"홍수류에 있어서의 원형교각의 저항력에 관한 실험적 연구"

동아대학교 공과대학 교 수 김 희 종
동아대학교 공과대학 석사과정 김 용 배
동아대학교 공과대학 석사과정 이 승 우*

1. 서 론

홍수류에 있어서 교각에 대한 안정은 교각밑의 하상부분 세굴에 의한 전도에 의하는 것이 많으므로,이 세굴 깊이에 대한 연구는 현재 각국에서 많이 실시하고 있다. 교각의 안정은 세굴에 의한것 뿐만 아니라 홍수류에 의해서 생기는 수평력에 의한 전도도 생각 할수 있다. 이 수평력Rp는 다음 식으로 얻어진다.[1)]

$$Rp = K\,w\,A\frac{v^2}{2g} \qquad (1\text{-}1)$$

여기서, K : 교각의 평면 형상계수
w : 물의 단위 중량 (1,000Kg/m³)
A : 유수의 충돌 면적 ($\frac{1}{2}\pi$DH m²)
v : 유속 (m/s) , g: 중력 가속도 (m/s²)

일반적으로 Rp 는 중력식 교각에서는 자중보다 적으므로 Rp 의 계산이 그다지 필요 없으나, 중력식이외의 교각에서는 이 수평력 Rp 에 대한 안전도를 계산할 필요가 있다. Rp 의 값을 구할때 K 값은 교각의 형상에 따라 다르다. 본 논문은 이 K 값에 대한 연구를 시도 하였다. 모형 실험에서의 상사성은 π 정리에 의해서 구하였던바, 또한

$$Rp = K\frac{Av^2}{g} \qquad (1\text{-}2)$$

가 성립된다.

2. 저항의 기본 이론

모형실험에서 홍수류의 흐름속에서 원형교각의 저항력은 다음 3 가지로부터 성립된다.[2)]

1) 조파저항 2) 형상저항 3) 마찰저항 .

1) 의 조파저항은 Froude 수에 관계되고 2), 3) 의 형상 및 마찰저항은 Reynold 수 Re에 관계된다. 정상 흐름 V 속에 놓인 원통형 기둥의 직경 D 에 작용하는 힘을 f 라고 하면,

$$f = \frac{1}{2}\rho V^2 C_D A \qquad (2\text{-}1)$$

의 관계가 있다. A 는 흐름의 방향에 투영된 원통의 면적이다. 원통의 길이를 ℓ 로 하면,

$$f = \frac{1}{2}\rho V^2 D\ell C_D \qquad (2\text{-}2)$$

이다. 이때 저항계수 C_D 는 Reynold 수 Re의 함수이며, 그림2-1에 표시되어 있다.[3)]

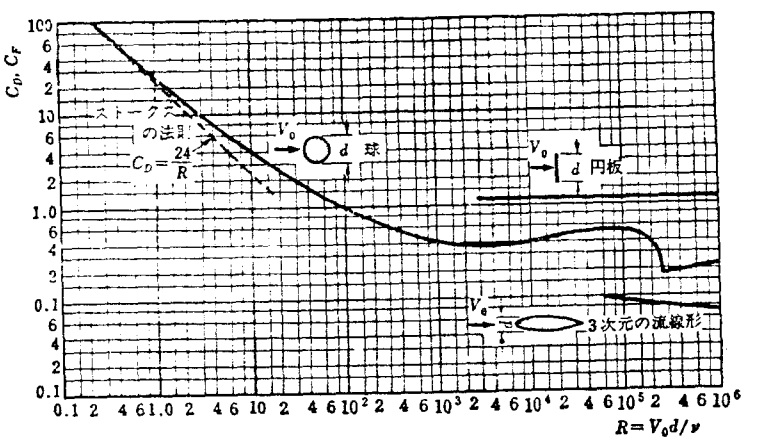


그림 2 - 1. 형상과 저항계수의 관계도

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

실험장치는 수로장 15.0 m, 폭 0.6 m, 깊이 0.5m 의 철재로 수로양측은 유리로 되어있으며, 그림 3-1 과 같다. 수로의 중앙부분 약 2 m 의 구간에 깊이 18 Cm의 밑과 윗판이 없는 상자를 설치하고 자연사로써 두께 18 Cm 의 하상을 구성하였다. 수로 중앙부 바닥에 직경 16 Cm 의 원형 모형교각 (축척 1/25, 아크릴제)을 설치하여 그림 3-2 와 같이

수압측정은 Manometer 에 의하였다. 측정지점은 연직방향으로 2Cm 간격으로 4 지점, 수평위치는 중심으로부터 교각의 양측 끝까지의 거리의 3 등분 지점으로 하였다.

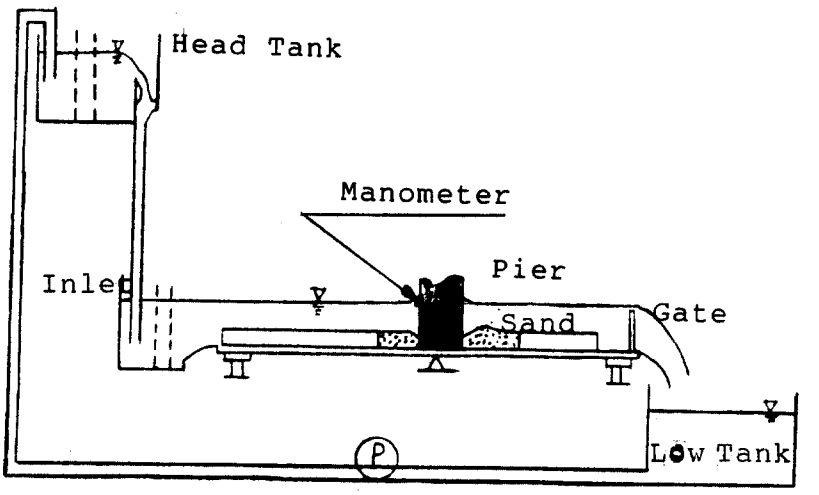


그림 3 - 1. 실 험 장 치

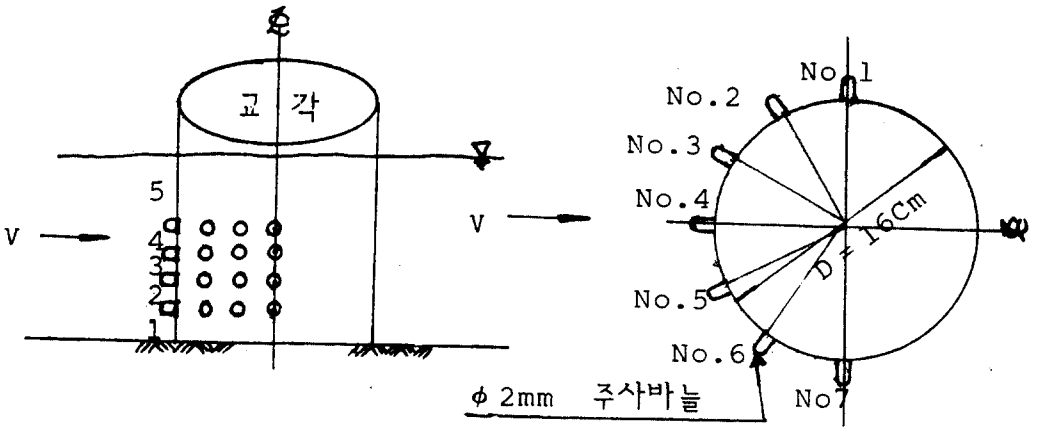


그림 3 - 2. 실험장치 세부도

3.2. 실험방법

Manometer 에 의하여 각점의 동수압을 측정하고 이때의 유량 Q 와 유속 v , 그리고 교각의 수심 H 를 측정 하였다.

3.3. 유체저항 (Rm) 의 산출

3.2 에서 관측된 각점의 동수압을 연직방향에서의 평균을 구하고, 다시

이를 수평방향에 각 축선의 평균 동수압력으로 환산하여 Rm 을 구하였다.

3.4. 실제 교각이 받는 저항력 (Rp) 의 산출

실제 교각이 받는 저항력의 산출은 다음의 과정을 거치게 되는데, 그 과정은, 1) 1/25 축척의 Froude 모형을 만든다. 2) 전저항 (Rm) 을 산정한다. 3) 전저항에서 Re에 관한 저항을 추정해서 차인한다. 4) 나머지의 저항을 Froude 상사측에 의해서 실물의 값으로 환산한다. 5) 이에 Re에 관한 저항을 실물의 값으로 계산하여 합한다. 이것이 전저항(Rp) 이다.[4)]

4. 실 험 결 과

모형 실험결과에 의한 전저항 (Rm) 계산은, 다음의 CASE 와 같다.

CASE1: H=9.7Cm, V=20.55Cm/S, Q=11960Cm^3/S

	No.4	No.5	No.6	NO.7
5	0.9Cm ×1.7Cm	0.9Cm ×1.7Cm	0.2Cm ×1.7Cm	0.2Cm ×1.7Cm
4	0.8Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.1Cm ×2.0Cm	0.2Cm ×2.0Cm
3	1.2Cm ×2.0Cm	1.0Cm ×2.0Cm	0.3Cm ×2.0Cm	0.4Cm ×2.0Cm
2	0.7Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.2Cm ×2.0Cm	0.3Cm ×2.0Cm
1	0.2Cm ×2.0Cm	0.4Cm ×2.0Cm	0.1Cm ×2.0Cm	0.2Cm ×2.0Cm
Σ	7.33 Cm^2	7.33 Cm^2	1.74 Cm^2	2.54 Cm^2

전저항 (Rm) = (7.33+ 7.33 + 1.74 + 2.54) × 1/3 × 1/2 ×π× 16 × 2

= 317.34 (g 중)

CASE2: H=9.2Cm, V=19.38Cm/S, Q=10697Cm^3/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.3Cm ×1.2Cm	0.7Cm ×1.2Cm	0.1Cm ×1.2Cm	0.1Cm ×1.2Cm
4	0.4Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.2Cm ×2.0Cm	0.15Cm ×2.0Cm
3	1.0Cm ×2.0Cm	0.65Cm ×2.0Cm	0.25Cm ×2.0Cm	0.2 Cm ×2.0 Cm
2	0.9Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.2Cm ×2.0Cm	0.1 Cm ×2.0 Cm
1	0.8Cm ×2.0Cm	0.55Cm ×2.0Cm	0.15Cm ×2.0Cm	0.05Cm ×2.0 Cm
Σ	6.65 Cm^2	5.64 Cm^2	1.72 Cm^2	1.12 Cm^2

전저항(Rm)= 251.6(g 중)

CASE3: H=9.9Cm, V=18.80Cm/S, Q=11167Cm³/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.3 Cm ×1.9 Cm	0.9 Cm ×1.9 Cm	0.5Cm ×1.9Cm	0.55 Cm×1.9 Cm
4	0.5 Cm ×2.0 Cm	0.7 Cm ×2.0 Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.55 Cm×2.0 Cm
3	1.1 Cm ×2.0 Cm	0.8 Cm ×2.0 Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.60 Cm×2.0 Cm
2	1.0 Cm ×2.0 Cm	0.75Cm ×2.0Cm	0.55Cm ×2.0Cm	0.55 Cm×2.0 Cm
1	0.9 Cm ×2.0 Cm	0.70Cm×2.0 Cm	0.50Cm ×2.0Cm	0.50 Cm×2.0 Cm
Σ	7.50 Cm²	7.60 Cm²	5.65 Cm²	5.40 Cm²

전저항 (Rm) = 438.0 (g중)

CASE4: H=11.6Cm, V=16.45Cm/S, Q=11449Cm³/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.7 Cm ×3.6 Cm	0.9 Cm ×3.6 Cm	0.5Cm ×3.6Cm	0.6 Cm ×3.6 Cm
4	0.8 Cm ×2.0 Cm	0.8 Cm ×2.0 Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.6 Cm ×2.0 Cm
3	1.2 Cm ×2.0 Cm	0.85Cm×2.0 Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.6 Cm ×2.0 Cm
2	1.0 Cm ×2.0 Cm	0.80Cm×2.0 Cm	0.55Cm×2.0Cm	0.6 Cm ×2.0 Cm
1	0.8 Cm ×2.0 Cm	0.75Cm×2.0 Cm	0.40Cm×2.0Cm	0.6 Cm ×2.0 Cm
Σ	10.12 Cm²	9.64 Cm²	6.50 Cm²	6.96 Cm²

전저항 (Rm) = 556.56(g 중)

CASE5: H=12.0Cm, V=17.04Cm/S, Q=12268Cm³/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.6 Cm ×4.0 Cm	0.85 Cm ×4.0 Cm	0.5 Cm ×4.0 Cm	0.4 Cm ×4.0 Cm
4	0.8 Cm ×2.0 Cm	0.70 Cm ×2.0 Cm	0.5 Cm ×2.0 Cm	0.5 Cm ×2.0 Cm
3	1.05Cm×2.0 Cm	0.80 Cm ×2.0 Cm	0.55 Cm×2.0 Cm	0.5 Cm ×2.0 Cm
2	0.9 Cm ×2.0 Cm	0.75 Cm ×2.0 Cm	0.40 Cm×2.0 Cm	0.45Cm×2.0 Cm
1	0.75Cm×2.0 Cm	0.70 Cm ×2.0 Cm	0.25 Cm×2.0 Cm	0.40Cm×2.0 Cm
Σ	9.40 Cm²	9.30 Cm²	5.40 Cm²	5.30 Cm²

전저항 (Rm) = 492.0 (g 중)

CASE6: H=13.0Cm, V=16.45Cm/S, Q=12831Cm^3/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.8Cm ×5.0Cm	0.9Cm ×5.0Cm	0.4Cm ×5.0Cm	0.4Cm ×5.0Cm
4	0.9Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm
3	1.1Cm ×2.0Cm	1.0Cm ×2.0Cm	0.5Cm ×2.0Cm	0.65Cm ×2.0Cm
2	1.2Cm ×2.0Cm	0.9Cm ×2.0Cm	0.65Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm
1	1.3Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.80Cm ×2.0Cm	0.55Cm×2.0Cm
Σ	13.0 Cm^2	11.5 Cm^2	7.1 Cm^2	6.8 Cm^2

전저항(Rm) = 642.0 (g중)

CASE7: H=12.1Cm, V=13.53Cm/S, Q=9822Cm^3/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.3Cm ×4.1Cm	0.8Cm ×4.1Cm	0.4Cm ×4.1Cm	0.3Cm ×4.1Cm
4	0.7Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.4Cm ×2.0Cm
3	1.0Cm ×2.0Cm	0.85Cm ×2.0Cm	0.4Cm ×2.0Cm	0.5Cm ×2.0Cm
2	0.85Cm ×2.0 Cm	0.8 Cm ×2.0 Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.4Cm ×2.0Cm
1	0.7Cm ×2.0Cm	0.75Cm ×2.0 Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.3Cm ×2.0Cm
Σ	7.73 Cm^2	9.48 Cm^2	6.44 Cm^2	4.43 Cm^2

전저항(Rm) = 470.4 (g 중)

CASE8: H=14.2Cm, V=12.36Cm/S, Q=10530Cm^3/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.3Cm ×6.2Cm	0.8Cm ×6.2Cm	0.7Cm ×6.2Cm	0.2Cm ×6.2Cm
4	0.25Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm
3	1.0Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.85Cm×2.0Cm	0.65Cm×2.0Cm
2	0.8Cm ×2.0Cm	0.65Cm ×2.0Cm	0.60Cm×2.0Cm	0.60Cm×2.0Cm
1	0.6Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.35Cm×2.0Cm	0.55Cm×2.0Cm
Σ	7.16Cm²	10.06Cm²	9.54Cm²	6.24Cm²

전저항(Rm) = 552.4 (g 중)

CASE9: H=15.1Cm, V=11.77Cm/S, Q=10663Cm³/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.6Cm ×7.1Cm	0.8Cm ×7.1Cm	0.7Cm ×7.1Cm	0.5Cm ×7.1Cm
4	0.55Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm
3	1.0Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm
2	0.8Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.65Cm ×2.0Cm	0.65Cm×2.0Cm
1	0.6Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.4Cm ×2.0Cm	0.60Cm×2.0Cm
Σ	10.16 Cm²	11.88 Cm²	10.27 Cm²	8.85 Cm²

전저항(Rm) = 684.0 (g중)

CASE10: H=16.1Cm, V=10.61Cm/S, Q=10249Cm³/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.6Cm ×8.1Cm	0.8Cm ×8.1Cm	0.5Cm ×8.1Cm	0.3Cm ×8.1Cm
4	0.9Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm
3	0.8Cm ×2.0Cm	0.75Cm ×2.0Cm	0.65Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm
2	0.5Cm ×2.0Cm	0.70Cm ×2.0Cm	0.45Cm ×2.0Cm	0.65Cm×2.0Cm
1	0.2Cm ×2.0Cm	0.65Cm ×2.0Cm	0.25Cm×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm
Σ	9.66 Cm²	11.88 Cm²	8.15 Cm²	7.43 Cm²

전저항(Rm) = 618.6 (g중)

CASE11: H=10.2Cm, V=16.45Cm/S, Q=10067Cm³/S

	No.4	No.5	No.6	No.7
5	0.4Cm ×2.2Cm	0.7Cm ×2.2Cm	0.4Cm ×2.2Cm	0.3Cm ×2.2Cm
4	0.6Cm ×2.0Cm	0.75Cm×2.0Cm	0.5Cm ×2.0Cm	0.25Cm×2.0Cm
3	1.0Cm ×2.0Cm	0.8Cm ×2.0Cm	0.4Cm ×2.0Cm	0.4Cm×2.0Cm
2	0.8Cm ×2.0Cm	0.7Cm ×2.0Cm	0.3Cm ×2.0Cm	0.3Cm×2.0Cm
1	0.6Cm ×2.0Cm	0.6Cm ×2.0Cm	0.2Cm ×2.0Cm	0.2Cm ×2.0Cm
Σ	6.88 Cm²	7.24 Cm²	3.68 Cm²	2.96 Cm²

전저항(Rm) = 346.1 (g중)

5. 고 찰

5.1.

π 정리에서 변수 v, D, H, P, g, μ, ρ, w, A 의 무차원항을 구하면 다음과같다.

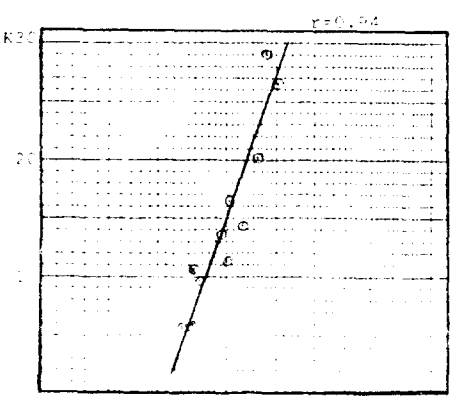
$(D\rho/P,\ D/H,\ v^2/Dg,\ Dv\rho/\mu,\ \rho v^2/Dw,\ D^2/A)$

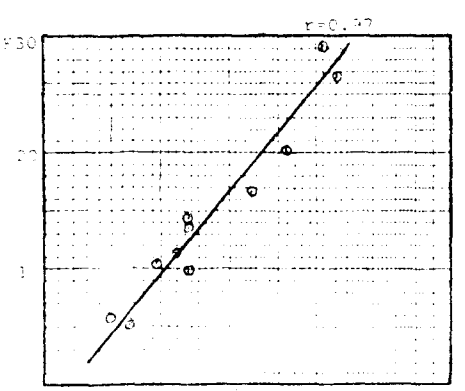
이것을 압력 P 의 함수로 나타내면, $P=f(\rho H,\ \rho gD^2/v^2,\ \rho D/Re,\ wD^2/v^2)$

또는, $Rp=f(wA\frac{v^2}{2g})$ 로 된다. 표 5.1을 반대수지에 Plot 하면 그림 5-1—그림 5-6 과 같으며, 표 5.1 은 모형의값을 실물의 값으로 상사시킨 값이다.

표 5-1. 실물의 상사치와 무차원항

CASE	Hp(m)	Vp (m/s)	Qp (m^3/s)	ρH	$Dv\rho/\mu$ (=Re)	$\rho gD^2/v^2$	$\rho D/Re$	wD^2/v^2	$wA\frac{v^2}{2g}$	[illegible]	K
1	2.42	1.03	37.5	2.42	$\times10^6$ 4.12	147	$\times10^5$ 9.70	15.08	0.82	[illegible]	5.9
2	2.30	0.97	33.5	2.30	3.88	167	[illegible]	17.0[illegible]	[illegible]	[illegible]	5.6
3	2.48	0.90	33.5	2.48	3.60	194	11.11	19.75	0.64	[illegible]	10.5
4	2.90	0.82	35.7	2.90	3.28	233	12.19	23.79	0.63	8.64	13.8
5	3.00	0.85	38.2	3.00	3.40	217	11.76	22.14	0.70	7.76	11.1
6	3.25	0.82	39.9	3.25	3.28	233	12.19	23.79	[illegible]	[illegible]	14.3
7	3.03	0.68	30.9	[illegible]	2.72	[illegible]	14.70	34.60	0.41	[illegible]	16.7
8	3.55	0.62	[illegible]	3.55	2.48	[illegible]	16.12	41.[illegible]	[illegible]	[illegible]	20.1
9	3.78	0.55	31.2	3.78	2.20	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
10	4.03	0.53	32.0	4.03	2.12	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	9.64	26.6
11	2.55	0.82	31.4	2.55	3.28	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	9.7





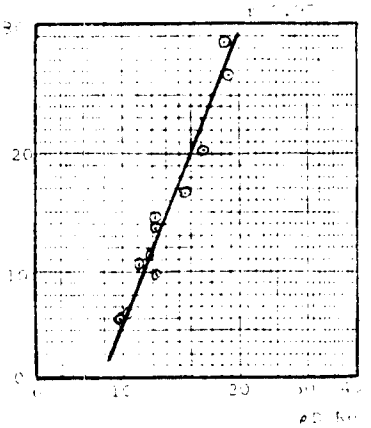


그림 5-3, K-ρD/Re 관계도

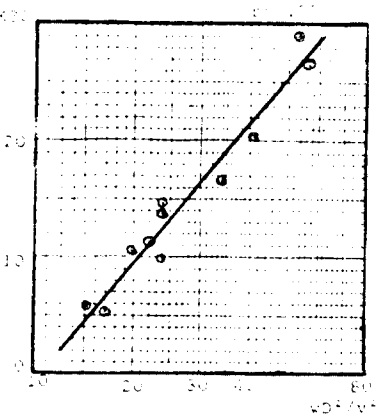


그림 5-4, K-wD² v² 관계도

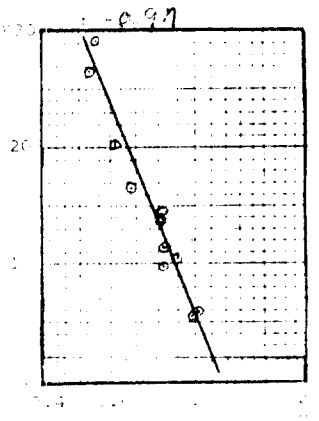


그림 5-5 K-r 관계도

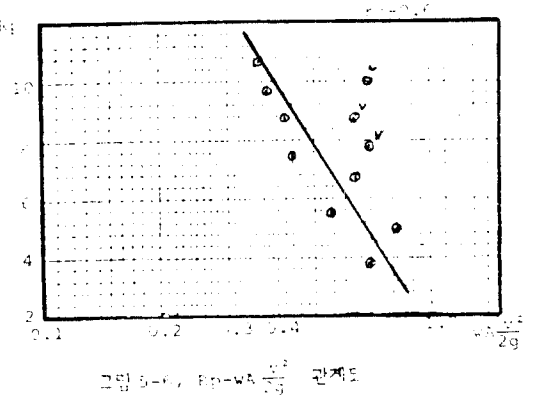


그림 5-6, Rp-wA $\frac{v^2}{2g}$ 관계도

5.2.

저항력에 대한 계수 K는 ρH, ρgD²/v², ρD/Re, wD²/v², WA $\frac{v^2}{2g}$, 와 밀접한 상관관계가 나타났다.[5] 유속 v 에 대한 K값은 r=-0.9 로써 상관도가 대단히 높았다. (그림 5 - 5), Rp 와 wA $\frac{v^2}{2g}$ 의 관계는 r = -0.6 으로써 대체적으로 부(-)의 상관관계로 나타났다. 만일 그림5 - 6 에서 CASE 4, CASE 5, CASE 6 을 무시한다면 좀더 나은 상관관계가 나올것으로 사료된다. 본 실험은 속도가 0.5m/s — 1.0 m/s 범위에서 K 값이 5.9 — 29 사이였다.

6. 결 론

K값은 교각형상에 따라 고정된것이 아니고, ρH, ρgD²/v², ρD/Re, wD²/v², V 등의 함수로 나타난다. 이중에서 유속 V 가 가장 큰 영향을 미친다.

형상계수 K 는 교각형상이 사각형일때 1.7 이다. 만일 교각형상 K 값이 2 에 근접하려면 유속 V 는 1.1 m/s 이상 이어야 한다. 또 V 가 1.3m/s 일때 K 값은 1.5 이다.

7. 참 고 문 헌

1) 김 희 종, "토목 시공법", 금문사, 1967.6. PP 222-223.

2) 김 희 종, "수리실험(2)", 동아대학교 구내출판사, 1985.3. PP 49-50.

3) 椎 貝 博 美, "水理実験法", 森北出版, 1976.11. PP 36-46.

吉 川 秀 夫, "水 理 学", 技報堂出版株式会社, 1976. PP 85-88.

Victor L. Streeter and E. Benjamin Wylie. "Fluid Mechanics", Mcgraw-Hill, 1985. PP 258-261.

W.F.Hughes and J.A. Brighton. "Fluid Dynamics", Schaum Publishing Company, 1967. PP 84-87.

4) 椎 貝 博 美, "水理実験法", 森北出版, 1976.11. PP 36-46.

5) 김 희 종, "수문학", 동명사 , 1986.6. PP 258-260.