

도시 소하천 개발에 따른 유출 변화량의 모의기법에 관한 연구

김성원·조정석*
영남대학교 토목공학과·대구대학교 토목공학과
(1998년 2월 16일 접수)

A Study on the Simulation Techniques of Runoff Yield Variation due to Urban Small Watershed Development

Sung-Won Kim and Chung-Seok Cho*
Dept. of Civil Engineering, Yeongnam University, Kyeongsan 712-749, Korea
*Dept. of Civil Engineering, Taegu University, Kyeongsan 713-714, Korea
(Manuscript received 16 February 1998)

The objectives of this study is to evaluate the total runoff yield, peak flow and peak flow travel time depending on the urbanization, return period and rainfall patterns at the downstream of Manchon urban watershed in TaeGu City. SWMM(Storm Water Management Model) is used for runoff analysis based on 5 different steps of urbanization and 4 different types of Huff's quartile according to 8 return periods. It is analyzed that the order of total runoff yield according to rainfall patterns is Huff's 4, Huff's 2, Huff's 3 and Huff's 1 quartile, that of peak flow magnitude is Huff's 2, Huff's 1, Huff's 4 and Huff's 3 quartile at present development ratio. under the 60, 70, 80 and 90% of urbanization to the 50% of urbanization by means of the rainfall patterns, the mean increasing ratio of total runoff yield for each case is 4.55, 11.43, 16.07 and 20.02%, that of peak flow is 5.82, 13.61, 17.15 and 18.83%, the mean decreasing ratio of peak flow travel time is 0.00, 2.44, 5.07, and 6.26%, the mean increasing ratio of runoff depth is 4.51, 11.42, 16.02 and 20.05%, respectively. the mean increasing ratio of total runoff yield by means of each return period & Huff's 3 quartile is 4.86, 12.11, 17.14 and 21.56%, that of peak flow is 5.89, 13.97, 17.82 and 19.71%.

Therefore, as the result of this study, it can be used for principal data as to storm sewage treatment and flood damage protection planning in urban small watershed.

Key words : runoff yield, SWMM, return period, urbanization ratio, Huff's quartile, peak flow design storm, rainfall pattern, peak travel time.

1. 서 론

공업화 및 산업화의 계기로 인구의 도시집중화가 진행되었으며 이로 인하여 시가지의 개발이 가속화되면서, 더 많은 토지가 필요하게 되어 도시근교의 구릉이나 계곡이 절취되고, 전답이 매립되어 주택지 또는 상가가 조성되면서 도시화 현상이 급진전되었다. 한편 도시화 및 산업화에 따른 도시 기반시설 및 기본계획들이 사전에 짜임새 있게 미래지향적으로 설계되지 못하고 서민층의 주택 및 상가들이 상대적으로 지가가 낮은 하류부의 하천 저지대에 조성이 되면서 홍수터 잠식 및 불투수면적이 증가하여 도시하천의 하류부에서는 이전에 비해 상대적으로 적은 호우에도 도시홍수피해가 더욱 우려되는 현실이다. 이처럼 도시화 현상이란 인구의 증가에 따른 불투수표면으로 덮인 지역의 비율이 증가되어지는 현상으로 설명할 수 있으며, 자연하천유역과는 상이한

유출현상을 가지게 된다. 이와같은 변화는 생활용수량을 비롯한 각종 소비수량을 증대시킴과 아울러 기후의 변화, 불투수지역의 증대, 표면 조도계수의 감소, 자연보유력의 감소, 홍수 지체시간의 감소, 유출량의 증가, 기저유출의 변화, 수질의 악화 그리고 침투능 및 증발산량의 감소등과 같은 수문현상의 변화를 초래한다. 도시하천에서의 유출해석에 관한 연구로는 윤용남(1992)등이 도시홍수 재해방지를 위하여 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발을 통하여 기존의 도시유출모형들의 실유역적용에 대한 타당성을 검토하였으며, 서병하(1989)등은 도시소규모 단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구에 의해서 ILLUDAS 및 ILSD모델의 적용성을 검토하였으며, 이순탁(1989)은 포항제철 홍수대비 조사 연구를 통하여 포항제철내의 홍수유출 및 배수처리시스템 해석을 위하여 ILLUDAS 모델을 적용한 바 있다. 또

한 이종태(1995)등은 도시구역의 유출특성과 해석모형의 적용성 향상에 관한 연구를 통하여 기존 도시유출모델의 유출해석과정의 타당성 및 적합성을 향상시키기 위한 연구가 있었으며, 조정석(1998)등은 도시구역에서 내수처리분석을 위하여 SWMM모형을 이용하여 강우분포형에 따른 홍수유출특성을 분석하였으며, 본 연구분야는 많은 과학자들에 의해서 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 도시소하천의 유출량해석을 위하여 기존의 도시홍수 유출모형중에서 미국 및 국내에서의 적용을 통하여 검증받은 도시구역의 유출 및 오염물 배출현상을 정량적으로 모의하는 것으로 나타난 1971년 미국 EPA(the U.S. Environmental Protection Agency)의 지원아래 Metcalf & Eddy사가 Florida 대학 및 W.R.E.와의 공동연구로 개발한 SWMM (Storm Water Management Model) Ver. 4.2를 이용하여, 도시 소하천구역에서의 개발정도에 따른 총유출량과 침투유출량, 침투발생시간 및 유출고의 변화정도를 각 재현기간별 설계강우량에 의해 산정하고 강우의 각 분포형별로 유출수문곡선의 변화를 분석함으로써, 도시구역에서의 우수처리시설, 하수처리시설 및 수해방지 대책의 수립시에 있어서 기본자료로 제공하는 것을 본 연구의 목적으로 하고있다.

2. 적용모형이론

본 연구에서는 도시소구역의 유출현상을 모의하기 위하여 SWMM(Storm Water Management Model)을 이용하였으며, SWMM은 도시구역내에서 강우로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량산정, 오염물질의 처리와 비용계산등을 모의할 수 있는 종합적인 모형으로 우리나라 도시구역에서의 적용성을 많은 과학자들에 의하여 검토되었다. 본 연구에서는 SWMM에서의 RUNOFF 블록을 사용하여 유출을 해석하였으며, 그 이론은 다음과 같다.

2.1 유출해석

2.1.1 지표면유출 해석

RUNOFF블록에서 지표면유출을 위한 기본방정식은 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 kinematic wave근사법인 비선형저류방정식이 사용된다. RUNOFF블록은 각 소유역에서의 수심과 유량을 결정하기 위하여 연속방정식과 Manning방정식을 이용한다. kinematic wave근사법은 배수영향이 큰 경우에는 적합하지 않으며, 급경사, 완만한 홍수파의 상승구간에는 적용이 가능하다. 계산을 수행하는 데는 상류부 경계조건만이 필요하고, 각 수로요소는 다른 요소에 대해 독립적인 계단형수로로 가정하며, 이때 각 소유역의 연속방정식은 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = A \cdot i - Q \tag{1}$$

여기서, V는 소유역상의 흐름체적(=A·d)이고, A는 수심(m), i는 초과강우량(m/sec), Q는 유출량(cms)이다.

RUNOFF 블록에서 지표면유출은 유역면적을 광폭으로 보아 수리반경이 수심과 같다는 가정아래 유출량을 Manning의 공식으로 나타내면 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, W는 소유역의 폭(m), n은 Manning의 조도계수, d_p는 지면저류심(m), S는 소소유역 경사(m/m)이다. 미지의 값 d를 계산하기 위하여 식(2)를 식(1)에 대입하여 정리한 비선형 저류방정식은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta d}{\Delta t} &= i - \frac{W}{A \cdot n} (d - d_p)^{5/3} \cdot S^{1/2} \\ &= i + R \cdot (d - d_p)^{5/3} \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, R = $-\frac{W \cdot S^{1/2}}{A \cdot n}$ 이고, 유역폭, 경사, 조도계수 등을 하나로 표현한 변수로서 유역의 특성에 따라 변화하는 유역특성인자이다. 수공구조물에 관한 특성인자로는 웨어계수, 웨어길이(notch각)등이며, 오리피스는 오리피스 계수와 단면적등으로 구성될 수 있다. 식(3)은 비선형 미분방정식이며, 이로부터 수심 d를 구하기 위한 유한차분방정식은 다음 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d_{n+1} - d_n}{\Delta t} = i + R \left[d_n + \frac{1}{2} (d_{n+1} - d_n) - d_p \right]^{5/3} \tag{4}$$

여기서, n은 전시간, n+1은 현재시간을 의미하고 있으며, 이 방정식은 Newton-Raphson의 시산법을 사용하여 연속적으로 수심 d_{n+1}를 결정하여 유출량을 연속적으로 계산해 나간다. 여기서 불투수역과 투수역에서는 따로 R에 의하여 유출량이 계산된다. Newton-Raphson 반복법을 사용하여 식(4)에서 d_n을 계산하기 위하여 식(5)와 같이 Newton함수를 구성한다.

$$F = \Delta d - \Delta t [i_e + R d_{ave}^{5/3}] \tag{5}$$

여기서, d_{ave} = $d_1 + \frac{\Delta d}{2} - d_p$ 이고, i_e = i - f로서 침투로 인한 손실이다. 식(5)를 미분하면 다음 식(6)과 같이 나타낼 수 있으며, Δd_{n+1}값을 계산하기 위하여 Newton-Raphson 반복법을 사용하여 식(7)과 같이 나타낼 수 있다. 반복 계산과정에서 F_n이 0에 수렴하는 Δd값으로부터 (n+1)단계에서의 수심 d_{n+1}이 계산되며, 식(2)로부터 지표면유출량 Q를 계산한다.

$$\frac{dF}{d(\Delta d)} = 1 - \frac{5}{6} R d_{ave}^{2/3} \Delta t \tag{6}$$

$$(\Delta d)_{n+1} = (\Delta d)_n - \frac{F_n}{dF_n / d(\Delta d)} \tag{7}$$

2.1.2 관로유출 해석

RUNOFF블록에서의 관로유출은 비선형 저류방정식으로부터 계산되며, 방정식의 해를 구하기 위하여 모형 개발초기에는 수정 Euler방법을 사용하였으나, 보다 안정된 해를 얻기위해 Newton-Raphson방법으로 대체되었다. Manning식이 각 직분 연산구간에서 사용되며, 유출현상의 동역학적 거동은 준정상(Quasi-steady)상태로 근사 처리하였다. 이 방법은 수심 d와 단면적 A가 시간에 따라 급하게 변화하지 않는 경우에 그 적용성이 크

Table 1. Design storm for frequency analysis with each distribution type (2hr duration) (Unit : mm)

Distribution Type Return Period(year)	SLA	GUC	IWA	LN2	LN3	PT3	T1E	LP3
2.33	40.5	42.4	39.6	40.3	40.6	39.4	43.1	39.4
5	52.9	52.8	52.6	53.0	53.3	52.5	55.7	52.3
10	61.0	61.2	61.9	61.4	61.4	61.5	65.9	61.8
20	68.6	69.3	71.1	69.2	68.9	70.2	75.7	71.4
30	73.9	74.2	77.2	73.7	73.2	75.2	81.3	77.3
50	78.3	79.8	83.5	79.3	78.4	81.4	88.3	84.9
80	83.2	85.2	90.1	84.4	83.1	87.0	94.8	92.2
100	85.6	87.7	93.3	86.8	85.3	89.7	97.8	95.8

* SLA: Slade Distribution, GUC : Gumbel-Chow Distribution, IWA : IWAI Distribution, LN2: 2 Parameters Log Normal Distribution, LN3 : 3 Parameters Log Normal Distribution, PT3: Pearson Type-III Distribution, T1E : Type-I Extreme Distribution, LP3 : Log Pearson Type-III Distribution

Table 2. Design storm for duration and return period analysis with Type- I Extreme distribution (Unit:mm)

Duration(hr) Return Period(year)	1	2	4	6	8	10	12	24
2.33	30.0	43.1	58.9	68.3	77.4	84.6	91.3	113.3
5	39.1	55.7	79.4	93.6	109.5	121.6	129.4	155.5
10	46.5	65.9	96.1	114.2	135.7	149.9	160.4	189.8
20	53.6	75.7	112.2	134.0	160.8	178.0	190.1	222.8
30	57.7	81.3	121.4	145.4	175.3	194.2	207.2	241.8
50	62.8	88.3	132.9	159.6	193.3	214.4	228.6	264.5
80	67.4	94.8	143.5	172.6	209.9	232.9	248.2	287.1
100	69.7	97.8	148.5	178.8	217.7	241.7	257.5	297.4

다. 관로유출에서 각 시간간격사이에서 정상류라는 가정하에 식(8) 및 (9)와 같이 연속방정식과 Manning공식이 사용된다.

$$\Delta V = \Delta t (Q_i + Q_w + Q_{GW} - Q) \quad (8)$$

$$Q = \frac{A}{n} S^{1/2} R^{2/3} \quad (9)$$

여기서, Q_w 는 측방유입량, Q_{GW} 는 지하수유입량이다. Q 는 d_n 과 d_{n+1} 평균값을 이용하여 Manning 공식으로 구한다. 관로에서도 표면유출에서와 같이 비선형방정식인 식(8)과 식(9)를 풀이하기 위해 Newton-Raphson 반복법을 사용하며, 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \Delta V + \Delta t (Q - Q_i - Q_w - Q_{GW}) \quad (10)$$

여기서, Q 는 유출량, Q_i 는 유입량이고, ΔV 와 Q 는 d_n 과 d_{n+1} 으로 나타낼 있으며, 식(10)으로부터 Δd 의 도함수를 구한다. 또한 $(\Delta d)_{n+1}$ 의 값을 얻기위해 식(7)을 이용하며 Newton-Raphson 반복법을 적용한다. 그리고 F_n 의 값이 0으로 수렴하는 $(\Delta d)_{n+1}$ 의 값을 구하며, $(\Delta d)_{n+1}$ 값을 이용하여 식(9)로부터 유량 Q 를 구한다. 여기서 구한 Q 값은 다음 단계에서의 유입량이 되며 이러한 연산과정은 하류부 수로의 끝까지 반복된다.

3. 설계강우량

3.1 설계강우량의 산정

본 연구에서는 대상하천이 대구광역시 수성구에 위치한 만촌천 하류유역이므로, 대구지역의 30년(1965~1995년)간의 연간 지속시간별 최대치 강우자료를 이용하여 수문자료 해석에 적합하다고 알려진 Slade, Gum-

bel-Chow, IWAI, 2 Parameters Log-normal, 3 Parameters Log-normal, Type- I Extreme, Pearson Type-III, Log-Pearson Type-III의 8가지 확률분포형을 적용하여 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하고 각 확률분포형의 매개변수 적합성을 조사하였다. 또한 χ^2 검증, Kolmogorov-Smirnov검증등으로 적합도검증을 실시하였다. 이와같은 단계를 거쳐서 각 지속시간별로 분석결과 대구지방에 대한 최적분포형으로 Type- I Extreme 분포형으로 나타났으며, 이에따른 재현기간(2.33, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100년)별 설계강우량을 산정하였다. Table 1은 각 확률분포형에 대한 2시간 지속시간별 설계강우량을 나타낸 것이며, Table 2는 Type- I Extreme에 의한 각 지속시간별 설계강우량을 나타내고 있다.

3.2 설계강우량의 시간적분포

국내의 경우 하수도시설기준(1992)에 의하면 설계강우의 지속시간에 대한 기준이 미흡한 실정이며, 현재 서울특별시, 부산, 대구광역시등과 같은 대도시에서는 하수도의 설계시에 있어서 120분 강우량을 채택하고 있다. 따라서 본 연구에서는 도시수문량해석에서 가장 적절하다고 조사된 120분 지속시간을 기준으로 결정하였고, 각 분포형에 따른 120분 설계강우량은 Table 1에 제시되어 있으며, 과거 강우사상의 통계적 특성값을 고려하는 Huff's의 4분위법에 의한 분포를 사용하였다. 기왕의 연구조사에 의하면 우리나라 대구·경북권 지역에서 발생한 강우중 Huff's의 4분위중 3분위에 해당하는 강우분포가 가장 많았으며 이를 적정 시간분포형으로

Table 3. Rainfall distribution pattern by Huff's Quartile (probability of occurrence-50%)

Huff's Quartile Duration(%)	1st	2nd	3rd	4th
.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.1	0.5	0.9	1.8
20.0	3.3	9.6	20.1	27.8
30.0	5.1	13.1	25.7	33.9
40.0	10.1	21.2	40.1	44.3
50.0	16.9	29.5	46.7	51.7
60.0	38.0	50.1	58.9	66.1
70.0	59.7	70.7	72.3	83.8
80.0	78.3	89.7	86.0	91.3
90.0	90.6	94.6	95.6	98.8
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 4. Mean land use in Manchon urban catchment

Index		Ratio(%)
House	Independent House, Apartment House	44.0
Commercial Area	Core & General Commercial Building	
Industrial Area	Factory, Plant, Manufactory	
Pavement Road	Downtown main road, Fire road	10.0
Forest Land	Orchard, Mountain, Forest	45.0
Stream Channel	Lowflow Channel	1.0
Total		100.0

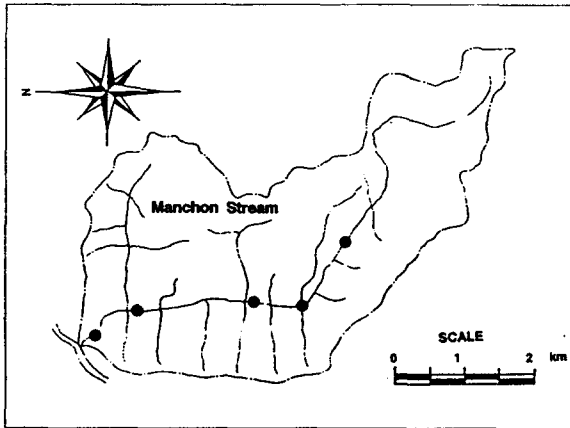


Fig. 1. Schematic map of Manchon urban catchment.

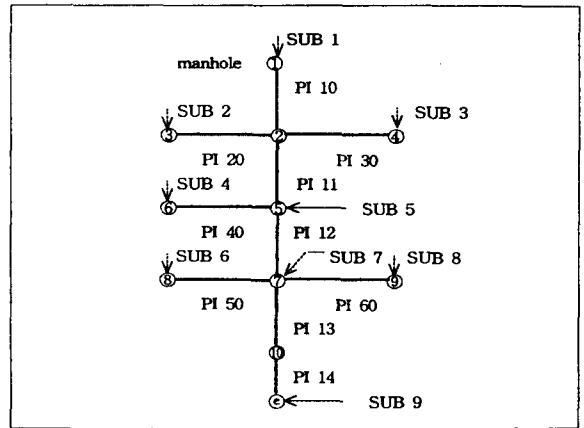


Fig. 2. Pipe network schematic diagram of Manchon urban catchment.

제안하고자 하나, 도시강우현상이 순간적으로 집중발생하여 큰 피해를 입히는 점을 고려하여 본 연구에서는 4가지 분포형에 대해 모두 적용을 하여 각 분포형별로 유출변화양상을 분석하고자 한다. 다음 Table 3는 Huff's의 4분위법에 대하여 생기확률 50%에 해당하는 강우분포양상을 나타낸 것이다.

4. 적용유역 및 분석

4.1 대상유역

본 연구의 대상유역인 범어천유역의 지류인 만촌천유역은 대구광역시 수성구 일대로서 대구시의 동남부에

위치하고 있으며, 도시화가 촉진되어 광범위한 주거 및 상가지역이 조성되어 있거나 일부는 대단위 아파트 지역으로 개발되어 있다. 만촌천유역을 포함한 범어천유역에서의 지형과 지세에 있어서 상류유역인 범물동, 지산동, 황금동은 지봉산을 비롯한 비교적 높은 산지와 경계하고 있어 지표면 경사가 매우 급한 지세를 이루고 있으나 신천우안과 접하고 있는 중·하류 유역은 대부분 지표면 경사가 완만하고 하도의 경사도 완만하여 집중호우시에는 홍수배제가 불량한 평지부로 형성되어 있다. 본 연구대상유역인 만촌천유역의 유역면적은 515ha의 유역으로 대략 주거지인 건물 및 포장지역, 포

Table 5. Basin & pipe network data of Manchon urban catchment

Subbasin Pipe Number	Upper Manhole Number	Lower Manhole Number	Basin Area (ha)	Impervious Ratio (%)	Basin Slope(%)		Pipe Length (m)	Pipe Slope (%)	Pipe Cross Section (m)	
					Impervious	Pervious			Width	Height
SUB 1 PI 10	①	①	250.00	34.00	0.657	0.730	1,800.0	0.710	18.34	2.30
SUB 2 PI 20		②								
SUB 3 PI 30	③	③	35.00	54.29	1.287	1.430	600.0	1.21	18.23	2.10
SUB 4 PI 11		②								
SUB 5 PI 40	④	④	20.00	85.00	0.990	1.100	600.0	1.08	18.45	2.20
SUB 6 PI 12		②								
SUB 7 PI 50	⑤	⑤	27.00	96.30	1.242	1.380	710.0	1.01	18.12	2.10
SUB 8 PI 60		⑤								
SUB 9 PI 13	⑥	⑥	8.00	98.99	0.513	0.570	410.0	0.32	18.09	2.00
SUB 10 PI 14		⑦								
SUB 11 PI 14	⑧	⑧	11.00	95.45	3.195	3.550	380.0	2.23	18.22	2.20
SUB 12 PI 14		⑦								
SUB 13 PI 14	⑨	⑨	5.00	97.87	0.306	0.340	920.0	2.57	18.55	2.10
SUB 14 PI 14		⑩								
SUB 15 PI 14	⑩	⑩	109.00	55.96	2.772	3.080	1,200.0	0.56	18.32	2.10
SUB 16 PI 14		⑩								
SUB 17 PI 14	⑩	⑩	53.00	88.68	0.648	0.720	50.0	0.27	18.22	2.20
SUB 18 PI 14		⑩								

Table 6. Total runoff yield on urbanization steps by the rainfall patterns (return period - 20 years)

Urbanization Ratio(%)	Huff's 1(m ³)	Huff's 2(m ³)	Huff's 3(m ³)	Huff's 4(m ³)	Mean Variation(%)
50	289,000	291,000	290,000	294,000	-
60	303,000	304,000	303,000	307,000	4.55
70	323,000	324,000	323,000	327,000	11.43
80	337,000	338,000	336,000	340,000	16.07
90	348,000	349,000	348,000	352,000	20.02

장도로, 임야 및 담과 하천수로 이루어져 있다. 본 연구대상유역의 유역도는 Fig. 1과 같고, 대상유역의 관망모식도는 Fig. 2와 같다. 또한 만촌천유역의 평균토지이용현황은 Table 4, 유역특성 및 관거의 제원은 Table 5와 같이 나타내었다.

4.2 모형의 적용

도시화 단계가 증가하는 것은 대상유역의 녹지면적은 점차 감소하고 불투수(포장)면적비율이 증가하는 것을 의미하며 이에 따른 표면경사와 포장지역길이도 증가하는 것을 의미한다. 최근의 연구동향을 살펴보면 도시유역의 개발정도를 유출계수의 증가로 구분하여 유출계수의 증가에 따른 재현기간별 및 토지이용단계별로 수문모형에 의한 유역수문응답을 해석하고 있다.(이정식 등, 1995). 본 연구에서는 적용 대상유역의 특성을 고려하여 만촌천유역의 중·하류부의 주택지 및 시가지 부분은 거의 개발이 완료된 상태이기 때문에 재개발에 따른 배수시설의 재설치나 배수불량구간에 대해 정비가 이루어지고 있으나 전체적인 포장, 비포장면적비율에는 거의 변동이 없다 따라서 본 대상유역에서는 상류부의

택지개발에 의한 도시화가 진행되었다고 가정할 때 이들 개발의 진척상황에 따라 기존의 시가지 면적(279ha)을 고려하여 50%로 정하고 이를 기준으로 하여 전체면적(515ha)에서 개발되는 부분이 차지하는 면적비율로 도시화단계별 60, 70, 80, 90%로 정하였다. 다음으로 도시화단계별로 각 재현기간별, 각 강우분포형별 수문곡선의 형태 및 유출용적, 첨두유출량의 크기, 첨두발생시간 및 유출고를 산정하여 도시화에 따른 유출량의 변화정도를 상대적인 크기비교로 분석·제시하였다.

5. 비교분석 및 고찰

5.1 강우분포형에 따른 도시화단계별 유출해석

본 연구에서는 강우분포형에 따른 도시화단계별 유출해석을 재현기간(2.33, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100년)별로 실시하였고, 여러 재현기간중 도시하천에서 하천시설물의 안전과 치수방재면에서 가장 많이 고려되기 시작한 20년 빈도에 의해서 만촌천유역 출구지점에서 4가지 강우분포형에 대해 각각 도시화 단계별로 총유출량을 산정한 결과를 보면 다음 Table 6과 같다.

각 도시화 단계별공통으로 Huff's 4분포형에서 최대

Table 7. Q_p & T_p calculation on urbanization steps by the rainfall patterns (return period - 20 years)

Urbanization Ratio(%)	Huff's 1		Huff's 2		Huff's 3		Huff's 4		Mean Variation(%)	
	Q_p (cms)	T_p (min)	Q_p (cms)	T_p (min)	Q_p (cms)	T_p (min)	Q_p (cms)	T_p (min)	Q_p	T_p
50	67.489	95	71.088	95	50.415	100	55.213	105	-	-
60	71.456	95	75.272	95	53.371	100	58.323	105	5.82(Δ)	0.00(∇)
70	76.636	95	80.815	95	57.430	95	62.540	100	13.61(Δ)	2.44(∇)
80	79.087	90	83.267	90	59.279	95	64.435	100	17.15(Δ)	5.07(∇)
90	80.553	90	84.230	90	60.042	95	65.358	95	18.83(Δ)	6.26(∇)

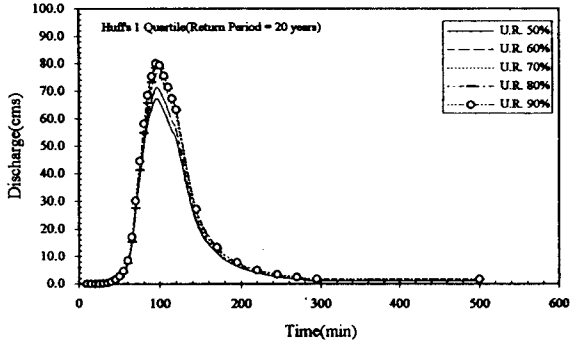


Fig. 3(a). Hydrograph on urbanization steps by Huff's 1 rainfall pattern.

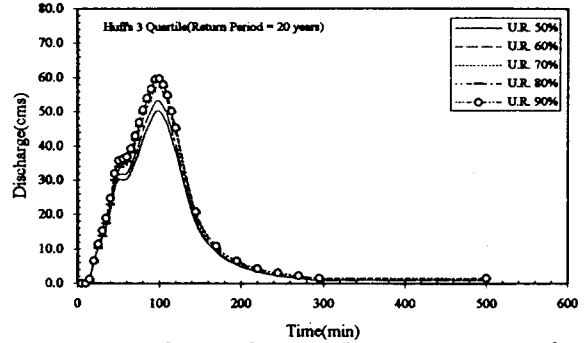


Fig. 3(c). Hydrograph on urbanization steps by Huff's 3 rainfall pattern.

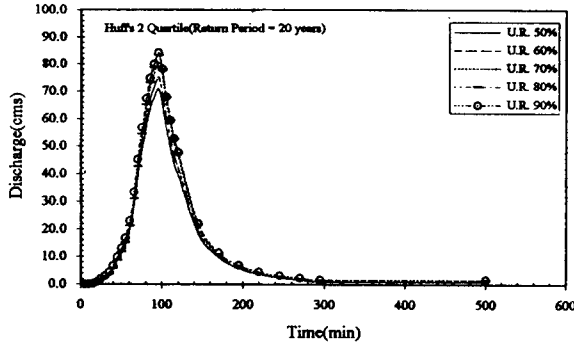


Fig. 3(b). Hydrograph on urbanization steps by Huff's 2 rainfall pattern.

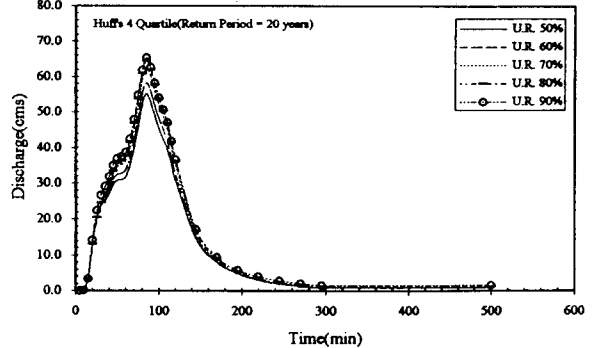


Fig. 3(d). Hydrograph on urbanization steps by Huff's 4 rainfall pattern.

값을 나타냈으며 다음순으로는 Huff's 2 분포이고, Huff's 1분포와 Huff's 3분포는 개발율 60, 70, 90%에서는 같은 총유출량을 나타내고 있으나, 50%에서는 Huff's 3분포, 80%에서는 Huff's 1분포가 총유출량이 많은 것으로 분석되었다. 또한 강우분포형에 따른 유출양상은 재현기간 20년, Huff's 3분포형, 도시화단계 50%를 기준으로 할 때 총 유출량은 약 290,000 m^3 로 산정되었으며 도시화단계가 60, 70, 80, 90%로 진행되면서 총유출량의 평균증가율은 약 4.55, 11.43, 16.07, 20.02%로 나타났다. 일반적으로 총유출량에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 적용 유역면적의 크기인 점을 고려하면 본 적용유역의 경우 면적자체에는 변동이 없으므로 총유출량에는 약간의 증가만 나타났다. 다음 Table 7은 재현기간 20년에 대하여 강우분포형에 따른 도시화단계별 첨두유량의 크기와 첨두발생시간을 산정하여 정리한 것이다. 도시화단계 50%를 기준으로 볼 때

Huff's 2분포형에서 최대값으로 첨두유량은 71.088 cms와 첨두발생시간은 95min으로 나타났으며, 그 다음으로 Huff's 1분포, Huff's 4분포, Huff's 3분포의 순으로 나타났다. 또한 강우분포형에 따른 유출양상은 도시화단계가 60, 70, 80, 90%로 진행되면서 첨두유출량은 약 5.82, 13.61, 17.15, 18.83%로 증가하고, 그와는 반대로 첨두발생시간은 0.00, 2.44, 5.07, 6.26%정도로 점차로 빨라지는 것으로 분석되었다. 다음 Fig. 3(a)~(d)는 재현기간 20년에 대하여 도시화단계에 따른 유출수문곡선의 변화양상을 Huff's의 각 강우분포형별로 나타낸 것이다.

5.2 재현기간에 따른 도시화단계별 유출해석

본 연구에서의 재현기간 선정에 있어서 도시하천에서 주로 다루는 2.33년, 5년, 10년, 20년, 30년은 물론 도시유역의 개발에 따른 유출량증가 및 하천구조물의 안

Table 8. Total runoff yield on urbanization steps by the return periods (Huff's 3 rainfall pattern)

Urbanization Ratio(%)	Return Period(Year, m ³)								Mean Variation(%)
	2.33	5	10	20	30	50	80	100	
50	135,000	193,000	242,000	290,000	317,000	352,000	383,000	399,000	-
60	145,000	204,000	254,000	303,000	331,000	367,000	398,000	414,000	4.86
70	160,000	221,000	273,000	323,000	351,000	388,000	420,000	435,000	12.11
80	171,000	234,000	286,000	336,000	365,000	401,000	434,000	450,000	17.14
90	182,000	245,000	297,000	348,000	377,000	413,000	445,000	461,000	21.56

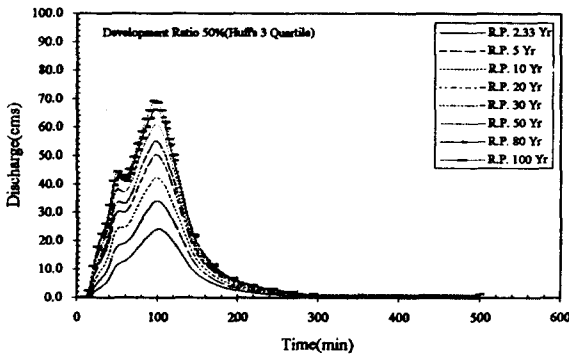


Fig. 4(a). Hydrograph on each return period by urbanization step 50%.

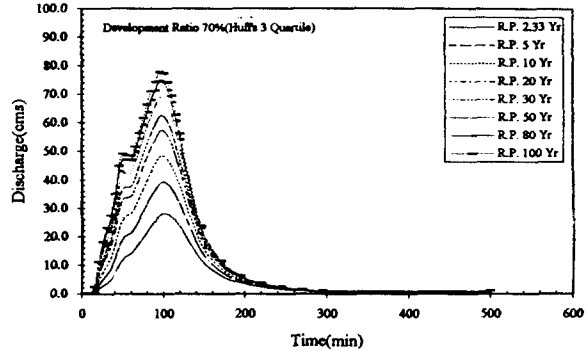


Fig. 4(c). Hydrograph on each return period by urbanization step 70%.

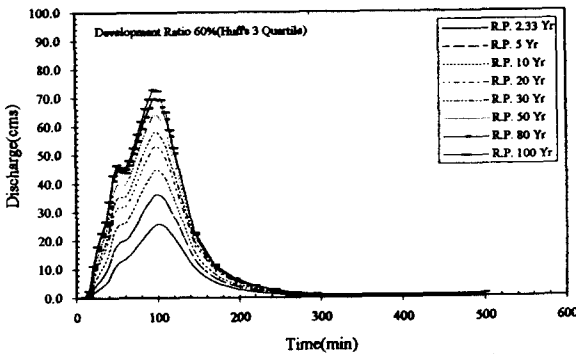


Fig. 4(b). Hydrograph on each return period by urbanization step 60%.

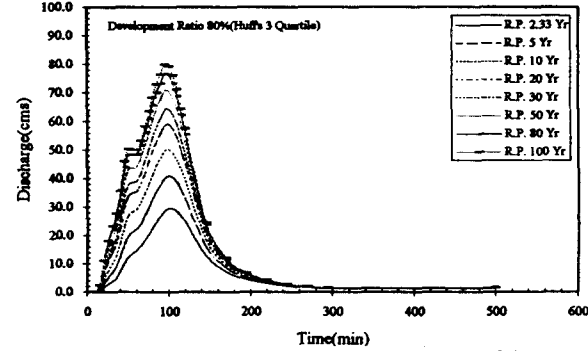


Fig. 4(d). Hydrograph on each return period by urbanization step 80%.

정성확보와 치수방재 측면에서 설계빈도를 100년까지 설정하여 검토를 하고자 한다. 다음 Table 8은 4가지 강우분포형중에서 기왕의 연구결과에 의하여 대구·경북지역에 가장 많이 기록된 Huff's 3분포형에 대하여 8가지의 재현기간에 따른 각 도시화단계별로 총유출량을 산정한 것이다.

기준인 도시화단계 50%에서 2.33년의 빈도에 대해 총유출량은 135,000m³에서 점차 증가율이 감소하면서 증가하여 100년 빈도에 대하여 399,000m³으로 산정되었다. 각 재현기간에 대하여 도시화단계가 60, 70, 80, 90%로 진행되면서 총유출량의 평균유출량은 약 4.86, 12.11, 17.14, 21.56%로 산정되었다. 또한 도시화가 진행되면서 각 재현기간별 첨두유출량의 평균증가율은 Table 9에서와 같이 도시화단계 60, 70, 80, 90%의 경우 각각 5.89, 13.97, 17.82, 19.71%로 나타났다. 또한 첨두발생시간은 대부분의 재현기간들에 대하여 약 95min부근에서 나타났으나, 재현기간이 80년과 100년

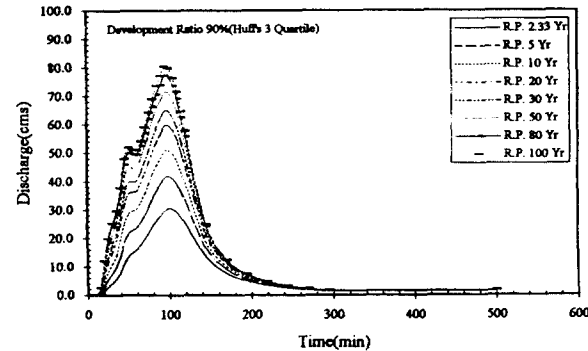


Fig. 4(e). Hydrograph on each return period by urbanization step 90%.

및 개발율이 80%이상인 경우는 첨두발생시간이 약 5min정도 단축되는 것으로 나타났다. 한편 Huff's의 다른 3가지 강우분포형에 대해서도 이러한 양상은 비슷하

Table 9. Peak flow on urbanization steps by the return periods (Huff's 3 rainfall pattern)

Urbanization Ratio(%)	Return Period(Year, cms)								Mean	
	2.33	5	10	20	30	50	80	100	Variation(%)	
50	24.138	34.075	42.372	50.415	55.288	61.213	66.637	69.593	-	
60	25.763	36.255	44.967	53.371	58.452	64.606	70.227	73.296	5.89	
70	28.058	39.303	48.561	57.430	62.770	69.203	75.063	78.267	13.97	
80	29.438	40.921	50.310	59.279	64.669	71.145	77.045	80.274	17.82	
90	30.525	41.862	51.145	60.042	65.399	71.835	77.712	80.930	19.71	

Table 10. Runoff depth & runoff coefficient on urbanization steps by the rainfall patterns (return period - 20 years)

Urbanization Ratio(%)	Huff's 1		Huff's 2		Huff's 3		Huff's 4		Mean	
	Depth (mm)	Runoff Co.(%)	Depth	Runoff Co.(%)	Depth	Runoff Co.(%)	Depth	Runoff Co.(%)	Variation(%)	
50	56.1	74.1	56.5	74.6	56.3	74.4	57.1	75.4	-	-
60	58.8	77.7	59.0	77.9	58.8	77.7	59.6	78.7	4.51	3.38
70	62.7	82.8	62.9	83.1	62.7	82.8	63.5	83.9	11.42	8.53
80	65.4	86.4	65.6	86.7	65.2	86.1	66.0	87.2	16.02	11.98
90	67.6	89.3	67.8	89.6	67.6	89.3	68.3	90.2	20.05	14.98

게 나타났다. 다음 Fig. 4(a)~(e)는 Huff's 3분포형에 대해 각 도시화단계별로 재현기간(2.33, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100년)에 대한 유출수문곡선을 나타낸 것이다.

5.3 도시화단계별에 대한 유출고의 변화량산정

각 도시화단계별로 강우분포형과 재현기간을 달리하여 만촌천 전체유역면적인 515ha에 대해 강우분포형에 따라서 각 도시화단계별로 유출고변화 및 유출율을 산정하였으며, 다음 Table 10과 같이 나타내었다. 기존의 개발상태인 도시화단계 50% 단계에서 총유출량이 가장 크게 나타난 Huff's 4분포형에 대해 살펴보면 20년 재현기간의 경우에 설계강우량은 Type-1 Extreme 분포에 의해 75.7mm이며, 총유출량은 294,000m³를 전체유역면적 515ha에 적용하면 유출고가 약 57.1 mm로 나타나서 유출율이 거의 75.4%에 이른다. 이것은 도시화된 지역에서 지표면의 대부분이 불투수포장면적으로 구성되어 있기 때문이다. 따라서 도시화단계가 60, 70, 80, 90%로 증가하면 유출율이 78.7, 83.9, 87.2, 90.2%에 이르러 초기손실을 고려하면 거의 대부분이 유출되는 양상으로 나타났다. 기왕의 연구에 의하면 도시화가 거의 완료된 지역의 아스팔트 포장지역의 경우 유출계수가 약 0.91정도인 점으로 보아서 대규모 아파트단지 조성되면서 효율적인 토지이용 측면만을 고려한 건물배치로 대부분의 공간이 콘크리트나 아스팔트로 포장되어 있는 상황이므로 예측치 못한 유출량의 갑작스런 증가로 순식간에 홍수피해를 당할 우려가 큼을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 대구광역시 수성구에 위치한 만촌천 도시소유역을 대상으로 하여 이 유역의 개발로 인하여 총유출량과 침투유량, 침투발생시간 및 유출고의 변화 정도를 도시화 단계별로 나누어 살펴봄으로써 만촌천유

역의 우수 및 하수처리시설, 수해방지 대책수립에서의 기본자료로 사용할 수 있도록 하고자 한다. 따라서 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1) 본 연구에서 만촌천 연구대상유역의 연간 지속시간별 최대치 강우자료의 빈도분석결과 Type-1 Extreme분포형이 가장 적합하고, 강우의 시간적분포는 Huff's의 4분위법중에서 Huff's 3분포형이 가장 적정한 것으로 분석되었으며, 만촌천 도시유역에서는 재현기간 20년, 지속시간 120분을 설계강우량의 기준으로 하였다.

2) 재현기간 20년, 도시화단계 50%를 기준으로 Huff's의 강우분포형에 따른 도시화단계 60, 70, 80, 90%에 대한 총유출량의 평균증가율은 4.55, 11.43, 16.07, 20.02%로 나타났으며, 침투유량의 평균증가율은 5.82, 13.61, 17.15, 18.83%, 침투발생시간의 평균 감소율은 0.00, 2.44, 5.07, 6.26%로 나타났다.

3) Huff's 3분포형, 도시화단계 50%를 기준으로 재현기간(2.33, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100년)에 따른 도시화단계 60, 70, 80, 90%에 대한 총유출량의 평균증가율은 4.86, 12.11, 17.14, 21.56%로 나타났으며, 침투유량의 평균증가율은 5.89, 13.97, 17.82, 19.71%으로 나타났다.

4) 재현기간 20년, 도시화단계 50%를 기준으로 Huff's의 강우분포형에 따른 도시화단계 60, 70, 80, 90%에 대한 유출고의 평균증가율은 4.51, 11.42, 16.02, 20.05%로 나타났으며, 유출율의 평균증가율은 4.52, 11.42, 16.05, 20.07%로 나타났다. 따라서 유역의 초기손실을 고려하면 대부분의 강우량이 유출되는 양상으로 나타났다.

참 고 문 헌

범어천 하천정비기본계획 변경 보고서, 1993, 대구광역시 수성구.

- 범어천 기존암거 통수단면 및 대책방안 조사연구, 1996, 대구광역시 수성구.
- 서병하, 전병호, 이홍래, 김형우, 1989 : 도시소규모 단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구. 연구보고서, 한국토지개발공사.
- 원석연, 윤용남, 1993 : 도시유역의 홍수량산정을 위한 도시유출모형 연구. 대한토목학회 논문집, 제 13권, 제 5호, 135~146pp.
- 윤용남, 전병호, 이종태, 1992 : 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발. 연구보고서, KOSEF 90-0700-05, 한국과학재단.
- 이순탁, 1989 : 포항철강 홍수대비 조사연구. 연구보고서, 포항철강공업관리공단.
- 이정식, 이재준, 김규호, 오석호, 1995 : 도시유역에서 지체저류시설의 수문학적 설계에 관한 연구. 한국수자원학회지, 제 28권, 제 2호, 159~173pp.
- 이종태, 윤세의, 1995 : 도시유역의 유출특성과 해석모형의 적용성향상에 관한 연구. 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설교통부.
- 조정석, 김성원, 1998 : 도시화유역에서 내수처리분석을 위한 강우분포형별 홍수유출특성, 대구대학교 과학기술연구소 과학기술연구, 제 6집 제 1호.
- 하수도 시설기준, 1992, 건설교통부.
- 하천시설기준, 1993, 건설교통부.
- B.C. Yen, 1982 : Urban stormwater hydraulics and hydrology, Water Resources Publications Co.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., 1988 : Applied hydrology, McGraw-Hill Book Co.
- Huber, W. C., Heaney, J. P., Nix, S. J., Dickonson, R. E., and Polman, D. J., 1992 : Storm Water Management Model, User's manual, Version 4. 2, U.S. Envir. Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Vijay P. Singh, 1995 : Computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications Co.