

## 파형 강관의 조도계수에 관한 연구

### A Study on Roughness Coefficient of Corrugated Steel Pipe

박 상 현\*, 천 만 복\*, 이 계 은\*\*  
Park, Sang-Hyun, Chun, Man-Bok, Lee, Kye-Eun

#### Abstract

A hydraulic model study have been carried out on roughness coefficient of corrugated helical steel pipe. The study was performed in the 0.6m wide flume of Hydraulic Laboratory for the pipe diameter of 0.6m and 1.6m. Additional study was performed in 2m wide open irrigation canal for the pipe diameter of 1.6m.

In the laboratory test, pipes wider larger than 0.6m were cut out to be installed in the flume and equivalent Manning roughness coefficient were derived. On the other hand, field test was performed to measure the flow velocity and water depth in the flow of pipes whose diameters are larger than 0.6m installed in irrigation canal.

From the results, effective roughness coefficient are derived as functions of current velocity, Froude number and relative roughness for each of corrugated pipes. In the corrugated pipe, roughness coefficient decreases proportionally depend on current velocity.

The roughness coefficient is decreased also decreased as Froude number increased, so far as flow depth decreased. Further study on roughness coefficient was carried out for the pipe of smooth surface treated with pvc coating materials resulted that roughness coefficient increased so long as diameter increased in the range of 0.095 to 0.021.

It could be concluded that roughness coefficient would not be decided as a constant but also decided by a function of Froude number and relative roughness in the pipe line system. The result would be contributed to design of irrigation and drainage canal system.

#### I. 서론

본 연구에서 실험된 나선형 파형강관 (Corrugated steel pipe)은 용융한 아연도금

강관 또는 이를 나선형으로 말아 만든 강관으로서 최근 간척지 등 해안 연약지반의 용배수 관로와 도로, 철도 등의 횡단통로, 오폐수관로, 지하배수관 등으로 이용된다. 그 동

\* 농업기반공사 농이촌연구원

\*\* 성호철관주식회사

안 국내 농업용수 사업에서 철의 부식, 이음부의 누수, 연약지반에서 상재하중과 부등침하에 의한 파괴 위험 때문에 철관을 이용한 관수로 설치를 기피하는 경향이 많았으나, 새로운 파형강관은 구조적인 안전성과 내구성이 개선된 제품들이 증대되고 있다. 이미, 금강지구 연약지반의 용수관로 공사 등에 열처리되고 폴리에틸렌 분말을 용착 코팅시킨 제품이 활용된 바 있다.

지금까지 파형강관의 조도계수는 Manning의 경험식을 이용한 상수 형태로 적용되었으나, 유속과 수심 및 직경에 영향은 무시되어 왔다. 그러나 구경이 증대될수록 이들의 영향이 커지므로 이를 고려한 조도계수가 필요하지만, 이러한 대형 관의 조도계수 시험은 대규모의 시험시설과 시험 용수가 요구되기 때문에 이를 시험하는데 장애가 많다.

본 시험은 복합조도계수 이론을 적용하여 간접적으로 계속하도록 폭 0.6m의 시험 수로에 파형강관의 하부를 절단하여 설치하고 실행하였다. 이와 함께 현장 수로에 강관을 설치하고 유속과 수심을 측정하여 시험수로의 측정결과와 비교하였다. 이와 같이 본 시험에서 파형강관에 대한 수리학적 설계기준의 하나로써 관수로 유량측정에 이용되는 Manning공식의 조도계수를 측정함으로써 단면 규모 결정 등의 수리설계에 적용할 수 있도록 하였다.

II. 파형강관의 수리적 특징

본 시험에 사용된 나선형 파형강관은 아연으로 강관을 도금하고 주름을 나선형으로 넣어 한국공업규격(KS D 3590)에 준하여 제작한 것이다. 이 관은 아연 도금관에 폴리에틸렌을 코팅한 제품으로서, 부식방지를 위하여 내식성 수지 등을 5중 코팅하고, 관체 외부에 내마모성 수지를 덧용착한 것으로서 조도계수를 개선하기 위하여 파형 두께를 감소한 제품이

포함되었다. 강관의 흐름 특성은 수심과 유속 등으로 나타낼 수 있으며, 유속은 아일랜드의 토목기사 Robert Manning이 1889년 제안한 공식이 널리 적용된다.

$$N = \frac{1}{V} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, V : 평균유속(m/s), N : 조도계수, R : 동수반경(m), I : 동수 기울기이다. Manning의 조도계수 N은 관의 직경, 관 내부의 파형 및 이음형태에 따라 변화가 크며 다음의 흐름인자를 고려하여 검토되었다.

$$A = \pi r^2 (\theta_2/360) + h_2 C / 2 \quad (1)$$

$$\theta_1 = 2\cos^{-1}(h_2/r), \quad \theta_2 = 360 - \theta_1.$$

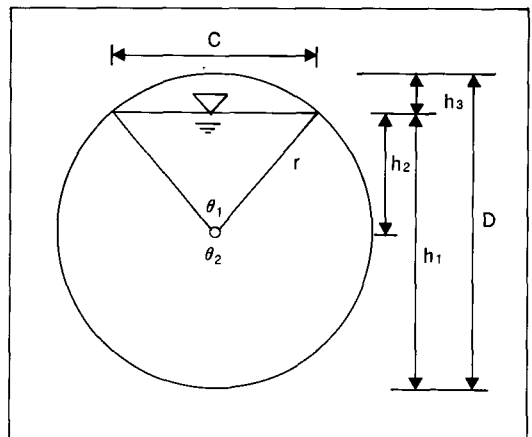
$$C = 2r \sin(\theta_1/2)$$

$$P = \pi D (\theta_2/360), \quad R = A / P$$

$$C = 2r \sin(\theta_2/2), \quad P = \pi D (\theta_2/360),$$

$$R = A / P$$

여기서, A는 관의 단면적, r은 반경,  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 는 관의 중심에서 수면과 관의 내면이 만나는 점까지의 내각과 외각,  $h_2$ 는 수심이며, C는 수면의 나비이다.



<Fig. 1> Cross section of corrugated steel pipe

<Table 1> Values of coefficient of roughness(N) for standard corrugated steel pipe (Manning's Form)

Corrugations	Annular 2 <sup>23</sup> ×1/2 in	Helical pipe							
		1 <sup>1/2</sup> ×1/4 in		2 <sup>23</sup> ×1/2 in					
		All Diameters		8 in	10 in	12 in	18 in	24 in	36 in
Unpaved 25% Paved	0.024	0.012	0.014	0.011	0.013	0.015	0.018	0.020	0.021
	0.021								
Unpaved 25% Paved	Annular 3×1 in	Helical - 3×1 in							
			48 in	54 in	60 in	66 in	72 in	78 in and Larger	
	0.027	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027		
	0.023	0.020	0.020	0.021	0.022	0.022	0.023		
Unpaved 25% Paved	Annular 5×1 in	Helical - 5×1 in							
			54 in	60 in	66 in	78 in / Larger			
	0.025	0.022	0.023	0.024	0.025				
	0.022	0.019	0.020	0.021	0.022				
All pipe with smooth interior		All Diameter : N=0.012							

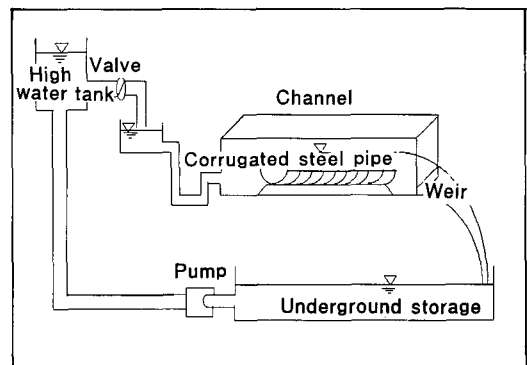
AISI. Includes fully paved, concrete lined, spiral rib & doublewall pipe

<Table 1>은 관의 직경 및 이음 형태에 따른 N값을 보여주고 있는데 나선형의 경우 N값은 고리형(Annular configuration)의 경우보다 작은 값을 보여주고 있다.

### III. 시험 방법

파형강관의 조도계수 시험은 농업기반공사 수리시험장의 댐수로공 시험실 내의 Tilting flume(가동경사수로)에서 <Fig. 2>와 같이 수행되었다. 실험용수는 지하 저수조에서 고수조로 양수하고 정수조를 통하여 시험수로에 유입되며, 상류 유입량은 유입구 밸브로 조정하고 하류의 수위는 Weir로 조절한다. 시험수로 입구에는 쇠파 장치(Wave suppressor)를 설치하여 난류를 줄이며, 실험 강관의 입구로부터 1, 3, 5m 지점에 Point gauge를 설치하여 수위를 측정하며, 이 지점의 좌안, 우안, 중앙의

3지점에 디지털식 유속계를 설치하고 수심별로  $H_{0.2}$ ,  $H_{0.6}$ ,  $H_{0.8}$ 의 유속을 측정하였다. 시험 강관은 내경이 300mm, 600mm, 1,000mm, 1,650mm, 2,200mm로서 시험 수로의 폭이 0.6m 이므로 전 지름의 파형강관을 사용하지 못하고, 강관의 폭을 절삭하여 <Fig. 2>와 같이 설치하였다. 시험 강관의 길이는 5m이다.



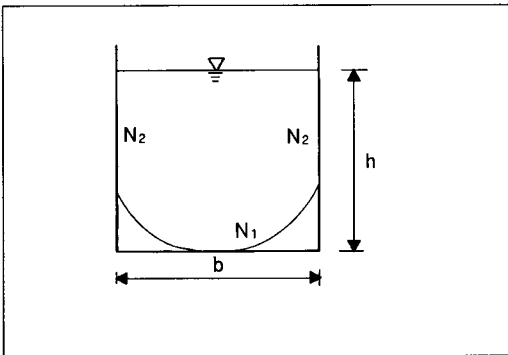
<Fig. 2> Circulation of testing flow in the model

시험에서 조도계수는 각 부분의 유속이 전 단면에 대한 평균유속과 근사하다고 가정하고 Manning 공식으로 도출한 합성조도계수 식을 사용하였다. 본 시험에서는 수로벽과 바닥면의 두가지 조도계수를  $N_1$ 과  $N_2$ 로 구분하여 계산한 값이다.

$$V = \frac{1}{N} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\left(\frac{P_1 N_1^{1.5} + P_2 N_2^{1.5}}{P_1 + P_2}\right)^{\frac{2}{3}}} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$N_1 = \left[ \left( \frac{(P_1 + P_2)^{\frac{2}{3}} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{V} \right)^{\frac{3}{2}} - P_2 N_2^{1.5} \right] \times \frac{1}{P_1} \dots\dots\dots (4)$$

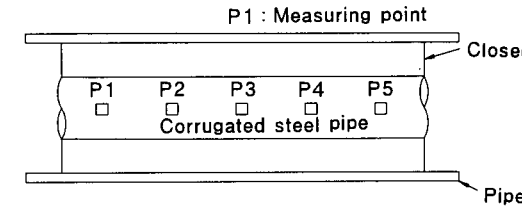
이다.



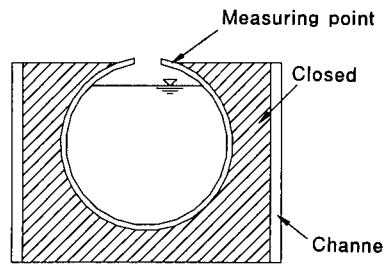
<Fig. 3> Cross section of corrugated steel pipe in the rectangular flume

또한, 실험 현장의 용수로에 설치된 강관의 형태는 <Fig. 4>와 같으며, 길이가 8m이다. 수로에 흐르는 물은 모두 강관으로 통과하도록 수로와 강관 사이의 모든 틈새를 차단막을 설치하였으며, 등류 흐름을 유지하기 위해 상

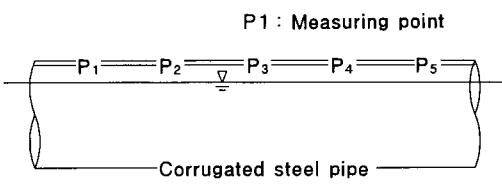
하류의 수심을 일정하게 유지하였다. 강관 내의 수심과 유속을 측정하기 위하여 관의 상단에 10×30cm 크기의 구멍을 1.3m의 등간격으로 배치하고 실험 강관 내에 유속계를 넣어 관내의 수심별 유속을 측정하고 Staff gauge를 넣어서 수심을 관측하였다.



(a) Plan



(b) Front view



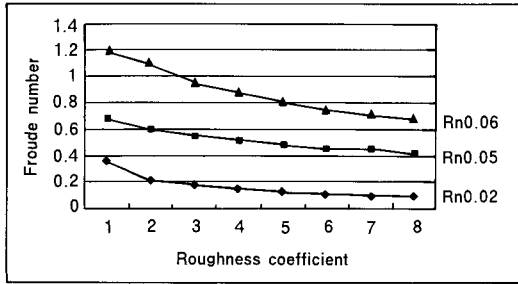
(c) Side view

<Fig. 4> Flow measurement of colligated pipe in the canal

IV. 시험결과 및 분석

과형강관의 실험은 실내 실험과 현장실험으로 구분하여 실행되었다. 실내 시험은 주름 두께가 비교적 큰 수지과형 강관에 대하여 실행하였다.

- 1) 실내실험



<Fig. 5> Roughness coefficient vs. current velocity and Froude number in sheet flow of corrugated pipe

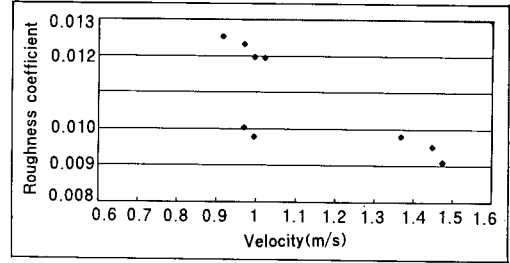
모형 시험 수로의 폭이 0.6m로서 비교적 좁은 제약조건 때문에 관을 절단하고, 수심을 극히 낮추어서 관내로만 물이 흐를 때(피막흐름)와 관을 넘어서 수로 벽까지 높게 흐를 때(복합흐름)의 경우로 나누어서 실험되었다.

피막흐름의 시험 결과, 조도계수는 0.0552 ~ 0.2425으로서 유속이 증가함에 따라서 줄어든다. 이는 실험 관의 경심(R)이 0.413이고, 수문 기울기(I)가 0.001이기 때문에 식(2)에서 조도계수와 유속의 관계는 포물선형이 된다. 즉,  $N = \frac{0.024}{V}$ 이며 이의 형태는 <Fig. 5>와 같다.

본 실내 실험 결과는 수심이 낮고, 흐름 기울기는 1/1,000로서 지극히 완만한 피막흐름상태에서 시험되었기 때문에 적용상 제한적이며, 유속이 0.35 m/s 이상에서 조도 계수는 0.05 이하로 감소된다. 한편, Froude 수와 조도계수의 관계는 좀더 높은 상관성을 나타낸다.

본 피복흐름에 관한 실험 결과는 흐름에너지 줄어야 하는 급류공 구조물의 조도계수 산정에 활용될 수 있다.

또한, 강관을 월류하여 시험수조의 유리벽을 따라서 흐르는 복합 흐름의 경우는 복합조도계수 계산법에 의한 식(4)에 의하여 계산하였다. 여기서, 유리의 조도계수( $N_2$ )는 0.013인 경우와 0.009인 경우로 나누어 계산하였다. 분석



<Fig. 6> Roughness coefficient vs. current velocity in the pipe(ø300mm)

결과, 조도계수는 <Fig. 6>과 같이 유리의 조도계수가 0.013인 경우는 0.0180~0.0186, 유리의 조도계수가 0.009인 경우는 0.0196~0.0219으로서 유속이 증가함에 따라서 감소하는 경향을 보인다. 또한 시험결과를 활용하는데 편리하도록 조도계수는 Asenbrey(1974) 등이 관에서 적용한 수리적 무차원 함수인 Froude 수와의 관계에 의하여 분석하였다.

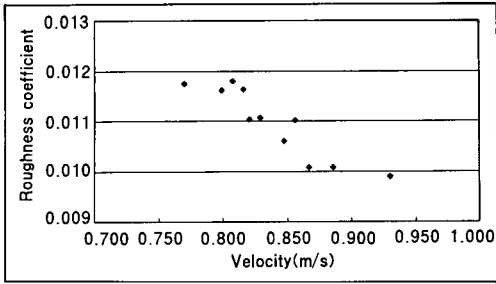
$$Fr = V / (g * ye) \dots\dots\dots (5)$$

여기서, Fr은 Froude 수이며, g는 중력가속도, ye는 관수로의 평균 수심으로서 평균 단면적을 수로 폭으로 나눈 값이다. 강관에 관한 조도계수는 Froude 수와 상대조도의 영향에 관하여 분석하였다. 여기서, 상대조도계수는 강관의 파형 두께에 따른 수심의 비이다.

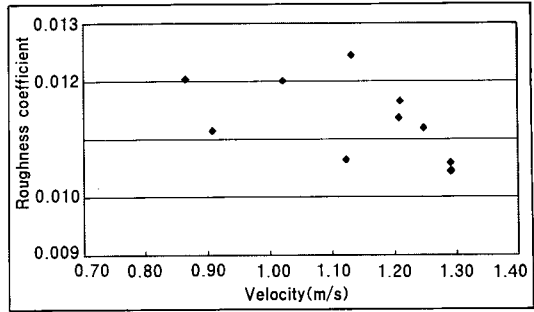
$$Rn = e/ye \dots\dots\dots (6)$$

여기서, Rn은 상대조도(Relative roughness), e는 파형 두께로서 0.013m이며, ye는 수심이다.

<Fig. 7>은 실험결과 중 상대조도와 조도계수 및 Froude 수에 대한 대표적인 값들로서, Rn 값이 0.06, 0.05 및 0.02인 경우에 대하여 분석한 것이다. 여기서, 수심이 감소할 때, 상



<Fig. 7> Roughness coefficient as functions of Froude number and relative roughness



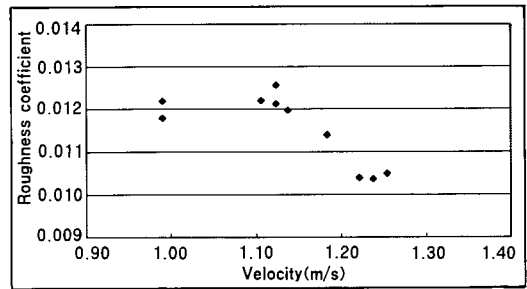
<Fig. 9> Roughness element vs. current velocity in the pipe(ø 1,000mm)

대조도의 증가에 따라서 조도계수가 함께 증가한다. 예컨대, 상대조도가 0.05 이하이고 Froude 수가 0.6 정도인 흐름에서 조도계수는 0.018 정도를 나타낸다.

2) 현장실험

대규모 강관에 대한 현장실험은 직경이 Ø 600mm~Ø2,200mm인 4종의 수지 파형 강관에 대하여 전라북도 익산시에 있는 함라 용수로에 관을 설치하여 유속과 수위를 측정하였다. 실험에 사용한 관은 조도계수를 줄이기 위하여 관의 면을 평활하게 제작한 것이다. 시험 결과, 조도계수는 유속의 크기에 반비례하여 나타나는 경향을 보인다.

유속과 조도계수와의 관계는 <Fig. 8>~<Fig. 11>에 나타난 바와 같이 유속의 크기에 따른 조도계수의 변화는 유속이 크면 조도계

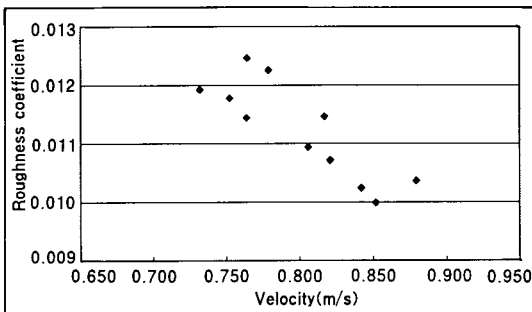


<Fig. 10> Roughness coefficient vs. current velocity in the pipe (ø 1,650mm)

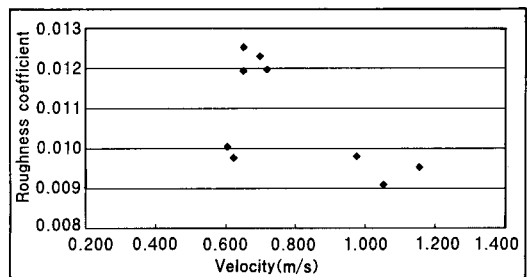
수가 작아지는 경향이 나타나고 있다.

3) 종합분석

실내실험과 현장실험 결과, 조도계수와 유속만의 분석 비교 결과는 산포도가 비교적 크며 이를 개선하고 실험 결과를 직접적으로 현장에 적용하기 위하여 때문에 강관의 규격별 Froude 수에 따른 조도계수의 변화양상을 분



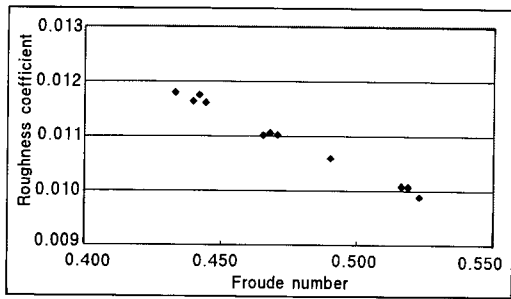
<Fig. 8> Roughness coefficient vs. current velocity in the pipe(ø 600mm)



<Fig. 11> Roughness coefficient vs. current velocity in the pipe(ø 2,200mm)

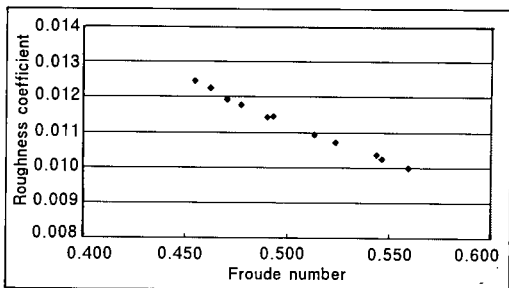
석하였다. 이의 결과는 <Fig. 12> ~ <Fig. 16>에 나타난 바와 같이 Froude 수가 커짐에 따라 조도계수가 작아지는 경향이 나타나고 있다. 각 관경별 조도계수와 Froude 수의 관계를 다음 식으로 정리하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{직경 } 300 \text{ mm} : n &= -0.002 \text{ Fr} + 0.011 \\
 600 \text{ mm} : n &= -0.021 \text{ Fr} + 0.021 \\
 1,000 \text{ mm} : n &= -0.025 \text{ Fr} + 0.024 \\
 1,650 \text{ mm} : n &= -0.020 \text{ Fr} + 0.022 \\
 2,200 \text{ mm} : n &= -0.023 \text{ Fr} + 0.024 \\
 &\dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

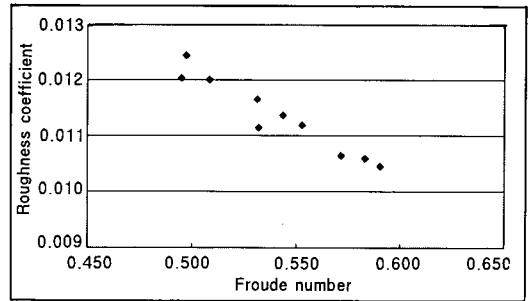


<Fig. 12> Roughness coefficient vs. Froude number in pipe(φ300mm)

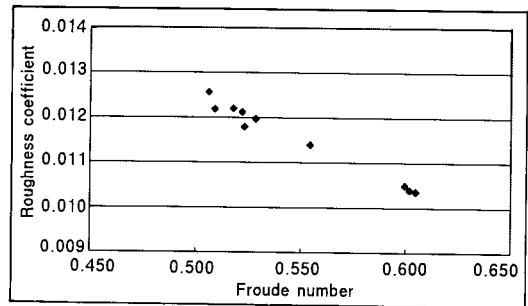
<Fig. 17>는 각각의 직경에 대하여 실험한 결과 중 대표적인 것들을 정리한 것으로서, Froude 수가 1정도인 직경이 300mm인 경우를 제외하면, 임의의 Froude 수에 대하여 직경이



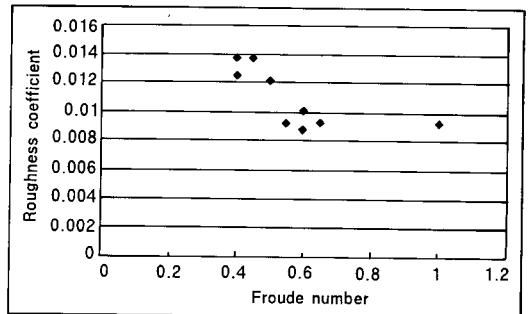
<Fig. 13> Roughness coefficient vs. Froude number in the pipe(φ600mm)



<Fig. 14> Roughness coefficient vs. Froude number in the pipe(φ1,000mm)



<Fig. 15> Roughness element vs. Froude number in the pipe(φ1,650mm)



<Fig. 16> Roughness coefficient as function of Froude number for various diameter of pipes(φ2,200mm)

클수록 비례적으로 조도계수가 다소 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 조도계수는 0.0095 이상의 값을 나타내었다.

#### IV. 결론

본 연구에서 실험한 파형 강관에 대한 조도계

수 산정을 위한 실험의 결과, 파형강관의 조도계수는 유속이 증가하면 감소되는 경향을 나타내었다. 세부적인 실험 결과는 다음과 같다.

1. 강관의 피막을 형성하는 낮은 흐름에서 조도계수는 0.0552 ~ 0.2425으로서 유속이 증가함에 따라서 줄어든다. 즉,  $N = \frac{0.024}{V}$  의 식

으로 나타낼 수 있다. 관수로의 피막흐름에 관한 실험 결과는 용배수로 급류공 등 에너지 감쇄가 많거나 고낙차 관수로에서 에너지 감쇄가 필요한 구조물의 계획에 활용가능하다.

2. 강관의 조도계수는 0.0180 ~ 0.0219으로서 유속이 증가하거나 Froude 수가 커짐에 따라서 작아지는 경향을 보이고 있다. 관의 조도계수는 유속보다 Froude 수와 높은 상관성을 보여 주었다. 또한, Froude 수에 관한 함수는 수심의 영향을 고려하므로 유속의 함수보다 체계적인 수로 설계에 반영될 수 있으며, 본 연구에서 식(7)의 무차원 함수와 <Fig. 12>의 그림은 광범위한 관의 규모와 수리적 조건을 고려하여 활용될 수 있다.

3. 파형수지 강관에 관한 조도계수는 Froude 수와 상대조도의 복합적인 영향에 관하여 분석한 결과, 수심이 감소할 때 상대조도의 증가에 따라서 조도계수가 함께 증가하였다.

4. 관의 내면이 평활한 수지강관을 직경별로 현장에서 실험한 결과, 임의의 Froude 수에 대하여 직경이 클수록 조도계수가 다소 증가하며 조도계수는 0.095~0.0214정도를 나타내었다.

결론적으로 본 연구 결과는 파형관의 유량과 수위 및 유속의 규모별로 조도계수를 세부적으로 도출하여 용배수 시스템 설계에 활용될 수 있다. 또한, 파형강관의 조도계수는 관의 재질은 물론이고, 파형 및 이음 형태, 관재료의 노후화에 따른 부식정도, 퇴적물의 영향 등에 따라 달라지므로 이러한 여건을 고려하여야 하는 경우에는 별도의 시험을 행하는

것이 바람직하다.

#### 참고문헌

1. 농어촌진흥공사, 1998. 수지파형강관 조도계수 수리시험보고서, 농업촌진흥공사 농어촌연구원.
2. Aisenbrey, 1974. Design of Small Canal Structure, United States Department of the Interior.
3. Brebbia, C. A., 1983. Computational Hydraulics, Butterworth & Co. Ltd.
4. Novak, 1981. Models in Hydraulic Engineering, Pitman Advanced Publishing Programme.
5. P. Novak, A. I. B. Moffat, 1998. Hydraulic Structures, E & FN SPON.
6. Richard H. French, 1985. Open Channel Hydraulics, McGraw Hill Book Company.
7. Robert L. Daugherty, 1985. Fluid Mechanics with Engineering Application.