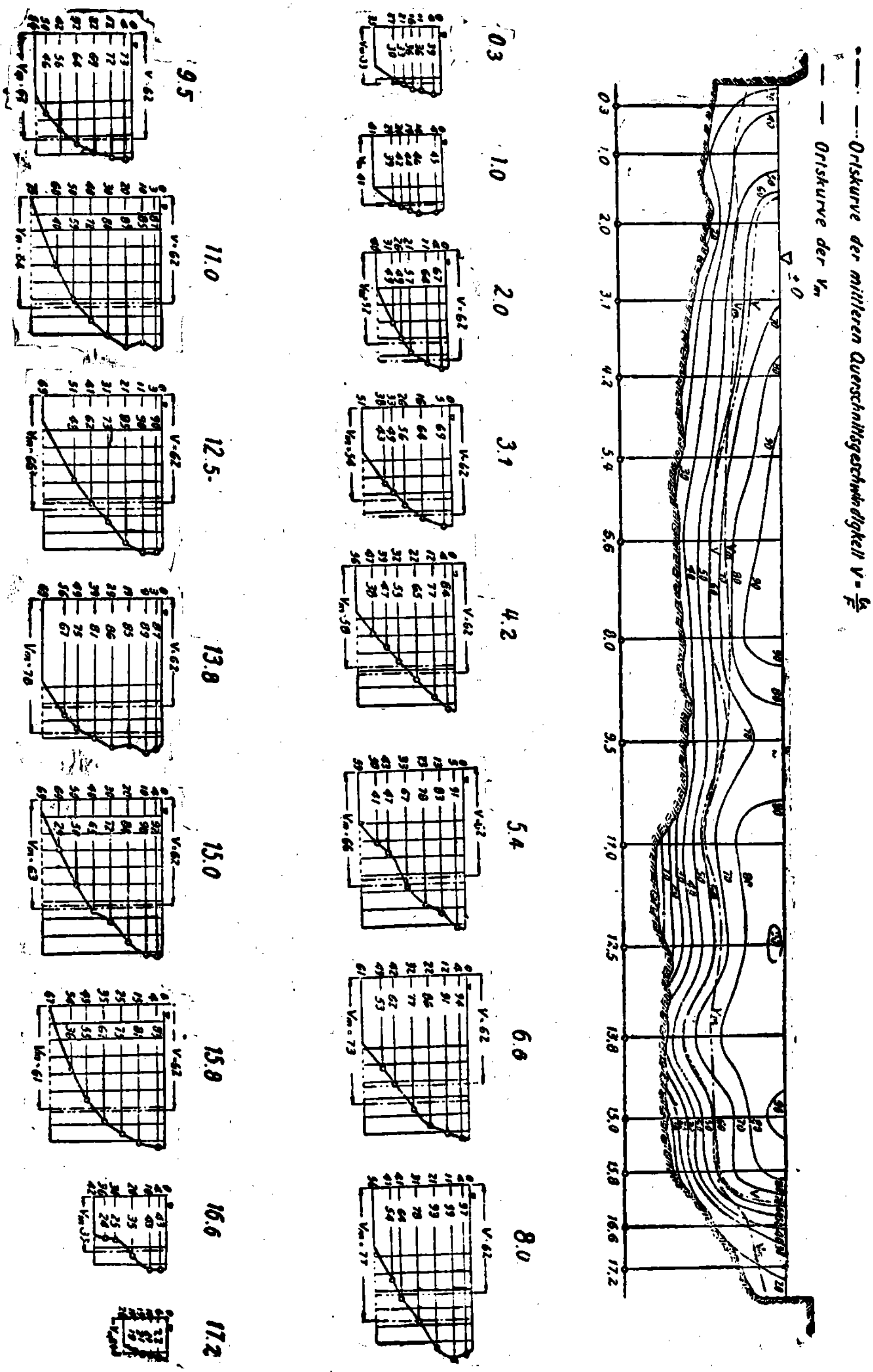
第 8 圖 暗渠의等速線

(本研究[illegible]cm, 세로80cm로서 勾配0.00427流量 0.618m³/sec의 境遇에 對하는 流速線의 狀況을 表示한 것으로서 위(上)에 表示한 것은 水平流速線 橫으로 表示한 것은 縱速線이다)



第 9 圖 明渠의等速線

(本研究는, 깊이24.58cm, 幅 80cm, 勾配 0.00430, 流量 0.307m³/sec 일때 等速線의 模樣을 表示한 것으로서 다음 Fig.18과 對照하면 流速의 分布狀態의 比較가 잘 된다)



第7圖 河川의 流速曲線 及 等流速曲線의 一例 (單位 m)

Fig. 4~Fig. 9에서 表示한 等流速線圖에서 判斷하면 各種斷面形에 對한 2次的 橫流는 다음 Fig. 10~Fig. 13과 같다고 想像된다.

(2) 流速의 垂直分布

圓管의 흐름에 있어서는 流速分布는 相當히 理論的으로 研究되어 現在에 있어서는 거이 完全에 가깝다고 볼 수 있다. 그러나 開水路에 있어서는 水深方向 뿐만아니라 橫方向에도 흐름의 狀態에 複雜한 影響을 가져오므로 境界의 形狀이 單一일뿐만 아니라 重力方向에 非對線이므로 條件은 極히 複雜하게 되며 따라서 理論的으로는 거이 研究되어 있지 않는것 같다.

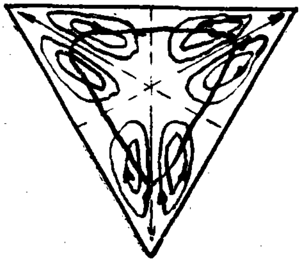


Fig · 10

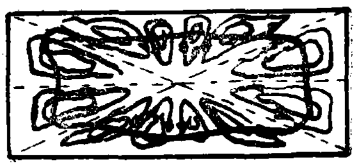


Fig · 11

그러나 水路幅이 大端히 넓고 흐름이 2次元的인 境遇에는 管의 흐름의 理論이 應用되고 있다. 이와같은 2次元的 흐름에 對하여서는 上述한 바와같이 最大流速의 位置는 理論的으로나 實例上으로나 水表面에 存在하는 것이므로 管斷面의 切半의' 境遇라고 생각하여도 大差는 없나. 最大 流速이 設使 水表面에 存在하여도 實際에는 반드시 其場所에 있어서 dv/dy (y는 底面부터의 流速 v는 y인 位置의 流速)가 鉛直으로는 되지 않으므로 流速分布의 形은 管의 경우의 切半이라고는 할 수 없다. 最大流速이 水表面에 存在하여 있다 하더라도 어느 境遇에는 其點의 dv/dy는 鉛直으로 되며 어느 境遇에는 dv/dy는 鉛直과 어느 角度를 이루는 것이다. 이것에 對하는 理論의 不安全度는 表面에 있어서의 條件의 不完全度에 있다고 생각 된다.

Fig · 12

Fig · 13

그러나 流速의 垂直 分布曲線의 性質을 調査하는 見地에서 管理論의 應用은 相當히 効果를 갖는 것이다.

水路의 底面에서 上方의 距離를 y라 하고 y에 있어서 (時間的平均) 流速을 v, 水深을 h, 水表面 y=h에 있어서의 流速 即 最大流速을 u 底面에 있어서의 剪應力을 τ_0라 하면 流速의 垂直分布는 Prandth–Kármán의 式으로부터 (see Fig. 14).

$$\frac{U-u}{v} = -\frac{1}{k}\left\{\ln 1-\sqrt{1-\frac{y}{h}} + \sqrt{1-\frac{y}{h}}\right\} \cdots\cdots (5)$$

으로 된다.

式中 k는 普通常數로 0.4이며 v는 kármán 論文의 v이며 即 $v=\sqrt{(\tau_0/p)}$이다. 但 τ_0는 開水路의 境遇에는 Fig. 14에 依해서

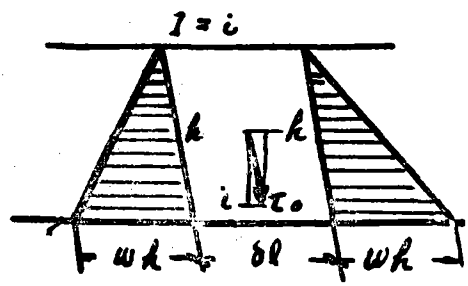


Fig · 14

$$\frac{1}{2}wh^2 - \frac{1}{2}wh^2 + l wh\delta l - \tau_0 \delta l = 0$$

$$\therefore \ \tau_0 = whI \cdots\cdots (6)$$

따라서 開水路의 境遇의 v는

$$v = \sqrt{\frac{\tau_0}{p}} = \sqrt{ghI} \cdots\cdots (7)$$

이다. (5)式은 水表面 y=h에 있어서 最大流速

이 생긴다는 것을 前提로 하고 있다.

또 (5)式은 y/h가 1에 比하여 작은 範圍 即底面에서 그리 떠러저 있지 않은 範圍에서는

$$\left(1-\frac{v}{h}\right)^{\frac{1}{2}} \fallingdotseq 1-\frac{1}{2}\ \frac{v}{h}$$

로 할 수 있으므로 다음과 같이 簡單化 할 수가 있다.

$$\frac{U-u}{v} = -\frac{1}{k}\ln\frac{y}{h}$$

이것은 底面에 가까운 範圍에 對해서 이므로 混合距離는 kármán의 假定과 같이 一般形은 아니고 壁面附近의 形으로서 採用한 것이라고 할 수 있다. 따라서 l을 이와같이 假定 할때는 $y=h$에 있어서 $u=U$라 하는 條件으로 常數를 決定하면 前式과 같이

$$\frac{U-u}{v} = \frac{1}{k}\ln\frac{y}{h} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

8式이 얻어진다. 自然對數를 常用對數로 고치면

$$\frac{U-u}{v} = -\frac{1}{kM}\log\frac{y}{h} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

$$M=0.4343$$

로 되며 이 境遇의 v도 勿論 (7)式에 依하는 것이다.

(9)式은 이와 같이 本來 壁面의 附近을 對象으로서 求한것이므로 開水路의 底面附近에 對해서 成立하는 理致이나 水深이 얕은 境遇에는 其 全水深에 對하여서도 大體에 있어서 成立하는 것으로 보아도좋다. 그러나 混合距離 l이 水深에 對해서 如何한 模樣으로 分布하는가에 있어서는 아직 分明치 못하므로 開水路의 全水深에 對하여 (9)式을 쓴다고 하는 것은 反對로 말하여 l의 水深에 關하는 分布가 $l=ky$이라는 것을 假定하고 싶다.

(9)式에 依하는 垂直分布(2次元的 等流의 流速分布)를 肯定하여서 平均流速 v_m을 求하면

$$v_m = U + \frac{v}{kM}\ \frac{1}{h}\int_{\delta}^{h}\log\frac{y}{h}\,dy \cdots\cdots (10)$$

式中 δ는 底面부터의 적은 距離이며 底面이 미끄러운 境遇에는 層流 境界層에 關하는 層厚, 粗雜한 境遇는 粗度에 關係하는 層厚이며 積分이 δ 부터 始作되는 것은 이들의 層의 接線을 생각 하기 때문이다.

그러나 一般으로 δ인 量은 極히 적으므로 平均流速을 求함에 있어서는 $\delta=0$로 하여도 充分한 近似값이 얻어진다. 이러할 때에는

$$V_m = U - \frac{v}{k} = U - \frac{\sqrt{whl}}{k} \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

로 된다. 이것은 水深 及 勾配가 알리어져 있는 2次元 等流의 平均流速과 最大流速과의 關係式이다. 이 境遇의 平均流速 v_m에 相當하는 水深 y_m는 (11)式과 (9)式에서 求하여진다.

$$y_m = 0.368h \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

이다.

또 流速의 垂直分布式을 平均流速의 關係에 있어서 고쳐 쓰면 (9)式과 (11)式에서

$$V = V_m + \frac{\sqrt{whl}}{k}\left(1+\frac{1}{M}\log\frac{y}{h}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

로 된다.

Vanoni가 幅 2.77ft 水深 0.59ft의 短形水路의 幅이 中央에있어서 流速分布를 測定하고 (9)式과 比較한 結果는 Fig. 15에서 表示한것과 같이 極히 滿足할만한 것으로서 (9)式 혹은 (13)式에 依한 對數法則이 잘 適合한다는 것을 알았다.

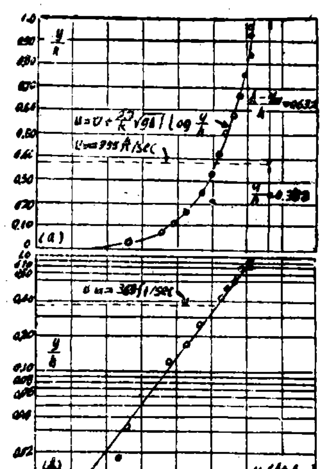


Fig 15

또 一般으로 河床에서 0.6h의 높이의 流速이 平均流速에 거이 가깝다고하나 上記한 理論的 計算에 依하면 0.632h로 되어 지금까지의 經驗이 거의 바르다는 것을 알 수 있다.

다시 또 0.2h와 0.82h의 곳의 流速을 平均하면 平均流速을 求할 수 있다고 하나 (9)式에 있어서 y/h=0.2와 y/h=0.8을 넣어서 平均을 求하면

$$\frac{v0.2+v0.8}{2} = U - \frac{0.8}{2M}\ \frac{v}{k} \fallingdotseq U - \frac{v}{k}$$

로 되어 平均流速V_m는 거의 相等하다는 것을 알 수 있다.

以上은 混合距離에 具體的인 形을 준 境遇의 流速分布이다. 이것에 具體的인 形을 주지 않고 渦粘性係數를 쓸 때는 또 다른 流速分布法則을 얻을 수가 있다.

開水路의 等流에 있어서 흐름의 方向을 x 原點을 河底로 取하여 이것에서 윗(上)方向에 y 軸을 取하고 흐름(流)中에 微小體 δx, δy을 생각한다. 그러할때에는 Fig. 17에 依해서 이 微小體의 x 方向의 均衡은

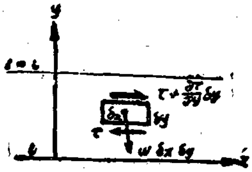


Fig 16

$$-\tau\delta x\delta y+\left(\tau+\frac{\partial\tau}{\partial y}\delta x\right)\delta x+w\delta x\delta y.1=0$$

$$\therefore\quad \frac{\partial\tau}{\partial y}=-WI\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

지금 渦粘性係數를 η 渦動粘性係數를 ε라 하면

$$\eta=e\varepsilon\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

이것을 쓸때에는 剪斷力 τ는

$$\tau=\eta\frac{du}{dy}=p\varepsilon\frac{du}{dy}\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

이다. 따라서 (14)式은

$$\eta\frac{d^2u}{dy^2}=-WI\cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

이다.

이 境遇에는 最大流速이 水表面에 存在하든가 水中에 存在하든가에 不問코 $u=U$인 것의 y를 Y라 하면 $y=Y$에서는 $du/dy=0$이므로 (17)式은 第1回의 積分에 依해서

$$\eta\frac{du}{dy}=WI\times(y-Y)\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

로 된다. 이것을 다시 $y=Y$로 $u=U$인 條件下에서 積分하면

$$u=U-\frac{wl}{2}\times(y-Y)^2\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

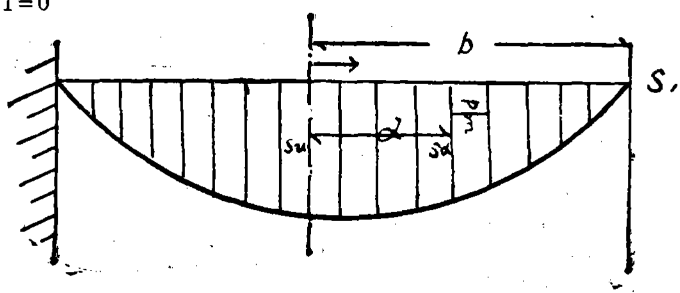
로 된다. 故로 流速의 垂直分布曲線은 2次의 抛物線으로 된다. 이와 같이 된 原因은 (17)式의 積分을 함에 있어서 渦粘性係數 η는 y에 無關係 即 渦粘性係數를 水深全體에 걸쳐서 一定하다고 假定한 것으로서 實際에는 η는 y의 函數가 되는 것으로 想像된다. 그러나 η를 y에 對해서 函數形을 定할 理論的 根據는 不明하며 오히려 實驗的 現象的으로 이것을 硏究할 段階에 있다.

(3) 流速의 水平分布

以上은 流速의 垂直分布에 對해서 理論及理論式에 對하여 살폈고, 이제 水平 橫斷線上에 있어서의 流速分布를 簡單히 取扱코저 한다.

水平方向에 있어서의 流速變化는 其水平線上에 있어서 點에 依하여 流速은 틀리며 一般的으로 中央 또는 其附近의 水深이 깊은 場所에 있어서 流速이 많으며 兩岸에 가까워짐에 따라 減少되는 것이 原則이다.

即 流速의 變化는 主로 河床의 粗度에 依한 摩擦抵抗에 影響되는 것으로서 兩岸影響은 極히 적으며 垂直分布에 比하여 一層 不規則的이다.



Fig・17

다음 Bellasis氏가 報告한 比率을 들어 보면

$\frac{B}{R}=$	4	6	10	20	30	50	90
$\frac{V}{V_{mc}}=$	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98

但 B는 河幅
R는 徑深
V는 全斷面의 平均流速
V_{mc}는 中央에 있어서의 垂直線內의 平均流速이다.

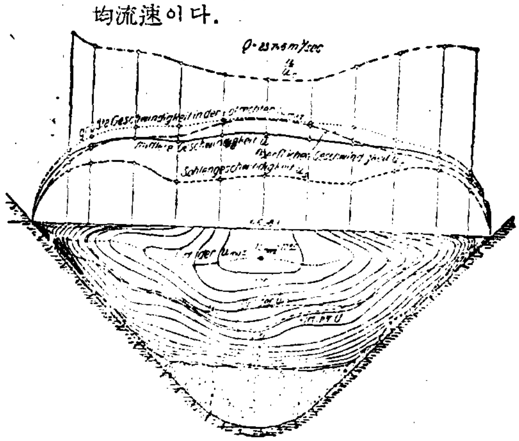


Fig 18

水平曲線은 一般으로 人工水路에 있어서 水深이 얕을때에는 楕圓曲線에 가깝고 水深이 깊을때는 圓曲線에 가깝다.

即 楕圓曲線이라 하면 Fig. 17에서

$$V_{x} = v_1 + (v_m - v_1)\sqrt{1-\left(\frac{x}{b}\right)^2} \cdots\cdots\cdots (20)$$

그러나 水深이 一定치 않고 自然河川에 있어서는 이 曲線은 水深에 따라 變化하고 또 同一水深에 있어서는 岸부터의 距離的 $\frac{1}{5}$ 乘에 逆比例하는 것과 같이 其 形은 大端히 不整하게 된다.

다음에 水深의 全斷面에 있어서의 平均流速 V와 最大表面流速 V_o와의 比率 V/V_o에 對하여서는 普通河川에 있어서는 大體로 0.65～0.80 程度이며 洪水時는 0.67～0.89로서 平均하면 大略 0.87이다.

또 Miinchen의 水理局 調査結果는 다음과 같다.

潤邊의 狀態	V/V_o (全斷面平均流速/最大表面流速)
粗雜한 岩石	0.40～0.52
砂礫床(水草없음)	0.46～0.75
礫　　床	0.58～0.70
砂　　利	0.62～0.75
砂　　床	0.65～0.83
木 或은 Concrete	0.70～0.95

이 結果에 依하면 一般的으로 V/V_o의 比는 潤邊粗雜한 경우에 적으며 潤邊平滑할수록 많은 性質을 갖는다.

그러나 以上의 比率은 大略에 지나지 않으며 이들의 값은 實地水深 河幅 其他 狀態에 依함은 勿論 流量測定에 있어서는 同時에 數個所의 流量을 測定하고 精密히 水平方向의 平均流速曲線을 求하지 않으면 않될 것이다.

〔IV〕 結　　論

流速分布에 關한 諸問題는 上記한 바와 같은 經過로 發展하여 온것으로서 垂直流速曲線에 關하여서는 初期의 學者들은 이것을 直線으로 생각하여 平均流速의 位置는 表面과 河床의 中央이라 하고 水平軸을 갖는 抛物線을 主張하였다. 即 그들中 Bazin에 依하면 其 位置는 얼마만치 底下하여 0.57h라 하며 Hagen에 依하면 5h/5, Humphreys－Abott에 依하면 2h/3이라 하였다. Hagen이 後에 이르러서 Bazin의 試驗에서 求한것에 依하면 水深 hm의 水路에서는 表面에서 $0.5+0.0246\sqrt{h}$의 깊이의 點의 流速을 測定하여 平均流速을 얻는다고 하며 Hessle는 平均流速의 位置가 表面에서 0.56～0.60h에 걸치는 것을 認定하였다.

其後 Murphy에 이르러서 幅이 넓고 水深이 얕은 水路에서 平均流速은 0.5～0.55h이고 水深이 깊은 境遇는 0.55～0.60h, 普通 水路에서 水深 1.80m 以內의 境遇에는 大體로 0.60h의 位置에서 支障없고 幅이 6～12m의 水路에서는 同一程度의 水深을 갖는 넓은 河川의 境遇에 比해서 平均流速은 얼마간 깊은 位置에 있다는 것이다.

即 諸斷面에 있어서의 流速關係의 過程을 數學的으로 取扱한 結果 垂直 流速曲線은 水平軸을 갖는 二次의 抛物線인 것이다. 實際의 境遇에서는 二次以上의 抛物線이 잘 實情에 適合할지 모르나 實用에 있어서는 이 二次의 抛物線으로서 支障없다고 생각되며 平均, 最大流速의 位置는 水路幅, 水深의 關係로 大體로 定할 수 있으니 이들의 流水狀態에 應하여 垂直流速曲線을 選定하면 좋을 것이라고 생각된다.

(筆者, 서울農業大學 農工學科硏究室)