

## 홍수터에서의 범람 홍수류에 의한 2차원 수치모의 Two Dimensional Analysis on Inundated Flow in Floodplain

한 건 연\* / 정 재 학\*\* / 이 을 래\*\*\*

Han, Kun Yeun / Chung, Jae Hak / Lee, Eul Rae

### Abstract

Two dimensional finite element model, RMA, is used to simulate flood inundation phenomena from main channel to floodplain. The marsh porosity method allows finite elements to simulate gradual transition between wet and dry states. The model is applied to prismatic trapezoidal channel to test the applicability of wetting and drying. The floodwave in a river which meanders through a floodplain is also analyzed. The short-circuiting effects, in which the flow leave the meandering main channel and takes a more direct route on the floodplain, are analyzed with various sinuosity factor and roughness coefficients. Finally, the model is applied to the midstream of the Keum River. Wet/dry calculation can simulate the various discharge condition with the same finite element networks.

*keywords* : river, flood inundation, wet/dry states, finite element model

### 요 지

본 연구는 2차원 유한요소모형인 RMA를 이용하여 하도흐름의 홍수터로의 범람현상을 모의하였다. Marsh porosity 기능을 이용하여 계산요소가 젖은 하도에서 마른하도로 점진적으로 변화하는 현상을 가능하게 한다. 젖은/마른하도 계산기능에 대한 적용성을 확인하기 위해서 균일한 사다리꼴 하도구간에 적용하였고 사행하도에서 홍수터를 통한 홍수모의를 실시하였다. 사행하도에 대한 직용결과 홍수터에서의 흐름의 단축현상을 확인할 수 있었고 다양한 사행도와 홍수터 조도에 대한 영향을 평가하였다. 본 모형을 금강 본류부에 적용하였는데 wet/dry 계산은 동일한 유한요소망을 이용하여 다양한 유량조건에서의 모의를 실시하였다.

**핵심용어** : 하천, 범람홍수, 젖은/마른 하도 상태, 유한요소모형

\* 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수  
Prof. Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Taegu 702-701, Korea  
kshanj@knu.ac.kr

\*\* 국립방재연구소 연구원  
Researcher, National Institute of Disaster Prevention, Seoul 131-020, Korea

\*\*\* 경북대학교 공과대학 토목공학과 박사후료  
Doctoral Candidate, Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Taegu 702-701, Korea

## 1. 서론

최근에 들어 하천 주변의 제내지 지역 및 홍수터에서의 토지이용도 증가에 따라 범람홍수에 대한 수리학적 연구의 필요성이 크게 대두되고 있다. 홍수터내에 설치되고 있는 각종 도로 및 교량시설물, 공원 및 레크리에이션 시설 설치 등은 홍수터에서 수리학적 흐름특성의 변화를 야기시켰으며, 이로 인해 이 구간에 대한 흐름 특성의 정확한 파악과 수공학적 대책이 필요하게 되었다.

자연하천은 주수로와 홍수터로 구성된 복합단면을 가지고 있으며 어느 정도의 사행성을 가지는 것이 보편적이다. 특히 홍수시 홍수범람의 거동을 해석하는 것은 하천계획 및 관리에 있어서 중요한 정보가 될 수 있다. 기존의 1차원 흐름 모형은 이러한 복합사행수를 분석하는데 있어 한계가 있다. 따라서, 주수로와 홍수터로 구분된 복합단면수로에서의 복잡한 운동량의 변화양상을 파악하기 위한 2차원적인 분석이 필요하다. 본 연구에서는 하천의 지형학적 특성을 효과적으로 반영할 수 있는 2차원 유한요소모형인 RMA를 이용하였다.

2차원 유한요소모형의 흐름해석에 대한 적용으로서 RMA 모형은 하천흐름(Gee와 Wilcox, 1985), 항만 지역(King과 Roig, 1988) 등의 문제에 적용되었다. 격자의 wet/dry 처리기법의 유용성은 San Francisco 만의 남부지역(King과 Roig, 1988)과 San Diego 만(Parmeshwar, 1994)에 대해서 적용된 바 있으며 King(1986)에 의해 범람홍수류에 대한 동수역학적 유한요소모형과 투사이송모형이 수행된 바 있다. 국내에서는 한건연 등(1999)은 취수장 부근에서의 하상변동 모의를 위하여 유한요소모형을 적용한 예가 있다.

본 연구의 목적은 범람홍수의 복합적인 흐름거동해석이 수반되는 2차원 동수역학적 특성을 파악하기 위해서 다양한 하도 조건하에서 수위 모형을 적용하였고, 그 결과를 기존의 해석모형인 DAMBRK 및 HEC-2 등과의 비교검토를 통하여 모형의 검증을 실시하였다. 홍수시 발생하는 지형의 wet/dry 상황의 검정을 위해서 본 모형을 사다리꼴 단면 수로와 사행하천에 적용하였고, 금강하류부 유역에 적용을 통해서 하도 흐름의 홍수터 범람 양상을 규명하였다. 본 연구에 의한 해석 결과는 홍수로 인한 하도내의 범람양상을 파악하는데 활용될 수 있겠다.

## 2. 범람홍수의 수치모의 기법

### 2.1 기본개념

자연수로로는 저수시 및 평수시에 물을 소통시키는 주수로부와 홍수시 수위 상승에 따라 주수로로부터 범람하게 되는 홍수터로 구성된다. 홍수터는 홍수류의 일시적인 저장이나 하류로 흐름을 전달하는 복합수로의 부분으로 사용되어진다. 자연수로에서 이와 같은 흐름 구조는 불규칙한 단면형상, 조도계수 등에 의해서 더욱 복잡하게 나타난다.

하천은 Fig 1(a)에서와 같이 홍수시 수위 상승과 함께 범람되었다가 수위가 하강함에 따라 마른 하도 상태가 되는 부분이 발생하게 되며, Fig. 1(b)에서와 같이 하도구간내에 섬이 존재할 경우 수위 상승과 하강에 따라 섬의 출현 및 소멸이 발생할 수 있는데, 이러한 현상에 대한 모의는 이동경계를 도입하거나 wet/dry 처리를 통해서만 가능하다.

범람홍수의 하천 수로 및 홍수터 전달특성 해석을 위한 2차원 유한요소모형은 다음과 같은 특성을 가지고 있다. 첫째로, 정상류 및 부정류를 모의할 수 있어야 한다. 실제 홍수시 대부분의 하천 흐름들은 사실상 부정류이다. 두번째로, 격자에 대해서 bin화하는 경계의 미찰과 난류의 특성들이 고려되어야만 한다. 세째로, 운동량 교환 효과를 조합할 수 있어야만 한다. 즉, 홍수터로의 물의 전달과 계속해서 수로로 되돌아오는 것을 모의할 수 있어야만 한다. 사실상, 이러한 것은 선택된 모형이 수평으로 움직이는 흐름경계를 모의하고 wet/dry에 대해서 격자유역을 허용하며 이러한 두 가지 상태에서 점진적으로 변화하는 천이영역을 모의수행할 수 있어야만 한다.

### 2.2 지배방정식

본 연구에서는 wet/dry 문제에 대해 효율적인 계산을 수행하기 위하여, RMA 모형을 선정하여 해석하였다. RMA모형의 지배방정식은 2차원 연속방정식과 운동량방정식에 대해서 수심평균치를 취하고, Coriolis항, 지류유입항, 바람용력항을 포함한 후 양변에  $\rho h$ 를 곱하면 식 (1)~(3)과 같이 기술할 수 있다.

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

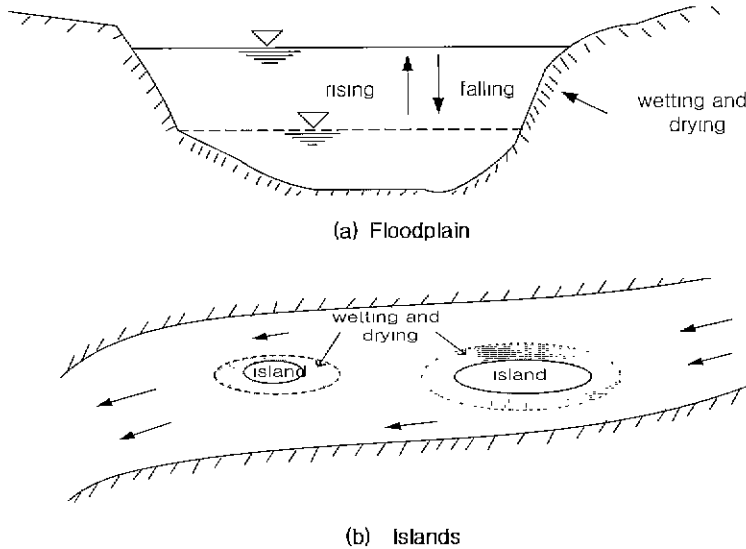


Fig. 1. Representation of Wetting and Drying Process in a River

$$\begin{aligned} & \rho \left( h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) \right) \\ & + \frac{g}{C^2} u |V| + uq_s - \Omega v h \\ & - h \frac{\partial}{\partial x} (\epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x}) - h \frac{\partial}{\partial y} (\epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y}) - W_x = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left( h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left( \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z_0}{\partial y} \right) \right) \\ & + \frac{g}{C^2} v |V| + vq_s + \Omega u h \\ & - h \frac{\partial}{\partial x} (\epsilon_{xy} \frac{\partial v}{\partial x}) - h \frac{\partial}{\partial y} (\epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y}) - W_y = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $u, v$ 는  $x, y$  방향의 유속,  $h$ 는 수심,  $z_0$ 는 바닥표고,  $\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{yy}$ 는 와점성계수이며  $C$ 는 Chezy 계수로서  $h^{1/6}/n$ 이며,  $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ ,  $q_s$ 는 지류유입량,  $\Omega$ 는 Coriolis 계수,  $W_x, W_y$ 는 바람에 의한  $x, y$  방향의 응력을 나타내고 있다.

이제 대상영역을 사각형 및 삼각형 요소로 구분하고 유속  $u, v$ 에 대해서는 2차의 유속함수를, 수심  $h$ 에 대해서는 선형보간함수를 적용하였다. Galerkin 기법

에서는 가중함수를 보간함수와 같게 놓고 정리할 수 있다. 이 결과식은 고차항을 포함하고 있으므로 Green의 정리에 의해 차수를 줄이고 적절한 경계조건을 도입하여 Newton-Raphson 기법에 의해 그 해를 구할 수 있다.

### 2.3 Wet/dry 처리

Wet/dry 처리과정과 홍수터 흐름에 대한 적용시 적절한 경계조건과 매개변수의 선정은 복잡한 유한요소망에 대해서 해의 안정성을 개선하기 위해서 중요한 사항이다. Wet/dry 처리 과정은 홍수터 흐름 문제를 위해서 요구되어지는 지형적 이산화에 따른 복잡성에 대처하기 위해서 제안되었다. 안정성 문제는 반복계산 수행동안 dry 상태의 요소를 계산과정에서부터 제거함으로써 해의 발산을 방지하고 자연지연조건을 반영하기 위해서 필요한 사항이다. Wet/dry 처리를 위해서는 요소제거기법(elemental elimination method)과 MP 기법(Marsh Porosity method)을 고려할 수 있는 바, 본 연구에서는 MP 기법을 이용하여 해석하였다.

#### 2.3.1 요소제거기법

요소제거기법은 요소의 수심이 미른 상태가 되었을 경우 수치계산에서 동요를 일으키게 되는데 이 경우 해당요소를 제거하여 새로운 지형조건을 경계로 하여 실행이 가능하도록 하는 기법이다. 본 기법은 주어진

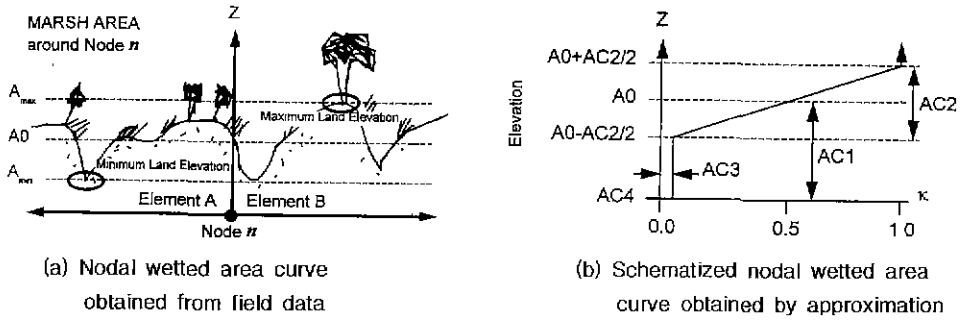


Fig. 2. Nodal Wetted Area Curve

요소에 대해서 하나의 절점이라도 계산된 수심과 같거나 낮은 값을 나타내고 있을 때 주어진 요소를 제거하는 기법이다. 일단 요소가 마른 하도상태가 되었을 때, 흐름은 주어진 요소에서의 수심이 모든 하상고보다 높게 나타날 때까지 요소가 제거된 후의 새로이 형성된 요소의 형태에 대한 경계를 통해서 물이 흘러가게 된다. 요소가 마른하도상태가 되었을 때 요소제거기법은 계산하고자 하는 방정식의 개수를 줄여주기 때문에 계산수행시간이 감소되어지는 효과가 생겨날 수 있으며, 실제적인 하도의 wet/dry의 효과를 모의할 수 있다. 하지만 요소제거기법을 사용하였을 때 요소의 제거에 의한 절점은 인접요소와 결합되어지기 때문에 이러한 마른 하도를 고려한 인접요소의 체적이 상대적으로 커지게 되는 경우 수위와 유속의 계산에 발산을 초래할 수 있다. 이러한 경우 인접요소의 체적을 감소시켜주기 위한 효과로서 요소의 크기를 작게 함으로서 극복할 수가 있게 되며 내부요소의 형상을 평행하게 해줌으로써 극복할 수가 있게된다

### 2.3.2 MP 기법

본 모형에서 제공하게 되는 Marsh Porosity 기법은 요소가 점진적으로 젖은 하도와 마른하도의 변화를 가능하게 하는 기법이다. 이러한 기법은 요소가 마른하도가 되었을 경우 일정한 크기의 아주 작은 수위가 존재한다는 고려하에서 수행된다. 이것은 간헐적으로 홍수가 발생하게 되는 해안경계부근이나 조석의 영향이 존재하는 유역에 적용할 수 있다. 부분적으로 젖은 하도의 요소에 대한 남은 유량은 Fig. 2와 같이 요소의 각 절점에 연관되는 젖은 하도의 면적곡선에 의한 수심적분에 의해 계산되어진다. 부분적으로 젖은 요소구간은 구성하는 모든 절점들이 마른상태가 될 때까지

유지된다. 마른 하도요소는 다시 젖은 하도가 되면 계산에 참여하게 된다. 젖은 하도상태의 면적곡선은 수심과 면적의 함수로서 정의된다

Fig. 2에서 나타난 바와 같이 현장에서 실측한 절점의 젖은 면적곡선에 대한 수위의 관계를 일반화한 선형화에 의해서 네 개의 메개변수(AC1, AC2, AC3, AC4)를 도입함으로써 계산을 수행할 수 있다. 주어진 메개변수형은 Fig. 2를 고려하여 RMA(King, 1996)에서 제시하는 기본값을 사용할 수가 있다. 비록 요소가 수위의 감소로 인해 마른하도상태가 되어지더라도 Marsh Porosity 기법은 요소에 대한 유량은 점진적으로 감소하게 될 것이며, 수치적인 충격이 상당히 감소하게된다. Marsh Porosity 기법은 주어진 마른하도상태가 되었을 때 주어진 영역에서 또 다른 요소를 삽입하여 소량의 유량을 제시한 후 계산하는 점에서 요소를 완전히 제거하게 되는 요소제거기법과는 차이를 가지게 되며 좀더 실제적인 모의가 가능하게 된다

따라서, 본 기법을 사용함으로써 마른상태가 되어지는 절점에 대한 합당한 값들을 모형내에서 계산된다. 급격한 흐름의 변화로 인한 계산의 발산을 방지하기 위해서 네 개의 메개변수값들에 대해서 마른하도가 되는 수심에 대해서 단계적으로 입력을 함으로서 계산상의 발산을 방지할 수 있다.

## 3. 가상하도에 대한 적용

### 3.1 사다리꼴 단면 수로

본 수치모의는 사다리꼴 하도내에 홍수류가 유입되었을 때 하도내의 wet/dry 과정을 검토하기 위해 실시되었다. 하도단면형은 저면폭 50m, 측벽경사 1 : 2인 사다리꼴 단면으로 고려하였고 하도단면의 길이는

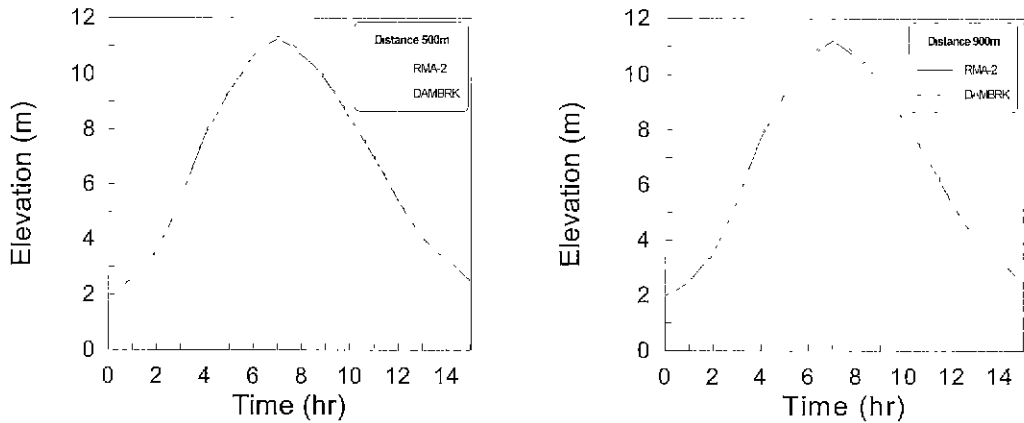


Fig. 3. Comparisons of Computed Stage Hydrographs

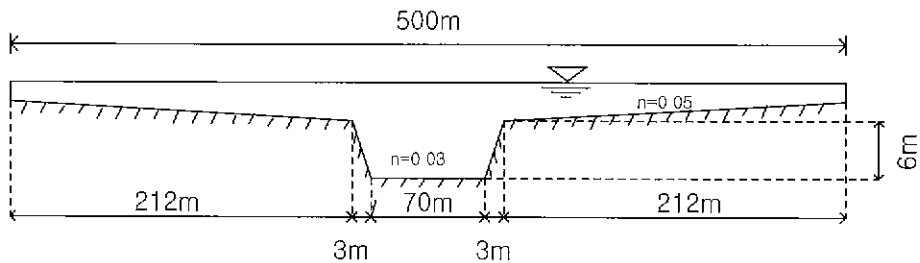


Fig. 4. Compound-Channel Cross Section

4km, 하도경사는 0.0001, 조도계수는 0.025로 부여하였다. 경계조건으로 상류단에서는 침투유량  $2,000m^3/s$ 인 유량수문곡선이 유입되었고 하류단에서는 양해형 수위-유량관계가 부여되었으며 계산시간 간격은 0.5시간으로서 총 계산시간은 15시간이었다.

2차원 모의결과는 기존모형과 하도내의 상류로부터 500m, 900m에 대해서 수위수문곡선을 도시한 것이 Fig. 3이다. 그림에서 보는 바와 같이 2차원 모의결과는 DAMBRK(Fread, 1989)의 결과와 비교하여 주요 지점의 수위수문곡선에 있어 일치하고 있다.

### 3.2 홍수터를 갖는 사행수로

넓은 홍수터를 갖는 사행하천의 경우 주수로부와 홍수터간의 하도단면의 급격한 변화와 조도계수의 큰 차이 때문에 복잡한 흐름특성이 나타나고 수학적인 안정해를 얻지 못하는 경우가 많다. 따라서 본 수치실험은 홍수터를 갖는 사행하천에서 정확하고 안정한 수치해를 얻기 위한 방안으로 2차원 모형을 적용하여 홍수터 변함흐름을 해석하였다. 홍수터 흐름은 수로의 사행구

간을 따라 유하지 않고 홍수터의 직선적인 흐름 방향을 따라 하류로 진행하게 된다. 이 때 하천에서 흐름은 경로 단축현상을 일으키고 이 경로 단축현상은 주수로 하도경사보다 홍수터의 하도경사가 클수록 그 영향이 크게 나타난다. 흐름경로의 단축현상은 홍수터의 조도계수가 클수록 감소하며 홍수터가 유속을 무시할 수 있는 저류영역처럼 나타날 때 복잡함이 더욱 심하게 나타난다.

Fig 4와 같은 복합단면을 갖는 사행하천에 대해서 본 모형을 적용하여 홍수파의 전달특성을 해석하였다. 사행하천의 구간은  $7km$ , 하상경사는 0.0002로 고려하였다 사행이나 만곡의 정도는 식 (4)와 같은 거리의 비로 나타내었다.

$$L_s = L_c / L_f \quad (4)$$

여기서  $L_c$ 는 사행하천의 길이이고  $L_f$ 는 상·하류경계 사이의 길이이다. 모의실험을 실시하기 위하여 선택한 수로와 홍수터의 제원들은 하천 개수가 완료된 주

요하친단면의 전형적인 형상을 고려하여 사행도  $L_r = 1.0, 1.1, 1.2$ , 주수로 조도계수  $n_c = 0.030$ , 홍수터 조도계수  $n_f = 0.050$ , 주수로 하폭  $B_c = 70m$ , 전체 하도폭  $B_f = 500m$ , 주수로 깊이  $Y_b = 6m$ 로 설정하였으며 하천으로부터 제방으로의 홍수터의 경사는  $0.0016$ 이고 측방 유입은 고려하지 않았다

본 모형에 적용된 세가지 경우의 복합단면에 대해서, 절점의 수는 사행도 1.0의 경우 816개, 1.1의 경우 841개, 1.2의 경우 976개의 절점으로 각각 구성되었다.

### 3.2.1 사행도에 따른 수위변동 양상

Willetts와 Hardwick(1993)의 사행수로에 대한 모형실험 관측에 의하면 유량의 증가에 의한 수심의 증가율이 사행도가 커짐에 따라 증가하는 것을 나타내고 있었다.

본 연구에서도 2차원 유한요소모형을 이용하여 사행도에 따른 범람홍수의 수리학적 거동을 분석하였다. 상류단에서는 초기유량  $3500m^3/s$ , 침투유량  $7000m^3/s$ , 침투발생시간 8시간을 가지는 Gamma 함수형 유량수문곡선을 경계조건으로 부여하였고, 하류단에서는 양해형 자유경계조건을 부여하였다

계산시간 간격은 0.5시간으로 하였고 총 계산시간은

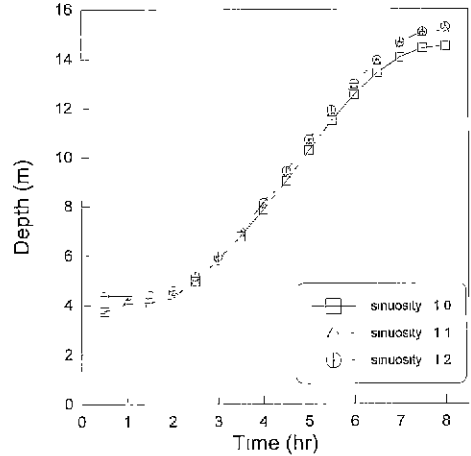


Fig. 5. Comparisons of Depth Variation with Sinuosity Factors

25시간동안 수행하였다. Fig 5는 사행도에 따른 수심의 변동 양상을 도시한 것으로 이는 Willetts와 Hardwick의 실험결과와 그 정성적인 특성에서 일치되는 것으로 나타났다. 하도구간에서의 사행에 따른 영향은 사행도가 클수록 홍수선과가 지체됨에 따라 홍수

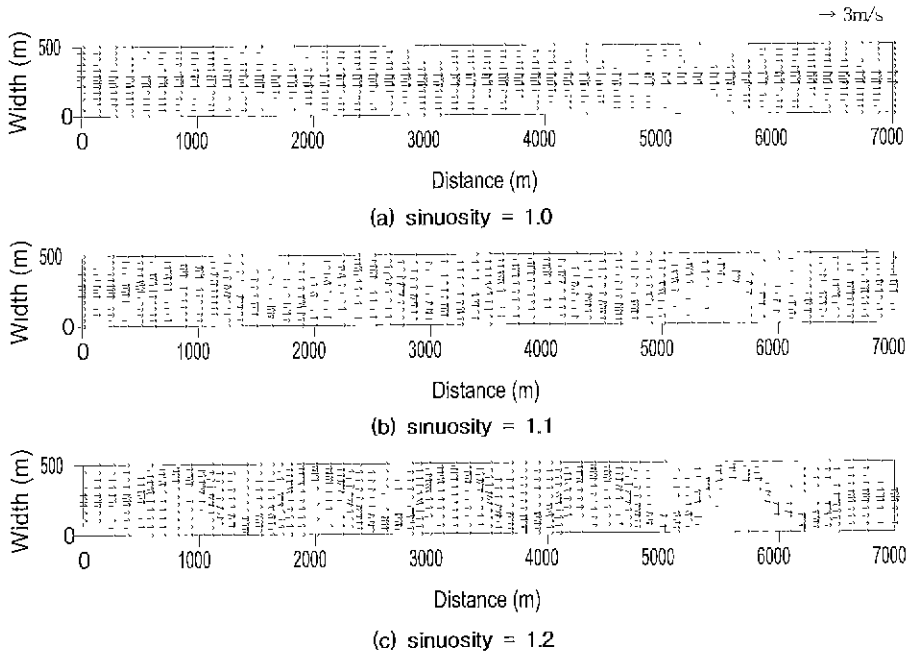


Fig. 6. Velocity Vectors (at 8 hr)

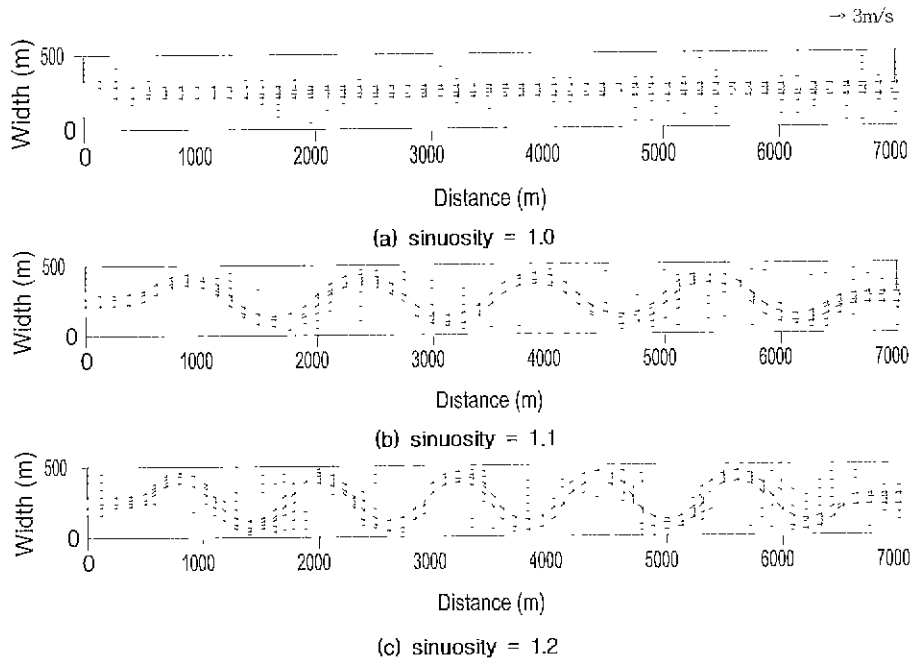


Fig. 7. Velocity Vectors (at 15 hr)

위의 증가를 일으키는 것으로 나타나 홍수파의 물리적인 특성을 효과적으로 반영하고 있었다.

### 3.2.2 사행에 대한 흐름 양상 분석

사행효과에 대한 전체 구간에 있어서 모의 시간 8시간과 15시간이 경과한 후의 2차원적 흐름 양상을 Fig. 6~7에 도시하였으며, 이 경우 사행도가 각각 1.0, 1.1 및 1.2에 대한 흐름 양상을 나타내었다.

여기서 유입유량은 초기 유량  $350m^3/s$ 에서 첨두유량  $7000m^3/s$ 까지 변하는 수문곡선에 의한 흐름 양상으로 시간 간격은 0.5시간이며 홍수기간은 21시간이었다.

그림에 나타난 바와 같이 전체 모의 수행중 8시간은 상류부의 유입이 거의 첨두유량에 도달할 때이며, 이때는 유량의 급격한 증가로 인해 사행도를 가지는 주수로에서의 흐름특성은 좌, 우 홍수터의 흐름과 비교하여 명확하지 않으나, 15시간이 경과한 후는 유량 및 수위의 감소로 인해 주수로부에서의 흐름은 계속적으로 변화하고 있지만 좌, 우 홍수터에서의 흐름의 감소로 인해 유속흐름의 감소가 발생하게 되며 계속적인 시간이 경과한 후에는 유속이 거의 '0' 상태에 도달하게 되는 사행하천의 wet/dry 흐름을 모의하고 있었다.

### 3.2.3 홍수터 조도변화에 따른 흐름 분석

사행하천구간에서 홍수터 조도변화에 따른 유속 및 홍수위의 변동양상을 검토하였다. 주수로의 조도계수는 0.030으로 고정된 상태에서 홍수터의 조도계수를 각각 0.030, 0.050 및 0.100인 상황하에서 모의수행을 실시하였다.

계산결과중 사행도 1.1의 하도에서 1,625m 지점과 5,375m 지점에서 주수로와 홍수터에서 조도계수의 변화에 따른 각각의 유속과 수위의 변화를 검토하였다. 여기서 홍수터는 흐름 방향에 따른 좌측 홍수터와 우측 홍수터로 구분하였다.

Fig 8은 사행도의 영향을 고려한 하도내의 주요지점별 유속분포의 해석결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 홍수터 조도가 유속에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 나타났다. 즉, 조도계수 값의 증가에 따른 홍수터에서의 유속 저하현상이 현저하게 나타나 홍수시 범람수의 2차원적 해석이 반드시 필요한 것으로 사료되었다.

Fig. 9는 하도내의 주요지점별 수위의 변화양상을 도시한 것으로써 그림에서 보는 바와 같이 조도가 증가됨에 따라 홍수터의 수위가 크게 증가하는 것으로 나타나 이는 실제 물리적인 특성이 효과적으로 반영하

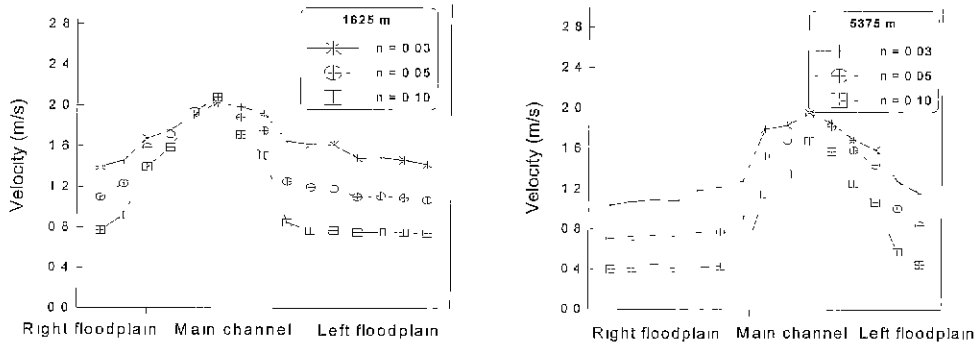


Fig. 8. Velocity Variations in Main Channel and Floodplains

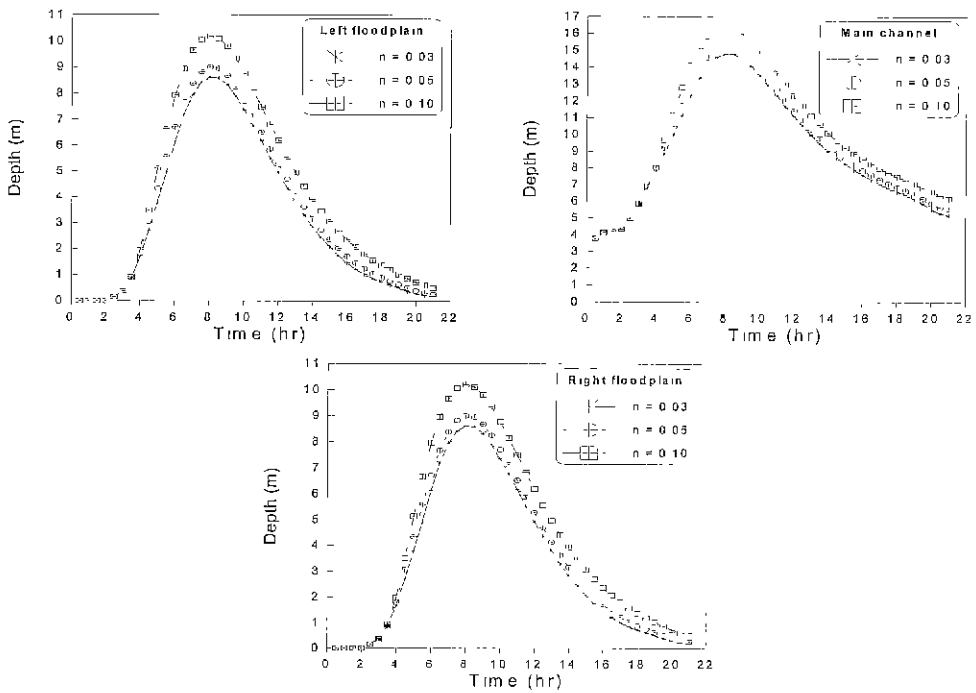


Fig. 9. Depth Hydrographs in Main Channel and Floodplains

고 있는 것으로 사료되며 이에 대한 구체적인 검증은 수리모형 실험의 결과를 통하여 규명되어야 할 것으로 판단되었다

#### 4. 실제하천에 대한 적용

##### 4.1 하도구간의 선정

본 연구에서 적용하고자 하는 대상구간으로 금강 본

류부를 선정하였다. 상류단은 호안면 지천 합류 하류부이며 하류단은 백제대교로서 그 구간의 거리는 5km이다. 대상하천은 주수로와 홍수터의 구분이 자연적으로 이루어져 있고 좌측 홍수터의 바깥쪽 경계면은 낙화암 등으로 인해 자연적인 경계면을 이루고 있었으며 그 밖의 지역은 좌우안으로 넓은 홍수터가 형성되어 있어 본 연구에서의 wet/dry 기법의 적용성을 검토하기에 타당한 구간으로 판단되었다. 대상 하도구간의 2차원



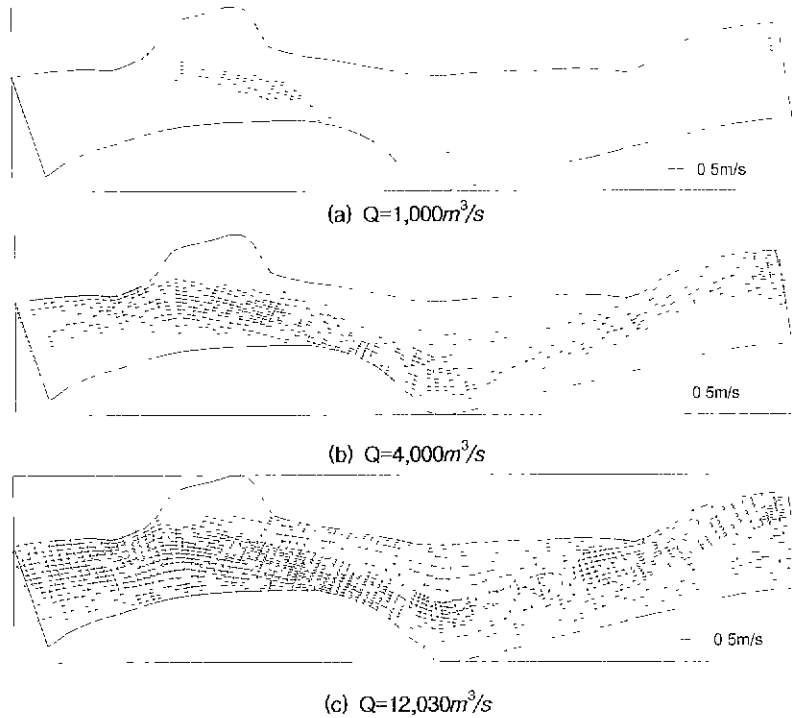


Fig. 10. Velocity Vectors for Various Discharge Conditions

동수역학적 해석을 위한 지형자료는 지형도에 대한 자동취과정을 이용하였고, MicroStation에 의해서 구간별 격자와 절점을 선정하였다. 계산을 위해 구성된 총 유한요소망은 계산요소 2,068개, 절점은 6,321개로 선정하였으며, 같은 유한요소망을 이용하여 다양한 유량조건에 대해서 모의수행하였다.

#### 4.2 수치모형의 적용

하도구간의 2차원 동수역학적 흐름을 분석하기 위해 초기조건 및 경계조건이 필요하다. 먼저 과거 11년간의 유량조건을 기초로 100년 빈도 홍수량을  $12,030 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 산정하였다. 이 경우 금강의 규암 수위표 지점의 대표 단위도를 이용하여 지속시간 15시간에 대해서 모의수행 하였다. 따라서 상류단 유량조건은 초기 유입 유량  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서 100년 빈도의  $12,030 \text{ m}^3/\text{s}$ 까지의 수문곡선을 가지는 것으로 고려하였다. 그리고 하류단 수위 조건은 식 (5)와 같은 규암지점의 수위-유량관계 곡선을 적용하였는데, 여기서 규암 지점의 영점 표고는  $0.76 \text{ m}$ 이다.

$$Q = 53.313 \times G^{2.16} \quad (G > 0.8) \quad (5)$$

여기서  $H(\text{m}) = G + 0.76$ ,  $G$  = 영점 표고로부터의 측정치이다.

식 (5)에 의해 모형에서 수행된 하류단의 초기 수위 조건은  $2.604 \text{ m}$ , 최고 수위조건은  $13.050 \text{ m}$ 가 적용되었다.

#### 4.3 비교검토

Fig. 10은 각각  $1000$ ,  $4000$ ,  $12030 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 유량 조건하에서 모의수행된 결과이다. 본 모의는 하나의 유한요소망에서 비정상상태의 다양한 유량조건을 모의함으로써 본 연구에서 사용한 wet/dry 기법의 자연하천에 대한 적용성을 확인할 수 있었다.

2차원 모의결과의 검증을 위해서  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  유량조건하에서 HEC-2(U.S. Army Corps of Engineer, 1990)의 계산결과와 비교검토 하였다. Fig. 11은 2차원 모형의 최우안부에서의 수위와 HEC-2의 계산결과

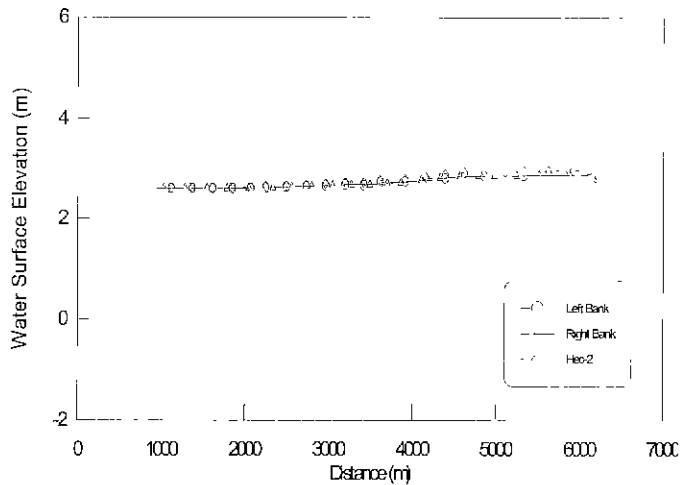


Fig. 11. Computed Results of Water Surface Elevations

를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 HEC-2의 계산 결과가 2차원 계산결과에 비해 상류부에서만 약 1%이내 정도 크게 나타났는데 이는 2차원 모형에서 난류동요에 의한 에너지 손실항이 포함된 것으로 판단되었다.

본 금강유역에 대한 모의를 통하여 2차원 유한요소 모형이 자연하천에서 하나의 유한요소망에서 wet/dry 처리를 효과적으로 수행함을 확인할 수 있었으며 이와 같은 계산기능은 국가하천에서 소하천에 이르기까지 국내하천유역에서 범람홍수해석을 위해서 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 5. 결 론

본 연구는 하천에서의 범람홍수 해석을 위해서 2차원 유한요소모형 RMA를 적용한 것으로서 그 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 사행하천의 홍수터 범람을 하나의 유한요소망에서 모의하기 위해서 wet/dry기법을 이용하였다. 수치 해석 모형의 검증을 위해서 사다리꼴 하도 구간에서의 홍수전파양상을 모의하였는데 이 경우의 해석결과는 wet/dry를 합리적으로 처리하였고 해석결과는 기존의 DAMBRK에 의한 계산결과와도 잘 일치하였다.

(2) 넓은 홍수터를 가진 사행 하도구간에 대한 적용에 있어서 사행도를 1.0~1.2까지 증가시켜 해석한 결과 홍수터 범람에 따른 흐름의 경로 단축현상이 2차원적으로 모의될 수 있었다.

(3) 사행하천의 해석결과를 1차원 모형과 비교하였는데, 주요지점에서의 수위, 유속 등이 합리적인 범위 내에서 정확하게 모의되었다. 또한, 홍수터의 조도가 유속 및 수위에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났는데, 홍수터의 조도 증가에 따라 유속은 감소되었고 수위는 증대되었다.

(4) 실제 금강유역에 대한 적용에 있어서 본 2차원 모형은 단일 유한요소망에서 다양한 유량조건에 대해 wet/dry 조건을 반영해서 합리적으로 수용하였다. 따라서, 자연적인 복잡한 지형조건의 경우에도 wet/dry 조건을 효과적으로 계산할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- 박재홍, 한진연, 조흥제 (1994). "사행도를 가진 복합단면 하도에서의 홍수전파특성." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제27권, 제4호, pp. 95~104.
- 한진연, 이을래, 임창수, 손광익 (1999). "부여취수장 부근에서의 하상변동에 대한 2차원 수치모의." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제6호, pp. 697~709
- Fread, D.L. (1989). *The NWS DAMBRK Model : Theoretical Background/User Documentation*. National Weather Service, NOAA Silver Spring, Maryland.
- Gee, D.M., and Wilcox, D.B. (1985). "Use of a two dimensional flow model to quantify

- aquatic habitat." *Water Resources Planning and Management Division Speciality Conference on Computing Applications in Water Resources*, Buffalo, USA.
- U.S. Army Corps of Engineers (1990). *HEC-2 Water Surface Profiles Users Manual*. The Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- King, I.P. (1986). "An inundation algorithm for finite element hydrodynamic and sediment transport modeling." *Third International Symposium on River Sedimentation*, The Univ. of Mississippi, March 31~April 4, pp 1583~1593.
- King, I.P., and Roig, L.C. (1988). "Two dimensional finite element models for floodplains and tidal flats." *Computational Methods in Flow Analysis*. Proceedings of the International Conference on Computational Methods in Flow Analysis, Okayama, Japan, pp. 711~718.
- King, I.P. (1996). *Update Documentation, RMA2 - A two dimensional finite element model for flow in estuaries and streams*.
- Parneshwar L.S. (1994). "Hydrodynamic modeling of San Diego bay." *Hydraulic Engineering '94*, pp. 140~144.
- Willetts, B.B. and Hardwick, R.I. (1993). "Stage dependency for overbank flow in meandering channels." *Proc. Instn Civ. Engrs, Wat. Marit. & Energy*, Vol. 101, pp. 45~54.
- (논문번호 00-003/접수 2000.01.18/신사완료 2000.06.29)