

# 지형자료의 해상도와 공간보간기법에 따른 다차원 수리모형의 유출 특성 평가 An Assessment on the Hydraulic Characteristics of a Multi-dimensional Model in Response to Measurement Resolution and Spatial Interpolation Methods

안정민\* · 박인혁\*\*

Ahn, Jung Min · Park, In Hyeok

## 要 旨

수변공간 및 수자원에 대한 효율적 활용 요구가 증대됨에 따라 하천의 수리적인 특성을 보다 정밀하게 모의하고 이를 활용한 의사결정이 필요하다. EFDC 모형은 이러한 의사결정을 지원하기 위한 다차원 수리모형으로 3차원 정밀지형을 활용하여 수체의 수리적인 특성을 분석할 수 있다. 그러나 EFDC 모형의 입력자료로 활용되는 3차원 정밀지형의 경우, 측량간격과 지형보간기법에 의해 많은 영향을 받게 되며 3차원 정밀지형의 변화에 따라 대상 수체의 수리적인 특성이 영향을 받게 된다. 이에 본 연구에서는 다른 측량간격 및 지형보간기법에 따라 도출된 3차원 정밀지형이 EFDC 모형의 모의결과에 미치는 영향을 검토하였다. 연구 대상지역은 낙동강 금호강 유입구간이며, 검토 사상은 2006년 강우사상에 대한 수치모의를 수행하고, 면적-고도 곡선, 수위 및 유속의 모의결과를 비교·분석하였다. 분석결과, 동일한 측량 간격에서는 지형보간기법에 따른 면적고도곡선의 차이는 크지 않았으나, 측량 간격이 160m에서 모든 보간기법에서 차이가 발생하였고 측량간격이 80m 이상이 되면 하상단면의 변화가 발생하였다. 또한, 수위의 경우에 Kriging을 제외한 나머지 기법은 해상도에 따른 차이가 크지 않았고, Kriging은 160m 측량간격에서 다른 기법에 비해 차이가 크게 나타났다. 유속의 경우, 80m 측량간격이상에서 각 보간기법별 차이가 나타나기 시작했으며 160m 측량간격에서 Kriging은 다른 보간기법과 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

핵심용어 : EFDC, 측량간격, 지형보간, 다차원 모형

## Abstract

Due to the increasing demand to utilize water fronts and water resource effectively, a multi-dimensional model that provides detailed hydraulic characteristics is required in order to improve the decision making process. An EFDC model is a kind of multi-dimension model, and it requires detailed 3D (3-dimensional) terrain in order to simulate the hydraulic characteristics of stream flow. In the case of 3D terrain creation, especially river reaches, measurement resolution and spatial interpolation methods affect the detailed 3D topography which uses input data for EFDC simulation. Such results make hydraulic characteristics to be varied. This study aims to examine EFDC simulation results depending on the 3D topographies derived by separate measurement resolution and spatial interpolation methods. The study area is at the confluence of the Nakdong and Kuemho Rivers and the event rain implemented was Typhoon Ewiniar in 2006. As a result, in the case of the area-elevation curve, the difference by means of the interpolation methods was significant when applying the same measurement resolution, except at 160m resolution. Furthermore, when the measurement resolution was 80m or above, the difference in a cross-section was occurred. Meanwhile, the water level changes between interpolation methods were insignificant by the measurement resolution except when the Kriging method was used for the 160m measurement data. Velocity changes emerged according to the interpolation methods when measurement resolution was 80m or above and the Kriging method resulted in a velocity that had a considerable gap in relation to the results from other methods at a measurement resolution of 160m.

Keywords : EFDC, Measurement Resolution, Terrain Interpolation, Multi-dimensional model

2011년 12월 19일 접수, 2012년 2월 23일 채택

\* 종신회원 · 한국수자원공사 물관리센터 연구원(ahnjm80@gmail.com)

\*\* 교신저자 · 한국수자원공사 물관리센터 연구원(teryoops@nate.com)

## 1. 서론

해외 각국은 일찍이 경제 부흥과 국민 삶의 질 향상을 위하여 하천 중심의 지역 개발 사업을 펼치고 있으며, 우리나라에서도 기후변화로 인한 홍수 및 가뭄 빈발에 대한 근원적 대책 마련의 필요성이 날로 증대되고 있다. 국민소득의 증대에 따른 수상레저, 문화 활동에 대한 국민육구 충족, 개별 하천에 대한 일관된 종합계획 수립 및 시행을 위해 범정부차원에서 하천별 종합계획을 수립하여 추진하고 있다. 그러한 과정에서 발생할 수 있는 대규모 하천정비로 인한 하도 내 지형변화는 급격한 수리 특성의 변화와 그로 인한 예상치 못한 피해를 야기할 수 있다. 따라서 하도에서의 복잡한 수리학적 거동을 평가할 수 있는 다양한 기법들을 적용한 다차원 수치모형들이 최근 들어 활발하게 개발되어 수자원설계분야에서 유용하게 이용되고 있다. 대표적인 EFDC(Environmental Fluid Dynamic Code) 모형은 모형의 개발언어가 공개되어 있고, 1차원, 평면 2차원 및 연직 2차원과  $\sigma$ -좌표계를 사용한 준 3차원 유체거동모의가 가능하며 수리·수질·유사 모의에 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. EFDC 모형은 많은 연구자들에 의해 국내 수계에 적용되어 검증되고 있다. 허영택과 박진혁(2009)은 낙동강 하류부에 적용하여 홍수사상에 대한 수리해석 적용성을 평가 하였고 김선주 등(2011)은 EFDC 모형의 저수지 수온성층 해석능력을 제고하기 위해 적정 매개변수를 선정하였으며 김진혁 등(2011)은 EFDC 모형으로 부유사 확산을 모의하기 위해 대산항 해역에 적용하였다. 강형식 등(2011년)은 유역 모형인 SWAT(Soil Water Assessment Tool) 모형과 EFDC 모형의 연계를 통해 낙동강 본류 흐름을 예측하였고 국립환경과학원(2010)에서는 금강 유역을 중심으로 하상변동 예측과 준설량 및 주기 산정 연구를 진행한 바 있다.

전술한 EFDC 모형과 같은 다차원 수리모형을 활용하여 하천 흐름을 해석하기 위해서는 많은 매개변수들을 적절하게 고려하여야 한다. 이 중 유역의 지형정보는 하천흐름을 결정하는 중요한 요소로 다차원 수치모형을 수행하기 위해서는 실제 지형에 대한 정확한 3차원 지형정보가 필수적이다. 특히 하천구역 내에는 주수로와 홍수터가 존재하고 두 구간 사이에는 큰 표고차가 발생하는 등 지형의 급격한 변화가 존재하고 하도 내에 존재하는 하중도와 각종 수리구조물은 흐름에 큰 영향을 미치기에 수치모형을 활용한 모의에서는 이러한 특징들을 종합적으로 고려하여 지형정보를 구축해야만 한다. 그러나 수치모의에 필요한 지형자료를 모든 공간

에 대해 취득하는 것은 현실적으로 불가능하므로, 하천의 표석을 따라 대표되는 지점에서 필요로 하는 횡단자료를 수집한 후 이를 미관측 지역까지 확장하여 사용하는 것이 일반적이다. 관측된 자료를 이용한 미관측 지점 값을 추정하는 과정에서는 보간기법이 사용되는데, 제한된 해상도를 가지는 원 자료로부터 보간 과정을 통해 도출되는 지형자료의 정확도 및 해상도는 모의결과에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 지형정보의 해상도에 따른 수치모의 결과의 변화를 살펴봄으로써 모의 과정에 있어서의 물리적 지형의 재현성 및 그에 따른 하도 수리특성 분석에 대한 영향을 정량적으로 평가할 필요성이 있다. 지형보간과 관련된 연구로 Merwade 등(2008)은 2차원 및 3차원 수리동역학 모델링을 위해 GIS 기법을 활용하였고 이근상 등(2004)은 수치지형도를 활용하여 홍수범람지도 제작 시 보간기법에 따른 DEM의 오차를 평가하였고 권기욱 등(2006)은 지형보간에 프렉탈기법과 다른 보간법들을 비교하여 프렉탈 기법의 우수성을 보고하였다. 특히 하천지형 생성과 관련한 연구로 최내인(2009)은 하천지형 생성을 위하여 GIS기반의 공간보간기법 연구를 진행하였지만 각 기법별로 수치모형에 적용하고 지형보간에 따른 영향을 검토하여 적절한 측량 간격 및 보간기법별로 수치모의 결과에 미치는 영향을 정량적으로 제시하진 않았다.

이에 본 연구에서는 하도 내 흐름 모의에 있어서 지형정보의 해상도 및 지형자료의 보간기법이 다차원 모형의 모의결과에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 낙동강수계의 금호강 합류부의 평면 직교곡선격자망을 작성하고 측량 간격과 보간 기법에 따라 정밀 3차원 지형자료를 생산한 후 각 지형자료별 모의결과에 대한 재현성을 검토하였다.

## 2. 연구의 방법

지형자료의 해상도와 공간보간기법에 따른 수치모의 결과를 검토하기 위해 지점별 표고 측량성과자료로부터 측량간격과 지형 보간 기법에 따른 물리적 지형에 대한 구성격자망의 재현성과 수치모의결과에 대한 수리적 영향을 각각 면적고도곡선(Area-Elevation Curve)과 상·하류 수역의 연속성을 유지한 상태에서 2006년 기왕호우사상을 적용하여 관측지점(화원수위표)에 대한 수치모의를 수행하였다. 지형자료는 4대강살리기 사업과 관련하여 수행한 실시설계보고서(한국수자원공사, 2009a; 한국수자원공사, 2009b) 자료를 채택하였다. 측량방법은 기준점측량, 수준측량 그리고 음향측심기에 의한 지형측량이다. 기준점 및 수준측량은 GPS를 이용

하였고, 제외지의 지형측량은 음향측심기를 이용하였다. 측량에서 얻어진 원시자료를 바탕으로 자체 프로그램을 통해 20m 간격으로 자료를 생성하였다. 본 연구에서는 20m 간격으로 가공된 지형자료를 원시자료로 가정하여 보간법에 따른 수리학적 특성을 분석하였고 지형자료 해상도에 따른 영향을 평가하기 위해 하천의 흐름방향에 따라 20m 간격으로 측량된 자료를 기설정된 해상도(40m, 80m, 160m 간격)에 맞도록 측량자료를 삭제하여 모의하였다. 한편 3차원 정밀지형 구축을 위한 공간보간기법에 따른 수치모의 결과의 영향을 분석하기 위해 Linear, Inverse Distance Weight(IDW), Kriging 기법을 적용하고 그 결과를 분석하였다.

### 2.1 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 낙동강 구간 중 금호강이 합류되기 전 유역으로 유역면적은 낙동강 유역의 49.89%인 11,667.22km<sup>2</sup>이며, 유로연장은 342.07km이다(그림 1). 금호강 합류점에서 낙동강의 유역 평균 폭은 34.11km으로 대하천의 특성을 가지는 것으로 검토되었다. 본 구간의 상류에 성주수위표가 위치하며 하류에 고령교수위표가 위치한다. 성주수위표에서 고령교수위표까지의 거리는 대략 25km이며 최심부를 연결한 하도선형은 매우 만곡한 형태임과 동시에 복잡한 지형특성을 나타내고 있다. 내부 주요지점으로는 대상구간 중간 지점에 금호강이 합류하고 있고 금호강 합류 후 화원수위표가 위치하고 있어 관측수위와 계산수위 비교를 통한 수리특성 검토가 가능하다.

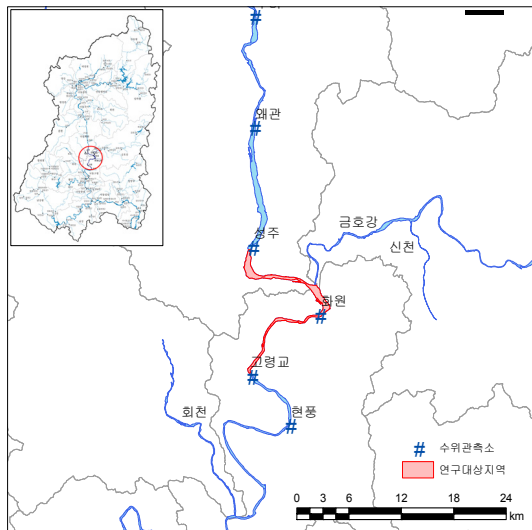


그림 1. 연구대상지역

### 2.2 EFDC 모형

EFDC모형은 유동 및 물질수송을 모의하는 다변수 유한차분 수치모형으로서 미국 버지니아 환경과학원(Virginia Institute of Marine Science, VIMS)에서 개발하였으며, 미국 환경청(Environmental Protection Agency)에서 수리·수질해석에 사용하는 공식모형이다. 격자체계는 수평적으로 직교 또는 곡면좌표계를 사용하고 수직적으로  $\sigma$ -좌표계를 사용한다. EFDC모형은 이론적인 면과 수치해석적인 면에서 Blumberg와 Mellor (1987)의 모형과 많은 공통점을 가지며, 질량보존식을 활용하기 때문에 천해역에서 조간대 처리가 가능하도록 설계되어 있어 조간대가 넓게 분포하는 우리나라 연안이나 하구연에 용이하게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히, 최근에는 하도구간의 수리동력학적인 모의에 적용성이 우수한 것으로 알려졌다(허영택과 박진혁, 2009). 수치모의를 위해서는 모의대상구간을 직교격자로 분할한 후, 표고정보가 추가된 3차원 정밀지형자료를 입력 자료로 요구한다.

### 2.3 가변직교격자망 산출

EFDC를 이용한 다차원 수리모의를 위해서는 3차원 정밀지형도가 필요하며 이를 위한 기초 자료로 대상구간의 평면 직교곡선격자망이 필요하다. 본 연구에서는 격자망을 작성하기 위하여 Qmesh(허영택 등, 2010)를 활용하였다. Qmesh는 하도의 격자작성을 위해 최적화된 프로그램으로, 절점에서 직교성에 대해 편미분방정식을 유한차분형태로 이산화 하여 최적의 직교상태를 구하는 형태이며 불규칙한 경계면을 가지는 영역에 대한 직교성을 높이기 위하여 경계선에서 선의 절점 이동조건, 수치적 안정성 확보를 위한 단계별 분할기법 및 내부경계조건이 적용되어 있다. 또한, 횡단자료, 제방선, 저수로 경계선, 횡단측량의 좌표자료를 입력함으로써 하도 격자망을 작성하게 된다. 단계별 분할 기법과 직교계산을 할 경우 중형비를 수정하는 보간법이 포함되어 있고, 경계선에서 이동경계조건 기법이 적용되어 있어 만곡 또는 급축, 급확이 반복되는 형태의 하천이라도 직교성이 높은 격자망 작성이 가능하다. 본 연구에서는 Qmesh를 활용하여 종방향의 격자분할은 하천의 종방향 형상이 고려되도록 분할하였으며 횡방향의 격자분할은 유수의 흐름방향과 평행하게 분할하여 수치해석의 정확도 및 안정성을 높이고자 하였다. 횡단방향과 종단방향의 개수는 각각 20개와 420개로 분할하여 전체 7,524개의 격자로 구성하였다(그림 2). 생성된 격자망의 직교성은 Akcelik 등(2001)이 제안한 average deviation from orthogonality(ADO)와 maximum

표 1. 구축된 모형의 I 및 J 방향에 대한 직교성 검토

Analysis		Value
I	MIN (m)	41.86
	MAX (m)	97.56
	AVE (m)	63.66
J	MIN (m)	15.73
	MAX (m)	39.06
	AVE (m)	24.59
직교성	ADO	0.71
	MDO	3.77

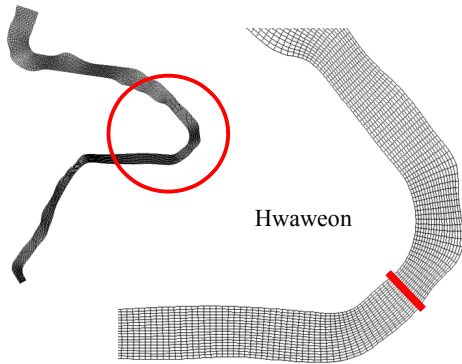


그림 2. 구축된 직교곡선격자망 평면도

deviation from orthogonality(MDO)를 이용하였으며 ADO와 MDO는  $0^\circ$ 일 때 최적이고 식은 (1)~(3)과 같다. 분할된 직교곡선 격자망의 평가 결과는 표 1과 같으며 직교성은 ADO가 1보다 작기에 적절한 것으로 판단된다.

$$ADO = \frac{1}{(ti-2)} \frac{1}{(tj-2)} \sum_2^{ti-1} \sum_2^{tj-1} |90^\circ - \theta_{ij}| \quad (1)$$

$$MDO = \max(90^\circ - \theta_{ij}) \quad (2)$$

$$\theta_{ij} = \arccos\left(\frac{g_{12}}{h_\xi h_\eta}\right)_{ij} \quad (3)$$

여기서,  $ti$ 와  $tj$ 는  $\xi$ 와  $\eta$  방향의 격자의 최대 개수이다.

### 3. 다차원 수치모의를 위한 지형자료의 보간

보간은 관측자료를 활용하여 거리 등과 같은 다양한 인자에 대한 상관관계로부터 미관측지점의 값을 최적의 방법으로 유추하는 과정을 말하며, 대표적인 보간법에는 Kriging, IDW(Inversed Distance Weighting), IDS(Inversed Distance Squared), TIN, Spline, RBF

(Radial Basis Function) 등이 사용되고 있다. 그러나 각 기법별 보간에 따른 지형 재현력은 다소 차이가 있다. 국내 연구로 최내인(2009)은 GIS를 활용한 하천지형생성 시 IDW, Kriging, 이중선형 보간법 및 IDW에 기초한 자체 개발 보간 알고리즘이 우수한 것으로 보고하였으며, 권기욱 등(2006)은 DEM의 보간에 있어 프랙탈 기법의 우수성을 보고함에 있어 Spline 보간법의 표준오차(Standard Error)가 가장 큰 것으로 보고하였다. 국외 연구로 Gotway 등(1996)은 지형보간에 있어 Kriging이 우수한 것으로 밝혔으며, Schloeder 등(2001)은 Kriging과 IDW가 우수한 결과를 도출하는 것으로 보고하였다. Li와 Heap(2011)은 약 50여편의 문헌 고찰을 통해 주로 활용되는 지형보간기법을 검토한 결과, Kriging(36회), IDW(16회), Linear(10회), IDS(14회) 등이 주로 활용되고 있는 것으로 보고하였다. 이에 본 연구에서는 지형보간을 위한 기법으로 Linear, IDW, Kriging를 선정하고 지형자료를 보간하였다.

#### 3.1 Kriging 보간법

Kriging은 내삽법의 일종으로 관측값을 이용하여 미관측 지점의 값을 추정하는 방법이다. 관측값간의 공간적인 상호관계는 관측값간의 이격거리를 기준으로 자료간의 거리에 따른 이질성을 나타내는 반분산(semi-variogram)을 이용하고 반분산에 의한 공간적 자기상관정보를 가중치로 이용하여 이웃한 관측값의 선형조합으로 미관측 지점의 값을 추정한다.

실제 계산에 의해 구해진 반분산을 이용하여 이론 반분산을 추정하고 이를 이용하여 가중치를 산출한다. 반분산을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \frac{\sum [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2}{N} \quad (4)$$

여기서,  $\gamma(h)$ 는 semi-variogram,  $Z(X_i)$ 는  $X_i$  지점에서의 관측값,  $Z(X_i + h)$ 는  $X_i$  지점에서 거리  $h$ 만큼 떨어진 지점에서의 관측값,  $N$ 은 거리  $h$ 에 의해 나누어진 관측값들의 쌍의 수이다. 반분산에 의한 가중치( $w_i$ ) 산출 후 인근지점의 관측값( $Z_{x_i}$ ) 곱하여 미관측 지점의 추정값( $Z(x)$ )을 산출한다. 산출 식은 (5)와 같다.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_{x_i} \quad (5)$$

### 3.2 IDW 보간법

IDW는 관측점들의 선형 가중 조합을 이용하여 미관측 지점의 값을 결정하는 방법으로, 공간적으로 인접한 지점 사이의 값은 공통된 위치요인으로 인하여 유사성을 갖게 되는 반면 두 지점 사이의 거리가 증가할수록 이러한 유사성은 상대적으로 감소한다는 가정에 기초한다. IDW의 수식은 식 (6)과 같다.

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i Z_{x_i})}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad w_i = \frac{1}{L_i^2} \quad (6)$$

여기서,  $Z(x)$ 는 미관측 지점의 추정값,  $w_i$ 는 가중치,  $Z_{x_i}$ 는 인근지점의 관측값,  $L_i$ 는 미관측 지점으로부터 관측점까지의 거리이다.

### 3.3 보간기법에 따른 하천단면형상 비교

지형자료의 보간기법이 3차원 정밀지형 생성에 미치는 영향을 분석하기 위해 20m 단위로 실측된 하상단면 자료에서 임의의 등간격(40m, 80m, 160m)에 맞도록 실측단면을 제거하여 관측해상도가 낮은 자료를 생산하였다(그림 3). 각 자료별 보간기법에 따른 3차원 정밀지형의 차이는 유출량 모의지점인 화원수위표 지점으로 설정하였다. 그림 4는 화원수위표 지점의 3차원 정밀지형 생성 결과로, 20m 관측 해상도의 경우에는 보간기법에 따른 유의미한 차이는 없는 것으로 분석되

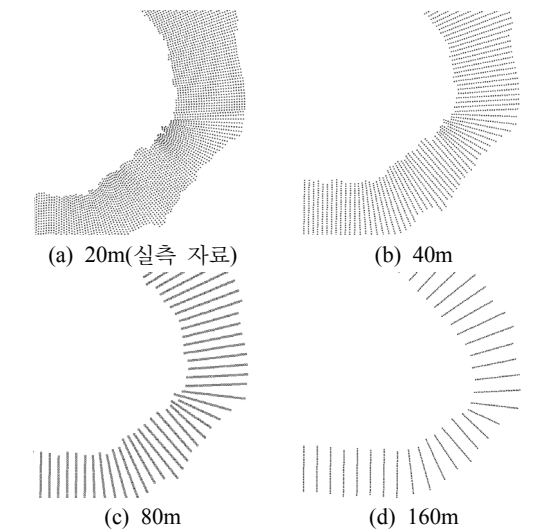


그림 3. 측량간격별 지형 데이터 평면도(만곡부 일부 구간)

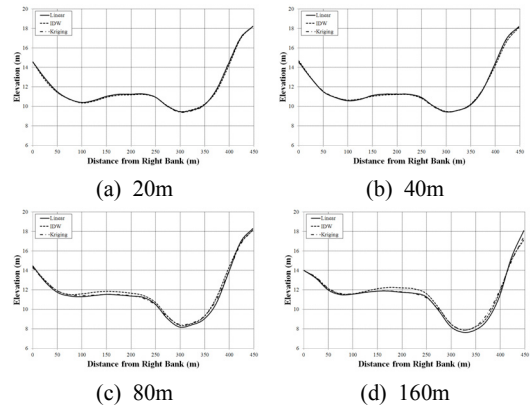


그림 4. 측량간격에 따른 보간 기법별 단면비교

었으나 관측 해상도가 작아질수록 보간기법에 따른 차이가 증가하는 것으로 나타났으며 그 정도는 해상도가 가장 작은 160m의 경우가 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 20m 해상도와 40m 해상도의 경우 최심하상고의 차이는 크지 않은 것으로 나타났으나, 80m 이상이 되면 화원수위표 전·후 단면의 영향으로 인해 최심하상고가 증가하였고 좌안의 하상고는 상승되는 것으로 나타났다. 그림 4는 본 연구에서 수치모의를 통해 수위 및 유속을 비교할 주요 지점으로 선택된 화원수위표 지점 단면을 각 보간기법별로 비교한 것이다. 측량 간격이 20m와 40m인 경우 각 보간기법별로 단면의 변화가 거의 발생하지 않으나 측량간격이 우안의 하상고는 하강되어 최심하상고가 깊어졌다.

## 4. 다차원 수치모의 결과 및 검토

### 4.1 수치모의를 위한 매개변수의 설정

EFDC 모형을 이용하여 2006년 태풍 “에위니아” 호 유사상을 대상으로 실제 관측 유입량에 대한 모형의 수리학적 재현성을 검토하였다. 모의기간은 2006년 7월 17일부터 21일이며 초기 수위는 거리에 따라 선형적으로 분포한다고 가정하여 각 격자에 적용하였다. 조고 (roughness height) 값은 0.001을 적용하였고 기상조건에 따른 영향은 계산결과에 큰 영향을 미치지 않는다고 판단되어 이번 연구에서는 고려하지 않았다. 난류해석 모델은 Smagorinsky(1963) 방법, 벽거칠기는 0.002, Wet/Dry 조건은 0.15m, 중력가속도는 9.81m/sec, von Karman 상수는 0.41, 동점성계수는  $1.0 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$ 를 적용하였다. 상류단 경계조건으로는 성수수위표의 관측유량, 하류단 경계조건은 고령교 수위표의 관측수위를 활용하였으며 상류단 경계조건 및 금호강 지류유



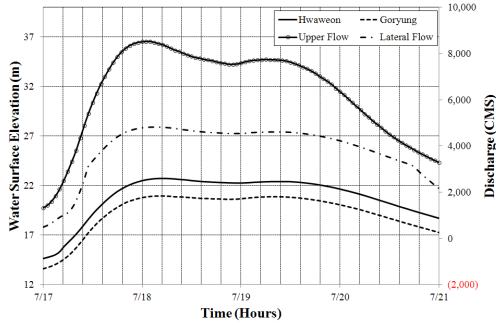


그림 5. 수위 및 유량 경계조건

입은 성주와 성서수위표에서 관측된 수위자료를 바탕으로 한국수문조사연보(국토해양부, 2006)에 제시되어 있는 수위-유량 곡선식을 이용하여 유량으로 환산하여 적용하였다(그림 5).

3차원 정밀지형은 EFDC 모형의 수리특성을 결정하는 지형매개변수로, 정밀지형 변화에 따른 모의결과를 회원수위표의 관측 수위와 비교하였다. 모의값과 실측값의 비교는 RMSE(Root Mean Square Error)와 Nash-sutcliffe 효율계수(Nash-sutcliffe efficiency coefficient : NSEC)를 통해 수행하였다. NSEC는 1에 근접할수록 정확성이 높은 것을 의미하며 산출 식은 식 (7)과 식 (8)과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - X_i)^2} \quad (7)$$

$$NSEC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O_M)^2} \quad (8)$$

여기서,  $O_i$ 는 관측수위,  $X_i$ 는 계산수위, N은 데이터 개수,  $O_M$ 는 관측평균값이다.

#### 4.2 면적-고도곡선 분석 결과

측량 간격에 따른 물리적 지형 재현성을 평가하기 위해 측량간격법에 따른 면적고도곡선(area-elevation curve)을 산정하여 그림 6에 도시하였다. 그림 6과 같이 동일한 측량 해상도에서 지형보간 기법에 의한 차이는 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 동일한 보간기법에서 측량 해상도에 의한 차이는 측량 해상도 20m와 40m가 유사하고 80m, 160m가 유사한 것으로 나타났다. 해상도 80m와 160m의 경우, 고도가 높아짐

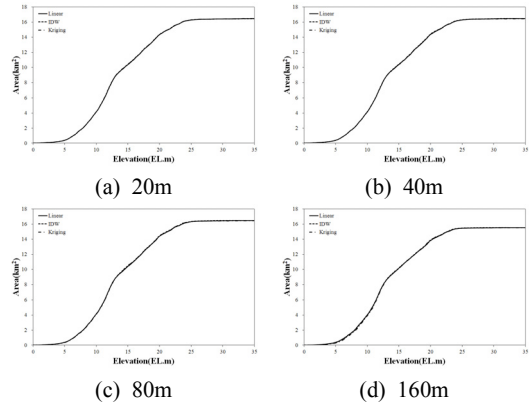


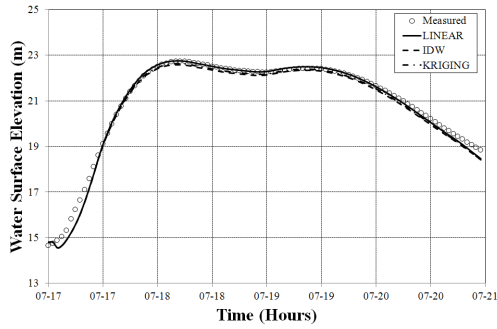
그림 6. 보간기법에 따른 면적고도곡선 비교

에 따라 면적이 감소하는 것으로 분석되었으며 고도에 따른 면적의 증가율 역시 다른 해상도에 비해 다소 작음을 알 수 있다. 이는 지형보간에 의한 최심하상고의 증가가 80m와 160m 해상도에서 발생하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

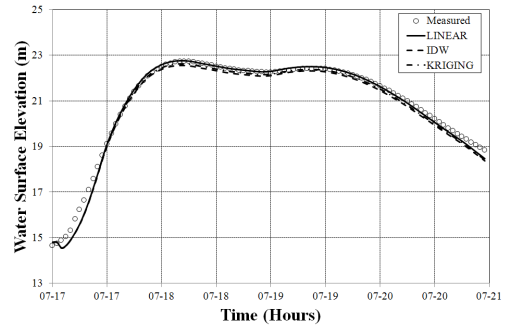
#### 4.3 수위 분석 결과

동일한 측량 해상도에서 보간기법에 따른 수위 모의 결과, 그림 7에서와 같이 80m 해상도까지 보간기법별 차이는 크지 않았으나 160m 해상도에서는 Kriging에 의한 수위 모의결과가 다른 기법에 비해 오차가 급격히 상승하고 있음을 알 수 있다. 동일한 보간기법 활용 시에는 수위 분석 결과에서 Linear와 IDW는 해상도에 따른 차이가 크지 않은 것으로 나타났고 Kriging은 160m 해상도에서 오차가 비약적으로 상승하고 있는 것으로 나타났다. 표 2는 해상도별 보간기법에 따른 RMSE를 산출한 결과로, 전 해상도에 걸쳐 Linear이 우수한 결과를 도출하고 있으며, Kriging은 해상도 160m를 제외한 나머지 해상도에서 비교적 양호한 것으로 나타났다. IDW의 경우, 다른 보간법과 다르게 해상도 160m에서 RMSE가 가장 작게 산출되었다. 또한, 표 2의 해상도별 보간기법에 따른 Nash-Sutcliffe의 효율계수 산출 결과, RMSE 분석결과와 같이 Linear가 전 해상도에 걸쳐 가장 우수한 결과를 나타내고 있으며 Kriging은 해상도 160m를 제외한 나머지 해상도에서 양호한 결과를 보이고 있다. IDW의 경우, RMSE와 같이 160m 해상도에서 가장 우수한 효율계수를 나타내고 있다.

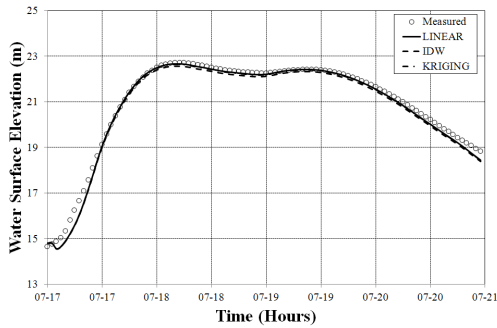
이상과 같이 자료 해상도에 따른 보간기법별 수위 모의 결과로 볼 때, Linear가 가장 양호한 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있으며, 자료 해상도가 낮은 경우,



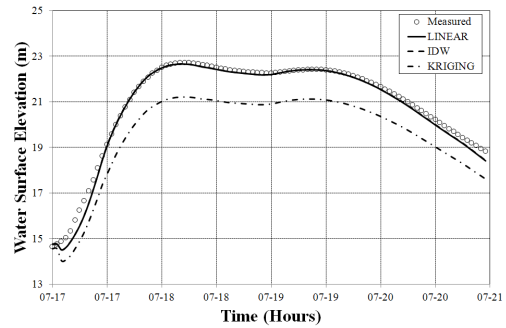
(a) 20m



(b) 40m



(c) 80m



(d) 160m

그림 7. 측량간격에 따른 수위계산 결과비교(화원수위표)

표 2. 수위에 대한 측량간격별 RMSE 및 NSEC 분석

Method	Linear		IDW		Kriging	
	RMSE	NSEC	RMSE	NSEC	RMSE	NSEC
20m	0.18	0.993	0.222	0.989	0.202	0.991
40m	0.18	0.993	0.245	0.987	0.207	0.991
80m	0.189	0.992	0.235	0.988	0.195	0.992
160m	0.203	0.991	0.196	0.991	1.311	0.62

Kriging의 사용은 지양해야 하고 Linear 혹은 IDW를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

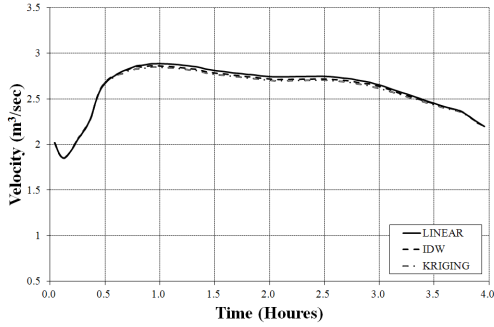
#### 4.4 유속 분석 결과

측량 해상도에 따른 보간기법별 유속 모의결과는 그림 8과 같다. 해상도별 보간기법에 따른 유속 모의 결과, 해상도 20m와 40m는 수위 분석결과와 유사하게 보간기법별 큰 차이는 없는 것으로 나타났으나, 해상도가 80m 이상이 되면 각 보간기법별 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 특히 80m 해상도의 경우 Linear, IDW 그리고 Kriging간에 차이가 해상도 160m보다 크게 나타났으며, 해상도 160m에서는 Kriging에 의한 유속 모의 결과는 신뢰도가 급격히 저하되는 것을 알 수 있다. 표 3은 20m 측량간격을 기준으로 측량간격별로

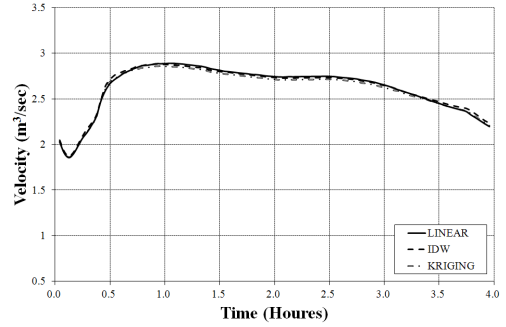
표 3. 20m 측량간격 유속에 대한 측량간격별 유속 상대오차

Method	Linear	IDW	Kriging
40m	0.088	0.758	0.419
80m	3.516	1.500	0.317
160m	2.193	2.106	55.367

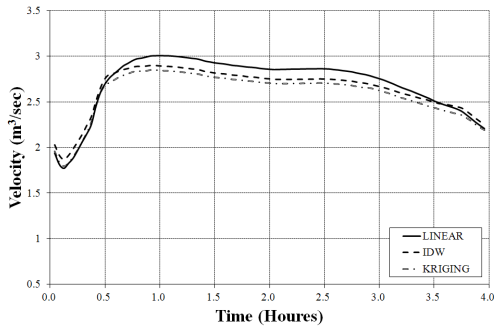
분석한 유속 상대오차분석(Relative Error, RE) 결과이다. 수위 결과와 달리 Linear에 의한 유속 모의 결과는 해상도별 분산이 IDW에 의한 결과보다 크게 나타났으며, 해상도 160m를 제외한 나머지 해상도에서 Kriging에 의한 모의 값의 분산이 가장 작은 것으로 나타났다. 따라서 유속에 대한 실측값을 확보할 수 없어 모의값의 정확도를 평가가 불가능했지만, 다차원 수리모형을 이용하여 유속을 모의할 경우, 자료 해상도 80m 이상의 측량 해상도를 갖는 자료를 활용할 경우에 Kriging을 활용한다면 해상도에 의한 차이는 크게 나타나지 않고 일관된 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 자료해상도가 80m 이상이 되는 경우 Kriging에 의한 3차원 정밀지형을 다차원 수리모형에 활용할 경우, 신뢰도가 급격히 하락하므로 Kriging의 사용은 지양하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.



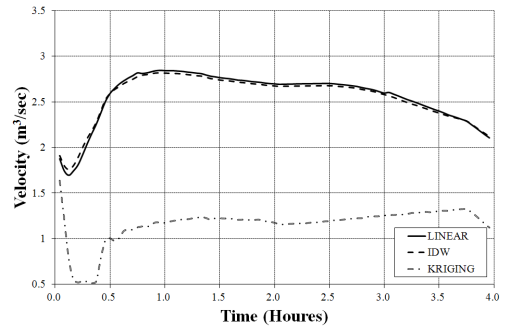
(a) 20m



(b) 40m



(c) 80m



(d) 160m

그림 8. 측량간격에 따른 유속계산 결과비교(화원수위표)

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^N |O_i - X_i|}{\sum_{i=1}^N O_i} \times 100 \quad (9)$$

여기서, RE는 상대오차,  $O_i$ 는 관측수위,  $X_i$ 는 계산수위, N은 데이터 개수,  $O_M$ 는 관측평균값이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 측량간격 및 지형보간기법에 따라 생성된 물리적 3차원 정밀지형의 재현성을 평가하고 EFDC 모형에 적용하여 3차원 정밀지형 변화가 하도의 수리특성 분석에 미치는 영향을 분석하였다. 측량간격 및 보간기법에 따른 면적고도곡선을 산정한 결과, 동일한 측량 간격에서는 지형보간기법에 따른 면적고도곡선의 차이는 크지 않았으나, 측량 간격이 160m에서 모든 보간기법에서 차이가 발생하였다. 20m와 40m 측량 간격 자료는 보간기법에 따른 하천 단면 변화가 발생하지 않으나, 80m와 160m의 경우 하상단면의 변화가 발생하였다.

EFDC 모형을 통해 3차원 정밀지형 변화에 따른 수리특성을 분석한 결과, 수위의 경우에 Kriging 외 다른 기법들은 해상도에 따른 차이가 크지 않았고, Kriging은 160m 측량간격에서 다른 기법에 비해 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 유속의 경우, 20m와 40m 측량 간격에서 보간기법별 차이는 크지 않았으나 80m 측량 간격 이상에서는 각 보간기법별 차이가 나타나기 시작했으며 160m 측량간격에서 Kriging은 다른 보간기법과 큰 차이가 나타났다. Linear, IDW 그리고 Kriging 모두 20m와 40m 측량간격에서 일관된 수리적 특성을 나타내고 있어 다차원 모형 구동 시 40m 이하의 측량 간격의 지형자료를 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단되며 만일 측량간격이 80m 이상이 될 경우 Kriging은 신뢰도가 급격히 하락하므로 Kriging에 의한 지형 보간은 지양하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

향후 보다 다양한 보간기법과 측량간격 자료를 활용하여 3차원 정밀지형을 구축하고 그에 따른 다차원 모형의 모의결과에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 필요가 있으며, 최적의 결과를 도출하기 위한 측량간격 도출 알고리즘 개발 및 지형 재현성을 높일 수 있는 지형보간기법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.



## 참고문헌

1. 강형식, 장재호, 안종호, 김익재, 2011, 유역 모형과 하천 모형의 연계를 통한 낙동강 분류 흐름 예측, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제44권, 7호, pp.577-590.
2. 국립환경과학원, 2010, 하상변동 예측과 준설량 및 주기 산정연구 -금강유역 중심으로-.
3. 국토해양부, 2006, 한국수문조사연보.
4. 권기욱, 이종달, 2006, 프랙탈 기법을 이용한 지형 보간에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권, 5D호, pp.895-907.
5. 김선주, 서동일, 안기홍, 2011, 저수지 수온성층 해석능력 제고를 위한 적정 EFDC 매개변수 선정, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제44권, 9호, pp.741-751.
6. 김진혁, 박건형, 김기철, 서경석, 2011, 대산항 해역의 부유사 확산 수치모사, 대한환경공학회지, 대한환경공학회, 제33권, 1호, pp.16-24.
7. 이근상, 고덕구, 김우구, 2004, 수치지형도를 활용한 홍수지도 제작용 지형자료의 효과적인 구축방법 연구, 한국지리정보학회지, 한국지리정보학회, 제7권, 1호, pp. 52-61.
8. 최내인, 2009, 하천지형 생성을 위한 GIS기반의 공간보간기법 연구, 경북대학교 석사학위논문, 경북대학교.
9. 허영택, 류경식, 차기욱, 2010, 이동경계조건을 고려한 직교곡선격자 생성 기법 소개, 대한토목학회 학술대회 논문집, 대한토목학회, p.2654.
10. 허영택, 박진혁, 2009, EFDC 모형의 낙동강 하류부 수리해석 적용성 평가, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 42권, 4호, pp.309-317.
11. 한국수자원공사, 2009a, 낙동강살리기사업 22공구(달성·고령지구) 실시설계보고서.
12. 한국수자원공사, 2009b, 낙동강살리기사업 23공구(달성·고령지구) 실시설계보고서.
13. Blumberg, A. F., Mellor, G. L., 1987, A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model. In Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Coastal and Estuarine Science, American Geophysical Union, Volume, 4, pp.1-19.
14. Gotway, C.A., Ferguson, R.B., Hergert, G.W., Peterson, T.A., 1996. Comparison of Kriging and Inverse-Distance Methods for Mapping Parameters. Soil Science Society of American Journal, Vol.60, pp.1237-1247.
15. Jin Li, Andrew D. Heap, 2011, A Review of Comparative Studies of Spatial Interpolation Methods in Environmental Science : Performance and Impact Factors, Ecological Informatics, Vol.6, pp.228-241.
16. Schloeder, C.A., Zimmerman, N.E., Jacobs, M.J., 2001. Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties using Limited Data. Soil Science Society of American Journal Vol.65, pp.470-479.
17. Smagorinsky, J., 1963, General Circulation Experiments with the Primitive Equation, I. The basic experiment, Monthly Weather Review, Vol.91, pp.99-164.
18. Venkatesh Merwade, Aaron Cook, Julie Coonrod, 2008, Gis Techniques for Creating River Terrain Models for Hydrodynamic Modeling and Flood Inundation Mapping, Environmental Modeling & Software, Vol.23, pp.1300-1311.
19. V. Akcelik, B. Jaramaz, O. Ghattas., 2001, Nearly Orthogonal Two-Dimensional Grid Generation with Aspect Ratio Control. J. Comput. Phys. Vol. 171(2), pp.805-821.