

# 균일 흐름 중에 놓인 2차원 실린더 주위의 압력 측정에 관한 연구

이 경우\*, 손 경호\*\*

## Study on the Measurement of Pressures around a 2-Dimensional Circular Cylinder

by

Gyoung-Woo Lee\*, Kyoung-Ho Sohn\*\*

### 1. 서 언

균일 흐름 중에 놓인 물수체에 작용하는 동유체력의 측정은 많은 학자들에 의해 연구 대상이 되어 왔다. 자유표면 아래의 균일흐름에 놓인 물체에 작용하는 동유체력은 물체 표면에 작용하는 압력을 적분해서 구할 수 있으며, 압력 분포로부터 물체 주위 흐름의 특징을 파악할 수 있다[1].

본 연구에서는 회류수조를 이용하여 자유표면 아래의 균일 흐름 중에 놓인 물체 주위의 유동 해석의 일 예로, 2차원 실린더 주위의 압력을 측정하고 양력과 항력을 계산하였다. 항력 계산 결과는 기존 공표 자료인 풍동실험 자료[2]와 비교하였으며, 이를 토대로 계측 시스템의 유효성을 확인하였다.

### 2. 실험 장치 및 압력 측정

#### 2.1 회류수조

본 연구에서 이용한 회류수조는 길이 12.5m, 폭 2.2m, 최대높이 5.2m 인 2임펠러 방식의 수직순환형으로서, 관측부인 개구부는 길이 5m, 폭 1.8m, 수심 0.9m 이다.

-----  
\* 한국해양대학교 대학원 박사과정

\*\* 한국해양대학교

본 회류수조의 개략도를 Fig. 1에 나타낸다. 압력측정을 실시하기 직전의 측정 부에서의 수조의 폭, 깊이 방향의 유속분포를 조사, Fig. 3, Fig. 4에 나타낸다. 유속 측정에는 프로펠러식 유속계(propeller velocimeter)와 피토 관(pitot tube)을 이용하였으며, 측정부 중심(제파판(wave suppressing plate)으로부터 2.0m 후방 위치, 수심 400mm) 부근에서 유속의 편차는 대략  $\pm 2\%$  정도로 유속의 균일도는 양호한 편이라고는 볼 수 있다.

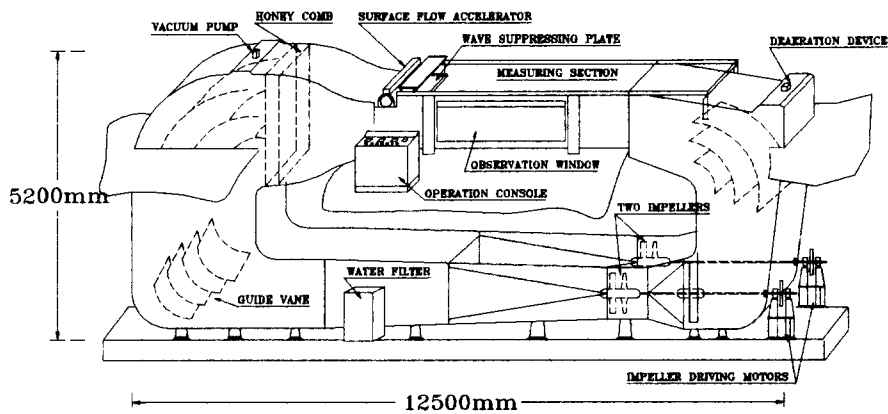


Fig. 1 Schematic diagram of circulating water channel

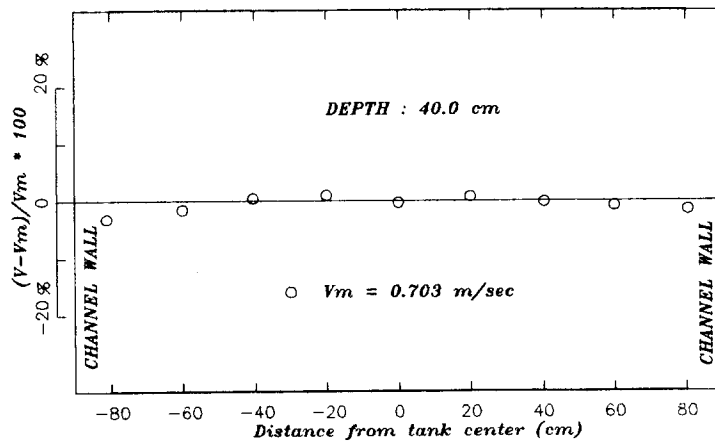


Fig. 2 Velocity distribution breadth-wise at working section ( $V_m$  : mean velocity)

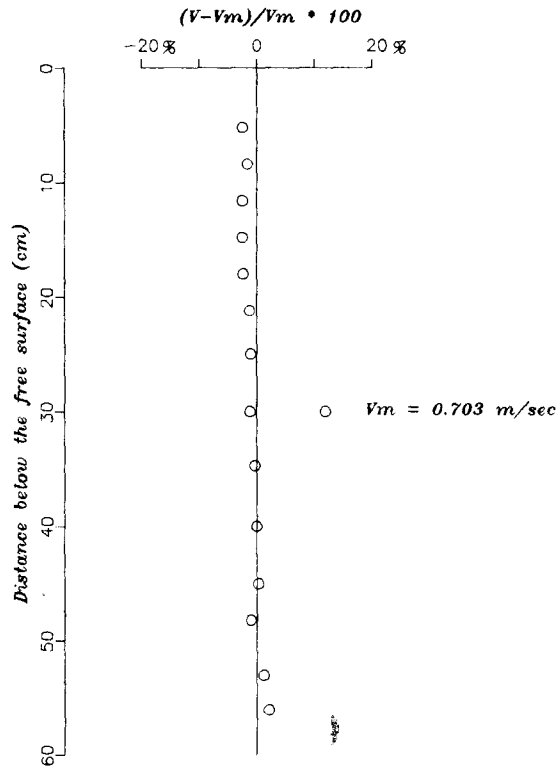


Fig. 3 Velocity distribution on the centerline of working section  
( $V_m$ : mean velocity)

## 2.2 측정장치 및 압력측정

### (1) 측정장치

본 실험에 사용된 실린더는 Fig.4와 같이 외경이 40 mm, 내경이 30 mm 길이 800 mm인 아크릴 재질로 만들어졌다. 실린더 중앙부에는 압력을 측정하기 위하여 직경 1 mm의 구멍을 20° 간격으로 10개를 뚫어, 압력 측정용 탭을 설치하고 비닐 튜브를 이용하여 마노메타에 연결, 압력을 측정하였다. 측정시 발생하는 진동을 최소화 하기 위한 구속장치로서는 유선형 스트럿(strut)을 수면에서 실린더 중심까지의 깊이에 위치하도록 양쪽에 설치하고 이 구속장치를 관측부 상면의 가이드에 크래프를 이용하여 고정 시켰다. 유선형 스트럿의 양 옆판에는 각도기를 부착하여 정확한 각도 조절 및 회전이 가능하도록 하였다. 또한 실린더 양 끝단에는 흐름의 교란을 막기 위하여 직경 200 mm의 유선형 원형단면의 아크릴을 제작, 설치하였다.

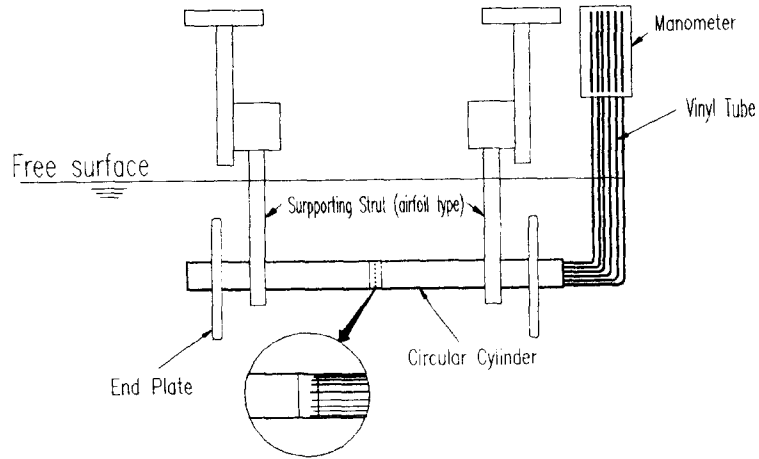


Fig. 4 Schetch for the experimental set-up

## (2) 압력측정

실린더를 Fig.4와 같이 회류수조의 자유표면으로부터 400 mm 아래에 수평방향으로 설치한 후 설정 유속(본 연구에서는 0.7 m/s)에서의 스트럿 주위에 부착된 각도기를 이용하여 10° 간격으로 회전시켜 실린더에 부착된 압력 탭으로부터 매 각도에서의 흐름 중의 압력수두와 각각의 위치에서의 정지상태 압력수두의 차이로부터 동압(dynamic pressure)  $P_d$ 를 식(1)과 같이 구한다.

$$P_d = \rho g(H - H_0) \quad (1)$$

여기서  $\rho$  : 밀도  
 $g$  : 중력가속도  
 $H$  : 흐름중의 압력수두  
 $H_0$ : 정지상태의 압력수두

매 각도에서의  $P_d$ 를 다음과 같이 유체밀도  $\rho$ , 유속  $V$ 로 무차원화하면 매 각도에서의 압력계수,  $C_p$ 를 구할 수 있다. 이들 압력측정 결과는 Fig.5와 Table.1에 나타내며, Fig.6은 실린더 상부, 하부의 압력계수 분포를 나타낸다.

$$C_p = \frac{P_d}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

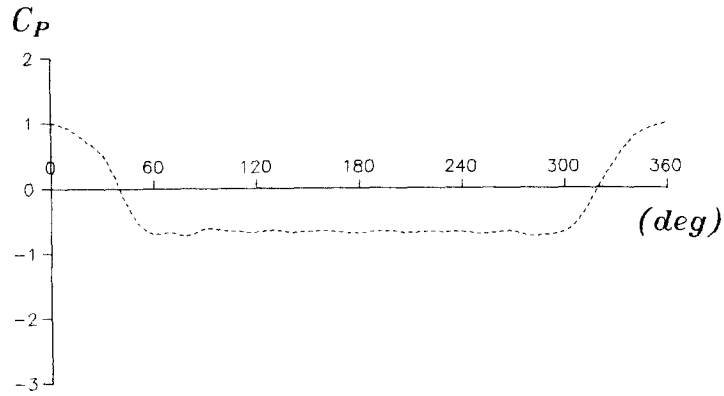


Fig.5 Pressure distribution on a circular cylinder

Table.1 Values of pressure coefficients around a circular cylinder

Degree	H (DYNAMIC, mm)	H <sub>0</sub> (STATIC, mm)	PRESSURE [Kg/mm <sup>2</sup> ]	C <sub>P</sub>
0	138.270	88.250	26.013	1.001
10	134.360	88.300	23.047	0.922
20	125.120	88.430	18.347	0.734
30	114.420	88.600	12.911	0.517
40	98.130	88.650	-0.280	-0.010
50	80.700	88.500	-12.901	-0.516
60	51.070	88.030	-17.482	-0.700
70	52.070	88.900	-16.917	-0.677
80	48.900	88.500	-18.302	-0.132
90	53.750	85.000	-15.827	-0.625
100	52.710	85.200	-16.247	-0.650
110	52.770	85.900	-16.587	-0.683
120	51.850	85.980	-17.087	-0.683
130	53.760	86.380	-16.312	-0.653
140	54.070	86.300	-17.117	-0.685
150	54.690	86.480	-16.997	-0.676
160	55.410	86.510	-16.952	-0.682
170	53.730	86.230	-17.252	-0.680
180	53.580	86.250	-17.337	-0.684
190	54.650	86.400	-16.877	-0.675
200	54.780	86.480	-16.862	-0.674
210	53.900	89.000	-17.542	-0.702
220	55.440	89.530	-17.047	-0.682
230	55.380	89.730	-17.177	-0.687
240	56.400	90.430	-17.017	-0.681
250	55.380	90.730	-17.677	-0.707
260	56.520	91.200	-17.342	-0.684
270	57.380	91.200	-16.912	-0.677
280	53.600	91.000	-18.702	-0.748
290	54.270	90.890	-18.212	-0.729
300	55.940	90.100	-17.082	-0.684
310	67.970	89.700	-10.886	-0.436
320	89.900	89.300	0.300	0.012
330	110.010	89.000	10.506	0.420
340	126.690	88.790	19.046	0.762
350	134.140	88.550	22.797	0.912
360	138.270	88.300	24.988	1.001

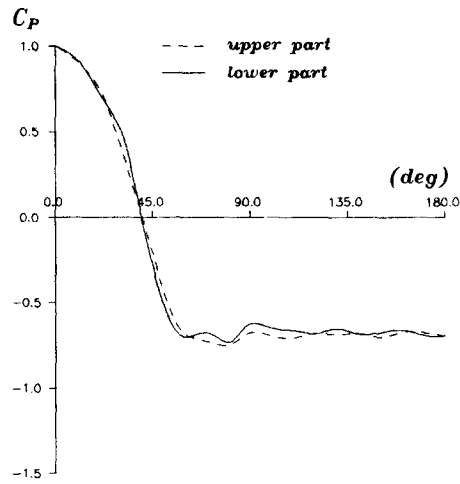


Fig.6 Comparison of pressure distribution on upper part and lower part of a circular cylinder

### 3. 양력 및 항력 계산

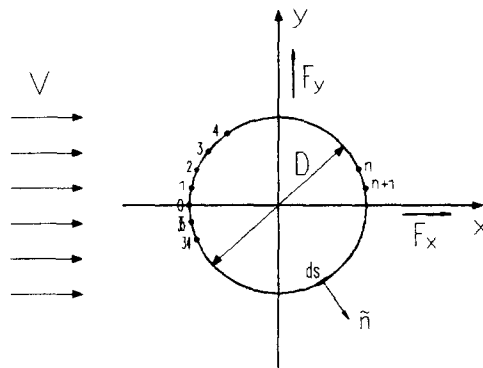


Fig. 7 Configuration of experimental model

Fig.7과 같이 균일흐름 중에 놓여 있는 실린더에 작용하는 2차원 동유체력은

$$\vec{F} = - \int P \tilde{n} ds \quad (3)$$

여기서  $\hat{n}$  : 선요소  $ds$ 에 세운 외향 단위 법선 벡터( $\hat{n} = (n_x, n_y)$ )

$\hat{F}$  : 동유체력( $\hat{F} = (F_x, F_y)$ )

로 표현 할 수 있다.  $x, y$ 축 방향의 동유체력을 각각  $F_x, F_y$ 라 하면

$$F_x = - \int P n_x ds, \quad F_y = - \int P n_y ds \quad (4)$$

로 표시할 수 있다.

한편,  $dx = n_y ds$ ,  $dy = -n_x ds$ 의 관계가 성립되므로  $10^\circ$  간격으로 측정된 실린더 주위의  $x, y$ 축 방향의 동유체력  $F_x, F_y$ 는 수치 적분식으로 식(5)와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} F_x &= \int P dy = \sum_{n=0}^{35} P_n \Delta y \\ F_y &= - \int P dx = \sum_{n=0}^{35} P_n \Delta x \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$\begin{aligned} P &= \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \\ \Delta x &= x_{n+1} - x_n \\ &= -\frac{1}{2} D \{ \cos 10(n+1) - \cos(10n) \} \\ \Delta y &= y_{n+1} - y_n \\ &= \frac{1}{2} D \{ \sin 10(n+1) - \sin(10n) \} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $D$ 는 실린더의 직경,  $P_n$ 는  $n$ 점에서의 동압력을 나타내며, 각 구간의 압력은 측정점의 평균 압력을 사용하였다. 식(6)에서 구한  $F_x, F_y$ 를 식(7)과 같이 무차원화하면 양력계수  $C_L$ 과 항력계수  $C_D$ 는 각각 0.980, 0.020 이었다.

$$C_L = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho V^2 D}, \quad C_D = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \rho V^2 D} \quad (7)$$

## 4. 결론

회류수조에서 균일흐름 중에 놓인 2차원 실린더 주위의 압력 측정과 양력 및 항력 계산에 관해서 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 실험시의 수온은 11.9도, 동점성 계수는  $1.238 \times 10^{-6}$ , Reynolds 수는  $2.27 \times 10^4$  로서 실린더 주위의 유동에 대한 천이구역의 시작 Reynolds 수로 알려진  $3 \times 10^5$  보다 작으므로 실험시 유체의 유동은 층류유동으로 볼 수 있다.
2. Fig.8에 나타나 있는 Schlichting[2]에 의한 결과로부터 본 실험시의 Reynolds 수에 해당되는 항력계수는 약 1.2로서 본 실험에서 구한 값이 약 18.3% 정도 작다. 이것은 주로 원주 후반부에서의 압력계수의 절대값이 감소한 것에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 물론 Schlichting의 자료는 풍동실험을 통해 얻어진 것으로, 본 실험결과와 절대적인 비교를 하기는 어려우나 풍동실험과 비교할 때 회류수조는 상대적으로 자유표면의 효과, 입사류의 높은 난류강도(turbulence intensity), 유동의 불균일성 등을 고려할 때 비교적 양호한 결과라고 사료된다.
3. 본 실험에서 박리점(seperation point)의 위치는 Fig.9와 같이 약  $60^\circ$  부근으로 Schlichting[2]과 Ogura[3]의 실험결과인 약  $70^\circ$  와 비교해서 조금 낮게 측정되었으나 유의한 차이는 없다.

이상으로 균일 흐름 중에 놓인 2차원 실린더 주위의 압력을 측정하여 양력 및 항력을 계산하고, 풍동실험 결과와 비교, 고찰하였다. 보다 더 정도(精度) 높은 실험 결과를 얻기 위해서는 마노메타에 연결관 속의 거품을 줄일 수 있도록 연결튜브의 직경 증가 및 여러가지 크기의 실린더 실험이 필요할 것 같다. 또한 앞에서 언급한 것과 같이 유체의 자유표면의 효과, 입사류의 높은 난류강도, 유동의 불균일성 등의 회류수조의 고유특성과 실험결과가 어떠한 관계가 있는가에 대한 보다 광범위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.



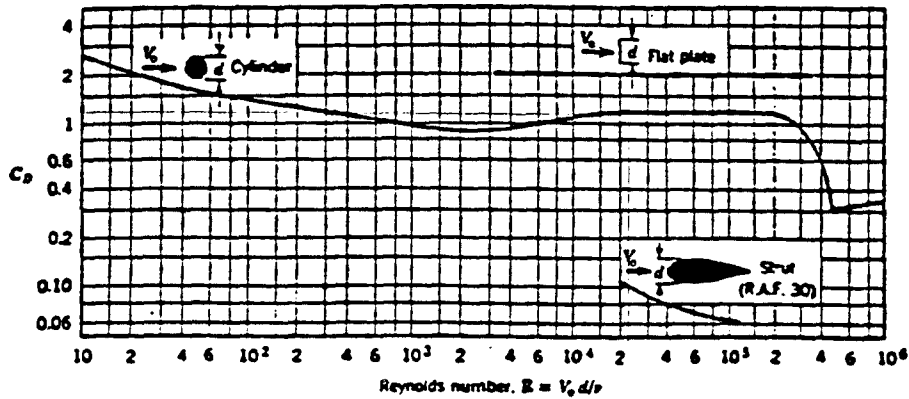


Fig. 8 Drag coefficients for circular cylinders, flat plates, and streamlined struts of infinite length

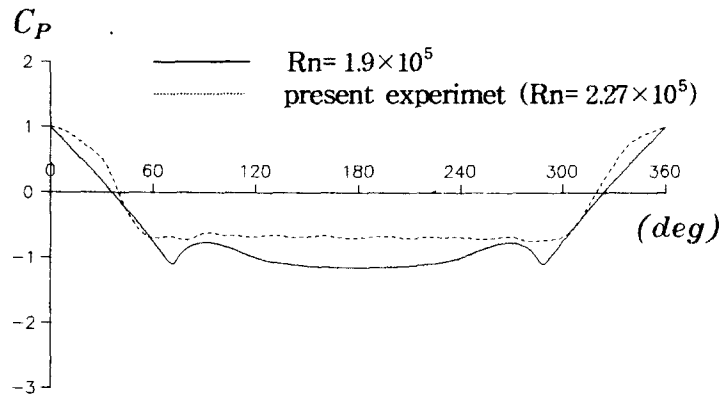


Fig. 9 Comparison of pressure distribution on a circular cylinder

## 참 고 문 헌

- [1] Miyata, H., et al., "Forces on a Circular Cylinder Advancing Steadily Beneath the Free-Surface", Ocean Eng., vol. 17.
- [2] Schlichting, H., "Boundary-Layer Theory, 7th Ed., McGraw-Hill Book Co., 1979.
- [3] Ogura, M., "回流水槽の性能", 回流水槽セミナー-回流水槽と実験技術と利用-回流水槽懇談會 pp.15-38, 1985.