

연구논문

식생분포에 따른 하도의 통수능 검토를 위한 3차원 모형의 적용

노준우* · 이진영** · 안기홍***

한국수자원공사 K-water 연구원*, K-water 연구원**, 낙동강유역환경청 연구사***
(2010년 8월 18일 접수, 2010년 12월 30일 승인)

Application of Three-Dimensional Model to Evaluate Stream Discharge Capacity due to Vegetation

Joon Woo Noh* · Jin Young Lee** · Ki Hong Ahn***

K-water Institute K-water*, K-water Institute K-water**, Dam & Watershed Management Dept***
(Manuscript received 18 August 2010; accepted 30 December 2010)

Abstract

Recently, the social and environmental functions of nature river are important due to the increase of expectation for river restoration. So it should be considered the effect of vegetation affecting the conveyance capacity and hydraulic resistance. However, it has not yet proposed a objective standard and modeling method to estimate the effect of conveyance capacity according to vegetaion distribution in the watercourse such as water level or velocity. Therefore, this study simulates the variations of water level and velocity using 3-dimensional hydrodynamic model, EFDC, to consider a conveyance capacity in downstream of the Soyang Reservoir. The simulation results were validated using statistical index such as F-test and T-test. As results, the water level rises about 0.01 to 0.47m and velocity difference are about -0.95m/s to 0.23m/s.

Keywords : Vegetation, Hydraulic analysis, Discharge Capacity, EFDC, Soyang River

1. 서론

과거 우리나라는 이·치수에 초점을 맞추어 통수 단면적의 축소와 조도 등의 문제로 하도내의 식생을 기피해 왔다. 그러나 최근에는 환경단체를 중심으로 생태하천으로의 복원에 대한 여론 형성으로

자연 하천의 사회·환경적 기능이 중요해졌다. 이에 따라 자연형 하천을 위해 홍수터나 친변을 공원화하거나 식생함으로써 하천의 통수능에 있어 장애가 되는 식생의 영향에 대한 검토는 각종 하천 정비 계획에 있어 필수적 항목이 되고 있다. 일반적으로 하천에서는 식생으로 인해 조도가 증가함으로써 흐

름에 대한 저항이 커져 홍수위가 상승하고 유속이 감소하며, 흐름방향이 불규칙하게 변화한다. 또한 식생이 군집하고 있는 곳과 비식생 구간사이나 도시하천의 저수로와 홍수터를 가지는 복단면 개수로에서는 유속차에 의한 경계층이 형성되어 통수능에 영향을 미치는 등 하도의 최초 설계 시와는 다른 수리특성을 지니게 된다. 하지만 이러한 식생으로 인해 수위 및 유속에 미치는 영향 분석을 위한 객관적인 모형이나 기준이 부족한 실정이다. 특히 저수지의 경우 하천에 비해 더 복잡한 순환과 혼합과정을 가지고 있고 기상 및 수문학적 조건, 지형, 그리고 성층화 등의 조건에 의해 매우 큰 영향을 받으며 체류시간 또한 길어 안기홍 등(2009)은 3차원 모형을 국내 저수지와 댐 관리를 위해 제시하였다.

이준호와 윤세의(2007)는 단단면과 복단면의 실험수로에서 인공식생을 이용해 식생 전과 후, 유량, 수심비, 식생밀도, 홍수터의 유무 등에 따른 수심증가 및 유속상승에 대해 분석하였다. 조홍제와 이준용(1997)은 Fukuoka가 제안한 식생에 의한 사수구역화와 그에 따른 수리특성변화 해석기법을 적용해 태화강 고수부지에 관해 수치해석을 실시하고 하폭기준 2.5% 정도 선에서 식수를 하는 경우에는 홍수위상승 효과가 거의 없다고 밝혔으며, 고수부지에 식생을 할 경우 홍수시 사수구역이나 수목군에 의한 저항력이 최소화되도록 해야 한다고 말했다. 또한 조홍제 등(2002)은 왜곡모형을 제작해 태화강의 실제 자연하천 내에 자생하고 있는 대나무 군락이 홍수발생 시 수위상승에 미치는 효과를 검토한 결과, 홍수발생 시에는 저수로 구간과 둔치구간 내의 하천의 유로와 흐름방향, 식생군의 위치 및 밀도 등에 홍수위가 영향을 받는 것으로 나타났다.

Andrew(1984), Hey and Thorne(1986), Huang and Nanson(1997)은 현장 조사로부터 밀도가 높은 식생은 하천 수심과 흐름에 대한 저항을 증가시키고 하천 폭의 증가를 억제시킨다고 설명하였으며, 하천의 발달과정은 식생 밀도, 형상, 연령, 건강상태 등에 의해 영향을 받는다고 하였다. 그러나 Masterman(1992)이 수심비와 식생의 키에 따

른 통수능을 각각 분석하여 하천의 식생관리에 중요한 전향점을 제공해 주었다. 식생 활착에 따른 하도 영향을 판단하기 위한 수치모의 연구도 활발하여 Mahoney and Rood(1998)는 홍수터 식생, 특히 북미산 포플러의 이입, 활착을 모의하는 'Recruitment Box Model(RBM)'을 제안하였으며 Dixon and Truner(2006)는 'RBM'을 이용하여 하천흐름이 수변 초기정착 수목의 유식물 생장에 미치는 영향을 모의하였다. Tsujimoto(1999)는 식생 활착에 의한 영역 확장에 의해 수로폭이 축소되는 원리를 설명하였으며, 2차원 수심평균 모형을 사용하여 이러한 과정을 수치모의 하였다. 또한 Braud 등(2001)은 ANSWERS 모형을 이용해 Andes 지역의 2개 소유역을 정해 3가지 스케일의 식생피복에 대해 모의를 실시한 바 있다.

본 연구에서는 소양강댐 직하류의 12.01km 구간에 걸쳐 3차원 수리동역학 모형인 EFDC를 사용하여 홍수기 방류시 식생의 유무에 따른 수위 및 유속의 변동을 모의함으로써 대상하천의 통수능 검토를 실시하였다. 이를 위하여 대상구역의 식생분포를 현장조사를 통해 파악하였고 단면별 수위상승을 모의하기 위하여 3차원 수리학적 수치모형(EFDC)을 활용하여 식생을 고려한 흐름해석을 실시하였다. 홍수기 소양강 댐방류 시 식생에 의한 제방월류 가능성 검토에 중점을 두고 모의를 수행하였으며 모의결과를 서로 비교·검토하였다. 기본계획 방류량 및 최대방류량을 적용하였으며 수위 모의결과와 단면별 제방고를 상호 비교하여 월류 가능성을 판단하였다. 본 연구결과는 최근 문제시되고 있는 하천변 식생에 대한 영향을 해석하고 이에 관한 관리방안을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 연구 방법

1. 연구대상지역

모의 대상 지역인 소양강은 유역면적이 2,798.5km²로서 북한강 전체 유역면적의 26.01%를 차지하며, 유로연장은 158.6km인 대규모 하천

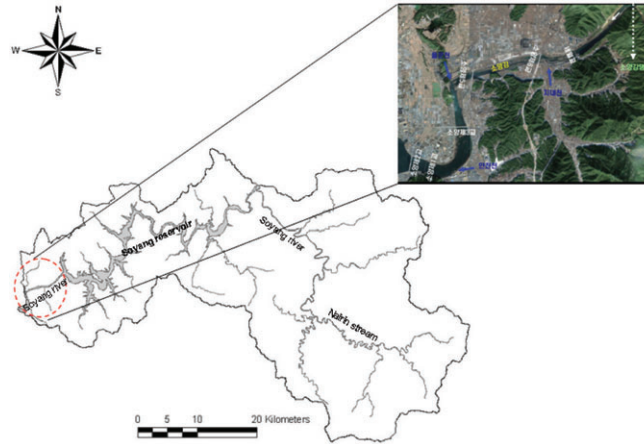


Fig. 1. Study Area in Soyang Basin

으로 강원도 인제군 서화면 무산에서 발원하여 남류하다 다목적댐인 소양강 댐을 관류한 후 다시 서류하다 강원도 춘천시에 위치한 북한강 좌측으로 유입된다. 소양강은 국가하천 1개소, 지방1급 하천 1개소(소양강)와 내린천을 포함한 지방2급 하천이 24개소가 존재한다. 금회 연구에 적용된 구간은 소양강 댐 하류~북한강 합류 전 12.01 km이며(Fig. 1), 춘천시를 통과하는 소양강은 지역개발로 인하여 일부의 산지부분을 제외하고는 전구간이 기성제로 정비되어 있다. 또한 대상구간의 식물상 및 식생 분포를 살펴보면, 전체 조사구간에서 27목 45과 104속 124종의 식물과 14 종류의 귀화식물의 출현을 확인할 수 있었다. 조사구간의 귀화율은 11.3%이고, 도시화지수는 4.9로서 간섭이 많은 일반적인 하천 수준으로 나타났다.

2. EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모형

EFDC 모형은 초기에 Virginia Institute of Marine Science(Hamrick, 1992)에서 개발되었고, 현재는 미국 환경청(EPA)과 Tetra Tech, Inc.에서 개발·관리되고 있는 3차원 수리동력학 모델로서 하천, 하구, 호소, 해역에 적용가능하다. EFDC는 유체의 이동, 염분과 수온의 모의 외에도 부유물질을 cohesive-noncohesive로 나누어 거동을 해석할 수 있는 기능이 포함되어 있다. 뿐만 아니라 수심이 얇은 수체에 대한 wet/dry 현상을 모의할 수 있어 인공습지 등에서의 유동을 모의할 수 있는 장점이 있다. 본 모형은 기본적으로 Hydrodynamics, Water Quality, Sediment Transport, Toxic의 4개 모듈로 이루어져 있으며, Hydrodynamic은 dynamics(E, u, v, w, mixing),

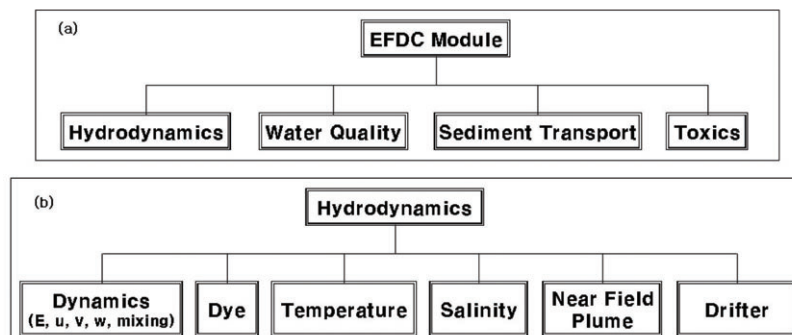


Fig. 2. Construction of EFDC model

dye, temperature, salinity, near filed plume, drifter의 모의 기능을 가지고 있다(Fig. 2). 본 연구에서는 Hydrodynamics 모듈에 포함된 vegetation 옵션을 사용하여 모형을 구축하였다.

EFDC 모델에서는 수평방향으로는 수평좌표계인 x, y 좌표를 고려하고, 수심방향(z)으로는 중력벡터를 이용하여 바닥지형과 움직임이 있는 수면을 표현한다. 즉 시간에 따라 위치와 길이가 변화하므로 수직 방향에 대한 변환을 위하여 sigma stretching transformation이 사용되며 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식, 열염 보존 방정식 및 퇴적물을 포함한 물질 보존 방정식들로 구성되어 있다.

$$\frac{\partial m\zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_yHu) + \frac{\partial}{\partial y}(m_xHv) + \frac{\partial}{\partial z}(m\omega) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial mHu}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_yHuu) + \frac{\partial}{\partial y}(m_xHvu) + \frac{\partial}{\partial z}(m\omega u) \\ & - (mf + v\frac{\partial}{\partial x}m_y - u\frac{\partial}{\partial y}m_x)Hv \\ & = -m_yH\frac{\partial}{\partial x}(g\zeta + p) - m_y(\frac{\partial h}{\partial x} - z\frac{\partial H}{\partial x})\frac{\partial p}{\partial z} \\ & + \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1}A_v\frac{\partial u}{\partial z}) + Q_u \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial mHv}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}(m_yHuv) + \frac{\partial}{\partial y}(m_xHvv) + \frac{\partial}{\partial z}(m\omega v) \\ & + (mf + v\frac{\partial}{\partial x}m_y - u\frac{\partial}{\partial y}m_x)Hu \\ & = -m_xH\frac{\partial}{\partial y}(g\zeta + p) - m_x(\frac{\partial h}{\partial y} - z\frac{\partial H}{\partial y})\frac{\partial p}{\partial z} \\ & + \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1}A_v\frac{\partial v}{\partial z}) + Q_v \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0^{-1} = -gHb \quad (4)$$

여기서,

- h, ζ : 기준면 하 수심(m) 및 기준면 상 수위(m)
- u, v : 직교하는 곡선좌표계 x, y에서의 수평유속(m/s)
- m_x, m_y : 곡선좌표계 임의거리 $ds^2 = m_x^2dx^2 + m_y^2dy^2$ 을 만족시키는 metric tensor의 대각성분의 제곱근($m = m_x, m_y$)(m)
- w : 변환된 무차원 연직좌표계 z에서의 수직유속 (m/s)성분
- H : 총수심 (=h+)(m)
- p : 압력, 수심 z에서 기준수압과의 차를 로 나눈 값
- f : Coriolis parameter
- A_v : 수직 난류 점성계수
- Q_u, Q_v, Q_c : 운동량 source-sink 항 (kg m/s)
- p : 밀도 : 기준밀도
- b : 부력
- ω : 침강속도(m/s)

3. 지형자료 및 경계조건의 구성

모형의 적용을 위한 지형자료는 SMS 8.1을 이용하여 격자를 분할하였으며, x방향으로 153개, y방향으로는 5개로 나누어 총 765개의 셀로 격자를 구성하였다. 또한 수심 방향의 자료는 수치지도를 가지고 ArcGIS상에서 변환을 통하여 하도내 수심 자료를 추출하여 적용하였으며, 연직방향으로 5개 층으로 설정하였다. 유입유량 경계조건은 소양강댐 설계 방류량인 5,675m³/s를 정상상태 조건으로 입력하였으며, 하류단 경계는 수위조건(EL. 74.43m)을 적용하였다. 또한 식생고려를 위한 입력자료의 구성은 항공사진 및 현장조사를 통하여 구축된 식생분포도를 참고하여 교목류(tree), 관목류(shrub), 초본류(herb)등 총 3 종류로 구분하였다. 모델에서 요구되는 식생관련 입력자료는 Table 1과 같으며,

Table 1. Result of vegetation research

	Vegetation #1(tree)	Vegetation #2(shurb)	Vegetation #3(hurb)
Plant Density(/m2)	0.10	0.25	25
Stem Diameter(m)	0.15	0.05	0.02
Stem Height(m)	10	4.5	1.5
Alpha(depth factor)	0.7854	0.7854	0.7854
Drag Coefficient Factor	0.5	0.5	0.5

Qa :	<i>Quercus acutissima</i>	상수리나무
Sc :	<i>Salix chaenomeloides</i>	왕버들
Sg :	<i>Salix gracilistyla</i>	갯버들
Sk :	<i>Salix koreensis</i>	버드나무
Pj :	<i>Phragmites japonica</i>	달뿌리풀
Pn :	<i>Populus nigra var. italica</i>	양버들
Rc :	<i>Rhus chinensis</i>	붉나무
Ro :	<i>Rubus oldhamii</i>	줄딸기
Rp :	<i>Robinia pseudoacacia</i>	아까시나무
Zs :	<i>Zelkova serrata</i>	느티나무
Ps :	<i>Pterocarya Stenoptera</i>	중국굴피나무
Po :	<i>Platanus Orientalis</i>	버즘나무

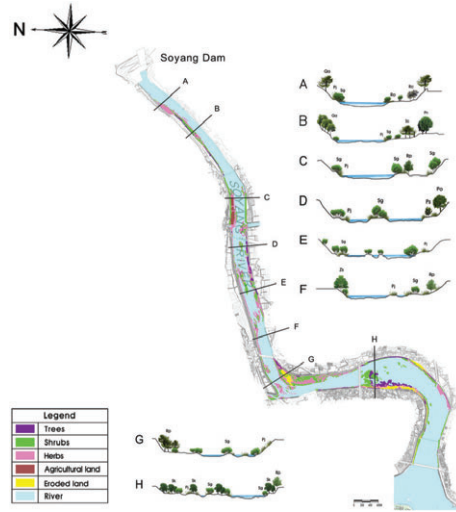


Fig. 3. Vegetation map generated based on the site investigation

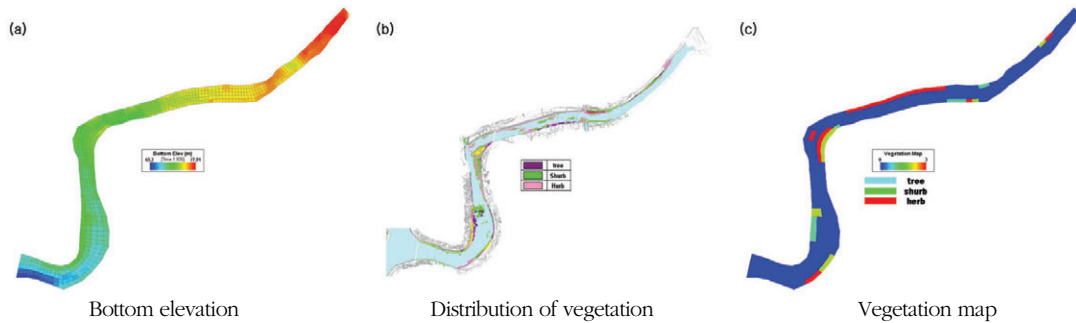


Fig. 4. Geographic & vegetation map

모의구간에 분포하는 식물군락에서 교목은 버드나무(*Salix koreensis*)가 우점하고, 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)가 아우점하고 있다. 이들은 제방사면과 인접하여 분포하고, 단위면적당(m²) 0.1개의 개체수를 나타냈으며, 교목은 높이 7~13m로서, 모델에서는 평균값인 10m를 사용하였다. 식피율은 약 90%를 나타내고 흉고직경은 15~17cm 정도이다. 군락의 구성종은 고마리, 달뿌리풀, 쇠뜨기, 환삼덩굴 등이다. 관목은 갯버들군락(*Salix gracilistyla* community)이 우점하고, 수변부 및 하중도에 주로 분포하고 있으며, 밀도는 약 25개체/100m²이다. 관목류와 초본류의 밀도, 직경, 높이는 각각 0.25개, 0.05m, 4.5m와 25개, 0.02m, 1.5m를 입력자료로 사용하였으며, 밀도의 경우 교목 < 관목 < 초본, 직경 및 높이의 경우 교목 > 관목 > 초본류의

순으로 큰 값을 나타냈다.

4. 모의결과의 유의성 평가방법

모의결과에 대한 차이가 통계적으로 유의한지를 평가하기 위해 가설검증(T-test와 F-test)을 실시하였다. T-test와 F-test는 각각 두 모의결과의 분산과 평균에 대한 차이가 통계적으로 유의한지를 판별하는 지표이다. 가설검증의 귀무가설(null hypothesis, H₀)은 두 모델의 모의결과는 5% 유의수준에서 차이가 없으며 예측결과도 다르지 않다는 것이며, 대립가설(alternative hypothesis, H_a)은 두 경우의 모의결과에 대한 차이가 통계적으로 유의하다는 것이다. 즉, 귀무가설은 두 모델 결과의 T-test와 F-test를 통해 얻은 p값이 유의수준($\alpha=0.05$)보다 클 경우 채택되며, 작을 경우 기각된다.

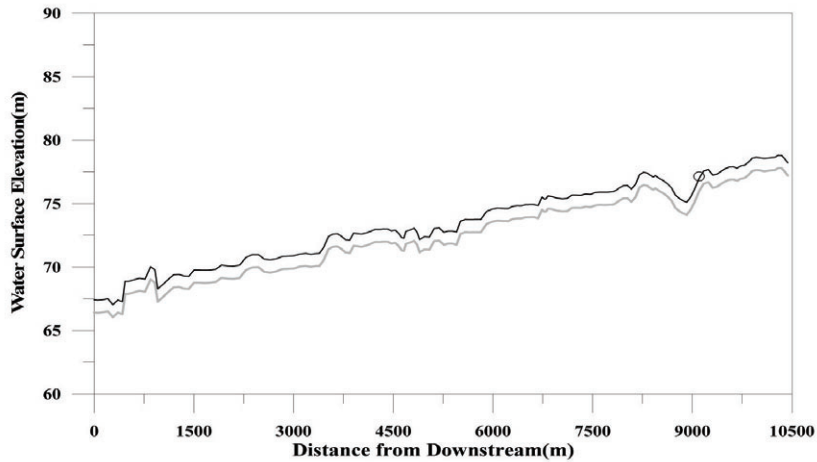


Fig. 5. Comparison of Simulated and measured water surface Elevation

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 검정

대상구간 내 흐름해석을 수행하기 위해 본 연구에서는 미국의 EFDC 모형을 사용하였다. 연구모형을 사용하기 위해선 해당 유역에 대해 모형이 적절히 검정되었는지 사전 확인이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 천전 수위관측소 지점에서의 모형의 검정을 실시하였다. 흐름계산에 있어 중요한 매개변수인 Manning 조도계수는 북한강 하천정비기본계획(건설교통부, 2002)에서 제시된 0.035를 적용하였고, 상류단 경계조건으로는 소양강댐 발전방류량 240cms를 사용하였으며, 하류단 경계조건으로는 평균수위 E.L. 70m를 적용하였다. Fig. 5는 본 연구모형으로부터 계산된 모의결과와 최상류단으로부터 4.5km 하류부인 세월교에 위치한 천전수위

표에서 관측된 수위값을 비교한 결과이다. 모의 결과 연구모형에 의한 계산수위는 77.17m로서 관측값인 77.14m와 매우 잘 일치함으로써 모형의 적용성을 확인할 수 있었다.

2. 수위 모의 결과

구축된 지형자료를 바탕으로 상류단 유입 유량의 조건을 소양강댐 설계 방류량인 5,675 m³/s를 정상상태로 가정하여 총 5개의 셀 중 방류구 부분만을 포함하기 위하여 3개의 셀만을 유입 경계로 고려하였다. 모의 수위는 곧 정상상태에 도달하였으며, 그 결과는 Table 2와 Fig. 6~Fig. 8에 나타내었다. 식생분포를 고려한 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 약간의 수위 상승을 확인할 수 있었으며, 식생이 분포한 좌안과 우안부에서는 통수능 감소로 인하여 중앙부에 비해 수위상승 폭이 크게 나타남을 볼 수 있

Table 2. Water surface elevation comparison between with & without vegetation

	Without vegetation		With vegetation		Difference	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right
# 137	83.84 m	83.79 m	83.97 m	83.89 m	0.13 m	0.10 m
# 108	81.76 m	81.60 m	82.15 m	81.92 m	0.39 m	0.32 m
# 83	79.83 m	79.72 m	79.90 m	79.99 m	0.07 m	0.27 m
# 56	77.44 m	77.72 m	77.62 m	77.97 m	0.18 m	0.15 m
# 33	75.78 m	75.76 m	75.87 m	75.88 m	0.09 m	0.12 m
# 21	75.34 m	75.10 m	75.39 m	75.14 m	0.05 m	0.04 m

다. 또한 동일 하폭 내 횡방향의 비교 대상 지점은 식생 분포를 고려하여 6지점으로 선정하였으며, 좌안과 우안에 대하여 결과를 비교하였다. 비교 지점 내 좌안의 최대 수위 차는 0.39m, 최소는 0.05m로 모의되었으며, 평균 0.15m 정도의 수위차를 보였고,

우안의 경우 최대 수위 차는 0.32m, 최소 수위 차는 0.04m로 나타났으며, 평균 0.16m의 수위차를 보였다. 전 구간에서의 최대 수위 차는 좌안의 경우 0.42m, 우안의 경우 0.47m로 나타났으며, 최소 수위 차는 좌안과 우안에서 각각 0.01 m를 보였다.

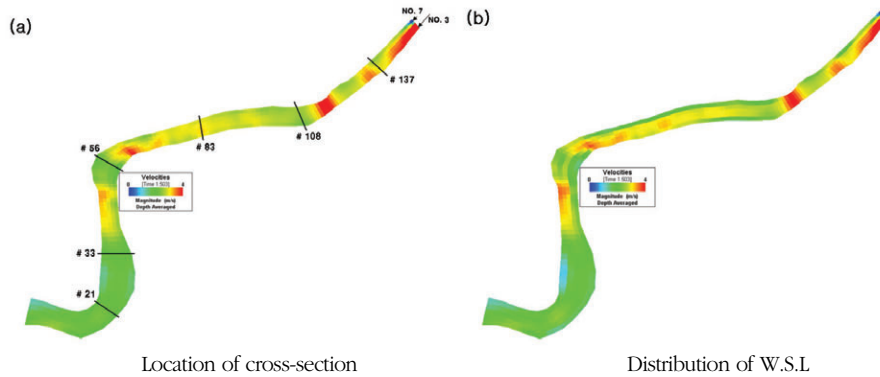


Fig. 6. Distribution of water surface elevation with vegetation

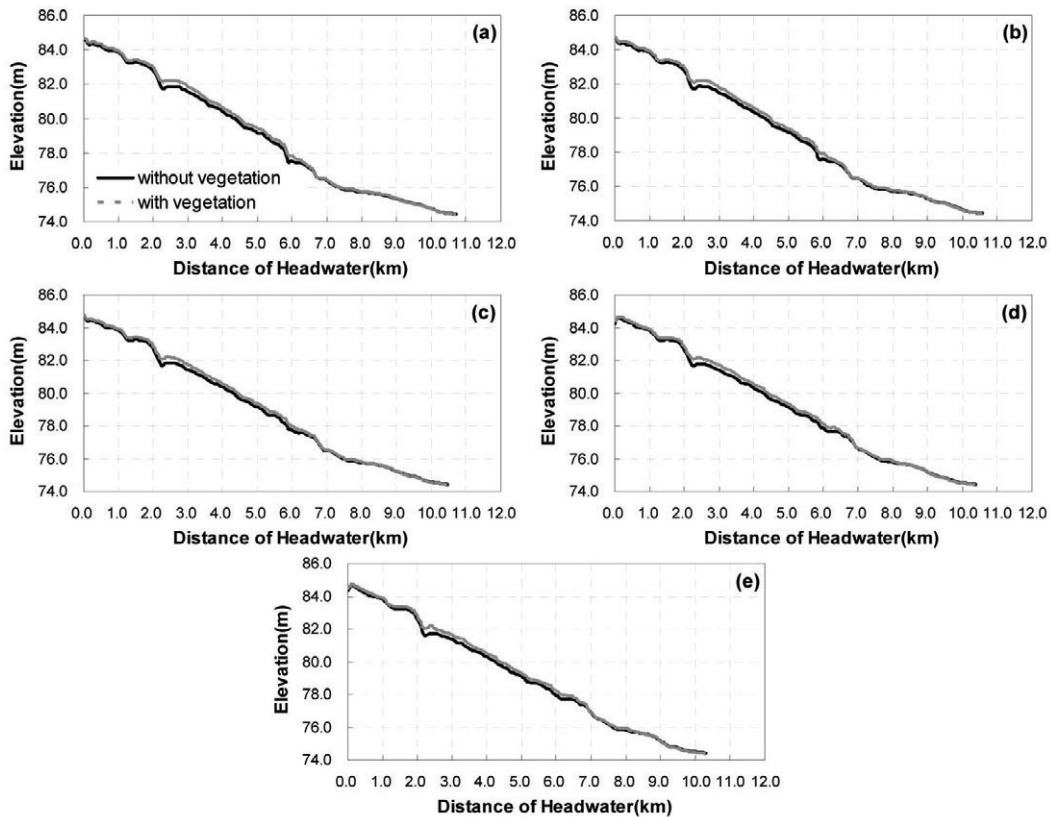


Fig. 7. Water surface elevation comparison at lateral view

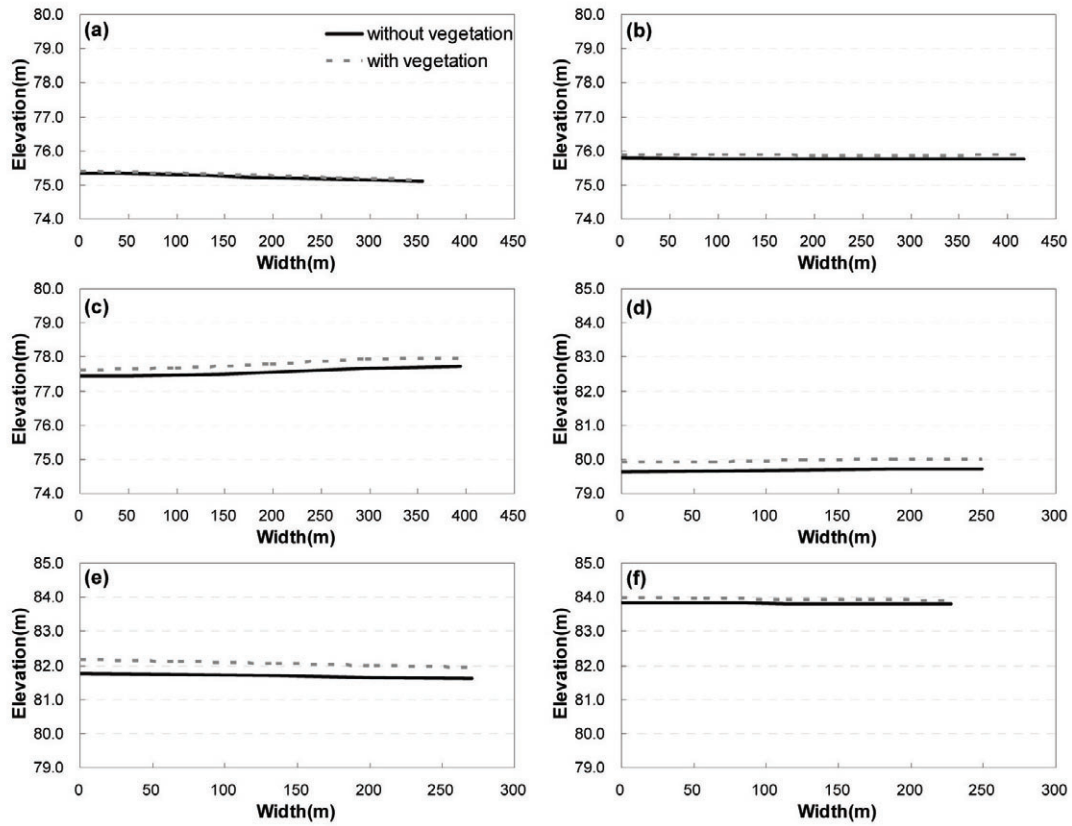


Fig. 8. Water surface elevation comparison at cross-section

3. 유속 모의 결과

유속의 모의 결과도 수위와 동일한 지점에 대하여 결과를 Table 3과 Fig. 9~Fig. 11에 나타내었으며 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 하천 폭이 좁아지는 구간에서 유속의 증가를 확인할 수 있었다. 또한 식생 유무에 따른 유속의 비교 결과, 식생의 밀도가 높은 지역에서 유속이 저감되는 현상이 나타났으며, 식생의 주 분포대인 하천의 양안(a: 우안, e: 좌안)

에서의 유속이 두드러지게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 수위와 마찬가지로 동일 하폭 내 횡방향의 비교 대상 지점에 대하여 결과를 비교하였다. 비교 지점 내 좌안의 최대 유속 차는 -0.56m/s , 최솥는 $+0.04\text{m/s}$ 로 모의되었으며, 구간에 따라 유속이 증가하는 지점도 나타났다. 이와 같은 경우는 식생이 우안에 분포함으로 인해 우안의 유속이 감소하고, 중앙 및 좌안부로 흐름이 집중되어 유속의

Table 3. Velocity comparison between with & without vegetation

	Without vegetation		With vegetation		Difference	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right
# 137	3.03 m/s	2.62 m/s	3.09 m/s	2.13 m/s	0.06 m/s	-0.49 m/s
# 108	2.39 m/s	2.57 m/s	2.26 m/s	1.92 m/s	-0.13 m/s	-0.65 m/s
# 83	3.08 m/s	2.90 m/s	3.12 m/s	1.95 m/s	0.04 m/s	-0.95 m/s
# 56	2.00 m/s	2.09 m/s	1.44 m/s	2.32 m/s	-0.56 m/s	0.23 m/s
# 33	1.90 m/s	1.88 m/s	1.94 m/s	1.63 m/s	0.04 m/s	-0.25 m/s
# 21	1.92 m/s	2.10 m/s	1.56 m/s	2.13 m/s	-0.36 m/s	0.03 m/s

증가를 초래한 것으로 판단된다. 우안의 경우 최대 유속 차는 -0.95m/s , 최소 유속 차는 $+0.23\text{m/s}$ 로 나타났으며, 이것으로 미루어 볼 때 최소 유속차를 보이는 곳은 좌안에 많은 식생이 분포하는 것을 유추할 수 있다.

4. 모의결과와 유의성 평가

식생의 유무에 따른 모의결과와 통계적 유의성을 평가하기 위하여 T-test와 F-test를 실시한 결과, 수위에 대해서는 모든 비교 지점에서의 p값이 0.05보다 크게 나타나 귀무가설이 채택되었으며, 이는

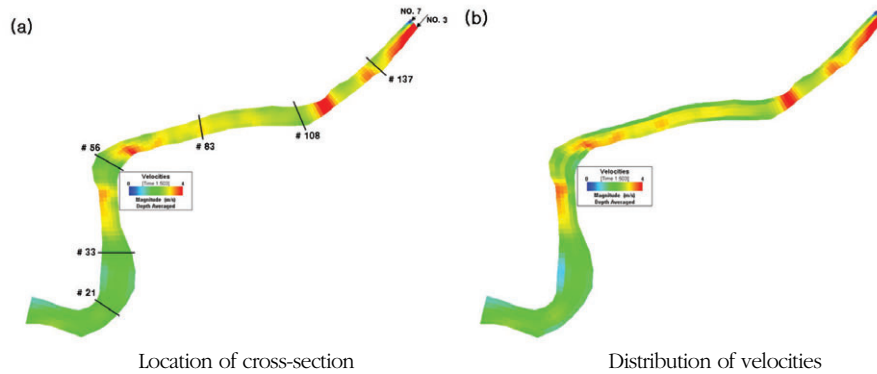


Fig. 9. Distribution of velocities

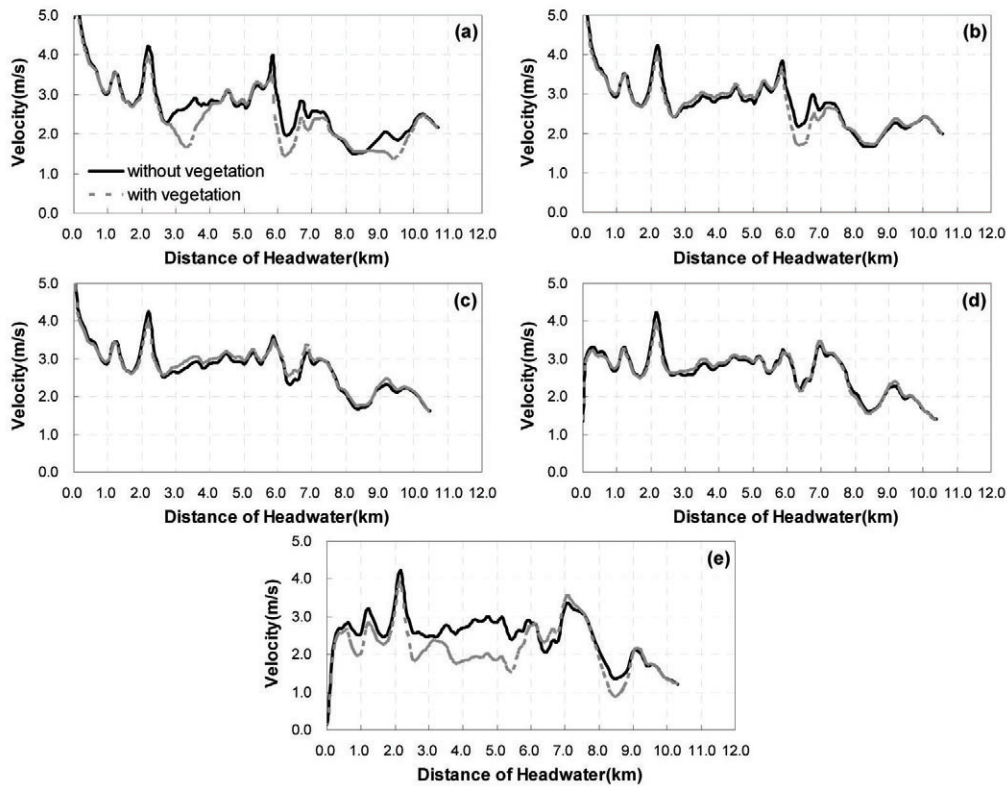


Fig. 10. Velocity comparison at lateral view

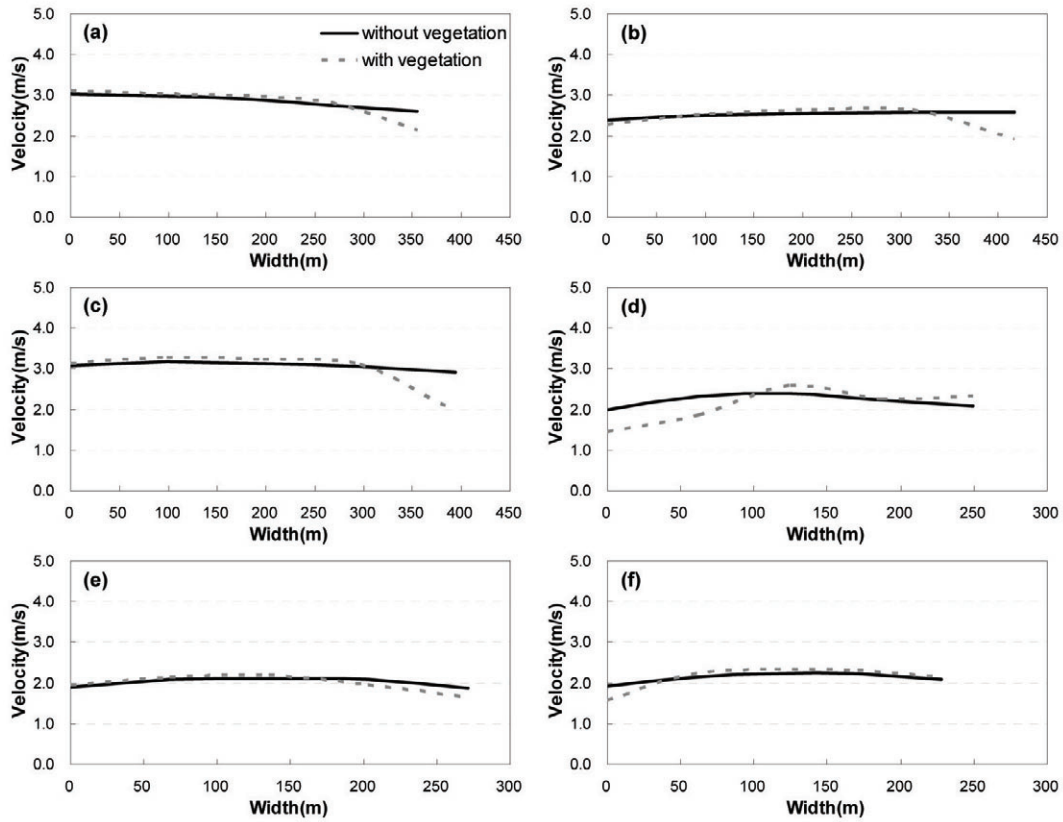


Fig. 11. Velocity comparison at cross-section

Table 4. Hypothesis test(f-test, t-test) between the simulation results of two cases

		T-test	F-test
NO. 3	water level	0.635	0.835
	velocity	0.054	0.249
NO. 4	water level	0.638	0.831
	velocity	0.643	0.921
NO. 5	water level	0.640	0.827
	velocity	0.460	0.382
NO. 6	water level	0.639	0.825
	velocity	0.834	0.798
NO. 7	water level	0.637	0.824
	velocity	0.00013	0.686

*T-test null hypothesis $H_0 : \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$ is accepted if $t < t_{\alpha/2, df}$ and $p\text{-value} > \alpha = 0.05$.

*T-test alternative hypothesis $H_a : \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$.

**F-test null hypothesis $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$ is accepted if $t < t_{\alpha/2, df}$ and $p\text{-value} > \alpha = 0.05$.

**F-test alternative hypothesis $H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$.

수위에 대한 두 모의결과가 통계적으로 유의하지 않음을 보여준다. 또한 유속의 경우 NO. 3에서는 p 값이 0.054로 나타나 통계적으로는 유의하지 않지만 약간의 변동성을 보이고 있는 것으로 나타났으며, NO. 7에서의 p값은 0.00013으로 두 경우의 모의결과가 통계적으로 유의함을 나타내고 있다. 즉 식생분포에 따른 유속의 모의결과에서 차이를 나타내고 있다는 것이다.

IV. 결론

본 연구에서는 하도내 식생분포에 따른 통수능 영향을 검토하기 위해 소양강댐 직하류의 12.01km 구간에 걸쳐 3차원 수리동역학 모형인 EFDC를 적용하였다. 홍수기 소양강 댐방류 시 식생에 의한 제방월류 가능성 검토에 중점을 두고 모의를 수행하

였으며 모의결과를 통계지표를 이용하여 서로 비교·검토하였다. 본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 수치지도와 GIS 자료를 이용하여 x방향으로 153개, y방향으로는 5개, z방향으로는 5개 층으로 나누어 총 3825개의 지형격자를 구성하였다. 식생 분포를 고려한 경우, 고려하지 않은 경우에 비해 수위상승이 발생되었고, 통수능 감소로 인해 하도의 중앙부보다는 식생이 분포한 좌안과 우안부에서 수위상승폭이 큼을 알 수 있었다. 식생분포에 따른 수위차는 좌안의 경우 0.42m, 우안의 경우 0.47m로 나타났으며, 최소 수위 차는 좌안과 우안에서 각각 0.01m를 보였다.

2) 식생분포에 따른 유속 모의 결과는 식생의 밀도가 높은 지역에서 유속이 저감되는 현상이 나타났으며, 식생의 주 분포대인 하천의 양안에서의 유속이 두드러지게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 비교 지점 내 좌안의 최대 유속 차는 -0.56m/s , 최소는 $+0.04\text{m/s}$ 로 모의되었으며, 이는 식생이 우안에 분포함으로써 우안의 유속이 감소하고, 중앙 및 좌안부로 흐름이 집중되어 유속의 증가를 초래한 것으로 판단된다. 우안의 경우 최대 유속 차는 -0.95m/s , 최소 유속 차는 $+0.23\text{m/s}$ 로 나타났다.

3) 식생의 유무에 따른 모의결과의 통계적 유의성을 평가하기 위하여 통계적 검증방법인 T-test와 F-test를 실시한 결과, 수위에 대해서는 식생의 유무에 따른 두 모의결과가 통계적으로 유의하지 않았으나 유속의 경우는 통계적으로 유의한 것으로 나타나 식생분포에 따른 유속의 모의결과의 차이를 확인할 수 있었다.

4) 본 연구는 국내·외 환경영향평가에서 주로 사용되고 있는 EFDC 모형을 이용하여 하천변 식생에 대한 영향을 해석한 것으로서 생태하천의 설계 및 관리방안 수립 등 의사결정지원도구로서 활용 가능성이 매우 클 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김지성, 김극수, 김원, 노준우, 김호준, 2009, 소양강댐 하류구간 자생 수목군에 의한 흐름저항 영향 평가, 한국수자원학회 학술발표회 논문집.
- 노준우, 신현호, 김호준, 2010, 소양강 댐 직하류 하천의 식생 영향에 의한 통수능 분석, 대한토목학회논문집, 30(6B), 533-540.
- 안기홍, 이규탁, 반양진, 손병용, 2010, 국내 댐 저수지에 대한 3차원 수리·수질예측 모델의 적용성 평가, 한국수자원학회지, 43(6), 35-41.
- 이삼희, 2000, 하천식생의 수리특성에 관한 연구, 한국수자원학회지, 33(1), 63-71.
- 이준호, 윤세의, 2007, 개수로에서의 식생에 의한 수리특성 변화에 관한 실험적 연구, 한국수자원학회논문집, 40(3) 265-276.
- 장창래, 2006, 하천의 지형변동과 식생, 한국수자원학회지, 39(12), 52-58.
- 조홍제, 최현근, 이태영, 2002, 도시하천 둔치내 식생의 평면적 분포에 따른 홍수위 변화의 실험적 연구, 한국수자원학회논문집, 35(2), 203-211.
- Andrew, E. D., 1984, Bed-material entrainment and hydraulic geometry of gravel-bed rivers in Colorado, Geological Society of America Bulletin, 95, 371-378.
- Dixon, M. D. and Turner, M. G., 2006, Regulated flow regimes on the Wisconsin River, River Research and Application, 22(10), 1057-1083.
- Hey, R. D. and Throne, C. R., 1986, Stable channels with mobile gravel beds, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 112, 671-689.
- Hunag, H. Q. and Nanson, G. C., 1997, Vegetation and channel variation ; A case study of four small streams in southeastern Australia, *Geomorphology*,

- 18, 237-249.
- I. Braud, A. I. J. Vich, J. Zuluaga, L. Fornero, A. Pedrani, 2001, Vegetation influence on runoff and sediment yield in the Andes region : observation and modeling, *Journal of Hydrology*, 254(2001), 124-144.
- Mahoney, J. M. and Rood, S. B., 1998, Stream flow requirements for cottonwood seedling recruitment in integrative model, *Wetlands*, 18(4), 634.
- Masterman, R. and Thorne, C. R., 1992, Predicting influence of bank vegetation on channel capacity, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 118(7).
- Tetra Tech, Inc., 2007, The Environmental Fluid Dynamics Code Theory and Computation.
- Tsujimoto, T., 1999, Fluvial process in streams with vegetation, *Journal of Hydraulic Research*, 37(6), 789-803.

최종원고채택 11. 01. 25