

<論 文>

都市 下水道網의 水文學的인 評價와 設計確率流量의
漸大化 性向에 關한 研究(第1報)

A Study on Hydrologic Analysis and Some Effects of Urbanization
on Design Flow of Urban Storm Drainage Systems (1)

徐 炳 夏*
Beang-Ha Seo

姜 琯 沉**
Kwan-Won Kang

尹 龍 男***
Yong-Nam Yoon

ABSTRACT

The design flow of the urban storm drainage systems has been assessed largely on a basis of empirical relations between rainfall and runoff, and the rational formula has been widely used for the cities in our country. In order to estimate it more accurately, the urban runoff simulation model based on the RRL method has been developed and applied to the sample basin in this study.

The rainfall hyetograph of the design storm for the design flow has been obtained by the determination of the total rainfall and the temporal distributions of that rainfall. The total rainfall has been assessed from the empirical formula of rainfall intensity and the temporal distributions of that rainfall determined on the basis of Huff's method from the historical rainfall data of the basin. The virtual inflow hydrograph to each inlet of the basin has been constructed by computing the series of discharges in each time increment, using design storm hyetograph and time-area diagram. The actual runoff hydrograph at the basin outlet has been computed from the virtual inflow hydrographs by developing a relations between discharge and storage for the watershed.

The discharge data for verification of the simulated runoff hydrograph are not available in the sample basin and so the sensitivity analysis of the simulation model has not been possible. The peak discharge for the design of drainage systems has been estimated from the computed runoff hydrograph at the basin outlet and compared to that obtained from the rational formula.

I. 序 論

우리나라의 年降雨量은 7,8,9월에 거의가 偏在되어 있어 年中行事처럼 해마다 莫大한 洪水被害를 입고 있는 것은 周知의 事實이다. 科學文明의 發達과 産業構造의 變모 및 經濟成長은 人口의 都市集中現象을 나타

내었으며 이는 市街地 地域의 擴大를 招來하여 왔다. 따라서 都市地域의 過密한 人命 및 財産의 洪水에 의한 被害는 날로 激增되어 왔으며 이러한 추세는 漸增될 것으로 判斷된다. 특히 우리나라는 1960年代末부터 활발해진 市街地 近郊의 開發에 따른 排水區域의 特性 變化때문에 都市 排水網의 流出特性이 急變되어 왔다

*仁荷工業專門大學 副教授

**仁荷大學校 教授

***陸軍士官學校 教授

고 判斷된다. 이와같은 都市化에 따른 排水網의 設計 流量의 增大現象은 필연적인 것이며 增大된 確率流量을 基準으로 排水網의 設計가 이루어져야 할뿐만 아니라 新市街地 計劃에 따른 新設 下水道網의 水文學的 設計基準을 設定하는 것은 時急한 問題라고 생각한다.

이러한 觀點에서 볼때 都市의 既存 下水道網이 가지고 있는 現實的인 能力을 判斷함과 동시에 現代의 都市開發相에 부응할 수 있으며, 都市化 程度에 알맞는 設計流量을 算定한다는 것은 大端히 重要하다.

本 研究에서는 이와같은 問題解決에 適用될수 있는 都市에서의 降雨-流出機構特性을 定量的이고 數學的으로 分析한 都市 流出模型(urban runoff model)을 開發하여 都市 小流域에 適用하고 그 結果를 分析하여 都市 排水網의 水文學的 評價 및 設計流量의 都市化에 따른 漸增現象을 解決할 수 있는 方法을 模索하였다.

II. 都市 流出模型

우리 나라에서의 都市 下水管網의 設計는 現在까지 主로 降雨과 流出間의 經驗式에 依存하여 왔다. 가장 널리 使用되어 온 經驗式은 合理式(rational formula)으로서 다음과 같이 표시된다.

$$Q=CIA \quad (1)$$

여기서 Q 는 尖頭流量, 즉 下水管渠의 設計流量이며 C 는 流出係數, A 는 排水區域의 流域面積, I 는 持續期間에 따른 降雨強度로서 再現期間과 關聯을 가지는 값이다. 이 式은 現在까지도 世界各國에서 널리 使用되고 있으며 우리나라에서도 主로 이 公式를 使用하고 있으나, 流出係數 C 의 決定이나 降雨強度 I 의 決定 및 式이 가지는 여러가지 假定(1)때문에 問題點이 많은 것으로 알려져 있다. 특히 都市地域에 있어서의 流出係數값은 市街地 開發이 진척됨에 따라 地表面 狀態가 크게 변경되므로 그 決定이 大端히 어렵다.

都市地域에 있어서의 降雨-流出關係를 좀더 精確하게 해석하여 上記한 合理式보다 正確한 設計基準을 設定하고자 많은 研究가 繼續되어 왔으며 그 例로서는 Hicks [2], Izzard [3], Stanley and Kaufman [4], Tholin and Keifer [5], Kaltenbach [6], Schaake [7], Barnes [8] 및 Eagleson [9] 등의 研究를 들 수 있다. 現今에 와서는 電子計算機의 出現과 더불어 이들의 研究를 應用하여 都市流出現象을 數學的인 模型化하는 試물레이션·모델法이 많이 開發되고 있는 바, 이는 都市地域에서의 流出水가 流域出口에 도달될때까지 各 流路內의 流出水를 追跡合成함으로써 降雨-流出間의 關係를 流域特性에 맞게 模型化 하고자 하는 것들이다. 특히 英國 道路研究所에서 開發한 RRL(Road Research

Laboratory)法[10]은 그 解析節次에 따라서 美國 Illinois 주립大學地域에 適用한 結果 大端히 우수한 方法이라고 평가되었다[11]. 그후 Terstriep and Stall[12]은 RRL法의 適用範圍을 擴建하여 都市 下水管網의 水文學的인 設計基準을 直接 提供할 수 있는 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator)模型을 開發하였다. 前者인 RRL法은 不透水區域만을 對象으로 流出解析을 行한 반면에 ILLUDAS模型은 透水區域도 包含하여 全 排水區域을 對象으로 하고 있다. 이 외에도 많은 都市 流出解析을 爲한 試물레이션·모델이 開發되어 계속적으로 研究되고 있는 바, 대표적인 것을 살펴보면 美國工兵團에서 開發된 STORM[13], 環境保護方(Environmental Protection Agency)의 SWMM(Storm Water Management Model [14], Cincinnati大學의 UC-URM (University of Cincinnati Urban Runoff Model) [15], 및 MIT모델[17]등 20여개에 달하고 있다. 이들 중에서 SWMM모델은 都市排水網이 複雑한 構造를 갖인 排水流域에서 流出量解析은 勿論 水質問題의 解析에도 適用되는 우수한 模型으로서 現在 美國에서 가장 널리 利用되고 있다.

本 研究에서는 前述한 모델中 그 構造가 간단하고 入力資料의 數가 比較的 적게 所要되는 RRL法의 解析節次를 파악하여 우리나라의 都市 流出機構 特性에 맞는 方法을 展開하고 電算프로그램化 함으로서 都市 下水道網의 設計流量의 算定基準을 좀더 正確히 하고 既存 下水道網의 諸般 條件들을 本 模型에 適用하여 水文學的인 能力評價를 할수 있도록 하였다. 또한 都市化 程度에 따른 設計流量의 漸增現象을 豫測하는 目的으로도 本 模型이 適用될 수 있도록 하였다.

III. 都市 流出解析

既往의 降雨記錄資料로부터 設計降雨(design storm)을 決定하고 이에 依한 流入口로의 流入水文曲線을 法에 의해 算定하여 流入水文曲線을 合成한 후 이를 既存 下水道網을 통해 追跡함으로써 主管渠에 내란 尖頭 流量曲線을 얻을 수 있다. 이들 都市流域에서의 降雨 流出關係解析을 爲한 都市 流出模型의 解析節次는 다음과 같다.

1) 排水流域을 地形圖 혹은 航空사진을 使用하여 決定하고 流域의 物理的이며 水理學的인 特性因子를 파악한다. 즉 流域의 地形 및 地相學的인 特性을 調査하고 특히 流域內 不透水區域(imperious area)의 面積流路傾斜, 粗度 및 下水道網의 재원등을 상세히 파악한다.

2) 本 模型의 適用에 必要한 到達時間-流域小面積

關係(time-area relation)는 流水의 到達時間을 降雨強度와 地表面의 傾斜에 따라 計算하여 等時線(isochrone)을 作成함으로써 수립된다. 이 경우 等時線의 時間간격은 流域의 物理的인 特性, 特히 流域內 最上流地點으로부터 流域出口까지의 到達時間에 關係가 있다. 到達時間(travel time)은 다음으로 표시되는 實驗式(2,17)을 利用하여 計算하였다.

$$t_c = \frac{15.12l^{0.323}}{\sigma^{0.61} S^{0.443}} \quad (2)$$

여기서 t_c 는 到達時間(min), l 는 流水의 길이(m), σ 는 降雨強度(mm/hr)이고 S 는 地表面의 平均傾斜(%)이다. 이 식에서 降雨強度 σ 는 再現期間이 54年이고 持續期間이 1時間인 確率降雨強度式[18]을 使用하였다.

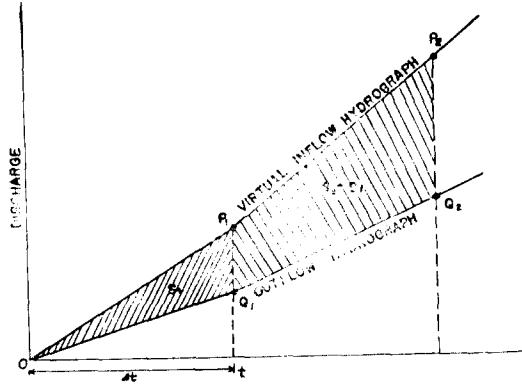
3) 都市 流域에서의 降雨-流出關係 解析을 爲한 排水區域內의 各 流入口에서의 流入水文曲線 作成에는 設計降雨의 柱狀圖가 必要하다. 이 雨量柱狀圖는 確率降雨強度式을 利用하고 總降雨量을 降雨持續期間 및 再現期間別로 算定하여 그 降雨量의 時間分布型을 決定함으로써 얻게된다. 本 研究에서는 Terstriep and Stall [12]에서와 같이 降雨持續期間을 1時間, 再現期間을 5年으로 取하였다. 또한 降雨의 時間分布曲線은 降雨의 過去 記錄資料를 利用, Huff[19]의 方法에 의하여 決定된 結果[20]를 利用하였다. 이 時間分布曲線으로부터 設計降雨의 再量柱狀圖를 作成하였으며 이때의 柱狀圖의 時間間隔은 等時線과 一致시켰다.

4) 各 流入口에서의 假想流入水文曲線(virtual inflow hydrograph)은 前述에서 얻어진 到達時間-流域小面積關係와 設計降雨의 柱狀圖를 使用하여 다음식에 의해 計算하였다.

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= 0 \\ P_1 &= I_1 A_1 \\ P_2 &= I_1 A_2 + I_2 A_1 \\ &\vdots \\ P_n &= I_1 A_n + I_2 A_{n-1} + \dots + I_n A_1 \\ &= \sum_{i=1}^n I_i A_{n+1-i} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

여기서 P_n 은 各 時間에서의 流入量, I_i 는 降雨柱狀圖에서 各 時間別 降雨強度이고 A_n 는 等時線에 의하여 分割된 流域小面積이다.

5) 下水管內 貯溜量追跡을 위한 流量-貯溜量(discharge-storage)關係 수립은 Manning의 流量公式를 利用 比例水深法(proportional depth method)에 依하였다. 이 關係를 利用하여 追跡을 行하면 前述한 假想流入水文曲線으로부터 流出水文曲線을 얻게 된다. 이의 追跡節次는 다음과 같다. 그림 1에서 $OP_1 P_2 \dots P_n$ 을 假想流入水文曲線, $OQ_1 Q_2 \dots Q_n$ 을 流出水文曲線이라 하고 S_{n-1} 및 S_n 을 각각 時間 $(n-1)t$ 와 nt 에서의 管內貯溜



TIME FROM BEGINNING OF RUNOFF
그림 1. 貯溜量追跡技法

量이라고 하면 다음식이 成立한다. 즉

$$\frac{P_1}{2t} = S_1 + \frac{Q_1}{2}t \quad (4)$$

$$\frac{t}{2} (P_1 + P_2 - Q) + S_1 = S_2 + \frac{t}{2} Q_2 \quad (5)$$

$$\frac{t}{2} (P_{n-1} + P_n - Q_{n-1}) + S_{n-1} = S_n + \frac{t}{2} Q_n \quad (6)$$

이들식에서 P_1, P_2, \dots, P_n 및 t 의 값은 前述로부터 既知量이며 좌변의 Q_{n-1} 및 S_{n-1} 은 以前の 追跡段階에서 얻어진 값이므로 流量-貯溜量關係를 利用하면 우변의 Q_1, Q_2, \dots, Q_n 을 얻을 수 있어서 求하고자 하는 流出水文曲線을 算出하게 된다. 排水管路를 따라 追跡할 경우 流入地點에서는 追跡된 流出水文曲線과 그 流入口에서의 假想流入水文曲線을 合成하여 주어야 한다

以上과 같은 解析過程을 各 下水管路의 系統에 따라 最大流 流入口로부터 排水流域의 出口에 이르기까지 流水方向을 考慮하여 流入水文曲線을 追跡하거나 合成함으로써 그 流域에 對한 尖頂流量을 決定할 수 있고 또한 이로부터 그 排水流域內의 下水管網의 設計流量을 設定할 수 있다. 그리고 上述한 處理過程을 既存下水道網에 適用하여 그 結果를 分析함으로써 都市下水道網의 水文學的인 評價가 可能하며 計劃된 都市化에 따른 流域의 流出機構의 特性變化를 豫測하여 그들 入力資料들을 本 都市 流出모형에 適用함으로써 都市化에 따른 設計流量의 漸大化 傾向을 判斷할 수 있다.

IV. 資料處理 및 結果分析

本 研究에서 展開된 都市流出模型의 評價 및 이를 利用한 都市下水道網의 設計流量을 設定할 수 있는 流出水文曲線의 算出結果를 얻어 分析하고자 서울시의 잠실 고밀도 주공아파트 단지를 對象 排水區域으로 하였다. 이 流域에 대한 物理的인 因子들은 1/5,000지형도 및 항공사진을 통하여 수집하였으며 下水道網에 대한 재

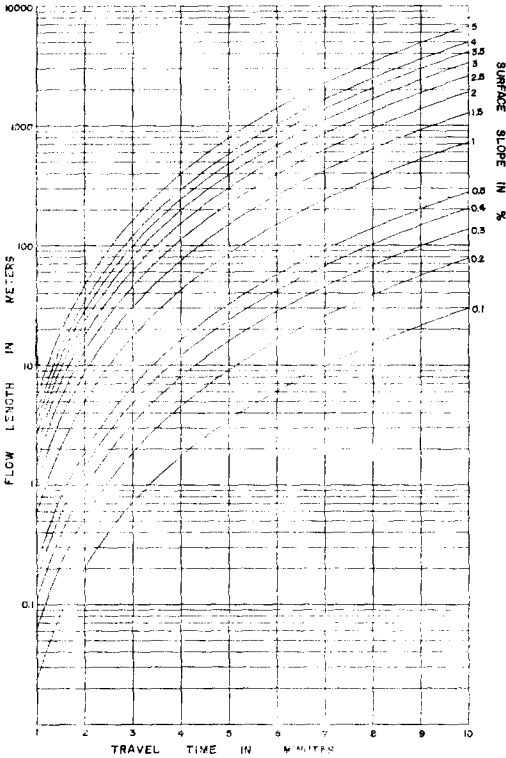


그림 2. 地表面 傾斜에 따른 到達時間-流路길이 關係曲線

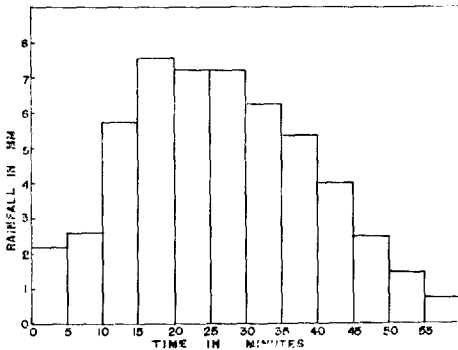


그림 3. 設計雨量의 柱狀圖(서울地方)
持續期間=1時間, 再現期間=5年

원들은 設計排水網圖[21]로 부터 얻을수 있었다. 서울 地方의 確率降雨強度式은 再現期間이 5年일때

$$\sigma = \frac{420}{\sqrt{t} + 0.19} \quad (7)$$

로 주어졌으므로[18], 이를 사용하였다. 等時線을 作成하기 위한 地表面傾斜別 到達時間과 流路길이의 關係曲線은 (2) 및 (7)式을 利用하여 그림 2와 같은 結果를 얻었다. 設計雨量의 總降雨量은 前述한 바와같이 持續期間 $t=60$ 分을 (7)式에 代入하여 52.9mm를 얻었

다. 이를 서울地方의 資料를 利用하여 Huff의 方法에 의해 決定된 降雨의 時間分布型曲線으로 부터 얻어진 設計雨量의 柱狀圖는 그림 3과 같다.

前述한 流域의 排水網을 檢討한 結果, 단지內的 流水가 한곳에 集水되어 排水되지 않고 9個所로 排水되어 道路에 設置된 主管渠로 下水道網이 連結되어 있어 本 研究에서의 流出模型을 全 流域에 適用하는 것이 不可能하므로 그림 4와 같은 排水網을 갖인 小流域을 택하여 對象流域으로 하였다. 流域全體面積은 約 51,650 m^2 이고 이 중 不透水區域面積은 16,200 m^2 로서 全面積의 約 32%를 차지하고 있으며, 草地面積은 35,450 m^2 로서 68%에 達하고 있다. 그러므로 本 研究에서의 對象 流域面積은 不透水區域인 16,200 m^2 이다. 이 流域에 대한 各 流入口에서의 到達時間-流域小面積關係를 等時線에 의하여 排水區域(contributing area)을 分割하고 그 分割된 面積을 求積器로 計算함으로써 수립하였다. 以上の 結果에 RRL法을 適用하여 計算된 各 流入口에서의 假想流入水文曲線은 그림 5~그림 7과 같다.

排水管内 貯溜量追跡을 爲한 流量-貯溜量關係는 圓錐型管内를 물이 部分的으로 흐른 경우의 流量과 時溜量을 Manning公式을 使用하여 求하고 積차시 흐름의 速度

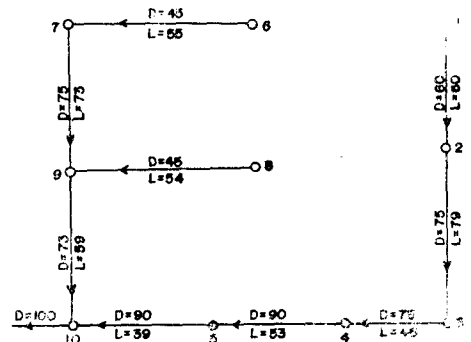


그림 4. 適用된 排水流域의 下水網圖
D=管徑(cm), L=管長(m)

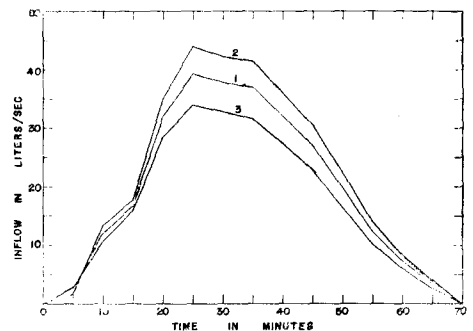


그림 5. 流入口 假想流入水文曲線(1)

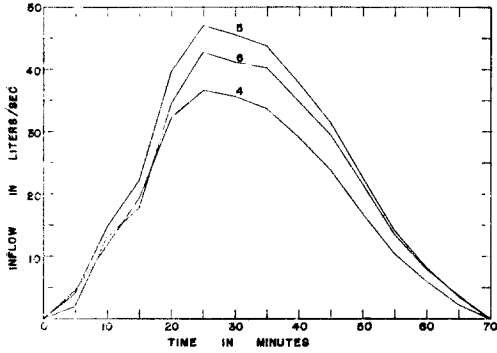


그림 6. 流入口 假想流入水文曲線(2)

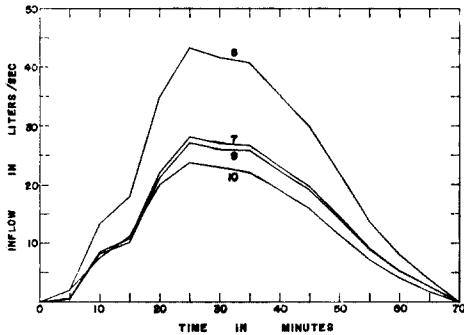


그림 7. 流入口 假想流入水文曲線(3)

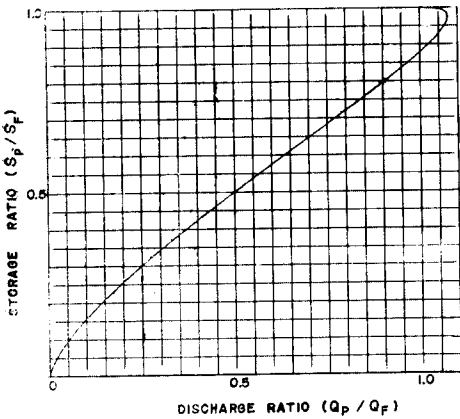


그림 8. 貯溜量追跡을 위한 關係曲線

의 流量과 貯溜量이 對한 比를 計算하여 그림 8과같은 曲線을 얻었다. 그림에서 Q_p/Q_F 와 S_p/S_F 는 각각 流量과 貯溜量의 比를 표시한다. 이 關係曲線과 流入口 間의 排水管의 直徑 및 管의 長이로서 特定된 排水管에 對한 流量-貯溜量關係가 얻어진다. 이 結果와 前述에서 얻어진 假想流入水文曲線을 利用하여 (4), (5) 및 (6)式의 關係를 適用함으로써 求하고자 하는 流域 出口에서의 流出水文曲線이 算定되는바 그 計算節次를 살펴보면 다음과 같다(그림 4 참조).

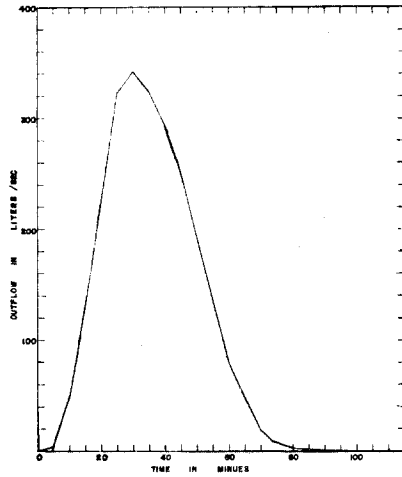


그림 9. 流域出口에서의 流出水文曲線

- 1) 流入口 1~10에서의 假想流入水文曲線을 計算한다.
- 2) 流入口 1의 流入水文曲線을 流入口 2까지 追跡하고 追跡된 水文曲線을 流入口 2의 流入水文曲線과 合成한다.
- 3) 合成된 水文曲線을 다음 流入口까지 追跡하고 追跡된 水文曲線을 그 流入口의 流入水文曲線과 合成한다.
- 4) 이러한 水文曲線의 追跡 및 合成過程을 全 管路의 流水方向에 따라 計算함으로써 流入口 10, 즉 流域 出口에서의 流出水文曲線을 그림 9와 같이 얻게 된다.

以上과 같이 對象流域에 都市流出模型을 適用하여 그 結果를 分析하여 본 結果, 다음과 같은 事實을 알 수 있었다.

- 1) 前述한 바와 같이 本 研究에서 擇한 對象流域이 한곳으로 集水되어 排水되지 않도록 排水網이 構成되어 있는 點에서 都市下水道網設計時 좀더 水文學的이고 水理學的인 理論을 根據로 하여 排水區域을 體系的으로 設定하고 機能的인 排水網이 構成되도록 하는 것이 무엇보다도 必要하다고 判斷된다.
- 2) 假想流入水文曲線의 尖頭流量 發生時間과 流出水文曲線의 그것과의 差는 等時線에 依하여 分割된 小流域의 數와 크기에 따라 다르게 나타남을 보여 주었다. 이는 本 研究에서의 流出模型이 排水流域의 特性을 적절하게 표시하는 것으로 判斷되며 이러한 點에서 合理式보다 우수하다고 평가할 수 있다.
- 3) 對象排水流域의 尖頭流出量을 計算結果 341.827 /sec로 算定되었다. 이것을 (1)式으로 표시되는 合理式에 代入하여 流出係數를 計算하니 平均流出係數의

값[22]보다 큰 값을 얻었다. 이는 本 研究에서 降雨量의 損失量을 無視한 結果라고 判斷된다.

4) 本 研究에서 使用한 서울地方의 降雨量의 時間分布曲線은 都市流出解析을 爲한 씨물레이션·모델에 有用하게 利用될 수 있음을 보여 주었다.

V. 結 論

本 研究에서 展開된 都市流出模型을 서울地方의 各 街區 아파트단지의 排水流域에 適用해본 結果, 다음과같은 結論을 얻었다.

1) RRL法을 應用한 都市流出模型은 우리나라와 마찬가지로 水文觀測資料가 貧困한 都市地域의 流出解析에 適合한 方法이다.

2) 都市流出模型의 解析節次에서 排水流域內 不透水區域의 占有率이 커지면 各 流入口에서의 排水區域面積이 增大하므로 流域出口에서의 尖頭流量이 커진다는 것을 알수있다. 그러므로 都市 下水道網의 設計流量의 算定基準을 都市化 程度에 따라 變化시켜야 할 必要가 있으며 이를 爲하여 本 研究에서 開發된 流出模型이 有用하게 使用되리라고 判斷된다.

3) 本 研究에서 開發된 都市流出模型을 實際流域에 適用하여 現存의 下水道網의 流水 疏通能力 評價를 할 計劃이었으나 排水網에 對한 正確한 資料 및 實測流量 資料의 결핍으로 인하여 試圖하지 못하였다. 이를 爲하여는 都市 流量觀測網의 構成이 時急하다 하겠다.

4) 最近에 많이 開發되고 있는 都市 流出模型의 效率의 適用을 爲하여는 入力資料인 降雨量의 統計的인 處理에 依한 時間分布型이 各 地域別로 決定되어야 하며 特히 設計雨量의 算定基準에 좀더 많은 研究가 있어야 하겠다.

끝으로 本 研究를 爲하여 研究費를 支給하여 준 峨山社會福祉事業財團에 감사드리고 研究進行中 수고 해 준 仁荷大學校 電子計算所 要員에게 사의를 표한다.

參 考 文 獻

1. Schaake, J.C., Jr., Geyer, J.C. and Knapp, J.W. (1964) : Runoff coefficients in the Rational method, *Technical Report No. 1*, Storm Drainage Research Project, The Johns Hopkins University Baltimore.
2. Hicks, W.T. (1944) : A method of computing urban runoff, *Transactions*, ASCE, Journal of Hydraulic Division, No HY4, Vol. 109, pp.1217~1253
3. Izzard, C.F. (1946) : Hydraulics of runoff from

- developed surfaces, *Proceedings, 26th Annual Meeting*, Highway Research Board, Vol. 26, pp. 129~146
4. Stanley, W.E. and Kaufman, W.J. (1953) : Sewer Capacity design practice, *Journal of Boston Society of Civil Engineers*, p.312
5. Tholin, A.L. and Keifer, C.J. (1960) : The hydrology of urban runoff, *Transaction, ASCE*, Vol. 125, Part 1, pp.1308~1379
6. Kaltenbach, A.B. (1963) : Storm sewer design by the inlet method, *Public Works*, Jan.
7. Schaake, J.C., Jr. (1965) : Synthesis of the inlet hydrograph, *Technical Report No. 3*, Storm Drainage Research Project, The Johns Hopkins Univ.
8. Barnes, A.H. (1967) : Comparison of computed and observed flood routing in a circular section, *Proceedings of International Hydrology Symposium*, Vol. 1, Fort Collins, Colorado
9. Eagleson, P.S. (1962) : Unit hydrograph characteristics for sewer areas, *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 88, No. HY2, pp.1~25
10. Watkins, L.H. (1962) : The design of urban sewer systems, *Road Research Technical Paper*, No. 55, Dept. of Scientific and Industrial Research, London
11. Terstriep, M.L. and Stall, J.B. (1969) : Urban runoff by the road research laboratory method, *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 95, No. HY6, pp.1809~1834
12. Terstriep, M.L. and Stall, J.B. (1974) : The Illinois urban drainage area simulator, Illinois State Water Survey, Urbana, Illinois
13. U.S. Army Corps of Engineers (1974) : Urban storm water runoff-STORM, Computer Program 723-58-L2520, The Hydrologic Engineering Center, Corps of Engineers, Davis, Calif.
14. Metcalf and Eddy, et al (1971) : *Storm Water Management Model-SWMM*, Vol. 1, Environmental Protection Agency
15. Dorsch-Consult. (1973) : Pollution of receiving water bodies from combined and storm sewer systems, Dorsch-Consult., Ltd. Toronto, Canada
16. Harley, B.M., et al (1970) : A modulator distrib-

- ution of catchment dynamics, *MIT Report*, No. 133
17. Jens, S.W. and McPherson, M.B. (1964) : Hydrology of urban areas, Section 20, in *Handbook of Applied Hydrology*, edited by V.T. Chow
 18. 李元煥(1980) : 都市河川 및 下水道 改修計劃上의 計劃 降雨量 設定에 關한 推計學的 解析, 대한토목학회지 28-4, pp.81~94
 19. Huff, F.A. (1967) : Time distribution of rainfall in heavy storm, *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp.1007~1019
 20. 朴贊寧, 徐煥夏, 尹龍男, 姜炤沅(1981) : 小流域의 設計流量算定을 爲한 降雨形狀分析에 關한 研究, 한국수문학회지, 14-4
 21. 大韓住宅公社(1977) : 잠실고밀도아파트대지조성공사 배수 평면도
 22. 尹龍男(1980) : 水文學, p.180