

유역개발에 따른 도시하천에서의 유출영향분석

-부평 (2) 배수권역을 중심으로-

Analysis of Runoff Effect in Urban Stream due to Watershed Development

-Application to Bupyeong (2) Drainage Basin-

서규우* · 허준행** · 조원철***

1. 서론

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. 도시화의 최종단계에서는 하천하류부전체에 대해 대단위 주택단지가 조성되어 더 많은 주택이 들어서고 공공시설, 상업시설, 공장시설 등도 들어서며 도로가 포장되므로 침투는 감소되고 유역에서의 조도감소로 유입시간이 줄어들며 수로망정비에 따라 침투홍수량이 증가하게 된다(Kibler, 1982; 전병호, 1989).

따라서 본 연구에서는 기존의 주택지 외곽의 저지대 전답을 대규모로 개발하여 하류부전체에 대해 택지를 조성하는 사업이 진행되고 있는 유역을 대상으로 장차 이 유역의 개발로 인한 총유출량과 침투유량 및 침투도달시간의 변화정도를 기존의 도시화 상태에서의 하류부가 완전히 개발되고 난 후로 나누어 유출양상을 각 재현기간별 설계강우량을 산정하고 강우의 각 시간적 분포형별로 유출수문곡선의 변화를 살펴봄으로써 장차 이 지역의 택지개발 기본계획 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. 본 연구에서는 전체 대상유역(약 460 ha)에 대해 기존의 시가지상태는 포장면적비를 고려하여 구분하면 전체유역 면적에서 도시화율이 약 70%이며 동수천 중·하류부에 위치한 부개지구(약 60 ha) 개발이 완료되고, 동수천 최하류단인 삼산 (1)지구(동수천수계 해당면적 37 ha)의 개발이 완료되면 도시화율이 약 90%에 도달한다. 본 연구에서는 현재 도시유출모형으로 실무 및 학계에서 가장 적절한 모형으로 알려져 있는 ILLUDAS 모형과 최근에 많이 소개되고 있는 SWMM 모형을 사용하였으며 설계강우자료는 인천지방에 대한 40년간의 자기우량 강우자료를 이용한 각 지속기간별 최대치를 정리하고 이를 기본자료로 빈도해석과 적합도검사를 통해 적정확률분포형을 선정하여 이에 따른 재현기간(10, 20, 30, 50년)별 설계강우량을 산정하고 도시유역의 하천시설물 설계시 가장 적절한 강우지속시

* 연세대학교 토목공학과 박사과정

** 연세대학교 토목공학과 조교수

*** 연세대학교 토목공학과 교수

간으로 조사된 2시간 지속 강우량을 사용하였다. 한편 강우의 시간적 분포는 Huff의 4분위 법에 의한 4가지 분포형에 대해 모두 적용을 하였다(서규우, 1991; 서규우 등, 1996; 도시소 규모단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구, 1989).

3. 적용모형 및 유역특성 자료

3.1 적용모형의 이론

① ILLUDAS 모형

본 연구에서는 Terstriep과 Stall(1974)에 의해 처음 개발되었고 1984년과 1986년 두차례 개정되어 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 ILLUDAS 모형을 사용하였다. 이 모형은 RRL 모형의 기본개념을 그대로 받아들이면서, 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. 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. 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(원석연과 윤용남, 1993). 본 연구에서는 Huff 분포에 의한 설계강우 자료를 사용하였다.

② SWMM 모형

도시유역에서의 강우로 인한 홍수량을 산정하는 모형들 중 SWMM(Storm Water Management Model)모형은 1971년 미국 EPA의 지원아래 Metcalf & Eddy 사가 Florida 대학 및 W.R.E.와의 공동연구로 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 개발하였다. 그후 1988년 Huber와 Dickinson이 내용을 보완하여 4판에 이르고 있다. SWMM 모형은 도시유역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다. SWMM 모형은 특히 인위적 배수관거를 갖고 있는 도시 소유역에 잘 적용이 된다. 모형의 특성을 살펴보면, 우선 시간적 특성에서 단일강우나 연속강우에 대해 계산이 가능하며 강우간격은 임의로 선정할 수 있다. 연산시간 간격은 강우사상에 대해 임의 조절이 가능하다. 공간적 특성을 보면, 소 배수유역에서 큰 배수유역까지 적용이 가능하다. 배수유역은 최대 200개의 소유역, 수로/관로로 구성될 수 있다. 또한 배수유역은 합성 및 분리가 가능하다. 물리적 특성을 보면, 유출현상은 강우와 융설로 발생하는 것으로 보며 지표면유출은 비선형 저류방정식을 사용한다. 침투량산정은 Horton 또는 Green-Ampt 식을 사용한다. 수로/관로에 대해 RUNOFF 블록은 비선형저류방정식을, TRANSPORT 블록은 Kinematic 방정식을, EXTRAN 블록은 Dynamic 방정식과 연속방정식을 사용한다. 저류추적방법은 수표면이 평행하다고 가정한 수정 Pulse 방법을 사용한다(이종태 등, 1996). 본 연구에서는 SWMM 모형의 RUNOFF 블록만을 사용하여 유출해석을

실시하였다.

3.2 설계강우량과 시간적 분포

본 연구에서는 인천지방의 41년(1952~1991, 1995년)간의 지속시간별 매년 최대치 강우자료를 이용하여 수문자료 해석에 적합하다고 알려진 13가지 확률분포형을 적용하여 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하고 각 확률분포형의 매개변수 적합성을 조사하였다. 또한 적합도 검정단계를 거쳐 인천지방에 대한 최적분포형으로 log-Pearson type III 분포형을 선정하였으며 이에 따른 설계강우량을 지속시간별, 재현기간별로 산정하였다. 그리고 도시수문해석에서 가장 적절하다고 조사된 120분 지속시간을 기준으로 하고 과거 강우사상의 통계적 특성을 고려하는 Huff의 4분위법에 의한 시간적 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.

3.3. 배수체계 현황

본 연구의 적용 대상구역은 기존의 시가지가 동수천 상류지역에 해당되며 현재 개발이 완료된 부개지구는 중류부에 해당하며 하류부에 삼산 (1) 지구가 조성중에 있다. 기존에는 대부분 E1. 4~5 m의 저지대 농경지로서 호우시 주택지에서 유하한 유량을 일시저류시키는 역할을 하였다. 본 적용 대상구역의 전체 배수면적은 약 460 ha이며 그림 1에 적용구역의 배수체계도를 개략적으로 나타냈다.

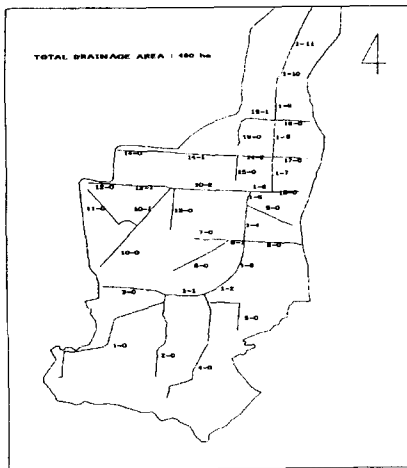


그림 1 적용구역의 배수체계도

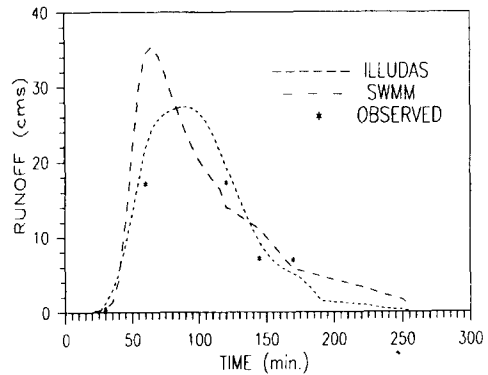


그림 2 적용 모형의 검증(95.8.19. 15:30~17:30)

4. 모형의 적용

4.1 모형의 검증

본 연구에서는 유출모형의 검증을 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, ILLUDAS 모형의 경우 총유출양상은 약 220분에 걸쳐 이루어졌으며 하류단 수위관측 지점에서의 총유출량은 약 144,325 m³이고 침투유량은 강우개시 90분이 경과하여 약 27.4 cms가 되는 것으로 나타났다. SWMM 모형의 경우 총유출양상은 약 250분에 걸쳐 이루어졌으며 하류단 수위관측지점에서의 총유출량은 약 169,000 m³이고 침투유량은 강우개시 75분이 경과하여 약 35.4 cms가 되는 것으로 나타났다. 그림 2에는 2가지 모형에 의해 계산된 유출수문곡선과 현지조사를 통해 얻은 횡단면자료와 수위관측자료에 의한 유출량을 나타내었다. 비록 침투유량에 대한 관측치가 없어 정확한 비교는 곤란하나 본 관측지점과 같이 횡단면 형상이 완만한 측면경사를 갖는 사다리꼴인 경우 통상적인 수위-유량관계에서 수위가 상승할수록 미소한 수위차에도 침투유량은 큰 폭으로 변동하는 점을 감안할 때 관측수위에 의한 유량과 계산유량의 시간에 대한 변동양상은 적절한 것으로 생각된다.

4.2 모형의 적용

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 하류부 개발전과 개발후로 나누어 적용하였다. 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. 본 연구에서는 모형의 초기치 입력에서 본 대상구역의 포장구역의 초기손실과 요면손실을 고려하기 위해 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형 모두 위와 같은 토양형과 선행토양 함수조건에서는 공히 포장구역의 손실은 2 mm로 가정하고 녹지구역의 손실로 4 mm를 가정하였다(Terstriepp, 1974).

다음은 개발전후의 각 재현기간별, 각 강우분포형별 수문곡선의 형태 및 유출용적, 침투 유출량의 크기 및 그 발생시각을 산정하여 도시개발에 따른 유출현상의 변화정도를 상대적인 크기비교로 분석, 제시하였다.

5. 비교분석 및 고찰

ILLUDAS 모형과 SWMM 모형별로 Huff의 4가지 강우분포형에 따른 유출해석을 4개의 재현기간(10, 20, 30, 50년)에 대해 모두 실시하여 개발전후의 유출양상을 분석하였으며 다음 그림 3~6은 Huff의 분포형중 2분위에 대한 각 모형의 개발전(도시화율 70%)과 개발후(도

시화율 90%)의 유출양상을 나타냈다.

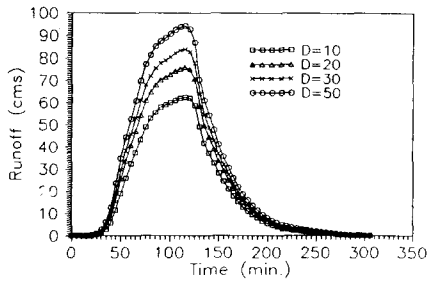


그림 3 ILLUDAS 모형(도시화율 70%)

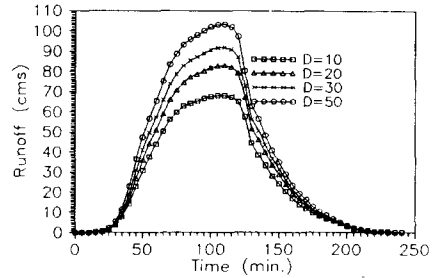


그림 4 ILLUDAS 모형 (도시화율 90%)

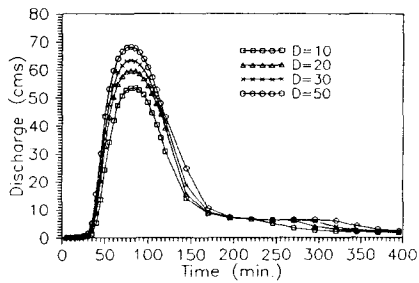


그림 3 SWMM 모형 (도시화율 70%)

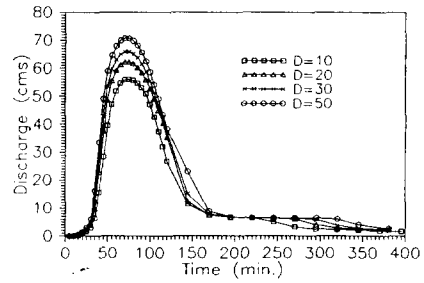


그림 4 SWMM 모형 (도시화율 90%)

SWMM 모형에서 총유출량은 개발전·후 모두 Huff의 1분위, 4분위, 3분위, 2분위의 순으로 나타났으며 재현기간 10년, Huff 2분위에서 개발전 299,000 m³의 유출량이 개발후에는 312,000 m³으로 약 4.3 %의 증가를 보이나 침투유량은 이보다 큰 약 4.9 %로 증가하고 그 도달시간도 6.6 % 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 ILLUDAS 모형의 결과를 보면 강우의 분포에 따른 총유출량의 크기순은 SWMM 모형의 결과와 같았으나 개발전과 비교해 총유출량값은 약 7.3 %정도 증가하고 침투유량의 증가율은 이보다 더 큰 9.2 %로 산정되었다. 침투 도달시간도 9.1 % 감소하는 것으로 나타났다. 그림에서 볼 수 있듯이 전반적으로 ILLUDAS 모형에 의한 산정결과가 SWMM 모형에서 보다 더 크게 나타났는데 이는 모형의 점정에서 확인한 내용과는 다소 차이가 있지만 도시지역에서의 유출을 개념으로 비교해 보면 ILLUDAS 모형의 결과는 개발전의 경우 약 79.9 %의 유출율에서 개발후에는 85.7 %로 증가하여 상당히 큰 유출율을 보인 반면에 SWMM 모형의 경우 개발전 68.1 %의 유출율을 보이다가 개발후에는 71.0 %인 점을 고려하면 도시화율이 90 %에 이른 점을 감안하면 ILLUDAS 모형에 의한 산정결과들이 보다 합리적인 것으로 판단된다. 그리고 본 대상구역의 개발위치가 유역의 하류단에 위치하고 있으므로 유역전반에 걸쳐 개발로 인한 영향이 연속적으로 나타나지는 않은 것으로 판단된다. 앞으로 유역내 개발행위의 공간적 위치에 따른 유출영향분석은 더욱 연구가 되어야 하겠다. 일반적으로 총유출량에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 적용 유역면적의 크기인 점을 고려하면 본 적용유역의 경우 면적자체에는 변동

이 없으므로 총유출량에서는 약간의 증가만 나타났으나 침투유량과 침투도달시간을 조사하면 그 차이가 더욱 커지는 것을 확인할 수 있었다. 적용 대상구역인 본 택지개발 지역들이 기존에는 저지대 전담지역으로 상류 주택가에서 유입되는 우수와 하수를 일시 저류시키므로써 유출구에서의 침투량을 감소시키고 지체효과를 일으켜 하류부의 배수소통에 상당한 역할을 하였던 바 이들 지역의 개발과정에서 저지대 전담들이 오히려 기존의 도로와 주택가의 평균표고보다도 높게 성토되는 관계로 그동안의 저류기능이 상실되고 택지개발된 지역은 침수의 우려가 없는 반면에 기존의 주택가는 상대적으로 저지대가 되어 지표면 유출량들의 배수가 원활치 못하고 침수의 우려가 더욱 커지게 되었다. 차후 본 연구에서의 유출영향분석을 토대로 기존 주택지에 대한 침수방지대책이 강구되어야 하겠다.

6. 결 론

본 연구에서는 기존의 주택지의외곽의 저지대 전담을 대규모로 개발하여 택지를 조성하는 사업이 진행되고 있는 부평 (2) 배수권역인 동수천유역을 대상으로 하류부전체에 대해 현재 택지개발이 계획되고 있는 바, 이 유역의 개발로 인한 총유출량과 침투유량 및 침투도달시간의 변화정도를 개발전후로 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. Huff의 강우분포형별 총유출량의 크기는 ILLUDAS 와 SWMM 모형 모두 1분위, 4분위, 3분위, 2분위형의 순으로 나타났다.
2. SWMM 모형의 경우 재현기간과 강우분포형별로 개발전에 비해 개발후에는 총유출량의 증가율은 4.3 %, 침투유량은 4.9 %이고 도달시간의 감소율은 6.6 %로 나타났다.
3. ILLUDAS 모형의 경우 재현기간과 강우분포형별로 개발전에 비해 개발후에는 총유출량의 증가율은 7.3 %, 침투유량은 9.2 %이고 도달시간의 감소율은 9.1 %로 나타났다.

7. 참고문헌

1. 서규우 (1991). "도시하천에서의 계획홍수량산정에 관한 연구," 석사학위논문, 연세대학교.
2. 서규우, 배덕효, 심재현, 이재준 (1996). "유역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구," '한국수자원학회지, 제29권 제2호, 한국수자원학회.
3. 원석연, 윤용남 (1993). "도시유역의 홍수량산정을 위한 도시유출모형 연구," 대한토목학회 논문집, 제13권, 제5호, pp. 135~146.
4. 윤용남, 전병호, 이종태 (1992). "도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발," KOSEF 90-0700-05 보고서, 한국과학재단.
5. 이종태, 강태호, 김정환 (1996). "도시유역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM모형," 제 4회 수공학확산, 한국수자원학회, pp. 97-141.
6. 이종태, 윤세의 (1996). "도시유역의 유출특성과 해석모형의 적용성 향상에 관한 연구," IHP 연구보고서, 건설교통부, pp. 5-1~5-42.
7. 전병호 (1989). "도시소규모단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구," 한국토지개발공사.
8. Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988). "Storm water management models; version 4, Part A: User's manual," EPA/600/3-88/001a, Environmental Protection Agency.
9. Kibler, D.F. (1982). "Urban stormwater hydrology." Water Resources Monograph 7, AGU, pp. 1~159.
10. Terstriep, M. L., and Stall, J.B. (1974). *The Illinois urban drainage area simulator : ILLUDAS*. Illinois State Water Survey.