

多目的 實驗을 위한 亞音速風洞의 選定과 그 使用 實例

盧 秉 俊

<全北大 工大 機械工學科 · 工博>

1. 緒 論

國內에서의 流體工學 그 中에서도 空氣力學 (aerodynamics)에 對한 研究가 지금처럼 活潑하게 進行되기 始作한 것은 그리 오래되지 않는다. 우선 大韓機械學會의 學術活動을 通하여, 1977年 以前과 以後로 나누어 發表되는 研究結果들을 比較하여 보면, 顯격한 차이를 느낄 정도로 急進하였음을 알 수 있다. 이는 全般的인 機械分野가 다 그러하겠지만 特히 空氣力學 分野에는 너무나 많은 變化를 가져왔으며, 無에서 有로 變化하였다기 보다는 先進國들의 研究대열에 끼여들 수 있는 能力을 갖춘, 다시말해서 잠재력이 있는 研究가 進行되고 또한 그 結果가 發表되고 있음을 알 수 있다. 이는 그간의 國家의 科學進興政策에 따른 많은 新進 研究員들의 國內 유치와 學會 및 國際間的 진밀한 研究교류와 共同研究를 通하여 얻은 소산이나 아직껏 研究資金 지원의 미흡으로 研究施設難에서 받는 타격은 보다 次元이 높은 研究結果를 얻는데 가장 큰 장애가 아닐 수 없다. 이러한 명점들은 어느 專攻分野에서나 앓고 있는 實情이지만, 風洞을 利用한 實驗室 研究가 直面하고 있는 全般的인 國內의 問題點들은,

첫째, 高價의 品目에 國內 設計製作이 不可한 것으로 認識이 되어있고,

둘째, 카다로그에 依한 外國產의 구입으로 意圖한 實驗과 그 實驗室 特性에 맞는 製品을 구

입하지 못하고 있으며,

셋째, 測定器의 不足을 들 수 있다.

그리하여, 本稿에서는 우리가 一般的으로 많이 使用하고 있는 亞音速風洞의 多目的 使用 方法을 簡單한 例를 들어 說明하고자 한다.

2. 亞音速風洞의 選定

<記號說明>

A_e : 노즐 出口의 斷面積

A_i : 노즐 入口의 斷面積

$$C: \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 / R^2$$

D_e : 노즐 出口의 直徑

D_i : 노즐 入口의 直徑

L : 노즐의 全長이

L_c : 노즐의 收縮部의 길이

R : X 인 거리에서의 半徑

R_s : 레이놀즈 수

X : 노즐 入口로부터 出口방향으로의 거리

$$b: \bar{u} = \frac{1}{2} \bar{u}_{\max} \text{에서의 제트의 幅}$$

\bar{u} : 平均速度

\bar{u}_{\max} : 最大平均速度

$$u^+: \frac{\bar{u}}{u^*}$$

u^* : 摩擦速度 $\sqrt{\tau/\rho}$

y : 壁面으로부터 距離, 軸方向에 수직인 距離

$$y^+: \frac{u^* y}{\nu}$$

多目的實驗을 위한 亞音速風洞의 選定과 그 使用 實例

- τ : 剪斷應力
- ρ : 密度
- ν : 動粘性係數

아무리 좋은 결과를 얻을 만한 연구계획이 있어도 經濟적인 뒷받침이 없이는 絶對적으로 불가능한 것이다.

그리하여, 주어진 條件下에서 보다 많은 研究와 敎育이 이루어질 수 있다면 이 以上 더 큰 추락이 있을 수 없을 것이다.

우선 風洞(wind tunnel)에는 空氣流動을 어떻게 얻느냐에 따라 空氣壓送形(air compression type)과 空氣吸入形(air suction type)의 두 가지로 나눌 수가 있다. 前者는 대개 그림 1의 [A]와 같이 空氣吸入部에 空氣整流裝置가 있고 그 뒤에 空氣의 加速部로 사용되는 收縮部(convergent)가 設置하고, 여기를 通하여 吸入되는 空氣는 收縮部の 出口에서 均一加速 分布流動되므로 이곳에 實驗室(test section)이 設置되어 있다. 이 實驗室의 크기는 實驗의 目的에 따라 決定되어야 하며, 이 實驗室의 크기에 따라 收縮部の 크기와 收縮曲率在 決定된다. 이 實驗室 後部에 擴大部(diffuser)가 設置되고 이 擴大部の 길이 역시 實驗室의 크기에 따라 또는 風洞이 設置되는 實驗室의 事情에 따라 決定될 수 밖에 없다. 대개 이 吸入形風洞에서는 擴大部の 後部에 軸流形送風機(axial type ventilator)를 設置하게 된다. 이 吸入形 亞音速風洞의 가장 큰 短點은 어느 한 實驗을 위하여 設計 製作하였을 때 實驗室이 空氣吸入裝置의 前方에 位置하고 있으므로 다른 目的으로 改造하기가 어려워 한가지 目的에만 使用될 수 밖에 없는 點이다. 그림 1의 [B]는 空氣壓送形이며 本稿에서 例를 들어 說明하고자 하는 亞音速風洞의 構成圖로서 이에 對한 完全 國產化 開發研究⁽³⁾가 끝나 風力 機械生産業體인 瑞源風力機械工業株式會社에서 生産中에 있으므로 産業秘密에 屬하는 部分들을 略하고 說明해가기로 한다.

그림 1[B]에서와 같이 吸入形과는 달리 送風機에 擴大部가 設置되고 擴大部에 空氣整流室이 그 뒤에 空氣의 加速과 均一分布流動을 얻기 위

한 收縮部가 設置되며, 이 後部에 本 實驗을 위한 實驗室을 設置한다. 이 경우에 가장 重要한 것은 收縮部の 曲率 計算이다. 이에 對한 計算式은 理論적으로 誘導한 式도 있으나, 半實驗적으로 求해 낸 式들을 使用하는 경우가 많다.

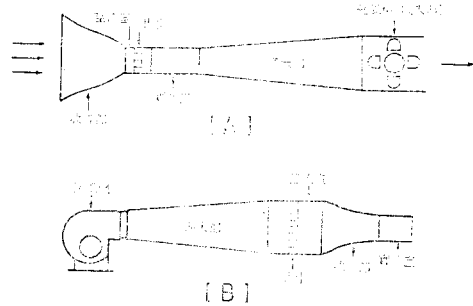


그림 1 亞音速 風洞主要部の 概略圖

A.K.M.F. HUSSAIN은 이 收縮部에 對한 實驗的 研究에서 그림 2와 같은 收縮部 曲線을 찾아냈으며, 이에 對한 半實驗 公式들을 다음과 같이 얻었다. (1)

BS 노즐의 윤곽 곡선의 式 :

$$\frac{1}{A^2} = \frac{1}{A_1^2} + \left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) \cdot \left(\frac{x}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi \frac{x}{L} \right) \quad (1)$$

여기서 A 는 거리 x 인곳의 斷面積(πR^2)이며

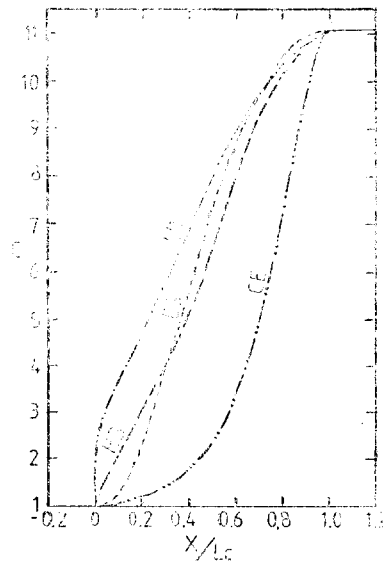


그림 2 收縮部の 曲線

■ 解 說

미국 ASME 노즐의 $\beta=(D_s/D_i)=0.3$ 의 값과 동일한 값을 갖는다.

HB 곡선은 $\beta > 0.25$ 인 “high- β series” LB 곡선은 $\beta < 0.5$ “low- β series”의 곡선들이다.

또 CE 곡선의 식은

$$R = \frac{D_i}{2} - \frac{3}{2}(D_i - D_s) \left(\frac{x}{2}\right)^2 + (D_i - D_s) \left(\frac{x}{L}\right)^3 \quad (2)$$

결국 노즐(收縮部)의 곡線 計算式은 風洞의 用途에 따라 式(1)(2)中 어느式을 擇하여도 된다.

多目的 使用을 위해서는 實驗室에서의 改造가 容易하여야 한다. 그러므로, 그림 1의 [B]에서와 같이 空氣壓送形 風洞으로서 實驗室이 風洞의 出口에 附着되도록 設計되어야 한다.

3. 實驗實의 基本條件

實驗室의 形態는 實驗方法과 目的에 따라 多樣하게 設計할 수가 있다. 風洞에서 擴大部, 整

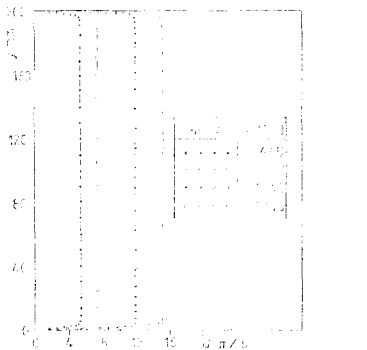


그림 3 實驗室內의 速度分布

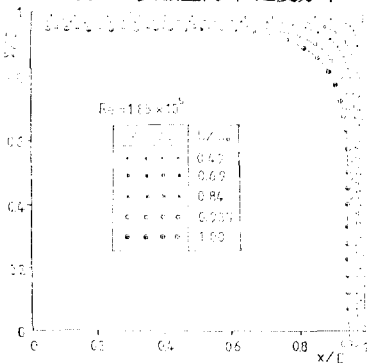


그림 4 實驗室內의 同一速度場

流室, 收縮部等을 거쳐 實驗室에 연결이 되도록 하는 것은 管内 亂流 流動現象(實際 速度分布線圖가 拋物線임)을 없애고, 均一分布流動으로 바꾸어 주기 위한 것이다.

그러므로, 收縮部의 出口의 斷面의 形狀과 面積이 同一하게 設計되어야 한다. 이렇게 함으로서 實驗室의 全橫斷面을 流速이 同一한 速度場(velocity zone)으로 할 수 있으며 이 速度場은 주어진 實驗室 斷面에서 最大로 넓게 얻을수록 좋다. 그림 3은 斷面積이 200(mm)×200(mm)인 實驗室內에 分布되는 速度線圖를 實測하여 圖示한 例이며 또, 그림 4는 橫斷面으로 測定 圖示한 速度線圖이다. 그림 4는 層面으로 부터 極히 가까운 거리(아주 얇은 境界層)를 제외한 全斷面에 $u/u_{max}=1$ 의 값으로 均一分布 流動現象을 보여주고 있다.

그림 3~4와 같은 流動條件이 구비되어야 우리가 願하는 目的의 實驗을 수행할 수 있다⁽⁶⁾.

4. 多目的 用途의 實例

4.1. 管(Duct)內의 流動 및 境界層實驗

實驗室을 風洞의 出口에 附着하는 경우는 그림 5에서 보는 바와 같이 管内의 流動實驗을 簡單하게 실시할 수가 있다. 물론 實驗室 자체가 充分히 길지 않고 또 實驗室 前方에서 空氣의 流動을 均一分布 加速시켰기 때문에 管内의 充分히 發達된 亂流流動(fully developed turbu-

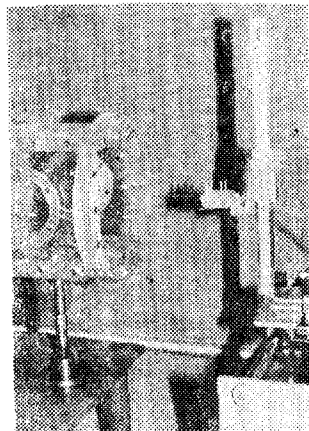


그림 5 風洞出口에 附着한 實驗室

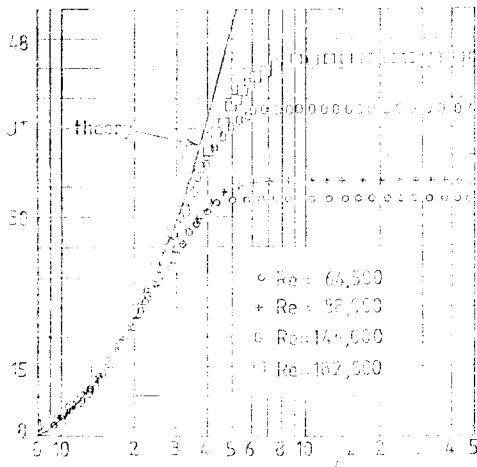


그림 6 $u^+=y^+$ 圖示한 實驗室內의 速度分布

lent flow)을 測定 考察할 수는 없지만, 그림 5와 같이 四角斷面의 實驗室의 경우에는 管理의 境界層 流動에 對한 實驗을 할 수 있다. 그림 6은 斷面이 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 인 實驗室에서 測定한 境界層內의 流動을 $y^+=u^+$ 로서 圖示한 것이다⁽⁶⁾. 本 實驗室에서의 流動分布曲線은 均一分布流動으로서 그림 3과 같은 結果를 얻을 수 있다.

4.2. 오리피스 噴射(Orifice Jet)實驗

實驗室內의 流動은 均一分布流動되고 있으므로 그림 7과 같은 오리피스 自由噴射實驗을 간단히 실시할 수 있다. 그림 7은 4.4절에서 설명한 펌프 제트 實驗을 겸용하기 위하여 製作한 오리피스 噴射 實驗 키트(kit)로서 약간 복잡하게 되어 있으나 실제로는 簡單하게 설계 製作하여 使用하면 된다.

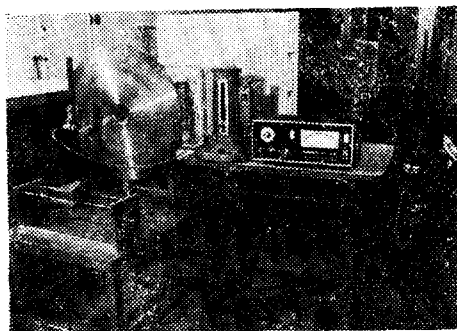


그림 7 오리피스 噴射 實驗裝置

4.3. 노즐(Nozzle)噴射 實驗

노즐의 윤곽곡선은 式(1)이나 (2) 또는 그외의 理論式으로서 계산하여 實驗室과 實驗條件에 맞게 그림 8과 같이 設計 製作하여 使用할 수가 있다. 그림 9는 노즐킷틀을 使用하여 실제 實驗하여 얻은 測定值를 無次元化하여 圖示한 것이다.

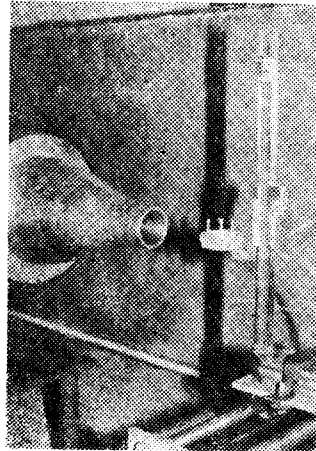


그림 8 노즐噴射 實驗裝置

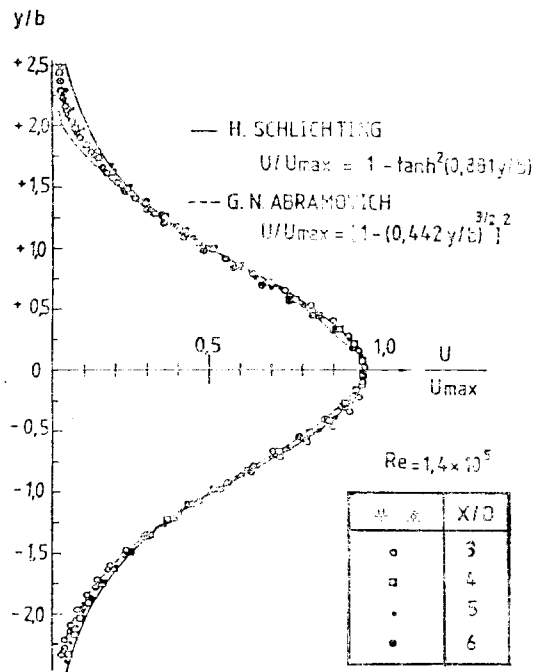


그림 9 自由噴射의 速度分布(원형노즐)

4.4. 밸브 제트實驗

4.2절에서 설명한 오리피스 실험키트를 밸브 시트(valve seat)형상으로製作하고 실제 밸브 형태를 그림 10과 같이 제작 설치하면 內燃機關의 실린더내의 吸入밸브 주위에 噴射되는 空氣流動을 實驗적으로 考察할 수가 있다. 여기에 대한 研究는 보다 전문적인 분야이기는 하나 이미 그 研究結果의 一部分이 發表 게재 된 바 있다⁽¹⁾.

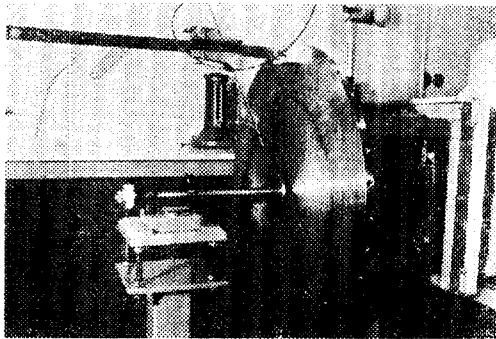


그림 10 밸브제트 實驗裝置

4.5. 衝突噴射 實驗

이 衝突噴射에 對한 實驗的 研究는 岡本哲史와 그의 일행이 두개의 노즐을 使用하여 90°로 噴流를 衝突시켜 그 流動現象을 考察한 바 있다⁽²⁾. 여기서는 한쪽 노즐의 噴射速度를 一定하게 하여 主流로 하였으며 다른 노즐의 噴射는 速度를 變化시켜 가며 主流에 90°로 衝突시켰다. 그러나 本 實驗裝置에서는 經濟的인 문제를 고려하여 그림 11과 같이 한개의 風洞에서 두 噴射流를 얻을 수 있도록 두개의 노즐을 하나의 키트로서 設計 製作하여 實驗室에 附着하여 實驗할 수 있도록 하였다. 그림 11에 나타나 있는 衝突實驗 노즐은 兩側의 入口나 出口가 同一하게 設計되었고 또 均一分布流動되는 實驗室에 附着하여 使用할 수 있게 하였으므로 兩노즐의 噴流는 等速을 유지하게 되나, 어느 한쪽 노즐의 入口 가까운 곳에 담파(damper)를 부착하거나 또는 空氣를 流出시킬 수 있도록 하면 서로 다른 速度의 噴流衝突 實驗도 가능하게 된다.

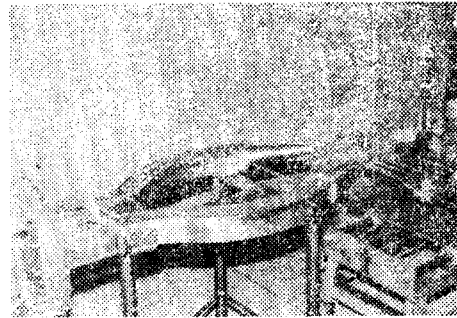


그림 11 衝突噴射(cross jet)實驗裝置(교차가 45°)

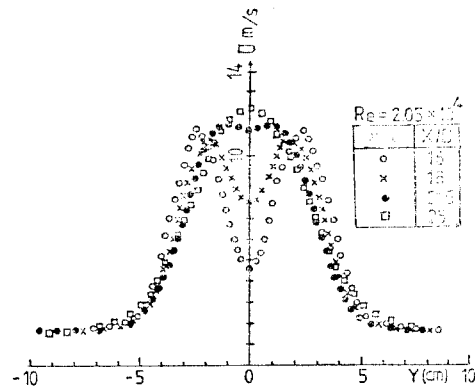


그림 12 衝突噴射의 速度分布線圖

그림 12는 이 實驗에서 얻는 한 結果를 例示한 것이다⁽²⁾.

5. 結 論

本稿에서는 어느 심오한 學術的인 研究 結果를 제시하기 보다는 實地적으로 國內의 研究機關이나 大學校의 實驗室에서 必要로 하고, 보다 經濟的인 方法으로 多角的인 實驗과 研究를 할 수 있는 空氣力學 分野의 實驗裝置(亞音速風洞)를 소개한 程度이다.

4.1절에서 부터 4.5절까지 서술한 結果들은 하나의 亞音速風洞을 完全 國產製作하여 그性能을 實驗 檢討하였고 몇개의 實驗키트를 設計 製作하여 實驗한 例를 제시한 것이다. 이 外에 願하는 實驗에 따라 간단한 키트만의 設計 製作으로 研究가 가능하며 간단한 기초 실험에서 부터 전문적인 연구에 까지 使用가 可能함을 알 수

