

都市地域内 開發行爲에 따른 流出 變化量의 算定

A Study on the Estimation of Runoff Variation due to Urban Land Use

沈 在 鉉

(韓國地方行政研究院 責任研究員)

<目 次>

I. 序 論

II. 適用 流出模型의 概要

III. 都市流域 水文資料

IV. 流出量의 算定

V. 結 論

ABSTRACT

As more and more urban land areas are covered with buildings and roads, impervious surface of urban area increased rapidly. Hence, the time required to reach peak flow after the beginning of rainfall reduced significantly, and runoff volume increased. This change in urban hydrologic system aggravate the risk of flood in urban lower land region. In addition, uncontrolled land development activities in the upper stream area affect the peak stage of whole lower stream area, there must be some measure to reduce the flood risk.

In this paper, ILLUDAS model was used to estimate flood risk change with land development activities in the upper region. To run rainfall-runoff simulation model, hydrological data of Yongsan 4 and Sungnae 2 districts were employed for the urbanization ratio range from 70% to 95%. The estimated results show that increased runoff volume due to urbanization is 116.88~133.33 ton per hectare, and the existing sewer system's overload are getting worse. Therefore, it is necessary to introduce new regulation for indiscreetional land development activities.

I. 序 論

우리나라는 年平均 降雨量의 70%가 여름철에 집중되는 자연현상으로 인해 해마다 크고 작은 홍수피해를 입고 있다. 이러한 自然的 災害要因 이외에도 人爲的인 災害要因이 계속해서 증가하고 있는 데, 이중 가장 심각하게 대두되고 있는 것이 産業化와 都市化 現象으로 인한 각종 개발사업이라 할 수 있다. 1960년대 이후 지속적으로 推進되어 온 成長과 開發爲主의 政策은 都市로의 人口集中을 誘發시켜 宅地不足現象이 발생하게 되고, 이에 따라 주택, 건물 등을 河川沿邊의 低地帶에까지 건축하고 있다. 또한 점차 自然綠地의 비율은 감소되고, 주택, 건물들과 같은 人工構造物이 해마다 증가하고 있는 추세에 있다. 도시화 현상에 따른 개발행위는 水文學的으로 不透水性 面積의 增加, 洪水到達時間의 短縮 및 尖頭流量의 增加와 같은 현상을 유발시켜, 降水事象에 있어 環境變化에 따른 降雨強度의 增大라는 현상과 함께 治水防災面에서 해마다 상황을 惡化시키고 있는 실정이다. 이러한 洪水誘發 危險性은 최근 들어 이루어지고 있는 대규모 택지, 공단 및 도로사업으로 인해 갈수록 심각해 지고 있으며, 해당지역은 수도 서울을 비롯한 전국 대부분 지역에 달하고 있다.¹⁾

정부에서는 洪水豫防, 災害救護 및 事後對策 등 여러가지 사업을 실시하여 홍수피해를 줄이고자 노력하고 있으나, 계속되는 개발행위로 인해 유발되는 流出增加量에 대한 근본적인 대책이 없이는 水防行政이 불가능한 시점에 이르렀다고 파악된다. 따라서 앞으로도 계속 도시내의 개발행위가 洪水誘發의 危險性에 미치는 程度를 최소화하여 개발행위에 따른 流出量의 增加를 抑制하기 위해서는 새로운 洪水對策 導入이 절실하게 필요한 상황이다.²⁾ 새로운 홍수대책에는 洪水危險性을 최소화하는 規制方案이 필요하며, 이를 위해서는 개발사업이 流域治水對策에 미치는 영향에 대한 量的 算定技法이 포함되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 都市地域内에서 이루어지는 새로운 開發行爲에 의해 流出量이 增加하는 程度를 算定하고, 水文學的인 流域區分을 통해 上流, 中流 및 下流地域의 開發行爲가 流域의 流出事象에 미치는 程度를 降雨-流出模型을 통해 究明하고자 한다. 본 연구에서 사용한 강우-유출모형은 都市流出模型中 가장 적절한 모형으로 알려져 있는 ILLUDAS 모형이며, 대상유역은 서울특별시 관내 61개 소유역중 근래들어 많은 浸水被害를 입은 바 있는 성내 2지구와 都心内 低地帶가 많은 지역중의 하나인 용산 4지구의 2개 유역을 선정하였다.

1) 서울특별시, 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서, pp. 37~97, 1991.

2) 건설부, 방재종합대책 중장기 계획조사 보고서, 1988. 12.

II. 適用 流出模型의 概要

ILLUDAS (Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형은³⁾ 1974년 Terstriep과 Stall에 의해 처음 개발되어, 1984, 1986년에 수정된 都市流出模型으로서, RRL(British Road Research Laboratory) 모형을 개선한 것이다.⁴⁾ ILLUDAS 모형은 RRL 모형에서 제외되었던 間接連結 鋪裝地域에서의 流出量을 고려하여, 전체유역을 直接連結 鋪裝地域, 間接連結 鋪裝地域, 透水地域 및 流出에 기여하지 않는 流域 등의 4가지 지역으로 구분하여 유출량을 추정하는 模型이다. 전체 유역은 여러 개의 小流域으로 구분하며, 구분은 下水管渠를 설치하고자 하는 지점 또는 주요 幹線管渠의 合流地點을 기준으로 한다. 소유역마다 鋪裝面積과 透水面積의 流出量을 計算, 合成하여 小流域別 流出水文曲線(hydrograph)을 구하고, 이를 管路를 통하여 追跡, 合成하여 流域 最下端部에서 總流出水文曲線을 구하게 된다.⁵⁾ <圖 1>은 ILLUDAS 모형의 계산흐름도를 나타낸 것이다.⁶⁾

ILLUDAS 모형에서는 透水性 地域에서의 到達時間은 Izzard의 식을 사용하였고, 浸透效果에 대해서는 Horton의 식을 사용하였으며, 浸透能 曲線은 美土質保存局(SCS)의 A, B, C, D의 土壤粒子 그룹에 따라 Newton-Raphson법을 사용하여 구하였다. 그리고 土壤粒子의 先行濕潤狀態(AMC)를 該當 降雨의 발생 5일전의 降雨量의 크기에 따라 4가지로 구분하여 사용하였다. 이 모형은 프로그램내에 設計方式(design mode)과 評價方式(evaluation mode)이 內藏되어 있어 새로운 排水施設의 設計時 적절한 排水管渠의 容量을 算出할 수 있을 뿐만 아니라 既存의 排水施設의 洪水 疏通能力을 검토할 수 있는 장점이 있다. 敏感度分析에서 나타나는 ILLUDAS 모형의 특징은 다음과 같다.⁷⁾

- 1) 土壤 종류의 再現期間에 대하여 토양입자 그룹과 선행습윤상태를 변화시켜도 洪水의 到達時間은 변화가 없다.
- 2) 土壤粒子 그룹과 先行濕潤狀態에 대한 敏感度는 거의 類似하다.

3) Terstriep, M.L. and Stall, J. B., *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS* State Water Survey Division, Urbana Champaign, p.188, 1974.

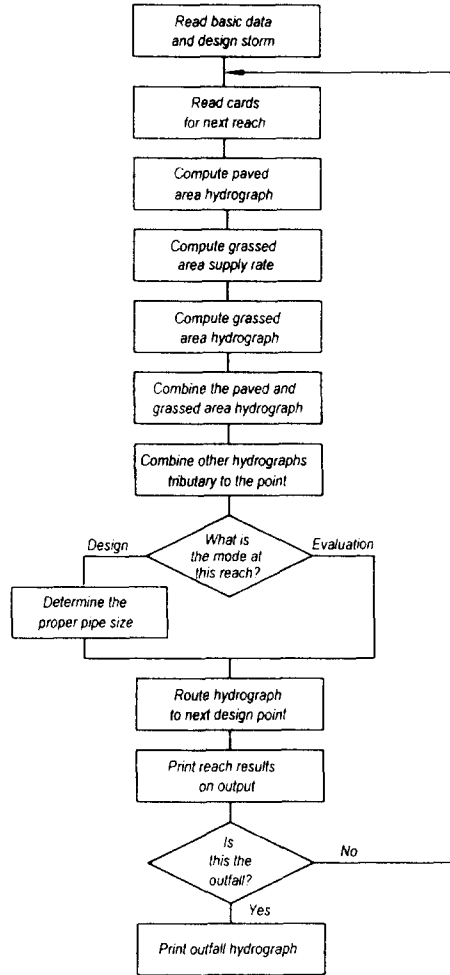
4) Watkins, L. H., "The Design of Urban Sewer Systems", *Road Research Technical Paper* No. 55, Department of Scientific and Industrial Research, London : Her Majesty's Stationery Office, 1962.

5) 서울특별시, 한국수문학회, '87 수해백서 보고서, pp.409~525, 1988.

6) 원석연, "유역 및 하도 홍수추적방법을 결합시킨 도시하천의 유출해석 모형", 고려대학교 토목환경공학과 박사학위논문, pp.70~75, 1993. 6.

7) 심재현, "유수지 배수펌프장의 적정운용을 위한 퍼지제어모형에 관한 연구", 연세대학교 토목공학과 박사학위논문, pp.43~68, 1992. 12.

〈圖 1〉 ILLUDAS 모형의 계산흐름도



- 3) 여러 종류의 再現期間에 대하여 토양입자 그룹과 선행습윤상태를 변화시켜도 洪水의 到達時間은 변화가 없다.
- 4) 資料 入力時 降雨의 時間間隔을 5분보다 크게 하면 尖頭流量이 급격하게 감소하는 경향이 있으며, 10분보다 큰 경우에는 下水管渠의 容量이 급격하게 감소한다.
- 5) 자료의 입력 시간간격은 鋪裝地域에서 流出量이 管渠로 流入되는 시간을 초과하지 않아야 한다.

Ⅲ. 都市流域 水文資料

1. 設計降雨量의 算定

流出現象을 究明하기 위해 가장 우선되어야 하는 자료는 강우량이며, 設計頻度 (design frequency) 内에 해당지역에 강우량이 어느 정도 발생할 것인가를 파악하기 위해서는 既往의 資料로부터 統計解析을 통해 얻는 確率降雨量 (probabilistic rainfall)의 技法이 가장 적절한 방법으로 알려져 있다.⁸⁾ 都市流域 排水施設의 設計基準은 計劃降雨를 기준으로 정하게 되며, 현재 内排水 處理 施設物의 設計는 再現期間에 따른 設計降雨量에 의하여 이루어 지고 있는데, 都市内 水工構造物은 보통 5~20년 정도의 설계강우량을 사용하고 있다. 그러나 新設되거나 補強되는 구조물의 경우에는 도시화의 진전에 맞추어 設計降雨量의 再現期間을 上向調整하는 경향이 있다. 이는 종래의 수공구조물의 설계에서는 耐用年限만을 고려했지만, 점차 耐用年限에 安全率의 개념을 더하여 設計頻度를 취해야 한다는 면에서 볼때 매우 바람직한 현상이라 생각된다.

본 연구에서는 既存의 設計基準과 設計頻度가 上向調整될 경우를 고려하여 設計降雨量을 10년, 30년, 50년의 3가지로 선정하였다. 또한 각 再現期間에 해당하는 確率降雨量을 구하기 위하여 1954~1990년 까지의 37년 동안의 서울지방 매년 최대값 降雨系列로부터 얻어진 確率降雨強度式을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 확률강우강도식은 <表 1> 과 같다.⁹⁾

<表 1> 서울地方의 再現期間別 確率降雨強度式

再現期間 (年)	10	30	50	備 考	
頻度係數					
c	595.5	708.7	757.9	$I = \frac{c}{T^{e+f}}$	I : 降雨強度 (mm/hr)
e	0.5	0.5	0.5		T : 降雨持續時間 (min)
f	0.693	0.449	0.340		c, e, f : 頻度係數

8) 이원환, "한강 홍수특성을 고려한 내배수 처리기법", 대한토목학회 논문집, 제11권 제1호, pp. 99~108, 1991.

9) 심재현, 前掲 論文, 1992. 12.

2. 降雨의 時間的 分布

都市 水文解析에서는 120분의 持續時間을 갖는 豪雨事象을 기준으로 하는 것이 일반적이며, 현재 설치, 가동되고 있는 서울특별시 管内 内排水 處理施設 모두가 持續時間 120분의 設計降雨에 의하여 계획되어 있어 강우의 지속시간을 120분으로 고정하였다. 또한 결정된 강우지속시간내에 설계강우량을 분포시키는 기법으로는, 過去の 降雨事象의 統計的 特性값을 고려하는 Huff의 4分位法(Huff's quartile method)과 降雨가 瞬間的으로 急變하는 事象을 나타낼 수 있는 瞬間降雨強度法(instantaneous intensity method)을 選定하여 5분 간격으로 設計降雨量을 분포시켰다. 서울지방의 과거 자료를 해석하여 대표적인 降雨事象의 尖頭位置를 把握한 결과, 전체 降雨持續期間을 1이라는 기준으로 정했을 경우 서울지방 강우의 代表 尖頭位置는 0.46으로 나타났다.¹⁰⁾ 따라서 Huff의 4分位法에서는 제2분위를, 瞬間降雨強度法에서는 尖頭位置를 임의로 選定할 수 있기 때문에 0.46을 채택하여 서울지방의 代表 降雨特性으로 選定하였다.

가. 瞬間降雨強度法

瞬間降雨強度法은 강우지속시간내에 임의의 尖頭位置를 假定하여 강우를 시간적으로 분포시키는 數學的인 技法으로 該當流域의 過去 降雨特性은 降雨強度式에 의해서만 고려한다.¹¹⁾

〈圖 2〉와 같은 降雨波形에서 尖頭時刻 以前의 시간 t_a 와 尖頭時刻 以後의 시간 t_b 는 降雨持續期間 T_d 와 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$T_d = t_a + t_b \quad (1)$$

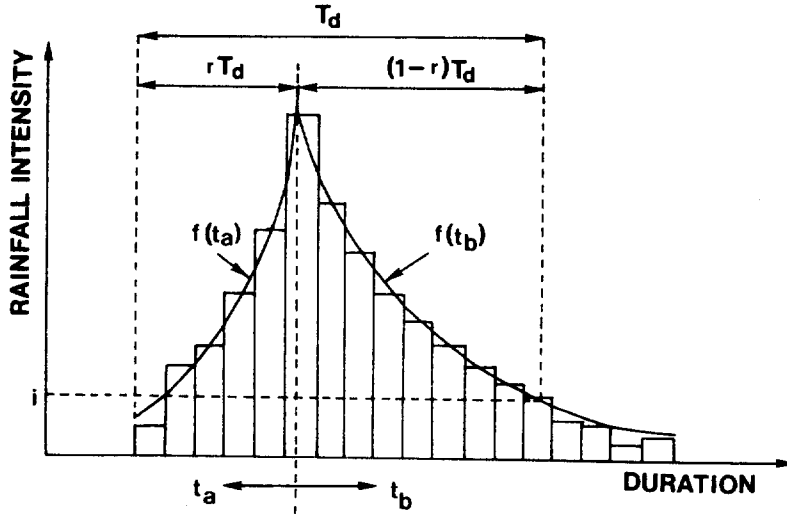
降雨始作時刻에서 尖頭降雨發生時刻까지의 시간 t_a 와 降雨持續期間 t_d 의 비 r 을 降雨進行係數(storm advancement coefficient)라 하며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$T_d = \frac{t_a}{r} = \frac{t_b}{1-r} \quad (2)$$

10) 한국건설기술연구원, 지역별 계획강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원 연구보고서, 건기연 89-WR-111, pp.103~108, 1989.

11) Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, pp.467~470, 1988.

〈圖 2〉 降雨波形的 概念的 形狀



t_a 와 t_b 로 나타내어 지는 두 구간에서의 降雨強度를 각각 i_a , i_b 라 할 때 〈圖 2〉에서와 같이 $f(t_a)$, $f(t_b)$ 로 대치할 수 있고, 이에 따라 總降雨量 R 은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$R = \int_0^{rT_d} f(t_a) dt_a + \int_0^{(1-r)T_d} f(t_b) dt_b \quad (3)$$

T_d 의 임의의 시각에서 $f(t_a) = f(t_b)$ 이므로 다음의 식이 성립된다.

$$\frac{dR}{dT_d} = f(t_a) = f(t_b) \quad (4)$$

또한 全 降雨持續期間의 平均降雨強度를 i_{ave} 라 하면 $R = i_{ave} \cdot T_d$ 가 된다. 이를 降雨持續期間에 대하여 微分하면 다음과 같다.

$$\frac{dR}{dT_d} = i_{ave} + T_d \frac{di_{ave}}{dT_d} = f(t_a) = f(t_b) \quad (5)$$

Keifer와 Chu의 平均降雨強度 i_{ave} 는 다음 식과 같다.¹²⁾

$$i_{ave} = \frac{c}{t_d^e + f} \tag{6}$$

이 식을 微分하여 任意時刻 t 에서의 강우강도식을 구하면 다음과 같다.

$$i = \frac{c [(i-e) T_d^e + f]}{(T_d^e + f)^2} \tag{7}$$

식 (6)은 <表 1>과 형태가 일치하므로, 任意的 尖頭位置 r 을 알게 되면 設計降雨를 分布시킬 수 있게 된다.

또한 韓國建設技術研究院의 연구결과에 의하면 서울지방의 강우는 尖頭位置 $r=0.46$ 으로 대표할 수 있어¹³⁾, 본 연구에서는 이를 채택하였고, 分布間隔은 5분으로 정하였다. 各 再現期間別로 瞬間降雨強度法에 의하여 5분 간격으로 分布시킨 設計降雨量을 표로 나타낸 것이 <表 2>이다.¹⁴⁾

<表 2> 瞬間降雨強度法에 의한 再現期間別 設計降雨量의 分布

(단위 : mm)

持續時間 (分)	再現期間 (年)			持續時間 (分)	再現期間 (年)		
	10	30	50		10	30	50
5	2.2	2.7	2.8	65	6.8	8.0	8.6
10	2.3	2.8	2.9	70	5.2	6.0	6.4
15	2.5	3.0	3.1	75	4.2	5.0	5.4
20	2.6	3.2	3.3	80	3.7	4.5	4.7
25	2.8	3.4	3.6	85	3.4	4.0	4.2
30	3.1	3.6	3.9	90	3.1	3.6	3.9
35	3.4	4.1	4.3	95	2.9	3.4	3.6
40	4.0	4.6	4.9	100	2.7	3.2	3.4
45	4.8	5.5	5.9	105	2.5	3.1	3.2
50	6.3	7.3	7.9	110	2.4	2.9	3.0
55	13.0	16.8	19.1	115	2.3	2.8	2.9
60	13.8	18.0	20.5	120	2.2	2.6	2.7

12) Keifer, C. J. and Chu, H. H., "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design", *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 83, NO. HY4, pp. 1~25, 1957.

13) 한국건설기술연구원, 前掲 報告書, 1989.

14) 이원환, 박상덕, 심재현, "우수배제펌프의 조작기준에 따른 서울특별시 우수지의 안전검토", 대한토목학회 논문집, 제12권 제1호, pp. 141~150, 1992. 3.

나. Huff의 4分位法

瞬間降雨強度法은 數學的인 展開에 의하여 任意 尖頭位置에서 設計降雨를 분포시키는 방법임에 반해, Huff의 4분위법은 尖頭位置를 4개 分位로 나누어 該當地域의 過去 降雨資料로부터 各 分位の 平均的인 分布樣相을 回歸式에 의해 나타내고, 이에 따라 設計降雨를 分布시키는 統計的인 技法이다.¹⁵⁾

韓國建設技術研究院의 연구결과에 의한 서울지방의 제2분위에 해당하는 設計降雨의 無次元 雨量柱狀圖를 표로 나타내면 다음과 같다.¹⁶⁾

〈表 3〉 無次元 持續期間에 의한 降雨量의 分布

無次元 持續期間	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
降雨量 (%)	8.2	10.3	16.5	18.5	19.1	9.6	7.4	4.3	3.4	2.7

이를 6차 多重回歸方程式(multiple regression equation)으로 나타내면 다음과 같다.

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6 \quad (8)$$

〈表 3〉을 사용하여 다중회귀분석을 한 결과 얻어진 계수들은 다음과 같다.

〈表 4〉 回歸分析에 의한 係數 特性值

回歸係數	a	b	c	d	e	f	g
特性值	4.607×10^{-3}	1.182	-7.499×10^{-2}	4.801×10^{-2}	-1.018×10^{-3}	8.979×10^{-7}	-2.869×10^{-9}

윗 식을 사용하여 분포시킨 각 재현기간별 강우의 시간적 분포를 表로 나타낸 것이 〈表 5〉이다.

15) Huff, F. A., "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp.1007~1019, 1967.

16) 한국건설기술연구원, 前掲 報告書, 1989.

〈表 5〉 Huff의 4分位法에 의한 서울지방 設計降雨量의 分布

(단위 : mm)

持續時間 (分)	再現期間 (年)			持續時間 (分)	再現期間 (年)		
	10	30	50		10	30	50
5	4.24	5.26	5.72	65	5.04	6.25	3.79
10	2.66	3.31	3.59	70	4.01	4.97	5.41
15	2.51	3.12	3.39	75	3.03	3.76	4.09
20	3.21	3.98	4.33	80	2.21	2.75	2.99
25	4.31	5.34	5.81	85	1.63	2.03	2.20
30	5.47	6.78	7.38	90	1.33	1.65	1.79
35	6.46	8.01	8.71	95	1.30	1.62	1.76
40	7.13	8.84	9.61	100	1.48	1.84	2.00
45	7.48	9.18	9.98	105	1.72	2.13	2.32
50	7.27	9.02	9.81	110	1.79	2.22	2.42
55	6.78	8.41	9.14	115	1.37	1.70	1.85
60	6.00	7.44	8.09	120	0.01	0.01	0.01

다. 流域의 水文資料 入力

ILLUDAS 모형을 사용하여 對象流域의 水文事象을 模擬하기 위해서 필요한 유역의 수문자료에는 流域의 排水面積, 流域의 水文學的 土質分類, 下水管網의 粗度係數, 下水管의 傾斜度, 管의 形態 및 諸元, 直接連結 鋪裝地域, 間接連結 鋪裝地域 및 綠地面積 比率 등이 있다. 〈圖 3〉은 용산 4 지역의 유역자료를 ILLUDAS 모형의 양식에 맞추어 입력한 자료를 例示한 것이다.¹⁷⁾

17) Han, J. and Delleur, J.W., *Development of an Extension of ILLUDAS Model for Continuous Simulation of Urban Runoff Quantity and Discrete Simulation of Runoff Quality*, Technical Report NO. 109, Purdue University Water Resources Research Center, pp.39~76, 1979.

〈圖 3〉 용산 4 地域의 ILLUDAS 模型 入力資料 例
(再現期間 30年, Huff의 降雨分布 使用)

YONGSAN #4 DISTRICT A (EVALUATION MODE)										
-- DESIGN RAINFALL (I=30 YR) PROVIDED.										
1	0	1								
80.40	0.0	0.0		3			.015			
1.	25.	5.		120.				88.4	4.	
.00	5.96	3.75	3.53	4.51	6.05	7.69	9.08	10.02	10.40	10.22
7.08	5.63	4.26	3.11	2.29	1.87	1.83	2.08	2.42	2.52	1.92
1 0		74.5	1.870	.0152		.4	.3			
1 0	21.03		25	5				30		
1 1			43	2.560	.0151	.6				
1 1	1.33		35	25				25		
2 0			138	2.350	.0151	.6				
2 0	4.61		45	15				25		
2 1			54	1.610	.0151	.45				
2 1	0.83		35	15				35		
2 2			177	1.460	.0151	1.				
2 2	3.73		45	15				25		
2 3			43	0.390	.0152		1.8	1.8		
2 3	0.35		45	15				25		
2 1										
1 2			252	.320	.0152		1.8	1.8		
1 2	3.9		50	15				15		
3 0			325.5	.990	.0151	.6				
3 0	5.73		40	25				15		
3 1			47	.280	.0151	1.2				
3 1	9.35		50	15				15		
3 2			16	1.310	.0152		1.8	1.8		
3 2	0.75		55	15				15		
3 1										
1 3			200	.880	.0152		1.8	1.8		
1 3	3.2		45	15				15		
4 0			437	.880	.0152		2.0	3.0		
4 0	18.64		30	15				25		
4 1			157	1.180	.0152		1.5	1.8		
4 1	6.95		50	15				20		
4 1										
1 4			1.0	1.00	.0152		3.0	3.0		END
1 4	1.0		10	10				10		

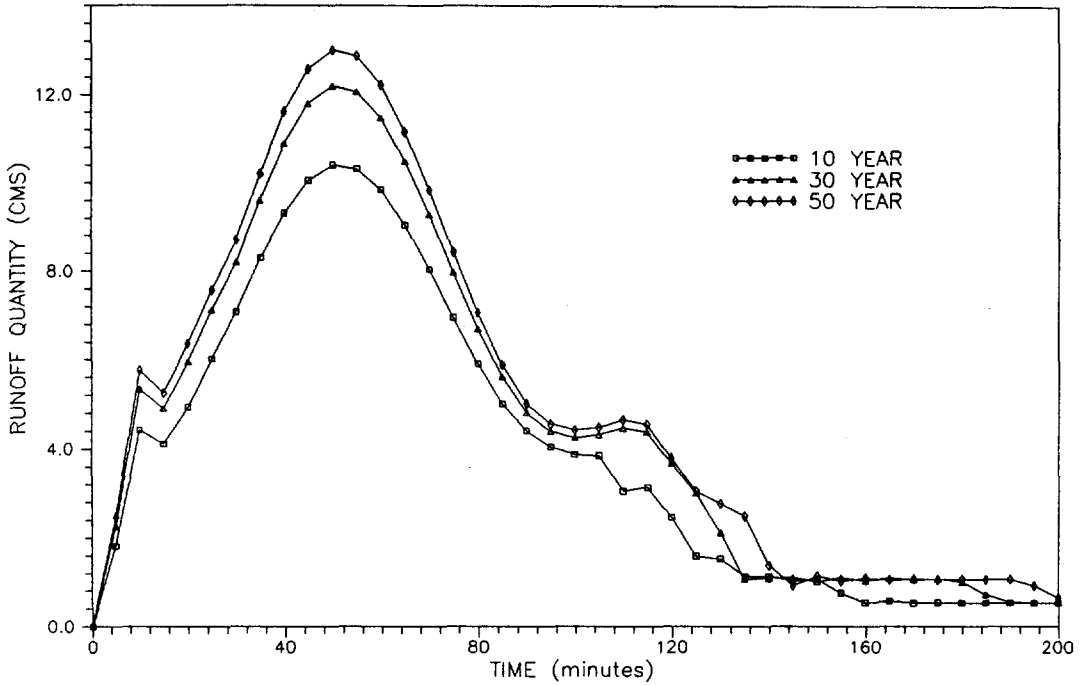
IV. 流出量の 算定

위에서 언급한 바와 같이 降雨의 設計頻度は 10년, 30년, 50년의 3가지 경우와 Huff의 4分位法과 瞬間降雨強度法の 2가지 降雨의 設計分布模型을 사용하여 총 6가지의 降雨模型을 選定하였다. 또한 對象流域은 서울특별시 管内 총 61개 流域중 용산4, 성내2 流域을 選定하였다. 또한 각 流域마다 上流, 中流, 下流流域의 3개 流域구분을 하여 開發行爲의 程度에 따라 다시 3개 구분을 하였다. 즉 한 流域당 設計頻度 3가지, 降雨分布模型 2가지, 流域區分 3가지 및 開發程度 3가지의 총 54개 水文事象을 模擬하여 開發行爲의 程度와 開發事業의 位置에 따른 水文事象의 變化를 把握하였다. 본 연구에서 파악된 水文事象의 變化를 항목별로 나타내면 다음과 같다.

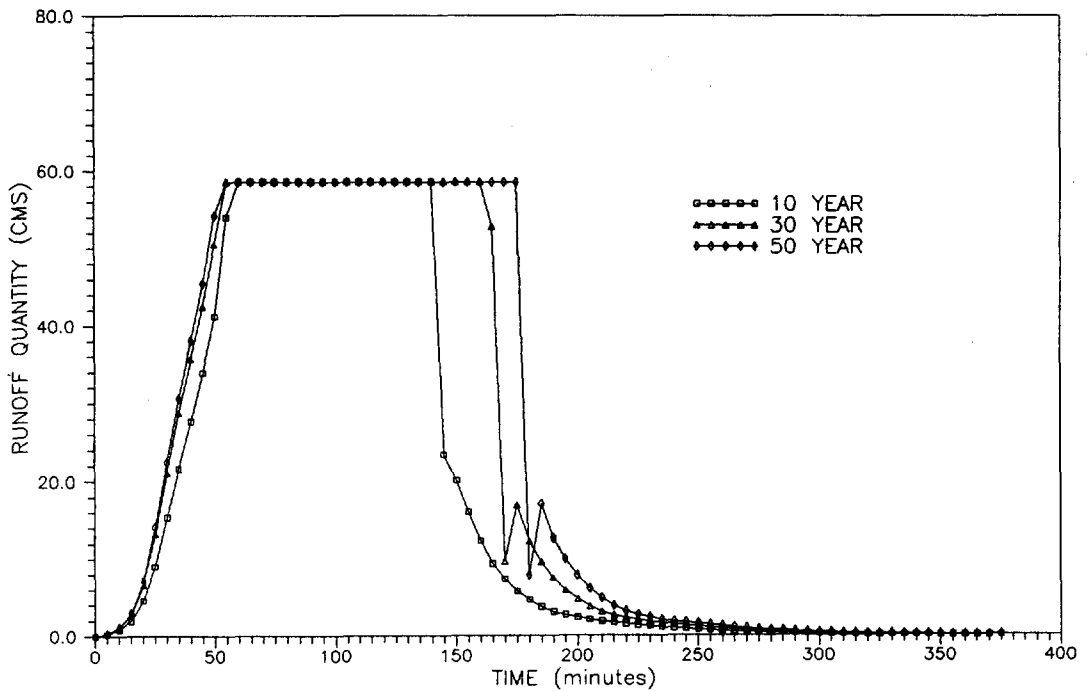
1. 設計降雨의 頻度에 따른 變化

본 연구에서는 既存의 設計基準와 設計頻度가 上向調整될 경우를 고려하여 設計降雨量을 10년, 30년, 50년의 3가지로 選定하였으며, 각 설계강우량이 해당 流域에 발생하였을 때 時間적으로 流出되는 變化를 파악하였다. <圖 4>와 <圖 5>는 용산4 流域과 성내 2流域의 各 設計降雨量의 頻度別 流出水文曲線을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 용산 4지구에서는 설계강우빈도에 따라 尖頭流出量이 급속하게 증가하나, 성내 2지구에서는 3가지 設計頻度에 대해서 尖頭流出量이 같게 나타났다. 이는 성내 2지구의 下水管渠 容量이 不足하여 모든 流出量을 疏通시키지 못하고 局部的인 浸水가 일어나 洪水被害를 준다는 사실을 立證해 주고 있으며, 용산 4지구에서는 再現期間 50년의 設計降雨量에 대해서도 下水管渠 容量이 여유가 있음을 의미한다. 따라서, 開發行爲에 의한 流出增加量은 下水管渠의 排水能力에 직접적으로 영향을 주기 때문에 開發行爲의 施行段階에서 이를 반드시 고려해야 한다.

〈圖 4〉 용산 4 流域의 降雨의 再現期間別 流出水文曲線 (Huff의 分布使用)



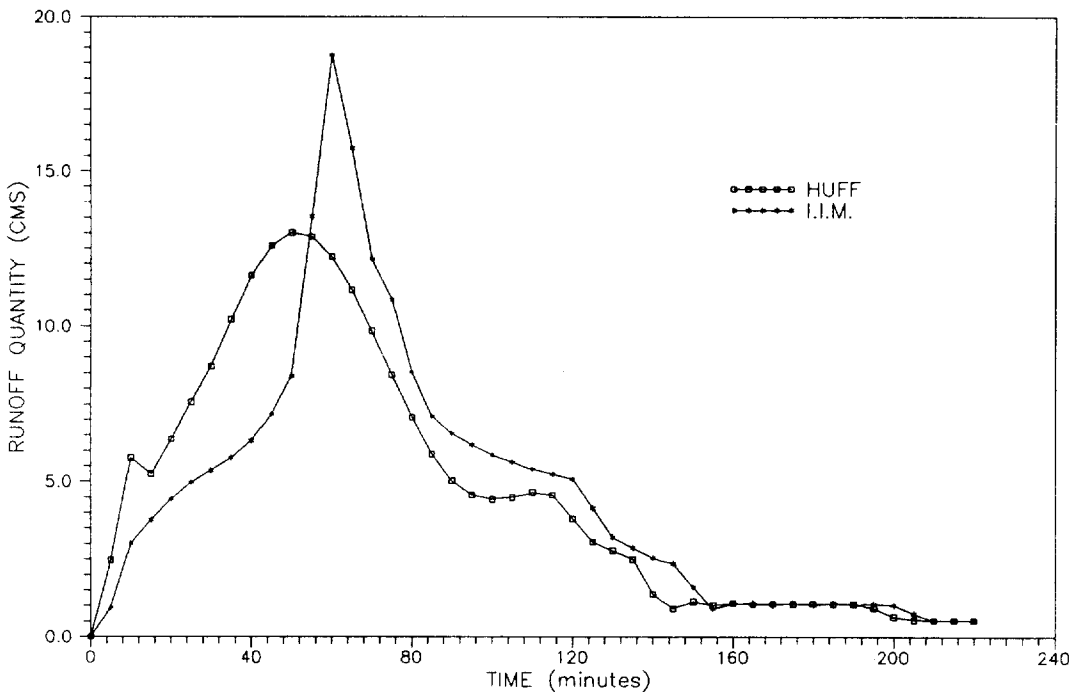
〈圖 5〉 성내 2 流域의 降雨의 再現期間別 流出水文曲線 (I.I.M. 分布 使用)



2. 設計降雨의 時間的 分布에 따른 變化

본 연구에서는 두가지 강우의 시간적 분포모형을 사용하였는데, 전술한 바와 같이 Huff의 분포는 該當流域의 過去 降雨패턴을 回歸曲線式으로 誘導하여 구한 統計的 기법이며, 瞬間降雨強度法은 數式에 따라 尖頭位置를 指定하여 분포시키는 數學的 技法이다. <圖 6>은 같은 持續時間과 總降雨量을 갖는 경우라도 分布模型에 따라 流出水文曲線이 變하는 정도가 不同을 의미한다.

<圖 6> 降雨의 時間分布에 따른 流出水文曲線 比較(용산 4, 再現期間 50년)



그림에서 알 수 있는 바와 같이 Huff의 분포는 해당지역의 강우패턴을 대표하는 평균적 의미를 갖기 때문에 尖頭流出量이 작고, 瞬間降雨強度法은 갑작스런 降雨增加現象을 나타내므로 尖頭流出量이 매우 크게 나타난다. 따라서 任意流域의 排水管網이 該當降雨에 안전한가를 판단하기 위해서는 두가지 방법 모두를 선택하는 것이 바람직하며, 該當地域의 降雨資料가 없을 경우에는 瞬間降雨強度法을 사용하는 것이 바람직한 것을 알 수 있다. <表 6>는 ILLUDAS 모형에 의해 각 유역의 流出事象을 模擬하였을 때 나타난 尖頭流出量을 再現期間別, 降雨分布型別로 나타낸 것이다.

〈表 6〉再現期間別, 降雨의 分布型別 流域의 尖頭流出量 比較

(단위 : CMS)

流域 \ 再現期間	10 年		30 年		50 年	
	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.
용산 4	10.406	13.520	12.200	16.791	13.003	18.753
성내 2	58.565	58.565	58.565	58.565	58.565	58.565

3. 開發行爲의 空間的 位置에 따른 變化

같은 유역에서도 開發事業은 그 空間的 位置에 따라 水文曲線에 다른 影響을 미치게 된다. 예를 들어 上流의 開發行爲에 따라 증가된 流出量은 上流로부터 下流에 이르기까지 모든 流域에 影響을 미치지만, 中流地域에서의 開發事業에 의한 追加 流出增加量은 그 이하 下流地域에만 影響을 미친다. 또한 開發事業의 面積은 流出量의 증가에 직접적인 影響을 미치기 때문에 開發事業의 面積 역시 매우 중요한 水文學的 因子가 된다. 따라서 본 연구에서는 流域調査를 통해 現在의 開發狀態를 把握하고, 이후 개발사업에 의한 不透水性 面積이 증가하는 비율에 따라 증가하는 追加 流出增加量을 조사하였다. 다음의 〈表 7〉과 〈表 8〉은 본 연구의 대상유역인 용산4, 성내 2유역에서 假想的인 開發行爲가 일어났을 경우 이에 따른 流出總量의 增加를 표로 나타낸 것이다. 이때 開發行爲는 綠地地域을 不透水性 面積으로 變換되는 것으로 파악하여, ILLUDAS 模型에 入力時 綠地比率中 開發事業의 의해 일부분이 直接連結 鋪裝地域으로 變換되는 것으로 파악하여 입력자료를 구성하였다.

〈表 7〉開發行爲의 程度와 流出變化量 比較 (용산4 배수구역)

(단위 : ton)

開發地域과 開發程度		再現期間		10 年		30 年		50 年	
		Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.
上流 地域	現在 (開發 70%)	58,390	58,266	71,418	71,349	77,363	77,264		
	開發 80%	58,654	58,546	71,682	71,628	77,627	77,545		
	開發 90%	58,918	58,826	71,945	71,909	77,891	77,825		
	開發 95%	59,050	58,967	72,076	72,049	78,023	77,964		
中流 地域	現在 (開發 85%)	58,390	58,266	71,418	71,349	77,363	77,264		
	開發 90%	58,415	58,292	71,443	71,374	77,387	77,289		
	開發 95%	58,439	58,317	71,467	71,399	77,412	77,315		
	開發 97%	58,449	58,345	71,477	71,410	77,421	77,325		
下流 地域	現在 (開發 85%)	58,390	58,266	71,418	71,349	77,363	77,264		
	開發 90%	58,410	58,287	71,438	71,369	77,383	77,285		
	開發 95%	58,430	58,308	71,467	71,390	77,403	77,306		
	開發 97%	58,436	58,317	71,477	71,399	77,411	77,314		

〈表 8〉開發行爲의 程度와 流出變化量 比較 (성내2 배수구역)

(단위 : ton)

開發地域과 開發程度		再現期間		10 年		30 年		50 年	
		Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.
上流 地域	現在 (開發 60%)	401,392	400,741	492,454	492,077	534,458	533,187		
	開發 70%	402,234	401,615	493,295	492,956	535,378	534,067		
	開發 80%	403,078	402,493	494,136	493,834	536,289	534,950		
	開發 90%	403,922	403,372	494,978	494,713	537,136	535,832		
中流 地域	現在 (開發 70%)	401,392	400,741	492,454	492,077	534,458	533,187		
	開發 80%	404,793	403,990	495,577	495,369	537,751	536,474		
	開發 90%	408,496	407,287	499,248	498,662	540,884	539,762		
	開發 95%	410,210	408,937	501,053	500,309	542,448	541,406		
下流 地域	現在 (開發 75%)	401,392	400,741	492,454	492,077	534,458	533,187		
	開發 80%	401,488	400,834	492,548	492,177	534,576	533,287		
	開發 85%	401,584	400,928	492,643	492,277	534,695	533,386		
	開發 90%	401,679	401,022	492,737	492,377	534,813	533,486		

4. 開發事業이 流域의 水文學的 特性에 미치는 影響

〈表 7〉과 〈表 8〉에서 알 수 있는 바와 같이 開發行爲에 따라 流出總量은 增加하는 것을 알 수 있다. 또한 유역마다 총량이 차이가 나는 것은 排水區域의 面積에 따라 다르기 때문으로 판단되어 各 流域別 開發面積當 流出增加量으로 換算하였는 데 이를 표로 나타낸 것이 〈表 9〉이다.

〈表 9〉 各 流域別, 空間別 開發行爲에 따른 單位面積當 流出增加量

(단위 : ton/ha)

空間區分 流域	上流		中流		下流	
	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.	Huff	I.I.M.
용산 4	125.71	133.33	125.64	132.77	125.00	131.25
성내 2	122.03	126.67	130.81	126.81	120.00	116.88

표에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 경우 上流의 開發行爲에 따른 流出增加量이 下流의 開發行爲에 따른 流出增加量에 비해 약간씩 많은 양을 보이고 있다. 이는 上流에서의 流下量이 中流 및 下流의 下水疏通에 계속적인 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다. 단 성내 2지구의 中流流域에서는 큰 偏差를 주고 있는데 이는 다른 地域의 排水面積이 3.2~69ha인데 반해 260ha라는 대규모 排水分區이기 때문이다. 따라서 같은 유역에 같은 양의 降雨量이 發生하였다 하더라도 開發行爲의 空間的 位置에 따라 流出量은 달라지고, 流域의 排水面積 등에 의해서도 그 양이 변화됨을 알 수 있다.

V. 結 論

본 연구는 都市地域内 開發行爲가 都市 排水體系에 미치는 영향을 量的으로 算定하기 위하여 都市流出模型中 가장 적절한 모형으로 알려진 ILLUDAS 모형을 사용하였다. 또한 都市化에 따른 設計降雨의 再現期間을 고려하여 10~50년을 選定하고, 降雨의 時間的 分布特性을 고려하였고, 開發行爲의 空間的 位置가 流出水文事象에 미치는 영향을 파악하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 같은 流域에 같은 降雨量이 같은 降雨持續時間内에 發生하더라도 降雨의 時間的 分布에 따라 流出事象이 변하기 때문에, 이를 設計時 반드시 考慮해야 하며, 安全한 下水管網의 設計를 위해서는 Huff의 4분위법에 의한 결과보다 瞬間降雨強度法에 의한 결과를 사용하

는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

2. 대상지역의 경우 開發行爲에 따른 流出增加量이 116.88~133.33ton/ha로 나타나 무분별한 開發行爲는 下水疏通能力에 직접적인 악영향을 주어 洪水危險을 加重시키므로, 이에 대한 對策이 필요한 것으로 判明되었다.
3. 같은 面積을 가진 開發行爲에도 流域의 空間的 位置에 따라 流出增加量이 차이가 있으므로 水防對策이나 流出抑制方案 樹立時 반드시 이를 고려해야 한다.
4. 성내 2지역의 경우 現在 狀態에도 이미 下水疏通能力이 不足한 것으로 나타나 과거 1987년, 1990년 피해가 水防施設에서 構造的인 問題點이 있었던 人災였음이 判明되었다.

〈參 考 文 獻〉

- 건설부(1988. 12), 방재종합대책 중장기 계획조사 보고서.
- 서울특별시(1991), 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서, pp.37~39.
- 서울특별시, 한국수문학회(1988), '87 수해백서 보고서, pp.409~525.
- 심재현(1992), "유수지 배수펌프장의 적정운용을 위한 퍼지제어모형에 관한 연구", 「연세대학교 토목공학과 박사학위논문」, pp.43~68.
- 원석연(1993), "유역 및 하도 홍수추적방법을 결합시킨 도시하천의 유출해석 모형", 「고려대학교 토목환경공학과 박사학위논문」, pp.70~75.
- 이원환(1991), "한강 홍수특성을 고려한 내배수 처리기법", 「대한토목학회 논문집」, 제11권 제1호, pp.99~108.
- 이원환, 박상덕, 심재현(1992), "우수배제펌프의 조작기준에 따른 서울특별시 유수지의 안전검토", 「대한토목학회 논문집」, 제12권 제1호, pp.141~150.
- 한국건설기술연구원(1989), 지역별 계획강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원 연구보고서, 건기연 89-WR-111, pp.103~108.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, pp.467~470.
- Han, J. and Delleur, J. W. (1979), *Development of an Extension of ILLUDAS Model for Continuous Simulation of Urban Runoff Quantity and Discrete Simulation of Runoff Quality*, Technical Report NO. 109, Purdue University Water Resources Research Center, pp.39~76.
- Huff, F. A. (1967), "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp.1007~1019.
- Keifer, C. J. and Chu, H. H. (1957), "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design",

Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 83, NO. HY4, pp. 1~25.

Terstriep, M.L. and Stall, J.B. (1974), *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*
State Water Survey Division, Urbana Champaign, pp.1~88.

Watkins, L. H. (1962), "The Design of Urban Sewer Systems", *Road Research Technical Paper No.55, Department of Scientific and Industrial Research, London : Her Majesty's Stationery Office.*