

조도계수 적용의 문제점 및 개선방안

1. 서론

1.1 연구배경

- 국내에서 수자원 설계시 조도계수는 여러 가지 수리계산을 시행할 경우에 중요한 요소로 작용(홍수류계산, 홍수추적, 세굴심계산 등)
- 조도계수 결정시 수위 및 유량자료가 있을 경우 역산법을 통해 비교적 정확한 조도계수를 산정할 수 있으나, 수위 및 유량자료가 없을 경우에 하천의 여러 요소를 종합적으로 고려하여 결정해야 하기 때문에 정확한 조도계수 결정이 사실상 어려움
- 국내의 경우 대하천에는 수위 및 유량자료가 존재하지만 중소하천의 경우 자료가 없을 뿐더러 홍수흔적조사가 제대로 이루어지지 않아 실무에서 조도계수를 결정시 일반적으로 설계자가 하천의 하상상태를 고려하여 하천설계기준에 하천 및 수로상황에 따른 대표적 조도계수 값으로 제시된 표를 이용하여 결정
 - ☞ 각종 수리계산의 정확성 결렬의 주요 원인

1.2 연구목적

- 현재 국내에서 각종 수리계산시 중요한 매개변수(또는 요소)로 사용되는 조도계수 결정의 문제점 파악
- 국내의 조도계수 결정에 대한 설계기준 및 국내 외 연구사례, 외국의 조도계수 산정방법 등에 대해 분석하여 좀 더 정확한 조도계수를 결정할 수 있도록 개선방향을 연구

2. 조도계수 적용 및 문제점

2.1 우리나라 하천의 상황

- ▶ 국토의 2/3가 산지로써 대부분 산지하천 또는 산지하천과 평지하천을 동시에 구성
- ▶ 국내의 하천의 경우 상중하류간의 경사와 하상을 이루고 있는 물질들이 많은 차이를 보임
- ▶ 하천의 형태는 대부분 사행하천의 형태를 보임
- ▶ 하천의 단면은 대부분 복단면으로 저수로, 둔덕(둔치), 제방, 홍수터로 구성되어 지고, 평지하천의 경우 하도내에 많은 식생이 성장
- ▶ 수문학적으로는 6~9월에 년 강우의 60%이상 집중되고 하상경사가 급한 이유로 하천의 최대유량과 최소유량의 비로 정의되는 하상계수가 매우 높아 홍수기와 저수기가 확연히 구분되고, 집중호우로 인한 홍수로 많은 하천이 범람





2.2 하천설계기준

□ 조도계수 조사 일반사항

- ▶ 흐름에 대한 하도의 저항정도를 표시하는 조도계수는 하천의 여러 가지 수리계산을 시행할 경우에 가장 중요한 기본적 수치중의 하나임.
- ▶ 조도계수 값에는 흐름에 대한 불명확한 요소들이 여러 가지 모양으로 개입되어 있으므로 그 정확도는 유효숫자 둘째 자리 까지로 함.
- ▶ 하천개수공사가 완료된 복단면 하도의 경우에는 합성조도계수, 즉 저수로와 홍수터를 합성한 조도계수를 사용

□ 조도계수의 결정시 고려사항

: 정확도가 높은 조도계수를 얻기 위해서는 연속적으로 관측하고 검정할 필요가 있으며, 조도계수를 산정할 때 고려해야 할 사항은 다음과 같음

- 유량과 같은 수문량의 크기에 따른 변화
- 하도의 종횡단 모양에 따른 변화
- 인위적인 하상굴착, 하도개수, 하상저하 및 하상상승
- 실측오차 및 기타오차(유량, 경사, 수심, 흔적수위 측량오차, 계산오차 등)

□ 하도구간의 조도계수

- 하도구간의 조도계수는 부등류 계산의 역산에 의해 계산
- 저수로 조도계수, 홍수터 조도계수, 합성조도계수 산정
- 흔적홍수를 이용하여 조도계수를 결정할 수 없을 경우 일반적인 기준을 적용

❖ 하천 및 수로의 조도계수(하천설계기준)

하천 및 수로의 상황		n의 범위
인공수로개수하천	콘크리트 인공수로	0.014 ~ 0.020
	나선형 (spiral) 반관(半管)수로	0.021 ~ 0.030
	양안에 돌붙임이 적은 수로 (泥土床)	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
자연하천	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, 골재, 호박돌	0.030 ~ 0.050
	산지하천, 호박돌, 큰호박돌	0.040 ~ 이상
	큰하천, 점토, 사질 하상, 사행(蛇行)이 적음	0.018 ~ 0.035
	큰하천, 자갈, 하상	0.025 ~ 0.040

□ 흔적수위를 이용한 조도계수 결정

- 홍수흔적 조사 : 부등류계산에 따라 침투유량에 대한 조도계수를 역산하기 위해서는 하도내의 각 지점에 대한 최고수위 조사(수위계 또는 흔적수위 등)
- 홍수흔적 측정
 - 홍수흔적의 측정시 정확도는 수준측량, 채취점의 평균위치 결정 등 의해 좌우
 - 홍수유출후 최대한 빠른 시간내에 종단방향으로 세밀하게 조사(직선하도 : 50~100m)
- 수면경사 측정 : 부분적인 조도계수를 구하기 위한 수면경사 측정은 그 지점의 평균경사에 대응하는 구간거리를 측정해야 높은 정도를 기대 할 수 있음
- 조도계수의 역산법 적용
 - 종단으로 조밀한 흔적수위와 유량자료가 있는 경우에는 부등류계산, 부정류계산의 역산법을 적용
 - 수위관측소가 비교적 멀리 위치한 경우는 등류계산, 부등류계산의 역산법을 적용
 - 짧은 구간에 2~3개 지점의 자료만이 있는 경우 등류계산의 역산법을 적용

2.3 조도계수 산정방법

조도계수의 산정방법은 일반적으로 수위 또는 유량자료의 가용여부에 따라 구분 됨

□ 하천의 수위자료를 이용할 수 있는 경우

➤ 역산조도계수에 의한 방법

: 수위, 유량을 이용할 수 있는 지점에서 경심과 수면경사를 관측하여 Manning의 평균 유속공식에 의해 조도계수를 역산

$$n=(A/Q) R^{2/3} |^{1/2}$$

여기서, n은 Manning의 조도계수, A는 단면적, Q는 유량, R은 경심, I는 수면경사

➤ 수위 재현 계산법

: 홍수흔적수위를 이용해 조도계수를 검토하는 것으로 등류, 부등류, 부정류계산법을 이용하여 관측수위와 계산수위가 근사할 때까지 시행착오법으로 계산하여 조도계수를 결정하는 방법

➤ 하상 저항을 이용하는 방법

: 기왕의 하상저항 이론을 이용한 물리조건과 하상입경 등으로 부터 계획유량 유하시의 하상형태를 추정하고, 이것으로부터 강바닥 저항을 산정하고 조도계수를 산정하는 방법으로 1차원 부등류 계산식에서 에너지 경사 S_e 는 조도계수(하상특성)에 의해 결정된다는 것에 기초한 것임.

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

여기서, H는 수위, a는 에너지 보정계수, Q는 유량, g는 중력가속도, A는 단면적

□ 하천의 수위자료를 이용할 수 없는 경우

➤ Cowan의 방법

: 조도계수에 영향을 미치는 몇가지 인자를 고려하여 조도계수를 산정하는 방법

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

여기서, n_0 는 직선이고, 균등하고, 매끄러운 수로에 대한 기본적인 n 값(0.02~0.028)

n_1 은 표면의 비균일성에 대한 가산치 (0.000~0.020)

n_2 는 단면의 형태와 크기의 변동에 대한 가산치(0.000~0.015)

n_3 는 장애물에 대한 가산치(0.000~0.060)

n_4 는 식생상태와 흐름조건에 대한 가산치 (0.005~0.100)

m 은 수로의 굴곡에 대한 보정계수(1.000~1.300)

➤ Chow의 도표 활용법

: 여러 가지 실험자료와 관측자료로부터 하도의 재료, 식생상태 등을 고려하여 개략적으로 조도계수를 추정할 수 있도록 최소값, 중간값, 최대값으로 구분하여 제시한 도표로부터 산정

(도량 또는 도관의 흐름, 직선 또는 개수된 하천, 굴착 또는 준설된 하천, 자연하천으로 구분하여 제시)

Cowan의 조도계수 산정을 위한
각 계수값의 기준

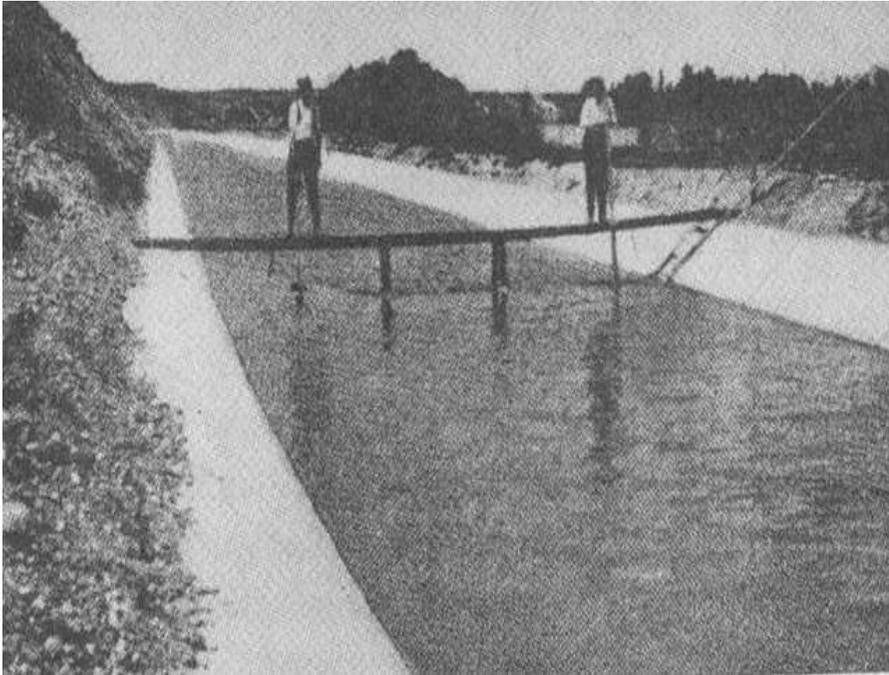
수로조건		각 계수값	
하상재료	흙	n ₀	0.020
	분쇄된 암		0.025
	가는 자갈		0.024
불규칙성 정도	굵은 자갈	n ₁	0.028
	평탄		0.000
	작음		0.005
	중간		0.010
수로 단면의 변화	심함	n ₂	0.020
	점진적 변화		0.000
	가끔시 변화		0.005
장애물의 상대 효과	자주 변화	n ₃	0.010-0.015
	무시할 정도		0.000
	작음		0.010-0.015
	중간		0.020-0.030
식생	심함	n ₄	0.040-0.060
	적음		0.005-0.010
	중간		0.010-0.025
	많음		0.025-0.050
반쪽의 정도	아주 많음	n	0.050-0.100
	작음		1.000
	중간		1.150
	심함		1.300

Chow의 조도계수 산정기준
(자연하천의 홍수터)

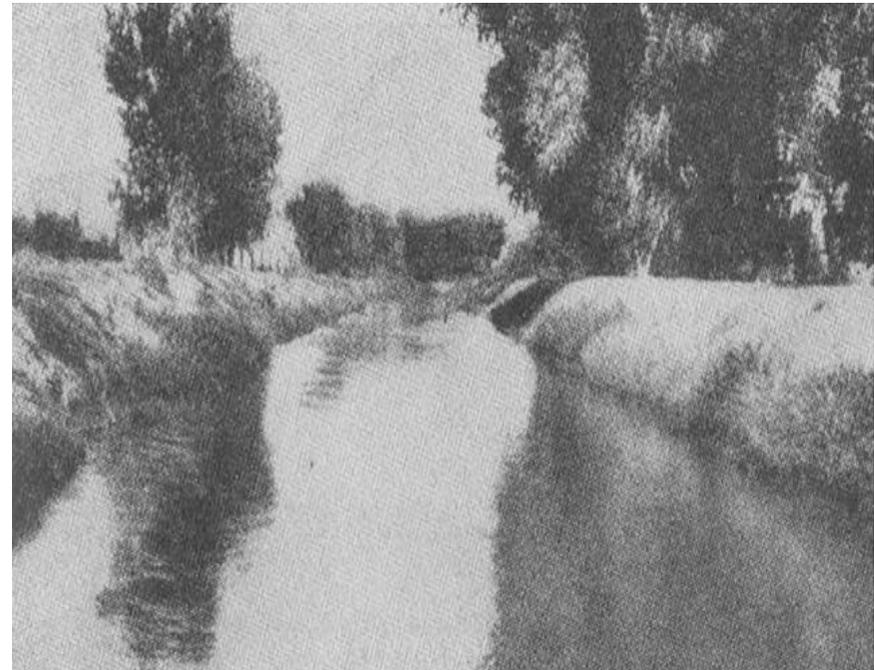
수로의 형태(홍수터)	최소값	중간값	최대값
a. 덩불이 없는 목초지			
1. 짧은 잡초	0.025	0.030	0.035
2. 긴 잡초	0.030	0.035	0.050
b. 경작지			
1. 곡물이 없는 경우	0.020	0.030	0.040
2. 성장한 작물이 있는 논	0.025	0.035	0.045
3. 성장한 작물이 있는 밭	0.030	0.040	0.050
c. 덩불			
1. 덩불이 드문드문 나고, 잡초가 많은 경우	0.035	0.050	0.070
2. 겨울에 적게 난 덩불과 나무들	0.035	0.050	0.060
3. 여름에 적게 난 덩불과 나무들	0.040	0.060	0.080
4. 경우에 백백하게 혹은 적당하게 난 덩불	0.045	0.070	0.110
5. 여름에 백백하게 혹은 적당하게 난 덩불	0.070	0.100	0.160
d. 나무			
1. 여름에 곧고, 백백한 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. 백백한 높은 나무에, 약간의 작은 나무들 풀은 거의 없는 분지점 아래의 홍수터	0.080	0.100	0.120
5. 분지점에 도달하기 전이라는 것 이외에는 위와 동일한 홍수터	0.100	0.120	0.160

➤ 사진자료 활용법(홍수터)

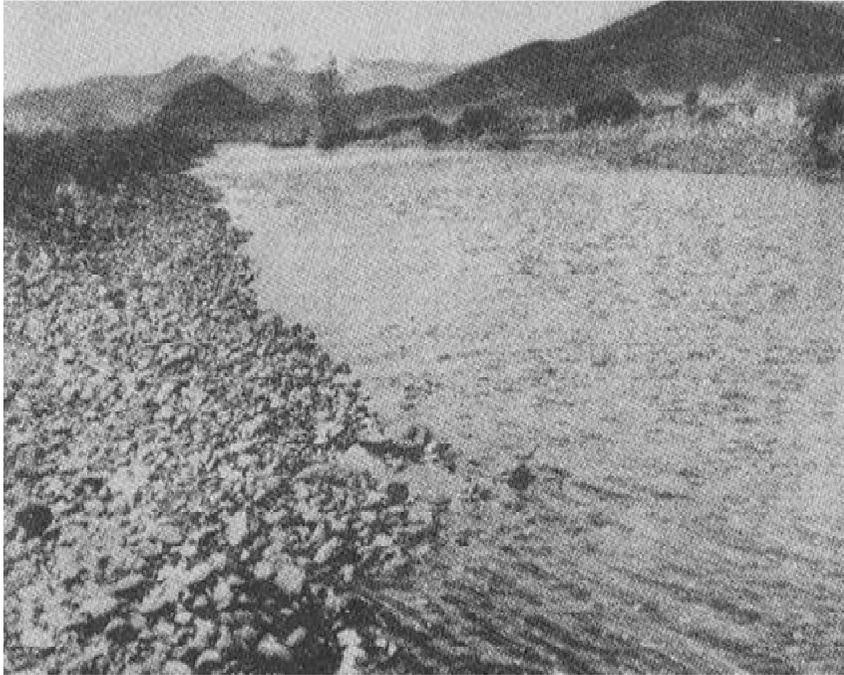
: 하천 조도계수에 대한 몇 가지 선정기준이 되는 사진 자료를 제시하여 이를 이용하여 해당지역의 조도계수 값을 추측 또는 측정된 조도계수와의 비교



콘크리트로 정비된 직선수로: $n=0.012$



굴착하도로써 점토, 가는모래, 실트로 구성
 $n=0.018$



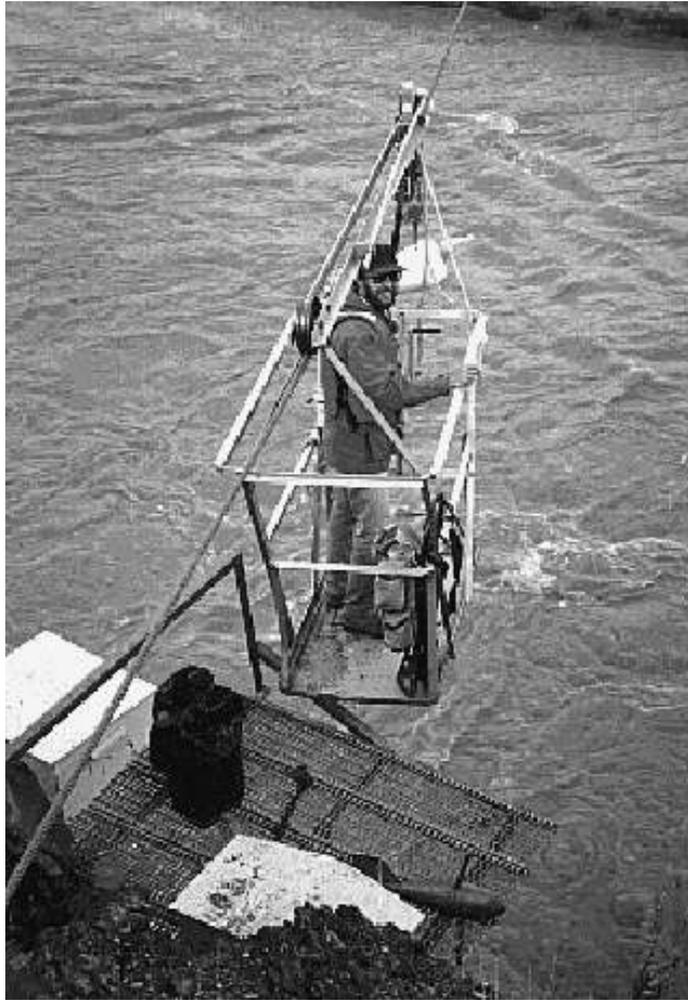
자갈하상이면서 경사가 완만한 하천
 $n=0.028$



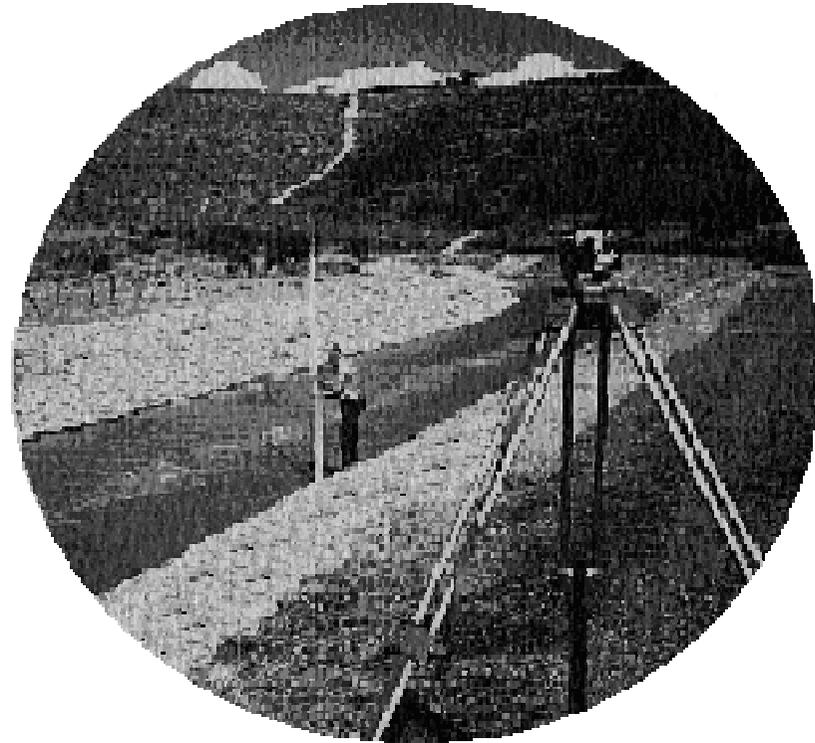
모래질 점토의 자연하천의 홍수터
 $n=0.150$

➤ 경험공식을 이용하는 방법

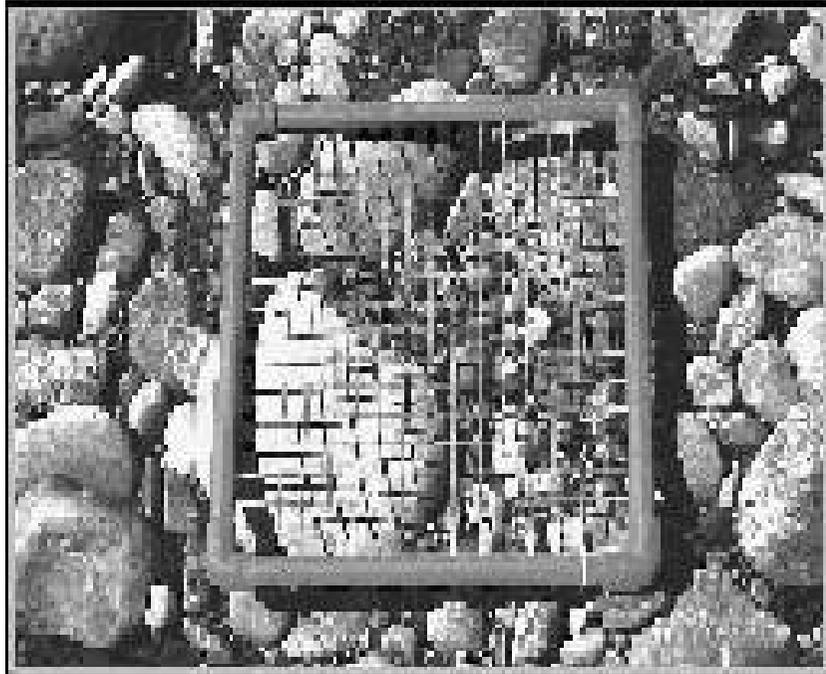
: 경험식은 하상물질 입경, 하상경사, 경심 등을 이용하여 경험식을 개발.



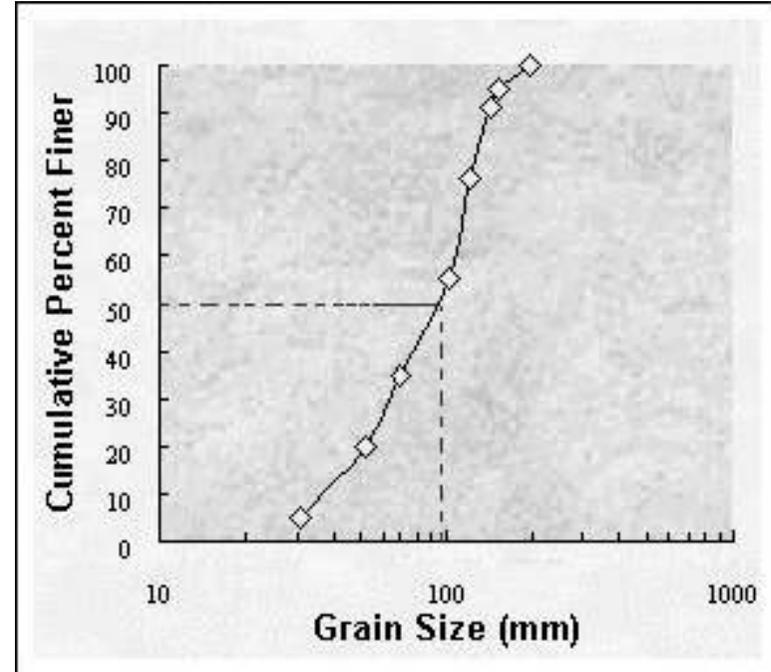
홍수시 케이블을 이용한 유량측정 모습



홍수흔적 조사(측량)



하상재료의 분석을 위한 샘플링



하상재료의 입도분포 곡선작성

2.4 국내의 조도계수 적용의 문제점

- ❖ 정확한 조도계수의 산정을 위해서는 수위 및 유량측정 관측소가 많이 존재해야 하나 국내의 경우 중소 하천에 관측소가 극히 부족한 상태로 정확한 조도계수 산정이 현실적으로 어려움
- ❖ 정확한 조도계수의 산정 및 검정을 위해서는 계획홍수위 또는 이에 준하는 홍수시 주요지점별 흔적수위 조사실적이 필요하나 흔적수위 조사에 대한 인식부족으로 홍수발생 직후 흔적수위의 조사가 체계적으로 이루어지고 있지 않고 있어 흔적수위 기록 획득이 곤란한 실정임
- ❖ 수위 및 유량자료가 없을 경우 기존의 제안된 표나 경험식을 이용하여 조도계수를 산정하는데, 이때 조도계수에 영향을 미치는 인자들을 포괄적으로 분석하여 산정해야 하나 국내의 경우 실무 수리계산시 대부분 하천의 현장조사시 육안판정에 의한 조도계수를 적용하고 있는 실정임.

-
- ❖ 국내의 문헌에 개략적인 하상상태 설명으로 조도계수를 정해놓고 있으며, 더욱이 조도계수의 범위가 넓어 동일한 하천 구간에 대한 조도계수 적용에도 기술자마다의 편차가 큰 실정임.
 - ❖ 조도계수는 유량에 따라 변함에도 불구하고 실무 수리계산시 같은 하천 같은 단면에서 유량의 변화에 상관없이 같은 값의 조도계수를 적용하고 있음.
 - ❖ 최근 자주 시공되고 있는 자연형 호안에 대한 조도계수의 기준이 없어 기존의 조도계수 값을 적용

3. 조도계수의 연구동향 및 사례

3.1 연구동향

□ 국내

- ▶ 수위 및 유량자료가 가용한 하천에서 부정류흐름 해석을 통한 조도계수 산정 연구
 - 김현영외 1인(1989) : “금강 하류 홍수의 부정류 해석”
 - 김 원외 2인(1995) : “ 부정류 모형을 이용한 한강 하류부 하도의 조도계수 산정
 - 전경수외 1인(1997) : “ 한강 본류에 대한 부정류 계산모형:모형의 보정”
 - 윤태훈외 2인(2000년) : “동수역학모형의 매개변수 산정”
 - 이정규외 1인(2003) : “수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정”
- : 부정류흐름 해석을 통하여 산정된 조도계수에 대해 관측수위와 계산수위와의 차에 대해 각 연구의 방법으로 비교하여 그 차가 최소가 되는 조도계수를 산정하는 연구
- ☞ 유량규모 및 구간별로 조도계수가 다르고, 유량이 어느 한계점까지 증가할 수록 조도계수는 감소 하다가 직선변화를 보이는 결과를 도출

➤ 기타 연구

- 배덕효외 3인(2001) : “자연하천의 최적조도계수 산정 GUI시스템 구축”
: 최적조도계수를 산정하기 위하여 하천홍수위 해석 모형 및 지형정보시스템(GIS)를 연계한 GUI시스템 개발하여 조도계수를 산정
- 이삼희외 3인(2001) : “자연소재를 이용한 수로에서의 조도계수 및 수리특성 연구”
: 자연형 하천의 호안공법에 적용하기 위해 친환경적 천연소재 가운데 야자섬유 추출물로 이루어진 코어롤(coir roll)을 실험수로 바닥에 포설하여 이에 대한 조도계수 측정 및 수리특성을 측정

□ 국외

- Becker와 Yeh(1972, 1973) : 단면형이 일정한 하도에 대하여 에너지 경사항을 하도의 단면특성과 조도특성을 대표하는 두개의 매개변수를 사용하여 모형화 하고 영향계수법에 의한 매개변수의 최적 추정방법을 제시
- Fread and Smith(1978) : 수정 Newton-Raphson반복계산법을 사용하여 오차의 합을 영에 가장 근사하게 하는 조도계수 값을 최적치로 추정
- Wormleaton and Karmegam(1984) : 하도의 단면형상을 사다리꼴로 가정하고, 단면형 및 조도와 관련된 매개변수들을 오차 최대치의 최소화 및 오차제곱합의 최소화를 목적함수로 하는 경우에 대하여 추정
- Wasantha Lal(1995) : 특이치 분해(singular value dicomposition)방법을 적용하여 조도계수의 추정을 수행

3.2 국외사례

□ USGS(United State Geological Survey)

: 자연하천과 홍수터에 대한 Manning의 조도계수 n 값 선택을 위한 가이드
(수위유량자료가 없을 경우를 중심으로)

▶ 하도의 조도계수 n 값 결정

: Cowan방법 적용

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

여기서, n_0 는 직선이고, 균등하고, 매끄러운 수로에 대한 기본적인 n 값(0.02~0.028)

n_1 은 표면의 비균일성에 대한 가산치 (0.000~0.020)

n_2 는 단면의 형태와 크기의 변동에 대한 가산치(0.000~0.015)

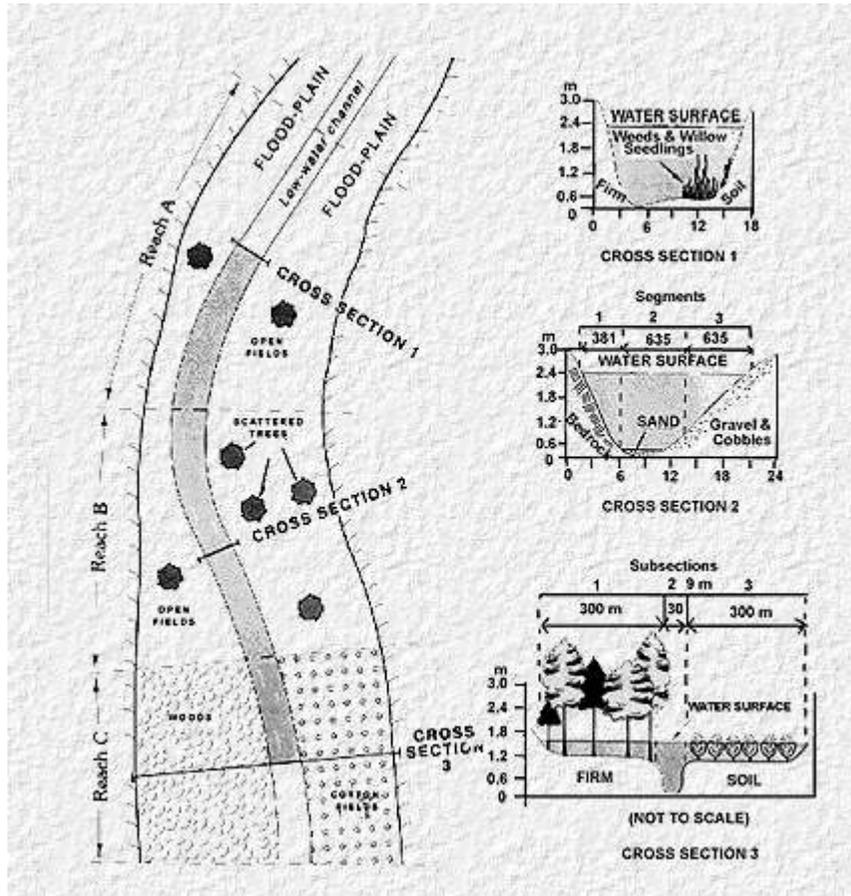
n_3 는 장애물에 대한 가산치(0.000~0.060)

n_4 는 식생상태와 흐름조건에 대한 가산치 (0.005~0.100)

m 은 수로의 굴곡에 대한 보정계수(1.000~1.300)

☞ 각 요소에 대해 조도계수값을 부여하는 방법을 서술

저수로와 홍수터 분할 및 구분된
각 단면에 대한 조도계수 n 값



하도 기본바닥에 대한 n_0 값 제시

Bed Material	Median Size of bed material (in millimeters)	Base n Value	
		Straight Uniform Channel ¹	Smooth Channel ²
Sand Channels			
Sand ³	0.2	0.012	--
	.3	.017	--
	.4	.020	--
	.5	.022	--
	.6	.023	--
	.8	.025	--
	1.0	.026	--
Stable Channels and Flood Plains			
Concrete	--	0.012-0.018	0.011
Rock Cut	--	--	.025
Firm Soil	--	0.025-0.032	.020
Coarse Sand	1-2	0.026-0.035	--
Fine Gravel	--	--	.024
Gravel	2-64	0.028-0.035	--
Coarse Gravel	--	--	.026
Cobble	64-256	0.030-0.050	--
Boulder	>256	0.040-0.070	--

하도 기본바닥에 대한 n_0 값 경험공식 제시

$$\eta = \frac{(0.8204)R^{1/6}}{1.16 + 2.0 \log\left(\frac{R}{d_{84}}\right)} \quad (5)$$

where:

R=hydraulic radius, in meters
 d_{84} = the particle diameter, in meters, that equals or exceeds the diameter of 84 percent of the particles (determined from a sample of about 100 randomly distributed particles)

모래하상의 형태와 바닥 조도계수

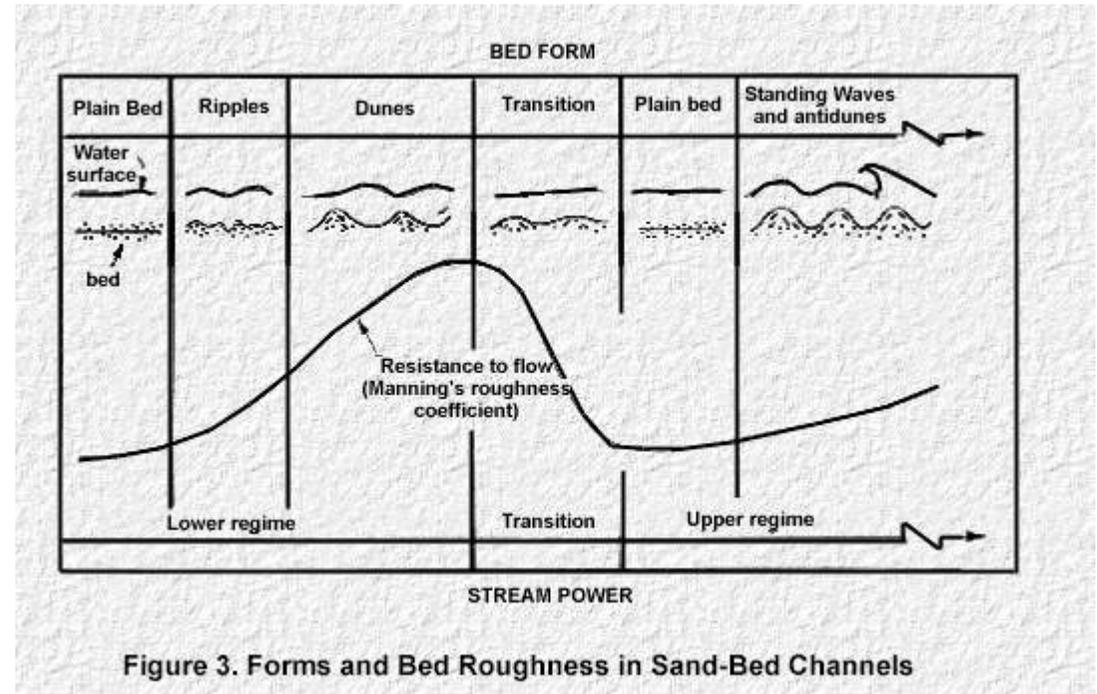


Figure 3. Forms and Bed Roughness in Sand-Bed Channels

▶ 홍수터의 조도계수 n 값 결정

: 수정 Cowan방법 적용

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

여기서, n_0 홍수터의 지표면의 재료(흙)에 대한 기본 값

n_1 은 홍수터의 표면의 비균일성에 대한 가산치

n_2 는 홍수터의 단면의 형태와 크기의 변동에 대한 가산치(0.00으로 고정)

n_3 는 홍수터에서 장애물에 대한 가산치

n_4 는 홍수터에서 식생상태와 흐름조건에 대한 가산치

m 은 수로의 굴곡에 대한 보정계수(1.0으로 고정)

☞ 각 요소에 대해 조도계수를 부여하는 방법에 대해 서술

➤ 홍수터의 사진자료 활용법

: 홍수터 조도계수에 대한 몇 가지 선정기준이 되는 사진 자료를 제시하였으며, 이를 이용하여 해당지역의 조도계수 값을 추측

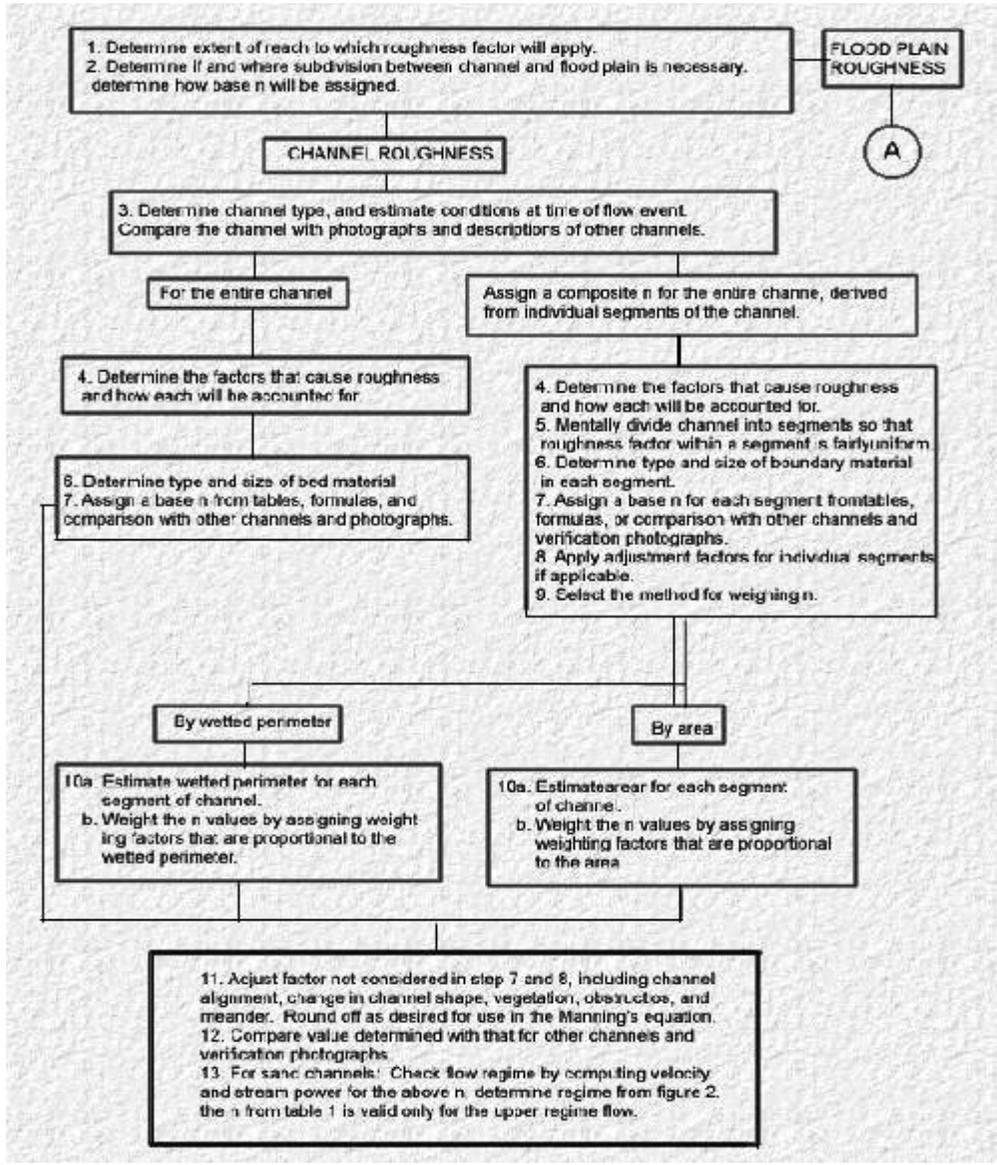


Computed roughness coefficient: Manning's $n=0.11$
Date of flood: March 18, 1973
Date of photograph: February 14, 1979
Depth of flow on flood plain: 0.914 meters
Description of flood plain: The Vegetation of the flood plain is primarily trees, including oak, gum, ironwood, and pine. The base is firm soil and has slight surface irregularities and obstructions caused by downed trees and limbs. Ground cover and undergrowth are negligible. $Veg_d=0.0236$, and $C_s=8.0$. The selected values are $n_b=0.020$, $n_1=0.002$, $n_3=0.003$, and $n_o=0.025$.

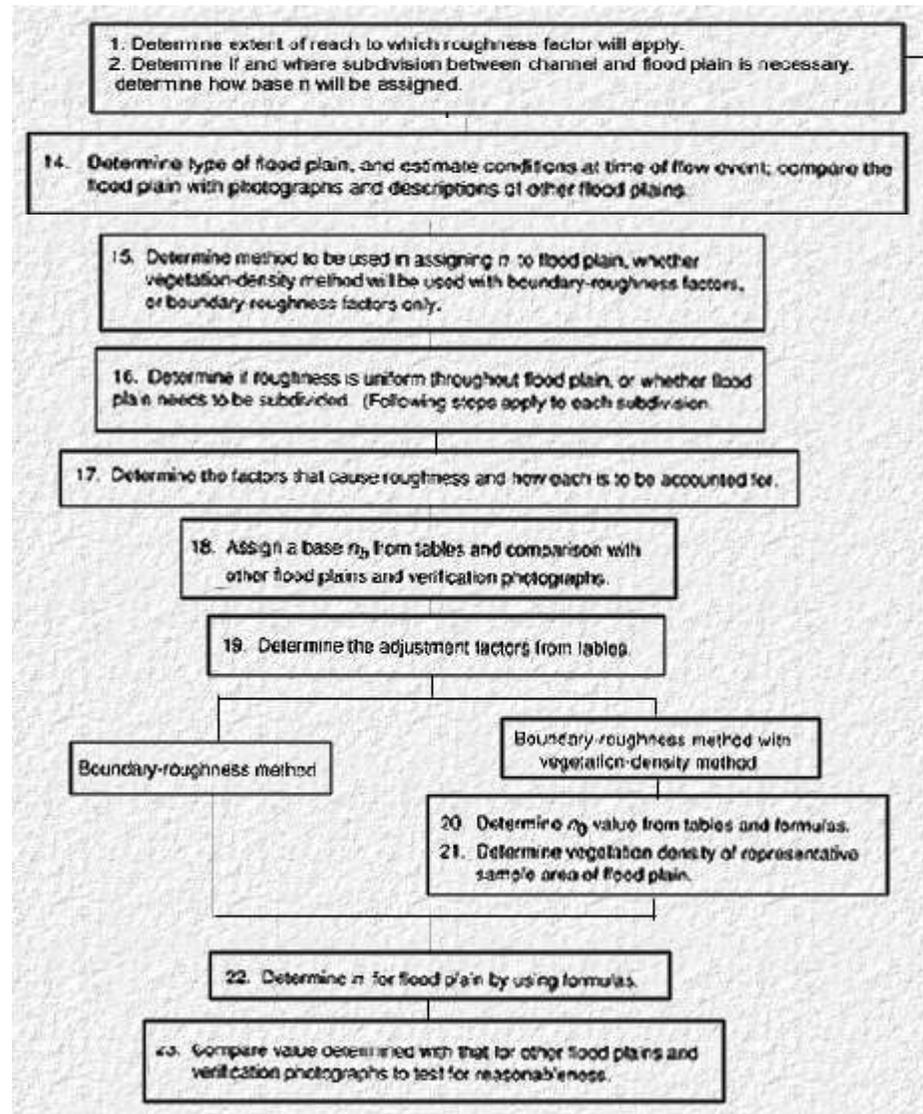


Computed roughness coefficient: Manning's $n=0.14$
Date of flood: December 21, 1972
Date of photograph: March 13, 1979
Depth of flow on flood plain: .884 meters
Description of flood plain: The vegetation of the flood plain is a mixture of large and small trees, including oak, gum, and ironwood. The base is firm soil and has minor surface irregularities caused by rises and depressions. Obstructions are minor (downed trees and limbs and a buildup of debris). Ground cover is negligible and the small amount of undergrowth is made up of small trees and vines.
 $Veg_d=0.0279$, and $C_s=15.6$. The selected values are $n_b=0.025$, $n_1=0.005$, $n_3=0.015$, $n_4=0.005$, $n_o=0.050$.

저수로부의 조도계수 산정 절차



홍수터의 조도계수 산정 절차



Stream and Location: _____

Reach: _____

Event for which n is assigned: _____

1. Is roughness uniform throughout the reach being considered? If not, n should be assigned for the average condition of the reach.
2. Is roughness uniformly distributed along the cross section? Is a division between channel and flood plain necessary? (Channel Roughness uses steps 3-13, Flood plain roughness uses steps 14-23.) Is roughness uniformly distributed across the channel? If not, what basis should n for the individual segments be weighted?
3. Describe the channel. Are present conditions representative of those during the flood? If not, describe the probable conditions during the flood.
4. How will the roughness-producing effects of the following on the channel be accounted for?

Bank roughness: _____

Bedrock outcrops: _____

Isolated boulders: _____

Vegetation: _____

Obstructions: _____

Meander: _____

5-10 Computation n for the channel

Segment Number and Material	Approximate dimensions,		Wetted perimeter	Area	Median Grain Size mm	Base n for segment	Adjustments	Adjusted n	Weight Factors	Adjusted n times weight factors
	width	depth								
SUM										
Weighted $n =$										

조도계수를 산정을 위한 표

11-13. Computation of n for the channel

Adjustment factors for the channel

Factor	Describe conditions briefly	Adjustment
Irregularity, n_1		
Alignment, n_2		
Obstructions, n_3		
Vegetation, n_4		
Meander, m		
Weighted n plus adjustments		
Computed $n =$		

14. Describe the flood plain.

Are present conditions representative of those during the flood?

If not, describe probable conditions during the flood.

15. Is the roughness coefficient to be determined by roughness factors only or is it to include vegetation-density method?

16. Is roughness uniformly distributed across the flood plain?

If not, how should the flood plain be subdivided?

17-23. Computation of n for flood plain

Adjustment factors not using vegetation-density method

Subsection	Base n , n_b	Irregularity, n_1	Obstructions, n_3	Vegetation, n_4	Computed n

각 요소별 조도계수 값
및 설명 표

Channel Conditions	<i>n</i> Value Adjustment ¹	Example
Degree of Irregularity (<i>n</i> ₁)		
Smooth	0.000	Compares to the smoothest channel attainable in a given bed material.
Minor	0.001-0.005	Compares to carefully degraded channels in good condition but having slightly eroded or scoured side slopes.
Moderate	0.006-0.010	Compares to dredged channels having moderate to considerable bed roughness and moderately sloughed or eroded side slopes.
Severe	0.011-0.020	Badly sloughed or scalloped banks of natural streams; badly eroded or sloughed sides of canals or drainage channels; unshaped, jagged, and irregular surfaces of channel

Variation in channel cross section (*n*₂)

Channel Conditions	<i>n</i> Value Adjustment ¹	Example
Gradual	0.000	Size and shape of channel cross sections change gradually.
Alternating occasionally	0.001-0.005	Large and small cross sections alternate occasionally, or the main flow occasionally shifts from side to side owing to changes in cross-sectional shape.
Alternating frequently	0.010-0.015	Large and small cross sections alternate frequently, or the main flow frequently shifts from side to side owing to changes in cross-sectional shape.

Effect of obstruction (*n*₃)

Channel Conditions	<i>n</i> Value Adjustment ¹	Example
Negligible	0.000-0.004	A few scattered obstructions, which include debris deposits, stumps, exposed roots, logs, piers, or isolated boulders, that occupy less than 5 percent of the cross-sectional area.
Minor	0.040-0.050	Obstructions occupy less than 15 percent of the cross-sectional area, and the spacing between obstructions is such that the sphere of influence around one obstruction does not extend to the sphere of influence around another obstruction. Smaller adjustments are used for curved smooth-surfaced objects than are used for sharp-edged angular objects.
Appreciable	0.020-0.030	Obstructions occupy from 15 percent to 50 percent of the cross-sectional area, or the space between obstructions is small enough to cause the effects of several obstructions to be additive, thereby blocking an equivalent part of a cross section.
Severe	0.005-0.015	Obstructions occupy more than 50 percent of the cross-sectional area, or the space between obstructions is small enough to cause turbulence across most of the cross section.

조도계수를 산정하는 예제

Channel Roughness(Steps 3-13)		
Step	Item to be determined or operation to be performed	Factors on which decisions are based and the results
3	(a) Type of channel	A stable channel made up of firm soil
	(b) Conditions during flow event	Assume channel conditions are representative of those that existed during the peak flow.
	(c) Comparable streams	none
4	Roughness factors	Add adjustments for grass and trees in channel and for channel alignment.
5	Divide into segments	Not necessary.
6	Type of channel	Firm Soil.
7	Base n_b	Table 1 gives n_b value for firm soil of 0.020-0.032. Use 0.025.
8	Adjustment factors for segments	None
9	Basis for weighing n	Not Applicable
10	Weighting factors and weighted n	Not applicable
11	Add adjustments for entire channel	Vegetation (n_4) -weeds and supple seedlings along bottom of channel (Table 2). $n_4=0.005$. Meander is minor, $m=1.00$ $n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$ $n=(0.025 + 0 + 0 + 0 + 0.005)1.00$ $n=0.030$
12	Compare with other streams	None.
13	Check flow regime	Not applicable.

□ USGS의 조도계수 산정 방법

- 수위 및 유량자료가 없는 하천에서 조도계수 산정시 저수로와 홍수터로 구분하여 Cowan방법 및 수정 Cowan방법 그리고 사진을 통한 조도계수 산정방법을 세밀하게 설명 (계산식, 도표, 하도 분할도, 조도계수 표 등을 수록)
- 조도계수를 산정하는 절차를 저수로와 홍수터로 구분하여 제시
- 조도계수를 산정할 수 있는 계산표와 예제를 수록하여 정확한 조도계수를 산정 할 수 있도록 제시하였음.

4. 조도계수 결정을 위한 개선방향

- 수위 및 유량을 측정할 수 있도록 대하천 및 중소하천에 관측소 설치 및 조사
- 홍수발생후 빠른 시간내에 홍수흔적 조사 실시로 인한 자료 축척
- 국내의 수위 및 유량자료가 있는 하도 구간에 대해서 유량규모별로 조도계수를 산정하고 또한 조도계수는 경년적으로 변화기 때문에 경년적으로 조도계수를 산정할 필요가 있음
- 실험 및 연구, 그리고 관측을 통한 조도계수를 다양한 하상재료, 하천형태, 수문량, 식생 등의 조도계수에 영향을 주는 요소에 따라 세부적으로 구분하여 산정해야 함
- 최근 자주 시공되고 있는 자연형 호안에 대한 조도계수 기준이 필요함
- 국내의 설계기준 및 각종 참고문헌에 세부적이고 명확한 설명 및 기준 제정이 필요
- 표준화된 조도계수 산정 절차 및 세부 계산표를 제시하여 실무에서 이를 토대로 조도계수를 산정할 수 있도록 해야 함.