

# 감조하천에서 조위 및 유량조건에 따른 역류 분석

송창근 · 김형준\* · 이동섭\*\*

인천대학교 안전공학과 · \*한국건설기술연구원 하천·해안연구실  
(2014. 10. 6. 접수 / 2014. 11. 23. 수정 / 2014. 12. 4. 채택)

## Analysis of Flow Reversal by Tidal Elevation and Discharge Conditions in a Tidal River

Chang Geun Song · Hyung-Jun Kim\* · Dong Sop Rhee\*\*

Department of Safety Engineering, Incheon National University

\*River and Coastal Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received October 6, 2014 / Revised November 23, 2014 / Accepted December 4, 2014)

**Abstract** : The Han River is the only waterway in Korea where estuary is not blocked by dykes so that tidal water is flowing in and out through the tidal reach. The extreme tidal range in the Yellow Sea causes an intense flood current, stretching over horizontal extents of tens of kilometers into the rivers. To elucidate the flow reversal by discharge conditions and transient tidal level in the Han river, numerical simulations were conducted under 7 boundary conditions for two days with 10 minute time step. As the flow conditions changed from low discharge and high tidal difference to high discharge and low tidal difference, the flow reversals became weaker and the velocity of forward flow direction became higher due to the increased flow momentums and decreased tidal differences. In the case of normal flow, the maximum reverse velocity was 0.4 m/s, which was equivalent to the maximum forward velocity. In addition, the pattern of the development and decay of forward and reverse flow was presented.

**Key Words** : the Han river, flood current, flow reversal, discharge, numerical model

### 1. 서론

우리나라 대부분의 감조하천(tidal river)에는 지속적인 용수공급과 수질관리를 목적으로 하구둑을 설치하여 조석운동에 의해 해수가 강의 상류로 치고 올라가는 것을 방지하고 있으나, 한강 하구역은 국내 4대강 가운데 유일하게 하구둑이 설치되어 있지 않아 조수의 출입이 자유롭고 민간인의 접근이 통제되어 자연적인 하천 지형과 기수역 생태계가 잘 보전된 곳이다<sup>1)</sup>. 수도권 시민의 상수원이자 최근 환경 친화적 기능이 부각되고 있는 한강을 관리함에 있어 한강 하구부의 수리해석은 매우 중요하다. 그러나 한강 하류부에서의 흐름거동은 팔당댐 방류수, 서해안의 조위, 지류의 유입, 교량 및 수중보 등의 인공 구조물 등에 의해 그 흐름이 매우 복잡한 양상을 나타내고 있으며, 특히 서해안의 큰 조수간만의 차로 저조(low tide)에서 고조(high tide)로 해면이 상승할 때 창조류(flood current)가 형성되고, 최강창조류 시

에는 하천방향으로 치고 올라오는 역방향 흐름이 수십 킬로미터에 달하는 것으로 알려져 있다<sup>2)</sup>.

감조하천에서 댐방류 조건이나 조석조건은 생태 서식환경, 오염물질의 혼합 및 유사이송 등에 직접적인 영향을 미친다. 수리학, 환경공학, 생태학 및 안전공학의 측면에서 흐름거동이 하천의 기능에 미치는 영향을 정리하면 다음과 같다. 첫째로 이수의 측면에서, 유람선을 통한 관람활동은 수상안전과 관련이 있으며, 수상택시에 의한 이동은 교통안전과 밀접한 연관성을 가진다. 수변공간을 이용한 여가문화 활동은 생활안전 분야, 취수장을 통한 하천수 취수 및 용수 공급은 라이프라인 안전과 긴밀한 연관성이 있다. 둘째로 치수의 측면에서, 하천의 흐름에 의한 유사이송, 침식 및 퇴적 작용은 치수안전의 측면에서 매우 중요하며, 홍수에 의한 침수피해는 재해안전 분야와 관련이 깊다. 마지막으로 환경의 측면에서, 하천의 흐름 및 염농도 등에 의해 좌우되는 습지분포 및 생태서식환경은 환경안

\* Corresponding Author : Dong Sop Rhee, Tel : +82-31-910-0396, E-mail : dsrhee@kict.re.kr  
River and Coastal Research Division, KICT, 283 Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

전 분야에 해당한다.

한강 하류부를 대상으로 한 유황해석에 관한 연구는 크게 동수역학적 흐름해석 및 이에 따른 하상변동 분석, 수중보 이설에 의한 영향 분석 등으로 분류할 수 있다. Kim은 한강 인도교로부터 전류구간까지를 대상으로 하여 계획홍수량 및 계획홍수위를 평가하였고, 한강의 유량을 평수기에 해당하는 200 m<sup>3</sup>/s로 고정하여 HEC-RAS 및 RMA-2 모델을 적용하였다<sup>3)</sup>. Kim은 RMA-2를 사용하여 동일한 해석 영역을 대상으로 하상변동 및 유사이송확산 범위에 관한 연구를 수행하였다<sup>4)</sup>. Kim 등은 1차원 수리학적 홍수추적모형인 FLDWAV 모형을 이용하여 팔당댐 방류량과 서해의 조위조건에 따른 신곡수중보에서의 흐름양상을 분석하였다<sup>5)</sup>. Gimpo는 신곡수중보 이설 타당성 조사 보고서를 통해 신곡수중보 하류 이설을 가정하여 흐름변동을 모의한 바 있다<sup>6)</sup>. KICT는 신곡수중보에서 곡릉천 합류부까지를 연구 대상영역으로 하여 년 2회 하천단면을 측량하여 홍수 전후의 하상변동 특성을 분석하였다<sup>7)</sup>. 그러나 한강하류부에서 유량 및 조위조건에 따른 역류흐름을 해석한 연구는 아직 부족한 실정이다. 본 연구에서는 감조하천에서 유량에 따른 역류 흐름을 해석하기 위해 천수방정식을 SU/PG 기법으로 이산화한 수치모형을 개발하고 한강 본류구간(영동대교-행주대교)에 적용하였다. 한강의 유량을 평수기 유량(normal flow)부터 2,000 m<sup>3</sup>/s까지 증가시켜 총 7개의 모의사상을 구성하고, 2일간 10분의 시간간격으로 수치모의를 수행하여 유량에 따른 감조하천에서의 역류 현상을 분석하였다. 또한 반일주조 감조하천에서의 역류현상 발생 기작을 정현파 조위곡선을 바탕으로 해석하였다.

## 2. 수치모형의 개발

### 2.1 수학적 모형

본 연구에서는 비정상 유량 및 조위 조건에 따른 흐름거동을 해석하기 위해 다음과 같은 비보존형 천수방정식을 지배방정식으로 이용하였다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \frac{\partial u}{\partial x} + h \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \\ & = -g \frac{\partial(H+h)}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - gn^2 \frac{u_i \sqrt{u_j u_j}}{h^{4/3}} \end{aligned} \quad (1b)$$

위 식에서  $u_i$ 는  $i$ 가 1인 경우에는  $x$ 방향 수심평균

유속,  $i$ 가 2인 경우에는  $y$ 방향 수심평균 유속을 의미하며  $\nu$ 는 난류동점성계수,  $n$ 은 조도계수,  $H$ 와  $h$ 는 각각 기준선으로부터 하상까지의 거리와 수심을 나타낸다. 지배방정식의 유도과정과 수학적 모형 구성을 위한 가정 등은<sup>8)</sup>에 상세히 기술되어 있다.

### 2.2 유한요소모형의 개발

본 연구에서는 유한요소법의 여러 방법 가운데 유량이 커서 이송이 지배적인 자연하천의 흐름을 모의하는 경우 흐름 방향으로 섭동함수를 더하여 수치진동을 억제하는 SU/PG 기법을 가중함수로 선택하여 감조하천에서 유량에 따른 역류흐름을 분석하였다. 유한요소법의 분류체계나 SU/PG 기법과 다른 수치기법의 비교, 이송이 지배적인 흐름문제에 적용한 사례 등의 내용은<sup>9)</sup>에 상술되어 있으므로 본 연구에서는 생략하기로 한다. SU/PG 기법은 댐붕괴나 홍수량 유입과 같이 급격하게 흐름조건이 변화하는 경우나 천이류가 발생하는 경우, 충격파의 전달과 같은 흐름해석에 있어서 기존의 Galerkin 기법에 비해 더욱 안정적인 해를 도출하는 것으로 알려져 있다<sup>10-11)</sup>. 또한 천수방정식의 이송항에 의한 가속도의 영향을 보다 정확하게 반영하게 되므로, 기존 수치기법에 비해 안정적이다. SU/PG 기법에서는 가중함수로 다음과 같은 식을 이용한다<sup>12)</sup>.

$$w_i = N_i + \frac{\alpha(|h_1|+|h_2|)}{2(u^2+v^2)} \left( u \frac{\partial N_i}{\partial x} + v \frac{\partial N_i}{\partial y} \right) \quad (2)$$

여기서,  $N_i$ 는 형상함수,  $\alpha = \coth(\gamma/2) - 2/\gamma$ 는 구적점,  $\gamma = \bar{h} \sqrt{u^2+v^2}/\nu$ 는 요소 Reynolds 수로 정의된다.  $\bar{h}$ 는 요소의 특성길이<sup>13)</sup>로 다음 식에 의해 구해진다.

$$\bar{h} = \frac{1}{\sqrt{u^2+v^2}} (|h_1|+|h_2|) \quad (3)$$

위 식에서  $h_1$ 과  $h_2$ 는 요소망을 구성하는 마주보는 변의 평균길이를 나타내므로  $\bar{h}$ 는 요소의 평균길이와 유속의 내적의 합을 흐름방향으로 투영한 값을 의미한다. 따라서 SU/PG기법의 가중함수인 식 (2)는 유속과 형상함수 편미분의 내적에 의해 가중된 섭동함수가 유체의 흐름방향으로 작용하게 되어, 천수방정식의 비선형 이송항의 불안정성을 감소시키게 된다.

## 3. 입력자료 구축

### 3.1 수치모의 조건

감조하천에서 유량에 따른 역류 흐름을 해석하기 위

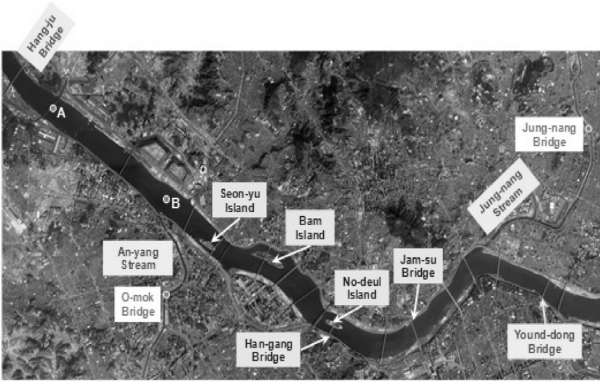


Fig. 1. Computational domain.

해 Fig. 1과 같이 한강 본류구간(영동대교-행주대교)을 대상영역으로 하였다. 약 25 km에 이르는 이 구간은 중랑천과 안양천이 본류로 합류하고 완만한 2개의 사행부를 포함하고 있으며, 3개의 하중도(노들섬, 밤섬, 선유도)가 위치하고 있어 위락시설과 철새의 도래지로 이용되는 중요한 영역이다. 또한 대상영역 내에 한강대교 수위관측소와 잠수교 수위관측소가 존재하여 수치모의 결과를 검증하고 매개변수를 결정할 수 있는 이점이 있다.

Fig. 2는 영동대교를 상류단 경계, 행주대교를 하류단 경계로 한 유한요소망이다. 대상영역 내의 두 개의 지천과 세 개의 하중도를 포함하였으며, 불규칙한 형태의 섬 주변은 삼각망으로 구성하여 5,551개의 혼합요소망을 제작하였다.

Table 1은 식 (1)에 포함된 점성계수( $\nu$ )와 조도계수( $n$ ) 등의 입력변수를 결정하고, 다양한 유량에 따른 역류 흐름을 해석하기 위한 수치모의 조건을 나타낸다. PD Run은 매개변수를 결정하기 위한 모의사상으로 Fig. 3과 같이 수문자료의 결측치가 없어 양호하며, 유량이 평수기 유량부터 약 600 m<sup>3</sup>/s까지 변하는 2011년 5월 4일부터 3일간의 실측자료<sup>14)</sup>를 바탕으로 경계조건을 입력하였다. 하루단 경계면인 행주대교 지점에서 서해안 조위로 인해 발생하는 수위차는 최대 0.6 m이었다. RV

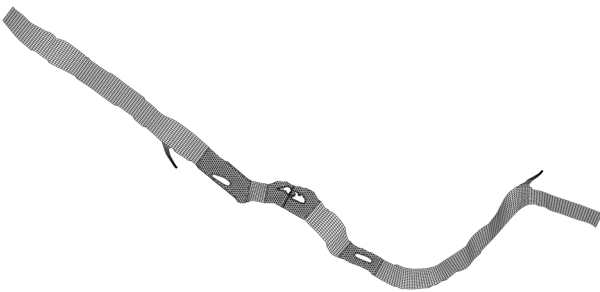


Fig. 2. Finite element layouts.

Table 1. Simulation conditions

Run	Discharge conditions
Parameter determination	
PD	3 days from May 4, 2011
Flow reversal	
RV1	183.93 m <sup>3</sup> /s (Normal flow)
RV2	373.66 m <sup>3</sup> /s (Flood flow)
RV3	700 m <sup>3</sup> /s
RV4	1,000 m <sup>3</sup> /s
RV5	1,200 m <sup>3</sup> /s
RV6	1,500 m <sup>3</sup> /s
RV7	2,000 m <sup>3</sup> /s

Run에서는 한강의 유량을 평수기 유량(normal flow)부터 2,000 m<sup>3</sup>/s까지 증가시켜 총 7개의 모의사상을 구성하고, 2일간 10분의 시간간격으로 수치모의를 수행하여 유량에 따른 감소하천에서의 역류 현상을 분석하였다.

Table 1에 제시된 RV Run의 유량을 상류단 경계조건으로 입력하였으며, 행주대교의 수위-유량 관계곡선을 이용하여 유량에 따른 평균 수위를 계산하고, 해양수산부의 ‘한강·임진강 유역에 대한 조위영양 연구’<sup>15)</sup>를 바탕으로 M2 및 S2 분조에 의한 진폭 및 주기 추출한 후 이를 합성하여 Fig. 4와 같은 하루 경계단에서의 조위곡선을 생성하였다. 이 그림에서 유량이 커질수록 평균 조위도 증가하나 고조(high tide)와 저조(low tide)에 의한 조위차는 감소함을 확인할 수 있다.

### 3.2 매개변수 결정

3.1절에 제시된 조건을 바탕으로 2011년 5월 4일부터 3일간 관측된 유량과 수위 조건을 이용하여 부정류 흐름 모의를 실시하였다. 입력 매개변수 선정을 위하여 Table 2와 같은 다양한 조도계수와 점성계수를 고려하였다. 하천의 좌안과 우안에 인접한 영역의 조도계수가 저수로 구간에 비해 물리적으로 큰 값을 가지므로 이를 차등적으로 적용하였으며, 요소망의 크기를 고려하여 3가지의 점성계수를 포함하였다. 한강대교와 잠수교의 수위관측소 실측자료와 수위 모의결과를 비교하여 RMSE를 계산한 결과 양안 인접영역의 조도계수를 0.035, 저수로의 조도계수를 0.025로 적용하고 점성계수를 4.0 m<sup>2</sup>/s로 입력한 모의결과의 RMSE가 각각 0.070 m와 0.084 m로 가장 작게 나타나 이 매개변수를 대상구간에 적합한 값으로 간주하고, 유량조건에 따른 역류흐름 분석에 활용하였다.

Table 2. Parameter determination

Roughness		Eddy viscosity (m <sup>2</sup> /s)	RMSE at Han River Bridge (m)	RMSE at Jam-su Bridge (m)
Near banks	Other region			
0.030	0.020	4.0	0.098	0.112
0.035	0.025	4.0	0.070	0.084
0.040	0.030	4.0	0.094	0.102
0.035	0.025	2.0	0.185	0.196
0.035	0.025	6.0	0.187	0.187

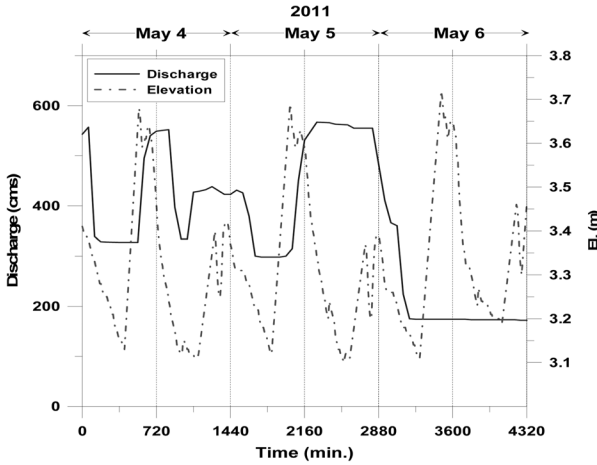


Fig. 3. Boundary condition for PD run.

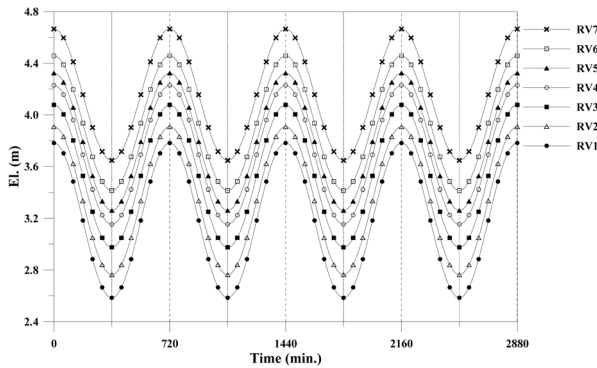
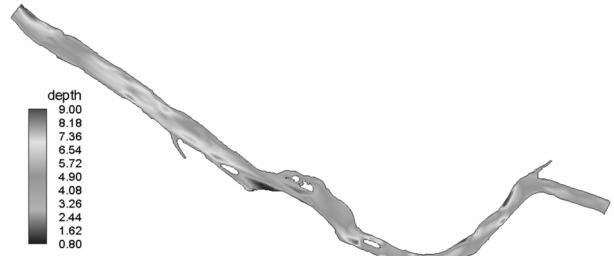
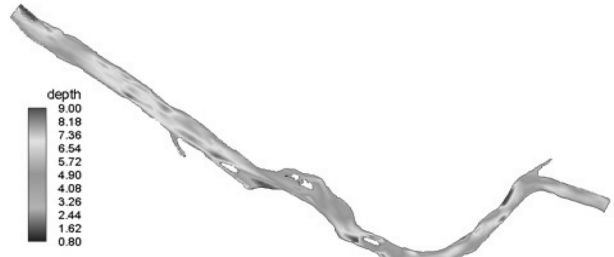


Fig. 4. Downstream tidal elevation for RV run.

이상에서 결정된 매개변수와 Fig. 3에 제시된 경계 조건을 입력하여 PD 사상을 모의하였다. 3일간의 모의 결과 중 유량 경계조건은 최대이고 수위 경계조건은 최소값을 가지는  $t=2,540$  min과 유량값은 최소, 수위값은 최대로 부여된  $t=3,500$  min에서의 등유속도와 등수심도를 Fig. 5와 Fig. 6에 수록하였다. 이 그림에서 유속이 조위의 변화와 밀접한 관련을 가지고 있음을 확인할 수 있으며,  $t=3,500$  min.에 역류 흐름으로 인하여 발생하는 창조류의 선단부가 노들섬까지 영향을 주고  $t=2,540$  min에서는 흐름이 전부 하류 방향으로 바

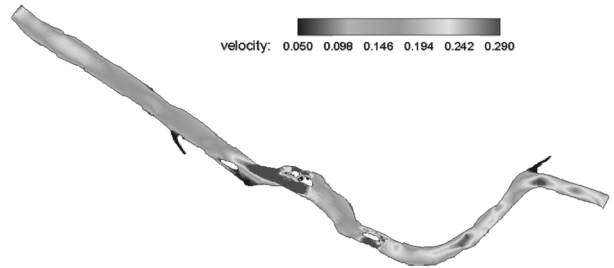


(a)  $t=2,540$  min.

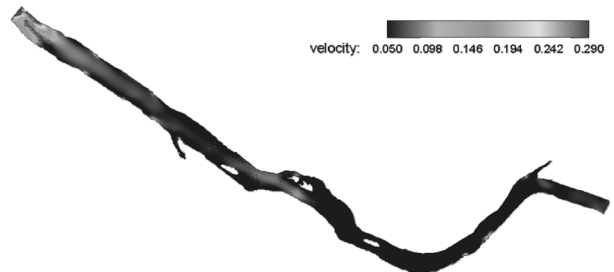


(b)  $t=3,500$  min.

Fig. 5. Water depth contour for PD run



(a)  $t=2,540$  min.



(b)  $t=3,500$  min.

Fig. 6. Velocity contour for PD run.

뀐 것을 알 수 있다. Fig. 5에서 수심은 1.0 m에서 10.0 m 정도로 분포하며, 상대적으로 깊은 수심이  $t=3,500$  min에서 최대 조수위로 인하여 발달됨을 알 수 있다.

#### 4. 감조하천 역류흐름 해석

유량조건에 따른 역류흐름을 해석하기 위해 고려한 7가지 모의사상 중 RV4를 선정하고 상용모형인

RMA-2<sup>16)</sup>의 모의결과와 비교하여 본 연구에서 개발된 수치모형의 정확도와 역류흐름 해석에 관한 적용성을 평가하였다. Fig. 1의 모의 영역 내에 위치한 방화대교 중앙(A점)과 안양천 합류부(B)를 대상지점으로 하였으며 비교결과를 Fig. 7에 도시하였다. 이 그림에서 최대 유속의 크기와 시간에 따른 유속의 변동성이 잘 일치하고 있으며, 유속이 0보다 작게 나타나는 역류 발생 구간과 크기도 매우 근사하였다. 방화대교(A점)에 비해 안양천 합류부(B)가 6 km 상류에 위치하고 있으므로 서해안 조위의 영향을 덜 받아 최대 유속의 크기와 역류 흐름이 작게 나타났다.

Fig. 8은 유량조건에 따른 A지점과 B지점에서의 3일간의 유속분포를 나타낸다. RV1에서 RV7로 유량조건이 증가할수록 흐름에 의한 운동량이 증가하고 조위차가 감소하므로 역류 현상은 완화되었고, 주흐름 유속은 증가하였다. A 지점의 경우 RV5까지 역류가 나타났으며, RV6과 RV7의 경우는 Fig. 8(a)와 같이 주흐름 방향의 유속만 발생하였다. RV1의 경우 최대 역류 유속은 0.4 m/s로 나타나 최대 주 흐름 방향 유속과 동일한 크기를 가졌다. B지점의 경우 A 지점에 비해 상류에 위치해 있으므로 최대 유속과 진폭이 A지점에 비해 감소하였고, 역류흐름은 RV4까지 나타났다.

상기에 언급된 바와 같이 역류가 가장 활발하게 발생하는 RV1과 B지점에서 역류가 최소로 관찰되는 RV4 모의 사상의 유속벡터도와 유선을 Fig. 9에 도시하였다. Fig. 9(a)와 같이 RV1의 하류단 수위 조건이 저조에서 고조로 올라가는 중심점인  $t=540$  min에서 최대 역류 현상이 관찰되었고, 창조류의 선단부가 하류단 경계면에서 24 km 떨어진 중랑천 합류부에 형성되었다. 이를 통해 중랑천 합류부에 넓은 퇴적층이 쌓이는 현상을 간접적으로 확인할 수 있었다. RV4 조건의 경우 동일한 시점에서 역류가 최대 밤섬 하류부까지

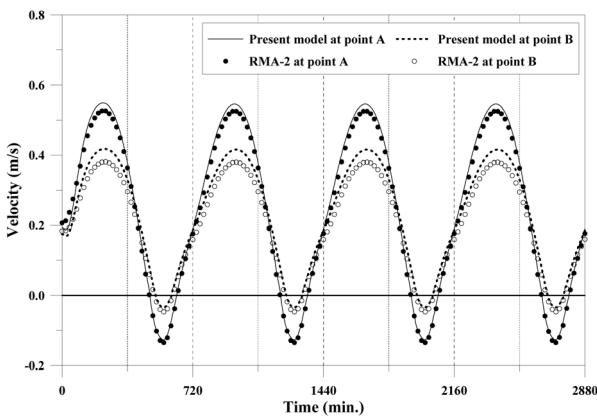
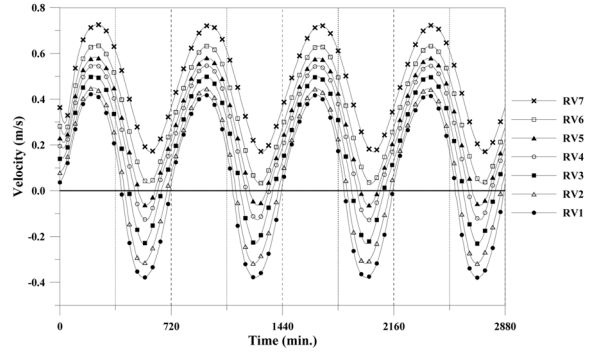
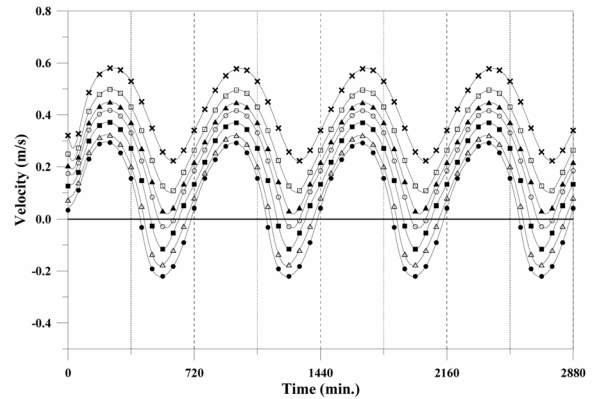


Fig. 7. Comparison of RV4 velocity with RMA-2 results.

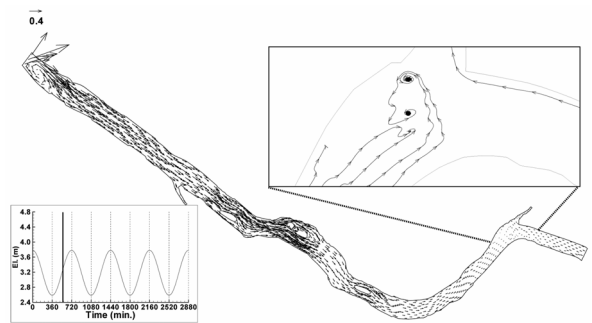


(a) Bang-hwa Bridge ("A" in Fig. 1)

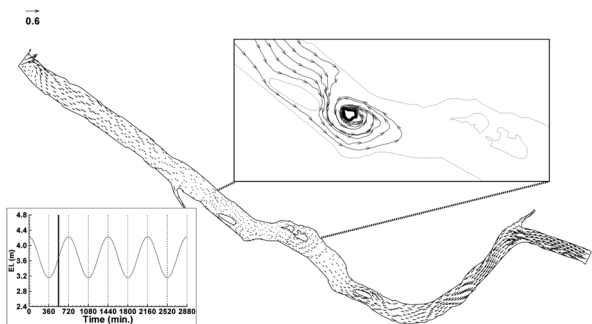


(b) An-yang Stream ("B" in Figure 1)

Fig. 8. Velocity variations by flow conditions.



(a) RV1



(b) RV4

Fig. 9. Flow reversal at maximum flood flow.

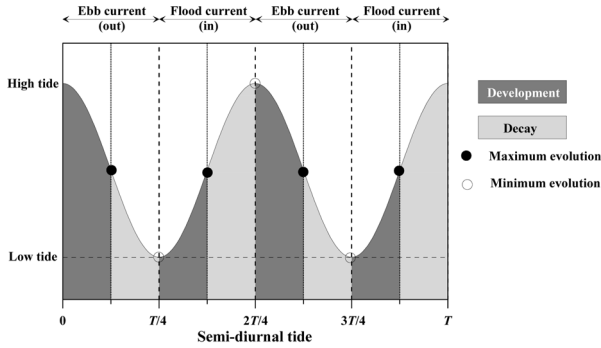


Fig. 10. Development and decay of ebb and flood currents for one semi-diurnal tide cycle.

도달하였으며, 이는 밤섬이 서해안 조석활동에 의한 유수에 의해 운반되던 물질이 하천의 유속감소와 퇴적 활동증가로 인해 자연적으로 생성된 하중도임을 증명하는 결과로 해석할 수 있다.

RV1부터 RV7까지 7가지 모의사상에 의한 반일주조 감조하천에서의 역류현상 발생 기작을 정리하면 다음과 같다. Fig. 10과 같은 정현파 조위곡선이 변곡점인 국부최저치(local minima)를 지난 시간( $T/4$ ,  $3T/4$ )에는 순방향 흐름이 나타나지만 국부최고치로 향해 가는 중간지점의 시간( $3T/8$ ,  $7T/8$ )부터 역방향 흐름이 형성되고 이 반대방향 흐름이 상류로 계속 전파되어 국부최고치인 고조(high tide) 발생 시간( $2T/4$ ,  $T$ )에 최대 역방향 흐름이 발생하였다. 이 후 역방향 흐름의 선단부가 서서히 하루 방향으로 이동하고 국부최저치로 내려가는 곡선의 중간지점의 시간( $T/8$ ,  $5T/8$ )에는 다시 완전한 순방향 흐름으로 되돌아갔다.

### 5. 요약 및 결론

감조하천에서 유량에 따른 역류 흐름을 해석하기 위해 천수방정식을 SU/PG 기법으로 이산화한 수치모형을 개발하고 한강 본류구간(영동대교-행주대교)에 적용하였다. 입력 매개변수를 선정하기 위하여 2011년 5월 4일부터 3일간 관측된 유량과 수위 조건을 이용하여 부정류 흐름 모의를 실시하고 모의구간 내에 위치해 있는 수위관측소의 실측결과를 이용하여 조도계수와 점성계수를 결정하였다.

유량조건에 따른 역류흐름을 해석하기 위해 평수기 유량부터  $2,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 까지 유량조건을 변화시키며 7가지 모의사상을 구성하였다. 유량조건이 증가할수록 흐름에 의한 운동량이 증가하고 조위차가 감소하므로 역류 현상은 완화되었고, 주흐름 유속은 증가하였다. 따라서 방화대교 지점에서는  $1,200 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 유량조건까

지 역류가 도달하였고, 안양천 합류부의 경우에는  $1,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 유량조건까지 역방향 흐름이 나타났다. 이상의 모의결과를 바탕으로 중랑천 합류부에 넓은 퇴적층이 쌓이는 현상과 밤섬이 서해안 조석활동에 의한 유수에 의해 운반되던 물질이 하천의 유속감소와 퇴적 활동증가로 인해 자연적으로 생성된 하중도임을 증명하는 결과를 유추할 수 있었다. 또한 반일주조 감조하천에서의 역류현상 발생 기작을 정현파 조위곡선을 바탕으로 해석하였다.

**감사의 글:** 본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 “도심지 홍수 예방(Smart Flood Management) 연구” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### References

- 1) I. W. Seo, C. G. Song and M. E. Lee, “Flow and Mixing Behavior at the Tidal Reach of Han River”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 28, No. 6B, pp. 731-741, 2008.
- 2) Y, K. Shin and K. S. Yoon, “The Spatial Distribution of Water Quality and Sediments Characteristics in the Han River Estuary”, Journal of the Korea Geomorphological Association, Vol. 12, No. 4, pp. 13-23, 2005.
- 3) S. Y. Kim, “Analysis of Flow Characteristics by the Tide Influence in Singok Inline-weir”, Master Thesis, Kyonggi University, 2002.
- 4) C. W. Kim, “Prediction of Scouring and Deposition in River and Reservoir”, 14th Water Engineering Workshop, Korea Water Resources Association, 2005.
- 5) S. H. Kim, W. Kim, E. R. Lee and K. H. Choi, “Analysis of Hydraulic Effects of Shingok Submerged Weir in the Lower Han River”, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 38, No. 5, pp. 401-413, 2005.
- 6) Gimpo City, “Survey Report on the Validity of Shift of the Shingok Submerged Weir”, 2009.
- 7) KICT, “Research Report - Examination of River Bed Change at Lower Han River”, Minister of Land, Infrastructure and Transport, 2010.
- 8) I. W. Seo and C. G. Song, “Development of 2D Finite Element Model for the Analysis of Shallow Water Flow”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 30, No. 2B, pp. 199-209, 2010.
- 9) C. G. Song and I. W. Seo, “Numerical Simulation of Convection-dominated Flow using SU/PG scheme”,

- Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32, No. 3B, pp. 175-183, 2012.
- 10) S. W. Bova and G. F. Carey, "A Symmetric Formulation and SU/PG Scheme for the Shallow-water Equations", *Advances in Water Resources*, Vol. 19, No. 3, pp 123-131, 1996.
  - 11) J. E. Akin and T. E. Tezduyar, "Calculation of the Advective Limit of the SUPG Stabilization Parameter for Linear and Higher-order Elements", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 193, No. 21, pp. 1909-1922, 2004.
  - 12) A. N. Brooks and T. J. Hughes, "Streamline Upwind/Petrov-Galerkin Formulations for Convection Dominated Flows with Particular Emphasis on the Incompressible Navier-Stokes Equations", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 199-259, 1982.
  - 13) C. C. Yu and J. C. Heinrich, 'Pertov-Galerkin Method for Multi-dimensional, Time-dependent, Convective-diffusion Equation', *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 24, pp. 2201-2215, 1987.
  - 14) HRFco (Han River Flood Control Office). <http://www.hrfco.go.kr>. (accessed on 12 August 2013)
  - 15) Ministry of Marine Affairs and Fisheries, "Influence of Tidal Elevation on the Basin of Han and Im-jin River", 2001.
  - 16) W. R. Norton, I. P. King and G. T. Orlob, "A Finite Element Model for Lower Granite 1250 Reservoir" *Water Resources Engineers, Inc., US Army Corp of Engineers*, 1973.