

유역의 도시화에 따른 유출변화특성 Characteristics of Runoff Variation due to Watershed Urbanization

허 창 환*
Heo, Chang Hwan

Abstract

Urbanization concerned with concentration of population, activity and expanding the urban changes a natural environmental, and human activity in urban area causes the appearance of a new hydrologic cycle system. This study is carried out the analysis for the characteristics of runoff variation in urban areas with progress of urbanization. To simulate the mechanics of runoffs on small urban watershed, the ILLUDAS model is used in this study. From the analysis of the urban-runoff processes in small urban area with the progress of urbanization, the following conclusions is obtained. It is found in the results of calculated geographical parameter that peak time is quickened by 15~35 minutes rather than the urbanization before. Also, in the analysis of the peak rate of runoff, the peak flow rise by 60 % than the urbanization before.

Keywords : urbanization, urban-runoff, ILLUDAS, peak flow, peak time

요 지

도시화에 따라 인구집중과 광역화로 인하여 자연환경이 크게 변화하였으며, 특히 인간의 활동은 새로운 유출양상을 가져오는 원인이 되었다. 본 연구에서는 도시의 개발에 따른 도시화 전·후의 지형인자가 변화함으로써 야기되는 유출변화 특성을 해석하였다. 도시화유역에서의 유출에 ILLUDAS 모형을 이용하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다. 도시화 전·후의 침투발생시간을 살펴보면, 약 15~35 분 정도 단축되었으며, 도시화 후의 침투홍수량은 최대 60 % 정도 증가함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 도시화, 도시유출, ILLUDAS, 침투유량, 침투발생시간

* 충주대학교 토목공학과 강사

Part-Time Lecturer Dept. of Civil Engineering, Chungju National University, Chungju, Chungbuk 380-702, Korea
(E-mail : chheo@hanmail.net)

1. 서론

도시지역에 위치한 하천은 자연상태의 하천이 점차 도시화되어 지표면의 포장율이 높아지게 됨으로써 지표면 또는 지표하의 지류능력이 감소하여 유출율의 증가와 침투유량의 급증을 초래하게 된다. 도시지역에서 개발에 따른 홍수유출량의 변화는 수계내의 다양한 수문시스템과 도시의 지형 및 토지이용 특성인자 그리고 하도와 배수시설 등으로 매우 복잡하게 나타나 해석상의 많은 어려움이 수반된다. 도시유역의 유출변화해석의 규명은 치수 및 도시의 배수능력을 원활히 하는데 있으므로 도시화에 따라 불투수층의 면적이 증가될 경우 도시화 이전보다 홍수도달시간이 현저히 단축되고 침투유출량이 증대된다.

뿐만 아니라 도시계획 및 개발에 따라 도시유역의 하천개수, 도시배수시스템의 재 정비 그리고 우수관거의 신설 및 재배치는 도시하천의 홍수유하시간을 단축시키는 물론이고 유역의 유출환경을 크게 변화시켜 왔다. 특히 도시하천을 횡단하는 암거나 교량건설이 늘어나고 하천을 복개함으로써 홍수소통에 장애요인이 되고 있는 실정인므로 도시지역에 위치한 하천은 장래 도시화에 대비하여 하도의 정비, 유지관리 등을 하는데 수리·수문학적인 검토가 반드시 선행되어야 할 것이다. 그리고 도시하도의 제방, 낙차공, 암거, 교량 및 복개 등의 시설물을 계획·설계 및 시공하기 위해서는 하도의 홍수소통 능력에 미치는 영향을 사전에 정밀 검토·분석하여 홍수소통에 지장을 초래하지 않는 방안을 강구해야 한다.

도시지역에 있어서 유출해석은 Hicks(1940)에 의해 유출해석의 방법론이 소개된 이후로 Izzard(1946)가 도시지역 배수망의 최적이용, Stall(1970, 1971)이 도시화 지역에서의 홍수의 영향 등에 관한 연구를 수행하였으며, 이후 Harley(1970) 등에 의해서 유출해석을 위한 모형화 작업이 진행되었다. Harley 등(1970)은 MIT 도시유역 유출모형을 개발하여 시간에 따라 변하는 유출량의 해석을 모의할 수 있는 유출모형을 개발하였으며, Stall과 Terstriep(1974)에 의해 RRL 모형의 단점을 보완한 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulation)모형이 개발되어 비포장 및 포장지역에서의 유출도 고려하도록 설계되어 현재까지 개선이 진행되고 있다. 1980년대에는 기존 SWMM 모형내에서 수공구조물의 수리학적 계산이 가능하도록 모형이 개선되고 있으며, Dunne(1983)은 호우유출량의 예측에 있어 현장실측과 모형에 의한 계산과의 관계를 규명하

였으며, USDA-SCS(1986)에서 도시소유역의 수문해석방법을 발표하였다.

국내의 연구로는 1987년 수해백서에서 서울지역의 대규모 수해의 원인분석을 ILLUDAS 모형으로 실시하였으며, 이종태 등(1991)은 도시화 영향을 고려하여 우수지 계획시 도시화 영향을 고려하였고, 윤용남 등(1992)은 도시유역의 홍수량 산정을 위한 도시홍수유출모형을 연구하였다. 원석연(1993)은 ILLUDAS 모형을 근간으로 하여 유역 및 하도홍수추적을 고려한 소규모 도시하천의 유출해석을 실시하였고, 이영화, 지흥기(1996)는 도시하천유역의 유지용수 산정에 관한 연구와 도시환경에서의 지표수 및 지하수 관리 등에 관한 연구를 수행한 바 있다. 서규우(1998)는 도시유출모형의 매개변수 결정시 민감도 분석에 관한 연구에서 SWMM 모형과 ILLUDAS 모형을 적용하였고, 안상진 등(1988)은 SWMM모형과 ILLUDAS 모형을 이용해 유역을 세분화하고 수문특성에 대한 해석을 실시한 바 있다.

본 연구에서는 도시의 개발에 따른 도시화 전·후의 지형인자 구성비가 변화함으로써 야기되는 도시유역의 유출변화 특성을 규명하여 야기되는 문제점을 최소화하여 효과적인 치·이수관리를 하는데 그 목적이 있다.

2. 도시 유출 모델의 이론

본 연구에서는 사회주변 여건의 변화로 지속적인 도시화의 증가로 인하여 도시유역내의 불투수층의 구성비가 증가함에 따라 도시화 전·후의 유출변화특성을 규명하기 위하여 대상유역을 도시화 전·후로 구분하여 지표면의 처리상태의 변화를 조사·분석하였으며, 지표면의 처리상태에서 불투수층지역의 면적비가 상대적으로 높은 도시유역에서 널리 이용되고 있는 모델인 ILLUDAS 모델을 중심으로 설계호우를 적용함으로써 대상 도시유역의 유출변화특성을 규명하도록 하였다.

2.1 모델의 기본이론

ILLUDAS모형은 유역유출량 산정과정이 포장된 지역(paved area)과 녹지지역(grassed area)으로 구분하여 흐름을 계산한 뒤 이를 합산하여 처리토록 구성되어 있다.

먼저, ILLUDAS 모델의 적용을 위해서는 유역을 여러 개의 배수구역(subbasin)으로 분할하고, 각 배수구역내에서의 유출은 대체로 한 유입구를 통하여 배수로로 연결되는 과정이 같다고 취급한다. 유역유출 특성

으로는 각 배수구역내에서의 직접 연결된 포장면적과 포장면적의 최원점에서 분석 유입지점까지의 도달시간, 녹지면적, 간접 연결된 포장면적 및 침투능 등이 있으며, 이들 요소들이 각각 유역유출 계산에 반영이 된다. 따라서 ILLUDAS 모델에 의한 유출계산은 포장지역으로부터의 유출, 녹지지역에서의 유출, 침투 및 하도의 수리현상 등으로 나누어 계산되며, 각각의 유출계산 과정은 다음과 같다.

2.1.1 포장지역의 유출

포장지역의 유출계산은 배수구역내에서 직접 연결된 포장지역이 결정되면, 포장지역을 거쳐 배수구역의 하류단으로 유입하는데 소요되는 도달시간(time of travel)을 산정한다. 지표유출의 유속과 도달시간은 Manning 공식으로 계산하고, 이 유속으로부터 각 소배수구역내에서의 등유달 시간선도를 작성한다. 이때 작성된 등유달시간에 대한 면적(PA_1, PA_2, \dots, PA_n)으로부터 누가면적곡선을 작성함으로써 임의의 시각에서의 유입량에 기여하는 포장면적의 크기를 알 수 있다. 한편, 유효강우량은 강우 초기에 발생하는 초기손실량(L_1)을 제외한 강우량($PASR_1, PASR_2, \dots, PASR_n$)으로서 이 값이 포장지역에서의 유출에 기여하게 된다. 따라서 유입수문곡선은 각 포장지역에서의 시간별 면적과 유효강우량의 적으로 식(1)으로 계산 되어진다.

$$\begin{aligned} Q_1 &= PA_1 \cdot PASR_1 \\ Q_2 &= Q_1 + PA_2 \cdot PASR_2 \\ Q_3 &= Q_1 + Q_2 + PA_3 \cdot PASR_3 \\ &\vdots \\ Q_n &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + PA_n \cdot PASR_n \end{aligned} \quad (1)$$

2.1.2 녹지지역의 유출

녹지로부터 배수구에 유입하는 수문곡선을 유도하는 과정은 포장지역의 유출과 유사하며, 각 소유역의 평형 유출량(q_e)은 강우강도(I)와 표면류의 길이(L)에 관계된다. 등유달시간과 거리에 관해서는 Izzard(1946)식이 사용되고 경우에 따라서는 분석유역에 따라 다른 식을 선정할 수 있으며, 산정된 유달시간으로부터 대상 녹지에서의 등유달시간도를 작성한다. 녹지의 소유역 면적(GA_1, GA_2, \dots, GA_n)에 이르는 누가면적과 유달시간의 관계곡선은 임의의 시각에서 배수구로의 유출입량

에 기여하는 면적을 나타낸다. 한편, 유효우량은 손실을 제외한 강우량($GASR_1, GASR_2, \dots, GASR_n$)으로서 이 값이 녹지에서의 유출에 기여하게 된다.

따라서, 녹지로부터의 유입수문곡선은 각 녹지 소유역에서의 시간별 면적과 유효강우량의 적으로서 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} Q_1 &= GA_1 \cdot GASR_1 \\ Q_2 &= Q_1 + GA_2 \cdot GASR_2 \\ Q_3 &= Q_1 + Q_2 + GA_3 \cdot GASR_3 \\ &\vdots \\ Q_n &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + GA_n \cdot GASR_n \end{aligned} \quad (2)$$

2.1.3 침투

비포장지역의 경우는 지표면에 저류되거나 토양속으로 침투되며, 녹지지역에서는 강우의 상당부분이 침투가 되고 그 양상이 매우 복잡하다. 그러므로 ILLUDAS에서는 시간에 따라 변화하는 침투특성을 모델에 적용시키기 위하여 Holton의 침투능곡선식을 이용하고 시간에 따른 각 침투율은 SCS에서 분류하고 있는 토양의 종류에 따라 흙을 A, B, C, D로 구분하여 사용하고 있다.

따라서 표준침투율곡선을 위하여 ILLUDAS에서 사용한 각종 인자들 중에서 초기침투율(f_c)과 최종침투율(f_c)은 임의로 채택하고 흙의 항상계수(k)는 2로 취하고 있으며, 토양의 초기함수상태(AMC)는 SCS에서 제안한 호우전 5일간의 강우량으로부터 AMC 조건을 결정하고 있다.

2.1.4 하도의 수리

포장지역과 비포장지역에서의 수문곡선이 합성되어 각 배수구에 대하여 유도된 하나의 유입수문곡선으로부터 각 배수로 분석지점의 유입량이 공급된다. 유입된 물이 배수로의 한 지점에서 다음 지점으로 전달되는 과정은 저류추적(storage routing)법이 사용되며, 수로의 유속계산은 Manning식을 사용하고 있다. 한편 이 모델에서는 수로의 단면형을 원관, 제형, 구형 등으로 구분하고 있으며, 수로의 상·하류단에서의 유입·유출(Q_{in}, Q_{out}) 및 t 와 $2t$ 에서의 저류량(S_1, S_2)의 관계는 식(3)과 같다.

$$\frac{1}{2} Q'_{in} = S_1 + \frac{1}{2} Q'_{out} \quad (3)$$

여기서 Q_{1in} 과 t 는 기지의 값이고 S_1 은 Q_{1out} 의 함수로 표현될 수 있으므로 미지수 Q_{1out} 가 구해진다. 그리고 t 에서 $2t$ 시간동안에서는 식(4)와 같은 관계가 성립된다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} t (Q_{1in} + Q_{2in}) &= \frac{1}{2} t (Q_{1in} + Q_{2out}) + (S_2 - S_1) \\ \frac{1}{2} t (Q_{1in} + Q_{2in} - Q_{1out}) + S_1 &= \frac{1}{2} t Q_{2out} + S_2 \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 좌측항은 모두 기지의 값이므로 Q_{2out} 는 구할 수 있다. 이러한 단계적인 계산과정에 의해서 하

도의 전구간에서의 수문곡선이 결정된다. 이상과 같은 유역유출 계산을 수행하는 ILLUDAS 모델의 프로그램 구성은 그림 1과 같다.

2.2 매개변수의 추정기법

2.2.1 도달시간

유역에서 발생하는 호우로 인한 홍수도달시간은 유역의 가장 먼 지점에서 유역의 출구까지 홍수가 유하하는데 소요되는 시간을 말하며, 도달시간은 크게 지표면 유출시간과 하도 유출시간으로 나눌 수 있다. 도달시간은 홍수량에 크게 영향을 미치며, 유역의 형태에 따라 달라진다. 본 연구에서 도달시간 결정을 위하여 이용한 식은

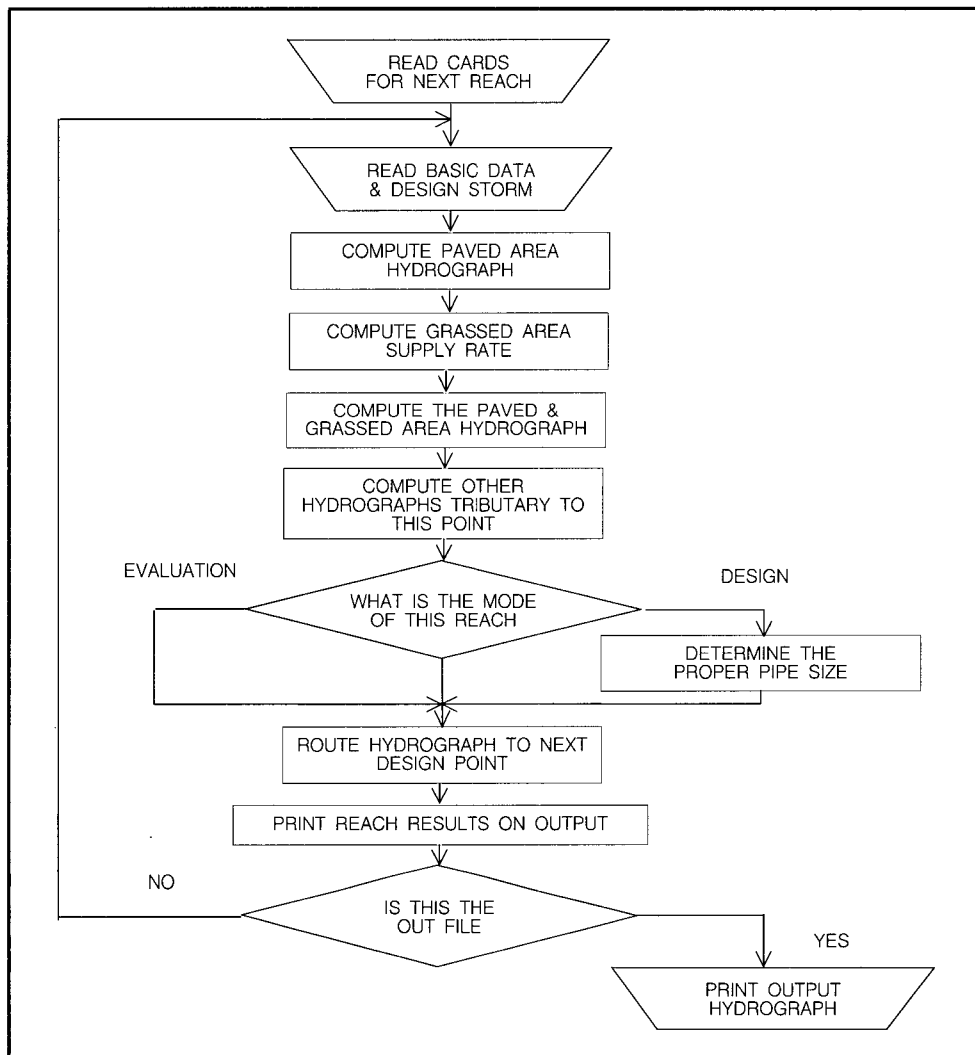


그림 1. ILLUDAS 모델의 계통도

지표와 하도의 경우로 나누고 이때에 검토 분석한 식은 다음과 같다.

먼저, 하도에서의 도달시간(t_ℓ :min)은 Kirpich 식, Cater 식 및 RRL 식을 검토하였으며, 그 형태는 식(5)~(7)과 같다.

$$\text{Kirpich 식} : t_\ell = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385} \quad (5)$$

$$\text{Cater 식} : t_\ell = 0.0927L^{0.6}S^{-0.3} \quad (6)$$

$$\text{RRL 식} : t_\ell = \frac{15.12L^{0.323}}{I^{0.64}S^{0.448}} \quad (7)$$

여기서, L는 하도의 길이(m), S는 하도의 경사(Kirpich 식과 Carter 식의 S는 m/m이고 RRL 식의 S는 백분율 %) 및 I는 강우강도(mm/hr)이다.

다음으로, 지표면에서의 도달시간(t_s :min)은 Kerby 식을 검토하였으며, 그 형태는 식(8)과 같다.

$$\text{Kerby 식} : t_s = 1.44(n \cdot L)^{0.467}S^{-0.234} \quad (8)$$

여기서, n은 조도계수이고 S는 하도의 경사이다. 그리고 위에서 검토된 식 중에서 RRL식은 도달시간이 강우강도에 크게 영향을 받는다는 전제하의 식이므로 이를 적용하기 위해서는 강우강도식 IDF의 확률강우강도를 이용하고 이때의 강우지속시간은 Kirpich 식으로부터 구한 값을 초기치로 하였다. 이 때 유역의 홍수도달시간은 하도의 도달시간(t_ℓ)과 지표면 도달시간(t_s)의 합으로 식(9)와 같다.

$$t_c = t_\ell + t_s \quad (9)$$

2.2.2 확률강우강도의 선정

본 연구에서는 주요 호우로부터 그 지역을 대표할 수 있는 강우강도식을 선정하기 위하여 각 지속시간별 확률강우량을 분석하고 이로부터 이 지역에 맞는 지속시간별 확률강우강도 식을 유도토록 하였다. 확률강우량을 산정하기 위하여 이용된 자료는 단시간 호우자료를 수집하였으며, 자료의 기간은 1960년부터 2002년까지로 이 기간에 발생한 주요호우를 대상으로 지속시간별 최고치를 확률분포에 이용하였다. 분석된 강우지속시간은 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 180, 240 및 300분으로 구분하였으며, 각 지속시간별 확률강우분포는 Log-normal 3변수, Pearson Type-III, 극치-I 및

Log-Pearson Type-III 분석 등을 실시하였다. 지속시간별 분석된 확률강우량은 극치-I 분포와 Log-Pearson Type-III 분포형이 타 분포형에 비해서 큰 값을 나타내고 있었다. 특히 강우의 지속시간이 짧은 10, 20, 30분일 경우에는 Log-Pearson Type-III 분포형이 크게 나타난 반면에 지속시간이 긴 40분 이상일 경우는 극치-I 분포형이 크게 나타났다.

따라서 지속시간별로 확률강우량을 산정하는 분포형의 결정은 본 연구대상유역이 비교적 적은 소유역으로서 도시개발지이므로 홍수도달시간이 매우 짧아 대체로 30분 이내이므로 단시간의 확률강우량 산정모델은 Log-Pearson Type-III 분포형으로 결정하였으며, 이 확률강우량으로부터 IDF 식을 유도한 결과는 식(10)과 같다.

$$I = \frac{156.25 T^{0.246}}{t^{0.409}} \quad (10)$$

여기서, t는 지속시간(min)이며, T는 재현기간(year)을 나타낸다.

3. 도시화에 따른 홍수유출 분석

본 연구에서는 도시화에 따른 홍수유출 변화특성을 파악하기 위하여 최근에 급속히 도시화가 진행된 대구광역시 수성구에 위치한 범어천 유역을 대상으로 하여 도시화 전·후로 분리하여 도시화지역을 선정하였다. 범어천 유역(그림 2)은 대구광역시의 동남부에 위치하고 있으며, 상류유역은 일반 산지하천유역이고 중·하류부는 도시화가 촉진되어 광범위한 주거 및 상가지역이 조성되어 있거나 일부는 대단위 아파트지역으로 개발되어 있다. 지형과 지세에 있어서는 상류인 범물동, 지산동, 황금동은 지봉산을 비롯한 비교적 높은 산지와 경계를 하고 있어 지표면 경사가 매우 급한 지세를 이루고 있으나 신천우안과 접하고 있는 중·하류유역은 대부분 지표면 경사가 완만하고 하도의 경사도 완만하여 집중호우시에는 홍수배제가 불량한 평지부로 형성되어 있다. 도시화 전·후의 지형특성 인자로부터 모델의 매개변수를 추정토록 하였으며, 대상유역의 유역출구로부터 도시화가 진행됨에 따라 홍수유출해석을 수행함으로써 도시화에 따른 유출특성 변화를 분석토록 하였다.

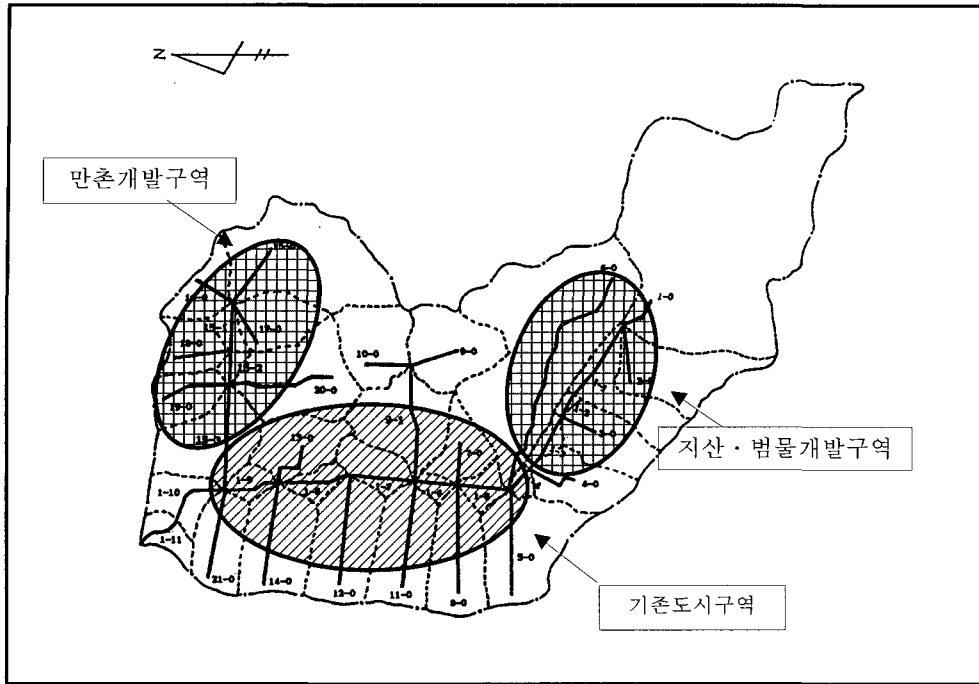


그림 2. 범어천 유역

3.1 대상유역의 시스템 구성

도시하천유역에서 발생하는 홍수유출을 해석하기 위하여 범어천 유역을 대상으로 유역유출 시스템을 구성하고 이들 토대로 각 지점의 홍수유출량을 분석토록 하였다.

먼저, 유출시스템의 구성은 그림 3과 같이 범어천 본류를 기준으로 분류하도(A-B-C-D-E-F-G-I-J-K-O-P-Q Line)와 황금동 지역에서 유하하는 하도(H-I Line) 및 만촌지역에서 유하하는 하도(L-M-N-O Line)로 구성하였으며, 이들 각 배수 Line은 간선배수로로서 원래는 개거부였으나 유역이 도시화되면서 극히 일부를 제외하고는 점차 도로암거 또는 복개도로로 이용되고 있는 실정이다.

다음으로, 배수시스템 내에서 각 배수로에 유입하는 21개 소유역(1-0~21-0)과 소하도유역은 분류권 11개 소하도유역(1-1~1-11), 황금동 지역(H-I Line)의 소하도유역(9-1) 및 만촌지역(L-M-N-O Line)의 소하도유역(15-1~15-3)으로 분할하여 21개 소유역과 15개 소하도 유역으로 구성하였으며, 이들 35개 소유역에서 발생하는 소유역별 유출량은 하도추적을 통하여 하류로 유하하게 된다.

마지막으로, 배수시스템내의 소유역의 면적구성비는 표 2와 같으며, 소유역(1-0)은 유역면적이 7.35 km²로서 범어천 유역의 총면적 27.3 km²의 약 1/4에 해당되어 유역면적의 크기비가 큰 차이를 나타내고 있으나 이 유역은 산지유역이고 그 하류부에 과거부터 사용해 온 생활 및 농업용수 저수지가 있으므로 이를 단일 소유역으로 취급하였다.

3.2 도시화 전·후의 토지이용상태 분석

범어천유역의 도시화 전·후의 토지이용상태별 면적 및 면적비를 조사하였으며 면적구성은 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 개발전과 후에 대해서 개발면적의 변화를 살펴보면, F 지점의 경우는 최상류 지역으로서 개발전에 개발지역의 면적이 0.184 km²에서 개발후에 3.238 km²으로 전체면적에서 차지하는 비율이 1.57%에서 27.69%로 26.12% 증가함을 알 수 있었다. 하류지점인 I 지점, O 지점 및 최하류인 Q 지점에서도 개발전과 개발후의 개발지역 면적의 증가율을 살펴보면 각각 24.55%, 14.16% 및 13.74%로 나타나 개발이 상류지점에서 급속히 이루어지고 있음을 보여주고 있다.

도시화 전·후의 면적구성에서 큰 변화를 나타내는

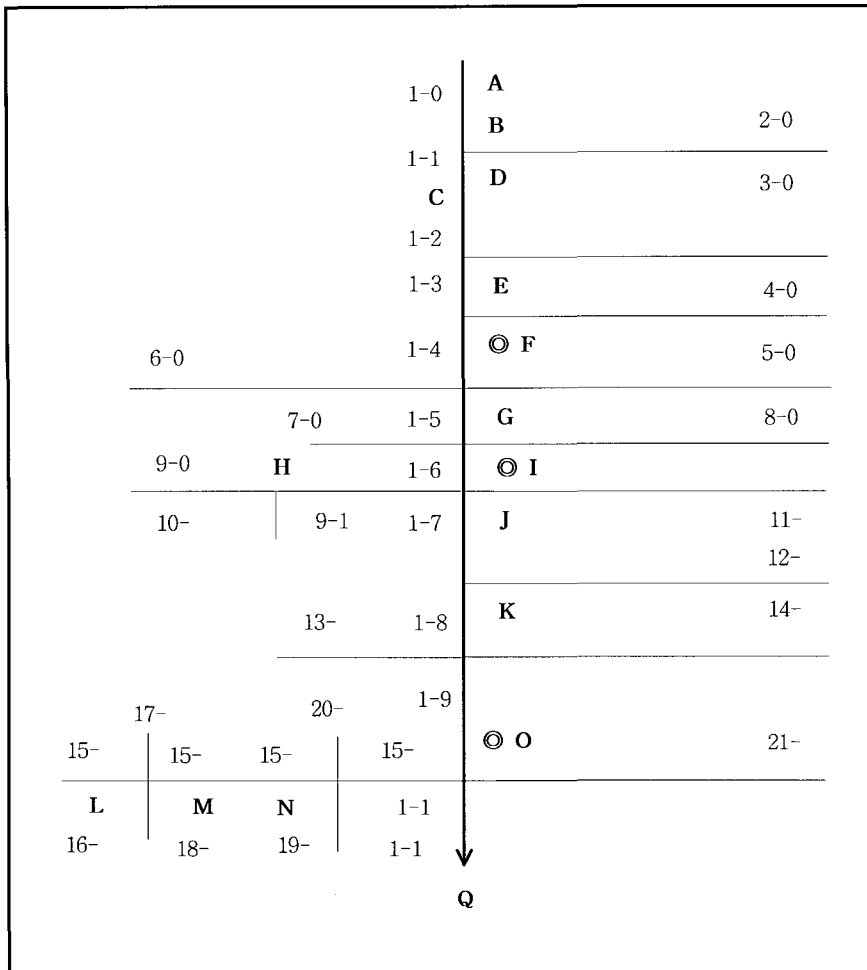


그림 3. 범어천의 유출시스템 구성도

표 1. 범어천 유역의 토지이용도(km²)

토지 이용 지점	개 발 전				개 발 후				개 발 증가율 (%)	면 적
	녹지지역		개발지역		녹지지역		개발지역			
	면적	면적비	면적	면적비	면적	면적비	면적	면적비		
F 지점	11.511	98.43	0.184	1.57	8.457	72.31	3.238	27.69	26.12	11.695
I 지점	13.189	87.06	1.960	12.94	9.470	62.51	5.679	37.49	24.55	15.149
O 지점	17.322	66.79	8.612	33.21	13.571	52.33	12.363	47.67	14.16	25.934
Q 지점	17.341	63.52	9.959	36.48	13.590	49.78	13.710	50.22	13.74	27.300

지역은 주로 유역의 상류부인 지산·범물지구와 지류유역인 만촌천지구로 나눌 수 있다. 특히 ILLUDAS 모델의 적용을 위하여 지표처리상태에 따른 면적 및 면적비를 표 2와 같이 녹지지역과 포장지역으로 구분하여

분석함으로서 도시화에 따른 홍수유출특성을 분석토록 하였다.

표 2. 범어천 유역의 개발지역과 녹지지역의 면적 및 면적비(km²)

토지 이용	답		하천·수로		건물포장 (공장)		포장(도로)		임야		계
	No.	전	후	전	후	전	후	전	후	전	
1-0	0.480	0.030	0.198	0.088	0.022	0.237	0.015	0.584	6.815	6.571	7.530
2-0	0.129	0.009	0.100	0.040	0.010	0.220	0.005	0.090	0.696	0.581	0.940
1-1	0.230	-	0.305	0.220	0.011	0.450	0.007	0.400	0.689	0.340	1.410
1-2	0.051	-	0.010	0.008	0.005	0.051	0.002	0.009	-	-	0.060
3-0	0.250	-	0.001	0.005	0.035	0.400	0.007	0.050	0.452	0.295	0.750
1-3	0.250	-	0.008	-	0.002	0.265	0.004	0.005	0.006	-	0.270
4-0	0.240	-	0.021	0.014	0.012	0.400	0.010	0.060	0.417	0.226	0.700
1-4	0.129	-	0.004	-	0.030	0.100	0.007	0.070	0.030	0.030	0.200
5-0	-	-	0.020	0.020	0.500	0.500	0.080	0.080	0.620	0.620	1.220
6-0	0.220	0.010	0.011	0.002	0.045	0.500	0.023	0.060	0.641	0.368	0.940
1-5	-	-	0.030	0.030	0.070	0.070	0.070	0.070	-	-	0.170
7-0	-	-	-	-	0.300	0.300	0.020	0.020	0.100	0.100	0.420
8-0	-	-	-	-	0.500	0.500	0.070	0.070	-	-	0.570
1-6	-	-	0.032	0.032	0.068	0.068	0.030	0.030	-	-	0.130
9-0	-	-	-	-	0.060	0.060	0.008	0.030	0.772	0.750	0.840
10-0	-	-	-	-	0.300	0.300	0.040	0.040	0.320	0.320	0.660
9-1	-	-	0.005	0.005	0.410	0.410	0.030	0.030	0.415	0.415	0.920
11-0	-	-	-	-	0.390	0.390	0.190	0.190	-	-	0.580
1-7	-	-	0.049	0.049	0.200	0.200	0.051	0.051	-	-	0.300
12-0	-	-	-	-	0.586	0.586	0.120	0.120	-	-	0.720
1-8	-	-	-	-	0.099	0.099	0.090	0.090	-	-	0.200
13-0	-	-	0.001	0.001	0.029	0.029	0.080	0.080	0.119	0.119	0.500
14-0	-	-	0.014	0.014	0.416	0.416	0.080	0.080	0.036	0.036	0.560
1-9	-	-	-	-	0.111	0.111	0.070	0.070	-	-	0.190
15-0	-	-	-	-	0.800	0.800	0.027	0.050	1.673	1.650	2.500
16-0	-	-	-	-	0.150	0.150	0.040	0.040	0.160	0.160	0.350
17-0	-	-	-	-	0.140	0.140	0.030	0.030	0.030	0.030	0.200
15-1	-	-	-	-	0.050	0.050	0.030	0.030	-	-	0.080
18-0	-	-	-	-	0.200	0.200	0.060	0.060	-	-	0.270
15-2	-	-	-	-	0.040	0.040	0.010	0.010	-	-	0.050
19-0	-	-	-	-	0.065	0.065	0.040	0.040	-	-	0.110
20-0	-	-	-	-	0.490	0.490	0.120	0.120	0.480	0.480	1.090
15-3	-	-	0.014	0.014	0.334	0.334	0.136	0.136	0.046	0.046	0.530
21-0	-	-	-	-	0.315	0.315	0.215	0.215	-	-	0.530
1-10	-	-	-	-	0.350	0.350	0.190	0.190	-	-	0.540
1-11	-	-	0.019	0.019	0.181	0.181	0.070	0.070	-	-	0.270

3.3 도시화 전·후의 홍수유출특성 분석

본 연구에서는 범어천유역을 대상으로 도시화 전·후의 홍수유출특성의 변화를 파악하기 위하여 확률호우를 대상으로 분석하였으며, 홍수유출수문곡선의 변화는 도 4~7과 같이 나타났다. 여기서 도시화 전·후의 홍수유출수문곡선에서 도시화에 따른 첨두홍수량은 크게 증가하였으며, 첨두발생시간도 빨라지고 있음을 알 수 있다.

먼저, 그림 4에서 보는 바와 같이 F 지점에 있어 도시화 전·후의 첨두홍수량을 비교해보면, 72 cms에서 111 cms로 증가하여 약 54%의 증가율을 나타내고 있으며, 도달시간의 경우는 55분에서 40분으로 약 38%의 감소를 보여주고 있었다.

또한, 그림 5의 경우에서 보는 바와 같이 I 지점에서의 도시화 전·후의 첨두홍수량을 비교해보면, 93 cms

에서 150 cms로 증가하여 약 61%의 증가율을 나타내고 있었으며, 도달시간의 경우는 70분에서 50분으로 약 40%의 감소율을 나타내고 있었다.

그림 6의 경우에서 보는 바와 같이 O지점에서의 도시화 전·후의 첨두홍수량을 비교해보면, 136 cms에서 211 cms로 증가하여 약 55%의 증가율을 나타내고 있었으며, 도달시간의 경우는 100분에서 80분으로 약 20%의 감소율을 보여주고 있었다.

마지막으로 최하류지점인 Q지점에서의 경향을 그림 7에서 살펴보면, 도시화 전·후의 첨두홍수량은 145 cms에서 225 cms로 증가하여 약 55%의 증가율을 보여주고 있었으며, 도달시간의 경우는 125분에서 105분으로 20분 감소하였으며, 감소율은 19% 정도를 나타내고 있었다.

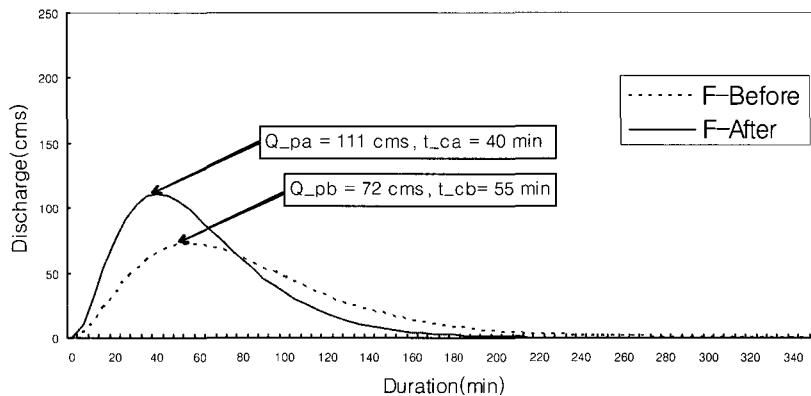


그림 4. 도시화 전·후의 홍수수문곡선의 비교(확률강우50년빈도 : F지점)

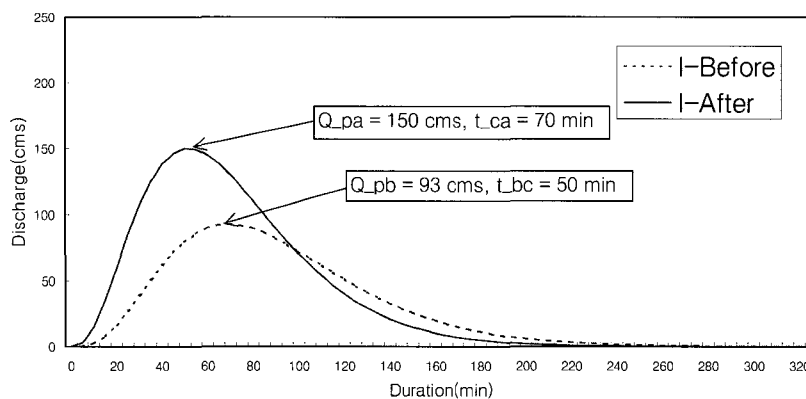


그림 5. 도시화 전·후의 홍수수문곡선의 비교(확률강우50년빈도 : I지점)

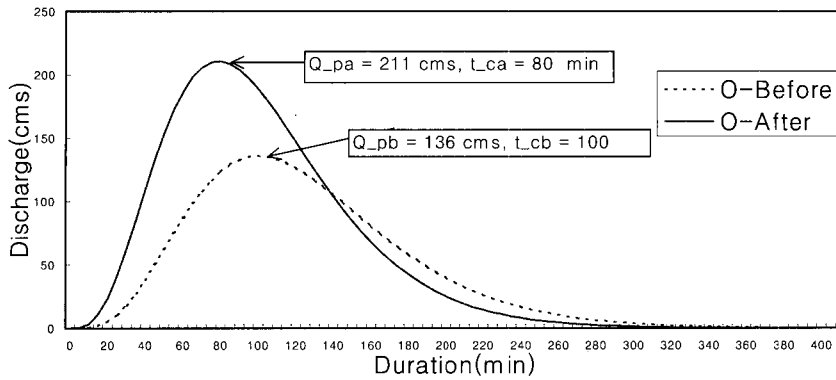


그림 6. 도시화 전·후의 홍수수문곡선의 비교(확률강우50년빈도 : O지점)

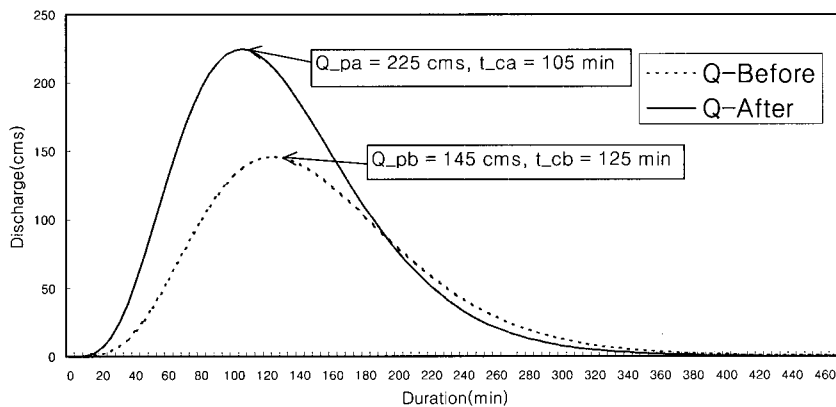


그림 7. 도시화 전·후의 홍수수문곡선의 비교(확률강우 50년빈도 : Q지점)

3.4 분석결과의 고찰

본 연구에서는 도시화로 인한 포장지역의 면적비가 증가함에 따른 도시화 전·후의 유출특성의 변화를 파악하기 위하여 각각의 지형인자를 추정하고 이로부터 확률강우량을 적용하여 도시화 전·후의 주요지점별 확률홍수량을 산정하였다. 확률홍수량의 산정지점에 대하여 계산된 각각의 확률년별 침투홍수량과 침투발생시간을 분석한 결과는 표 3, 4 및 그림 8~9와 같이 나타났다.

먼저, 지형인자의 분석결과 포장지역의 면적비가 크게 증가한 지역은 대상유역의 상류인 F 지점으로 나타났다. 유역의 중·하류부에서는 소유역 9-0 및 15-0 지역에서만 포장지역의 면적비가 증가한 것으로 나타났다. 또한 홍수량 산정지점별 포장면적의 증가율은 F 지점에

서 26.12 %, I 지점에서는 24.55 %, O 지점에서는 14.16 % 및 Q 지점에서는 13.74 %로 주로 상류지역에 도시화 증가율이 높게 나타났다.

다음으로, 표 3에서 각 지점별 침투홍수량의 비교에서 F 지점의 경우 각 확률년별로 침투홍수량을 살펴보면, 개발전의 홍수량은 43~123 cms로 나타났는데 도시화에 따른 개발 후의 침투홍수량은 67~164 cms로 나타나 대략 32~56 %의 증가율을 보이고 있었다. 표 4에서 침투발생시간을 살펴보면, 개발전의 침투발생시간이 35~70분에서 개발후 25~60분으로 10~15분 정도 단축되는 것으로 나타났다.

I 지점의 경우를 살펴보면, 개발전의 침투홍수량은 65~142 cms로 나타났는데 도시화에 따른 개발 후의 침투홍수량은 94~184 cms로 나타나 대략 29~45%의 증가율을 보이고 있었다. 표 4에서 침투발생시간을

표 3. 도시화 전·후의 침투홍수량과 변화량

지점	빈도	개발상태	Q(cms)						
			T=10	T=20	T=30	T=50	T=80	T=100	T=150
F-지점		개발 전	43	60	68	72	106	115	123
		개발 후	67	85	96	111	142	152	164
		증가량(%)	24(56)	25(42)	28(41)	39(54)	36(34)	37(32)	41(33)
I-지점		개발 전	65	82	90	93	126	131	142
		개발 후	94	114	125	150	163	172	184
		증가량(%)	29(45)	32(39)	35(39)	57(61)	37(29)	41(31)	42(30)
O-지점		개발 전	105	118	125	136	168	179	200
		개발 후	145	160	175	211	222	243	264
		증가량(%)	40(38)	42(36)	50(40)	75(55)	54(32)	64(36)	64(32)
Q-지점		개발 전	112	128	137	145	177	186	203
		개발 후	149	168	200	225	238	249	271
		증가량(%)	37(33)	40(31)	63(46)	80(55)	61(34)	63(34)	68(33)

표 4. 도시화 전·후의 침투발생시간과 변화량

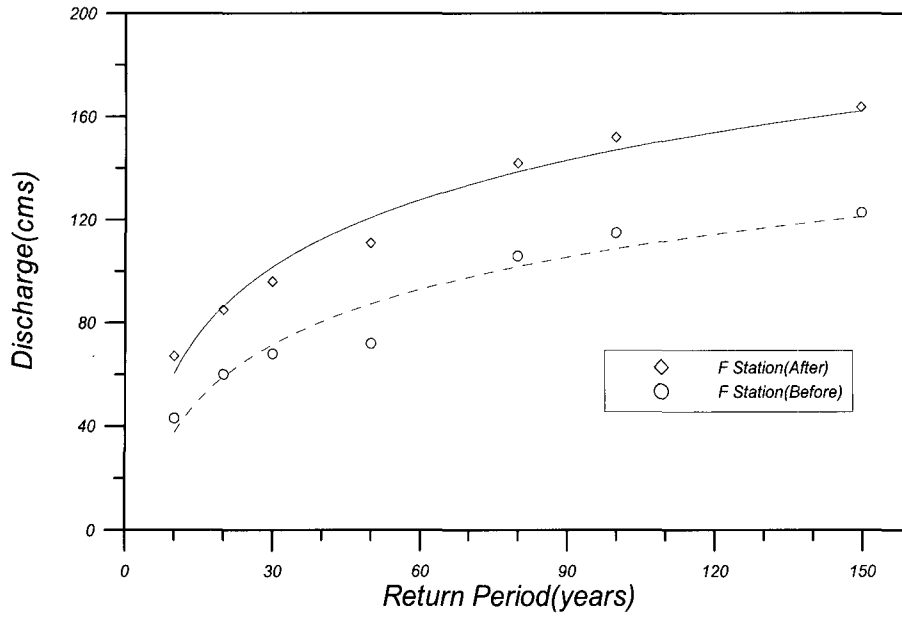
지점	빈도	개발상태	Time(min)						
			T=10	T=20	T=30	T=50	T=80	T=100	T=150
F-지점		개발 전	70	65	60	55	50	45	35
		개발 후	60	55	50	40	35	30	25
		감소량(%)	10(14)	10(15)	10(17)	15(27)	15(30)	15(33)	10(29)
I-지점		개발 전	100	90	80	70	65	60	50
		개발 후	85	70	60	50	45	40	35
		감소량(%)	15(15)	20(22)	20(25)	20(29)	20(31)	20(33)	15(30)
O-지점		개발 전	160	140	120	100	80	70	60
		개발 후	145	130	100	80	65	60	45
		감소량(%)	15(9)	10(7)	20(17)	20(20)	15(19)	10(14)	15(25)
Q-지점		개발 전	170	150	140	125	110	90	80
		개발 후	155	135	120	105	85	55	50
		감소량(%)	15(9)	15(10)	20(14)	20(16)	25(23)	35(39)	30(38)

살펴보면, 개발전의 침투발생시간이 50~100분에서 개발 후 35~85분으로 15~20분 정도 단축됨을 알 수 있었다.

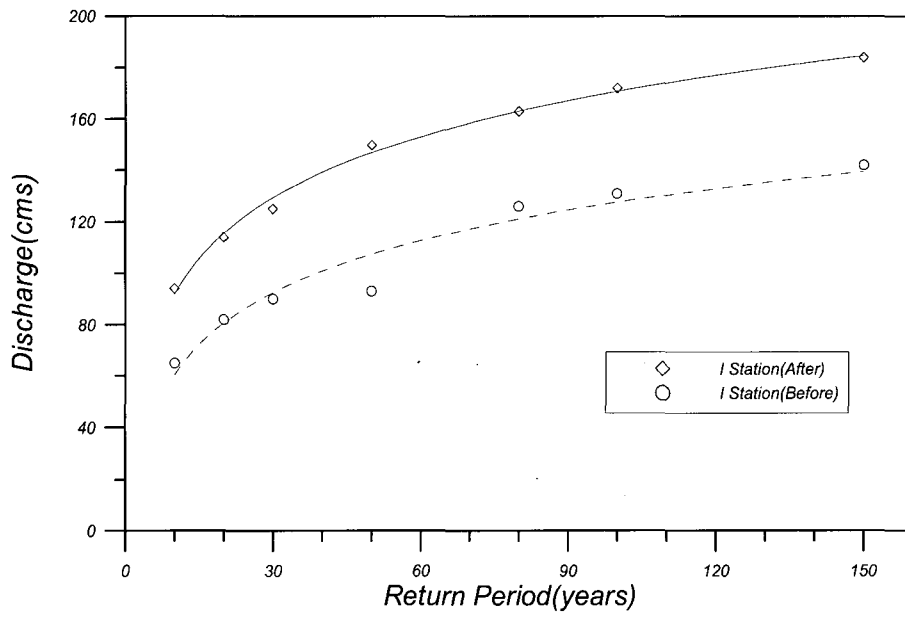
O 지점의 경우를 살펴보면, 개발전의 침투홍수량은 105~200 cms로 나타났는데 도시화에 따른 개발 후의 침투홍수량은 142~264 cms로 나타나 대략 32~55 %의 증가율을 보이고 있었다. 표 4에서 침투발생시간을 살펴보면, 개발전의 침투발생시간이 60~160분에서 개발 후 45~145분으로 10~20분 정도 단축되었다.

Q 지점의 경우를 살펴보면, 개발전의 침투홍수량은 112~203cms로 나타났는데 도시화에 따른 개발 후의 침투홍수량은 149~271 cms로 나타나 대략 33~55 %의 증가율을 보이고 있었다. 표 4에서 침투발생시간을 살펴보면, 개발전의 침투발생시간이 80~170분에서 개발 후 50~155분으로 15~35분 정도 단축됨을 알 수 있었다.

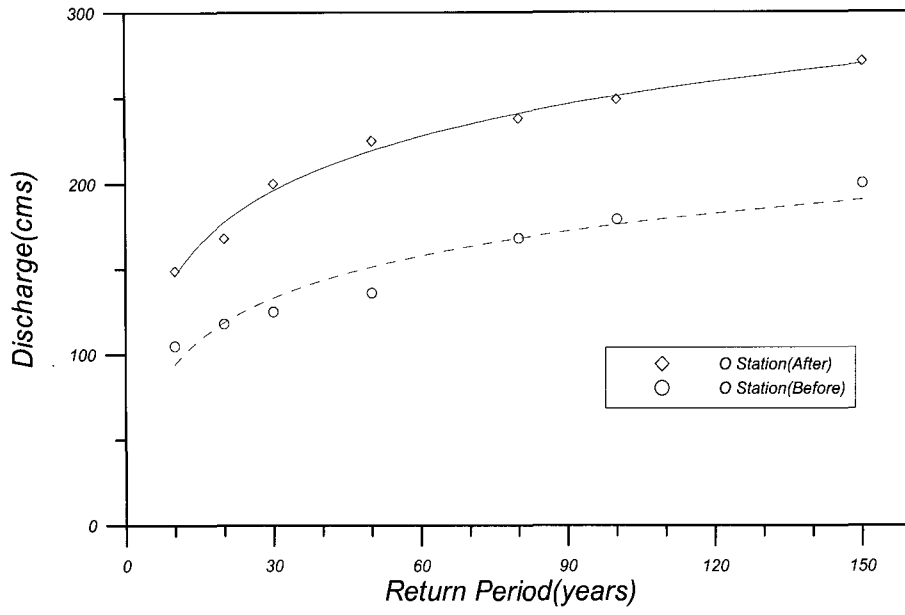
마지막으로, 침투홍수량의 비교결과 F 지점의 각 확률년별 홍수량의 변화는 24~41 cms 로 나타났으며, I



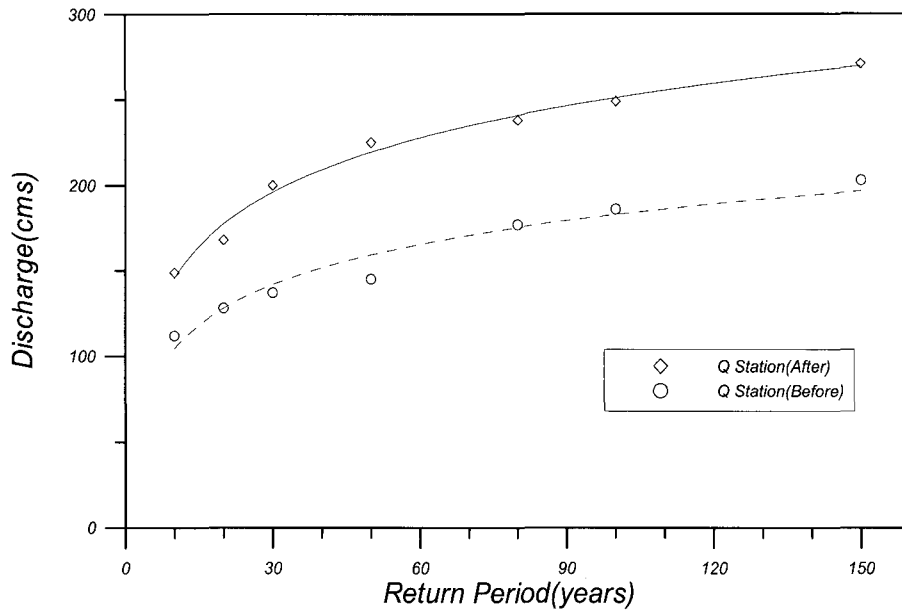
(a) F-지점



(b) I-지점

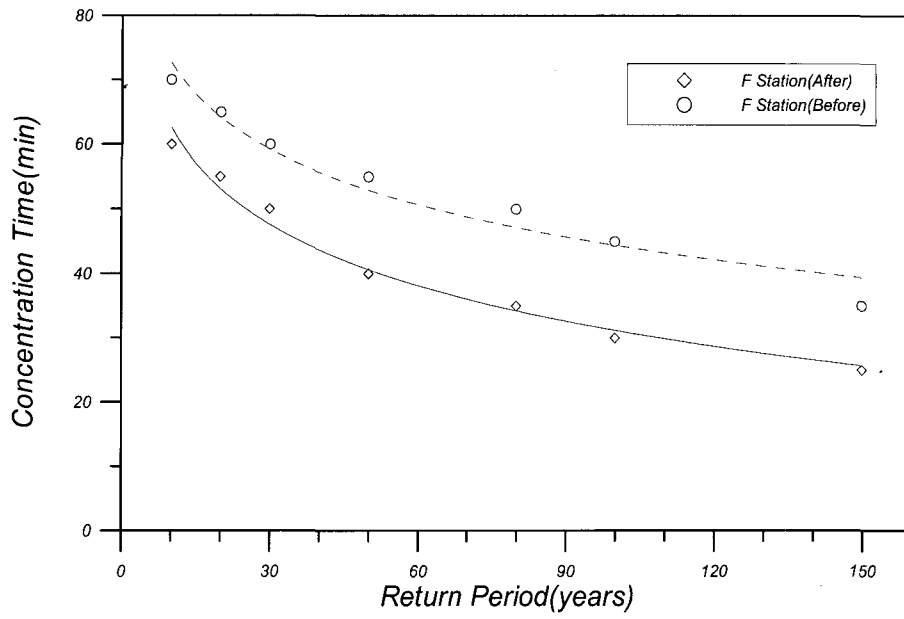


(c) O-지점

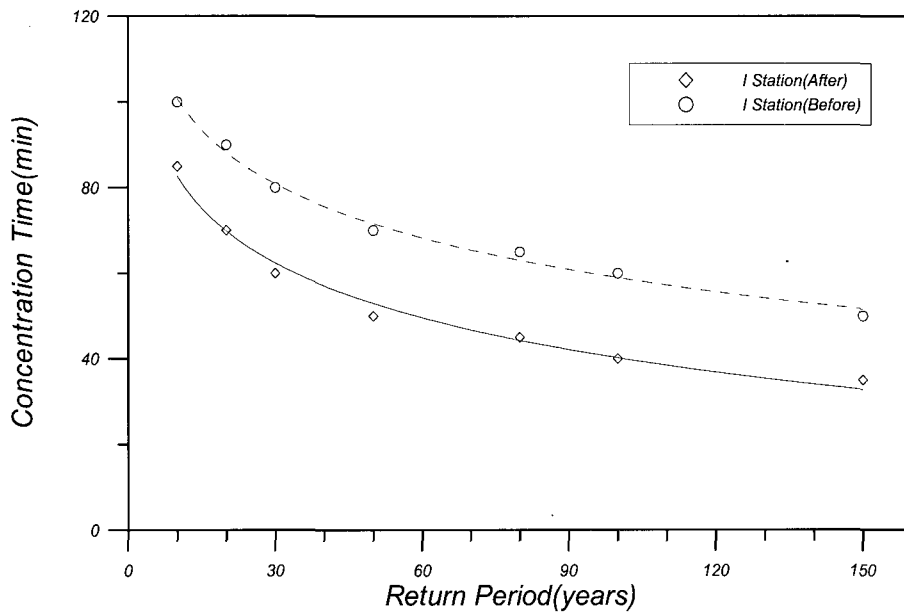


(d) Q-지점

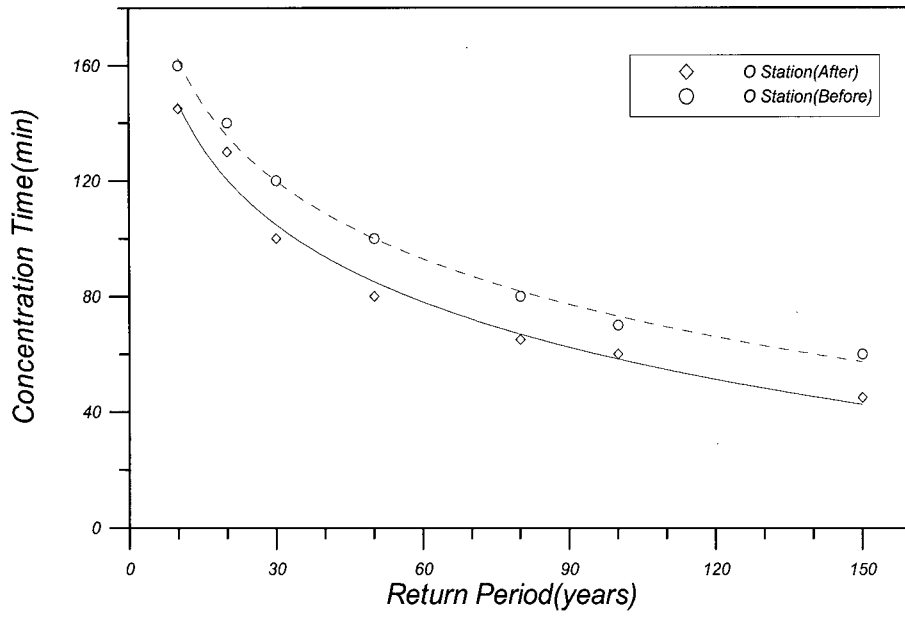
그림 8. 도시화 전·후의 침투홍수량



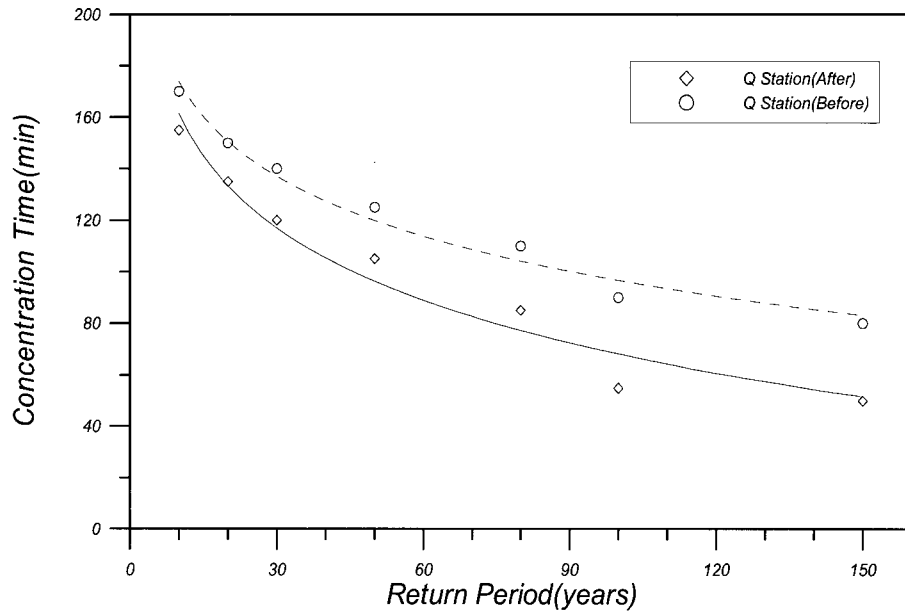
(a) F-지점



(b) I-지점



(c) O-지점



(d) Q-지점

그림 9. 도시화 전·후의 침투발생시간

4. 결 론

자연상태의 하천유역이 도시화 되는 과정에서 하천의 자연·인문환경은 변화를 거듭하게 되었으며, 도시화된 하천유역은 흐름과 수량에 있어 크게 변화되어 왔다. 이러한 지형의 급속한 변화가 하천의 홍수유출특성에 미치는 영향을 규명하고자 범어천유역을 대상으로 도시화 전·후에 따른 홍수유출특성을 비교 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유역이 도시화됨에 따른 지형인자의 변화가 침투 발생시간에 미치는 영향을 분석한 결과 도시화율이 증가되면서 각 지점별 침투발생시간을 비교한 결과 도시화 전보다 약 15~35분 빠르게 나타나 유역의 상류부에서 급격히 증가한 포장면적의 비로 인한 침투시간의 변화량이 유역의 최하류부까지 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 2) 유역의 도시화에 따라 지형인자의 변화가 침투홍수량에 미치는 영향을 분석한 결과 도시화율이 증가되면서 각 지점별 침투홍수량의 변화량을 비교한 결과 도시화 개발후의 침투홍수량은 최대 60 % 정도 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 도시하천의 상하수도 설계 및 하도변경 설계 등에서 지표수를 종합적으로 관리할 수 있는 기법을 개발하기 위해서는 치수적인 측면에서 지형인자의 변화량에 따른 설계홍수량의 충분한 검토가 필요함을 알 수 있었으며, 본 연구에서 검토된 유출특성의 변화량 산정기법을 보다 광범위한 도시유역에 적용함으로써 자연유역에서 도시화 유역의 변화가 유출특성의 변화에 미치는 영향을 정밀하게 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 서규우(1998). 도시유출모형의 매개변수 결정을 위한 민감도 분석 연구, 박사학위논문, 연세대학교.
- 서울특별시(1988). '87 수해백서, 한국수문학회, pp. 573-662.
- 안상진, 김용용(1998). "도시유출 모형을 이용한 도시유역의 유출량 분석." 대한토목학회 학술발표회, 대한토목학회, pp. 259-262.
- 원석연(1993). 유역 및 하도 홍수추적 방법을 결합시킨 도시하천의 유출해석 모형, 박사학위논문, 고려대학교.
- 윤용남, 전병호, 이종태(1992). 도시홍수재해방지를 위해 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발, 한국과학재단.
- 이영화(1996). "도시하천유역의 유지용수 산정에 관한 연구." 한국환경과학회지, 제5권, 제3호.
- 이영화, 지홍기(1996). "도시환경에서의 지표수 및 지하수 관리," 건설교통부, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남(1991). "도시화 영향을 고려한 유수지 계획모형." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제24권, 제4호, pp. 73-83.
- Dunne, T.(1983). "Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff." *Journal of Hydrology*, Vol. 65, pp. 25-48.
- Harley, B.M., Perkins, F. E., and Eagleson, P. S.(1970). A modular distributed model of catchment dynamics. Report No. 133, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, Massachusetts.
- Hicks, W. I.(1940). "A Method Computing Urban Runoff," *American Society of Civil Engineers Transaction*, V.109, pp. 1217~1253, 1944.
- Izzard, C. F.(1946). "Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces," *Proceeding 26th Highway Research Board*.26:129-150.
- Stall, J. B. and Floyd A. H.(1971). "The Structure of Storm Rainfall," *Illinois State Water Survey*, Reprint 165.
- Stall, J. B., Michael L. Terdriep, and F. A. Huff.(1970). "Some Effects of Urbanization on Floods," *Illinois State Water Survey*, Reprint 133.
- Stall, J. B. and Terstiep, M. L.(1974). The Illinois urban drainage area simulator : ILLUDAS. *Illinois State Water Survey*.
- U. S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service(1986). Urban hydrology for small watersheds. Technical Release, No. 55.

(논문번호:03-15/접수:2003.02.11/심사완료:2003.08.04)