韓國水資源學會論文集
第45卷 第9號·2012年 9月
pp. 959~968
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.9.959

가동보 및 배수문운영을 고려한 주운수로 홍수위 산정모형 구축

Development of Flood Routing Model in the Navigation Waterway to Support Operations of Weir and Flood Gate

노 준 우* / 박 명 기** / 심 명 근*** / 이 상 진****
Noh, Joonwoo / Park, Myung-ki / Shim, Myung-geun / Lee, Sang Jin

Abstract

HEC-RAS has been applied to simulate water level variation in the Ara waterway during the flood season. To support decision making necessary for operation of the hydraulic structures especially during the flood season, it is important to consider various factors such as water level of the Han River, Gulpo River, and tidal level of the west sea in conjunction with operation of the hydraulic structures such as the Gyulhyun Weir, the West sea gate, and pumping stations. Especially for operation of the west sea gate, the Rule-script option was employed to determine the opening height considering the variation of the water level in the waterway and the west sea simultaneously. For model verification, comparison of water level computed at the upstream and downstream of the regulation weir shows a good agreement with observed data measured during the flood event in September 2010. The HEC-RAS model developed in this study will contribute to support operation of the waterway during the flood season.

Keywords : waterway, HEC-RAS, FLDWAV, Rule-script, flood routing

요 지

주운수로 홍수기 수위 산정을 위하여 미 공병단에서 개발한 HEC-RAS 모형을 적용하였다. 아라뱃길은 다양한 수리구조물의 조작을 통하여 선박운항 및 홍수처리가 이루어지며 유입홍수, 한강수위, 그리고 서해조위 변동과 연계하여 귤현보, 서해배수문, 체절수문, 그리고 배수펌프장등의 대표적인 구조물 운영을 지원할 수 있는 홍수위 계산모형이 필요하다. 특히 서해배수문의 개도를 결정하기 위하여 외조위와 내수위 변동을 동시에 고려한 수문운영이 필요하여 HEC-RAS의 Rule-script 기능을 적용하여 이러한 특성을 반영하였다. 모형의 검보정을 위하여 2010년 9월 홍수사상을 적용하였으며 모형으로부터 계산된 수위값과 관측된 수위값이 서로 잘 일치함을 확인하였다. 본 연구에서 구축된 HEC-RAS모형은 홍수기 주운수로 운영에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 주운수로, HEC-RAS, FLDWAV, Rule-script, 홍수추적

* 한국수자원공사 K-water연구원, 책임연구원 (e-mail: jnoh@kwater.or.kr)
Principal Engineer, K-water Institute
** 한국수자원공사 아라뱃길사업처, 차장 (e-mail: mkpark@kwater.or.kr)
Deputy Manager, Gyeong-in Ara Waterway Operation Center
*** 한국수자원공사, 아라뱃길사업처, 선임위원 (e-mail: mgshim@kwater.or.kr)
Senior Research Engineer, K-water Gyeong-in Ara Waterway Operation Center
**** 교신저자, 한국수자원공사 K-water연구원, 책임연구원 (e-mail: sjlee@kwater.or.kr, Tel: 042-870-7402)
Corresponding Author, Principal Engineer, K-water Institute

1. 서 론

아라뱃길 사업의 주요 목적은 굴포천 유역의 근원적인 홍수피해를 경감시키고 내륙주운을 통한 물류 수송체계를 개선함과 동시에 관광, 문화, 레저를 통한 녹생성장을 기반으로 지역경제 및 국가경제에 기여하기 위함이다. 아라뱃길 유역은 행정구역상으로는 인천시, 김포시, 부천시 그리고 서울특별시를 포함하고 있어 총 유역면적은 약 160 km^2에 달하며 이 중 134 km^2가 굴포천 유역에 해당되며 약 150만의 인구가 거주하고 있는 것으로 집계되었다. 굴포천 유역의 40%는 한강 홍수위보다 낮아 외수에 의한 내수배제가 불량하고 도시화로 인한 유출량의 증가로 상습 홍수피해 발생지역으로 분류되었다. 이와 관련 외수에 관계없이 홍수를 안정적으로 처리할 수 있는 근본적인 치수대책의 필요성이 대두됨에 따라 90년대 초 굴포천 방수로 사업이 시작되었다. 초기에는 저폭 20 m의 방수로 굴착이 진행되었으나 90년대 후반 수도권 물동량이 급격하게 증가하는 사회적 요구에 의하여 경인운하 건설사업으로 확대하고자 하는 계획에 따라 저폭 80 m의 방수로 확장계획이 검토되었고 2009년부터 한강과 서해를 연결하는 경인아라뱃길 시설공사에 착공하기에 이르렀다.

주운수로의 효율적인 운영 및 관리를 위해서는 주운수로 내 홍수관리를 비롯, 유수소통방안, 수질, 결빙대책, 유사관리 등 다양한 물관리 기법이 필수적이다. 주운수로 운영을 지원하는 의사결정 시스템을 구축하기 위하여 실시간 모니터링과 함께 강우자료, 수위측정국, 그리고 기상예측 시스템과 연계한 기상전망을 고려한 수치모의를 실시하여 선박통항 및 안전관리, 그리고 수리구조물 조작에 대한 의사결정이 필요하다. 한편 주운수로내의 효율적인 홍수관리를 위해서는 보, 배수문, 그리고 천변저류지 등의 다양한 수리구조물의 운영을 지원할 수 있는 해석모형이 요구되며 이러한 수리구조물 운영을 고려할 수 있는 홍수위 산정모형이 필요하다. 대표적인 1차원 부정류 해석모형으로는 미 공병단에서 개발한 HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center, 2010a)와 FLDWAV (Fread and Lewis, 1998) 모형이 있으며 국내에서 홍수분석을 위한 하천의 수리해석 분야에 매우 폭넓게 활용되어 왔다. Castellarin et al. (2009)은 영국 Severn 강, 이탈리아 Po 강에 대하여 HEC- RAS모형을 적용한 사례연구를 통하여 배수거리 및 파장관련 기준의 적합성을 검토하였고 김극수 등(2011)은 1차원 흐름해석시 거리 및 시간간격 설정에 따른 수치안정성과 오차를 저감할 수 있는 가변 계산거리간격 추정기법에 대한 연구를 수행하였다. 송주일 등(2011)은 식생이 존재하는 자연하도에 적용 가능한 1차원 수치모형을 제시하였고 HEC-RAS 모의결과와 비교하였다. 윤성심 등(2008)은 SWMM모형과 HEC-RAS를 연계하여 도시지역의 홍수예보에 적용하였으며 김덕길 등(2008)은 SWAT모형과 HEC-RAS를 연계하여 천변저류지 조성에 따른 수리 수문분석을 수행하였다.

본 연구에서는 HEC-RAS를 이용하여 홍수기 주운수로 운영에 대한 의사결정을 지원할 수 있는 홍수위 산정모형을 구축하였다. 주운수로의 대표적인 수리구조물로는 홍수배제를 위한 서해 배수문을 비롯, 굴포천에서 발생한 홍수를 주운수로측 유입을 담당하는 귤현보와 체절수문, 이설수로를 통해서 한강측 홍수배제를 위하여 펌프장, 등의 다양한 시설물이 존재하며 이들 수리구조물의 운영과 연계한 홍수위 산정모형이 필요하다. 특히 서해 배수문의 경우 홍수유입에 따른 주운수로 내 수위변동과 서해측 외조위를 동시에 고려한 수문개폐를 통하여 홍수배제가 이루어져야 한다. 이를 위하여 수리구조물의 운영을 고려한 경계조건을 구성하고 실제 강우사상을 적용하여 구축된 모형의 안정성과 신뢰도를 검토하였다. 본 연구를 통해서 개발된 주운수로 수리해석모형은 향후 아라뱃길의 홍수관리에 필요한 의사결정을 지원하고 이를 기반으로 아라뱃길의 효율적인 운영에 기여할 것으로 판단된다.

2. 모형선정 및 이론

2.1 모형의 개요

대표적인 비정상 하천수리 해석모형으로는 HEC-RAS와 FLDWAV모형을 들 수 있다. HEC-RAS는 미육군공병단의 HEC (Hydrologic Engineering Center)에서 개발된 기존의 HEC-2모형을 발전시킨 것으로 windows상에서 GUI환경을 제공하여 사용하기 쉬운 인터페이스를 갖추고 있고 다양한 수리구조물의 운영을 반영할 수 있는 경계조건을 구성할 수 있다. 한편 FLDWAV 모형은 잠실 혹은 신곡수중보와 같은 가동보에 대한 흐름해석이 불가능하여 전경수 등(2007)은 이를 수정하여 한강 본류의 흐름해석에 적용하였다. FLDWAV 및 HEC-RAS는 다음과 같은 Saint-Venant 방정식을 유한차분법을 적용하여 풀이한다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial S}{\partial t}-q_e=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial QV}{\partial x}+gA\left(\frac{\partial z}{\partial x}+S_f\right)=0 \tag{2}$$

여기서, x와 t는 독립적인 공간적 시간적 변수이고, Q는

유량, A는 흐름 단면적, 즉 총 단면에서 실제흐름이 발생하는 면적을 의미하며 S는 저류면적, q_e는 단위길이당 측방유입류, V는 유속, 그리고 S_f는 마찰경사를 의미한다. Eqs. (1) and (2)는 Preissmann 4점 음해법을 적용하여 풀이한다(Chaudhry, 2008).

2.2 모형선정

HEC-RAS의 1차원 정상류 해석(steady flow analysis)은 상류, 사류뿐만 아니라 혼합류에 대해서도 해석이 가능이 가능하며 1차원 에너지방정식을 기본으로 마찰 및 단면 확대/축소에 의한 에너지 손실을 고려할 수 있고 운동량방정식으로 도수 및 혼합류에 대한 해석이 가능하다. 또한 교량, 암거, 웨어, 홍수터 구조물 등 홍수류의 소통을 방해하는 구조물을 수리계산에 고려할 수 있어 홍수터관리나, 홍수보험 정책 등에 적용가능하다(Hydrologic Engineering Center, 2010a).

아라뱃길 주운수로를 대상으로 대표적인 1차원 하천수리 해석모형인 HEC-RAS와 FLDWAV, 두 모형에 대한 적용성을 검토하였다. 모형의 상호비교를 위하여 주운수로와 주운수로로 유입되는 굴포천만을 고려하여 주운수로의 경우 200 m로, 그리고 굴포천의 경우 300 m로 동일한 조건으로 단면간격을 적용하여 구성하였다. HEC-RAS에서는 실측된 단면자료를 활용할 수 있는 반면, FLDWAV는 좌우 대칭의 정형적인 하도단면이 요구되어 수심-하폭에 대한 관계를 설정해 주는 부가적인 작업이 필요하다.

상류단 경계조건으로 설계시 고려된 100년 빈도 유량조건을, 하류단 경계조건으로 서해측 조위조건을 적용하였다. 주운수로 상류, 중류, 및 하류측 대표단면에 대하여 각 모형별로 산정된 수위, 및 유량에 대한 모의결과를 Fig. 1에 제시하였다. 두 모형 모두 동일한 지배방정식을 풀이하여 매우 유사한 모의결과를 보였으나 HEC-RAS로부터 계산된 모의결과에서 다소 진동이 발생한 반면

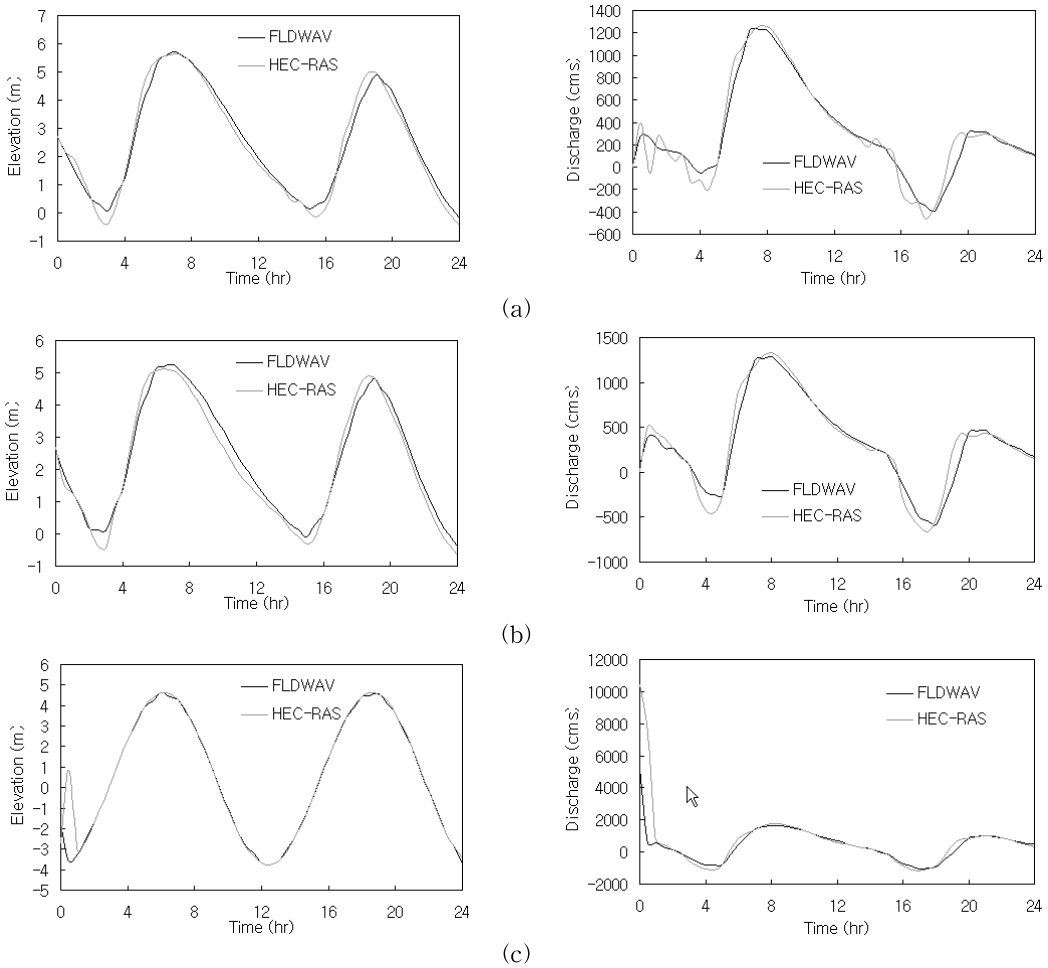

Fig. 1. Comparison of Water Surface Elevation and Flowrates Computed at (a) 6km, (b) 10 km, and (c) 16 km from the Headwater

FLDWAV의 경우, 비교적 안정적인 결과값을 얻을 수 있었다. 이는 모형별로 하도단면에 대한 자료구축 방식이 상이하여 이에 따른 차이점에 기인한 것으로 판단된다.

3. 분석대상 및 홍수처리 개요

3.1 주운수로 제원

경인 아라뱃길은 기존 방수로 구간이 14 km, 한강측 추가굴착구간이 4 km로 이루어져 서해와 한강을 연결하는 총 연장 18 km에 달하는 내륙주운 하천이다(한국수자원공사, 2009a). 서해측 선박의 유출입을 담당하는 인천터미널의 경우 부두시설을 비롯, 2기의 슬라이딩 게이트를 통한 갑실로 이루어져 있고, 한강측 김포터미널은 1기의 마이터 게이트를 통하여 선박의 유출입을 담당하게 된다. 주운수로는 저폭 80 m의 사다리꼴 단면형태를 가지며 선박통항을 위하여 최심하상고 EL. -3.6 m를 기준으로 수심 6.3 m을 유지하도록 운영수위를 EL. 2.7 m로 설정하였으며 선박의 높이를 고려한 형하고는 EL. 17.85 m에 달한다. 여기서 형하고란 수로를 가로지는 교량 등 시설물의 바닥높이를 의미하며 길이 120 m, 폭 16 m에 해당하는 2기의 선박이 교행하는 것을 기준으로 결정되었다. Fig. 2에 아라뱃길 주운수로 표준단면의 제원을 제시하였다(한국수자원공사, 2009b).

아라뱃길은 평상시 뱃길과 관광 등의 주운수로의 목적으로 활용함과 동시에 홍수시에는 굴포천에서 발생한 홍수를 전량 서해측으로 배제하는 방수로의 역할도 담당한다. 평상시 운영수위는 EL. 2.7 m를 유지하여 수심 6.3 m를 확보하도록 되어 있으나 홍수시에는 서해배수문을 통한 신속한 홍수배제가 이루어져야 한다. Fig. 3에 주운수로의 측면도와 함께 폭 12.5 m, 높이 9.5 m에 달하는 4개의 수문으로 구성된 서해배수문의 제원을 제시하였다. 서해배수문은 홍수유입으로 인한 주운수로 수위상승과 서해측 조위변동을 동시에 고려하여 효율적인 수문개폐가 이루어져야 하며 서해조위는 만조위시 EL. 4.63 m, 감조위시 EL. -3.77 m까지 12시간 35분의 주기를 가지고 변화한다(한국수자원공사, 2009c).

3.2 홍수처리 개요

아라뱃길의 홍수배제는 평상시 및 홍수기로 구분하여 운영된다. 굴포천 유역에서 발생한 홍수는 주운수로 유입하천 및 이설수로 분기점을 지나서 주운수로 유입하천에 설치된 귤현보 지점의 수위를 기준으로 관리수위 이하의 홍수시에는 귤현보가 기립되고 이설수로측 체절수문이 개방되어 이설수로를 통한 한강측 홍수배제가 이루어지며 이를 초과한 홍수 발생시에는 귤현보가 도복되고 체절수문을 닫아 주운수로를 통하여 서해로 배제된다. Fig. 4에 HEC-RAS 모형의 전체적인 모식도와 함께 굴포천 분

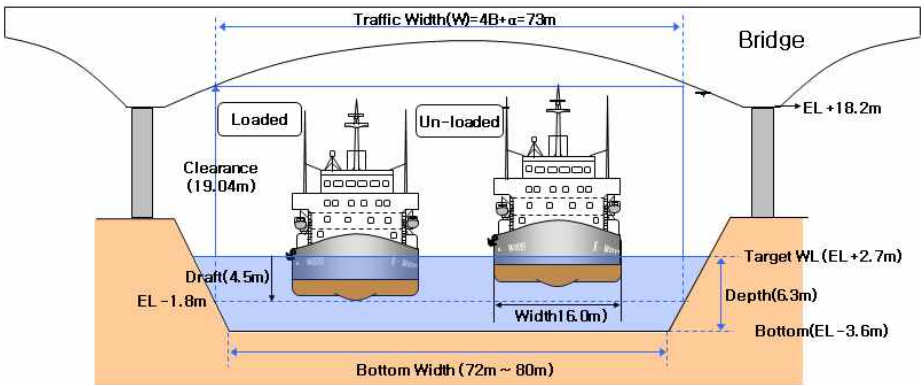

Fig. 2. Cross Section of the Main Waterway

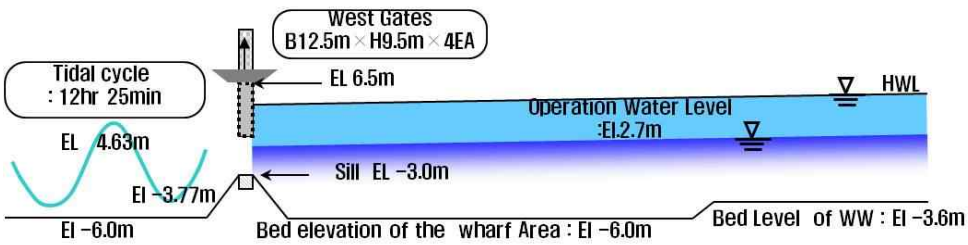

Fig. 3. Side View of the Main Waterway

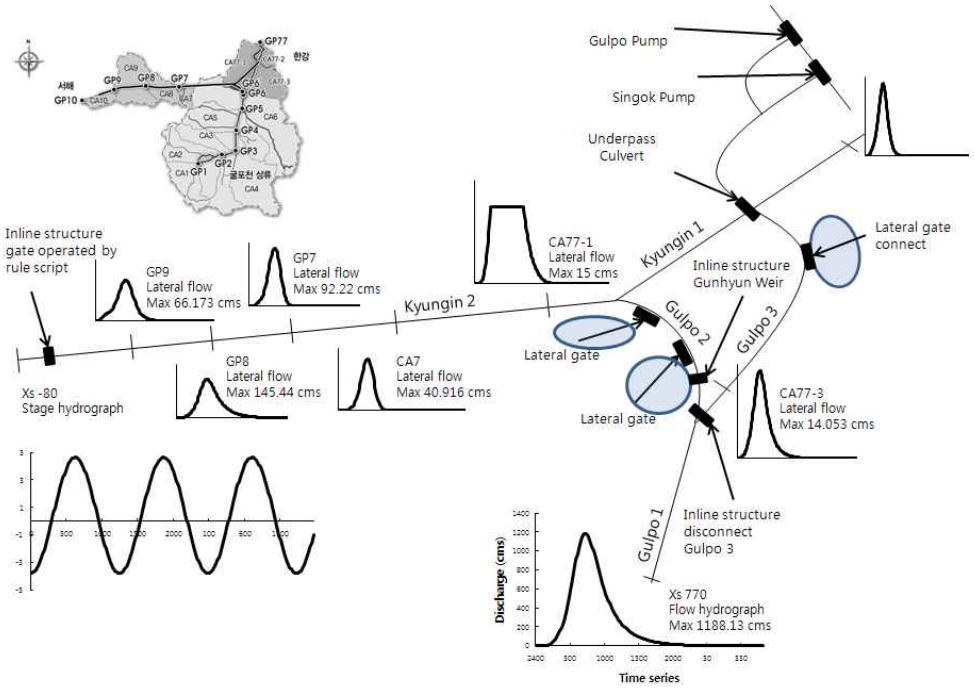

Fig. 4. Schematic of HEC-RAS Applied in the Ara Waterway

기점으로부터 한강측 홍수배제시 필요한 체절수문, 잠관(Underpass Culvert) 그리고 주운수로 유입하천에 홍수처리시 필요한 귤현보, 등 수리구조물에 대한 개략적인 위치를 표시하였다.

굴포천 유역에서 발생한 홍수는 상류단 경계조건으로 Gulpo1 하도로 유입되어 분기점을 거치면서 홍수규모에 따라 Gulpo2, 혹은 Gulpo3을 통하여 서해측 혹은 한강측으로 배제된다. 귤현보를 지나 Gulpo 2로 유입된 홍수의 경우 2개소의 천변저류지를 경유해서 주운수로 측으로 유입되어 서해측으로 배제되며 Gupo3로 유입된 경우에는 주운수로 하단에 설치된 잠관(Underpass Culvert)를 경유하여 이설수로를 통하여 신곡 및 굴포 펌프장을 통하여 한강쪽으로 배제된다. 설계시 적용된 100년 빈도 강우량을 기준으로 각 소유역에서 발생한 유량을 해당 소유역 및 단면별로 수문곡선과 함께 제시하였으며 최하류단 경계조건으로는 서해측 조위조건을 적용하였다. 홍수규모에 따른 구조물 조작은 구조물 직상류단 단면의 수위조건을 토대로 이들 구조물에 설치된 수문(Gate) 개폐를 통하여 이루어진다. 이러한 수리구조물은 HEC-RAS모형에서 Inline structure, 혹은 Lateral structure의 수문조작 옵션을 사용하여 설정할 수 있으며 최하류단 서해배수문의 경우, Rule script 옵션을 적용해서 서해측 외조위와 주운수로측 내수위를 상호 비교하여 자동적으로 수문개폐를 조작할 수 있도록 하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 수문운영(Gate Operation)

HEC-RAS에서는 수리구조물의 수문운영을 고려하기 위해서 Time Series Gate Openings, Elev Controlled Gates, Navigation Dams, Rules의 4가지 방법으로 구성할 수 있으며 본 연구에서는 Elev Controlled Gates와 Rules 두 가지 옵션을 적용하여 모형을 구성하였다. Elev Controlled Gates 옵션에서는 수리구조물 상하류단 특정단면에서의 수위변화를 기준으로 수문개폐를 설정하는 방식이며 Rules는 특정구조물의 특성에 가장 적합하도록 Script 형식으로 수문운영방식을 작성하여 적용하는 방법이다.

먼저 귤현보의 경우, 굴포천 분기지점을 지나 Gulpo 2 주운수로 유입하천에 설치되어 고무보의 형식을 취하며 평상시 기립되어 한강측 홍수배제를 유도하고 보 상류단 수위가 일정수위에 도달하는 홍수발생시 도복되어 굴포천에서 발생한 홍수는 주운수로를 통하여 서해측으로 유도, 홍수배제를 담당한다. 도복과 기립이 반복되는 고무보의 형상을 표현하기 위하여 Gate 옵션을 사용하여 중앙부 지지대를 중심으로 폭 45, 높이 1.5 m를 가지는 2개의 수문으로 구성하였고 웨어계수는 1.67로 설정해 주었다. 한편 Gulpo 3에 위치한 체절수문의 경우 4련의 수문으로 구성되어 있으며 귤현보 기립시 개방되어 한강측 홍수배제를 유도하고 도복시 폐쇄되어 주운수로측 홍수배제를 유

Table 1. Configuration of the Gyulhyun Weir and Disconnect Gate

	Gyulhyun weir	Disconnect gate
Number of gate	2	4
Height	1.5	3.5
Width	45.0	3.0
Invert	2.8	2.0
Gate type	Overflow	Sluice
Weir shape	Broad crested	Broad crested
Reference elev. to open	4.7	4.1
Reference elev. to close	4.1	4.7
Gate opening rate (m/min)	0.3	0.3
Gate closing rate (m/min)	0.3	0.3
Max. gate opening	1.5	3.5
Min. gate opening	0.0	0.0
Initial gate opening	0.0	3.5

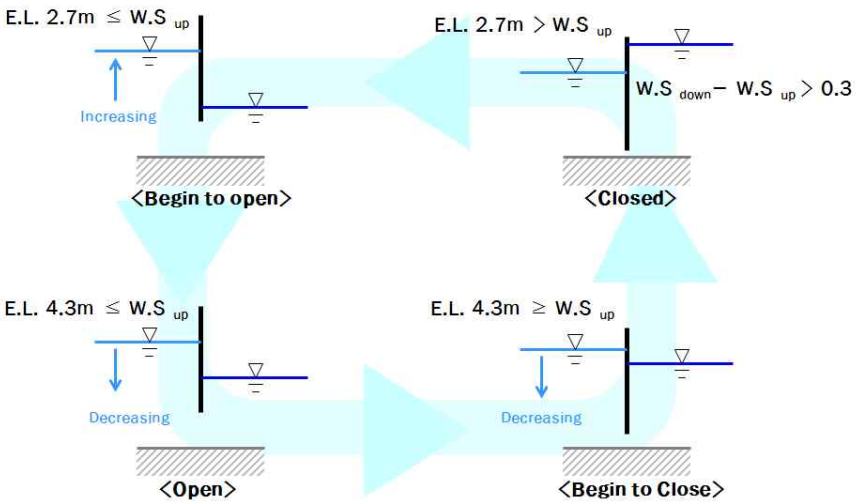

Fig. 5. Diagram for Operational Scheme of the West Gate

도한다. Table 1에 굴포천 분기지점에서의 귤현보 및 체절수문의 제원과 수문조작방안을 제시하였다. 적용된 경계조건으로는 앞에서 설명한 Elevation Controlled Gate 조건을 적용하였으며 주운수로 유입하천 및 이설수로에 설치된 두 구조물 모두 주운수로로 유입되는 하천의 귤현보 직상류단 수위가 특정수위에 도달하였을 때를 기준으로 0.3 m/min로 개방 혹은 폐쇄되도록 설정하였다.

4.2 Rule-script 구성

아라뱃길의 서해배수문은 뱃길로 유입된 홍수의 효율적인 배제를 담당하며 서해바다의 조위변동, 및 주운수로 내수위의 수위변동을 복합적으로 고려해야 한다. 굴포천 유역에서 발생한 홍수는 귤현보가 도복되어 전량 아라뱃길로 유입되며 서해배수문의 수문 개폐를 통하여 서해측으로 배제된다. 따라서 Fig. 5와 같이 배수문을 경계로 상류단을 주운수로 측으로, 하류단을 서해측으로 가정하고 상하류단 수위비교를 통해서 상류단 수위가 하류보다 클 때에만 수문을 개방하여 홍수배제를 수행한다. 반면 하류단 조위가 상류단 수위를 초과할 시에는 배수문을 폐쇄하여 해수유입으로 인한 수위상승을 방지해야 한다. 이를 감안한 배수문 운영을 위해서 Rule-script 기능을 적용하여 주운수로 하류단 경계조건을 구성하였다.

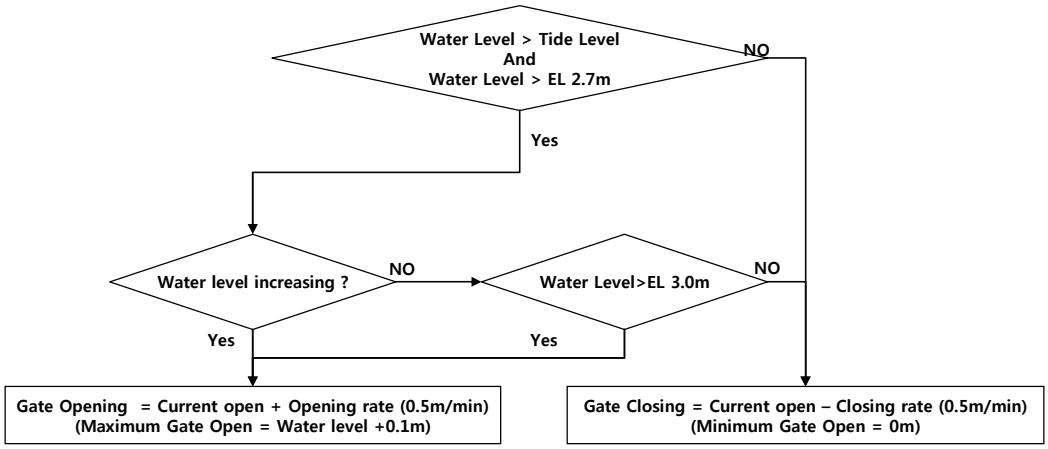

Fig. 6. Flowchart for Operational Scheme of the West Gate

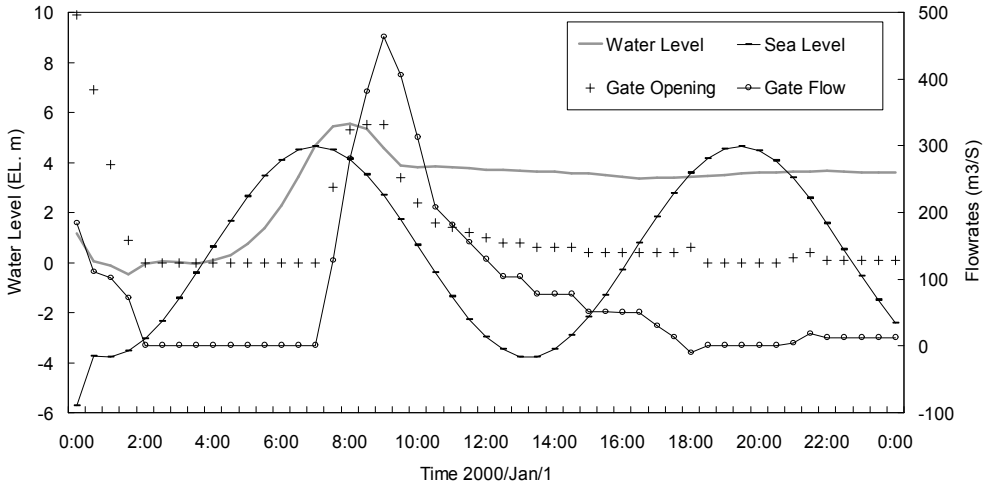

Fig. 7. Water Level and Flowrates Simulated at the West Sea Gate

Fig. 6에 Rule-script의 플로우차트를 제시하였다. 먼저 내수위가 서해조위보다 높고 EL. 2.7 m보다도 높은 조건에서, 내수위가 증가중이면 현재의 수문개방량에서 gate rate 만큼 더 개방한다. 이때 개방될 최대 수문높이는 [(0.1-수문바닥고)+상류단수위]이다. 상류단면 수위변화량이 감소 중이고, 상류단 수위가 EL. 3.0 m보다 크다면 수문개방을 통하여 수위상승을 방지해야 하지만 상류단 수위가 EL. 3.0 m 이하에서는 수로내 수심유지를 위해서 수문을 폐쇄해야 한다.

서해배수문은 폭 12.5 m 높이 9.5 m의 4기의 수문으로 구성되어 있으며 Sill은 EL. 3.0 m에 위치한다. Fig. 7에 설계시 반영된 100년 빈도 홍수가이 유입되는 조건에 대하여 Rule script를 적용해서 계산된 서해배수문 지점에서의 유량변동을 서해조위, 내수위 변동, 수문조작에 따른 수문개도와 함께 나타내었다. 07:00시 경, 내수위(Water Level) 상승하여 서해조위(Sea Level)를 초과하는 시점에서 수문은 개방되고 내수위가 감소됨에 따라 수문폐쇄가 진행되고 있음을 알 수 있다.

4.3 모형의 검보정 및 적용

모형의 검보정은 구축된 모형의 신뢰도 확보를 위하여 반드시 필요하다(Chow, 1959). 본 연구에서는 2010년 9월 21일부터 24일에 걸쳐 수도권 지역에서 발생한 강우사상을 적용하여 구축된 모형의 적용성을 검토하였다. 당시 수도권 지역에는 시간당 최대 100 mm에 달하는 폭우가 쏟아져 1만명이 넘는 이재민이 발생하였고 21일 첫날 하루에만 서울 대부분의 지역에서 200 mm가 넘는 강우량을 기록하였으며 경기지역은 시간당 최고 98 mm에 달하여

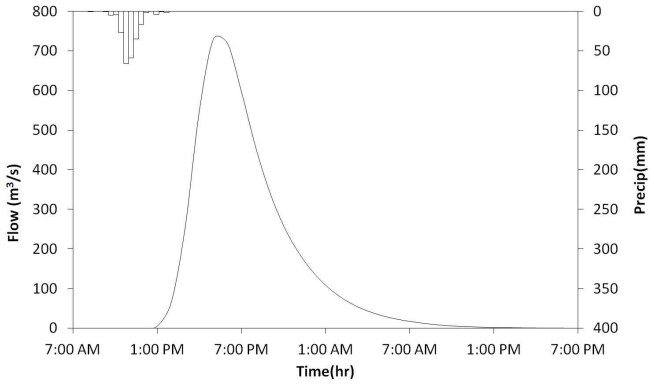

Fig. 8. Hydrograph Estimated at the Gulpo River Basin during the Storm Event in 2010/09/21

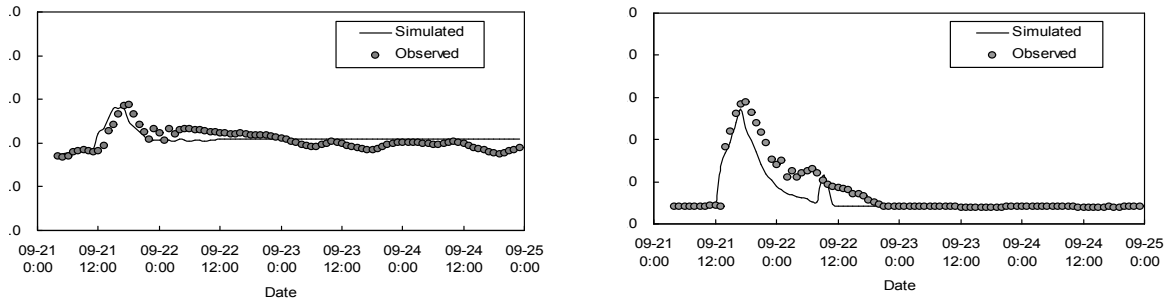

Fig. 9. Comparison of Simulated and Observed Water Level at (a) Upstream and (b) Downstream of the Gyulhyun Weir

2,777가구가 침수되는 피해를 입었다. 금번 강우기간 동안 굴포천 유역은 총 누적강우량 264.5 mm로 21일 하루에만 222 mm의 강우가 발생하였다. 이에 실제 강우사상을 적용하여 HEC-HMS (Hydrology Engineering Center, 2010b)를 이용해 굴포천 유역에서 발생한 홍수 유출량을 계산하고 굴포천을 통하여 주운수로로 유입되는 수문곡선을 Fig. 8에 나타내었다.

주운수로 유입을 제어하는 귤현보의 경우 홍수발생이후 EL. 4.7 m 수위에서 도복되고 굴포천 유역에서 발생한 홍수는 전량 주운수로로 유입되는 것으로 설정하였고 서해배수문은 홍수배제를 위하여 조위변동을 고려하여 운영되었다. 구축된 모형에 대한 적용성을 평가하기 위하여 관측수위 자료가 존재하는 귤현보 상하류단 20 m 지점을 대상으로 모의값과 실측값을 비교한 결과를 Fig. 9와 Table 2에 제시하였다. 보 상하류 지점에서 RMSE는 각각 0.36, 0.59로 상관계수는 0.78, 0.93으로 산정되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 홍수기 뱃길운영에 필요한 수리구조물 운영에 대한 의사결정을 지원하고자 아라뱃길 주운수로를 대상으로 홍수위 산정모형을 구축하였다. 홍수조절을 위한 다양한 수리구조물 운영을 고려한 경계조건을 적용하여 홍수기 실질적인 뱃길 운영에 대한 적용성을 높였으며 모형의 검보정을 통하여 구축된 모형의 타당성에 대하여 검토하였다. 본 연구에서 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 아라뱃길은 굴포천 유역에서 상습적으로 발생하는 홍수피해 방지를 위하여 건설되었으며 본 논문은 홍수유입에 따른 주운수로 내 홍수위 계산에 적합한 모형을 선정하기 위하여 대표적인 홍수추적 모형인 FLDWAV와 HEC-RAS를 적용하여 지점별 수위변동 및 유량변화를 상호 비교하였다. 두 모형은 입력자료 구축, 특히 하도단면 구성방식에 차이가 있으나 동일한 경계조건하에서의 모의결과는 매우 유사한 것으로 분석되었다.
2) 홍수규모에 따라 주운수로를 통하여 서해측으로 배제되거나, 혹은 굴포천 구하도를 통하여 한강측으로 배제된다. 이러한 이원적인 홍수처리를 위한 대표적인 수리구조물로는 천변저류지, 귤현보, 체절수문,

Table 2 Timetable of Simulated and Observed Water Level at the Gyulhyun Weir

	2010/09/21				2010/09/22				2010/09/23				2010/09/24			
	Upstream		Downstream		Upstream		Downstream		Upstream		Downstream		Upstream		Downstream	
	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim
0:00					4.49	4.99	2.84	1.87	4.25	4.33	0.85	0.85	4.04	4.30	0.83	0.82
1:00					4.12	4.94	3.03	1.80	4.17	4.33	0.85	0.85	4.04	4.30	0.84	0.82
2:00					4.64	4.85	2.24	1.68	4.09	4.32	0.85	0.84	4.03	4.30	0.83	0.82
3:00					4.40	4.77	2.51	1.58	4.02	4.32	0.86	0.84	4.03	4.31	0.84	0.82
4:00	3.40	3.55	0.86	0.82	4.62	4.70	2.25	1.48	3.96	4.32	0.85	0.84	4.01	4.31	0.85	0.82
5:00	3.37	3.55	0.85	0.82	4.66	4.64	2.43	1.40	3.89	4.32	0.84	0.83	3.98	4.31	0.85	0.82
6:00	3.43	3.54	0.86	0.82	4.66	4.59	2.53	1.33	3.83	4.32	0.85	0.83	3.95	4.30	0.85	0.82
7:00	3.61	3.53	0.86	0.82	4.63	4.54	2.62	1.26	3.84	4.32	0.86	0.83	3.94	4.30	0.86	0.82
8:00	3.65	3.53	0.86	0.82	4.6	4.51	2.42	1.20	3.92	4.32	0.85	0.83	4.00	4.30	0.86	0.82
9:00	3.69	3.53	0.86	0.82	4.56	4.47	2.06	2.43	3.99	4.32	0.85	0.83	4.05	4.30	0.85	0.82
10:00	3.64	3.53	0.85	0.82	4.53	4.45	1.88	1.86	4.07	4.31	0.83	0.83	4.09	4.30	0.84	0.82
11:00	3.62	3.61	0.87	0.82	4.51	4.43	1.80	1.09	4.04	4.31	0.83	0.83	4.06	4.30	0.8	0.82
12:00	3.64	4.39	0.87	0.93	4.48	4.41	1.72	1.03	3.97	4.31	0.82	0.83	4.00	4.30	0.79	0.82
13:00	3.88	5.5	0.86	2.45	4.46	4.40	1.66	1.01	3.91	4.31	0.80	0.83	3.90	4.30	0.77	0.82
14:00	4.55	6.29	3.65	3.35	4.44	4.38	4.61	0.99	3.84	4.31	0.80	0.82	3.82	4.30	0.78	0.82
15:00	4.87	6.69	4.41	3.83	4.44	4.37	1.44	0.97	3.78	4.31	0.79	0.82	3.74	4.30	0.78	0.82
16:00	5.36	6.69	5.27	4.71	4.45	4.36	1.44	0.95	3.73	4.31	0.79	0.82	3.68	4.30	0.80	0.82
17:00	5.72	6.46	5.71	5.32	4.43	4.36	1.36	0.93	3.69	4.31	0.78	0.82	3.62	4.30	0.82	0.82
18:00	5.77	6.15	5.78	4.50	4.39	4.35	1.16	0.91	3.69	4.31	0.78	0.82	3.56	4.30	0.82	0.82
19:00	5.32	5.86	5.31	3.87	4.38	4.34	1.04	0.90	3.74	4.31	0.79	0.82	3.52	4.30	0.81	0.82
20:00	4.87	5.6	4.82	3.26	4.37	4.34	0.96	0.89	3.83	4.31	0.80	0.82	3.58	4.30	0.82	0.82
21:00	4.52	5.39	4.38	2.62	4.36	4.34	0.84	0.88	3.92	4.31	0.83	0.82	3.64	4.30	0.82	0.82
22:00	4.2	5.21	3.88	2.15	4.35	4.33	0.84	0.87	3.99	4.31	0.84	0.82	3.71	4.30	0.83	0.82
23:00	4.68	5.06	3.05	1.94	4.3	4.33	0.85	0.86	4.03	4.30	0.84	0.82	3.78	4.30	0.83	0.82

신곡 펌프장 등이 있으며 이들은 홍수발생시 수위상승을 기준으로 운영된다. HEC-RAS모형은 구조물 운영을 반영하기에 매우 효율적이며 Lateral 혹은 Inline structure의 형식으로 이들 구조물의 형상을 반영하였고 경계조건의 형식으로 특정수위에 도달시 이들 구조물의 수문개폐가 가능하도록 모형을 구성하였다.

3) 아라뱃길의 홍수배제를 담당하는 서해배수문은 서해측 조위와 주운수로 내수위를 상호 비교하여 서해측 조위가 내수위보다 낮을 때 배수문을 개도하여 홍수배제를 유도하고 반대의 경우에는 배수문을 폐쇄함으로써 해수유입에 따른 내수위 상승을 방지할 수 있어야 한다. 이러한 배수문 운영은 HEC-RAS의 Rule-script 옵션을 적용하여 구성하였으며 본 연구를 통해서 소개된 Rule-script 기능은 최적화된 수리구조물의 운영을 고려할 수 있어 가동보 운영 등 그 적용범위가 매우 높을 것으로 예상된다.

4) 모형의 검보정을 위하여 2010년 9월 강우사상에 대하여 실측된 수위와 계산된 수위가 서로 잘 일치함을 알 수 있었다. 본 연구를 통하여 구축된 홍수관리 시스템을 바탕으로 홍수기 주운수로 운영, 및 관리가 가능하며 홍수기 의사결정 지원시스템으로써의 활용도가 높을 것으로 기대된다.

참고문헌

김극수, 김지성, 김원 (2011). “1차원 수치모형의 가변 계산 거리간격 추정 기법.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제44권, 제5호, pp. 363-376.

김덕길, 경민수, 김상단, 김형수 (2008). “천변저류지 조성

에 따른 수리 수문분석." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제5호, pp. 483-489.

송주일, 김종우, 임창수, 윤세의 (2011). "정수식생이 존재하는 자연하도에서 1차원 수치모형." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제44권, 제1호, pp. 9-22.

윤성심, 최철관, 배덕효 (2008). "대규모 도시유역의 홍수예보를 위한 수리 수문 모형의 연계." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제9호, pp. 929-941.

전경수, 김진수, 이상호 (2007). "한강 본류에의 적용을 위한 FLDWAV 모형의 개선." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제2호, pp. 135-146.

한국수자원공사 (2009a). 경인운하사업 기본계획 보고서

한국수자원공사 (2009b). 경인운하사업 실시설계 보고서

한국수자원공사 (2009c). 경인 아라뱃길사업 홍수처리계획 검토보고서

Casterllarin, A., Di Baldassarre, G., and Bates, P.D. (2009). "Optimal cross-sectional spacing in Preissmann scheme 1D hydrodynamic models." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 135, No. 2, pp. 96-105.

Chaudhry, M.H. (2008). *Open-channel flow,* 2nd edition, Springer.

Chow, V.T. (1959). *Open-channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New york, NY.

Fread, D.L., and Lewis, J.K. (1998). "NWS FLDWAV Model." NWS Report, Hydrologic Research Laboratory, NWS Office of Hydrology, NWA, Silver Spring, MD.

Hydrology Engineering Center (2010a). *HEC-RAS river analysis system user's manual*, US Army Corps of Engineers, Davis, CA.

Hydrology Engineering Center (2010b). *Hydrologic modeling system HEC-HMS user's manual,* US Army Corps of Engineers, Davis, CA.

논문번호: 11-120	접수: 2011.11.09
수정일자: 2012.03.06/07.05	심사완료: 2012.07.05