

# 하도의 지형특성을 고려한 2차원 수치모의

## 2-D Numerical Simulation Considering Channel Topographical Features

송승원\*·류시완\*\*·김영도\*\*\*·서일원\*\*\*\*

Seung Won Song, Siwan Lyu, Young Do Kim, Il Won Seo

### 요 지

2차원 흐름해석 모형인 SMS(Surface-Water Modeling System)와 RAMS(River Analysis Modeling System)를 이용한 유속장 모의를 통해 Manning 조도계수와 와점성계수에 대한 민감도 분석을 수행하여 흐름특성은 Manning 조도계수에 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 Manning 조도계수의 변화를 통하여 실측치에 근사한 유속 분포의 모의결과를 도출하고자 현장실측을 통해 취득한 자료를 이용하여 2차원 수치모형의 모의결과와 비교하였다. 국가하천 형산강 본류 중 안강수위관측소에서 부조수위관측소 사이 약 4.3 km 의 구간을 모의구간으로 선정하였으며, 2006~2007년에 걸쳐 취득된 현장실측자료를 바탕으로 매개변수 추정 및 모의결과와 비교하였다. 대상구간에 대한 모의결과의 정확도를 개선하기 위하여 하도의 지형특성 등을 고려하여 모의구간을 다수의 구획으로 구분한 후 수심 및 하도 평면선형을 고려한 Manning 조도계수를 차등적으로 할당하여 모의하였다. 이상의 과정을 통해 모의결과의 정확도 제고가 가능함을 관찰할 수 있었다.

**핵심용어** : SMS, RAMS, 조도계수, 지형특성

### 1. 서론

자연하천에서 흐름해석을 위해서는 하천 하상재료와 불규칙 정도, 장애물 영향 그리고 식생과 사행정도의 물리적 특성을 나타내는 조도계수의 정확한 추정 및 적용이 필수적이다. 그러나 하천 정비기본계획 및 각종 수치모의에서의 조도계수 산정방법은 주로 하상재료 및 하도 형태에 대한 현장 판단과 기수립된 하천정비기본계획의 참고, 과거 흔적수위를 기초로 부등류 모형을 적용하는 방법 등이 주로 이용되었다. 본 연구의 대상하천인 형산강의 경우 1979년도에 수립된 하천정비기본계획에서 계획대상 전 구간에 대해 하나의 조도계수 값 0.03을 제안하고 있다. 이는 구간 내 지형특성을 구체적으로 반영하지 않은 전체 하도구간에 대한 조도계수 대표값이다.

본 연구에서는 실제 흐름양상과 비교하여 2차원 흐름모의의 정확도를 개선하기 위한 방안으로 적절한 조도계수 적용방안을 제안하고자 하였다. 유속장 모의결과를 통해 민감도 분석을 한 결과 Manning 조도계수가 유속의 크기와 유향에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 조도계수에 따라 모의 결과는 크게 달라지므로 현장실측값에 근사할 수 있도록 조도계수를 변화시켜 모의해보고자 하였다. 일반적으로 알려져 있는 수치모형에서 권장되는 조도계수는 표 1에 제시된 바와 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 하천 특성 조건이 정해지더라도 조도계수의 범위의 폭은 크고 전체 하천에

\*.정회원·창원대학교 토목공학과 석사과정-E-mail : [blueshc@hotmail.com](mailto:blueshc@hotmail.com)  
\*\*.정회원·창원대학교 토목공학과 조교수-E-mail : [siwan@changwon.ac.kr](mailto:siwan@changwon.ac.kr)  
\*\*\*.정회원·인제대학교 환경공학부 조교수-E-mail : [ydkim@inje.ac.kr](mailto:ydkim@inje.ac.kr)  
\*\*\*\*.정회원·서울대학교 건설환경공학부 교수-E-mail : [seoilwon@snu.ac.kr](mailto:seoilwon@snu.ac.kr)

대한 하나의 값을 산정할 뿐 국부적인 지형 특성을 반영할 수는 없다고 사료된다. 본 연구에서는 전체 모의구간에 대해 하나의 대표 조도계수 값을 부여하여 모의하도록 요소망을 구성한 경우 (M1)와 하상고와 하도의 평면선형과 같은 지형 특성에 따라 국부적으로 조도계수를 차등적으로 부여하여 모의할 수 있도록 요소망을 구성한(M2)를 구분하여 현장실측자료와 비교함으로써 조도 계수정용을 통한 모의성능 정확도 제고의 가능성을 살펴보고자 하였다.

표 1. 모의구간 특성에 따른 조도계수 제안값

조건	조도계수
shallow river without snags	0.025 ~ 0.035
deep river	0.018 ~ 0.025
shallow estuary without vegetation	0.020 ~ 0.030
deep estuary	0.015 ~ 0.020
dense vegetation in a wetland	0.050 ~ 0.100

## 2. 모의구간 및 방법

### 2.1 모의구간

형산강 유역은 북위 35° 40' ~ 36° 12' 와 동경 129° 01' ~ 129° 25' 에 위치하고 있으며, 유역 면적은 1,139.99 km<sup>2</sup> 이고 경주시 탐정동 대천 합류점에서 하구인 경북 포항시 남구 해도동의 해안선까지 약 36 km 가 국가하천 구간이다(그림 1). 본 연구에서는 No. 68(안강 수위관측소 상류 약 350 m)에서 No. 48(부조 수위관측소 하류 약 200 m)까지의 약 4.3 km 구간을 모의구간으로 선정하였다. 그림 2에 도시한 바와 같이 모의구간 시점에서 약 0.35 km 지점에 강동대교, 0.98 km 지점에 왕신천 유입, 1.35 km 지점에 수중보, 1.8 km 지점에 국당1교, 3.2 km 지점에 국당2교가 위치하며 구간 내에는 만곡 및 사행, 특히 수중보 전·후로 사주가 발달해있어 2차원 흐름모의에 적합하다고 판단되었다.

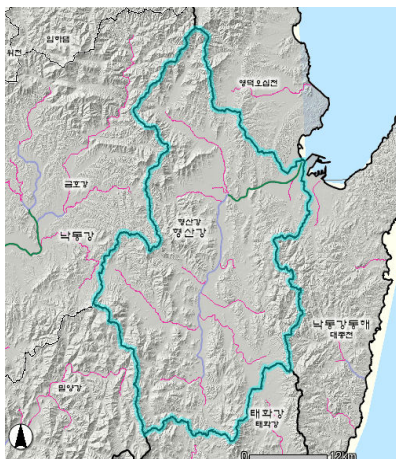


그림 1. 형산강 유역도



그림 2. 모의구간

### 2.2 모의 방법

모의결과 검증을 위해 사용된 유속측정자료는 2006~2007년에 걸쳐 본 연구를 위해 실측된 자료로서, 마그네틱 유속계(ACM200-PD)를 이용하여 국당2교에서 측정하였다. 모의를 위한 유한요소망은 그림 3과 4에 도시된 바와 같다. 경계조건으로는 표 2와 같이 안강, 부조 수위관측소의 유

량과 수위를 사용하여 정상류모의를 수행하였다. Manning 조도계수는 하천정비기본계획에서 제안하는 0.03을 기준으로 0.01까지 0.01씩 낮추면서 모의하였다. M1 요소망은 Node 9,100개, Element 3,961개로 전체구간에 대하여 하나의 요소망을 구축하여 모의구간 전체에 대해 동일한 Manning 조도계수를 부여하였다. M2 요소망은 Node 10,270개, Element 4,655개로 그림 5에 도시된 바와 같이 하상고와 하도선형등과 같은 지형특성을 고려하여 전체 요소망을 몇 개의 부분으로 구분한 후 각 부분에 대한 요소망에 부분별로 조도계수를 차등적으로 부여할 수 있게 하였다(그림 6). 와점성 계수는 정확한 유속흐름을 위하여 유속흐름에 영향을 끼치지 않는 범위에서 1,500까지 낮추어 사용하였다.

표 2. 흐름모의를 위한 경계조건

모의흐름	일시	상류유량(m <sup>3</sup> /s)	하류수위(m)
F1	2006.7.09 PM08	568	3.54
F2	2006.7.17 PM07	663	3.70
F3	2007.7.09 AM08	1,032	4.50

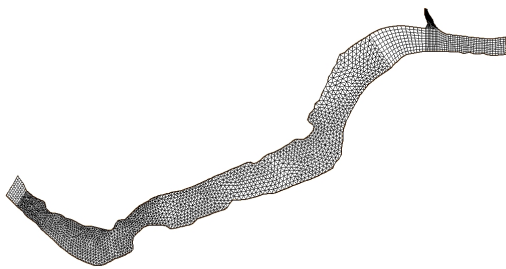


그림 3. 기본 요소망(M1)

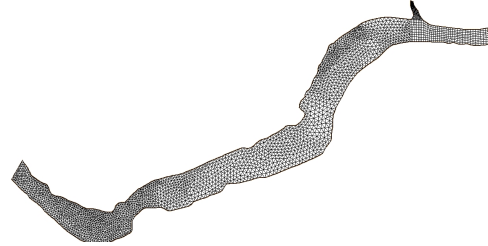


그림 4. 분할 요소망(M2)



그림 5. 지형 하상고

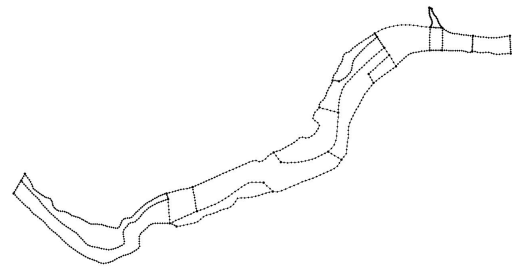


그림 6. 분할 요소망 패치(M2)

### 3. 모의결과 및 분석

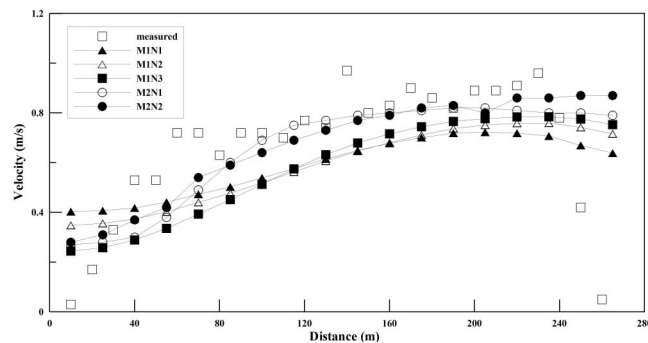
지형특성을 고려하여 조도계수를 부여함으로써 모의결과의 정확도 제고 가능성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 표 3에 제시된 바와 같이 요소망구성과 조도계수 할당조건에 따른 조건들에 대하여 모의를 수행하고 그 결과들을 현장실측치와 비교하였다. 요소망 구성은 전체 모의구간에 대하여 하나의 대표 조도계수 값을 부여하여 모의하도록 요소망을 구성한 경우(M1)와 하상고와 하도의 평면선형과 같은 지형 특성에 따라 국부적으로 조도계수를 차등적으로 부여하여 모의할 수 있도록 요소망을 구성한 경우(M2)의 두 가지로 구분하였으며, 각각의 요소망 구성에 대해서 다양

한 조도계수 값을 부여하여 모의를 수행하였다. 요소망 구성과 조도계수 할당조건에 따른 모의조건들에 대하여 전절에서 기술된 바와 같은 세 가지 흐름조건들에 대한 모의를 수행하였다.

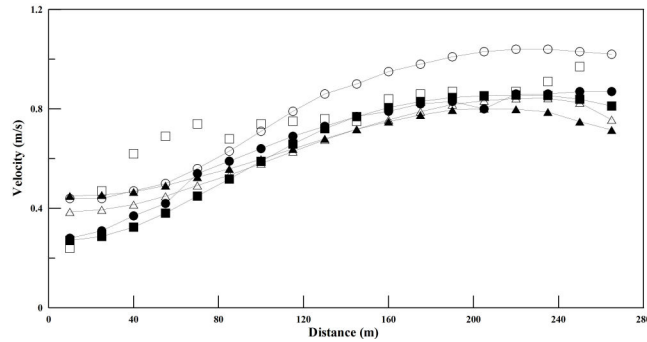
표 3. 요소망 구성과 조도계수 할당에 따른 모의조건

모의조건		Manning 조도계수	모의조건명
요소망	조도계수		
M1	N1	0.03	M1N1
	N2	0.02	M1N2
	N3	0.01	M1N3
M2	N1	0.03 ~ 0.01	M2N1
	N2	0.035 ~ 0.0075	M2N2

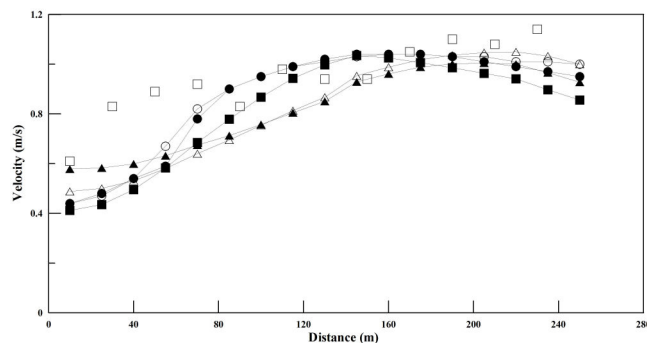
그림 7은 각각의 조건들에 대한 모의결과를 현장 실측치와 함께 비교·도시한 결과이다. 그림 7a)에 도시된 F1에 대한 모의결과를 보면 M1요소망에 대해서는 조도계수의 변화에 따른 유속모의 값의 변화가 미미함을 관찰할 수 있다. 전체 하폭에 걸친 유속분포의 전반적인 형태는 실측자료의 유속분포와 유사하나 유속의 크기는 과소 산정되었다. 조도계수의 증가를 통한 모의값의 증가효과는 미미하였다. 그러나 M2요소망의 적용결과는 M1요소망의 적용결과와 비교하여 실측치에 더 근사함을 알 수 있다. 이는 하천지형특성을 고려한 차등적인 조도계수 할당을 통하여 실측치에 근사하는 모의결과를 도출할 수 있는 것으로 해석될 수 있다. M2N1과 M2N2의 결과를 비교할 때 미소하나마 결과치의 변화를 관찰 할 수 있었다. 이를 통하여 적용구간에 대한 차등적인 조도계수 할당뿐만 아니라 적용 조도계수 값의 범위에 의해서도 실측치에 더욱 근사하는 모의결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그림 7b)와 c)에 각각 도시된 F2와 F3에 대한 결과를 통해서도 그림 7a)에 도시된 F1의 모의결과와 유사한 양상을 관찰 할 수 있다. 특히 그림 7b)의 F2조건에 대한 모의결과를 살펴보면 다른 두 경우와 비교할 때 M2N1과 M2N2사이의 모의결과가 상당한 차이를 보이고 있다. 이를 통해 지형특성뿐만 아니라 유량조건에 따라서도 조도계수의 부여 방법에 따라 모의결과가 차이를 보일 수 있음을 알 수 있었다. 그림 7에 도시된 세가지 흐름조건들에 대한 모의결과를 통하여 모의구간 전체에 대한 단일 조도계수 할당방법 보다는 수심과 하도선형등과 같은 지형특성에 따라 부분적으로 조도계수를 차등 부여하는 방법이 실측치에 근사하는 모의결과를 도출 할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 차등적인 조도계수 할당을 위한 요소망의 블럭화 방법과 적용범위에 따라 모의결과의 정확도가 달라지므로 일반화된 조도계수 할당 기준에 대한 제시는 어려울 것으로 판단된다. 그러나 특정 구간에 대한 모의시에는 실측자료를 바탕으로 적절한 조도계수의 부여 방법 및 적용범위를 추정할 수 있을 것으로 판단하는 바이다.



a) F1 ( $Q = 568 \text{ m}^3/\text{s}$ )



b) F2 ( $Q = 663 \text{ m}^3/\text{s}$ )



c) F3 ( $Q = 1032 \text{ m}^3/\text{s}$ )

#### 4. 결론

본 연구에서는 대상구간에 대한 모의결과의 정확도를 개선하기 위하여 하도의 지형특성 등을 고려하여 모의구간을 다수의 구획으로 구분한 후 수심 및 하도 평면선형을 고려한 Manning 조도계수를 차등적으로 할당하여 모의하였다. 현장실측자료와의 비교를 통하여 모의결과의 정확도 개선이 가능함을 알 수 있었다. 이러한 모의결과의 정확도 개선을 위한 일반적인 조도계수 할당 기준을 제시하기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제명 : RAMS 개발)으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부(2006). 낙동·형산강수계(대송 등 4개소) 유량측정조사 보고서.
2. 과학기술부(2007). 수자원의 지속적 확보기술 개발 사업-RAMS 개발 2단계 최종보고서.
3. 한건연(2002). 2차원 지표수흐름 해석(SMS를 중심으로). 수자원학회. 제 10회 수공학 WORKSHOP.
4. 이찬주, 김원, 김지성(2007). 국내하천의 조도계수 산정 방법 조사. 한국수자원학회 학술발표회 논문집.