

# 인천연안도서지역 소하천의 조도계수 산정(영흥도를 중심으로)

Estimate of Roughness Coefficient for Stream at Island of Incheon

최계운\*.정연중\*\*.한만신\*\*\*

Gye Woon Choi, Yeoun Jung Chung, Man Shin Han

## Abstract

The roughness coefficients at stage gaging station were calculated and suggested based upon figures and formulae. The results shows that roughness coefficient decreases by increasing the discharge with the exception of no change or increasing in the cases having the tall vegetation and big influence from the stream bank. As a result of the research about the water quality in streams, vegetation and aquatic organisms, the paper suggests the need for management system to protect the organisms in danger of extinction and the need for preserving the diverse species at the estuary that is located in the downstream.

**Key Word :** Roughness Coefficient, Stream of Island.

## 1. 서 론

흐름에 대한 하도의 저항 정도를 표시하는 조도계수(Roughness Coefficient)는 하천의 여러 가지 수리계산을 실시할 때 가장 중요한 기본적 자료중의 하나이다. 조도계수의 연구동향을 분석하여 보면 연구실에서 행하여지는 수리모형실험에 의한 조도계수의 특성치 분석과 실제유역을 대상으로 조도계수를 산정하는 방식으로 이루어지고 있다. 현장 조사결과를 바탕으로 실시한 연구의 경우 몇몇 지점의 조도계수 변화를 흥수량과 연계하여 산정하는 경우가 주종을 이루고 있으나, 연구된 결과를 하천내 적용할 수 있도록 하는 경우는 매우 적다. 특히, 현장조사는 대부분 흥수 후기록을 이용하여 그 때의 상황을 재현하는 연구가 진행됨으로써 흥수당시의 하상의 상태나 호안의 상태 등의 특성을 제대로 반영하였는가에 대한 의문도 있는 것이 사실이다. 뿐만 아니라, 이와 같은 연구는 대부분이 내륙지역내 하천에 한정함으로써 연안도서 하천내 적용 가능한 조도계수에 대한 연구나 흥수시 실제 관측을 통한 연구가 거의 진행되지 못한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 도서지역내 여러 하천에 대한 관측을 동시에 실시하여 연안도서하천의 특성을 나타낼 수 있는 조도계수를 제시함으로써 도서지역 하천의 특성을 제시하고자 한다.

## 2. 기본이론 및 대상유역

### 2.1 하도내 조도계수

일반적으로 하천의 조도계수를 산정하기 위해서는 Manning의 평균 유속공식에 의하여 식 (1)과 같이 대상구간의 유량측정성과와 해당유량에 대한 마찰경사를 알아야 한다.

\* 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과 교수·E-Mail : gyewoon@incheon.ac.kr

\*\* 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과·공학박사·E-Mail : chungyj@incheon.go.kr

\*\*\* 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과·박사과정·E-Mail : 8190hansman@hanmail.net

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서,  $Q$ 는 유량( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $n$ 은 조도계수,  $A$ 는 유수단면적( $\text{m}^2$ ),  $R$ 은 동수반경( $\text{m}$ ),  $S_f$ 는 마찰경사이다. 등류공식을 이용해서 조도계수를 구하는데 있어서 가장 어려운 점은 마찰경사의 결정이다. 흐름이 등류이면 마찰경사와 수면경사, 하상경사 등이 모두 동일하기 때문에 하상경사를 이용하여 조도계수를 계산할 수 있지만 흐름이 부등류인 경우 마찰경사를 산출한 후에 조도계수를 계산할 수 있다.

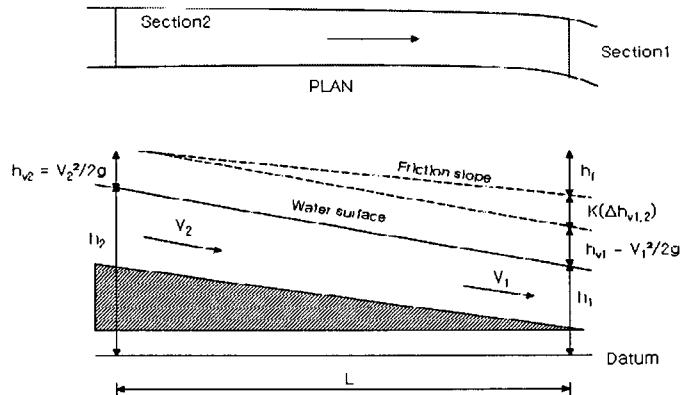


그림 1. 하천의 지배단면 개요

그림 1과 같이 두개의 횡단면으로 이루어지는 임의 하천구간에서의 마찰경사는 식 (2)와 같다.

$$S_f = \frac{h_f}{L} = \frac{\Delta h + \Delta h_v - k(\Delta h_v)}{L} \quad (2)$$

여기서,  $h_f$ 는 임의 하천구간에서 마찰에 의한 수두손실이고  $L$ 은 하천 구간의 길이이며  $\Delta h$ 는 상하류 횡단면에서의 수위차이다.  $\Delta h_v$ 는 상하류 횡단면에서의 속도수두의 차이며,  $k(\Delta h_v)$ 는 하류단면의 축소 또는 확대에 따른 흐름의 가속 또는 감속에 의한 에너지 손실이며 통상 축소구간은 0으로 두고 확대구간은 0.5를 취한다.

표 1. 하천 및 수로의 조도계수

하천 및 수로의 상황		$n$ 의 범위
인 공 수 로 개 수 하 천	콘크리트 인공수로	0.014 ~ 0.020
	나선형(spiral) 반관(半管)수로	0.021 ~ 0.030
	양안에 돌붙임이 적은 수로	0.025(평균치)
	암반을 굴착하여 방치한 하상	0.035 ~ 0.050
	다듬은 암반 하상	0.025 ~ 0.040
	점토성 하상, 세굴이 일어나지 않을 정도의 유속	0.016 ~ 0.022
	사질 Loam, 점토질 Loam	0.020(평균치)
	Drag Line 굴착준설, 잡초 적음	0.025 ~ 0.033
자 연 하 천	평야의 소하천(잡초 없음)	0.025 ~ 0.033
	평야의 소하천(잡초와 관목(灌木)있음)	0.030 ~ 0.040
	평야의 소하천(잡초 많음, 잔자갈 하상)	0.040 ~ 0.055
	산지하천(호박돌)	0.030 ~ 0.050
	산지하천(큰호박돌)	0.040이상
	큰하천(점토, 사질하상, 사행(蛇行)이 적음)	0.018 ~ 0.035
큰하천(자갈 하상)		0.025 ~ 0.040

자료 : 하천설계기준, 2005, 건설교통부

상·하류 하천 횡단면에서의 속도수두  $h_v$ 는  $\alpha V^2/2g$ 이며  $g$ 는 중력가속도,  $V$ 는 평균유속,  $\alpha$ 는 속도계수로서 수로횡단을 통하여 균등한 유속분포임을 의미한다. 속도계수는 층류와 난류 상태에 따라 다른 값을 갖게 된다. 흔적홍수위 등의 현장조사결과를 활용하기 어려운 경우나, 산정된 결과를 검토할 때, 하천설계기준(2005)에서 제시하고 있는 하천 및 수로에서 사용되는 대표적인 조도계수는 표 1과 같다.

## 2.2 대상유역 현황 및 유량조사

수위 및 유속측정을 위하여 인천광역시 옹진군내에 위치한 영흥도를 대상으로 실시하였으며, 연육도로가 개설되어 강우시 이동하기 편리한 도서를 선택하였다. 영흥도 내의 총 9개 하천 중에서 신답천과 중앙천을 제외하고 배수위 영향이 없는 7개 소하천을 대상으로 11개 지점에 대하여 유량산정을 위한 수위표를 설치하였으며, 유속측정을 위하여 저수위에는 1차원 유속계인 SENSA-Z300을 사용하였고, 홍수위에는 부자측정을 실시하였다.

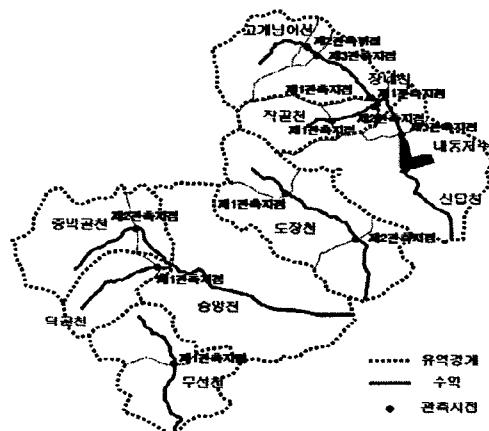


그림 2 수위표 설치지점 및 하천현황



그림 3 수위표 설치 및 유속측정현황

유량조사를 위하여 2006년 6월 ~ 7월까지의 장마철에 대한 유량 조사를 실시하였으며, 강우자료는 영흥도 면사무소 옥상에 설치된 자기우량관측기(AWS)를 이용하여 데이터를 추출하였다.

## 3. 조도계수-유량 곡선식 산정

### 3.1 조도계수 산정 방법

본 연구에서는 조도계수를 Manning 공식을 이용한 등류계산에 의하여 산정하였다. 입력자료로 이용되는 하상경사는 수위관측지점으로부터 수로의 만곡이 없는 지점에 대한 거리와 표고차를 이용하여 산정하였고, 현장에서 측정된 수위를 CAD도면상의 횡단면도에 적용하여 흐름단면적과 윤변을 결정하였다. 현장에서의 유속은 흐름 폭을 기준으로 3등분하여 측정하였기 때문에 각각의 분할된 단면의 조도계수를 합성조도계수로 산정하였다. 각 지점별 입도분석을 실시하기 위하여 하상의 시료를 채취하여 체분석 실험을 실시하였으며, 체분석실험을 통하여 도출된 입도분석 결과에 따라 평균입경( $d_{50}$ )을 산출하였다. 조도계수를 산정하기 위하여 수위표가 설치된 총 24개 지점 중에서 15개 지점에 대하여 수위, 유속을 측정하였으며, 배수위 영향을 받는 하류부와 강우가 작은 지점에 대하여는 제외하였다.

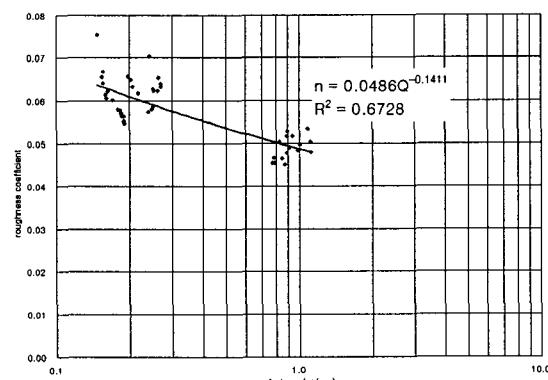
### 3.2 호안이 자연상태인 경우

본 실험대상 유역인 영흥도의 하천 호안의 구성형태를 살펴보면, 대부분이 석축으로 구성되어 있으며, 산지 상류부는 자연 미개수 상태로 존재하고 일부구간 섬유호안공 등으로 존재하고 있다. 따라서, 본 실험에서는 호안의 종류에 따라 크게 자연상태와 석축의 형태를 구분하여 조도계수 산정치를 비교하였다.

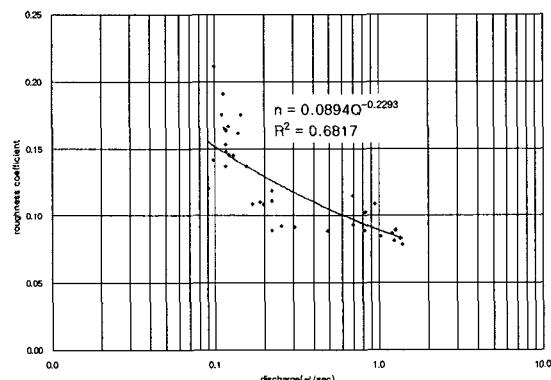


그림 4. 조도계수 산정을 위한 지점 현황(호안이 자연상태인 경우)

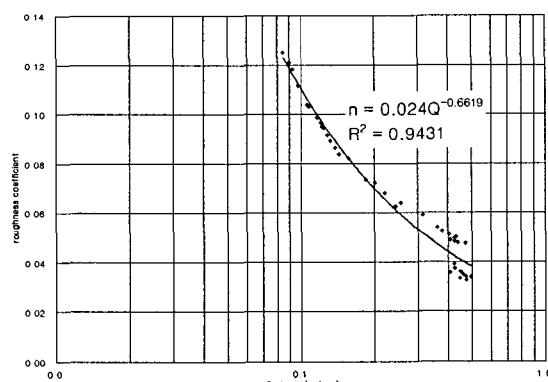
그림 4는 조도계수 산정을 위하여 호안이 자연상태인 지점에 대한 현장사진을 보여주고 있으며, 대부분이 하천의 상류부에 위치하고 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 유량과 조도계수의 상관관계를 그래프로 도식하였을 때, 유량이 커질수록 조도계수가 작아지는 특징을 나타내고 있으며, 하천의 상류부에 위치하고 있는 지점보다 하류측에 위치하고 있는 지점일 경우 유량과 조도계수간의 기울기가 상대적으로 크게 나타나고 있다



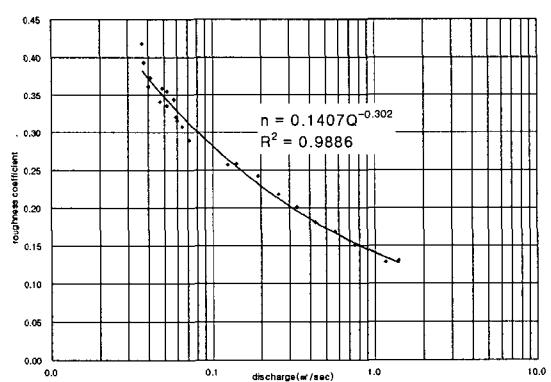
(a) 고개넘어천 제1관측지점



(b) 고개넘어천 제2관측지점



(c) 고개넘어천 제3관측지점



(d) 장내천 제3관측지점  
그림 5. 호안이 자연상태인 지점의 유량-조도계수 관계곡선식

### 3.3 호안이 석축인 경우

본 실험대상 유역에서 호안이 석축인 경우는 대부분 중류부에 위치하고 있으며, 하도내 식생의 활착이 활발하게 진행된 상태이다. 저유량일 때는 하도 일부구간에서 유하하지만 강우가 증가하여 홍수시에는 하도 전체로 흐름이 진행된다. 따라서, 저유량일 때는 하도의 영향이 지배적이며, 수위가 증가할 수록 호안의 영향이 고려되는 특징을 나타내고 있다.



그림 6. 조도계수 산정을 위한 지점 현황(호안이 석축인 경우)

그림 7에서 보는 바와 같이 일반적으로 유량이 증가할수록 조도계수가 값이 감소하는 경향을 나타나고 있으나, 중박골천 제2관측지점에서와 같이 저유량일 때 하도의 영향으로 인하여 유량이 증가함에도 불구하고 조도계수가 동시에 증가하다가 일정 유량이 되면 조도계수가 다소 감소하는 곡선식을 나타내는 경우도 있다. 따라서, 조도계수 산정시 저유량 상황을 고려하여 하천을 설계하는 것이 바람직하다.

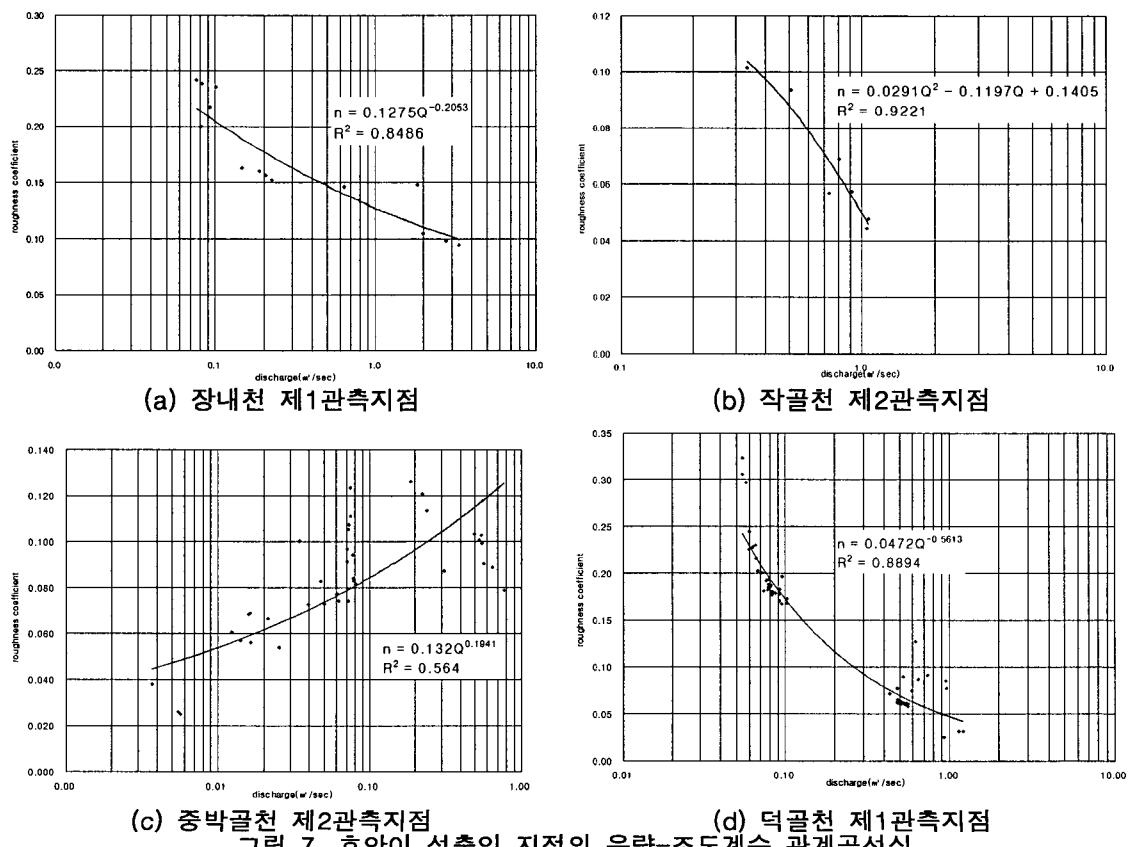


그림 7. 호안이 석축인 지점의 유량-조도계수 관계곡선식

### 3.4 실측된 조도계수와 하천설계기준의 조도계수 범위 비교

영흥도 하천의 수리학적 특성인자 중 조도계수의 산정을 위하여 배수위 영향을 받지 않는 8개 지점에 대한 수위, 유속 측정결과를 활용하였다. 유량변화에 따른 조도계수 값을 얻기 위하여 갈수시 유량에서 홍수시 유량까지 폭 넓게 측정하였으며, 대부분의 지점에서 유량이 증가할수록 조도계수는 감소하였으나, 호안의 영향을 크게 받는 경우 유량이 증가함에 따라 조도계수는 거의 변화되지 않거나 일부에서는 오히려 증가되는 현상도 나타내기도 하였다. 표 2에서 보는바와 같이 하천설계기준(건설교통부, 2005)에서는 산지하천의 큰호박돌 조건에 대한 기준을 적용하였을 때, 0.04이상으로 최대값을 보이고 있으나, 영흥도의 소하천에서 실측된 조도계수값의 범위는 최대 0.418까지 산정되었다. 하천설계기준 등에서 제시된 조도계수보다 현장에서 실측된 조도계수를 이용할 때 홍수위가 더욱 크게 산정되므로 도서지역 하천의 설계시에는 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

표 2. 연안도서 소하천 지점별 조도계수 비교

지점명		하상경사	$d_{50}$ (mm)	조도계수범위	하천설계기준	호안상태
고개넘어천	제1관측지점	0.047	9.7	0.045 ~ 0.076	0.030 ~ 0.050	자연상태
	제2관측지점	0.018	8.9	0.079 ~ 0.211	0.030 ~ 0.050	자연상태
	제3관측지점	0.012	7.1	0.033 ~ 0.104	0.030 ~ 0.050	자연상태
장내천	제1관측지점	0.018	13.4	0.095 ~ 0.242	0.040 ~ 0.055	석축
	제3관측지점	0.010	11.4	0.128 ~ 0.418	0.030 ~ 0.040	자연상태
작골천	제2관측지점	0.020	-	0.045 ~ 0.102	0.040 ~ 0.055	석축
중박골천	제2관측지점	0.012	11.4	0.025 ~ 0.126	0.040 ~ 0.055	석축
덕골천	제1관측지점	0.014	5.0	0.025 ~ 0.320	0.040 ~ 0.055	석축

### 4. 결 론

영흥도 소하천을 중심으로 8개 지점에 대한 조도계수에 대하여 실측 수위 및 유량변화를 고려하여 유량변화에 따른 각 하천내 수위측정지점의 조도계수 변화 양상을 제시하였으며, 하천설계기준에서 제시된 일반적인 조도계수값과 비교 분석을 실시하였다. 분석결과에 의하면 통상적인 상태에서 조도계수는 유량증가에 따라 감소하였지만, 하도내 식물이 크게 성장해 있거나 호안영향을 크게 받는 경우 유량이 증가함에 따라 조도계수는 변화되지 않거나 오히려 증가하는 경우도 있는 것으로 나타났다. 본 연구를 통하여 현장에서 실측된 조도계수를 이용하여 정확한 홍수위가 산정된다면, 연안도서지역의 하천관리에 있어서 좀 더 과학적이고 체계적인 방안으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. 건교부(2005), 하천설계기준
2. 정연중(2007), 하천특성을 고려한 연안도서지역의 하천관리방안, 박사학위논문, 인천대학교.
3. Hicks, D.M., Mason, P.D.(1988), "Roughness Characteristics of New Zealand Rivers", National Institute of Water and Atmospheric research Ltd. Christchurch, New Zealand.