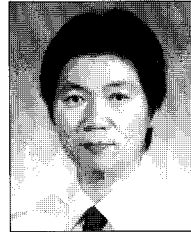


## 수리학적 수치 모형을 활용한 하구둑 방류량 산정 방안

Estimation of Estuary Barrage Discharge Using Hydraulic  
Numerical Simulation



이 상 진\*



신 현 호\*\*

\* 한국수자원공사 K-Water 연구원 수자원관리팀 책임연구원

\*\* 한국수자원공사 K-Water 연구원 수자원관리팀 공동연구원

### 1. 서 언

하천의 감조부에서 유체는 하구둑이라는 구조물이 존재하지 않을 때도 매우 복잡하게 거동한다. 하천의 갈수기·평수기·홍수기 즉, 담수의 유량마다 흐름의 특성이 다르고 하류는 연안이 근접해있기 때문에 조위에 따라 수위가 비정상적으로 변화한다. 또한 감조부의 지형학적인 요소에 의해서도 유체는 전혀 다른 양상을 띠기도 한다. 따라서 하구에서 보다 더 정확한 최종 유출량을 산정하기 위해서는 흐름, 수심, 그리고 하폭방향의 3차원 해석이 필요하다. 하지만 하천과 바다를 밀도가 같은 하나의 상으로 가정하고 수행한 수문학적 분석이나 1·2차원 수리모의 결과들은 시간적·공간적으로 경제적이고 양호한 결과를 산출해낼 수 있다. 이러한 사실을 바탕으로 본 연구에서는 낙동강 유역의 주요 다목적댐의 유입·방류량으로 구성된 추정유량과 1·2차원 수리학적 수치모의를 토대로 산정된 유량을 비교하고 현장조사를 실시하여 하구둑 수문운영 특성을 분석하여 방류량관리의 적정성을 검토하고자 한다. 다목적 댐은 안동, 임하, 합천, 남강, 운문, 밀양댐 등 낙동강유역의 주요 다목적 댐이 포함되었으며, 수치모의는 1차원 모형으로는 미국 기상청의 FLDWAV모형이 사용되었고, 하폭방향의 유속 분포를 고려하기 위해 사용된 2차원 모형으로는 미수

로국에서 개발된 RMA-2모형이 선정되었다. 적용기간은 과거 년도별 태풍이 동반된 중호우 홍수사상을 활용하였다. 하구둑에서 산정하고 있는 방류량을 수리·수문학적인 분석을 통하여 검증한 연구는 국내에는 미흡한 실정이다. 추태호 등(2000)은 수자원공사에서 개발한 Loopnet(Looped Network)모형과 미국기상청-NWS(National Weather Service)에서 개발된 FLDWAV모형을 수행하여 하구둑 상류지점의 실제측정을 토대로 수리학적으로 검증을 시도하였으며, 추태호(2002)는 유입부인 진동지점과 유출부인 하구둑에서 같은 시간대에 하구둑의 실제 운영상황에 맞추어 엔트로피 개념의 유량측정 방법을 도입하여 유량측정을 실시하고, 구포지점의 정확한 유입량을 위하여 구포지점의 변형된 수위-유량관계곡선식을 개발하여 제안하고 부정류 모형의 수행 결과를 토대로 검증을 시도하였다. 그리고 NEDECO의 수리모형실험에 의하여 제시한 값과 실시간 유량측정 결과로부터 산정된 값과 비교하여 새롭게 제안하지만 일반화하기에는 실험적용기간이 짧고 제안된 개선식도 실무활용성이 결여되는 것으로 나타났다. 보다 더 상세한 연구로 이주현 등(1998)은 낙동강 하류부의 감조구간에 대하여 실시간 홍수예보를 위한 수리학적 홍수추적모형의 적용성을 검토하였으며, 홍수시 감조구간내의 주요 홍수 예보지점에 대한 조위의 영향을 분석하였다.

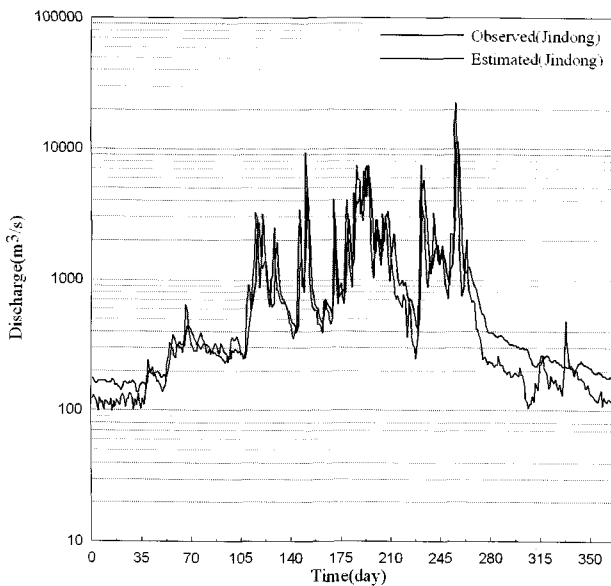
## 2. 낙동강 하구둑 유입·방류량 분석

우리나라는 하상경사가 급하고 하상계수가 커서 강우량의 계절별 편차가 심하다. 그런 연유로 큰 하천의 상류에는 대부분 댐이 건설되어 이수와 치수 그리고 사회적인 기능까지 수행하고 있다. 본 연구에서 낙동강 하구둑 방류량의 적정성을 검토하기 위해 낙동강 유역에 있는 다목적 댐의 유입량과 방류량 자료를 활용하고 비유량법을 적용하여 낙동강 하류에 있는 관측소인 진동 유입량과 최종 유출구인 낙동강 하구둑의 방류량을 산정했다. 낙동강 하류의 관측소 중 진동지점을 경계점으로 삼은 이유는 수문곡선의 분석결과 낙동강 하구의 조위의 영향이 밀양강 합류지점에 있는 삼랑진 지점까지 미치는 데다 그보다 상류에 있는 관측소 중에서 자료의 상태가 가장 양호한 지점이기 때문이다. 분석기간(2002.1~2007.12)동안 진동지점을 경계로 형성되는 낙동강 유역의 수문학적 유입량은 낙동강 홍수통제소에서 생산하는 수위-유량 관계곡선식에 의한 관측유량과 근사한 것으로 분석되었다. 아래의 그림 1은 2003년도 결과를 예시적으로 나타낸 것이다. 홍수기 수문곡선의 상승부에서 약간의 편차와 수문학적 유입량을 산정 시에는 도달시간 등이 고려되지 않았기에 수문 곡선 비교상에서 실제 유입량이 약간 지체된다는 것 이외에는 평·갈수기뿐만 아니라 홍수기에서도 수량적으로 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 이것으로 판단할 때 낙동강 주요 다목적댐의 유입 및 방류량자료를 활용하여 수문학적으로 추정된 하구둑 방류량의 모의 결과는 신뢰도가 있다고 판단된다.

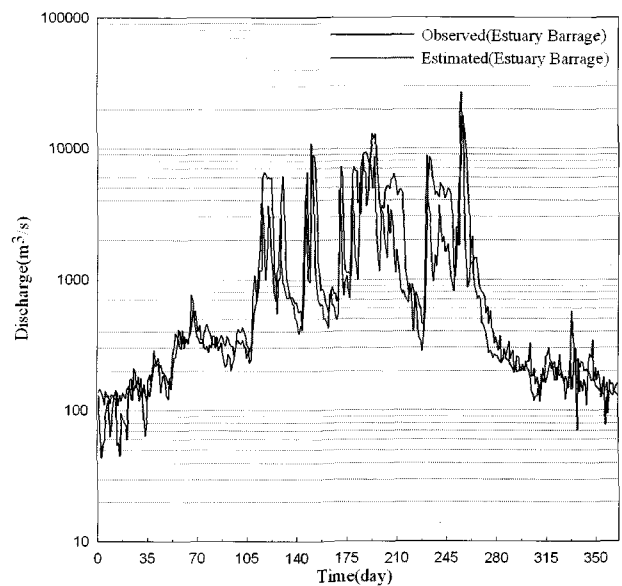
## 3. 수리학적 수치모형의 적용

### 3.1 1차원 홍수와 추적 모형

본 연구에서 하구둑의 방류량을 하도의 홍수파를 추적하여 최종적인 하구둑의 방류량을 산정하기 위해 1차원 부정류 계산 모형인 FLDWAV를 사용하였다. FLDWAV모형은 이전의 부정류 계산모형인 DWOPER모형과 댐 파괴 모의 모형인 DAMBRK모형을 결합하고 몇 가지 새로운 기능을 추가하여 미국 기상청(NWS)에 의하여 개발된 다양한 기능을 갖춘 수치형 하천수계에 대한 종합적인 1차원 부정류 계산모형이다. 모형의 지배방정식은 사용자가 지정한 시간에 따라 변하는 댐 파괴 조건 하에서 댐, 교량/둑과 같은 구조물을 통과하는 급변류를 묘사하는 내부 경계조건이 결합된 부정류에 대한 일차원 Saint-venant 방정식이다. 또한 상류단과 하류단에 적절한 외부 경계조건을 사용한다. 지배방정식의 해는 비선형의 가중 4점 음해유한차분법을 사용하여 구한다. 상류, 사류 또는 시간적, 공간적으로 두 가지 흐름 상태가 결합된 혼합류에 대한 계산이 모두 가능하다. 뉴턴유체 또는 비뉴턴유체 흐름을 모두 다룰 수 있으며, 추적대상 홍수 수문곡선은 시계열 입력자료로서 사용자가 직접 지정할 수도 있고 사용자가 지정한 댐 파괴 매개변수들로부터 모형에 의하여 생성될 수도 있다. 흐름을 조절할 능력이 있고 홍수에 의하여 파괴될 수 있는 하류 댐의 존재, 교량/제방에 의한 단면 수축, 지류 유입, 하천 사행, 하류 하천 또는 지류를 따라 위치한 제방 및 조석의 영향 등이



(a) 진동



(b) 낙동강 하구둑

그림 1 실측유량과 수문학적 추정 유입량의 비교

홍수가 하류로 전파됨에 따라 모두 적절히 고려된다. 또한 FLDWAV모형은 사용자가 지정한 상류 수문곡선을 사용하여 토석류나 강우/용설에 의한 홍수를 추적하는데 사용될 수 있다. 지배방정식은 질량 보존의 식과 운동량 보존의 식을 사용하고 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A+A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

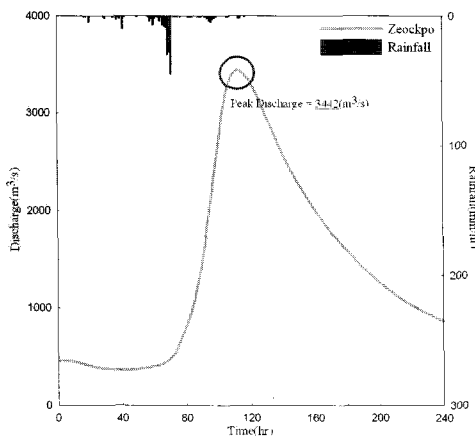
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e) + L + W_f B = 0 \quad (2)$$

$$\text{여기서, } S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{\frac{4}{3}}} = \frac{|Q| Q}{K_c^2}, S_e = \frac{K_e \theta (\frac{Q}{A})^2}{2g(\partial x)}, W_f = C_w |V_r| V_r \quad (3)$$

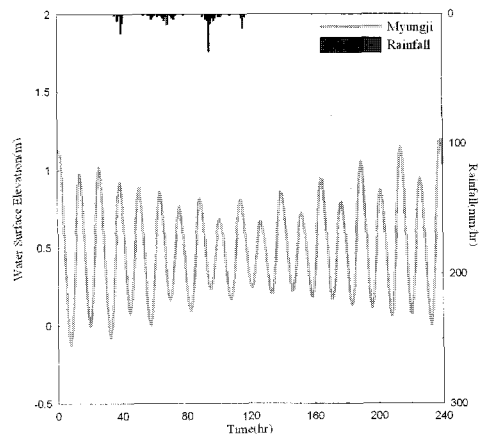
- 여기서  $Q$  = 유량
- $A$  = 흐름단면적
- $A_0$  = 저류단면적
- $q$  = 측방유입량
- $x$  = 거리
- $t$  = 시간
- $h$  = 수위
- $S_f$  = 마찰경사
- $S_e$  = 단면확대 · 축소에 의한 손실 경사
- $B$  = 하폭
- $n$  = 조도계수
- $W_f$  = 바람에 의한 응력
- $L$  = 지류에 의한 운동량의 변화

1차원 홍수와 추적모형인 FLDWAV모형을 통해서 1차원 수리모의를 수행할 경우 가장 이상적이고 안정적인 해를 도출하기 위해 모의 구간내의 상류 유량경계조건과 하류 수위 경계조건이 필요하다. 아래의 그림 2은 2006년 에위니아 태풍을 대상으로 적포교의 유량과 하구둑 하류의 명지 조위표를 나타내었으며 모형의 경계 조건으로 활용하였다. 실제 발생한 과거 호우사상을 적용하여 추후 수행될 검증에 활용하기 위해 위와 같은 경계조건을 사용했으며, 모의 구간내의 지류유입은 한국수자원공사 물관리센터에서 개발된 댐군 홍수조절 연계 모형을 사용하여 산정하였다.

본 모형의 지배방정식인 1차원 St. Venant방정식의  $S_f$  항 즉 운동량 방정식의 마찰항은 하천의 급경사나 완경사에 정도는 있겠지만 지배방정식의 인자 중 가장 큰 영향을 미치는 항이다. Henderson(1966)의 연구 결과로 급경사의 총적층 하도에서 급격하게 상승하는 홍수파의 경우 운동량 방정식 항의 크기를 밝힌 적이 있었으며, 하상경사가 매우 완만한 경우 압력항의 크기는 하상경사항의 크기와 비슷하게 되고 Froude수는 매우 작게 된다고 밝히고 있다. 따라서 1차원 부정류 모형을 적용하여 하도추적을 하는 경우에 계산결과에 영향을 미치는 중요한 변수중의 하나는 운동량방정식에 있는 마찰경사항의 조도계수이다. 조도계수의 본의미는 하상의 조도(roughness)를 나타내는 척도로서, 하상 재료 및 하상 표면의 특성에 의해 결정되지만 실제 흐름계산에서는 하천구조물, 사행도, 단면 형태, 단면 변화양상 등 하도의 상황뿐만 아니라 유량이나 수위에 의해서도 변화하기 때문에 이론적으로 조도계수를 정확하게 계산하는 것은 불가능하다. 이에 따라 흐름 계산시 조도계수를 산정하기 위해서는 많은 경험과 실험을 통해 제시된 하상 특성별 조도계수를 이용하는 것이 일반적이다. 이와 같은 이론적인 배경아래 본 연구에서는 구간별 가변 조도계수방법을 활용

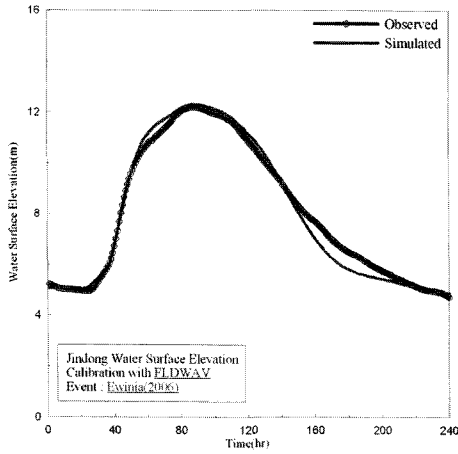


(a) 상류단(적포교)

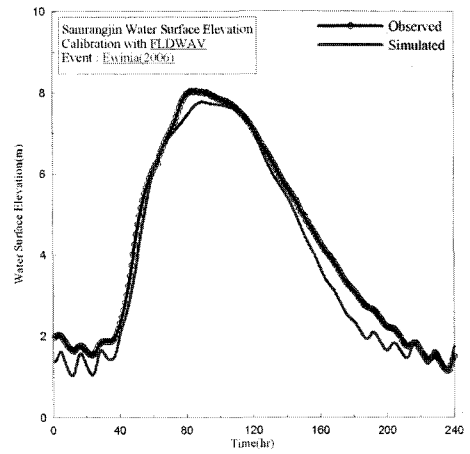


(b) 하류단(명지조위)

그림 2 FLDWAV 상·하류 경계조건(2006.7 태풍 에위니아)



(a) 진동



(b) 삼랑진

그림 3 낙동강 유역 하류부 주요 수위관측소 수위 검증(2006.7 태풍 에위니아)

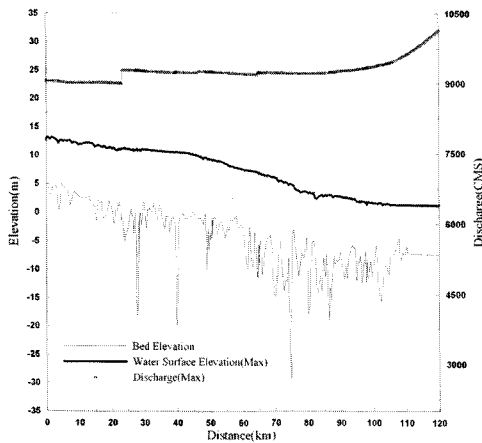


그림 4 최대수위 · 유량

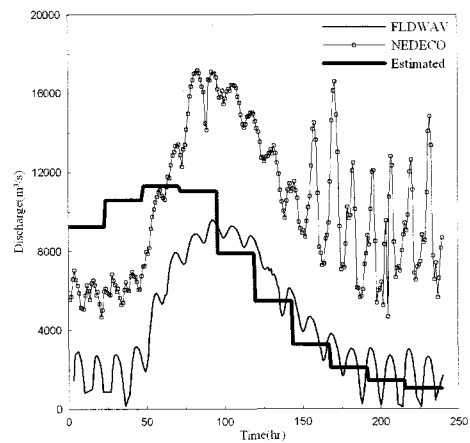


그림 5 방류량의 비교(2006)

하여 모형을 구성하고 실측치와 비교·대조를 통하여 검증 (Calibration)을 수행하였으며, 진동, 삼랑진, 그리고 하구둑 내측에서 실시하였다. 그림 3는 진동과 삼랑진을 예시로 나타내고 있으며 모의 결과는 대체적으로 실측치를 잘 반영하고 있는 것으로 나타난다.

검증된 결과를 바탕으로 최종 하구둑에서 산정된 유량과 최대 수위, 그리고 모의 구간내의 지형을 그림 4에 나타내었다. 하구둑에서 산정된 최대유량은 약  $10000\text{m}^3/\text{s}$ 정도이며, 그림 5는 수문방류량, 그리고 수문학적으로 추정된 유량을 모형으로 분석된 결과와 비교한 그래프이다. 분석 결과 수문방류량은 모형과 수문학적으로 추정된 유량에 비해 약  $3000\text{m}^3/\text{s} \sim 8000\text{m}^3/\text{s}$ 정도 크게 산정하고 있었다. 그리고 수문방류량의 수문곡선은 일반적인 하천의 하강곡선을 나타내고 있지 않다. 이것은 첨두 이후 담수의 유량이 줄어들지만 조위에 의한 영향 때문에 수위가 지속되고 수위를 주요 매개변수로 산정되는 수문방류량 공식에 그 수위가 직접 반영되기 때문에 방류량 값이 크게 산정된 것으로 사료된다. 따라서

낙동강 하구와 같은 조위영향을 직접 받는 특이한 천이구역에서는 수위-조위를 연계한 수문방류량 산정 또는 정확한 유속측정 방안이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2 2차원 동수역학 수심적분 유한요소 모형

전연한바 FLDWAV모형은 1차원 부정류 홍수 추적 프로그램으로써 지배방정식인 Saint Venant방정식을 이용하여 연속방정식과 운동량 방정식의 각 항을 계산한 뒤 유체의 흐름방향만을 계산하여 결과를 출력한다. 하지만 하천의 기수역과 같이 하폭이 넓고 하구둑과 같은 구조물이 설치되어 있으며, 하류로부터의 비정상적 조위의 영향을 받는 곳은 흐름방향 뿐만이 아니라 하폭방향과 수심방향의 3차원적인 해석이 필요하다. 하지만 본 과업의 목적은 연직방향의 흐름은 고려하지 않고 오직 상류에서 공급되는 유입량이 하구둑을 지나는 총량이 중요한 인자가 된다. 그리고 3차원 모형은 대상구간이 길어지면 길어질수록 계산시간이

상당히 오래 걸리는 데다 수심방향으로 급격한 변화를 보이지 않는 곳은 3차원적 해석이 비경제적인 선택이 될 수가 있다. 그래서 그러한 곳에 제한하여 2차원 수심적분 모형을 사용할 수 있다. 최근 들어 하천의 2차원 흐름해석에는 SMS(Surface-water Modeling System)통합모형이 상용화되어 있으며, TABS-MD라는 프로그램으로 사용자가 이용하기 편리하게 GUI를 제어한다. 하천의 하구부 해석에는 일반적으로 통합모형에 내장되어 있는 RMA-2와 HIVEL-2D 모형이 사용된다. 본 과업에서는 RMA-2 모형이 사용되었다. RMA-2모형은 2차원 수심적분 자유수면 유한요소 프로그램으로 미육군공병단(USCE)에서 처음으로 개발되었으며, 현재 WES(Waterway Experimental Station)에 의해서 지속적으로 수정·보완되어지고 있다. RMA-2 모형은 하중도를 포함한 하천수로구간의 흐름, 본류와 지류의 합류부, 유수단면의 확대 및 축소를 포함한 하천구간의 흐름, 만곡수로 등 하천의 수리동역학적 계산에 널리 이용되고 있다. 모형의 지배방정식은 3차원 Navier-Stokes방정식을 수심 적분한 2차원 천수방정식(2-Dimensional Shallow Water Equation)이다. 2차원 천수방정식은 연속방정식과 x와 y방향의 운동량 방정식으로 구성된다. 지배방정식은 아래의 수식과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \tag{4}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_o}{\partial x} \right) + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = \frac{\epsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \tag{5}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_o}{\partial y} \right) + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = \frac{\epsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\epsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \tag{6}$$

여기서,  $x, y$ 는 흐름방향, 흐름에 직교한 방향의 좌표(또는 거리),  $u, v$ 는  $x$ 와  $y$ 방향 유속,  $h$ 는 수심,  $a_o$ 는 하상표고,  $\epsilon$ 은 와점성계수(eddy viscosity),  $C$ 는 Chezy계수이다. RMA-2 모형의 계산은 전형적인 Galerkin 가중잔차법을 채택하고 있으며 완전음해법(fully implicit method)에 의해 형성된 행렬을 Newton-Raphson법으로 해석하므로 비선형 해석에 있어서 정확한 해를 제공한다. 이때 프로그램에서 행렬의 해는 front-type 해법이 사용되며, 이 모형은 상류(subcritical flow)에만 적용이 가능하다.

RMA-2 모형을 사용하여 홍수기를 모의하기 위해서는

하천의 부정류에 대한 이해와 경계조건, 그리고 젖음/마름 기법에 대한 이해가 필수적이다. 다시 말하자면 평면 2차원으로 측방향 경계를 구성하여 격자를 생성시키며 진행할 때 수문곡선의 시작부분에서 물이 흐르지 않던 지역이 수문곡선의 상승부와 침두치를 지나 특정 하강부까지는 물이 흐르는 홍수터로 변할 수 있기 때문이다. 여기서 RMA-2 모형은 범람과정의 운동성에 관한 가정을 하게 된다. 만약 홍수기시 주수로 유체의 흐름에 의한 거동보다 배수구에 의한 물의 회귀와 이송의 영향이 큰 흐름이라면 이 모형은 적합지 않은 모형이 될 것이다. 하지만 본 연구에서 진행되는 사상은 본류와 지류의 물의 이송으로서 범람과정이 발생하므로 적합한 모의 수행이라고 판단할 수 있다. 범람과정의 운동성에 관한 모의를 일반적으로 RMA-2모형에서는 MP기법과 요소제거 기법을 통하여 경계조건을 처리한다. SMS는 2차원 수리학적 현상을 모의하기 위한 전처리 과정에 입력되는 자료구축과 계산수행의 용이함, 그리고 해석 결과의 출력력을 표현하는데 있어서 사용자에게 편리한 기능을 가지고 있는 윈도우용 응용프로그램을 제공하고 있다. 적용된 SMS 프로그램에서는 계산수행을 위한 전처리단계인 GFGEN, 하천의 동수역학적 흐름해석을 위한 RMA-2, 오염물질의 거동해석을 위한 RMA-4, 유사의 이동과 하상변동을 해석하는 SED-2D의 프로그램으로 구성되어 있다. GFGEN(Geometry File GENERation)에서는 텍스트 파일로 구성된 지형파일을 RMA-2 또는 RMA-4에서 사용할 수 있

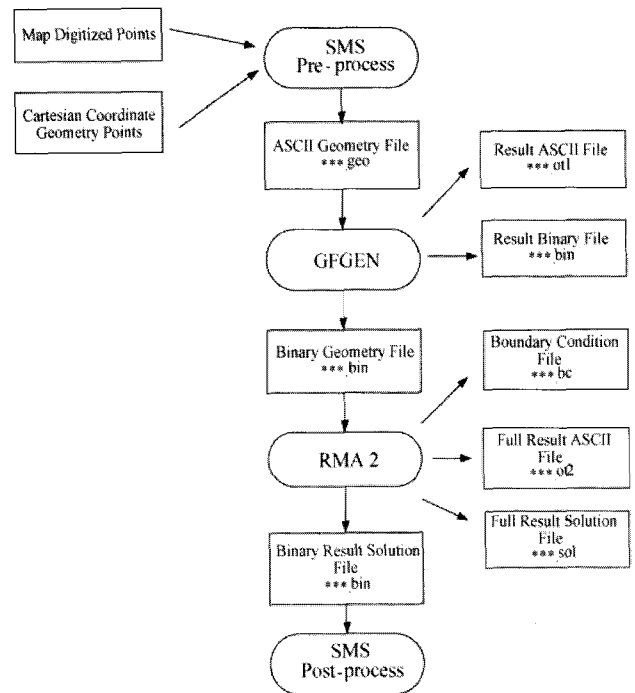


그림 6 RMA-2 모형의 수행도

는 binary 파일로 전환을 시켜주는 것으로서 유한요소망을 구성하는 절점과 요소에 관한 정보를 읽어들이어서 사용자가 구성한 유한요소망의 오류 또는 계산 수행시간의 절감을 위한 절점번호의 재정렬을 수행하게 된다. RMA-2는 2차원 동수역학적 모형을 해석하기 위해서 수심평균을 취하여 혼합보간 기법을 적용한 유한요소 프로그램이다. 미국 자원관리국(Resource Management Associates)에서 처음으로 개발되었으며, 현재 미수로국(WES, Waterway Experiment Station)에 의해서 지속적으로 수정, 보완되고 있다. RMA-2는 하천, 항구 또는 하구와 같은 수역을 대표하는 유한요소망의 각 격점에서의 수위 및 유속을 계산할 수 있는 프로그램이다. 그림 6에 RMA-2모형의 수행도를 나타내었다.

그림 7은 2001~2007년 동안 수행된 홍수사상 중에서 가장 최근의 사상인 나리태풍의 상·하류 경계조건을 나타내었다. 첨두유량은 8406.7m<sup>3</sup>/s으로 진동지점 낙동강 본류의 유량과 밀양강의 유량을 합산하였으며 하류단 경계조건은 하구둑 하류의 명지조위표를 활용하였다.

그림 8의 격자망을 토대로 RMA-2모형을 이용한 부정류 해석을 실시하여 년도별 홍수사상을 분석하였다. 그림 8의 (a)~(h)는 모의구간내 하도전체의 유속장을 묘사한 것으로 젖음/마름기법을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있다. 분석된 결과 중 가장 주안점을 둔 지역은 하구둑 구조물 주위의 유속성분들로서 총 10개의 수문으로부터 발생하는 유속장을 분석하여 그림 9과 같이 도시하였다.

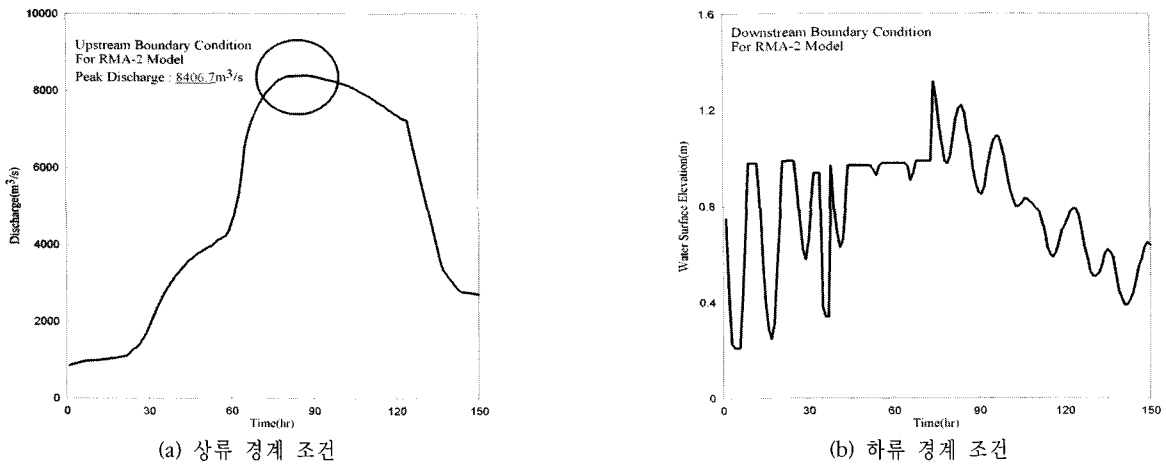


그림 7 2차원 모형의 경계조건(2007 나리 태풍)

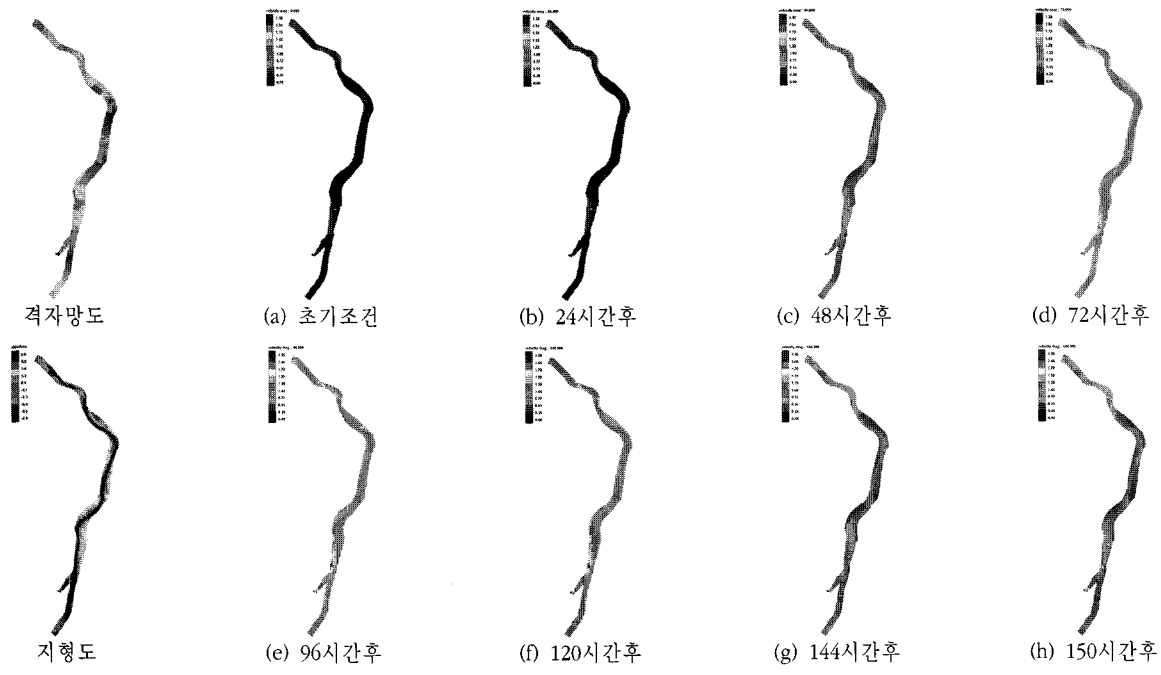


그림 8 2차원모의를 위한 격자망, 지형, 모의 결과

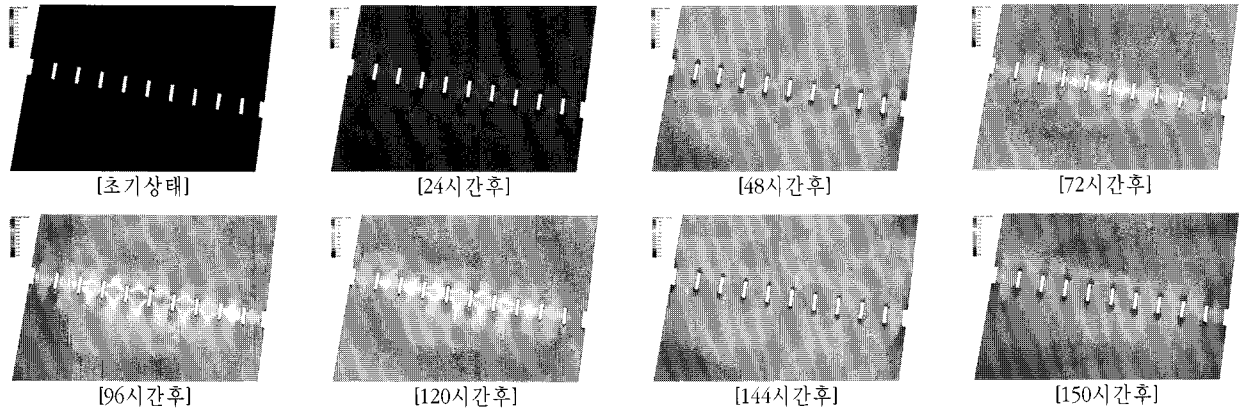


그림 9 하구둑 주변 유속장 분포

모의 시간은 총 150시간으로 와점성계수를 매개변수로 하여 검증을 실시하였다. 분석결과 하구둑이 완전개방하고 하천의 유량이 하구둑을 통과하면서 조위에 의해 유량이 진동하는 모습을 관찰할 수 있었다. 구조물의 하류방향 후미쪽에 사수역이 발생했으며 그 영역 안에서 후류가 발생해 유체가 도는 현상까지 관찰할 수 있었다. 하구둑 접근유로라고 할 수 있는 상류 2~3km부근에는 유로가 좁아져 최대유속이 관찰되었다.

#### 4. 결 언

본 연구의 주요 연구내용에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다. 주요 다목적댐의 유입량 및 방류량 자료를 활용하여 비유량법을 적용하여 낙동강 주요 하류부 수위관측소인 진동지점과 최종 유출구인 낙동강 하구둑의 수문학적 추정 유입량을 산정하였다. 산정된 유입량은 실측된 결과와 비교·분석함으로써 수문학적으로 산정된 결과들에 대한 적정성을 판단하는 기준으로 활용하였다. 1차원 부정류수치모형을 활용하여 낙동강 하류부 모의를 수행하였다. 모형은 미국기상청의 FLDWAV모형이 사용되었으며, 총 6개의 홍수사상에 대하여 실측자료를 중심으로 경계조건을 구성하고 결과값에 대해서 운동량방정식의 마찰항에 포함되어 있는 조도계수를 이용하여 검증을 실시하였다. 그 결과 수문방류량은 수치모의의 방류량에 사상별로 3000~8000m<sup>3</sup>/s정도 크게 산정하고 있었다. 2차원 유한요소 모형을 이용하여 하구둑 주변의 유속장을 구현하였다. 모의 결과 하구둑 지점의 유속은 조위의 영향에 의해 진동하는 패턴을 나타내었다. 그리고 조위의 영향으로 수위는 상승 또는 유지될 수 있지만 그것이 반드시 방류량이 많아지는 것은 아닌 것을 알 수 있으며 하도의 축소로 인하여 하구둑 상류 2~3km 부근에서 최대의 유속이 관찰되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 한국수자원공사, “낙동강유역 수자원 환경 기초조사 보고서”, 2005
2. 한국수자원공사, “낙동강 하구둑 방류량 산정 방법 개선 보고서”, 1999
3. 한국수자원공사, “낙동강 하구둑 운영관리 매뉴얼”, 2004
4. 한국수자원공사, “낙동강 하구둑 수문운영보고서”, 1987
5. 한국수자원공사, “수자원장기종합계획보고서”, 2006
6. 하구둑 조위를 고려한 낙동강 하류부 수리학적 하도추적 모형 연구, 한국수자원공사, 2004
7. 이주현, 이은태, 이도훈, “낙동강 하류부의 감조구간에 대한 홍수해석”, *한국수자원학회논문집*, 31(3), pp.235-242, 1998
8. 이재형, 황만하, “섬진강 하류부에서의 수위-유량관계에 관한 연구”, *한국수문학회지*, 27(4), pp.115-121, 1994
9. 조홍제, 황재호, 문성준, “태화강 감조부의 저수위 수위-유량 곡선 개선”, *한국수자원학회논문집*, 33(5), pp.635-645, 2000
10. 추태호, 김현식, 김만식, 김철구, “감조하천에서의 수위-유량관계곡선식에 관한 연구”, *한국수자원학회 2000년도 학술발표회 논문집*, pp.535-540, 2000
11. Chow, Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, Singapore, pp.70-74, 1986
12. Dickinson, W.T. Accuracy of discharge determination, Hydrology paper No. 20, Colorado State Univ., Fort Collins, Colo, 1967
13. Godin, G., Modification of river tides by the discharge, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.* 3(2), pp.257-275, 1985
14. USGS, Measurement and Computation of Streamflow-Computation of Discharge, 1982
15. ISO, ISO2425, Measurement of Liquid flow in open channels under tidal conditions, 1999

[담당 : 최인길, 편집위원]