

円管内の 管摩擦에 關한 基礎實驗

기호 설명

d	: 원관의 직경(mm)	Q	: 체적유량(m^3, sec)
γ	: 비중량(kg/m^3)	e	: 관벽의 거치름 평균높이(mm)
V	: 평균유속(m/sec)	e/d	: 상대조도
l	: 원관의 길이(m)	R	: 레이놀즈수(rd/v)
h_L	: 손실수두(m)	μ	: 점성계수($ks.sec/m^2$)
p_1-p_2	: 마찰압력손실(kg/m^2)	ρ	: 밀도($kg.sec^2/m^3$)
f	: 관마찰계수		

1. 序 論

유체의 흐름에 있어서의 특징중의 하나는 粘性에 의한 摩擦이며 이와 같은 마찰은 유체를 作動物質로 하는 모든 工學的인 문제에 있어서 에너지의 損失을 동반하는 非가역현상으로서 간주된다.

일반적으로 점성의 역할은 速度구배(velocity gradient)가 존재하는 곳에서의 전단응력(shearing stress)으로 나타내지며 뉴우톤유체에서는 속도구배에 直線的으로 비례하는 단순한 관계를 갖는다. 단, 이 경우의 比例常數는 유체의 종류에 따라 다르며 이 상수를 粘性係數(coefficient of viscosity)라 부른다 그러나 유체역학에서 고상적인 의미를 갖는 것은 實際의 配管 등에서 발생하는 摩擦損失이며, 이와 같은 마찰의 크기를 定量的으로 표시하기 위한 이론 및 실험식이 종래에 다수 제안되어 왔다. 이 중 層流에 있어서의 解析解인 Hagen-Poiseuille식 및 亂流에 있어서의 실험식인 Darcy-Weisbach식이 빈번히 인용된다. 본 실험에서는 이와 같은 管摩擦式에 있어서의 摩擦係數를 실제로 계측하여 기존의 실험결과와 비교, 검토함으로써 유체의 점성 및 수반하는 마찰손실에 관한 기초지식을 체계적으로 획득함을 기본목적으로 한다.

실험장치로서는 관마찰실험專用裝置를 이용하였으며 세종류의 매끄러운 직경을 갖는 円管 및 한종류의 거치름 관에 대하여 일정구간에 걸친 壓力降下 및 流速를 측정하여 관 마찰계수를 구하였다.

계측결과 매끄러운 관에 대하여서는 기존의 실험결과에 거의 일치하는 결과를 얻었으며 거치름 관에 대하여서는 定性的으로 일치하는 결과를 얻었다.

2. 本 論

2-1. 管摩擦 이론

内径 d 인 관은 원관内를, 비중량 γ 인 유체가 평균유속 V 로 흐를때, 관의 길이 l 에 대한 마찰압력손실을 $p_1 - p_2$ 라 하면, 損失水頭 h_L 은 다음과 같은 Darcy-Weisbach 식으로 표시된다.

$$h_L = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = f \frac{l V}{d 2g} \quad (2.1)$$

上式에서 f 를 관마찰계수라 하고, 이 계수는 레이놀즈수 및 管壁粗度(wall roughness)의 영향을 받는다.

層流 흐름에서의 수두손실은 원관내 流量 관계식인 $Q = (\pi d^4 \gamma h_L / 128 \mu l)$ 인 Hagen-Poiseuille 식과 식 (2.1) 로 부터

$$h_L = \frac{128 \mu l Q}{\pi d \gamma} = f \frac{l V}{d 2g} \quad (2.2)$$

의 관계가 성립한다. $Q = V(\pi d^2/4)$ 를 식 (2.2) 에 代入하고 정리하면

$$f = \frac{64}{\rho V d / \mu} = \frac{64}{R} \quad (2.3)$$

으로 된다.

亂流의 경우에는 관마찰계수를 구하는 실험식이 다음과 같이 주어진다.

Blasius 식

$$f = 0.316/R^{0.25}, \quad R = 3 \times 10^3 - 10^5 \quad (2.4)$$

Nikuradse 식

$$f^{-1/2} = -0.80 + 2.0 \log R f^{1/2}, \quad R = 5 \times 10^3 - 5 \times 10^6 \quad (2.5)$$

그림 1 은 上記의 관마찰계수의 실험결과이다. $Re = 2 \times 10^3$ 근방에서 층류로부터 난류로의 천이현상 (transition phenomena) 이 관찰된다. 그림 2 는 Nikuradse 가 행한 실험으로서, 均一한 모래알을 管壁에 빌라 人工的인 거칠기를 주어 측정 한 결과를 표시한 것이다.

2-2. 實驗裝置 및 實驗方法

실험장치의 概要를 그림 3 및 사진 1 에 보인다. 작동유체로서는 水道水를 사용하였으며 循環펌프를 사용하여 연속공급한다. 네종류의 試供管이 並列로 배치되어 있다. 관의 직경이 4.0, 6.5, 17.5mm 인 매끄러운 관과 17.5mm 인 거칠은 관을 사용하였으며 캘리퍼스로 計測한 조도(roughness) 는 0.85mm 이다. 일정구간에 걸친 (본 실험에서는 100cm) 압력강하水頭를 전용의 마노메타를 사용하여 측정하였다. 유속은 浮子式유량계를 채택하여 측정하였다. 관의 직경이 4.0mm 인 경우에는 유량이 적음으로써 채택된 부차식유량계로서는 測定이

불가능하였다. 이 경우에는 流出管의 일단에서 유출되는 수도수를 별도로 容器에 담아 流出시간과의 관계로부터 流速을 구하였다. 유속은 최대 7.0m/sec이며 압력강하수두는 최대 450mm Aq이다.

2-3. 實驗結果 및 考察

표 1-4 및 그림 4를 참조하여 실험결과를 정리하면 다음과 같이 정리된다.

1. 레이놀즈수가 2000이하의 層流領域에서의 실험결과는 이론식 $f=64/R$ 에 接近하며 특히 매끄러운 관에서는 보다 잘 一致하였다. 그러나 거치른 관에서는 구해진 데이터의 수가 작고 이론식과의 차이가 큰 결과를 얻고 있다. 따라서, 층류영역에서는 摩擦係數가 거치른의 종류에 영향을 받지 않는다는 이론식 및 既存의 실험결과와는 다른 特性을 보이고 있다. 이는 실험상의 問題點으로 인한 것으로 추측되며 次後에 보다 系統的인 檢討가 필요하다고 본다.
2. 레이놀즈수가 2000-3000의 전이영역을 지난 3000이상의 난류영역에서, 매끄러운 관의 경우에는 Re수의 증가에 따라 f 는 감소하여 기존의 실험결과와 일치하는 결과를 얻고 있다. 반면 거치른 관의 경우에는 Re수의 증가에 따라 f 도 증가하다가 감소하여 일정한 값을 유지한다. 교과서에 提示된 거치른관의 실험결과는 相對粗度가 0.0333까지의 경우이나 본 실험에서는 보다 큰 0.0486의 경우이다. 따라서 직접적인 비교가 불가능하나 전체적으로 큰 값이 얻어짐으로써 定性的으로는 一致함을 알 수 있다.
3. 이와 같은 基礎實驗을 통하여 유체의 粘性은 그 영향을 나타내는 마찰계수가 Re수에 따라 다르며 층류의 경우에는 Re수가 작을수록 마찰계수의 값이 급격히 증가하여 Stokes Flow와 같이 低Re수에서의 점성의 영향이 커다란 문제가 됨을 알 수 있으며 工學的으로 實用성이 큰 亂流 영역에서는 마찰계수의 값이 작아짐을 알 수 있다. 그러나 이 경우, 전체적인 摩擦損失에 의한 壓力降下는 속도의 제곱값에 比例함에 유의할 필요가 있다.

3. 結 論

유체의 粘性에 의한 摩擦의 영향을 알아보기 위하여 管摩擦裝置를 이용하여 基礎實驗을 행하였다. 그 결과 摩擦係數는 Re수에 따라 層流領域과 전이영역 그리고 亂流領域으로 분류되는 既存의 실험결과와 一致되는 결과를 얻었다.

따라서, 流體工學에서 취급하는 諸般流動現象에 있어서 速度구배의 존재는 摩擦에 의한 에너지의 損失을 초래하며 이에 관한 定量的인 計測 및 檢討는 配管을 필요로 하는 플랜트의 設計 등에 有用한 基礎知識을 제공할 것으로 判斷된다.

1. 參考文獻

1. 김춘식, 송강섭, "유체역학", 아성출판사, 1977.
2. J.K.Vernard, R.I.Street, "Elementary Fluid Mechanics 3th ed., John Wiley & Sons, Inc., 1976.

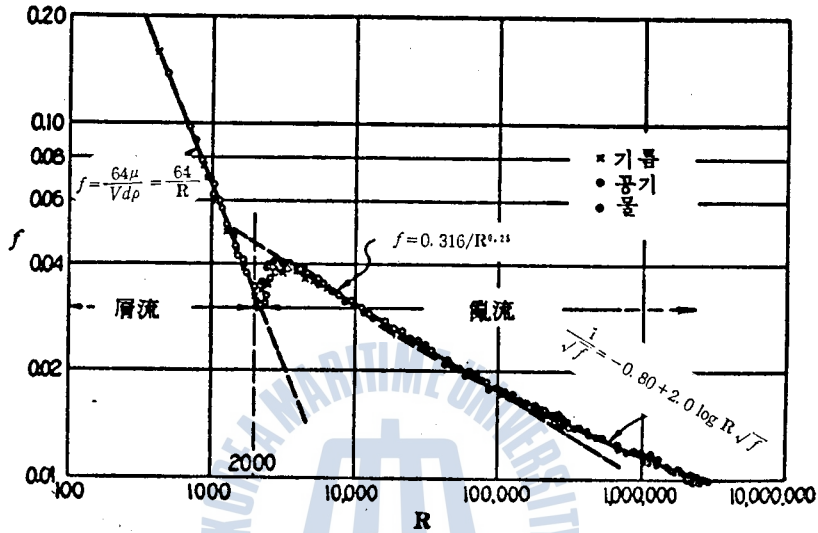


Fig.1 Friction Factor against Re number

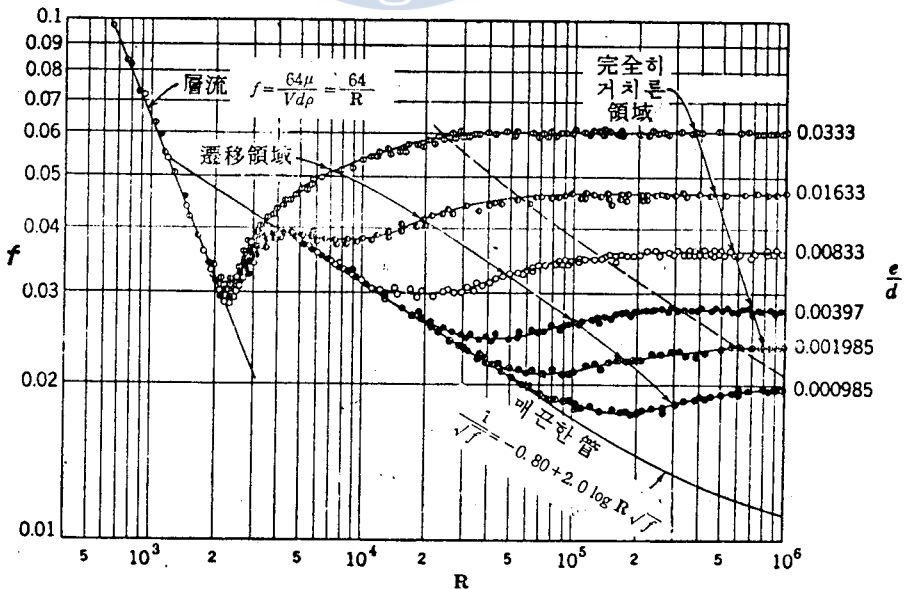
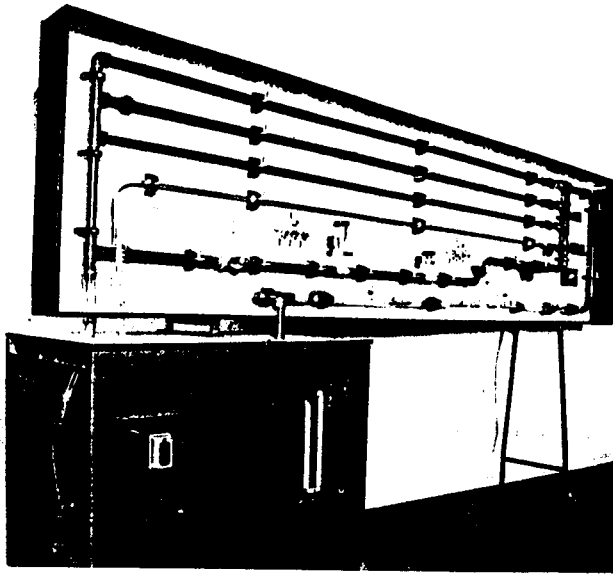


Fig.2 Friction Factor According to Wall Roughness



Photol Front View of Experimental Apparatus

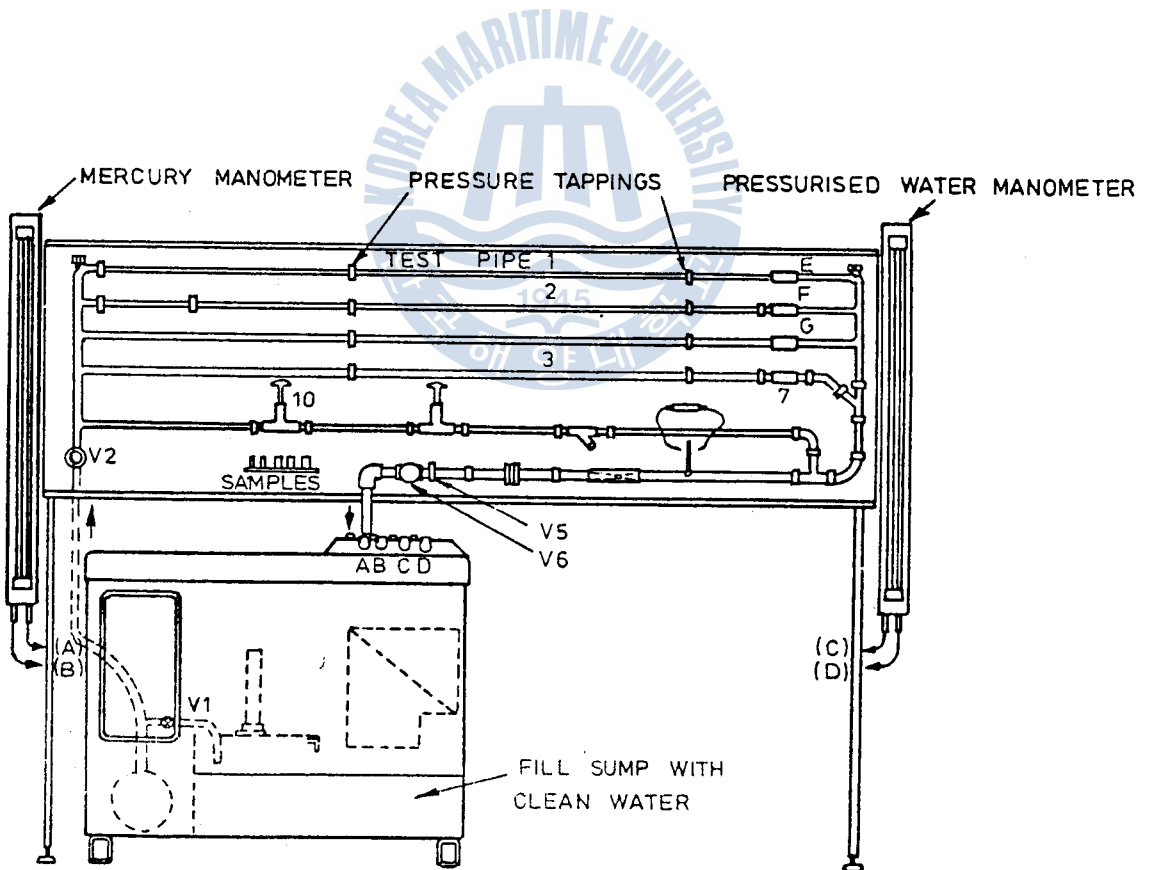


Fig.3 Experimental Arrangement

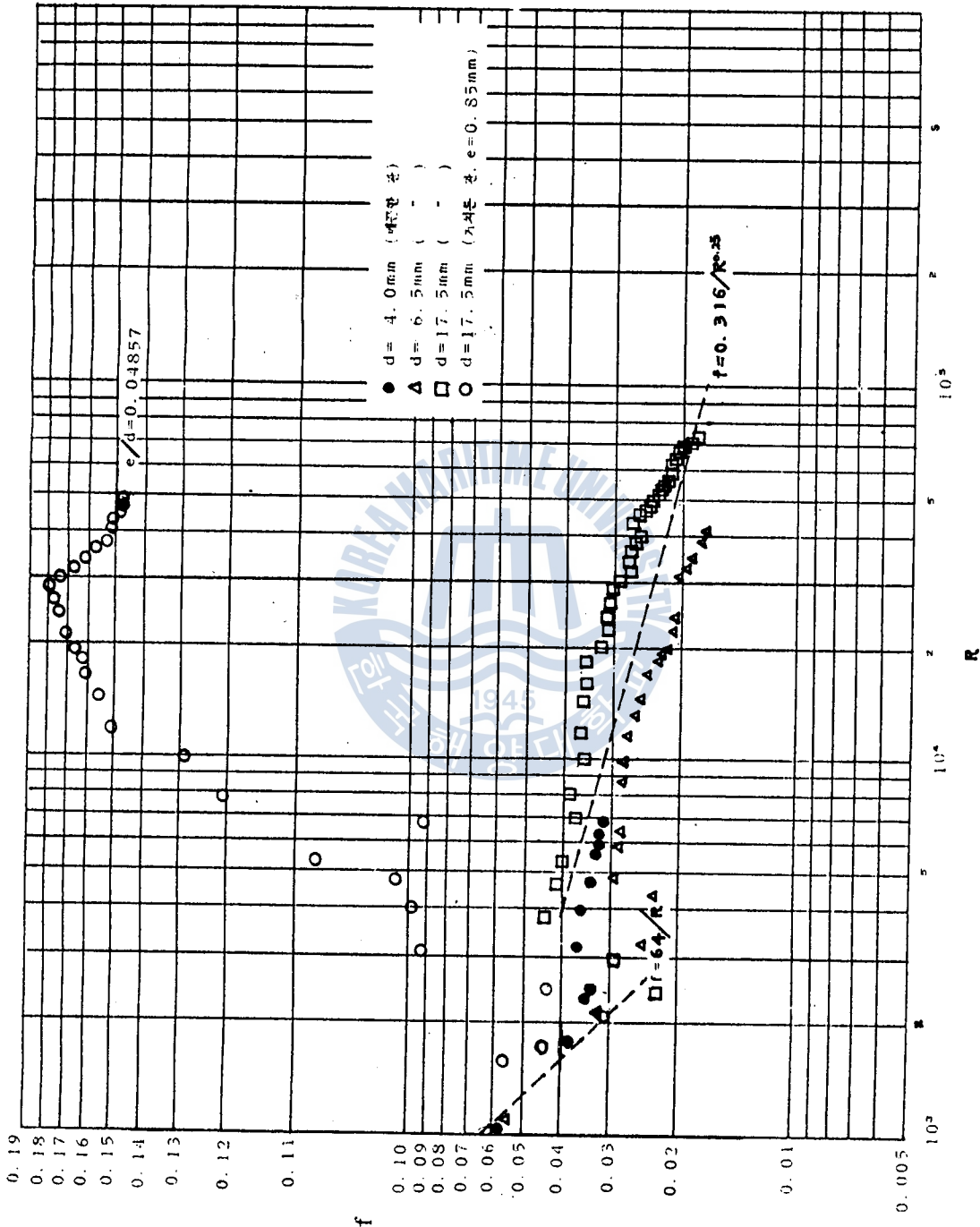


Fig.4 Experimental Results of Present Study



Table1 Data Sheet in Case of Dia.=17.5mm with Roughness

$$d=17.5\text{mm}(\text{거칠은 관}), e=0.85\text{mm}, \frac{e}{d} = 0.04857$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.000241\text{m}^2$$

$$f = 0.343 \frac{h_L}{V^2} \quad (\ell=1\text{m})$$

$$\nu_{20^\circ\text{C}} = 1.011 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Q (m ³ /hr)	V (m ² /s)	h (mm)	f	R	h _L (m)
0.08	0.09	0.1	0.0550	1.56 x 10 ³	0.0013
0.09	0.10	0.1	0.0446	1.73 x 10 ³	0.0013
0.10	0.12	0.1	0.0310	2.08 x 10 ³	0.0013
0.12	0.14	0.2	0.0438	2.42 x 10 ³	0.0025
0.16	0.18	0.7	0.0932	3.12 x 10 ³	0.0088
0.20	0.23	1.2	0.0979	3.98 x 10 ³	0.0151
0.23	0.27	1.7	0.1007	4.67 x 10 ³	0.0214
0.27	0.31	2.4	0.1078	5.37 x 10 ³	0.0302
0.35	0.40	3.4	0.0918	6.92 x 10 ³	0.0428
0.40	0.46	5.9	0.1204	7.96 x 10 ³	0.0743
0.50	0.58	10.4	0.1298	1.00 x 10 ⁴	0.1273
0.60	0.69	16.8	0.1525	1.19 x 10 ⁴	0.2117
0.70	0.81	23.8	0.1568	1.40 x 10 ⁴	0.2999
0.80	0.92	31.8	0.1624	1.59 x 10 ⁴	0.4007
0.90	1.04	41.0	0.1638	1.80 x 10 ⁴	0.5166
1.00	1.15	52.0	0.1699	1.99 x 10 ⁴	0.6552
1.10	1.27	64.0	0.1715	2.20 x 10 ⁴	0.8064
1.20	1.38	77.6	0.1761	2.39 x 10 ⁴	0.9778
1.30	1.50	92.7	0.1781	2.60 x 10 ⁴	1.1680

$d=17.5\text{mm}$ (거칠은 관), $e=0.85\text{mm}$, $\frac{e}{d} = 0.04857$
 $A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.000241\text{m}^2$
 $f=0.343 \frac{h_v}{V^2}$ ($l=1\text{m}$)
 $\nu_{20^\circ\text{C}} = 1.011 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

Q (m^3/hr)	V (m^2/s)	h (mm)	f	R	h_L (m)
1.40	1.61	107.9	0.1799	2.79×10^4	1.3595
1.50	1.73	120.0	0.1733	2.99×10^4	1.5120
1.60	1.84	131.7	0.1681	3.18×10^4	1.6594
1.70	1.96	143.9	0.1619	3.39×10^4	1.8131
1.80	2.07	157.0	0.1584	3.58×10^4	1.9782
1.90	2.19	171.2	0.1543	3.79×10^4	2.1571
2.00	2.31	186.4	0.1510	4.00×10^4	2.3486
2.10	2.42	205.0	0.1513	4.19×10^4	2.4830
2.20	2.54	222.9	0.1493	4.40×10^4	2.8085
2.30	2.65	241.9	0.1489	4.59×10^4	3.0479
2.40	2.77	264.4	0.1480	4.79×10^4	3.3314
2.47	2.85	279.0	0.1484	4.93×10^4	3.5154

Table2 Data Sheet in Case of Dia.=17.5 without Roughness

$d=17.5\text{mm}$ (매끄러운 관)
 $A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.000241\text{m}^2$
 $f = \frac{d}{\ell} \cdot \frac{2g}{v^2} h_L = 0.343 \frac{h_L}{v^2}$ ($\ell = 1\text{m}$)
 $\nu_{20^\circ\text{C}} = 1.011 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

Q (m^3/hr)	V (m^2/s)	h (mm)	f	R	h_L (m)
0.12	0.14	0.1	0.0228	2.42×10^3	0.0013
0.15	0.17	0.2	0.0297	2.94×10^3	0.0025
0.19	0.22	0.5	0.0446	3.81×10^3	0.0063
0.23	0.27	0.7	0.0414	4.67×10^3	0.0088
0.27	0.31	0.9	0.0403	5.37×10^3	0.0113
0.35	0.40	1.4	0.0377	6.92×10^3	0.0176
0.40	0.46	1.9	0.0387	7.96×10^3	0.0239
0.50	0.58	2.8	0.0360	1.00×10^4	0.0353
0.60	0.69	4.1	0.0372	1.19×10^4	0.0517
0.70	0.81	5.5	0.0362	1.40×10^4	0.0693
0.80	0.92	7.1	0.0363	1.59×10^4	0.0895
0.90	1.04	8.9	0.0355	1.80×10^4	0.1121
1.00	1.15	10.0	0.0327	1.99×10^4	0.1260
1.10	1.27	11.9	0.0319	2.20×10^4	0.1499
1.20	1.38	14.2	0.0322	2.39×10^4	0.1789
1.30	1.50	16.6	0.0319	2.60×10^4	0.2092
1.40	1.61	18.1	0.0302	2.79×10^4	0.2281
1.50	1.73	20.0	0.0289	2.99×10^4	0.2520
1.60	1.84	21.8	0.0278	3.18×10^4	0.2747

$d=17.5\text{mm}$ (매끄러운 관)

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.000241\text{m}^2$$

$$f = \frac{d}{\ell} \cdot \frac{2g}{v^2} h_L = 0.343 \frac{h_L}{v^2} \quad (\ell = 1\text{m})$$

$$\nu_{20^\circ\text{C}} = 1.011 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

Q (m^3/hr)	V (m^2/s)	h (mm)	f	R	h_L (m)
1.70	1.96	24.9	0.0280	3.39×10^4	0.3137
1.80	2.07	27.3	0.0275	3.58×10^4	0.3440
1.90	2.19	30.0	0.0270	3.79×10^4	0.3780
2.00	2.31	32.5	0.0263	4.00×10^4	0.4095
2.10	2.42	36.6	0.0270	4.19×10^4	0.4612
2.20	2.54	38.8	0.0260	4.40×10^4	0.4889
2.30	2.65	41.4	0.0255	4.59×10^4	0.5216
2.40	2.77	44.4	0.0250	4.79×10^4	0.5594
2.50	2.88	45.7	0.0238	4.99×10^4	0.5758
2.60	3.00	47.9	0.0230	5.19×10^4	0.6035
2.70	3.11	50.4	0.0225	5.38×10^4	0.6350
2.80	3.23	54.6	0.0226	5.59×10^4	0.6880
2.90	3.34	56.8	0.0220	5.78×10^4	0.7157
3.00	3.46	60.4	0.0218	5.99×10^4	0.7610
3.10	3.57	64.9	0.0220	6.18×10^4	0.8177
3.20	3.69	65.8	0.0209	6.39×10^4	0.8291
3.30	3.80	69.5	0.0208	6.58×10^4	0.8757
3.40	3.92	70.4	1.0198	6.79×10^4	0.8870
3.50	4.03	69.5	0.0185	6.98×10^4	0.8757
3.58	4.13	71.0	0.0180	7.15×10^4	0.8946

Tables Data Sheet in Case of Dia.=6.5mm without Roughness

d=6.5mm (배끄러운 관)
 $A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.000332 \text{ m}^2$
 $f = \frac{d}{\ell} \cdot \frac{2g}{v^2} h_L = 0.1274 \frac{h_L}{v^2} (\ell = 1\text{m})$
 $v_{20c} = 1.011 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

Q (m ³ /hr)	V (m ² /s)	h (mm)	f	R	h _L (m)
0.16	1.34	8.6	0.00769	8.62 x 10 ³	0.1084
0.18	1.51	11.9	0.00838	9.71 x 10 ³	0.1499
0.27	2.26	38.3	0.01204	1.45 x 10 ⁴	0.4826
0.30	2.51	54.0	0.01376	1.61 x 10 ⁴	0.6804
0.32	2.68	68.7	0.01535	1.72 x 10 ⁴	0.8656
0.35	2.93	99.1	0.01853	1.88 x 10 ⁴	1.2487
0.40	3.35	135.0	0.01931	2.15 x 10 ⁴	1.7010
0.50	4.18	205.0	0.01883	2.69 x 10 ⁴	2.5830
0.60	5.02	283.7	0.01807	3.23 x 10 ⁴	3.5746
0.70	5.86	379.6	0.01774	3.77 x 10 ⁴	4.7830
0.76	6.36	430.0	0.01730	4.09 x 10 ⁴	5.4936

Table4 Data Sheet in Case of Dia.=4.0mm without Roughness

d=4.0mm (매끄러운 관)

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.000126 \text{ m}^2$$

$$f = \frac{d}{\ell} \cdot \frac{2g}{v^2} h_L = \frac{0.004}{1} \cdot \frac{2 \times 9.8}{v^2} \quad h_L = 0.0784 \frac{h_L}{v^2}$$

$$v_{20c} = 1.011 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

Q (m ³ /hr)	V (m ² /s)	h (mm)	f	R	h _L (m)
0.02	0.44	8.7	0.0444	1.74 x 10 ³	0.1096
0.09	1.98	32.9	0.0083	7.83 x 10 ³	0.4145
0.11	2.43	53.0	0.0089	9.61 x 10 ³	0.6678
0.12	2.65	70.4	0.0099	1.05 x 10 ⁴	0.8870
0.13	2.87	81.1	0.0097	1.14 x 10 ⁴	1.0219
0.14	3.09	86.1	0.0089	1.22 x 10 ⁴	1.0849
0.16	3.53	94.6	0.0075	1.40 x 10 ⁴	1.1920

Table3 Data Sheet in Case of Dia.=6.5mm without Roughness

$d=6.5\text{mm}$ (매끄러운 관)

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.0000332\text{m}^2$$

$$f = \frac{d}{\ell} \cdot \frac{2g}{v^2} h_L = 0.1274 \frac{h_L}{v^2} (\ell = 1\text{m})$$

$$\nu_{20^\circ\text{C}} = 1.011 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

Q (m^3/hr)	V (m^2/s)	h (mm)	f	R	h_L (m)
0.16	1.34	8.6	0.00769	8.62×10^3	0.1084
0.18	1.51	11.9	0.00838	9.71×10^3	0.1499
0.27	2.26	38.3	0.01204	1.45×10^4	0.4826
0.30	2.51	54.0	0.01376	1.61×10^4	0.6804
0.32	2.68	68.7	0.01535	1.72×10^4	0.8656
0.35	2.93	99.1	0.01853	1.88×10^4	1.2487
0.40	3.35	135.0	0.01931	2.15×10^4	1.7010
0.50	4.18	205.0	0.01883	2.69×10^4	2.5830
0.60	5.02	283.7	0.01807	3.23×10^4	3.5746
0.70	5.86	379.6	0.01774	3.77×10^4	4.7830
0.76	6.36	430.0	0.01730	4.09×10^4	5.4936

Table4 Data Sheet in Case of Dia.=4.0mm without Roughness

$d=4.0\text{mm}$ (매끄러운 관)

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.0000126 \text{ m}^2$$

$$f = \frac{d}{\ell} \cdot \frac{2g}{v^2} h_L = \frac{0.004}{1} \cdot \frac{2 \times 9.8}{v^2} h_L = 0.0784 \frac{h_L}{v^2}$$

$$\nu_{20^\circ \text{C}} = 1.011 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Q (m ³ /hr)	V (m ² /s)	h (mm)	f	R	h _L (m)
0.02	0.44	8.7	0.0444	1.74 x 10 ³	0.1096
0.09	1.98	32.9	0.0083	7.83 x 10 ³	0.4145
0.11	2.43	53.0	0.0089	9.61 x 10 ³	0.6678
0.12	2.65	70.4	0.0099	1.05 x 10 ⁴	0.8870
0.13	2.87	81.1	0.0097	1.14 x 10 ⁴	1.0219
0.14	3.09	86.1	0.0089	1.22 x 10 ⁴	1.0849
0.16	3.53	94.6	0.0075	1.40 x 10 ⁴	1.1920

3. 결 론

流體의 점성에 의한 摩擽의 影響을 알아보기 위하여 관마찰장치를 利用하여 基礎實驗을 行하였다. 그 결과 摩擽係數는 Re 수에 따라 層流領域과 천이영역 그리고 亂流領域으로 분류되는 既存의 실험결과와 一致되는 結果를 얻었다.

따라서, 流體工學에서 취급하는 제반유동형상에 있어서 速度구배의 存在는 摩擽에 의한 에너지의 損失을 招來하며 이에 관한 定量的인 計測 및 檢討는 配管을 필요로 하는 플랜트의 設計등에 유용한 기초지식을 提供할 것으로 判斷된다.



SAIL의 기초양력과 최적 SAIL영각에 대한 이론적 고찰

(Study on the Elementary Lift Theory and Optimum Angle of
Attack for the Board Sailing)

지도교수: 김익간



선박기계공학과 4년

김정관, 진종화, 백철호, 최종진, 홍준선