

도시화 유역에서의 홍수 유출 특성

Flood Runoff Characteristics in Urbanized Basin

한 국 회* · 이 길 춘**
Han, Kook Hee · Lee, Kil Choon

Abstract

This study is runoff analysis of the recently urbanized San Bon basin. The relationships between peak discharge and total discharge were examined by applying the ILLUDAS runoff analysis model to the measured data. In urbanized streams, it is found that channel adjustment had the most significant effect on the increase of peak discharge. Significant increases in the peak discharge occurred as rainfall duration or return period increases 10% and 7~16% increases in peak discharge were observed when the roughness coefficient were 0.04 and 0.015, respectively. When the natural river channel with $n=0.04$ was converted into a sewerage system of $n=0.015$ the peak discharge was greatly increased by 51~158 %. Generally, flood peak discharge was increased during heavy rain, but in the case of urbanized basin, river stage was reduced owing to an increase of flow velocity by the adjustment of drainage system.

요 지

최근에 도시화 된 산본천 유역을 대상으로 한 유출 해석이다. 실측한 각종 자료를 유출해석 모형인 ILLUDAS를 이용하여 도시화에 따른 첨두유량과 총유출량의 관계를 분석하였다. 도시하천에서 첨두유량의 증가는 도시화에 따른 하도 정비가 가장 큰 영향이 있는 것으로 판단된다. 첨두유량은 강우 지속시간이나 재현기간에 따라 조도계수 $n=0.04$ 일 경우에 최대 10%까지, $n=0.015$ 일 경우는 7~16%이였으며, 또한 자연하도($n=0.04$)에서 계획하도($n=0.015$)로 변화하면 첨두유량은 51~158%까지 큰 폭의 증가를 보였다. 일반적으로 호우시 홍수첨두유량은 증가하지만 도시유역의 경우는 배수계통의 정비로 유속이 증가하므로 하천 수위는 오히려 감소하는 것으로 나타났다.

* 안양전문대학 토목과 조교수
** 단국대학교 공과대학 토목공학과 교수

1. 서 론

홍수 유출의 변화는 일반적으로 유역의 정상적인 기상학적 조건 아래에서는 지형인자와 수로 개수에 따라 큰 변화를 초래하게 된다.

이와 같은 홍수 유출에 큰 변화를 가져오는 지형 및 수로 인자는 도시화라는 현상에 의하여 유역의 지형, 피복 조건, 투수 면적의 감소, 수로의 증가, 크기, 조도, 선형 등의 변환으로 침투유량과 유속 등 수문량의 급격한 변화로 홍수 범람의 위험성을 증대시키고 있는 것이다.

특히 기존 도시 주변의 소하천유역에 신도시를 개발할 경우, 대상유역은 택지, 삼림, 밭 등 토지이용이 복잡적이며 유역의 경사, 투수면적 등이 감소하고 하도개수가 이루어져 홍수유출량 증대와 홍수 도달 시간의 감소 등이 나타나고 있다.

이로 인한 신도시 개발 지역의 내배수 문제가 제기되며 주로 도시화 유역을 중심으로 유출해석을 시도하는 경향이 있다. 한편 도시화 유역과 주변의 기존 도시유역에서의 유출량 증가시 수위상승 및 유출장애로 인한 범람 및 내배수 장애로 침수의 우려가 예상되고 있다. 지금까지는 일반적으로 도시화 유역에 대한 침투유량 및 유출율, 도달시간 등과 강우량의 관계만을 주로 조명하는 것이었다.

본 연구에서는 최근에 완공된 대도시 주변의 상류지역에 건설된 신도시 하천유역에 자기수위계를 설치하여 실측한 유량과 강우량 자료로 적합한 도시유출 해석모형을 선정하여 유출량과 강우와의 관계만이 아닌 토양함수량, 도시화에 의한 불투수면적의 증대 및 수로정비 정도에 따른 유출 특성을 규명하고자 한다.

2. 도시화유역에서의 유출량 산정

도시화 유역의 유출 현상은 침투유량과 유출율의 분석을 주로 하는데 유출율은 불투수면적이나 선형 강우 등의 영향으로 인위적인 조작이나 계획적인 취급이 곤란하지만 침투유량은 강우강도, 불투수면적, 유역경사와 조도, 배수관로의 형상, 경사, 조도 등의 복합적인 영향을 받는다. 이러한 침투유량의

크기에 영향을 미치는 요인 중 배수관로의 형상, 경사, 조도 등은 설계나 건설후 어느정도 변환할 수 있다.

침투홍수량의 정확한 산정이나 예측은 기존 도시의 도시화를 증가나 자연 유역에서의 신도시 건설에 중요한 것이다. 특히 도시 주변 유역의 상류지역에 신도시 건설을 할 경우에는 도시화 유역의 내배수 처리에 관심을 가져야 되지만, 하류지역의 기존 도시 지역에 침투유량이 미치는 영향을 고려해야 한다.

침투홍수량 산정을 위한 일반식은 다음과 같이 제안되고 있다 (Schulz와 Lopez, 1974).

$$Q_p = \alpha W_p S_p U_p \quad (1)$$

여기서, α 는 상수, W_p 는 유역 요인, S_p 는 호우 요인, U_p 는 도시화 요인이다.

식 (1)의 각 요인들을 자세하게 나타내면 다음과 같다.

$$W_p = A^\alpha \cdot S^\beta \cdot L^\gamma \quad (2)$$

$$S_p = P_1^\alpha \cdot P_3^\beta \cdot D^\gamma \quad (3)$$

$$U_p = C_n^\alpha \cdot C_f^\beta \quad (4)$$

여기서, A 는 유역면적, S 는 주관로 경사, L 은 주관로 길이, P_1 는 총강우량, P_3 는 임의 시간의 최대 강우량, D 는 호우지속시간, C_n 은 주관로 조도계수, C_f 는 유역 불투수 요인이다.

위식에 나타난 세 가지의 요인 중 도시화 요인을 정량적으로 나타내기 위해서는 불투수면적율, 하도 정비율 등을 구하는데 角屋 睦 (1985)는 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$P = \alpha H + \beta R + \gamma S \quad (5)$$

여기서, P 는 불투수면적율(%), H , R , S 는 각각 주택지, 도로, 기타 용도 지역의 면적비, α , β , γ 는 불투수면적율(%)이다.

하도정비율을 고려한 도시화 지표는 다음과 같

다.

$$U = \frac{N_1}{N_2} \sqrt{\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}} \left(\frac{1 + \beta_{c1}}{1 + \beta_{c2}} \right)^{3/5} \quad (6)$$

여기서, N 은 등가 조도, $\sin\theta$ 는 사면 평균경사, β_c 는 우수의 유로 유하시간의 사면전파시간에 대한 비(수로 정비정도에 의존), 첨자 1, 2는 도시화 전과후이다.

式 (5)와 (6)을 실용적인 식으로 나타내면 다음과 같다(角屋 睦, 1985; 細川 登, 1992).

$$U_n = W_1 \frac{P(x)}{P(70)} + W_2 \frac{S_d(x)}{S_d(100)} + W_3 \frac{C_d(x)}{C_d(100)} \quad (7)$$

여기서, $P(x)$ 는 불투수면율, $S_d(x)$ 는 하도 정비율, $C_d(x)$ 는 일정 이상의 설계강우강도 하수도 정비율이다.

3. 대상구역

연구 대상구역은 대도시 주변에서 급격한 도시화가 이루어진 택지, 산림 및 밭 등이 공존하고 있으며 지형적으로 유역 경사가 큰 지역을 선택하였다. 도시유출해석모형의 적합성 여부를 위한 실측자료 획득을 위해서는 유역내에 자기수위계를 설치하여

호우시 수위를 측정하고 유속은 표면유속과 유속계로 직접 측정하여 유량을 계산하였으며 유출해석은 신도시건설 설계도면과 실측으로 수집한 자료를 이용하였다(산본지구, 1990). 유역인자 및 강우량 현황에 대해서는 다음에서 설명하고자 한다.

3. 1 유역의 현황

대상유역은 안양천 지류인 산본천 유역으로서 약 9 km² 정도로 하류지역에 전유역면적의 15% 정도의 단독주택중심의 구시가지가 형성되어 있는 상태에서 중류지역에 전유역면적의 35% 정도인 3.5 km² 정도의 계획적인 신시가지를 건설하였으며, 상류지역은 전유역의 50% 정도인 경사가 급한 산림으로 형성되어 있다.

한편 유역은 신도시 건설로 인한 홍수량 증가로 하류지역의 침수피해를 예방하기 위하여 하도에 일정수위 이상은 조절지로 자연월류되며, 이를 위해 홍수조절지 2개(총조절용량 71800 m³)가 설치되어 있다.

3. 2 지형 및 수문자료

유출량을 계산하기 위해 수위자료는 그림 1과 같이 유역내 4개지점에 자기수위계를 설치하여 자

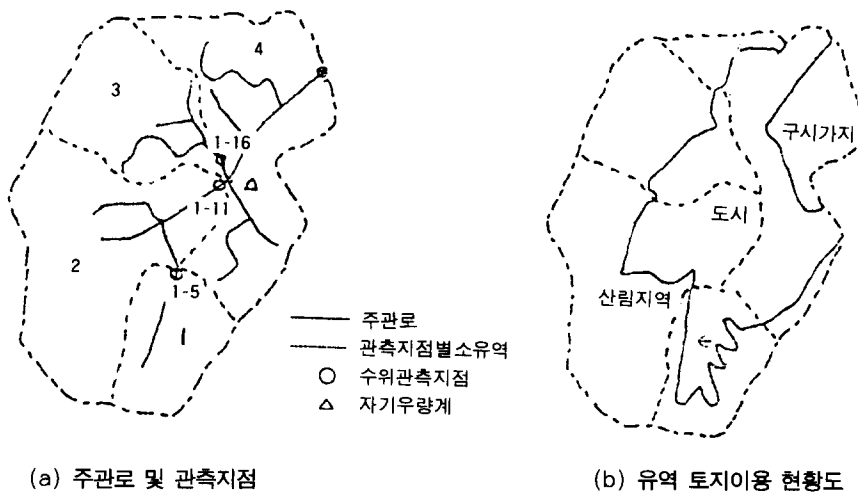


그림 1. 유역 현황도

표 1. 유역 지형인자

| 유역번호 | 총 유역면적 (ha) | 불투수면적 (ha) | 불투수지역 경사(%) | 주관로 길이 (m) |
|---------|-------------|---------------|-------------|------------|
| | | 투수면적 (ha) | 투수지역 경사(%) | |
| 1 | 120.41 | 40.04(33.33) | 2.56 | 1013 |
| | | 80.37(66.67) | 29.80 | |
| 2 | 320.84 | 86.86(27.07) | 3.09 | 1586 |
| | | 233.98(72.93) | 40.70 | |
| 1,2 | 441.25 | 126.90(28.76) | 2.11 | 2359 |
| | | 314.35(71.24) | 40.70 | |
| 3 | 224.66 | 47.56(21.17) | 3.48 | 1772 |
| | | 177.10(78.83) | 39.70 | |
| 2,3 | 545.50 | 134.42(24.64) | 3.09 | 1586 |
| | | 411.08(75.36) | 40.70 | |
| 1,2,3 | 665.91 | 174.46(26.19) | 2.11 | 2359 |
| | | 491.45(73.81) | 40.70 | |
| 4 | 261.43 | 236.47(90.45) | 1.85 | 2982 |
| | | 24.96(9.55) | 42.55 | |
| 1,2,3,4 | 927.34 | 410.93(44.31) | 1.66 | 4059 |
| | | 516.41(45.69) | 40.70 | |

료를 수집하였으며 강우자료는 대상유역 중심지역에 있는 군포시청과 인근 지역의 안양, 의왕시청의 Digital 방식의 자기우량계와 대상유역에서 3 km 정도 떨어진 연구실에 자기우량계를 설치하여 10분 단위우량을 획득하였다.

수집된 우량자료중 대상유역의 중심 지역에 있는 군포시청 자료를 근간으로 타 우량자료를 참고하였다.

지형 및 관로자료는 산본신도시 건설 설계도면(1/1200) 중에서 지형도, 토지이용도, 배수관망도 등을 이용하여 유역경사, 불투수면적, 유하거리, 유역면적, 관로길이, 관로경사, 형태, 크기 등을 얻었으며 자기수위계 설치지점등 주요부분에 대해서는 실측하여 보완하였다.

4. 유출모형의 검증

대상유역으로는 최근에 개발된 산본 신도시를 택하였는데 신도시가 위치한 산본천 유역은 대도시 주변 유역면적 9 km² 정도의 소하천이다.

신도시 개발 전에는 구시가지 15%, 논, 밭, 산림 85% 정도였으며, 개발은 산본천 중류 지역을 중심으로 자연지역의 40% 정도를 도시화하였다.

유역의 지형적 특징으로는 상류지역은 표고차 380m 정도의 급경사 삼림이며 우수 유하거리의 1/3에 해당하는 중류지역은 표고차가 약 45m 정도로 도시화되었으며 같은 정도의 유하거리를 가진

하류지역은 표고차 15m 정도의 구시가지여서 대단히 복잡한 토지이용 형태를 보이고 있다.

한편, 이 대상유역은 구시가지에만 하도 정비가 이루어졌으며, 본류 하천은 정비되지 않은 상태였다. 신도시 건설과 함께 산림지역을 제외한 전 유역의 배수망이 본류 하도를 포함하여 모두 정비되었다. 특히 본류 하도의 경우도 Box 형으로 정비되었으며, 이로 인하여 조도계수의 변화를 가져왔다. 도시화에 따라 총유출량과 첨두유량이 증가하였으며, 도시화 전보다 홍수시의 하도 수위의 감소 원인은 유속 증가임을 실측을 통하여 확인할 수 있었다. 유출해석 모형인 ILLUDAS를 이용한 계산값과 실측값을 표 2에 수록하였으며 유출수문곡선은 그림 2와 같다(Terstriep과 Lopez, 1974).

1995년 8월 8일의 1차 호우는 총 강우량이 28mm이었으며 강우기간은 40분이었다. 첨두유량 도달시간은 실측값과 계산값이 거의 일치하였으며 유출율은 소유역에 따라 약간 차이가 있으며 그 범위는 71%~77%이었다. 95년 8월19일의 1차 호우는 총강우량이 56mm이었으며 강우기간은 40분이었다. 유출율은 95년 8월8일의 호우보다 약간 증가한 77%~82% 정도였다. 두 호우의 유출율의

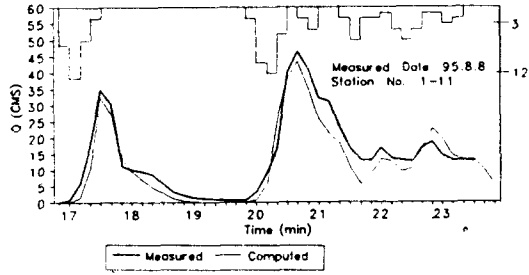
표 2. 첨두유량의 실측값 및 계산값

(a) 1995년 8월 8일 호우

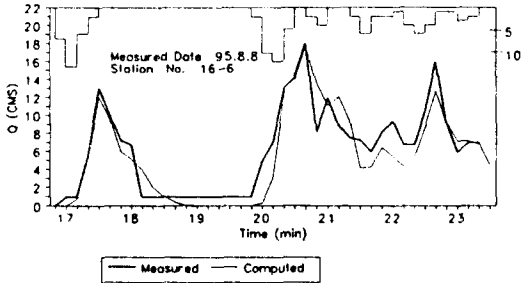
| 관측지점 | 유역면적 (ha) | 불투수면적 (ha) | 첨두유량 (CMS) | 총 유출량 (m ³) |
|----------|-----------|----------------|------------|-------------------------|
| 1 (1-5) | 120.41 | 40.04 (33.3%) | 13.41 | 25051.1 |
| | | | 12.06 | |
| 2 (1-11) | 441.25 | 126.9 (28.8%) | 34.75 | 90586.3 |
| | | | 32.45 | |
| 3 (16-6) | 224.66 | 47.56 (21.2%) | 18 | 44724.7 |
| | | | 17.67 | |
| 4 (1-21) | 927.34 | 410.93 (44.3%) | 86.78 | 197281.9 |
| | | | 79.31 | |

(b) 1995년 8월 19일 호우

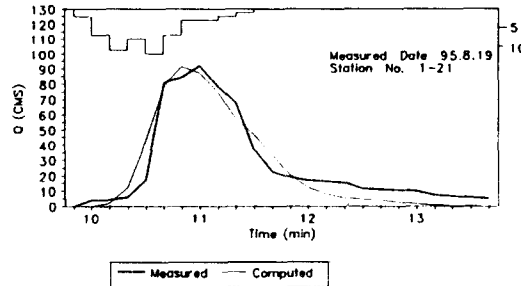
| 관측지점 | 유역면적 (ha) | 불투수면적 (ha) | 첨두유량 (CMS) | 총 유출량 (m ³) |
|----------|-----------|----------------|------------|-------------------------|
| 1 (1-5) | 120.41 | 40.04 (33.3%) | 14.37 | 53378.0 |
| | | | 12.46 | |
| 2 (1-11) | 441.25 | 126.9 (28.8%) | 49.25 | 194119.2 |
| | | | 48.66 | |
| 3 (16-6) | 224.66 | 47.56 (21.2%) | 26.45 | 96593.4 |
| | | | 24.64 | |
| 4 (1-21) | 927.34 | 410.93 (44.3%) | 91.8 | 421368.7 |
| | | | 107.32 | |



(a) 지점 1-11 (95년 8월 8일 호우)



(b) 지점 16-6 (95년 8월 8일 호우)



(c) 지점 1-21 (95년 8월 19일 호우)

그림 2. 유출 수문곡선

차이는 95년 8월19일 호우의 총강우량이 크므로 손실량의 비율이 감소하기 때문이다.

첨두유량의 경우는 본 연구에서 사용한 유출해석 모형이 연속호우일 때 계산값과 실측값이 거의 일치하는 경향을 보였다. 불연속 호우중에서 1차 호우와 2차 호우의 시간 간격이 긴 경우에는 2차 호우의 첨두유량 계산값이 양호하지만 짧은 경우에는 약간 차이를 나타내고 있다.

5. 홍수유출 해석

시험대상 유역은 구역에 따라 토지이용이 정확히

구분이 되고 상류지역 50% 정도가 자연 상태의 급경사 산림으로 이루어졌다. 이러한 유역에서 하도 정비의 정도에 따른 홍수유출특성의 변화를 분석하기 위하여 관측된 홍수량과의 비교에서 적합한 결과를 얻은 홍수유출모형을 이용하였다.

설계강우는 서울 지방의 재현기간 10년에 지속기간 30분, 180분과 재현기간 100년에 지속기간 30분, 180분 확률 강우를 사용하였으며, Huff 분포형을 이용하였다. 계산된 수문량은 표 3에 나타났다(윤용남 등, 1992; Wenzel과 Voorhees, 1981).

그림 3은 정비되지 않은 하도의 유출수문곡선으로 1-5, 1-11, 1-14, 1-21은 대상유역의 본류이며 지점 1-16은 지류이다. 강우지속시간에 따라 동일지점에서는 첨두유량이 거의 변화를 보이지 않으나 유역면적의 증가에 따라 지점별 첨두유량은 큰 증가를 보이고 있다. 그러나 지점 1-21은 1-14 보다 하류에 위치하여 유역면적의 증가에도 불구하고 지점 1-14 보다 첨두유량이 감소하는 것으로 나타났다.

그림 4는 정비된 하도의 홍수유출 수문곡선으로 유역면적의 증가에 따라 첨두유량이 증가하는 것으로 나타났지만 강우지속시간 180분의 경우에는 지점 1-14와 1-21의 홍수첨두유량이 큰 차이가 없다.

그림 3과 4를 비교하여 보면 정비되지 않은 하도의 경우는 본 연구대상유역의 특성상 상류지역이 급경사 산림으로 이루어져 지점 1-14까지의 집중시간이 짧은 반면에 지점 1-14에서 1-21까지는 하천길이가 상대적으로 길고, 하도폭이 증가하였으며, 흐름장애로 인한 하도 흐름지체와 하도저류가 그 이유인 것 같다.

다른 인자와의 비교를 위해 다음과 같이 무차원 식으로 계산하였다.

$$A_r = \frac{A_u}{A} \quad (8)$$

$$R_{fr} = \frac{R_{f100}}{R_{f10}} \quad (9)$$

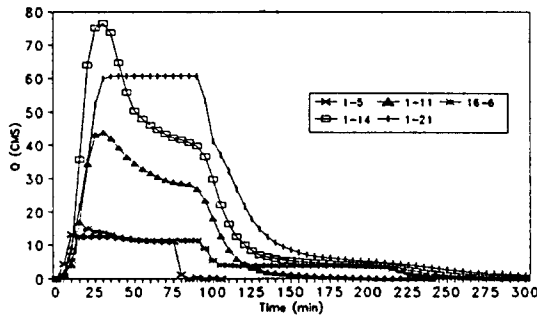
$$R_{dr} = \frac{R_{d180}}{R_{d30}} \quad (10)$$

표 3. 설계강우(10년)에 의한 침투유량과 총유출량
(a) n = 0.015

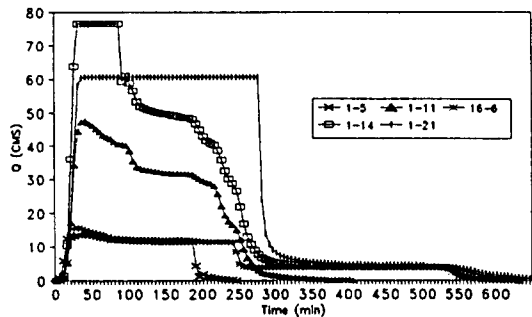
| 지점번호 | 확률강우 지속시간 (분) | 강우량 (mm) | 유역면적 (Ha) | 침투유량 (CMS) | 총 유출량 (m³) |
|------|---------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| 1-11 | 30 | 48.2 | 441.25 | 62.80 | 184958.6 |
| | 180 | 126.5 | | 71.77 | 478803.2 |
| 16-6 | 30 | 48.2 | 224.66 | 28.55 | 92061.8 |
| | 180 | 126.5 | | 30.68 | 239734.4 |
| 1-14 | 30 | 48.2 | 780.21 | 117.68 | 324187.4 |
| | 180 | 126.5 | | 125.30 | 844343.1 |
| 1-21 | 30 | 48.2 | 927.34 | 142.51 | 392493.6 |
| | 180 | 126.5 | | 156.66 | 1027340.0 |

(b) n = 0.04

| 지점번호 | 확률강우 지속시간 (분) | 강우량 (mm) | 유역면적 (Ha) | 침투유량 (CMS) | 총 유출량 (m³) |
|------|---------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| 1-11 | 30 | 48.2 | 441.25 | 43.81 | 186757.4 |
| | 180 | 126.5 | | 47.45 | 480250.9 |
| 16-6 | 30 | 48.2 | 224.66 | 14.92 | 92087.4 |
| | 180 | 126.5 | | 15.54 | 240057.9 |
| 1-14 | 30 | 48.2 | 780.21 | 76.60 | 326088.4 |
| | 180 | 126.5 | | 76.60 | 846880.9 |
| 1-21 | 30 | 48.2 | 927.34 | 60.56 | 394544.3 |
| | 180 | 126.5 | | 60.56 | 1030478.0 |

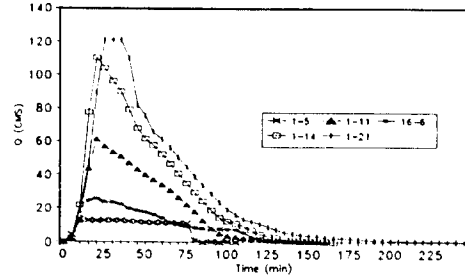


(a) 4-10-30(n=0.04)

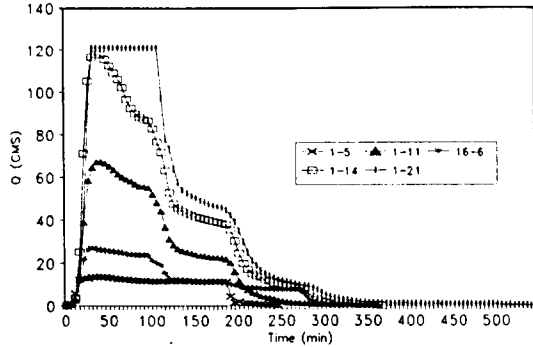


(b) 4-10-180(n=0.04)

그림 3. 유출 수문곡선



(a) 2-10-30(n=0.02)



(b) 2-10-180(n=0.02)

그림 4. 유출수문곡선

$$Q_{pfr} = \frac{Q_{p100}}{Q_{p10}} \quad (11)$$

$$Q_{pdr} = \frac{Q_{pd180}}{Q_{pd30}} \quad (12)$$

$$Q_{idr} = \frac{Q_{id100}}{Q_{id10}} \quad (13)$$

$$Q_{ifr} = \frac{Q_{i180}}{Q_{i30}} \quad (14)$$

여기서, A_r 는 불투수유역면적비, A_u 는 불투수면적, A 는 유역면적, R_{fr} 는 재현기간 강우량비, R_{10} , R_{100} 는 각각 재현기간 10, 100년의 강우량, R_d 는 지속시간 강우량비, R_{30} , R_{180} 는 각각 지속시간 30, 180분의 강우량, Q_{pfr} 는 재현기간 10년과 100년의 침투유량비, Q_{pdr} 는 지속시간 30분과 180분의 침투유량비, Q_{idr} 는 지속시간 30분과 180분의 총유출량비, Q_{ifr} :재현기간 10년과 100년의 총유출량비이다.

토양함유수량이 가장 큰 경우 재현기간 10년에 강우지속시간 30분과 180분의 강우량비 R_{dr} 은 2.62로 나타나며 조도계수 $n=0.015$ 인 경우 총유출량에 Q_{ldr} 은 강우량비와 거의 같은 증가인 소유역에 따라 2.588~2.617의 결과를 보였다. 그러나 침투유량비 Q_{pdr} 은 소유역에 따라 1.142~1.099로 나타났는데 이는 9.9%~14.2% 정도의 증가인 것이다. 조도계수 $n=0.04$ 인 경우 Q_{ldr} 은 2.771~2.611로 R_{dr} 과 거의 같으며 Q_{pdr} 은 1.083~1.000으로 최대 8.3%의 증가로 $n=0.015$ 보다 더욱 증가량이 둔화하였다.

지점 1-14, 1-21에서 전혀 변화가 없는 것은 중·하류지역의 거의 모두 도시화로 인한 불투수면적의 증가와 지표조도의 감소 등으로 하도유입 시간이 빠르며 본류 하도의 흐름 지체가 원인으로 보여진다.

표 4(b)와 그림 5(b)에서 R_{fr} 로 1.43이며 Q_{lfr} 은 1.503~1.496으로 R_{fr} 과 거의 일치하며 Q_{pfr} 은 $n=0.015$ 인 경우 1.185~1.030으로 소유역에 따라 3%~18.5%의 증가를 보이고 $n=0.04$ 인 경우 최대 9.52%의 증가를 보였다.

본류 하도정비를 하여 조도계수가 0.04에서 0.015로 변화할 때 총유출량은 거의 변화가 없지만 침투유량은 Q_{pdr} 이 1.51~2.58로 나타나 51%~58%의 큰 증가를 보였다. 이와 같이 강우 지속시간이나 재현기간의 변화에 의한 침투유량의 증가는 큰 변화를 보이지 않지만 하도 정비에 따른 조도계수의 변화는 침투유량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

동일 강우 조건에서 본류 하천의 Manning 조도계수가 $n = 0.04$ 이면 침투유량의 증가는 0~10

표 4. 침투유량 및 총유출량 비

(a) 확률강우 10년의 지속시간 30, 180분 비

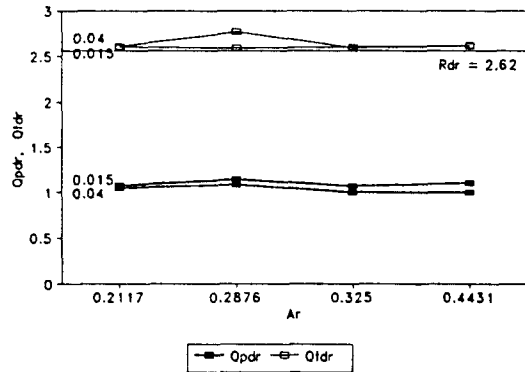
| 지점번호 | A_r | Q_{pdr} | Q_{ldr} | R_{dr} | n |
|-------|--------|-----------|-----------|----------|-------|
| 1-11 | 0.2876 | 1.1428 | 2.5887 | 2.62 | 0.015 |
| 16- 6 | 0.2117 | 1.0746 | 2.6040 | | |
| 1-14 | 0.3250 | 1.0647 | 2.6044 | | |
| 1-21 | 0.4431 | 1.0992 | 2.6174 | | |
| 1-11 | 0.2876 | 1.0830 | 2.7715 | 2.62 | 0.04 |
| 16- 6 | 0.2117 | 1.0415 | 2.6068 | | |
| 1-14 | 0.3250 | 1.0000 | 2.5970 | | |
| 1-21 | 0.4431 | 1.0000 | 2.6118 | | |

(b) 지속시간 180분의 확률강우 10, 100년 비

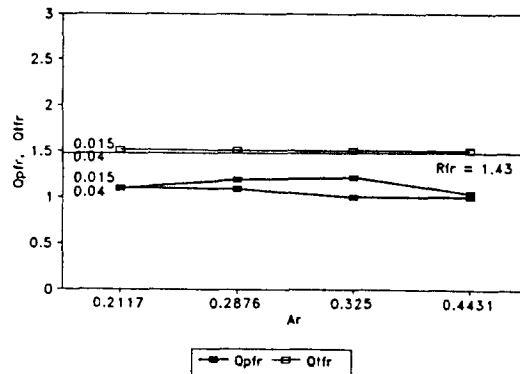
| 지점번호 | A_r | Q_{pdr} | Q_{ldr} | R_{dr} | n |
|-------|--------|-----------|-----------|----------|-------|
| 1-11 | 0.2876 | 1.1858 | 1.5036 | 1.43 | 0.015 |
| 16- 6 | 0.2117 | 1.0899 | 1.5111 | | |
| 1-14 | 0.3250 | 1.2048 | 1.5007 | | |
| 1-21 | 0.4431 | 1.0307 | 1.4964 | | |
| 1-11 | 0.2876 | 1.0840 | 1.5026 | 1.43 | 0.04 |
| 16- 6 | 0.2117 | 1.0952 | 1.5099 | | |
| 1-14 | 0.3250 | 1.0000 | 1.4988 | | |
| 1-21 | 0.4431 | 1.0000 | 1.4915 | | |

(c) $n=0.015, n=0.04$ 에 따른 비

| 지점번호 | A_r | Q_{pdr} | Q_{lfr} |
|-------|--------|-----------|-----------|
| 1-11 | 0.2876 | 1.51 | 0.998 |
| 16- 6 | 0.2117 | 1.97 | 0.998 |
| 1-14 | 0.3250 | 1.63 | 0.997 |
| 1-21 | 0.4431 | 2.58 | 0.997 |



(a) 지속시간 30분, 180분일 경우



(b) 확률강우 10년, 100년일 경우

그림 5. 유량 및 총유출량 비

% 정도로 더욱 변화량이 둔화되었다. 지점 1-14, 1-21에서 전혀 변화가 없는 것은 중, 하류지역 거의 모두 도시화로 인한 불투수면적의 증가와 지표면 조도의 감소 등으로 하도유입 시간이 빠르기 때문에 자연 유역에서 유입시간 증대와 분류 하도의 지체가 원인으로 판단된다.

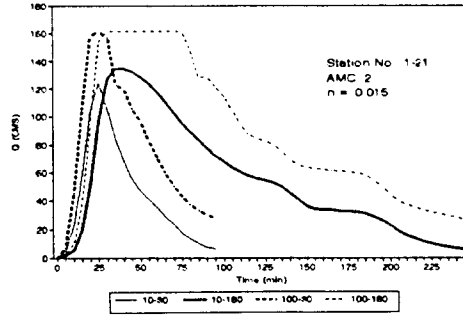
확률 강우량의 지속시간 180분인 경우 하천 정비의 정도에 따라 표 5에 나타난 것처럼 $n=0.04$ 보다 $n=0.015$ 의 경우 총유출량은 거의 동일하지만 첨두유량은 최대 2.66배 정도 증가하며 주관로 길이, 불투수면적이 커질수록 홍수첨두유량이 증가하는 경향이 있다.

그림 6은 재현기간과 강우지속시간에 따른 유출 수문곡선으로 재현기간의 변화가 지속시간 변화보다 홍수첨두유량에 미치는 영향이 큰 것으로 나타나고 있다.

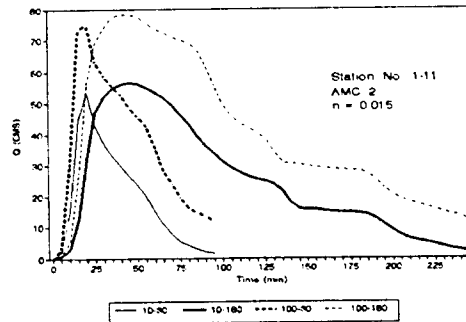
그림 7은 동일지점에서의 강우지속시간 변화와 하도정비에 따른 유출 수문곡선이다. 그림 6과 7에서 지점 1-11은 대상유역의 중·상류로서 투수지역이 많으며 투수지역 거의가 급경사 삼림으로 되어있고 하도길이가 짧아 하도정비에 정도에 따른 홍수첨두유량의 변화가 적었다. 한편, 지점 1-21은 대상유역 출구 지점으로 지점 1-11에 비하여

표 5. 하도 조도계수별 유출량

| 조도계수 (n) | 지점번호 | 유역면적 (ha) | 불투수 면적비 (%) | 확률강우 (년) | 첨두유량 CMS | 총유출량 m ³ |
|----------|------|-----------|-------------|----------|----------|---------------------|
| 0.015 | 1-11 | 441.25 | 28.76 | 10 | 71.77 | 478903.2 |
| | | | | 100 | 85.11 | 719934.1 |
| | 16-6 | 224.66 | 21.17 | 10 | 30.68 | 239734.4 |
| | | | | 100 | 33.44 | 362282.2 |
| | 1-14 | 780.21 | 32.5 | 10 | 125.30 | 844343.1 |
| | | | | 100 | 156.42 | 1276010.0 |
| | 1-21 | 927.34 | 44.31 | 10 | 156.66 | 1027340.0 |
| | | | | 100 | 161.48 | 1537390.0 |
| 0.02 | 1-11 | 441.25 | 28.76 | 10 | 67.34 | 478868.0 |
| | | | | 100 | 75.35 | 719848.2 |
| | 16-6 | 224.66 | 21.17 | 10 | 27.03 | 239703.8 |
| | | | | 100 | 28.59 | 362218.5 |
| | 1-14 | 780.21 | 32.5 | 10 | 117.82 | 844401.5 |
| | | | | 100 | 132.95 | 1266240.0 |
| | 1-21 | 927.34 | 44.31 | 10 | 121.11 | 1031893.0 |
| | | | | 100 | 121.11 | 1540218.0 |
| 0.04 | 1-11 | 441.25 | 28.76 | 10 | 47.45 | 480250.9 |
| | | | | 100 | 51.61 | 721642.4 |
| | 16-6 | 224.66 | 21.17 | 10 | 15.54 | 240057.9 |
| | | | | 100 | 17.02 | 392477.6 |
| | 1-14 | 780.21 | 32.5 | 10 | 76.60 | 846880.9 |
| | | | | 100 | 76.60 | 1269372.0 |
| | 1-21 | 927.34 | 44.31 | 10 | 60.56 | 1030478.0 |
| | | | | 100 | 60.56 | 1536983.0 |

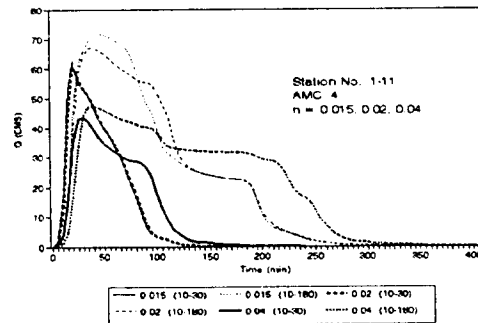


(a) 지점 1-11, AMC 2

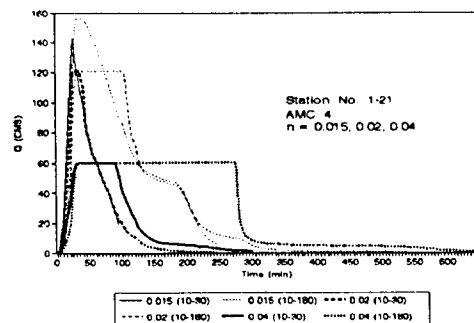


(b) 지점 1-21, AMC 2

그림 6. 유출 수문곡선 ($n = 0.015$)



(a) 지점 1-11, AMC 4



(b) 지점 1-21, AMC 4

그림 7. 유출 수문곡선 ($n = 0.015, 0.02, 0.04$)

도시화로 인한 불투수면적의 증가와 하도길이가 길어 하천정비에 정도에 따라 홍수침투유량의 변화량이 크며, 강우지속시간 변화는 홍수침투유량에 미치는 영향이 적었다.

6. 결 론

본 연구는 안양천 상류의 산본천 유역을 대상으로 한 유출 해석에 관한 것이다. 기존의 유출해석모형인 ILLUDAS에 각종 실측자료를 이용하여 도시화 요인에 따른 침투유량과 총유출량의 관계를 규명하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 도시화에 의한 수문량의 변화는 유출율보다 침투유량의 변화가 크며, 하천정비에 따른 유속의 증가로 수위는 감소하는 경향이 있다.
2. 동일한 조도계수, 선행강우 조건에서 강우 지속시간에 따른 강우량과 총유출량의 증가율은 거의 비례하지만 침투유량은 영향이 적게 나타났다.
3. 강우량의 변화에 따른 자연하도($n=0.04$)와 계획하도($n=0.015$)의 침투유량은 $n=0.04$ 일 경우 최대 10%, $n=0.015$ 일 경우 7~16%의 변화를 나타낸다.
4. 동일한 유역 조건에서 조도계수의 변화가 침투유량에 가장 큰 영향을 주었다. $n=0.04$ 에서 $n=0.015$ 로 변화할 때 침투유량 증가는 51~158%로 나타났다.
5. 호우 현상에서 지속시간(30분~180분)의 변

화보다 재현기간(10년~100년)의 변화가 침투유량에 더 크게 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

이상의 결과는 자연 유역이 도시화 유역으로 변환되는 배수계통의 계획과 설계에 도움이 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 산본지구 대지조성사업 실시설계 보고서. (1990). 대한주택공사.
- 윤용남, 전병호, 이종태 (1992). “도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발.” KOSEF 90-0700-05, 한국과학재단.
- 角屋 睦. (1985). “都市化に伴う流出の變化.” 日本土木學會 論文集, 第363號/II-4, pp. 23~34
- 魚生川 登 北川善廣. (1992). “都市周邊 中小河川の洪水流出 解析.” 日本土木學會論文集, 第443號/II-18, pp. 1~8.
- Schulz, E.F., and Lopez, O.G. (1974). “Determination of urban watershed response time.” *Hydrology Papers* No. 71, Colorado State University.
- Terstriep, M. L., and Stall, J.B. (1974). “The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS.” State Water Survey Division, Urbana Champaign.
- Wenzel and Voorhees. (1981). “An Evaluation of the Urban Design Storm Concept.” *Research Report 164*, University of Illinois.

〈집수: 1995년 12월 15일〉