

도시유출모형을 이용한 도시유역의 유출분석 Runoff Analysis of Urban Area Using Urban Runoff Models

안 상 진* / 김 진 극**

Ahn, Sang Jin / Kim, Jin Geg

Abstract

The flood damage has being increased because of urbanization due to the industrialization and the growth of population. Therefore, the hydrologic properties such as increasing the peak flow and decreasing the concentration time of the peak flow have been changed. Hence, the interest of an urban prevention against flood disasters has been centralized at the present day.

The objectives of this study is to develop the suitable models to calculate the runoff characteristics from an urban basin. This study describes the properties of each urban hydrologic model and to determine suitable basin model using the ILLUDAS and SWMM models in the urban runoff models in the Yong-Ahm area at Chungju.

The peak flow, concentration time and total runoff value of this area are compared and analyzed with regard to calculated and real values.

After obtaining values appropriated from the ILLUDAS and SWMM models using 5 rainfall events in this areas, the peak flows, concentration times and total runoff values are compared with real values. As a result of this study, the Transport block of the SWMM is closely shown to real values.

Keywords: urban runoff, SWMM, ILLUDAS, peak flow, concentration time

요 지

산업화와 인구집중으로 인하여 도시화 현상이 심화됨에 따라 홍수로 인한 침수의 피해가 증가되고 있는 실정이며, 도시화 과정에서 첨두유량의 증가, 첨두유량 도달시간의 감소 등의 수문학적 특성이 변화되고 있어 도시방재에 관한 관심이 날로 증가하고 있다.

본 연구는 강우-유출에 대한 실측자료가 있는 청주시 용암지구에서 SWMM모형과 ILLUDAS모형을 적용하여 첨두유량, 도달시간, 및 총유출량을 실측치와 계산치를 비교함으로써 도시유역에 적합한 모형을 제시하고자 한다. 대상유역의 5개 강우사상을 모형에 적용한 후 첨두유량, 총유출량을 실측치와 비교한 결과 SWMM의 Transport block모형이 가장 실측치에 근접하고 ILLUDAS모형, SWMM 모형의 Runoff block 순으로 나타났다.

핵심용어 : 도시유출, SWMM, ILLUDAS, 첨두유량, 도달시간

* 충북대학교 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

** 충북대학교 박사과정

Doctoral Student, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

1. 서론

1970년대 이후 산업화와 인구집중으로 인하여 도시화 현상이 심화됨에 따라 도시화가 급속히 진행되고 있다. 수문학적 특성의 변화는 시가지 확산 및 각종 개발 사업 등으로 인해 유수기능이 줄어들었고, 이에 따라 도시유역내 하수관거를 통해 하천으로 유입되는 홍수유출량이 이전보다 증대되고, 유역 출구점까지의 도달시간은 단축됨으로써 침투유량이 증가하게 되었다. 더욱이 인구의 도시집중에 따라 하천범람 지역까지 주택, 건물, 도로 등 사회 시설물이 건설됨으로써 치수면에서 안전도가 상대적으로 저하되고 있어 도시방재에 대한 관심이 점차로 증가하고 있다. 그러나 도시화 유역에서는 기본적인 지형자료 및 변화된 우수관거 등의 자료가 미비한 곳이 많아 수문해석시 다른 형태의 유역보다 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다.

국내의 연구동향을 살펴보면 1970년대 이후 도시유출해석을 위한 모형화 작업이 진행되었다. Harley 등(1970)은 MIT 도시유역 유출모형을 개발하여 시간에 따라 변하는 유출량의 해석을 모의할 수 있는 유출모형을 개발하였으며, Stall과 Terstriep에 의해 RRL모형의 단점을 보완한 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulation)모형(1974)이 개발되어 비포장 및 포장지역에서의 유출도 고려하도록 설계되어 현재까지 up-grade된 형태로 진행되고 있다. 1980년대에는 기존 SWMM모형내 Transport 블록을 확장 보완하기 위해 수공구조물의 수리학적 계산이 가능하도록 설계된 EXTRAN 블록을 SWMM모형에 추가 시켰으며, 계속 모형개발이 진행중에 있다. Dunne(1983)은 호우유출량의 예측에 있어 현장실측과 모형에 의한 계산간의 관계를 규명하였으며, USDA-SCS(1986)에서 도시소유역의 수문해석방법을 발표하였다. Todini(1988)는 강우-유출모형의 모형화의 변천과정을 정리하여 과거 현재 그리고 미래에 대한 방향을 제시하였으며, Singh(1995)는 이들 모형을 집대성하여 소개하는 책자를 출간하였다. 최근 들어 강우-유출모형은 추계학적 모의모형으로 계속 연구되고 있으며 홍수, 가뭄, 돌발적인 재해 등의 감시와 통제를 위해 특정한 목적의 실시간 예측모형에 대한 연구로 진행되고 있다.

한편 국내에서는 1987년에 발생한 서울지역의 대규모 수해의 원인분석을 목적으로 '87수해백서에서 ILLUDAS모형을 소개하였으며, 이종태 등(1991)은

도시화 영향을 고려하여 유수지 계획시 도시화 영향을 고려하였고, 윤용남 등(1992)은 도시유역의 홍수량 산정을 위한 도시홍수유출모형을 연구하였다. 원석연(1993)은 ILLUDAS모형을 근간으로 하여 유역 및 하도홍수추적을 고려한 소규모 도시하천의 유출해석을 실시하였고, 서규우(1998)는 도시유출모형의 매개변수 결정시 민감도 분석에 관한 연구에서 SWMM모형 및 ILLUDAS모형을 적용하였다. 안상진(1998) 등은 SWMM모형과 ILLUDAS 모형을 이용해 유역을 세분화하고 수문특성에 대한 해석을 실시한 바 있다.

본 연구에서는 도시소유역의 유출량 산정을 위해 기존의 도시유출모형 중 투수지역 및 불투수지역의 유출을 모의 할 수 있는 ILLUDAS모형과 SWMM모형을 선정하여, 모형의 기본이론에 따라 유출모의 과정을 검토하고, 실측된 강우와 유출자료가 있는 청주시 용암지구를 선정하여 강우 사상별로 모형의 유출해석을 실시하고, 도시유역의 하수관 설계시 가장 중요한 인자인 침투유량, 총유출량, 도달시간을 각 모형별로 비교 검토하여 국내 도시유역에 적용 가능한 모형을 제시하는데 목적이 있다.

2. 도시유출모형

2.1 ILLUDAS 모형

ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator)모형은 Stall과 Terstriep에 의해 처음 개발되어 1986년 개정된 모형으로 불투수지역 및 투수지역의 유출량을 소유역별로 각각 구한 후 이를 합성하여 수문곡선을 얻을 수 있으며, 수문곡선을 관거를 따라 추적·합성하여 유역 하단부에서의 총 유출수문곡선을 구하는 모형이다. 관의 설계를 위해서는 각 지점에서의 관의 직경을 모형에서 결정할 수 있으며, 각 지점에서의 관거 합류점의 저류용량을 고려할 수도 있다.

ILLUDAS모형은 먼저 배수관을 설계하고자 하는 지점 혹은 주요 간선관거의 합류지점을 기준으로 하여 전체유역을 몇 개의 소유역으로 구분한다. 다음 각 소유역별로 불투수지역 및 투수지역의 유출량을 계산한다.

두 유입지점에서의 유량과 두 지점의 배수로구간에서의 저류량과의 연관성이 필요하며 이를 위하여 먼저 검토대상 수로단면에서의 수위-유량관계를 Manning의 공식에 의하여 구하고 배수로 구간 길이의 형상

이 결정되면 흐름은 등류상태로 가정하여 수위-유량관계가 구해진다. ILLUDAS모형은 설계시는 물론 기존 관거의 평가를 위해서도 적용할 수 있는 모형으로 관거의 설계시 입력하는 설계강우량은 Huff형 분포 강우, 등분포형 강우, 삼각형분포 강우 중에서 선택하여 적용할 수 있으며, 기존 관거의 평가시에는 관거를 통한 최대유량을 입력할 수 있는 기능을 가지고 있다.

2.2 SWMM 모형

SWMM(Stream Water Management Model)의 대략적인 구성은 Fig. 1과 같이 5개의 실행block과 5개의 보조block으로 구성되며 총 126개의 부 프로그램을 포함하고 있다.

2.2.1 Runoff block의 구성

Runoff block은 SWMM모형내에서 초기연산이 수

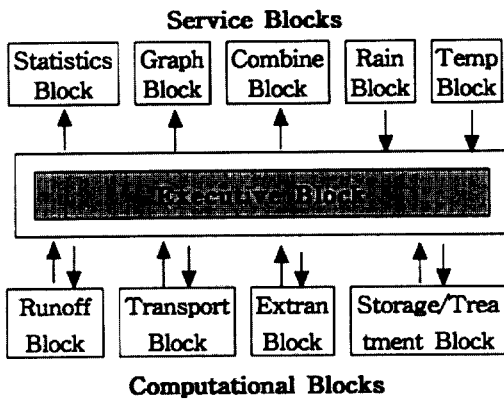


Fig. 1. Blocks or Modules of the SWMM Program

행되는 부분으로 강우사상에 대해 배수구역에서의 유출현상과 수면 변화를 모의하여 SWMM모형내 다른 부(部)블럭들의 기초자료로 사용되는 수문곡선과 오염도 곡선을 제공한다. Runoff block의 가장 중요한 기능은 정확한 시간과 위치에서 다른 블록들의 실행에 필요한 자료를 제공하는데 있으며, 배수유역을 유출해석의 기본자료로 쉽게 수량화 할 수 있는 단순화된 배수유역과 관망으로 구성된다.

Runoff block은 35개의 부 프로그램으로 이루어져 있으며 개략적인 구성은 Fig. 2와 같다.

2.2.2 Transport block의 구성

Transport block은 24개의 보조 블럭으로 구성되어 있으며, 주요 블럭은 Fig. 3과 같다.

- ① INITIAL : 침투와 건기유량의 조건을 초기화하는 block이다.
- ② FILTH : 상업, 공업지역에서 수질 및 오염물질의 평균량을 산정한다
- ③ DWLOAD : 블록은 수질을 모의하는 QUAL을 보조하며, 관로에서 오염물질의 침전 누기량을 산정하는 block이다.
- ④ ROUTE : 유량에 대하여 추적하는 블록이며, 이때 NEWTON block을 이용하여 Newton-Rapson법을 사용하여 해를 구한다.
- ⑤ DEPTH : 관로에서 유량의 수심을 구하는 block이다.
- ⑥ FINDA : 유량-면적곡선을 이용하여, 유량을 알고 단면적을 계산하는 block이다.
- ⑦ NEWTON : 유량-면적곡선을 이용하여, Newton-Rapson법을 사용하여 연속방정식으로 계수 값과 유량과의 적정선을 찾는 block이다.

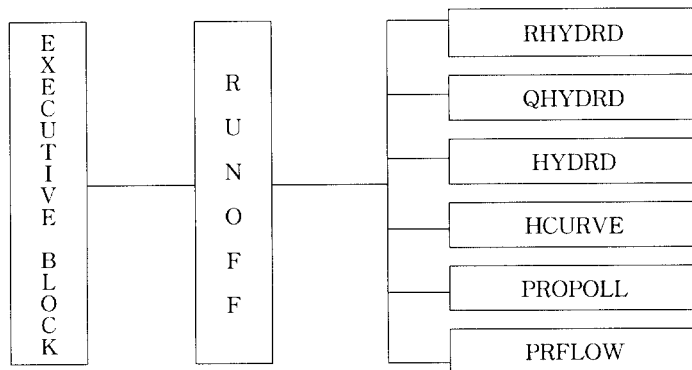


Fig. 2. Structure of Runoff Block Subroutines

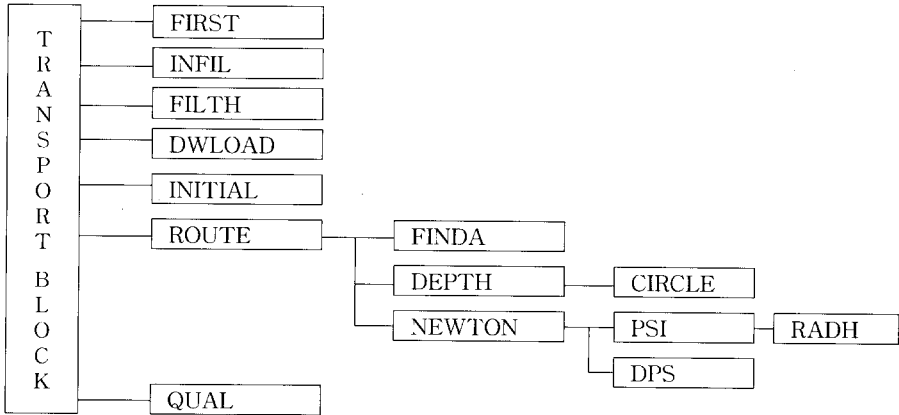


Fig. 3. Structure of Transport Block Subroutines

- ⑧ DPS : 일반적으로 무차원 유량 면적의 곡선에서 함수관계를 읽는다.
- ⑨ RADH : 관로에서 단면적이 주어졌을 때 수리반경을 구하는 block이다.
- ⑩ QUAL : 모형에서 수질을 모의하는 block이다.

3. 유역의 현황 및 강우량자료

3.1 유역의 현황

본 연구의 대상유역은 청주시 용암지구로 유역면적이 0.0921km²이고, 이는 사업지구내 면적 0.07373 km²와 사업지구외 면적 0.01837km²로 구성되어 있다.

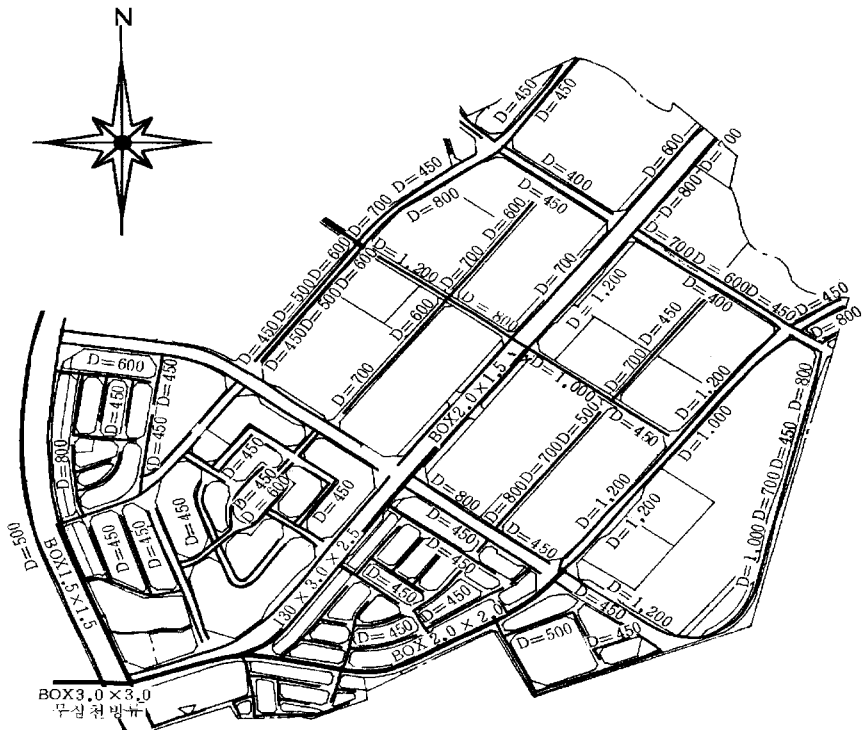


Fig. 4. Storm Sewer Pipe Network of the Yong-Ahm Area

유역특성상 상류에서 내려오는 유입관로가 전혀 없으며 유역에 내리는 강우량은 3.0×3.0m 박스형 토출구에 의해 무심천으로 자연 방류되고 있는 지역이다. 택지개발과 경계부근의 지구의 제척지 일부만 있어, 유출 해석을 위해 한국토지공사에서 수문관측시설을 설치한 유역으로 청주시로부터 동남측 3.5km지점에 위치하며 택지개발지구의 동측은 근린공원, 서측은 국도, 남측은 자연녹지 지역, 북측은 영운천을 경계로 기존 시가지에 인접하고 있다. 유역의 자연 환경을 보면 남고북저의 완만한 구릉지로 표고 EL. 60~80m로 형성되어 있다. 개발지구 동남부가 높고 개발지구 북측이 낮은 구릉지로 최고표고 EL. 83m, 최저표고 EL. 51.5m로 표고차가 약 30m에 이르며 개발로 인해 절·성토가 행해졌다. 개발지구 북측은 밀집취락지로 경사도는 대부분 10° 이하의 완만한 지형이다. 이 유역에는 공동주택과 학교부지, 상업부지, 업무부지, 단독주택 등이 자리잡고 있다. 지구외 지역이 약 19%정도 차지하고 있으며 이

외에는 일부 근린공원, 어린이 공원, 학교운동장을 제외하고는 대부분 포장이 되어 있다. 기초암은 주라기에 형성된 화강암으로 형성되어 있다. 배수관거는 분류식으로 배수되며, 우수관망은 유역상단부에서 $\phi 450\text{mm}$ 원형관으로 시작되어 하류부에 박스 3.0×3.0m의 배수관거로 이루어져 있다. 무심천 유역인 용암지구의 우수관망도는 Fig. 4와 같다.

3.2 강우량 자료

적용 강우 사상은 한국토지공사에서 제공한 강우자료 중 비교적 결측치가 없는 강우사상으로 '96년 6월 27일 09:00~14:00, '96년 7월 4일 13:40~17:00, '96년 7월 15일 08:00~10:50 및 '96년 10월 24일 03:20~11:00, 그리고 직접 관측한 '98년 9월 21일 08:30~12:30까지 발생한 5개의 강우사상을 적용하였다. Table 1은 강우량 자료이다.

Table 1. Application of Rainfall Event

강우사상 (6월27일)	강우량 (mm)	강우사상 (7월4일)	강우량 (mm)	강우사상 (7월15일)	강우량 (mm)	강우사상 (10월24일)	강우량 (mm)	강우사상 (9월21일)	강우량 (mm)
09 : 00	0.33	13 : 40	2.00	08 : 00	0.0	03 : 20	0.0	08 : 20	0.0
09 : 10	0.33	13 : 50	0.16	08 : 10	0.3	03 : 30	0.0	08 : 30	0.1
09 : 20	0.33	14 : 00	0.16	08 : 20	0.3	03 : 40	0.0	08 : 40	0.3
09 : 30	0.33	14 : 10	0.16	08 : 30	0.3	03 : 50	0.0	08 : 50	0.1
09 : 40	0.33	14 : 20	0.16	08 : 40	3.0	04 : 00	0.0	09 : 00	1.0
09 : 50	0.33	14 : 30	0.16	08 : 50	5.0	04 : 10	0.3	09 : 10	1.0
10 : 00	0.33	14 : 40	0.16	09 : 00	6.0	04 : 20	0.5	09 : 20	1.0
10 : 10	1.0	14 : 50	0.16	09 : 10	5.0	04 : 30	1.0	09 : 30	1.7
10 : 20	1.0	15 : 00	1.5	09 : 20	2.0	04 : 40	1.0	09 : 40	10.7
10 : 30	1.0	15 : 10	1.5	09 : 30	4.0	04 : 50	2.0	09 : 50	1.0
10 : 40	1.0	15 : 20	0.5	09 : 40	2.0	05 : 00	3.0	10 : 00	1.0
10 : 50	1.0	15 : 30	0.5	09 : 50	0.5	05 : 10	1.5	10 : 10	0.8
11 : 00	1.0	15 : 40	3.0	10 : 00	0.0	05 : 20	0.5	10 : 20	0.7
11 : 10	0.5	15 : 50	0.16	10 : 10	0.0	05 : 30	0.3	10 : 30	0.7
11 : 20	0.5	16 : 00	0.16	10 : 20	0.0	05 : 40	0.2	10 : 40	0.1
11 : 30	0.5	16 : 10	0.16	10 : 30	0.0	05 : 50	0.0	10 : 50	0.1
11 : 40	0.5	16 : 20	0.16	10 : 40	0.0	06 : 00	0.0	11 : 00	0.9
11 : 50	0.5	16 : 30	0.0	10 : 50	0.0	06 : 10	0.0	11 : 10	0.8
12 : 00	0.0	16 : 40	0.0	11 : 00	0.0	06 : 20	0.0	11 : 20	0.1
12 : 10	0.5	16 : 50	0.0	11 : 10	0.0	06 : 30	0.0	11 : 30	0.1
12 : 20	0.5	17 : 00	1.0	11 : 20	0.0	06 : 40	0.0	11 : 40	0.0
12 : 30	0.0	17 : 10	0.0	11 : 30	0.0	06 : 50	0.0	11 : 50	0.0
12 : 50	0.0	17 : 30	0.2	11 : 50	0.2	07 : 10	0.0	12 : 00	0.1
13 : 00	0.0	17 : 40	0.0	12 : 00	0.0	07 : 20	0.2	12 : 10	0.0
13 : 30	1.0	17 : 50	0.0	11 : 10	0.0	07 : 30	0.0	12 : 20	0.0

4. 모형의 적용

모형을 적용하기 위해 대상유역의 실시설계보고서와 지형도를 이용하여 배수구역의 경계를 설정하고 배수 구역으로 유역의 관로 형태와 설치 위치 등을 구성한 후 토지이용상황과 토양의 특성, 행정구역 등의 자료를 기초로 하여 우수관망도를 중심으로 98개의 소유역으로 분할하였다. 복합유역인 경우 단일유역에서의 유역 폭은 면적비에 대한 왜곡도계수를 이용하여 쉽게 나타낼 수 있다. 그러나 유역내에 여러 개의 간선이 연결되어 있는 경우 즉 여러 간선들이 합류되는 유역인 경우에 위의 방법을 그대로 적용하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 소유역내 여러 개의 간선들이 연결되어 있는 경우에는 다음과 같은 방법으로 유역폭을 결정하였다.

1단계 - 유역내에서 가장 긴 간선 L_1 , L_3 을 주간선으로 선택한 후, 유역폭을 계산한다. 단, 면적은 주간선의 좌·우측면적으로 한다.

2단계 - 주간선 우측에는 다른 간선 L_2 가 연결되어 있다. 이러한 경우에는 L_2 간선의 좌·우 측 면적을 이용하여 1단계에서와 같은 방법으로 유역폭을 구한다.

3단계 - 2단계가 적용된 면적이 전체유역 면적에 대해 차지하는 면적비로 2단계에서 구한 유역폭에 곱하여 전체 유역에 대한 유역폭으로 전환한다.

4단계 - 1, 3단계에서 구한 유역폭을 합하여 2, 3, 4단계를 반복하여 유역폭을 결정한다.

유역의 집수구에 관로들이 많이 집합되어 있을 경우 Dummy수로/관로를 사용하여 여러 개의 수로/관로를 하나의 수로/관로로 합성하여 입력자료를 단순화하여 계산하였다.

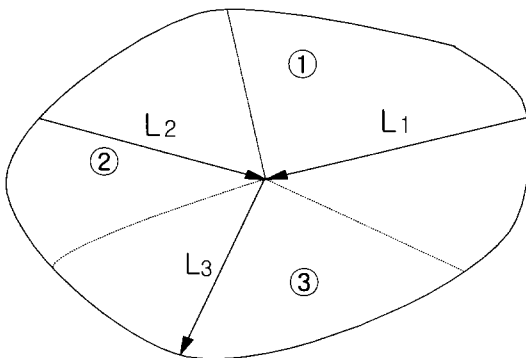


Fig. 5. Width Computation of Complex Basin

4.1 모형에 사용된 계수

하수관거의 조도계수는 콘크리트관 0.013을 사용하였고, Kinematic wave 공식의 표면조도계수 값은 토지이용 상태에 따라 0.015~0.080, 표면상태에 따라 0.012~0.080, 굴곡에 의한 표면저류깊이의 값은 불투수유역에서는 0.13~0.40, 투수유역에서는 0.50~1.50까지 적용하였고, 우수관망의 형태는 원형 및 직사각형 형태를 선택하여 유출모의 결과값과 실측값과의 차이가 최소가 되도록 시행오차법을 이용하였다. 적용한 계수는 Table 2와 같다.

본 지역을 분석한 결과 불투수 유역의 면적은 81.8%, 투수 유역의 면적은 18.2%로 산정되었으며, 적용 강우 사상은 한국토지공사에서 제공한 강우자료 중 비교적 결측치가 없는 강우사상으로 '96년 6월 27일 09:00~14:00, '96년 7월 4일 13:40~17:00, '96년 7월 15일 08:00~10:50 및 '96년 10월 24일 03:20~11:00, 그리고 직접 관측한 '98년 9월 21일 08:30~12:30까지 발생한 5개의 강우사상을 대상으로 SWMM모형의 2개 블록과 ILLUDAS모형에 적용하여 실측값과 비교한 결과는 Fig. 6~10에 나타냈다.

4.2 분석 및 고찰

청주시 용암지구에 5개 강우 사상을 도시유출모형인 SWMM모형의 Runoff block과 Runoff+Transport block과 ILLUDAS모형을 적용한 결과를 유출양상, 총유출량, 침투유량, 및 도달시간에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

4.2.1 유출양상의 비교

Fig. 6~10에서 알 수 있듯이 강우사상 5개를 모의한 결과는 모의치와 실측치가 전반적으로 거의 비슷한

Table 2. Coefficients used in SWMM Models

초기침투능(mm/hr)	127.0
중기침투능(mm/hr)	6.4
감쇠계수	2
관거조도	0.013(콘크리트관)
불투수유역조도	0.014
투수유역조도	0.06
불투수유역 표면저류량(mm)	0.24
투수유역 표면저류량(mm)	0.75

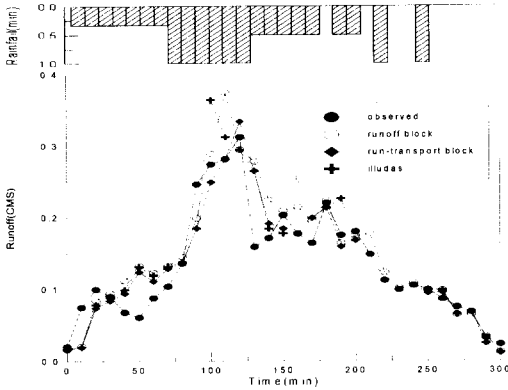


Fig. 6. Runoff Simulation of '96. 6. 27

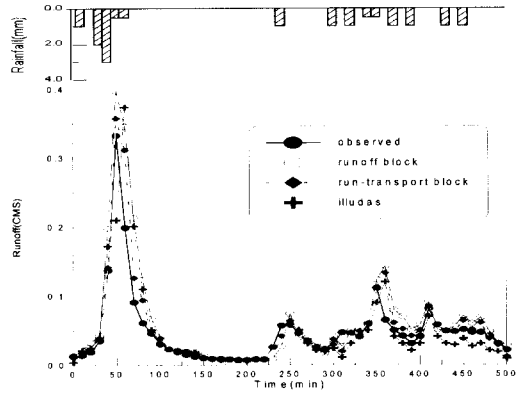


Fig. 9. Runoff Simulation of '96. 10. 24

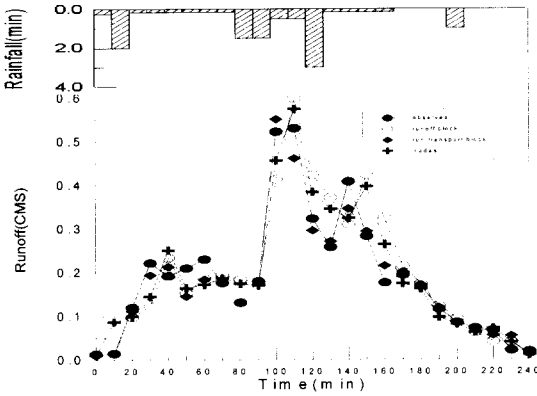


Fig. 7. Runoff Simulation of '96. 7. 4

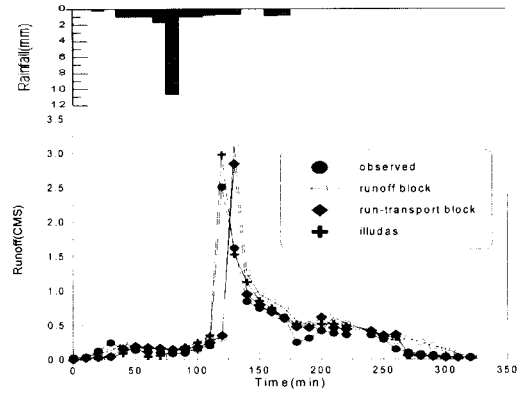


Fig. 10. Runoff Simulation of '98. 9. 21

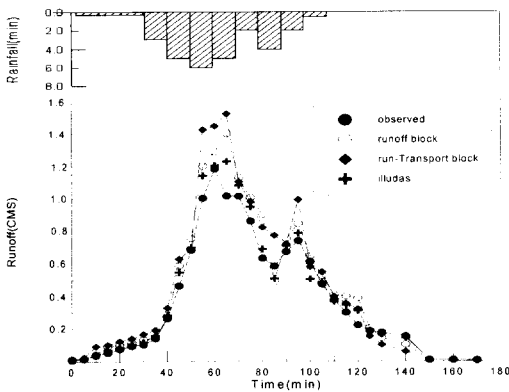


Fig. 8. Runoff Simulation of '96. 7. 15

양상을 보여주고 있으며, 모의치와 실측치가 강우초기보다 강우 후반기에 더욱 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 강우 초기는 증발, 침투 등의 손실우량이 크고 강

우 후반기에는 손실이 비교적 일정하기 때문에 판단된다.

4.2.2 총유출량

어떤 유역으로부터 유출은 대부분 유역에 내린 강우에 기인하며, 강우-유출간의 관계에 관한 연구는 수문학 연구의 주종을 이루고 있다. 특히 도시유역에서는 전체 유역 면적 중 불투수지역이 차지하는 비중이 매우 크므로 각 사상별 유출용적 계산치의 정확성을 상대적으로 평가하기 위하여 유출용적의 상대오차를 식 (1)로 계산하였다.

$$\epsilon = \frac{V_{pc} - V_{pa}}{V_{pa}} \quad (1)$$

여기서, ϵ : 실측에 대한 상대오차
 V_{pa} : 실측 수문곡선의 총유출용적

Table 3. Comparison of Total Runoff Value

(unit : 1000 m³)

적용모형 \ 강우사상	96년 6월27일	96년 7월4일	96년 7월15일	96년 10월24일	98년 9월21일
Observed	74.74	68.12	65.10	72.71	217.13
Runoff block	82.41	72.01	74.11	95.80	259.77
Runoff+ Transport block	75.89	65.79	68.71	73.70	220.10
ILLUDAS	79.50	70.60	71.20	83.01	249.75

Table 4. Comparison of Relative Error of Total Runoff Values

적용모형 \ 강우사상	96년 6월27일	96년 7월4일	96년 7월15일	96년 10월24일	98년 9월21일
Runoff block	0.103	0.0570	0.138	0.3176	0.1963
Runoff+ Transport block	0.015	-0.0342	0.055	0.0136	0.0136
ILLUDAS	0.063	0.0363	0.093	0.1416	0.1502

V_{pc} : 계산 수문곡선의 총유출용적

강우사상별 총유출량은 Table 3과 같다. Table 3에서 Runoff+Transport block모형이 가장 실측치에 근접하고 ILLUDAS 모형, Runoff block 순으로 나타났다. 총유출량에 대한 상대오차의 비교에서도 Table 4와 같이 Runoff+Transport block모형, ILLUDAS 모형, Runoff block 순으로 나타났다.

4.2.3 도달시간

도달시간은 Table 5와 같이 3가지 모형 모두 비슷한 양상을 보이고 있으며, 대부분의 10분 이내로 비교적 실측치와 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 강우자료를 10분 간격으로 되어 있어서 유출량의 계산 시 시간간격을 10분으로 할 수밖에 없어 첨두유량의

발생시간의 정확성을 객관적으로 판단할 수 없었다. 첨두유량의 발생시간을 정확하게 분석하기 위해서는 더 짧은 시간간격(1분~2분)을 사용해야만 가능할 것으로 생각된다.

4.2.4 첨두유량

대부분의 도시유출모형은 관거의 설계를 주목적으로 하고 있으며, 관의 설계를 위해 기준이 되는 수치가 첨두유량이다. 첨두유량의 실측치와 모형에 의해 모의된 첨두유량은 Table 6과 같다. 3개의 모형 모두 실측치보다는 큰 값을 나타내고 있으며, Runoff+Transport block모형이 가장 실측치에 근접하고 ILLUDAS모형, Runoff block 순으로 나타났다.

여러 관로들이 결합되어 주관로를 결정하기 어려운 경우 각 관로들을 무시하고 하나의 주 배수관망으로

Table 5. Comparison of Time to Peak

(unit : min)

적용모형 \ 강우사상	96년 6월27일	96년 7월4일	96년 7월15일	96년 10월24일	98년 9월21일
Observed	120	100	60	50	120
Runoff block	110	110	70	50	130
Runoff+ Transport block	120	100	60	50	130
ILLUDAS	110	110	70	60	120

Table 6. Comparison of Peak Discharge Value

(unit : CMS)

적용모형 \ 강우사상	96년 6월27일	96년 7월4일	96년 7월15일	96년 10월24일	98년 9월21일
Observed	0.312	0.522	1.122	0.333	2.507
Runoff block	0.374	0.598	1.270	0.398	3.120
Runoff+ Transport block	0.334	0.551	1.320	0.358	2.842
ILLUDAS	0.345	0.574	1.310	0.374	2.978

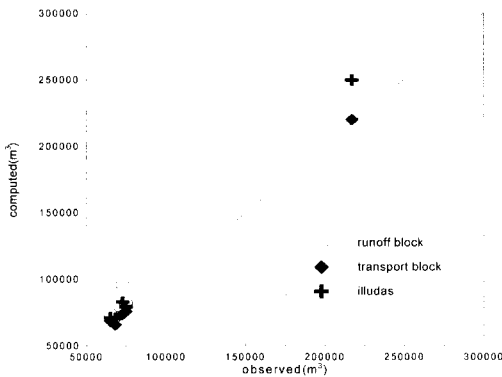


Fig. 11. Comparison of Total Runoff Value

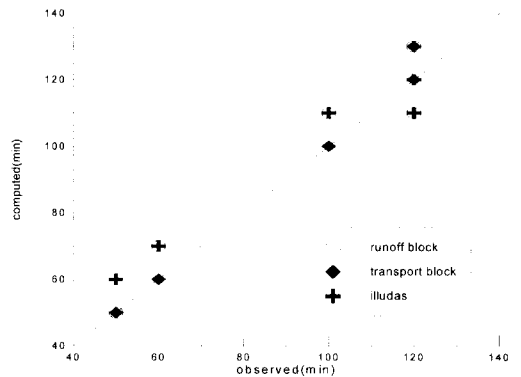


Fig. 13. Comparison of Concentration Time

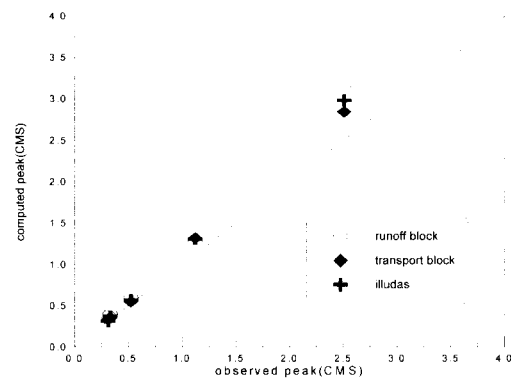


Fig. 12. Comparison of Peak Discharge

구성한 후, 유출해석을 하면 실제 유출현상보다 도달시간이 증가하며, 침투유량은 줄어들 것으로 판단된다. 따라서 이러한 배수관망으로 구성되어 있을 경우에는 복합유역인 경우 유역폭 산정에 서술된 바와 같이 수로/관로 연결면적의 면적가중치를 이용하여 유출해석을 실시하였으므로 침투유량의 값이 실측치 보다 크게 나타난 것으로 생각된다.

위 자료 Table 3~6을 이용하여 그림으로 나타내면 Fig. 11~13과 같다.

이상과 같이 도시유출모형인 ILLUDAS모형과 SWMM모형내 Runoff block과 Runoff+Transport block을 청주시 용암지구에 적용해 본 결과 SWMM 모형 중 Runoff+Transport block이 가장 적절한 모형이라 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 도시화 과정에서 침투유량의 증가, 침투유량의 도달시간의 감소 등 자연하천과는 상이한 유출특성을 가지고 있는 도시유출의 특징을 살펴보고, 도시 우수관개의 설계시 사용되고 있는 기존의 도시유출모형 중 ILLUDAS 모형과 SWMM모형내 Runoff block과 Runoff+Transport block을 강우-유출에 대한 실측자료가 있는 청주시 용암지구에 적용하여 모형의 특징을 이해하고 관측치와 실측치를 비교함으로써 각 모형의 적용성을 판단하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실측된 5개의 강우사상을 모형에 적용한 결과

모의치와 실측치가 강우초기보다는 강우 후반기에 더욱 잘 일치됨을 알 수 있는데, 이는 강우초기는 증발, 침투 등 손실우량이 크기 때문이고 강우 후반기는 손실우량이 비교적 일정한 것이 그 원인으로 생각된다.

(2) 청주시 용암지구에 대해 관측된 '96년 6월 27일 09:00~14:00, '96년 7월 4일 13:40~17:00, '96년 7월 15일 08:00~10:50 및 '96년 10월 24일 03:20~11:00 '98년 9월 21일 08:30~12:30까지 발생한 5개의 강우사상을 대상으로 ILLUDAS모형과 SWMM모형의 Runoff block과 Runoff+Transport block에 모의한 후 침투유량, 총유출량을 실측치와 비교한 결과 Runoff+Transport block모형이 가장 실측치에 근접하고 ILLUDAS모형, Runoff block 순으로 나타났다.

(3) 도달시간은 세 모형 모두 관측치와 거의 일치하는 것으로 나타났으나, 강우량 측정간격이 1시간이고 최소 단위가 10분 간격인 현재의 측정간격을 침투유량의 발생시간을 적절하게 분석하기 위해서는 더욱 세분화되어야 한다고 판단된다.

도시유출로 인하여 도시방제가 날로 증가하고 있는 이런 시점에서 정확한 유출량을 얻기 위해서 중요한 인자인 유역폭 산정시 소유역내 무시할 수 없는 배수관망들이 복잡하게 연결되어 있으므로 유역폭을 얻는 객관적 방법이 필요하며, 도시유출 모형에 적용하는 강우-유출자료가 부족하므로 더 많은 계측자료가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

서규우 (1998). 도시유출모형의 매개변수 결정을 위한 민감도분석 연구. 박사학위논문, 연세대학교.
 안상진, 김응용 (1998). "도시유출 모형을 이용한 도시유역의 유출량 분석." 대한토목학회 학술발표논문집, 대한토목학회, pp. 259~262.
 원석연 (1993). 유역 및 하도 홍수추적 방법을 결합

시킨 도시하천의 유출해석모형. 박사학위논문, 고려대학교.
 윤용남, 전병호, 이종태 (1992). 도시홍수재해방지를 위해 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발, 한국과학재단.
 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1991). "도시화 영향을 고려한 유수지 계획모형." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제24권, 제4호, pp. 73~83.
 Harley, B.M., Perkins, F.E., and Eagleson, P.S. (1970). *A modular distributed model of catchment dynamics*. Report No. 133, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
 Terstiep, M.L., and Stall, J.B. (1974). *The Illinois urban drainage area simulator: ILLUDAS*. Illinois State Water Survey.
 Dunne, T. (1983). "Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff." *Journal of Hydrology*, Vol. 65, pp. 25-48.
 U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release, No. 55.
 Todini, E. (1988). "Rainfall-runoff modeling-past, present and future." *Journal of Hydrology*, Vol. 100, pp. 314-352.
 Singh, V.P. (1995). *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, Colorado.
 (논문번호:99-006/접수:1999.02.02/심사완료:1999.07.05)