

# 流域 및 河道 洪水追跡 方法을 結合시킨 都市河川의 流出解析模型

## Urban Runoff Model Based on the Watershed and Channel Flood Routing Methods

元錫淵\* · 尹龍男\*\*

Wone, Seog Yeon · Yoon, Yong Nam

### Abstract

An urban runoff model is proposed in this study, which is composed of a surface runoff model and a channel routing model. ILLUDAS is selected as the best fit model for the surface runoff computation, and the dynamic wave model using weighted four-point implicit finite difference scheme is used to perform the channel routing. The 3rd Seongbook bridge basin located in Seoul is selected as the test basin for the proposed model, and the rainfall-runoff data are collected to calibrate and verify the urban runoff model. The computed results by this model showed the fair accuracy when compared with the observed hydrographs. So the model proposed in this study could be used to compute the urban river flow as well as the outflow from the urban drainage area.

### 요 지

본 연구에서는 流域 洪水追跡模型과 河道 洪水追跡模型을 결합한 都市 流出解析模型을 樹立하였다. 즉, 都市 排水流域으로부터의 洪水流出量 산정을 위해서는 ILLUDAS模型을, 都市河川을 통한 河道 洪水追跡을 위해서는 4點 加重 陰形 有限差分技法을 사용하여 완전한 Saint Venant方程式의 解를 구하는 dynamic wave模型을 채택하였다. 城北川의 城北 第 3橋 流域을 標本流域으로 選定하여 標本流域의 降雨-流出 資料를 直接 測定 혹은 蒐集하여 模型의 適用 및 檢定에 사용하였다. 본 연구에서 개발한 都市 流出解析模型을 標本流域에 적용하여 實測 流出量과 비교한 결과 매우 좋은 결과를 보여 주었으므로, 本 模型은 都市 小流域으로부터의 洪水流出量의 계산은 물론 河川을 포함하고 있는 都市流域의 洪水管理를 위해서도 유용하게 사용될 수 있는 모형이라 할 수 있다.

### 1. 서 론

일반적으로 都市流域의 洪水被害는 外水位의 上

昇으로 인한 堤防의 崩壞 및 內水槌水등을 들 수 있는 바, 都市河川의 外水位 결정을 위해서는 하천으로 유입하는 도시구역의 洪水流出量의 算定과 都市河川의 河道를 통한 洪水流의 解析을 필요로 한다. 현재까지 都市流出模型과 河道 洪水追跡模型에 관한

\* 정희원 · 고려대학교 부설 생산기술연구소, 선임연구원

\*\* 정희원 · 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

많은 연구가 있었으나, 都市流出模型에 관한 연구는 대부분 都市小流域의 유출량을 결정하는 방향으로 진행되었으며 都市河川에서의 洪水波의 흐름해석에 관한 연구는 별도로 진행된 것이 사실이다.

본 연구에서는 都市小流域으로부터의 洪水流出量算定을 위해 널리 사용되는 ILLUDAS模型을 4點加重陰形有限差分技法을 사용하여 완전한 Saint Venant方程式의 해를 구하는 河道洪水追跡模型과 결합한 이른바 都市流出解析模型을 개발함으로써, 도시 소유역으로부터의 홍수유출량 산정은 물론, 하천을 포함하고 있는 도시유역의 홍수관리를 용이하게 할 수 있도록 하고자 하였다. 또한 본 연구에서 개발한 모형을 대상 표본유역인 城北川의 城北第3橋流域에 적용하여 모형의 적정성을 검토한 후, 본 모형에 의해 城北川의 設計洪水水位를 산정하여 그 결과를 實務에서 사용하고 있는 방법에 의한 결과와 비교함으로써 實務適用方法의 적정성을 상대적으로 평가하고자 하였다.

## 2. 基本理論

### 2.1 ILLUDAS模型

Terstriep과 Stall(1974)에 의해 처음 開發되어 1984년, 1986년 개정된 모형으로 都市流域의 洪水流出量算定을 위해 널리 사용되고 있는 模型이다. 이 모형은 전체유역을 直接連結包裝地域, 間接連結包裝地域, 透水地域 및 流出에 기여하지 않는 地域의 4가지로 區分解析하는 모형으로 國內의 標本流域에서의 適用(윤용남, 원석연, 1992)에서 좋은 결과를 보여준 바 있으므로 본 연구에서는 이 모형을 都市排水流域으로부터의 洪水量算定을 위한 모형으로 설정하였다.

### 2.2 河道洪水追跡模型

본 연구에서는 河道洪水追跡을 위하여 1次元不定流 흐름의 支配方程式인 Saint Venant方程式의 완전한 형태를 4點加重陰形有限差分技法을 사용하여 해석하였다. 連續方程式과 運動量方程式을 有限差分式으로 표시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \theta(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1} - \bar{q}_i^{j+1} \Delta x_i) \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned}
 & + (1-\theta)(Q_{i-1}^j - Q_i^j - \bar{q}_i^j \Delta x_i) \\
 & + \frac{\Delta x_i}{2\Delta t} (A_{i+1}^{j+1} + A_i^{j+1} - A_{i-1}^j - A_i^j) \\
 M = & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} (Q_{i+1}^{j+1} + Q_i^{j+1} - Q_{i+1}^j - Q_i^j) \quad (2.2) \\
 & + \theta \left[ \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} - \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g[\theta \bar{A}_i^{j+1} \right. \\
 & + (1-\theta) \bar{A}_i^j] \{ h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + \bar{S}_{f_i}^{j+1} \Delta x_i \\
 & + \bar{S}_{e_i}^{j+1} \Delta x_i \} + \beta \bar{L}_i^{j+1} \Delta x_i \Big] + (1-\theta) \left[ \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^j \right. \\
 & - \left. \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^j + g[\theta \bar{A}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{A}_i^j] \right. \\
 & \left. \{ h_{i-1}^j - h_i^j + \bar{S}_{f_i}^j \Delta x_i + \bar{S}_{e_i}^j \Delta x_i \} + \beta \bar{L}_i^j \Delta x_i \right]
 \end{aligned}$$

여기서 Q는 流量 q는 側方流入量, A는 흐름의 단면적, h는 水深, S<sub>f</sub>는 摩擦損失, S<sub>e</sub>는 渦流로 인한 損失을 나타내며, i는 距離區間, j는 時間區間別 隔點번호를 나타내며, θ는 距離加重係數, β는 運動量補正係數 그리고 L은 側方流入 運動量을 나타낸다. 洪水追跡을 행하고자 하는 河道區間을 n개의 구간으로 나누면 그림 2.1과 같은 (N-1)개의 格子網에 대해 각각 連續方程式과 運動量方程式을 세울 수 있으며, 여기에 上流端과 下流端의 境界條件을 포함하면 총 2N개의 非線型 聯立方程式을 수립할 수 있다. 이 비선형 연립방정식을 풀면 2N개의 未知數, 즉 각 지점별 水位와 流量 값을 동시에 구할 수 있으며, 이와 같은 비선형 연립방정식을 풀기 위해 가장 널리 사용되는 방법은 Newton-Raphson 방법이며, 이 방법의 基本概念은 다음과 같다(Chow, 1988). 먼저 聯立方程式을 벡터의 형태로 나타내면,

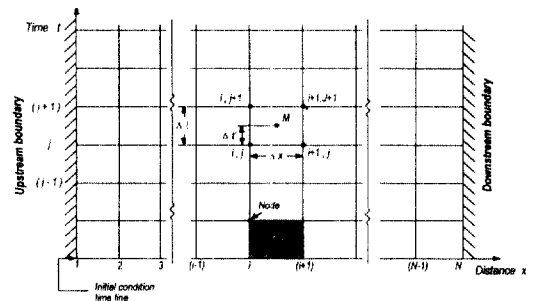


그림 2.1 유한차분기법의 적용을 위한 x-t평면

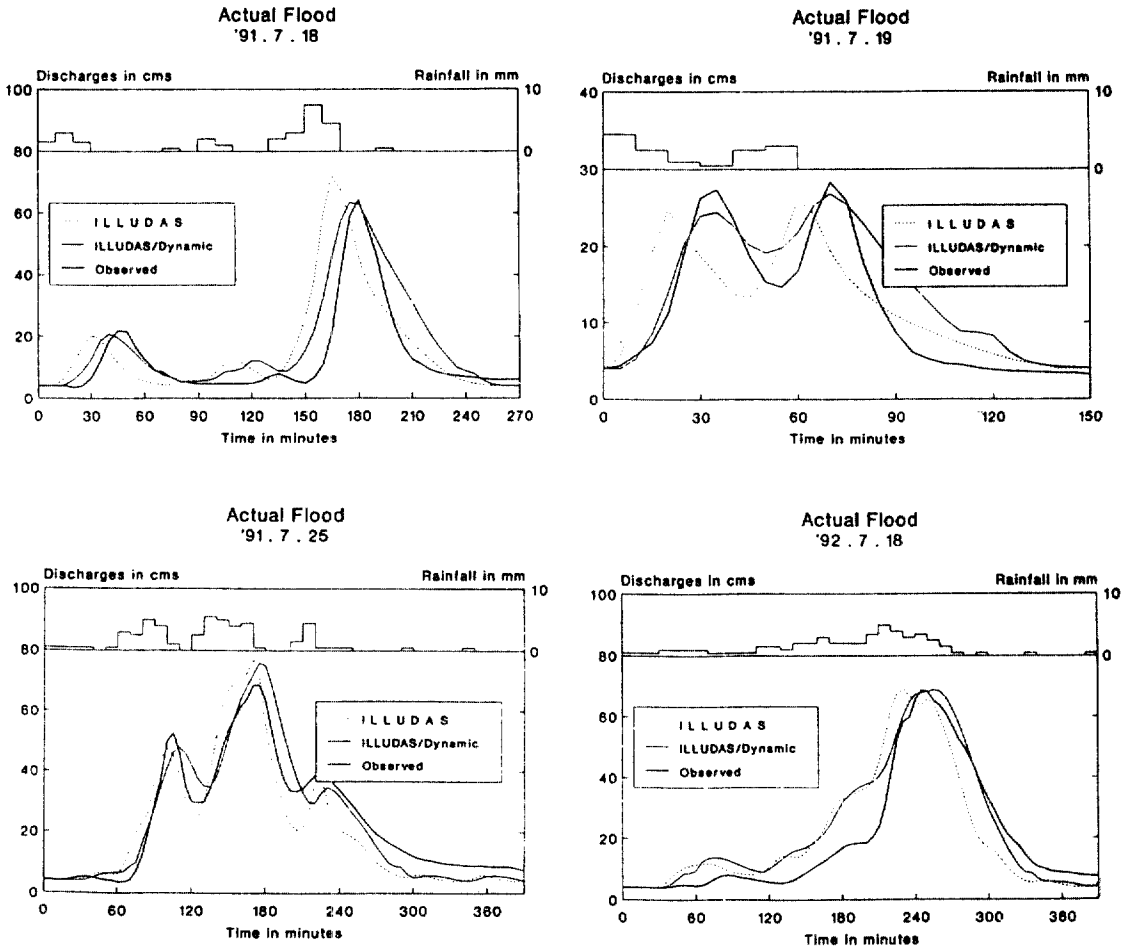


그림 3.4 도시 유출해석모형의 적용결과

표 3.1 하도 홍수추적 방법에 따른 유출 특성치의 비교

구분	방법별	91. 7. 18	91. 7. 19	91. 7. 25	92. 7. 18
Peak Discharge (CMS)	Actual	64.49	28.32	68.54	68.54
	ILLUDAS	72.01	26.10	77.22	68.80
	ILLUDAS/Dynamic	63.40	26.82	75.94	68.70
Peak Time (min)	Actual	180	70	225	245
	ILLUDAS	165	60	225	230
	ILLUDAS/Dynamic	175	70	230	255
εRMS	ILLUDAS	0.995	0.500	0.315	0.505
	ILLUDAS/Dynamic	0.627	0.345	0.238	0.366

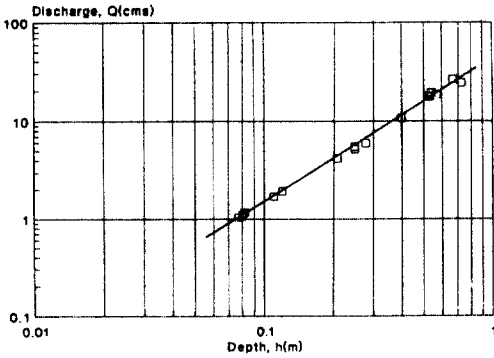


그림 3.2 성북 제 3교 지점의 수위-유량 관계곡선

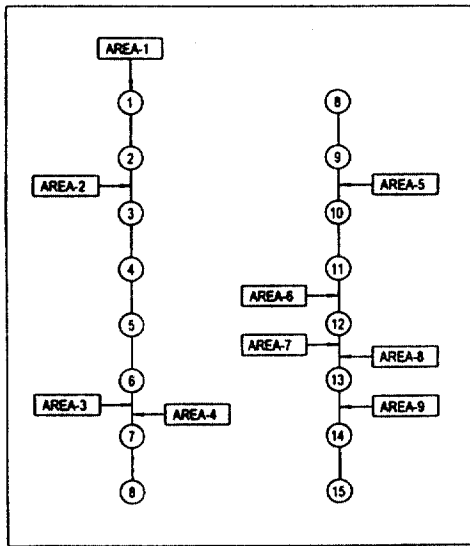


그림 3.3 성북 제 3교 유역의 모식도

지점에 수위계를 설치하여 1991~1992년 동안 유량을 측정하여 그림 3.2와 같은 수위-유량 관계곡선을 얻었으며, 이를 회귀분석하여 다음과 같은 수위-유량 관계곡선식을 구하였다.

$$Q = 31.9H^{1.329} \quad (3.1)$$

城北第3橋 지점에서 수위-유량 관계곡선식이 적용되는 구간은水深이 0.2 m 이상인 구간이므로 그 때의 유량  $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 를城北川의初期流量으로 설정한 후, 하천에서의 흐름을定常流로假定하여水位를 계산하여 이를初期條件으로 설정하였다.

$\Delta x$ 의距離間隔을 가지는河川上的 두隔點 사이에, 하천으로 유입되는雨·排水管渠가 한개 이상 있을 경우 그流入量을 모두 합한 값(Q)를 두隔點 사이로 유입하는側方流入量으로 하였다. 對象流域인城北第3橋流域의地點別側方流入量은ILLUDAS模型에 의한都市小流域別流出量이며 그模式圖는그림 3.3과 같다. 計算時間區間  $\Delta t$ 의 값은 5분으로 설정하였으며, 計算距離區間  $\Delta x$ 와  $\Delta t$  사이에  $\Delta x = 3/2 \cdot (Q/A)\Delta t$ 의 조건을 만족하도록  $\Delta x$ 의 크기를 결정하였다(French, 1986). 마지막으로加重係數  $\theta$ 를 0.5, 0.55, 0.6, 0.7으로 각각 설정하여 계산을 실시한 결과  $\theta$ 값에 따른 유출량의 계산치는 0.50~0.70 사이에서 큰 차이를 보여 주지 못하는 것을 알 수 있었으며,  $\theta$ 값이 0.60일 때 실측치와 가장 근접한 결과를 보여 주었으므로 본 연구에서는 값을 0.6으로 설정하여 모형을 적용하였다.

### 3.2 適用結果 分析

본 연구에서 설정한都市流出解析模型을 대상유역인城北川流域에 적용하여水位觀測所가 위치하고 있는城北第3橋地點에서의 유출량을 계산하였으며, 이를實測流出水文曲線과 비교하여 모형의 적정성을 판단하고자 하였다. 또한水文學的洪水追跡方法을 사용하여河道洪水追跡을 실시한 후, 이를 본 모형과 비교함으로써 본 모형에서河道洪水追跡을 위해 사용한 방법의 정확성을相對적으로 평가하고자 하였으며 이 때水文學的洪水追跡을 위해서는ILLUDAS模型을 사용하였다(즉城北川의河道를管渠로 가정하였다).

본 모형에 의해 계산된 유출량과ILLUDAS模型에 의해 계산된 유출량을實測流出量과 함께 그림 3.4에 나타내었다. 본 모형이 실제하천에서의洪水波의擧動을 얼마나 잘 나타내고 있는지를 판단하기 위하여洪水事象別로 계산된尖頭洪水量的 크기 및發生時間 그리고水文曲線의平方自乘誤差를 구하였으며, 그 값은 표 3.1과 같다.

먼저尖頭洪水量的 크기만을 기준으로 모형의 적용결과를 판단해 보면,ILLUDAS模型에 의한 결과와 본 모형에 의한 결과는 다소간의 차이는 있으나 비교적實測值에 부합하는 것을 알 수 있다. 그러나尖頭洪水量的發生時間은ILLUDAS模型의 경우,

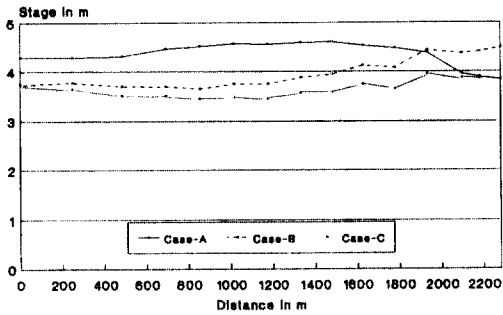


그림 4.3 성북천의 각 지점에서의 설계홍수위

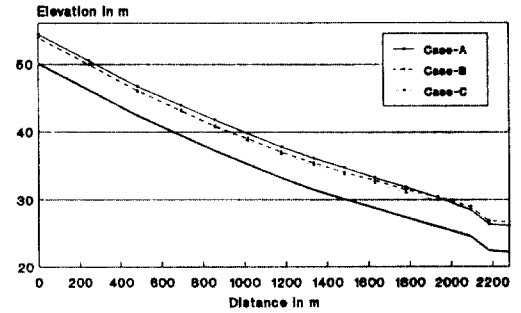
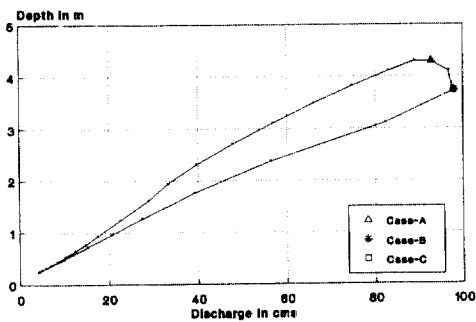
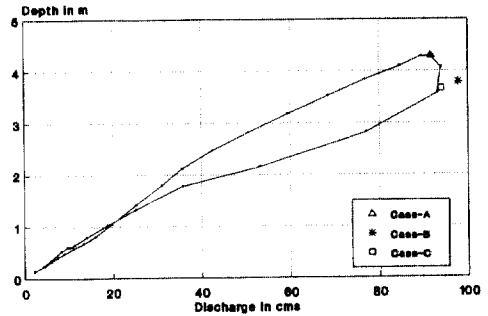


그림 4.4 성북천의 각 지점에서의 최대수심

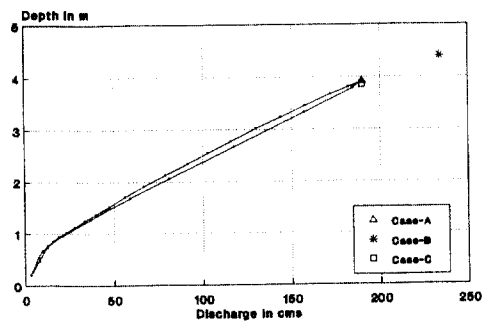
Depth-Discharge Relationship (Section No. 1)



Depth-Discharge Relationship (Section No. 2)



Depth-Discharge Relationship (Section No. 14)



Depth-Discharge Relationship (Section No. 15)

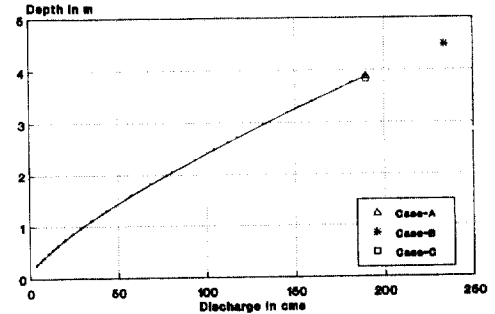


그림 4.5 성북천의 각 지점에서의 수위-유량 관계곡선

또한城北第3橋 지점의設計洪水水文曲線은 그림 4.2에 제시된 바와 같다.地點別 洪水量에 대한 洪水位와 水深은 그림 4.3, 그림 4.4와 같다.

먼저 Case-A와 Case-C에 의한 계산결과를 살펴 보면, 그림 4.4에서 Case-C에 의한設計洪水位 계산치는 전 구간에 걸쳐 Case-A보다 작은 것을 볼

수 있다. 이는 그림 4.5에서 볼 수 있듯이 洪水波의 水位와 流量간의 관계는 고리(loop)형태로 표시되는데 반하여 洪水波의 흐름을 定常流로 가정할 경우 水位-流量 關係曲線은 單一曲線으로 표시되기 때문에設計洪水位의 값이 항상 작게 계산되는 것을 알 수 있다. 즉, 하천에서의 홍수파의 흐름을 定常

전반적으로 실측치보다 빨리 발생하는 것을 볼 수 있으며, 水文曲線의 平方自乘誤差 역시 전반적으로 큰 것을 알 수 있다. 이에 반해 본 모형에 의한 결과는 尖頭洪水량의 發生時間 뿐 아니라, 전체적인 水文曲線의 形態 역시 실측치에 상당히 부합하는 것을 볼 수 있으므로 不定流인 河川에서의 洪水波의 흐름 특성을 적절히 해석하였음을 알 수 있다. 또한 본 모형에서 사용한 陰形 有限差分法은 항상 안정된 해를 구할 수 있다는 장점을 가지고 있으므로, 본 연구에서 제시한 都市 流出解析模型은 河川을 포함하고 있는 都市流域으로 부터의 洪水量 算定에 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 都市 流出解析模型에 의한 設計洪水位 計算

일반적으로 하천에서의 設計洪水位의 결정을 위해서는 먼저 하천의 각 지점에서의 設計洪水量을 결정한 후 하천에서의 흐름을 定常流로 가정하여 그때의 河川水位를 계산하여 이를 設計洪水位로 設定하고 있다. 그러나 洪水時 하천에서의 洪水流는 시간에 따라 흐름의 특성이 변화하는 不定流의 형태를 가지는데 반해 이를 定常流로 가정하여 해석할 경우 시간에 따른 흐름특성의 변화를 고려할 수 없으며, 또한 時間에 따라 변화하는 하천의 流量과 水位는 상호간에 밀접한 관계를 가지고 있으므로 이를 獨立의으로 결정할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 實務에서 사용하고 있는 設計洪水位의 산정방법을 적용한 후, 이를 都市 流出解析模型에 의한 결과와 비교함으로써 實務適用方法을 검토하고자 하였다.

먼저, 設計降雨로는 持續期間 2時間, 設計頻度 100年인 降雨를 택하였으며, 實務에서 사용하고 있는 降雨強度 公式에 근거한 中央集中形 降雨分布方法(일본, 1988)을 사용하여 설계 雨量柱狀圖를 결정하였다. 먼저 본 연구에서 수립한 都市 流出解析模型에 設計降雨를 적용하여 하천의 각 지점별 設計洪水位를 계산하였다. 다음으로는 實務에서 사용하고 있는 방법에 의해 지점별 設計洪水位를 결정하였다(건설부, 1988). 즉, ILLUDAS模型에 의해 지점별 設計洪水量을 결정한 후 HEC-2模型을 적용하여(HEC, 1982) 그에 따른 設計洪水位를 계산하였다. 또한 不定流 계산에 의해 河川水位를 계산할 경우와 하

천에서의 흐름을 定常流로 가정할 경우의 차이를 비교하기 위하여, 都市 流出解析模型에 의해 계산된 지점별 設計洪水量을 河川의 流量으로 設定하여 HEC-2模型에 의해 洪水位를 계산하였다. 즉, 하천의 設計洪水位 계산절차를 다음과 같이 3가지 경우로 설정하였다.

Case-A : 都市 流出解析模型에 의한 設計洪水位 계산

Case-B : HEC-2模型에 의한 設計洪水位 계산(ILLUDAS模型에 의해 地點別 洪水量 결정)

Case-C : HEC-2模型에 의한 設計洪水位 계산(都市 流出解析模型에 의해 地點別 洪水量 결정)

都市 流出解析模型과 ILLUDAS模型에 의한 대상 하도의 지점별 設計洪水量은 그림 4.1에 제시된 바와 같으며, 그림에서 ILLUDAS模型에 의한 지점별 設計洪水量은 都市 流出解析模型에 의한 결과보다 전체적으로 큰 값을 보여주고 있으며 특히 下流로 갈수록 그 차이가 커지는 데 이는 ILLUDAS模型이 하천에서의 貯溜로 인한 洪水波의 減衰效果와 遲滯效果를 제대로 고려하고 있지 못함을 말해 준다.

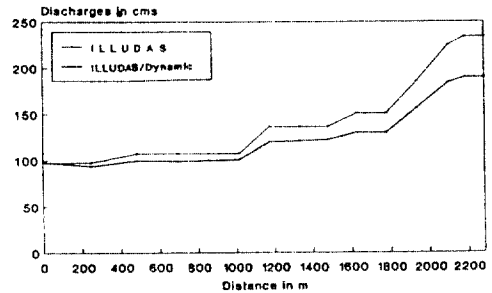


그림 4.1 성북천의 각 지점에서의 설계홍수량

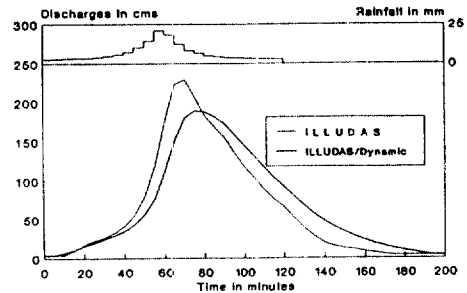


그림 4.2 성북 제 3교 지점의 설계 홍수수문곡선

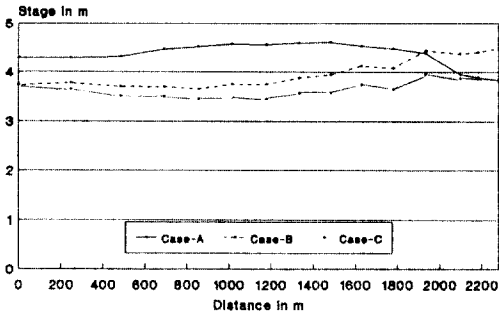


그림 4.3 성북천의 각 지점에서의 설계홍수위

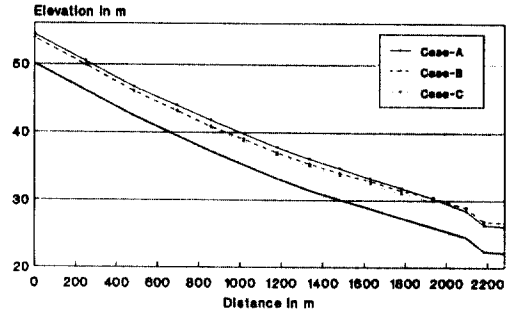
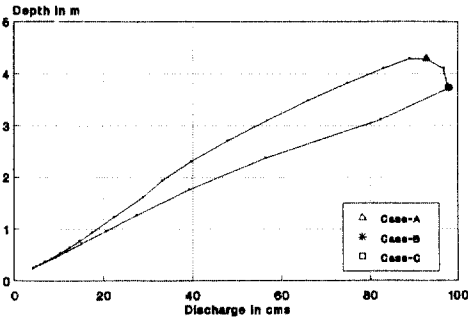
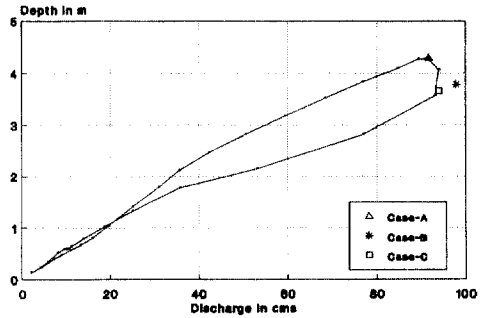


그림 4.4 성북천의 각 지점에서의 최대수심

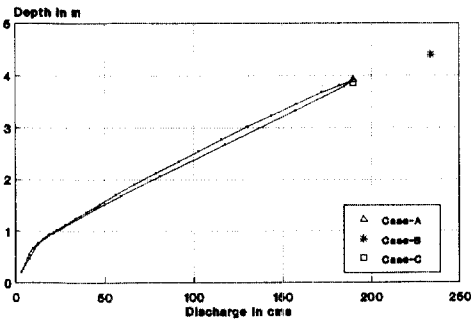
Depth-Discharge Relationship  
(Section No. 1)



Depth-Discharge Relationship  
(Section No. 2)



Depth-Discharge Relationship  
(Section No. 14)



Depth-Discharge Relationship  
(Section No. 15)

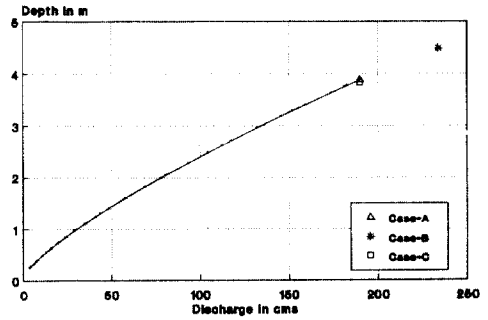


그림 4.5 성북천의 각 지점에서의 수위-유량 관계곡선

또한城北第3橋 지점의設計洪水水文曲線은 그림 4.2에 제시된 바와 같다.地點別洪水量에 대한洪水位와水深은 그림 4.3, 그림 4.4와 같다.

먼저 Case-A와 Case-C에 의한 계산결과를 살펴보면, 그림 4.4에서 Case-C에 의한設計洪水位 계산치는 전 구간에 걸쳐 Case-A보다 작은 것을 볼

수 있다. 이는 그림 4.5에서 볼 수 있듯이洪水波의水位와流量간의 관계는 고리(loop)형태로 표시되는데 반하여洪水波의 흐름을定常流로 가정할 경우水位-流量關係曲線은單一曲線으로 표시되기 때문에設計洪水位의 값이 항상 작게 계산되는 것을 알 수 있다. 즉, 하천에서의 홍수파의 흐름을定常

물로 가정할 경우에는 設計洪水水位의 값이 過小 推定됨을 알 수 있다.

다음으로 Case-B와 Case-A의 결과를 비교해 보면, Case-B에 의한 設計洪水水位 計算値는 下流地點으로 갈수록 Case-C보다 큰 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 5.2에서 볼 수 있듯이 ILLUDAS模型에 의한 設計洪水量的 값이 都市 流出解析模型에 의한 값보다 크기 때문이다.

마지막으로 實務에서 사용하고 있는 방법(Case-B)과 都市 流出解析模型(Case-A)에 의한 결과를 비교해 보기로 한다. 먼저 Case-B의 지점별로 계산된 設計洪水量的 값은 Case-A의 경우보다 크게 계산되었음을 전술한 바와 같다. 그러나 지점별로 계산된 設計洪水水位의 값은 Case-B에 의한 결과가 전반적으로 작게 계산되었음을 볼 수 있으며 이는 Case-B에서 하천내 홍수파의 흐름을 定常流로 가정하였기 때문에 동일한 유량이라 할지라도 그에 해당하는 수위의 값이 작게 계산되기 때문이다.

이상의 결과로부터, 實務에서 사용하고 있는 하천의 設計洪水水位 算定 方法은 상호간에 밀접한 관계를 가지고 있는 水位와 流量을 개별적으로 계산함으로써 인해 하천의 設計洪水水位이 전반적으로 過小 計算됨을 알 수 있다. 즉, 하천내의 홍수파를 定常流로 가정할 경우, 시간에 따라 하천유량이 급격히 변화하는 中·小規模 하천에서의 設計洪水水位의 산정시 많은 誤差를 수반함을 알 수 있었다.

## 5. 結 論

본 연구에서는 都市 排水流域으로부터의 洪水流出量 算定을 목적으로 개발된 ILLUDAS模型과 有限差分技法을 사용하여 완전한 Saint Venant方程式의 解를 구하는 河道 洪水追跡模型을 결합한 都市 流出解析模型을 개발하였으며, 城北川의 城北 第3橋流域을 標本流域으로 선정하여 표본유역의 降雨-流出資料를 直接測定 혹은 蒐集하여 모형의 適用 및 檢定에 사용하였다. 본 연구에서 개발한 都市 洪水流出模型을 標本流域에 적용하여 實測 流出量과 비교한 결과 매우 좋은 결과를 보여 주었으므로, 본 모형은 都市 小流域으로부터의 洪水流出量 계산은 물론 河川을 포함하고 있는 都市流域의 洪水管理를

위해서도 유용하게 사용될 수 있는 모형이라 할 수 있다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 都市 排水流域으로부터의 洪水流出量의 산정을 위한 ILLUDAS模型과 4點 加重 陰形 有限差分技法을 사용하는 Dynamic wave模型을 결합시킨 都市 流出解析模型을 수립하였다. 일반적으로 都市河川으로부터의 流出量을 산정하기 위해서는 먼저 都市流域의 流出量을 계산한 후 이를 河道를 통해 洪水追跡하는 두 단계의 과정을 거쳐야 하는데 반하여, 본 모형은 이 과정을 일괄적으로 처리할 수 있게 하였다.

2) 都市 流出解析模型에서 河道 洪水追跡을 위해 사용한 Dynamic wave模型의 적정성을 검증하기 위해 그 적용결과를 水文學的 方法을 사용한 결과와 實測値를 기준으로 比較 檢討 하였다. 본 모형은 尖頭洪水量的 크기 및 發生時間 그리고 水文曲線의 形態등 모든 면에서 水文學的 方法보다 좋은 결과를 보여 주었다. 또한 본 모형에서 사용한 陰形 有限差分技法은 數值的으로 안정된 결과를 주는 방법이므로, 본 모형은 都市河川의 河道 洪水追跡을 위해 유용하게 사용될 수 있는 방법임을 알 수 있었다.

3) 본 모형을 標本流域에 적용하여 하천의 각 지점에서의 設計洪水량을 산정하였으며, 이를 實務에서 사용하고 있는 水文學的 方法에 의한 결과와 비교하였다. 水文學的 方法에 의한 設計洪水量的 값은 하천의 모든 지점에서 본 모형에 의한 값보다 큰 값을 가지는 것을 볼 수 있었다.

4) 본 모형에 의해 계산된 河川의 各 地點別 設計洪水량을 사용하여 HEC-2模型에 의해 設計洪水水位를 계산하였으며, 이를 본 모형에 의해 계산된 設計洪水水位와 비교하였다. HEC-2模型은 同一한 流量에 대한 水位의 값이 본 모형에 의한 값보다 항상 크게 계산된 것을 볼 수 있으며, 이는 HEC-2模型에서 하천을 통한 홍수파의 흐름을 定常流로 가정하였기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 實務에서 사용하고 있는 ILLUDAS模型으로 계산된 設計洪水량을 그대로 사용하여 HEC-2模型에 의해 設計洪水水位를 계산했을 경우도 하천의 각 지점에서의 設計洪水水位의 값이 전반적으로 過小 推定됨을 알 수 있었다.



## 참 고 문 헌

1. 건설부, 한국 확률강우량도의 작성, 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권, 한국건설기술연구원 수행, 1988.
2. 윤용남, 공업수문학, 청문각, 1985.
3. 윤용남, 원석연, 도시구역의 홍수량 산정을 위한 도시홍수유출모형의 연구, 대한토목학회 학술발표회 개요집, 1992.
4. 윤용남, 전병호, 이종태, 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발, 한국과학재단, 1992.
5. Chow, V.C, Maidment, D.R. and Mays, L.W., *Applied Hydrology*, Chapter 10. Dynamic Wave Routing, McGraw-Hill Book Co., 1988.
6. Fread, D.L., Discussion of "Implicit Flood Routing in Natural Channel", *J. Hydraulics Div. ASCE*, 97 (HY7), 1971.
7. Fread, D.L., Channel Routing, Chap. 14 in *Hydrological Forecasting*, ed. by M.G. Anderson and T.P. Burt, Wiley, New York, 437-503, 1985.
8. Fread, D.L., *The NWS DAMBRK MODEL: Theoretical Background/User Documentation*, U.S. Department of Commerce, National Weather Service, 1989.
9. French, R.H., *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co., 1986.
10. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*, Illinois State Water Survey, Bull. 58, 1974.
11. U.S. Army Corps of Engineers, *HEC-2, Water Surface Profiles, Users Manual*, Sept. 1982.
12. 日本都市水文研究-フ, 調節池の計劃と設計, 山海堂, 1988.

(接受 : 1993. 7. 26)