

## 유역의 도시화에 따른 유출변화모의

김철\*, 박남희\*\*

\*호남대학교 토목환경공학과 교수

\*\*호남대학교 환경연구센터 연구원

### 1. 서 론

불투수지표면의 건설이나 인공수로의 조성 등에 의해 유역이 도시화되면 토지피복이 변화하고 인구가 증가함으로써 도시생태계에서 수문학적 과정과 하천수질에 지대한 영향을 미친다. 불투수지표면은 침투, 침루 및 토양함수량을 감소시키며 차단저류량과 요지저류량(depression storage)도 감소시킴으로써 유출량을 증가시킨다. 따라서 대규모 불투수 지표면이 있는 유역은 지하수 함양과 기저유출을 전반적으로 감소시켜서 호우류와 홍수의 빈도를 증가시킨다. 불투수 지표면에 있는 토양, 먼지, 쓰레기 등이 강우에 쓸려내려와 하천의 오염을 증가시키며 불투수지표면의 지표유출은 침투유량이 매우 크고 유출용적이 증가되며 홍수 도달시간을 단축시켜 홍수에 의한 피해를 증가시킨다.

이와 같은 수문학적과정을 평가하기 위해서는 수문모형을 사용하는데 본 연구에서는 미국 환경부에서 개발한 HSPF모형을 이용하였다. GIS를 이용하여 공간정보를 처리함으로써 수문모형의 파라미터를 결정하는 방법이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 유역의 토지이용변화에 따른 효과를 분석하기 위해 HSPF와 ArcView GIS를 사용하였다.

대상유역은 황룡강유역을 선택하였는데 황룡강유역은 도시화에 의해 불투수지표면이 증가하고 있는 지역이며 이로 인해 수문과정과 하천수질이 변화하고 있는 지역이다.

모형의 결과를 이용하여 유출율과 기저유출을 불투수율과 토양함수율의 함수로 나타낼 수 있는 방정식을 유도하였다. 불투수율과 토양함수율을 알 수 있는 유역에서는 개발된 방정식을 이용하여 간단한 유출량을 구할 수 있을 것이다.

### 2. 모형의 이론

지구상의 물의 순환과정을 기술하면 지표면상의 물이 증발하여 구름을 형성하고 구름은 강수의 형태로 지표면에 도달한다. 이 중 일부는 지표의 흙 속의 공극을 채우기 위해 침투되며 나머지는 지표를 흘러 하도에 도달하고 바다로 흐른다. 이와 같은 물의 순환과정에서 하나 하나의 요소를 수문요소라고 하며 이를 <그림 1>에 나타내었다. 그림에서 지표에 내리는 강수량은 4개의 토양수분저류층인 표층(Surface zone), 상층부(Upper zone), 하층부(Lower zone), 지하수층(Groundwater zone)에 저류된다. 투수지형의 물이동은 지표수 유출, 복류수 유출, 지하수

유출의 3가지 경로를 통해 일어나는데 각 경로에 따라 시간차이가 발생하며 하천유출량이 산출된다.

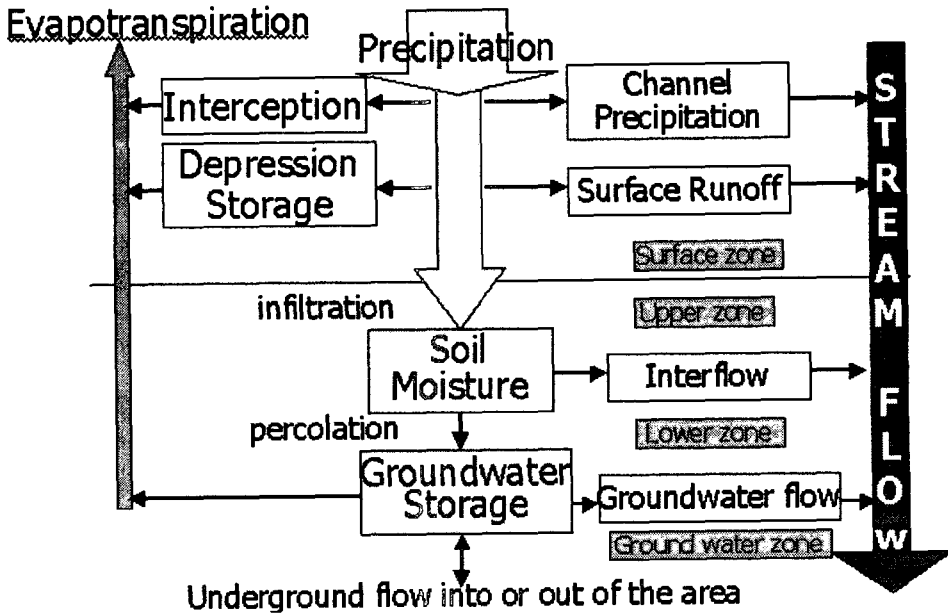


그림 1. 수문 요소

이와 같은 수문요소를 포함하는 수문모형은 그 종류가 매우 다양하다. 그 중 HSPF(Hydrologic Simulation Program-Fortran)모형은 미국 환경부에서 개발한 모형으로서 3개의 모형을 확장하고 발전시켰다. 3개의 모형은 ARM(Agricultural Runoff Management Model), NPS(Nonpoint Source Runoff Model), HSP(Hydrocomp Simulation Program) 이다. 이 모형은 통상적인 오염물과 독성 유기오염물을 해석하기 위해 유역 수문학과 수질을 모의는 광범위하고 종합적인 모의모형이다.

HSPF 모형은 수자원·수질 계획을 세우는데 있어 매우 중요한 도구로 사용될 수 있으며 다음과 같은 장점을 포함한다. 첫째 한 모형을 사용하여 넓은 유역에 대한 수량과 수질에 관한 문제를 해결할 수 있으며, 둘째 방대한 자료관리의 편리성으로 인한 시간과 경비가 절감되며, 셋째 모듈구조로 이루어져 프로그램의 변화와 부가가 용이하다.

HSPF 모형의 유출량 관련 연산 기능은 PERLND(Pervious Land Segment), IMPLND(Impervious Land Segment), RCHRES(Stream Reach) 등 3가지의 모듈로 나누어지며 PERLND 모듈은 투수성 토양지역에서 발생하는 수량과 수질에 관한 것으로서 HSPF에서 가장 빈번하게 사용되는 부분이다. IMPLND 모듈은 불투수성 토양의 경우에 해당되는 것으로서 도시지역과 같이 침투현상이 적거나 없는 경우에 사용된다. RCHRES 모듈은 PERLND, IMPLND로부터 나타난 수질항목과 강우유출 등이 하천과 저수지에 미치는 현상을 모의한다.

### 3. 자료수집 및 구축

#### (1) 도형자료

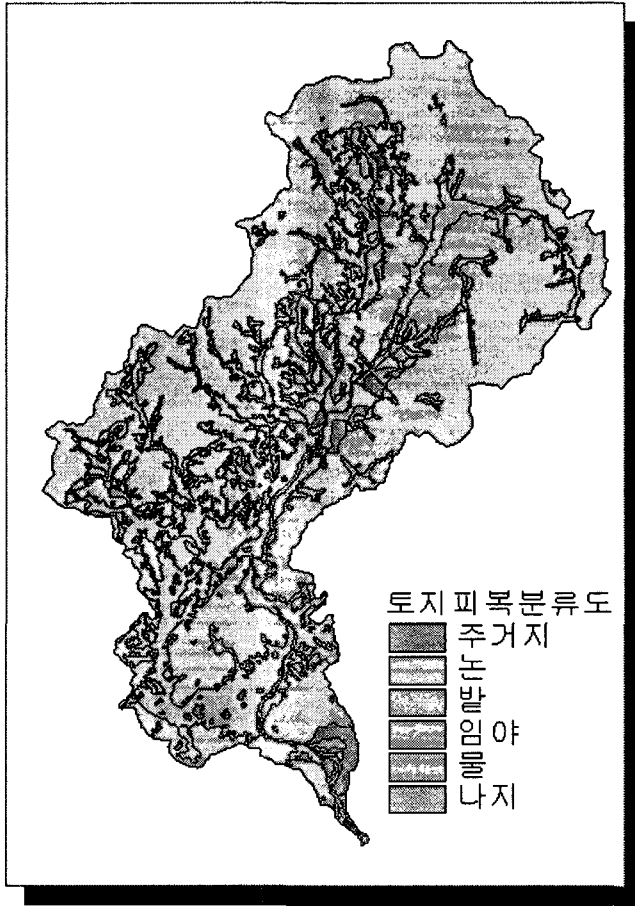
황룡강유역은 영산강 본류에 유입하는 제1지류로 유역면적은 566.04km<sup>2</sup>, 유로연장은 61.9km이다. 연구에 사용한 도형자료는 지형도, 수치지도, 토양도 등이다. 지형도는 1 : 50,000축척의 자료를 사용하였고, 수치지도는 1 : 25,000축척을 사용하였으며, 토양도는 1 : 50,000축척의 자료를 사용하였다. 수집된 도형자료와 수치지도를 이용하여 추출한 자료를 < 표 1>에 나타내었다.

표 1. 도형자료

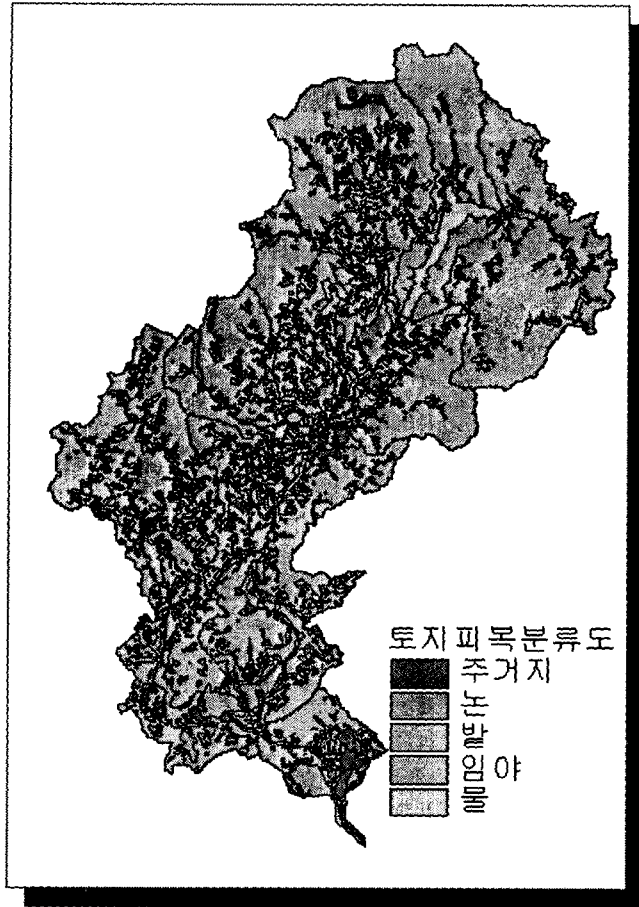
지형자료	축척	제작년도	구축방법	추출 자료
수치지도	1 : 25,000	1999	ArcView	수치고도모형(DEM), 토지피복분류도, 하천망, 유역경사, 하천의 길이, 유역면적
지형도	1 : 50,000	1986	종이벡터라이징	토지피복분류도
토양도	1 : 50,000	1971	종이벡터라이징	토양형의 분류
횡단면도		1985	AutoCAD	하상단면입력자료

표에서 토지피복분류도는 제작년도가 서로 다른 지형도와 수치지도를 사용하여 작성하였으며 토지피복분류도를 <그림 2>에 나타내었다. 시간의 경과에 따른 토지 피복의 변화를 비교 분석하기 위해 토지피복분류도로부터 각각의 토지피복에 대한 면적을 비교한 결과를 <표 2>에 나타내었다.

또한 수치지도를 ArcView를 이용하여 유역의 유출특성인자인 유역경사, 하천의 길이, 유역면적 등을 추출하였다. 모형을 적용할 때 필요한 하상단면입력자료를 황룡강하천정비기본계획(1985, 전라남도)을 수집하여 구축하였다.



(a) 1986년 지형도



(b) 1999년 수치지도

그림 2. 토지피복분류도

표 2. 토지피복분류 비교

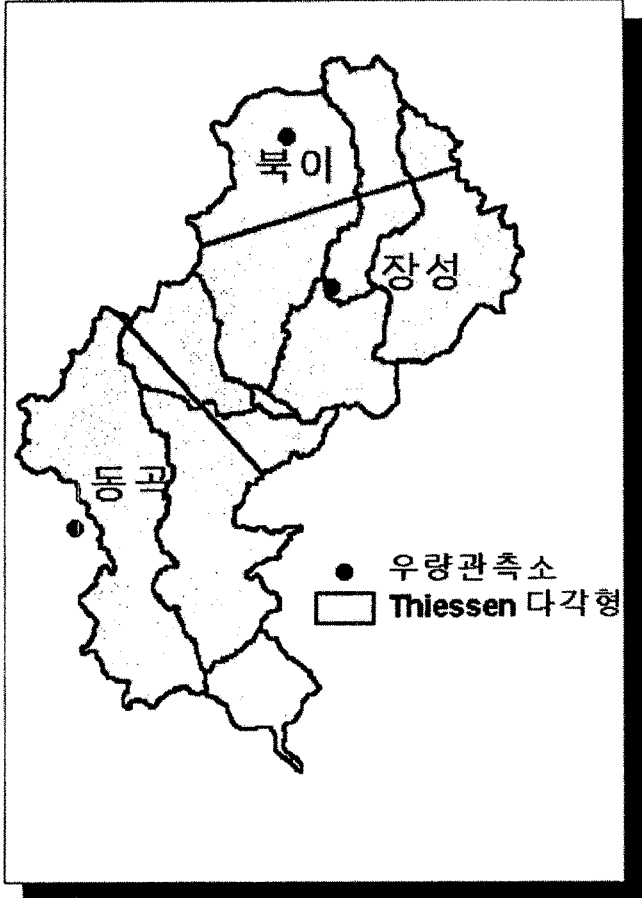
토지유형	지형도(1986)		수치지도(1999)	
	면적(m <sup>2</sup> )	백분율	면적(m <sup>2</sup> )	백분율
주거지	28,303,139	5%	33,037,967	6%
논	124,567,206	22%	64,355,808	11%
밭	24,488,478	4%	33,591,052	6%
임야	371,507,591	66%	421,213,010	74%
물	11,093,624	2%	13,884,499	2%
계	559,962,026	100%	566,084,337	100%

(2) 수문자료

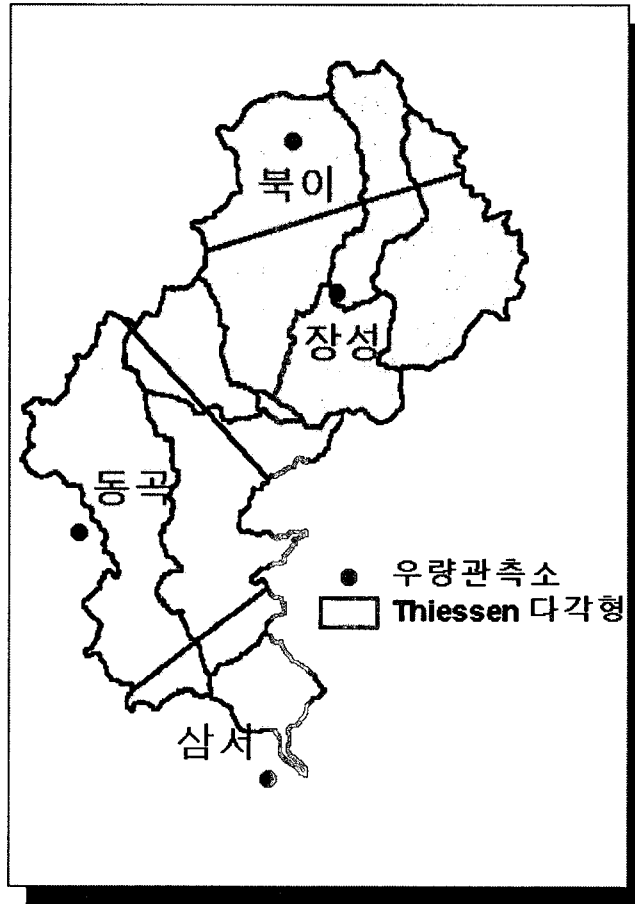
영산강유역 전체에 대한 우량관측소는 건설교통부에서 관할하는 관측소 28개소가 설치되어 있으며 황룡강유역에 영향을 주는 강우관측소는 복이, 장성, 삼서, 동곡 등 4개소가 있다. 장성 관측소는 1916년부터 관측을 시작하였고 장성댐이 축조된 이후 1992년에 댐하류로 위치를 변경하여 현재까지 관측이 진행되고 있다. 복이와 삼서 관측소는 1960년부터 관측을 시작하였고 동곡 관측소는 1992년부터 시작하였다. 따라서 장성댐이 건설된 1976년 이전의 우량관측소는 장성, 복이, 삼서 3개소를, 1992년 이후의 우량관측소는 복이, 장성, 삼서, 동곡 4개소의 자료를 사용하였고, 수자원공사와 건설교통부에서 보유하고 있는 관측자료가 서로 달라 두 자료 중에서 신뢰성이 높은 자료를 선택해서 분석에 이용하였다. 수위관측소는 황룡강유역내에 건설교통부에서 관할하는 관측소 2개소가 있으며 선암 관측소는 1915년부터 관측을 개시하였고 장성은 1962년부터 관측을 개시하여 2개 관측소의 관측자료를 이용하였다.

(3) 기상자료

기상자료는 광주지방기상청의 기상자료를 이용하였으며 1991년 1월 1일부터 1991년 12월 31일까지와 1998년 1월 1일부터 2000년 12월 31일까지의 기상월보의 기상자료를 사용하였다. 입력자료는 증발량, 이슬점온도, 운량, 최고온도, 최저온도, 풍속, 운량, 이슬점이며 광주지방기상청에서 관측되지 않은 증발량은 목포지방기상청의 기상자료를 이용하였다. 강우자료는 기상청의 자료를 사용하지 않고 건설교통부 우량관측 자료를 사용하였다. 강우관측자료를 점우량에서 면우량으로 환산하기 위해 Thiessen 다각형을 작성하였다. <그림 3>에 우량관측소의 위치와 Thiessen 다각형을 나타내었다. (a)는 복이, 장성, 동곡 3개소, (b)는 3개소와 삼서를 포함한 4개의 관측소에 대한 다각형이다.



(a) 3개소의 Thiessen다각형



(b) 4개소의 Thiessen다각형  
그림 3. 우량관측소의 Thiessen 다각형

#### 4. 모형의 적용

##### (1) 매개변수 최적화

모형을 실행하기 위해서 투수면적과 불투수면적을 입력해야 하므로 우선 대상유역에 대해 각각의 면적을 계산하였다. 계산 방법은 토지피복분류에 따른 불투수율을 적용하여 면적을 계산하는 것이다. 토지피복분류에 따른 불투수율은 참고문헌을 이용하여 <표 3>에 나타내었다.



유역의 도시화에 따른 유출변화모의

표 3. 토지피복분류에 따른 불투수율

토지피복분류	불투수율(%)
주거지	70
논	5
밭	5
임야	0
물	100

매개변수의 최적화는 1999년 강우자료와 1999년의 토지피복 분류도를 사용하여 최적화 하였다. 최적화 방법은 먼저 유출 매개변수의 최대값과 최소값을 입력하여 유출량을 계산하여 민감한 매개변수를 선정하였다. 그 결과 선정된 매개변수는 토양의 하층부와 상층부의 수분저장 능력(LZSN, UZSN), 투수능지표(INFLILT), 중간유출수(INTFW) 등 4개였다. 이 선정된 매개변수를 81가지의 경우로 조합하여 RMS 에러를 계산하여 모형의 최적화를 실시하였다.

그 결과를 확인하기 위해 1998년, 2000년의 강우자료를 이용하여 유출량을 모의하였다. 계산된 값과 관측 값에 대한 RMSE는 1998년이 82.45, 1999년이 12.17, 2000년이 32.70이고, 상대오차는 1998년이 32%, 1999년이 5%, 2000년이 9%로 나타났다.

(2) 토지피복변화에 따른 모의

토지피복변화에 따른 유출량의 변화를 분석하기 위해 1986년과 1999년의 토지피복자료 외에 가상적인 4개의 토지피복자료를 만들어 사용하였다. 이들 가상적인 자료는 불투수율을 각각 0, 35, 50, 90%로 가정하였다. 이와 같은 7개의 토지피복자료에 대해 3년 내지 4년의 수문자료를 조합하여 <표 4>에 나타난 바와 같이 총 19개 Case를 만들고 각 Case에 대한 모의를 실행하였다.

표 4. 모형적용의 Case

토지피복	불투수율	수문자료
지형도(1986)	6.90%	1991, 1998, 1999, 2000
수치지도(1999)	7.41%	1991, 1998, 1999, 2000
가상 자료 1	0%	1991, 1999, 2000
가상 자료 2	35%	1991, 1999, 2000
가상 자료 3	50%	1991, 1999, 2000
가상 자료 4	90%	1991, 1999, 2000

참고문헌

- 기상청 (1991. 1. ~ 12, 1998. 1. ~ 2000. 12.), 기상월보.
- 건설교통부 (1998, 1999), 한국수문조사연보.

- 수자원정보시스템 (2002), <http://wamis.kowaco.or.kr>.
- 신용노, 권오현 (1996), 장기 유출 모형의 매개변수 산정 및 적용, 한국수자원학회발표 논문집, pp 360 ~ 368.
- 임상준 (2001), HSPF 모델을 이용한 비점오염부하량 산정에 관한 연구, 충남대학원 석사논문.
- 전라남도 (1985), 황룡강개천 하천정비기본계획.
- 진은진 (2001), 도시화에 따른 수문환경의 변화 분석에 관한 연구, 서울대학원 석사논문.
- 한국수자원공사 (1996), 낙동강수계 실시간 최적저수관리 시스템 개발 보고서.
- Bicknell, B., J. Imhoff, J. Kittle, A. Donnigan, R. Johanson, T. Barnwell (1996), Hydrologic Simulation Program-FORTRAN User's Manual, USEPA.
- Phillip J. Zarriello (1999), A Precipitation -Runoff Model for part of the Ninemile Creek Watershed near Camillus, Onondaga County, New York, USGS.
- P. Hummel, J. Kittle, Jr., M. Gray (2001), WDMUutil, A Tool for Managing Watershed Modeling Time-Series Data User's Manual, USEPA.
- S. E. Brun, L. E. Band(2000), Simulation runoff behavior in an urbanizing watershed, Computer, Environment and Urban System, 24 , 5-22.
- USEPA, Office of Water (2001), Better Assessment Science Intergrating point and Nonpoint Sources User's Manual, USEPA.
- USEPA, Office of Water (2000), BASINS Technical Note 6. Estimating Hydrology and Hydraulic Parameters for HSPF, USEPA.
- USEPA, Office of Water (2000), BASINS Technical Note 3. NPSMHSPF Simulation Module Matrix, USEPA.
- USEPA, Office of Water (2000), BASINS Technical Note 1. Creating Hydraulic Function Tables (FTABLES) for Reservoirs in BASINS, USEPA.