

正四角 기둥주위의 空氣흐름 특성에 관한 研究

李 康柱*, 金 成天**

Characteristics of the Air Flow around Square Prism

Kang Ju Lee, Seong cheon Kim

Abstract

Experimental investigation on the characteristics of the air flow around a square prism located in a uniform flow with various angles of attack was carried out. Experimental results were obtained for the angle of attack from 0° to 45° and for Reynolds No. from 2.6×10^4 to 12.8×10^4 .

Separation and reattachment was occurred on the forward face (face AB). Reattachment phenomenon was not developed in the range of attack angle lower 13°. But, for the range, 13°~35°, the reattachment developed and its position was moved forward the angle of attack increases.

Pressure distributions on the reattachment face has a maximum at the reattachment point and a minimum at the separation point. Pressure on two back faces are nearly symmetric in spite of the changes of the angle of attack and are influenced by the turbulence in rearward flow field.

NOMENCLATURE

C_D : Drag coefficient	P_o : Static pressure in the free stream
C_L : Lift Coefficient	P : Local mean pressure
C_p : Pressure Coefficient	P_s : Static pressure Measured by Five-hole Pitot tube

* 인하공업전문대학 기계과교수

** 인하공업전문대학 정밀기계과교수

C_{pf} : Flow directional component of C_p on forward faces of specimen
 C_{pb} : Flow directional component of C_p on backward faces of specimen
 $C_{p\gamma}$: Positive component of C_p normal to flow direction
 $C_{p\ell}$: Negative component of C_p normal to flow direction
 D : Width of specimen
 f : Vortex shedding frequency
 L : Projected width of specimen on the plane normal to the incoming flow

Re : Reynolds number
 S : Strouhl number
 S_D : Strouhl number defined by D
 S_L : Strouhl number defined by L
 U : Velocity of the fluid in the direction of stream
 U_0 : Free stream velocity
 α : Angle of attack
 ϕ : Yaw angle of stre
 ρ : Density of the fluid
 ν : Kinematic viscosity of the field

1. 序 論

剝離를 隨伴하는 流動現象은 流動場내에 突起物이나 흠등의 障物이 存在할 때; 또는 固體壁위에 발달한 境界層이 下流의 높은 壓力圈에 밀려 流線이 表面에서 離脫됨으로써 발생되고, 이로 말미암아 壁面의 壓力變動과 함께 速度變動에너지가 큰 剝離層이 형성되며, 경우에 따라서는 규모가 큰 再循環領域으로 발전하여 物質傳達 및 運動量의 交換이 매우 활발하게 이루어지게 된다.¹⁾

이러한 剝離를 隨伴하는 渦流나 再循環流動은 自然界에서나 地面上의 構造物 주위의 흐름에서 찾아 볼 수 있을 뿐 아니라 工學分野에서도 흔히 直面하게 되는 問題²⁾ 들로서 流體工學者의 큰 관심의 對象이 되고 있다. 工學的 側面에서 보면 剝離를 隨伴하는 亂流流動의 問題는 流體機械의 翼列내의 흐름, 遠心圧縮機의 回轉車 내의 흐름, 燃燒室內의 流體의 流動 및 큰 迎角의 翼素, 段붙이 流路, 熱交換器, 넓은 角을 가진 디퓨저, 그리고 급격한 斷面積 變化를 隨伴하는 流路에서의 흐름 등의 研究에서 활발히 논의되고 있다.

Cermack³⁾ 은 빌딩의 壁面上에 과도한 壓力變動이 일어남을 밝힌바 있다. 많은사람들이 角기둥 주위의 흐름에 대하여 研究한 바 있으며 Vickery⁴⁾ 는 迎角의 函數로서 揚力과 抗力を

測定하고, 또 靜的壓力과 變動壓力을 測定한 바 있다.

Parkinson⁵⁾ 은 迎角이 $13^\circ \sim 14^\circ$ 以上の 범위에서 角기둥 面上에 再附着이 일어난다고 주장한 바 있다. 또한 Igarash⁶⁾ 는 正四角 기둥 주위의 흐름에 대하여 많은 研究를 수행하였으며, 그는 迎角에 따라서 기둥 주위의 流動場을 다음과 같이 分類한 바 있다.

- (i) $0^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$: 完全剝離 對稱型
- (ii) $5^\circ < \alpha \leq 13^\circ$: 完全剝離 非對稱型
- (iii) $13^\circ \sim 15^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$: 再附着型
- (iv) $35^\circ < \alpha \leq 45^\circ$: 쇄기型

以上에서 본 바와 같이 剝離 및 再附着에 의한 再循環領域의 生成은 많은 例를 볼 수 있으며 그에 대한 研究는 많이 이루어 졌으나 角기둥 주위의 흐름과 관련된 研究는 적으며 迎角이 있는 경우의 壁面上的의 흐름과 變動壓力에 對한 研究는 별로 찾아보기 힘들다.

Atsuh Okajima⁷⁾ 는 흐름속에 잠긴 四角柱 주위의 Strouhal 數를 측정함으로써 近接後流의 특성을 밝혔다. 그에 의하면 레이놀즈數 $Re = 70 \sim 2 \times 10^4$ 의 범위에서 Strouhal 數는 四角柱의 幅과 높이의 比에 따라 변하며 그 比가 2~3일때 流動形態의 變化가 생겨 Strouhal 數의 不連續性을 가져온다는 것이다. 이러한 Okajima의 研究는 Bluff body의 형태가 渦의 生成과 排出에 큰 영향을 준다는 것을 시사한 것으로서 주목된다.

本實驗에 있어서는 레이놀즈數 $Re = 2.6 \times 10^4 \sim 12.8 \times 10^4$ 의 범위에서 迎角을 $\alpha = 0^\circ \sim 45^\circ$ 사이에서 변화하여 四角柱 주위의 壓力分布, 揚力係數와 抗力係數를 구하고 四角柱 後流에서 발생하는 渦의 發生頻度を 알기 위하여 Strouhal 數를 구하였으며 아울러 可視化하여 撮影하였다.

2. 實驗裝置 및 計測

2-1. 風 洞

本實驗에 사용된 風洞은 開回路의 吸入型이며, 流路의 斷面이 直四角形인 亞音速 風洞으로서 全長은 6,000 mm 이다. 試驗區間은 斷面이 $300 \times 400 \text{ mm}^2$, 길이는 1,000 mm로서 투명 아크릴板으로 製作되었다.

細部裝置는 Fig 1에 표시한 바와 같다. 風洞의 nozle 斷面收縮比는 4:1이고, 이 nozle의 外部曲線은 가로면을 기준으로 Tomas의 二次元收縮 nozle의 最適設計法에 따라 二重圓弧 接線法으로 결정한 다음 가로면과 세로면의 形狀比가 nozle 전체를 통해서 일정하게 되도록 하였다.

作動流體인 空氣는 風洞을 통해 多翼送風機로 吸入되며 最大風速은 30 m/sec 이다. 送風機는 最大回轉數가 1,800 r.p.m 이고 所要 驅動力이 5.5 kw로서 無段變速裝置를 사용하여 出口速度를 조정할 수 있다. 吸入 과정에서의 진동을 줄이며 均일한 亂流 流動의 形成을 돕기 위해서 風洞의 入口와 nozle 收縮部 사이에 5個의 grid를 설치하였다.

四角流路를 통과한 空氣는 收縮部를 거쳐 二次元 流動에 접근하면서 試驗部를 흐르게 되고 出口 duct와 送風機를 통해서 밖으로 放出된다.

實驗에 앞서 試驗部의 上流에서 熱線風速計의 probe로 亂流強度를 測定한 결과 $0.14 \sim 0.23$ 였으며, 대체로 均등한 흐름이 形成된 것을 확인할 수 있었다.

可視化에 사용한 煙風洞의 試驗部는 가로 280 mm, 세로 180 mm, 全長이 1,200 mm의 비교적 소

형인 것으로서 吸入式으로 되어 있다. 試驗部의 上流에 설치한 容器로부터 流動 파라핀을 일정한 速度로 떨어뜨려 Smoke를 發生시켜 總 55個의 nozle를 통하여 煙系를 導出하고 四角柱 주위를 흐르게 함으로써 流線을 可視化할 수 있다. 이 風洞에 부착한 Blower의 驅動力은 1/4 HP이다.

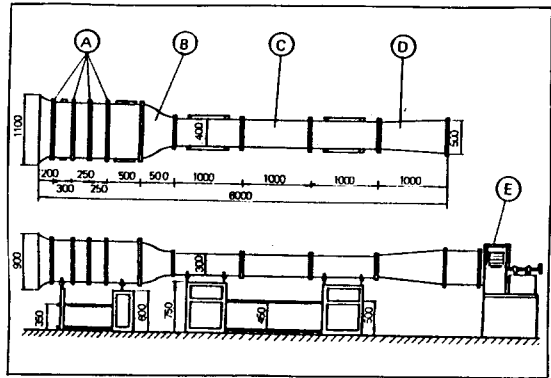


Fig. 1 Schematic diagram of 2-D rectangular wind tunnel
(A:Silencer B:Contraction nozzle C:Test section
D:Diffuser E:Blower)

2-2. 式驗片

壓力測定用 試驗片은 Fig. 2에 圖示되어 있는 바와같이 가로 80 mm, 세로 80 mm, 全長 290 mm의 四角柱로서 市販用 베이크라이트板을 사용하여 表面粗度の 영향을 무시할 수 있도록 연마하여 四面중 二面に 20個의 靜壓測定用 구멍을 뚫었다.

靜壓孔은 測定孔 相互間의 간섭을 피하기 위하여 흐름의 방향에 대하여 15° 경사를 주어 지름 1 mm의 구멍을 뚫고, 구멍이 없는 면의 測定은 구멍이 뚫린 면을 反時計 방향으로 180° 회전시켜 計測에 임하였다. 試驗片 裏面에는 스텐레스鋼管을 심어 비닐管과 연결하였다.

총 20個의 비닐管을 Scanning box의 裏面 나사탭에 끼워 넣고 실리콘接着劑로 附着시켰다.

試驗片은 試驗部 先端으로부터 450 mm인 곳의 中央部에 垂直으로 설치하였고, 試驗片의 中心軸을 회전시켜 迎角을 조절 하였다. 그리고 試驗片의 회전각을 정확히 조절할 수 있도록 角度器를 부착하였다.

可視화에 사용한 試驗片은 斷面이 $300 \times 300 \text{ mm}^2$, 길이가 40 mm 의 것이다.

Fig. 3은 試驗部에 試驗片을 설치한 상태와 회전방향을 보여 주고 있다.

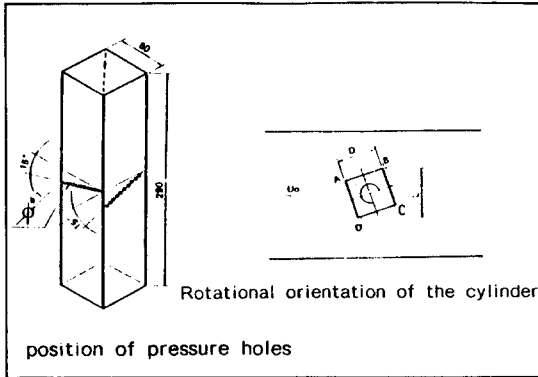


Fig. 2 Configuration of specimen

2-3. 測定裝置

試驗片의 表面 壓力測定은 壓力測定用 各 導管을 Scanning box를 통하여 Micro-manometer 와 연결하였으며, 測定單位는 $\text{mm H}_2\text{O}$ 로서 소숫점 이하 두 자리까지 測定하였으며 Fig. 4는 測定裝置의 寫眞이다. 5孔 피토휰에 의한 速度測定은 피토휰의 出口를 Scanning box 를 통하여 Micro-manometer 와 연결하였다.

Micro-manometer 의 測定誤差는 $\pm 0.001 \text{ mm H}_2\text{O}$ 이다.

Vortex shedding frequency 를 測定하기 위하여 速度變化 Spectrum를 測定하였는데, 사용한 測定裝備로서는 KANOMAX社 製品 熱線風速計 7221 를 사용하였다. 測定 Probe 의 熱線은 $0.02 \text{ mm } \phi$ 의 텅스텐線이며, 熱線의 過熱比로 1.5 로 加熱하여 사용하였다.

Vortex Shedding frequency 의 分析에는 B & K의 High Resolution Signal Analyzer Type 2033 을 熱線風速計와 연결하여 사용하였으며 Fig. 5는 測定裝置의 寫眞이다.

可視化의 攝影에는 NIKON製 FM Camera 를 사용하였으며 Film 은 KODAK ASA 400 을 사용하였다.

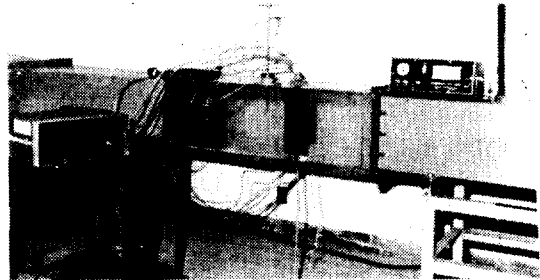


Fig. 4 Photos of the test section, velocity and pressure measuring apparatus

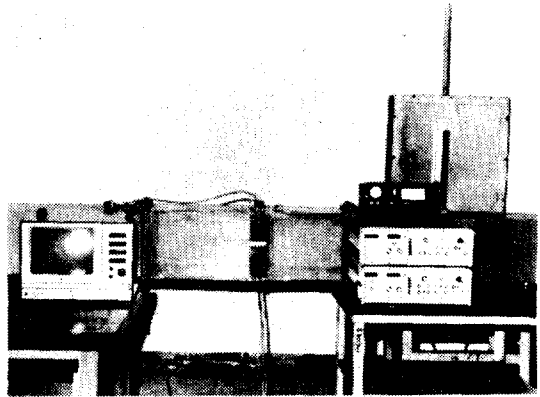


Fig. 5 Photos of FFT analyzer type 2033

3. 計 測

3-1. 레이놀즈數

自由 흐름의 速度는 試驗片 前方 1 m 인 곳의 斷面中心에서의 速度로 하였다.

이 곳에 피토휰을 삽입하여 動壓에 해당하는 水頭를 Manometer 로 測定하고 다음식에 의하여 速度를 계산하였다.

$$Re = U_0 D / \nu_0 = 611,736.81 (\Delta H)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 ΔH 는 Manometer 로부터 읽은 水頭差이고 動粘性係數 ν_0 는 $16.5 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{sec})$, 代表길이로는 試驗片의 幅 80 mm 를 사용하였다.

3-2. 壓力係數

試驗片 面上의 壓力測定이 $5 \text{ m/sec} \sim 25 \text{ m/sec}$

sec의 5 가지 경우에 대하여 測定되었으며 壓力係數 C_p 는 다음과 같이 定義하였다.

$$\therefore C_p = (P - P_0) / \frac{1}{2} \rho_a \cdot U_0^2$$

여기서 P 는 試驗片 上의 靜壓, P_0 는 試驗部 上流의 靜壓, U_0 는 自由흐름의 速度이다.

3-3. 抗力係數와揚力係數

抗力係數 C_D 는 위에서 얻은 壓力係數에 의하여 다음 식으로 결정된다.

$$C_D = \int (C_{pf'} - C_{pb'}) dA \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $C_{pf'}$ 는 前面 壓力의 흐름 방향 成分에 의한 壓力係數이고, $C_{pb'}$ 는 後面 壓力의 흐름 방향 成分에 의한 壓力係數이다.

揚力係數는 抗力係數와 비슷한 방법에 의하여 얻어질 수 있고 다음 식으로 定義된다.

$$\therefore C_L = \int (C_{pr'} - C_{pl'}) dA \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $C_{pr'}$ 는 우측면 壓力의 흐름에 수직한 방향 成分에 의한 壓力係數이고 $C_{pl'}$ 는 좌측면 壓力의 흐름에 수직한 방향 成分에 의한 壓力係數이다.

3-4. Strouhal 數

流動場내에 熱線風速計를 설치한 후 熱線風速計로부터 나온 出力을 周波數 解析器에 入力시켜 Vortex shedding frequency 를 구하고 다음의 定義에 의하여 Strouhal 數를 구하였다.

$$S_D = f \cdot D / U_0 \dots\dots\dots (4)$$

$$S_L = f \cdot L / U_0$$

여기서 f 는 Vortex shedding frequency 이고, L 은 흐름에 수직인면에 투영된 試片의 幅이다.

3-5. 速度 벡터의 測定

速度場 測定에는 5 個의 구멍이 뚫려있는 球

形의 head 를 흐름방향으로 향하게 하여 測定되는 壓力의 상호관계로부터 速度成分을 얻어낼 수 있는 5 孔 피토파를 사용하였다.

測定時 速度벡터의 방향 ϕ 를 결정하기 위하여 Micro-manometer 에 지시된 壓力 P_4 와 P_5 의 값이 같게 될 때까지 水平面上에서 tube 의 head 를 회전시켜 $P_5 - P_4 = 0$ 이 될때 $P_1, P_2, P_3, P_4 (=P_5)$ 의 값을 Micro-manometer 에서 읽는다. 여기서 壓力係數는 다음과 같이 定義한다.

$$C_{p_{2\phi}} = P_2 - P_4 / \frac{1}{2} \rho \cdot U_0^2 \dots\dots\dots (5)$$

또한 速度 U 는 다음식에 의해서 계산할 수 있다.

$$U = \sqrt{P_2 - P_4 / C_{p_{2\phi}} \cdot \frac{1}{2} \rho} \dots\dots\dots (6)$$

3-6. 可視化

可視化 撮影에 있어서는 煙系의 線이 擴散되지 않고 잘 나타나는 速度를 감안하여 風速 2 m/sec 를 試驗速度로 택하였다.

可視化에 알맞는 煙系의 농도는 煙系를 직접 확인하면서 Smoke 조절밸브로서 조절하였다.

試驗部の 중앙에 설치한 四角柱의 迎角은 0°, 15°, 30°, 45°로 바꾸어 가면서 後流의 상태가 어느정도 定常狀態가 된 것을 확인하고 撮影하였으며 撮影時間은 1/15 sec 로 잡았다.

Fig. 6 은 撮影에 사용한 風洞의 寫眞이다.



Fig. 6 Photos of smoke tunnel

4. 實驗結果 및 檢討

4-1. 壓力分布

Fig. 7~9는 레이놀즈數 $Re = 2.6 \times 10^4 \sim 10.2 \times 10^4$ 의 범위에서 迎角 α 를 $0^\circ \sim 40^\circ$ 사이에서 5° 간격으로 변화시켰을 경우의 4 면상의 壓力分布를 나타낸 그림이다.

흐름에 대하여 DA面은 前面, AB, CD面은 側面, BC面은 後面이 된다. 우선 迎角 α 의 변화에 따른 각 면상의 흐름의 천이과정을 정성적으로 검토해 보면 다음과 같이 설명할 수 있다.

迎角 $\alpha = 0^\circ$ 에서 DA面 상의 흐름은 流體가 DA의 중앙에서 分岐하여 D와 A로 향하는 分岐流가 형성되지만 그 흐름 자체는 平板에 연하여 형성되는 層流내지는 亂流境界層으로 대표되는 剪斷流動이 된다.

그러나 迎角 α 가 증가함에 따라 分岐點은 차츰 A點에 접근하며 實驗的 觀측에 의하면 $\alpha \geq 40^\circ$ 에서는 다분히 Wedge flow의 특성을 띠게 된다.

CD面과 BC面의 경우, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 의 범위에서는 언제나 剝離가 일어나는 後流의 영향권 내에 있게 된다.

迎角 $\alpha = 0^\circ$ 의 경우 AB面과 CD面은 對稱의 위치에 있으며 완전한 剝離의 영향권 내에 있게 한다.

迎角 α 가 증가함에 따라 AB面은 흐름과 對向하는 위치에 오게 되고 剝離와 再附着點이 A B面상에 나타나게 된다.

剝離와 再附着點이 AB面상에 나타나면 그사이에는 완전한 剝離로 인한 再循環領域이 형성된다는 것을 예측할 수 있다. 이상의 定性的으로 고찰한 四角柱 주위의 흐름의 특성과 관련하여 壓力分布에 대한 測定 결과에 대하여 고찰해 본다.

Fig. 7-9는 4개 면상의 壓力分布를 壓力係數의 項으로 나타낸 그림이다.

DA面의 경우를 보면 $\alpha = 0^\circ$ 에서는 對稱에 가까운 分布를 보이나 迎角 α 의 증가에 따라

A쪽의 壓力는 증가하며 D쪽은 오히려 감소하

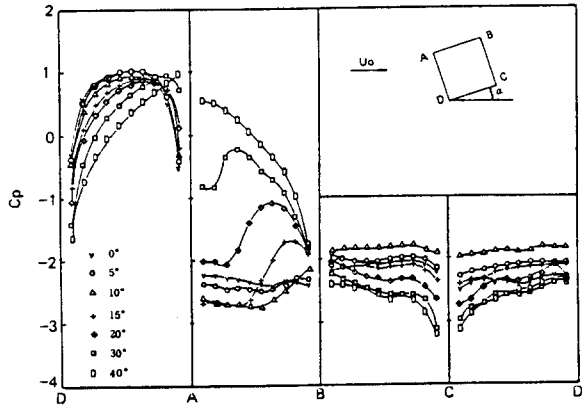


Fig. 7. Pressure distribution ($Re=2.6 \times 10^4$)

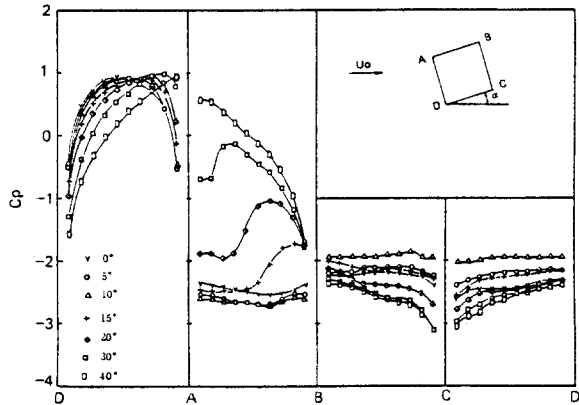


Fig. 8. Pressure distribution ($Re=5.1 \times 10^4$)

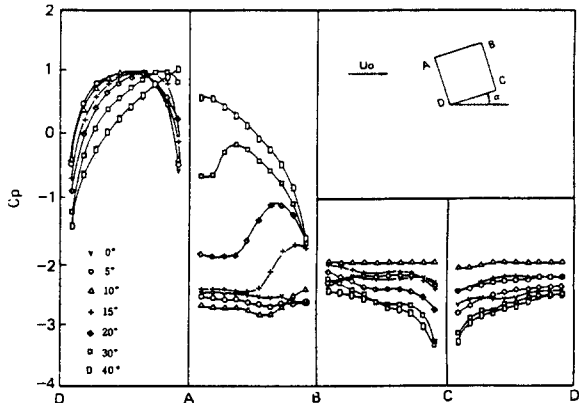


Fig. 9. Pressure distribution ($Re=10.2 \times 10^4$)

는 경향을 보인다. 특히 $\alpha = 40^\circ$ 의 경우에는 D에서 A로 향하여 점차적인 壓力의 증가경향을 보이며 A點에서의 壓力이 最大가 된다. 그리고 $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ 의 경우 D點 부근의 壓力이 負의 壓力圈에 속해 있을 뿐 아니라 平面에서의 壓力差가 매우 큰 것을 알 수 있다. $\alpha = 40^\circ$ 에서 D點에서의 壓力이 負의 값으로서 最小인데 반하여 A點에서는 어느 경우보다도 높은 壓力을 나타낸 것은 wedge flow의 성향이 강하게 나타나기 때문이라 할 수 있다.

剝離와 再附着이 일어나는 AB面에서의 양상을 보면 迎角 α 의 변화에 따른 壓力分布의 변화가 매우 특징적으로 나타나 있음을 볼 수 있다. $\alpha \leq 15^\circ$ 의 작은 迎角의 영역에서는 A點에서 剝離와 再附着이 AB의 中間에서 일어난다.

한편 背面 BC와 下面 CD에서는 언제나 剝離領域에 놓여 있게 되기 때문에 壓力分布는 비교적 평탄하며 背壓係數는 $C_{pb} = -2 \sim -3.2$ 의 범위에 속해 있다.

BC와 CD面에서의 壓力分布는 迎角이 작을수록 상승하는 경향이 있으나 最高의 壓力圈은 $\alpha = 10^\circ$ 에서 형성되고 있음을 볼 수 있다. $\alpha = 10^\circ$ 를 지나면서 AB面상에서 剝離와 再附着이 일어난다.

Fig. 10~11는 45° 의 경우에 있어 壓力分布를 레이놀즈數에 따라 나타낸 그림이다.

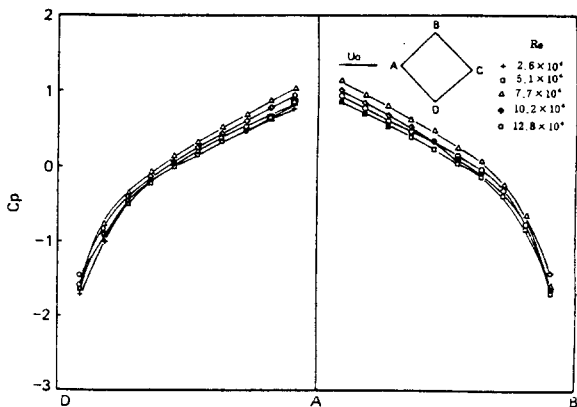


Fig. 10 Pressure distribution ($\alpha=45^\circ$)

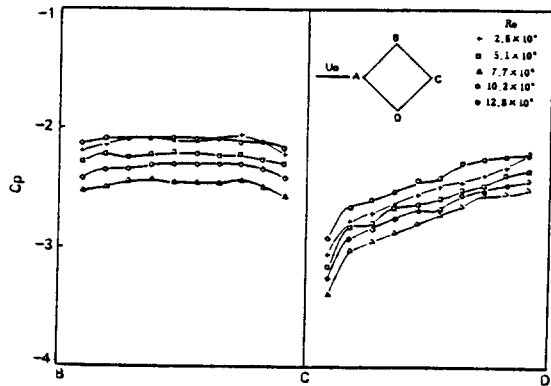


Fig. 11. Pressure distribution ($\alpha=45^\circ$)

4-2. 抗力係數와 揚力係數

Fig. 12~13는 壓力分布로부터 구한 抗力係數와 揚力係數를 나타낸 그림이다.

抗力이 最小가 되는 迎角이 $\alpha = 13^\circ \sim 14^\circ$ 인데 이 角度에서 揚力은 最大가 되고 있다. 즉 抗力은 迎角 α 의 증가와 더불어 감소하였다가 $\alpha = 13^\circ \sim 14^\circ$ 근방에서 다시 增加하여 $\alpha = 45^\circ$ 에 이르기까지 增加 추세가 이루어진다. 揚力도 역시 $\alpha = 13^\circ \sim 14^\circ$ 부근에서 抗力의 경우와 비슷한 경향을 띠고 負의 경사에서 正의 경사로 바뀌고 있다. $\alpha = 13^\circ \sim 14^\circ$ 근방에서 抗力이 最小가 되고 揚力이 最大로 나타난 것은 四角柱 주위의 흐름과 밀접한 관계가 있음은 물론이다.

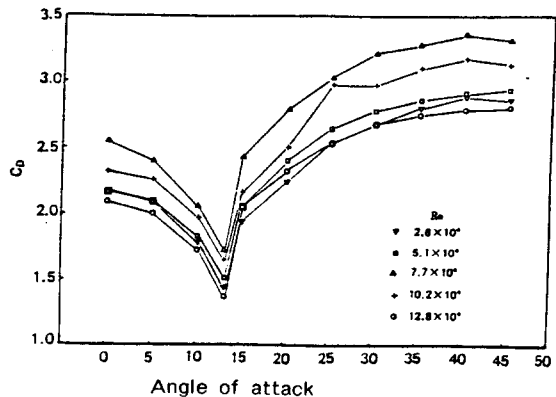


Fig. 12. Drag coefficient in terms of the attack angle

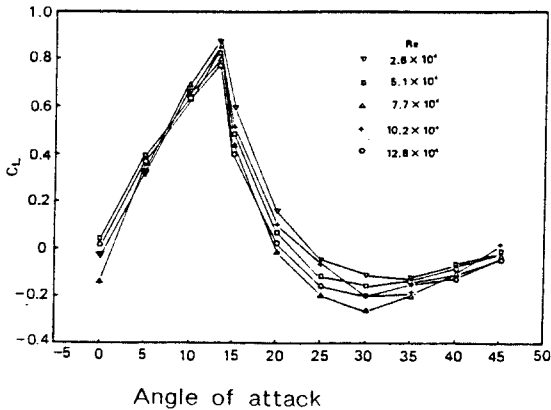


Fig. 13. Lift coefficient in terms of the attack angle

이 角度에서 AB 面上에서의 剝離와 再附着이 정착되고 剝離點과 再附着點 사이의 再循環領域의 길이도 最大가 된다는 것과 관련시켜 생각해 보면 流體力學的 해석이 가능해진다.

그림에서 보아 알 수 있는 바와 같이 AB 面상의 壓力의 變化가 큰 반면 나머지 3 個面上的 壓力의 變化는 그리 크지 않다. 따라서 四角柱에 대한 抗力과 揚力의 變化는 AB 面上的 壓力의 變化에 따라 지배된다는 것을 알 수 있다. 그러나 迎角 α 가 작을 경우에는 AB 面上에 작용하는 壓力의 흐름 방향의 分力은 작고 흐름과 직각 방향의 分力은 크기 때문에 抗力이 미치는 효과는 작은 반면 揚力이 미치는 효과를 클 것으로 생각된다. 종합적으로 볼때 $\alpha = 13^\circ \sim 14^\circ$ 에서 抗力이 가장 작은 값으로 나타낸 것은 BC 面과 CD 面の 영향이 특히 BC 面的 영향이 크게 작용하였기 때문인 것으로 보인다.

4-3. Strouhal 數

Fig. 14는 迎角 α 의 變化에 따라 레이놀즈數 $Re = 2.6 \times 10^4, 5.1 \times 10^4, 7.5 \times 10^4$ 의 세가지 경우에 대하여 S_D 와 S_L 의 變化를 조사하였다.

S_D 와 S_L 의 兩者中 어느 것이 변화를 보다 특징적으로 나타내는가를 검토해 보기 위해서이다.

어느 경우에 있어서나 迎角 α 가 增加함에 따

라 S 는 增加하였다가 $\alpha = 13^\circ$ 근방에서 最大 값을 보이고 있다.

迎角 13° 인 경우는 AB 面に 剝離와 再附着이 확실히 정착이 되는 경우이고 또 抗力은 最小이며 揚力은 最大가 되는 경우이다. 즉 이와 같은 상황 ($\alpha = 13^\circ$)에서는 형성되는 渦의 스케일도 크고 활발할 뿐만 아니라 渦의 發生頻도가 가장 높다는 것을 의미한다.

S_D 는 레이놀즈數 $Re = 7.7 \times 10^4$ 의 경우에 있어서는 最高點으로부터 迎角 α 에 따라 점차 감소하는 추세를 보이거나 $Re = 2.6 \times 10^4, 5.1 \times 10^4$ 의 경우에 있어서는 거의 변하지 않는 것을 볼 수 있다.

S_L 의 경우에 있어서도 비슷한 경향을 나타내고 있으나 S_D 에 비하여 $\alpha = 15^\circ$ 이상의 角度에서 전반적으로 감소하는 경향이 있다.

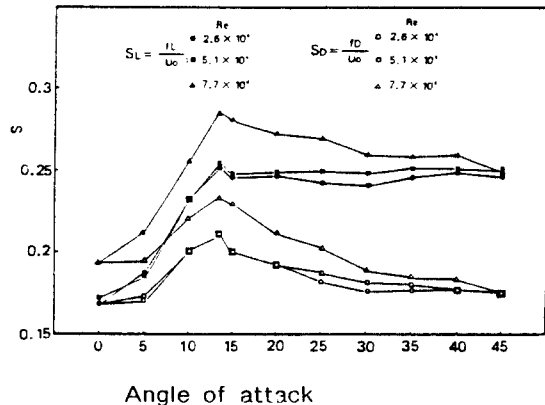


Fig. 14. Strouhal number in terms of the attack angle

4-4. 흐름의 可視化와 後流의 速度分布

Fig. 15 ~ 18은 흐름의 可視化 寫眞이다. 迎角 $\alpha = 0^\circ$ 의 경우를 보면 A와 D에서 완전 剝離하여 前面(DA面)을 제외한 3 面的 剝離剪斷層에 들게된 것을 알 수 있으며 근접 後流部에서는 소용돌이가 형성되고 있음을 엿볼 수 있다. $\alpha = 15^\circ$ 에서는 停滯點이 A點에 가까와지고 넓은 剝離領域이 형성되며 後流部에서는 보다 넓고 활발한 渦가 형성되고 있음을 엿볼 수 있다.

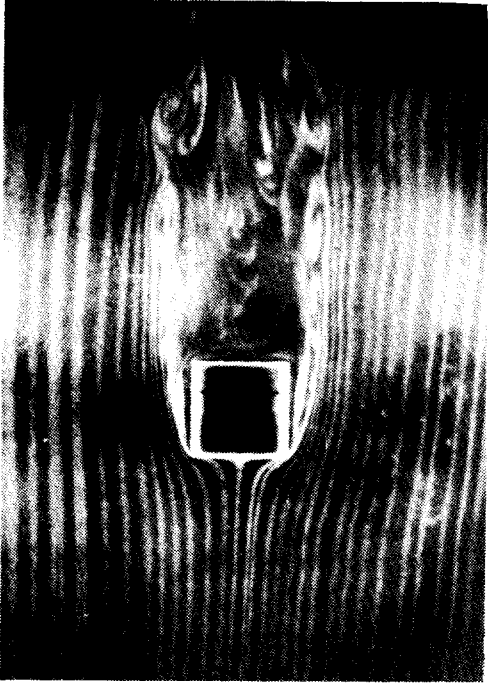


Fig. 15. Flow visualization of wake flow by smoke wire ($\alpha=0^\circ$)

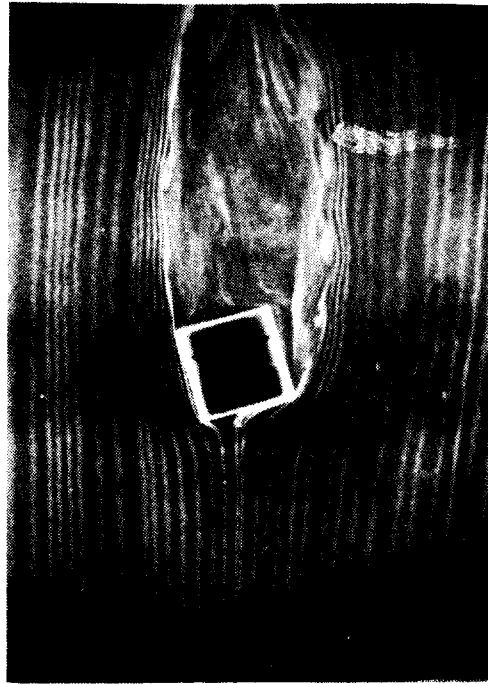


Fig. 16. Flow visualization of wake flow by smoke wire ($\alpha=15^\circ$)

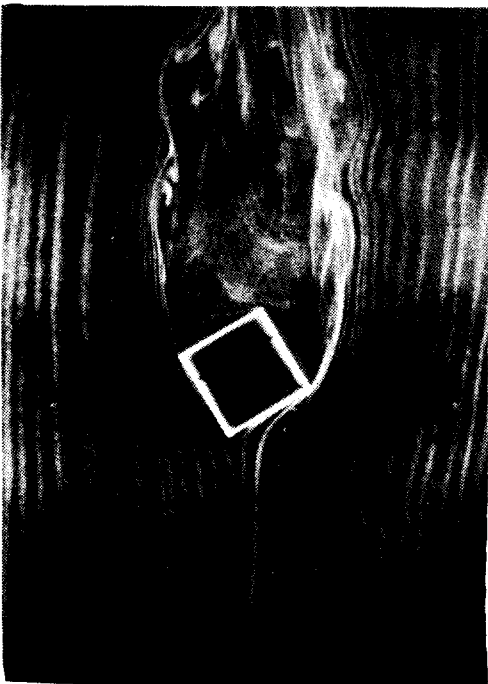


Fig. 17. Flow visualization of wake flow by smoke wire ($\alpha=30^\circ$)

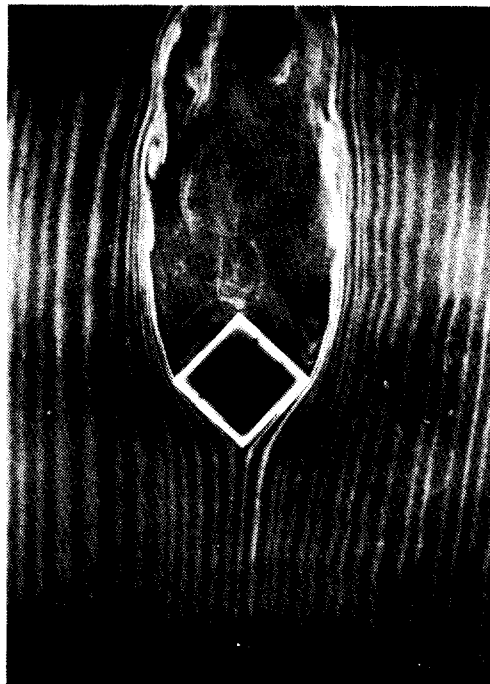


Fig. 18. Flow visualization of wake flow by smoke wire ($\alpha=45^\circ$)

$\alpha = 15^\circ$ 에서는 後流部의 渦는 확산하여 그 범위를 넓히고 있음을 볼 수 있는데 상세한 판별을 하기가 곤란하다. $\alpha = 45^\circ$ 에서는 전형적

인 Wedge flow의 형태를 볼 수 있다.

四角柱 後流의 速度벡터의 分布를 나타낸 Fig. 19 ~ 22를 보면 後流部의 흐름을 짐작할수 있다.

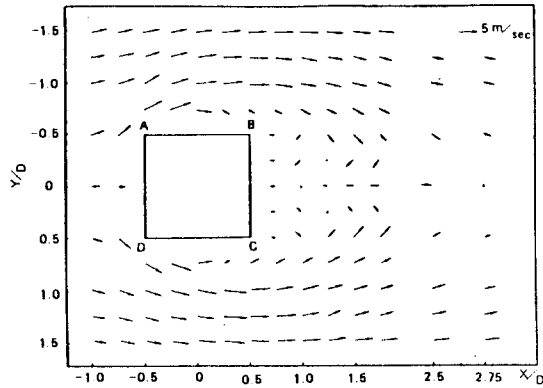


Fig. 19. Flow velocity vectors ($\alpha=0^\circ$) ($Re=2.6 \times 10^4$)

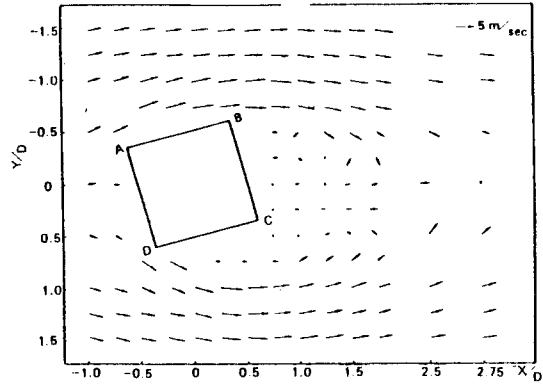


Fig. 20. Flow vectors ($\alpha=15^\circ$) ($Re=2.6 \times 10^4$)

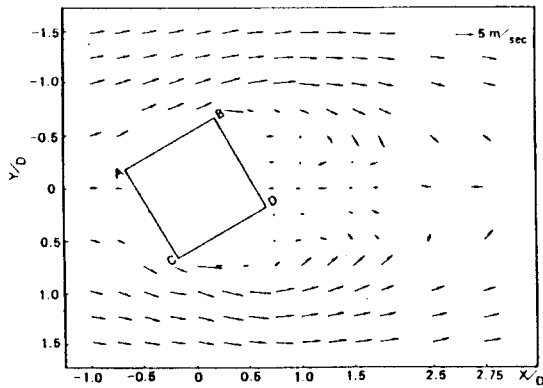


Fig. 21. Flow velocity vectors ($\alpha=30^\circ$) ($Re=2.6 \times 10^4$)

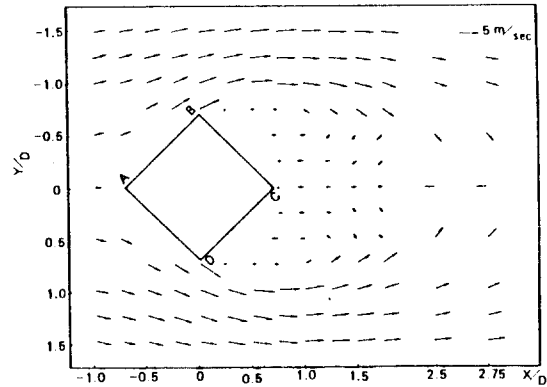


Fig. 22 Flow velocity vectors ($\alpha=45^\circ$) ($Re=2.6 \times 10^4$)

5. 結 論

1. 四角柱 주위의 流動은 迎角 α 의 變化에 따라 前面 DA의 兩端에서 剝離하는 完全剝離流와 側面 AB에서 剝離와 再附着이 일어나는 再附着流 및 剝離가 일어나지 않는 Wedge flow로 구분된다.

2. 前面 DA面의 壓力分布는 迎角 α 가 증가할 수록 D點의 壓力은 감소하고 A點의 壓

力은 증가하며 $\alpha = 45^\circ$ 에서 最小, 最大가 된다.

3. $\alpha = 13^\circ \sim 14^\circ$ 부근에서 側面 AB面상의 剝離와 再附着이 일어나고 剝離와 再附着點은 迎角 α 의 증가에 따라 A點에 접근한다.

4. $\alpha = 13^\circ$ 부근에서 抗力係數 C_D 는 最小가 되고 揚力係數 C_L 은 最大가 된다.

5. Strouhal數는 $\alpha = 13^\circ$ 前後에서 증가, 감소 추세를 보이며 13° 부근에서 最大가 된다.

References

1. W.H. Schofield and T.S. Keeble, "Measurements of Mean Velocity and Mass Exchange in a Separated Recirculating Flow," *Journal of Fluids Eng.*, Trans. ASME. Vol. 97, pp.334-341, 1975.
 2. P.K. Chang, "Separation of Flow", KAIST, 1979.9.
 3. J.E. Cermak, "Seperation-Induced Pressure Fluctuations on Building", *Proc. Wind Loads on Structures ; US-Japan Res. Seminar* pp.55-70, 1970.
 4. B.J. Vickery, "Fluctuating lift and drag on a long cylinder of square cross-section in a smooth and in a turbulent air stream", *Jour. Fluid Mech*, Vol.25, pp.481-494, 1966.
 5. G.V. Parkinson, "Aeroelastic Galloping in One Degree of Freedom", *Wind Effects on Buildings and structures*, NPL Symposium No.16, pp.582-609, 1965.
 6. T. Igarash, "Gharacteristics of the Flow around Square Prisms", *日本機械學會論文集 (B編)*, 50卷 449號, 昭59.
 7. Atsushi Okajima, "Strouhal number of rectangular cylinders", *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.123, pp.379-398, 1982.
-