

等水路에 관한 考察

A Consideration on Uniform Flow

明 寬 基

I. 序 論

本文은 흐름(等流의 境遇)에 있어서 平均流速과 全水頭勾配(에너지線)와의 關係를 糾明하려는 데 目的이 있다. 記述한 公式은 任意斷面形(開水路 및 管路)에 適用할 수 있지만 될수록 式은 簡略히 하였으므로 流路底面이나 壁의 狀態와 流體의 粘性에 關한 係數의 適切한 選擇이 困難하므로 多少의 計算誤差는 不可避하다.

에너지線으로 부터 平均流速을 算出하는데에는 ①주어진 에너지線의 勾配로 부터 剪斷應力을 計算하고 ②그 剪斷應力에 依해서 平均流速을 求하는것等 2段階로 나눈다.

[記 號]

A = 流水斷面 (wetted area)

a = 潤邊의 粗滑높이 (Rough length)

C = Chezy 係數

ρ = 層流底層의 두께 (laminar layer)

e = 自然對數의 底

g = 重力加速度

h = 一定한 깊이의 開水路의 水深

I = 에너지線의 勾配(勿論 等流이므로 靜水頭의 勾配와 같음 piezometric level)는 水路의 單位長當 損失 水頭로써 定義됨

α = Kármán 媒介變數

L = 混合距離 (mixing length)

ν = 動粘性係數

p = 潤邊

Q = 流量

q = 單位幅當의 流量

R = 動水半徑 = A/P

ρ = 流體의 密度

Re = 레이놀드數

S = 흐름方向의 座標

τ = 剪斷應力

y = 底面에서 距離y되는點의 流速

V = 平均流速 = Q/A

V = 摩擦速度 = \sqrt{gRI}

y = 底面에서 任意點까지의 距離

II. 주어진 에너지線의 勾配 I로 부터 剪斷應力을 求하는 過程

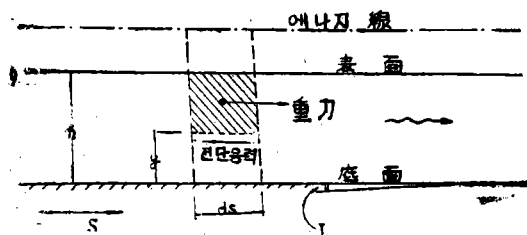
一定한 水深h로 흐르는 開水路에 있어서 底面, 表面 및 에너지線은 서로平行하고 各P의 勾配를 I 라고하면 흐름의 微小區間(빋긴部分)의 體積(圖참—1조)은

$$I \times (h-y) ds \quad (\text{h은 單位길이})$$

이고, 質量

$$m = \rho(h-y) ds$$

가된다.



- 1 -

下部 境界面의 剪斷應力 τ_y 의 크기는 反 S 方向으로 發生하는 힘으로 $\tau_y \cdot ds$ 로 表示할 수 있다. 또 微小區間의 流體에는 動力이 作用하고 그 S 方向의 分力은

$$m \times g \times \sin I = \rho g(h-y) I \cdot ds$$

恒常 勾配 I가 大端히 적으므로 $\sin I$ 는 I라고 할수 있다. (誤差는 $\frac{1}{6} I^2$ 보다작다고함) 그러므로 힘 들 사이의 平衡狀態를

$$\tau_y = (\rho g h (1-y)) \dots \dots \dots \text{--- (1)}$$

라고 表示할수 있으며 水路底面에 따라 發生하는 剪斷應力은

$$\tau_o = \rho g h l \dots \dots \dots \text{--- (2)}$$

로 表示된다.

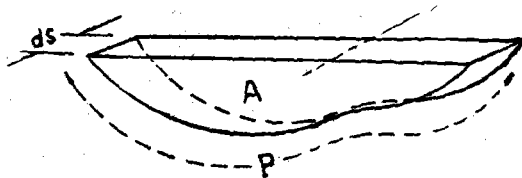


圖 - 2

任意斷面形의 開水路에서도 水路斷面을 A, 길이를 ds 라하면

$$\text{重力} = \rho A g l ds \quad (\text{圖-2참조})$$

底面에 따라 發生하는 接觸剪斷應力은

$$ds \left(\int \rho \tau_o dp \right) = Pr ds$$

或은

$$\tau_o = \rho g \left(\frac{A}{P} \right) l = \rho g R l \quad \text{--- (3)}$$

底面에 따라 發生하는 剪斷應力 τ_o 의 平均値는 動水半徑 R에 比例한다. 大端히 넓고, 平坦한 斷面에서는 水深 h는 R와 같으므로 式(2)는 式(3)과 一致하고 또 이것이 一般形의 公式이다.

Ⅲ. 剪斷應力 τ 로 부터 平均流速 v 를 求하는 過程

流體內에 있어서 剪斷應力과 流速勾配와의 關係는 動粘性係數 ν 의 定義로 부터 얻어진다.

$$\text{즉 } \nu = (\tau_y / \rho) / (dv/dy) \dots \dots \dots \text{--- (6)}$$

이式은 一般流體의 層流에 適用된다.

흐름이 層流이거나 亂流라도 關係치 않은 Ⅱ項의 境遇와는 달리 本項에서는 흐름이 層流나 亂流일때에도 式(6)이 適用되는지를 確認해야한다. 그 基準은 Reynold 數 Re 로써 이것은 流速과 길이(I, R, h)와의 積을 動粘性係數로 나눈값인데 이때 流速은 平均流速이어야 하며 幅이 넓은 矩形斷面의 境遇에 있어서는 水深 h가 Reynold 數의 長이의 項으로써 使用된다.

$$\text{即 } Re = VR/\nu \text{ 或은 } Re = \frac{Vh}{\nu} \quad \text{--- (7)}$$

層流와 亂流의 限界를 나타내는 Re의 限界値는 580이라고 하지만 變化狀態는 急激하지 않고 R로 定義되는 Reynold 數 500~600 사이라고 말할수있다. 600보다 적은 Re의 値는 가끔 流體가 붙인 境遇에도 發生하고 濃도가 높은 油類를 管送할때에도 發生할때가 있다고 한다.

層流의 境遇는 後에 論하기로 하고 여기서는 水理技術者에게 重要하다고 생각 되는 亂流現狀에 對해서만 于先 생각키로 한다. 式(6)은 亂流에는 適當치가 않다. 流體의 各層이 섞여질때에는 運動量은 한層에서 다른層으로 옮겨진다고 한다. 剪斷應力은 流速勾配에 比例하지 않고 勾配自乘即 $\left(\frac{dv}{dy} \right)^2$ 에 比例한다고 한다. $(\tau/\rho) / (dv/dy)^2$ 의 次元 (Demension)은 $[L^2]$ 이므로 公式은

$$L^2 = (\tau_y / \rho) / (dv/dy)^2$$

或은

$$\sqrt{\tau_y / \rho} = L (dv/dy) \dots \dots \dots \text{--- (8)}$$

이 된다. 길이 L는 物理的意味을 內包하고 있어 L가 크면 클수록 $\sqrt{\tau_y / \rho}$ 의 값에 對한 流速勾配는 적어진다. 다시말하면 L가 크면 클수록 混合狀態는 強해진다는 것이다. L을 混合距離(mixing length)라고 부르며 이것을 流體의 分子가 만드는 經路라고 생각할수도 있다. 매끈한 壁의 混合距離는 大端히 적고 壁에서 멀리 떠러짐에 따라 增加될것이다.

Kármán에 依하면 L은 壁부터의 距離에 比例한다고 假定했다.

$$\text{即 } L = \alpha y$$

Kármán의 媒介變數 α (Kappa)는 普通流體에 對해서는 常數로써 $\alpha = 0.4$ 라고 생각되어왔다. (亂流現狀이 浮遊分子에 依해서 壓力을 받고 있을때에는 α 는 0.4보다도 적을수도 있다고함)

다음은 矩形에 있어서 式(8)의 結果를 檢討하려한다. 底面가까이의 L은 αy 로 될것이나 上部層에 있어서는 表面의 存在로 因하여 抑壓을 當하고 있으므로 混合距離는 y가 h에 接近함에 따라 다시 零으로 돌아간다. (圖-3참조)

$$\text{即 } L = \alpha y (1 - y/h)^n$$

表面은 底面보다 더큰 運動을 許容하게 된다

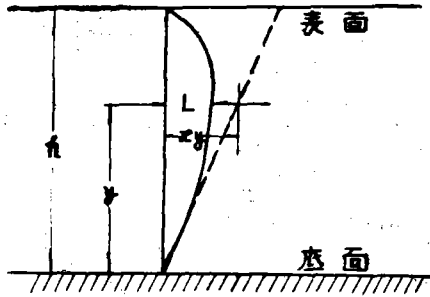


圖 - 3

는事實로 미루어 볼때 指數 n 은 1 (unity) 보다 적어야 한다. 實驗에 依하면 가장 適合한 値는 $\frac{1}{2}$ 이라는것을 나타내었다. 그러므로,

$$L = \alpha y (1 - y/h)^{1/2} \quad \text{---(9)}$$

이것을 式(8)에 代入하면

$$\sqrt{\tau_y/\rho} = \alpha y \sqrt{1 - y/h} \cdot (dv/dy)$$

그리고 式(1)로 부터 τ_y 를 取하면

$$\sqrt{g(h-y)l} = \alpha y \sqrt{1 - y/h} (dv/dy)$$

g, h, l, α 는 常數이므로 이것을 v 와 y 에 關한 式으로 誘導하면

$$dv = \frac{\sqrt{ghl}}{\alpha} \cdot \frac{dy}{y}$$

項中

$$\sqrt{ghl} = \sqrt{\tau/\rho}$$

는 流速의 單位를 갖고 있는데 이 流速 (單只 數學的意味일뿐 物理的이며 實地流速이 아님) 은 「摩擦速度」 또는 「V-star」라고 稱하는데 그것은 V_* 或은 V^* 로 나타내기 때문이다. 上記式을 簡單히 表示하면

$$dv = \frac{v_*}{\alpha} \cdot \frac{dy}{y}$$

積分하면

$$V_y = \frac{v_*}{\alpha} \ln y + C \quad \text{---(10)}$$

積分常數는 底面의 狀態에 따라 決定된다. 明白히 式(8)은 $y=0$ 인 곳에서는 成立이 안되는데 그것은 $\ln y = -\infty$ 가 되고, 常數는 $y=0$ 에 對해서 $v = -\infty$ 라고 定義 해야 하기 때문이다. 勿論 이것은 成立이 안되며 式(10)도 底面上 大端히 짧은 距離까지만 眞일것이다. 常數를 다시 表示하면

$$\text{Constant} = -\frac{v_*}{\alpha} \ln y_0$$

여기서 y_0 는 새 積分常數라고 생각할수 있는

데 式(10)에 依하면 流速이 零인 底面으로 부터의 距離이며 明白히 式(10)은 y_0 보다 높은곳까지에만 適用된다. 式(10)은 普通 다음과 같이 表示된다.

$$V_y = \frac{V_*}{\alpha} \cdot \ln \frac{y}{y_0} \quad \text{---(11)}$$

底面가가이는 어떤 現狀이 存在한다는 것은 明白하고 Prandtl 氏의 定義에 依하면 이것은 層流底層 (laminar sub-layer) 이라한다. 이 現狀은 底面이 大端히 매끈할때 存在하며 底面に 沿해서의 亂流現狀은 完全히 抑制當하며 層流底層에서는 式(6)以外 式(11) 같은것은 適用할수없다. δ 로 表示되는 層流底層의 두께는 y_0 보다 커야 하고 層流에서 亂流로 變化하는 過程이 있는 이 層의 上部端에서는 式(10)은 陽(+)의 流速을 나타내야 한다.

$$\text{即 } V_\delta = \frac{V_*}{\alpha} \ln \frac{\delta}{y_0} > 0 \quad \text{---(12)}$$

大端히 얇은 底層에서는 剪斷應力은 τ_0 를 取해도 可하다. (誤差는 全的으로 無視할수 있음) 그러므로,

$$\frac{dV_y}{dy} = \frac{\tau_0/\rho}{v} = \frac{V_*^2}{v}$$

$$V_y = \frac{V_*^2}{v} y + \text{Constant}$$

層流에서는 아무리 매끈한 底面 또는 壁面 일찌라도 流體의 가장가까운層에 比하여 거칠다. 그러므로 $V_0 = 0$ 이고 常數도 零이 된다.

$$0 < y < \delta \text{ 일때 } V_y = (v_*^2/v) y \quad \text{---(13)}$$

$y = \delta$ 에 對해서는

$$V_\delta = (v_*^2/v) \cdot \delta$$

이고 어떤 높이에 對해 V 는 單하나의 값만을 갖이므로 이것은 式(11)과 같어야 한다.

$$V_\delta = (v_*/\alpha) \cdot \ln(\delta/y_0) = (v_*^2/v) \lambda \quad \text{---(14)}$$

式(14)에서 δ 를 알면 問題는 解決이 되고 y_0 도 算出할수 있게 된다. 層流底層은 粘性이 클때와 底面に 沿하여 剪斷應力이 적을때 두꺼워진다. 그런데 摩擦速度 V_* , 底層의 두께 δ 및 動粘性係數 ν 등으로 부터 Reynold 數의 式을 만들수 있다. 即

$$V_* \delta / \nu$$

또 이 Reynold 數는 實驗에 依해 常數로서 12 보다 若干 적은 값을 주고 一般的으로 採用된 값

은

$$V_*\delta/\nu=11.6$$

이고

$$\delta=11.6 \nu/V_* \quad \text{---(15)}$$

이다.

여기서 式(14)의 δ 를 代入하면

$$(v_*/\epsilon)\ln(\delta/y_0)=11.6 V_*$$

或은

$$\ln(\delta/y_0)=11.6 \epsilon=4.64$$

$$y_0=\delta 104 \quad \text{---(16)}$$

그리하여 式(16)을 式(11)에 代入하면 結果는

$$V_y=(v_*/\epsilon)\cdot\ln(104y/\delta) \quad \text{---(17)}$$

가 된다. 式中 δ 는 式(15)로 주어진 값을 取한다.

앞으로는 水路의 單位幅當의 流量을 計算하는 問題가 남아있다. 이것은

$$q = \int_{\text{底面}}^{\text{表面}} v_y \cdot dy$$

로써 이식에 式(17)을 使用할수 있는데 亂流만을 考慮키로 한다.

$$q = (v_*/\epsilon) \int_{y=\delta}^{y=h} (\ln 104 + \ln y - \ln \delta) dy$$

$$\int \ln y \cdot dy = y \cdot \ln y - y = y \ln(y/e)$$

이므로

$$q = [(h-\delta)(\ln 104 - 1) + h \cdot \ln h/\delta] (v_*/\epsilon)$$

첫項의 h 에 比해서 δ 를 無視하므로써 흐름에 多少 餘裕를 보게되는 結果가 된다. 誤差는 全의 으로 無視할수 있고 그렇게 하므로

$$q = h(v_*/\epsilon) \ln \frac{104h}{e\delta}$$

或은

$$q/h = \bar{v} = (V_*/\epsilon) \cdot \ln \frac{104h}{e\delta}$$

$$= (V_*/\epsilon) \cdot \ln(38.1h/\delta) \quad \text{---(18)}$$

層流底層은 大端히 얇고 壁은 그存在를 생각할수 있을程度까지로 大端히 매끈해야한다. 式(17)과 式(18)에서 생기는 誤差는 1/1000% 程度이다. 壁이 層流底層을 許容치 않으리 만큼 매끈하지 않을 때의 現狀(여기서는 水理學的으로 매끈한 代身, 水理學的으로 거칠다고 表現함)에 對해서는 잘알려진 Nikuradse의 다음과 같은

實驗結果가 있다. 即 그는 y 를 測定할때 壁面을 代表할수 있는 매끈한 板을 決定하지 않으면 안되며 砂粒子의 表層에 있어서는 大略 體積의 半은 모래이고 半은 流體이다. 그러므로 粒徑의 半되는 距離를 取한다고 하였다. (圖-4 참조)

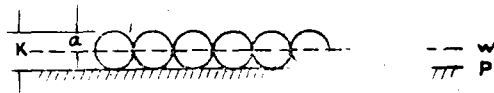


圖 - 4

$$\frac{h}{2} = a$$

$p = \text{Nikuradse}$ 가 砂粒子를 바른 매끈한 板 $w = \text{數學的意味의 壁}$

다음 課題는 式(11)의 y_0 와 a 사이의 關係를 究명하는 일이다. 實驗에 依하면 y_0 는 a 의 15或은 16分之1과 大略같다. (y_0 는 $k(=2a)$ 의 13分之1과 大略같다고함) 結果는

$$V_y = (v_*/\epsilon) \cdot \ln(15y/a) \quad \text{---(19)}$$

같은 方法으로 매끈한 壁에 對해서도 結果는

$$\begin{aligned} \bar{v} &= (v_*/\epsilon) \cdot \ln(15R/ea) \\ &= (v_*/\epsilon) \cdot \ln(5.5R/a) \quad \text{---(20)} \end{aligned}$$

管路에 關해서도 위와 같은 方法으로 얻은 結果는 다음과 같다. (說明省略)

$$\begin{aligned} \bar{v} &= (v_*/\delta) \cdot \ln \frac{2 \cdot 104R}{e\delta} \\ &= (v_*/\epsilon) \cdot \ln(46.4R/\delta) \quad \text{---(22)} \end{aligned}$$

거친 壁에 對해서는

$$\bar{v} = (v_*/\epsilon) \cdot \ln(6.7R/a) \quad \text{---(23)}$$

任意的 斷面形에 對해서 式(18)(20)(22)(23)을 檢討하면 各各의 誤差는 對數로 주어지는 係數에 있다는 것을 알것이다. 그것을 추려보면다

	矩形	圓形
水理學的으로 매끈할때	38.1	46.2
水理學的으로 거칠때	3.5	6.7

음과같다. 任意的 斷面(矩形과 圓形을 包含해서)에 對해서 다른 近似公式을 使用할까 한다.

水理學的으로 매끈한 壁

$$\bar{v} = (v_*/\epsilon) \cdot \ln(42R/\delta) \quad \text{---(24)}$$

水理學的으로 거친 壁

$$\bar{v} = (v_*/\epsilon) \cdot \ln(6R/a) \quad \text{---(25)}$$

上記公式이 適切한가에 對해서는 다른 意見이 있지만 誤差만 10%以內라면 簡略한 上記式을 擇

합이 좋을 것이다.

不利한 境遇에는 大端히 적은 R/δ 와 $\ln(42R/\delta)$ 는 約 8 이 되고 誤差는 1% 를 넘을까할 程度이며 普通은 1% 以下이다. 壁이 거친 때에는 $\ln(6R/a)$ 項은 2.5 或 3 만큼 적을 수도 있다. 大端히 거친 때에는 4% 의 誤差를 나타낼 수도 있다.

다음으로 생각해야 할 것은 매끈한 것과 거친 것 사이의 變化過程의 問題이다. 아무도 事實이 底層을 觀察한다거나, 壁의 屈曲面의 流速을 測定한다는 것도 不可能하다. 상상할 수 있는 것은 거친 면이 있으면 底層은 攪亂當하지만 繼續해서 움직이지는 않는다고 하면, 이런 境遇에는 흐름을 δ 와 a 에 依해 影響을 받으므로 δ 와 a 를 包含하고 있는 \bar{v} 에 對한 式이 必要하게 된다. Colebrook 와 White 는 實驗에 依해 變化過程에서 다음과 같은 結果를 주었다. 式(24)에서

$$42R/\delta = 6R/\frac{1}{7}\delta$$

(24)와(25)는 大端히 類似하다 即 한편은 分母에 $\frac{1}{7}\delta$ (底層의 存在를 나타내는 것), 또한편은 分母에 a (屈曲의 存在를 나타내는 것)을 갖고 있는데 두項($a, \frac{1}{7}\delta$)이 다같이 存在한다면 두 分母를 합쳐도 無妨할 것이다.

$$\text{即 } \bar{v} = (v_* / \alpha) \cdot \ln\left(\frac{6R}{a + \delta/7}\right) \quad \text{---(26)}$$

이公式은 몇가지 利點을 지니고 있는데 a 가 δ 에 比해서 적으면 式(24)(매끈한式)으로 變하고, a 가 δ 보다 커지면 式(25)(거친式)를 取한다. 많은 測定의 結果 α 의 바른값을 擇할수 있게 附表 1 과 圖表를 만들수 있게 하였다.

實務技術者는 V_* 나 α 및 式(26)의 自然對數보다 Chezy 에 依해서 주어진 形態의 公式을 더 좋아한다.

$$\text{即 } \bar{v} = C \sqrt{RI} \quad \text{---(27)}$$

勿論 그는 이公式이 大略 \sqrt{RI} 에 比例한다고 말하지만 Chezy 係數 C 속에는 여러가지 複雜하고 微妙한 것들이 한데 內包되어 있다.

$$V_* = \sqrt{gRI}$$

이므로 式(26)에 對하여 쓰면

$$\bar{v} = (\sqrt{g/\alpha}) \cdot \ln\left(\frac{6R}{a + \delta/7}\right) \cdot \sqrt{RI}$$

그리하여

$$\begin{aligned} C &= (\sqrt{g/\alpha}) \cdot \ln\left(\frac{6R}{a + \delta/7}\right) \\ &= (\sqrt{g/\alpha}) \cdot \ln 10 \cdot \log\left(\frac{6R}{a + \delta/7}\right) \\ &= 5.76 \sqrt{g/\alpha} \cdot \log\left(\frac{6R}{a + \delta/7}\right) \quad \text{---(28)} \end{aligned}$$

只今까지 모든 係數는 無名數였지만 여기서는 어떤 單位로써 表示할까 한다.

$$\text{即 } g = 9.8 \text{ msec}^{-2} = 32.2 \text{ ft. sec}^{-2}$$

$$\sqrt{g} = 3.13 \text{ m}^{1/2} \text{ sec}^{-1} = 5.67 \text{ ft}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$$

미터法으로는

$$C = 18 \log \frac{6R}{a + \delta/7} \text{ m}^{1/2} \text{ sec}^{-1} \quad \text{---(29)}$$

英單位로는

$$C = 33 \log \frac{6R}{a + \delta/7} \text{ ft}^{1/2} \text{ sec}^{-1} \quad \text{---(29a)}$$

C 에 關한 値는 附表 2를 參照하면 된다. 以上 記述한 結果의 逆算은 困難하다. 다시 말하면 \bar{v} 가 주어지면 거기에 따라 I 가 計算되어야 하겠지만 C 가 未知이므로 δ 를 算出할 수가 없다. 式(29)를 δ 가 包含치 않은 形態의 式으로 고쳐 쓰면

$$\begin{aligned} \frac{6R}{a + \delta/7} &= \frac{6}{a/R + \delta/7R} \\ &= \frac{6}{a/R + 11.6\nu / (7\sqrt{g} \cdot \sqrt{RI} \cdot R)} \\ &= \frac{6}{a/R + (11.6/7\sqrt{g})(C\nu/VR)} \\ &= \frac{6}{a/R + (11.6/7\sqrt{g})(C/Re)} \end{aligned}$$

미터法을 쓰면

$$11.6/7\sqrt{g} \text{ 는 } \frac{1}{2} \text{ 에 거의 가깝다.}$$

그러므로

$$C = 18 \log\left(\frac{6}{a/R + C/2Re}\right) \quad \text{---(30)}$$

이것은 直接 求할수 없고, C 의 어떤 値에 對해 그것에 一致되는 Reynold 數를 求할수 있고, 附表 2에 a/R (或은 R/a) 와 Re 의 函數로써 C 를 나타내었다. 이 圖表는 두過程에 對해서 같이 쓰인다. 即 I 로 부터 始作해서 R/a 와 R/δ (굵은線)에서 C 를 읽어 \bar{v} 를 求하고, \bar{v} 에서 始作하여 R/a 와 Re (點線)에서 C 를 읽어 I 를 求할수 있다. 壁이 水理學的으로 거칠다는 것을 미리 알면 a 에 比해 δ 는 뜻이 없으므로 이 假設은 必要없게 되고

$$C = 18 \log \left(\frac{6R}{a} \right) \dots \dots \dots (29d)$$

가 되며 河川이나 開渠에 있어서 자주 일어나는 現狀이다.

IV. 結 論

以上 記述한것을 다시 要約하면 下記表와 같음

I가 주어지고 V를 求할때	V가 주어지고 I를 求할때
(a) 亂流인지를 確認할것 ($Re=VR/u > 600$)	—
(b) 附表 I에서 a의 值를 求할것	—
(c) 溫度에 따라變하는 u의 決定	—
(d) $V_* = \sqrt{ghI}$ 의 計算	式(7)로 Re를 求할것
(d ₂) 式(15)에 依하여 δ를 求할것	
(e) 式(29)이나 附表 2의 굵은 線으로 C를 求할것	式(30)과 附表 2의 點線으로 C를 計算할것
(f) 式(27)로 V를 求함	式(27)로 I를 求함 $I = \frac{V^2}{C^2 R}$
(g) (a)에서 計算한 Re를 檢討	

끝으로 指摘하고 싶은것은 여러式中 摩擦速度 (v_*), 剪斷應力 (τ) 및 層流底層 (δ)에 關한 概念

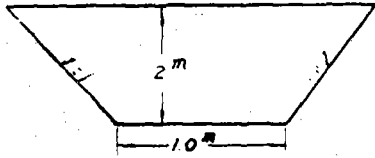
은 機會있을때 紹介하려는 流砂理論의 基礎가 된다는 事實이다.

(附表 1)

1 m	粗度의 크기 (式 $C = \frac{1}{k} \ln \cdot 10 \sqrt{g \cdot \log \frac{6R}{a + \delta/7}}$ 에서의 (a))		1 m
0.5 m	흙		0.5 m
0.2 m			0.2 m
0.1 m	屈曲面 植生하는水路 流砂가 있는河床 매끈한表面		0.1 m
5			5
2	石材		2
10 ⁻²			10 ⁻¹
5	콘크리트 시멘트		5
2			2
10 ⁻³	鋼材 木材		10 ⁻³
5			5
2	오래된面 面손질을 하지 않은것 面손질을 한것 매끈하게 面손질을 한것 遠心力을利用한面		2
10 ⁻⁴			10 ⁻⁴
5	많이 부식된面 리베트된面 血頭리베트된面 주물面 애스팔트面		5
2			2
10 ⁻⁵	오래된面 대패로밀지 않은面 대패로민面 유리		10 ⁻⁵
5			5
2	잘 다듬은 돌面 잘 쌓은 벽돌공面		2
10 ⁻⁶			10 ⁻⁶

例題

問 1. 下圖와 같은 斷面을 갖인 콘크리트開渠의 流量을 求함.



但 水路勾配 $I=10^{-4}$ (km 當 10 cm 의 落差)
 流體의 動粘性係數 $\nu=10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$

(解) $R = \frac{A}{P} \approx 0.90 \text{ m}$

$a = 10^{-4} \text{ m}$ (附表 1 에서)

$V_* = \sqrt{gRI} = \sqrt{9.8 \times 0.9 \times 10^{-4}} \approx 0.029$

$\delta = \frac{11.6\nu}{V_*} = \frac{11.6 \times 10^{-6}}{0.029} = 4.0 \times 10^{-4}$

$C = 18 \log \frac{6R}{a + \delta/7}$

$= 18 \log \frac{6 \times 0.2}{10 + \frac{4.0 \times 10^{-4}}{7}} \approx 97.5$

$\bar{V} = C \sqrt{RI} = 97.5 \sqrt{0.90 \times 10^{-4}}$

$= 0.926 \text{ m/sec}$

$Q = A\bar{V} = 6 \times 0.926 \approx 5.56 \text{ m}^3/\text{sec}$

$Re = \bar{V}R/\nu = 0.929 \times 0.9/10^{-6}$

$= 0.833 \times 10^6 > 600$
 \therefore 亂流

$a > \delta$ 이므로 水理學的으로 거칠다.

問 2. 問 1 과 같은 條件의 斷面과 流體가 流量 $Q=5 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ 로 흐를때 勾配 I 를 求함.

(解) $Q = A\bar{V} = 5 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$

$R = 0.9 \text{ m}$ $A = 6 \text{ m}^2$ $a = 10^{-4} \text{ m}$

$\bar{V} = \frac{5}{6} = 0.83 \text{ m sec}^{-1}$

$Re = \frac{\bar{V}R}{\nu} = \frac{0.83 \times 0.90}{10^{-6}} = 7.55 \times 10^5$

$\frac{R}{a} = \frac{0.90}{10^{-4}} = 9000$ 附表 2 에서 $C \approx 84$

$\therefore I = \frac{\bar{V}^2}{C^2 R} = \frac{0.83^2}{84^2 \times 0.9} = 1.08 \times 10^{-4}$

參考書籍

J.Th. Thijsse 著 Discharge Formular

日本土木學會 水理公式集

W. KAUFMAN 著 Fluid Mechanics

(筆者 土聯 干拓部)

(附表 2)

HEZY 係數 C (R/C 및 R/a 로 주어 진)

