

홍수범람모의를 위한 내외수 연계모형 개발

Development of a Combined Model for Flood Inundation Simulation

유재홍* / 김형준** / 조용식***
Yu, Jae-Hong / Kim, Hyung-Jun / Cho, Yong-Sik

Abstract

In this study, a numerical model combined by a river model and an inland model developed to simulated a flood event. The river model describing an inundation in a river solves the two-dimensional Saint Venant equations with a finite difference method. The inland model based on the ILLUDAS describes the conveyance capacity of a storm sewer system. The combined model is applied to a real situation. The model simulates reasonably the real flood event occurred in a river and inland simultaneously.

key words : combined model, Saint Venant equations, moving boundary, ILLUDAS

요지

본 연구에서는 홍수범람을 모의하기 위하여 하천모형과 우수관망모형을 결합하였다. 하천의 범람을 모의하는 하천모형은 2차원 Saint Venant 방정식을 유한차분기법으로 차분화하여 수치모형을 구성하였다. ILLUDAS를 기반으로 하는 우수관망모형은 관망의 통수능과 홍수량을 비교하여 제내지에서의 침수현상을 해석한다. 내외수연계모형을 실제 홍수범람사상에 적용하여 제내지와 제외지에서 일어나는 홍수범람현상을 적절히 모의함을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 내외수 연계모형, Saint Venant 방정식, 이동경계, ILLUDAS

1. 서론

전 세계적인 이상 기후현상으로 인한 피해는 매년 증가하는 추세이다. 특히, 우리나라에서는 여름철의 집중호우로 발생하는 홍수로 인해 매년 반복되는 인명피해와 재산피해를 입고 있다. 인명 및 재산피해를 줄이기 위한 대책으로 수공구조물의 설계빈도를 높이는 방안이 모색될 수 있으나, 경제적으로나 환경적인 제약 때문에 그 한계가 있다. 그러므로 홍수범람에 대한 예측을 선행하여 정보를 구축하고 피해대처방안을 수립함으로써 홍수피해를 최소화하는 것이 중요하다.

홍수는 발생형태 및 원인을 기준으로 크게 외수범람 및 내수침수로 나눌 수 있다. 외수범람은 대상지역의 상류로부터 우수가 유입되어 하천의 수위가 높아져서

발생하며, 내수침수는 대상지역 자체유역의 우수로 인해 유역내에 발생하는 침수를 말한다. 강우 시 발생하는 홍수범람은 위의 두 가지 현상이 동시에 작용하여 더욱 큰 피해를 유발시킨다.

최근 국내에서도 더욱 정확한 홍수범람구역을 예측하기 위해 많은 연구들이 이루어지고 있다. 이주헌 등(2003)이 강우유출모형(HEC-1)과 수리학적 홍수추적모형인 HEC-RAS 및 지리정보시스템(GIS)을 연계하여 홍수범람모의 시스템을 개발하였으며, 이홍래 등(1998)은 1차원 하도추적모형인 DWOPER와 GIS를 연계한 수치모형을 개발하여 실제 지형에 적용하였다. 다른 한편으로, 내수침수에 관한 연구는 원성연 등(1993)이 ILLUDAS를 이용하여 도시유역의 유출량에 대한 연구를 하였으며, 서규우(1998)는 더욱 정확한 도시유

* 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (e-mail : y2kzone@hanamil.net)

** 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 정회원 · 교신저자 · 한양대학교 토목공학과 교수

출해석을 위해 ILLUDAS의 매개변수에 대한 민감도 분석을 하였다. 한건연 등(2002)은 배수시스템과 지표류 흐름에 대한 두가지의 모형을 통합하여 도시지역의 침수현상을 모의하였다.

홍수범람은 위에 언급하였듯이, 하천의 범람과 내수 배제불량에 의해 복합적으로 작용하여 발생하는 반면, 홍수범람에 관한 기존의 연구 대부분이 홍수범람을 외수범람과 내수침수를 유기적으로 연결하지 못하고 있다. 실제로, 우리나라의 경우 많은 도시들이 하천주변에 위치하고 있기 때문에 도시지역에서 빈번히 홍수가 발생하며, 이를 대비하기 위해서는 더욱 정확한 홍수예상범람구역 예측이 필요하다. 이를 위해서는 홍수범람 발생시 하천의 수위와 내수배제능력의 상호관계를 고려하여 실제 현상과 가깝게 모의할 수 있는 내외수 연계모형의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 각각의 현상을 모의할 수 있는 신뢰가능한 모형을 연계하여 홍수범람을 모의한다.

2. 수치모형의 개발

외수범람 및 내수침수에 의한 홍수범람을 동시에 모의하기 위하여, 각각의 현상을 모의할 수 있는 정확한 모형의 개발이 선행되어야 한다. 본 연구에서 내수침수 모의는 ILLUDAS를 사용하고, 외수범람의 모의는 2차원 Saint Venant 방정식을 유한차분기법을 이용하여 개발한 수치모형을 사용하였다. 최종적으로 각각의 모형을 연계하여 하나의 모형으로 구축함으로써 복잡한 홍수현상을 동시에 모의할 수 있는 모형을 구축하였다.

2.1 외수모형

2.1.1 지배방정식

하천에서의 유체의 거동은 3차원 Navier-Stokes 방정식을 수심적분하여 얻어지는 보존형의 2차원 Saint Venant 방정식을 이용하여 해석한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + gh \frac{\partial h}{\partial x} = gh(S_{0x} - S_{fx}) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) &= \frac{1}{\Delta x} \left[3 \frac{(P^2)_{i+1/2,j}^n}{h_{i+1/2,j}^n} - 4 \frac{(P^2)_{i-1/2,j}^n}{h_{i-1/2,j}^n} + \frac{(P^2)_{i-3/2,j}^n}{h_{i-3/2,j}^n} \right] \quad (P_{i+1/2,j}^n \geq 0) \\ &= \frac{1}{\Delta x} \left[-3 \frac{(P^2)_{i+1/2,j}^n}{h_{i+1/2,j}^n} + 4 \frac{(P^2)_{i+3/2,j}^n}{h_{i+3/2,j}^n} - \frac{(P^2)_{i+5/2,j}^n}{h_{i+5/2,j}^n} \right] \quad (P_{i+1/2,j}^n < 0) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + gh \frac{\partial h}{\partial y} = gh(S_{0y} - S_{fy}) \quad (3)$$

식 (1)-(3)에서 P 와 Q 는 각각 x 축 및 y 축 방향의 단위폭당 유량으로 수심(h)과 유속을 사용하여 $P=uh$ 와 $Q=vh$ 로 나타낼 수 있다. g 는 중력가속도, S_{0x}, S_{0y} 와 S_{fx}, S_{fy} 는 각각 x 축 및 y 축 방향의 하상경사 및 마찰경사를 나타낸다. 마찰경사는 Manning 공식을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{fx} = \frac{gn^2}{h^{10/3}} P \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

$$S_{fy} = \frac{gn^2}{h^{10/3}} Q \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

식 (4)와 (5)의 n 은 Manning의 조도계수이다.

2.1.2 수치모형

2차원 Saint Venant 방정식을 해석하기 위해 양해법의 leap-frog기법과 upwind 기법을 혼합하여 사용하였다. 운동량방정식의 비선형항을 2차 정확도의 upwind 기법을 사용함으로써 그 정확도를 향상시켰다(인태훈 등, 2003). 또한, 경계조건의 설정 및 계산상의 편의를 위하여 변수 h, P, Q 의 계산점을 겹치지 않도록 배치한 엇갈림격자(staggered mesh)를 사용하였다. Leap-frog기법을 이용한 연속방정식의 차분식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{h_{i,j}^{n+1/2} - h_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} \\ + \frac{Q_{i,j+1/2}^n - Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta y} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

운동량방정식에 포함된 비선형 이송항을 2차 정확도의 upwind 기법(shyy, 1985)을 사용하여 차분식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) &= \frac{1}{\Delta x} \left[3 \frac{(PQ)_{i+1/2,j}^n}{h_{i+1/2,j}^n} - 4 \frac{(PQ)_{i-1/2,j}^n}{h_{i-1/2,j}^n} + \frac{(PQ)_{i-3/2,j}^n}{h_{i-3/2,j}^n} \right] \quad (P_{i+1/2,j}^n \geq 0) \\ &= \frac{1}{\Delta x} \left[-3 \frac{(PQ)_{i+1/2,j}^n}{h_{i+1/2,j}^n} + 4 \frac{(PQ)_{i+3/2,j}^n}{h_{i+3/2,j}^n} - \frac{(PQ)_{i+5/2,j}^n}{h_{i+5/2,j}^n} \right] \quad (P_{i+1/2,j}^n < 0) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) &= \frac{1}{\Delta y} \left[3 \frac{(Q^2)_{i,j+1/2}^n}{h_{i,j+1/2}^n} - 4 \frac{(Q^2)_{i,j-1/2}^n}{h_{i,j-1/2}^n} + \frac{(Q^2)_{i,j-3/2}^n}{h_{i,j-3/2}^n} \right] \quad (Q_{i,j+1/2}^n \geq 0) \\ &= \frac{1}{\Delta y} \left[-3 \frac{(Q^2)_{i,j+1/2}^n}{h_{i,j+1/2}^n} + 4 \frac{(Q^2)_{i,j+3/2}^n}{h_{i,j+3/2}^n} - \frac{(Q^2)_{i,j+5/2}^n}{h_{i,j+5/2}^n} \right] \quad (Q_{i,j+1/2}^n < 0) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) &= \frac{1}{\Delta y} \left[3 \frac{(PQ)_{i,j+1/2}^n}{h_{i,j+1/2}^n} - 4 \frac{(PQ)_{i,j-1/2}^n}{h_{i,j-1/2}^n} + \frac{(PQ)_{i,j-3/2}^n}{h_{i,j-3/2}^n} \right] \quad (Q_{i,j+1/2}^n \geq 0) \\ &= \frac{1}{\Delta y} \left[-3 \frac{(PQ)_{i,j+1/2}^n}{h_{i,j+1/2}^n} + 4 \frac{(PQ)_{i,j+3/2}^n}{h_{i,j+3/2}^n} - \frac{(PQ)_{i,j+5/2}^n}{h_{i,j+5/2}^n} \right] \quad (Q_{i,j+1/2}^n < 0) \end{aligned} \quad (10)$$

2.1.3 이동경계조건

홍수범람구역을 예측하기 위해서는 하안선의 결정이 정확히 이루어져야 하므로, 본 연구에서는 이동경계기법을 수치모형에 도입하였다.

그림 1에 나타낸 발생가능한 6가지의 경우에 대하여, 격자 상호간의 수심조건에 따라 $i+1/2$ 에서의 단위폭당 유량 $P_{i+1/2,j}^{n+1}$ 을 구할 수 있다. 그림 1의 (a)와 (b)는 수심의 조건에 의하여 $P_{i+1/2,j}^{n+1} = 0$ 이다. 그림 1에서 (c)와 (e)의 경우는 그림에서 표시한 바와 같이

$H_{i+1/2,j}^{n+1/2}$ 이 구하고, (f)의 경우는 $H_{i,j}^{n+1/2}$ 와 $H_{i+1,j}^{n+1/2}$ 의 평균값을 $H_{i+1/2,j}^{n+1/2}$ 로 하여 $P_{i+1/2,j}^{n+1}$ 을 구할 수 있다.

2.1.4 수치모형검증

이동경계조건을 고려한 모형의 정확성을 검증하기 위하여 Thacker(1981)의 포물형 수조에서 유체의 반복적인 거동을 수치해석하여 해석해(analytical solutions)와 비교하였다. Thacker는 포물형수조에서 바닥마찰을 고려하지 않은 상태로 2차원 천수방정식을 풀

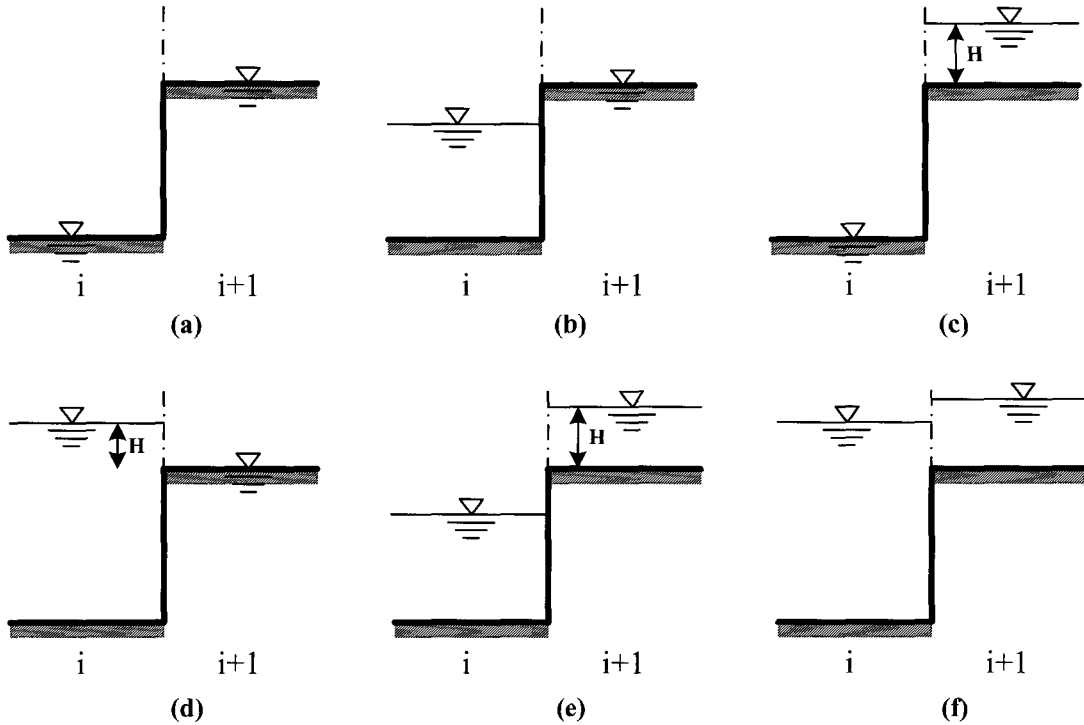


그림 1. 이동경계조건 개략도

이하에 식 (11)와 같은 해석해를 제시하였다.

Thacker의 포물선 수조에서 유체거동에 대한 해석해는 다음과 같다.

$$\zeta = h_0 \left[\frac{(1-A^2)^{1/2}}{1-A\cos\omega t} - 1 - \frac{r^2}{a^2} \left\{ \frac{1-A^2}{(1-A\cos\omega t)^2} - 1 \right\} \right] \quad (11)$$

여기서, t 는 시간, h_0 는 수조 중앙에서의 기준수심, r 은 초기의 수면의 반경이며, a 는 정수면상에서 수조 중앙에서 하안선까지의 거리이며, $\omega = \frac{1}{a}(8gh_0)^{1/2}$,

$$A = \frac{a^4 - r_0^4}{a^4 + r_0^4} \text{로 주어진다.}$$

그림 2는 Thacker의 해석해가 기준수심인 h_0 를 기준으로 한 해임을 반영하여 하천의 하상표고(z)와 하천의 수심(h)를 반영할 수 있도록 변형하여 해석해와 수치해를 비교한 것이다. 모의 결과에서도 알 수 있듯이 수치해석에 의한 수위변화는 해석해와 잘 일치하고 있다.

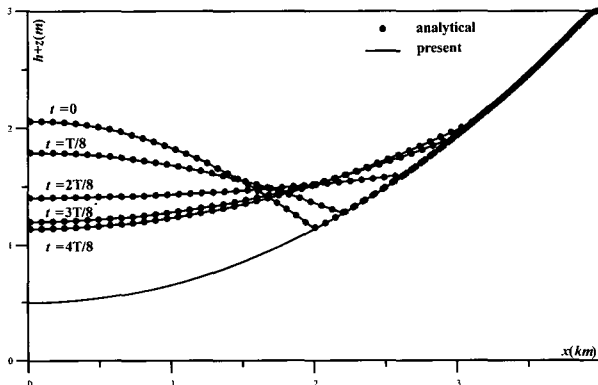


그림 2. 자유수면변위 모의결과

2.2 ILLUDAS

우수배제능력의 저하로 인한 내수침수를 모의하기 위하여 ILLUDAS를 이용하였다. ILLUDAS는 도시 우수관거 시스템의 신규 설계 혹은 기존 관거시스템의 우수배제능력 평가 및 우수지 설계 유입 홍수수문곡선의 계산을 위해 개발된 범용 프로그램이다. ILLUDAS는 직접 연결된 포장지역 뿐 아니라 녹지지역 배수로와 직접 연결 되지 않은 포장지역의 유출을 고려할 수 있어 정확한 도시유출해석이 가능하다.

배수로와 직접연결 포장지역의 경우 지표류의 유속과 도달시간은 Hicks(1944)의 식에 근거를 두고 있으며, 포장지역의 가로배수구에서는 약 0.035~0.037

cms/ha 의 흐름이 있는 것으로 가정하여 도달시간을 계산한다.

$$t_c = \frac{L}{60V_0} + 2.0 \quad (12)$$

$$V_0 = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (13)$$

$$Q_j = 0.2778 \left[\sum_{i=1}^j A_{j-i+1} I_i \right] \quad (14)$$

식 (12)-(14)에서 t_c 는 도달시간이며, V_0 는 지표류의 평균유속, L 은 유로연장, S 는 지표면의 평균경사, Q_i 는 i 번째 유역에서의 유출량, A_{j-i+1} 는 i 번째 도달시간을 갖는 소유역의 면적, I_i 는 i 번째 강우를 나타낸다.

또한, 프로그램내에서 도달시간간가면적 관계를 선형으로 가정하며 설계 강우 혹은 실적 강우의 우량 주상도의 시간 구간은 등시간선의 간격과 동일하게 설정한다. 불투수지역상의 초기 강우 손실량은 2.54mm 이하이며, 설계강우의 시간 분포는 Huff(1967)의 4분위 중에서 1분위 분포를 채택하고 있다.

비포장지역 및 간접연결 포장지역의 경우 비포장지역의 강우는 지표면에서 저류되거나 토양속으로 침투된다. 표면저류의 강우깊이는 대체로 5.08mm 이하로 본다. 침투로 인한 초기 강우깊이를 예측하기 위하여 Horton(1939)의 개념이 활용되며, 침투율 계산에 필요한 토양형선택은 미국토양보존국(SCS, Soil Conservation Service)의 수문학적 특성을 고려한 4종류로 구분한 토양형을 사용한다(Terstriep과 Stall, 1972).

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (15)$$

여기서, f_p 는 침투율이며, f_c 는 토양의 종기 침투능, t 는 시간, k 는 토양의 종류와 식생피복에 따라 결정되는 형상계수이다.

지표류의 도달시간은 Izzard(1946)의 공식을 사용한다.

$$t_c = \frac{41.025(0.0007I + C)L_c^{0.33}}{S^{0.333}f^{0.67}} \quad (16)$$

여기서, I 는 강우강도이며, C 는 지형계수, L_c 는 지표면의 유하거리이다.

총유출량의 계산은 포장지역과 비포장지역에서의 수문곡선이 합쳐져서 각 배수분구에 대한 하나의 유입 수문곡선을 결정하며, 배수로로 통하여 물이 전달되는 과정의 해석방법으로는 저류추적법이 사용된다. 본 방법을 적용함에 있어서는 두 유입지점에서의 유량과 두 지점의 배수로구간에서의 저류량과의 관계성이 필요하게 되며, 이를 위하여 먼저 검토대상 수로단면에서의 수위유량관계를 등류상태로 가정하여 Manning 공식으로 구한다.

3. 내외수 연계모형

내외수 연계모형을 구축하기에 앞서, 유체의 거동을 모의할 수 있는 2차원 수리모형을 개발 및 검증하였다. 가장 일반적으로 사용되며 많은 연구에 의해 검증된 우수관망 모의 모형인 ILLUDAS와 2차원 수치모형을 결합하여 내외수 연계모형을 구축한다.

먼저 ILLUDAS를 이용하여 강우에 의한 내수 침수량을 산정한다. 우수는 도시유역내에서 지표층을 통해 하수 및 우수관거로 유입되어 하류의 처리시설을 거친 후 하천에 방류된다. 만약 관거의 통수능보다 큰 유량이 유입될 경우에는 우수는 지표에 저류하게 되며, 이를 배제불량에 의한 내수침수량이라 한다. 그러므로, 임의의 지점에서 저류되는 침수량을 산정하여야 제내지에 저류된 우수의 거동을 모의할 수 있다.

우수의 거동을 모의하기 위해서는 각 지점별 우수의 유입량과 관거의 통수능을 비교하여 지표에 저류되는 우수의 양을 수문곡선으로 도시하여야 한다. 통수가능한 유량만이 관거를 통하여 하류로 전달되며, 나머지는 지표에 저류된다고 판단한다.

관거의 통수능을 계산하기 위하여 유량계수 $C(0.0 \sim 1.0)$ 를 도입하였다. 관거는 평상시에 퇴적물 또는 우수관거의 균열로 유입된 토사등의 영향으로 설계 당시의 통수능을 발휘할 수 없는 것이 일반적이다. 이와 같은 영향으로 우수가 하류로 원활하게 방류되지 않아 내수침수가 발생하게 된다. 본 연구에서는 ILLUDAS가 유량계수와 관거의 단면형상을 고려하여 통수능을 계산할 수 있도록 수정하였다.

$$Q_c = \frac{C}{n} AR^{2/3} S_o^{1/2} \quad (17)$$

여기서, Q_c 는 우수관거의 유량이며, C 는 유량계수, n 은 Manning의 조도계수, A 는 우수관거의 단면적, R 은 동수반경, S_o 는 우수관거의 경사를 나타낸다.

위의 과정을 통하여 계산된 저류량 수문곡선을 2차

원 외수모형에 적용하여 제내지에서의 흐름을 모의한다. 제내지에 저류된 우량은 연속방정식에서 생성항으로 처리할 수 있다. 2차원 Saint Venant 방정식에 포함된 연속방정식의 우변에 생성항(source term)을 추가하였다. ILLUDAS에서 계산된 저류량을 단위 면적당 유량으로 환산하여 2차원 외수모형에 적용한다.

$$q_L = \frac{Q^*}{\Delta x \cdot \Delta y} \quad (18)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = q_L \quad (19)$$

여기서, Q^* 는 ILLUDAS에 의해 계산된 우수의 저류량을 나타내며, q_L 은 식 (18)에 의해 계산된 단위면적당 유량으로 연속방정식에서의 생성항이다.

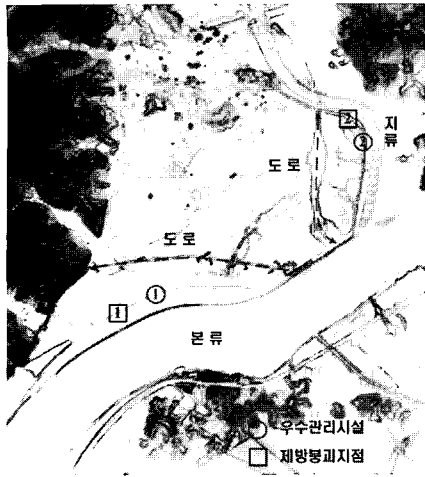
4. 홍수범람모의

내외수 연계모형을 구리시지역에 적용하였다. 대상 지역은 면적이 $25.67km^2$ 이고 서로 설계빈도가 다른 한강(분류)과 왕숙천(지류)이 대상지역주위에 흐르고 있다. 그림 3(a)에서 대상지역 남쪽으로는 한강이 동쪽에서 서쪽으로 흐르고 있으며, 동쪽에 왕숙천이 흐르고 있다. 두 하천은 대상지역의 남동부에서 합류하여 서쪽으로 흘러나간다. 또한 각 하천변에 하수종말처리장과 배수펌프장이 있어서, 도시내의 우수를 처리하도록 하였다. 총 2개의 우수관리시설이 있으므로 도시배수구역을 크게 2개로 구분하고, 다시 소규모의 배수구역으로 다시 분할한다. 하천을 따라 도로시설이 있으며 도로는 성토된 지반위에 위치하여 일종의 제방역할을 한다. 가상의 과제지점을 대상지역의 동쪽과 남쪽에 각각 1개소, 총 2개소를 선정하였다. 제방붕괴 길이는 하천수리·수문분석시스템(건설교통부와 한국수자원공사, 2001)에서 제시한 식을 사용하였다.

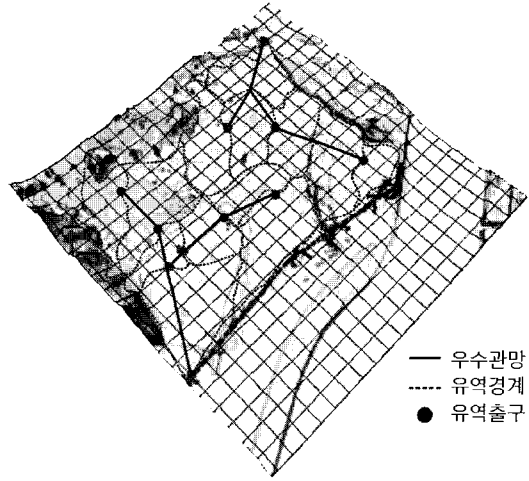
$$B_b = 1.9(\log B)^{4.8} + 20 \quad (20)$$

식 (20) B_b 는 붕괴된 제방의 길이이며, B 는 하천의 폭을 나타낸다.

범람모의에 필요한 상류경계조건은 유량을 사용하였으며, 본류는 첨두유량이 $31,967.94m^3/sec$ (100년 빈도)인 부정류 조건을 사용하고, 지류는 유입량이 $3.9m^3/sec$ 로 일정한 정류조건을 사용하였다. 하류경계조건은 수위를 사용하였으며 총 모의시간은 30시간이다 (건설교통부, 한국수자원공사, 2002). 또한, 범람모의는



(a) 범람모의 대상지역



(b) 배수유역구분

그림 3. 범람모의 대상지역 및 배수유역구분

마른바닥상태에서 시작하였으며, 파제의 경우 초기지형에서 고려하여 적용하였다. 대상지역에 내린 총 강우량은 250mm, 강우지속 시간은 3시간이며, Huff분포를 이용하여 강우를 분포시켜 모형에 적용하였다. 우수관거는 직경이 1.5m인 원형관이 매설된 것으로 가정하였으며, 유량계수 C 는 0.5를 적용하였다. Manning의 조도계수는 제내지에서는 0.025, 제외지에서는 0.030으로 각각 구분하여 적용하였다.

제방이 붕괴되지 않은 경우와 제방이 붕괴된 2가지의 경우에 대해 모의한 후 모의 결과를 위에 도시하였다. 그림 4~6는 각 경우의 최대수심도이다. 단순월류의 경우에는 제방이 하천의 수위상승을 적절히 방어하여 도시지역에 월류에 의한 침수가 발생하지 않았으나,

도시지역에서는 관망이 우수를 적절히 처리하지 못하여 부분적으로 침수가 발생하였다. 남쪽 제방이 붕괴한 경우를 살펴보면, 하천의 수위가 점점 상승하여 약 10시간 경과 후 붕괴된 제방으로부터 침수가 발생하였다. 그러나 도로의 성도층에 의해 도시지역 내부로는 많은 피해를 입히지 못하고, 도시지역에서는 저류된 우수에 의한 침수만이 확인되었다. 또한, 동쪽 제방의 붕괴로 인해 약 15시간 후 부터 범람이 시작되었지만 도시 내부로의 홍수범람은 지천의 서쪽에 위치한 도로의 성도층에 의해 차단되었으나, 우수관거를 통하여 우수과 원활히 배수되지 못하여 생기는 침수현상을 확인할 수 있다.

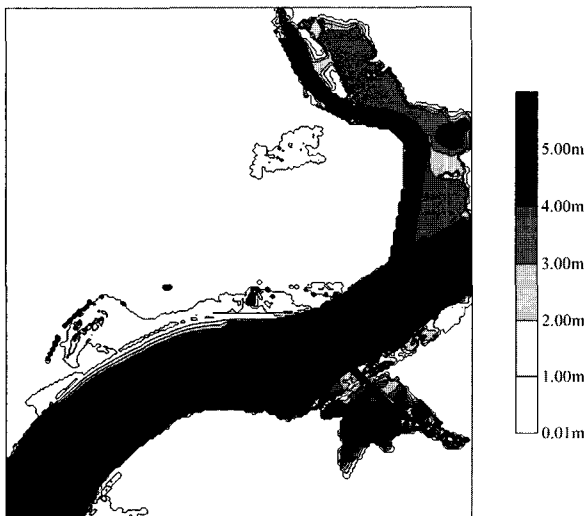


그림 4. 최대수심도(단순월류)

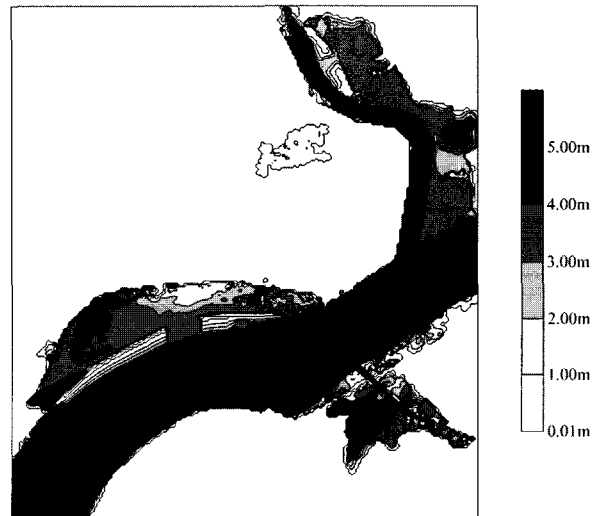


그림 5. 최대수심도(파제1)

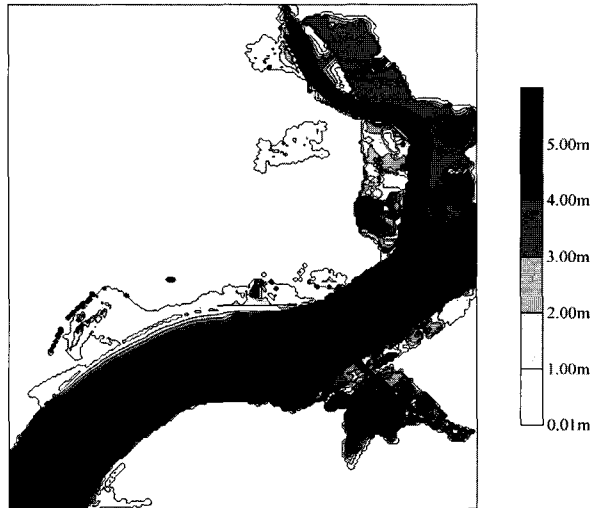


그림 6. 최대수심도(파제2)

표 1. 각 모의 상황별 제내지 침수면적

| 모의 상황 | 제내지 침수면적 |
|-------|---------------------|
| 단순월류 | 1.15km ² |
| 파제 1 | 1.98km ² |
| 파제 2 | 1.76km ² |

각 경우의 제내지 침수면적을 살펴보면 표 1과 같다. 우수관망의 통수능 부족이 유일한 내수침수의 유일한 원인인 경우에는 우수관리시설이 위치한 지역의 부근에서 약 1.12km² 침수되었으나, 제외지의 수위가 상승한 경우 인접도로와 하천제방 사이가 완전히 침수되므로 제내지의 침수면적이 증가함을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 내수 및 외수의 영향으로 인해 발생하는 복합적인 홍수를 모의하기 위하여 2차원 수치모형과 ILLUDAS를 결합하여 내외수 연계모형을 구축하였다. 임의의 지형에 적용하여 모의한 결과 제내지 및 제외지에서의 홍수의 거동을 동시에 모의할 수 있음을 확인하였다. 각각의 현상이 동시에 모의가능하여 일련의 결과로 도시되므로, 홍수시 주민대피 및 치수대책에 유용한 자료로 쓰일 수 있을 것이다.

실제의 지형에 적용하여 주민들에게 제공가능한 자료를 구축하기 위해서는 지형자료 및 우수관망 시스템의 자료가 구축되어 있어야 한다. 아직까지 위와 같은 자료가 널리 구축되어 있지 않거나 아직 신뢰성이 낮으므로 지형정보에 대한 조사 후, 전산자료를 구축하여 과거의 홍수사상과 비교하는 연구가 추후 수행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 (주) 대림산업으로부터 지원을 받았기에 이에 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부, 한국수자원공사 (2001). 하천수리·수문분석시스템.
- 건설교통부, 한국수자원공사 (2002). 홍수지도제작 보고서(한강 유역권 시범제작).
- 원성연, 윤용남 (1993). “도시유역의 홍수량 산정을 위한 도시유출모형 연구.” 대한토목학회논문집, 제13권, 제5호, pp. 135-146.
- 이주현, 최종진, 이희철, 이은태 (2003). “고해상도 수치고도모형을 활용한 홍수범람도의 작성.” 대한토목학회논문집, 제 23권, 제6B호, pp. 471-478.
- 이홍래, 한건연, 김상호, 최현상 (1998). “하천홍수범람 해석을 위한 수치모형의 개발: I. GIS와의 연계해석.” 한국수자원학회논문집, 제31권, 제4호, pp. 415-427.
- 인태훈, 이봉희, 조대회, 조용식 (2003). “범람 모의를 위한 이동경계조건.” 한국수자원학회논문집, 제36권, 제6호, pp. 937-947.
- 한건연, 최규현, 이창희 (2002). “도시침수해석을 위한

- 2차원 모형의 개발.” 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp.275-280.
- Hicks, W.I. (1944). “A method of computing urban runoff.” *Trans. ASCE*, Vol. 109, pp. 1217-1253.
- Horton, R.E. (1939). “Analysis of run-off plot experiments with varying infiltration capacity.” *Trans. American Geophysical Union*, Vol. 20, pp. 693-711.
- Huff, F.A. (1967). “Time distribution of rainfall in heavy storms.” *Water Resources Research*, Vol. 3(4), pp. 1000-1008.
- Izzard, C.F. (1946). “Hydraulics of runoff from developed surfaces.” *Proc. Highway Research Board*, Vol. 26, pp. 129-146.
- Shyy, W. (1985). “A study of finite difference approximation to steady-state, convection dominated flow problems.” *Journal of Computational Physics*, Vol. 57, pp. 408-415.
- Terstriep, M.L., and Stall, J.B. (1972). “Storm Sewer Design - an Evaluation of the RRL Method.” *Environmental Protection Agency technology series*, EPA-R2-72-068.
- Thacker, W.C. (1981). “Some exact solutions to the nonlinear shallow equations.” *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 107, pp. 499-508.

◎ 논문접수일 : 2005년 08월 09일

◎ 심사의뢰일 : 2005년 08월 18일

◎ 심사완료일 : 2005년 09월 28일