

**Delft-3D를 이용한 온천천의 조위 영향범위 검토****Investigation into the Range of Effect of the Tide Level of Oncheon River  
Using Delft-3D**

이 상 화\* / 이 한 승\*\* / 김 재 중\*\*\* / 박 동 훈\*\*\*\*

Lee, Sang Hwa / Lee, Han Seung / Kim, Jae Jung / Park, Dong Hun

**Abstract**

Recently, as the development of water front and natural type river is gradually increasing, it is mostly the case in that the flow analysis is implemented by only the flood level of the starting point without the tidal effect when the flood water level of the starting point is highly estimated than the high tidal water level in the design of river adjacent to an estuary. This research has analyzed the variation of tidal current for Oncheon river in Busan using Delft-3D program, considering that the tidal effect can cause the change of the flood water level of the starting point although the flood water level is higher than the flood tide level. As a result, considering the tidal effect at downstream boundary condition, water level indicates a periodicity of tide in particular region and the fluctuation range of water level is extended to upstream.

**Keywords** : tide, Delft-3D, flood level of the starting point, Oncheon River

**요 지**

최근 water front나 자연형 하천의 개발이 많아지는 가운데 해안에 인접한 하천설계에 있어 일반적으로 기점 홍수위가 만조 시 수위보다 높게 계산되면 조석의 영향을 고려하지 않고 기점 홍수위만으로 수리해석을 하는 경우가 대부분이다. 그러나 본 연구는 기점 홍수위가 만조 시 수위 보다 높더라도 밀려오는 조류의 영향으로 하천 기점 홍수위의 변화를 야기시킬 수 있을 것이라 판단하여 부산의 지방하천인 온천천이 조석현상에 의해 어떤 흐름의 변화가 발생하는지를 Delft-3D를 이용하여 분석하였다. 수치해석 결과 하류 경계조건에 조석영향을 고려하였을 경우 하천의 일정범위까지 수위가 조석의 주기성을 나타내었고 하천 상류방향으로 수위 변동범위가 확대되었다.

**핵심용어** : 조석, Delft-3D, 기점홍수위, 온천천

**1. 서 론**

감조하천에 대한 기존의 연구내용들은 조석의 영향을

받는 감조하천의 유출특성을 분석해 유량측정 기법 및 정밀도 있는 수위-유량곡선과 곡선식을 산출하는데 주를 이루고 있는 반면 조석의 영향이 하구에서부터 하천이나

\* 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수 (e-mail: leesh@dau.ac.kr)

Pfor., Dept. of Civil Engrg., Dong-A University, 840 Hadan2-dong, Saha-gu, Busan 604-714, Korea

\*\* 교신저자, 동아대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 (e-mail: leehs0222@google.co.kr)

Corresponding Author, Dept. of Civil Engrg., Dong-A University, 840 Hadan2-dong, Saha-gu, Busan 604-714, Korea

\*\*\* 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수 (e-mail: jkgeb@dau.ac.kr)

Dept. of Civil Engrg., Dong-A University, 840 Hadan2-dong, Saha-gu, Busan 604-714, Korea

\*\*\*\* 부산시청 하천계획과 하천계장 (e-mail: pkdci@naver.com)

Busan City Hall 1001, Jungang-daero, Yeonje-gu, Busan, Korea

강의 상류로 어느 정도의 범위까지 얼마만큼의 변화를 발생시키는지에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

해안으로 유입되는 강뿐만 아니라 해안에 인접하고 경사가 완만한 하천에는 조석의 영향이 흐름특성에 영향을 주어 수위와 유속의 변화를 초래한다. 이러한 변화는 홍수발생시 여러 가지 요인들로 작용하기 때문에 하천구조물을 설계할 경우에는 조석의 영향을 받는 구간을 파악하고 그 구간 내에서는 제방고 산정 및 하상의 설계에 변화 주어야 한다. 그러므로 감소하천에서는 홍수량만을 고려한 설계가 아닌 홍수량과 조석의 영향을 동시에 고려한 설계가 필요하게 된다. 본 연구는 온천천과 수영천이 합류하여 수영만으로 이어지는 감소하천에 대해 Delft-3D를 이용하여 온천천의 조석영향권을 검토하였다.

### 1.1 온천천 현황

온천천은 남한의 동남단에 위치하고 있는 수영강의 제1지류로서 수영강 하구로부터 약 3.1 km 상류지점에서 수영강의 서측으로 유입하는 지방 2급 하천으로 유역의 위치는 북으로는 양산시와 경계를 하면서 양산천 유역과 접하고 있고, 서측으로는 부산광역시 북부 및 부산진구와 경계를 하면서 덕천천 및 동천유역과 접해 있으며, 동으로는 수영강 본류유역과 접하고 있다. 유역면적은 56.280 km<sup>2</sup>, 유로연장은 14.85 km로서 수영강 전체 유역면적의 약 28.2%를 점하고 있으며, 유역의 형상은 협장한 수지왕으로서 그 폭이 동서로 약 4~6 km, 남북으로 약 15 km 정도이다. 하상 구배는 남산교 지점에서 장전교 지점까지 약 1/110, 장전교 지점에서 온천교 지점까지 약 1/312, 온천교에서 수영강 합류점까지 1/1,400이고 동래역부터 하천이 복개되어(지하철역사 및 주차장) 복개율은 25% 정도이고 세병교~구 구서교 구간 외 저수로는 대부분 콘크리트 라이닝화되어 있다.

### 1.2 Delft-3D 지배방정식

Delft-3D 프로그램은 조석, 파랑 해석 준 3차원 상용프로그램으로 바다와 접하는 감소하천에서 적용가능하다. Delft-3D의 기본방정식은 3차원 연속방정식과 운동 방정식에서 유도된다(Delft-3D, WL | Delft Hydraulics, 1999). 질량보존법칙으로부터 유도된 3차원 비압축성 유체의 연속방정식과 난류 유체의 운동량 보존방정식인 3차원 Reynolds 방정식 중 수평방향 유속에 관한 두 식을 수심에 관하여 적분하면 Eqs. (1a), (2a), and (2b)가 된다. 수심평균 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta) U \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} \quad (1a)$$

$$+ \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta) V \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q$$

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (1b)$$

여기서,  $t$ 는 시간,  $\xi, \eta$ 는 구면 좌표계의 수평축,  $Q$ 는 증발하거나 생성되는 단위면적당 대표유량(m<sup>3</sup>/sec),  $\zeta$ 는 기본수준면위의 수심,  $\sqrt{G_{\xi\xi}}$ 와  $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ 는 각 방향 격자의 수심들을 선형 곡선으로 바꾸는 계수,  $d$ 는 기본수준면하의 수심,  $U$ 와  $V$ 는  $\xi$ 와  $\eta$  방향의 평균속도,  $H$ 는 총수심(=  $d+\zeta$ ),  $P$ 는 정압력,  $E$ 는 발산량,  $q_{in}$ 과  $q_{out}$ 는 각각 단위부피당 국부적인 생성량과 소멸량이며, 연직방향으로는  $\sigma$  좌표를 이용하였다.

수평방향( $\xi$ 과  $\eta$ )의 운동량 방정식은 다음과 같이 되며, 아래의 운동량 방정식에서 밀도변화항은 Boussinesq 근사의 정수압 가정에 근거하여 제외하였다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} + \frac{\partial U}{\partial \xi} + \frac{V}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial U}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \\ + \frac{UV}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{V^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fV = \end{aligned} \quad (2a)$$

$$- \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} + F_{\xi} + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \nu \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right) + M_{\xi}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} + \frac{\partial V}{\partial \xi} + \frac{V}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial V}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \\ + \frac{UV}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{U^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \xi} + fU = \end{aligned} \quad (2b)$$

$$- \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} + F_{\eta} + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \nu \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) + M_{\eta}$$

여기서,  $\omega$ 는 연직 속도,  $f$ 는 Coriolis 힘(=  $2\Omega \sin \phi$ ),  $\Omega$ 는 지구 회전각속도,  $\phi$ 는 위도,  $\rho_0$ 는 해수의 밀도,  $\nu$ 는 와동점성 계수,  $P_{\xi}$ 와  $P_{\eta}$ 는  $\xi$ 와  $\eta$  방향의 압력경사,  $F_{\xi}$ 과  $F_{\eta}$ 은 수평 Reynolds 압력의 불균형을 나타낸 것이다.  $M_{\xi}$ 과  $M_{\eta}$ 은 운동량의 외적인 source 또는 sink의 영향(파랑 분포에 의하여 발생하는 방사응력(radiation stress), 증발, 물의 유출 또는 유입, 그리고 수공구조물에 의한 외적인 힘 등)을 말한다. 난류에 의한 저면전단응력( $\tau_b$ )은 Eq. (3)과 같이 2차 마찰법칙을 적용하였다.

$$\tau_b = \frac{\rho_0 g}{C^2} |U|^2 \quad (3)$$

여기서,  $g$ 는 중력가속도이고  $C$ 는 Chezy 계수( $m^{1/2}/s$ )로서 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$C = 6 \frac{\sqrt{H}}{n} = 18 \log_{10} \left[ \frac{12H}{k_s} \right] \quad (4)$$

여기서,  $n$ 은 Manning 계수,  $k_s$ 는 Nikuradse 조도이다. Delft-3D 수치모형에서 표면과 영향은 다음과 같다.

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -\rho g H \quad (5)$$

## 2. 모델의 검증

### 2.1 수치 모델선정

본 논문에서는 조석에 따른 배수위의 영향을 알아보기 위해 해석범위를 수영만으로 부터 온천천 상류 17km, 수영천으로 부터 8km지점까지로 결정하였다. 최근 하천의 수치해석에 많이 사용되고 있는 RMA-2 모델은 하천의 하류기점수위가 최상류의 최고 지반고보다 내려가면 발

산을 하기 때문에 하천의 길이가 길고 경사가 급한 구역의 해석수행 시 여러 개의 구간으로 나누어야 하는 번거로움이 있다. 따라서 본 논문에서는 경사가 급하더라도 구간을 나누지 않고 해석수행이 가능한 조석, 파랑해석 준3차원 전산유체 프로그램인 Delft-3D 모델을 이용하여 해당구역의 해석을 수행하였고 Delft-3D 모델의 하천수리 해석에 대한 신뢰성을 평가하기 위해 하천구역의 일부분을 RMA-2모델을 수행하여 결과를 비교하였다.

해석구간은 온천천과 수영강의 합류지점(No. 0)으로부터 온천천 상류 2.25 km (No. 45)로 결정하였다. 그리고 100년 빈도 홍수량과 하류기점수위는 온천천 종합정비시 행계획 수립용역 수리 및 수치모형 실험보고서(동아대학교 산학협력단, 2007)의 HEC-RAS 수치해석자료를 참조하였다.

Fig. 1에는 해석범위, Table 1에는 수치해석의 경계조건 및 격자의 구성을 나타내었다.

### 2.2 수치 모델의 결과비교

RMA-2와 Delft-3D의 수치해석 결과를 비교하였을 때 각 단면 평균유속은 2.2%의 차이로 RMA-2에 비해 Delft-3D의 유속결과가 전반적으로 작게 나타났으며, 수

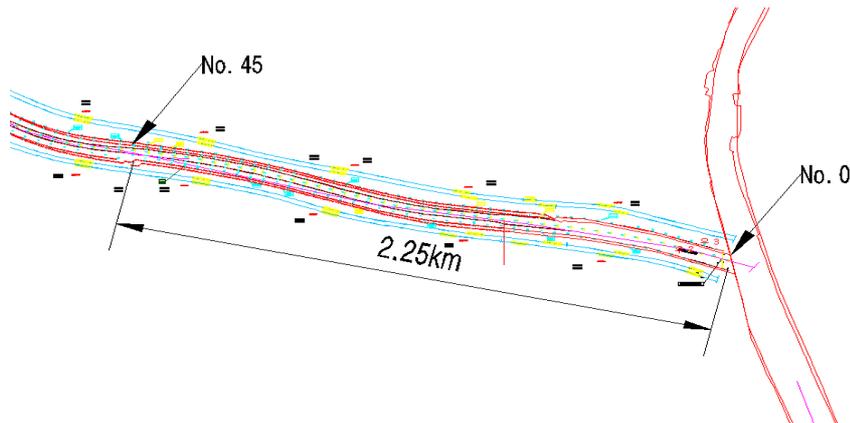


Fig. 1. Analysis Range for Model Verification

Table 1. Grid & Boundary Conditions

		RMA-2	DELFT-3D
Grid	Shape	triangle & rectangular	rectangular
	Size	10 m	9m
Upstream	Discharge	594CMS	
Downstream	Water Level	EL. 2.55 m	
Station		No. 0 ~ No. 45	

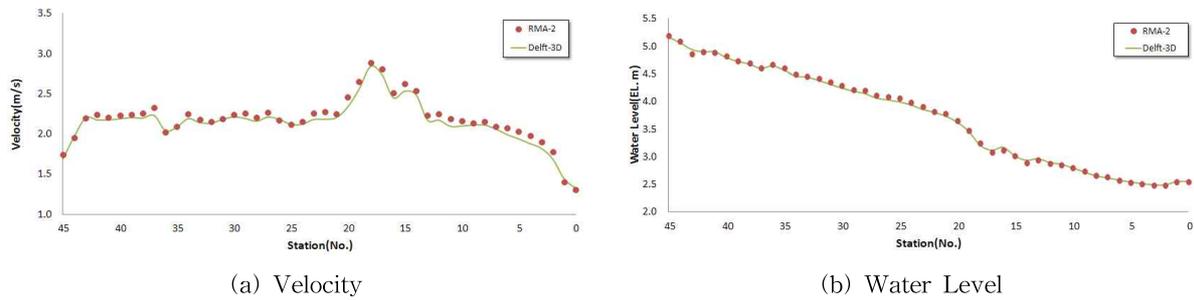


Fig. 2. Comparison Delft-3D and RMA-2

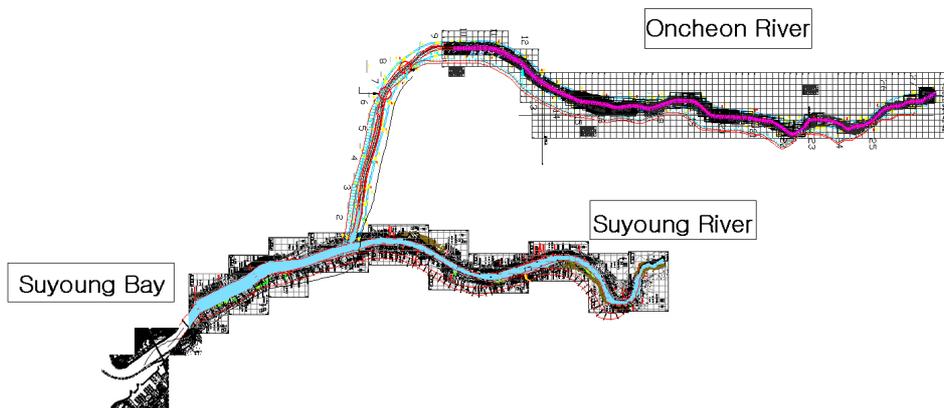


Fig. 3. Analysis Range

위는 최대 0.08 m~최소 0.06m 차이로 확인되었다.

Figs. 2(a) and (b)에 두 Model의 유속과 수위를 비교하여 나타내었다.

위의 결과에서 RMA-2와 Delft-3D는 매우 유사한 결과 값을 나타내었고 온천천의 경우 상류로 갈수록 경사가 급해지므로 전 해석 영역을 여러 등분으로 나눠서 해석하지 않고 하나의 영역으로 해석이 가능한 Delft-3D를 이용하여 수영만에서부터 온천천 상류 17 km까지의 해석을 수행하였다.

### 3. 모델의 구성

#### 3.1 입력조건

Delft-3D 모델구성에 있어서 해석범위는 Fig. 3(a)와 같이 수영만으로부터 온천천 상류 17 km지점까지 수영천은 수영만으로부터 8 km 지점까지 설정하였다. 온천천과 수영천의 상류에는 100년 빈도 홍수량이 유입되어 수영강 하구로부터 약 3.1 km 상류지점에서 합류하여 수영만으로 유출되고 수영만의 조위가 각 하천의 상류로 전파될 것이다(Fig. 3).

격자의 구성은 Fig. 4(a)와 같이 X축으로 623개, Y축으로 714개로 총 10,344개의 격자로 구성하였고 지반고는 수치 CAD 도면의 LEVEL을 토대로 Interpolation시켰으며 자료가 부족한 지점은 근사점의 평균값을 토대로 추가 입력하여 Fig. 4(b)에 나타내었다. 수위관측점은 수영만부터 온천천으로 약 17 km 지점까지, 수영천으로 약 9 km 상류 지점까지 총 700여개의 관측점을 설정하였으며 하천 중심을 따라 상류로 갈수록 관측점의 간격을 더 촘촘히 하였다.

Table 2에는 온천천과 수영천의 100년 빈도 유량, 수영만의 조화상수 및 조도계수를 나타내었고 이는 온천천 종합정비시행계획 수립용역 수리 및 수치모형 실험보고서(동아대학교 산학협력단, 2007)를 참조하였다.

Table 2. Boundary Condition of Analysis Area

Discharge	Oncheon	85CMS
	Suyoung	950CMS
Harmonic Constant	M2	33.9 cm, 231.3°
	S2	15.9 cm, 255.1°
manning's n value	0.013~0.030	

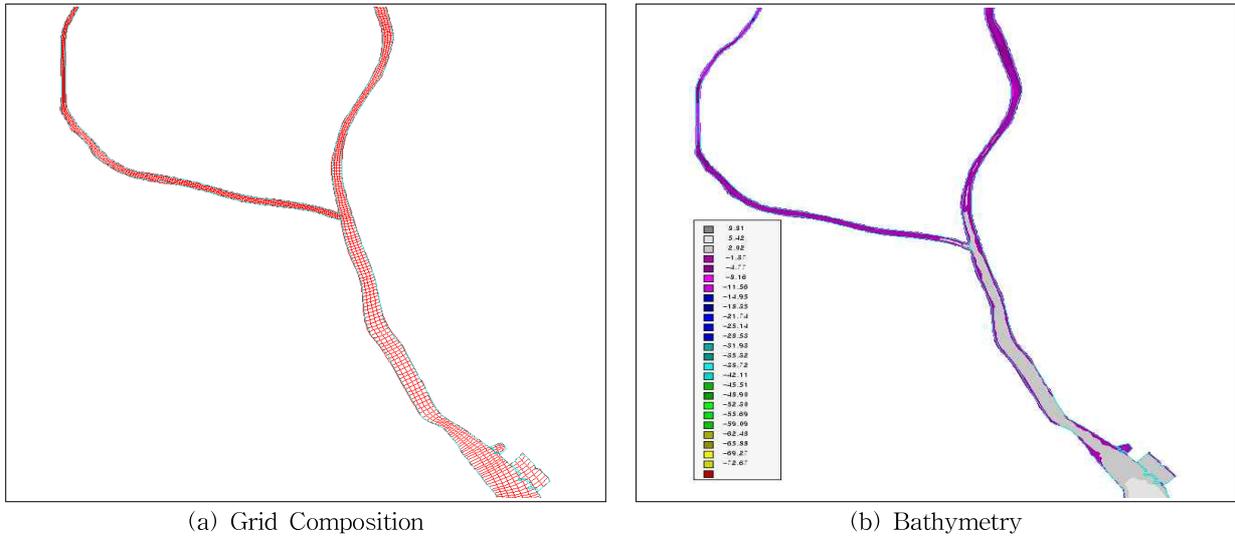


Fig. 4. Input Data of Analysis Area

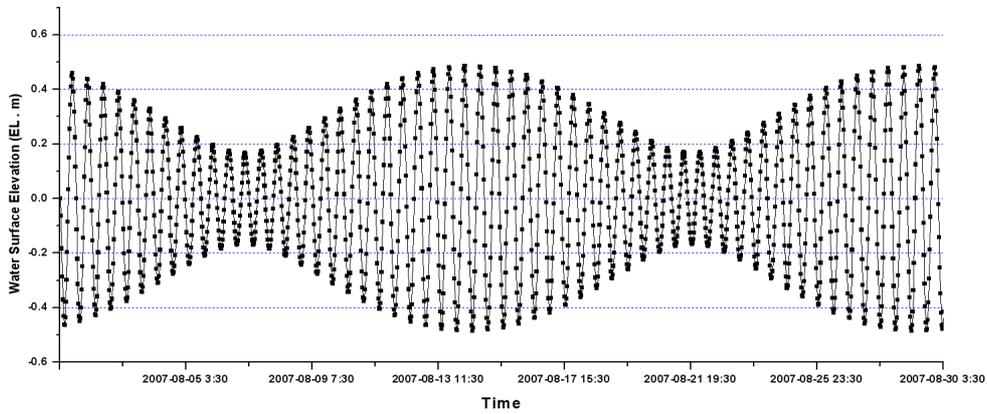


Fig. 5. Time Series of Water Elevation for Su-young Bay

### 3.2 CASE별 해석 방법

정확한 해석을 위하여 Table 3과 같이 총 4가지 Case로 분류하여 수치해석을 수행하였다. Case 1은 평수기시 조석만을 고려한 것이고, Case 2는 조석 없이 각 하천의 홍수량만을 입력한 것이다. Case 3은 대조기, Case 4는 소조기로 구분하여 홍수량과 조석을 동시에 고려하여 수행하였다.

CASE 1은 조석의 주기 분포를 파악하여 하천에 가장

큰 영향을 미칠 수 있는 시기인 대조기의 시간을 파악하기 위한 것이며 조석의 영향 없이 홍수량만을 입력한 CASE 2로부터 하천홍수위를 산정하였고, 홍수량과 조석의 영향을 고려한 CASE 3과 4의 하천홍수위를 비교하여 어느 지점까지 조석의 영향이 미치며 그 영향으로 인하여 수위가 어떻게 변화하였는지 분석하였다.

## 4. 해석 결과

Fig. 5는 평수기시 수영만 조석영향을 검토한 CASE 1에 대하여 2007년 8월 한 달간을 해석기간으로 수행한 결과를 나타낸 것으로, 주기를 분석한 결과 대조기가 8월 16일경이었으며 소조기는 8월 8일경이었다. 만조와 간조의 차이는 대조기시 최대 1.0m, 소조기시 최소 0.4m 이다.

대조기 시에는 Fig. 6(a)와 같이 온천천과 수영천의 합

Table 3. Input Data of Case

CASE	Input Data
CASE 1	평수기시 수영만의 조석
CASE 2	온천천과 수영천의 홍수량
CASE 3	대조기 때의 (조석 + 홍수량)
CASE 4	소조기 때의 (조석 + 홍수량)

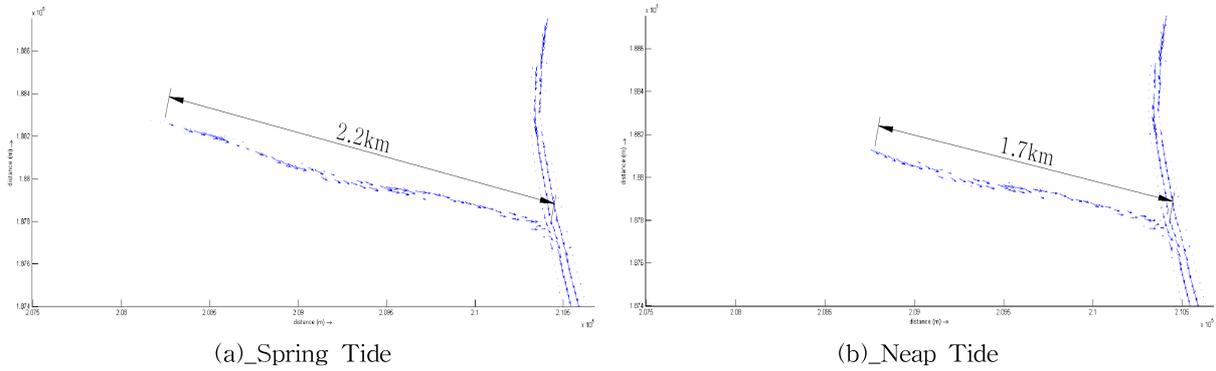


Fig. 6. Effect Range of Case 1

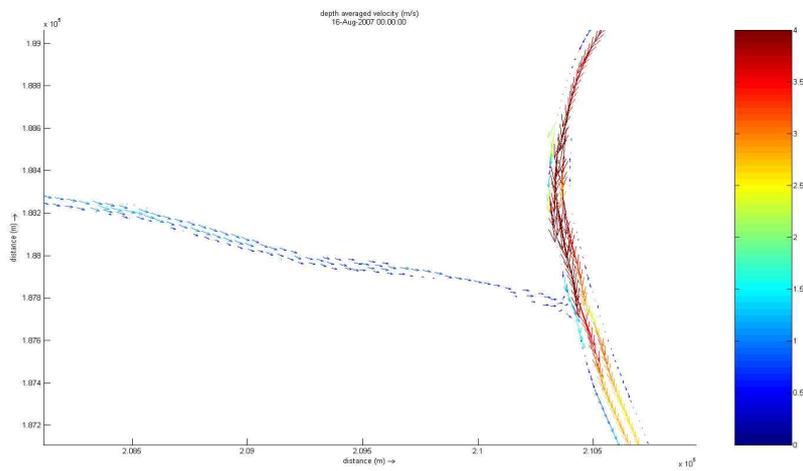


Fig. 7. Velocity Vector (Case2)

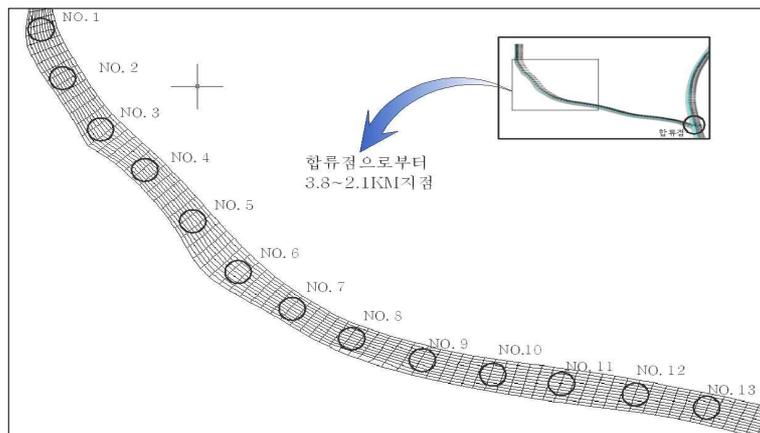


Fig. 8. Observation Points

류지점으로부터 온천천 상류로 약 2.2km, 소조기시에는 Fig. 6(b)와 같이 약 1.7km까지 조석의 영향이 미치는 것으로 나타났다.

CASE 1을 토대로 CASE 3, 4의 해석기간을 흐름의 안정화를 고려하여 최고 대조기와 최저 소조기 전후로 각각

이들을 포함하여 해석하였다. 100년 빈도 홍수량으로 온천천의 상류에는 85 CMS, 수영천의 상류에는 950 CMS를 대입하여 해석한 CASE 2의 결과 하천 상류의 홍수량으로 인해 Fig. 7의 벡터도에서는 하천의 흐름이 하류로 계속 전파되는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 8은 온천천과 수영천의 합류점으로부터 온천천 상류방향으로 2.1~3.8km 구간을 150m 간격으로 나누어 관측점 위치를 나타낸 것이다. Fig. 9 and Table 4는 각 관측점에서 CASE 별 수위를 나타낸 것으로 No. 3을 지나면서 홍수 시 수영만의 조석영향을 고려하지 않은 CASE 2와 홍수 시 대조기 때의 조석영향을 고려한 CASE 3의 수위차가 발생하기 시작하는 것을 볼 수 있었으며 No. 7 이후로는 홍수 시 소조기 때의 조석영향을 고려한 CASE 4와도 CASE 2의 수위차가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 10은 No. 11에서의 수위 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 11은 수위의 유동이 있는 관측점 중 최상류지점의 관측점을 찾아 지도상에 표시한 것이다. 홍수 시 조석의 영향을 고려한 경우로 대조기시(CASE 3)에는 온천천 상류로 약 2.9km로 세병교가 위치하는 곳까지이며, 소조기

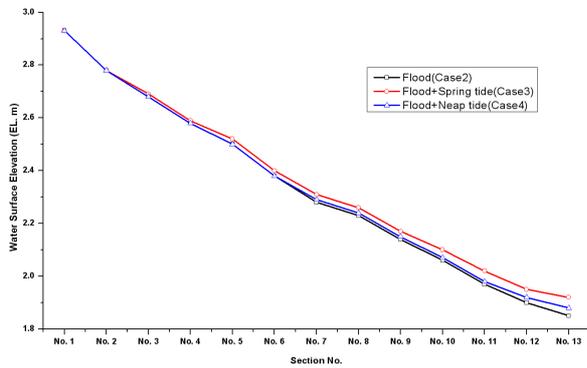


Fig. 9. Comparison of Water Elevation

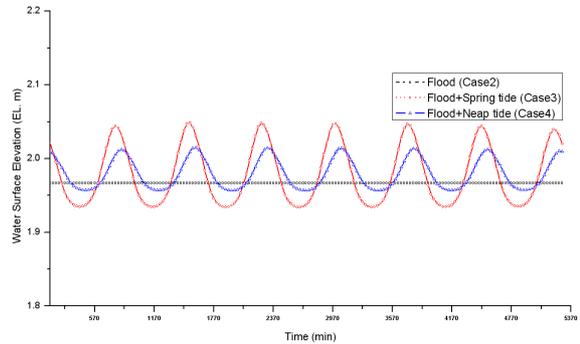


Fig. 10. Water Surface Elevation change with Time (No. 11)



Fig. 11. Effect Range of Case 3, 4

Table 4. Water Elevation of Observation Points (EL. m)

Ob. Point	① CASE 2	② CASE 3	③ CASE 4	Case3 증가율(%) ②-①	Case4 증가율(%) ③-①
No. 1	2.93	2.93	2.93	0.00	0.00
No. 2	2.78	2.78	2.78	0.00	0.00
No. 3	2.68	2.69	2.68	0.37	0.00
No. 4	2.58	2.59	2.58	0.39	0.00
No. 5	2.50	2.52	2.50	0.80	0.00
No. 6	2.38	2.40	2.38	0.84	0.00
No. 7	2.28	2.31	2.29	1.32	0.44
No. 8	2.23	2.26	2.24	1.35	0.45
No. 9	2.14	2.17	2.15	1.40	0.47
No. 10	2.06	2.10	2.07	1.94	0.49
No. 11	1.97	2.02	1.98	2.54	0.51
No. 12	1.90	1.95	1.92	2.63	1.05
No. 13	1.85	1.92	1.88	3.78	1.62

시(CASE 4)에 2.3km까지 조석의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

평수기시 수영만의 조석영향을 고려한 CASE 1과 홍시 수영만의 조석영향을 조려한 CASE 3, 4를 비교하면 평수기시 수영만의 조석영향이 미치는 지점에 비해 홍수시 수영만의 조석영향이 700m 상류지점 No. 3까지 전파되어 수위를 상승시키는 것으로 확인되었으며 조석의 영향이 미치는 최상류지점으로부터 하류로 갈수록 CASE 3, 4때의 수위유동이 점점 증가하였다.

## 5. 결론

본 연구는 하천의 수치해석에 많이 사용되고 있지만 하천의 하류기점수위가 최상류의 최고 지반고보다 내려가면 발산을 하기 때문에 여러 개의 구간으로 나누어 해석을 수행해야하는 번거로움이 있는 RMA-2모형을 대신하여 조석, 파랑 해석 준3차원 전산유체 프로그램인 Delft-3D 모델을 이용하여 온천천의 조석 영향범위에 관한 해석을 수행하였다.

해석결과, 온천천의 100년 빈도 홍수량만을 고려한 수위에 비해 홍수량과 수영만의 조석을 같이 고려한 수위는 상승하는 것으로 분석되었으며 평수기시 조석의 영향을 받는 구간보다 홍수 시 조석의 영향을 받는 구간이 상류로 700m 확산된 것으로 확인되었다.

해안에 인접하고 하천경사가 완만한 감조하천의 경우와 조석간만의 차가 큰 지역에 인접한 하천의 경우에는 하류에서 상류방향으로 수위가 더욱 상승할 것이고 조석의 영향이 미치는 범위는 증가할 것이다.

그러므로 조석의 영향이 미치는 하천 및 강변의 개발에 있어 수공구조물의 설치, 하천재개발 및 설계 시 일반적으로 HEC-RAS 등의 1차원 수치해석을 통한 하류기점홍수위를 기준으로 수리해석을 시행하였지만 본 연구결과와 같이 조석의 영향을 고려할 수 있는 2차원 수치해석을 통하여 조석으로 인한 상류방향으로의 수위변화 범위를 예측하고, 하천 정비나 수리구조물 설계시 대상 범위가 조석의 영향 범위에 포함 된다면 조석영향을 고려한 하류기점홍수위의 결정이 검토되어야 할 것이다.

수행된 대상지역인 수영만의 경우 조석간만의 차가 1m 정도이지만 서해안, 남해안 등과 같이 조위의 차가 큰 지역에서는 조석의 영향을 고려한 하천개발 및 수공구조

물 설계가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 2010년도 특정기초연구(No. 2010-0000194 “친환경 소재를 이용한 다 군파일 형태의 연안침식방지 기술개발 연구”)의 지원으로 수행된 연구 중 일부임을 밝히며, 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 동아대학교 건설기술연구소 (2007). 온천천 종합정비시행 계획 수립용역 수리 및 수치모형 실험 보고서. (주)한국종합기술, pp. 1-1~1-10.
- (주)대우엔지니어링 (1984). 수영만 매립 및 요트경기장 건설공사 수치 및 수리모형 실험보고서. 부산광역시: pp. 26, 314.
- 김재중, 김남현 (2005). “DELFT-3D를 이용한 울산신항 주변해역의 불규칙파랑변형에 관한 연구.” **한국항해항만학회지**, 한국항해항만학회, 제29권, 제3호, pp. 257-262.
- 김치영, 윤광석, 황승룡, 김원 (2003). “감조하천 유량측정 기법연구.” 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 329-332.
- 김현영 (1990). “부정류에 의한 감조하천의 홍수분석.” **한국농공학회지**, 한국농공학회, 제32권, 제4호, pp. 81-88.
- 이신재, 정성원, 이진원, 박상우 (2008). “감조하천에서 복합 수위-유량관계곡선 개발에 수위-관한 연구.” 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 367-372.
- 배용훈 (2007). “감조하천에서의 흐름 및 부유사해석 모형의 기술개발.” 대림산업기술연구소, pp. 12-22.
- Ao C., Wang, Z.B., and Jia ai, T. (2006) “Numerical Simulation of Coupling Storm Surge and Astronomic Tide Based on Delft 3D.” *Sino-German joint symposium on coastal and ocean engineering*, pp. 366-372.

논문번호: 11-130	접수: 2011.12.01
수정일자: 2012.01.30/02.07	심사완료: 2012.02.07