

유역면적과 강우특성변화에 따른 CHICAGO모형 매개변수의 민감도분석에 관한 연구

A Study on the Sensitivity Analysis of CHICAGO Model Parameters due to Watershed Area and Rainfall Characteristics

서규우* · 송일준**

Seo Kyu Woo* · Song Il Jun**

Abstract

In this study, the hydrological changes due to urbanization were investigated and fundamental theory and characteristics of typical urban runoff model such as CHICAGO Model was studied. Above model was applied for urbanizing Dongsucheon basin, Incheon. The main parameters(CI, CP, CS) which are included in this model depending on runoff results were determined, and dimensionless values such as total runoff ratio(Q_{TR}), peak runoff ratio(Q_{PR}), and runoff sensitivity ratio($Q_{SR} = Q_{TR}/Q_{PR}$) were estimated in order to evaluate and compare the characteristics of model based on relative sensitivity analysis. Finally, applied model was proposed based on understanding of work types and established urban runoff models which can simulate well for areal development patterns and urban river basin.

1. 서 론

우리나라의 경우 근대적인 하천계획이나 치수정책은 일제시대에 수립된 것을 토대로 현재 까지도 획기적인 정책방안을 제시하지 못하고 예전의 방법들을 답습하고 있는 경우가 상당한 실정이다. 특히 1960년대 이후 지속적으로 진행된 도시화 및 산업화로 인한 도시유역의 환

경의 변화양상을 보면 도심에서부터의 시가지의 확산과 그 주변지역의 각종 사회 간접자본 개발사업 등으로 인해 도시화되기 이전의 지표면이 갖고 있었던 보수 및 유수기능 등이 건물이나 아스팔트, 콘크리트 포장으로 피복되면서 현격하게 줄어들었다. 이에 따라 이전보다 도시유역내 하수관거를 통해 하천으로 유입되는 홍수유출량이 이전보다 증대되고 유역출구점까지의 도달시간은 오히려 단축됨으로써 침투유량이 증가하고 있다(Kibler, 1982). 더욱이 최근 인구의 급격한 도시집중에 따라 수도권을 비롯한 대도시주변의 택지 및 시설부지의 절대

* 동의대학교 토목공학과 전임강사

** 동의대학교 토목공학과 교수

부족으로 하천범람 구역이나 홍수우려가 있는 범람원내의 저지대에까지 주택, 건물 기타 도시시설 등이 건설됨으로써 치수면에서의 안전도가 상대적으로 저하되고 있는 실정이다(서규우 등, 1996a; 1996b). 특히 도시구역에서의 대규모적인 단지개발에 따라 단지내 우수유출의 정확한 해석을 위한 모형의 확립이 시급한 실정이다(김승, 이홍래 등, 1996; 전병호, 1989, 1988).

이에 본 연구에서는 완전히 도시화된 지역인 동수전유역을 대상으로 우리나라에 있어 도시화에 따른 수문현상의 변화를 해석하기 위한 도시유출모형으로 최근에 사용하기 시작한 CHICAGO모형을 대상으로 이 모형의 주요 매개변수들에 대해 민감도분석을 실시하여 모형의 매개변수들이 갖는 유출특성을 분석하여 차후 유출해석을 위한 모형의 검증이나 검증시 적정 매개변수값을 결정하는데 있어 시간절약과 함께 좀 더 합리적인 방법을 제시하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 적용모형의 기본이론

1950년대 초반부터 시카고시에서는 도시구역의 관거설계를 목적으로 주로 관거의 설계도표(Design)작성을 위한 수리학적 계산방법의 개발에 중점을 두었으며 Tholin과 Keifer(1960)에 의해 계산방법이 발표된 후 1970년 Keifer 등에 의해 프로그램화되었다. 이 방법은 유출과정을 지표면유출, 측거(Gutter)로의 흐름 및 관거(Sewer)를 통한 흐름으로 나누어 계산하도록 되어 있다(원석연, 1993). 지표면유출에 기여하는 유효우량 결정을 위한 손실량으로는 침수로 인한 손실과 지표면의 요면저류로 인한 손실의 두가지를 고려한다. 침투에 의한 손실량은 Horton의 침투능 공식에 의해 계산하며, 강우가 잠재 요면저류량의 200%에 도달할 때까지 일정 비율로 손실이 발생한다고 가정하여 요면저류에 의한 손실량을 결정한다. 지표면유출에 기여하는 유효우량은 다음과 같은 식 (1)에 의해 계산한다.

$$\frac{\sigma}{i-f} = 1 - e^{-\frac{P-F}{S_d}} \quad (1)$$

σ 는 유효강우량, i 는 강우강도, P 는 누가강우량, f 는 침투능, F 는 누가침투량, 그리고 S_d 는 잠재 요면저류량이며, 침투능 및 요면저류량은 다음의 식 (2)와 식 (3)에 의해 계산된다.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (2)$$

$$V_d = S_d(1 - e^{-K_d(P-F)}) \quad (3)$$

여기서 k 는 상수, t_f 는 시간, K_d 는 저류상수, 그리고 V_d 는 요면저류량이다. 위 식에서 구한 유효우량은 도로를 따라 흘러서 측거로 유입한다. 측거로 유입되는 지표면 유출량은 다음의 식 (4)~식 (6)에 의해 계산한다.

$$\sigma_{ave} - q_1 + F_1 = F_2 \quad (4)$$

$$F = \frac{q}{2} + 60 \frac{D}{\Delta t} \quad (5)$$

$$D = \frac{0.007i + C}{S_0^{1/3}} l q^{1/3} \quad (6)$$

여기서 D 는 지표면 저류량 ft^3 , q 는 지표면 유출량 (ft^3/sec), l 은 도로의 길이(ft), S_0 는 지표면의 경사, 그리고 C 는 Izzard의 지체상수이다. 이와 같이 측거로 유입된 유입량은 측거를 따라 흘러 관거로 유입한다. 측거 내에서의 추적방정식(Routing Equation)은 다음 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$I_{ave} - Q_1 + F_1 = F_2 \quad (7)$$

$$F = \frac{1}{2} Q + 60 \frac{S}{60\Delta t} \quad (8)$$

CHICAGO모형에서는 관로를 통한 흐름을 지선관거(Lateral Sewer)를 통한 흐름과 간선관거(Main Sewer)를 통한 흐름으로 구분하였

으며, 지선관거로 연결되는 측거는 동일한 간격으로 배치되었다고 가정하여, Time Offset Scheme에 의해 지선관거를 통한 홍수추적을 식 (9)와 같이 행한다.

$$Q(t_0) = \frac{\sum_{t=0}^{t_0} I(t) - \sum_{t=0}^{t_0-t_r} I(t)}{t_r} \quad (9)$$

윗 식에서 I 는 측거에서 평균 유출수문곡선의 종거이며, t_r 은 지선관거 내에서의 평균 유하시간이다. 간선관거로 연결되는 지선관거 역시 균일한 간격으로 배치되었다고 가정하여, 식 (9)에 의해 본선관거로부터의 최종 유출수문곡선을 계산하며, 이때 I 는 지선관거에서의 평균 유출수문곡선의 종거, t_r 은 본선관거의 유하시간으로 한다.

3. 모형매개변수의 민감도분석방법

1. 모형과 매개변수

일반적으로 수문현상의 모형화는 유출을 성량적으로 해석하려는 방법으로 수문순환과정들을 단순화된 시스템으로 나타내는 것이다. 수문모형에 의한 유출산정은 실제유출량의 근사치로 나타난다. 실제 수문순환과정과 같은 물리계의 모형화과정은 모형의 공식화, 모형의 검증 그리고 모형의 검증 등 세 가지 단계로 나눌 수 있다. 모형을 계획하거나 설계하려는 사람은 모형화되는 수문순환계의 물리적 원리에 성통해야 됨은 물론이고, 물리적 과정에서 미지부분들을 개념적 표현으로 공식화하고 이를 검증하고 검증화하는 모형화의 방법들을 잘 알아야 한다. 민감도분석은 모형화를 위한 하나의 도구로서 모형과 모형화되는 물리적 과정의 상용관계를 파악하는데 목적이 있다. 모형의 성분과 매개변수들의 민감도는 수문모형을 공식화, 검증 및 검증하는데 효율적이다. 과거에 민감도분석은 모형 매개변수들의 최적치 결정과 최적해에 대한 매개변수의 변동성을 파악하는 것으로만 사용되었다. 그러나 최근에 민

감도분석은 모형화(공식화, 검증, 검증)의 모든 단계뿐만 아니라 의사결정을 위한 오차분석을 위한 도구로 이용되고 있다. 결론적으로, 민감도 분석은 매개변수 변화에 대한 적합도기준으로 매개변수의 중요성과 모의발생 결과를 분석하는데 도움을 준다. 특히, 모형매개변수의 민감도는 모형의 구조에 종속되어 있으므로, 이는 모형구조의 정량적 지표와 유역의 수문반응을 나타내기 위한 모형능력의 지표로 사용될 수 있다. 절대민감도분석을 통하여 오차분석을 할 수 있으며, 상대민감도분석을 통하여 매개변수가 모형의 출력에 어느 정도 영향을 미치는지 알 수 있다. 본 연구에서는 각 모형별로 중요한 역할을 하는 매개변수들을 선정하고 이들에 대해 상대적인 민감도분석을 실시하여 각 매개변수들의 모형에 대한 영향력을 살펴보고자 한다(이홍래, 김형섭, 1992).

2. 매개변수의 민감도분석

추정된 매개변수들은 기본적으로 오차를 내포하고 있으며, 매개변수 불확실성의 영향을 검토하는 대표적인 방법으로는 민감도분석을 들 수 있다. 이는 모형의 매개변수들 중에서 모의 결과에 특히 큰 영향을 미치는 매개변수를 찾아내기 위해서 실시한다. 민감한 매개변수일수록 신중을 기하여 정확히 추정해야 하며 결과에 별로 영향을 미치지 않는 매개변수는 상수 값으로 고정해도 무방하다. 매개변수의 민감도를 분석하는 가장 간단한 방법은 매개변수 값을 하나씩 변화시켜 가면서 이 변화가 모의 결과에 어느 정도 영향을 미치는지 검토하는 것이다. 매개변수 민감도 분석을 강우-유출 모형에 적용한 예로는 McCuen(1973), Mein과 Brown(1978), Sorooshian과 Arfi(1982) 등이 있다.

4. 민감도분석방법 및 적용

1. 입력자료 및 무차원값 정의

본 연구에서는 각 모형별 매개변수의 민감도 분석을 위해 상대적으로 유역 면적이 크고 공

표 1. 강우지속기간별 설계강우량(제현기간 10년)

지속기간별 설계강우량(mm)						
30분	1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간
43.0	65.8	94.5	109.8	153.3	200.8	234.8

간적으로 상류 지역에서부터의 도시화 과정이 하류부까지 전개되고 있는 동수천유역(460ha)에 대해 제현기간 10년 빈도, 강우지속기간 60분, 120분, 180분의 3가지 설계강우량을 Huff의 4분위법(Huff, 1990; 1967)으로 시간분포화시킨 것을 기본적인 강우자료로 사용하였다(서병하, 김남원, 1989).

각 모형별로 중요한 매개변수들을 선정하고 이들 매개변수의 변화에 따른 유출해석을 실시하여 각 매개변수가 모형모의결과에 미치는 영향을 강우지속기간별, 강우분포형별 등에 대해 식(10)~식(12)와 같이 총유출량비(Q_{TR})와 침투유출량비(Q_{PR})와 총유출량비를 침투유출량비로 나눈 비(Q_{TR}/Q_{PR})로 나타낼 수 있는 유출민감도비(Q_{SR})와 같은 무차원값을 정의하고 매개변수간의 상대적인 민감도 정도를 분석하고자 한다.

$$\text{총유출량비}(Q_{TR}) = \frac{\text{총유출량}}{\text{최대총유출량}} \quad (10)$$

$$\text{침투유출량비}(Q_{PR}) = \frac{\text{침투유출량}}{\text{최대침투유출량}} \quad (11)$$

$$\text{유출민감도비}(Q_{SR}) = \frac{\text{총유출량비}(Q_{TR})}{\text{최침투유출량}(Q_{PR})} \quad (12)$$

본 연구에서 사용할 매개변수의 변화 단계는 유출량이 가장 작게 산출되는 1단계에서 가장 크게 산출되는 8단계로 나누어 적용하였다. 본 연구에서 사용할 무차원값중 총유출량비(Q_{TR})는 최종단계의 최대유출용적에 대한 각 단계별 유출 용적의 비로서 0부터 1까지의 값이 가능하나 대개 0.5~1.0의 값을 가지며 이 값이 1에 가까울수록 변화의 폭이 적은 것을 의미한다. 침투유출량비(Q_{PR})도 최종 단계의 최대침

투유출량에 대한 각 단계별 침투유출량의 비로서 총유출량비(Q_{TR})와 마찬가지로 대개 0.5~1.0의 값을 가지며 1.0에 가까울수록 변화의 폭이 적은 것을 나타낸다. 총유출량비(Q_{TR})와 침투유출량비(Q_{PR})는 8단계중 처음 1단계에서의 값이 얼마인가에 따라 전체 변화의 범위가 정해지며 이 범위가 클수록 각 단계별 민감도의 영향이 큰 것으로 볼 수 있으며, 총유출량비(Q_{TR})를 침투유출량비(Q_{PR})로 나눈 유출민감도비(Q_{SR})는 각 단계에서 침투유출량변화 정도와 총유출량의 변화 정도를 동시에 살펴볼 수 있는 것으로 유출량의 민감도 정도를 파악할 수 있다. 즉 유출민감도비(Q_{SR})가 1인 경우 매개변수의 변화에 따라 총유출량과 침투유출량의 변화 정도가 같은 비로 진행된다는 의미이고 1보다 큰 경우에는 침투유출량의 변화가 총유출량의 변화보다 크게 나타나는 것으로 민감도가 상대적으로 큰 것으로 판단할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 매개변수의 상대적인 민감도를 총유출량비(Q_{TR}), 침투유출량비(Q_{PR}), 유출민감도비(Q_{SR}) 등과 같은 무차원값의 변화 정도를 살펴 조사분석하고자 한다.

2. 모형매개변수의 선정 및 범위

CHICAGO모형에서는 적용대상유역에서 지표면에 대한 여러 제원들은 정확한 측량조사와 도면조사를 통해 결정이 되면 거의 변동이 없다. 모형의 적용을 위해 여러 관련자료를 근거로 하여 가정하여 결정해야 하는 입력요소중 큰 영향을 미치는 요소를 보면 유효우량결정을 위한 침투능(CI)선정과 전체유역에 대한 도시화 정도를 나타내는 지표면의 포장율(CP)결정과 포장유역과 비포장유역에서의 손실량으로 나타나는 저류깊이(CS)의 가정 등이다. CHICAGO

표 2. CHICAGO모형의 주요 매개변수의 변화 단계

단 계	침투능(CI)		포장율 CP, %	저류 깊이(CS)	
	투수지역 (in)	불투수지역 (in)		투수지역 (in)	불투수지역 (in)
1	10.0	1.00	50	0.40	0.18
2	9.0	0.75	55	0.35	0.14
3	8.0	0.50	60	0.30	0.12
4	7.0	0.40	65	0.25	0.10
5	6.0	0.32	70	0.20	0.08
6	5.0	0.25	75	0.15	0.06
7	4.0	0.17	80	0.10	0.04
8	3.0	0.10	85	0.05	0.02

모형에서는 이렇게 선정된 3가지 매개변수에 대한 값을 합리적인 범위에서 선택하기 위해 8 단계에 대해 일정비율로 값을 변화시켜 총유출량과 침투유량 등의 변화정도를 상호연계시켜 분석하였다. 선정된 3가지 매개변수의 변화단계에 따른 값을 정리하면 다음 표 2와 같다.

CHICAGO모형을 동수천유역에 대해 각 CASE를 적용한 결과를 분석하면 다음과 같다.

① 침투능(CI)의 경우

Huff의 각 분포형별로 보면 1분위의 경우 지속기간에 관계없이 총유출량비(Q_{TR})는 0.76전 후에서 일정하게 증가하는 경향을 띄고 침투유출량비(Q_{PR})는 0.8전후에서 초기단계에서는 변화를 거의 보이지 않다가 후반단계에 가서 증가하는 양상을 띈다. 즉 초기단계에서는 지속기간이 길수록 유출민감도비(Q_{SR})가 1보다 작은 값을 갖다가 서서히 1이상의 값을 유지하며 평균적으로는 전반단계에서 총유출량의 변화 정도가 더 크게 나타나다가 후반 단계에서는 침투유출량의 변화 정도가 크게 나타난다. 강우 지속 기간이 길수록 이러한 양상은 더욱 심화되는 것을 확인하였다. Huff 2분위와 3분위에서는 1단계의 총유출량비(Q_{TR})가 0.78, 침투유출량비(Q_{PR})가 0.8정도로 유출민감도비(Q_{SR})가 1보다 큰 상태에서 후반 단계로 가면 변화 정도가 같은 1의 값을 갖는 것으로 확인하였다. Huff 4분위에서는 지속기간이 길어질수록 유출민감도비(Q_{SR})가 1보다 작은 값을 갖

는다. 즉 후반 단계에서 총유출량의 변화 정도가 침투유출량의 변화 정도보다 크게 나타났다.

② 지표면 포장율(CP)의 경우

Huff의 1분위에서만 강우지속기간에 관계없이 1단계에서 총유출량비(Q_{TR})가 0.7전후, 침투유출량비(Q_{PR})가 0.6전후로 유출민감도비(Q_{SR})가 1보다 커서 침투유출량이 더 민감하게 나타나고 Huff 2, 3, 4분위에서는 유출민감도비(Q_{SR})가 1보다 작게 나타났고 강우지속기간이 길수록 총유출량비(Q_{TR})와 침투유출량비(Q_{PR})가 0.8, 0.9이상으로 단계별 변화의 폭이 작았다. 즉 총유출량의 민감도가 상대적으로 크나 변화 폭이 작으므로 포장율(CP)의 민감도정도는 약한 편이다.

③ 지표면 저류깊이(CS)의 경우

Huff의 1, 2, 3 분위에서 강우지속기간에 관계없이 1단계에서 총유출량비(Q_{TR})와 침투유출량비(Q_{PR})가 0.9 이상의 값을 갖고 유출민감도비(Q_{SR})가 1전후의 값을 나타내고 4분위의 60분 강우지속기간을 제외하고 120분, 180 지속기간에서는 침투유출량의 변화는 거의 없이 총유출량의 변화만 발생했다.

이중에서 Huff 3분위에서의 60분, 120분, 180분 강우지속기간에 따라 CI, CP, CS 매개변수의 변화양상을 그림으로 나타내면 그림 1~3과 같다. 그림에서 각 매개변수별로 차이가 나타나는데, 침투능(CI)의 경우 지속기간에 관

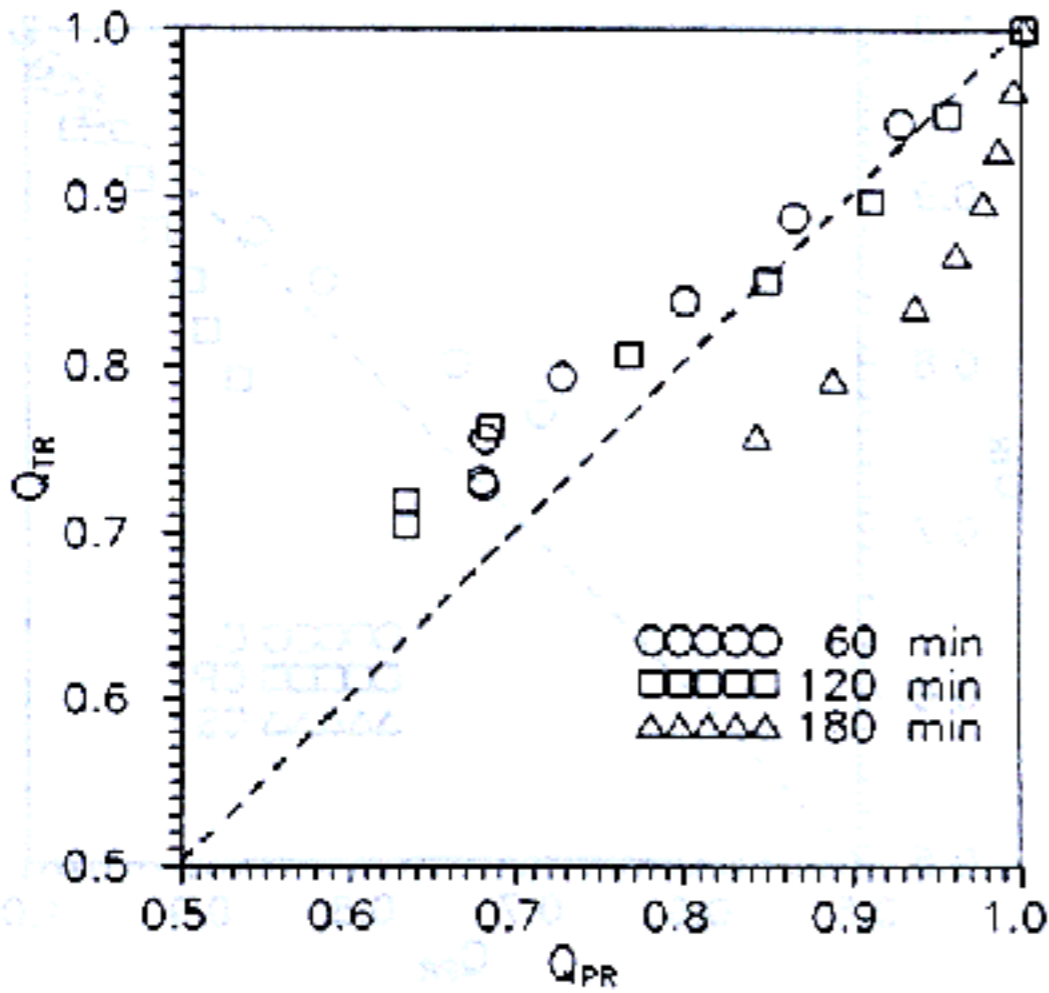


그림 1. 매개변수(CI)의 강우지속기간별 민감도분석 (CHICAGO)

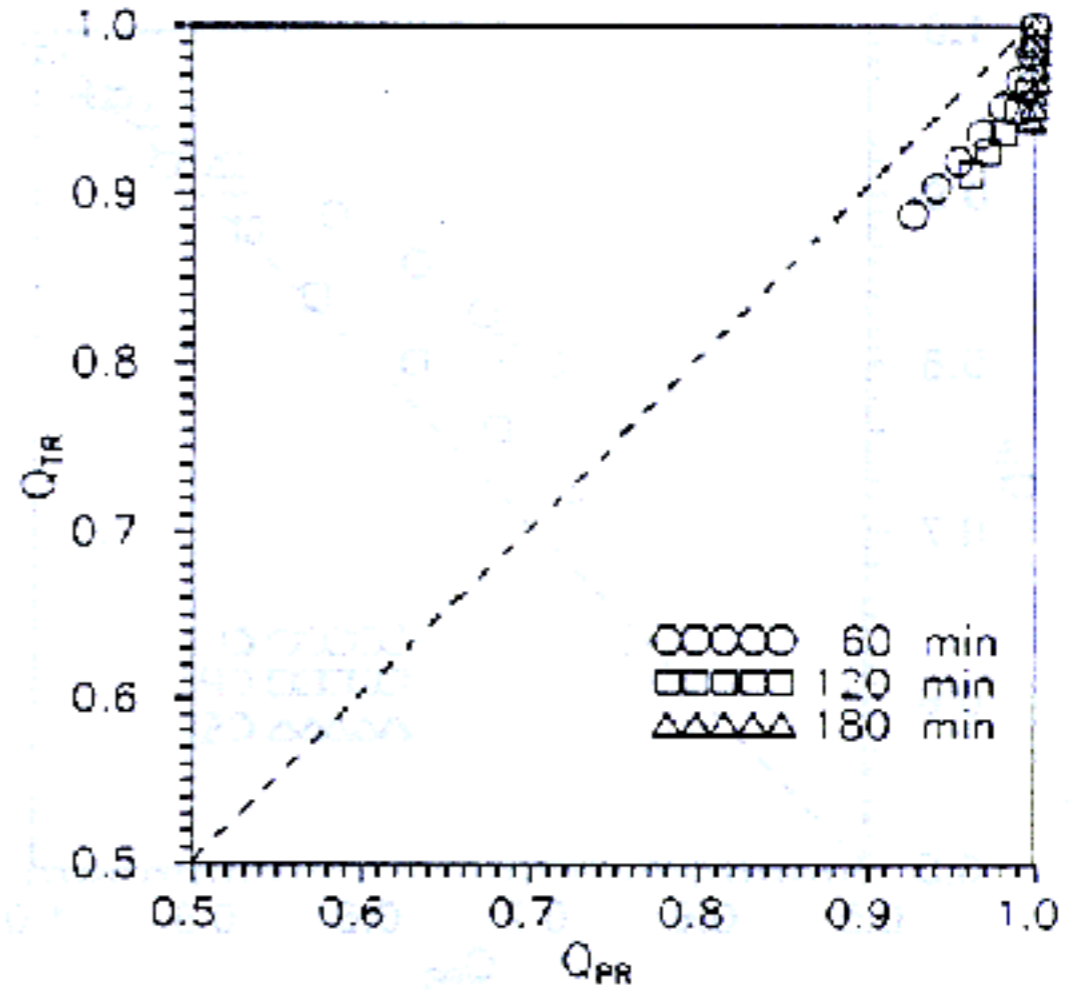


그림 3. 매개변수(CS)의 강우지속기간별 민감도분석 (CHICAGO)

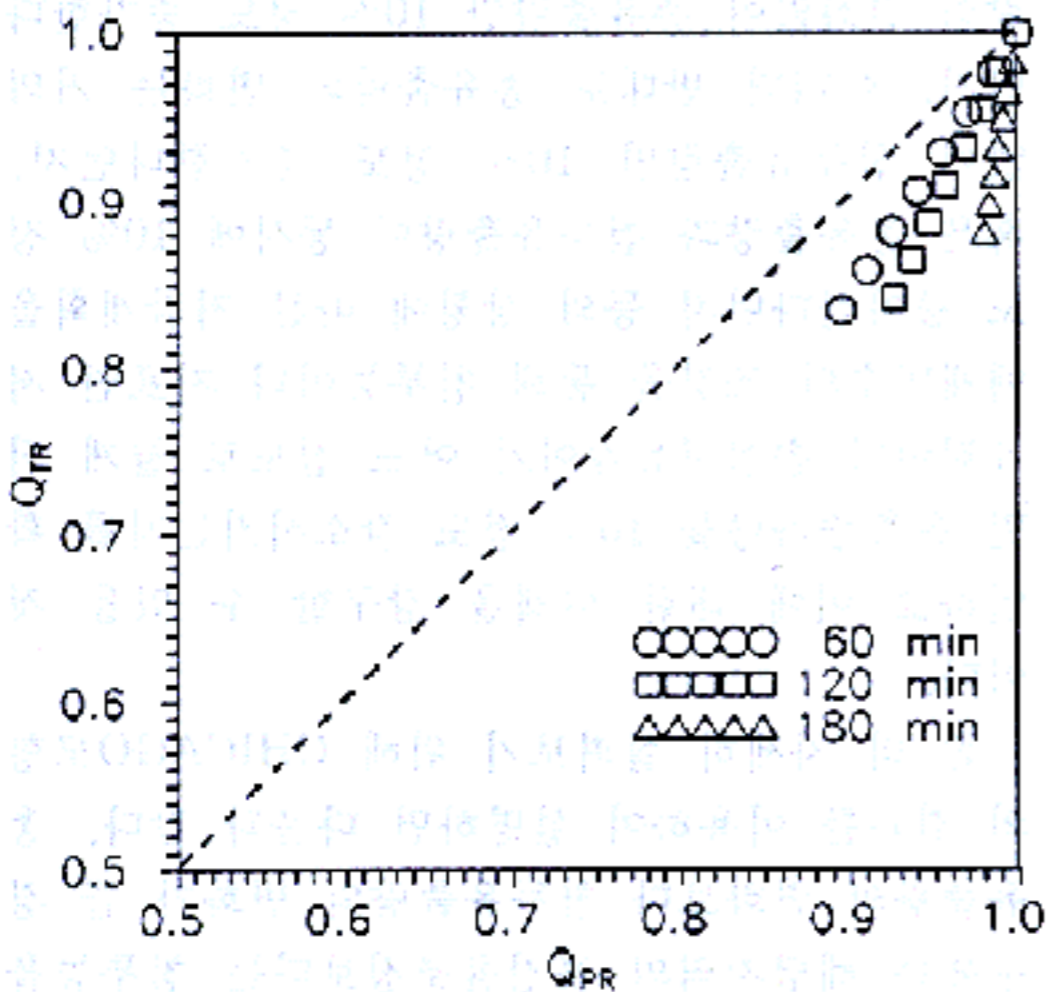


그림 2. 매개변수(CP)의 강우지속기간별 민감도분석 (CHICAGO)

계없이 유출민감도비 (Q_{SR})의 값이 1.12에서 1.0전후까지의 변화 경향이 비슷하게 진행이 되었다. 포장율(CP)의 경우는 60분 지속 기간의 경우만 유출민감도비(Q_{SR})가 1전후의 값을 갖고 총유출량비(Q_{TR})와 침투유출량비(Q_{PR})가 1단계에서 0.7정도로 변화의 폭이 크고 120분

과 180분 지속 기간의 경우 유출민감도비(Q_{SR})가 1보다 작아 총유출량의 변화정도가 침투유출량의 변화정도보다 크게 나타났다. 지표면 저류깊이(CS)의 경우 다른 매개변수에 비해 민감도의 정도가 가장 작았다. 유출민감도비(Q_{SR})가 전 지속 기간에서 1전후의 값을 갖고 총유출량비(Q_{TR})와 침투유출량비(Q_{PR})가 모두 0.9이상으로 나타났다.

한편 각 강우지속기간별로 CI, CP, CS 매개변수의 변화양상중 Huff 2분위에 대해 그림으로 보면 그림 4~6과 같다. 각 매개변수가 강우지속기간에 따라 변하는 정도를 볼 수 있다. 침투능(CI)의 경우 지속 기간에 따른 변화가 거의 없었으며 포장율(CP)와 저류깊이(CS)의 경우 유출민감도비가 1보다 큰 값에서 1보다 작은 값으로 변하며 포장율(CP)은 강우지속기간이 길수록 변화의 폭이 작아짐을 알 수 있다.

5. 민감도분석 결과의 활용

본 연구에서 적용한 모형의 주요 매개변수중에서 동수천유역의 결과를 중심으로 모형의 확립을 위한 활용방안을 살펴보면 다음과 같다.

모형에서 매개변수의 민감도정도를 총유출량

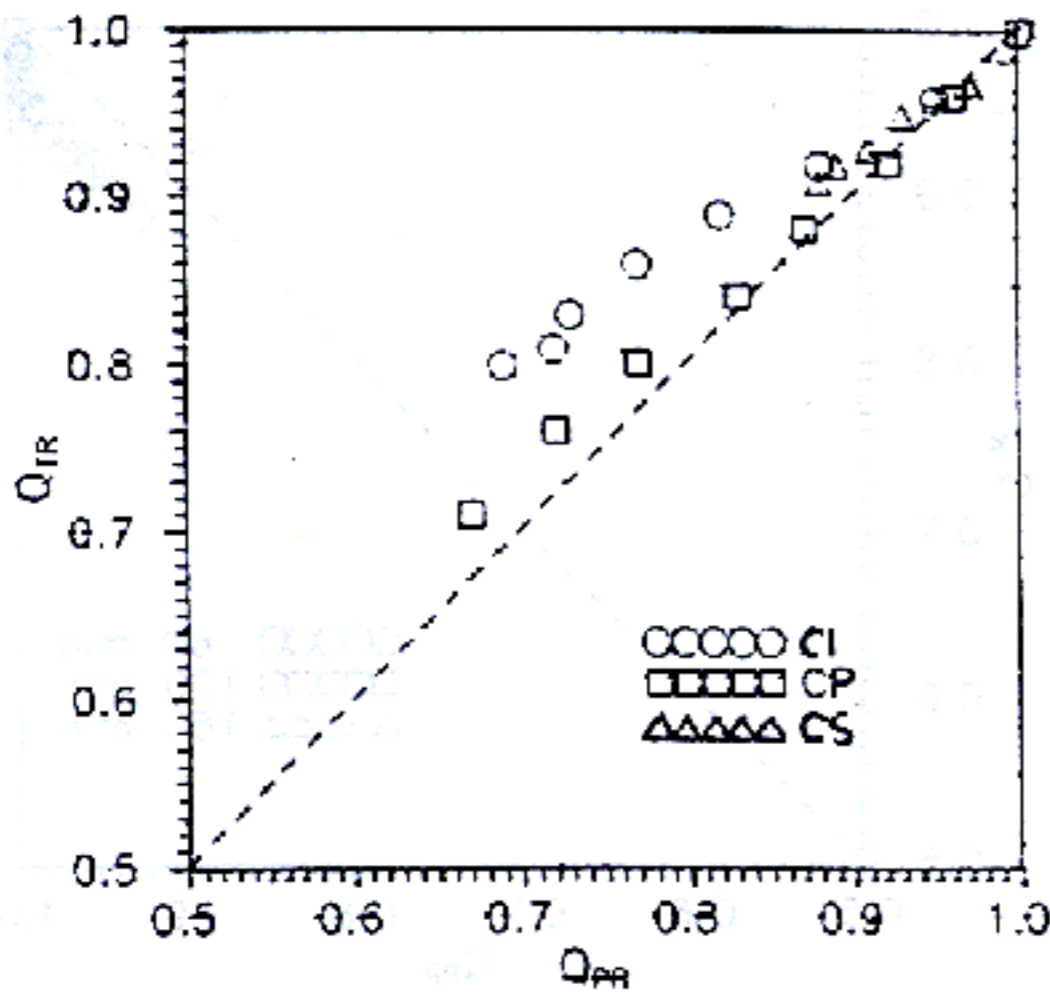


그림 4. 60분 강우지속기간에서의 각 매개변수의 민감도분석(CHICAGO)

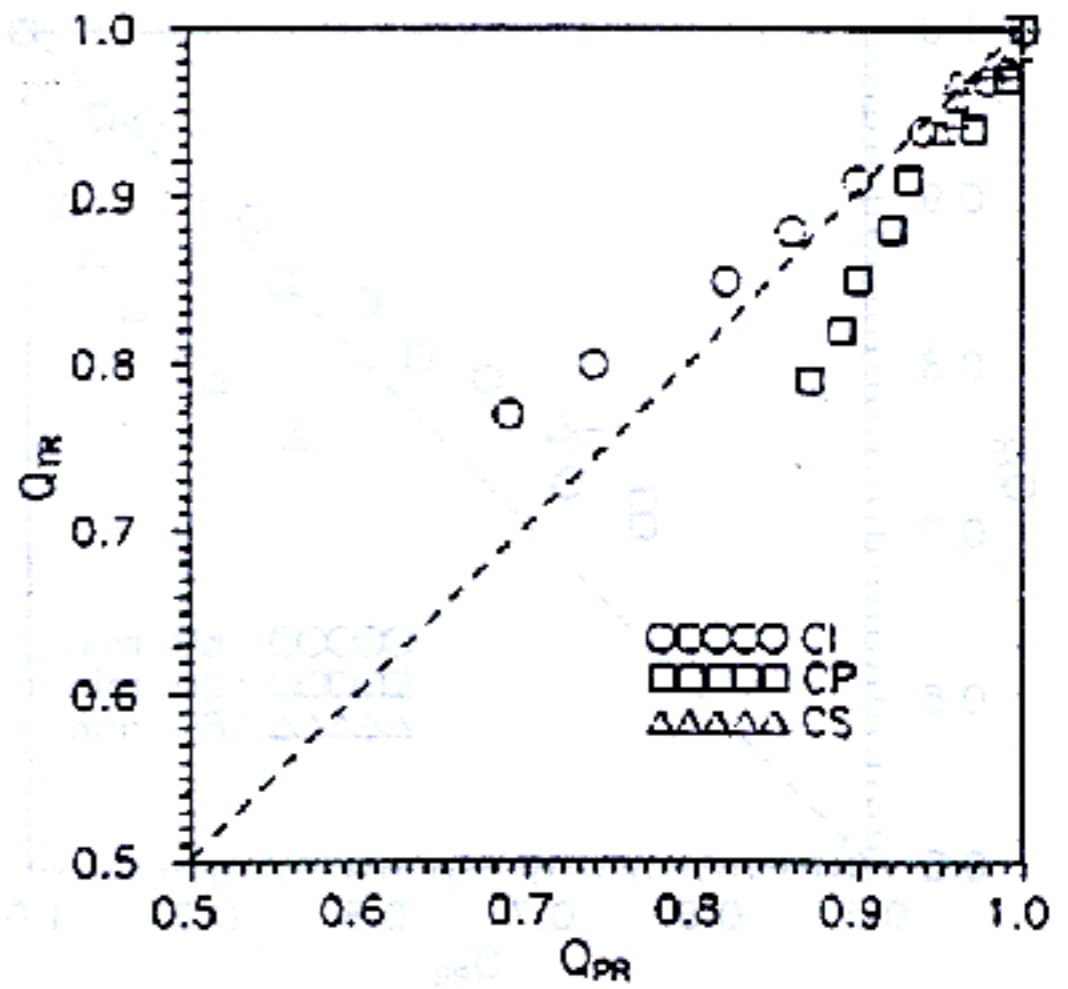


그림 6. 180분 강우지속기간에서의 각 매개변수의 민감도분석(CHICAGO)

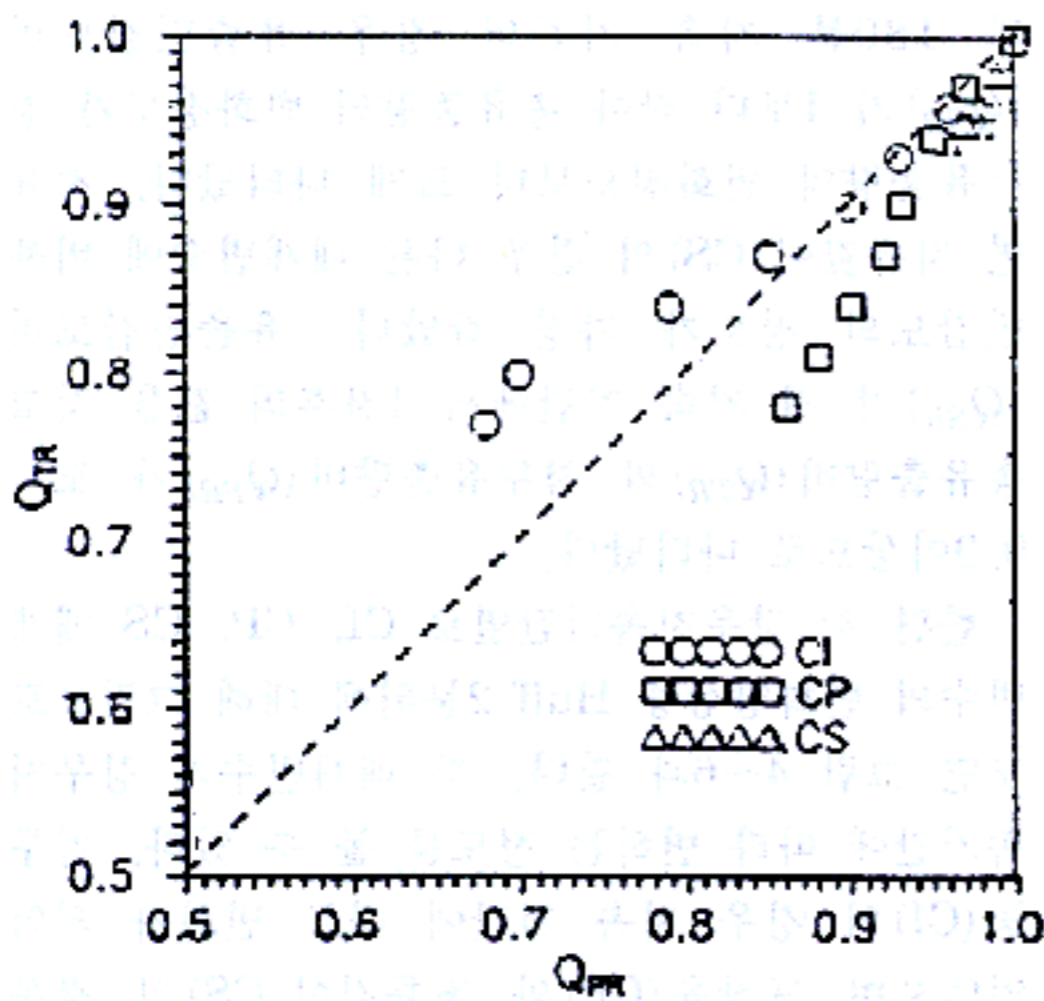


그림 5. 120분 강우지속기간에서의 각 매개변수의 민감도분석(CHICAGO)

비 (Q_{TR})와 침투유출량비 (Q_{PR}), 유출민감도비 (Q_{SR})로 구분하여 살펴본 결과를 이용하면 재해영향평가에서 개발로 인한 유출증가량을 감소시킬 여러 방안을 정량적으로 분석해 볼 수 있다. 즉 개발로 인한 하류부의 유출영향분석 결과의 양상에 따라 즉, 기존에 비해 침투유출

량의 변화없이 총유출량만 10% 정도 증가한다던지, 아니면 반대로 총유출량의 변화는 거의 없이 침투유출량만 10% 정도 증가한다던지, 혹은 총유출량과 침투유출량이 동시에 10% 정도 증가한다던지 등의 상황에 따른 지감계획을 매개변수의 조정을 통해 침투능이나 지표면 저류깊이나 손실저류깊이가 어느 정도로 늘게 되면 유출증가량을 10% 정도 감소시키는지를 확인하고 이에 대한 대책을 강구할 수 있을 것이다.

좀 더 자세히 살펴보기 위해 CHICAGO모형의 결과를 이용하여 설명하면 다음과 같다. 총유출량의 변화보다 침투유출량의 변화가 클 경우에는 해당지역의 포장율조정보다는 침투능을 증가시켜주는 방향으로 개선을 하는 것이 효과적이다. 즉 투수성이 강한 재료를 사용하거나 녹지역에서의 토양을 개량하여 지역내에서 초기에 침투되는 양을 증가시키는 방안을 강구하는 것이다. CHICAGO모형에서는 침투능(CI)의 경우 유출민감도비가 1이상으로 나타나며, 추후 연구를 통해 다른 모형에서 유출민감도비가 검토할 경우, 모형에 따라 어느 모형을 선택하느냐에 따라 결과의 해석이 서로 다를 수 있으므로 가능한 여러 모형을 동시에 모의하여

비교분석하는 것이 바람직하다.

6. 결 론

본 연구에서는 우리나라에 있어 도시화에 따른 수문현상의 변화를 해석하기 위한 도시유출 모형으로 완전히 도시화된 지역인 동수전유역을 대상으로 CHICAGO모형의 주요 매개변수들에 대해 민감도분석을 실시하여 모형의 매개변수들이 갖는 유출특성을 분석하였다. 본 연구를 통해 얻어진 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) CHICAGO모형의 주요 매개변수로 유효우량결정을 위한 침투능(CI)와 도시화정도를 나타내는 지표면의 포장율(CP)과 포장, 비포장유역에서의 손실량으로 나타나는 저류깊이(CS)를 선정하여 8단계에 대해 일정비율로 값을 변화시켜 총유출량과 침투유량 등의 변화정도를 상호연계시켜 민감도 분석을 실시하였다.

2) CHICAGO모형의 모의에서 총유출량의 변화보다 침투유출량의 변화가 클 경우에는 해당지역의 포장율값의 조정보다는 침투능을 증가시켜주는 방향으로 개선을 하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

3) 모형매개변수의 민감도정도를 총유출량비(Q_{TR})와 침투유출량비(Q_{PR}), 유출민감도비(Q_{SR})로 구분하여 살펴본 연구결과를 이용하면 새해영향평가에서 개발로 인한 유출증가량을 억제시킬 여러 방안을 정량적으로 분석해 볼 수 있는 방법을 제시할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 98년도 교내 학술연구비 지원사업에 따라 이루어졌으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

김승, 이홍래 등(1996). 도시유역 강우-유출모형의 적용 및 비교분석, 한국건설기술연구원.
대한주택공사(1995). 인천부개지구 침수원인조사 및

장기종합대책 수립에 관한 연구와 이에 따른 실시계획 종합보고서.

서규우, 배덕효, 심재현, 이재순(1996a). "유역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간변화에 관한 연구", 한국수자원학회지, 제29권 제3호, pp.207-216.

서규우, 허순행, 조원철(1996b). "도시화에 따른 유출영향분석 및 침수저감대책에 관한 연구", 대한도복학회 논문집, 제16권 제II-5호, pp. .

시병하, 김남원(1989). 지역별 설계상우의 시간적 분포, 건기연 89-WR-111 연구보고서, 한국건설기술연구원.

원석연, "유역 및 하도홍수추석 방법을 결합시킨 도시하천의 유출해석모형", 고려대학교 대학원 박사학위논문, 1993.

이홍래, 김형섭(1992). "수문모형평가에 관한 연구-강우유출모형을 중심으로-", 건기연 92-WR-111-2 연구보고서.

전병호(1989). "도시소규모단지의 우수유출량 산정 기법에 관한 연구", 한국도시개발공사.

전병호(1988). "도시개발에 따른 수해가중 영향분석 및 대책연구", 한국건설기술연구원.

Huff, F. A.(1990). "Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois", State of Illinois, Water Survey, ISWS/CIR-173/90, Circular 173.

Huff, F. A.(1967). "Time Distributions of Heavy Storms", Water mention Water Resources Research, Vol. 3, No. 4.

Kiber, D. F.(1982). Urban Stormwater Hydrology, AGU, Water Resources Monograph 7, Washington, D. C., pp. 10-12.

McCuen, R. H.(1973). "The Role of Sensitivity Analysis in Hydrologic Modeling, Journal of Hydrology, Vol. 18, pp. 37-53.

Mein, R. G., and B. M. Brown (1978). "Sensitivity of Optimized Parameters in Watershed Models, Water Resources Research, Vol. 14, No. 2.

Sorooshian, S., and F. Arli (1982). "Response surface parameter sensitivity analysis methods for post-calibration studies, Water Resources Research, 18(5), pp.1531-1538.

Tholin, A. L. and Keifer, C. J.(1960). "Hydrology of Urban Runoff", Trans. ASCE, 125, pp.1308-1379.

Watkins, L. H.(1962). "The Design of Urban Sewer Systems", Road Research Lab. Technical Paper 55, p.96.