

# 주택단지내 우수관망시스템을 이용한 도시유출모형의 비교분석

## A Comparative Analysis of Urban Runoff Models Applied to Stormwater Sewer System in a Residential Site

○이재철\*, 김종섭\*\*, 윤여진\*\*\*

### 1. 서론

도시화되면서 하수도에 대한 발전이 거듭되고 있으며 이에 따라 우수배제를 목적으로 하는 우수관망의 설치가 일반화되었다. 우수관망을 설계하는 기본적인 방법은 강우-유출관계를 합리식으로 산정하여 관경을 결정하는 것이다. 그러나 최근에 와서 강우-유출관계를 합리식이 아닌 ILLUDAS 및 SWMM 등으로 산정하는 경향이 나타나고 있다. 이러한 모형들은 현장에 직접 적용하여 검증되어야만 실무에서 많이 활용될 수 있으나 아직까지 도시 내 우수관망에 대한 수문자료의 미비로 이러한 검증이 많이 이루어지지 못하였다. 본 연구에서는 이러한 새로운 모형들의 검증을 위하여 운용된 청주의 한 주택단지의 우수관망에 대한 실측자료를 이용하여 위에 언급된 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형을 검증해 보고 두 모형을 비교하여 분석하였다.

### 2. 적용강우사상

두가지 모형을 적용함에 있어 강우자료는 그간 축적된 강우자료 중 강우-유출관계가 비교적 양호한 값을 보여주며 또한 유출량이 큰 값을 나타내는 5개의 강우사상으로 한정하였다.

그 강우사상은 [표 1]에서 보는 바와 같이 '97.6.30 (7630) 호우사상, '97.7.15 (7715) 호우사상, '98.8.3 (883) 호우사상, '98.8.6 (886) 호우사상 그리고 '98.8.8 (888) 호우사상이다.

이 5개의 강우사상에서 단일강우사상을 가장 잘 나타내고 있는 888 강우사상을 이 두 모형의 매개변수를 점정(Calibration) 하기 위한 강우사상으로 사용하였고 이 강우사상으로 점정된 모형을 나머지 4개의 강우사상에 적용하여 모형의 적정성을 검증하였다.

[표 1] 강우사상별 특성

구분	7630 강우사상	7715 강우사상	883 강우사상	886 강우사상	888 강우사상
총강우량(mm)	17	44	35	44	21
강우기간(min)	150	560	350	250	170
최대강우강도(mm/hr)	24	48	54	42	66
5일 선행강우량(mm)	-	23	66	75	86

\* 정희원, 청양대학 토목과 조교수

\*\* 정희원, 한밭대학교 토목환경도시공학부 부교수

\*\*\* 정희원, 건양대학교 토목공학과 전임강사

### 3. 모형의 적용

#### 3.1 ILLUDAS 모형

본 모형을 시험유역에 적용하기 위하여 시험유역의 우수관망에 관번호를 부여하였으며, 이때 관망을 구성함에 있어 관거는 맨홀을 기준으로 상하류관을 각각 하나의 관으로 설정함을 원칙으로 하되 관경이 같을 경우에는 맨홀을 무시하고 상하류관을 하나의 관으로 구성하였고, 소유역은 관거마다 하나의 소유역이 존재하도록 전체 유역을 구분하였다. 관망 구성결과 시험유역은 156개의 소유역으로 나누어졌다. 본 연구에서는 기존의 관망에 대한 평가이므로 실행의 종류는 평가 모드로 설정하였으며, 전체 유역면적은 92.18ha이다. 초기손실우량으로 불투수지역에서 2.54mm 투수지역에서 5.08mm를 일반값으로 제시하고 있으나 이 값을 모형을 보정하기 위한 값으로 사용하여 실측치와 계산치를 비교 분석한 결과 그 값을 불투수지역 3.3mm, 투수지역 12.7mm로 결정하였다. 토양군의 종류는 C형인 3을 적용하고 선행토양함수 조건의 선정은 각 강우사상의 5일 선행강우량을 조사하여 강우사상별로 적용하였다.

강우자료의 시간간격은 시험유역에서 계측된 유달시간 값을 고려하여 그 값의 1/2 - 1/3 이내로 하여야 하나 우량계측이 10분 간격으로 되어 있어 정확한 유달시간 산정이 어려워 설계시 사용한 17분을 고려하고 유량계측이 2분간격으로 되어 있는 점을 감안하여 2분으로 결정하였다. 이에 따라 강우량 값은 10분간격 관측값을 1/5하여 2분간격으로 변환시켜 값을 입력하였다.

유역자료로서 소유역면적(B4)은 주어진 자료에서 추출하였고 직접연결포장면적(CPA)과 간접연결포장면적(SPA)은 각 소유역별 토지이용 상태를 고려하여 포장비율을 나타내었고, 이 값은 합리식의 토지이용별 유출계수(C) 값을 고려하였으며, 포장면적비율은 SWMM 모형의 불투수면적비율과 같은 값을 이용하였다. 초지지역 면적(CGA)은 포장면적을 제외한 값으로 초지비율(PCGA)을 입력자료로 활용하였다. 포장지역의 유입시간(PENT)은 도시지역의 일반적인 유입시간이 7분인 점을 감안하여 5분으로 적용하였고, 초지지역의 유입시간(GENT)은 소유역의 면적에 따라 외부유입 면적이 크거나 공동주택지인 경우에는 보다 큰 값인 18~38분을 적용하고 단독주택지 등 면적이 작은 소유역에서는 8분을 적용하였다.

본 모형을 검정하기 위하여 초기손실량을 다음 [표 2]와 같이 구분 적용하였다.

[표 2] ILLUDAS 모형을 검정하기 위한 초기손실량에 따른 자료구분

구분	경우 1	경우 2	경우 3	경우 4	경우 5
포장지역 초기손실량(mm)	1.0	2.5	3.0	3.3	5.8
초지지역 초기손실량(mm)	2.0	7.5	9.0	12.7	15.7

초기손실량은 일반적으로 2.5mm와 5.8mm를 적용하고 있으나 이보다 적은 값과 이보다 큰 값을 대상으로 적용해 보았다. 이때 각 값은 문헌에서 많이 나타나고 있는 값을 선정하였다. 본 연구대상 시험유역에서는 모형으로 계산한 첨두유량과 총유출량을 관측된 값과 비교하여 매개변수인 초기손실량을 결정하였다.

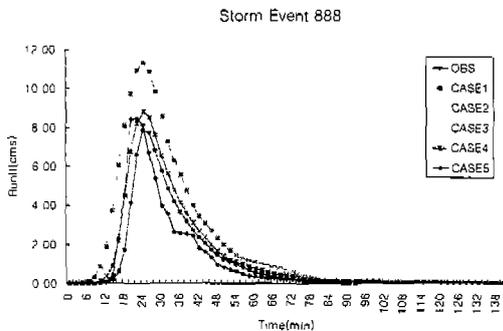
888 강우사상에 대하여 각 경우별로 적용한 결과를 나타내면 다음 [표 3] 및 [그림 1]과 같다.

[표 3] 모형 검정을 위한 매개변수의 결정

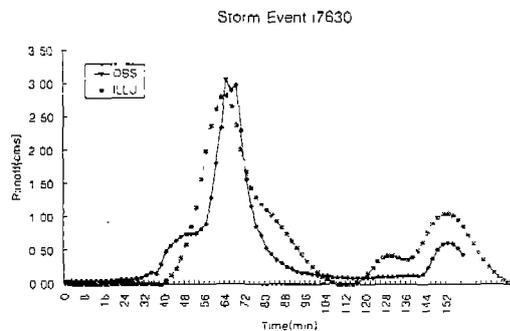
구분	관측값	경우 1	경우 2	경우 3	경우 4	경우 5	
침투 유량	cms	8.44	11.32	10.00	9.56	8.59	7.22
	상대오차	-	0.34	0.18	0.13	0.02	- 0.14
총유 출량	m <sup>3</sup>	9,960	17,137	14,233	13,444	11,901	9,604
	상대오차	-	0.72	0.43	0.35	0.19	- 0.04
선 정	-				○		

매개변수값인 초기손실량을 선정함에 있어 하수관망을 설계하기 위한 해석으로 보고 총유출량 보다는 침투유량에 비중을 더 두었다.

결정된 초기손실량 값을 이용하여 4개의 강우사상에 대하여 모형을 검증하였다. 각각의 강우사상에 대한 적용결과 중 하나를 그림으로 나타내면 다음 [그림 2]와 같다.



[그림 1] ILLUDAS 모형의 검증



[그림 2] ILLUDAS 모형의 검증 (7630강우사상)

### 3.2 SWMM 모형

SWMM 모형이 갖고 있는 RUNOFF 블록, EXTRAN 블록 중 본 연구에서는 RUNOFF 블록만을 적용하여 검토 분석하였다. 모형을 적용하기 위하여 우수관망자료를 정리하여 우수관망도를 작성하였다. 이때 관거는 맨홀을 기준으로 맨홀마다 하나의 관거와 하나의 소배수구역이 부현되도록 구분한 결과 소배수구역의 개수가 170여개에 이르러 이 모형의 제한 사항인 소배수구역의 개수 100개를 초과하여 구역의 관망을 소유역 합성 방법에 의하여 91개로 조정하였다. 이때 소유역 합성은 세분화된 구역에서 모의 발생한 배수구역 출구에서의 수문곡선 값과 같은 정도의 값을 주어야 하므로 구역의 폭을 조정하여 합성된 하나의 등가 소유역으로 구성하였다. 모의발생 전체에 영향을 주는 입력자료 중 B4행에 입력하는 불투수율(PCTZER) 값을 0으로 입력하여 각 소유역마다 불투수율을 입력하도록 하였다. 관거관련 자료는 앞에서 조사된 자료와 현장조사를 통하여 추출하였다. 이 과정에서 기연구자료 중 관경사를 일부 수정하였고 소유역 합성과정에서 관경사를 관경장가중평균하여 적용하였다. 소유역 관련자료는 기연구자료와 앞에서 조사된 자료 및 현장조사자료로부터 추출하였다. 이 자료들 중 소유역의 폭은 소유역합성시 보정값으로 사용하여 값을 결정하였고, 소유역의 불투수면적비는 토지공사에서 주택단지개발시 적용하는 합리식의 유출계수(C) 값으로부터 토지이용 면적을 고려하는 면적가중 평균값을 산정하여 적용하였다. 지표면 저류량은 현장 여건에 따라 상당히 다른 값을 주는 인자로 모형의 검정인자로 활용하는 인자 중 하나로 본 연구에서도 이 인자를 모형의 검정인자로 사용하였다. 초기 값으로 일반적 값인 불투수지역

표면저류 1.0mm, 투수지역 표면저류 2.0mm를 사용하여 검정하고 검정과정에서 불투수지역 표면저류 3.3mm, 투수지역 표면저류 12.7mm를 모형에 적용하는 값으로 결정하였다. 이 값들은 앞 절의 지면저류깊이에 나타난 값 중 토지이용별 최소 값을 산술 평균한 값이다.

위의 지표면 저류량을 이용하여 모형을 검정하는 과정에서 적용한 경우별 지표면 저류량은 다음 [표 4]와 같다.

[표 4] SWMM 모형을 검정하기 위한 지표면 저류량에 따른 자료구분

구분	경우 1	경우 2	경우 3	경우 4	경우 5
불투수지역 지표면저류량(mm)	1.0	2.5	3.0	3.3	5.8
투수지역 지표면저류량(mm)	2.0	7.5	9.0	12.7	15.7

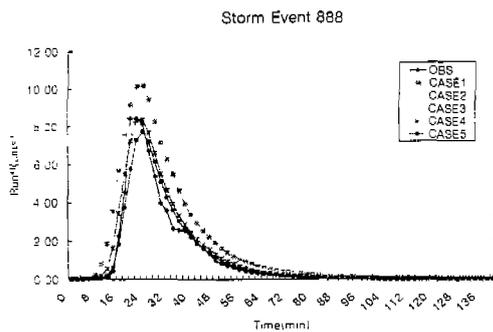
위 경우에 대하여 888강우사상을 이용한 모형의 검정 결과는 다음 [표 5] 및 [그림 3]과 같다.

[표 5] 모형 검정을 위한 매개변수의 결정

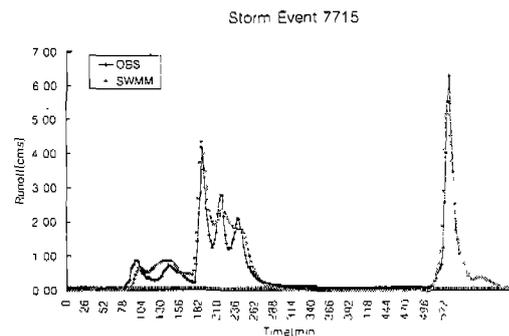
구분	관측값	경우 1	경우 2	경우 3	경우 4	경우 5	
침투 유량	cms	8.44	10.32	9.23	8.94	8.49	7.74
	오차(%)	-	0.22	0.09	0.06	0.01	-0.08
총유 출량	m <sup>3</sup>	9.960	16.045	13.453	12.749	11.579	9.920
	오차(%)	-	0.61	0.35	0.28	0.16	-0.004
선 정					○		

매개변수의 결정은 ILLUDAS 모형에서와 동일하게 우수관경을 결정하기 위한 설계에 관점을 두고 총유출량보다 침투유량에 비중을 더 두고 이루어졌다. 이번 검정 결과에서 보는 바와 같이 국내의 지표면 저류량은 지금까지 적용하던 값보다 다소 큰 값을 보여주고 있다.

검정결과에서 결정된 매개변수 값을 이용하여 나머지 4개 강우사상으로 모형의 검증을 실시하였다. 각 강우사상별 모의결과 중 하나를 나타내면 다음 [그림 4]와 같다.



[그림 3] SWMM 모형의 검정



[그림 4] SWMM 모형의 검증 (7715강우사상)

### 3.3 적용결과의 분석

도시구역에서의 수문학적 관심은 배수관거의 설계, 구역의 배수문제, 우수지 용량 결정과 펌프 용량 결정 등이다. 이를 위해 우선적으로 분석해야 하는 기본자료 중의 하나가 해당구역에서의 침투유량이나 총유출량의 크기이며 침투유량 발생시간 등이다. 본 연구에서는 앞에서 적용한 2가지 유출모형에 대한 적용결과 산정된 총유출량과 침투유량, 침투유량 발생시간을 중심으로 관측치와

종합적으로 비교분석 하였다.

### 3.3.1 수문량의 비교분석

시험유역에서 각 모형별로 적용시킨 결과 중 총유출량에 대한 결과를 비교분석하면 다음과 같다. 앞 절에서 2개의 모형에 적용한 4개의 강우사상에 대해 그 결과를 종합적으로 비교분석하였다. 적용모형에 대한 총유출량의 비교분석은 다음 [표 6]과 같다.

[표 6] 적용모형별 강우사상별 총유출량의 비교 (단위:m<sup>3</sup>)

구분		7630 강우사상	7715 강우사상	883 강우사상	886 강우사상	평균 상대오차
관측치		4,609	19,028	16,635	18,288	
ILLUDAS	총유출량	6,376	19,806	18,908	26,714	
	상대오차	0.383	0.041	0.137	0.461	0.256
SWMM	총유출량	6,860	22,224	18,235	25,100	
	상대오차	0.488	0.168	0.096	0.372	0.281
평균상대오차		0.436	0.105	0.117	0.417	0.268

[표 6]에서 알 수 있듯이 총유출량은 두 가지 모형 모두 큰 값을 보여주고 있다. 이는 검정과 정에서 총유출량보다 침투유량에 보다 비중을 많이 두고 검정을 시행한 결과라고 보여진다. 따라서 향후 유출체적을 필요로 하는 경우에는 보다 세심한 모형의 검정이 필요하고 자료의 축적 또한 필요하다. 전체적으로는 ILLUDAS 모형이 SWMM 모형보다 약간 좋은 값을 보여주고 있으나 큰 차이는 없다. 강우사상별로 보면 짧은 강우기간보다 긴 강우기간의 경우가 보다 좋은 값을 나타내고 있다. 총유출량의 결과를 이용하여 적용모형별로 각 강우사상에 대한 유출율을 계산해 보면 다음 [표 7]과 같다. 각 강우사상에 대한 모의에서 유출률이 0.41~0.66의 범위로 계산되었으며 실측치의 유출률인 0.29~0.52와 비교할 때 대체적으로 크게 나타났다.

[표 7] 적용모형별 유출률 비교

구분		7630 강우사상	7715 강우사상	883 강우사상	886 강우사상
총강우량 (m <sup>3</sup> )		15,670	40,559	32,263	40,559
관측치		0.29	0.47	0.52	0.45
ILLUDAS	총유출량(m <sup>3</sup> )	6,376	19,806	18,908	26,714
	유출률	0.41	0.49	0.59	0.66
SWMM	총유출량(m <sup>3</sup> )	6860	22,224	18,235	25,100
	유출률	0.44	0.55	0.57	0.62

침투유량에 대한 각 적용모형별 강우사상별 모의결과를 비교하면 [표 8]과 같다.

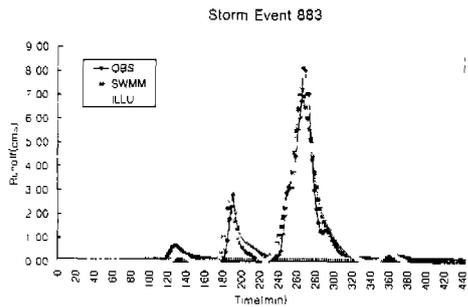
[표 8] 적용모형별 침투유량의 비교 (단위 : cms)

구분		7630 강우사상	7715 강우사상	883 강우사상	886 강우사상	평균 상대오차
관측치		3.08	6.320	7.990	5.280	
ILLUDAS	침투유량	2.84	5.161	7.940	6.088	
	상대오차	-0.08	-0.18	-0.01	0.15	-0.03
SWMM	침투유량	3.13	5.511	7.212	5.741	
	상대오차	0.02	-0.13	-0.10	0.09	-0.03
평균상대오차		-0.03	-0.16	-0.06	0.12	-0.03

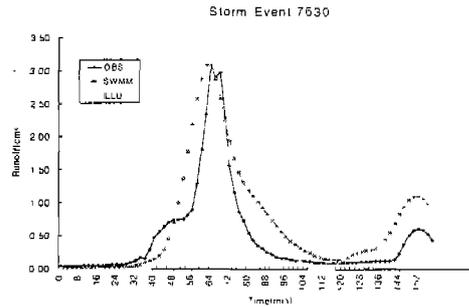
강우사상별 약간의 차이는 있지만 대체적으로 양호한 모의값을 주고 있으며 총유출량에 비하여 매우 양호하다. 다만 총유출량을 관측값에 가깝도록 검정하는 과정에서 침투유량값이 관측값보다 약간 작게 나타나고 있어 이 점에 있어서는 좀 더 보완이 필요하다.

### 3.3.2 유출 수문곡선의 변화 양상 분석

[그림 5]~[그림 6]은 시험유역의 각 강우사상에 대한 모의 결과를 동시에 나타낸 것이다.



[그림 5] 적용모형별 유출수문곡선(883 강우사상)



[그림 6] 적용모형별 유출수문곡선(7630 강우사상)

## 4. 결론

총유출량의 경우 두 모형 모두 관측값보다 큰 값을 보이고 있으며 이는 검정과정에 연유한 것으로 분석되며, ILLUDAS 모형이 SWMM 모형보다 약간 좋은 값을 보여 주고 있다. 강우기간이 긴 경우가 짧은 강우기간보다 좋은 값을 보이고 있다. 유출율은 0.41~0.66으로 관측값보다 다소 큰 값을 보이고 있다. 이로 볼 때 유출체적을 필요로 하는 경우의 보다 세심한 모현검정과 자료축적이 필요하다.

침투유출량의 경우는 강우사상별로 약간의 차이는 있지만 대체적으로 두 모형 모두 양호한 모의값을 나타내고 있으나 관측값보다 약간 작은 값을 나타내고 있어 이에 대한 보완이 필요하다.

유출수문곡선의 양상에 있어서는 SWMM 모형이 ILLUDAS 모형보다 좀 더 우수한 것으로 나타났다.

총유출량, 침투유출량 및 침투발생시간 그리고 수문곡선의 전개양상 등에 전반적인 비교분석 결과 각 비교 인자별 차이는 좀 있지만 대체적으로 SWMM모형이 ILLUDAS모형보다 국내의 도시 수문환경에서 더 우수한 것으로 볼 수 있다.

향후 보다 더 많은 자료 특히 홍수가 발생할 때의 극치수문자료를 이용한 검증이 수행되어야 한다.

## 5. 참고문헌

- 이재철외 3인, 주택단지내 우수유출해석을 위한 모형의 적용 및 비교분석, 대한토목학회논문집, 제 17권, 제 II-5호, pp.429-440(1997)
- 이재철외 6인, 주택단지내 수문자료 모니터링 시스템 구축에 관한 연구, 한국토지공사, 연구 96-3-18, pp.183-267(1996)