

## 都市流域의 洪水量 算定을 위한 都市流出模型 研究

## A Comparative Study of Urban Runoff Models

元錫淵\* · 尹龍男\*\*

Wone, Seog Yeon · Yoon, Yong Nam

## Abstract

The purpose of this study is to propose a method of computing urban runoff from urban drainage areas in Korea. Four different methods are studied and applied to two detention basins in Seoul: Wheekyeong and Yongdoo detention basins. The computation of runoff from the two basins was carried out for 10 historical storms, and the results computed by each method were compared with those observed. As the standards for comparison, peak discharges, total runoff volumes and the shapes of hydrographs are selected. The present research concludes that Rational formula and KPRRL can be used only for computing peak discharges in small urban areas and ILLUDAS shows the fair accuracy compared to the observed. ILLUDAS was selected as the best fit model to be applied to the Korean urban areas, since it showed more accurate results under the different types of storms.

## 요 지

본 연구에서는 都市 排水流域으로부터의 洪水量 算定을 위해 개발된 既存의 各種 都市流出模型을 國內의 標本流域에 적용하여 그 결과를 實測値와 비교함으로써, 國內流域에 적절히 적용할 수 있는 모형을 제시하고자 하였다. 合理式, BRRL方法, KPRRL方法 그리고 ILLUDAS模型의 4가지 방법을 標本流域인 徽慶·龍頭 遊水池 流域에 적용하여 총 10개의 實測豪雨에 대한 洪水量을 계산하였으며, 이를 遊水池로의 流入量과 비교하여, 尖頭洪水量, 流出容積 및 水文曲線의 形態를 기준으로하여 각 방법별 適正性을 판단하였다. 合理式과 KPRRL方法是 小流域으로부터의 尖頭洪水量의 算定을 위해서만 적용 가능함을 알 수 있었으며, ILLUDAS模型에 의한 결과가 實測値에 가장 접근한 결과를 보여주었으므로 ILLUDAS模型을 國內의 都市流域으로부터의 洪水流出量 算定을 위한 最適模型으로 선정하였다.

## 1. 序 論

都市로의 人口集中 및 家口數의 증가, 商街面積의

확대 등으로 인해 都市地域은 自然河川流域과는 상이한 유출특성을 가지게 되며 특히 不透水面積 構成比의 증가 및 雨排水管渠의 설치로 인한 尖頭洪水量의 증가 및 洪水到達時間의 단축은 도시유역의 洪水被害를 加重시키는 요인이 된다. 이와 같은 도

\* 정희원 · 고려대학교 부설 생산기술연구소 선임연구원

\*\* 정희원 · 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

시유역의 상이한 유역특성 때문에 도시유역에서의 洪水量 算定에 사용되는 방법은 자연하천유역에 사용되는 방법과는 다소 차이가 있게 된다.

既存에 개발된 대부분의 都市流出模型들은 外國의 降雨-流出 관계로부터 導出된 바, 별도의 檢定 없이 國內에서 그대로 적용하기에는 다소의 무리가 따를 수 있다. 본 연구에서는 도시유역의 降雨 및 流出量 자료를 획득하여, 기존의 여러모형에 의해 계산된 유출량과 비교함으로써 국내 도시유역에의 適用性 여부를 판단하며, 적용시의 문제점들을 개선하여 국내의 도시유역에 유용하게 적용할 수 있는 신빙성 있는 都市流出模型을 제시하고자 한다.

## 2. 基本理論

### 2.1 合理式

Mulvaney(1850)에 의해 제안되어 都市地域의 設計洪水量 算定에 널리 사용되어온 방법으로, 降雨強度와 尖頭洪水量 간의 관계를 나타내는 가장 대표적인 經驗公式이다. 尖頭洪水量의 계산은 다음의 식에 의한다.

$$Q = 0.2778 C I A \quad (2.1)$$

여기서  $Q$ 는 尖頭洪水量( $m^3/sec$ ),  $C$ 는 流出係數,  $I$ 는 降雨強度( $mm/hr$ ) 그리고  $A$ 는 流域面積( $km^2$ )이다.

### 2.2 BRRL 方法

British Road Research Laboratory(1962)에서 개발되어 ILLUDAS모형의 기초가 된 방법으로 모형의 계산 흐름도는 그림 2.1과 같다(Walesh, 1989). 이 방법은 유역에 내리는 강우중 우수관거에 직접연결된 지역에 내리는 강우만이 유출에 기여한다는 基本假定을 가지고 있으며, 대상유역을 流下時間別로 分割하여 時間-面積 曲線(time-area curve)을 작성한 후, 雨量柱狀圖를 적용하여 유출량을 계산하는 비교적 간단한 방법이라 할 수 있다. 유출량의 계산식은 다음과 같다.

$$Q_i = 0.2778 \sum_{j=1}^i A_{j-i+1} R_j \quad (2.2)$$

여기서  $R_i$ 는 設計 雨量柱狀圖의 縱距( $mm/hr$ ),

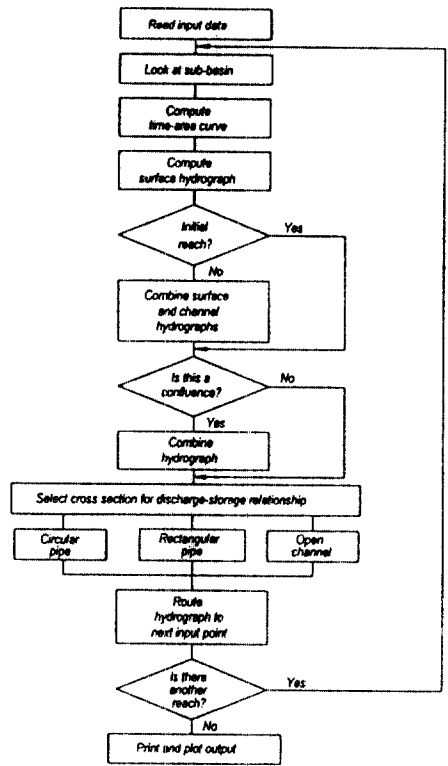


그림 2.1. BRRL방법의 계산 흐름도

$A_{j-i+1}$ 는  $i$ 시간의 到達時間을 가지는 等時間面積( $km^2$ )이다. 또한 관거를 통한 洪水追跡을 위해서는 다음과 같은 貯溜方程式을 사용한다.

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t + S_1 - \frac{1}{2}O_1\Delta t = S_2 + \frac{1}{2}O_2\Delta t \quad (2.3)$$

여기서  $I$ 는 流入量  $O$ 는 流出量  $S$ 는 貯溜量이다.

### 2.3 國內 實務適用 RRL方法

현재 國內의 實務에서는 관거의 설계를 위하여 RRL方法을 적용하고 있으나, 그 基本假定이 본래의 RRL方法과는 다소 차이가 있으므로 국내의 실무에서 적용하고 있는 RRL方法(서울시, 1988)을 편의상 KPRRL方法(Korean practice RRL method)이라 부르기로 한다.

본래의 RRL方法은 관로와 직접 연결되어 있는 불투수지역으로부터의 유출량만을 고려하고 그 외의 유역에 내린 강우는 유출에 기여하지 않는다고

가정하며, 전 유역을 몇개의 소유역으로 분할한 후 각 소유역에서의 유출량을 계산하여 관로를 통해 洪水追跡함으로써 전체유역의 總流出量을 구하도록 되어 있다. 그에 반하여 국내의 실무에서 적용하고 있는 KPRRL方法은 전체유역에 대한 時間-面積 曲線을 작성한 후, 이에 시간구간별 강우량을 적용하여 식 (2.2)에 의해 유출량을 계산하게 된다. 즉, 전체 유역을 균일하게(homogeneous) 취급하여 전체유역에 대한 時間-面積 曲線을 작성하여 소유역별 면적에 전체유역의 流域平均 流出係數를 적용하여 유출량을 계산하므로, 유역내의 不透水地域의 분포현황이 고려되지 않으며, 관로를 통한 洪水追跡이 생략되므로 관로내에서의 貯溜效果 및 흐름의 유속등 洪水波의 흐름특성을 고려할 수 없다.

## 2.4 ILLUDAS 模型

Terstriep과 Stall(1974)에 의해 처음 개발되어 1984년, 1986년 개정된 模型이다. 이 模型은 BRRL方法의 기본개념을 그대로 받아 들이면서, 透水地域에 내리는 강우로 인한 유출량을 고려하여 BRRL方法을 수정한 모형으로, 전체유역을 直接連結 鋪裝流域, 間接連結 鋪裝流域, 透水流域 및 流出에 寄與하지 않는 流域의 4가지로 구분해석하는 모형이며 모형의 계산 순서도는 그림 2.2와 같다.

모형을 적용하기에 앞서 전체유역을 몇개의 소유역으로 구분하며, 이때 관을 설치하고자 하는 지점 혹은 주요 간선관거의 합류 지점을 기준으로 하여 소유역을 구분한다. 이와같이 소유역을 구분하고 나면, 각 소유역별로 鋪裝流域과 透水流域의 유출량을 계산하여 합성함으로써 소유역별 流出水文曲線을 구하며, 이를 관로를 통해 追跡·合成하여 유역 末端部에서의 總 流出水文曲線을 구하게 된다.

먼저 鋪裝流域의 경우 유역의 流下時間을 계산한 후, 이를 기준으로 하여 單位時間別로 유역을 분할하여 時間-面積 曲線을 구한다. 유역의 분할시, 유역의 면적분포는 線型으로 가정한다. 포장유역의 유하시간 계산식은 다음과 같다.

$$t_0 = \frac{1}{60V_0} + 2.0 \quad (2.4)$$

$$V_0 = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} = \frac{1.486}{0.02} (0.2)^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2.5)$$

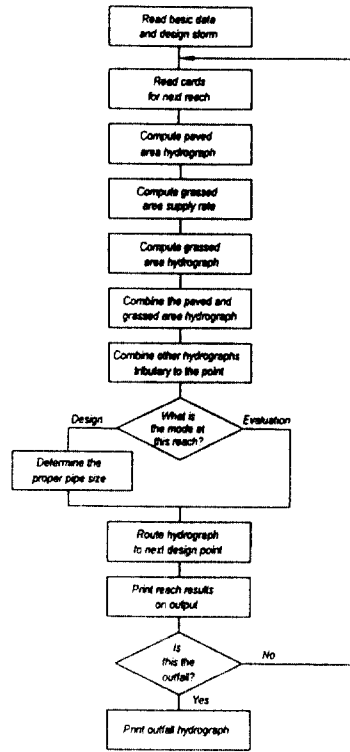


그림 2.2. ILLUDAS모형의 계산 흐름도

여기서  $t_0$ 는 流下時間(min),  $V_0$ 는 지표면을 통한 흐름의 流速(ft/sec), 그리고  $l$ 은 지표면의 流下距離(ft)이며, ILLUDAS模型에서는 지표면의 粗度係數를 0.02로 흐름의 動水半徑을 0.2 ft로 가정하여 계산하고 있다. 포장유역에서는 초기손실만을 고려하여 유효우량을 계산한다. 이와같이 時間-面積 曲線 및 雨量柱狀圖가 결정되고 나면 BRRL 方法에서와 마찬가지로 식 (2.2)에 의해 포장유역의 유출량을 계산한다.

間接連結 鋪裝地域에 내리는 경우는 지표면을 따라서 투수유역으로 흘러가게 되므로, 이곳에 내리는 경우는 초기손실을 고려한 후 투수지역에 내리는 강우와 합산하여, 그 값을 투수지역에 내리는 總 降雨量으로 한다. 透水地域에서의 時間-面積 曲線의 작성을 위한 流下時間( $t_c$ )은 다음과 같으며 이 식에서  $C$ 는 遲滯常數로 0.007부터 0.046 사이의 값을 가지고  $I$ 는 降雨強度(in./hr),  $l$ 은 지표면의 흐름길이(ft),  $S_0$ 는 지표면의 경사이다.

$$t_c = \frac{41.025(0.0007I + C)^{1/3}}{S_0^{1/3} I^{2/3}} \quad (2.6)$$

투수지역에서는 초기손실 및 침투로 인한 손실을 고려하여 유효우량을 결정한 후, 식 (2.2)에 의해 투수지역에서의 유출량을 계산한다. 이 때의 浸透能은 다음과 같은 Horton公式에 의해 계산하며 形狀係數 k값은 2.0으로 가정한다.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-ktf} \quad (2.7)$$

이상과 같이 포장지역 및 투수지역의 유출량을 구한 후 그 값을 합산하여, 소유역별 流出水文曲線을 계산하게 되며, 이 流出水文曲線은 관거의 설계를 위한 기준으로 사용할 수도 있다. 이와같이 계산된 소유역별 수문곡선을 관거의 合流點에서 上流로부터의 유입수문곡선과 합성한후 관거를 통해 洪水追跡하게 된다. 관거를 통한 흐름의 追跡方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta t}{2} (I_1 + I_2 - O_1) + S_1 = -\frac{\Delta t}{2} O_2 + S_2 \quad (2.8)$$

ILLUDAS模型은 설계는 물론 既存管渠의 評價를 위해서도 적용할 수 있는 모형으로, 사용자가 시간별 강우를 입력할 수 있음은 물론 관거의 설계시 입력하는 降雨分布로 Huff-降雨分布를 제공하고 있다. 또한 既存管渠의 評價時에는 관거를 통한 最大許容流量으로 특정한 값을 입력하여 적용할 수 있다.

### 3. 模型의 適用

#### 3.1 對象流域의 選定 및 資料의 蒐集

研究 對象流域은 연구의 목적상 유역의 크기 및 특성면에서 다양한 여러 지점을 선정하여야 하겠으나, 時間別 降雨量은 물론 洪水流出量의 측정이 가능하여야 한다는 제약이 따른다. 본 연구에서는 유역의 末端部에 遊水池가 있어 유출량의 계산이 가능한 서울시의 龍頭 및 微慶 遊水池 流域의 2개 유역을 대상유역으로 선정하였다.

##### 3.1.1 流域의 地形因子 및 管路시스템 資料

地表面 流出量의 계산을 위해 필요한 유역의 地形因子는 적용할 모형에 따라 상이하지만 대체로 流域面積, 透水地域 및 不透水地域의 面積, 流下距離

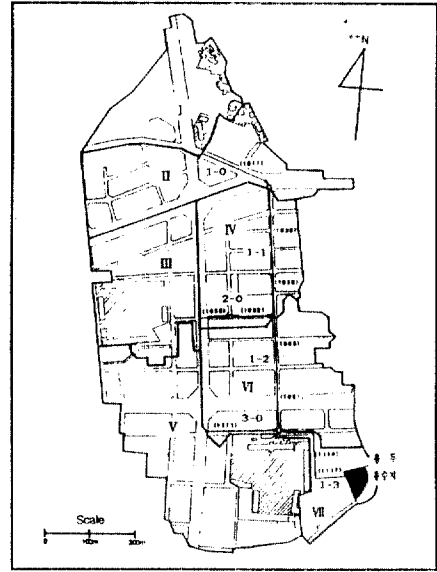


그림 3.1. 용두유수지 유역의 유역 구분도

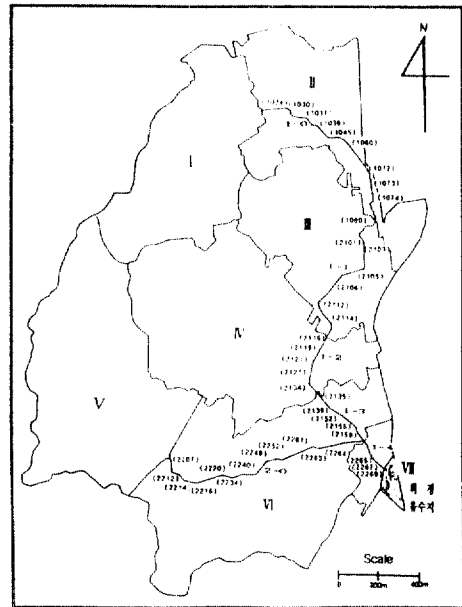


그림 3.2. 휘경유수지 유역의 유역 구분도

및 流域의 傾斜를 들 수 있다. 대부분의 都市流出模型이 전체유역을 몇개의 소유역으로 분할하여 각 소유역별 유출량을 계산하여 합성하는 기법을 사용하는 바, 본 연구에서는 都市 流出模型의 檢定을

위한 대상유역인 徽慶·龍頭 遊水池 流域을 각각 7개의 소유역으로 분할하여 각 소유역별 地形因子 및 관로 시스템 자료를 구하였다. 대상유역인 회경 용두 유수지 유역의 分割圖 및 관로 시스템의 概略圖는 그림 3.1과 그림 3.2에 제시된 바와 같다.

### 3.1.2 流域의 水文資料

#### 1) 雨量柱狀圖

현재 국내에서는 각종 홍수량의 산정을 위해서 建設部 및 氣象廳의 資料를 사용하고 있으나 建設部 및 氣象廳의 강우량 자료는 대부분 1시간 간격으로 整理되어 있으며, 雨量觀測所가 설치된 距離 間隔이 매우 크기 때문에 본 연구의 목적상 사용이 불가능하였다. 한편 서울시에서는 1987년부터 각 구청에 自記雨量計를 設置·運營하고 있는 바, 본 연구에서는 서울시의 자료(東大門區廳)를 사용하기로 하였다. 또한 본 연구에서는 강우량자료의 객관성을 높이기 위하여 高麗大學校 工科大學 校庭에 雨量計를 추가로 설치하여 1990년 6월부터 운영하였으며, 東大門區廳과 高麗大學校의 降雨量 資料로부터 각 유역별로 10분 단위의 代表雨量柱狀圖를 결정하였다. 두 지점의 강우량 자료는 시간적으로 다소간의 偏差를 보여 주나 總降雨量의 측면에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 본 연구에 사용된 豪雨事象은 표 3.1과 같다.

#### 1) 流出水文曲線

먼저 유수지 유역의 유출량 자료는 직접측정에

표 3.1 대상유역별 적용 호우사상

유역	호우사상	총강수량 (mm)	지속기간 (min)
회	90 9 10	319.2	2070
	91 7 19	48.5	170
	91 7 20	35.5	130
경	91 7 23	20.0	150
	91 7 25	88.5	90
용	90 7 18	106.5	300
	90 9 10	319.2	2070
	91 7 19	44.5	170
두	91 7 20	22.5	90
	91 7 25	88.5	490

어려움이 있으므로, 본 연구에서는 유수지로 유입되는 流入量을 구하여 그 값을 유역의 流出量으로 하였다. 유수지로의 유입량은 유수지의 水位 上昇으로 인한 유수지 貯溜量의 增加分에서 유수지에서 방류하는 유량을 제해 줌으로써 구할 수 있다. 유수지의 방류량은 遊水池內 自然放流水路를 통한 自然放流量과 펌프에 의한 펌프吐出量으로 구분할 수 있는 바 自然放流量은 유수지의 內·外水位差에 의해 계산하였으며, 펌프吐出량은 각 펌프의 시간별 방류 기록을 合算하여 계산하였다. 유수지로의 유입량 계산식은 다음과 같다.

$$Q_{total} = \frac{\Delta S_t}{\Delta t} + Q_{pump} + Q_{natural} \quad (3.1)$$

$$\Delta S_t = S_t - S_{t-1} \quad (3.2)$$

$$Q_{pump} = \sum_{i=1}^{n_p} Q_i T_i / \Delta t \quad (3.3)$$

$$Q_{natural} = n_g C(b y_2) \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (3.4)$$

윗 식에서  $S_t$ 는 유수지의 저류량,  $n_p$ 는 펌프대수,  $Q_i$ 는 펌프  $i$ 의 용량,  $T_i$ 는 펌프  $i$ 의 가동시간,  $n_g$ 는 수문의 갯수,  $b$ 는 수문의 폭,  $y_1$ 는 내수위, 그리고  $y_2$ 는 自然放流水路內의 수위이며  $C$ 는 流量係數이다. 이와 같이 결정된 유수지로의 實測 流入量을 각종 모형에 의해 계산된 유출량과 비교하는 데 사용하였다.

## 3.2 都市流出模型的 適用

### 3.2.1 合理式的 適用

合理式的 적용을 위해서는 유역의 平均 流出係數 및 降雨強度를 결정하여야 한다. 먼저 流域平均 流出係數는 ASCE의 類型別 流出係數 標準值(윤용남, 1985)를 面積 加重 平均하여 계산한 결과 徽慶 遊水池 流域의 流域平均 流出係數는 0.529, 龍頭 遊水池 流域은 0.721이었다. 강우의 관측시간 간격이 10분이었으므로, 徽慶 遊水池 流域은 40분, 龍頭 遊水池 流域은 20분의 지속기간을 가지는 最大 降雨強度를 雨量柱狀圖로부터 택하여 식 2.1에 의해 尖頭洪水量을 계산하였으며, 계산된 침투홍수량은 표 3.2와 같다.

### 3.2.2 BRRL 方法的 適用

표 3.2 합리식에 의한 침투홍수량 계산치

유역	홍수사상	강우강도 (mm/hr)	침투홍수량(cms)	
			실측치	계산치
휘	90.9.10	28.50	18.05	17.96
	91.7.19	27.75	21.48	17.49
	91.7.20	27.75	17.75	17.49
경	91.7.23	14.25	6.62	8.98
	91.7.25	44.25	19.21	27.88
용	90.7.18	75.00	3.77	6.53
	90.9.10	42.00	3.65	3.66
	91.7.19	42.00	3.73	3.66
두	91.7.20	30.00	2.06	2.61
	91.7.25	45.00	3.79	3.92

BRRL 방법을 적용하기 위해서는 전체유역을 몇 개의 소유역으로 나누고, 각 소유역별 等流下時間圖를 작성하여 時間-面積 曲線을 수립하여야 함은 전술한 바와 같다. 본 연구에서는 BRRL 방법의 기본이론에 맞추어 컴퓨터 프로그램을 작성하였으며, 그 프로그램을 대상유역에 적용하여 流出水文曲線을 계산하였다.

그림 3.1과 그림 3.2에 제시된 바와 같이 對象流域인 徽慶 및 龍頭 遊水池 流域을 각각 7개의 소유역으로 分割하였으며, 각 소유역에 대해 Izzard公式(식 2.6)을 적용하여 10분 간격으로 等流下時間線을 작성하였다.

### 3.2.3 KPRRL 方法의 適用

먼저 전체 대상유역을 하나의 유역으로 보고 等流下時間線을 작성하였으며, 유역의 平均流出係數는

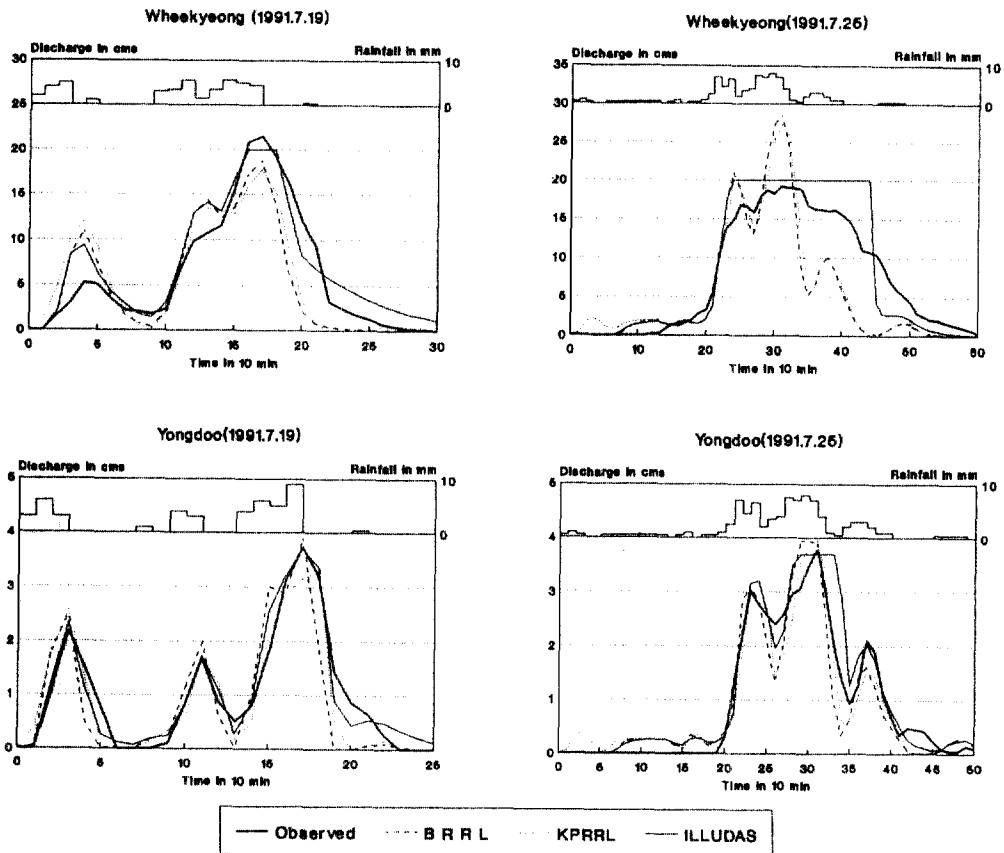


그림 3.3. 각종 도시유출모형의 적용결과 비교

合理式과 마찬가지로 微慶流域은 0.529, 龍頭流域은 0.721의 값을 사용하였다. 한편 서울시의 경우 雨水管渠의 設計時 流出係數의 값을 0.7 혹은 0.8을 사용하고 있다. 본 연구에서는 流域代表 流出係數를 적용하여 유출량을 계산하였고, 또한 流出係數를 각각 0.5, 0.6, ..., 1.0로 설정하여 그에 따른 유출량을 계산함으로써 流出係數에 따른 尖頭洪水量 計算値의 變動 推移를 판단하고자 하였다.

### 3.2.4 ILLUDAS 模型의 適用

먼저 ILLUDAS模型의 入力資料는 크게 4가지로 분류할 수 있다: 入力區分을 위한 資料, 降雨資料, 小流域別 流域資料, 그리고 管渠의 諸元. ILLUDAS模型에서는 既存管渠의 검토시에 관의 最大 許容流量을 지정하여 입력함으로써 관의 最大流量보다 더 큰 값이 계산되는 현상을 피할 수 있음을 전술한 바 있다. 한편 '90년(9/10)과 '91년(7/25) 홍수의 경우 BRRL방법과 KPRRL방법에 의한 홍수량 계산치는 유수지의 실측 유입량에 비해 매우 큰 것을 볼 수 있었다. 이는 기존에 설치된 관의 通水能보다 큰 유량이 관으로 유입됨으로 인해, 실제로는 관으로의 유입량을 전량 배제하지 못하였기 때문이며 그 값은 휘경 유수지 유역의 경우는 20 m<sup>3</sup>/sec, 용두 유수지 유역은 3.7 m<sup>3</sup>/sec로 볼 수 있다. 즉 이 값을 유역의 최하류에 설치된 관거의 最大 通水能으로 볼 수 있으므로, 본 연구에서는 이 값을 유역의 最下流에 위치한 관의 最大 許容流量으로 지정하여 ILLUDAS모형을 적용하였다.

## 4. 適用結果의 比較 分析 및 適正模型의 選定

### 4.1 流出容積 및 流出率 分析

本 研究에서는 각 방법별로 계산된 流出 水文曲線의 面積 즉 總 流出容積을 계산하여 유출고 단위로 나타냄으로서, 總 降雨量 및 實測 水文曲線의 流出容積과 비교하고자 하였다.

먼저 그림 4.1의 總降雨量에 따른 流出容積을 보면 ILLUDAS模型은 실측치에 근접한 값을 보여주는 반면, BRRL方法 및 KPRRL方法是 總降雨量의 값을 클 경우에 實測値와 많은 誤差를 갖는다. 각 방법별 流出容積 計算値의 正確性을 상대적으로 평가하기 위하여 流出容積의 相對誤差를 계산하였으며, 그 식은 다음과 같다.

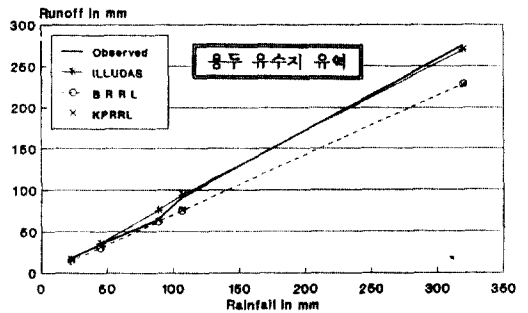
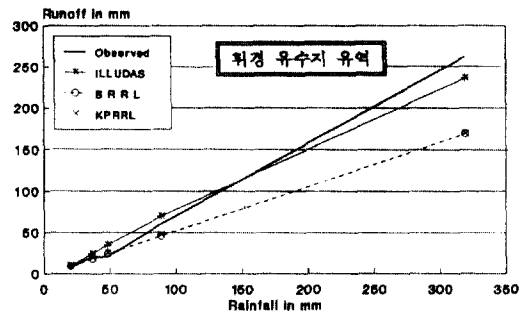


그림 4.1 총강우량에 따른 유출용적 계산치의 비교

$$\epsilon_v = \frac{V_c - V_o}{V_o} \quad (4.1)$$

여기서  $V$ 는 유출용적의 상대오차,  $V_c$ 는 계산 유출용적 그리고  $V_o$ 는 실측 유출용적이다. 또한 각 방법별로 위 식에 의해 계산된 相對誤差의 平均 및 標準偏差를 구하여 그를 기준으로 각 방법별 적용성을 판단하고자 하였다. 각 방법별 相對誤差와 그의 平均 및 標準偏差는 표 4.1에 제시된 바와 같다.

먼저 ILLUDAS模型은 상대오차의 平均치 및 표준편차가 비교적 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 용두 유수지 유역의 경우 BRRL方法과 유역평균 유출계수를 사용한 KPRRL方法에 의한 상대오차의 平均치는 ILLUDAS模型에 의한 平均치에 비해 비교적 큰 값을 보여주고 있다. 한편 휘경 유수지 유역의 경우 BRRL方法 및 KPRRL方法에 의한 상대오차의 平均치는 ILLUDAS模型과 비슷한 값을 보여주고 있으나 오차의 표준편차가 크기 때문에, 휘경 유수지 유역에 있어서도 좋은 결과를 보여주고 있지 못함을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 流出容積을 기준으로 볼

표 4.1 유출용적 추정치의 상대오차

유역	호우별 방법별	90.9.10	91.7.19	91.7.20	91.7.23	91.7.25	평 균	표준편차	
	회	ILLUDAS	-0.069	0.172	0.201	0.203	0.111	0.124	0.114
BRRL		-0.034	-0.176	-0.139	0.177	-0.264	-0.147	0.197	
경	K	(0.529)	-0.333	-0.127	-0.077	0.342	-0.248	-0.089	0.261
		(0.500)	-0.333	-0.176	-0.129	0.241	-0.289	-0.145	0.235
	P	(0.600)	-0.244	-0.011	0.048	0.481	-0.146	0.025	0.279
	R	(0.700)	-0.118	0.154	0.220	0.734	-0.005	0.197	0.328
	R	(0.800)	0.008	0.318	0.397	0.975	0.138	0.367	0.372
	L	(0.900)	-0.134	0.483	0.569	1.228	0.280	0.539	0.421
		(1.000)	0.260	0.648	0.746	1.468	0.423	0.709	0.465
	용	ILLUDAS	0.040	0.024	0.046	0.019	0.171	0.060	0.063
BRRL		-0.172	-0.131	-0.124	-0.100	-0.045	-0.114	0.047	
두	K	(0.721)	-0.166	-0.136	-0.089	0.019	-0.029	-0.080	0.076
		(0.500)	-0.415	-0.394	-0.359	-0.288	-0.317	-0.354	0.053
	P	(0.600)	-0.297	-0.272	-0.233	-0.144	-0.182	0.225	0.063
	R	(0.700)	-0.180	0.150	-0.103	0.000	-0.046	-0.096	0.074
	R	(0.800)	0.063	-0.030	0.023	0.144	0.091	0.033	0.085
	L	(0.900)	0.055	0.092	0.149	0.281	0.228	0.161	0.094
		(1.000)	0.173	0.214	0.279	0.425	0.364	0.291	0.104

때 ILLUDAS 모델은 유역의 크기나 강우의 持續期間에 관계없이 실측치와 잘 부합하나 BRRL 방법 및 KPRRL 방법은 유역의 크기나 강우의 持續期間이 길 경우에는 그 적용에 문제를 가지고 있음을 알 수 있었다.

#### 4.2 尖頭洪水量 分析

각 方法別 推定值의 正確性을 판단코자 尖頭洪水量 推定值의 實測值에 대한 相對誤差( $\epsilon_{Q_p}$ ) 및 方法別 標準誤差( $\sigma_{SE}$ )를 구하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$\epsilon_{Q_p} = \frac{Q_{pc} - Q_{po}}{Q_{po}} \quad (4.2)$$

위 식에서  $Q_{pc}$ 는 계산된 尖頭洪水量,  $Q_{po}$ 는 實測 尖頭洪水量이다. 첨두홍수량 추정치의 상대오차와 상대오차의 平均 및 標準偏差를 표 4.2에 제시하였다.

여기서 KPRRL 방법은 유출계수의 값을 유역평균 유출계수로 설정하여 적용한 결과만을 수록하였다. 過去의 實績豪雨는 設計降雨와는 달리 강우의 지속 기간이 매우 길고 또한 강우가 斷續的으로 발생하는 것이 대부분이므로, 본 연구에서는 이를 複合豪雨로 보고, 한 豪雨事象에서 다수의 첨두홍수량 값을 抽出하여 분석에 사용하였다.

표 4.2에서 첨두홍수량 추정치의 상대오차를 기



준으로 볼 때, ILLUDAS模型이 평균 및 표준편차 값이 가장 작으며, BRRL方法과 KPRRL方法 역시 비교적 작은 오차를 보여 줌을 볼 수 있다. 한편 合理式의 경우는 상대오차의 평균치는 매우 작으나 표준편차의 값은 큰 것을 알 수 있다. 즉, ILLUDAS模型에 의한 결과가 실측 침투홍수량과 가장 근접한 값을 보여주고 있으며, 合理式과 BRRL방법 그리고 KPRRL방법에 의한 침투홍수량의 추정치도 대체로 실측치와 근접하고 있음을 알 수 있다.

### 4.3 水文曲線의 모양 分析

각 方法別로 계산된 流出水文曲線이 實測 流出水文曲線과 얼마나 잘 부합하는가를 판단하기 위해 실측유출량에 대한 계산된 유출량의 平均自乘誤差(RMS)를 구하였으며 그 식은 다음과 같다(Yen, 1981).

$$\epsilon_{RMS} = \frac{t_d}{V_m} \sqrt{\frac{1}{t_d} \int_0^{t_d} (Q_c - Q_o)^2 dt} \quad (4.4)$$

위 식에서  $V_m$ 은 實測 水文曲線의 總 流出容積( $m^3$ ),  $Q_o$ 는 實測 流出量( $m^3/sec$ ),  $Q_c$ 는 流出量 計算值( $m^3/sec$ ), 그리고  $t_d$ 는 流出 繼續期間(min)이다. RMS는 實測 水文曲線의 縱距값에 대한 計算 水文曲線의 縱距값의 偏差合의 比를 표시하는 것으로 流出量의 시간적 변화특성을 나타내는 지표로 사용될 수 있다. 이 식에 의해 계산된  $\epsilon_{RMS}$ 는 표 4.3에 제시된 바와 같으며, 대체로 ILLUDAS模型, BRRL方法 그리고 KPRRL方法의 순으로 수문곡선의 형

표 4.3 각 방법별 수문곡선의 평균지승오차 비교

유역	방법별 호우사상별	ILLUDAS	BRRL	KPRRL
		90.9.10	0.474	0.549
휘	91.7.19	0.340	0.585	0.585
	91.7.20	0.389	0.488	0.516
	91.7.23	0.430	0.536	0.710
경	91.7.25	0.366	0.714	0.679
	평 균	0.400	0.574	0.607
용	90.7.18	0.531	0.985	0.892
	90.9.10	0.397	0.515	0.497
	91.7.19	0.245	0.562	0.378
두	91.7.20	0.207	0.484	0.381
	91.7.25	0.372	0.456	0.386
	평 균	0.350	0.600	0.507

태가 실측치와 부합하는 것을 알 수 있다. 특히 ILLUDAS模型에 의한 결과가 실측 수문곡선과 상당히 일치하는 것을 볼 수 있으며 豪雨의 持續期間이나 總降雨量의 크기에 관계없이 전체적으로 작은 값을 보여주고 있음을 볼 수 있다.

### 4.4 適正 都市 流出模型의 選定

표 4.4 각 방법별 적용결과 종합 비교

기준치별		방법별	합리식	ILLUDAS	BRRL	KPRRL
$\epsilon_{Qp}$	평 균		0.083	0.131	0.149	0.186
	표준편차		0.265	0.173	0.249	0.288
$\epsilon_v$	평 균		.	0.092	-0.131	0.085
	표준편차		.	0.087	0.135	0.181
$\epsilon_{RMS}$	평 균		.	0.375	0.587	0.557
	표준편차		.	0.097	0.157	0.166

준으로 볼 때, ILLUDAS 모델이 평균 및 표준편차 값이 가장 작으며, BRRL 방법과 KPRRL 방법 역시 비교적 작은 오차를 보여 줌을 볼 수 있다. 한편 합리식의 경우는 상대오차의 평균치는 매우 작으나 표준편차의 값은 큰 것을 알 수 있다. 즉, ILLUDAS 모델에 의한 결과가 실측 침투홍수량과 가장 근접한 값을 보여주고 있으며, 합리식과 BRRL 방법 그리고 KPRRL 방법에 의한 침투홍수량의 추정치도 대체로 실측치와 근접하고 있음을 알 수 있다.

### 4.3 水文曲線の 모양 分析

각 方法別로 계산된 流出水文曲線이 實測 流出水文曲線과 얼마나 잘 부합하는가를 판단하기 위해 실측유출량에 대한 계산된 유출량의 平均自乘誤差(RMS)를 구하였으며 그 식은 다음과 같다(Yen, 1981).

$$\epsilon_{RMS} = \frac{t_d}{V_m} \sqrt{\frac{1}{t_d} \int_0^{t_d} (Q_c - Q_o)^2 dt} \quad (4.4)$$

위 식에서  $V_m$ 은 實測 水文曲線の 總 流出容積 ( $m^3$ ),  $Q_o$ 는 實測 流出量( $m^3/sec$ ),  $Q_c$ 는 流出量 計算值 ( $m^3/sec$ ), 그리고  $t_d$ 는 流出 繼續期間(min)이다. RMS는 實測 水文曲線の 縱距값에 대한 計算 水文曲線の 縱距값의 偏差合의 比를 표시하는 것으로 流出量의 時間적 變化특성을 나타내는 지표로 사용될 수 있다. 이 식에 의해 계산된  $\epsilon_{RMS}$ 는 표 4.3에 제시된 바와 같으며, 대체로 ILLUDAS 모델, BRRL 방법 그리고 KPRRL 방법의 순으로 수문곡선의 형

표 4.3 각 방법별 수문곡선의 평균지승오차 비교

유역	방법별	ILLUDAS	BRRL	KPRRL
	호우사상별			
위	90.9.10	0.474	0.549	0.543
	91.7.19	0.340	0.585	0.585
	91.7.20	0.389	0.488	0.516
	91.7.23	0.430	0.536	0.710
	91.7.25	0.366	0.714	0.679
	평균	0.400	0.574	0.607
용	90.7.18	0.531	0.985	0.892
	90.9.10	0.397	0.515	0.497
	91.7.19	0.245	0.562	0.378
	91.7.20	0.207	0.484	0.381
두	91.7.25	0.372	0.456	0.386
	평균	0.350	0.600	0.507

태가 실측치와 부합하는 것을 알 수 있다. 특히 ILLUDAS 모델에 의한 결과가 실측 수문곡선과 상당히 일치하는 것을 볼 수 있으며 豪雨의 持續期間이나 總降雨量의 크기에 관계없이 전체적으로 작은 값을 보여주고 있음을 볼 수 있다.

### 4.4 適正 都市 流出模型의 選定

표 4.4 각 방법별 적용결과의 종합 비교

기준치별		방법별	합리식	ILLUDAS	BRRL	KPRRL
$E_{qp}$	평균		0.083	0.131	0.149	0.186
	표준편차		0.265	0.173	0.249	0.288
$\epsilon_v$	평균		.	0.092	-0.131	0.085
	표준편차		.	0.087	0.135	0.181
$\epsilon_{RMS}$	평균		.	0.375	0.587	0.557
	표준편차		.	0.097	0.157	0.166

본 연구에서는 각 방법별 適用性을 總括적으로 살펴보기 위하여, 2개 대상유역의 총 10개 호우사상에 대하여 流出容積과 尖頭洪水量 推定値의 相對誤差 및 水文曲線의 平均自乘誤差의 平均과 標準偏差를 다음의 식 (4.4)와 식 (4.5)에 의해 구하였으며 그 값은 표 4.4에 제시된 바와 같다.(Yen, 1981)

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (4.5)$$

$$\sigma_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{(n-1)}} \quad (4.6)$$

여기서 n은 대상 호우사상의 수로서 n=10이다. 표 4.4에서 알 수 있듯이, ILLUDAS模型에 의한 결과가 尖頭洪水量, 流出容積 및 水文曲線의 形態 등의 기준에 있어서 가장 좋은 결과를 보여 주므로 본 연구에서 적용한 모형중 가장 우수함을 알 수 있다. BRRL方法과 KPRRL方法은 대체로 비슷한 결과를 보여 주고 있으나, 尖頭洪水量에 있어서는 BRRL方法에 의한 결과가 실측치에 더 접근하는 것을 볼 수 있다. 合理式에 의한 尖頭洪水量 推定値도 실측치와 큰 오차를 보여주고 있지는 않음을 알 수 있다.

以上の 考察을 토대로 본 연구에서는 ILLUDAS模型을 國內의 都市流域에 適正한 模型으로 선정하였으며, 특히 유량의 측정등에 의해 雨水管渠의 最大流量을 알고 있을 경우 그 값을 制限條件으로 入力하여 적용한다면 매우 좋은 결과를 줄 수 있을 것이다.

## 5. 結 論

本 研究에서는 都市 排水流域으로부터의 洪水 流出量 算定을 목적으로 開發된 기존의 各種 都市流出模型을 고찰하고, 기존의 호우사상을 그대로 적용하여 홍수량을 산정하여 그를 실측치와 비교함으로써 각 방법의 적용성을 판단하였으며, 그 결과 國內의 都市流域에 적절히 적용할 수 있는 適正 都市流出模型으로 ILLUDAS模型을 추천하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 휘경 및 용두 유수지유역을 대상유역으로 하여

유수지의 내외 수위 및 펌프토출량 자료로부터 실제 유출량을 계산하였는 바, 정확하지는 못하나 개략적인 도시유역의 유출량을 구할 수 있었다.

2) 대상유역의 총 10개의 과거 호우에 대해 合理式, BRRL方法, KPRRL方法 그리고 ILLUDAS模型의 4가지 방법을 적용하여 실측치와 비교하였으며, 그 기준으로는 침투홍수량, 총 유출용적 그리고 수문곡선의 모양을 사용하였다.

3) 合理式, BRRL方法 및 KPRRL方法의 경우 尖頭洪水量 推定値는 實測値에 어느 정도 근접하는 값을 가지나, 流出容積 및 水文曲線의 모양은 實測値와 큰 차이를 보여 주었다.

4) ILLUDAS모형은 침투홍수량 및 유출용적 그리고 수문곡선의 모양등 모든 면에서 가장 좋은 결과를 보여 주었으므로 國內의 도시유역에 적절히 적용할 수 있는 모형으로 판단되었으며, 특히 관거의 최대허용유량을 지정할 경우 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

## 謝 辭

本 研究는 한국科學財團의 目的基礎研究인 '都市洪水 災害防止를 위한 內水處理 시스템 分析 및 設計技法의 開發'의 일부이며, 本 研究의 研究費를 支援해 준 한국科學財團에 感謝를 드립니다.

## 參 考 文 獻

1. 서울특별시, '87 수해백서 보고서, 한국수문학회 수행, 1988.
2. 윤용남, 공업수문학, 청문각, 1985.
3. 윤용남, 원석연, 도시유역의 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. Mulvaney, T.J., On the Use of Self Registering Rain and Flood Gauges in Making Observations on the Relation of Rainfall and of Flood Discharges in a Given Catchment, Transaction, Institute of Civil Engineering, Ireland 4(2), 18, 1850.
6. Stall, J.B. and Terstriep, M.L., Storm Sewer De-

- sign-An Evaluation of the RRL method, EPA Technology Series, EPA-R2-72-068, 1972.
7. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS, Illinois State Water Survey, Bull. 58, 1974.
  8. Viessman, W., Knapp, J.W and Lewis, G.L., *Introduction to Hydrology*, 2nd Ed., IEP, 1977.
  9. Welsh, S.G., *Urban Surface Water Management*, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
  10. Watkins, L.H., The Design of Urban Sewer Systems, British Road Research Laboratory Technical Paper 55, 1962.
  11. Yen, B.C., Some Measures for Evaluation and Comparison of Simulation Models, *2nd International Conference on Urban Storm Drainage*, Urbana, Illinois, 1981.

(接受：1993. 7. 26)