

도시유역에서 수문학적 특성에 따른 임계지속기간의 변화 연구

A Study on the Variation of the Critical Duration According to
Hydrologic Characteristics in Urban Area

이 정 식* / 신 창 동**

Lee, Jung Sik / Shin, Chang Dong

Abstract

The objective of this study is to analyze the relation of critical duration according to hydrologic characteristics in urban areas. RRL, ILLUDAS, SWMM, and SMADA urban runoff models were applied to the Seongnae and Banpo watershed and experiment area of the Dong-Eui University. Also, hydrologic characteristics such as temporal pattern of rainfall, rainfall intensity formula, antecedent moisture condition, return period, and urban runoff model were used to simulate the critical duration of the test areas. The results of this study are as follows; (1) The type of temporal pattern of rainfall which causes maximum peak discharge in urban area has resulted in Huff's 4th quartile distribution. (2) The critical duration in urban areas were not influenced by hydrological factors except urban runoff model. (3) Peak discharge and critical duration in urban areas were influenced by the urban runoff model, and the SWMM model using Huff's 4th quartile distribution shows maximum critical duration.

key words : urban area, urban runoff model, critical duration, hydrologic characteristics

요 지

본 연구는 도시유역인 성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에서 수문학적 특성에 따른 임계지속기간의 변화를 구명한 것이다. 유출해석을 위한 도시유출모형으로는 RRL, ILLUDAS, SWMM과 SMADA 모형을 사용하였으며, 수문학적 특성으로는 강우의 시간분포방법, 확률강우강도식, 선행함수조건, 재현기간과 유출모형을 이용하였다. 도시유역에서 최대 침투유량을 발생시키는 강우의 시간분포방법은 Huff의 4분위로 나타났으며, 침투유량은 수문학적 특성에 따라 차이를 보였으나 유출모형을 제외한 수문학적 특성들은 임계지속기간에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 임계지속기간은 유출모형에 따라 차이를 나타내고 있으며, SWMM 모형에 Huff의 4분위를 적용하였을 경우 임계지속기간이 가장 크게 나타났다.

핵심용어 : 도시유역, 도시유출모형, 임계지속기간, 수문학적 특성

1. 서 론

오늘날의 도시유역은 고도의 성장을 거치며 지속적으로 진행된 도시화 및 산업화로 인한 시가지의 확산과 그에 따른 각종 사회간접자본 개발 등으로 도시화되기 이전의 지표면이 갖고 있었던 보수 및 우수기능

등이 인공구조물 등으로 피복되면서 현저하게 줄어들었다. 더욱이 최근 인구의 급격한 도시집중에 따라 주거 및 생활공간 등의 절대부족으로 인하여 과거의 하천범람구역이나 홍수우려가 있는 저지대에까지 주택, 건물 등이 건설됨으로써 치수면에서의 안전도가 상당히 악화되고 있는 실정이다.

* 정희원 · 금오공과대학교 토목환경공학부 교수 (e-mail : jungsik@kumoh.ac.kr)

** 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정

이와 같이 도시유역 하류부에서의 대규모적인 택지 개발에 따라 야기되는 도시화 현상으로 인해 수문현상이 변화하여 도시유역에서는 홍수피해가 빈번하게 발생하고 있다. 특히 도시유역에서 발생하는 각종 수해는 다른 지역에 비해 개발정도와 인구집중 등으로 피해액과 피해규모 등이 상대적으로 증가하므로 도시유역을 대상으로 한 홍수방어대책이 요구되고 있다. 홍수방어대책으로는 크게 구조적 대책과 비구조적 대책으로 나눌 수 있다. 대표적인 구조적 대책은 제방과 저류지와 같은 수공구조물을 설치하여 홍수피해를 감소시키는 것이며, 비구조적 대책은 홍수예경보 시스템으로 홍수의 위험성을 감소시키는 방안이다.

도시유역에서 종합적인 치수대책을 수립할 때, 구조적 대책의 경우 계획되는 수공구조물의 보다 정확한 설계를 위해서는 도시유역의 실정에 맞는 세밀한 수문량의 예측이 필요하며, 또한 비구조적 대책의 경우 홍수예경보 시스템의 활용을 위해서는 정도 높은 강우예측능력이 선행되어야 한다. 현재 국내 수자원 실무의 경우에 강우의 예측을 위하여 다양한 강우분석기법이 활용되고 있으나 국내 도시유역에 대해서는 적절한 기준이 없는 실정이므로, 도시유역에서 도시의 강우특성을 고려한 강우분석이 요구된다. 도시유역에서 유출특성에 영향을 미치는 강우인자로는 강우의 시간분포와 강우지속시간을 들 수 있으며, 홍수량의 정확한 예측을 위하여는 이들을 정확히 분석하여야 한다. 국내에서는 강우의 시간분포 예측방법으로 Mononobe 방법과 Yen과 Chow의 분포방법, Keifer와 Chu의 분포방법 및 Huff의 분포방법 등을 이용하여 강우의 시간분포를 이용하고 있으며, 또한 강우의 지속시간을 결정하는 기준으로는 유역에서의 도달시간을 지속시간으로 이용하여 왔으나 최근에는 지속시간의 변화에 따라 최대 침투유량을 발생시키는 지속시간을 강우지속시간으로 결정하는 임계지속시간 개념을 적용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 도시유역의 강우특성을 고려한 강우의 시간분포와 지속시간의 특성을 구명하고자 국내 도시유역을 대상으로 최대 유출상황을 발생시키는 강우의 시간분포방법과 강우지속시간을 밝혀내고 수문학적 특성에 따른 임계지속시간의 변화를 규명하고자 한다. 이를 위하여 확률강우강도식의 형태, 선행함수조건, 재현기간 및 유출모형과의 관계 등에 대한 보다 심도있는 연구를 수행하며, 도시유역의 강우 시간분포방법과 지속시간에 관한 특성을 분석함으로써 도시 치수구조물 설계 및 재난방지계획에 보다 합리적인 기준을 제시하고자 한다.

2. 대상유역 및 기본자료

2.1 대상유역

본 연구에서는 대상유역으로 서울특별시의 성내와 반포배수구역과 부산광역시 동의대시험유역을 선정하였다. 성내배수구역은 유역면적 2.20km², 총관로연장 3.10km이며, 반포배수구역은 유역면적 3.69km², 총관로연장 9.35km이다. 그리고 동의대시험유역은 유역면적 0.4945km², 총관로연장 880m, 최대표고차 50m인 급경사 유역이다.

성내와 반포배수구역의 배수관로 시스템자료는 관할구청 하수과의 관망자료와 1/5,000 지도를 가지고 조사하였으며(이정식, 2004), 동의대시험유역은 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보 기술 개발의 일환으로, 2000년 7월부터 시험유역의 운영을 시작하여 지속적으로 수문관측이 진행되고 있는 도시 유역이다(서규우 등, 2002).

2.2 기본자료

본 연구에서는 식 (1)과 같은 장·단 구분형태의 Case I 과 식 (2)와 같은 단일형태의 Case II의 두 가지 형태의 확률강우강도식을 각각 성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에 적용하여 설계홍수량을 산정하였다. Case I의 서울지방 확률강우강도식은 서울특별시(2002), 부산지방의 확률강우강도식은 건설교통부(2000a)의 결과를 이용하였으며, Case II의 서울과 부산지방의 확률강우강도식은 이재준 등(1999)의 연구결과를 이용하였다. 이 때 확률강우량의 재현기간은 5, 10, 20, 50, 100년 빈도를 이용하였으며, 지속기간은 10분부터 180분까지 10분 간격을 적용하였다. 표 1은 대상유역의 확률강우강도식 회귀계수를 나타내고 있으며, Case II는 재현기간 20년에 대한 회귀계수이다.

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (1)$$

$$I = \frac{c}{t^a + b} \quad (2)$$

3. 설계강우의 시간분포방법과 강우-유출모형

3.1 설계강우의 시간분포방법

3.1.1 Mononobe 방법

Mononobe 방법은 강우의 시간분포를 임의로 배열

표 1. 대상구역의 확률강우강도식 회귀계수

| Case | 배수 구역 | 기 간 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>n</i> | 장단분리 경계 |
|---------|-------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| Case I | 성내, 반포 (서울) | 단기간 | 366.6 | 134.1 | 1.254 | 0.05396 | 0.02385 | 180분 |
| | | 장기간 | 190.1 | 84.88 | -2.228 | 0.5258 | -0.01775 | |
| | 동의대 (부산) | 단기간 | 253.5492 | 159.1007 | 1.6795 | 0.1470 | 0.0109 | 90분 |
| | | 장기간 | 380.9872 | 118.4000 | -0.5210 | 0.0627 | 0.2784 | |
| Case II | 성내, 반포 (서울) | 전기간 | 0.539 | 1.065 | 723.852 | - | - | - |
| | 동의대 (부산) | 전기간 | 0.533 | 0.903 | 741.218 | - | - | - |

하는 방법으로 본 연구에서는 IDF곡선 관계를 이용하여 강우량을 산정한 후 최대강우강도가 발생하는 위치에 따라 전방집중형, 중앙집중형과 후방집중형으로 나누어 시간별로 분포시켰다.

3.1.2 Yen과 Chow의 분포방법

Yen과 Chow(1980)는 무강우가 없는 연속강우자료를 선별하여 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 강우의 시간분포를 삼각형과 사다리꼴 우량주상도로 단순화하여 표현하였으며, 본 연구에서는 Yen과 Chow의 삼각형 분포방법을 이용하였다. 무차원 특성 변수 a^0 값은 강우지속기간의 중앙에서 25%씩 가감한 위치에서 첨두강우 위치를 발생시켰으며, 각각 전방집중형, 중앙집중형과 후방집중형이라 명하였다(이정식 등, 2001).

3.1.3 Huff의 분포방법

Huff(1967)는 미국 Illinois주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적 분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였으며, 강우의 누가곡선을 이용하여 전 지속기간을 4등분 하였을 때 각 분류된 구간의 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지 조사하였다. 강우지속기간을 4등분 하였을 때 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1구간호우, 다음 2/4구간을 제 2구간호우, 다음 3/4구간을 제3구간호우, 그리고 마지막 구간을 제4구간호우로 하였으며, 본 연구에서는 해당 지역 50% 무차원 누가곡선을 건설교통부(2000b)의 결과를 이용하였다.

3.1.4 Keifer와 Chu의 분포방법

Keifer와 Chu(1957)는 IDF곡선의 평균강우강도와 지속기간의 관계식을 이용하여 시간구간별 강우강도를 구하는 방법을 제시하였으며, 이 방법에서 관측강우량

의 시간분포방법으로 추정되어야 할 것은 첨두우량의 발생시간이다. 이 시간을 추정하기 위해서는 IDF곡선을 작성할 때 사용된 자료를 이용하고, 이 자료의 첨두부분을 평균하여 지속기간별로 중간값 혹은 평균값을 채택하여 최종 μ 값을 결정한다. Keifer와 Chu의 분포 방법은 강우강도식을 이용하여 임의의 설정된 강우의 지속기간에서 첨두우량을 분포시킬 수 있는 수학적 기법으로 임의의 위치에 첨두우량을 위치시킬 수 있다는 장점이 있으나, 수학적으로 유도되는 분포이기 때문에 강우의 특성상 중요한 의미를 가지는 지역적 특성을 고려하지 않는다는 단점이 있다. 본 연구에서는 호우진행계수 μ 값을 강우지속기간의 중앙에서 25%씩 가감한 위치에서 첨두강우위치를 발생시켰으며, 각각 전방집중형, 중앙집중형과 후방집중형이라 명하였다.

3.2 적용 강우-유출모형

도시유역은 대부분의 경우 유역면적이 작고 도시개발에 따른 불투수면의 증가와 지표면 저류지의 감소, 내배수관망을 통한 신속한 배수 등으로 인하여 유출용적과 첨두유량이 커질 뿐만 아니라 첨두유량의 발생시각도 훨씬 빨라지게 되어 도시 홍수문제를 발생시키며, 이러한 홍수의 관리대책수립을 위해서는 정도 높은 유출량의 계산은 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 도시유역을 대상으로 개발된 도시유출모형인 RRL, ILLUDAS, SWMM과 SMADA 모형을 이용하여 최대 첨두유량과 임계지속기간을 분석하고자 한다. 본 연구에서 적용하는 4가지 도시유출모형을 살펴보면 다음과 같다.

3.2.1 RRL 모형

RRL 모형은 도시배수망 설계를 위하여 1962년에 영국에서 고안되었으며, 도시지역의 불투수지역만을 고려하여 등도달시간-집수면적 곡선을 작성하고 여기에

각종 크기의 강우강도를 적용하여 각 소유역의 시간별 유출량을 지체 및 합산함으로써 유입구에 대한 유입수문곡선을 합성한다. 이 유입수문곡선을 기존 하수도망에 따라 저류량 추적을 함으로써 주관거에 대한 유출수문곡선을 얻게 된다. 그러나 이 RRL 모형을 우리나라에서는 1980년대 후반에 실무에서 기본가정을 일부 수정하여 널리 사용하고 있다.

3.2.2 ILLUDAS 모형

ILLUDAS 모형은 Terstriep와 Stall(1974)에 의해 개발된 모형으로 도시유역에서 호우에 따른 배수시스템의 수문학적 설계에 활용할 수 있다. 이 모형은 RRL 모형을 기초로 하고 있으며, RRL 모형이 포장지역의 유출은 정확히 예측해 주지만, 비포장지역의 유출은 예측해 주지 못하기 때문에 모든 도시유역에 적용시킬 수 없다는 점을 보완, 개발하여 비포장지역의 유출도 고려하고 있으므로 모든 도시유역에 적용할 수 있다.

3.2.3 SWMM 모형

SWMM 모형은 연결된 하수관거에서의 수량과 수질의 모의를 위한 단일사상모형으로 1971년 미국 EPA의 지원아래 Metcalf와 Eddy 사가 Florida 대학 및 W.R.E 와의 공동연구로 개발되었다. 이후에 단순호우와 연속강우 모의를 이용하여 배수설계추적에서 비점오염원 수질연구를 위한 정교한 수리학적 분석까지 도시배수의 모든 분야에 적용할 수 있게 되었으며, 도시유역에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다(Huber 등, 1988).

3.2.4 SMADA 모형

SMADA(Stormwater Management and Design

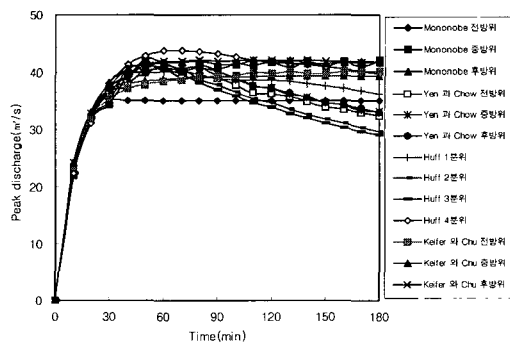


그림 1. 시간분포방법별 첨두유량의 변화(성내배수구역)

Aid) 모형은 Central Florida 대학의 Wanielista 등 (1997)에 의하여 고안된 모형이며, Windows 운영체제 하에서 실행되는 모형으로 강우량과 유역특성인자를 입력하여 수문곡선을 산정할 수 있다. 또한 저류지에 대한 수위-저류량-유량관계를 입력하거나 계산할 수 있으며, 이로부터 저류지의 수문곡선 추적도 가능하다.

4. 강우의 시간분포 분석

4.1 강우의 시간분포방법에 따른 유출변화

본 연구에서는 대상유역에서 강우의 시간분포방법별로 유출해석결과가 어떠한 변화를 보이는가를 분석하고자 도시유출모형인 ILLUDAS 모형을 적용하여 유출수문곡선을 구하였다. 강우의 시간분포가 유출량에 미치는 영향을 파악하기 위한 인자로는 첨두유량과 첨두유량 변화율을 선정하였으며, 첨두유량 변화율은 다음과 같다.

$$\Delta Q_{pk}(\%) = \frac{(Q_{pk} - Q_{pr})}{Q_{pr}} \times 100 \quad (3)$$

여기서 ΔQ_{pk} 는 방법 k 의 첨두유량 변화율, Q_{pk} 는 방법 k 의 첨두유량, Q_{pr} 은 균등강우강도 적용시의 첨두유량이다.

대상유역인 성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에서 ILLUDAS 모형에 의한 강우의 시간분포방법별 지속시간에 따른 첨두유량의 변화를 도시한 결과는 그림 1~3과 같으며, 유출해석 결과는 표 2와 같다.

그림 1~3을 살펴보면 IDF 곡선관계를 이용한 Mononobe 방법과 Keifer와 Chu의 분포방법은 지속시간의 증가에 따라 첨두유량이 증가 또는 발산하고 있으며, Yen과 Chow의 분포방법과 Huff의 분포방법에서는 최대 첨두유량을 보인 후 감소하고 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 Mononobe 방법과 Keifer와

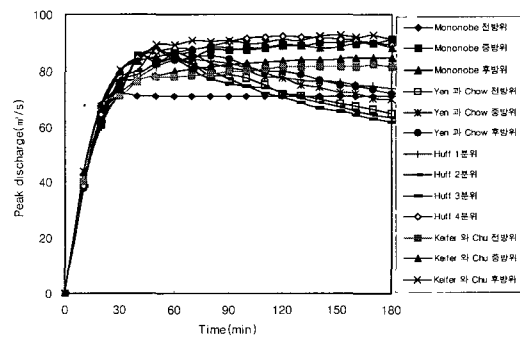


그림 2. 시간분포방법별 첨두유량의 변화(반포배수구역)

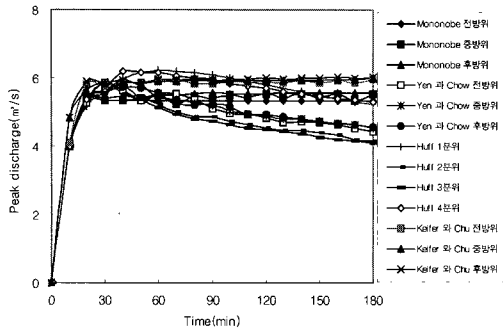


그림 3. 시간분포방법별 침투유량의 변화(동의대시험구역)

Chu의 분포방법에서는 침투유량의 결정에 어려움이 따르므로 발산시점과 지속기간 180분에서의 침투유량을 적용하였다.

표 2를 살펴보면 침투유량은 13개 시간분포방법 중에서 성내와 반포배수구역의 경우 Huff의 4분위가 가장 큰 값을 보였으며, 동의대시험구역의 경우 Huff의 1분위와 4분위가 가장 큰 값을 보였다.

침투유량 변화율은 유역별로 복잡한 상황을 보이고 있으며, 증가율은 성내배수구역의 경우 Huff의 분포방법(164.2~190.7%), Keifer와 Chu의 분포방법(158.3~179.5%), Yen과 Chow의 분포방법(161.6~171.5%), Mononobe 방법(133.1~166.9%)의 순으로 감소하고 있으며, Mononobe 방법과 Yen과 Chow의 분포방법은 중앙집중형, Keifer와 Chu의 분포방법에서는 후방집중형, Huff의 분포방법에서는 4분위가 가장 크게 나타났다. 반포배수구역의 경우 Huff의 분포방법(66.2~

82.0%), Keifer와 Chu의 분포방법(60.7~80.2%), Yen과 Chow의 분포방법(67.0~71.9%), Mononobe 방법(40.3~76.3%)의 순으로 감소하고 있으며, Mononobe 방법과 Yen과 Chow의 분포방법은 중앙집중형, Keifer와 Chu의 분포방법에서는 후방집중형, Huff의 분포방법에서는 4분위가 가장 크게 나타났다. 동의대시험구역의 경우 Huff의 분포방법(26.7~37.8%), Keifer와 Chu의 분포방법(31.1%), Yen과 Chow의 분포방법(24.4~31.1%), Mononobe 방법(17.8~22.2%)의 순으로 감소하고 있으며, Mononobe 방법에서는 후방집중형, Yen과 Chow의 분포방법에서는 중앙집중형이 가장 크게 나타났고 Keifer와 Chu의 분포방법은 발산하였고 Huff의 분포방법에서는 1분위와 4분위가 가장 크게 나타났다.

4.2 최대 침투유량을 발생시키는 강우의 시간분포방법

본 연구에서는 대상유역에서 분석한 유출해석결과를 바탕으로 최대 침투유량을 발생시키는 강우의 시간분포방법을 결정하기 위하여 침투유량과 침투유량 변화율을 비교·검토하였다. 설계수문량의 관점에서 보면 침투유량 변화율이 최대를 보이는 시간분포방법이 최대 침투유량을 발생시키는 것이 되며, 저류능력의 관점에서 보면 침투시간이 지연되면서 침투유량 변화율이 최대를 보이는 시간분포방법이 최대 침투유량을 발생시키는 것이 된다. 본 연구에서는 설계수문량을 최대로 발생시키는 강우의 시간분포방법을 결정하고자 하므로 치수방재공학적 측면의 판단기준에서 침투유량 변화율

표 2. 강우의 시간분포방법별 유출해석 결과의 비교

| 항목 방법 | | 성내 | | 반포 | | 동의대 | |
|----------------|---|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| | | Q_p (m^3/s) | ΔQ_{pk} (%) | Q_p (m^3/s) | ΔQ_{pk} (%) | Q_p (m^3/s) | ΔQ_{pk} (%) |
| Mononobe | 전 | 35.2 | 133.1 | 71.0 | 40.3 | 5.3 | 17.8 |
| | 중 | 40.3 | 166.9 | 89.2 | 76.3 | 5.3 | 17.8 |
| | 후 | 39.0 | 158.3 | 83.4 | 64.8 | 5.5 | 22.2 |
| Yen과 Chow | 전 | 39.5 | 161.6 | 84.5 | 67.0 | 5.6 | 24.4 |
| | 중 | 41.0 | 171.5 | 87.0 | 71.9 | 5.9 | 31.1 |
| | 후 | 40.8 | 170.2 | 85.4 | 68.8 | 5.7 | 26.7 |
| Keifer와 Chu | 전 | 39.0 | 158.3 | 81.3 | 60.7 | 5.9 | 31.1 |
| | 중 | 42.1 | 178.9 | 88.9 | 75.7 | 5.9 | 31.1 |
| | 후 | 42.2 | 179.5 | 91.2 | 80.2 | 5.9 | 31.1 |
| Huff | 1 | 40.2 | 166.2 | 84.1 | 66.2 | 6.2 | 37.8 |
| | 2 | 40.6 | 168.9 | 87.3 | 72.5 | 5.9 | 31.1 |
| | 3 | 39.9 | 164.2 | 84.5 | 67.0 | 5.7 | 26.7 |
| | 4 | 43.9 | 190.7 | 92.1 | 82.0 | 6.2 | 37.8 |

이 최대를 보이는 시간분포방법을 최대 침투유량을 발생시키는 강우의 시간분포방법으로 결정하였다.

표 2를 살펴보면 대상유역에서 ILLUDAS 모형에 의해 산출된 침투유량 변화율은 13개 시간분포방법 중에서 성내배수구역의 경우 Huff의 4분위, 반포배수구역의 경우에도 Huff의 4분위, 그리고 동의대시험유역의 경우 Huff의 분포방법의 1분위와 4분위가 가장 큰 값을 보였으며, 따라서 ILLUDAS 모형으로 강우-유출 해석을 실시할 경우 대상유역에서 Huff의 4분위가 최대유출을 발생시키는 것으로 나타났다.

5. 임계지속기간 분석

수문량 산정에 영향을 미치는 주요한 인자로는 강우 지속기간을 들 수 있으며, 강우지속기간은 우수관거 설계시는 최대 침투유량 또는 우수지 설계시는 최대 저류비(우수지에 저류되는 용적량/총유출용적량)를 발생하는 지속기간을 임계지속기간이라 하며 이에 관한 연구사례는 기존연구(이종태 등, 1993; 이재준 등, 1993)에서 확인할 수 있다. 그러나 임계지속기간은 이종태 등(1993)과 이재준 등(1993)이 제시한 바와 같이 수공구조물의 종류, 유역의 특성과 설계강우의 시간분포 및 재현기간에 따라 변화하고 있으며, 또한 유출모형에 따라 변화하고 있다. 특정 구조물의 설계는 구조물에 최대의 부하를 걸리게 하는 상황에 대한 안전도가 보장되도록 하는 것이며, 자연하천의 하도단면이나 도시유역의 하수관거 경우는 배수구역에서의 침투유출을 안전하게 소통시킬 수 있도록 설계가 이루어지면 된다. 따라서 이러한 경우에 대한 임계지속기간의 결정기준으로는 유출해석의 결과에서 얻어지는 침투유량의 크기가 최대가 되는 지속기간을 택하면 될 것이므로 본 연구에서는 임계지속기간의 개념을 일단 침투유량을 최대로 발생시키는 강우의 지속기간을 의미하는 것으로 하였다.

본 연구에서는 임계지속기간을 산정하기 위하여 Huff의 분포방법으로 확률강우량을 시간분포시킨 후 도시유출모형에 적용하여 최대 침투유량을 나타내는 강우지속기간을 임계지속기간으로 결정하였으며, 강우지속기간과 연관된 수문요소인 확률강우강도식의 형태, 선행함수조건, 재현기간과 유출모형에 따른 임계지속기간의 변화를 분석하였다.

5.1 확률강우강도식의 형태별 임계지속기간의 변화분석

본 연구에서는 확률강우강도식의 형태에 따른 임계지속기간의 영향정도를 검토하기 위하여 식 (1)과 같

은 장·단 구분형태의 Case I 과 식 (2)와 같은 단일형태의 Case II의 두 가지 형태의 확률강우강도식을 각각 성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에 적용하여 유출량을 산정하였다. Case I의 서울지방 확률강우강도식은 서울특별시(2002), 부산지방의 확률강우강도식은 건설교통부(2000b)의 결과를 이용하였으며, Case II의 서울과 부산지방의 확률강우강도식은 이재준 등(1999)의 연구결과를 이용하였다. 확률강우강도식의 형태별 영향 정도를 판단하고자 유효유량 산정방법과 유출모형은 각각 NRCS 유출곡선지수법(AMC III)과 ILLUDAS 모형을 이용하였으며, 재현기간은 20년에 국한하여 확률강우강도식별로 임계지속기간을 산정하였다.

성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에 Huff의 3분위를 적용한 경우의 확률강우강도식별 지속기간에 따른 침투유량의 변화를 도시한 결과는 그림 4~6과 같으며, 확률강우강도식에 따른 임계지속기간은 표 3과 같다.

그림 4~6을 살펴보면 Huff의 3분위에서 Case I의 경우 확률강우량이 Case II의 경우의 확률강우량보다 크게 산정되기 때문에 침투유량이 Case I의 경우가 다소 크게 나타나는 것으로 판단되며, 성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에서 침투유량은 Case I의 경우 각각 41.2m³/s, 84.6m³/s, 5.8m³/s, Case II의 경우 각각 38.8m³/s, 78.7m³/s, 5.7m³/s로 나타났다.

표 3을 살펴보면 확률강우강도식 형태별 임계지속기간은 성내배수구역의 경우 Huff의 1분위는 60분, Huff의 2분위는 50분, Huff의 3분위는 50분, Huff의 4분위는 70분, 반포배수구역의 경우 Huff의 1분위는 70분, Huff의 2분위는 50분, Huff의 3분위는 40분, Huff의 4분위는 120분, 동의대시험유역의 경우 Huff의 1분위는 50~60분, Huff의 2분위는 30분, Huff의 3분위는 40분, Huff의 4분위는 40분으로 나타났다. Huff의 분포방법에 대한 확률강우강도식 형태별 임계지속기간의 변화는 전체적으로 0~10분의 차이를 보이고 있어 확률강우강도식 형태에 따른 임계지속기간의 변화가 크지 않음을 알 수 있었다.

5.2 선행함수조건별 임계지속기간의 변화분석

본 연구에서는 NRCS 유출곡선지수법을 이용하여 선행함수조건별 임계지속기간의 영향을 검토하였으며, NRCS 유출곡선지수법은 AMC II 조건과 AMC III 조건만을 적용하여 임계지속기간의 변화양상을 파악하였다.

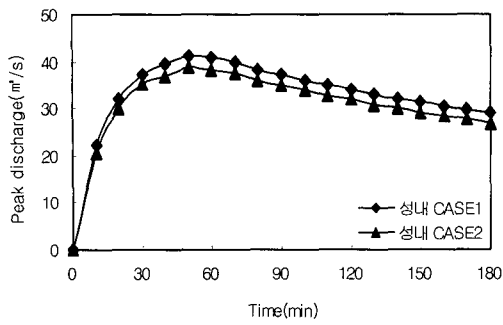


그림 4. 확률강우강도식별 침두유량변화 (성내배수구역, Huff의 3분위)

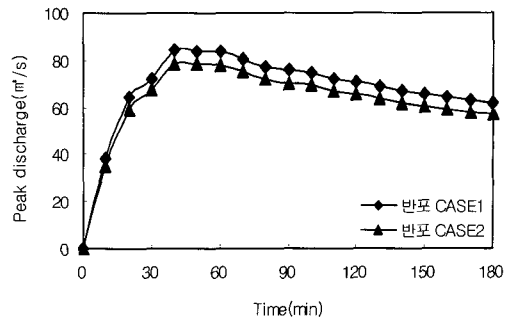


그림 5. 확률강우강도식별 침두유량변화 (반포배수구역, Huff의 3분위)

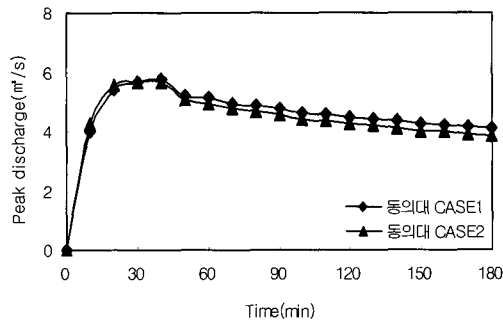


그림 6. 확률강우강도식별 침두유량변화 (동의대시험구역, Huff의 3분위)

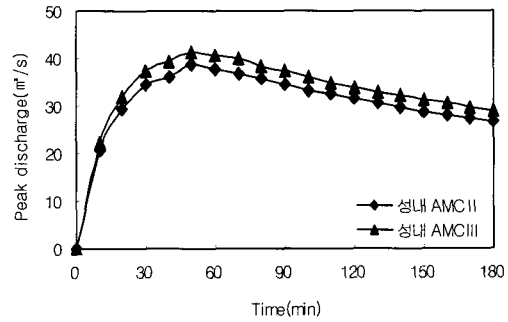


그림 7. 선행함수조건별 침두유량변화 (성내배수구역, Huff의 3분위)

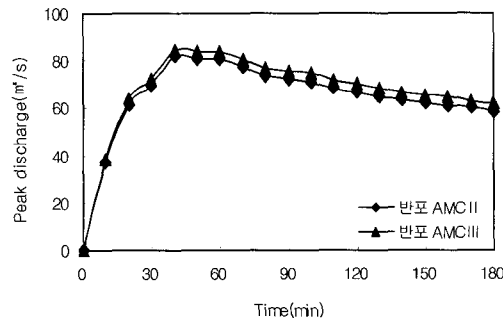


그림 8. 선행함수조건별 침두유량변화 (반포배수구역, Huff의 3분위)

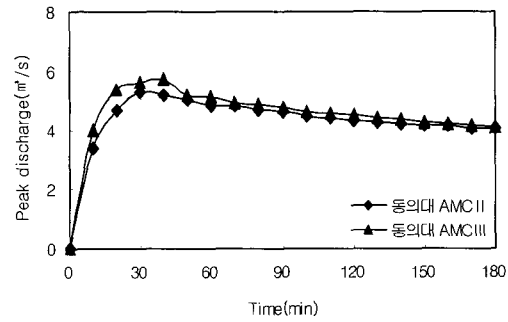


그림 9. 선행함수조건별 침두유량변화 (동의대시험구역, Huff의 3분위)

표 3. 확률강우강도식 형태별 임계지속시간

(단위:분)

| 배수구역 | 시간분포방법 | | Case I | Case II |
|------|--------|---|--------|---------|
| 성내 | Huff | 1 | 60 | 60 |
| | | 2 | 50 | 50 |
| | | 3 | 50 | 50 |
| | | 4 | 70 | 70 |
| 반포 | Huff | 1 | 70 | 70 |
| | | 2 | 50 | 50 |
| | | 3 | 40 | 40 |
| | | 4 | 120 | 120 |
| 동의대 | Huff | 1 | 60 | 50 |
| | | 2 | 30 | 30 |
| | | 3 | 40 | 40 |
| | | 4 | 40 | 40 |

선행함수조건별 지속기간에 따른 침투유량의 변화를 검토하고자 확률강우강도식의 형태와 유출모형은 각각 Case I 형태(건설교통부, 2000b)의 재현기간 20년 확률강우강도식과 ILLUDAS 모형을 이용하였다.

성내와 반포배수구역과 동의대시험구역에 Huff의 3분위를 적용한 경우의 선행함수조건별 지속기간에 따른 침투유량의 변화를 도시한 결과는 그림 7~9와 같으며, 대상구역의 선행함수조건에 따른 임계지속기간은 표 4와 같다.

그림 7~9를 살펴보면 선행함수조건에 따른 침투유량의 변화는 모든 경우에서 AMC III 조건에서의 침투유량이 AMC II 조건에서의 침투유량보다 다소 크게 산정되는 것으로 나타났다. 침투유량은 성내와 반포배수구역과 동의대시험구역에서 Huff의 3분위, AMC II의 경우 각각 38.6m³/s, 82.0m³/s, 5.3m³/s, AMC III의 경우 각각 41.2m³/s, 84.6m³/s, 5.8m³/s로 나타났다.

표 4를 살펴보면 선행함수조건별 임계지속기간은 성내배수구역의 경우 Huff의 1분위는 60분, Huff의 2분위는 50분, Huff의 3분위는 50분, Huff의 4분위는 70~80분으로 나타났으며, 반포배수구역의 경우 Huff의 1분위는 70분, Huff의 2분위는 50분, Huff의 3분위는 40분, Huff의 4분위는 120~130분, 동의대시험구역의 경우 Huff의 1분위는 60분, Huff의 2분위는 30분, Huff의 3분위는 30~40분, Huff의 4분위는 40분으로 나타났다. Huff의 분포방법에 대한 선행함수 조건별 임계지속기간의 변화는 전체적으로 0~10분의 차이를 보이고 있어 선행함수조건별에 따른 임계지속기간의 변화도 확률강우강도식 형태와 같이 크지 않은 것으로 나타났다.

표 4. 선행함수조건별 임계지속기간 (단위:분)

| 배수구역 | 시간분포방법 | | AMC II | AMC III |
|------|--------|---|--------|---------|
| 성내 | Huff | 1 | 60 | 60 |
| | | 2 | 50 | 50 |
| | | 3 | 50 | 50 |
| | | 4 | 80 | 70 |
| 반포 | Huff | 1 | 70 | 70 |
| | | 2 | 50 | 50 |
| | | 3 | 40 | 40 |
| | | 4 | 130 | 120 |
| 동의대 | Huff | 1 | 60 | 60 |
| | | 2 | 30 | 30 |
| | | 3 | 30 | 40 |
| | | 4 | 40 | 40 |

5.3 재현기간별 임계지속기간의 변화분석

본 연구에서는 확률강우량의 재현기간에 따른 임계지속기간의 변화를 검토하고자 5, 10, 20, 50, 100년 등의 총 5개 재현기간을 적용하였다. 확률강우량의 재현기간별 영향정도를 판단하고자 확률강우강도식의 형태, 유효유량 산정방법과 유출모형은 각각 Case I 형태(건설교통부, 2000b)의 확률강우강도식, NRCS 유출곡선지수법(AMC III), ILLUDAS 모형을 이용하였다.

성내와 반포배수구역과 동의대시험구역에 Huff의 3분위를 적용한 경우의 재현기간별 지속기간에 따른 침투유량의 변화를 도시한 결과는 그림 10~12와 같으며, 대상구역의 재현기간에 따른 임계지속기간은 표 5와 같다.

표 5. 재현기간별 임계지속기간

(단위:분)

| 배수구역 | 시간분포방법 | | 5년 | 10년 | 20년 | 50년 | 100년 |
|------|--------|---|-----|-----|-----|-----|------|
| 성내 | Huff | 1 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | | 2 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | | 3 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | | 4 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 반포 | Huff | 1 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| | | 2 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | | 3 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | | 4 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| 동의대 | Huff | 1 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | | 2 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | | 3 | 30 | 30 | 40 | 40 | 40 |
| | | 4 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |

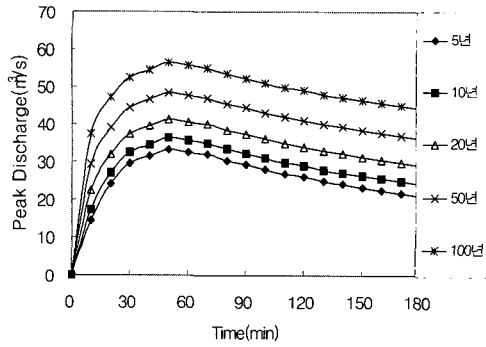


그림 10. 재현기간별 첨두유량의 변화
(성내배수구역, Huff의 3분위)

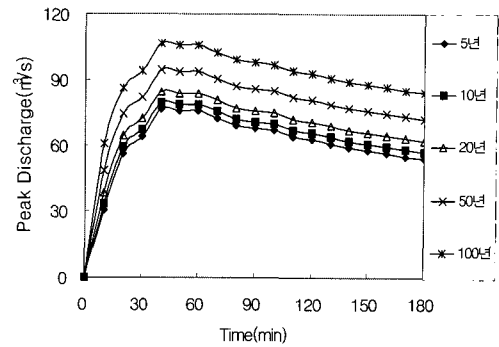


그림 11. 재현기간별 첨두유량의 변화
(반포배수구역, Huff의 3분위)

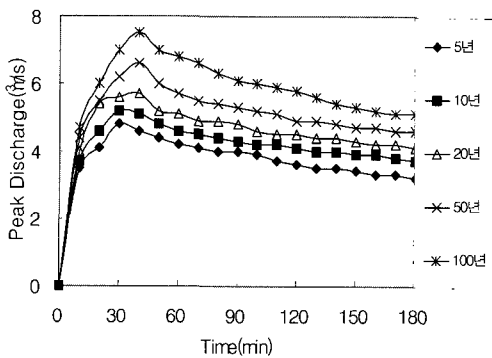


그림 12. 재현기간별 첨두유량의 변화
(동의대시험유역, Huff의 3분위)

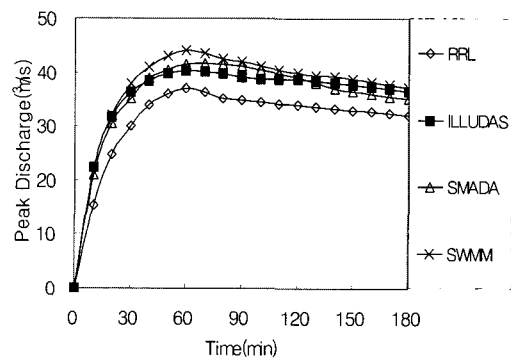


그림 13. 유출모형별 첨두유량의 변화
(성내배수구역, Huff의 1분위)

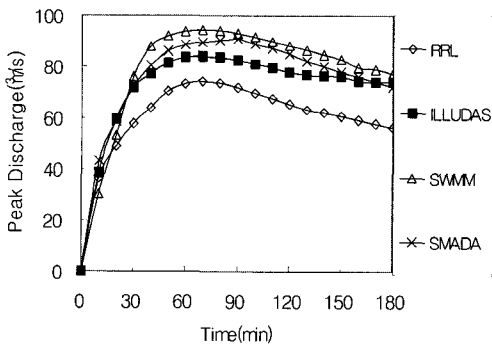


그림 14. 유출모형별 첨두유량의 변화
(반포배수구역, Huff의 1분위)

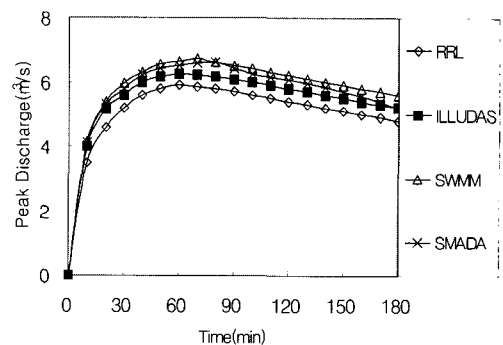


그림 15. 유출모형별 첨두유량의 변화
(동의대시험유역, Huff의 1분위)

표 5을 살펴보면 재현기간에 따른 임계지속기간은 성내배수구역의 경우 Huff의 1분위는 60분, Huff의 2분위는 50분, Huff의 3분위는 50분, Huff의 4분위는 70분, 반포배수구역의 경우 Huff의 1분위는 70분, Huff의 2분위는 50분, Huff의 3분위는 40분, Huff의 4분위는 120분, 동의대시험유역의 경우 Huff의 1분위는 60분, Huff의 2분위는 30분, Huff의 3분위는 30~40분, Huff의 4분위는 40분으로 모든 재현기간에서 동일하게 나타났다. 전체적으로 Huff의 분포방법에 대한 재현기간

별 임계지속기간의 변화는 없는 것으로 나타났다.

5.4 유출모형별 임계지속기간의 변화분석

국내에서 주로 이용되고 있는 도시유출모형은 RRL, ILLUDAS, SWMM과 SMADA 모형 등이 있으나 각 방법들로부터 얻어지는 홍수량은 상이한 결과를 보이는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 차이는 임계지속기간과 최대 첨두유량의 결정에도 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 주로

표 6. 유출모형별 임계지속시간

(단위: 분)

| 배수구역 | 시간분포방법 | RRL 모형 | ILLUDAS 모형 | SWMM 모형 | SMADA 모형 | |
|------|--------|--------|------------|---------|----------|----|
| 성내 | Huff | 1 | 60 | 60 | 60 | 70 |
| | | 2 | 40 | 50 | 40 | 60 |
| | | 3 | 40 | 50 | 40 | 50 |
| | | 4 | 60 | 70 | 110 | 80 |
| 반포 | Huff | 1 | 70 | 70 | 70 | 90 |
| | | 2 | 50 | 50 | 40 | 70 |
| | | 3 | 50 | 40 | 40 | 50 |
| | | 4 | 70 | 120 | 120 | 90 |
| 동의대 | Huff | 1 | 60 | 60 | 70 | 80 |
| | | 2 | 30 | 30 | 30 | 50 |
| | | 3 | 40 | 40 | 30 | 40 |
| | | 4 | 40 | 40 | 80 | 70 |

이용되고 있는 유출모형에 따른 임계지속시간의 영향을 파악하고자 한다. 유출모형에 의한 임계지속시간의 영향을 검토하고자 RRL, ILLUDAS, SWMM과 SMADA 모형을 이용하였으며, 임계지속시간의 산정에 이용된 유출모형별 영향정도를 판단하고자 확률강우강도식의 형태와 유효우량 산정방법은 각각 Case I 형태의 확률강우강도식과 NRCS 유출곡선지수법(AMC III)을 이용하였다.

성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에 Huff의 1분위를 적용한 경우의 유출모형별 지속시간에 따른 침투유량의 변화를 도시한 결과는 그림 13~15와 같으며, 대상유역의 유출모형에 따른 임계지속시간은 표 6과 같다.

그림 13~15를 살펴보면 성내배수구역에서 Huff의 1분위에 의한 유출모형별 최대 침투유량은 RRL 모형이 37.1m³/s, ILLUDAS 모형이 40.3m³/s, SWMM 모형이 44.2m³/s, SMADA 모형이 42.1m³/s이며, 반포배수구역의 경우에는 RRL 모형이 74.3m³/s, ILLUDAS 모형이 84.3m³/s, SWMM 모형이 94.6m³/s, SMADA 모형이 91.1m³/s으로 나타났다. 동의대시험유역의 경우에는 RRL 모형이 5.9m³/s, ILLUDAS 모형이 6.3m³/s, SWMM 모형이 6.7m³/s, SMADA 모형이 6.6m³/s로 나타나 유출모형별로 차이를 나타내고 있으며, SWMM 모형을 적용한 경우가 큰 침투유량을 나타내었다.

표 6을 살펴보면 유출모형별 임계지속시간은 성내배수구역의 경우 Huff의 1분위는 60~70분, Huff의 2분위는 40~60분, Huff의 3분위는 40~50분, Huff의 4분위는 60~110분으로 유출모형별 임계지속시간의 변화는 각각 10분, 20분, 10분, 50분의 차이를 보이고 있다.

반포배수구역의 경우 Huff의 1분위는 70~90분, Huff의 2분위는 40~70분, Huff의 3분위는 40~50분, Huff의 4분위는 70~120분으로 유출모형별 임계지속시간의 변화는 각각 20분, 30분, 10분, 50분의 차이를 보이고 있다. 동의대시험유역의 경우 Huff의 1분위는 60~80분, Huff의 2분위는 30~50분, Huff의 3분위는 30~40분, Huff의 4분위는 40~80분으로 유출모형별 임계지속시간의 변화는 각각 20분, 20분, 10분, 40분의 차이를 보이고 있다. Huff의 분포방법에 대한 유출모형별 임계지속시간의 변화는 전체적으로 10~50분의 차이를 보였으며, Huff의 4분위에서 SWMM모형을 적용한 경우가 임계지속시간이 가장 크게 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 국내 도시유역에서 최대 침투유량을 발생시키는 강우의 시간분포방법과 임계지속시간의 변화를 검토하기 위하여 기존 강우의 시간분포방법인 Mononobe 방법, Yen과 Chow의 분포방법, Keifer와 Chu의 분포방법과 Huff의 분포방법을 국내 도시유역인 성내와 반포배수구역과 동의대시험유역에 적용하였으며, 도시유출모형인 RRL, ILLUDAS, SWMM과 SMADA 모형을 이용하여 유출해석을 실시하였다. 최대 침투유량을 발생시키는 임계지속시간을 결정하기 위하여 강우의 시간분포방법에 따른 유출수문곡선의 변화를 분석하였으며, 확률강우강도식의 형태, 선행함수조건, 재현기간, 유출모형 등에 따른 침투유량의 변화를 검토하여 수문학적 특성에 따른 임계지속시간의 변화를 구명하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 도시유역에서 최대 침투유량을 발생시키는 시간 분포방법은 Huff의 4분위로 나타났다.
- (2) 강우의 시간분포방법에서 IDF 곡선관계를 이용하는 Mononobe 방법과 Keifer와 Chu의 분포방법은 침투강우의 위치에 상관없이 강우지속기간의 증가에 따라 침투유량이 발산 또는 증가하므로 최대 침투유량을 결정하는데 어려움이 있는 것으로 나타났다.
- (3) 도시유역에서 확률강우강도식의 형태, 선행함수 조건과 재현기간별 지속기간에 따른 침투유량의 변화는 차이를 보이고 있으나 임계지속기간의 변화는 미비한 것으로 나타났다.
- (4) 도시유출모형별로 Huff의 분포방법을 적용하여 침투유량의 변화와 임계지속기간을 분석한 결과, 침투유량은 유출모형에 따라 차이를 나타내고 있으며, SWMM 모형을 적용한 경우가 가장 큰 침투유량을 나타내었다. 그리고 임계지속기간도 유출모형에 따라 차이를 나타내고 있으며, SWMM 모형을 적용한 경우가 임계지속기간이 가장 크게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-1)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고 문헌

건설교통부 (2000a) 한국 확률강우량도 작성, 수자원 관리기법개발연구조사 보고서, 제1권.
 건설교통부 (2000b) 지역적 설계 강우의 시간적 분포, 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제2권.
 서울특별시 (2002) 2001 수해백서.
 서규우, 김동현, 김대곤 (2002) 도시유출해석을 위한 시험유역의 시스템 운영 분석, 한국수자원학회 학술 발표회 논문집(1), 한국수자원학회, pp. 269-274.
 이재준, 이정식, 전병호, 이종태 (1993) 우수관거 설계를 위한 계획강우의 임계지속기간-서울지역을 중심으로, 한국수문학회 논문집, 한국수문학회, 제26권,

제2호, pp. 49-57.
 이재준, 이정식 (1999) 우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp. 403-415.
 이정식, 이재준, 박종영 (2001) 수공구조물 설계를 위한 설계강우의 수문학적 특성분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제34권, 제1호, pp. 49-57.
 이정식 (2004) 도시유역에서 강우의 시간분포와 지속기간 특성분석, 도시홍수재해관리기술 연구사업단 연구보고서.
 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993) 우수지설계를 위한 계획강우의 임계지속기간 - 서울지역을 중심으로, 한국수문학회 논문집, 한국수문학회, 제26권, 제1호, pp. 115-124.
 Huber, W.C., and Dickinson, R.E (1988) *Stormwater Management Model ver. 4, Part A: User's manual*, E.P.A.
 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 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*. Illinois State Water Survey.
 Wanielista, M.P., Kersten, R, and Eaglin, R. (1997) *Hydrology : Water Quantity and Quality Control*, John Willey & sons, Inc.
 Yen, B.C., and Chow, V.T. (1980) Design Hyetographs for Small Drainage Structures, *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol.106, No. HY6, pp. 1055-1076.

© 논문접수일 : 2005년 07월 29일
 © 심사의뢰일 : 2005년 08월 02일
 © 심사완료일 : 2005년 08월 30일