

## 유역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구

A Study on the Variation of Runoff and Travel Time in Urban Stream  
due to Watershed Development

서 규 우\* · 배 덕 호\*\* · 심 재 현\*\*\* · 이 재 준\*\*\*\*

Seo, Kyu Woo · Bae, Deg Hyo · Shim, Jae Hyeon · Lee, Jae Joon

---

### Abstract

The subject research attempts to evaluate the variations of total runoff volume, peak flow, and travel time depending on the urbanization, return periods and rainfall patterns under the situations that the preparation of a large residential site at the lowland areas of the downstream of Dongsu stream in Bupyung-Gu, Incheon city is progressed and the area will be eventually fully developed. The ILLUDAS model was used for the runoff analyses based on 3 different steps of urbanization and 4 different types of Huff's quantile according to 7 return periods. It is shown that the order of magnitude of peak flow according to rainfall patterns is Huff's 4 quantile, Huff's 2 quantile, Huff's 3 quantile and Huff's 1 quantile. Under the 80 and 90 % of urbanization to the 70 % of urbanization, the mean increasing ratio of total runoff volume for each case is 3.5 and 5.5 %, that of peak flow is 4.2 and 8.8%, and the mean decreasing ratio of travel time is 4.4 and 10.1 %, respectively. The mean increasing ratio of total runoff volume according to the return periods is 3.0 and 5.4%, that of peak flow is 3.9 and 8.0% under the same conditions of urbanization.

---

### 요 지

본 연구에서는 기존의 주택지외곽의 하천 하류부 저지대를 대규모로 개발하여 택지를 조성하는 사업이 진행되고 있는 인천시 부평구 관내의 동수천유역을 대상으로 장차 하류부 전체에 대해 택지개발이 계획되고 있는 점을 고려하여, 이 유역의 개발로 인한 총유출량과 침투유량 및 침투도달시간의 변화정도를 도시화단계별, 재현기간별, 강우분포형태별로 살펴보았

- 
- \* 연세대학교 토목공학과 박사과정
  - \*\* 창원대학교 토목공학과 조교수
  - \*\*\* 한국지방행정연구원 방재연구실 책임연구원
  - \*\*\*\* 금오공과대학교 토목공학과 부교수

다. ILLUDAS 모형을 사용하여 유출해석을 하고 도시화단계를 3가지 단계로 나누고 7가지 재현기간에 따라 설계강우량을 Huff의 4분위법으로 분포시켜 유출해석한 결과, 강우분포형별 첨두유량의 크기는 Huff 4 분포, Huff 2 분포, Huff 3 분포, Huff 1 분포형순으로 나타났다. 강우분포형별로 도시화단계 70 %를 기준으로 80, 90 %에 따른 총유출량의 평균증가율은 3.5, 5.5 %였고, 첨두유량의 평균증가율은 4.2 %, 8.8 %로 나타났으며, 첨두도달시간의 감소율은 4.4, 10.1 %로 나타났다. 또한 각 재현기간별로는 도시화단계 80, 90 %에 의한 총유출량의 평균증가율은 3.0, 5.4 %였고, 첨두유량의 평균증가율은 3.9 %, 8.0 %로 나타났다.

## 1. 서 론

우리나라는 60년대이후 공업화 및 산업화를 계기로 인구의 도시집중화가 진행되었고 이로 인한 시가지의 개발이 가속화되면서, 더 많은 토지가 필요하게 되어 도시근교의 구릉이나 계곡이 절취되고, 전답이 매립되어 주택지 또는 상가가 조성되면서 도시화현상이 급진전되었다. 한편 도시화 및 산업화에 따른 도시 기반시설 및 기본계획들이 사전에 짜임새 있게 미래지향적으로 설계되지 못하고 서민층의 주택 및 상가들이 상대적으로 지가가 낮은 하류부 하천 저지대에 조성이 되면서 홍수터 잠식 및 불투수면적이 증가하게 되어 하류부에서는 이전에 비해 상대적으로 적은 호우에도 도시홍수 피해가 더욱 우려되는 현실이다. 이처럼 도시화현상이란 한마디로 인구의 증가와 불투수표면으로 덮인 지역의 비율이 증가되어지는 현상으로 볼 수 있다. 이와 같은 변화는 생활용수량을 비롯한 각종 소비수량을 증대시킴과 아울러 기후의 변화, 불투수 지역의 증대, 표면 조도계수의 감소, 자연 보유력의 감소 등과 같은 수문현상의 변화를 초래한다(전병호, 1988; 윤용남 등, 1992; Kibler, 1982; Viessman 등, 1989).

따라서 본 연구에서는 기존의 주택지 외곽의 저지대 전답을 대규모로 개발하여 택지를 조성하는 사업이 진행되고 있는 유역을 대상으로 장차 하류부 전체에 대해 택지개발이 계획되고 있는 바, 이 유역의 개발로 인한 총유출량과 첨두유량 및 첨두도달시간의 변화정도를 도시화 진행단계별로 나누어 각 재현기간별 설계강우량을 산정하고 강우의 각 분포형별로 유출수문곡선의 변화정도를 정량적

으로 살펴봄으로써 장차 이 지역의 택지개발 기본 계획 수립시 해당유역의 우수, 하수처리시설 및 수방대책 수립에서의 기본 자료로 사용할 수 있도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 연구방법

본 연구의 적용대상 유역은 행정단위로는 인천광역시 부평구에 속하는 지역으로 한강하류부에 위치하며 준용하천인 굴포천으로 유입되는 동수천 수계로 부평 (2) 배수권역의 대부분을 차지한다(인천부개 우수처리계획, 1995).

본 연구에서는 전체 대상유역(약 460 ha)에 대해 도시화단계를 기존의 시가지상태를 도시화단계 70%로 보고 동수천 중·하류부에 위치한 부개지구(약 60 ha) 개발이 완료되는 단계를 도시화단계 80%, 동수천 최하류단인 삼산 (1)지구(동수천수계 37 ha)와 부천상동지구의 개발이 완료되었을 때를 도시화단계 90%로 가정하였다(심재현, 1994). 본 연구에서는 현재 도시유출모형으로 실무 및 학계에서 가장 적절한 모형으로 알려져 있는 ILLUDAS 모형을 사용하였으며 설계강우자료는 인천지방에 대한 41년간의 자기우량 강우자료를 이용한 각 지속기간별 최대치를 정리하고 이를 기본자료로 빈도해석과 적합도검사를 통해 적정확률 분포형을 선정하여 이에 따른 재현기간(5, 10, 20, 30, 50, 70, 100년)별 설계강우량을 산정하고 도시유역의 하천시설물 설계시 가장 적정한 강우지속시간으로 조사된 2시간 지속 강우량을 사용하였다. 한편 강우의 시간적 분포는 현재 실무에서 많이 사용하고 있는 Huff의 4분위법에 의한 4가지 분포형에 대해 모두 적용을 하였다(Chow 등, 1988).

### 3. 적용모형 및 유역특성 자료

#### 3.1 적용모형의 이론

본 연구에서는 Terstriep과 Stall(1974)에 의해 처음 개발되었고 1984년과 1986년 두차례 개정되어 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 ILLUDAS 모형을 사용하였다. 이 모형은 RRL모형의 기본개념을 그대로 받아들인면서, 투수유역에 내리는 강우로 인한 유출량을 고려하여 RRL 모형을 수정한 모형으로, 전체유역을 직접연결 포장유역, 간접연결 포장유역, 투수유역 및 유출에 기여하지 않는 유역의 4가지로 구분하여 해석하는 모형이다(서규우, 1991; 서규우 등, 1993; 서병하 등, 1989).

모형의 계산절차를 보면 첫째 전체유역을 몇개의 소유역으로 구분하며, 관의 설치지점 혹은 주요 간선관거의 합류지점을 기준으로 하여 소유역을 구분하고, 각 소유역별로 포장유역과 투수유역의 유출량을 계산하여 수문곡선을 합성함으로써 소유역별 유출수문곡선을 구하며, 이를 관로를 통해 추적 합성하여 유역말단부에서의 총 유출수문곡선을 구하게 된다. 소유역별 유출량 계산과정을 보면 먼저 포장유역의 경우 유역의 유하시간을 계산한 후, 이를 기준으로 단위시간별로 유역을 분할하여 시간-면적곡선을 구한다. 포장유역의 유하시간 계산식은 다음과 같다.

$$t_0 = 600 \frac{L}{V_0} + 2.0 \quad (1)$$

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

여기서  $t_0$ 는 유하시간(min),  $V_0$ 는 지표면을 통한 흐름속도(ft/sec),  $L$ 은 지표면의 유하거리(ft),  $n$ 은 조도계수,  $R$ 은 경심,  $S_0$ 는 수면경사이다.

포장유역에서는 요면저류로 인한 초기손실만을 고려하여 유효우량을 계산한다. 이와 같이 시간-면적곡선 및 우량주상도가 결정되고 나면 RRL 모형과 같이 포장유역의 유출량을 계산한다. 간접연

결 포장유역에 내리는 강우는 지표면을 따라서 투수유역으로 흘러가게 되므로, 이곳에 내리는 강우는 초기손실을 고려한 후 투수지역에 내리는 강우와 합산하여, 그 값을 투수지역에 내리는 총강우량으로 한다. 투수유역에서의 시간-면적곡선의 작성을 위한 유하시간( $t_c$ )은 다음과 같다.

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

여기서  $C$ 는 지체상수,  $i$ 는 강우강도(in/hr),  $L$ 은 지표면의 흐름길이(ft),  $S_0$ 는 지표면의 경사이다. 투수지역에서는 초기손실 및 침투로 인한 손실을 고려하여 유효우량을 결정한 후, 유출량을 계산한다. 이때의 투수능  $f$ 는 다음의 식에 의해 계산한다.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (4)$$

여기서  $f_c$ 는 최종침투능(in/hr)이고,  $f_0$ 는 초기침투능이고,  $k$ 는 토양의 상태에 따른 상수이다.

이상과 같이 포장지역 및 투수지역의 유출량을 구한 후, 그 값을 합산하여 소유역별 유출수문곡선을 계산하게 되며, 이 유출수문곡선은 관거설계를 위한 기준으로 사용할 수도 있다. 이와 같이 계산된 소유역별 수문곡선을 관거의 합류점에서 상류로부터의 유입수문곡선과 합성한 후 관거를 통해 홍수추적하게 된다. 관거를 통한 흐름의 추적방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta t}{2}(I_1 + I_2 - O_1) + S_1 = \frac{\Delta t}{2}O_2 + S_2 \quad (5)$$

여기서  $I$ 는 유입량이고,  $O$ 는 유출량이고,  $S$ 는 저류량이다.

본 모형은 설계는 물론 기존관거의 평가를 위해서도 적용할 수 있는 모형으로, 사용자가 시간별 강우를 직접 입력하거나 관거설계시 사용할 수 있는 Huff 분포 강우, 등분포강우, 삼각형강우 중에서 선택하여 적용할 수 있다(원석연, 1993; 원석연과 윤용남, 1993). 본 연구에서는 Huff 분포에

의한 설계강우자료를 사용하였다.

### 3.2 설계강우량과 시간적 분포

#### 3.2.1 설계강우량의 산정

본 연구에서는 인천지방의 41년(1952~1991, 1995년)간의 지속시간별 매년 최대치 강우자료를 이용하여 최근에 학계에서 수문자료 해석에 적합하다고 알려진 13가지 확률분포형을 적용하여 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하고 각 확률분포형의 매개변수 적합성을 조사하였다. 또한  $\chi^2$ 검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정 등으로 적합도 검정을 실시하였다. 이런 단계를 거쳐 인천지방에 대한 최적분포형으로 log-Pearson type III 분포형(Bobée, 1975)이 선정되었으며 이에 따른 설계강우량을 2시간 지속기간에 대해 재현기간별로 나타내면 다음 표 1과 같다.

#### 3.2.2 설계강우량의 시간적 분포

국내의 현행 하수도 시설기준을 보면 설계강우의 지속시간에 대한 기준이 미흡한 실정이며 현재 서울시 등과 같은 대도시에서는 설계시 120분 강우를 채택하고 있다(이종태 등, 1993). 본 연구에서도 이처럼 도시수문해석에서 가장 적절하다고 조사된 120분 지속시간을 기준으로 결정하였으며 과거의 강우사상의 통계적 특성값을 고려하는 Huff의 4분위법에 의한 분포를 사용하였다. 기왕의 연구조사에 의하면 우리나라 수도권 지역에서 발생한 강우중 Huff의 4분위중 2분위에 해당하는 강우분포가 가장 많았으며 이를 적정 시간적 분포형으로 제안하였으나 도시강우현상이 순간적으로 집중발생하여 큰 피해를 입히는 점을 고려하여 본 연구에서는 4가지 분포형에 대해 모두 적용을 하여 각 분포형별로 유출변화양상을 분석하기로 한다(서병하와 김남원, 1989).

### 3.3. 배수체계 현황

본 연구의 적용 대상유역은 인천광역시의 부평(2) 배수권역에 속하는 지역으로 기존의 시가지가

동수천 상류지역에 해당되며 현재 개발이 완료된 부개지구는 중류부에 해당하며 이전에는 대부분 E1. 4~5m의 저지대 농경지로서 하류부에 개발예정인 삼산(1)지구를 관통하여 굴포천으로 유입되는 지역이다(경인운하 타당성조사 및 굴포천 종합치수사업 기본계획, 1991; 굴포천 종합치수사업 실시설계 보고서, 1991; 굴포천 종합치수사업 실시설계 보완보고서, 1994; 굴포천 치수 종합대책 조사보고서, 1988; 준용하천정비 기본계획, 1995). 본 적용 대상유역중에서 동수천으로 유입되지 않고 갈산배수펌프장으로 유입되어 굴포천으로 배수되는 부평 1, 4동과 갈산 2동 일부지역을 제외하면 전체 배수면적은 약 460 ha이다. 이를 배수체계별로 살펴보면 크게 3군데의 소 배수유역으로 나눌 수 있다. 동수천 상류에 해당하는 소유역(A 유역으로 표시)이 약 255.8 ha로 최상류부에 유역경계를 따라 낮은 산등성이가 형성되어 있는 부분을 제외하고는 대부분 개발되어 시가지를 형성하고 있다. 중류부 배수유역(B 유역으로 표시)은 약 71.9 ha로 거의 대부분이 상가와 주택지가 밀집되어 있고 부분적인 녹지공간은 일부 단독주택정원과 학교운동장 정도이고 나머지는 거의 불투수표면으로 개발된 상태이다. 하류단에 위치한 배수유역(C 유역으로 표시)은 51.4 ha로, 이는 대부분 전답으로 되어있는 하류부 부개동일대가 성토과정을 거쳐 대규모 택지개발로 형질이 변경되면서 하류부일부유역(부개지구내 서쪽블럭)을 포함

표 1. 인천지방의 설계강우량(2시간 지속기간)

재현기간(년)	강우량(mm)
1	30.8
2	55.5
3	65.8
5	78.1
7	86.0
10	94.5
20	111.4
30	121.7
50	135.1
70	144.3
100	154.3

하계 되어 부개지구 개발이 완료되면 유역면적이 약 60 ha로 조사되었다. 기타 43.9 ha는 부개사업지구가 완공되면 A, B, C 유역이 합해진 전체 유역의 하류단에 해당하는 부분이고 삼산 (1)지구가 개발될 경우 동수천수계로 흐르는 유역(D 유역으로 표시) 약 37 ha가 포함되어 전체 유역면적은 약 460 ha가 된다. 그림 1에 적용유역의 배수체계도를 개략적으로 나타냈다.

#### 4. 모형의 적용

##### 4.1 모형의 검정

도시유역에서의 수문학적 관심사항은 주로 유출 해석 결과에 따른 대상유역의 우수관거의 설계, 우수지의 용량결정, 펌프의 용량결정 등을 들 수 있으며 여기에는 총유출량, 침투유출량, 수문곡선의 형태 등이 설계의 기준이 된다(윤용남 등, 1992; 전병호, 1980). 본 연구에서는 유출모형의 검정을 위해 1995년 8월 19일 15시 30분 ~ 24시까지 관측된 우량(2시간 연속강우 55.0 mm), 수위자료(최고 El. 7.29 m) 및 횡단면자료를 이용하였다. 8월 19일 15시 30분 ~ 17시 30분사이에 발생한 2시간 호우량 55.0 mm에 의한 유출모의에서는 선행토양 함수조건과 초기손실량을 다음 절의 모형적용시와 동일조건으로 하여 산정한 결과, 총유출양

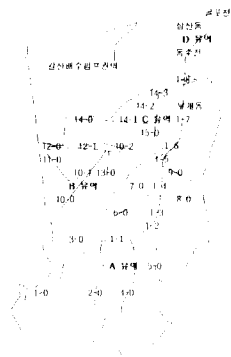


그림 1. 적용유역의 배수체계도

상은 약 220분에 걸쳐 이루어졌으며 하류단 수위 관측지점에서의 총유출량은 약 144,325 m<sup>3</sup>이고 침투유량은 강우개시 90분이 경과하여 약 27.4 cms가 되는 것으로 나타났다. 이 호우사상에 대해서는 단지 30분간격으로 관측된 수위자료만이 가용함으로 이를 실측우량자료에 의한 모형의 유출결과와 비교하여 시간별 변동양상을 검토하였다. 그림 2에는 모형에 의해 계산된 유출수문곡선과 수위관측자료를 나타내었다. 본 관측지점과 같이 횡단면 형상이 완만한 측면경사를 갖는 사다리꼴인 경우 통상적인 수위-유량관계에서 수위가 상승할수록 미소한 수위차에도 침투유량은 큰 폭으로 변동하는 점을 감안할 때 그림 2의 침투유량부분에서의 관측수위와 계산유량의 시간에 대한 변동양상은 적절한 것으로 생각된다. 한편 유출수문곡선 하강부에서 관측수위자료와 계산유량의 변동양상의 차이는 유출모형의 간략성으로 인해 동력학적 거동과 배수효과를 고려하지 못한 영향으로 판단된다.

##### 4.2 모형의 적용

도시화단계가 증가하는 것은 대상유역의 녹지면적은 점차 감소를 하고 불투수(포장)면적비율이 증가하는 것을 의미하며 이에 따른 표면경사와 포장지역길어도 증가하는 것을 의미한다. 최근의 연

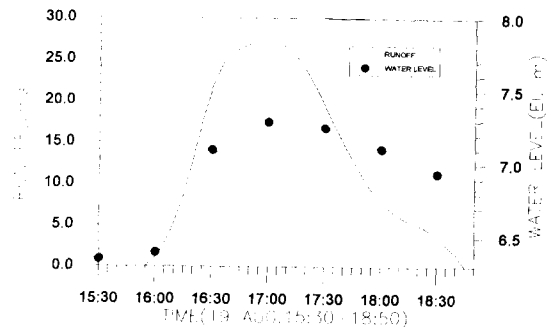


그림 2. 8월 19일 호우사상에 대한 계산유량과 관측수위 비교

구동향을 보면 도시구역의 개발정도를 유출계수의 증가로 구분하여 유출계수의 증가에 따른 재현기간 별 및 토지이용단계별로 수문모형에 의한 유역수문 응답을 해석하고 있다(이정식 등, 1995). 본 연구에서는 적용 대상구역의 특징을 고려하여 동수천 중.상류부 기존 주택지와 시가지부분은 거의 개발이 완료된 상태이기 때문에 재개발에 따른 배수시설의 재설치나 배수불량구간에 대해 정비가 이루어지고 있으나 전체적인 포장, 비포장면적비율에는 거의 변동이 없다. 따라서 본 대상구역에서는 중.하류부에 조성되는 대규모 택지개발로 도시화가 진행된다고 볼 때 이들 개발의 진척상황에 따라 기존의 시가지 면적(약 360 ha)을 고려하여 70%로 정하고 이를 기준으로 하여 전체면적(약 460 ha)에서 개발되는 부분이 차지하는 면적비로 도시화단계별 도시화단계 80, 90 %로 정한 것이다(서병하 등, 1989). 본 대상구역에 대해 토양형 및 선행토양 함수조건을 조사검토한 결과 토질은 SCS토양형 중에서 C형에 속하며, 선행 토양 함수조건(AMC)은 홍수통제측면에서 유역출구에서의 유출량을 증가시키는 경우에 해당되는 AMC-III의 상태를 택하였다. 모형의 초기치 입력에서 본 대상구역의 포장구역의 초기손실과 요면손실을 고려하기 위해 ILLUDAS 모형에서는 위와 같은 토양형과 선행토양 함수조건에서는 통상 포장구역의 손실은 2 mm로 가정하고 녹지구역의 손실로 4 mm를 가정하였으므로 본 연구에서도 손실량을 이같이 가정하

였다(Terstriep과 Stall, 1974).

다음은 도시화단계별로 각 재현기간별, 각 강우 분포형별 수문곡선의 형태 및 유출용적, 첨두유출량의 크기 및 그 발생시각을 산정하여 도시화에 따른 유출현상의 변화정도를 상대적인 크기비교로 분석, 제시하였다.

## 5. 비교분석 및 고찰

### 5.1 강우분포형에 따른 도시화단계별 유출해석

강우분포형에 따른 도시화단계별 유출해석을 7개의 재현기간(5, 10, 20, 30, 50, 70, 100년)에 대해 모두 실시하였고 여러 재현기간중 도시하천에서 하천시설물의 안전과 치수방재면에서 현재 많이 고려되기 시작한 20년 빈도에 대해 4가지의 강우 분포형에 대해 각각 도시화 단계별로 총유출량을 산정한 결과를 보면 다음 표 2와 같다. 각 도시화 단계별 공통으로 Huff 1 분포형에서 최대값을 나타냈으며 Huff 4 분포, Huff 3 분포, Huff 2 분포형의 순이었다. 강우분포형에 따른 유출양상은 재현기간 20년, Huff 1 분포형, 도시화단계 70%을 기준으로 볼 때 총유출량은 약 460,396 m<sup>3</sup>으로 산정되었으며 도시화단계가 80, 90 %로 진행되면서 총유출량의 평균증가율은 약 3.5, 5.5 %로 나타났다.

표 2. 강우분포형에 따른 도시화단계별 총유출량산정(재현기간 20년)

도시화율(%)	Huff 1(m <sup>3</sup> )	Huff 2(m <sup>3</sup> )	Huff 3(m <sup>3</sup> )	Huff 4(m <sup>3</sup> )	평균증가율(%)
70	460,396	428,699	434,900	449,869	기준
80	476,156	443,837	450,473	465,573	3.5
90	485,081	452,466	459,393	474,502	5.5

표 3. 강우분포형에 따른 도시화단계별 Q<sub>p</sub>와 T<sub>p</sub>의 산정(재현기간 20년)

도시화율(%)	Huff 1		Huff 2		Huff 3		Huff 4		평균증가율(%)	
	Q <sub>p</sub> (cms)	T <sub>p</sub> (min)	Q <sub>p</sub> (cms)	T <sub>p</sub> (min)	Q <sub>p</sub> (cms)	T <sub>p</sub> (min)	Q <sub>p</sub> (cms)	T <sub>p</sub> (min)	Q <sub>p</sub>	T <sub>p</sub>
70	61.6	90	75.6	115	73.3	130	77.5	135	기준	기준
80	63.7	85	78.5	110	76.1	125	81.9	130	4.2(△)	4.4(▽)
90	66.2	75	81.6	105	78.9	120	86.8	125	8.8(△)	10.1(▽)

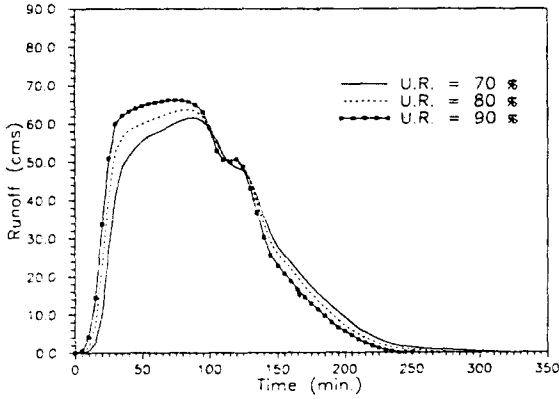


그림 3. Huff 1 분포형에 의한 각 도시화단계별 유출 수문곡선

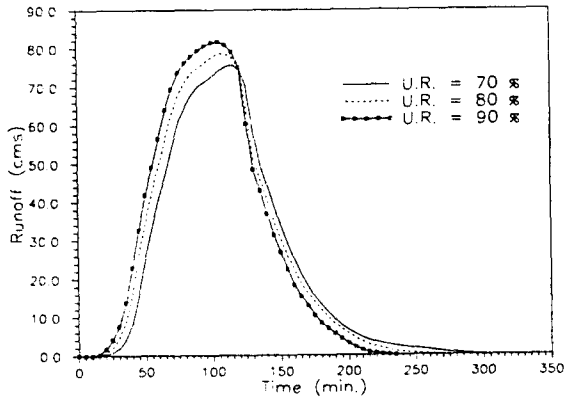


그림 4. Huff 2 분포형에 의한 각 도시화단계별 유출 수문곡선

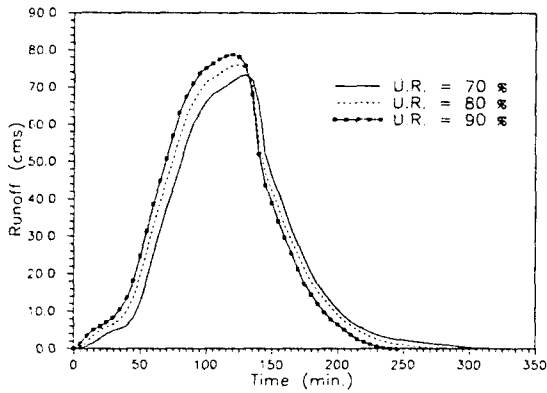


그림 5. Huff 3 분포형에 의한 각 도시화단계별 유출 수문곡선

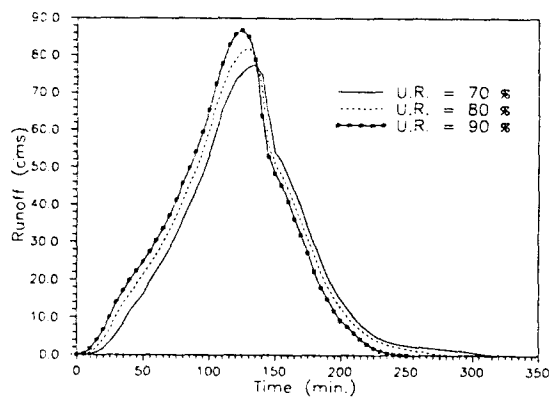


그림 6. Huff 4 분포형에 의한 각 도시화단계별 유출 수문곡선

일반적으로 총유출량에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 적용 유역면적의 크기인 점을 고려하면 본 적용유역의 경우 면적자체에는 변동이 없으므로 총유출량에서는 약간의 증가만 나타났으나 첨두유량과 첨두도달시간을 조사하면 그 차이가 더욱 커지는 것으로 확인되었다. 다음 표 3은 재현기간 20년에 대해 강우분포형에 따른 도시화단계별 첨두유량( $Q_p$ )의 크기와 그 도달시간( $T_p$ )을 산정하여 정리한 것이다. 도시화단계 70%를 기준으로 볼 때 Huff 4 분포형에서 최대값으로 첨두유량 77.5 cms와 도달시간 135 min인 것으로 나타났으며 그 다음으로 Huff 2 분포, Huff 3 분포, Huff 1 분포형(61.6 cms, 90 min)의 순으로 나타났다. 표 3에서 볼 수 있듯이 도시유역의 소하천에서는 강우의 분포에 따라 첨두유량값은 약 17.7%의 차이

를 나타냈다. 강우분포형에 따른 유출양상은 도시화단계가 80, 90%로 진행되면서 첨두유량은 약 4.2, 8.8%로 증가하고 반면에 도달시간은 4.4, 10.1%로 빨라지는 것으로 나타났다.

다음 그림 3~6은 재현기간 20년에 대해 도시화단계에 따른 유출수문곡선의 변화양상을 Huff의 각 강우분포형별로 나타낸 것이다.

## 5.2 재현기간에 따른 도시화단계별 유출해석

본 연구에서는 재현기간 선정에 있어 도시하천에서 주로 다루는 5년, 10년, 20년, 30년은 물론 굴포천유역이 1994년부터 종합치수사업을 시행하면서 기본계획으로 100년 빈도로 1999년 완공예정인 사업으로 시행하고 있는 바, 향후 이 지역의 개

발에 따른 유출량증가 및 하천구조물의 안전성 확보와 치수방재측면에서 설계빈도를 100년까지 설정하여 검토를 하였다(굴포천 종합치수사업 실시설계 보완보고서, 1994). 다음 표 4는 4가지 강우분포형중 수도권에 가장 많이 기록된 Huff 2분포형에 대해 7가지의 재현기간에 따른 각 도시화단계별로 총유출량을 산정한 것이다. 기준인 도시화단계 70 %에서 5년 빈도에 대해 총유출량은 276,061 m<sup>3</sup>에서 점차 증가율이 감소하면서 증가하여 100년 빈도에 대해 625,681 m<sup>3</sup>로 산정되었다. 각 재현기간에 따라 도시화단계가 80, 90%로 진행되면서 총유출량의 평균증가율은 약 3.0, 5.4 %로 나타났다.

그러나 도시화가 진행되면서 각 재현기간별 침투유량의 증가율은 이보다 더 커서 표 5에서 볼 수 있듯이 도시화단계 80, 90 %의 경우 약 3.9, 8.0 %의 평균증가율을 나타냈다. 침투 도달시간은 대부분의 재현기간들에 대해 약 110 min부근에서 나타났으나 빈도(70년, 100년)가 큰 경우 그 시간이 약 5 min 정도 단축되는 것으로 나타났다. 한편 Huff의 다른 3가지 강우분포형에 대해서도 이러한 양상은 비슷하게 나타났다.

다음 그림 7~9는 Huff 2 분포형에 대해 각 도시화단계별로 각 재현기간(5, 10, 20, 30, 50, 70, 100년)에 대한 유출수문곡선을 나타낸 것이다.

### 5.3 도시화단계별 유출고변화

각 도시화단계별로 강우분포형과 재현기간을 달리하여 동수천 전체유역인 약 460 ha에 대해 각 도시화단계에 따라 유출고변화를 산정하였으며, 기존의 개발상태인 도시화단계 70 % 단계에서 총유출량이 가장 크게 나타난 Huff 1 분포형에 대해 보면 20년 재현기간의 경우, 설계강우량은 111.4 mm이며 총유출량 460,396 m<sup>3</sup>를 460 ha에 적용하면 유출고가 약 100.1 mm로 나타나 유출률이 89.8 %에 이른다. 이는 도시화된 지역에서 지표면의 대부분이 불투수 포장면적으로 구성되어 있기 때문이다. 도시화단계가 80 %, 90 %로 증가하면 유출률이 92.9 %, 94.6 %에 이르러 초기손실을 고려하면 거의 대부분이 유출되는 양상을 나타내는 것으로 나타났다. 도시화가 거의 완료된 지역의 아스팔트 포장지역의 경우 유출계수가 약 0.91정도인 점으로 보아 대규모 아파트단지가 조성되면서 효율적인 토지이용 측면만을 고려한 건물배치로 대부분의 공간이 콘크리트나 아스팔트로 포장되고 있는 상황이므로 예측치 못한 유출량의 갑작스런 증가로 순식간에 홍수피해를 당할 우려가 큼을 알 수 있다. 적용 대상유역인 본 택지개발 지역들이 기존에는 저지대 전담지역으로 상류 주택가에서 유입되

표 4. 재현기간에 따른 도시화단계별 총유출량산정 (Huff 2 분포형의 경우)

도시화율(%)	재현기간(년, m <sup>3</sup> )							평균증가율(%)
	5	10	20	30	50	70	100	
70	276,061	351,108	428,699	475,839	537,385	579,711	625,681	기준
80	290,073	365,649	443,837	491,308	553,253	595,858	642,124	3.0
90	298,533	374,254	452,466	499,914	561,914	604,529	650,794	5.4

표 5. 재현기간에 따른 도시화단계별 침투유량산정 (Huff 2 분포형의 경우)

도시화율(%)	재현기간(년, cms)							평균증가율(%)
	5	10	20	30	50	70	100	
70	49.1	62.3	75.6	83.8	94.3	101.7	109.6	기준
80	51.5	65.1	78.5	86.8	97.7	105.1	113.2	3.9
90	53.9	67.7	81.6	90.2	101.3	109.1	117.5	8.0



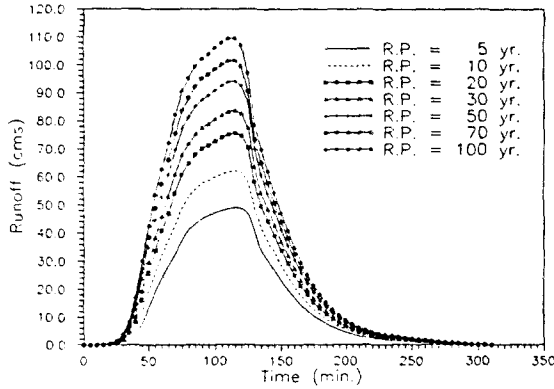


그림 7. 도시화단계 70 %에서의 재현기간별 유출수문 곡선

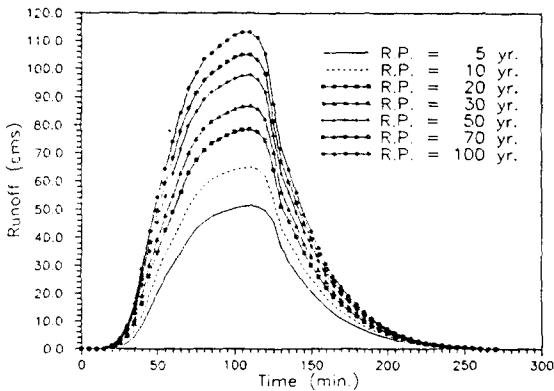


그림 8. 도시화단계 80 %에서의 재현기간별 유출수문 곡선

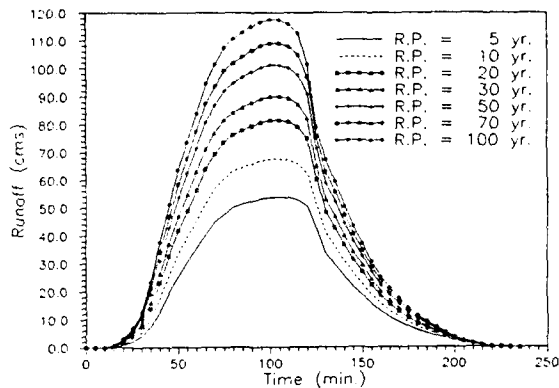


그림 9. 도시화단계 90 %에서의 재현기간별 유출수문 곡선

는 우수와 하수를 일시 저류시키므로써 유출구에서의 침투량을 감소시키고 지체효과를 일으켜 하류부

의 배수소통에 상당한 역할을 하였던 바 이들 지역의 개발과정에서 오히려 기존의 도로와 주택가의 평균표고보다도 높게 성토되는 관계로 택지개발된 지역은 침수의 우려가 없는 반면에 기존의 주택가는 상대적으로 저지대가 되어 침수의 우려가 더욱 커지게 되었다. 차후 본 연구에서의 유출영향분석을 토대로 기존 주택지에 대한 침수방지대책이 강구되어야 하겠다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 기존의 주택지외곽의 저지대 전답을 대규모로 개발하여 택지를 조성하는 사업이 진행되고 있는 인천시 부평구 관내의 동수천유역을 대상으로 장차 하류부전체에 대해 택지개발이 계획되고 있는 바, 이 유역의 개발로 인한 총유출량과 침투유량 및 침투도달시간의 변화정도를 도시화단계별로 나누어 살펴봄으로써 장차 이 지역의 택지개발 기본계획수립시 해당유역의 우수, 하수처리시설 및 수방대책수립에서의 기본 자료로 사용할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 재현기간 20년, 도시화단계 70 %를 기준으로 강우분포형에 따른 도시화단계 80, 90 %에 대한 총유출량의 평균증가율은 3.5, 5.5 %로 나타났다.
- (2) 재현기간 20년, 도시화단계 70 %를 기준으로 강우분포형에 따른 도시화단계 80, 90 %에 대한 침투유량의 평균증가율은 4.2, 8.8 %이며 도달시간의 평균감소율은 4.4, 10.1 %로 나타났다.
- (3) Huff 2분포형, 도시화단계 70 %를 기준으로 재현기간에 따른 도시화단계 80, 90 %에 대한 총유출량의 평균증가율은 3.0, 5.4 %로 나타났다.
- (4) Huff 2분포형, 도시화단계 70 %를 기준으로 재현기간에 따른 도시화단계 80, 90 %에 대한 침투유량의 평균증가율은 3.9, 8.0 %로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 경인운하 타당성조사 및 굴포천 종합치수사업 기본계획. (1991). 건설부, 한국수자원공사.
- 굴포천 종합치수사업 실시설계 보고서. (1991). 건설부, 한국수자원공사.
- 굴포천 종합치수사업 실시설계 보완보고서. (1994). 한국수자원공사.
- 굴포천 치수 종합대책 조사보고서. (1988). 건설부.
- 서규우 (1991). “도시하천에서의 계획홍수량산정에 관한 연구,” 석사학위논문, 연세대학교.
- 서규우, 조원철, 이원환 (1993). “도시하천에서의 계획홍수량산정.” '93 토목학회 학술발표회 개요집(II), 대한토목학회, pp. 221~224.
- 서병하, 김남원 (1989). “지역별 설계강우의 시간적 분포,” 연구보고서, 건기연 89-WR-111, 한국건설기술연구원.
- 서병하, 전병호, 이홍래, 김형우 (1989). “도시소규모 단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구.” 연구보고서, 한국토지개발공사.
- 심재현 (1994). “도시지역내 개발행위에 따른 유출변화량의 산정.” 지방행정연구, 제8권, 제4호, pp. 147~165.
- 원석연 (1993). “유역 및 하도 홍수추적방법을 결합시킨 도시하천의 유출해석모형,” 박사학위논문, 고려대학교.
- 원석연, 윤용남 (1993). “도시유역의 홍수량산정을 위한 도시유출모형 연구.” 대한토목학회 논문집, 제13권, 제5호, pp. 135~146.
- 윤용남, 전병호, 이종태 (1992). “도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발.” 연구보고서, KOSEF 90-0700-05, 한국과학재단.
- 이정식, 이재준, 김규호, 오석호 (1995). “도시유역에서 지체저류시설의 수문학적 설계에 관한 연구.” 한국수자원학회지, 제28권, 제2호, pp. 159~173.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). “우수지설계를 위한 계획강우의 임계지속기간: 서울지역을 중심으로.” 한국수문학회지, 제26권, 제1호, pp. 115~124.
- 인천부개 우수처리계획. (1995). 대한주택공사.
- 전병호 (1980). “도시화에 따른 우수유출의 양적 결정.” 한국수문학회지, 제3권, 제2호, pp. 14~17.
- 전병호 (1988). “도시개발에 따르는 수해가중 영향분석 및 대책연구.” 한국건설기술연구원.
- 준용하천정비 기본계획. (1995). 인천광역시.
- Bobée, B. (1975). “The log-Pearson type III distribution and its application in hydrology.” *Water Resources Research*, Vol. 11, No. 5, pp. 681~689.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill Book Co.
- Kibler, D.F. (1982). “Urban stormwater hydrology.” *Water Resources Monograph 7*, AGU, pp. 1~159.
- Terstriep, M.L., and Stall, J.B. (1974). *The Illinois urban drainage area simulator: ILLUDAS*. Illinois State Water Survey.
- Viessman, W., Lewis, G.L., and Knapp, J.W. (1989). *Introduction to hydrology*. IEP.

〈접수: 1996년 2월 5일〉