

## 유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도분석(II)

-모형의 검정 및 적용-

### The Sensitivity Analysis of Parameters of Urban Runoff Models due to Variations of Basin Characteristics (II)

-Model Calibration and Application-

서 규 우\* / 허 준 행\*\*

Seo, Kyu Woo / Heo, Jun Haeng

#### Abstract

In this study, ILLUDAS and SWMM were applied for Dongsucheon basin, Incheon and Test basin, Cheongju. The main parameters(II, IA, IS, SI, SR, SS) which are included in those of each model depending on runoff results were determined, and sensitivity ratios were estimated in order to evaluate and compare the characteristics of each model. Total runoff ratio for almost parameters turned out to have a linear relation to the rainfall durations and the scale of basin area but have nothing to do with rainfall distributions. Sensitivity ratios turned out to have a linear relation for the infiltration and soil parameters of ILLUDAS as well as all parameters of SWMM. Runoff sensitivity ratios for almost parameters were smaller than 1.0 because the impacts of total runoff were bigger than those of peak runoff. And runoff sensitivity ratio was equal to 1.0 for the roughness coefficient of SWMM. Total runoff ratio, peak runoff ratio and runoff sensitivity ratio for the selected parameters of those models were presented as the tables and figures according to the scale of basin area, rainfall durations such as 60, 120, and 180 minutes and Huff's 4th quartiles rainfall distributions.

**Keywords :** ILLUDAS, SWMM, parameter, sensitivity analysis, sensitivity ratio

#### 요 지

본 연구에서는 유역의 크기와 형상 및 도시화 정도가 다른 동수천유역과 무심천의 청주 시험유역, 두 곳을 대상으로 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형을 적용한 유출특성을 바탕으로 각 매개변수의 민감도 정도를 분석하였다. 총 유출량비는 선정 매개변수 대부분 강우지속기간과 유역면적크기에 따라서 일정한 관계가 있는 것으로 분석되었으며 강우의 시간적 분포형변화에는 관계성이 약한 것으로 분석되었다. 첨두유출량비는 ILLUDAS 모형에서는 침투능과 토양형 매개변수의 경우 지속기간변화에 따라 일정한 관계성을 갖는 것으로 분석되었고 SWMM 모형에서는 선정 매개변수 모두 일정한 관계성을 갖고 선형변화하는 것으로 분석되었다. 유출민감도비는 1 이하의 값을 유지하는 것으로 나타나 첨두유출량보다 총유출량에 대한 민감도영향이 더 큰 것으로 분석되었고, SWMM 모형의 조도계수 유출민감도비는 거의 1의 값을 갖는 것으로 분석되었다. 적용모형에서 선정된 주요 매개변수에 대해 유역면적크기별, 60, 120, 180분 강우지속기간별과 Huff의 4분위형별로 총유출량비, 첨두유출량비, 유출민감도비를 산정하여 도시적인 방법으로 분석하였고 민감도비율 결과를 표로 제시하였다.

**핵심용어 :** ILLUDAS 모형, SWMM 모형, 매개변수, 민감도분석, 민감도비율

\* 동의대학교 토목공학과 전임강사

\*\* 연세대학교 토목공학과 부교수

## 1. 서론

본 연구에서는 전편의 '유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도 분석(I)'에서 새로운 민감도 분석방법에 따라 서로 다른 유역특성을 지닌 지역에서의 도시화에 따른 수문현상의 변화를 통해 모형 매개변수의 민감도분석을 실시하고자 한다. 넓은 자연유역이 오랜 기간을 두고 상류에서부터 도시화가 전개되어 이제 유역전체가 완전히 도시화가 된 동수천유역(460 ha)과 최근 경사가 있는 자연 전원지역을 택지로 개발하기 위해 짧은 기간에 개발이 된 지역으로 유역면적이 동수천유역보다 상대적으로 적은 무심천유역의 청주용암택지개발지구내의 시험유역(99.7 ha)을 선정하였다. 이들 유역은 우리나라에서 전개되고 있는 가장 대표적인 개발양상을 나타낸다. 동수천유역은 최초의 도심부에서 서서히 시가지가 외곽으로 확대되면서 자연하천이 일부 복개되어 하수처리시설로 변하기도 하고 하수와 우수가 분류되지 않고 합류되어 하류로 배수되고 있으며 도심부의 상업시설과 주변부의 주거시설들이 계획적이지 못하여 내수의 배제를 위해 일부 구간에서는 강제 배수방식에 의해 배제되고 있다. 반면에 청주용암 택지개발지구내의 시험유역은 유역면적도 작으면서 동시에 개발이 이루어져 공동주택단지로 완전히 도시화가 이루어진 곳으로 주거지역, 상업지역, 공원녹지지역 등으로 구역이 계획적으로 나누어져 있으며 분류식 하수관거에 의해 우수와 하수가 분리 배수되고 있다. 이들 유역을 대상으로 ILLUDAS모형과 SWMM모형을 적용하여 각 모형별로 선정된 주요 매개변수의 민감도분석을 실시하여 이들 결과를 비교분석하고자 한다(Singh, 1995; Mein과 Brown, 1978).

이러한 연구결과를 바탕으로 최종적으로는 도시유출모형별로 우리의 지형여건 및 유역개발상황에 합리적으로 적용할 수 있도록 모형매개변수의 결정범위와 총유출량과 침투유출량에 대한 민감도 정도를 제시하여 도시유출모형을 확립하는데 기초를 마련하고자 한다. 더 나아가 본 연구결과를 대규모 택지개발 등과 같은 개발행위시 중요한 평가요소인 유출억제방안수립시, 여러 대인들의 평가에 활용할 경우 합리적인 방안을 강구할 수 있는 자료를 제공할 수 있을 것이다(서규우, 1997).

## 2. 적용유역 현황 및 수문관측자료

### 2.1 적용유역의 현황

본 연구에서 적용할 유역으로는 도시화정도 및 유역

특성을 종합적으로 분석하여 우리나라의 대표지형 및 특성을 가진 곳을 선정하였다. 수도권 하류부에 위치한 인천 동수천유역은 한강수계에 해당되며 전형적인 도시 하천으로서 상류부는 기존의 시가지와 주택가로 일부 하도구간이 배수관거로 대체되었으며 현재 중·하류부에 택지개발이 진행되고 있어 개발에 따른 유출영향분석을 다양하게 실시하여 비교·분석할 수 있다.

금강수계에 속하는 무심천유역은 청주 용암동 택지개발지구로 유역출구가 무심천으로 유입되는 도시화지역으로 기존의 구릉 및 전원지역을 택지로 개발하면서 기존의 자연하천 및 지표면경사에 대해 배수관거의 주흐름방향을 토지이용의 효율성을 위해 다른 방향으로 바꾸었기 때문에 개발전·후의 유출영향분석의 비교가 곤란하나 유역특성상 상류에서 내려오는 유입관로가 전혀 없으며 택지개발지구와 경계부근의 지구의 제척지일부만 있어 유출해석을 위한 수문관측시스템 설치가 용이하고 지속적인 관측에 따른 유역의 유지관리측면에서 장점을 가지고 있어 유출모형의 검정 및 적용을 위한 시험유역으로 관리가 되고 있는 유역이다.

#### 2.1.1 동수천 유역

인천 부평구의 부개동 택지개발지구를 포함하고 있는 동수천 시험유역 중 하류부는 택지개발전에는 대부분 저지대 농경지였으며, 1994년부터 사업면적 약 60 ha에 대해 대지조성 및 아파트건설회사가 실시되어 완공이 되어 있다(대한주택공사, 1995). 동수천의 시험유역은 부평(2) 배수권역(배수면적: 약 460 ha)이 대부분 포함된다. 이 유역의 토지이용현황을 보면 개발전에는 밭이 7.6%, 논이 66.3%, 대지 5.6%, 기타 20.5%를 차지하여 전체면적의 73.9%이 농경지로 이루어져 있었다. 동수천 시험유역은 인천광역시 부평구 부개동에서 인천광역시와 부천시의 경계를 따라 굴포천으로 유입되는 미개수 하천으로 유역면적 약 460 ha, 유로연장 약 5 km, 평균하상고 5~6 m, 양안 평균제방고 7.0~7.5 m인 소하천유역이다. 동수천 최하류단이 굴포천과 합류하는 지점에서의 하상고가 3.4 m이나 굴포천치수사업이 완료되면 이 지점의 본류 하상고가 2.4 m로 된다(인천광역시, 1995). 이 지점에서의 굴포천 계획홍수위가 8.32 m인 점으로 보아 동수천도 굴포천 계획과 병행하여 하천개수사업을 진행시켜야 한다. 그렇지 않을 경우 굴포천 외수위에 의해 동수천수위도 급상승하여 범람의 위험성은 상존한다. 따라서 택지개발이 진행되는 지역은 기존의 저지대에서 성토를 하

여 기존의 주택가와 도로보다 높게 조성이 되어 침수피해가 없지만 기존의 주택가는 침수피해가 우려되는 지역이다(대한주택공사, 1995). 유역의 상류부분만 개발

이 되지 않은 상태로 구릉지가 유지되고 있으며 나머지 중류와 하류부는 거의 개발이 이루어졌거나 진행 중에 있다. 기존의 주택가와 도로는 대부분 EL. 6.0~9.0 m 사이에 있고 부개택지 개발지구가 개발 이전에는 EL. 5~6 m의 저지대였다. 동수천유역의 배수체계도를 살펴보면 다음 그림 4.3과 같다.

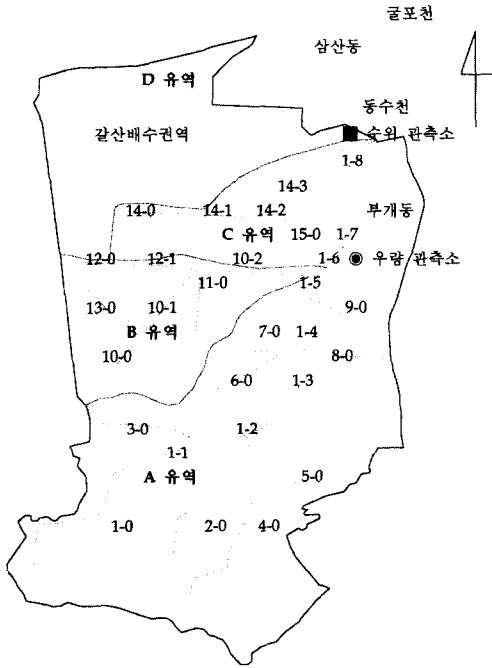


그림 1. 동수천유역의 배수체계도

동수천유역(약 460 ha)에 대해 도시화율을 포장면적비로 살펴보면 기존의 시가지상태가 도시화율 70% 정도이고 동수천 중 하류부에 위치한 부개지구(약 60 ha) 개발이 완료되면 도시화율 80%, 동수천 최하류단인 삼산 (1)지구(동수천수계포함 지역 37 ha)의 개발이 완료되면 도시화율이 약 90%에 이른다(서규우 등, 1996a; 1996b). 한편 동수천유역의 배수관거현황을 보면 상류부에서부터 시가지가 형성되어 있어 대부분의 주요간선에는 배수박스가 설치되어 있고 원형 홈관 중 최소 직경은  $\phi 450$  mm이다. 동수천유역의 배수관거현황을 정리하면 다음 표 1과 같다.

### 2.1.2 무심천 시험유역

본 연구에서의 무심천 시험유역은 청주 용암동 택지 개발지구(99.7 ha)로 청주 시가지로부터 동남측 3.5 km 지점에 위치하며 택지개발지구의 동측은 근린공원, 서측은 국도, 남측은 자연녹지지역, 북측은 영운천을 경계로 기존 시가지에 인접하고 있다. 주변지역에 하

표 1. 동수천유역의 배수관거현황

구분	단면 (□ :m×m, $\phi$ :mm)	길이 (m)	경사 (%)	면적 (ha)	구분	단면 (□ :m×m, $\phi$ :mm)	길이 (m)	경사 (%)	면적 (ha)
1-0	□ 1.5×1.5	1371	2.0	42.7	10-0	□ 0.5×0.6	465	2.0	20.5
2-0	$\phi 800$	735	5.0	36.3	11-0	□ 0.5×0.6	573	0.9	13.9
3-0	$\phi 600$	513	2.0	11.8	10-1	□ 2.0×1.5	426	0.5	8.2
4-0	□ 1.5×1.5	795	4.0	50.2	12-0	□ 0.5×0.6	366	0.4	4.6
5-0	□ 1.5×1.5	540	2.0	25.7	12-1	$\phi 800$	282	0.3	3.8
1-1	2@□ 2.5×1.5	363	1.0	7.3	13-0	$\phi 600$	375	0.6	11.1
1-2	2@□ 2.5×2.0	336	0.8	6.0	10-2	□ 2.5×2.0	636	0.2	9.8
1-3	2@□ 3.0×2.0	360	0.5	9.0	1-6	5@□ 3.0×2.0	924	0.6	19.6
6-0	$\phi 800$	513	0.3	11.9	1-7	6@□ 3.0×2.0	685	0.6	17.6
7-0	$\phi 600$	270	0.7	5.8	14-0	$\phi 600$	480	1.0	15.5
6-1	$\phi 600$	129	0.3	4.8	14-1	$\phi 900$	453	0.8	15.4
8-0	$\phi 600$	456	0.8	20.0	15-0	$\phi 450$	234	0.3	6.7
1-4	4@□ 3.0×2.0	327	0.3	6.9	14-2	$\phi 450$	219	0.2	6.5
9-0	$\phi 600$	378	0.7	9.4	14-3	□ 2.4×1.2	546	0.2	7.3
1-5	4@□ 3.0×2.0	132	0.3	1.6	1-8	6@□ 3.0×2.0	685	0.6	13.5

교, 공공기관 등이 위치하고 주변지역은 개발이 활발하다. 유역의 자연 환경을 보면 남고북저의 완만한 구릉지로 표고 EL. 60~80 m로 형성되어 있으며 14호 근린공원측과 개발지구 동남부가 높고 개발 지구 북측이 낮은 구릉지로 최고표고 EL. 83 m, 최저표고 EL. 51.5 m로 표고차가 약 30 m에 이르며 개발로 인해 절·성토가 행해졌다. 개발지구 북측은 밀집취락지로 경사도는 대부분 10° 이하의 완만한 지형이다. 다음 표 2에 무심천유역 주변의 개발전의 지형표고분석과 개발지구 경사분석을 정리하였다(서규우, 1997).

무심천유역인 용암동 택지개발지구의 주변 현황을 파악하기 위해 GIS 자료를 이용하여 2차원 평면도와 3차원 입체도를 그려보면 다음 그림 2와

표 2. 무심천 시험유역의 지형표고 및 경사분석 (개발전)

지형표고분석		경사분석	
구 분	구 성 비(%)	구 분	구 성 비(%)
계	100.0	계	100.0
60 m 미만	26.8	5° 미만	58.1
61~70 m	31.9	5~10°	28.4
71~80 m	39.1	10~20°	12.9
81 m 이하	2.2	20° 이상	0.6

같다.

택지개발지구내 구릉지를 중심으로 2개의 배수구를 형성하고 있으며 이중 무심천으로 방류되는 쪽인 그림 3에서 경계유역내가 본 시험유역이다. 개발지구 북측

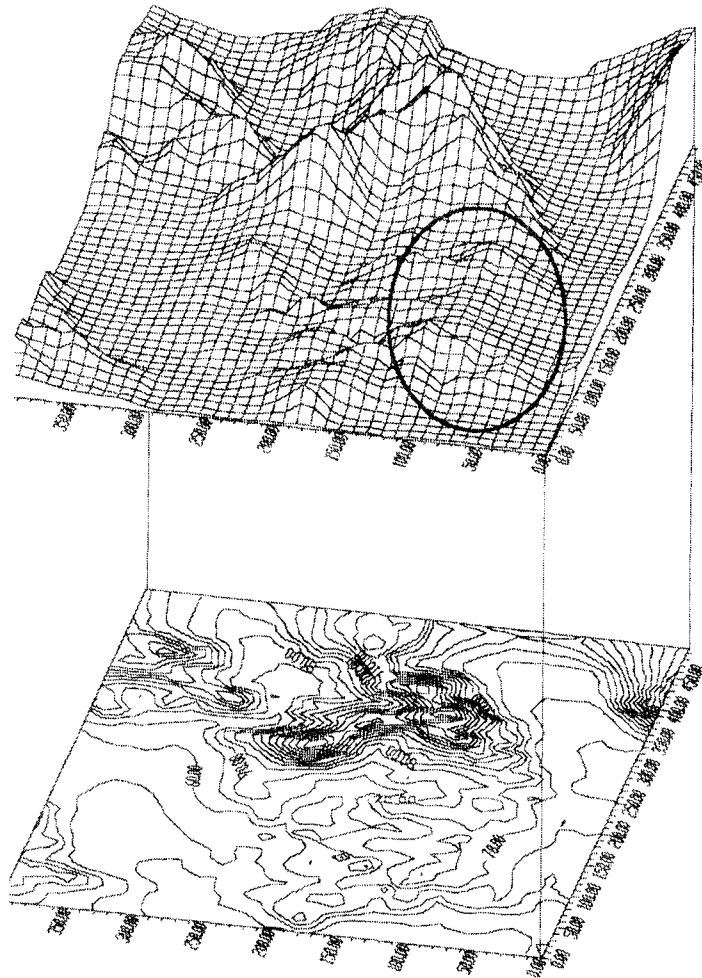


그림 2. 무심천 시험유역의 주변 평면도와 3차원 입체도 (상단 ○ 부분 : 시험유역위치)

과 서측 제척지부분에는 밀집취락이 분포되어 있으며 개발전 토지이용현황은 총면적 1,260,145 m<sup>2</sup> 중 밭이 44.3%로 가장 많이 차지하며 논이 23.7%, 임야가 19.3%, 대지 2.4%를 각각 점유하고 있다. 본 대상구역의 배수면적은 같은 배수권역인 지구와 야산을 포함하여 99.7 ha이다. 이 구역에는 공동주택과 학교부지, 상업부지, 업무부지, 단독주택지 등이 자리잡고 있다.

지구의 지역이 약 19%정도 차지하고 있으며 이외에는 일부 근린공원, 어린이공원, 학교운동장을 제외하고는 대부분 포장이 되어 있다. 배수관거는 분류식으로 배수되며 유출모형의 입력자료를 위해 우수관의 현황을 간단히 보면 유역 상단부에서  $\phi 450$  mm 원형관으로 시작되어 하류부에 박스 3.0 m×3.0 m의 배수관거로 이루어져 있다. 유출모형에서 사용할 배수체계도를

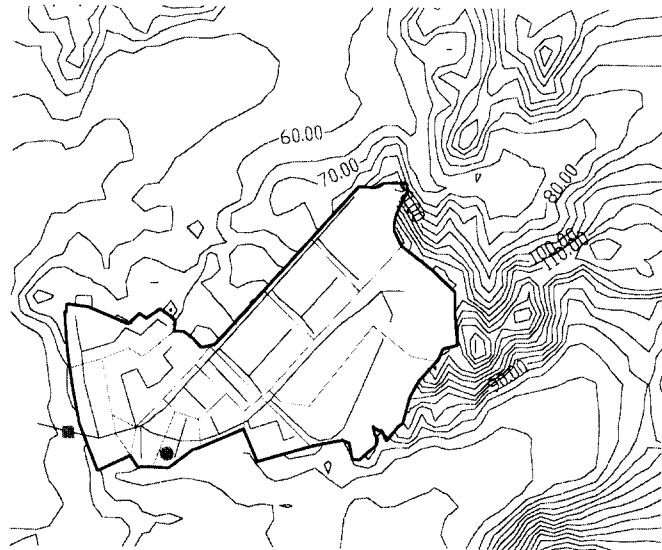


그림 3. 무심천 시험구역의 주변현황(개발후)

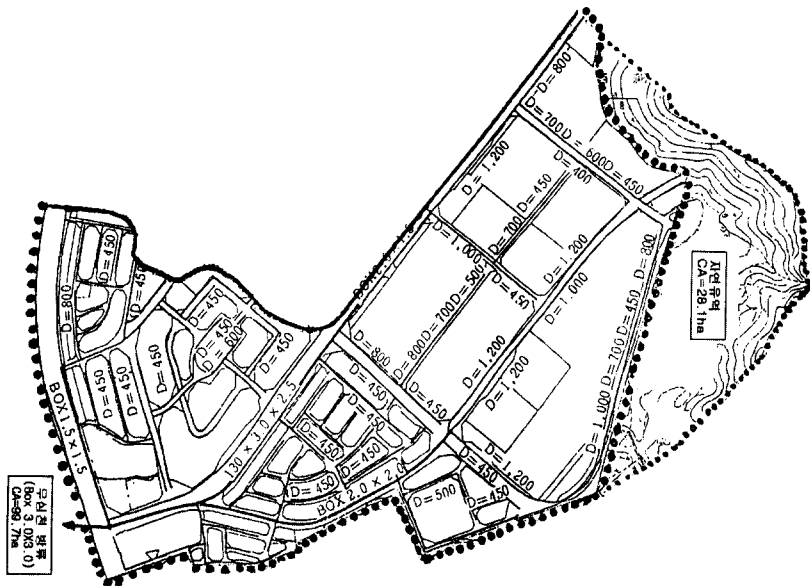


그림 4. 무심천 시험구역의 배수체계도

표 3. 동수천유역의 적용 강우사상기록

						(단위:mm)					
시간	우량	누계	시간	우량	누계	시간	우량	누계			
16:00	1.0	1.0	16:00	1.2	1.2	8:20	1.7	1.7	21:10	1.2	1.2
16:10	2.0	3.0	16:10	1.2	2.4	8:40	2.7	4.4	21:20	2.2	3.4
16:20	3.2	6.2	16:20	2.3	4.7	9:00	5.0	9.4	21:30	3.2	6.6
16:30	4.1	10.3	16:30	3.1	7.8	9:20	1.9	11.3	21:40	3.9	10.5
16:40	4.9	15.2	16:40	5.1	12.9	9:40	1.4	12.7	21:50	4.4	14.9
16:50	5.8	21.0	16:50	6.6	19.5	10:00	1.0	13.7	22:00	3.6	18.5
17:00	7.0	28.0	17:00	5.8	25.3	10:20	1.4	15.1	22:10	3.9	22.4
17:10	5.0	33.0	17:10	4.0	29.3	10:40	1.3	16.4	22:20	4.1	26.5
17:20	4.1	37.1	17:20	3.1	32.4	11:00	1.0	17.4	22:30	4.3	30.8
17:30	3.0	40.1	17:30	3.0	35.4	11:20	1.3	18.7	22:40	3.9	34.7
17:40	2.9	43.0	17:40	2.0	37.4	11:40	2.1	20.8	22:50	3.9	38.6
17:50	2.0	45.0	17:50	2.0	39.4	12:00	1.6	22.4	23:00	3.8	42.4
18:00	2.0	47.0	18:00	0.3	39.7	12:20	1.3	23.7	23:10	3.7	46.1
18:10	2.0	49.0				12:40	1.1	24.8	23:20	3.7	49.8
18:20	2.0	51.0				13:00	0.6	25.4	23:30	3.3	53.1
18:30	1.0	52.0							23:40	2.8	55.9
18:40	1.0	53.0							23:50	1.9	57.8
18:50	1.0	54.0							24:00	1.9	59.7
19:00	1.0	55.0									

작성하기 위해 전체 하수관망자료에서 개략적으로 소유역을 나누고 각 소유역별로 주요 배수관거를 정리하면 그림 4와 같다.

## 2.2 수문관측자료

### 2.2.1 동수천유역의 수문관측자료

동수천유역에 대해서는 모형의 검정 및 적용을 위해 1995년 7~8월사이에 유역내에 설치한 우량계와 수위계에 의해 획득한 수문자료를 이용하고자 하며, 도시화에 따른 유출영향분석을 위해 기왕의 연최대치 강우자료를 정리하여 빈도해석을 통해 설계빈도별 확률강우량자료를 획득하여 기본자료로 하였다(서규우, 1997).

#### (1) 실측강우자료의 수집

1995년 7~8월의 동수천유역의 주요 강우사상에 대한 실측우량 자료중 본 논문에서 적용한 강우사상에 대한 시간별 변동상황을 정리하면 다음 표 3과 같다.

#### (2) 확률강우량 산정

동수천유역에서의 빈도해석을 위해 기왕의 강우자료는 시험유역에 인접한 인천 기상관측소의 자기우량기록지에서 관측한 60분, 120분, 180분 강우지속기간별 최대강우량자료를 바탕으로 지속기간별 매년 최대치 강우자료에 대하여 적정 확률분포형과 확률가중모멘트

표 4. 지속기간별 확률강우량산정 결과

		(단위:mm)		
재현기간(년)	지속기간	60분	120분	180분
	1		22.8	30.8
2		39.5	55.5	65.4
3		46.5	65.8	77.5
5		54.7	78.1	91.5
7		60.1	86.0	100.4
10		65.8	94.5	109.8
20		77.2	111.4	128.1
30		84.1	121.7	139.0
50		93.2	135.1	152.9
70		99.4	144.3	162.4
100		106.1	154.3	172.5

법(PWM)으로 매개변수를 추정하고 추정된 각 확률분포형의 매개변수의 적합성을 조사하고, 또한  $\chi^2$ -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정 등으로 적합도검정을 실시하였다(대한주택공사, 1995; Kibler, 1982). 적용결과 log-Pearson type III 분포가 검정통계량이 가장 적게 나타났다. 선정된 log-Pearson type III 분포에 대하여 추정된 매개변수를 이용, 확률강우량을 산정하여 재현기간과 60분, 120분, 180분 지속기간별로 정리하면 표 4와 같다.

표 5. 적용 강우사상별 수위관측자료(동수천유역)

8월 19일		8월 23일		8월 25일		8월 26일	
시각	수위 (EL. m)	시각	수위 (EL. m)	시각	수위 (EL. m)	시각	수위 (EL. m)
15:00	6.01	15:30	6.51	7:30	6.55	21:00	7.01
15:30	6.21	16:00	6.60	8:00	6.75	21:30	7.07
16:00	6.40	16:30	6.98	8:30	6.97	22:00	7.12
16:30	7.10	17:00	7.17	9:00	6.87	22:30	7.31
17:00	7.29	17:30	7.30	9:30	6.83	23:00	7.48
17:30	7.24	18:00	7.10	10:00	6.80	23:30	7.51
18:00	7.11	18:30	6.91	10:30	6.80	24:00	7.48
18:30	6.93	19:00	6.80	11:00	6.80	00:30	7.45
19:00	6.62	19:30	6.55	11:30	6.82	01:00	7.42
19:30	6.32	20:00	6.42	12:00	6.79	01:30	7.35

(3) 수위관측 및 유량자료

동수천유역에 대한 수위관측자료는 인천 부개 택지 개발지구내를 관통하고 있는 동수천 자연하천에 대해 수위계측장치를 설치하고 1995년 7~8월사이 주요 호우 발생시마다 30분 간격으로 계측하였다. 현장여건상 수위관측이 누락된 7월 9일, 10일 사상을 제외하고 8월에 발생한 강우사상에 대한 수위관측기록을 정리하면 다음 표 5와 같다. 수위계측지점의 기준표고는 EL. 4.09 m이다. 수위계측지점은 경사가 상당히 완만하며 굴포천에서의 하류부 배수효과로 인해 10년 빈도에 대한 설계유속이 1.8 m/sec 정도이나, 수위 EL. 6.5~7.5 m 사이에서 평균유속은 실제로 약 1.0 m/sec 전후로 계측되어 약간 느린 편이었다.

위의 유속측정결과를 바탕으로 수위관측지점에서의 수위-유량관계곡선(적용한계: 수위 EL. 5.80~7.70 m)을 작성하면 그림 5와 같다.

2.2.2 무심천 시험유역의 수문자료

무심천유역의 대상지점인 청주 용암동 택지개발지구

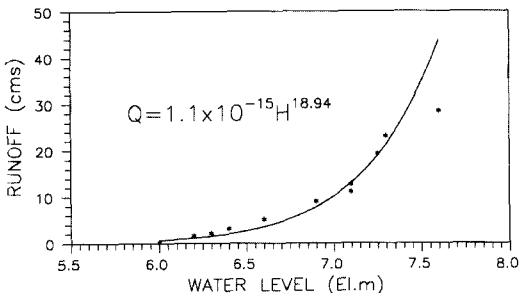


그림 5. 동수천유역의 수위-유량관계곡선

표 6. 무심천 시험유역의 적용 강우사상기록

(단위:mm)

시각	6월 27일		시각	7월 15일	
	우량	누계		우량	누계
10:00	2.0	2.0	8:10	1.0	1.0
10:10	1.0	3.0	8:20	1.0	2.0
10:20	1.0	4.0	8:30	1.0	3.0
10:30	1.0	5.0	8:40	3.0	6.0
10:40	1.0	6.0	8:50	5.0	11.0
10:50	1.0	7.0	9:00	6.0	17.0
11:00	1.0	8.0	9:10	5.0	22.0
11:40	3.0	11.0	9:20	2.0	24.0
12:00	1.0	12.0	9:30	4.0	28.0
12:10	1.0	13.0	9:40	2.0	30.0
12:30	1.0	14.0	9:50	1.0	31.0
			10:00	1.0	32.0

에서의 수문관측을 위해 우량관측계와 수위관측계를 대표유역 하류단에 설치하고 1996년 7월 이후 지속적으로 관측을 실시하였다. 도시하천유역에서 유역면적이 상대적으로 작고 유로길이 등 지형여건을 고려하여 강우량은 우량계 최소단위인 10분 간격으로 계측하였으며 수위는 2분 간격으로 계측하였다(한국토지공사, 1996).

(1) 강우관측자료의 수집

1996년 6~7월에 관측된 주요호우기록중 모형에 적용된 강우사상을 정리하면 표 6과 같다.

(2) 수위관측 및 유량자료

1996년 6~8월사이 관측된 주요호우기록중 무심천유역 유출출구점에 설치된 수위계의 계기 고장으로 수위 기록이 누락된 경우가 많아 주요호우별로 수위기록자료를 획득하지 못하였다. 계기에 기록된 것중에서 신뢰성있게 기록된 경우를 보면 6월 27일과 7월 15일

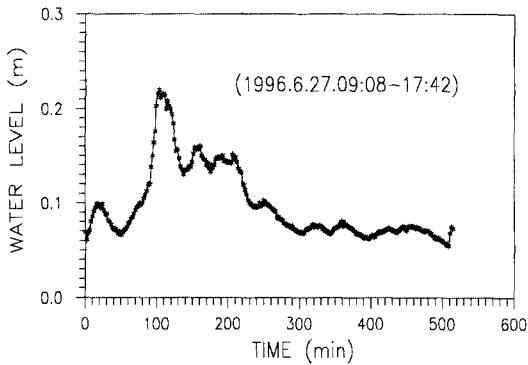


그림 6. 무심천 시험유역의 수위관측자료 ('96년 6월 27일)

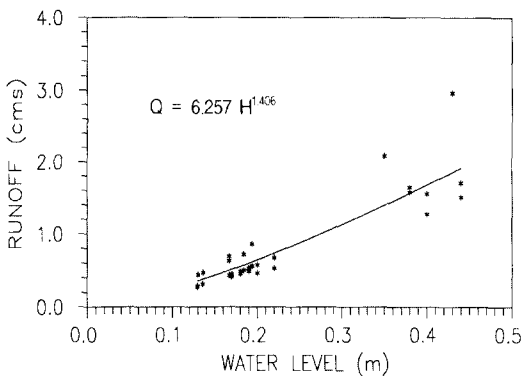


그림 7. 무심천 시험유역의 수위-유량관계곡선

의 경우이며 이 중 6월 27일 자료를 2분 간격으로 정리하면 그림 6과 같다.

이를 바탕으로 수위관측지점에서의 유속측정을 강우 발생일중 약 30여회 실시하여 얻어진 자료를 바탕으로 수위-유량관계곡선을 작성하면 그림 7과 같다.

무심천 시험유역인 용암동 택지개발지구의 출구부에서의 수위-유량관계곡선식은 그림 7과 같이  $Q = 6.257H^{1.406}$  ( $Q$  : 유량,  $H$  : 관측수위)로 나타났으며 적용한계는 수위 0.10~0.50 m의 범위이다.

### 3. 모형의 검정

본 절에서는 각 유역에서의 대상강우별로 각 모형의 모의결과를 실측치와 함께 동시에 나타낸 유출수문곡선을 작성하여 각 모형의 모의 특성을 살펴보고자 한다. 참고로 본 연구에서의 적용모형에 대한 적합성을 확인하기 위해 다른 도시유출모형들과 함께 비교하였다. 그림 8은 동수천유역에서 '95년 8월 19일 강우사

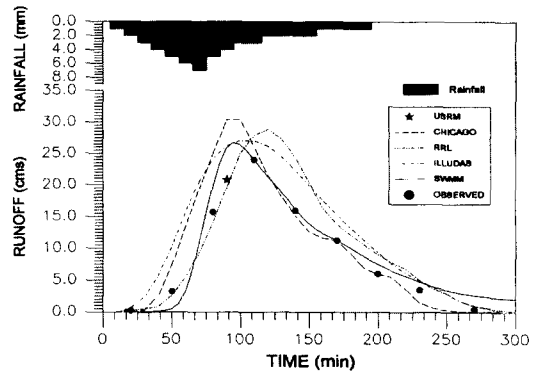


그림 8. 적용모형의 검정 (동수천유역, '95년 8월 19일)

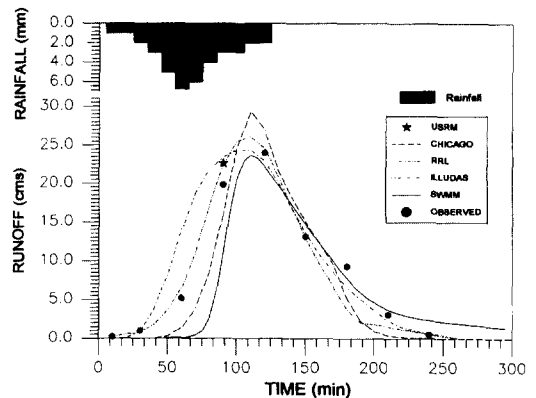


그림 9. 적용모형의 검증 (동수천유역, '95년 8월 23일)

상을 이용하여 모형의 검정을 실시한 결과이며 그림 9는 모형의 검증결과이다. 동수천유역에서의 모의결과가 대체적으로 양호함을 알 수 있다. 무심천 시험유역의 검정 및 검증결과는 허준행 등(1997)의 논문에 기술되어 있다.

## 4. 매개변수의 민감도분석

### 4.1 ILLUDAS 모형

ILLUDAS 모형(Stall과 Terstriep, 1972; Terstriep와 Stall, 1974)에서 선정된 주요 매개변수에 대해 Huff의 각 분포형별 60분, 120분, 180분 3가지 강우지속기간에 대해 동수천유역과 무심천유역에 대해 분석한 결과중 각각 경우에 대해 총유출량과 첨두유출량의 민감도비율을 나타내면 표 7과 같다(서규우, 1997; 한국건설기술연구원, 1989; Huff, 1967; 1990; Tholin과 Keifer, 1960).



표 7. ILLUDAS 모형의 매개변수별 민감도비율 산정결과

강우 분포	지속기간 (min)	시험 유역	구분	손실량 (II)	선행도양 함수량(IA)	도양형 (IS)
Huff 1	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.904	0.454	0.518
			S <sub>PR</sub>	0.919	0.443	0.530
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.917	0.536	0.690
			S <sub>PR</sub>	0.917	0.566	0.654
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.936	0.571	0.497
			S <sub>PR</sub>	0.937	0.548	0.512
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.936	0.461	0.729
			S <sub>PR</sub>	0.966	0.484	0.609
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.943	0.619	0.438
			S <sub>PR</sub>	0.936	0.533	0.483
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.943	0.404	0.757
			S <sub>PR</sub>	0.865	0.423	0.554
Huff 2	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.900	0.500	0.570
			S <sub>PR</sub>	0.920	0.560	0.630
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.911	0.605	0.707
			S <sub>PR</sub>	0.964	0.642	0.758
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.930	0.590	0.560
			S <sub>PR</sub>	0.940	0.590	0.580
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.934	0.537	0.735
			S <sub>PR</sub>	0.998	0.620	0.824
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.940	0.630	0.520
			S <sub>PR</sub>	0.970	0.690	0.590
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.942	0.489	0.759
			S <sub>PR</sub>	0.996	0.581	0.877
Huff 3	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.908	0.518	0.577
			S <sub>PR</sub>	0.917	0.545	0.603
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.919	0.598	0.712
			S <sub>PR</sub>	0.992	0.677	0.806
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.936	0.608	0.561
			S <sub>PR</sub>	0.971	0.613	0.587
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.936	0.540	0.743
			S <sub>PR</sub>	0.999	0.649	0.880
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.944	0.657	0.524
			S <sub>PR</sub>	0.985	0.766	0.617
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.959	0.634	0.834
			S <sub>PR</sub>	0.999	0.918	0.993
Huff 4	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.904	0.526	0.572
			S <sub>PR</sub>	0.923	0.546	0.591
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.917	0.597	0.707
			S <sub>PR</sub>	0.993	0.675	0.813
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.935	0.606	0.562
			S <sub>PR</sub>	0.984	0.644	0.602
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.936	0.555	0.735
			S <sub>PR</sub>	0.998	0.737	0.824
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.944	0.661	0.532
			S <sub>PR</sub>	0.995	0.801	0.642
		부심천	S <sub>TR</sub>	0.943	0.520	0.768
			S <sub>PR</sub>	0.999	0.729	0.984

#### 4.1.1 손실량(II)의 경우

매개변수 손실량(II)에 대해 Huff의 각 분포형과 3 가지 강우지속기간인 60분, 120분, 180분에 대한 두 유역에서의 결과를 분석하면 다음과 같다. Huff의 1 분위의 경우 유역면적이 460 ha로 큰 동수천유역에서 총유출량의 민감도비율은 0.904, 0.936, 0.943으로 변화하였는데 이는 지속기간이 증가할수록 이에 대한 민감도비율범위가 작아짐을 알 수 있다. 유역면적이 작은 무심천유역의 경우에서도 0.917, 0.936, 0.943으로 변화하여 유역면적의 영향이 작으며 지속기간의 증가에 따른 민감도 정도는 비슷하게 나타났다. Huff의 2 분위, 3분위와 4분위에서도 비슷하게 나타나는 것으로 보아 총유출량의 경우 강우의 시간적 분포에 영향을 적게 받는 것으로 확인이 되었다.

침투유출량의 민감도비율은 Huff의 1분위에서 동수천유역은 0.919, 0.937, 0.936으로 지속기간 120분일 때 민감도비율이 작았으며, 무심천유역도 지속기간 120분에서 0.966으로 민감도비율범위가 가장 작았으나 180분에서는 0.865로 민감도비율범위가 가장 큰 것으로 나타났다. Huff의 2분위의 경우 동수천유역은 지속기간이 증가하면서 0.920, 0.940, 0.970으로 민감도비율범위가 상당히 작아졌다. 무심천유역은 지속기간이 증가할수록 0.964, 0.998, 0.996으로 면적이 큰 유역보다 작은 유역에서 더욱 민감도비율범위가 작게 나타났다. Huff의 3분위에서 동수천유역은 0.917, 0.971, 0.985로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 아주 작게 나타났으며 무심천유역은 0.992, 0.999, 0.999로 60분 지속기간부터 거의 민감도에 영향을 미치지 않을 정도인 0.99 이상의 값을 갖는 것으로 확인이 됨으로서 유역면적이 작을 경우 이에 대한 민감도 정도는 영향력이 극히 미미함을 알 수 있다. Huff의 4분위에서 동수천유역은 0.923, 0.984, 0.995와 같고 무심천유역도 앞의 강우분포형 분위에서 나타난 결과와 비슷하다.

#### 4.1.2 선행도양 함수량(IA)의 경우

주요 매개변수중 선행도양함수량에 대해 Huff의 각 분포형과 3가지 강우지속기간인 60분, 120분, 180분에 대한 두 유역에서의 결과를 분석하면 다음과 같다. 손실량 매개변수와는 달리 선행도양함수량 매개변수는 모형내에서 4가지 형태로 구분하여 Horton의 침투능 공식을 적용하고 있다. 침투에 의한 초기손실량에 영

향을 미치는 선행토양함수량은 토양형(IS) 매개변수와 더불어 유출에 영향을 크게 미치는 가장 민감한 매개변수이다. 더구나 입력값으로 선택할 수 있는 값이 4가지 뿐이므로 충분한 사전 자료에 의해 상황을 정확히 파악한 후 결정시에는 신중을 기해야 한다. 강우의 시간적 분포형태로 살펴보면, Huff의 1분위의 경우 지속기간이 증가하면서 유역면적이 큰 동수천유역에서 총유출량의 민감도비율은 0.454, 0.571, 0.619로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 작아지고 있으나 0.5 전후의 값에서 시작하는 것을 볼 때 다른 매개변수에 비해 현저하게 민감도영향이 큰 것을 알 수 있다. 그러나 유역면적이 작은 무심천유역의 경우에는 0.536, 0.461, 0.404로 변화하여 유역이 작을수록 이에 대한 민감도비율범위가 커짐을 확인하였다. 그리고 Huff의 2분위에서와 4분위에서도 동수천유역은 0.500, 0.590, 0.630과 0.526, 0.606, 0.661로 민감도비율범위가 작아졌으며 무심천유역은 2분위와 4분위에서 각각 0.605, 0.537, 0.489와 0.597, 0.555, 0.520으로 민감도비율범위가 커짐을 확인하였다. 그러나 Huff의 3분위에서 동수천유역은 0.518, 0.608, 0.657로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 같은 경향을 보였으나, 무심천유역에서는 0.598, 0.540, 0.634로 민감도비율범위가 커지다가 180분 지속기간에서만 오히려 민감도비율범위가 작아지는 것으로 나타났다.

침투유출량의 민감도비율은 Huff의 1분위에서 동수천유역은 0.443, 0.548, 0.533으로 지속기간 120분일 때 민감도비율범위가 상대적으로 가장 작았으나 전체적으로는 0.5 전후의 값을 갖게 되어 민감도비율범위가 아주 큰 편에 속하였다. 무심천유역은 0.566, 0.484, 0.423으로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 커지는 것으로 나타났으며 이에 대한 민감도정도도 0.5 전후의 값을 나타내어 상당히 큰 것으로 확인되었다. Huff의 2분위의 경우 동수천유역은 0.560, 0.590, 0.690으로 지속기간이 증가할수록 민감도영향비율은 작았으나 0.5~0.6 전후의 값을 가지므로 민감도정도는 큰 것으로 나타났다. 무심천유역은 0.642, 0.620, 0.581로 지속기간이 증가할수록 면적이 큰 유역보다 작은 유역에서 민감도비율범위가 커지는 것으로 나타났다. Huff의 3분위에서도 동수천유역은 0.545, 0.613, 0.766으로 지속기간이 증가하면서 민감도비율범위가 작아지는 것으로 나타났으며 무심천유역은 0.677, 0.649, 0.918로 지속기간이 증가하면서 일정한 경향을 갖는 것이 아니라 민감도비율범위가 커지다가 급격히 작아지는 것으로 나타났다. Huff의 4분

위에서 동수천유역은 0.546, 0.644, 0.801로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 급격히 작아지는 것으로 나타났으며 무심천유역도 0.675, 0.737, 0.729로 면적이 큰 유역에 비해 민감도비율범위가 더욱 작게 나타나고 특히 120분 지속기간에서 민감도비율범위가 작게 나타났다.

#### 4.1.3 토양형(IS)의 경우

토양형 매개변수는 모형의 입력시 미토양보존국(SCS)에서 제시한 토양형구분을 이용하여 4가지의 형태로 분류하여 적용하도록 되어있다. 토양형 매개변수의 선정에 따른 민감도분석을 Huff의 각 분포형과 3가지 강우지속기간인 60분, 120분, 180분에 대한 두 유역에서의 결과를 분석하면 다음과 같다. Huff의 1분위의 경우 지속기간이 증가하면서 유역면적이 큰 동수천유역에서 총유출량비는 0.518, 0.497, 0.438로 다른 매개변수에 비해 민감도비율범위가 급격히 커짐을 알 수 있다. 유역면적이 작은 무심천유역의 경우에는 0.690, 0.729, 0.757로 유역이 작을수록 민감도비율범위가 작게 나타나 동수천유역과는 반대의 결과로 나타남을 확인하였다. 그리고 Huff의 2분위에서도 동수천유역은 0.570, 0.560, 0.520으로 민감도비율범위가 지속기간이 증가할수록 커지는 반면에 무심천유역은 0.707, 0.735, 0.759로 작아지는 것으로 나타났다. 3분위에서도 동수천유역은 0.5대에서 같은 경향으로 민감도비율범위가 커지고 무심천유역은 0.712, 0.743, 0.834로 동수천유역에 비해 0.7대에서 민감도비율범위가 작아지는 것으로 나타났다. 4분위에서도 3분위에서의 양상과 거의 비슷하게 나타났다.

침투유출량의 민감도비율은 Huff의 1분위에서 동수천유역은 0.530, 0.512, 0.483으로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 커지면서 0.4~0.5의 값으로 보아 민감도영향이 아주 큰 것으로 나타났다. 무심천유역은 0.654, 0.609, 0.554로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 커지는 것으로 나타났으며 0.6 전후의 값이므로 면적이 큰 유역보다 민감도정도가 상대적으로 작게 나타났다. Huff의 2분위의 경우 동수천유역은 0.630, 0.580, 0.590으로 지속기간이 120분에서 민감도비율범위가 상대적으로 커지는 것으로 나타났으며 무심천유역은 0.758, 0.824, 0.877로 지속기간이 증가할수록 면적이 큰 유역보다 작은 유역에서 민감도비율범위가 더욱 작게 나타났다. Huff의 3분위에서도 동수천유역은 0.603, 0.587, 0.617로 지속기간 120분

에서 민감도비율범위가 커지는 것으로 나타났으며 무심천유역은 0.806, 0.880, 0.993으로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 더욱 작아지는 것으로 나타났다. Huff의 4분위에서는 동수천유역은 0.591, 0.602, 0.642로 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 작게 나타났으며 무심천유역도 0.813, 0.824, 0.984로 면적이 큰 유역에 비해 민감도비율범위가 더욱 작게 나타나고 특히 지속기간이 증가할수록 민감도비율범위가 아주 작게 나타났다.

ILLUDAS 모형의 3가지 매개변수에 대해 각 유역별, 강우분포형별, 지속기간별로 유출민감도비의 변화양상을 나타낸 그림중에서 무심천유역에 대해 지속기간 60분, 강우분포형별로 나타내면 그림 10~그림 13과 같다.

그림에서 각 매개변수의 각 단계별 유출민감도비가 각 분포형별로 변화하는 쉽게 확인할 수 있다. 특히 매개변수들이 1.0보다 큰 값에서 강우분포형별로 완전히 변화해 가는 것을 볼 수 있다.

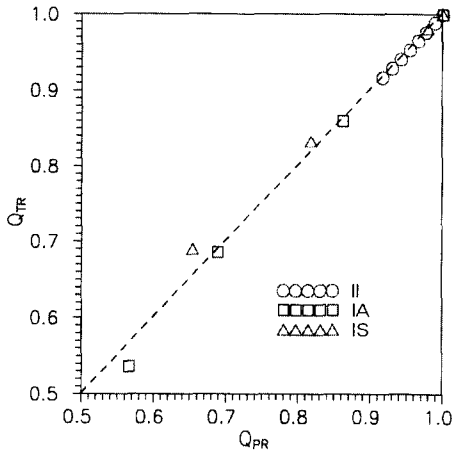


그림 10. 무심천 시험유역의 유출민감도비 (지속기간 60분, Huff 1분위, ILLUDAS 모형)

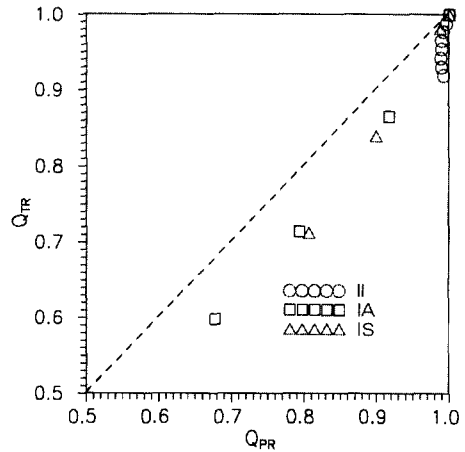


그림 12. 무심천 시험유역의 유출민감도비 (지속기간 60분, Huff 3분위, ILLUDAS 모형)

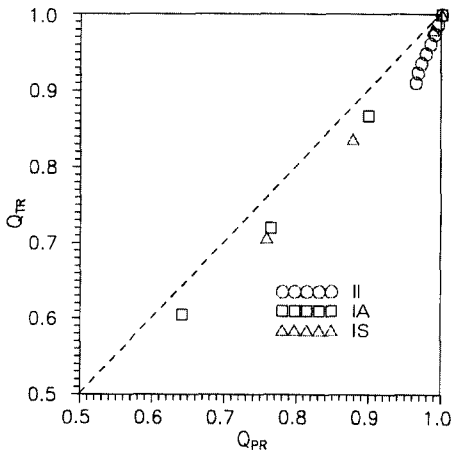


그림 11. 무심천 시험유역의 유출민감도비 (지속기간 60분, Huff 2분위, ILLUDAS 모형)

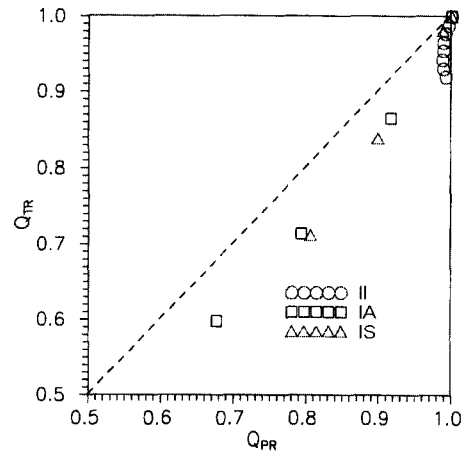


그림 13. 무심천 시험유역의 유출민감도비 (지속기간 60분, Huff 4분위, ILLUDAS 모형)

표 8. SWMM 모형의 매개변수별 민감도비율 산정결과

강우 분포	지속시간 (min)	시험 유역	구분	침투능 (SD)	조도계수 (SR)	저류깊이 (SS)
Huff 1	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.861	0.976	0.933
			S <sub>PR</sub>	0.895	0.953	0.947
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.780	0.987	0.912
			S <sub>PR</sub>	0.908	0.949	0.916
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.816	0.986	0.955
			S <sub>PR</sub>	0.856	0.949	0.945
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.719	0.990	0.931
			S <sub>PR</sub>	0.896	0.878	0.892
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.789	0.988	0.961
			S <sub>PR</sub>	0.862	0.947	0.955
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.697	0.993	0.939
			S <sub>PR</sub>	0.879	0.921	0.890
Huff 2	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.860	0.970	0.930
			S <sub>PR</sub>	0.920	0.940	0.960
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.785	0.984	0.909
			S <sub>PR</sub>	0.868	0.989	0.949
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.840	0.982	0.954
			S <sub>PR</sub>	0.880	0.967	0.990
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.747	0.992	0.930
			S <sub>PR</sub>	0.796	0.996	0.963
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.810	0.987	0.960
			S <sub>PR</sub>	0.850	0.980	0.995
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.705	0.994	0.938
			S <sub>PR</sub>	0.735	0.998	0.979
Huff 3	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.857	0.976	0.934
			S <sub>PR</sub>	0.914	0.954	0.976
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.775	0.987	0.913
			S <sub>PR</sub>	0.846	0.976	0.958
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.828	0.983	0.952
			S <sub>PR</sub>	0.867	0.973	0.995
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.732	0.990	0.932
			S <sub>PR</sub>	0.775	0.993	0.976
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.802	0.988	0.958
			S <sub>PR</sub>	0.841	0.981	0.998
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.689	0.993	0.939
			S <sub>PR</sub>	0.711	0.997	0.985
Huff 4	60	동수천	S <sub>TR</sub>	0.850	0.980	0.928
			S <sub>PR</sub>	0.906	0.945	0.983
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.760	0.983	0.911
			S <sub>PR</sub>	0.870	0.971	0.975
	120	동수천	S <sub>TR</sub>	0.823	0.982	0.951
			S <sub>PR</sub>	0.902	0.964	0.998
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.704	0.988	0.931
			S <sub>PR</sub>	0.808	0.979	0.993
	180	동수천	S <sub>TR</sub>	0.781	0.985	0.960
			S <sub>PR</sub>	0.861	0.973	0.990
		무심천	S <sub>TR</sub>	0.673	0.989	0.939
			S <sub>PR</sub>	0.765	0.983	0.998

## 4.2 SWMM 모형

SWMM 모형에서 선정된 주요 매개변수에 대해 Huff의 각 분포형별과 60분, 120분, 180분 3가지 강우지속기간별로 동수천유역과 무심천유역에 적용한 결과 중 총유출량과 침투유출량의 민감도비율을 나타내면 표 8과 같다.

SWMM 모형의 3가지 매개변수에 대해 각 유역별, 강우분포형별, 지속기간별로 유출민감도비의 변화양상을 나타낸 그림중에서 무심천유역에 대해 지속기간 120분, 강우분포형별로 나타내면 그림 14~그림 17과

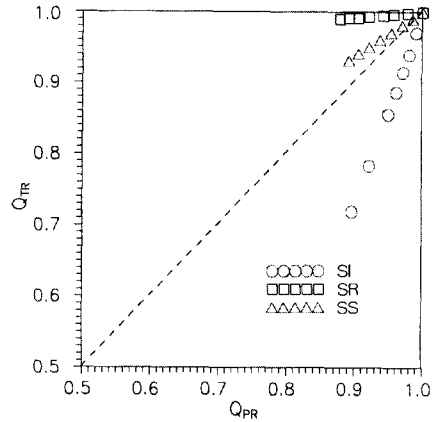


그림 14. 무심천 시험유역의 유출민감도비 (지속기간 120분, Huff 1분위, SWMM 모형)

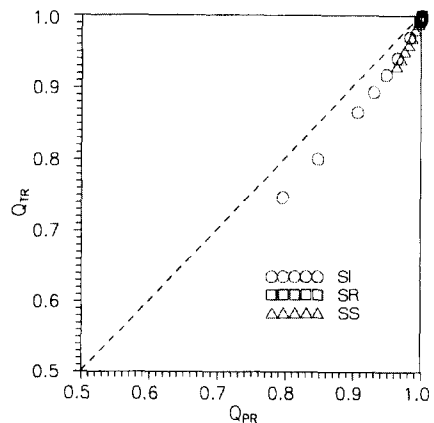


그림 15. 무심천 시험유역의 유출민감도비 (지속기간 120분, Huff 2분위, SWMM 모형)

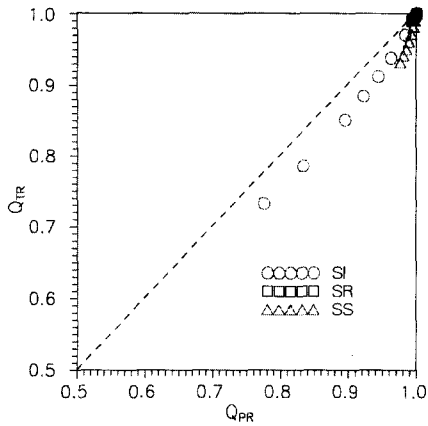


그림 16. 무심천 시험구역의 유출민감도비 (지속기간 120분, Huff 3분위, SWMM 모형)

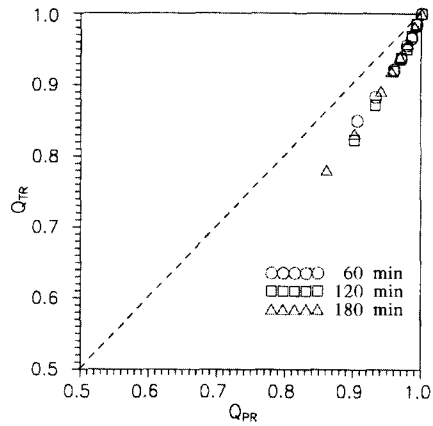


그림 18. 동수천구역의 침투능(SI) 매개변수의 유출민감도비 (Huff 4분위, SWMM 모형)

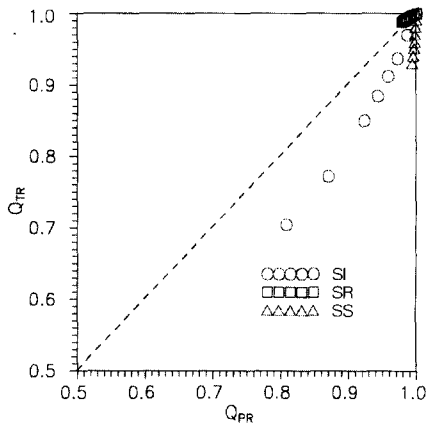


그림 17. 무심천 시험구역의 유출민감도비 (지속기간 120분, Huff 4분위, SWMM 모형)

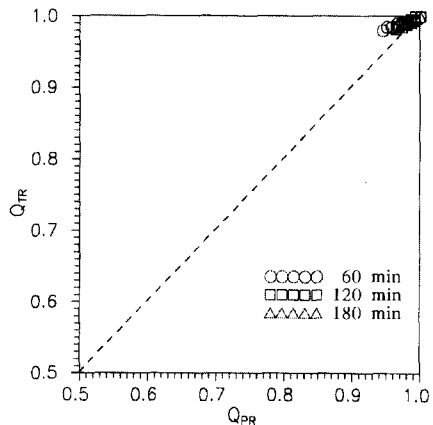


그림 19. 동수천구역의 조도계수(SR) 매개변수의 유출민감도비 (Huff 4분위, SWMM 모형)

같다. 그림에서 각 매개변수의 각 단계별 유출민감도비가 각 분포형별로 변화하는 것을 쉽게 확인할 수 있다. 특히 매개변수들이 1.0보다 큰 값에서 강우분포형별로 완전히 변화해 가는 것을 볼 수 있다.

그림 18~그림 20은 동수천구역에서의 각 매개변수의 지속기간별 유출민감도중에서 Huff의 4분위에 대한 변화그림이다. 그림에서 각 매개변수의 민감도 특성이 뚜렷하게 비교가 되며 특히 각 매개변수의 상대적인 민감도비율범위와 변화정도를 시각적으로 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 유역특성이 서로 다른 동수천구역과 무심천 시험유역을 대상으로 ILLUDAS모형과 SWMM모형의 주요 매개변수들에 대해 민감도분석을 행한 매개변수들이 갖는 유출특성을 분석하였으며 모형의 검증이나 검증시 적정 매개변수값을 결정하는데 있어 좀 더 합리적인 방법을 제시할 수 있도록 하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 적용모형별로 정리 하면 다음과 같다.

(1) ILLUDAS모형의 매개변수 민감도분석에서 순

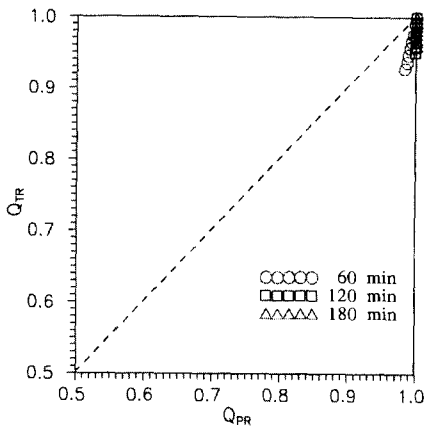


그림 20. 동수천유역의 저류깊이(SS) 매개변수의 유출민감도비 (Huff 4분위, SWMM 모형)

실량(II)의 경우 유출민감도비 ( $Q_{SR}$ )는 1이거나 1보다 약간 작은 값을 갖고 총유출량비 ( $Q_{TR}$ )와 첨두유출량비 ( $Q_{PR}$ )가 모두 0.9이상의 값을 갖고 있어 각 단계별 변화의 정도가 아주 작았으며 선행토양함유량(IA)과 토양형(IS)의 경우에는 유출민감도비 ( $Q_{SR}$ )는 대체로 1 이하의 값이나 총유출량비 ( $Q_{TR}$ )와 첨두유출량비 ( $Q_{PR}$ )의 1단계가 0.55에서 시작하여 4단계에 걸쳐 일정간격으로 증가함을 볼 수 있다. 그리고 강우지속기간이 길수록 매개변수의 유출민감도비 ( $Q_{SR}$ )는 1 이하를 나타내고 있으며 각 매개변수의 변화의 폭이 줄어들음을 볼 수 있다. 손실량(II)의 경우는 총유출량비 ( $Q_{TR}$ )와 첨두유출량비 ( $Q_{PR}$ )의 1단계가 0.9 이상에서 시작하여 변화가 적으나 선행토양함유량(IA)과 토양형(IS)은 총유출량비 ( $Q_{TR}$ )와 첨두유출량비 ( $Q_{PR}$ )의 1단계가 0.55 전후에서 시작하여 일정 간격으로 증가하며 변화의 폭이 크음을 볼 수 있다.

(2) SWMM모형의 매개변수 민감도분석에서 침투능(SI)의 경우 유출민감도비 ( $Q_{SR}$ )가 1보다 작았으며 총유출량비와 첨두유출량비의 1단계가 각각 0.8, 0.85로 다른 매개변수에 비해 변화의 폭이 상대적으로 크음을 알 수 있다. 조도계수(SR)의 경우 유출민감도비가 1보다 큰 값을 가지고 손실저류깊이(SS)의 경우 유출민감도비가 1보다 큰 값을 가지나 두 매개변수 모두 강우지속기간에 관계없이 총유출량비와 첨두유출량비의

1단계가 0.95 전후로 각 단계별 변화의 폭이 아주 작음을 알 수 있다. 즉 조도계수(SR)와 손실저류깊이(SS) 매개변수의 민감도정도는 아주 약한 것으로 판단된다.

(3) 본 연구결과를 바탕으로 도시유출모형별로 우리의 지형여건 및 유역개발상황에 합리적으로 적용할 수 있도록 모형매개변수의 결정범위와 총유출량과 첨두유출량에 대한 민감도정도를 제시하여 도시유출모형 확립의 기초를 마련하고자 한다. 한편 본 연구결과를 대규모 택지개발 등과 같은 개발행위시 중요한 평가요소인 유출억제 방안수립에 활용할 경우 합리적인 방안을 강구할 수 있는 자료를 제공할 수 있겠다.

## 참 고 문 헌

- 대한주택공사 (1995). 인천부개지구 침수원인조사 및 장기종합대책 수립에 관한 연구와 이에 따른 실시 설계 종합보고서.
- 서규우 (1997). 도시유출모형의 매개변수결정을 위한 민감도분석 연구. 박사학위논문, 연세대학교.
- 서규우, 배덕호, 심재현, 이재준 (1996a). "유역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간변화에 관한 연구." 한국수자원학회지, 제29권 제3호, pp. 207-216.
- 서규우, 허준행, 조원철 (1996b). "도시화에 따른 유출 영향분석 및 침수저감대책에 관한 연구." 대한토목학회논문집, 제16권 제II-5호, pp. 421-431.
- 인천광역시 (1995). 준용하천(굴포천)정비 기본계획.
- 한국건설기술연구원 (1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포. 건기연89-WR-111, 연구보고서.
- 한국토지공사 (1996). 주택단지내 수문자료 모니터링 시스템 구축에 관한 연구. 연구보고서.
- 허준행, 서규우, 이홍래, 이재철 (1997). "주택단지내 우수유출해석을 위한 모형의 적용 및 비교분석." 대한토목학회 논문집, 제17권, 제III-5호, pp. 429-440.
- Huff, F.A. (1967). "Time distributions of heavy storms." *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
- Huff, F.A. (1990). *Time distributions of heavy rainstorms in Illinois*. State of Illinois, Water Survey, ISWS/CIR-173/90, Circular 173.
- Kibler, D.F. (1982). *Urban stormwater hydrology*. Water Resources Monograph 7,

- AGU, Washington, D. C., pp. 10-12.
- Mein, R.G., and Brown, B.M. (1978). "Sensitivity of optimized parameters in watershed models." *Water Resources Research*, Vol. 14, No. 2, pp. 299-303.
- Singh, V.P. (1995). *Computer models of watershed hydrology*, Water Resources Publications.
- Stall, J.B., and Terstriep, M.L. (1972). *Stormwater sewer design an evaluation of the RRL method*. U.S. EPA Report, EPA-R2-068.
- Terstriep, M.L., and Stall, J.B. (1974). *The illinois urban drainage area simulator*. ILLUDAS, Bulletin 58, State Wat. Surv., Urbana, Illinois.
- Tholin, A.L., and Keifer, C.J. (1960). "Hydrology of urban runoff." *Trans. ASCE*, Vol. 125, pp. 1308-1379.

<최종본 접수일 : 1998년 4월 1일>