

도시구역에서의 강우 공간분포 및 소유역분할이 유출특성에 미치는 영향

The Effects on the Characteristics of Urban Storm Runoff due to the Space Allocation of Design Rainfall and the Partition of the Subbasin

이 중 태* · 이 상 태**
Lee, Jong Tae · Lee, Sang Tae

Abstract

The influences of the space allocation of design rainfall and partition of the subbasin on the characteristics of urban storm runoff was investigated for the 6 drainage basins by applying SWMM model. It shows the deviation of $-54.68 \sim +18.77$ % in the peak discharge when we applied the composed HUFF quantiles to the two zones which are divided by upper and lower region of the basin. Then it is compared with the value for the case of using uniform rainfall distribution all over the drainage. Therefore, it would be helpful to decrease the flood risk when we adopt the space distribution of the design rainfall. The effects of the partitioning the drainage on the computing result shows various responses because of the surface characteristics of the each basin such as slope, imperviousness ratio, but we can get closer result to the measured value as we make the subbasin detailed. If we use the concept of the skewness and area ratio when we determine the width of subbasin, we can improve the computed result even with fewer number of subbasins. We expect reasonable results which close into the measured results in the range of relative error, 25 %, when we divide the basin into more than 3 subbasins and the total urban drainage area is less than 10 km^2 .

요 지

본 논문은 도시구역에서의 강우-유출을 해석하기 위한 설계조건으로서의 강우공간분포와 소유역의 분할이 결과치에 미치는 영향을 9개 도시구역에 대하여 SWMM으로 평가한 것이다. 도시유역을 상류 2개 권역으로 구분하는 각각 Huff의 4개 분포형을 조합하여 적용한 결과는 기존의 Huff2 분포로 균일하게 적용한 경우보다 첨두유량에서 $-54.68 \sim +18.77$ %의 편차를 보여주었다. 따라서 설계홍수량산정에서는 공간분포의 고려는 홍수위험도의 경감에 기여할 것으로 판단

* 경기대학교 토목공학과 교수

** 경기대학교 토목공학과 박사과정

된다. 또한 소유역의 분할에 따른 유출특성의 영향은 유역의 경사, 불투수면적비 등에 따라 다르게 나타나나 전반적으로 분할수가 많을수록 실측치에 접근함을 보여주었다. 그러나, 왜곡도와 면적비를 고려한 소유역 폭의 산정방법을 적용함으로써 유역분할수가 적어도 정확도의 개선에 상당한 기여를 기대할 수 있었다. 유역면적이 약 10km²이내인 도시유역에서는 소유역 분할수가 3개 이상이면 약 25% 이내에서 실측치에 근사할 것으로 판단된다.

keywords : urban storm runoff, design rainfall, allocation of rainfall, partition of subbasin, area ratio

1. 서론

도시유역에 대한 배수관망, 펌프장 등의 설계를 위한 홍수량 산정에서는 먼저 해당 배수구역의 중요도에 따른 설계강우를 선정하고, 전 유역에 시간 강우 분포가 고르게 분포한다는 가정하에 유출해석을 실시하여 왔다. 그러나, 검토대상 도시유역의 면적이 넓어질수록 유역내의 위치에 따른 강우의 변화폭이 증가하게 되므로, 설계강우를 동일 공간분포로 유출해석을 실시할 경우에는 과소설계의 위험성이 내포될 수 있다. 따라서 이러한 과소설계의 위험을 방지하기 위해서는 강우의 공간분포를 고려한 설계강우의 적용방안이 강구되어야 할 것이다.

한편, 도시유역의 설계홍수량 산정을 위하여 국내에서 널리 사용되고 있는 합리식, RRL, ILLUDAS, SWMM 등의 모형에서는 대상유역의 유출에 기여하는 지표면의 물리적 특성 인자들을 단순화시키는 과정을 거친 후 유출해석을 실시한다.

유역자료의 작성에 있어서 세부적이고 구체적인 작업이 이루어질수록 정확한 유출해석이 기대된다. 그러나, 유역자료의 작성을 위한 많은 인력과 시간의 투자로 인해 발생하는 비효율성을 고려하지 않을 수 없으므로 단순화과정을 거치게 되며 이 영향은 유출 계산 결과치의 신뢰성에 영향을 준다. 따라서 대상유역의 유출해석치를 결정짓는 주요인자들의 특성이 미리 파악되어 있다면 최소의 유역 분할수에 의한 유출해석 결과로도 검토 대상 유역의 배수계획 및 방재 계획에 합리적으로 활용할 수 있겠다.

따라서, 본 연구에서는 설계강우의 공간분포 및 소유역의 분할정도 등이 유출해석 결과치에 주는 영향

을 분석하였다. 검토 대상지역으로서 국내외 여러 배수유역들을 선정하고 SWMM 모형을 적용하여 유출 해석을 실시하였다.

강우의 공간분포 영향을 분석하기 위하여 각 배수유역을 상·하류의 두 권역으로 구분하고 강우시간분포를 서로 달리 적용함으로써 인한 영향이 계산 결과치에 주는 영향을 평가하였으며, 또한 유역의 분할 및 합성의 영향을 검토함으로써 합리적인 도시홍수방제와 내수배제 시스템의 설계를 위한 적정 소유역 분할면적비를 파악하려고 노력하였다.

2. 적용대상 유역 및 분석방법

2.1 유역 및 강우사상

적용대상 유역으로서 각기 유역면적, 경사 및 불투수면적 등이 다른 9개의 유역을 선정하고 각각의 기초 유역자료 및 배수계통자료들을 수집하고 조사 분석하였다. 검토 배수유역의 유역면적은 약 0.06 ~ 12.77 km²의 다양한 크기를 갖고 있다. 먼저, 서울의 개봉 유역은 유역면적이 1.712km²이며 유역은 주로 주거지역으로 불투수면적 비율은 39.2%이다. 남가좌 유역은 유역면적이 0.20km²이며, 유역의 상류부는 산지이며, 하류부는 주로 주거지역으로서 불투수면적 비율은 50.0%이다. 우량자료는 인근 서대문구청에서의 측정치를 사용하였으며 유량은 유출구에서 직접 측정하였다(강태호와 이종태, 1996). 마포 유역은 공덕배수분구에 위치하며 유역면적은 2.50km²이며, 불투수면적 비율은 48.4%이다. 상류부는 주거지역으로 구성되어 있다. 산본 유역의 면적은 1.21km

²이며, 상류부는 산지이며, 하류부는 주택 및 상가로
 서 불투수면적 비율이 약 33.3%인 급경사지역이다.
 잠실2 유역은 유역면적이 3.34km²이며, 불투수면적
 비율은 56%이며, 대부분이 아파트지역이다. 신정1
 유역은 유역면적은 12.77km²이며, 불투수면적 비
 율은 46.7%이며 상류부는 단독, 연립주택 등으로 구성
 되어 있다(이종태와 윤세의, 1995).

한편, 미국의 Kings Creek 유역은 Florida주
 Dade에 위치하며 대부분 아파트지역으로 구성되어
 있다. 유역면적은 0.06km², 불투수면적 비율은 70.7
 %이며, 우량계가 상 하류부에 각각 1개씩 설치되어
 있다. 투수유역은 잔디와 초목으로 구성되어 있다.
 Fort Lauderdale 유역은 미국 Florida주 Broward
 지역에 위치하고 있으며, 대부분 불투수유역으로 상
 업지역과 주거지역으로 구성되어 있으며, 우량계는
 하류부에 위치하고 있다. Sample Road 유역은 미국
 Florida주 Broward 지역에 위치하고 있으며, 고속
 도로 인접지역으로 상업지역이며, 식생이 거의 없는
 평지로 구성되어 있으며, 우량계는 하류부에 2개가
 위치하고 있다(김정환, 1993). 이들 미국의 배수유
 역들은 그 경사도가 우리나라의 것보다 대체로 매우
 완만한 특색을 갖고 있다.

표 1. 대상유역의 특성

배수 유역	유역면적 (km ²)	불투수면적 (%)	유역경사 (%)	유역특성	유출자료
개 불	1.7120	39.2	0.28	주거지역	
남 가 좌	0.2020	50.5	20.00	산지 및 주거지역	○
마 포	2.5000	48.4	1.52	주거지역	○
산 본	1.2041	33.3	주거지역: 2.56 산지지역: 29.80	산지 및 아파트지역	○
신 정 1	12.7700	46.7	0.45	단독, 연립주택 아파트지역	
잠 실 2	3.3400	56.0	1.44	아파트지역	
Fort Lauderdale	0.0830	97.9	0.10	상업 및 주거지역	○
Kings Creek	0.0595	70.7	1.00	아파트지역	○
Sample Road	0.2360	36.0	0.31	상업지역	○

2.2 해석모형

미국환경청(EPA)의 지원으로 Metcalf와 Eddy
 사 및 Florida 대학 등은, 도시유역내에서 유출과정
 의 전반을 모의할 수 있는 SWMM(Storm Water
 Management Model) 모형을 개발하였다. 이 모형
 은 도시유역에서 강우로 인해 발생하는 유출량과 오

염물질에 대한 지표면 흐름, 지표하 흐름, 배수관망
 내에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염부하량, 오
 염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합
 적인 모형으로서 5개의 실행블록과 5개의 보조블록
 으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 RUNOFF 블록
 을 사용하여 유출해석을 실시하였다. 이 블록에 관한
 기본구성 및 이론에 관하여서는 학회지 및 워샵 (이
 종태 등, 1994; 이종태 등, 1996)등을 통하여 국내
 에 상세히 소개한 바 있으며 그 기본식을 간단히 열거
 하면 다음과 같다.

2.3 유출해석

RUNOFF 블록에서는 지표면유출에 대한 기본방
 정식으로서 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는
 운동과 근사법으로서의 비선형 저류방정식이 사용된
 다. 이 방법은 완만한 홍수파의 상승구간에서 그 적용
 성이 높다. 계산을 수행하는 데는 상류부 경계만이 필
 요하고, 각 수로요소는 인접요소와 분리된 계단형 수
 로로 가정하였다. 각 소유역에서의 지표면 저류 방정
 식은 다음과 같다.

$$\frac{dV}{dt} = A_s \frac{dd}{dt} = A_s i - Q \quad (1)$$

위 식에서 d 는 수심, t 는 시간, A_s 는 지표면적, V 는
 물의 부피(= $A_s \cdot d$), i 는 초과 강우강도, Q 는 유출량
 이다. 지표면유출량은 수리반경이 수심과 같다고 보
 아 다음의 Manning 식으로 계산한다.

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (2)$$

식 (2)에서, W 는 유역의 폭, n 는 Manning의 조도
 계수, d 는 수심, d_p 는 지면 요철에 의한 저류 깊이, S
 는 지표면 경사이다.

RUNOFF에서 배수유출은 앞에서 기술한 지표면
 유출과정을 통하여 측방으로 유입되는 유량과 상류
 배수로부터의 유입량 및 하류로의 유출량 등으로
 구성된 비선형 저류방정식으로 부터 계산된다. 본 방
 정식의 해를 얻기 위해서는 Newton-Raphson방법

을 사용한다. Manning식이 각 적분연산 시간구간에서 사용되며, 유출현상의 동역학적 거동은 준정상(Quasi-steady) 상태로 근사 처리하였다. 이 방법은 수심 d 와 단면적 A 가 시간에 따라 급하게 변하지 않는 경우에 그 적용성이 크다. 배수로 흐름에 사용되는 연속방정식과 Manning식은 각각 다음과 같다 (Huber와 Dickinson, 1988).

$$\Delta V = \Delta t \cdot (Q_i + Q_l + Q_g - Q) \quad (3)$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (4)$$

여기서 Q_i 는 상류구간에서의 유입량, Q_l 는 측방 유입량, Q_g 는 지하수 유입량이다.

3. 설계강우의 공간분포에 따른 영향 분석

3.1 설계강우의 시간 및 공간분포의 적용

본 연구에서는 재현기간별 지속기간에 대한 강우 (건설부, 1992)를 구하였으며, 서울지역별 설계강우의 시간적 분포로서 Huff 분포형을 채택하였다.

국내에서 Huff 분포에 관한 연구로서 박찬영 등 (1981)은 서울 지점을 Huff의 4구간법에 의해 분석한 결과, 서울지방은 대체로 2구간 강우가 지배적이었으며, 4구간 강우가 가장 낮았다는 결과를 제시하였다. 이근후(1983)에 의하면 Huff의 4구간법에 의해 총우량이 80mm 이상의 강우를 전국적으로 분석하였는 바, 단일강우에 있어서는 2구간 강우의 발생 확률이 가장 크고 4구간 강우의 확률이 가장 작았다. 서병하와 김남원(1989)의 연구결과에서도 2구간 강우가 지배적이었으며, 4구간 강우가 가장 작았다. 그러나, 이 연구결과는 6~9월의 자료만으로 제한하였기 때문에 계절의 영향을 고려할 수 없었고, 다만 월별로 강우를 분류하여 분석하였다.

이상의 연구결과들로부터 국내에서는 Huff 분포 중 2구간 강우의 확률이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 그러나, 설계홍수량은 대상유역에서 발생하는 최악의 경우를 고려함이 바람직하므로 유역의 지역별 강우분포가 각기 다르므로 인한 유역출구의 홍수량

의 변화를 고찰해 볼 필요가 있다. Huff분포를 국내에서는 서병하 등(1981)에 의해 RRL 모형에 적용하였으며, 서울특별시(1992)와 윤용남 등(1992)은 ILLUDAS, 이종태와 윤세의(1995)는 SWMM에 적용한 바 있다.

설계강우의 재현기간은 국내의 경우 건설부의 하수도 시설기준에 의해 5~10년으로 규정하고 있다. 서울시의 경우, 내배수처리 시설물설계는 재현기간에 따른 계획강우량을 사용한다. 설계빈도는 배수시설의 중요도에 따라 결정되고 있으며, 하수도 지선의 경우 5년, 간선에서는 10년 빈도의 강우를 채택하고, 우수지 및 배수펌프장의 경우에는 10~20년 빈도를 사용하고 있다. 한편, 설계강우의 지속기간은 설계홍수량을 최대로 하는 지속기간으로 유역에 따라 적용하여야 하나, 국내 하수도시설기준에서 우수지, 배수펌프장 등의 설계시 강우지속기간은 보편적으로 120분을 적용하고 있다.

배수구역의 유출해석시 강우의 공간분포를 검토하기 위하여 선택한 SWMM모형의 RUNOFF는 10개까지의 다른 강우사상과 이동강우로 인한 유출해석까지 가능하다. 먼저, 강우의 공간분포의 영향을 실측을 통하여 알아보기 위하여 유역 상하류에 각각 1개소의 강우자료가 있는 외국의 Kings Creek배수구역

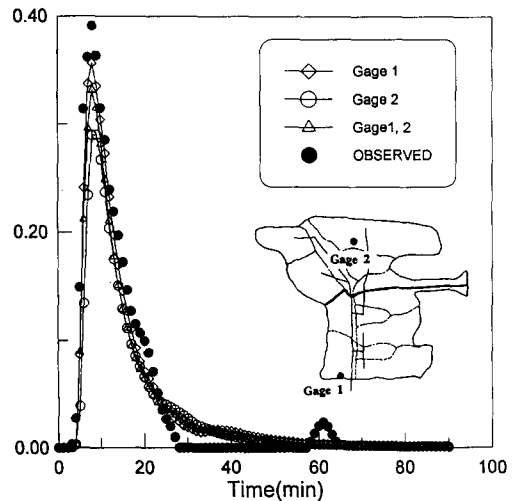


그림 1. Kings Creek 배수구역에서의 강우분포와 유출 수문곡선

에 대한 유출해석을 실시하고 소배수역에서의 국지적 강우분포의 편차로 인한 유출특성의 변화를 검토하여 보았다. 즉, 각 우량계의 자료가 각기 전유역을 대표한다고 보아 사용한 경우와 두 우량계의 자료를 평균하여 사용한 경우에 대하여 각각 유출해석을 실시하고 그 결과를 실측치와 비교하였다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 Kings Creek과 같은 작은유역에서의 동시간 강우이더라도 두 소유역에서의 강우가 상이하며, 이로 인하여 도달시간 및 유량등의 결과치에 상당한 차이(표 3)를 줄 수 있음을 보여주고 있다.

표 2. 강우자료에 다른 Kings Creek 배수구역의 침투유량과 도달시간의 변화

강우 항목	도달시간(min)	침투유량(cms)	총유출량(m ³)
Gage 1	7.50	0.35	232.90
Gage 2	7.50	0.27	197.60
평균강우	7.50	0.32	210.40
실측치(1,2)	8.00	0.39	242.00

이어서, 실제 배수유역에서의 강우의 공간분포 영향을 검토하기 위하여 유역의 크기를 각기 달리하는 개봉, 남가좌, 마포, 산본, 신정1, 잠실2 등 6개 유역을 선정하였다. 개봉, 남가좌, 마포, 산본, 잠실2 유역은 모두 유역의 도달시간이 약 30분 정도이므로 설계강우의 지속시간을 60분으로, 신정1 유역은 유역의 도달시간이 60분 정도이므로 설계강우의 지속시간을 120분으로 설정하고, 서울지방의 강우강도식(서병하와 김남원, 1989)에 의해 산정하고, Huff의 4분위

형을 각각 결정하였다. 계산량을 줄이기 위해 배수유역을 상·하류의 두 소구역(zone 1, 2)으로 크게 분리하여 상하 각 소유역들에 서로 상이한 Huff 강우 시간분포형을 조합한 설계강우를 적용하였다(그림 2).

다음의 그림 3(a)~3(f)는 Huff 강우분포형의 상하류 조합에 따른 결과치의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 강우 공간분포의 영향이 수문곡선의 형태에 큰 변화로 나타나고 있다.

다음의 표 3은 각 유역에서의 강우 공간분포에 따른 침투유량 및 도달시간의 계산결과를 정리한 것으로서 각 강우형의 공간분포에 따라 다양한 결과치를 보여주고 있다.

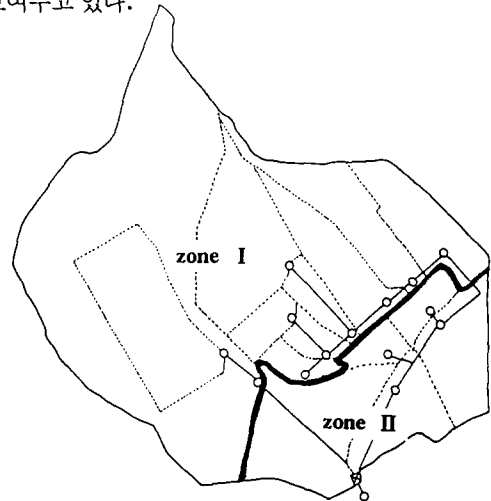
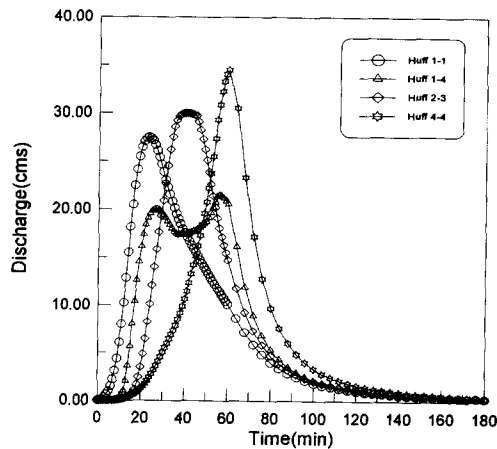
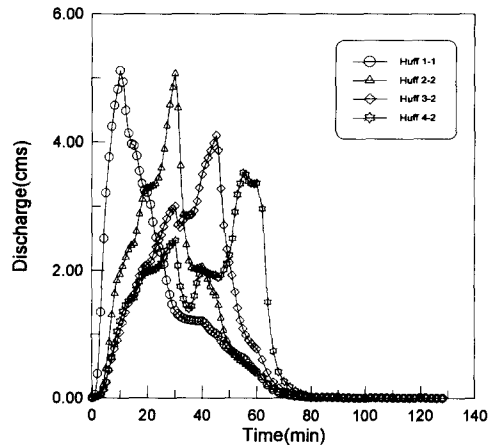


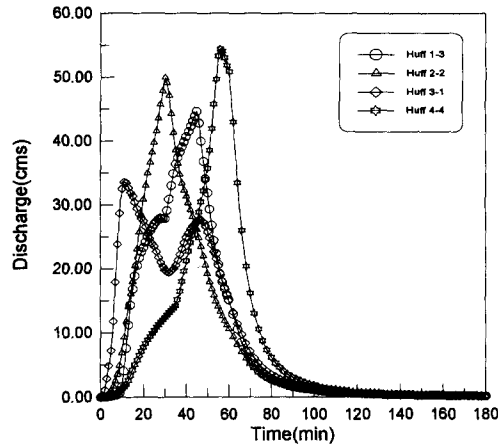
그림 2. 배수유역의 구역분할 (예 ; 남가좌)



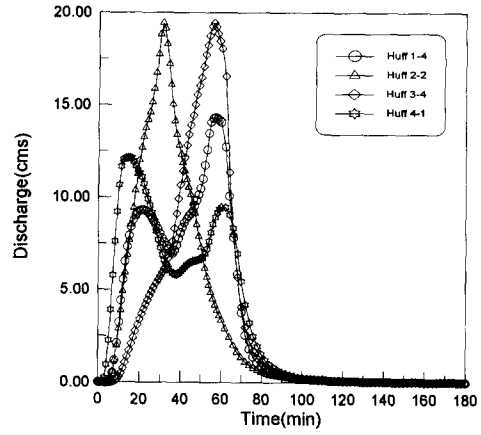
(a) 개봉



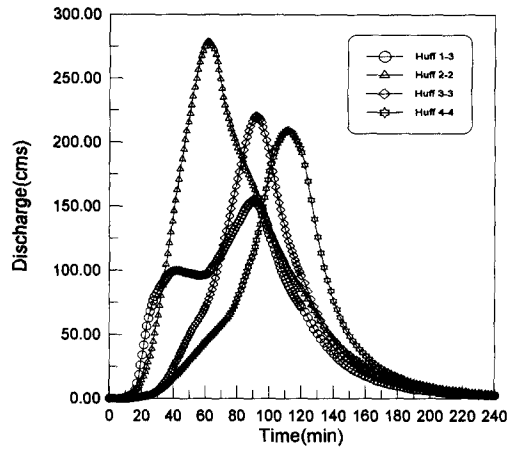
(b) 남가좌



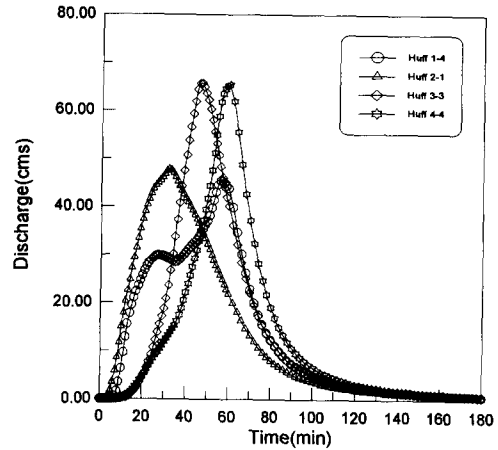
(c) 마포



(d) 사분



(e) 신정1



(f) 잠실2

그림 3. 강우의 공간분포와 유출수문곡선

표 3. 강우의 공간분포에 따른 유출 결과치의 비교

유역	상류 하류	I		II		III		IV	
		첨두유량	시간	첨두유량	시간	첨두유량	시간	첨두유량	시간
개봉	I	27.507	23	25.948	34	26.109	49	23.601	60
	II	29.235	30	31.086	33	27.748	48	23.912	60
	III	24.740	45	30.023	40	34.775	48	26.859	60
	IV	21.502	56	23.596	37	32.578	55	34.488	60
남가좌	I	5.116	10	3.735	30	3.955	45	4.170	55
	II	3.923	11	5.067	30	4.103	45	4.126	55
	III	3.301	11	4.208	31	5.385	45	4.275	55
	IV	3.382	11	3.715	30	4.587	45	6.018	55
마포	I	43.973	15	34.002	12	33.528	11	33.543	11
	II	46.467	30	49.956	30	39.654	30	37.848	30
	III	44.657	45	48.343	45	55.182	45	45.544	45
	IV	43.401	55	44.537	55	51.738	55	54.389	56

유역	상류 하류	I		II		III		IV	
		첨두유량	시 간	첨두유량	시 간	첨두유량	시 간	첨두유량	시 간
산 분	I	17.865	16	14.027	16	12.002	13	12.152	15
	II	17.292	30	19.438	31	15.503	31	14.402	31
	III	16.664	46	18.776	45	19.526	45	17.631	46
	IV	16.148	56	16.814	56	19.445	56	19.526	58
신정1	I	175.674	35	140.590	62	139.983	63	126.307	112
	II	153.585	58	278.730	61	157.766	92	132.526	110
	III	154.900	90	173.856	90	220.981	92	173.777	96
	IV	141.180	110	149.460	108	194.476	100	209.602	111
잠실2	I	50.582	22	47.818	32	45.568	47	40.895	60
	II	53.931	30	58.514	32	51.136	46	42.247	60
	III	50.390	45	57.485	45	65.740	46	50.698	58
	IV	45.324	56	48.700	56	59.887	55	65.433	60

I, II, III, IV ; Huff 분포형 * 첨두유량 (cms), 도달시간 (min)

3.2 강우의 공간 분포에 따른 영향 분석

이상의 각 배수구역에 대한 적용한 결과에서 보여 주듯이 강우형의 공간적 분포양상은 설계홍수량 산정에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 각 강우분포형의 조합으로 인해 발생하는 각 배수구역에서의 첨두유량과 도달시간을 기존의 방법인 균일공간강우분포(Huff2)로 전 배수구역에 대해 유출해석을 실시한 결과와 비교하여 보면 다음의 표 4와 같다. 이때 표에서는 결과간의 편차를 평가하기 위하여 식 (5)와 같이 상대오차(%)의 개념으로 표현하였다. 즉,

$$\text{상대오차}(\%) = \frac{\text{OUT}_{\text{COM}} - \text{OUT}_{\text{Huff2}}}{\text{OUT}_{\text{Huff2}}} \times 100 \quad (5)$$

여기서 $\text{OUT}_{\text{Huff2}}$ 는 기존의 방법에 준하여 상·하류유역 전 배수구역에 Huff의 2구간 강우로 고르게 분포시킨 경우의 계산결과치(첨두유량), OUT_{COM} 은 상·하류유역에 다양한 조합으로 구성된 강우분포에 의해 계산된 각 결과치를 나타낸다.

표 4는 각 배수구역에서의 강우공간분포를 달리 적용한 경우(OUT_{COM})의 계산 결과치와 Huff 2의 균일분포로 계산하였을 때($\text{OUT}_{\text{Huff2}}$)와의 결과치를 첨두유량 및 도달시간에 대한 상대적 편차로 식 (5)에 의해 계산한 결과를 배수구역별로 기술한 것이다.

여기서, 첨두유량 상대오차에서 양(+)의 값이 클

수록 기존의 설계방법은 과소설계된 것으로 볼 수 있다. 도달시간에 있어서는 음(-)의 값이 증가할수록 도달시간이 기존 방법에 비해 짧게 계산된 것으로, 양(+)의 값이 클수록 길게 계산된 것으로 볼 수 있다.

개봉 배수구역에서의 상대오차를 살펴보면 기존방법과 비교하여 볼 때 최대 첨두유량과 도달시간의 차는 각각 -30.83~+11.87 %와 -30.30~+81.82 %로 첨두유량은 크게 나타내는 것으로 판단된다. 남가좌 배수구역에서의 편차를 살펴보면 Huff의 2구간 호우(기존방법)와 비교하여 볼 때 최대 첨두유량과 도달시간의 차는 각각 -37.34~+18.77 %와 -66.67~+83.33 %로 첨두유량은 크게 나타내는 것으로 판단된다. 마포 배수구역에서의 편차를 살펴보면 Huff의 2구간 호우와 비교하여 볼 때 최대 첨두유량과 도달시간의 편차는 -32.88~+10.46 %와 -63.33~+86.67 %로 나타났다. 산분 배수구역에서의 편차를 살펴보면 Huff의 2구간 호우와 비교하여 볼 때 최대 첨두유량과 도달시간의 편차는 -38.25~+0.45 %와 -58.06~+87.10 %로 나타났다. 신정1 배수구역에서의 편차를 살펴보면 Huff의 2구간 호우와 비교하여 볼 때 최대 첨두유량과 도달시간의 편차는 -54.68~-20.72 %와 -42.62~+83.61 %로 나타났다. 잠실2 배수구역에서의 편차를 살펴보면 Huff의 2구간 호우와 비교하여 볼 때 최대 첨두유량과 도달시간의 편차는 -30.11~+12.35 %와 -31.25~+87.50 %로 나타났다.

표 4. 공간분포를 고려한 결과치들의 상대오차

유역	상류 하류	I		II		III		IV	
		첨두유량	시 간	첨두유량	시 간	첨두유량	시 간	첨두유량	시 간
		개 봉	I	-11.51	-30.30	-16.53	+ 3.03	-16.01	+ 48.48
	II	- 5.95	- 9.09	00.00	00.00	-10.74	+ 45.45	-23.08	+ 81.82
	III	-20.41	+ 36.36	- 3.42	+ 21.21	+ 11.87	+ 45.45	-13.60	+ 81.82
	IV	-30.83	+ 69.70	-24.09	+ 12.12	+ 4.80	+ 66.67	+ 10.94	+ 81.82
남가좌	I	+ 0.96	-66.67	-26.29	00.00	-21.95	+ 50.00	-17.70	+ 83.33
	II	-22.58	-63.33	00.00	00.00	-19.03	+ 50.00	-18.57	+ 83.33
	III	-34.85	-63.33	-16.95	+ 3.33	+ 5.59	+ 50.00	-15.63	+ 83.33
	IV	-33.25	-63.33	-37.34	00.00	- 9.47	+ 50.00	+ 18.77	+ 83.33
마 포	I	-11.98	-50.00	-31.94	-60.00	-32.88	-63.33	-32.85	-63.33
	II	- 6.98	00.00	00.00	00.00	-20.62	00.00	-24.24	00.00
	III	-10.61	+ 50.00	- 3.23	+ 50.00	+ 10.46	+ 50.00	- 8.83	+ 50.00
	IV	-13.12	+ 83.33	-10.85	+ 83.33	+ 3.57	+ 83.33	+ 8.87	+ 86.67
산 본	I	- 8.09	-48.39	-27.84	-48.39	-38.25	-58.06	-37.48	-51.61
	II	-11.04	- 3.23	00.00	00.00	-20.24	00.00	-25.91	00.00
	III	-14.27	+ 48.39	- 3.41	+ 45.16	+ 0.45	+ 45.16	- 9.30	+ 48.39
	IV	-16.93	+ 80.65	-13.50	+ 80.65	+ 0.03	+ 80.65	+ 0.45	+ 87.10
신 정1	I	-36.97	-42.62	-49.56	+ 1.64	-49.78	+ 3.28	-54.68	+ 83.61
	II	-44.90	- 4.92	00.00	00.00	-43.40	+ 50.82	-52.45	+ 80.33
	III	-44.43	+ 47.54	-37.63	+ 47.54	-20.72	+ 50.82	-37.65	+ 57.38
	IV	-49.35	+ 80.33	-46.38	+ 77.05	-30.23	+ 63.93	-24.80	+ 81.97
잠 실2	I	-13.56	-31.25	-18.28	00.00	-22.12	+ 46.88	-30.11	+ 87.50
	II	- 7.83	-6.25	00.00	00.00	-12.61	+ 43.75	-27.80	+ 87.50
	III	-13.88	+ 40.63	- 1.76	+ 40.63	+ 12.35	+ 43.75	-13.36	+ 81.25
	IV	-22.54	+ 75.00	-16.77	+ 75.00	+ 2.35	+ 71.88	+ 11.82	+ 87.50

* 첨두유량 (%), 도달시간 (%)

4. 배수유역의 분할 및 합성에 따른 영향 분석

도시유출량 산정에는 강우분포의 영향뿐만 아니라 복잡한 배수관망과 각 지표면 특성치들이 복합적으로 영향을 미치므로 각 소 배수구역의 특성들을 무시하고, 유출해석을 실시할 경우에는 소유역내의 오차들이 누적되어 배수유역에 대한 유출해석결과에 큰 차이를 발생시킬 수 있다. 그러나, 아직까지 각 유출 모형들의 적용을 위한 적정 소유역 분할면적이 명확하게 설정되어 있지 못하며, 배수구역을 세밀하게 분할할수록 보다 합리적인 결과치를 얻을 수는 있겠으나 많은 인력과 시간이 필요하다. 따라서, 간편하고, 합리적인 유역분할 방법이 필요하다.

4.1 유역의 분할과 합성

유역의 유출특성을 계산하기 위해서는 먼저 전체 유역의 경계를 정한 후, 이를 다시 소유역으로 각각 분할하고, 지표흐름과 수로/관로 흐름의 배수구역 및 계통을 작성한다. 유역의 분할은 물리적인 배수시스템을 수치적으로 수식화하는 과정에 있어서 첫번째 절차이다. SWMM 모형에서의 각 소유역은 균등한 유역특성(경사, 조도 등)을 갖는 직사각형으로, 유역의 형태는 면적, 유역폭, 경사 등의 요소로 정의된다. 지표면의 양상은 저류깊이, 조도계수, Horton의 침투계수 등으로 구성된다. 소유역들은 같은 크기로 구성될 필요는 없으며, 불규칙한 형태의 유역은 평균폭 등을 사용하여 등가의 사각형으로 근사된다.

유역분할시에는 먼저 항공사진 또는, 지형도를 이용하여 배수구역의 경계를 설정하고, 배수구역도로부터 관로형태와 설치 위치 등을 구성한 후, 지적도와 토양도 등으로 소유역의 토지 이용상황과 토양의 특성, 행정구역 등의 자료를 기초로 유역을 분할한다.

유역에 관한 입력자료의 양은 소유역의 분할수가 줄어들면 감소하게 되지만, 소유역의 수를 줄일 경우에 주의하여야 할 사항은 유역을 세분화하여 모의한 수문곡선의 값과 근사한 정도의 값을 계산할 수 있도록 조정하며 줄여야 한다는 것이다.

한편, 소유역의 구성요소인 소배수구역의 합성과 정에서 소유역폭의 결정은 중요한 요소이며 각 소배수구역 폭을 대표하는 하나의 등가의 소유역폭으로 환산하는 과정은 결과치의 정확도에 큰 영향을 미친다. 소배수구역을 합성할 경우에는 이로 인한 오차를 줄이는 것이 중요하다. RUNOFF에서는 의곡도를 고려한 유역폭의 산정으로서 소배수구역의 합성으로 인한 오차를 보정하며, 유역의 조도계수, 경사 등을 변화시켜도 같은 효과를 얻을 수 있다. 조도계수와 경사는 소배수구역 합성시에 조화평균을 이용하여 계산하게 된다. 실제로 유역 합성시 보정되어야 하는 가장 주요인자는 유역폭이다. 배수유역내에서 유출을 고려할 경우 유역폭이 감소하면 도달시간이 길어져 지면저류의 양을 증가시킨다.

또한, 유역 분할과 합성시 고려하여야 할 사항으로는 유역의 형상, 토양특성, 배수관망의 배치형태 등이다. 그러나 수문학적인 유출해석 및 초기 지표면유출 해석을 실시함에 있어 각각의 소유역들은 물리적으로 동일한 특성을 나타낸다는 것을 전제로 한다. 따라서 상반된 특성들을 공유하고 유역을 해석의 편의만을 위해 분할하는 경우에는 유출해석 결과에 큰 편차를 가져올 것이 예상된다. 따라서, 본 절에서는 표 1에서의 유역중 유출자료가 있는 남가좌, 산본, Kings Creek, Fort Lauderdale, Sample Road 배수구역 등 5개 유역을 선정하고 실측치와의 편차를 산정함으

표 5. 소유역분할의 영향평가를 위한 각 유역에서의 적용 경우

배수유역	대상강우	강수량 (mm)	지속기간 (min)
남가좌	1995. 7. 25	11.7	40.0
산본	1995. 8. 23	36.0	130.0
Fort Lauderdale	1975. 7. 2	27.3	159.0
Gray Haven	1963. 6. 29	30.2	175.0
Kings Creek	1977. 6. 4	10.8	64.0
Sample Road	1976. 5. 29	52.0	168.0

로써 유역의 분할과 합성이 유출특성에 미치는 영향을 분석하였다. 이 때 적용강우는 다음의 표 5와 같다.

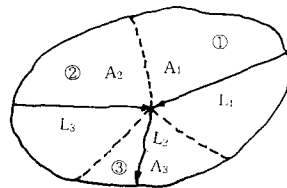
RUNOFF 블럭에서의 지표면유출은 개념화된 직사각형 집수유역 수로에 대해 수직하게 흐르는 것으로 가정한다. 여기서 유역의 폭이란 지표면의 물리적인 폭을 나타낸다. 즉, 지표면과 관망을 하나의 유역 특성인자인 유역면적으로 단순화시키는 것이다. 그러나, 실제의 유역은 대칭적이며 균등한 특성을 지닌 직사각형의 형태로 나타낼 수 없으므로 자연상태에 있는 유역의 폭을 결정하는 일반적인 방법으로서 의곡도(Skewness)를 고려한 식 (6), (7)을 사용하였다.

$$S_k = \frac{(A_1 - A_2)}{A_s} \quad (6)$$

$$W = (2 - S_k) \cdot L \quad (7)$$

위 식에서 A_1 은 수로의 한쪽 큰 면적, A_2 는 수로의 다른 한쪽 작은 면적, $A_s = (A_1 + A_2)$, W 는 유역폭, S_k 는 의곡도, L 은 주 배수로의 길이이며, $A_s = W \cdot L$ 이다.

여러 간선수로들이 합류되는 유역인 경우(그림 4)에서는 소유역의 합성으로 인하여 한 간선수로를 생략하게 되므로 유출특성을 재현함에 무리가 있을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 여러개의 간선들이 연결되어 있는 소유역을 하나의 소유역으로 합성한 경우에는 다음의 단계적 방법으로 단순 유역폭을 산정하는 방법을 제안하였다. 즉, 그림 4와 같이 세 소배수구역을 하나로 합성할 때의 유역폭은 다음의 4단계를 통하여 산정하였다. 즉,



①, ②, ③ : 소배수유역
L1, L2, L3 : 간선 배수로

그림 4. 복합배수로로 구성된 배수구역

먼저, 유역내에서 흐름방향을 고려한 길이가 긴 2 간선 (L_1, L_3)의 길이를 더한 배수로(L') 대하여 유역폭(W^1)을 식(6), (7)에 의해 계산한다.(단, 면적은 주간선(L')의 좌·우측 면적으로 한다.). 두 번째, L_2 간선의 좌·우측면적을 이용하여 1단계에서와 같은 방법으로 유역폭(W_2)을 구한다. 세 번째, 두 번째 단계에서 적용된 면적(A_3)이 전체유역 면적(A_s)에 대해 차지하는 면적비로 두 번째 단계에서 구한 유역폭(W_2)에 곱하여 전체유역에 대한 환산유역폭, W^2 을 계산한다. 즉, $W^2 = (A_3/A_s) \cdot W_2$. 마지막으로, 첫 번째, 세 번째 단계에서 구한 유역폭을 합하여 소유역의 유역폭으로 한다. 즉, $W = W^1 + W^2$. 만약, 2개 이상의 간선이 연결되어 있는 경우에 두 번째, 세 번째, 네 번째 단계를 반복하여 유역폭을 결정한다.

4.2 유역에의 적용 및 결과분석

유역의 분할수에 따른 결과치의 변화를 실측와의 비교를 통하여 알아보기 위한 적용 배수유역으로 남가좌, 산본, Fort Lauderdale, Kings Creek, Sample Road 등 5개 유역을 선정하였다. 먼저 남가좌 배수구역을 15개 소유역으로 분할하여 유출해석을 실시하고, 다시 이를 다시 9, 3개 소유역으로 재 구성하여 이 두 경우에 대한 해석결과치 및 실측치를 비교하였다(그림 5, 6(a)). 표 6은 유역의 분할 수가 유출 결과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 경우에서의 첨두유량, 도달시간, 총유출량에 대하여 비교한 것

이다. 여기에서 알 수 있는 바와 같이 남가좌유역의 경우 분할수에 따른 도달시간, 첨두유량, 총유출량의 변화는 뚜렷한 경향을 보여주지 않았다. 산본유역을 2, 5, 9개의 소유역으로 나누어 각각의 경우에 대하여 유출해석을 실시한 결과는 그림 6(b) 및 표 6(b)와 같다. 산본유역도 유역의 분할수에 따른 도달시간, 첨두유량, 총유출량의 변화는 크지 않았다. 이러한 결과는 남가좌 및 산본유역은 유역경사가 비교적 급한 유역이기 때문에 소유역의 분할이 유출현상에 크게 영향을 미치지 않는 결과로 여겨진다.

또한 Fort Lauderdale 배수유역을 2, 7, 및 14, 24개의 소유역으로 나누어 각각의 경우에 대하여 유출해석을 실시한 결과는 그림 6(c) 및 표 6(c)와 같다. Kings Creek 배수유역을 3, 6, 13개의 소유역으로 나누어 유출해석을 실시한 결과는 그림 6(d) 및

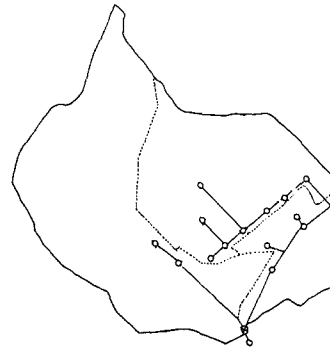
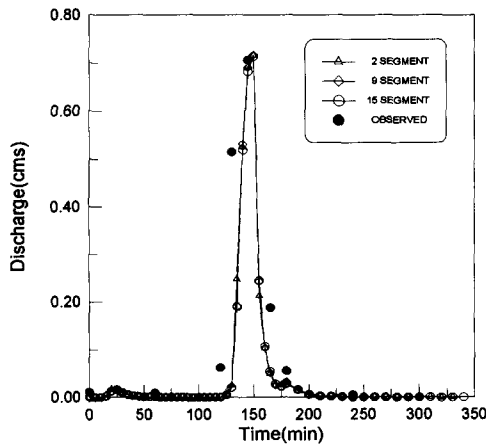
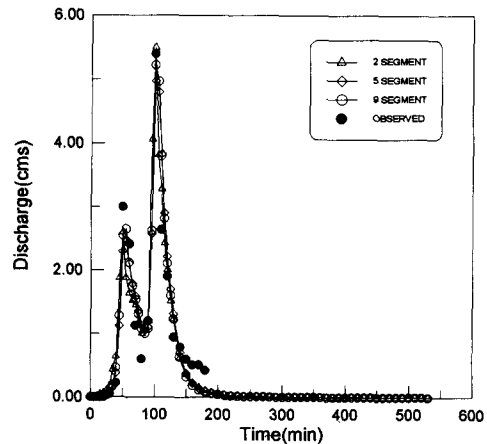


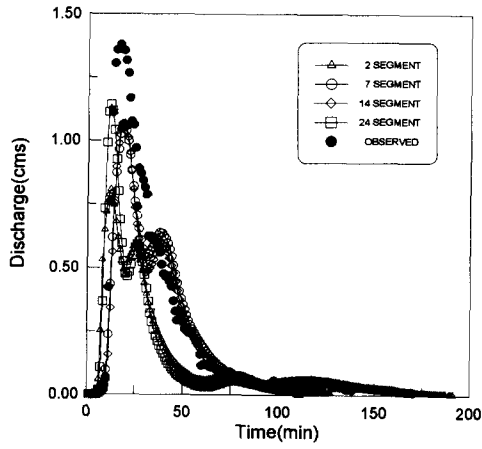
그림 5. 배수유역의 분할도 (예; 남가좌)



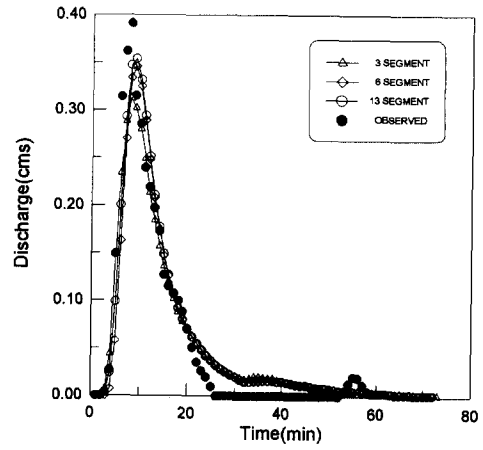
(a) 남가좌



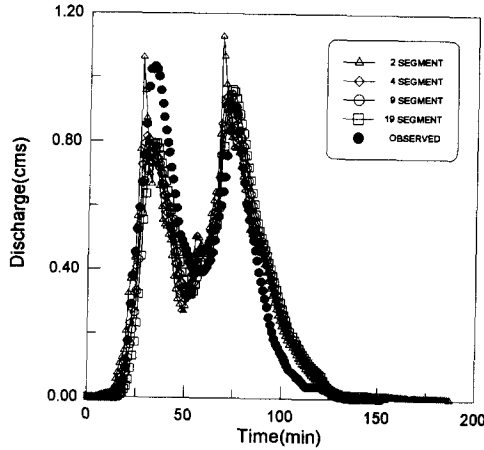
(b) 산본



(c) Fort Lauderdale



(d) Kings Creek



(e) Sample Road

Fig. 6. 배수유역 분할과 유출수문곡선

표 6. 유역분할에 따른 유출 결과치의 비교

(a) 남가좌

결과치	침투유량 (cms)	도달시간 (min)	총유출량 (m ³)
소유역수			
3	0.7414	30.00	1,535
9	0.7421	30.00	1,536
15	0.7387	30.00	1,536
실측치	0.7320	30.00	2,099

(b) 산본

결과치	침투유량 (cms)	도달시간 (min)	총유출량 (m ³)
소유역수			
2	5.500	100.00	13,400
5	5.260	100.00	13,500
9	5.552	100.00	13,500
실측치	5.400	100.00	13,271

(c) Fort Lauderdale

결과치	침투유량 (cms)	도달시간 (min)	총유출량 (m ³)
소유역수			
2	0.809	18.00	1,970
7	1.058	19.00	2,150
14	1.070	19.00	1,990
24	1.165	18.00	1,986
실측치	1.381	17.00	2,311

(d) Kings Creek

결과치	침투유량 (cms)	도달시간 (min)	총유출량 (m ³)
소유역수			
3	0.312	7.00	2,260
6	0.346	9.00	2,270
13	0.356	9.00	2,366
실측치	0.391	8.00	2,420

(e) Sample Road

결과치	침투유량(cms)	도달시간(min)	총유출량(m ³)
소유역수 2	1.129	27.00	2,870
4	0.939	29.00	2,860
9	0.941	30.00	2,860
19	0.963	34.00	2,880
실측치	1.035	33.00	2,856

표 6(d)와 같다. 마찬가지로, Sample Road 배수유역을 2, 4, 및 9, 19개의 소유역으로 나누어 각각의 경우에 대하여 유출해석을 실시한 결과는 그림 6(e) 및 표 6(e)와 같다. 위의 3개의 유역에서 알 수 있는 바와 같이 배수유역 경사가 완만한 경우에는 소유역 분할이 많아짐에 따라 실측치에 보다 접근하는 경향이 비교적 뚜렷이 보여주고 있음을 알 수 있다.

유역이 분할됨에 따른 유역폭의 변화는 앞의 여러 유역에서의 결과처럼 유역특성에 따라 그 결과치는 다양하게 나타남을 알 수 있었다.

특히, 완만한 유역의 경우에는 소유역의 분할수가 많을수록 보다 정확치에 접근하는 결과치를 비교적 일관성 있게 보여 줌을 Fort Lauderdale, Kings Creek, Sample Road에서 실측치와의 비교를 통해서 확인할 수 있었다. 그러나, 배수유역의 경사가 급한 경우 소유역의 분할·합성에 따른 영향은 유출결과에 크게 영향을 주지 못하였다.

따라서, 유역을 여러 개의 소유역으로 많이 분할할수록 그 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대되나 급경사유역의 경우에는 유역을 많이 분할하지 않고도 상당한 결과를 얻을 수 있다고 판단된다.

결과적으로, 유역의 분할·합성에 따른 유출특성이 분할 면적의 크기에 따라 일관성있게 반응하는 관계식의 도출이 어려웠다. 한편, 유출특성들은 유역의 형상, 수로의 배치형태, 유역폭, 유역경사 등에 따라서 큰 변화함을 알 수 있다.

5. 비교 및 고찰

각 배수구역에서의 강우공간분포를 고려함으로써 나타나는 유출특성치들의 결과들을 비교해 보면 공간분포를 고려한 강우 유출결과치들은 서로 심한 편차를 보였다. 기존의 Huff의 2구간 균일 공간분포의 경우는 대체적으로 각 경우에서의 강우-유출량 값들

의 중간치 영역에 대체로 해당된다고 볼 수 있다. 따라서 균일 공간분포를 설계강우로 사용하는 경우는 과소설계의 위험성이 내포되어 있다고 볼 수 있다.

즉, 균일 공간분포에 의한 유출특성치를 기준으로 공간분포에 의한 결과치와의 차이를 각 배수구역 별로 정리하여 보면 표 7과 같다. 여기에서 알 수 있는 바와 같이 침투유량면에서 강우공간분포 적용방법에 따라 그 상대오차는 최대 -54.68 % ~ +18.77 %의 증감을 보였으며, 도달시간면에서도 강우분포의 영향이 매우 커서 유역에 따라 최대 -66.67 % ~ +87.50 %의 증감을 보였다.

강우의 공간분포 적용시 여러 강우분포형을 배수구역별로 각기 적용하여 실시간 유출해석을 하려는 경우에는 현재의 우량관측 체계로서는 단시간동안 급격히 변동하는 강우사상을 모의 할 수가 없는 한계가 있다. 도시유역의 유출예측 결과의 정확도를 향상시키기 위해서는 유역권역별 강우사상을 모의하는 것이 한 방안이 될 수 있다. 또한 실시간(on-line) 유출해석을 위해서는 각 소유역에 대한 유출특성에 기여하는 각종 영향인자들의 값이 사전에 결정되어 있어야 한다. 분할된 각 소구역들에 대한 강우와 유출자료가 없는 경우에는 설계강우의 공간분포를 고려한 보편적인 유출해석 방법이 요구된다. 본 연구에서 검토한 강우의 공간분포의 적용결과치는 기존의 방법에 의한 결과와 큰 편차가 나타나므로 전체 배수유역에 대한 체계적인 위험도 해석시 또는 중요한 수공구조물의 설계시 본 방법의 적용이 안전성 제고면에서 유리할 것으로 판단된다.

표 7. 강우 공간분포에 따른 유출 특성치의 상대오차

특성치		침투유량(%)	도달시간(%)
배수유역			
개	봉	-30.83 ~ +11.87	-30.30 ~ +81.82
남	가 좌	-37.34 ~ +18.77	-66.67 ~ +83.33
마	포	-32.88 ~ +10.46	-63.33 ~ +86.67
산	본	-38.25 ~ + 0.45	-58.06 ~ +87.10
신	정 1	-54.68 ~ -20.72	-42.62 ~ +83.61
잠	실 2	-30.11 ~ +12.35	-31.25 ~ +87.50

또한, 국내 실무에서 적용하고 있는 설계강우의 시간분포는 대부분 Mononobe 분포형으로 각 지속시간별 강우강도에 따른 강우를 전방위, 중간위, 후방위로 각각 분포시켜 유출해석을 실시하고 있다. 도시화가

표 8. 유역분할에 따른 유출해석 결과의 비교

A _r	남가좌			산 본			Fort Lauderdale			Kings Creek			Sample Road		
	Q _{rp}	T _r	V _r	Q _{rp}	T _r	V _r	Q _{rp}	T _r	V _r	Q _{rp}	T _r	V _r	Q _{rp}	T _r	V _r
0.042							0.844	1.059	0.859						
0.053													0.930	1.030	1.010
0.067	1.009	1.000	0.732												
0.071							0.775	1.118	0.861						
0.080										0.910	1.125	0.975			
0.110															
0.111	1.013	1.000	0.732	1.028	1.000	1.017							0.909	0.909	1.000
0.140															
0.143							0.766	1.118	0.930						
0.167										0.885	1.125	0.938			
0.200				0.974	1.000	1.017									
0.250													0.907	0.879	1.000
0.333										0.798	1.125	0.934			
0.500	1.012	1.000	0.731	1.019	1.000	1.009							1.090	0.818	1.010
0.504							0.586	1.059	0.853						

증대될수록 강우의 공간분포로 인한 유출의 변동폭이 증대가 예측되며, 단일 설계강우로 유출현상을 예측함에는 한계가 있다. 따라서, 설계강우의 적용을 위한 강우의 시간분포 및 공간분포의 적용에 대한 부분은 재 검토 연구되어야 할 사항으로 판단된다.

각 배수유역에 대해 유역폭 산정시 본 연구에서 제안한 유역폭 보정방법을 사용한 자료를 적용하여 유출해석을 실시한 결과는 표 8과 같다. 이에 의하면 Kings Creek, Fort Lauderdale 유역은 불투수유역 비율이 높고, 수지상 형태의 배수관망으로 잘 정비되어 있으나, 소배수구역의 합성시 배수유출 부분이 지표면유출로 변화되어 첨두유량의 크기가 감소되는 결과를 보였다. 이러한 경향은 유역의 경사가 완만할수록 뚜렷하게 나타나다고 판단된다.

표 8에서 $Q_{rp} = Q_{cp} / Q_{mp}$ (Q_{rp} : 첨두유량비, Q_{cp} : 계산유량, Q_{mp} : 실측유량), $T_r = T_{cp} / T_{mp}$ (T_r : 도달시간비, T_{cp} : 계산시간, T_{mp} : 실측시간), $V_r = V_c / V_m$ (V_r : 유량비, V_c : 계산유량, V_m : 실측유량), $A_r = \text{평균 소유역 면적비}(\text{소유역의 평균 면적} / \text{전체 유역 면적})$ 이다.

이상의 결과를 전 배수유역면적에 대한 평균 소유역 분할면적비와 실측 유량에 대한 첨두유량비의 관계를 그림으로 도시하면 그림 7과 같다.

그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 배수유역의 분할·합성 정도에 따른 유출해석 결과는 유역이 세분화될수록 대체로 실측치에 접근하였다. 그러나, 본 연구에서 제안한 소유역폭 산정방법은 소유역의 분할 수

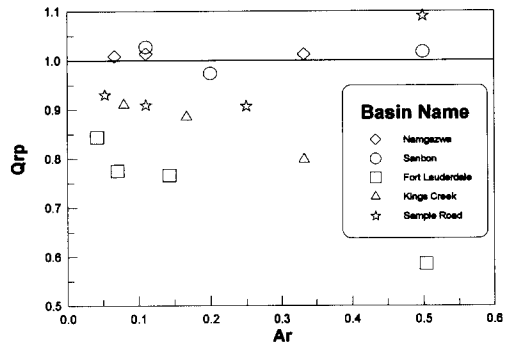


그림 7. 평균소유역 면적비와 첨두유량비의 관계도

가 작음에도 불구하고 결과치에 상당한 정확도를 유지하는데 기여하였다고 판단된다. 또한, 유역경사가 급한 경우에는 소유역 분할수를 절반으로 줄이더라도 첨두유량의 오차범위는 비교적 작은것으로 나타났다.

유역합성시 배수유역이 농촌지역과 같이 투수유역 비율이 큰 Sample Load 유역은 Ar값이 증가하면 유출량이 실측치보다 증대하였으며, 불투수유역 비율이 큰 Fort Lauderdale 유역은 반대로 나타났다. 반면에 유역경사가 큰 남가좌, 산본지역은 소유역의 합성 및 분할의 영향이 유출특성에 거의 영향을 미치지 않았다. 실제 배수구역에 대한 적용결과 유역분할

이 많을수록 도달시간이 증가되는 추세를 보였으며, 침투유량에 관하여서는 산본, Kings Creek, Fort Lauderdale, Sample Road 등의 유역에서는 증가하고 남가좌에서는 거의 비슷한 양상을 보였다.

한편, 유출용적은 소유역 분할에 따른 영향이 침투유량에 비해 둔감함을 보여주었다.

유역 분할과 합성에 따른 영향을 요약하면 다음과 같다.

(1) 실측치와의 비교에서 알 수 있는 바와 같이 배수관로의 계통을 성실하게 반영하고 소구역 분할이 세밀할수록 수치모형 해석 결과치는 실측치에 접근함을 알 수 있다.

(2) 유역의 분할·합성에 따라서 도달시간, 침투유량 등의 특성치는 증·감의 변화를 보여주나, 일관성 있는 변화를 보여주지 않았다. 이는 유역 분할·합성으로 인한 영향은 유역 특유의 형상 및 배수계통에 의해 독립적으로 반응함을 보여주는 것이라고 판단된다.

(3) 분할된 소유역의 수가 증가할수록 정확도를 개선시킬 수 있음은 이미 지적한 바와 같으나, 다소의 오차를 감수한다면 본 연구에서 제안한 소유역 합성법에 따라 합성하여 단순화한 배수계통으로부터의 유출결과치도 상당한 수준의 정확성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 앞의 각 배수유역에 대한 적용결과치에서 알 수 있는바와 같이 소유역을 합성한 경우에도 남가좌, 산본 등의 배수유역에서는 거의 동일한 도달시간이 산출되었고, 기타 유역의 경우에도 다소의 편차를 보이고 있으나 대략 10 % 이내의 범위에서 결과치 값을 보여주고 있다. 따라서, 배수계획의 초기 단계나 단시간내 검토대상 유역의 유출특성을 경제적으로 평가해야 되는 경우에는 그림 7을 참고하면 본 소유역 합성법에 의한 단순 배수계통으로 계산하여도 정확치에 약 25 % 이내에 접근하는 성과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다. 단, 이 때 적용대상 유역의 규모는 전체유역 면적을 약 10km² 이내로 합이 바람직하다.

(4) 일반적인 도시유출에는 강우분포의 영향뿐만 아니라 복잡한 배수관망과 각 지표면 특성치들이 복합적으로 영향을 미치므로 각 소 배수구역의 특성들을 무시하고, 유출해석을 실시할 경우에는 소유역내의 오차들이 누적되어 배수유역에 대한 유출해석 결

과에 큰 차이를 발생시킬 수 있다. 그러나 아직까지 각 유출모형들에 대한 적정 적용면적의 결정방법이 명확하게 설정되어 있지 못하므로 이에 대한 심도있는 연구가 앞으로의 과제이다.

6. 결 론

도시 배수유역에서의 유출해석 결과치의 정확도 향상을 위하여, 강우 공간분포와 소유역의 분할 및 합성이 해석결과치에 미치는 영향을 9개 도시유역에 대하여 평가한 결과는 다음과 같다.

(1) 강우의 공간분포를 고려하여 산정한 유출특성치는 기존의 균일 공간분포로 산정한 것에 비해 침투유량에서 -55~+18 %, 도달시간면에서 -67~+88 %의 편차를 보여주었다. 따라서, 도시유역에서의 설계홍수량 산정에는 강우의 공간분포를 고려함으로써 침수위험을 경감시킬 수 있다.

(2) 유역의 소유역 분할수가 유출해석치에 주는 영향은 유역의 지형적 특성에 따라 다양하게 나타났다. 특히 유역 경사가 완만한 경우에는 급한 경우보다 소유역 분할의 영향이 민감하였다. 그러나 전반적으로 소유역 분할수가 많을수록 실측치에 접근하는 경향을 확인할 수 있었다.

(3) 유역면적이 약 10 km² 이내인 유역에서는 소유역 분할면적비가 약 35 % 이내의(소유역 분할수 3개) 범위내에서는 비교적 실측치에 25 % 이내에 근사한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

(4) 소매수분구의 합성과정에서의 소유역 폭의 산정은 왜곡비와 면적비를 고려함으로써 보다 정확한 유출해석에 기여할 수 있다.

참 고 문 헌

- 강태호, 이종태 (1996). "도시 배수유역에서의 유출 특성인자 분석." 1996년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(Ⅱ), 대한토목학회, pp. 235-238.
- 건설부 (1992). 하수도시설기준.
- 김정환 (1993). "도시유역에서 강우·유출해석을 위한 SWMM 모형의 연구." 석사학위 논문, 경기대학교.
- 박찬영, 서병하, 윤용남, 강간원 (1981). "소유역의 설계유량 산정을 위한 강우형상분석에 대한 연구." 한국

- 수문학회지, 한국수문학회, 제14권, 제4호, pp. 13-18.
- 서병하, 강관원, 윤용남 (1981). “도시 하수망의 수문학적 평가와 설계확률 유량의 첨대화 성향에 관한 연구.” 한국수문학회지, 한국수문학회, 제14권, 제4호, pp. 27-33.
- 서병하, 김남원 (1989). “지역별 설계 강우의 시간적 분포.” 연구보고서, 한국건설기술연구원.
- 서울특별시 (1992). 90년 수해백서.
- 윤용남, 전병호, 이종태 (1992). “도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 비교.” 연구보고서, 한국과학재단.
- 이근후 (1983). “폭우의 시간적분포에 관한 연구,” 박사학위논문, 서울대학교.
- 이영대, 박승우 (1990). “도시소유역의 유출해석을 위한 수문모형의 개발과 응용.” 한국수문학회지, 한국수문학회, 제23권, 제3호, pp. 329-340.
- 이종태, 강태호, 김정환(1996). “도시유역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM모형.” 수공학특집 교재, 한국수자원학회, pp 97-204.
- 이종태, 윤세의 (1995). “도시유역의 유출특성과 해석모형의 적용성향상에 관한 연구.” 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부, pp. 5-1~5-87.
- 이종태, 윤세의, 김정환 (1994). “지표면 유출해석 방법이 도시유역의 홍수량 산정에 미치는 영향.” 대한토목학논문집, 대한토목학회, 제14권, 제5호, pp. 1167~1175.
- 이종태, 이상태 (1996). “강우의 시간 및 공간분포를 고려한 도시유역의 유출특성 분석.” '96년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 393-398.
- 이종태, 이상태 (1996). “도시 배수유역의 분할 및 합성에 따른 유출영향 분석.” 1996년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(Ⅱ), 대한토목학회, pp. 251-254.
- Cermola, J.A. et al. (1979). “SWMM application to combined sewerage in New Haven.” *Journal of the Environmental Engineering Division*, Vol. 105, No. 6, pp. 1035-1048.
- Charles, C.S.S., James, A.C., and Kim, S.L. (1983). “Transient mixed-flow models for storm sewers.” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 109, No. 11, pp. 1487-1504.
- Eagleson, P.S. (1970). *Dynamic hydrology*, McGraw-Hill, Inc.
- Hagarman, J.A., and Dressler, F.R.S. (1992). *Storm Water Management Model Dissemination and User Assistance*, Philadelphia University City Center, pp. 43.
- David, P.H., and Russell, G.H. (1974). “Independent comparison of three urban runoff models.” *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 100, No. 7, pp. 995-1010.
- Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988). “Storm Water Management Model Version 4, User's Manual.” *EPA/600-3-88 1001a*, U.S. EPA.
- Maksimovic, C., and Radojkovic, M. (1986). *Urban Drainage Catchments*. Pergaman, pp. 105-124.
- Roesner, L.A. et al (1988). *Storm Water Management Model Ver 4 Part B: Extra Addendum*. EPA.
- Walesh, S.G. (1989). *Urban surface water management*. John & Wiley and Sons.
- Yen, B.C. (1981). *Urban stormwater hydraulics and hydrology*. W.R.P.

〈접수: 1997년 1월 17일〉