

# 자연하천의 최적조도계수산정 GUI 시스템 구축

Establishment of GUI for the Optimal Roughness Coefficient Estimation

배덕효\*, 한건연\*\*, 박정우\*\*\*, 백창현\*\*\*\*

## 1. 서론

하천의 조도계수는 하상재료 및 식생, 하천구조물, 하도의 불규칙성, 하도정비 상태 등에 따라 변하는 특성을 지닌 수리학적 주요 변수 가운데 하나이다. 특히 정확한 하천 수위계산을 위해서는 정확도가 높은 조도계수 산정이 요구되나 현재 일반적인 조도계수 산정은 사용자의 주관적 방법에 많이 의존되는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 보다 객관적인 최적 조도계수를 산정할 수 있는 방법을 검토하고, 이를 하천 홍수위 해석모형 및 지형정보시스템(GIS)과 연계한 GUI 시스템을 개발하고자 한다. 조도계수 산정을 위해서 본 연구에서의 검토대상 방법은 하천의 수위자료 가용 유무에 따라 Cowan 방법, Chow의 도표 활용법, USGS의 사진자료 활용법, 역산조도계수 방법, 수위재현 계산법, 하상저항을 이용하는 방법 등이다

## 2. 조도계수 산정방법

하상표면의 특성을 나타내기 위해 사용하는 변수인 조도계수를 추정하는 방법에는 수위자료의 유무에 따라 6가지 방법을 검토하였다. 조도계수 산정을 위한 적절한 수위자료가 없는 경우에는 Cowan방법, Chow의 도표활용법, USGS의 사진자료 활용법이 있으며 각각의 방법에 추정된 조도계수 중 큰 값을 수리계산에 사용한다. 수위자료가 있는 경우에는 역산조도계수 방법, 수위재현 계산법, 하상저항을 이용하는 방법이 있으며 수위자료가 없는 경우의 산정법에 의해 추정된 값과 비교하여 적절한 조도계수를 산정한다.

### 2.1 Cowan의 방법

Cowan은 조도계수에 영향을 미치는 몇가지 인자를 고려하여 조도계수를 산정하는 식을 식(1)과 같이 제안하였으며, 각 계수값은 표 1에 제시된 바와 같다.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (1)$$

여기서,  $n_0$ 은 직선이고, 균등하고, 매끄러운 수로에 대한 기본적인  $n$ 값이고,  $n_1$ 은 표면의 비균일

---

\* 창원대학교 토목공학과, 부교수  
\*\* 경북대학교 토목공학과, 교수  
\*\*\* 창원대학교 토목공학과, 석사과정  
\*\*\*\* 경북대학교 토목공학과, 박사과정

성에 대한 가산치,  $n_2$ 는 단면의 형태와 크기의 변동에 대한 가산치,  $n_3$ 는 장애물에 대한 가산치,  $n_4$ 는 식생상태와 흐름조건에 대한 가산치,  $m$ 은 수로의 굴곡에 대한 보정계수이다.

### 2.2 Chow의 도표 활용법

이 방법은 여러 가지 실험자료와 관측자료로부터 하도의 재료, 식생상태 등을 고려하여 개략적인 조도계수를 추정할 수 있도록 Chow가 제시한 도표로부터 조도계수를 선정하는 방법이다. 표 2는 여러 수로형태 가운데 수로의 형태가 홍수터일 때의 각각 최대, 최소, 중간값의 조도계수값을 나타내고 있다.

### 2.3 USGS의 사진자료 활용법

USGS(U.S. Geological Survey)에서는 그림 1~3과 같이 미국 북서지역의 하천 조도계수에 대한 몇 가지 산정기준이 되는 사진자료를 제시하였으며, 이를 이용하여 해당지역의 조도계수값을 추측할수 있다(French, 1985).

표 1. Cowan의 조도계수의 산정을 위한 각 계수값의 기준

수 로 조 건		각 계수값	
하상재료	흙	$n_0$	0.020
	분쇄된암		0.025
	가는자갈		0.024
	굵은자갈		0.028
불규칙성 정도	평탄	$n_1$	0.000
	작음		0.005
	중간		0.010
	심함		0.020
수로단면의 변화	점진적변화	$n_2$	0.000
	가끔씩변화		0.005
	자주변화		0.010-0.015
장애물의 상대효과	무시할정도	$n_3$	0.000
	작음		0.010-0.015
	중간		0.020-0.030
	심함		0.040-0.060
식생	적음	$n_4$	0.005-0.010
	중간		0.010-0.025
	많음		0.025-0.050
	아주많음		0.050-0.100
만곡의도	작음	$m_5$	1.000
	중간		1.150
	심함		1.300

표 2. 조도계수 산정기준 (Chow, 1959)

수로의 형태 (홍수터)	최소값	중간값	최대값
a. 덩불이 없는 목초지			
1. 짧은 잡초	0.025	0.030	0.035
2. 긴 잡초	0.030	0.035	0.050
b. 경작지			
1. 곡물이 없는 경우	0.020	0.030	0.040
2. 성장한 작물이 있는 논	0.025	0.035	0.045
3. 성장한 작물이 있는 밭	0.030	0.040	0.050
c. 덩불			
1. 덩불이 드문드문 나고, 잡초가 많은 경우	0.035	0.050	0.070
2. 겨울에 적게 난 덩불과 나무들	0.035	0.050	0.060
3. 여름에 적게 난 덩불과 나무들	0.040	0.060	0.080
4. 겨울에 뽕뽕하게 혹은 적당하게 난 덩불	0.045	0.070	0.110
5. 여름에 뽕뽕하게 혹은 적당하게 난 덩불	0.070	0.100	0.160
d. 나무			
1. 여름에 곧고, 뽕뽕한 버드나무	0.110	0.150	0.200
2. 싹이 없는 나무 그루터기로 된 깨끗한 대지	0.030	0.040	0.050
3. 새싹이 많은 것 외에는 위와 동일한 조건의 대지	0.050	0.060	0.080
4. 뽕뽕한 높은 나무에, 약간의 작은 나무들	0.080	0.100	0.120
5. 분지점에 도달하기전이라는 것 이외에는 위와 동일한 홍수터	0.100	0.120	0.160

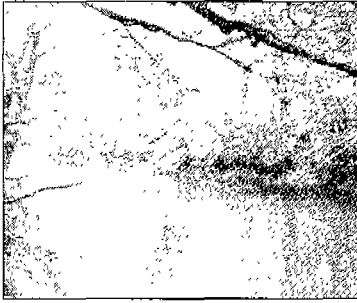


그림 1. 점토질 하상 및 제방  
( $n=0.026$ )

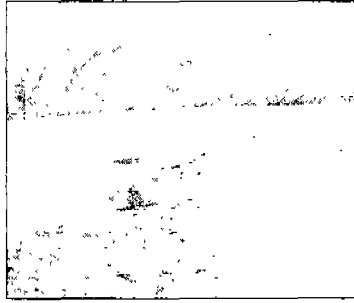


그림 2. 모래와 자갈로 구성된  
하상 ( $n=0.032$ )



그림 3. 모래, 자갈 및 등근바위로  
구성된 하상 ( $n=0.041$ )

#### 2.4 역산조도계수에 의한 방법

각 하천에서는 최적 하도계획의 수립과 하천관리 및 수자원 개발을 위해서 유량관측소를 설치하여 운영하고 있다. 유량관측소에서는 통상 자기기록계에 의해 수위를 계속적으로 관측하고 있는데, 수면경사, 경심 등이 관측되므로 Manning의 평균 유속공식에 의해 조도계수를 역산할 수 있다.

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

여기서,  $n$  = Manning의 조도계수,  $A$  = 단면적,  $Q$  = 유량,  $R$  = 경심,  $S$  = 경사이다. 홍수터를 가지는 복단면 수로에 있어서는 주로 토사에 의해 하상이 형성되고 있는 저수로부와 잔디, 수목 등으로 하상이 형성되고 있는 홍수터에서의 조도계수가 서로 다르므로 조도계수는 저수로부와 홍수터로 나누어 고려할 필요가 있다. 식 (2)에서 경사는 기본적으로 에너지 경사이지만, 통상은 수면 경사를 사용할 수 있다. 또한 유량관측소의 배치는 조밀하지 않기 때문에 역산조도계수만으로 연속한 하천의 조도계수를 결정하는 것은 충분하지 않다. 그러나 역산조도계수는 실측의 조도계수에 가까운 것이기 때문에 조도계수 검토시의 중요한 지표가 된다.

#### 2.5 수위재현 계산법

대규모 홍수가 발생된 뒤에는 제방 등에 남겨진 홍수중 최고수위의 흔적이 남는다. 이것을 홍수흔적수위라고 말한다. 이 홍수흔적수위를 이용해 조도계수를 검토하는 것이 수위재현 계산법이다. 수위재현계산에는 1차원 부등류 계산을 이용하는 방법과 등류를 가정해 조도계수를 구하는 방법이 이용된다. 1차원 부등류 계산법은 이전부터 수위 계산을 하는 때에 이용되는 방법으로 2차원 및 3차원 계산보다는 정확도가 떨어진다. 그러나 주로 수위만을 계산하고자 하면 모형이 간편하고, 계산시간이 작게 소요되므로 긴 하도구간에 대해서 계산을 수행할 수 있다. 조도계수를 가정해 계산 수위가 홍수 흔적 수위와 거의 근사할 때까지 시행착오법으로 계산하고, 조도계수를 결정한다.

#### 2.6 하상저항을 이용하는 방법

하상저항을 이용하는 방법은 기왕의 하상저항 이론을 이용한 물리조건과 하상입경 등으로부터

계획유량 유하시의 하상형태를 추정하고, 이것으로부터 강바닥 저항을 산정하고 조도계수를 산정하는 방법이다. 즉 식(3)으로 표현되는 일반적인 1차원 부등류 계산식에서 에너지경사  $S_e$ 는 조도계수(하상특성)에 의해 결정된다는 것에 기초한 것이며, 무차원 하상전단력과 에너지경사의 관계는 식(4)와 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \right) + S_e = 0 \quad (3)$$

$$\tau_* = \frac{RS_e}{sd} \quad (4)$$

여기서,  $H$  = 수위,  $\alpha$  = 에너지 보정계수,  $Q$  = 유량,  $g$  = 중력가속도,  $A$  = 단면적,  $R$  = 경심,  $S$  = 모래비중,  $d$  = 토립자 직경이다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 적용대상지역

연구 대상구간은 경기도 팔당댐 직하류부터 한강 인도교까지의 구간이며, 종단거리는 약 35.3km이다. 유입되는 대소 지류들은 왕숙천을 비롯하여 6개의 하천이 있다. 연구구간의 하도 단면자료는 횡단측량 성과가 모두 존재하며 서울시 관내구간은 하폭 750~1,200m 사이로 비교적 안정된 폭원을 유지하고 있으며, 1982년에서 1986년까지 한강종합개발사업으로 하도가 정비되어 저수로 폭 650~900m에 최소수심 2.5m을 유지하면서 상시유량이 유하하고 있다(서울특별시, 1998). 한강의 경기도 구간은 1993년 9월 미사리 지역의 개발사업이 완료되어 팔당댐에서 미사리 지역에 이르는 구간을 제외한 본 연구의 모든 대상구간은 하도정비가 이루어진 상태이다.

#### 3.2 홍수위해석 GUI 시스템

##### (1) 기본설계

GIS와 하천수리모형 연계의 개념은 외부모형의 입력화일에 대한 필요한 정보를 GIS 내부 프로그램에서 생성하도록 하는 것이다. 따라서 GIS 소프트웨어는 적절한 형식의 입력화일을 얻기 위하여 formatting된 프로그램을 수행하고 그 다음에 홍수위 해석모형을 수행한다. 최종적으로 모형의 결과가 처리되고 GIS로 다시 import되며 chart, table 및 view로 도시된다. 특히 본 연구에서는 ArcView 프로그래밍 언어인 Avenue에 의하여 customize된 project의 table과 view로부터 모형의 입력이 수행된다(ESRI, 1998). Compile된 script로 구성된 Avenue 프로그램은 메뉴선택에 의해 ArcView 인터페이스를 통하여 실행된다. 그 결과, free form text 화일이 형성된다. 이 text 화일은 FORTRAN 프로그램에 대한 입력이 되고, FORTRAN 프로그램은 모든 자료를 HEC-2의 입력화일로 변환시킨다. HEC-2가 수행된 후에 모형의 출력화일은 또 다른 FORTRAN 프로그램에 의해 필요한 결과만을 읽을 수 있도록 처리된다. 처리된 결과는 새로운 text 화일로 출력되고 Avenue를 이용하여 ArcView로 다시 import된다. import된 후에 결과는 table, chart 및 새로운 view의 형태로 도시된다.

(2) 지형자료의 구축

본 연구에서 지형자료는 한강유역에 대한 1:5000의 NGIS 수치지도가 이용되었고, 이 수치지도를 Arc/Info의 coverage로 변환하였다(국립지리원, 1995). 그리고 ArcView 상에서 작업이 가능하도록 shapefile로 변환하여 구획분할, 구획의 폭, 길이를 계산하였고, 한강 유역의 지형 및 수계망을 나타낼 수 있도록 하였다. 이 shapefile은 ArcView/HEC-2 모형수행 후의 결과를 도시하기 위해서도 이용된다(HEC, 1990). 그림 4는 한강 하류부 유역에 대한 전체 수계망도이다.

(3) 홍수위 해석시스템의 구성

ArcView/HEC-2 모형과 관련된 시스템은 그림 5~9와 같이 파일, 지형자료의 구성, 입력자료의 구성, 최적 조도계수의 산정, 부동류 모의, 결과도시, 모형의 보정 및 검증, 도움말 등으로 구성하였다. 또한 개발된 시스템을 서강대교 직상류부(St. No 30) ~ 광동대교 상류 아래여울 마을구간(St. No 85)에 팔당댐 방류량이 200cms인 경우 산정된 조도계수는 그림 10과 같다.

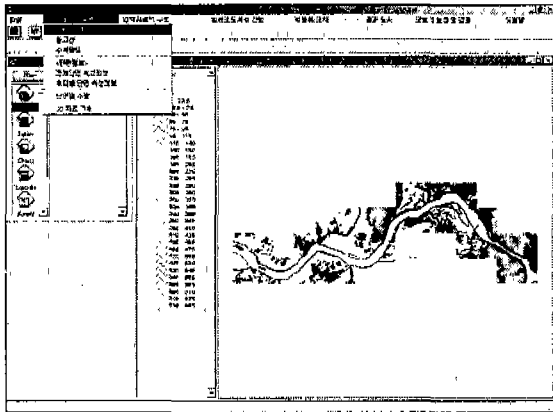


그림 4. 대상유역 (한강 하류부)

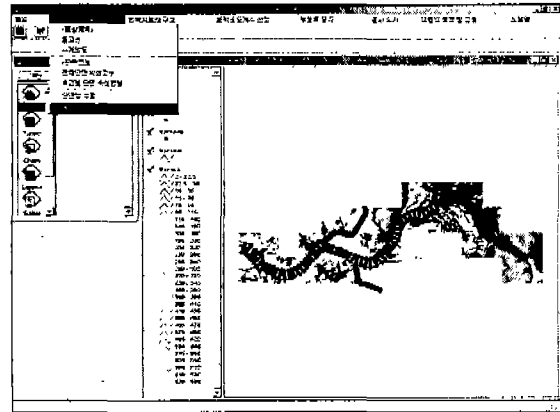


그림 5. 하도단면 자료의 입력

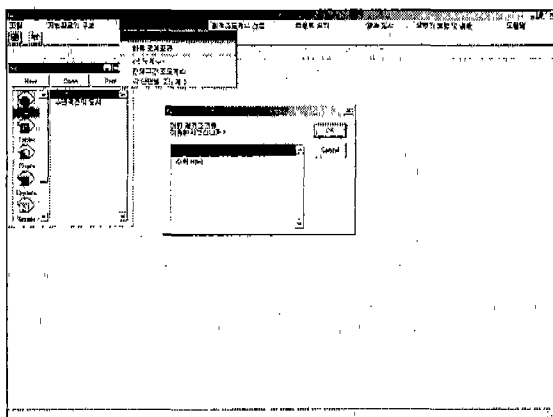


그림 6. 홍수위 계산을 위한 입력자료구축

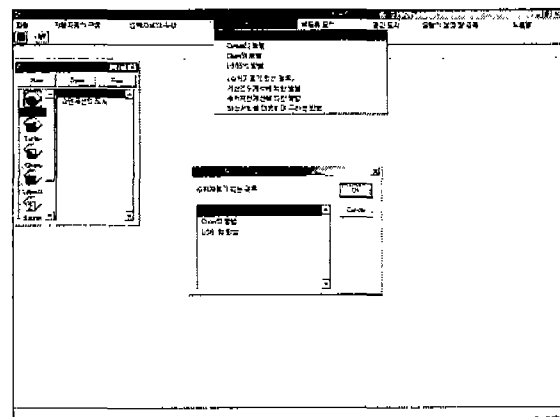


그림 7. 최적조도계수의 산정과정

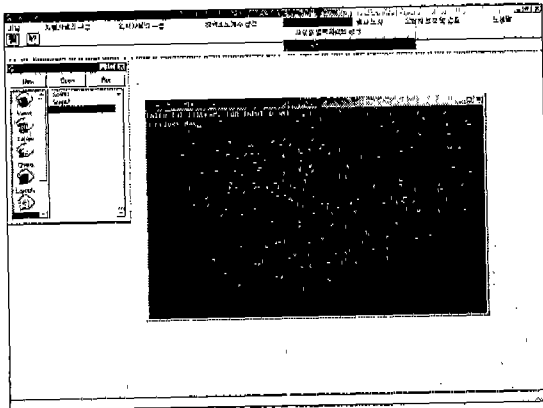


그림 8. 모형의 수행과정

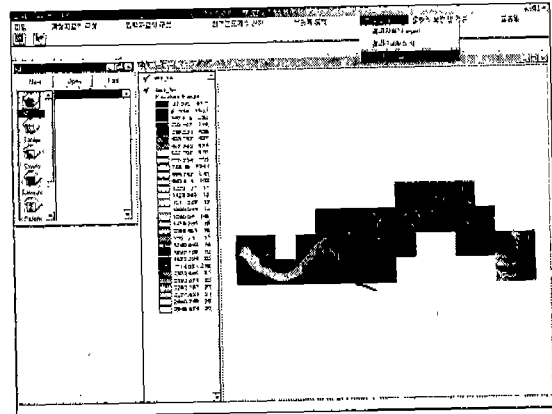


그림 9. 모의결과의 도시

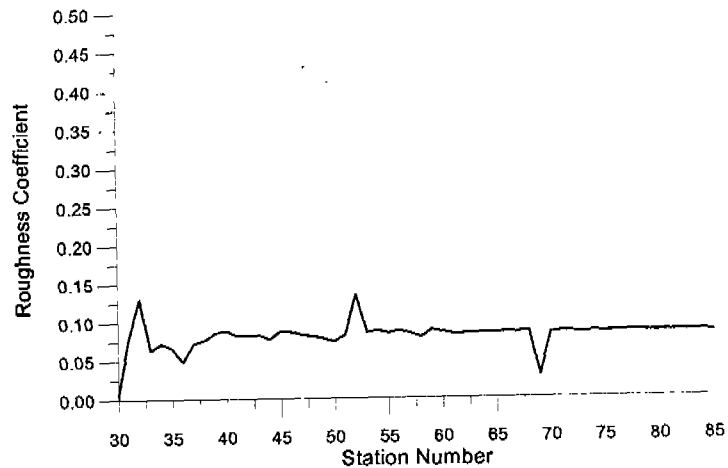


그림 10. 지점별 조도계수 결과값

#### 4. 결론

하천의 조도계수는 하도 상태에 따라 변하며, 하천 수위계산을 위해서는 정확도가 높은 조도계수 산정이 요구되나 현재 사용자의 주관에 의존되는 실정이다. 본 연구에서는 하천의 수위자료 가용유무에 따른 6가지 방법을 이용하여 보다 객관적인 최적 조도계수를 산정할 수 있는 시스템을 개발하여 한강 하류부(팔당댐-인도교) 구간에 적용하였다. 그 결과 상류유입유량이 갈수유량에 해당하는 200cms인 경우 한강 하류부 팔당댐 ~ 인도교 구간에서는 0.0038~0.1351로 나타났다.

#### 참고문헌

- 국립지리원(1995). "국가지리정보체계(NGIS) 구축 기본계획", 지리정보분과, 국립지리원.
- 서울특별시(1998). "한강수로 용역보고서", 한강관리사업소.
- ESRI(1998). "Programming with Avenue", Environmental System Research Institute, INC.
- French, R. H. (1995). "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill Book. Co.
- HEC(1990). "HEC-2 Water Surface Profile User's Manual", US Army Corps of Engineers.