

都市下水道網에 대한 流出模型의 適用과 流出解析

朴成天 · 李寬洙*

東新大學校 環境工學科, *全南大學校 土木工學科

Runoff Analysis and Application of Runoff Model of Urban Storm Drainage Network

Sung-Chun Park, Kwan-Soo Lee*

Dept. of Environmental Engineering, Dongshin University

*Dept. of Civil Engineering, Chonnam University

ABSTRACT

This research is to show the application of runoff model and runoff analysis of urban storm drainage network. the runoff models that were used for this research were RRL, ILLUDAS, and SWMM; applicative object basin were Geucknak-chun and Sangmu drainage basin located in Seo-Gu, Kwangju. The runoff analysis employed the design storm that distributed the rainfall intensity according to the return period after the huff's method. The result from the comparative analysis of the three runoff models was as follows: The difference of peak runoff by return period was 20-30% at Sangmu drainage area of 3.17 Km², while less than 10% at Geucknak-chun drainage area of 12.7 Km². The peak runoff were similar to all models. At the runoff hydrograph the times between rising and descending points were in the sequence of RRL, ILLUDAS and SWMM, but the peak times were similar to all models. The conveyance coefficient to examine the conveyance of the existing drainage network was 0.94-1.37, which means insecure, in Geucknak-chun drainage basin and 0.69-1.16, which means secure, in sangmu drainage basin.

Keywords : Runoff analysis, runoff models(RRL, ILLUDAS, SWMM), hydrograph, conveyance coefficient

I. 서 론

도시의 급속한발달과 인구의 도시집중 현상에 의하여 도시의 미개발지역이 개발되므로써 도시화 면적이 확대되어 가고 있다. 이러한 도시화는 도시내의 경작지나 녹지와 같은 투수 지표면을 대단위 주택단지나 도로, 상업지구 등의 도시시설 및 산업화에 따른 공장시설과 같은 불투수 지표면으로 대체시켜 도시의 불투수 지표면의 구성비를 증가시킨다. 도시화는 유역내의 침투량과 증발산량, 지하수 유출량을 감소시키며 유역의 조도계수 감소로 도달시간을 단축시켜 침투홍수량을 증가시키게 된다.

우리나라는 근래에 도시외곽지역의 개발이 활발해짐에 따라 배수구역의 특성과 도시 배수망의 유출특성이 급변하고 있다. 이와 같은 도시화 면적의 팽

창에 따른 배수망의 설계유출량은 증대되어야 할 것이며 증대된 확률유출량을 기준으로 배수망의 설계가 이루어져야할 뿐만 아니라 신시가지 계획에 따른 신설 하수도망의 수문학적 설계기준을 설정하는 것은 시급한 문제다. 이러한 관점에서 볼 때 도시의 기존 하수도망이 가지고 있는 수문학적 평가와 동시에 도시화에 따른 설계유출량을 산정한다는 것은 대단히 중요하다.

우리나라의 도시유역에서의 유출에 대한 연구는 기개발된 기존유출모형들의 적용성 평가와 우리나라의 강우특성 및 배수유역의 특성치를 도입하는 문제들을 중심으로 활발한 연구가 진행되어 왔으며 그 성과는 하수도 및 도시하천의 설계 등에 활용되고 있다.

본 연구에서는 RRL, ILLUDAS, SWMM 모형의

해석절차를 파악하여 도시 배수구역인 광주광역시의 상무배수구역과 극락천배수구역을 대상으로 유출량해석을 실시하여 배수관망의 수문학적 평가와 불투수면적 구성비의 증가에 대한 설계유출량을 제시하였다.

II. 유출모형의 이론

도시유출의 모의과정은 대체로 설계호우의 결정, 초과강우량의 결정, 지표류방정식에 의한 하수도의 유출량 결정, 하수도 유출의 추적, 배수관내의 유출경로 결정, 유출수문곡선 결정단계로 이루어진다.

1. RRL 모형

1962년 영국도로연구시험소에서 개발된 BRRL (British Road Research Laboratory) 방법은 유역에 내리는 강우중 우수관거에 직접 연결된 지역에 내리는 강우만이 유출에 기여하고, 투수지역이라든지 우수관망에 직접연결되어 있지 않은 불투수지역으로부터의 유출분은 침투유량의 크기에 영향을 미치지 않는다는 기본가정을 가지고 있으며 유출량 계산식은 다음과 같다.

$$Q_p = 0.2778 \sum_{i=1}^j A_{j+i} R_i \quad (2.1)$$

여기서, R_i 는 설계우량주상도의 중거리이고, A_{j+i} 은 i 시간의 도달시간을 갖는 등시간면적이다. 또한 관거를 통한 흐름은 저류량을 고려한 Kinematic Wave 이론에 근거하여 연속방정식 및 Manning공식을 사용하여 계산하며 그 식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{2} (I_1 + I_2) \Delta t + S_1 - \frac{1}{2} O_1 \Delta t = S_2 + \frac{1}{2} O_2 \Delta t \quad (2.2)$$

$$O = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

$$S = AI \quad (2.4)$$

여기서, I_1 는 유입량, O_1 는 유출량, S_1 는 저류량, S_0 는 관로의 경사, A 는 흐름의 단면적이고, l 은 관의 길이이다.

2. ILLUDAS 모형

ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area System) 모형은 Stall과 Terstriep이 직접연결 불투수지역 뿐만 아니라 투수지역(grassed area)으로부터

의 유출도 무시할 수 없음을 발견하고, 1974년 투수지역 및 간접연결 불투수지역에 내린 강우로 인한 유출량을 고려하므로써 RRL방법을 수정한 모형이다. 즉, ILLUDAS모형은 전체유역을 직접연결 포장유역, 간접연결 포장유역, 투수지역 및 유출에 기여하지 않는 유역의 4가지로 구분하여 해석하는 모형이다.

이 모형은 전체유역을 몇 개의 소유역으로 구분하고, 각 소유역별로 포장유역과 투수유역의 유출량을 계산하여 합성하므로써 소유역별 유출수문곡선을 구하며, 이를 관로를 통해 추적 합성하여 유역 말단부에서의 총유출수문곡선을 구하게 된다.

먼저 포장유역의 경우 유역의 도달시간을 계산한 후 이를 기준으로 하여 단위시간별로 유역을 분할하여 시간별 면적곡선을 구한다. 이때 도달시간-누가면적관계(uniform time-area relation)를 선형으로 가정한다. 포장유역의 도달시간은 다음과 같이 계산한다.

$$t_c = \frac{l}{60V_0} + 2.0 \quad (2.5)$$

$$V_0 = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} = \frac{1.486}{0.02} (0.2)^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2.6)$$

여기서 t_c 는 도달시간(min), V_0 는 지표면의 유속(ft/sec), l 은 지표면의 유하거리(ft)이다. 그리고 지표면의 조도계수를 0.02로, 흐름의 동수반경을 0.2ft로 가정하여 계산하며 유효우량은 초기손실만을 고려한다. 이와 같이 시간별 면적곡선 및 우량주상도가 결정되고 나면 RRL방법에서와 같이 식(2.2)에 의해 포장유역의 유출량을 계산한다.

간접연결 포장지역에서 투수지역에 내리는 총 강우량은 강우가 지표면을 따라 투수유역으로 유하하게 되므로 초기손실을 고려한 후 투수지역에 내리는 강우와 합산하여 계산하며, 투수지역에서의 시간별 면적곡선을 작성하기 위한 도달시간 t_c 는 다음 식과 같다.

$$t_c = \frac{41.025 (0.0007I + C) I^{1/3}}{S_0^{1/3} I^{2/3}} \quad (2.7)$$

여기서 C 는 지체상수 (0.007-0.046), I 는 강우강도(in/hr), l 는 지표면의 흐름길이(ft), S_0 는 지표면의 흐름경사이다.

투수지역에서의 유효우량은 초기손실 및 침투로 인한 손실을 고려하여 결정하고 식(2.2)에 의해 유

출량을 계산한다. 이때 침투능은 Horton의 침투능 곡선식 및 누가침투량식에 의해 계산하며 형상계수 k값은 2.0으로 가정한다.

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \quad (2.8)$$

$$f = f_c t + \frac{(f_0 - f_c)}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (2.9)$$

이상과 같이 포장지역 및 투수지역의 유출량을 구한 후 그 값을 환산하여 소유역별 유출수문곡선을 계산하게 된다. 이와 같이 계산된 소유역별 유출수문곡선을 관개의 합류점에서 상류로부터의 유입수문곡선과 합성한 후 관거를 통해 홍수추적을 하게 된다. 관거를 통한 흐름의 홍수추적 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta t}{2} (I_1 + I_2 - O_1) + S_1 = \frac{\Delta t}{2} O_2 + S_2 \quad (2.10)$$

이 모형은 설계는 물론 기존 관거의 평가를 위해서도 적용할 수 있는 모형으로 관거의 설계시 입력하는 강우분포로 Huff의 강우분포를 제공하고 있다. 또한 기존 관거의 평가시에는 관거를 통한 최대허용 유량으로 특정한 값을 입력하여 적용할 수 있다.

3. SWMM의 이론

SWMM은 Metcalf와 Eddy Inc., 그리고 Florida 대학의 수자원 공학자들이 공동연구하여 개발하였고, 현재 미국환경보전국(Environmental Protection Agency ; EPA)에서 사용하고 있으며, 이 모형은 우수관거의 설계홍수량을 산정하는 기존모형들이 계산할 수 없었던 월류, 배수, 압력류 등으로 인

한 수리학적인 영향을 고려할 수 있으며 여러가지 저류시설과 수리구조물의 영향을 평가할 수 있는 정교한 모형이다. 또한 최근 국내에서도 심각하게 대두되고 있는 환경문제와 관련하여 여러 오염물질을 홍수시 및 갈수시에 추적하는 것이 가능하며 오염물질의 처리와 처리비용까지도 산정할 수 있다.

1) SWMM의 실행블록과 보조블록

SWMM은 Fig. 1과 같이 5개의 실행블록과 5개의 보조블록으로 구성된다. 5개의 실행블록은 Main블록, Runoff블록, Transport블록, Extran블록, Storage블록이며, Main블록은 다른 실행블록들을 조절하며 논리적인 장치와 파일의 설정, 연속적인 연산블록들을 조절, 프린터로 연산결과를 출력, 입·출력자료를 검색하며 블록간 자료를 전송한다. Runoff블록은 모형의 초기연산이 수행되는 부분으로 강우사상에 대해 배수유역내에서의 유출현상과 수질변화를 모의한다. 이 블록은 임의의 강우우량도, 선행강우조건, 토지이용도, 지형도 등의 자료를 이용하여 지표면, 지표하유출을 추적하며 배수시스템에서 유량과 오염물질을 추적하고, 주 관거에서의 수문곡선과 오염도곡선을 출력한다. Transport블록은 Runoff블록에서 연산된 결과를 기본자료로 사용하며 강우시 및 건기시 하수시스템내에서의 유량과 오염물질을 추적하고 배수관망 내로의 침투량을 산정한다. Extran블록은 배수관망 시스템내에서 유량과 수심을 구하기 위해 Runoff블록에서의 유입수문곡선을 개수로, 관수로 등에 Dynamic방정식을 이용하여 추적한다. 이 모형은 합류, 분류시스템으로 구성되는 도시 배수유역에 적용하기 위해 개발되었으며, Runoff블록에서의 계산결과치를 입력자료로 이용하

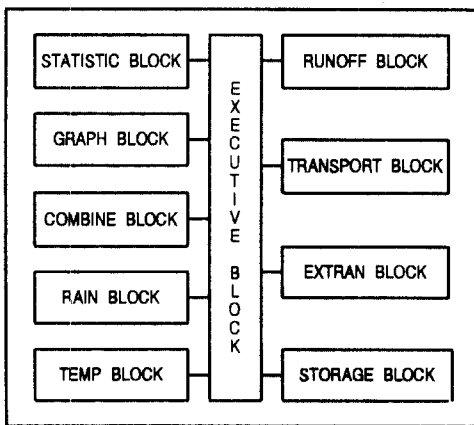


Fig. 1. Constitution of SWMM model

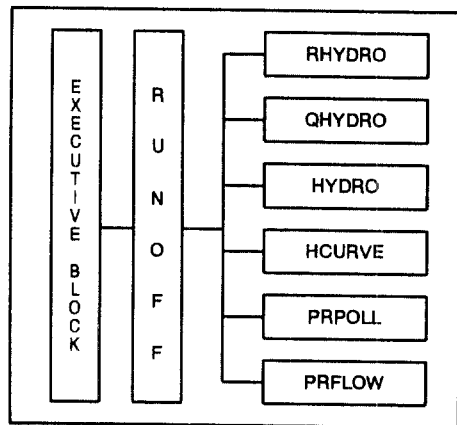


Fig. 2. Constitution of RUNOFF Block

며, Loop형 관로, 웨어, 오리피스, 펌프 등으로 인한 측방류 유입과 기존 유출 모형으로는 계산하지 못했던 월류, 배수, 압력류 등의 수리현상을 계산한다. Storage블록은 유량과 수질에 대한 조절, 처리장치의 영향을 평가하며 각 단계에서의 비용계산이 가능하며, Storage블록에서 저류지의 운영조작 기준은 수위와 유량이다.

5개의 보조블록은 Statistic블록, Graph블록, Combine블록, Rain블록, Temp블록이며, Statistic블록은 강우사상에 대한 유역의 유출체적, 평균유량, 첨두유량, 지속시간 등의 인자들 뿐만 아니라 오염물질 인자들에 대하여 Weibul공식을 이용하여 원하는 인자들을 분석한다. Graph블록은 수문곡선과 오염도곡선을 출력장치로 출력시킨다. Combine블록은 선행결과들을 연속되는 다른 블록에서의 결과치와 합성하여 보다 큰 배수유역에 적용할 수 있도록 Interface File을 관리한다. Rain블록은 강우자료군을 10개 까지 동시에 고려할 수 있고 서로 다른 시간간격의 강우량자료를 처리할 수 있으며 강우의 시간적, 공간적 분포를 고려할 수 있다. Temp블록은 기온에 대한 데이터베이스로 Runoff블록에서 용설량 계산시 중요한 요소이며 증·발산량의 계산의 기본자료가 된다.⁶⁾

2) Runoff 블록의 이론

Runoff 블록은 SWMM 모형내에서 초기연산이 수행되는 부분으로 강우사상에 대해 배수유역에서의 유출현상과 수면변화를 모의하여 SWMM 모형내 다른 부분블록(subblock)들의 기초자료로 사용되는 수문곡선과 오염도곡선을 제공한다.¹⁴⁾

SWMM 모형에서 투수유역으로부터의 침투는 Horton 방정식 또는 Green-Ampt 방정식을 선택하여 사용할 수 있으나 국내에서는 Green-Ampt 방정식에 대한 적용성의 검토 및 자료가 미비하므로 본 연구에서는 Horton 방정식을 사용하였으며 식(2.9)와 같다.

도달시간은 유역의 최상류 지점으로부터 유역 출구까지의 물의 유하시간으로 정의되며, 유로에 색소(dye)를 주입하여 실측할 수도 있으나 대부분의 경우 유역의 지형인자와 도달시간간의 경험공식을 사용하여 산정하는 것이 보통이며 여기서는 표면유출 도달시간 산정에 Kinematic Wave공식(Eagleson, 1970)을 사용한다.

$$t_c = \left(\frac{L}{a \cdot d^{m-1}} \right)^{1/m} \quad (2.11)$$

여기서, t_c 는 도달시간(sec), L 는 소유역 유로길이, d 는 수심, a 와 m 은 Kinematic Wave식의 계수이다.

Kinematic Wave공식은 소유역에서 단위폭당 유출을 다음과 같이 가정한다.

$$q_L = a \cdot d^m \quad (2.12)$$

여기서, q_L 은 단위폭당 유량(m^2/sec), d 는 수심(m), a 와 m 인자는 등류흐름으로 가정한 Manning식으로 계산한다.

$$a = \frac{1}{n} S^{1/2} \quad (2.13)$$

$$m = \frac{5}{3} \quad (2.14)$$

지표면유출에 대한 기본방정식은 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 Kinematic Wave 근사법인 비선형저류방정식이 사용되고 각 소유역에서의 수심과 유량을 결정하기 위해 연속방정식과 Manning방정식을 사용한다.

관로유출은 비선형 저류방정식으로부터 계산되며 본 방정식의 해를 구하기 위하여는 Newton-Raphson방법이 사용된다. 각 적분 연산구간에서 Manning식이 사용되며 유출현상의 동역학적 거동은 준정상(Quasi-steady)상태로 근사 처리한다. 관로유출에 사용되는 연속방정식과 Manning식은 식(2.15), (2.16)과 같다.

$$Q_s = \Delta V = \Delta t \cdot (Q_i + Q_w + Q_{GW} - Q) \quad (2.15)$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.16)$$

여기서 Q_s 는 저류량, Q_w 는 측방유입량, Q_{GW} 는 지하수유입량이며, Q 는 d_n 과 d_{n+1} 의 평균값을 이용하여 Manning공식으로 구한다.

4. 유출모형의 비교

도시유역에서의 설계홍수량 산정을 위하여 국내에서 사용되고 있는 모형들로는 합리식, RRL, ILLUDAS, SWMM 등이 있다. 이 중 합리식과 RRL(Road Research Laboratory)모형은 적용이 간편하다는 잇점으로 널리 사용되어 오고 있으며, ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Systems)모형은 지표면의 양상과 배수관로의 계통을 고려하므로 앞의 두가지 방법보다는 정확한 계산결과를

기대할 수 있다. 그러나, 배수관망이 각종 수리구조물을 포함하고 있는 경우에는 정확한 유출량을 산정한다고 보기는 어렵다. 또한 관로에서의 흐름을 등류로 해석함으로써 관로내 수심의 변화와 배수의 영향을 고려할 수 없는 한계가 있다. 도시구역 하수 시스템내의 유량과 수질을 시뮬레이션할 수 있도록 개발된 SWMM(Storm Water Management Model)은 1981년에 SWMM 모형내의 TRANSPORT블록을 확장, 보완하기 위해 수공구조물의 월류, 배수, 압력류 등의 계산이 가능하도록 설계된 EXTRAN블록을 SWMM에 포함시켜 보완하였다. SWMM은 도시구역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 또는 지표하흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다.

III. 모형의 적용

1. 대상구역 및 토지이용 현황조사

광주광역시 배수구역도⁹⁾에서 서구의 극락천 배

수구역과 상무 배수구역을 대상구역으로 선정하여 유출모형(RRL, ILLUDAS, SWMM)을 적용하였으며, 대상구역의 홍수유출량을 산정하기 위하여 배수구역의 분수계를 지형도 및 현지답사 등에 의해 정확하게 그려 유역도를 만든 후 배수관망, 유입구, 맨홀 등 관로시스템자료 및 유역의 지표면과 지하 배수시설 및 토지이용상태를 조사하여 유역의 지표면을 불투수지역(impervious area) 및 투수지역(pervious area)으로 구분하였다. 유역의 지표면 조건에 따른 면적은 Table 1, 그리고 대상구역의 배수관망도의 수리학적 조건은 Table 2와 같으며, 대상구역과 소유역의 분할은 Fig. 3과 Fig. 4에서와 같다.

2. 설계 강우량 산정

도시구역은 대부분 그 크기가 작은유역이며, 유역의 도달시간 또한 매우 짧다. 따라서 짧은 지속기간을 가지는 강우가 홍수를 유발하는 경우가 종종 발생한다. 그러므로 설계홍수량의 산정을 위해서도 짧은 지속기간(20분~2시간)의 강우를 적용하는 것이 일반적이므로 본 연구에서는 60분의 지속기간을 설

Table 1. Subbasin area of the study basin

Geuck-nak chun Drainage Basin							
Sub basin no.	Inlet	Basin Area (ha)			Width of basin (m)	Ratio of Paved Area (%)	slope(%)
		Paved Area	Pervios Area	Subbasin Area			
1	100	79	122	201	1,113.6	39.3	0.032
2	200	128	25	153	3,344.0	83.7	0.021
3	300	85	64	149	1,030.7	57.0	0.015
4	400	115	33	148	2,019.5	77.7	0.013
5	500	173	40	213	2,880.0	81.2	0.018
6	600	227	0	227	2,073.6	100.0	0.013
7	700	119	61	180	5,232.0	66.1	0.012
Total		926	345	1,271		72.9	
Sang-mu Drainage Basin							
Sub basin no.	Inlet	Basin Area (ha)			Width of basin (m)	Ratio of Paved Area (%)	slope(%)
		Paved Area	Pervios Area	Subbasin Area			
1	100	41.2	42.0	83.2	1,425.4	49.5	0.036
2	200	13.6	28.1	41.7	312.3	32.6	0.058
3	300	37.9	36.5	74.4	1,512.7	50.9	0.031
4	400	31.4	25.0	56.4	2,792.7	55.7	0.040
5	400	18.4	42.8	61.2	1,652.0	30.1	0.010
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
Total		142.5	174.4	316.9		45.0	

Table 2. Information of the main drainage network system

Geuck-nak chun Drainage Basin						Sang-mu Drainage Basin					
No. of closed conduit	Junction conduit	Length (m)	Cross Section		Slope (%)	No. of closed conduit	Junction conduit	Length (m)	Cross Section		Slope (%)
			Width(m)	Height(m)					Width(m)	Height(m)	
1100	1200	1,090	3.5×1	3.5	0.290	1100	1200	110	2.0×1	2.0	0.055
1200	2100	670	2.5×2	2.0	1.200	1200	2100	77	2.5×1	2.5	0.062
2100	2200	770	3.0×2	3.0	1.300	2100	2200	194	2.5×1	2.5	0.050
2200	2300	241	3.3×3	3.0	1.000	2200	2300	260	2.5×1	2.5	0.023
2300	4100	300	3.5×3	3.0	1.500	2300	3100	333	3.0×1	2.5	0.025
3100	3200	520	2.5×2	2.0	0.717	3100	3200	384	2.5×2	2.0	0.030
3200	4100	545	3.5×1	2.5	0.933	3200	3300	230	2.5×2	2.0	0.110
4100	5100	1,500	3.5×3	3.0	0.320	3300	3400	427	2.2×2	2.0	0.017
5100	6100	1,080	3.5×3	3.0	0.430	3400	400	412	3.5×1	2.5	0.034
6100	700	2,725	4.0×3	4.0	0.215	-	-	-	-	-	-

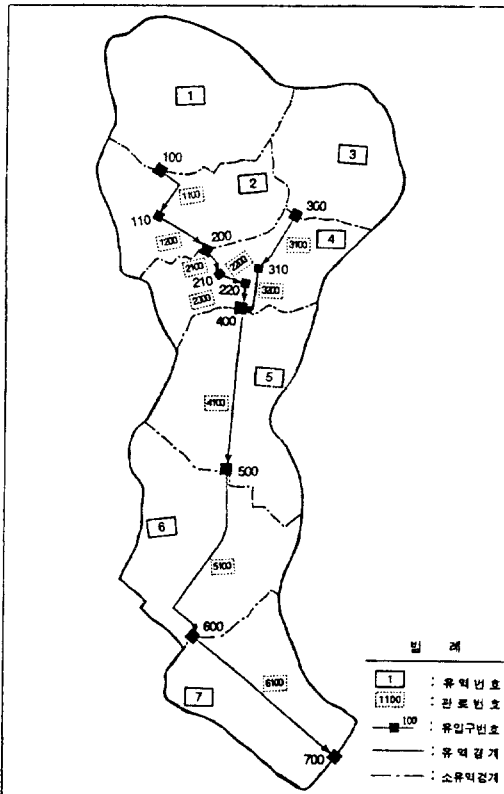


Fig. 3. Divided subbasin and drainage network in Geuck-nak basin

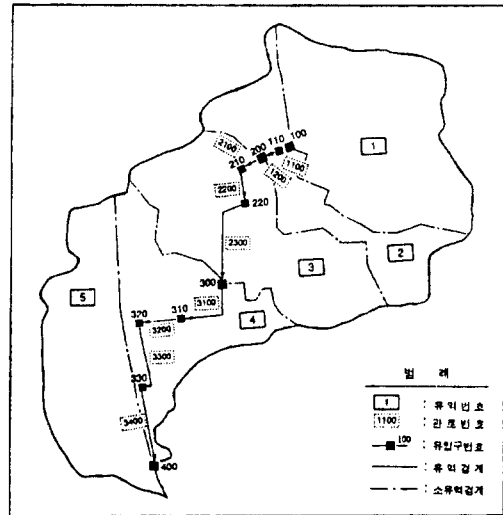


Fig. 4. Divided subbasin and drainage network in Sangmu basin

정하였다.

1) 강우의 시간적 분포

호우의 시간적 분포는 그 형태가 매우 복잡, 다양하고 무작위성향(randomness)을 가지고 있기 때문

에 실제호우를 시간별로 분포시키는 방법으로 세밀한 적용이 요구된다. 따라서 누가곡선을 이용하여 지속시간을 4개로 나누어 가장 큰 강우깊이를 나타내는 구간의 호우를 조합, 구간에 따라 강우 크기별로 확률을 부여하여 무차원 누가곡선으로 시간분포를 해석하는 Huff의 4분위법을 이용하여 강우를 시간별로 분포시킨다.

4개 구간으로 분류된 강우를 시간적으로 무차원화시키기 위하여 개개 강우의 누가 지속시간과 이에 따른 강우량을 각각 백분율로 표시하고 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$PT(i) = \frac{T(i)}{TT} \times 100 (\%) \quad (3.1)$$

$$PR(i) = \frac{R(i)}{RT} \times 100 (\%) \quad (3.2)$$

여기서 PT(i)는 임의시간 T(i)에서의 강우지속시간 비, T(i)는 강우시간 후 i번째 시각의 경과시간, TT는 총강우 지속시간, i는 단위 증분 횟수, PR(i)는 임의시간 T(i)에서의 강우량 비, R(i)는 임의 시간 T(i)까지의 누가우량, RT는 지속시간 TT의 총우량이다.¹²⁾

이와 같이 무차원 누가곡선을 이용하여 각 그룹에 속한 호우들을 분리하여 분석한다. 먼저 제1구간의 호우분석일 경우 각 지속시간 증분 횟수별로 각 확률을 추정한 후 각 확률별로 시간분포를 추정한다. 같은 방법으로 2구간, 3구간, 4구간 호우를 차례로 분석한다. 이때 각 확률누가곡선은 10%의 확률간격으로 작성하는 것이 일반적이다. 또한 강우의 시간 분포곡선은 강우의 과거 기록자료를 이용, Huff의 방법에 의해 결정된다.

1961년부터 1987년까지 27개년간 중앙기상청에 관측된 광주지역 총 936개의 강우사상을 Huff의 4분위법에 의해 분류하여 각 구간별 호우의 수를 분석한 결과 광주지방의 지속시간 60분 강우는 제 2구

간의 호우형으로 분석되었다.²⁾

제 2구간 호우의 무차원 누가확률곡선중 50% 누가계열은 제 2구간의 중앙값을 나타내므로 가장 유용한 값을 제공한다고 할 수 있고, 구조물의 안전을 개념을 도입하지 않는 경우 일반적으로 설계우량산정은 빈도확률 50% 곡선을 채택하므로 그 결과는 Table 3과 같다.

2) 설계 우량주상도

한국 확률강우량도⁸⁾를 이용한 광주지방의 60분 지속시간의 강우강도를 Huff의 제2구간 강우형 누가확률곡선중 빈도확률 50%의 곡선에 의해 분포시키면 Table 3과 같다. 이 값을 이용하여 설계 우량주상도를 작성하였다.

IV. 결과비교 및 분석

본 연구에서는 광주광역시 서구에 위치한 극락천 배수구역과 상무배수구역에 유출모형인 RRL, ILLUDAS, SWMM(Extran블록)을 적용하였다. 이 모형의 적용을 위하여 재현기간 5년과 10년 그리고 20년의 설계강우사상에 대해 huff의 방법에 의하여 시간적으로 분포시킨 각각의 설계우량주상도를 RRL, ILLUDAS, SWMM에 적용하였다.

Table 3. Value of design rainfall hyetograph and rainfall intensity

Duration	(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Rainfall intensity
	(min)	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	(mm/hr)
Probability	50 (%)	8.0	17.4	34.3	53.3	70.7	80.6	88.4	93.7	95.5	100	
Return Period	5 (year)	3.72	4.36	7.85	8.83	8.08	4.60	3.62	2.46	1.77	1.16	46.46
	10 (year)	4.25	4.99	8.97	10.09	9.24	5.26	4.14	2.81	2.02	1.33	53.09
	20 (year)	4.79	5.63	10.12	11.38	10.42	5.93	4.67	3.17	2.28	1.50	59.87

Table 4. Peak runoff and Conveyance coefficient

Basin	Geuck-nak chun Drainage Basin						Sang-mu Drainage Basin					
	Conveyance											
Model	RRL		ILLUDAS		SWMM (Extran block)		RRL		ILLUDAS		SWMM (Extran block)	
	PRM* (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c
Return 5	168.62	1.03	160.94	0.99	153.01	0.94	36.39	0.79	38.16	0.83	31.78	0.69
period 10	192.93	1.18	187.70	1.15	184.42	1.13	42.04	0.91	45.47	0.99	36.63	0.79
(year) 20	217.84	1.33	213.92	1.31	223.68	1.37	47.07	1.02	53.35	1.16	41.54	0.90

* PRM : Peak Runoff by Model

C_c : Conveyance coefficient

1. 통수능력의 검토

본 배수구역의 수로는 콘크리트 관거로 되어 있으므로 조도계수 n 을 0.013으로 가정하고 Manning공식에 의하여 유역의 유출구지점에서 통수능력 (conveyance)을 계산하였다. 기존 관거의 평가는 관거의 통수능과 유출모형에서 출력된 첨두유출량간의 관계를 통수능계수(conveyance coefficient)라는 개념을 도입하여 검토하였으며, 통수능계수는 다음 식으로 정의된다.

$$C_c = \frac{Q_p}{Q_c} \quad (4.1)$$

여기서 C_c 는 통수능계수, Q_c 는 통수능(m^3/sec), Q_p 는 각 모형의 첨두유출량(m^3/sec)이며, 통수능계수가 1.0 이하일 경우는 관거의 통수능이 유출모형의 첨두유출량보다 크다는 것을 의미하므로 안전한 단면이고, 1.0 이상일 경우는 그 반대를 의미하므로

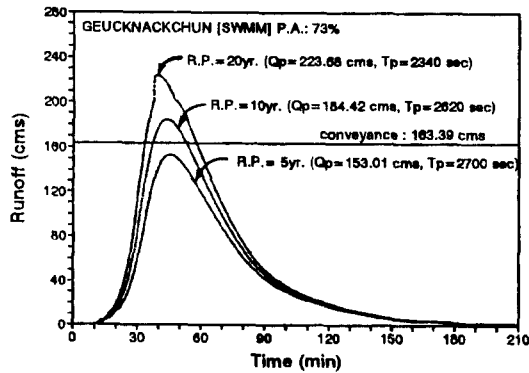


Fig. 5. Outflow hydrograph of Geucknack-chun drainage area by SWMM

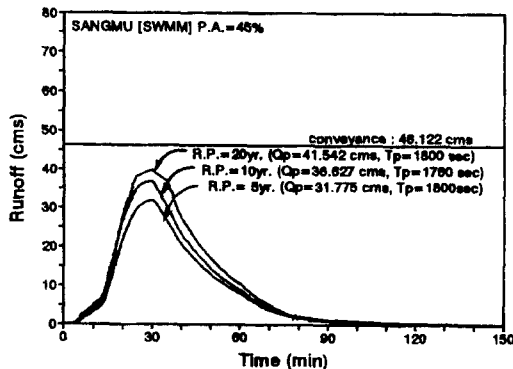


Fig. 6. Outflow hydrograph of Sangmu drainage area by SWMM

불안전한 단면으로 평가할 수 있다.

Table 4와 Fig. 5, Fig. 6에서와 같이 유역면적 12.7 Km^2 중 73%의 불투수면을 갖는 극락천 배수구역의 통수능계수는 재현기간과 유출모형에 따라 0.94~1.37의 값으로 분석되어 재현기간 5년 이하의 강우사상에 대하여는 비교적 안전통수할 수 있으나 재현기간 5년 이상의 강우사상에 대하여는 기존단면이 불안전할 것으로 분석되었다. 반면, 유역면적 3.17 Km^2 중 45%의 불투수면을 갖는 상무 배수구역의 통수능계수는 재현기간과 유출모형에 따라 0.69~1.16의 값으로 분석되어 재현기간 20년 이하의 강우사상에 대하여는 안전통수할 수 있을 것이다. 재현기간 20년 이상의 강우사상에 대하여는 SWMM에서는 0.9, RRL과 ILLUDAS에서는 1.02와 1.16으로 분석되어 기존 단면이 다소 불안전할 것으로 분석되었다.

2. 유출수문곡선과 첨두유출량

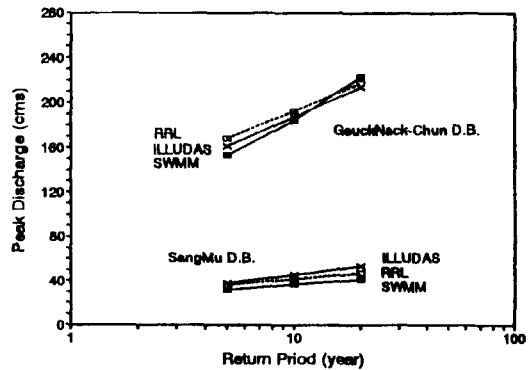


Fig. 7. The peak runoff versus the return period for three runoff models.

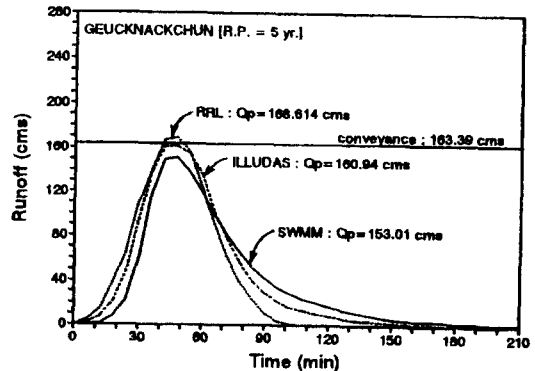


Fig. 8. Outflow hydrograph of Geucknack-chun drainage area. (return period : 5yr.)

광주광역시 극락천 배수구역과 상무 배수구역의 재현기간 5년, 10년, 20년의 확률강우사상에 대하여 RRL, ILLUDAS, SWMM에 의하여 산정된 각 침투 유출량은 Table 4와 같다. 극락천 배수구역의 침투 유출량은 재현기간과 유출모형에 따라 최소 2%, 최대 10%의 차이로 나타나고, 상무 배수구역의 침투 유출량은 최소 5%, 최대 28%의 차이로 나타났다. Fig. 7과 같이 각 유출모형에 의하여 산정된 각 침투

유출량은 다소 차이는 나타나고 있으나 대체로 유사한 크기로 분석되었다.

유출수문곡선은 Fig.8~Fig.10에서와 같이 극락천 배수구역의 침투시간은 거의 일치하고 있으나 유출의 시작과 종료는 RRL, ILLUDAS, SWMM의 순서로서 나타났다. 즉 동일한 시각에 상무부곡선의 유출량은 RRL의 유출량이 더 크게 나타난 반면, 하강부곡선의 유출량은 SWMM의 유출량이 더 크게 나타났다.

3. 도시화 점증에 대한 검토

도시화의 진행은 도시의 미개발지역이 개발되어 지므로 불투수 지표면의 구성비가 점차 증가하게 되며, 이에 따라 유출량도 커지게 되며, 배수구역내의 도시화 진행은 기존 관거의 통수 안전도를 크게 감소시키게 될 것이다. 따라서, 도시화의 진행에 따라 본 연구에서 구분한 소유역의 불투수면이 동일하게 증가한다는 가정 아래, Table 5에서와 같이 극락천 배수구역은 현재 73%의 불투수면 구성비를 78%와 83%로, 상무 배수구역은 현재 45%의 불투수면 구성비를 55%와 65%로 증대될 경우의 침투유출량과 통

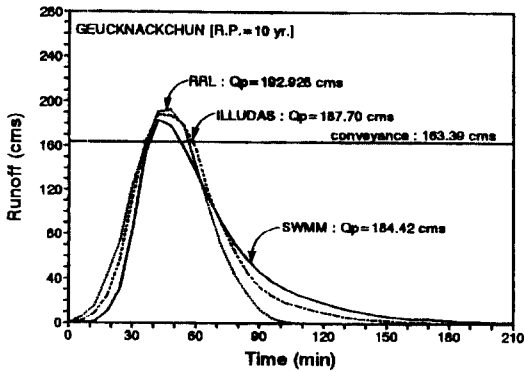


Fig. 9. Outflow hydrograph of Geucknak-chun drainage area. (return period : 10yr.)

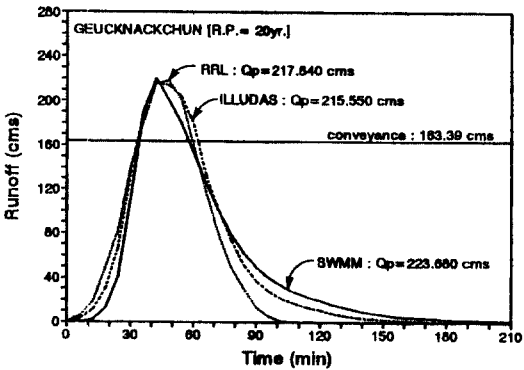


Fig. 10. Outflow hydrograph of Geucknak-chun drainage area. (return period : 20yr.)

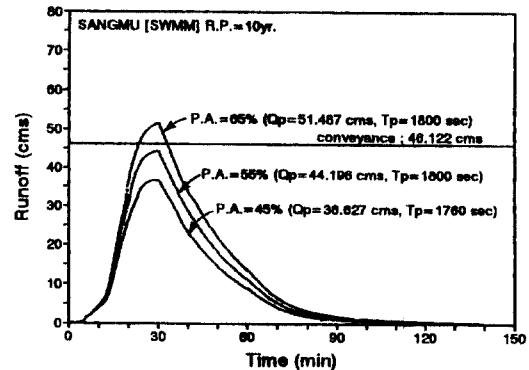


Fig. 11. Outflow hydrograph of Sangmu drainage area to ratio of paved area (SWMM)

Table 5. Conveyance coefficient to ratio of paved area.

Basin	Geuck-nak chun Drainage Basin						Sang-mu Drainage Basin					
	73%		78%		83%		45%		55%		65%	
	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c	PRM (cms)	C _c
Return 5	153.01	0.94	155.79	0.93	157.66	0.96	31.78	0.69	38.32	0.83	44.53	0.97
period 10	184.42	1.13	187.30	1.15	189.20	1.16	36.63	0.79	44.20	0.96	51.49	1.12
(year) 20	223.68	1.37	227.05	1.39	228.86	1.40	41.54	0.90	50.16	1.09	58.57	1.27

수능계수를 이용하여 기존관거의 통수 안전도를 평가하였다.

Table 5에 의하면 극락천 배수구역은 현재 73%의 불투수면의 구성비에서 5%의 증가에 대해 통수능계수가 0.01~0.02의 증가를 나타내고, 10%의 증가에 대해 0.02~0.04의 증가로 나타나는 것으로 분석되었다. 반면에 현재 45%의 상무배수구역은 10%증가에 대해 통수능계수가 0.14~0.19의 증가로 나타내고, 20%의 증가에 대해 0.28~0.37의 증가로 나타나는 것으로 분석되었다.

상무배수구역의 재현기간 10년의 확률강우사상에 대한 불투수면의 구성비 45%, 55%, 65%에 대한 SWMM의 유출해석결과 Fig. 11과 같이 55%의 구성비에서는 안전하였으나 65%에서는 불안전할 것으로 해석된다.

V. 결 론

본 연구에서는 광주광역시 서구의 극락천 배수구역과 상무 배수구역을 대상구역으로 선정하고, 한국 확률강우량도에서 재현기간별 5년, 10년, 20년의 강우강도를 구하여 Huff의 4분위법의 제 2구간강우형으로 분포시켜 작성한 설계우량주상도를 RRL, IL-LUDAS, SWMM의 유출모형에 적용하여 유출해석을 하였으며, 도시의 개발에 의한 불투수지표면의 증가에 따른 유출량을 모의한 결과로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 극락천배수구역은 재현기간별 유출모형에 따라 통수능계수가 0.94~1.37로 분석되어 기존관거로의 통수가 불안전할 것으로 판단되며, 상무배수구역은 0.69~1.16으로 분석되어 통수에 안전할 것으로 판단된다.

2. 유출모형에 따른 침투유출량은 극락천배수구역에서 2~10%의 차이를 나타내고, 상무배수구역에서는 5~28%의 차이로 나타나고 있으나 대체로 유사한 크기로 분석되었다.

3. 현재 불투수면이 73%인 극락천 배수구역은 동일한 면적 증분으로 10%증가할 때 통수능계수는 0.02~0.04

증가하는 반면에 현재 45%의 상무배수구역은 10%증가에 대해 0.14~0.19 증가하며, 20%의 증가에 대해 0.28~0.37 증가하는 것으로 분석되었다.

4. 상무배수구역의 재현기간 10년의 확률강우사상에 대한 불투수면의 구성비 45%, 55%, 65%에 대한 SWMM의 유출해석결과 55%의 구성비에서는 안전하나 65%에서는 불안전할 것으로 해석되었다.

참고문헌

- 1) 강관원, 이은용 : 확정론적 모의기법에 의한 도시유출 해석에 관한 연구, 한국수문학회지, 15(3), 37-47, 1982.
- 2) 한국건설기술연구원 : 지역별 설계강우의 시간적분포, 한국건설기술연구원 연구보고서, 1989.
- 3) 유용남, 전병호, 이종태 : 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발, 한국과학재단 연구보고서(KOSEF 90-0700-05), 1992.
- 4) 이관수, 박성천, 이한민 : 강우-유출모형에 의한 도시하수망의 유출해석, 대한상하수도학회지, 9(1), 107-118, 1995.
- 5) 이종태 : 도시유역의 유출특성과 해석모형의 적용성향상에 관한 연구, 건설교통부 IHP연구보고서, 5.1-5.81, 1995.
- 6) 한국수자원학회 : 제 4회 수공학 워크샵, 한국수자원학회 워크샵교재, 1996.
- 7) 박성천, 류정선 : SWMM에 의한 도시배수구역의 수문학적해석, 동신대학교 공업기술연구 제2호, 53-72, 1996.
- 8) 건설부 : 수자원 관리기법 개발 연구 조사 보고서 (한국 확률강우량도), 1988.
- 9) 광주광역시 : 광주광역시 배수구역도, 1993.
- 10) Jens, S.W. and McPherson, M.B. : Hydrology of urban areas, Section 20, in Handbook of Applied Hydrology, edited by V.T. Chow, 1964.
- 11) Stuart G. Welsh : Urban Surface Water Management, Ed. John Wiley & sons, Inc, 124-133, 1989.
- 12) Huff, F. A. : Time Distribution Characteristics of Rainfall Rates, Water Resources Research, 6(2), 1970.
- 13) Yen, B.C. : Urban Stormwater Hydraulics and Hydrology, W.R.P, 546-547, 1981.
- 14) Zaghoulou, N.A. : SWMM Model and Level of Discretization, Journal of the Hydraulics Division ASCE 107, 1981.