

Estimation of runoff coefficient through impervious covers analysis using long-term outflow simulation

장기유출 모의를 통한 도시구역 불투수율에 따른 유출계수 변화

Young-Ran Kim^{1*} · Sung-Hwan Hwang²

김영란^{1*} · 황성환²

¹Department of Safety and Environment Research, Seoul Institute · ²Urban Flood Research Institute, Universe of Seoul

Abstract : The changes of rainfall pattern and impervious covers have increased disaster risks in urbanized areas. Impervious covers such as roads and building roofs have been dramatically increased. So, it is falling the ability safety of flood defense equipments to exist. Runoff coefficient means ratio of runoff by whole rainfall which is able to directly contribute at surface runoff during rainfall event. The application of accurate runoff coefficients is very important in sewer pipelines design.

This study has been performed to estimate runoff characteristics change which are applicable to the process of sewer pipelines design or various public facilities design. It has used the SHER model, a long-term runoff model, to analyze the impact of a rising impervious covers on runoff coefficient change. It thus analyzed the long-term runoff to analyze rainfall basins extraction. Consequently, it was found that impervious surfaces could be a important factor for urban flood control. We could suggest the application of accurate runoff coefficients in accordance to the land Impervious covers. The average increase rates of runoff coefficients increased 0.011 for 1% increase of impervious covers. By having the application of the results, we could improve plans for facilities design.

Key words : urbanize, design rainfall, Impervious Covers, runoff coefficient, SHER model

주제어 : 도시화, 설계강우량, 불투수면적, 유출계수, SHER 모형

1. 서론

우리나라에서 도시는 서울시를 포함하여 1960년 대 이후로 지역이 본격적으로 개발되면서 도로 및 주택 등에 불투수면이 확대되어 지표면의 침투량과 지하수의 함양량이 줄어들어 평상시에는 도시하천에서의 자연유출량이 감소되고 우천시에는 홍수량이 증가하여 침수피해가 발생하고 있다(Seoul metropolitan government, 2004).

도시구역에서 내수배제를 담당하고 있는 하수관로는 합리식을 이용하여 설계하고 있다(KWWA, 2011). 합리식은 복잡한 유출과정을 유출계수로 단순화시켜 홍수량을 산정한다. 유출과정을 단순화시킴으로써 홍수량 산정은 용이하지만, 유출에 영향을 주는 지표면피복상태, 구역의 지형상태, 토양특성, 재현기간 등 인자들의 영향을 충분히 적용해 줄 수 없는 단점을 가지고 있다(Kim, 2003).

유출계수와 관련하여 American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Federation(1969)에서 도시지역의 유출계수를 산정한 바가 있고, Washin gton State Depart-

* Received 18 August 2014, revised 18 November 2014, accepted 28 November 2014.

* Corresponding author: Tel : +82-2-2149-1159 E-mail : yrkim@si.re.kr

ment of Transportation(1997), Texas Department of Transportation(2002)는 수송국 설계집에 재현기간별로 변화된 유출계수를 제시하고 있다. Lee et al. (2007)는 CN값과 유출계수의 관계를 검토하여 유출계수와 CN과의 관계식을 제시하였다. 그러나, Yoo (2008)은 설마천 유역 측정자료를 이용하여 첨두유출량과 실측유출량 관계분석에서 분석에서 개선방법에 있어서도 실측치와 상당한 차이를 나타내고 있으며, 다양한 인자들을 고려할 경우에 합리식의 간편성이라는 장점이 없어지는 사태가 발생하는 것으로 분석되었다.

본 연구는 통계연보의 통계자료를 이용하여 분석대상유역의 도시화에 따른 연대별 불투수면적을 분석하고, 장기유출모형인 SHER모형 유출량 모의결과를 이용하여 불투수면적률 변화에 따른 유출계수의 변화를 분석하였다. 분석결과를 적용하여 유출계수와 불투수면적률, 강우강도 및 강우지속시간과 같은 설계인자의 관계를 분석하였으며, 도시화의 진행에 따른 설계인자의 변화를 검토하였다.

2. 분석자료 및 방법

2.1 분석자료

2.1.1 강우량

강우량 자료는 1961 ~ 2004년까지의 서울관측소지점의 시강우량 자료를 이용하였다. 유효강우량 산출을 위해 이용된 SHER 모형은 최소한 1년간의 자료보정을 위한 예비자료가 필요하므로 SHER 모형의 유출량 분석결과 중 1962년 이후 물순환 모의결과를 이용하여 유효강우량을 산정하였다.

2.1.2 대상유역 및 불투수율

J유역은 169.83 km²으로 장기유출분석을 위하여 총 11개소 유역으로 분할하였고, 유역 분할한 결과는 Fig. 1.과 같다.

유효강우량 산출을 위하여 블록을 Seoul statistical yearbook(1963, 1973, 1983, 1993)의 토지이용현황을 이용하여 불투수지역, 논, 나지, 단단한나지로 토지를 구분하였으며, 2000년대의 토지구분은 “서울시 바이오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침 수립, 2001” 과업의 성과물인 바이오톱 수치지도를 이용하였다. 유효강우량 산정에 큰 영향을 미치는 불투수면적률의 연대별 변화를 살펴보면 Fig. 2. 및 Table 1과 같다.

③⑤⑥⑦⑧⑨⑪소유역은 2000년대 불투수면적률이 50%인 지역으로 도심지로 구분하였다.

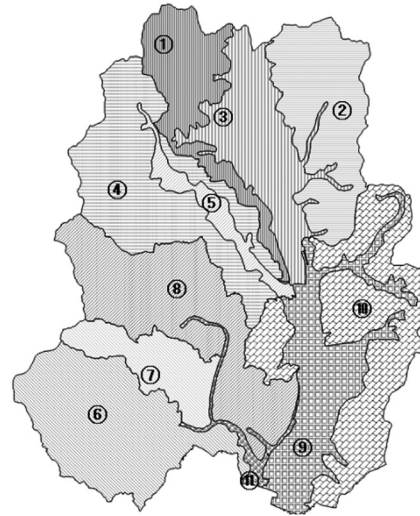


Fig. 1. Delineation of J basin.

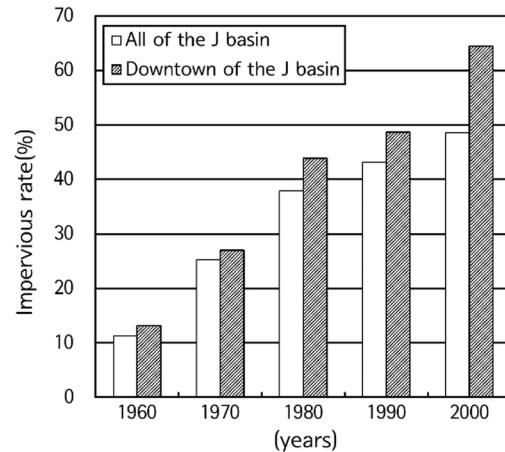


Fig. 2. Variations of impervious rates on the decades.

Table 1. Runoff coefficient about Landuse

Type of drainage area	Runoff coefficient	
	Min.	Max.
Residential(Apartment)	0.50	0.70
Residential(Single-family)	0.60	0.75
Residential(suburban)	0.30	0.40
Business(Neighborhood)	0.70	0.95
Business(Downtown)	0.70	0.95
Industrial(Heavy)	0.60	0.90
Public area	0.65	0.75
Streets(Asphaltic)	0.70	0.95
Streets(Drives and walks)	0.75	0.85
Streets(Railroad)	0.20	0.40
Facilities area of maintaining city(downtown)	0.60	0.75
Facilities area of maintaining city(Forest)	0.10	0.25
Bare area	0.30	0.40
Opensapce(rice paddy)	0.70	0.80
Opensapce(a field)	0.45	0.60
Opensapce(etc)	0.50	0.75
River and pond	1.00	1.00

대상유역은 1960년대 약 11%였던 불투수면적률이 2000년대에 49%로 38%의 증가를 보였다. 대상유역의 도심지에 대한 불투수면적률의 증가를 보면 1960년대 13%에서 2000년대 약 65%로 52% 가량의 큰 증가를 보였다. 도시적으로 연간 불투수면적률 증가율은 전체 0.95%/년, 도심부 1.30%/년으로서 선형적으로 증가되고 있는 것으로 분석되었다.

2.1.3 유출계수

합리식은 아일랜드 공학자 Tomas James Mulvaney(1822 ~ 1892)에 의하여 1851년에 발표된 최초의 강우-유출 모형이다(식 1).

$$QP = CIA/360 \quad (1)$$

합리식의 출발은 단순히 강우강도는 유역면적과 강우강도에 비례한다는 가정에서 시작하였지만, 실제의 유출계수는 유출모의까지 포함되어 있기 때문에 고정된 상수가 아니라 선행강우조

건(토양침투량, 노면저류량에 연관됨)과 강우강도에 따라 변하는 비선형적인 특성을 나타낸다.

본 연구의 유출계수 산정결과와 비교하기 위한 기존 합리식에 적용되는 총괄유출계수는 2002년 「하수도정비 기본계획(변경)」 및 상습침수 해소를 위한 하수도시설기준 재검토」보고서의 유출계수 표준값 범위 정리한 Table 1과 비교하였다.

합리식의 유출계수 산정방법은 토지용도에 따른 유출계수의 범위를 적용하여 총괄유출계수를 산정하고 있지만, 실제 유효강우강도는 불투수율, 토양특성과 같은 침투와 관련된 인자들과 직접적인 관계를 가지고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 SHER 모형에서 유효강우량 산정의 손실량과 관계가 깊은 불투수율변화를 고려하여 유출계수의 변화특성을 분석하였다.

Chen(1977)은 유출계수와 침투율과의 관계, 동역학적인 접근방법에 의한 유효강우강도(I_n)와의 관계를 정리하여 유출계수를 유효강우강도와 강우강도(I)에 관계된 식 (2)와 같이 제시하였다.

$$C = \frac{I_n}{I} \quad (2)$$

유효강우량은 직접유출의 근원이 되는 강우량으로써, 표면유출과 중간유출을 말한다. 본 연구에서는 유효강우량을 SHER 모형을 통하여 모의된 유효강우량을 차단, 증발산, 노면저류 등의 손실을 뺀 표면유출량으로 산정하였다. 중간유출량은 침투홍수량에 미치는 영향이 작으며, 산정방법에 따른 모형 간의 편차를 보이기 때문에 유효강우량 산정에서 제외하였다.

2.2 분석방법

Fig. 3.은 연구의 분석절차이다. 과거에서 현재로의 불투수율의 증가에 따른 유출계수의 변화를 산정하기 위하여 유효강우량 변화를 물론한 모형인 SHER 모형을 적용하여 분석하였다.

분석대상지역은 대표적인 시가지 지역으로 선

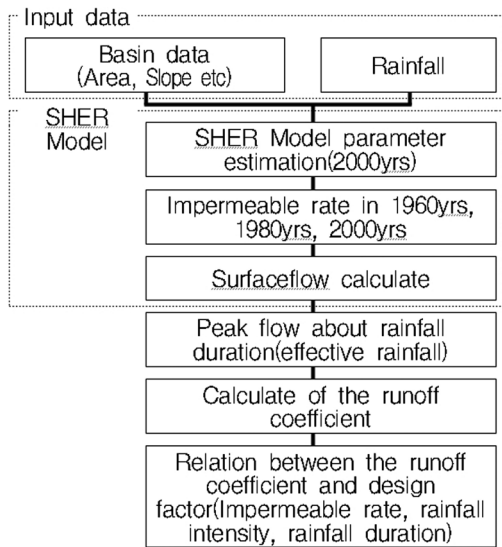


Fig. 3. The analysis procedure.

정하였으며, 유역 전체와 불투면적률이 높은 도심부로 분류하여 분석을 실시하였다.

SHER 모형의 투수 및 불투수지역 유효강수량은 저류방정식을 이용하여 산정한다.

불투수유역에서는 노면저류량과 증발산량을 제외한 나머지를 표면유출량으로 계산하였고, 투수유역의 표면유출량은 노면, 표층토양 및 지하수층의 3단계의 저류방정식을 이용하여 산정한다. 강수량은 일시적으로 표층토양에 흡수되고 표층토양에서 불포화투수계수를 적용하여 침투되지 못하고 노면으로 배출되는 유량을 산정하여 배출부하량을 산정한다(國土交通省河川局河川環境課, 2001).

2.3 SHER모형 검정

Fig. 4.는 2001년 6월15일부터 8월31일까지 중랑교 수문관측소의 실측유출량을 유역면적으로 나눈 실측유출고와 SHER 모형을 이용하여 모의된 모의유출고를 비교한 것을 나타낸 것이다.

물순환 모형인 SHER 모형은 합류식 하수도 시설의 차집관로에 대한 모의가 없기 때문에 하천유량이 소강우에서 실측유출고보다 큰 것으로

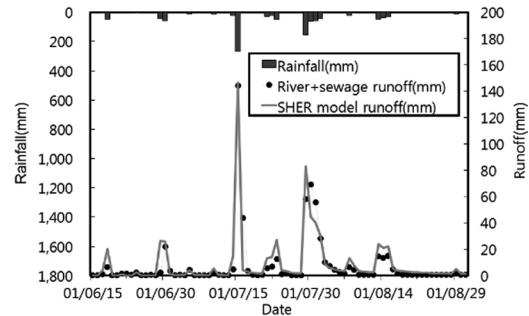


Fig. 4. Calibration of SHER model.

나타났지만, 연최대 강우량에 대한 침투유출량은 도시적으로 유사하게 모의하는 것으로 분석되었다.

Kim et al.(2004)은 WEP 모형을 이용하여 2002년 청계천 유역의 물순환 모형을 모의한 결과인 1,388 mm 강우량 중 표면유출량, 증발산량, 중간유출량인 830 mm, 397 mm, 156 mm 과 비교하여 동일기간 SHER 모형의 물순환 모의결과는 표면유출량, 증발산량, 중간유출량은 각각 812 mm, 383 mm, 244 mm으로서 오차가 각각 1.0%, 1.3%, 6.3%에 불과하다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강우강도와 유출계수의 관계

유출계수의 변화는 강우강도를 기준으로 0 ~ 1(mm/hr), 1 ~ 2(mm/hr), 2 ~ 5(mm/hr), 5 ~ 10(mm/hr), 10 ~ 15(mm/hr), 15 ~ 25(mm/hr), 25 ~ 30(mm/hr), 30 ~ 35(mm/hr), 35 ~ 40(mm/hr), 40 ~ 50(mm/hr), 50 ~ 70(mm/hr), 70(mm/hr) 이상으로 구분하여, 각 구간별 평균강우강도와 유효강우량의 관계를 분석하였다.

3.1.1. 대상 유역 전체

대상유역 전체에서 유효강우량의 지속시간 1 시간, 2시간, 3시간에 대하여 1960년대, 1980년대, 2000년대 유출계수의 변화를 살펴보면 Fig. 5. ~ Fig. 7.과 같다.

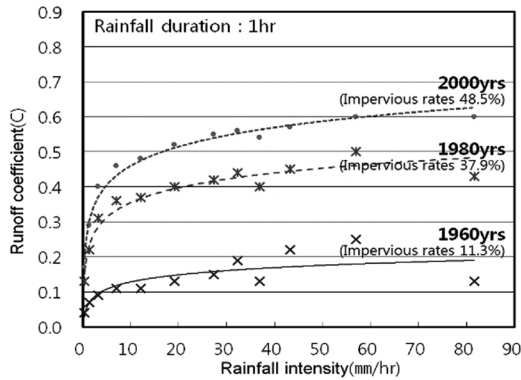


Fig. 5. Correction between rainfall intensity and runoff coefficients (rainfall durations : 1 hour).

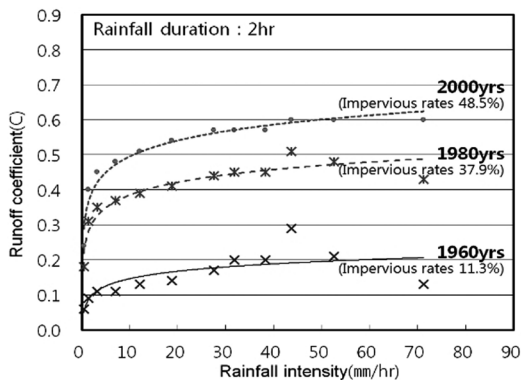


Fig. 6. Correction between rainfall intensity and runoff coefficients (rainfall durations : 2 hour).

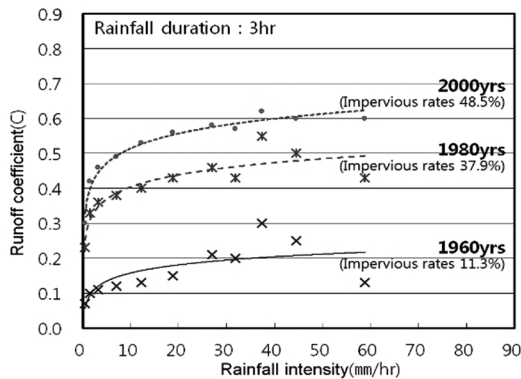


Fig. 7. Correction between rainfall intensity and runoff coefficients (rainfall durations : 3 hour).

대상유역 전체에서 강우강도와 유출계수는 양의 상관관계로 강우강도 증가에 따라서 유출계수는 증가하는 것으로 분석되었다. X-Y의 관계식을 선형과 로그형태로 검토한 결과, 불투수면적률 11.3%(1960년대), 37.9%(1980년대), 48.5% (2000년대)에 대한 선형 관계식의 결정계수(R^2)는 각각 0.43, 0.52, 0.58이며, 로그형 관계식의 결정계수는 0.65, 0.94, 0.98이다. 선형 관계식에 비하여 강우강도가 증가할수록 유출계수의 증가량이 감소하는 로그형태 관계식의 결정계수가 더 큰 것으로 분석되었다. 따라서, 강우강도의 증가에 따른 유출계수의 변화는 로그형 관계의 증가율을 가지는 것으로 나타났다.

강우강도의 증가에 따른 유출계수의 증가는 강우강도 20 mm/hr 이후 급격하게 감소하므로 20 mm/hr를 기준으로 유출계수의 변화를 나타내면 다음과 같다.

2000년대 불투수율 48.5%인 대상유역 전체에서 강우지속시간 1시간의 강우강도 0.5 mm/hr의 유출계수는 0.437이고, 강우강도 20 mm/hr의 유출계수는 0.725이다. 강우강도 20 mm/hr 미만에서는 강우강도 10 mm/hr 증가에 따라 유출계수는 0.15가 증가한다.

강우강도 75 mm/hr의 유출계수는 0.828로서 강우강도 20 mm/hr 이상에서는 강우강도 10 mm/hr 증가에 따라 유출계수는 0.02가 증가한다. 그러므로 유출계수 증가량은 20 mm/hr 미만의 경우가 20 mm/hr 이상 보다 7.9배 크게 되는 것으로 나타났다. 강우지속시간 2시간과 3시간에 대해서도 유사한 결과를 보이고 있다.

3.1.2 대상 유역 도심부

대상유역에서 2000년 불투수율이 50% 이상인 도심부의 유출계수를 산출한 결과 Fig. 8. ~ Fig. 10.과 같다.

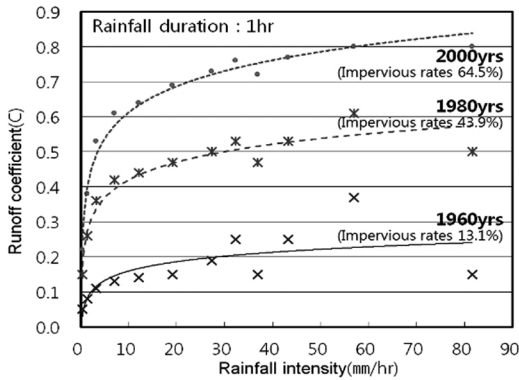


Fig. 8. Correction between rainfall intensity and runoff coefficients (rainfall durations : 1 hour).

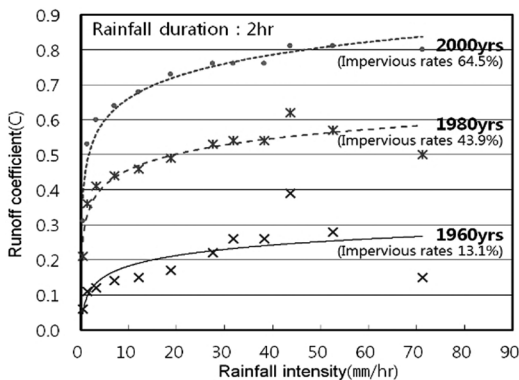


Fig. 9. Correction between rainfall intensity and runoff coefficients (rainfall durations : 2 hour).

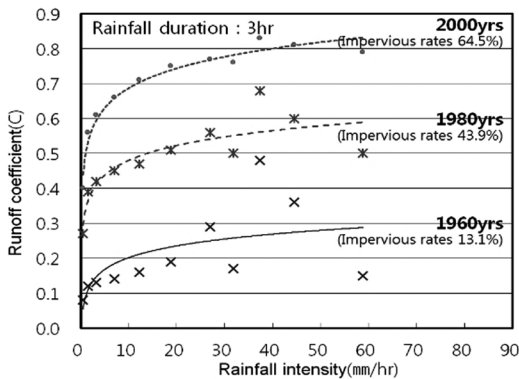


Fig. 10. Correction between rainfall intensity and runoff coefficients (rainfall durations : 3 hour).

대상유역 도심부에서 강우강도와 유출계수는 양의 상관관계로 강우강도 증가에 따라서 유출계수는 증가하는 것으로 분석되었다. X-Y의 관계식을 선형과 로그형태로 검토한 결과, 불투수면적률 13.1%(1960년대), 43.9%(1980년대), 64.5%(2000년대)에 대한 선형 관계식의 결정계수(R^2)는 각각 0.38, 0.52, 0.58이며, 로그형 관계식의 결정계수는 0.54, 0.92, 0.98이다.

도심지의 경우도 유역전체와 같이 강우강도의 증가에 따른 유출계수 변화는 선형 관계식에 비하여 로그형 관계의 증가율을 가지는 것으로 분석되었다.

2000년대 불투수율 64.5%인 대상유역의 도심부에서 강우지속시간 1시간의 강우강도 0.5 mm/hr의 유출계수는 0.220이고, 강우강도 20 mm/hr의 유출계수는 0.515이다. 강우강도 20 mm/hr 미만에서는 강우강도 10 mm/hr 증가에 따라 유출계수는 0.15가 증가한다.

강우강도 75 mm/hr의 유출계수는 0.620로서 강우강도 20 mm/hr 이상에서는 강우강도 10 mm/hr 증가에 따라 유출계수는 0.02가 증가한다. 그러므로 유출계수 증가량은 20 mm/hr 미만의 경우가 20 mm/hr 이상 보다 7.9배 크게 되는 것으로 나타났다. 강우지속시간 2시간과 3시간에 대해서도 유사한 결과를 보이고 있다.

3.1.3 강우강도와 유출계수 관계 결과

대상유역 전체와 도심부의 강우지속시간 1시간, 2시간 및 3시간 강우강도와 유출계수 로그형태 관계식은 Table 2와 같다.

도시적으로 유출계수의 증가율 변화가 구분되는 20 mm/hr 강우강도를 기준으로 20 mm/hr 미만과 20 mm/hr 이상 강우강도 증가에 따른 1960년대, 1980년대 및 2000년대 유출계수 증가율을 정리한 결과는 Table 3, Table 4 및 Table 5와 같다.

Table 2. The outlier for runoff coefficients on the decades [I : rainfall intensity(mm/hr)]

Rainfall duration	J Basin	Regression equation of runoff coefficient		
		1960yrs	1980yrs	2000yrs
1hr	All	$0.0295 \times \text{LN}(I) + 0.0598$	$0.0613 \times \text{LN}(I) + 0.2157$	$0.0800 \times \text{LN}(I) + 0.2750$
	Downtown	$0.0392 \times \text{LN}(I) + 0.0675$	$0.0736 \times \text{LN}(I) + 0.2496$	$0.0781 \times \text{LN}(I) + 0.4912$
2hr	All	$0.0306 \times \text{LN}(I) + 0.0745$	$0.0521 \times \text{LN}(I) + 0.2674$	$0.0668 \times \text{LN}(I) + 0.3413$
	Downtown	$0.0423 \times \text{LN}(I) + 0.0849$	$0.0636 \times \text{LN}(I) + 0.3100$	$0.0895 \times \text{LN}(I) + 0.4549$
3hr	All	$0.0341 \times \text{LN}(I) + 0.0798$	$0.0495 \times \text{LN}(I) + 0.2919$	$0.0609 \times \text{LN}(I) + 0.3750$
	Downtown	$0.0488 \times \text{LN}(I) + 0.0883$	$0.0619 \times \text{LN}(I) + 0.3376$	$0.0818 \times \text{LN}(I) + 0.4997$

Table 3. The outlier for runoff coefficient on rainfall events in 1960yrs

Section	Rainfall duration	Increase rate of runoff coefficient		Increase magnification (①/②)
		①20 mm/hr >	②20 mm/hr ≤	
All (11.3%)	1hr	0,007	0,001	7.0
	2hr	0,008	0,001	8.0
	3hr	0,009	0,001	9.0
Down-town (13.1%)	1hr	0,006	0,001	6.0
	2hr	0,006	0,001	6.0
	3hr	0,006	0,001	6.0

comment : () is impervious rates

Table 5. The outlier for runoff coefficient on rainfall events in 2000yrs

Section	Rainfall duration	Increase rate of runoff coefficient		Increase magnification (①/②)
		①20 mm/hr >	②20 mm/hr ≤	
All (48.5%)	1hr	0,015	0,002	7.5
	2hr	0,017	0,002	8.5
	3hr	0,015	0,002	7.5
Down-town (64.5%)	1hr	0,015	0,002	7.5
	2hr	0,013	0,002	6.5
	3hr	0,012	0,001	12

comment : () is impervious rates

Table 4. The outlier for runoff coefficient on rainfall events in 1980yrs

Section	Rainfall duration	Increase rate of runoff coefficient		Increase magnification (①/②)
		①20 mm/hr >	②20 mm/hr ≤	
All (37.9%)	1hr	0,014	0,002	7.0
	2hr	0,012	0,002	6.0
	3hr	0,010	0,001	10.0
Down-town (43.9%)	1hr	0,012	0,001	12.0
	2hr	0,010	0,001	10.0
	3hr	0,009	0,001	9.0

comment : () is impervious rates

2000년대 불투수면적률이 64.5%인 도심부와 48.5%인 전체유역에서 강우지속시간 1시간에서 강우강도가 1 mm/hr 증가에 따라 20 mm/hr 미만과 20 mm/hr 이상의 유출계수 증

가율은 각각 0.015, 0.002로서 유사하며, 1980년대 유출계수 증가율도 2000년대와 비슷하지만 약간 작은 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 1960년대 불투수면적률 13.1%인 도심부의 유출계수 증가율은 2000년대 도심부와 비교하여 1/2 수준에 불과하다. 그러나 증가배수는 1960년대, 1980년대, 2000년대가 비슷한 값을 나타내며, 도심부와 전체유역도 비슷한 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

강우지속시간 증가에 따른 유출계수 증가율은 1960년대 전체유역 불투수면적률 11.3%에 대해서만 증가하며, 대부분 감소하는 것으로 분석되었다.

강우강도 증가에 의해 유출계수 증가율은 감소하기 때문에 불투수율이 30 ~ 40%인 1980년대를 기준으로 불투수율이 높은 1980년대 이후에는 유출계수 증가율은 작지만, 불투수율이 작

Table 6. Variations of runoff coefficients

Duration	1 hr			2 hr			3 hr		
10yr Return period rainfall	74.8 mm			103.4 mm			120.4 mm		
Years(Impervious rate)	1960yrs (13.1%)	1980yrs (43.9%)	2000yrs (64.5%)	1960yrs (13.1%)	1980yrs (43.9%)	2000yrs (64.5%)	1960yrs (13.1%)	1980yrs (43.9%)	2000yrs (64.5%)
All of J Basin	0.19	0.48	0.62	0.20	0.47	0.60	0.21	0.47	0.60
Downbasin of J Basin	0.24	0.57	0.83	0.25	0.56	0.81	0.27	0.57	0.80

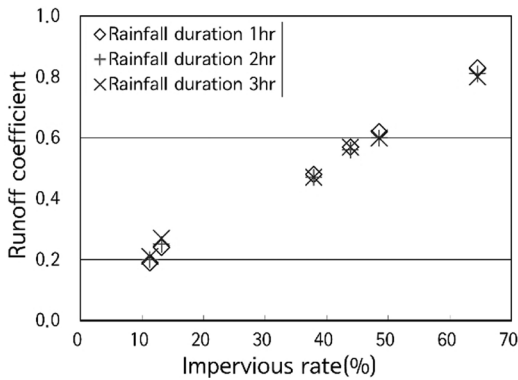


Fig. 11. Relation of impervious rates and runoff coefficients about rain durations.

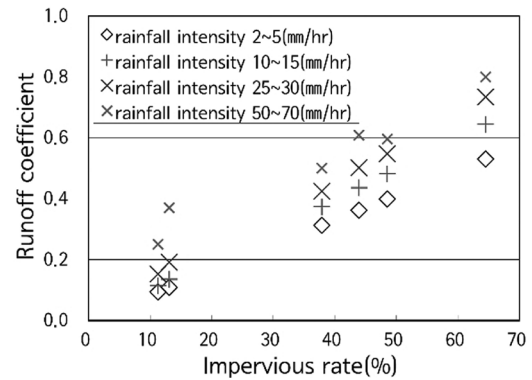


Fig. 12. Relation of impervious rates and runoff coefficients about rain intensities.

은 1980년대 이전의 유출계수 증가율은 큰 것으로 나타났다.

강우강도 20 mm/hr 미만과 20 mm/hr 이상의 불투수면적률 증가에 따른 유출계수 증가율의 변화인 증가배수가 불투수면적률, 강우지속시간의 변화에 따라서도 일정하게 나타나는 것은 강우강도 및 강우지속시간과 같은 다른 인자에 비하여 불투수면적률이 유출계수와 뚜렷한 선형적인 상관관계를 나타내기 때문이다.

3.2 불투수면적률과 유출계수 증가량

Ministry Of Construction & Transportation(2000)의 서울관측소 재현기간 10년 확률 강우에 대한 중량천 전체와 불투수면적률 50% 이상인 중량천 도심지의 유출계수는 Table 2의 추정식을 이용하여 산출하면 Table 6과 같다.

1960년대와 2000년대의 불투수율 변화는 대상구역 전체와 도심지에 대하여 각각 4.5배, 5.0 배 증가하였고, 강우지속시간 1시간에 대한 유출

계수 변화는 중량천 전체와 도심지에 대하여 각각 3.3배, 3.5배 정도 증가하였다. 이것은 1960년대와 2000년대 대상구역의 전체와 도심지의 동일 재현기간의 강우에 대하여 설계된 관련 시설의 규모가 각각 3.3배, 3.5배 증대될 필요가 있는 것으로 제시하고 있다.

Fig. 11 및 Fig. 12은 불투수면적률에 따른 유출계수 변화를 도시한 그래프이다.

강우지속시간 및 강우강도별 불투수면적률 증가에 따른 유출계수의 증가는 양의 선형상관관계를 나타내고 있다.

1시간, 2시간 및 3시간의 강우지속시간의 1% 불투수면적률 증가에 따라서 유출계수는 0.0116, 0.0109, 0.0105로서 평균 0.0110 증가 되는 것을 분석되었다.

강우강도 2 ~ 5 mm/hr, 10 ~ 15 mm/hr, 25 ~ 30 mm/hr 및 50 ~ 70 mm/hr의 1% 불투수면적률 증가에 따라서 유출계수는 0.0082, 0.0099, 0.0106, 0.0091로서 평균 0.0110 증가 되는 것을 분석되었다.

강우지속시간의 증가에 따라서 유출계수 증가량이 감소하지만, 증가량은 크지 않은 것으로 분석되었다. 또한, 강우지속시간에 비하여 강우강도의 변화에 따른 유출계수의 증가는 크지만, 불투수면적률의 변화에 비하여 증가량은 크지 않은 것으로 분석되었다.

또한, 강우지속시간 및 강우강도에 대한 평균적인 불투수면적률변화에 따른 유출계수의 증가율이 일정함으로써 하수관로 설계시 평균 불투수면적률 증가율을 이용하여 유출계수의 증가량을 검토할 수 있는 것으로 분석되었다.

서울시와 같이 연평균 1% 불투수면적률이 증가되는 도시에서 유출계수는 30년 후의 불투수면적률이 30% 증가하는 것을 고려하여 약 0.3이 증가할 수 있는 것을 도출할 수 있다.

3.3 기존 유출계수 산정방법 비교결과

SHER 모형의 유출량 자료를 이용하여 산정한 불투수면적률 변화에 따라서 유출계수 변화는 양의 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 도시화의 불투수면적률 증가에 의해 침투유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

또한, 불투수면적률 64.5% 이상에서 강우의 지속시간이 1시간, 2시간, 3시간의 도심지에 대한 유출계수는 0.8 이상이었다. 이것은 서울시에서 침수취약지역의 유출계수를 현실화시키기 위해 연구한 2002년 “상습침수 해소를 위한 하수도시설기준 재검토”의 결과로 제시된 침수지역에서 총괄유출계수를 0.8을 적용하는 것과 유사한 결과를 나타내고 있다.

토지이용도를 이용한 유출계수 산정에 있어서 각 토지이용항목의 유출계수범위에서 중간값을 선택한 경우와 최대값을 선택한 경우는 Table 7과 같다.

불투수면적률 64.5% 이상에서 대상구역의 전체와 도심지의 유출계수는 각각 0.68, 0.70이고, 최대값을 선택하였을 때, 대상구역의 전체와 도심지의 유출계수는 각각 0.78, 0.80이다.

Table 7. Variations of runoff coefficients in for the range runoff coefficient standards

Section	Median of the coefficient range		Max of the coefficient range	
	All Basin	Downtown	All Basin	Downtown
Impervious rate(%)	49	65	49	65
Runoff coefficient	0.68	0.70	0.78	0.80

대상구역의 전체와 도심지의 유출계수는 SHER 모형을 통하여 모의한 유출계수와 비교하여 작은 것으로 나타났다. 기존의 토지이용도를 이용하여 산정된 유출계수는 불투수율의 변화를 반영하기 힘들며, 토지이용 항목별 유출계수 범위에서 주관적으로 결정하기 때문에 유출계수를 객관적으로 산정하기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 측정자료가 아닌 장기유출모형인 SHER 모형의 표면유출량 모의결과를 이용하여 산정한 결과이다. 기존 토지이용도를 이용한 불투수율이 높은 도심지의 통합유출계수 산정은 토지이용도별 유출계수 범위 중 최대값을 적용하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다. 최대값을 적용할 경우에는 적용구역의 도시화의 불투수율 변화에 따른 유출계수의 변화도 일정부분 반영한 것으로 할 수 있다.

4. 결론

장기유출모형인 SHER 모형을 이용하여 1960년 이후 서울지역의 도시화에 따른 유출계수의 변화를 분석하였다. 불투수면적률이 지속적으로 증가하였던 1960년대부터 2000년대까지의 불투수면적률, 강우지속시간, 강우강도에 대한 유출계수의 변화 분석결과는 다음과 같다.

1. 강우강도와 유출계수의 관계를 분석한 결과, 유출계수는 강우강도의 증가에 따라 증가하며, 유출계수 증가율은 강우강도 20 mm/hr 미만의 강우가 20 mm/hr 이상 강우와 비교하여 7.5배 크다.

2. 강우지속시간 증가에 따른 유출계수는 감소하지만, 감소량은 크지 않은 것으로 나타났다.
3. 유출계수는 주로 불투수면적률의 변화에 따라서 증감하며, 대상구역에서 1% 불투수면적률 증가에 대하여 강우지속시간 및 강우강도와 상관없이 평균 0.0110의 유출계수가 증가된다.
4. 강우지속시간 및 강우강도에 대한 평균적인 불투수면적률변화에 따른 유출계수의 증가율이 일정하므로 하수관로 설계시 평균 불투수면적률 증가율을 이용하여 유출계수의 증가량을 검토할 수 있다.
5. 기존 토지이용도를 이용한 유출계수 산정 방법에서 불투수율이 높은 도심지의 통합 유출계수는 토지이용항목별 유출계수 범위 중 최대값을 적용한 경우가 SHER 모형을 이용하여 도심지의 유출계수를 산정한 결과와 유사한 것으로 분석되었다.

대상구역과 같이 대표적인 도시구역에서 토지 이용 변경 및 개발 등으로 불투수면적률이 증가한 유역은 유출계수가 증가되었으며, 증가된 유출계수로 인하여 침수피해가 증가될 수 있는 것으로 나타났다.

따라서, 도시화에 따른 불투수면적률 증가가 클 것으로 예상되는 유역에서는 유출계수를 토지이용별 유출계수 범위 중 최대값을 적용하거나, 유출계수 증가율을 고려하여 적용하는 것이 적절하다.

사 사

이 논문은 2013년 서울특별시 하수관거종합정비사업 성과분석 및 품질향상방안 연구(SI-6110000-000705-01)와 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(2012R1A1A2005304)의 지원을 받아 수행된 창의적 연구사업 연구입니다.

References

- Ministry Of Construction & Transportation (2002) Annual hydrological report on Korea 2001
- Ministry Of Construction & Transportation (2000) 1999yr A research report to the development of water management techniques
- Kim, J. H. (2003) A Study on Runoff Coefficient Estimation of Rational Method in the Korean River Basins, Graduate school Hongik University
- Kim, H. J., Jang, C. H., Noh, S. J., Kim, D. P., Jeong, I. M. and Hong, I. P. (2004) Monitoring and Hydrologic Cycle Analysis of Cheonggyecheon Restoration Project, The International symposium report of Cheonggyecheon basin hydrologic cycle, Korea institute of construction technology, pp 3-22
- Seoul metropolitan government (2004) A study of water circulation master plan in Seoul
- Yoo, C. R. (2008) A Study on Application of Rational Formula for Peak Flow in Development Project Sites, The graduate school of engineering Hanyang University
- Lee, Y. D., Kim, J. S. and Kim, Y. T. (2007) Study on improved method for calculating runoff coefficient of rational method, Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation
- Heo, Y. H. (2005) A Study on the relationship between CN of NRCS method and runoff coefficient(C) of rational formula, Graduate school Pukyong National University
- Seoul metropolitan government (1993~2003) Seoul statistical yearbook 1963~2003
- Seoul metropolitan government (2002) A sewerage standard review for repetitive Flooded Areas, pp424
- American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Federation (1969) Design and Construction of Sanitary and storm Sewers, ASCE Manual of Practice No. 37 and WPCF Manual of Practice No. 9.
- Mulvaney, T.J. (1851) On the use of Self-registering Rain and Flood Gauges. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 4, No. 2, pp. 1-8

- Texas Department of Transportation (2002) Hy-
draulics Design Manual. pp. 5-27~5-32.
- Washington State Department of Transportation
(1997) Hydraulics Manual. pp. 2-6.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and
Tourism Water and Disaster Management
Bureau River Environment Division (2001)
SHER model User's Manual(Draft)