

안성천 증소하천의 하천분류 및 2차원 수리특성, 하상변동 모의

이지완¹ · 이미선² · 정인균¹ · 박근애³ · 김성준^{1*}

Stream Type Classification and 2-Dimensional Hydraulic Characteristics and Bed Change in Anseongcheon Streams and Tributaries

Ji-Wan LEE¹ · Mi-Seon LEE² · In-Kyun JUNG¹
Geun-Ae PARK³ · Seong-Joon KIM^{1*}

요 약

본 연구에서는 안성천 유역의 증소하천에 Rosgen(1994)의 하천분류체계를 적용하여 하천을 분류하고, 분류된 하천 유형별로 2차원 수치해석 모형을 이용하여 수리특성 및 하상변동을 모의하였다. 하천분류체계를 안성천 유역의 진위천과 오산천에 적용한 결과 크게 C 유형과 E 유형으로 분류되었다. 분류된 유형의 2차원 수치모형 적용에 따른 수리특성 및 하상변동 분석을 위해 C 유형의 구간 중 진위천과 통삼천의 만곡구간, 공세천, E 유형중 수원천을 연구대상지역으로 선정하였다. 하천분류체계에 의해 선정된 연구대상지역에 대하여 CCHE2D 모형을 이용한 빈도별 홍수량에 따른 하상변동 수치모의를 수행하였다. 모형의 경계입력자료는 WMS HEC-1의 유출량 결과 자료를 이용하여 50, 80, 100년 빈도별 홍수량에 대하여 모의하였다. 모의 결과 비교적 하폭/수심비가 큰 C 유형의 경우 하천의 물리적 특성의 변화에 따른 하상변동의 침식 및 퇴적의 경향이 잘 나타난 것으로 분석 되었고, C 유형에 비해 작은 E 유형의 경우 변화에 따른 하상변동의 경향을 파악 할 수 없었다. 본 연구의 결과는 하천의 물리적 변화에 따른 흐름 및 하상변동을 예측하는 방법에 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 하천분류체계, 수치해석, CCHE2D, 수리특성, 하상변동

2011년 7월 8일 접수 Received on July 8, 2011 / 2011년 10월 13일 수정 Revised on October 13, 2011 / 2011년 11월 16일 심사완료 Accepted on November 16, 2011

1 건국대학교 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University

2 국립환경과학원 물환경연구부 수질총량관리센터 Dept. of Water Environment Research, National Institute of Environmental Research

3 워싱턴대학교 토목환경공학과 Civil & Environmental Engineering, University of Washington

* 연락처 E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

ABSTRACT

This study tries to find a streambed scouring and sedimentation characteristics through the Rosgen(1994)'s stream classification system while experiencing several flood events. The Jinwee and Osan streams, the tributaries of Anseongcheon were selected. The streams showed type C or type E. By the classification results, two Type C tributaries one Type C stream and one Type E tributary were selected. For the four selected stream reaches, the analysis of streambed change was implemented by using numerical model CCHE2D (Center for Computational Hydrosience and Engineering). To prepare the inlet boundary conditions of each stream, the WMS (Watershed Modeling System) HEC-1 was used and the streamflows of 50, 80, and 100-year return period were generated and the outlet boundary was set to an open boundary condition. The simulation results showed that when the flood pulse periodically the streambed changes also appears regularly. The results can be used to acquire the basic data for stream restoration.

KEYWORDS : River Classification, Numerical Analysis, CCHE2D, Hydraulic Characteristics, Streambed Changes

서 론

최근 하천설계에서의 환경적인 측면이 부각되어 하천생태계의 물리적 서식공간으로 하천이 재인식되면서 자연상태의 하천형태를 고려하기 시작하였다. 이러한 영향으로 하천분류는 전통적, 학문적인 차원에서 탈피하여, 하천의 설계 및 관리에서 하천의 형태를 결정하고 하도의 진화를 예측할 수 있는 새로운 수단으로 인식되고 있다(임창수 등, 2008). 하천의 생태적 복원은 해당하천의 특성과 개성을 모두 고려해야하나 개개의 하천에 따라 위치, 지형 생태, 수변, 활용도의 차이가 상당히 다양하고 크므로 하천분류체계가 필요하다. 하천 형태의 구분은 하천 복원 모델을 제시하고 전반적인 복원 계획을 수립할 수 있다.

생태적 기능이 담보되는 하천의 조성 및 복원은 필연적으로 하천에서 물리적 구조변화를 야기한다. 이러한 하천의 물리적 구조변화는 장기적으로 구간에서의 생태적 기능뿐만 아니라 단기적으로 하천의 하상변화를 야기한다. 이러한 하천 하상의 변화는 복원구간에서의

생태적 기능에 직접적인 영향을 준다. 즉 하천의 유형에 따라 하안의 하상의 변화 특히 하상재질, 퇴적물, 유속 등은 하천 생물들의 서식과 회피에 큰 영향을 주는 변수이므로 이들 변화를 예측할 수 있는 모형의 수립은 매우 중요하다.

이러한 변화를 예측할 수 있는 방법으로는 2차원 수리 모형을 이용하는 방법과 현장측정을 하는 방법으로 나뉜다. 여러 방법 중 가장 효율적인 방법으로 주로 사용되는 방법은 수치모형을 이용한 분석이다. 하상변동모의를 위한 수치모형은 2차원이나 3차원모형을 주로 사용하는데, 이는 흐름이 급변하는 곳에 적용할 수 있기 때문이다. 그 중 2차원모형은 국부적인 곳을 파악하는 3차원모형에 비해 자연하천에 적용하기에 용이하므로 본 연구에서는 2차원 수리해석 모형을 통해 하천의 물리적 특성 변화에 따른 흐름 및 하상변동을 분석하고자 하였다.

하천분류의 초창기는 지리학의 한 분야인 하천 지형학에 속해 있었다. 최초의 하천분류는 Davis(1899)가 하천을 발달시기에 따라

유년기, 장년기, 노년기로 구분하였다. 국내에서 많이 사용하고 있는 대표적인 하천분류 방법으로 Horton(1945)이 개발하고 Strahler(1952)가 개량하여 보급한 하천차수(stream order)에 기초한 방법이다. 이후의 대표적인 하천분류는 Leopold and Wolman(1957)이 제시한 하천의 만곡도에 따른 하천분류 방법도 있으며, 현재까지 다양한 하천분류방법이 제시되었다. 이러한 하천분류 방법은 1990년대 이전에는 대부분 학문적 목적으로 인식되었다. 실제로 하천분류는 자연하천을 대상으로 하천의 고유한 형태특성을 도출하는데 그 목적이 있었다. 또한 하천을 설계하고 관리하는 하천공학의 입장에서는 자연형 하천에 대한 개념이 도입되기 전까지 치수관점에서 효율적인 홍수배제가 주목적이었기 때문에 자연상태에서의 하천특성에 대한 관심이 적었다. 이로 인해 하천분류와 하천공학을 연결시킬 필요성이 적었으며, 두 분야는 각기 다른 방향으로 발달되었다(건설교통부, 2001).

최근 수리해석 모형을 이용한 하천 수리학적 특성 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 이러한 연구를 바탕으로 자연형 하천의 복원 설계 및 관리에 이용되고 있으며 수공구조물의 설계에도 사용되고 있다. 2차원 수리해석에 관한 연구로는 곽준성(2001)이 RMA-2(Resource Manatement Associate)와 SED2D(Surfacewater Modeling System)모형의 적용성을 검토하였다. 또한 최민하(2001)은 SMS(Surface water Modeling System)를 이용하여 모형의 적용성 및 장·단기 하상변동을 해석 하였다. 김영복(2003)은 SMS모형을 이용하여 빈도별 방류량에 따른 하상변동을 예측하였으며, 홍성민 등(2004)은 SMS을 이용한 경안천 유역의 하천흐름을 분석하였다. 박민지(2006)은 SMS와 WMS를 이용한 하천의 수리학적 안정성 분석을 통하여 하천구조물, 댐 설계 및 침식 수질 오염등에 대한 기본 자료를 구축하는 연구를 수행한 바 있다. 정상만 등(2007)은 보의 이동에 따른 수리분석과 하상변동을 SMS를 이용하여 분석하였으며,

송범(2008)은 1차원모형과 2차원모형을 이용한 특수구간에 대한 흐름특성을 분석하였다. 국외 연구로는 1970년대 컴퓨터의 발달이후 수치해석에 관한 연구가 진행되었다. Olsen and Reynolds(1999)은 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식을 기초로 하여 2차원과 3차원 수치모형을 이용하여 흐름특성과 하상변동을 모의하였다. 현재 수치모형을 이용한 하천의 흐름특성과 하상변동 분석은 계속적으로 이루어지고 있으며 미육군공병단에서 개발한 SMS모형, 미시시피 대학의 CCHE2D(Center for Computational Hydroscience and Engineering) 등을 이용한 연구가 많이 이루어지고 있다.

본 연구는 공학적인 자연형 하천 복원 모델의 수립을 위해 하천분류체계와 2차원 수리해석모형을 이용하여 하천의 물리적 변화에 따른 흐름 및 하상변동을 예측하는 방법에 기초 자료를 제공하고자 한다. 안성천 수계의 진위천과 오산천을 대상으로 자연형 하천분류체계인 Rosgen의 방법을 이용하여 하천형태를 구분하고 분류된 하천 유형중 대표구간을 선정하여 2차원 수리해석 모형인 CCHE2D를 이용한 빈도별 홍수량 모의에 따른 흐름 및 하상변동을 분석하였다.

기본이론

1. Rosgen 하천분류법

Rosgen의 하천분류법은 자연형 하천정비에 응용이 가능한 대표적인 하천분류 체계로 30여년의 하천현장 조사결과를 토대로 개발되었다. 본 연구에서 적용한 Rosgen의 하천분류는 하천 유형별로 하천의 변화를 예측하고 하천유형에 따른 하천의 수리현상과 유사거동의 상관관계를 규명하며 하천의 특수 자료를 일반화 시키는 방법론을 제시하고, 다양한 학문분야 간의 의사소통을 위한 기준을 제시하고자 제안된 방법이다. Rosgen의 하천분류법은 크게 4개의 수준으로 이루어지는데 하도에 대한 실제적인 분류는 2단계 과정이며, 3단계와 4단계는 대상하천의 여러 가지 특성을 현장에서 측정하고

모니터링함으로써 하천의 상태를 평가하는 과정이다. 첫 단계(Level 1)에서는 하천 주변 지형의 유형화(Geomorphic Characterization), 두 번째 단계(Level 2)에서는 하도의 형태분류와 기술(Morphological Description), 세 번째 단계(Level 3)에서는 유사, 식생 등을 통한 하천의 상황 평가(Stream State or Condition), 마지막 네 번째 단계(Level 4)에서는 측정을 통한 검증(Validation Level)이 이루어진다. 표 1은 1단계 분류의 기준을 정리한 것이다. 2단계 분류는 1단계 분류의 결과를 하상재료에 따라 분류하는 것으로 하상재료는 D50을 기준으로 하여 기반암(Bedrock), 전석(Boulder), 호박돌(Cobble), 자갈(Gravel), 모래(Sand), 실트-점토(Silt-Clay) 등으로 분류된다. 수로재료의 평균입자크기에 따라서 기반암은 1, 바위는 2, 자갈은 3, 작은자갈은 4, 모래는 5, 그리고 미사/점토는 6과 같이 번호가 부과된다. 1단계 분류와 2단계 분류를 통해 총 42개의 하천유형으로 나누어진다.

미시시피 공과대학의 NCCHE에서 개수로의 비정상 난류흐름과 유사모의를 위해 개발된 수치해석 모형으로 개수로에서 시간의 변화에 따른 정상상태의 해를 해석 할 수 있으며 상류와 사류 영역뿐만 아니라 천이영역에 대한 모의를 수행할 수 있다. 만곡하천에서는 전형적인 소류사 이송공식을 사용하여 하상의 경사와 2차류(secondary flow)의 영향으로 인한 하천 지형변화에 대한 계산이 가능하다(식 1, 2).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial y} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{Cor} u \tag{2}$$

2. 2차원 수리해석모형

본 연구에서 사용한 CCHE2D모형은 미국

TABLE 1. 1단계 분류 정리(Rosgen, 1994)

하천 유형	일반적 특성	세굴비	하폭/수심	만곡도	경사
Aa+	매우 경사짐, 깊게 세굴, 토사류 가능	< 1.4	< 12	1.0-1.1	> 0.10
A	경사짐, 세굴, 작은 폭포형 낙차/소 하천, 퇴적가능 유사흐름과 토사류가 공존, 만약 기반암이나 바위가 지배적이면 매우 안정적임	< 1.4	< 12	1.0-1.2	0.04-0.10
B	보통정도의 세굴, 보통의 경사, 여울이 지배적, 빈번하지 않은 소, 매우 안정적임	1.4-2.2	> 12	> 1.2	0.02-0.039
C	완만한 경사, 만곡 모래톱(bar), 여울/소, 발달된 홍수터	> 2.2	> 12	> 1.2	< 0.02
D	망류 하천, 중방향과 횡단형 모래톱, 매우 넓은 수로와 침식되는 독	n/a	> 40	n/a	< 0.04
DA	복수의 좁고 깊은 유로, 확대되기 쉬운 잘 발달된 홍수터와 습지, 매우 다양한 만곡도, 안정적인 독	> 4.0	< 40	변화	< 0.005
E	완만한 경사, 사행하는 여울/소 하천, 좁은 수로, 매우 효율적이며 안정적, 높은 만곡도	> 2.2	< 12	> 1.5	< 0.02
F	세굴된 사행성 여울/소 수로, 완만한 경사, 높은 하폭/수심 비	< 1.4	> 12	> 1.4	< 0.02
G	세굴된 우열(gully), 낮은 하폭/수심 비, 중간정도의 경사	< 1.4	< 12	> 1.2	0.02-0.039

CCHE2D모형은 운동량 방정식과 연속방정식을 지배방정식으로 하고 있다. Navier Stokes방정식에 변동속도성분(fluctuation)과 평균속도성분으로 나누어 대입하면 레이놀즈 방정식으로 표현할 수 있고, 3차원 레이놀즈 방정식을 연직으로 수심적분을 취하면 수심적분된 2차원 난류흐름에 대한 운동량 방정식을 얻을 수 있다.

여기서, u 와 v 는 각각 x 와 y 방향의 수심적분 유속이고, t 는 시간, g 는 중력가속도, η 는 수위, ρ 는 물의 밀도, h 는 곡부수심, f_{Cor} 는 Coriolis 상수이다.

수심적분된 연속방정식을 이용하여 수위를 계산하며, 연속방정식은 식 (3)과 같다(Wu *et al.*, 2000).

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

여기서, η 는 자유수면 높이이고, h 는 수심이다.

또한 본 연구에서 사용한 유사량 산정 공식은 Ackers and White(1973)공식으로 이 공식은 일종의 에너지 개념 형태의 식이다 무차원 유사량은 이동 수(mobility number)에 관계한다는 차원 출발한다.

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m \quad (4)$$

여기서, G_{gr} : 무차원 유사량이며, 무차원 유사량의 정의는 다음 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$G_{gr} = \frac{C_t}{sD} \left(\frac{u_*}{V} \right)^n \quad (5)$$

여기서, C_t : 유사농도이다. 한편, Ackers and White(1973) 공식에서 이동수(mobility number) F_{gr} 은 다음 식 (6)과 같이 정의 한다.

$$F_{gr} = \frac{u_*^m}{\sqrt{gD(s-1)}} \left(\frac{v}{\sqrt{32 \log(10d/D)}} \right)^{1-n} \quad (6)$$

여기서, m , C , A , n : 무차원 유사입경 D_{gr} 의 함수이며 식 (7)을 이용하여 산정한다.

$$D_{gr} = D \left(\frac{g(s-1)}{V^2} \right)^{(1/3)} \quad (7)$$

Ackers and White(1973)는 입경 D 로서 D_{35} 를 추천하였다. 이 공식도 균일 차원이므로 어느 단위를 써도 무방하다.

대상 하천 및 Rosgen 분류체계의 적용

1. 대상 하천

연구의 대상 하천인 안성천 유역의 진위천과 오산천은 안성천 수계의 각각 1, 2차 지류로서 진위천의 유역면적은 203.89 km², 오산천의 유역면적은 152.8 km²이다. 진위천은 안성천의 제1지류로서 국가하천 진위천의 상류구간을 이루고 있으며, 성은천 및 원암천이 좌안으로 유입되고 있고, 하류로는 통삼천이 좌안으로, 산하천과 사후천 이 각각 좌우로 유입되고 하류에 지산천이 유입하고 있다. 또한 상류 구간은 저수용량 17,200×103m³의 이동저수지가 위치하고 있다. 오산천은 안성천의 제2지류이며 국가하천의 상류구간으로 수원천, 지곡천이 좌안으로 유입하고 기흥저수지의 서측으로 공세천이 유입되며, 저수지 하류구간의 좌안으로 고매천이 유입되고 있다. 치동천과 신리천은 국가하천 오산천 구간의 좌안으로 유입되고 최남측으로 가장천이 오산천의 우안으로 유입되고 있다. 안성천 수계에 분포하는 수종은 은행나무, 은사시나무, 능수버들, 느티나무, 뱀나무 등의 교목과 싸리, 개나리, 조팝나무 등의 관목이 있다.

2. Rosgen 분류체계의 적용

앞 절에서 선정한 Rosgen의 하천분류 방법을 국내의 하천구간에 적용하여 하천분류 분석작업을 실시하였다. 하천분류에 앞서 하천분류방법의 적용을 위하여 필요한 하천특성 요소들에 대한 산정을 실시하였다. 하천분류법을 적용하기 위해 필요한 하천특성요소는 하천경사, 하폭, 하폭-수심비 등이 있다. 하천경사는 하천정비기본계획의 구간별 하상경사를 측정자료를 이용하였으며 하폭/수심 비의 역시 하천정비기본계획에 고시되어있는 하폭과 수심을 이용하여 계산하였으며, 만곡도는 하천의 유로연장/직선길이를로 산정하였다. 위와 같이 수집한 특성요소자료를 이용하여 하천분류방법에 적용한 결과 1단계 분류를 적용하였을 때 C, D, E, F 유형에 속하는 것으로 분석되었으나, D 유형은 망사하천이며, F 유형은 고수부지가 거의 없는 하천이므로 안성천의 특성과는 같지 않으므로 제외 하였다. 따라서 대상하천을 C 유형과 E 유형으로 분류하였으며, 두 유형은 하폭/수심 비에의해 분류된다. C 유형은 하천의 폭이 넓고, 완만한 경사와,

홍수터가 발달된 유형으로 주로 유역 하류에 분포되었으며, E 유형은 하천의 폭이 좁고, 높은 만곡도를 가진 하천으로 유역의 상류에 분포되었다. 1단계를 적용한 결과에 하상재료를 이용한 2단계 분류를 실시하였으며, 하상재료는 하천정비기본계획을 이용하였다. 2단계 분류를 적용한 결과 대상하천은 주로 자갈과 모래로 구성된 하천으로, 표 2는 안성천 유역의 분류결과를 나타낸 것이다.

하천선정 및 모형의 입력자료 구축

1. 하천선정

본 연구에서는 C4 유형의 하천 2구간과, C5 유형의 하천 1구간, E5 유형의 하천 1구간을 연구대상 구간으로 선정하였다. 첫 번째로, C4유형으로 분류되었지만 흐름특성이 다른 두 구간을 선정하여 분석하고자 진위천 본류구간과 통삼천 만곡구간을 연구대상 구간으로 선정하였다. 진위천 본류구간은 넓은 하폭(215.4 m)과 발달한 홍수터를 나타내는 구간을 선정하였으며, 통삼천은 C4 유형 중 급만

TABLE 2. 하천분류 결과

하천명	하천경사	하폭/수심 비	만곡도	하상재료	유형분류	
진위천	진위천	0.003	23.80	1.44	자갈,모래	C4
	성은천	0.008	16.10	1.44	자갈, 모래	C4
	원암천	0.010	11.80	1.98	굵은자갈	E4
	통삼천	0.003	17.10	1.41	굵은자갈, 모래	C4
	사후천	0.007	6.74	1.95	자갈, 모래	E4
	산하천	0.004	6.22	1.54	잔자갈, 모래	E4
	지산천	0.003	14.40	1.59	자갈, 모래	C4
오산천	오산천	0.006	8.73	1.96	자갈	E4
	수원천	0.011	7.34	2.38	잔자갈, 모래	E5
	지곡천	0.009	6.11	1.67	잔자갈, 모래	E5
	공세천	0.016	12.98	2.06	잔자갈, 모래	C5
	고매천	0.015	5.25	1.90	잔자갈, 모래	E5
	치동천	0.013	22.55	1.50	잔자갈, 모래	C5
	신리천	0.007	18.25	1.55	잔자갈, 모래	C5
	가장천	0.004	5.03	1.93	잔자갈, 모래	E5

TABLE 3. 하천구간선정 결과

하천명	측점 NO.	구간거리 (m)	평균 하폭 (m)	하상경사
진위천	No.43 ~ 53	1000	215.4	1/900
통삼천	No.10 ~ 15	500	26.3	1/650
공세천	No.0 ~ 10	1000	22.4	1/81
수원천	No.0 ~ 10	1000	14.3	1/101

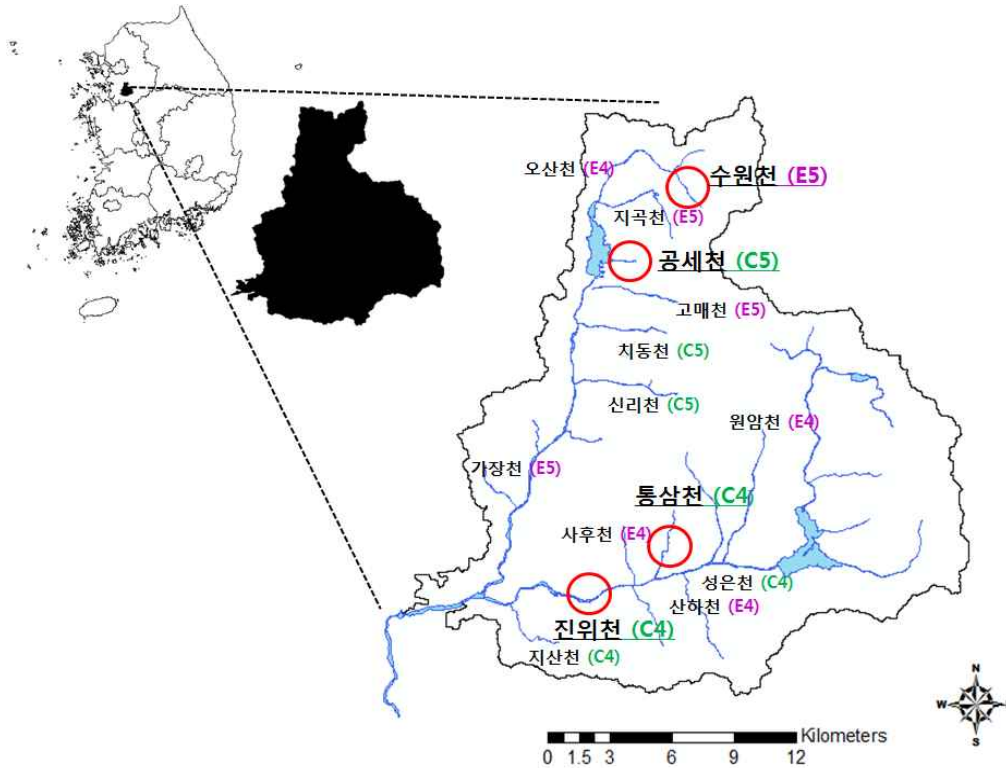


FIGURE 1. 안성천유역 하천분류 및 연구대상구간선정

곡의 형태인 구간을 선정하였다. 하천의 만곡은 홍수발생 시 하도의 좌안과 우안의 수위 및 유속의 차이가 발생하여 하상에 미치는 영향을 고려해야한다. C5 유형인 공세천은 하천 하류가 신갈저수지와 연결되어 있고 작은 지류 하천으로 선정하였다. 공세천은 도심관류 구간으로 하도는 석축과 콘크리트제방의 하천정비가 시업되었으며, 도로와 경작지 및 주거지를 관류하고 있는 구간이다. E5 유형의 수원천은 오산천유역의 상류의 작은 지류하천이

며, 도심관류구간으로 주거지와 도로가 인접해 있고, 콘크리트호안으로 처리되었다. 공세천과 수원천의 경우 콘크리트 하천정비 및 주거지로 인한 하천주변 식생이 발달하지 않은 구간으로 홍수모의 시 흐름 및 하상변화를 예측 하여야하는 구간이다. 다음 표 3은 선정한 하천의 구간과 구간거리 및 하폭 하상경사를 정리한 것이며, 그림 1은 하천분류체계 적용 결과 및 선정한 하천구간을 나타낸 것이다.

2. 모형의 입력자료 구축

1) 지형자료수집 및 유한요소망 생성

2차원 유한요소 해석을 수행하는데 있어 유한요소망을 구축하는 과정은 매우 중요하다. 유한요소망의 구성에 따라 모형의 결과 값이 수렴하기도 하며, 발산하기도 한다. 유한요소망은 여러개의 절점과 요소망을 연결하여 구축되어지며 본 연구에서는, 안성천수계 하천 정비기본계획서(건교부, 2006)와 진위천 하천정비기본계획서(건교부, 2006)를 바탕으로 오산천과 진위천 대상구간의 수치모의 자료를 구성하였다. 각 하천별 지형자료는 하천정비기본계획의 중·횡단면 자료와 1:5,000 수치지도를 이용하였다. x, y좌표는 한국 TM 중부 원점으로, z좌표는 횡단면자료의 표고값을 이용하여

CAD작업을 통하여 구축하였다. 대상구역내의 유한요소망은 CCHE2D의 Mesh Generator를 이용하여 생성하였고 수정과 보완을 하여 결과값의 정확도를 높였다. 격자크기에 따른 유한요소망 생성 민감도 분석을 통해 선정된 5 m 간격으로 각 하천별 유한요소망을 생성하였다. 하천 구간중 통삼천의 유한요소망 생성방법중 Boundary Smoothing parameter를 BSpline 으로 설정하여 생성하였다. 다음 그림 2는 유한요소망 생성 결과를 나타낸 것이다.

2) 유입부 경계조건

(1) 유출량

CCHE2D모형은 상류단 경계조건은 유입유량, 하류단의 경계조건에는 수위값을 사용한다. 경계조건 자료는 WMS의 HEC-1 유출량

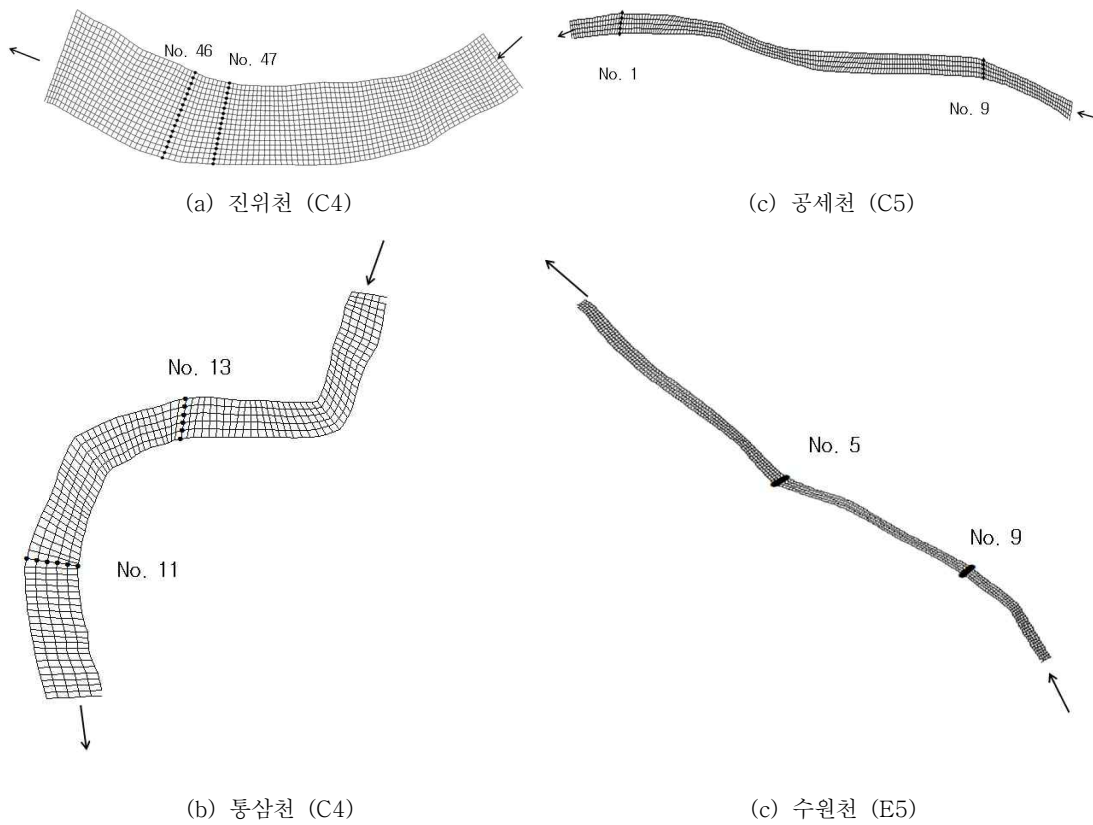


FIGURE 2. 유한요소망 생성결과

TABLE 4. 빈도별 강우량, 유량, 침투유량

빈도	하천명	강우량 (mm)	유량 (m ³)	침투유량 (m ³ /s)
50 년	진위천	385.2	8535.5	917.4
	통삼천		409.9	43.3
	공세천		235.5	25.2
	수원천		169.8	18.3
80 년	진위천	400.2	9124.1	979.4
	통삼천		434.6	45.7
	공세천		235.5	25.2
	수원천		181.7	19.6
100 년	진위천	415.2	9720.6	1036.6
	통삼천		459.4	48.2
	공세천		250.2	26.7
	수원천		193.8	20.8
150 년	진위천	430.2	10324.4	1099.3
	통삼천		484.4	50.8
	공세천		265.0	28.3
	수원천		206.0	22.2

결과 자료를 이용하여 입력하였다. 모형의 보정매개변수는 SCS 지체시간(lag time)을 8.8 hr, Muskingum 하도홍수추적방법의 인자인 저류상수 K와 가중계수 x를 각각 1.3, 0.4으로 입력하였다. 진위천과 오산천의 하천정비 기본계획에서 제시한 빈도별 강우량 자료를 Huff의 4분위법을 적용하여 24시간으로 분포하여 회화 수위관측소의 수위자료를 매개변수 보정에 사용하였다. 표 4은 빈도별 강우량, 유량, 침투유량을 정리한 것이다.

(2) 모형의 경계입력조건

본 연구에서는 홍수 시 하상변동분석을 위해 모의한 WMS-HEC-1의 유출량 자료와 강우패턴 분석결과를 이용하였다. 모의를 위한 모형의 경계입력조건은 표 5와 같다.

CCHE2D 모형의 유사량 산정공식은 Ackers and White(1973)공식은 한승원(2010)이 CCHE2D 모형을 이용한 낙동강하구둑 상류 접근수로에서 하상변동 예측을 위한 유사량 산정 공식 선정을 위한 연구를 통해 가장 실제하천 사상을 잘 반영한 다는 연

구결과를 발표한 바 있다. 따라서 Ackers and White(1973)의 공식으로 부유사 이송형태를 설정하여 모의 하였다.

흐름 및 하상변동 모의 결과

본 연구에서는 빈도별 홍수량을 경계입력조건으로 설정하여 각 유형별 구간에 대하여 24시간 모의하였으며 결과는 표 6과 같다. C4 유형의 진위천 본류 구간의 경우 평균 변동고가 -0.61m 로 침식이 우세한 것으로 모의되었다. 빈도별 홍수량이 증가함에 따라 유속도 증가하여 비교적 심한 하상변동이 발생할 것으로 분석된다. 그림 3과 4는 진위천 구간의 유속 및 하상변동 모의결과를 나타낸 것으로, 유속이 빠른 지점에서는 하천의 침식이 발생하였다.

통삼천의 경우에는 평균 변동고가 2.04m 로 퇴적이 우세한 것으로 모의되었으며, 유속이 0.16m/s 증가 시 하상침식은 0.04m 감소하였으나 퇴적이 0.13m 증가하는 것으로 모의되었다. 이는 통삼천 구간의 특성상 상류에

TABLE 5. 모형의 경계입력조건

Component	통삼천		진위천		공세천		수원천		
	상류	하류	상류	하류	상류	하류	상류	하류	
초기 하상 (m)	25.49	20.68	10.46	10.44	56.52	45.28	82.35	71.55	
초기 수위 (m)	27	22	16	15.5	58	46.5	83	71.9	
흐름매개 변수	ColdStart	40 m ³ /s	22.7 m	841	16	25	47	15	73
	HotStart	Hydrograph	Open boundary	Hydrograph	Open boundary	Hydrograph	Open boundary	Hydrograph	Open boundary
	조도계수	0.03		0.03		0.03		0.03	
유사매개 변수	대표입경 (mm)	25.42		2.64		8.94		8.28	
	공극률	0.33		0.41		0.37		0.36	
	부유사농도 (kg/m ³)	0.016		0.016		0.014		0.014	
	비중	2.65		2.65		2.65		2.65	
모의시간 (sec)	86400		86400		86400		86400		
시간간격	2		2		4		1		
관측구간 단면번호	No. 11, 12, 13		No. 46, 47		No. 1, 6, 9		No. 5, 8		

서 유입되는 유량 변화에 민감하게 작용하는 그림 5와 6은 통삼천 구간의 유속 및 하상변동 모의 결과를 나타낸 것이다. 80년 빈도 홍수량 모의 시 유속은 100년 빈도 모의 결과보다 0.5m/s 작았으나, 하상변동고는 0.8m 높았다. 공세천은 50년 빈도와 80년 빈도를 모의하였을 경우 유속의 변화나 하상변동고의 변화는 크게 민감하지 않았으나, 100년 빈도를 모의하였을 경우에 하상변동고가 0.06m 증가함에 따라 퇴적이 우세한 것으로 분석된

다. 수원천은 빈도별 홍수위에 따른 유속과 하상변동고의 변화는 나타나지 않았다.

빈도별 홍수량의 발생 빈도에 따른 하상변동량을 알아보기 위해 50년 빈도 홍수량을 1회부터 7회까지 연속으로 모의하여 분석하였다. 빈도별 홍수량과 모의 횟수에 따른 하천의 하상변동을 예측하기 위해 하천 유형 구간의 각 단면별로 하상변동고를 정리하였으며, 그 결과는 다음 그림 7과 같다. C4 유형의 진위천 본류구간의 No. 46 단면과 No. 47 단

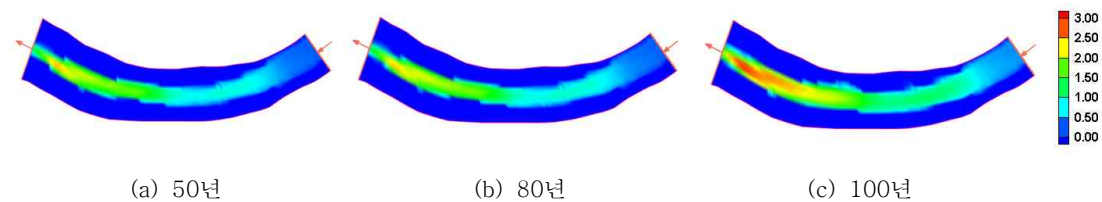


FIGURE 3. 진위천(C4) 빈도별 유속 모의 결과

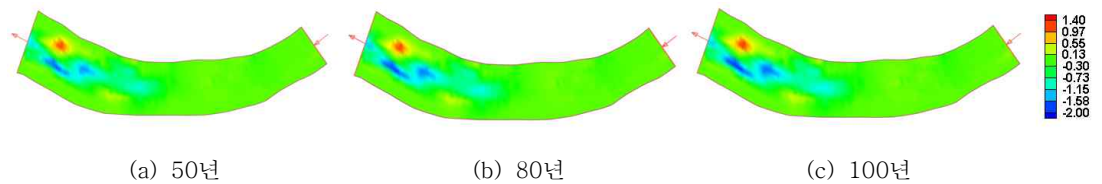


FIGURE 4. 진위천(C4) 빈도별 하상변동 모의 결과

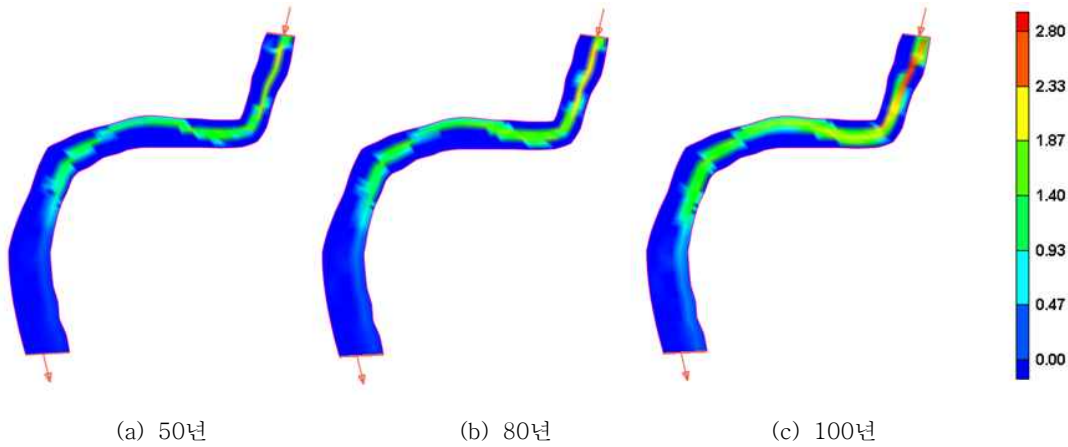


FIGURE 5. 통삼천(C4) 빈도별 유속 모의 결과

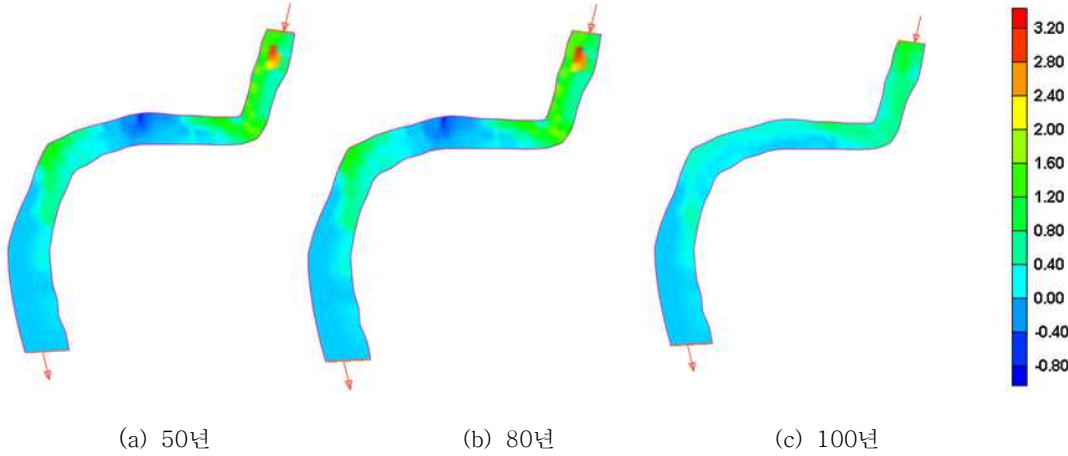


FIGURE 6. 통삼천(C4) 빈도별 하상변동 모의 결과

면의 횡단면은 연속모의의 횡수의 증가와 유출량 빈도의 증가에 따라 하상침식이 주기적으로 나타나는 것으로 분석되었다(그림 7-a). 연속모의 1회 시 하상변동고는 평균 0.26 m의 침식이 일어났으나 4회 이상의 연속모의를 하였을 때의 하상변동은 평균 0.04 m로 하상변동이 일정하게 변화 하는 것으로 분석된다. 하천의 유사 공급과 하상재료는 그대로 있는데 유량이 급격히 커지는 경우에도 하상저하 현상이 나타난다. 하상저하 현상은 자연상태의 충적하천에 인위적인 변화를 주었기 때문에 새로운 평형상태를 찾아가는 과정으로 사실상 이를 막거나 조절 할 수 있는 실제적

인 방법은 없다. 자연적으로 하상의 선택적 침식에 의해 하상이 장갑화되어 하상저하를 중지시킬 수 있으나 이러한 장갑화는 하상층의 장갑을 만들 수 있는 자갈과 호박돌 등이 하상재료에 섞여 있어야 한다는 전제 조건이 있다. 진위천의 경우 하상재료가 자갈로 구성되어 있어 하상의 변동이 깊게 저하되지는 않은 것으로 분석된다.

통삼천의 모의 구간은 만곡부로 만곡부의 하상형태는 상류에서 유입, 수문 곡선의 유량 변화에 민감하게 작용하는 것으로 나타났다. 하천의 상류인 No. 13 단면에서의 하상변동 폭이 하천 하류인 NO. 11 단면보다 평균

TABLE 6. 빈도별 유속 및 하상변동고 모의 결과

유형	하천명	빈도 (년)	유속 (m/s)	하상변동고 (m)		
				침식	퇴적	변동고
C4	진위천	50	2.40	-1.71	1.16	-0.55
		80	2.40	-1.82	1.19	-0.63
		100	2.82	-1.86	1.20	-0.66
	통삼천	50	2.01	-0.66	2.99	2.33
		80	2.17	-0.62	3.12	2.50
		100	2.67	-0.02	1.32	1.30
C5	공세천	50	1.50	-0.83	0.86	0.03
		80	1.51	-0.83	0.86	0.03
		100	1.65	-0.82	0.91	0.09
E5	수원천	50	1.61	-0.36	0.60	0.24
		80	1.61	-0.36	0.60	0.24
		100	1.61	-0.36	0.60	0.24

0.16 m 의 퇴적이 더 발생하는 것으로 분석되었다. 만곡부의 하상형태 변화와 분급은 상류에서 유입되는 유량 변화율에 민감하게 작용하는 것으로 분석된다. 또한 빈도별 유량이 증가함에 따라 만곡부 안쪽의 퇴적이 발생하는 것으로 분석되었다. No. 13 단면의 경우 만곡부 안쪽의 퇴적은 100년 빈도 유량으로 연속모의를 7회 실시하였을 때 1.15 m 정도 퇴적이 발생하는 것으로 분석되었다(그림 7-b).

공세천 상류인 No. 9 단면의 경우 하상의 침식이 나타났다면, No. 1 단면은 하상의 퇴적이 일어난 것으로 보아 하천 하류에서는 하상 상승현상이 발생한 것으로 나타났다(그림 7-c). 하상 상승현상은 댐의 상류 하천 유입부에서 전형적으로 나타나는 현상으로 하류의 경우 신갈저수지의 유입부로 하상 상승현상이 나타난 것으로 분석된다. 또한 하상재료가 모래인 것을 감안하였을 때 하상에 모래가 쌓여 하상 상승 현상이 계속 진행 된 것으로 분석된다.

모의한 E5 유형의 수원천의 하상변동 모의 결과는 빈도별 홍수량 연속모의를 1회에서 4~5회까지 진행되었을 때 하상이 침식되는 경향을 보였으나 5회 이후부터는 다시 퇴적되는 것으로 분석되었다(그림 7-d). No. 5 단면의 100년 빈도의 경우 1회 연속모의 시 최심 하

상 변동량은 -0.33 m 으로 5회 모의 시 0.42 m 까지 하상이 퇴적 되었으나 6회 모의 시 0.18 m 로 퇴적의 양이 5회 모의 시 보다 0.24 m 작게 나타났다. 이는 수원천의 하상 재료가 잔자갈과 모래로 구성되어 있어 하상의 변동폭이 하천 유량 및 유량 형태에 영향을 많이 받기 때문 인 것으로 분석된다.

요약 및 결론

본 연구는 공학적인 자연형 하천 복원 모델의 수립을 위해 하천분류체계와 2차원 수치해석모형을 이용하여 하천의 물리적 변화에 따른 흐름 및 하상변동을 예측하는 방법에 기초 자료를 제공하고자 하였다. 안성천 수계의 진위천과 오산천을 대상으로 자연형 하천분류체계인 Rosgen의 방법을 이용하여 하천형태를 구분하고 분류된 하천 유형중 대표구간을 선정하여 2차원 수치해석 모형인 CCHE2D를 이용한 빈도별 홍수량 모의에 따른 흐름 및 하상변동을 분석하였다.

본 연구는 안성천유역의 하천에 대하여 Rosgen의 하천분류체계를 이용하여 하천을 분류하고 분류된 하천을 2차원 수치해석 모형인 CCHE2D에 적용하여 빈도별 홍수량 모의에 따른 하천 유형별 대표구간의 흐름 및 하상변동을 분석하였다. Rosgen의 하천분류체

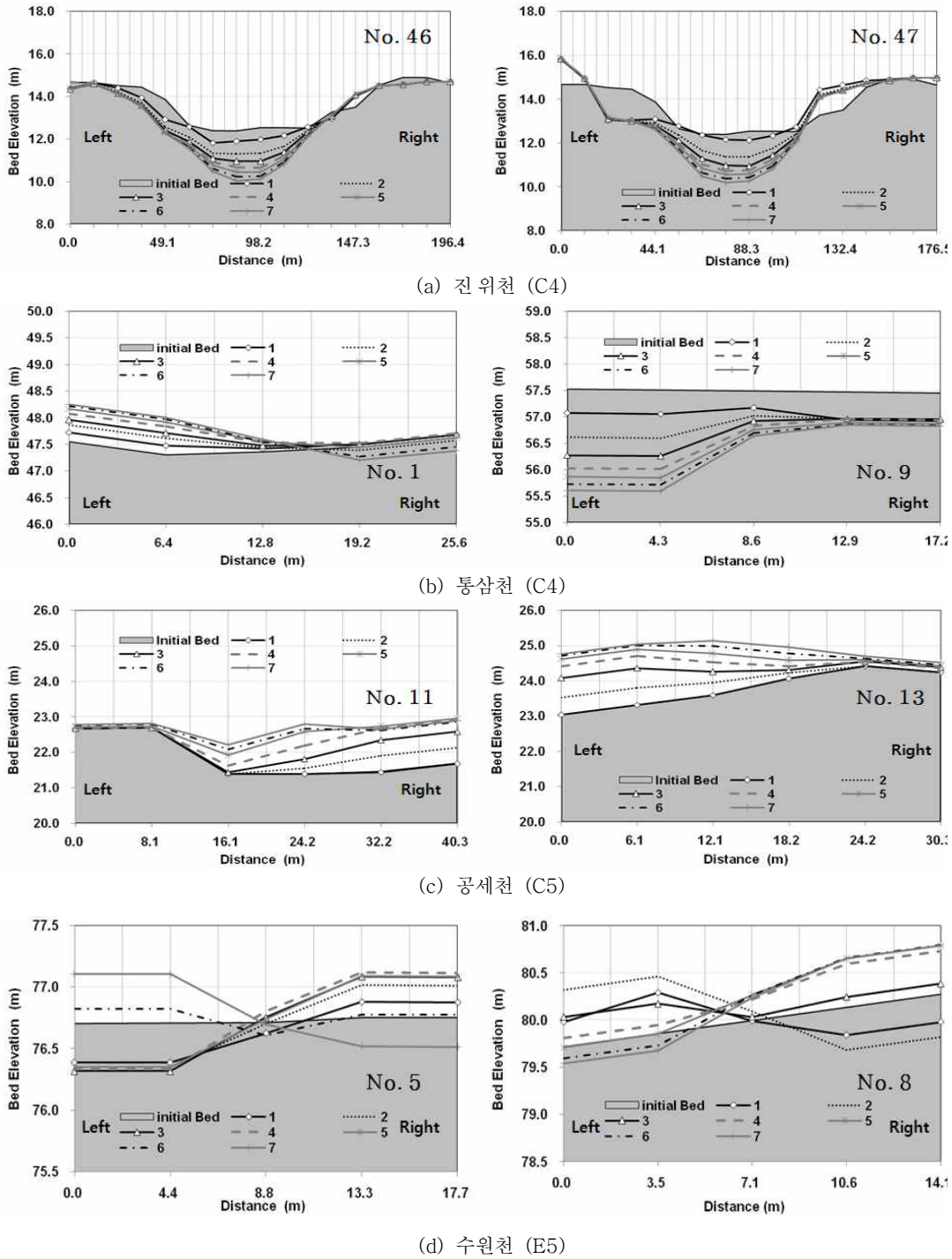



FIGURE 7. 측점별 횡방향 하상변동고 비교

계를 진위천과 오산천에 적용한 결과 크게 C 유형과 E 유형으로 분류되었다. 분류된 유형 중 흐름특성이 다른 C4 유형의 하천 2구간과, 콘크리트 하천정비 및 주거지로 인해 하천 주변 식생이 발달하지 않은 C5 유형의 하천 1구간, E5 유형의 하천 1구간을 연구대상 구간으로 선정하였다. 하천분류체계에 의해 선정된 연구대상지역에 대하여 CCHE2D 모형을 이용하여 수치모의를 수행한 결과, 하폭/수심비가 큰 C4 유형의 진위천 본류 구간의 경우 침식이 우세한 것으로 모의되었고, 통삼천의 경우 유속이 0.16m/s 증가 시 하상침식은 0.04m 감소하고 퇴적이 0.13m 증가하여 퇴적이 우세한 것으로 분석된다. C4 유형에 비해 하상재료의 입경이 작은 C5 유형의 공세천은 100년 빈도를 모의하였을 경우에 하상변동고가 0.06m 증가함에 따라 퇴적이 우세한 것으로 분석되었다. C유형에 비해 하폭이 협소하고 하상경사가 심한 수원천의 경우 빈도별 홍수위에 따른 유속과 하상변동고의 변화는 나타나지 않아 하천의 물리적 변화에 따른 하상변동의 경향을 파악 할 수 없었다.

본 연구는 하천유형 별 하상변동에 대한 물리적 영향을 평가하고자 하였다. Rosgen의 하천분류체계를 적용하여 하천의 유형을 분류하고 2차원수리해석 모형을 적용함으로써 자연형 하천 유형에 대한 침식 및 퇴적 등에 대한 물리적 영향을 평가할 수 있는 기초정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 수생태복원사업단의 “자연하안 창출 및 하안변화 유도기술개발(과제번호: 07-1-3)의 연구비 지원”에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다. 

참고 문헌

곽준성. 2001. 하천·해안에서의 RMA-2와

SED2D모형의 적용성 검토. 명지대학교 석사학위논문.

건설교통부. 2001. 자연 친화적 하천정비기법 개발 보고서. 한국건설기술 연구보고서. 574 쪽.

건설교통부. 2006. 오산천수계 하천정비기본계획.

건설교통부. 2006. 진위천수계 하천정비기본계획.

김영복. 2003. SMS모형을 이용한 하상변동 예측. 충북대학교 석사학위논문.

박민지. 2006. SMS와 WMS를 이용한 하천의 수리학적 안정성 분석 연구. 건국대학교 석사학위논문.

송범. 2008. 공주대교 상·하류구간에 대한 흐름특성과 하상변동 모의. 공주대학교 석사학위논문.

임창수, 이준호, 정재욱, 윤세의. 2008. 국내유역의 하천분류 및 하도진화모형 적용. 대한토목학회논문집. 28(6B):615-625.

정상만, 신광섭, 박석재, 이주헌, 한규하. 2007. 금강의 경관 향상을 위한 보의 위치변화. 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 1239-1243쪽.

최민하. 2001. SMS를 이용한 장·단기 하상변동 해석. 고려대학교 석사학위논문.

한승원. 2010. CCHE2D 모형을 이용한 유사량 산정 공식 및 유사이송 형태에 따른 하상변동 수치모의에 관한 연구. 명지대학교 석사학위논문.

홍성민, 정인균, 이준우, 김성준. 2004. SMS를 이용한 경안천 하류구간의 하천흐름 분석. 한국지리정보학회지 7(1):1-9.

Ackers, P. and W.R. White. 1973. Sediment transport new approach and analysis. Journal of Hydraulic Division 90(11):2041-2460.

Davis W.M. 1899. The geographical cycle.

- The Geographical Journal 14(5):481-504.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin 56(3):275-370.
- Leopold, L.B. and M.G. Wolman. 1957. River channel patterns : braided, meandering and straight. Geological Survey 282B:39-85.
- Olsen, R. and R. Reynolds. 1999. Exploring the relationship between perceived narrativity and perceived message effectiveness. Carolinas Communication Annual 15:41-54.
- Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. CATENA 22:169-199.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63(11):1117-1142.
- Wu, W., S.S.Y. Wang and Y. Jia. 2000. Nonuniform sediment transport in alluvial river. Journal of Hydraulic Research 38(6):427-434. [KAGIS](#)