

조경천 유역의 도시화에 따른 유출 변화 추이 분석

최정화* / 이정주** / 권현한***+

An Analysis of the Runoff Variation due to Urbanization in Cho-kyung Stream Watershed

Choi, Jung Hwa* / Lee, Jeong Ju** / Kwon, Hyun Han***+

요약 : 도시 지역의 강우-유출 과정은 자연유역과 비교하여 보다 복잡한 형태를 지니고 있다. 도시의 확장과 개발로 인해 유역의 특성들이 변화하고, 이로 인해 유출 모형의 적용 또한 어렵다. 본 연구에서는 전주의 대표적인 도시하천인 조경천 유역을 대상으로 도시화의 진행에 따른 수문환경의 변화와 강우-유출 형태의 변화를 분석하였다. 도시화 정도에 따라 도시화가 진행되기 전인 자연유역기(1924), 전북대학교 조성기(1963), 주거단지 조성기(1986), 도시화 완료기(1995)로 단계를 구분하고, 각 단계별 유역특성자료와 불투수면적 등의 입력자료를 기반으로 SWMM 모형을 이용하여 유출을 분석하였다. 단계별 배수계통도에 의하면, 유로연장, 조도계수, 지표면 저류계수는 감소하였고, 토지이용 상태는 투수면적이 97.7%에서 42%로 감소하였고, 불투수 면적은 0.6%에서 34.0%로 증가하였다. 도달시간은 90분에서 37분으로 감소하였고, 첨두유량은 4.37m³/s에서 111.13m³/s로 증가하였으며, 유출률은 0.8%에서 68%로 증가하였다.

핵심용어 : SWMM모형, 도시화, 유출변화, 도시하천

Abstract : Rainfall-runoff procedures of urban area are more complicated than agricultural procedures. Extension and development of town leads to shift of the basin characteristics and it makes more difficult to use runoff models. In this study, the changes of hydrologic circumstances and the shape of hydrograph due to the urbanization in Cho-kyung river basin has been assessed which is the representative urban stream in Jeonju city. The urbanization can be classified as four typical year. The natural basin period(1924) that is before the urban development, the period of construction of Chonbuk National University campus (1963), the period of construction of residential area(1986), and urbanization process has been finally completed in 1995. The rainfall-runoff analysis has been carried out by Storm Water Management Model(SWMM) under condition of the basin characteristics and impervious area of each period. It was found that hydrologic characteristics such as river length, roughness coefficient, and coefficient of surface storage has been decreased. According to the land use change, the pervious area was decreased from 97.7% to 42%, while the impervious area was increased from 0.6% to 34%. The time of concentration was shorten from 90 minutes to 37 minutes. Along with decreasing the time of concentration, the peak discharge was increased from 4.37m³/s to 111.13m³/s, and the runoff rate was also increased from 0.8% to 68%.

Keywords : Storm water management model(SWMM), urbanization, runoff variation, urban stream

1. 서론

우리나라는 1960년대 이후 고도 경제 성장에

따른 공업화와 산업화를 계기로 인구의 도시집중화가 진행되었고, 이로 인해 시가지 개발이 가속화 되었다. 도시 근교의 구릉이나 계곡이 절취되

+ Corresponding author : hkwon@jbnu.ac.kr

* 국토해양부 익산지방국토관리청 남원국도관리사무소 · 공학석사

** 전북대학교 토목공학과 박사수료 · 공학석사

*** 정회원 · 교신저자 · 전북대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사

고, 전답이 매립되어 택지 또는 상가가 조성되면서 소위 도시화라 일컬어지는 현상이 급격히 진행되었다. 이러한 도시화는 생활용수량을 비롯한 각종 소비수량을 증대시키고 불투수면적의 증대, 표면 조도계수 감소, 자연 보유력 감소등과 같은 수문현상의 변화를 초래하였다. 이에 따라 동일 강우에도 침투유량과 유출용적이 증가하게 되고, 유출속도가 증가하여 침투유량 발생시각이 앞당겨지고, 기저시간이 짧아지는 등 유출수문곡선이 현저히 달라졌다. 이와 같은 도시 유출특성 변화에 관한 연구는 지형적인 요소가 유출에 미치는 영향에 관한 연구와 토지 이용이 유출에 미치는 영향에 관한 연구들로 대별된다.

지형적인 요소로 인한 수문학적 영향에 대한 연구로 서규우(1996)는 동수천 유역의 부평 배수권역을 대상으로 저지대 성토에 의한 택지건설로 증가된 불투수면적에 의해 유발되는 유출영향분석을 실시하였다. 그 결과 침투유량과 총유량이 증가하고, 침투도달시간은 감소하며, 침투유량 증가율이 총유량 증가율보다 더 크게 나타남을 확인하였다. 또한 윤용남(1998)은 댐 건설이후 장기유출해석에 의한 수문환경의 변화를 정량적으로 파악하였다. 댐 건설 전·후의 모의결과 자연환경 변화로 인한 댐 상류의 유출률이 약간 증가하였고, 댐 하류의 경우 댐 건설이 우기에는 침투유량을 감소시키고 갈수기의 유량을 증가시키는 결과를 나타내고 있는 것으로 분석하였다.

토지이용의 변화에 따른 영향을 파악하는 연구로 진은진(2001)은 탄천 유역의 토지이용변화를 파악하여 수문환경의 변화를 분석하였으며, 침투유량은 증가하고 침투유출 도달시간은 단축되었으며, 불투수층인 도심지의 증가율이 클수록 변화량이 커짐을 확인하였다. 성효현(1996)은 안양천 유역분지 내 토지이용 패턴의 변화를 분석하여 홍수로 인한 자연재해의 변화양상을 파악하였다. 그 결과 10%의 농경지와 20%의 임야가 감소되고, 시가지가 30% 확대되어 홍수해의 피해 규모가 증대될 가능성이 높음을 보였다. 정동국(2003)은 대전광역시에서 최근에 계획·개발한 노은 유역을

선정하여 도시화로 인한 유출현상의 변화를 분석하였다. 그 결과 도시개발 전·후의 침투유량은 약 20%증가하였고 침투유량 발생시간은 25분 단축된 것으로 나타났다. 임창수(2007)는 도시화에 따른 수문기후변화에 대한 연구를 통해 기준증발산의 변화정도가 도시화율에 따라서 상관관계를 보이며 도시화율이 클수록 그 변화정도도 큰 것으로 분석하였다. 임창수와 채효석(2007)은 도시화가 진행됨에 따라서 기준잠재증발산량의 증가추세를 보이며, 도시화에 따른 기후변화가 연 실제증발산량을 증가시키는 요인과 도시화가 진행됨에 따라 주거지면적이 증가하여 지역내의 연 실제증발산량을 감소시키는 요인이 복합적으로 작용하는 것을 분석하였다. 이상과 같이 도시화에 따른 수문환경의 변화 및 유출특성의 변화에 관한 여러 연구사례들이 있지만, 도시별 형상과 하천 형태 등에 따라 그 특성은 상이할 것이다. 본 연구에서는 전주의 대표적인 도시하천인 조경천 유역의 토지이용 변화에 따른 수문환경 변화 양상을 파악하기 위하여, 조경천의 근대적 개발이 이루어지기 전인 자연유역기의 토지 이용 상황을 파악할 수 있는 지형도부터 도시화가 완료된 시기의 지형도를 분석하여 하도 변화와 조경천 유역내의 임야, 논, 시가지역 등의 토지이용 변화를 관찰하였다. 또한 불투수성 면적비를 도시화의 정도로 보고 큰 변화를 보이는 네 단계로 구분하였으며, 각 단계별 수문분석에는 SWMM을 적용하였다. 하천의 특성자료와 지형자료, 토지이용 현황에 따라 단계별 모형에 사용될 입력 자료들을 구축하여 수문환경 변화에 대한 유출분석을 실시하였다. 입력 강우자료는 동일한 설계강우를 Huff 4분위법을 적용하여 유출량을 산정하고 최대유량에 해당하는 분위를 채택하였으며, 도시화 정도에 따른 유출수문곡선의 변화추이 분석을 통해 대상유역의 도시계획 및 방제업무를 수행하는데 있어 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 도시화 단계

본 연구의 대상 하천인 조경천은 전주시 덕진동에서 발원하여 북서쪽으로 유하하다가 전주천의 국가하천 구간으로 합류하는 지방 2급 하천으로서 만경강 수계에 속한다(전라북도, 2001). 또한 1960년대 이후 고도의 경제개발에 따라 시가지 개발이 촉진되어 자연유역에서 도시유역으로 변화하게 되었다. 따라서 이러한 유역 변화 양상을 네 가지 단계로 구분하였다. 즉, 첫 번째는 철도 이외에는 도시 시설이 미미하다고 볼 수 있는 자연유역기, 두 번째로는 이곳에 전북대학교가 들어서고 익산에 있는 공과대학이 이전하는 등의 도시개발 초기라 할 수 있는 전북대학교 조성기, 세 번째는 소위 육지구라 불리는 대단위 택지개발로 현재 도시의 전형으로 변모한 주거단지 조성기, 마지막으로 덕진공원, 동물원, 채련공원등 공원이 조성되어 도시화가 완료되었다고 판단되는 도시화 완료기로 나누었다.

2.1 자연유역기(Natural Basin, NB)

조경천 유역에 해당하는 지역의 지형도 중 현존하는 가장 오래된 것이 1924년의 것이다. 1924년의 조경천 유역은 자연유역에 해당한다고 할 수 있으며, 유역 내에는 덕진호가 조성되어있고, 전라경편철도가 통과하며, 1899년에 형성된 조경단이 있을 뿐 거의 주거지도 형성되지 않았음을 확인할 수 있다. 또한 하천은 표고 80~120m 내외의 낮은 산으로 둘러싸여 있는 분지형으로, 하천변은 대개 농경지로 이용되고 있고, 산지는 수목이 들어서 있다.



그림 1. 1924년 조경천 유역도

2.2 전북대학교 조성기 (Chonbuk Campus, CC)

1960년대 우리나라는 고도의 경제개발에 따른 공업화를 계기로 도시화라 일컬어지는 현상이 급진전하게 된다. 그림 2.에서와 같이 조경천 유역도 도시화 현상이 점차 나타나고 있는데, 그 하나의 특징으로 유역 내의 포장도로와 그 주변의 주거지 형성을 들 수 있다. 또한 1952년에 전북대학교가 유역 내에 설립되면서 점차적인 주변 지역의 개발을 예측할 수 있다. 따라서 자연 유역기인 1924년의 유역도와 비교해 볼 때 임야의 면적은 감소하고, 경작지나 도시용지의 면적은 증가하였음을 알 수 있다.

2.3 주거단지 조성기(Residential Area, RA)

1986년에 있어 도시의 성장을 알 수 있는 특징으로는 주거지의 형성과 함께 그 주변에 들어선 교육시설들과 공공시설들이다. 1963년에는 볼 수 없었던 밀집주거지가 전북대학교 부근과 금암동, 인후동, 송천동 등지에 나타나고 있고 이에 따라 포장도로가 많아짐을 알 수 있다. 전북대학교의 규모도 점차 커져 공대, 사대, 농대, 의과대학 부속병원, 사대부속고교가 생기면서 지금의 모습과 비슷한 양상을 띠고 있다. 또한 공공시설인 전주 실내체육관과 공설운동장이 들어섰으며, 덕진연못 주위로는 덕진공원이 형성되었고, 낮은 산에는 전주동물원이 자리 잡았다. 그림 3.에서 회색으로 진하게 표시된 지역이 밀집주거지를 나타낸다.

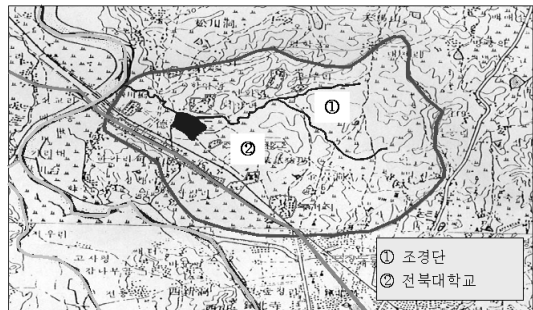


그림 2. 1963년 조경천 유역도

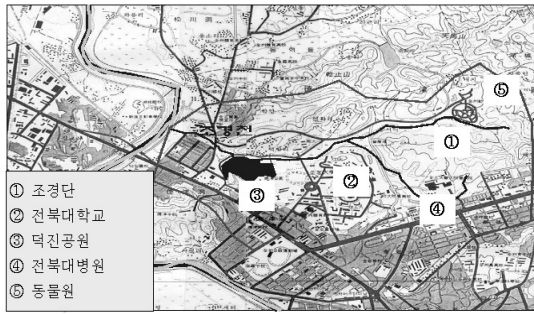


그림 3. 1986년 조경천 유역도

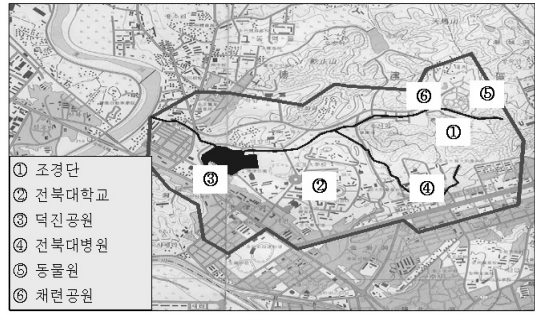


그림 4. 1995년 조경천 유역도

2.4 도시화 완료기 (Urban Area, UA)

1995년의 지형도는 1986년과 비교해서 특별한 변화를 보이지 않고 있어 도시화가 완료됨을 알 수 있다. 다만 밀집주거지들이 더 증가하고 그 사이의 도로망이 확장되어 불투수성면적이 증가함을 확인 할 수 있다. 또한 1995년에 새로 들어선 시설로는 채련공원을 들 수 있다.

3. 도시 유출 모형

본 장에서는 먼저 수문학에서 사용되는 유출모형들의 종류와 특징에 대하여 논의한 후, 본 연구에서 사용되는 SWMM의 특징과 입력 자료에 대해 설명하였다.

3.1 해석 모형

수문학에서 사용되는 모형은 확정론적 또는 추계학적 모형인가, 총괄적 또는 분포형 모형인가, 사용된 변수가 공간적인가 시간적인가에 의해 분류할 수 있다. 여기서, 확정론적 모형은 물리적인 현상에 대한 기존 지식을 적극 활용하는 방법이고, 추계학적 모형은 물리적 성분으로 설명할 수 없는 내용에 대해 통계적으로 접근하는 방법이다. 또한 총괄적 모형은 주어진 지역 이상의 유역 특징을 통합하고 유출상태를 간략히 한 결과 지역안의 특성차이를 무시한다. 여기에는 HEC-1,

HYMO, RORB, SSARR, TANK-Model 등이 속한다. 분포형 모형은 실제 유역특성의 다양성을 표현하기 위해 발전해왔다. 분포형 모형의 사용은 정밀 수치지형도, 배수밀도, 토양침투의 정도, 지형학, 그리고 강우성질 같은 유역상황을 특징짓는데 적절한 공간 스케일을 결정함에 있어서 복잡한 측면이 있으며, 분포형 모형을 큰 유역에 적용할 때는 주어진 지역의 평균적인 특성이 유역 유출발생에 대해 충분한 정보를 제공함과 동시에 불필요한 공간적 다양성이 무시될 수 있는 스케일을 결정하는 것이 중요하다. 여기에는 SHE, IHM, NWSRWS, TOPMODEL 등이 포함된다.

마지막으로 변수가 시간적인 모형은 유역모형에서 모형의 시간규모에 의해서 분류할 수 있다. 시간규모는 두 시간대의 간격의 조합으로 분류할 수 있다. 하나의 시간대 간격은 입력 자료와 내부계산을 이용하고, 다른 하나의 시간대 간격은 모형의 출력자료와 교정에 의한 것이다. 여기에 속하는 단일 호우사상에 대한 유출모형으로는 CHICAGO 수문곡선법, RRL 방법, ILLUDAS 모형, SWMM 모형, SCS 모형 등이 있고, 연속적인 강우사상을 모의하는 장기 유출모형으로는 Stanford 모형, HMPF 모형 등이 있다. 변수가 공간적인 모형은 공간규모를 소유역, 중유역, 대유역으로 분류하는 것이 기준이 된다. 보통 소유역은 100km² 이하의 유역을 말하고, 중유역은 1,000km² 이하로 정의하고, 대유역은 1000km² 이상일 때이다. 이러한 공간의 분류는 개념보다는

경험에서 나온 것이며, 물리적 의미보다는 자료의 이용성이 더 지배적이다. 중요한 것은 수문학적 과정의 동일성과 평균적 개념이다(윤태훈, 1997; Chow 등, 1988; Obled 와 Zin, 2004; Liong 등, 1995; Rodriguez 등, 2005).

3.2 계산 모형

도시 유역에서의 설계홍수량 산정을 위하여 국내에서 사용되고 있는 모형들로는 합리식, RRL, ILLUDAS, SWMM 모형 등이 있다. 이 중 합리식과 RRL모형은 적용이 간편하다는 이점으로 널리 사용되어오고 있으나, 설계자의 주관에 따라 유출량 계산에 큰 차이를 나타낼 수 있다. 한편, ILLUDAS 모형은 지표면의 양상과 배수관로의 계통을 고려하므로 앞의 두 모형 보다는 정확한 계산 결과를 기대할 수 있다. 그러나 배수관망이 각종 수리구조물을 포함하고 있는 경우에는 정확한 유출량을 산정한다고 보기는 어렵다. 또한 관로에서의 흐름을 등류로 보고 해석함으로써 관로 내 수심의 변화와 배수의 영향을 고려할 수 없는 한계가 있다. 도시 유역에서의 강우로 인한 홍수량을 산정하는 모형들 중 SWMM 모형은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy 사가 Florida 대학 및 W.R.E와의 공동 연구로 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 시뮬레이션 할 수 있도록 개발하였다. SWMM 모형은 도시유역 내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다. 국내의 많은 연구들에서 앞의 모형들은 적용하여 유출분석을 실시한 결과 SWMM이 국내 유역에 적합함을 증명한바 있다. 따라서 본 연구에서는 SWMM 모형을 사용하여 조경천 유역의 강우-유출 해석을 실시하고자 한다.

SWMM모형의 적용 대상유역은 도시유역과 인위적 배수계통을 갖는 소유역이 적합하다. 시간적 특성은 단일 강우나 연속 강우에 대해 계산이 가능하며, 강우 간격은 임의로 선정할 수 있고, 연

산 시간 간격은 강우 사상에 대해 임의로 조절이 가능하다. 공간적 특성은 작은 배수 유역에서 큰 배수 유역까지 적용이 가능하며, 배수 유역은 최대 200개의 소유역과 수로/관로로 구성될 수 있으며, 배수 유역의 합성 및 분리가 가능하다. 또한 물리적 특성은 유출 현상이 강우와 용설로 인해 발생하는 것으로 보고, 지표면 유출은 비선형 저류 방정식을 사용하며, 침투량 산정은 Horton 또는 Green-Ampt 식을 사용한다(Metcalf 와 Eddy, 1971).

RUNOFF 블록은 SWMM 모형 내에서 초기연산이 수행되는 부분으로 강우사상에 대해 배수유역에서의 유출현상과 수면변화를 모의하여 SWMM 모형 내 다른 부 블록들의 기초 자료로 사용되는 수문곡선과 오염도곡선을 제공한다. RUNOFF 블록의 가장 중요한 기능은 선정된 시간과 위치에서 다른 블록의 실행에 필요한 자료(유입수문곡선, 오염도 곡선 등)를 제공하는데 있다. 따라서 RUNOFF 블록은 배수 유역을 단순화된 배수 유역과 관망으로 재구성하여 해석한다.

RUNOFF 블록에서 지표면 유출에 대한 기본 방정식은 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 kinematic wave 근사법인 비선형 저류방정식이 사용되고, 수리학적 유출 모형은 각 소유역에서의 수심과 유량을 결정하기 위해 연속 방정식과 Manning식을 사용한다. 또한 관로 유출도 비선형 저류방정식으로부터 계산되고, 본 방정식의 해를 구하기 위하여 모형개발 초기에는 수정 Euler 방법을 사용하였으나 후에 보다 안정된 해를 얻기 위해 Newton-Raphson 방법으로 대체되었다. Manning식이 각 적분 연산구간에서 사용되며, 유출 현상의 동역학적 거동은 준 정상 상태로 근사 처리하였다. 이 방법은 수심 d 와 단면적 A 가 시간에 따라 급하게 변화하지 않는 경우에 그 적용성이 크다.

3.3 모형 변수

SWMM모형의 변수는 크게 소유역 특성 변수와 관로 특성 변수가 있다. 소유역 특성변수로는 유

역면적, 유역폭, 대상유역 지표면의 조도계수, 저류깊이, 침투계수등이 있다. 이는 대부분이 토양의 종류나 식생피복에 따라 결정되며, 조경천 유역의 각 개발단계에 해당하는 소유역 특성변수들은 다음 장에서 자세히 논의하였다. RUNOFF 블록에서는 배수 유역을 200개의 관로와 집수구로 구성할 수 있으며, 관망 구성은 기본적으로 ILLUDAS 모형과 유사하다. 소유역에서의 유출은 항상 접합부나 수로/관로에 유입되며, 작은 배수 관망을 모의하기 위해서는 가지망 하수 시스템을 사용한다. 수로/관로의 형태는 원형, 사다리꼴형, 포물선형 등의 3가지를 기본형으로 하며, 수로/관로 관망 구성 시 너무 짧거나 긴 관로는 불안정한 값을 산출할 수 있으므로 주의 하여야 한다.

4. 모형입력자료 생성

지형도를 이용하여 배수구역의 경계를 설정하

고 관로 형태와 설치위치, 지적도와 토양도등 토지이용상황과 토양의 특성, 행정구역등의 자료를 기초로 유역을 분할하였다. 본 장에서는 도시화 단계별 SWMM 모형을 위한 입력 자료를 생성하였다.

먼저 각각의 도시화 단계별 배수계통도를 만들고 이를 바탕으로 소유역별 매개변수와 수로/관로 자료를 생성하였다. 그 결과 표 1.에서와 같이 도시화가 진행됨에 따라 유로연장은 감소하였고, 하천밀도는 증가하였으며, 지면경사와 표면조도계수, 자연 보유력 등은 감소함을 확인할 수 있었다. 또한 그림 5.에서와 같이 하천은 점차 감소하여 개거화 되고, 상하수도의 정비로 인해 관거는 점차 증가하고 있음을 알 수 있다.

또한 유역별 입력 자료로서 각 단계별 토지이용 상태에 대해 살펴보면 표 2.에서와 같이 경작지나 임야 즉 투수면적은 각 단계별로 97.7%, 93.6%, 50.6%, 42.0%로 점차 감소하였고, 반면

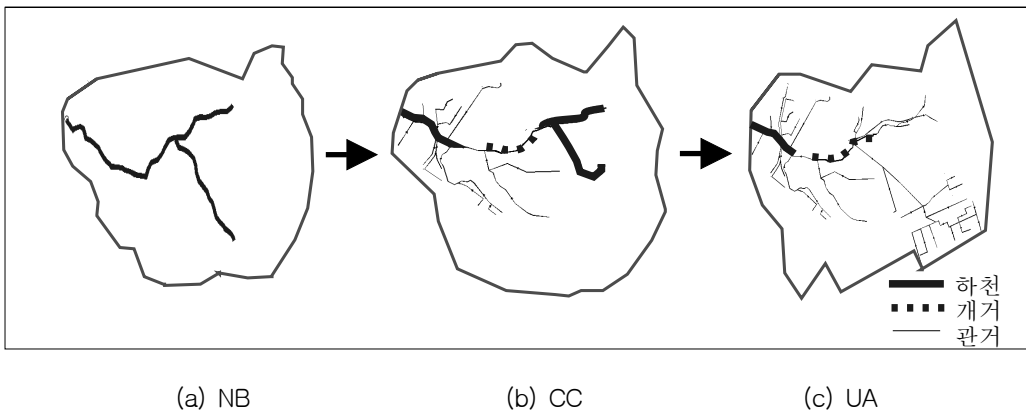


그림 5. 배수계통의 변화

표 1. 입력자료

| 시기(연도) | 유로연장 (L, km) | 하천밀도 (L/A, km ⁻¹) | 지면경사 | 조도계수 | 지표면저류계수 |
|-----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|---------|
| 자연유역기(1924) | 4.03 | 0.57 | 0.074 | 0.044 | 14.36 |
| 전북대학교 조성기(1963) | 3.72 | 0.56 | 0.053 | 0.036 | 12.37 |
| 주거단지 조성기(1986) | 3.11 | 0.61 | 0.031 | 0.034 | 11.50 |
| 도시화 완료기(1995) | 3.02 | 0.62 | 0.026 | 0.029 | 9.76 |

표 2. 유역면적의 변화

| 시기(연도) | 유역면적(A, km ²) | | | |
|-----------------|---------------------------|------------|------------|-----------|
| | 투수면적 | | 불투수면적 | 총합(%) |
| | 경작지(%) | 임야(%) | 도시용지(%) | |
| 자연유역기(1924) | 1.99(28.2) | 4.89(69.5) | 0.04(0.6) | 7.04(100) |
| 전북대학교 조성기(1963) | 4.22(63.6) | 1.99(30.0) | 0.36(5.4) | 6.63(100) |
| 주거단지 조성기(1986) | 1.40(27.7) | 1.16(22.9) | 1.54(30.5) | 5.06(100) |
| 도시화 완료기(1995) | 0.97(20.0) | 1.09(22.0) | 1.64(34.0) | 4.89(100) |

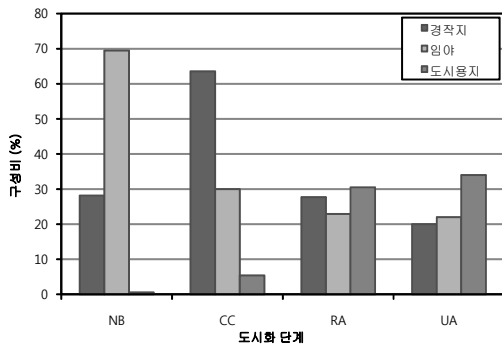


그림 6. 도시화에 따른 토지이용의 변화

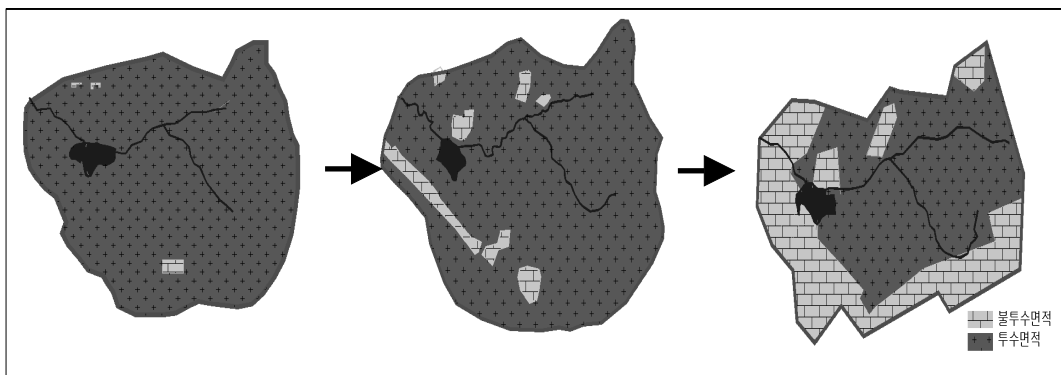
도시용적 즉 불투수면적은 0.6%, 5.4 %, 30.5%, 34.0%로 점차 증가하였다. 유역면적은 자연유역기인 1924년에는 7.04km², 도시화 완료기인

1995년에는 4.89km²로 점차 감소하였다. 이는 표 2.와 그림 6.에서 볼 수 있다.

또한 그림 7.에서는 불투수면적과 투수면적이 조경천 유역 내에서 도시화 진행단계에 따라 어떻게 변화되고 있는지를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 도시화에 따라 불투수면적이 점차 증가하고 있음을 알 수 있다.

5. 유출분석

도시화단계가 증가하는 것은 대상유역의 녹지면적은 점차 감소하고 불투수(포장)면적 비율이 증가하는 것을 의미하며, 이에 따른 포장지역 길이도 증가하는 것을 의미한다. 최근의 연구동향을



(a) NB

(b) CC

(c) UA

그림 7. 불투수 면적 변화

표 3. 도시화에 따른 유출 변화

| 시기(연도) | Huff분위 | 도달시간 (min) | 첨두유량 (CMS) | 단위면적당 유량 (CMS/km ²) | 유출률(%) |
|-----------------|--------|------------|------------|---------------------------------|--------|
| 자연유역기(1924) | 1분위 | 90 | 4.37 | 0.62 | 0.8 |
| 전북대학교 조성기(1963) | 4분위 | 63 | 35.92 | 5.42 | 11 |
| 주거단지 조성기(1986) | 4분위 | 45 | 72.48 | 14.32 | 34 |
| 도시화 완료기(1995) | 4분위 | 37 | 111.13 | 22.73 | 68 |

보면 도시유역의 개발정도를 유출계수의 증가로 구분하여 유출계수의 증가에 따른 재현기간 별 및 토지이용단계별로 수문모형에 의한 유역수문응답을 해석하고 있다. 따라서 본장에서는 4장에서 산정한 입력 자료를 바탕으로 도시화 단계별 유출량을 구하여 비교하였다. 도시화 단계별 즉 선정된 4개의 연도에 대한 SWMM의 입력 자료는 모두 다르다. 따라서 설계 강우가 같다고 할지라도 강우-유출반응은 매 해 다르게 나타날 것이다. 각 단계별 도시화 정도에 따른 첨두유량을 산정하여 가장 큰 첨두유량을 보이는 분위와 그 값을 정리하면 표 3.과 같다. 자연유역인 경우를 제외하고는 HUFF의 4분위중 제4분위에서 가장 큰 첨두유량값을 보였으며, 이는 조경천 유역이 소유역임을 감안할 때 적절한 결과라 할 수 있다. 또한 첨두유량과 유출율, 유출계수 모두가 도시화가 진행됨에 따라 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 첨두유량의 도달시간도 줄어드는 경향을 볼 수 있다. 도시화에 따른 유출수문곡선의 비교는 그림 8.과 같다.

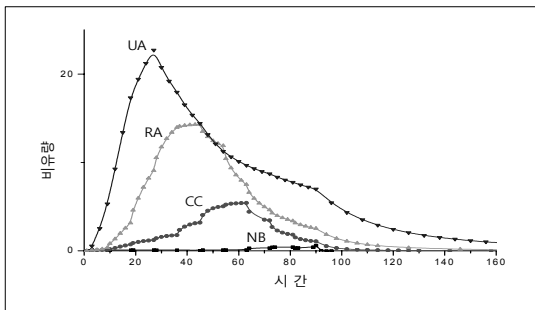


그림 8. 유출수문곡선 비교

6. 결 론

본 연구에서는 급속한 도시화로 인한 도시하천 유역의 변화 상황과 그에 따른 강우-유출반응의 변화 정도를 대표적인 도시유출모형인 SWMM을 사용하여 산정하고, 앞으로 진행될 도시화로 인해 발생하는 홍수량의 증가에 대비하고자 하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

도시화가 진행되면 불투수지역이 확대되고 이로 인하여 강우가 토양으로 흡입되지 않고 곧바로 직접유출에 기여하기 때문에 우수기능이 감소된다. 더욱이 우배수로 및 포장으로 인하여 흐름의 시간은 매우 빨라지기 때문에 작은 강우라도 강우 후 갑작스럽게 홍수가 발생하고, 그 첨두유량이 증가하는 경향으로 홍수형태가 변화하게 된다. 본 연구의 대상유역인 조경천 유역의 경우 불투수 면적비는 자연유역기(1924년)에는 0%, 전북대학교 조성기(1963년)에는 6.7%, 주거단지 조성기(1986년)에는 31.5%, 도시화 완료기(1995년)에는 42.3%로 산업화가 시작된 1960년 이후 약 30년 동안 약 36%가 증가하였다. 이로 인해 SWMM을 적용한 결과 첨두유량은 1924년 4.37, 1963년 35.92, 1986년 72.48, 1995년 111.13m³/sec로 급격히 증가하는 추세이며, 도시화가 시작된 1960년대에 비해 1995년에 2.3배까지 증가하였다. 또한 비유량은 단위면적당 0.62m³/s에서 22.73m³/s까지 증가하였다. 유출율은 1924년에는 0.8%로 거의 유출이 발생하지 않았으나, 도시화가 시작된 1963년부터는 11%, 1986년에는

34%, 1995년 68%로 급격히 증가하는 추세로 나타났다. 또한 도달시간은 90분에서 37분으로 짧아졌다. 이상의 결과를 통해 도시화가 진행됨에 따라 도달시간은 짧아지고 침투유량은 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 강우집중시기에는 범람의 우려가 있고 건기에는 지하수 함량이 작아져 건천화 현상이 발생할 위험이 증가한다. 따라서 도시지역의 수로 단면 산정시는 앞으로의 도시화 진행 현황을 파악하여 신중한 검토가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

서규우, 허준행, 조원철 (1996), 도시화에 따른 유출영향분석 및 침수저감대책에 관한 연구-부평 (2) 배수권역을 중심으로, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol.16, No.II-5, pp. 421-431.

성효현 (1996), 수도권지역 개발에 따른 자연재해 특징분석 : 안양천 유역분지에서 잠재적 수해 특성 분석, 한국GIS학회지, 한국GIS학회, Vol.4, No.1, pp. 21-42.

윤용남, 강병석, 김웅태, 김재형, 고익환 (1998), 댐 건설전후 유역의 장기유출특성변화의 분석 II. 모형의 매개변수 산정을 통한 유역 장기유출특성 변화 분석, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol.18, No.II-5, pp. 461-468.

윤태훈 (1997), 응용수문학, 청문각.

임창수 (2007), 도시화에 따른 수문기후변화 II(도시화가 기준 증발산량에 미치는 영향), 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, Vol.40, No.7, pp. 571-583

임창수, 채효석 (2007), 도시화에 따른 수문기후변

화 I(연 물수지 변화 분석), 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, Vol.40, No.7, pp. 555-570

전라북도 (2001), 조경천 하천정비기본계획 보고서

정동국, 이범희 (2003), 도시유출 모형을 이용한 도시화 유역의 유출 해석, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, Vol.36, No.1, pp. 75-85.

진은진 (2001), 도시화에 따른 수문환경의 변화 분석에 관한 연구 :SCS 유출모형을 활용한 저류용량산정에 관하여, 석사학위논문, 서울대학교 대학원.

Chow, V. T., D. R. Maidment, et al. (1988). Applied hydrology. New York, McGraw-Hill.

Liong, S. Y., W. T. Chan, et al. (1995), Peak-Flow Forecasting with Genetic Algorithm and Swmm, Journal of Hydraulic Engineering-Asce, 121(8), pp. 613-617.

Metcalf & Eddy. (1971). Storm water management model. Washington, D.C., Environmental Protection Agency, Water Quality Office.

Obled, C. and I. Zin (2004), TOPMODEL: basic principles and a test case, Houille Blanche- Revue Internationale De L Eau(1), pp. 65-77.

Rodriguez, F., C. Cudennec, et al. (2005), Application of morphological approaches to determine unit hydrographs of urban catchments, Hydrological Processes, 19(5), pp. 1021-1035.

- 논문접수일 : 09년 12월 09일
- 심사의뢰일 : 09년 12월 09일
- 심사완료일 : 09년 12월 29일