

# 개수로내 식생에 의한 Manning계수의 변화 Variation of Manning's Coefficient due to Vegetation in Open Channel

권갑근\* · 김형석\*\* · 윤성범\*\*\*

Kwon, Kab Keun · Kim, Hyung-Seok · Yoon, Sung Bum

## Abstract

The vegetation in the surrounding area of river is a primary factor to increase water level during flood. The influence of vegetation on the river flow in a bank has been investigated by using a hydraulic experiment. For a hydraulic experiment square-shaped piers are used as a model of unsubmerged rigid vegetation in a open channel. For fully developed uniform flows, the water elevation of the experiment was measured as varying the interval of piers and the porosity which presents the fraction of water flowing area in the cross-sectional area. The Manning's roughness coefficient, which implicates energy losses due to the vegetation, was obtained by using the experimental data. As a result, the energy losses were varied when the distance of piers and the porosity of area were changed, and the Manning's coefficient increased nonlinearly when a water elevation increased.

**key words** : vegetation, hydraulic experiment, multi-piers, energy losses, Manning's coefficient

## 1. 서 론

제방내의 식생(vegetation)지역은 하천흐름의 에너지 손실을 발생시키고 이는 하천수위를 증가하게 만들어 결국에는 하천이 제방을 넘어 범람하게 된다. 특히 나무와 같이 완전히 잠기지 않는 식생지역의 하천의 흐름은 식생의 후면부에 발생하는 와류(eddy)로 인하여 복잡한 흐름양상을 보이며 이를 해석하기 위해서는 우선적으로 홍수터와 식생지역의 형상을 단순화시킨 수리모형실험을 통해 식생주변에 발생하는 흐름저항의 기초적인 이론을 이해하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구는 완전히 잠기지 않는 식생지역의 흐름현상을 수리학적으로 해석하기 위하여 수리모형실험을 수행하였다. 실험결과 식생의 배열등 위치변화에 따라 다양한 흐름저항이 관측되었다. 수리실험을 통해 얻은 실험결과는 홍수나 해일로 인한 범람해석 분야에 이용될 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. 이 론

수로에 존재하는 모형식생에 의한 에너지손실을 나타내기 위하여 Manning의 평균유속공식을 사용하였다.

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S_f^{1/2} \quad (1)$$

여기서  $V$ 는 평균유속,  $n$ 은 Manning의 조도계수이고  $R_h$ 는 동수반경,  $S_f$ 는 에너지경사이다. 등류상태

\* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: kkkwon@hanyang.ac.kr

\*\* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: xeans9097@naver.com

\*\*\* 정회원·한양대학교 토목공학과 · 교수 · 교신저자·E-mail: sbyoon@hanyang.ac.kr

(uniform flow)에서 에너지경사  $S_f$ 는 수로경사  $S_0$ 로 표현할 수 있다. 평균유속  $V$ 는 실험에 사용된 유량  $Q$ 를 구조물을 무시한 유수단면적  $A$ 로 나누어 계산하였다. 무한히 넓은 수로로 가정하였기 때문에 동수반경  $R_h$ 는 등류수심  $y$ 로 대체하였다. 실험을 통해 등류수심  $y$ 와  $S_0$ ,  $V$ 를 측정할 수 있었으며  $n$ 값을 구하기 위하여 다시 정리하면 다음과 같다.

$$n = \frac{1}{V} y^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2)$$

### 3. 수리모형실험

수리모형실험에 사용된 개수로와 모형식생의 제원은 그림 1과 같다. 개수로의 길이는 12m, 높이와 폭은 각각 40cm이다. 모형식생은 정방형의 다열기둥을 사용하였으며 한번의 길이는 114mm, 높이는 150mm이다.

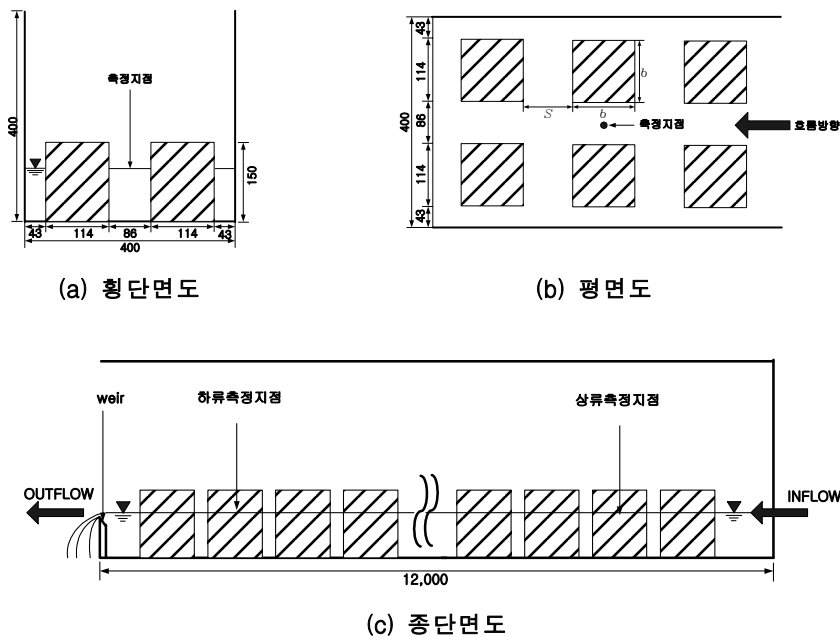


그림 1. 수리모형실험의 단면도(단위 mm)

실험방법은 우선 정방형 모형다열기둥을 수로에 일정한 간격  $s$ 로 이격시켜 배치한 후에 유량을 고정시킨 후 물을 유수시켰다. 일정유량에 대한 다양한 수심값  $y$ 를 측정하기 위하여 수로에 0.001~0.01의 경사를 주고 하류 수위조절 웨어를 조절하여 등류를 형성시킨 뒤에 초음파 수위계를 사용하여 상류, 중류, 하류의 3지점의 수위를 계측하여 평균등류수심을 측정하였다. 측정된 평균등류수심은 Manning의 평균유속공식에 대입하여 Manning계수  $n$ 값을 계산하였다. 그래프를 통해 산출된  $n$ 값과 수심  $y$ 와의 관계를 비교·분석한 후에 유량을 다르게 한 뒤 위의 과정을 반복하였다. 실험에 사용된 유량은 약  $0.002\text{m}^3/\text{s}$ ,  $0.003\text{m}^3/\text{s}$ ,  $0.004\text{m}^3/\text{s}$ ,  $0.005\text{m}^3/\text{s}$ ,  $0.006\text{m}^3/\text{s}$ ,  $0.007\text{m}^3/\text{s}$ 의 6가지이고 모든 유량에 관한 실험이 끝난 후에 이격거리를 다르게 한 후 위의 실험과정을 반복하였다. 실험에 사용된 이격거리는 0, 3.6, 6.0, 7.4, 8.6, 9.9, 11.0, 12.4, 16.3, 18.9, 24.8, 40.0, 50.0, 70.0, 111.0cm의 15가지이다. 이격거리에 관한 실험이 끝난 후 면적공극률에 관한 수리실험을 하기 위하여 수로폭방향으로 다열기둥의 배열을 다르게 한 후 15가지의 이격거리에 대한 실험을 반복하였다. 실험 수로 폭의 제원상 다열기둥의 배열은 1열과 2열의 2종류 배열을 사용하였다.

## 4. 수리실험결과

### 4.1 이격거리와 $n$ 값과의 관계

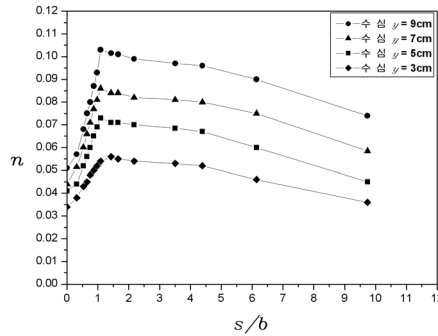


그림 2. 이격거리비  $s/b$ 와  $n$ 값과의 관계

정방형 다열기둥의 폭  $b$ 는 기둥배후에 생기는 와류의 크기에 영향을 주며 폭이 클수록 배후면에 생성되는 와류의 크기도 증가하게 된다. 여기서  $s/b$ 는 이격거리  $s$ 를 다열기둥의 폭  $b$ 로 나누어 준 것을 의미하며 실험에 사용된 기둥의 폭  $b$ 는 114mm이고 고정된 값이다. 그림 2는 모형기둥을 2열로 배치하고 수심을 각각 9cm, 7cm, 5cm, 3cm로 고정했을 경우에 대해 이격거리에 따른 Manning계수  $n$ 값의 변화를 도기한 것이다. 실험결과  $s/b$ 가 1.1보다 작은 경우 이격거리가 증가할수록  $n$ 값은 증가하였다. 이격거리비  $s/b$ 가 약 1.1일때  $n$ 값은 최대값으로 측정되었고  $s/b$ 가 1.1보다 증가하면  $n$ 값은 서서히 감소하였다.  $s/b < 1.1$ 인 경우, 이격거리가 증가할수록 기둥배후에 와류가 발생할 수 있는 공간도 넓어지기 때문에 와류의 크기는 커지고 에너지 소모는 증가하게 되므로 Manning계수  $n$ 값도 같이 증가하게 된다.  $s/b = 1.1$ 인 경우, 기둥 배후에 와류가 발달할 수 있는 공간이 충분히 확보되어 와류는 발달할 수 있는 최대의 크기로 발생하게 되고  $n$ 값 또한 최대값을 가진다.  $s/b > 1.1$ 인 경우, 와류가 최대로 발달할 수 있는 배후공간이 확보되지만 단위길이당 기둥의 수가 감소하기 때문에 기둥배후에 발생하는 와류의 수 역시 감소하게 되어  $n$ 값은 이격거리가 증가할수록 점점 감소한다.

### 4.2 수심과 $n$ 값과의 관계

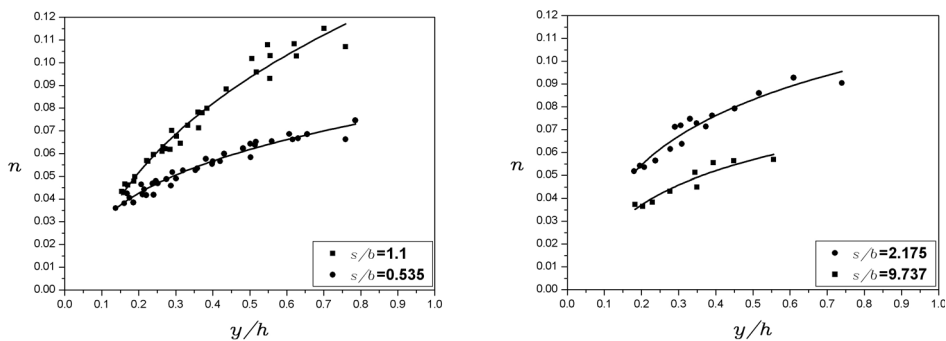


그림 3. 수심비  $y/h$ 와  $n$ 값과의 관계

일반적인 하천에서 자갈이나 풀 등의 조고가 수심에 비해 매우 작아 물속에 완전히 잠기는 경우 하천의 Manning계수  $n$ 값은 수심에 따른 변화가 매우 작다. 그러나 수로내에 수위보다 높은 구조물이 존재하면 그림 3에서 확인할 수 있듯이  $n$ 값은 수심이 증가할수록 증가하게 된다. 그림 3은 수심  $y$ 에 대한  $n$ 값과의 관계에 대한 2열 다열기둥의 실험결과를 이격거리별로 회귀분석을 통해 나타낸 그림이다. 수심비  $y/h$ 는 다열기

등의 높이  $h$ 에 대한 수심  $y$ 의 비로 0이면 물이 흐르지 않는 상태이며 수심비가 1이면 다열기둥이 완전히 잠겨있는 상태이다. 수로내 수위보다 높은 구조물이 존재할 때 수심이 증가할수록 기둥 후면부에 생기는 와류의 연직길어도 같이 증가하기 때문에 에너지 손실은 증가하게 되어  $n$ 값 역시 증가한다. 또 수심이 증가할수록  $n$ 값은 증가하지만 비선형적으로 증가함을 확인할 수 있다.

### 4.3 면적공극률과 $n$ 값과의 관계

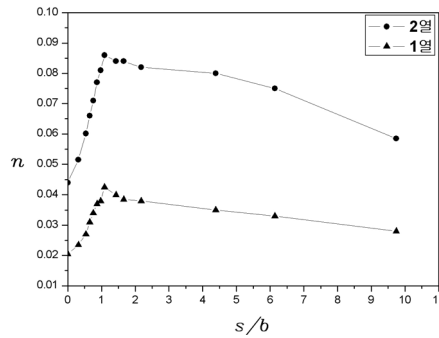


그림 3. 면적공극률과  $n$ 값과의 관계

면적공극률은 수로의 전단면적에서 구조물을 제외한 물이 유수할 수 있는 단면적의 비를 의미한다. 면적공극률이 Manning계수에 미치는 영향을 규명하기 위해 기둥을 1열로 배치한 경우에 대해 추가적인 실험을 수행하고, 2열 기둥의 결과와 비교하였다. 그림 3은 수심 7cm에서 이격거리별로 면적공극률에 대한  $n$ 값의 실험결과이다. 모형기둥의 배열이 2열에서 1열로 감소하면 수로내 기둥면적의 감소로 인한 유수단면적의 증가로 면적공극률은 증가한다. 유량과 수심이 일정한 상황에서 면적공극률이 증가하면 유수단면적의 증가로 인하여 기둥사이의 유속은 감소한다. 이때 감소된 유속으로 인하여 수로내 에너지 소모 역시 감소하게 되어 Manning계수  $n$ 값은 감소한다. 그리고 면적공극률에 상관없이  $n$ 값은  $s/b=1.1$ 에서 최대값이 됨을 그림 3에서 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

수리모형실험을 수행하여 수로내 수위보다 높은 기둥이 존재하는 경우 Manning계수  $n$ 값은 다음과 같이 변화하는 것을 확인하였다. 첫 번째로 기둥폭에 대한 이격거리의 비  $s/b$ 가 1.1보다 작은 경우 이격거리가 증가할수록  $n$ 값은 증가하며 이격거리비  $s/b$ 가 약 1.1일때  $n$ 값은 최대값을 가진다. 그러나  $s/b$ 가 1.1보다 증가하게 되면  $n$ 값은 서서히 감소하였다. 두 번째로 수심이 증가할수록  $n$ 값은 비선형적으로 증가함을 확인하였다. 세 번째로 면적공극률이 감소할수록  $n$ 값은 증가하는 것을 확인하였고 면적공극률에 상관없이  $n$ 값은  $s/b=1.1$ 에서 최대값이 된다. 이런 실험결과로부터 수로내 수위보다 높은 휘지않는 강성식생이 존재하는 경우의 Manning계수  $n$ 값은 이격거리, 수심, 면적공극률의 함수라는 것을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 첨단도시개발사업의 해저시설물 차폐기술 개발(과제번호 05건설핵심D10)을 위한 한국건설기술 연구원의 위탁과제중 일부로서 연구비 지원에 감사를 표합니다.

### 참고문헌

1. Fathi-Maghadam, M. and Kouwen, N. (1997). Nonrigid, Nonsubmerged, Vegetative Roughness on Floodplains. *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, pp. 51-57.