

# 斷面調節管—簡單한 敎示用 水理實驗 裝置

Adjustable Nozzle—Simple Apparatus to Demonstrate Hydraulic Principles

劉 漢 烈  
Ryu Han Yeol

## Summary

Some simple devices to demonstrate important hydraulic principles are required in fluid mechanics or hydraulics classes. Those devices should be easy to make and operate with inexpensive cost.

The writer has studied some simple demonstration apparatus of hydraulic principles which were made of cheap materials. An adjustable nozzle is one of them. It can be connected to an axial flow fan so as to use air flow. By operating this apparatus, pressure changes in gradually enlarged or contracted conduits could be observed.

## I. 緒 言

流體力學 또는 水理學 講義에서 比較的 製作과 操作이 簡單하면서도 중요한 原理들을 直接 說明 할 수 있는 裝置가 필요하다. 이 點은 우리나라와 같이 高價인 水理實驗室을 加하기 어려운 實情下에서는 특히 고려 되어야 할 문제이다.

筆者는 流體力學 또는 水理學에 관한 중요한 原理를 敎示할 수 있는 簡單한 裝置를 研究考察하고 廉價인 材料를 써서 製作하였다. 斷面調節管은 그 中의 하나 이며 다음에 그 設計圖, 製作方法, 製作材料, 說明할 수 있는 水理學의 原理 등을 說明한다.

## II. 使用目的

이 裝置는 管路斷面積의 順次的인 擴大 또는 縮少로 인한 管路 各部에서의 壓力強度의 變化狀態를 敎示하 는 것이다. 그림에서 보는 바와같이 이 管路의 斷面은 矩形이며 그 上端은 A 點을 中心으로 A·B 를 半徑으로 하여 回轉할 수 있어서 管路斷面積은 A 點에서 B點 을 向하여 順次로 擴大 또는 縮少할 수 있게 되어 있

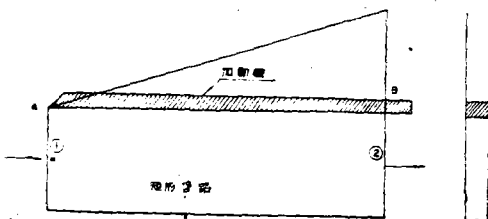


Fig. 1

다. Fig 1에서 點 ①과 ②사이의 베르누이의 定理를 적용하면

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{w} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} + z_2 + h \dots\dots\dots(1)$$

이 式에서  $v_1$  과  $v_2$  는 ①점과 ②점에서의 流速,  $p_1$  과  $p_2$  는 壓力強度,  $z_1$  과  $z_2$  는 任意基準向上的 높이,  $v$  는 摩擦損失水頭이다. 여기서  $z_1 = z_2$  라면,

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{w} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} + h \dots\dots\dots(2)$$

그리고 點 ①과 ② 사이가 짧아서 摩擦損失을 無視 할 수 있다면

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{w} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} \dots\dots\dots(3)$$

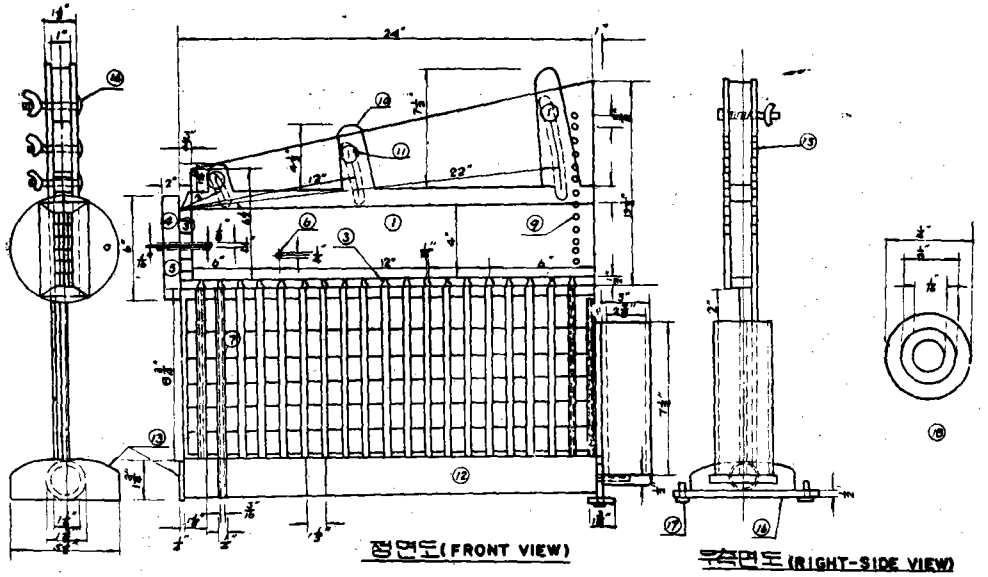
가 될 것이다.

連續方程式에 의하여 點 ①과 ②에서의 流量이 같다 면

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $A_1$  라  $A_2$  는 點 ①과 ②에서의 斷面積이다.  $A_1$  과  $v_1$  이 不變이라면 이 관계가 成立하려면 斷面積  $A_2$  가 增加하면 流速  $v_2$  는 減少해야하고  $A_2$  가 減少하면  $v_2$  는 增加해야 한다.

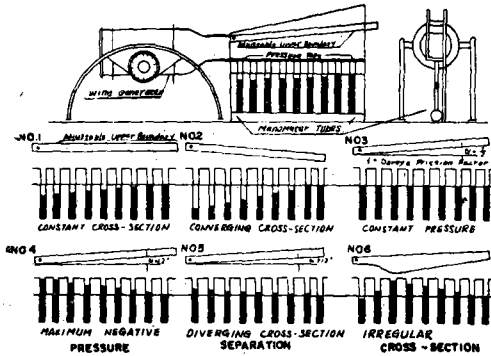
또 (3)式에서 左邊에 變함이 없다면 左邊에 있어서  $v_2$  가 감소하면  $p_2$  가 증가해야 하고  $v_2$  가 增大하면  $p_2$  는 減少해야 할 것이다. 즉 B 點을 움직여서 높게하면 斷面積  $A_2$  는 增加하고 따라서  $v_2$  는 減少하고  $p_2$  는 增加할 것이다. B 點을 낮게하면 이와 反對現象이 일어난 것이다. 또한 이 現象은 B 點에서 급격히 일어나는 것이 아니라 A 點을 出發하여 B 點을 向해서 漸進的으로 일어나는 現象이다.



- |   |       |                           |   |       |                        |   |         |                |
|---|-------|---------------------------|---|-------|------------------------|---|---------|----------------|
| ① | 관로    | CHANNEL                   | ⑦ | 압력계관  | MANOMETER TUBE         | ⑬ | 지지대     | SUPPORT        |
| ② | 가동벽   | ADJUSTABLE WALL           | ⑧ | 저압측압구 | PRESSURE TAP IN BOTTOM | ⑭ | 나사      | CLAMP          |
| ③ | 금속회자  | METAL CIRK                | ⑨ | 구멍    | HOLE                   | ⑮ | 측벽      | SIDE-WALL      |
| ④ | 입구    | TRILET                    | ⑩ | 가동벽각  | LEG OF ADJUSTABLE WALL | ⑯ | 지지대     | SUPPORT        |
| ⑤ | 압력구   | PRESSURE TAP              | ⑪ | 나사    | CLAMP                  | ⑰ | 지지대(나사) | SUPPORTING BAR |
| ⑥ | 압력측압구 | PRESSURE TAP OR SIDE WALL | ⑫ | 다가    | MANIFOLD               | ⑱ | 측벽압력구   | 측벽도            |

Fig. 2

(Scale) 4" = 1"



斷面調節管의 壓力變化의 모양

Fig. 3

換言하면 이 裝置로서 加速 또는 減速되는 흐름의 狀態를 觀察할 수 있다. 軸流扇風機를 適合한 挿入裝置를 利用하여 이 裝置의 縮少된 矩形斷面과 連結할 수 있다(Fig 3 參照). Fig 2에서 보는 바와같이 이 矩形斷面이 上端은 可動端이어서 上下시킬 수 있다. 下面에는 一連의 壓力測定口가 있다.

각 壓力測定口는 透明한 壓力計管에 連結되어 있으며 이들 各管은 또한 下部에 있는 한개의 多岐管에 連結되고 이 多岐管은 直立管에 連結된다. 液體를 直立管에 부으면 이 裝置가 作用하지 않을 때는 直立管内

의 液體面과 각 壓力計管内의 液體面과는 一致할 것이다. 可動直線標識은 0의 壓力를 表示하는데 有用할 것이다.

Fig 3은 斷面調節管内에서 壓力이 變化하는 모양을 壓力計管内의 液體高로서 表示하고 있다.

No. 1의 位置는 可動壁을 橫斷面積이 一定하도록 設置하면 壓力은 順次로 直線의 으로 減少하여 0이 된다. 이것은 管内의 壓力이 順次로 減少하는데 對應하는 現象이다.

No. 2의 位置는 可動壁을 斷面漸次縮少管路가 생기도록 아래로 내린다. 그러면 壓力降下는 No. 1의 경우보다 甚할 것이다. 왜냐하면 摩擦損失로 인한 壓力減少에 더하여 壓力이 運動에너지로 轉換하기 때문이다. 糸網을 管路 속에 넣으면 흐름이 힘차다는 것을 알 수 있을 것이다.

No. 3의 位置는 全斷面に 걸쳐서 壓力의 0의 線과 一致하도록 No. 1 位置보다 약간 높게 可動壁을 올린다. 이는 약간 擴大되는 管路에서 일어난다. 摩擦로 인한 壓力減少는 減加速로 인한 壓力增加와 그 크기가 같다. 摩擦係數를 可動壁角에 의하여 쉽게 決定할 수 있다. 可動壁角  $\alpha$ 는 radian 으로 표시되며 摩擦係數  $f$ 는 대략  $f=2\alpha$ 가 되며  $\alpha=0.01$  이라면  $f=0.02$ 를 測定할 수 있다.

No. 4의 位置는 可動壁角을 더욱 增加시켜서 最少斷面에서 큰 負壓力이 생기는 것을 觀察하는 것이다. 可

動壁角을 調節하므로써 負壓力이 最大가 되는 點을 찾아 낼 수 있다. 糸網은 아직도 흐름이 分離되지 않은것을 實證한다.

이 位置에 의하여 가장 適合한 擴大角을 實驗的으로 얻을 수 있으며 이 境遇 그 角은  $\alpha=12^\circ$ 가 될 것이다.

No. 5의 位置는 可動壁을 全的으로 위로 올려서 매우 큰 擴大角이 되도록 한다. 最少斷面에서의 負壓力은 거이 完全히 減退하는 同時에 이 縮少斷面前의 正壓力은 增加한다. 이는 에너지損失이 增加한 表示이다 糸網을 出口斷面 前方에 놓으면 上部에서 逆流이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이와같이 흐름은 分離되었으며 別로 壓力의 轉換없이 流體는 흐르고 있는 것이다.

또 다른 位置는 抵抗測定을 위한 位置이다. 可動壁을 나란하게 하므로써 矩形管路를 만들고 壓力을 測定하여 各種形의 物體의 抵抗力을 測 수 있다. 그 한 끝에 壁사이에 圓筒形物體를 挿入한다. 挿入物體의 모음은 코루크로서 쉽게 만들 수 있으며 管路壁에 附着시키는 때는 海綿狀고무를 쓰면 된다. 이 경우 正壓力의 圓筒形物體의 前方에서 일어날 것이며 負壓力은 縮少部에서 일어날 것이다. 그 後는 어느 거리 동안 壓力이 變하지 않고 다음에 차차 消滅할 것이다. 壓力曲線이 0線에 接近하는 點에서 變하지 않는 固定된 流體面이 다시 繼續될 것이다.

以上の 位置中 No. 5까지는 Fig 3에 表示되어 있다.

다음에 한 試驗體를 圓筒形物體 뒤 에 挿入한다. 그러면 壓力曲線은 直時로 甚한 變化를 이르킨다. 이 경우는 먼저 경우보다 負壓力은 매우 클 것이며 順次로 그 크기가 적어질 것이다. 이는 高流速이 壓力으로 轉換된 것을 나타낸다.

다음에 摩擦係數  $f$ 와 可動壁角  $\alpha$ 와의 關係를 나타내는 式을 유도한다.

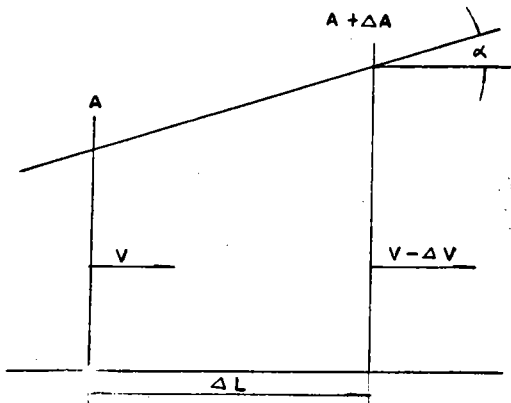


Fig. 4

(a) Fig 4에서 보는 바와같이 可動壁을 壓力變化가 없도록 움직여 놓는다. 그 때의 可動壁角을  $\alpha$ 라고 하고 각 記號를 그림과 같이 부치면 다음의 關係式이 베르누이의 定理로 부터 成立한다. 즉,

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(v - \Delta v)^2}{2g} + f \frac{\Delta L \cdot v^2}{8gR}$$

여기서  $R$ 은 徑深이다.

$$\therefore v^2 = v^2 - 2v\Delta v + f \frac{\Delta L \cdot v^2}{4R}$$

$(\Delta v)^2$ 은 無視하였다.

$$\therefore \Delta v = f \frac{\Delta L \cdot v}{8R} \dots\dots\dots(5)$$

다음에 流體의 壓縮性을 無視한다면 連續方程式에 의하여

$$Az = (A + \Delta A)(v - \Delta v) \\ = Av - \Delta Av + \Delta Av - \Delta A \cdot \Delta z$$

여기서  $(\Delta A \cdot \Delta v)$ 를 無視하면

$$\Delta z = \frac{\Delta A \cdot v}{A} = f \frac{\Delta L \cdot v}{8R}$$

$$\Delta L \rightarrow 0 \text{ 라면 } \frac{dA}{dL} = f \frac{A}{8R}$$

다음에  $A = bd$ 라고 할 수 있고 여기서  $b$ 는 管路幅,  $d$ 는 管路의 깊이이다. 그러면

$$\frac{dA}{dL} = b \frac{d(d)}{dL} = f \frac{A}{8R}$$

$$\tan \alpha = \frac{d(d)}{dL} = f \frac{A}{8bR} = \frac{fd}{8R}$$

$$R = \frac{bd}{2(b+d)} \text{ 이므로}$$

$$\tan \alpha = \frac{fd}{8} \frac{2(b+d)}{bd} = \frac{f}{4} \left(1 + \frac{d}{b}\right) \dots\dots(6)$$

이 式에 의하여  $\tan \alpha$ 는  $d$ 의 增加에 따라 增加함을 알 수 있다. 그리고  $f$ 는 매우 작으므로

$$\tan \alpha \rightarrow \alpha \text{ radian} \approx \frac{f}{4} \left(1 + \frac{d}{b}\right) \dots\dots\dots(7)$$

$$b = d \text{ 일 때는 } \alpha = \frac{f}{4} (1+1) = \frac{f}{2}$$

$$\frac{d}{b} \text{ 일 때는 } \alpha = \frac{5}{4} f$$

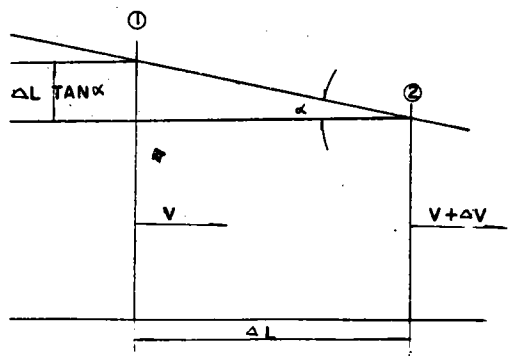


Fig. 5

(b) Fig 5와 같이 管路가 順次로 縮少할 때 그림과 같은 記號를 쓴다면 베르누이의 定理에 의하여

$$\frac{p_1}{w} + \frac{v^2}{2g} = \frac{p^2}{w} + \frac{(v+\Delta v)^2}{2g} + p \frac{\Delta L \cdot v^2}{8gR}$$

$$\frac{\Delta p}{w} = \frac{1}{2g} \left( 2v\Delta v + f \frac{\Delta L \cdot v^2}{4R} \right)$$

이 식에서  $(\Delta v)^2$ 은 無視하였다.

連續方程式에 의하여

$$Aa = (A - \Delta A)(v + \Delta v)$$

$$= Av + A\Delta z - \Delta A \cdot v + \Delta A \cdot \Delta v$$

$$(\Delta A \cdot \Delta v)를 無視하면 \quad \Delta v = \frac{\Delta A \cdot v}{A}$$

$$\therefore \frac{\Delta p}{w} = \Delta h = \frac{1}{2g} \left( \frac{2\Delta A \cdot v^2}{A} + f \frac{\Delta L \cdot v^2}{4R} \right)$$

$$= \left( \frac{2\Delta A}{A} + f \frac{\Delta L}{4R} \right)$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{-b\Delta L \cdot \tan \alpha}{bd} = -\frac{\Delta L \cdot \tan \alpha}{d}$$

$$\therefore \Delta h = \frac{v^2}{2g} \left( f \frac{\Delta L}{4R} - \frac{2\Delta L \cdot \tan \alpha}{d} \right)$$

$\Delta L \rightarrow 0$  일 때는

$$\frac{dh}{dL} = \frac{v^2}{2g} \left( \frac{f}{4R} - \frac{2 \tan \alpha}{d} \right)$$

$$\frac{dh}{dL} = \frac{Q^2}{2gb^2d^3} \left( \frac{f}{4} - \frac{2(b+d)}{bd} - \frac{2 \tan \alpha}{d} \right)$$

$$= -\frac{Q^2}{gb^2d^3} \left( \frac{f(b+d)}{4b} - \tan \alpha \right) \dots \dots (8)$$

$$or \quad \frac{dh}{dL} = \frac{Q^2}{gb^2(d_0 - L \tan \alpha)^3}$$

$$\left[ \frac{f}{4} \left\{ 1 + \left( \frac{d_0 - L \tan \alpha}{d} \right) \right\} - \tan \alpha \right] \dots (9)$$

이것은 각 壓力計管의 液體面과 一致하는 曲線의 方程式이다.  $\frac{dh}{dL}$ 는  $L = (b+d_0) \cot \alpha - \frac{\Delta d}{f}$ 가 될 때 0 (最大)이 될 것이다.

## II. 構造 및 用法說明

前節에서 說明한 바에 의하여 대략 알 수 있는 바와 같이 本裝置는 두장의 루싸이트로 된 平板으로 矩形管路의 側壁을 만든다. 그中 前壁은 잡고 後壁은 길다. 上端은 亦是 루싸이트로 된 可動壁이고 底面에는 19개의 壓力測定口가 있다. 그 밑에는 壓力計管이 있으며 그 밑에 多岐管이 있다. 壓力計管과 管路의 後壁 사이에 壓力強度를 읽기 위한 方眼紙를 挿入한다. 可動壁은 나사못으로 固定시키도록 되어 있다. 또 管路入口에는 空氣의 攪亂을 막기 위하여 金屬格子가 있다. 그 앞에 曲綫을 이루는 圓形入口가 있다. 이 入口의 右側에 壓力測定口가 있다. 側壁에도 2개의 壓力測定口가 있으며 出口로 거진 다 가서 16개의 구멍이 뚫려있다. 이 구멍은 피로圓筒 挿入用이다. 또 最右側에 壓力計管用 液體를 注入하기 위한 圓管이 있다. 이들 材料는 거이 全部 루싸이트로 만드렸다. 正確한 치수와 각부의 詳細한 것은 Fig 2의 設計圖를 參照할 것이다.

## IV. 結 論

斷面調節管은 쉽게 求得할 수 있는 透明한 루싸이트를 材料로 써서 만들 수 있으며 軸流扇風機에서 나오는 空氣의 흐름으로 操作할 수 있어서 간단한 操作으로 水理學에 重要한 原理를 敎示할 수 있다.

이 裝置로 流路斷面積의 變化에 따르는 壓力의 變化狀態를 觀察할 수 있으며 나아가서 베르누이의 定理가 連續方程式을 說明할 수 있다. 附加하여 에너지損失의 現象과 摩擦損失係數의 說明도 可能하다.

## □ 參 考 文 獻 □

1. Addison, H., Hydraulic Measurements, Chapman and Hall Ltd., London, 1940.
2. Binder, R. C., Fluid Mechanics, Prentice-Hall Inc., New York, 1955.
3. Gibson, A. H., Hydraulics and Its Application, Constable and Company Ltd., 1954.
4. Rouse, H., Elementary Mechanics of Fluids, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1956.
5. Rouse & Howe, Basic Mechanics of Fluids, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1950.

(筆者: 서울大學校 農科大學 敎授)