

격자기반의 지형 및 지리정보자료와 GIS분석기법을 이용한 유역의 유출량 및 오염부하량 추정

Estimation of Flows and Pollutant Loads from GIS Analysis using Cell-based Geospatial and Geographic Information Data

조재명¹⁾ · 이미란²⁾ · 윤홍식³⁾
Cho, Jae Myoung · Lee, Mi Ran · Yun, Hong Sik

Abstract

Pollutant loads calculated with unit factor method can not identify seasonal variations of pollutant inputs. Estimation of pollutant loads considering rainfall runoff can overcome these limits. SCS curve number method was applied to estimate runoff of each event of Koeup watershed of Koheung estuary lake. SCS curve numbers were calculated based upon land use, soil types of the catchment using GIS. Point and nonpoint source pollutant loads were summed up for total loads estimation. Those from nonpoint source were estimated by multiplying the calculated runoff and expected mean concentrations (EMC) presented by the Minister of Environment of Korea. DEM can present three dimensional views of a terrain, identify stream networks and flow accumulation. Furthermore, it can examine accumulated pollutant loads of specific point of a catchment. Therefore, cell based pollutant load estimation was attempted using DEM. ArcView was utilized to collect, store and manipulate spatial and attribute data of pollutant sources and features of the catchment. Cell-based DEM which was established by the GRID module of ARC/INFO was employed to estimate flows and pollutant loads.

Keywords : GIS, Hydraulic analysis, DEM, Cell-based geospatial data

초 록

본 연구는 하천 유역에 대한 수문분석의 대표적인 요소인 유출량과 오염부하량을 추정하는데 있어서 기존의 수문학적 모델링 방법과는 달리 GIS분석기법을 적용하였다. 분석을 위한 기본 자료로는 토양도, 토지이용도, 수계도, 강수량 등의 유역형태 및 기상학적 특성을 정량화한 지리정보자료와 수치표고모형과 같은 지형 자료를 이용하였다. 토양, 토지이용 인자에 대한 기준값으로는 미국토양보존국(SCS)에서 제시하고 있는 토양 분류 기준 및 유출곡선지수(CN)와 환경부에서 제시하고 있는 토양의 기대평균농도(EMC)를 적용하였다. 고령군 고읍천 유역의 2010년 7월~8월의 9개 강우사상에 대하여 유출량 및 오염부하량의 추정값과 실측값을 비교한 결과, 유출량은 평균 3.86%의 차이를 갖으며, 오염부하량은 평균 5.67%의 차이를 갖는 것으로 분석되었다. 그러나 각 강우사상별 분석결과 추정 유출량은 강우량이 적을수록 그 오차가 매우 커지며, 추정 오염부하량은 강우량 및 계절의 변화에 따라 오차량에 차이가 있는 것으로 분석되었다. 향후 우리나라의 토양 및 토지이용에 적합한 배수 분류기준과 지역별 특성을 고려한 기대평균농도가 제시된다면 보다 정확한 유출량 및 오염부하량의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

핵심어: 지리정보시스템, 수문분석, 수치표고모형, 격자기반 지형정보 데이터

1. 서 론

유역 내의 다양한 오염원에서 발생하는 오염물질은

처리되거나 또는 미처리된 상태로 하천으로 유입된다. 이 때 각 오염원에서 발생된 오염물질의 총량을 발생부하라 하며, 발생부하 중 유역으로 배출되는 오염물질의

1) 주저자 · 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 겸임교수(E-mail:jmcho@skku.edu)
2) 교신저자 · 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사수료(E-mail:rantalf@nate.com)
3) 정회원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수(E-mail:yoohns@skku.edu)

실제 양을 배출부하, 하천 및 호소에 최종적으로 도달 되는 오염물질의 양을 유달부하라 한다. 그리고 이와 같은 부하를 정량적으로 표현한 것을 부하량이라 한다. 부하량은 하천의 수질을 나타내는 척도의 역할뿐만 아니라 각 오염원에 대한 오염물질량을 1일당 발생하는 시간개념으로 나타내기 때문에 하천수질개선을 위한 저감량 산정이나 환경기초시설계획 등에 중요한 기초자료로 활용된다(이미란, 2001).

하천에 유입되는 오염물질은 그 배출특성에 따라 점오염원(Point Source Pollutants) 물질과 비점오염원(Nonpoint Source Pollutants) 물질로 나눌 수 있는데, 점오염원은 일정지점에서 배출되는데 반해 비점오염원은 유역의 토지 이용으로부터 강우시 유출에 의해 집중적으로 배출되는 특성을 보인다(Saunders, 1996). 점오염원은 대상 객체에 대한 정의가 명확하고 위치가 고정적이기 때문에 수질관리 측면에서의 감시와 분석이 비교적 쉽지만 비점오염원은 오염부하량 발생에 따른 원인의 분석과 규명이 매우 어렵다. 특히 현대사회와 같이 토지이용이 고도화된 지역일수록 비점오염원의 관리를 위해서는 다양한 인자에 대한 조사와 분석이 필요한 실정이다. 통계에 따르면 현재 우리나라에서 배출되는 비점오염부하의 규모는 하수관거누수, 미처리 가축분뇨, 농경지 비료나 농약 등의 영향을 포함할 때 권역별로 42%~69%에 이르며, 2015년에는 65%~70%까지 증가할 것으로 추정되고 있다(환경부, 2006). 비점오염원은 점오염원에 비해 오염의 농도는 낮지만 그 절대량은 크기 때문에 하천, 호수 등의 수질개선을 위해서는 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원의 관리도 필요한 실정이다.

문서화된 자료들에 의존한 수질관리는 유역의 특성이나 오염원의 변화를 적절히 나타내고 분석하는데 어려움이 있으며, 정확한 유역의 오염원 정보를 표현하는데 한계가 있다. GIS(Geographic Information System) 및 데이터베이스의 연계분석은 각 오염원의 공간상 위치와 오염부하량을 쉽게 분석하고 파악할 수 있으며, 오염원의 위치와 발생량에 변화가 있을 때 수정이 용이하여 최근 수질관리대책 수립에 많이 활용되고 있다. GIS에서 사용되는 수치표고모형(DEM; Digital Elevation Model)은 정규격자망의 형태로 구성된 래스터(raster) 데이터로서 지형의 기복 변화를 수치적으로 나타내기 때문에 유역의 하천망을 추출하고 누적 흐름량을 분석하기에 용이하며, 오염원에 대한 공간상 정보와 양에 대한 파악을 효율적으로 할 수 있다(Olivera, 1996). 미국 등 선진 국가에서는 1980년대부

터 수질관리 분야에 GIS를 본격적으로 도입하기 시작하였으며, GIS, 지형 및 지리정보들을 활용한 오염원 분석에 관한 연구도 실용화 단계에 있다. 우리나라에서 수질이나 환경분야에 GIS를 도입하기 시작한 것은 2000년대 초반 이후로써 선진 외국에 비하여 관련 분야 연구와 기술의 도입이 부족한 것이 현실이다. 그러나 환경에 대한 관심 고조와 IT기술의 발전에 힘입어 최근 몇 년 사이에 수질관리 분야에서 GIS를 적용하기 위한 연구와 사업이 활발히 진행되고 있으며, 기존의 점오염원 위주의 수질관리에서 벗어나 지역별, 유역별 비점오염원 관리에 대한 연구와 정책 입안이 활발히 진행되고 있다.

국내에서 수행된 GIS를 이용한 오염원 유출 분석에 관한 연구로는 강상혁(2005)이 준 분포형 모형을 이용하여 비점오염원의 모델링을 수행하였으며, 박경옥(2008)은 낙동강 유역에서의 비점오염원 정량화를 위하여 GIS 분석기법을 활용하였고, 김경순(2005)은 토지이용별 오염부하량을 GIS를 이용하여 분석하였다. 한편, 배덕효(2004)는 토지이용에 따른 유출량 분석을 위해 Landsat 위성영상을 이용하여 피복분류를 실시하고 피복별 유출곡선지수(CN; Curve Number)를 계산하였다. 그러나 선행 연구들은 대부분 수문학적 모델의 적용에만 집중되거나 특정 인자만을 적용함으로써 유출이나 총오염부하량에 영향을 미치는 지형, 피복, 토지이용 등과 같은 다양한 지형적, 지리적 인자에 대한 적용이 미흡하였다. 또한 대부분 비점오염원의 원단위가 연간으로 적용되어 시기별, 계절별 강우에 따른 오염부하량 변화를 고려하지 않은 단점이 있다.

본 논문에서는 유출량 및 오염부하량을 추정하는데 있어서 수치표고모형, 토지이용도, 토양도 등의 격자기반의 지형 및 지리정보와 인구분포, 축산, 산업시설 분포 등의 통계자료를 이용하였으며, GIS 분석기법을 적용하여 강우사상별로 추정된 유출량과 오염부하량을 실측자료와 비교함으로써 그 효용성을 평가하였다. 또한 유출량 추정에 가장 많은 영향을 미치는 수치표고모형의 격자 간격에 대하여 격자간격별 유출량의 크기 및 하천의 형상을 실측 및 원시 자료와 비교·평가함으로써 수문 분석을 위한 수치표고모형의 효율적인 격자간격을 결정하였다.

2. 데이터베이스의 구축

본 연구는 담수호로 유입되는 수량과 수질을 추정하고 이를 실측자료와 비교·평가하기 위하여 담수호에 대한 수문·수질 계측망을 구축한 유역 중 전라남도 고흥군에

표 1. 공간자료와 속성자료의 유형 및 세부내용

구분	항목	유형	내용	
공간자료	유역경계	arc	유역경계	
	하천	arc	담수호에 유입되는 지천	
	호수	polygon	저수지	
	점오염원	인구	point	읍과 마을단위의 주택밀집 지점
		소	point	사육장의 위치
		돼지	point	
산업폐수		point	배출업소의 위치	
비점오염원	토지이용	polygon	주거지, 논, 밭, 임야, 저수지	
속성자료	점오염원	인구	명	마을의 인구수
		소	두	사육시설의 사육두수
		돼지	두	
		산업폐수	m ³ /일	
	비점오염원	토지이용	m ²	주거지, 논, 밭, 임야, 저수지의 면적

위치한 고읍천 유역을 연구 대상지역으로 선정하였다. 고읍천 유역에 대한 유출량 및 오염부하량 분석을 위한 지형 및 지리정보자료로서는 수치표고모형, 토지이용도, 토양도, 인구분포, 축산 및 산업시설 분포와 강우자료 등을 사용하였다. 각 자료들은 관련기관에서 기 제작된 자료를 기반으로 본 연구에서의 활용에 맞추어 재분류 하거나 부분적으로 수정·편집하였으며, 토지이용도의 경우 최신 데이터를 적용하여 수정 사용하였다. 유출량 추정을 위한 강우자료는 2010년 7월~8월에 발생한 강우사상에 대한 기상청 관측자료를 사용하였다. 각각의 데이터들은 공간자료와 속성자료로 구분하여 표 1과 같이 최종적인 데이터베이스를 구축하였다.

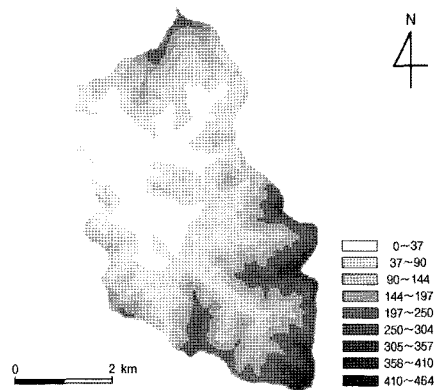


그림 1. 연구대상지역의 수치표고모형(m)

2.1 수치표고모형

수치표고모형은 수문학이나 수자원분야에서 수문대개변수를 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다. 수문모형에 있어서 가장 큰 물리적 조건으로 작용하는 요소는 흐름의 환경(방향, 속도)이며, 수치표고모형은 이러한 흐름의 환경에 대한 정확한 대개변수를 정의하는데 필수적인 지형의 정보를 포함한다. 본 연구에서는 국토지리정보원에서 제작한 1/5,000 수치지형도로부터 등고선, 표고점, 수계를 추출하여 불규칙삼각망(TIN; Triangulated Irregular Network)을 제작하고 이로부터 수치표고모형을 제작하였다(그림 1).

2.2 토지이용도

토지이용도는 국토지리정보원에서 2000년도에 제작한 1/25,000 축척의 수치토지이용현황도를 기반으로 유출량 및 오염원에 영향을 미치는 논, 밭, 임야, 저수지, 주거지를 기준으로 재분류하여 수정·편집하였으며, 최신성의 확보를 위하여 2009년도에 촬영된 Landsat ETM 영상에 대하여 영상분류를 실시한 결과를 반영하여 수정·보완하였다. 최종적인 연구대상지역의 토지이용별 면적은 논 3.39 km²(20%), 밭 2.54km²(15%), 임야 10.29km²(62%), 주거지 0.23 km²(2%), 수계 0.16km²(1%)로써 대부분 임야와 농경지로 구성되어 있다(그림 2). 구축된 토지이용도는 유출량 계산을

위하여 수치표고모형과 동일한 격자간격의 격자모형으로 변환하였다.

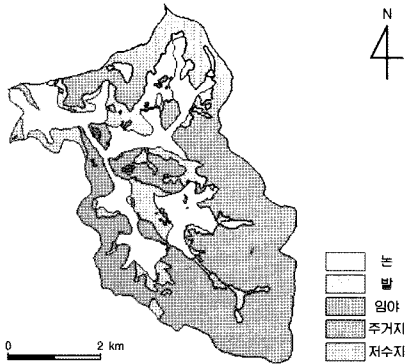


그림 2. 연구대상지역의 토지이용도

2.3 토양도

유역의 토양특성은 강우에 의한 유출에 영향을 미친다. 즉, 토양의 종류에 따라 투수율이 다르기 때문에 총강우 증식집유출로 유하하는 유효수량의 크기도 달라진다. 본 연구에서는 토양특성과 식생피복상태 등의 자료로부터 유출량을 추정하는데 많이 사용되고 있는 SCS(Soil Conservation Service; 미국토양보존국)방법을 적용하기 위하여 농촌진흥청에서 2000년도에 제작한 1/25,000 축척의

정밀토양도를 기반으로 SCS분류기준에 맞추어 토양형을 A(배수매우양호), B(배수양호), C(배수약간불량), D(배수불량)로 분류하였다. 토양 분류 결과 연구대상지역의 토양은 A형 6.60km²(40%), B형 3.74km²(23%), C형 5.96km²(36%), D형 0.31km²(2%)의 분포로 구성되어 있어 대부분 배수가 양호한 토양형을 나타내고 있으며, 하천의 상류로 갈수록 배수가 불량한 토양형을 나타내고 있는 것으로 분석되었다(그림 3). 구축된 토양도 역시 유출량 계산을 위하여 수치표고모형과 동일한 격자간격의 격자모형으로 변환하였다.

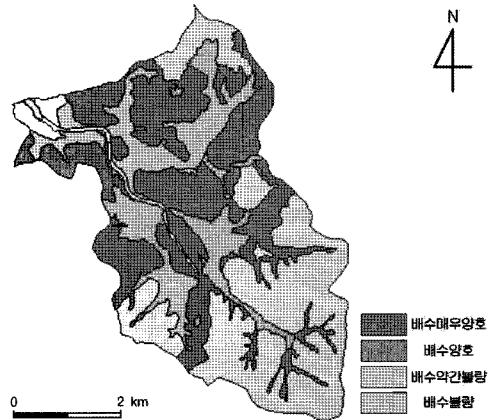


그림 3. 연구대상지역의 SCS 분류기준 토양도

표 2. 연구대상지역 토지이용도의 SCS기준 토양형 분류(km²)

토지이용	토양형(SCS)				면적
	A	B	C	D	
논	0.75	2.19	0.19	0.26	3.39(20%)
밭	1.86	0.49	0.17	0.02	2.54(15%)
임야	3.81	0.90	5.57	0.01	10.29(62%)
주거지	0.13	0.10	0.00	0.00	0.23(2%)
수계	0.05	0.06	0.03	0.02	0.16(1%)
면적	6.60(40%)	3.74(23%)	5.96(36%)	0.31(2%)	16.61

표 3. 연구대상지역 정밀토양도의 SCS기준 토양형 분류(km²)

토양형(SCS)	토양명(정밀토양도)	배수 성질	면적
A	KBB, BeB, BxD2, StC, StD, AsD2, ArB, ArC, YxB, UoB, UoC, JnC2, JnD2, SsD	배수 매우 양호	6.60(40%)
B	YjB, JiB, JiC, JtB, CkB, CGC, PhB, PhC, HIB, HMB	배수 양호	3.74(23%)
C	UnD, CaF2, CmF2, HzE2, HpF2	배수 약간 불량	5.96(36%)
D	Pr, Pe	배수 불량	0.31(2%)

표 2, 3은 연구대상지역의 토지이용도와 정밀토양도를 SCS 토양형 분류기준에 따라 재분류한 결과이다(SCS, 1986).

2.4 강우데이터

연구대상지역이 위치한 고흥지역의 최근 10년간(2001년~2010년) 강우자료를 분석한 결과, 연평균 강우량은 약 1,526mm이고 전체 강우량의 80%가 4~9월에 집중되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 단기강우에 따른 유출량 분석을 위하여 기상청에서 관측한 고흥지역의 2010년 7월~8월 사이의 강우자료 중 연속강우량 5mm 이상의 강우사상을 분류하였다. 분류결과 7월~8월 사이의 해당 강우사상은 9개이며, 강우량은 총 591mm로써 2010년 총강우량의 39%를 차지하고 평균 강우량은 65.64mm인 것으로 분석되었다(그림 4).

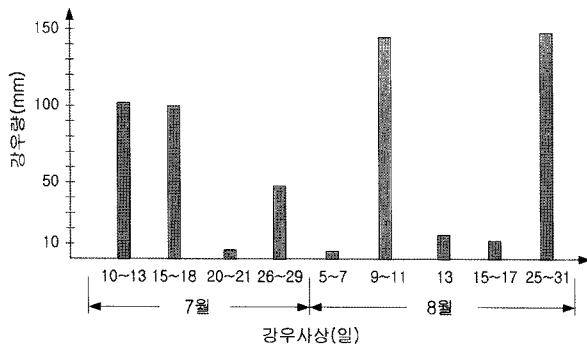


그림 4. 연구대상지역의 강우사상별 강우량

2.5 점오염원의 분포도

하천에 유입되는 오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원이 있다. 비점오염원 인자에는 앞서 구축한 토지이용, 토양, 강우자료 등이 있으며, 점오염원 인자에는 생활폐수, 축산폐수, 산업폐수 등이 있다. 본 연구에서는 점오염원 인자에 대한 데이터베이스 구축을 위해 각종 통계자료를 분석하여 1/5,000 축척의 수치지도상에 입력하였다. 고읍천 유역의 인구, 식당, 산업시설, 축산시설의 현황 및 분포는 고흥군의 통계연보(2010년) 및 통계청 자료를 바탕으로 행정리별 통계값을 조사하여 행정리별 중심에 표시하였다. 통계자료 분석결과 고읍천 유역의 인구는 1,388명이며, 식당은 14개소, 산업폐수 배출업소는 4개소, 축산시설에서는 소, 돼지 등 총 712두를 사육하고 있는 것으로 분석되었다(그림 5).

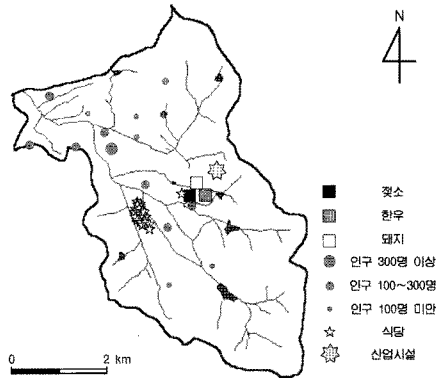


그림 5. 연구대상지역의 점오염원 인자의 분포도

3. 유출량 계산

3.1 하천과 집수구역의 추출

수치표고모형은 지표면을 수치적으로 표현한 것으로써 지형의 고도와 지표면의 특성에 관한 정보들을 정규격자망 형태의 데이터로 나타낸다. 수치표고모형에 있어서 물의 흐름방향은 각 격자의 높이 값에 의해 결정되는데, 수치표고모형 내 임의 격자에서의 물의 흐름방향은 그림 6에서와 같이 8방향 중에 한 방향으로 흐르게 된다. 각 셀에 대하여 8방향의 흐름을 누적하게 되면 전체 수치표고모형에 대한 흐름망을 추출할 수 있다.

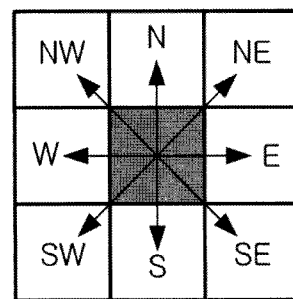


그림 6. 수치표고모형에서의 8방향 흐름

수치표고모형을 이용한 유역의 유출 모형 계산에 있어서 수치표고모형 내의 임의 격자가(모형의 가장자리 격자 제외) 주변 8개의 격자보다 낮은 경우(sink)에는 하천의 흐름방향 계산이 무한 반복되거나 아예 되지 않을 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 연구대상지역 수치표고모형 내부에 존재하는 sink 격자에 대하여 인접 격자들 높이의

평균값으로 대체 해주는 처리(fill DEM)를 해주었다. 또한 수치표고모형 내에서 하천의 추출과 유역의 분할을 명확히 하기 위하여 하천이 위치한 격자들의 고도는 0으로 하고 다른 격자들의 고도를 일률적으로 높여주는 처리(burn in stream)를 실시하였다. 그림 7, 8은 두 처리과정을 거친 수치표고모형으로부터 각각 흐름방향과 누적 흐름량을 계산한 격자모형이다. 누적 흐름량 격자모형에서 0을 초과하는 값을 갖는 격자들은 하천을 나타낸다. 누적흐름량 격자모형에서 하천의 흐름방향에 따라 특정 셀로 흘러내리는 모든 셀들의 집합은 하나의 집수구역을 이루게 되며, 이러한 집수구역의 집합이 하나의 하천 유역을 형성하게 된다. 그림 9는 본 연구에서 분석된 연구대상지역 내의 각 하천에 대한 집수구역을 나타낸 것이다.

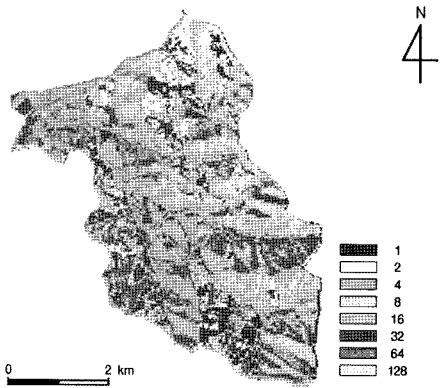


그림 7. 흐름방향 격자모형

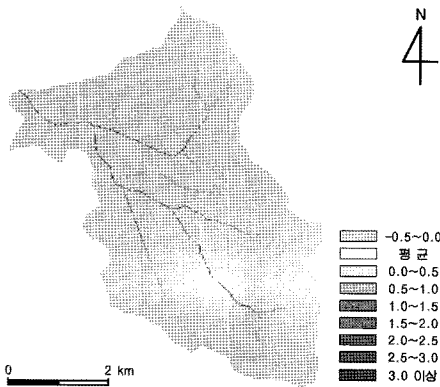


그림 8. 누적흐름량 격자모형

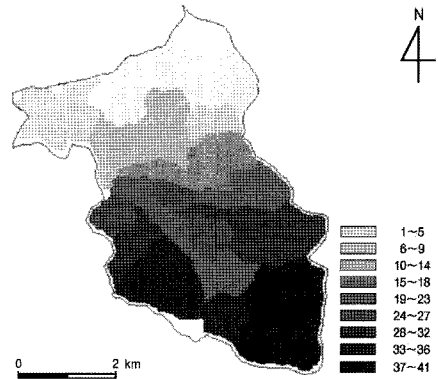


그림 9. 집수구역 격자모형

3.2 SCS방법에 의한 유출량 계산

지상에 도달한 강우량 중 지표면으로 침투한 강우량을 제외한 나머지 대부분의 강우량은 지표면을 흘러 유출을 형성하게 되는데, 이와 같이 강우량으로부터 침투로 인한 손실을 제외한 값을 유효강우량이라 한다. 유역에 대한 유출량 계산에 있어서 총 강우량으로부터 유효강우량을 결정하는 방법에는 Horton의 침투형 곡선법과 ϕ -index법이 있으나 이 방법들은 호우에 대한 유출량 자료가 없을 경우에는 직접 계산이 불가능하다는 단점이 있다. SCS(미국토양보존국)에서는 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토양특성과 토지피복상태 등의 자료만으로도 총 강우량으로부터 유효강우량을 계산할 수 있는 방법을 개발하여 유출량 계산에 활용하고 있다(윤용남, 2007).

본 연구에서는 연구대상지역의 유출량 계산을 위하여 SCS방법을 이용하였으며, 이를 위하여 토양도와 토지이용도를 SCS의 기준에 따라 재분류하고 강우 발생 전의 토양의 함수조건에 따른 유출량을 계산하기 위하여 선행토양함수조건(AMC; Antecedent soil Moisture Condition)에 따라 유출곡선지수(CN)를 조정하여 유출량을 계산하였다(Quenzer, 1998). 강우가 시작되기 전 토양의 습윤상태는 유출을 발생시키는데 큰 영향을 주기 때문에 같은 종류의 토양이라 하더라도 선행토양함수조건에 따라 유출에는 차이가 발생한다. SCS에서는 선행토양함수조건(AMC)을 구분하는데 있어서 강우의 시기를 성수기와 비성수기로 나누고 각각에 대하여 토양의 함수 상태를 표 4와 같이 3가지로 구분하고 있다(윤용남, 2007).

SCS의 유출량 계산 방법에서 제시하고 있는 유효우량과 총강우량 사이의 기본방정식은 식 (1)과 같으며, 유역

표 4. SCS의 선행토양함수조건 분류

AMC	토양의 함수 상태	선행 강수량(5일, mm)	
		비성수기	성수기
I	건조상태	$P_5 < 12.70$	$P_5 < 35.56$
II	보통상태	$12.70 < P_5 < 27.94$	$35.56 < P_5 < 53.34$
III	포화상태	$P_5 > 27.94$	$P_5 > 53.34$

표 5. 연구대상지역의 유출곡선지수(CN)와 최대잠재보유수량(S)

토지이용	AMC	CN(mm)				S(mm)			
		A	B	C	D	A	B	C	D
논	I	60	60	60	60	169	169	169	169
	II	78	78	78	78	72	72	72	72
	III	90	90	90	90	28	28	28	28
밭	I	53	64	75	80	225	143	85	64
	II	72	81	88	91	99	60	35	25
	III	86	92	95	97	41	22	13	8
임야	I	36	57	72	80	452	192	99	64
	II	56	75	86	91	200	85	41	25
	III	75	88	94	97	85	35	16	8
주거지	I	39	55	66	72	397	208	131	99
	II	59	74	82	86	177	89	56	41
	III	77	88	92	94	76	35	22	16
저수지	I	94	94	94	94	16	16	16	16
	II	98	98	98	98	5	5	5	5
	III	99	99	99	99	3	3	3	3

내의 각 격자별 유효우량에 격자 면적을 곱한 후 흐름방향에 대하여 실측 유출량 측정점까지 누적하면 측정점에서의 유출량(m^3)을 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 유출량은 1일 유출량으로써 86,400으로 나누어 초(sec)당 유출량을 구할 수 있다(식 2)(SCS, 1986).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

여기서, Q: 유효강우량 또는 유출량(mm)

P: 총강우량(mm)

S: 최대 잠재보유수량(mm)

$$\begin{aligned} \text{유출량}(m^3/\text{sec}) &= \sum \text{격자별 유출량}(m^3/\text{sec}) \\ &= \sum \{ \text{격자별 유효우량}(mm/\text{day}) \\ &\quad \times \text{격자면적}(m^2) \times 0.001m/mm \} / 86,400 \end{aligned} \quad (2)$$

연구대상지역의 토지이용별 토양형에 대하여 3가지 선행토양함수조건(AMC)을 적용하여 SCS의 기준에 의해 구한 유출곡선지수(CN)와 이로부터 계산된 최대잠재보유수량(S)은 표 5와 같다.

3.3 수치표고모형의 격자간격 결정

유역의 유출량 분석에 있어서 수치표고모형의 격자간격은 누적 흐름량 및 하천의 형상 결정에 많은 영향을 미친다. 격자간격이 조밀 할수록 하천의 형상이 세밀하게 표현되기는 하지만 데이터의 용량이 커지고 계산량이 많아지며, 격자간격의 넓을수록 반대의 현상이 나타난다. 특히, 유역의 수문학적적인 분석에 있어서 가장 중요한 인자인 하천의 형상 및 연장은 수치표고모형의 격자간격에 영향을 받기 때문에 효율적인 수치표고모형의 격자간격을 결정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 1/5,000 수치지

표 6. 수치표고모형 격자간격별 하천의 연장 (km)

1:5,000 수치지형도 하천연장	수치표고모형 격자간격					
	5m		10m		30m	
	하천연장	차이 (절대값)	하천연장	차이 (절대값)	하천연장	차이 (절대값)
25.12	34.89	9.77	28.26	3.14	18.15	6.97

표 7. 수치표고모형 격자간격별 유출량 비교

강우 사상	실측 유출량 (m³/sec)	수치표고모형 격자간격별 추정 유출량					
		5m		10m		30m	
		유출량	차이 (절대값)	유출량	차이 (절대값)	유출량	차이 (절대값)
7/15~18	5.25	7.81	2.56	6.41	1.16	3.99	1.26
7/26~29	0.21	0.37	0.16	0.23	0.02	0.16	0.05
8/25~31	7.51	8.97	1.46	6.61	0.90	6.47	1.04
평균	4.32	5.72	1.39	4.42	0.69	3.54	0.78

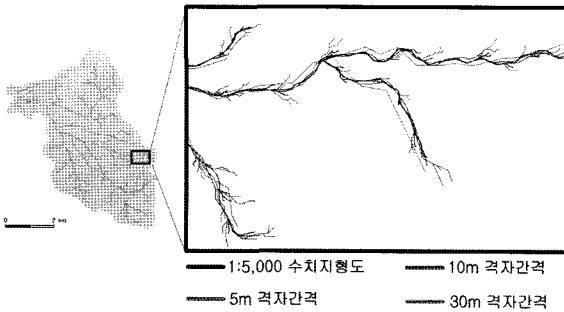


그림 10. 수치표고모형 격자간격별 하천의 형상 비교

형도로부터 수치표고모형을 제작함에 있어서 수치지형도 상의 하천의 형상과 연장을 가장 근사하게 표현하고 수문분석에 가장 효율적인 격자간격을 결정하기 위하여 5m, 10m, 30m 격자간격별 수치표고모형에 대하여 누적 흐름량을 계산하여 결정된 하천의 형상 및 연장을 원본 수치지형도와 비교하였다. 또한 격자간격별로 유출량을 계산하여 이를 실측 유출량과 비교 평가하였다.

격자 간격별 수치표고모형 비교 결과, 하천의 형상 및 연장에 있어서 표 6 및 그림 10에서 보는 바와 같이 10m 격자간격의 수치표고모형이 1/5,000 수치지형도상의 하천과 가장 유사한 형태를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 유출량 계산에 있어서는 표 7에서 보는 바와 같이 10m 격자간격의 수치표고모형이 다른 격자간격의 수치표고

모형에 비하여 실측 유출량과의 차이가 가장 적었다. 따라서 본 연구에서는 10m 격자간격의 수치표고모형을 이용하여 유출량과 오염부하량을 추정하였다.

3.4 유출량 계산 결과

10m 격자간격의 지형 및 지리정보자료에 대하여 선행 토양함수조건에 따른 표 5의 최대잠재보유수량(S)과 식 (2)를 7월~8월 사이의 9개 강우사상에 대하여 각각 적용하여 유출량을 추정하였으며, 이를 실측된 유출량과 비교 하였다(표 8). 그림 11, 12는 8월 25일~31일 강우사상(P=146.5mm, AMC I)에 대한 최대잠재보유수량(S)과 유효수량(Q)의 계산결과를 격자모형으로 나타낸 것이다.

유출량 비교 결과 전체 강우사상에 대한 추정 유출량의 평균은 2.74m³/sec로써 실측 유출량 평균과 약 0.11m³/sec 차이를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 전체 유출량 대비 약 3.86%로써 그 차이가 매우 작아 추정이 잘 이루어 졌음을 나타낸다. 그러나 각각의 강우사상에 대한 추정 유출량과 실측 유출량의 차이에 있어서는 약 8~85%의 차이를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 유출량이 작을수록 크게 나타나는데 이것은 본 연구에서 적용한 유출량 추정방법이 강우량 10mm이하에서 발생하는 미세 유출량에 적용하기에는 정밀도가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

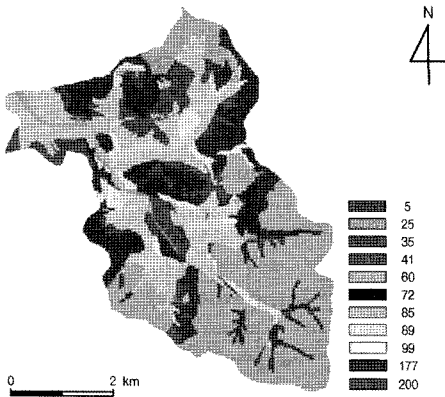


그림 11. 최대잠재보유수량(S) 격자모형(mm)

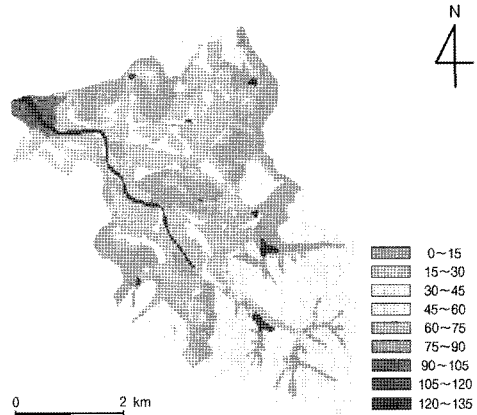


그림 12. 유효유량 격자모형(mm)

표 8. 연구대상지역의 강우사상별 추정 유출량과 실측 유출량의 비교 (2010년 7월~8월)

호우기간	총강우량 (mm)	AMC	실측 유출량 (m ³ /sec)	추정 유출량 (m ³ /sec)	차이 (절대값)
7/10~13	111.7	I	5.31	4.57	0.74(14%)
7/15~18	100.1	III	5.25	6.41	1.16(22%)
7/20~21	6.5	III	0.02	0.04	0.02(85%)
7/26~29	48.2	I	0.21	0.23	0.02(11%)
8/5~7	5.4	II	0.01	0.01	0.00(0%)
8/9~11	144.5	I	7.28	6.70	0.58(8%)
8/13	16.5	III	0.04	0.05	0.01(31%)
8/15~17	11.4	III	0.03	0.04	0.01(33%)
8/25~31	146.5	I	7.51	6.61	0.90(12%)
평균	65.6		2.85	2.74	0.11(3.86%)

4. 총오염부하량 추정

연구대상지역은 농경유역으로써 농경지, 축산시설, 산업 시설 등의 점오염원과 비점오염원이 모두 존재한다. 따라서 총오염부하량을 추정하기 위해서 점오염부하량과 비점오염부하량을 구분하여 추정하여야 한다. 점오염부하량은 생활계, 축산계, 산업계의 오염원으로부터 배출부하량을 계산하였고, 비점오염부하량은 입력매개변수로 강우자료와 토지이용 및 토양형을 고려하여 기대평균농도(EMC; Expected Mean Concentrations) 값을 적용하여 계산하였다.

4.1 점오염부하량

점오염원으로부터 발생하는 오염부하량을 추정하기

위해서는 오염물질의 원단위를 적용해야 하는데, 오염원 단위는 조사 시기, 목적 또는 조사기관에 따라 각각 다르게 조사될 수 있다. 본 연구에서는 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 조사한 고읍천 유역에 대한 원단위를 기준으로 인구, 축산폐수, 산업폐수에 의한 오염부하량을 오염지수인 BOD(생물학적 산소요구량), T-N(총질소), T-P(총인)로 구분하여 계산하였다(표 9).

표 9. 연구대상지역의 점오염부하량(kg/day)

오염원	BOD	T-N	T-P
인구	55.68	16.10	1.78
축산폐수	33.07	15.13	1.78
산업폐수	4.20	1.25	0.05

4.2 비점오염부하량

비점오염부하량을 추정하기 위해서는 토지이용과 연관된 오염농도 값이 필요하며, 일반적으로 토지이용에 따른 기대평균농도(EMC; Expected Mean Concentration)를 이용한다. 본 연구에서는 환경부(1995)에서 우리나라의 토지이용 특성을 고려하여 산정한 기대평균농도(표 10)를 사용하여 연구대상지역에 대한 비점오염부하량을 추정하였다.

표 10. 연구대상지역에 적용한 기대평균농도(EMC, mg/l)

오염지수	토지이용				
	논	밭	임야	주거지	기타
BOD	8.39	3.48	1.90	67.23	0.50
T-N	5.00	2.16	1.67	1.82	1.50
T-P	0.30	0.07	0.04	0.57	0.12

비점오염부하량은 유효우량 격자모형에 기대평균농도값을 부여하고 단위 격자의 면적을 고려하여 다음의 식에 의하여 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{비점오염부하량(kg/day)} &= \sum \text{격자별 비점오염부하량} \\
 &\quad \text{(kg/day)} \\
 &= \sum \{ \text{격자별 유효우량(mm/day)} \times \text{EMC(kg/l)} \times \\
 &\quad \text{격자면적(m}^2\text{)} \times 0.001\text{m/mm} \} \quad (3)
 \end{aligned}$$

4.3 총오염부하량

총오염부하량은 점오염부하량과 비점오염부하량의 합으로써 본 연구에서는 총오염부하량 계산을 위해서 점오염부하량은 오염원별로 원단위를 적용하여 배출부하량을 계산한 후 이를 격자모형으로 전환하였고, 비점오염원부하량은 앞서 계산된 유출량 격자모형을 기대평균농도 격자모형과 곱하여 격자모형을 제작하였다.

계산된 총오염부하량과 실측된 총오염부하량을 비교하기 위하여 총오염부하량 격자모형에서 흐름방향에 대하여 관측점까지의 총오염부하량을 누적하여 누적 오염부하량을 구하였다. 그림 13은 8월 25일~31일 강우사상에 대한 총오염부하량(BOD, T-N, T-P)을 나타낸 격자모형이며, 표 11은 연구대상지역의 7월~8월 사이의 9개 강우사상에 대하여 각각 추정된 총오염부하량과 실측된 총오염부하량을 비교한 결과이다.

연구대상지역의 9개 강우사상에 대한 총오염부하량의 추정값과 실측값을 비교한 결과, BOD의 평균 추정값은

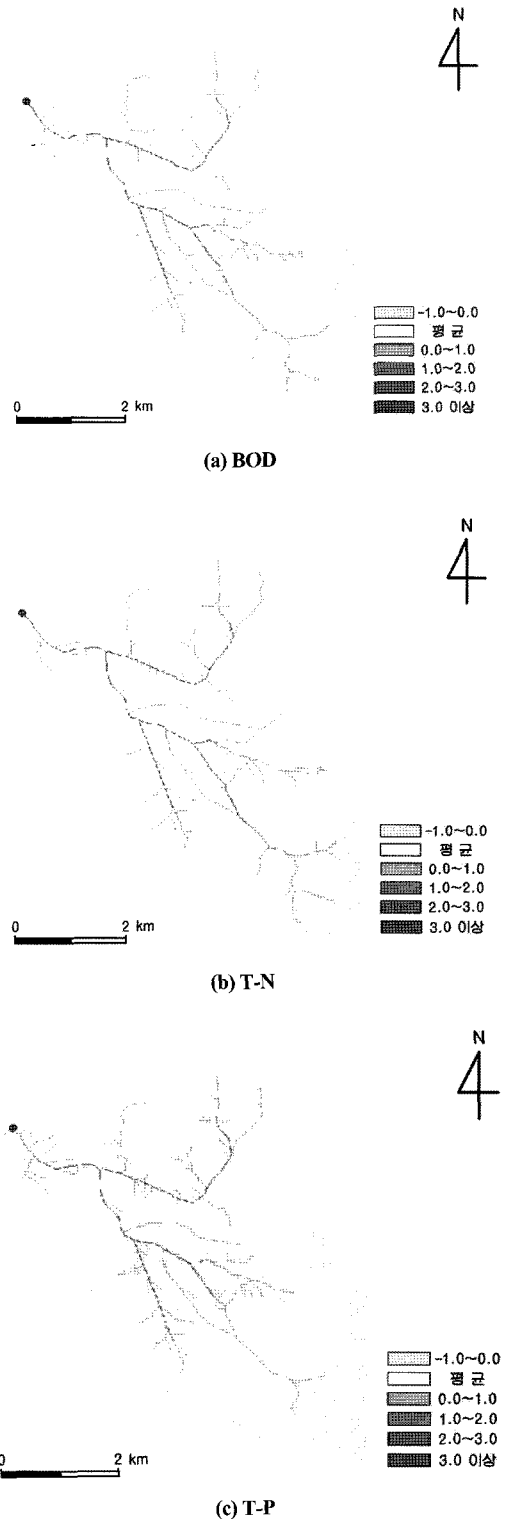


그림 13. 연구대상지역의 총오염부하량 (강우사상 8월 25일~31일)

표 11. 총오염부하량의 추정값과 실측값의 비교(kg/day)

강우 사상	BOD			T-N			T-P		
	실측	추정	차이 (절대값)	실측	추정	차이 (절대값)	실측	추정	차이 (절대값)
7/10~13	712.88	756.87	43.99	765.42	738.79	26.63	142.30	179.58	37.28
7/15~18	978.56	1042.35	63.79	1001.29	1021.11	19.82	121.97	260.69	138.72
7/20~21	5.42	7.15	1.73	4.78	6.29	1.51	1.12	1.59	0.47
7/26~29	29.78	34.98	5.20	30.01	35.87	5.86	8.75	8.78	0.03
8/5~7	0.80	1.81	1.01	0.97	1.78	0.81	0.52	0.63	0.11
8/9~11	1356.21	1112.35	243.86	1115.87	1074.54	41.33	315.84	269.34	46.50
8/13	5.68	9.12	3.44	6.21	8.53	2.32	3.26	2.32	0.94
8/15~17	3.29	6.81	3.52	4.58	6.78	2.20	0.89	1.58	0.69
8/25~31	1128.83	1092.44	36.39	1109.61	1053.11	56.50	301.65	268.73	32.92
평균	469.05	451.54	17.51	448.75	438.53	10.22	99.59	110.36	10.77

451.54kg/day로써 평균 실측값과 약 4%의 차이를 나타냈으며, T-N의 평균 추정값은 438.53kg/day로써 평균 실측값과 약 2%의 차이를 나타내고 있어 추정량과 실측량의 차이가 매우 작은 것으로 분석되었다. 그러나 T-P의 평균 추정값은 110.36kg/day로써 평균 실측값과 약 11%의 차이를 나타내고 있어 다소 큰 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 유역 내에서 발생하는 유출량과 오염부하량을 추정하기 위하여 수치표고모형, 토지이용도, 토양도, 강우량 등의 지형 및 지리정보자료와 GIS 분석기법을 이용하였다. 유출량 및 오염부하량을 추정하는데 있어서 SCS(미국토양보존국)에서 제시하고 있는 토양, 토지이용별 분류기준과 유출곡선지수(CN)를 적용하였으며, 환경부에서 제시한 토양의 기대평균농도(EMC)를 적용하여 해석을 실시하였다. 본 연구에서 적용한 유출량 및 오염부하량 추정 방법의 효용성을 판단하기 위하여 2010년 7월~8월 사이에 발생한 9개 강우사상에 대하여 유출량 및 오염부하량을 추정하고 이를 실측값과 비교·평가하였다.

본 연구의 수행에 의한 유역의 유출량 추정결과, 실측 유출량과 평균 0.11m³/sec의 차이를 갖는 것으로 분석되었으며, 이는 전체 유출량 대비 약 3.86%로써 그 차이가 매우 작은 것으로 나타났다. 그러나 각 강우사상에 대한 추정 유출량과 실측 유출량의 차이에 있어서는 약 8~85%의 차

이를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 유출량이 작을수록 크게 나타나는데 이것은 본 연구에서 적용한 유출량 추정방법이 강우량 10mm이하에서 발생하는 미세 유출량에 적용하기에는 정밀도가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

총오염부하량(BOD, T-N, T-P) 추정결과, BOD는 실측값과 평균 17.51kg/day의 차이로써 약 4%의 차이를 나타냈고, T-N은 평균 10.22kg/day의 차이로써 실측값과 약 2%의 차이를 나타내는 것으로 분석되었다. 그러나 T-P는 평균 10.77kg/day의 차이로써 실측값과 약 11%의 비교적 큰 차이를 나타내는 것으로 분석되었다. 이러한 차이는 추정된 오염부하량들은 평균적인 기준값들을 적용한 오염원 인자를 이용하여 모델링한 결과이지만 실제 오염부하량을 발생시키는 오염원 인자들은 계절적 또는 강우량 별로 그 값이 변할 수 있기 때문에 판단된다. 특히, 농번기에 비료나 농약 등의 사용이 급속도로 증가하거나 폭우 발생시 침수에 의해 오염물질이 하천으로 유입됨으로써 특정 인자들의 오염부하량이 증가할 수 있다.

본 연구결과 GIS분석기법과 각종 지형·지리정보를 활용할 경우, 유출량 및 오염부하량 추정을 매우 효율적으로 수행할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 추정 결과의 정확도를 높이기 위해서는 토양, 토지이용별 배수 분류기준을 우리나라의 토양 및 토지이용에 적합하게 설정하고 재분류할 필요가 있으며, 기대평균농도(EMC)를 지역이나 유역의 특성을 고려하여 적용할 필요가 있다. 그리고 수치표고모형과 동일한 정밀도를 갖는 축척의 토양도와

토지이용도를 사용할 경우 보다 정확한 유출량 및 오염부하량의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강상혁 (2005), 준 분포형 모형을 이용한 비점오염원 유출 모델링 및 관리, 한국GIS학회지, 한국공간정보학회, 제 13권, 제1호, pp. 43-53.
- 고흥군 (2010), 통계연보, 고흥군.
- 김경순 (2005), 토지이용의 공간적 다양성에 따른 GIS 기반 오염부하 산정에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 한국환경영향평가학회, 제14권, 제5호, pp. 305-315.
- 박경옥 (2008), GIS를 이용한 낙동강 유역에서의 비점오염원 정량화 체계구축, 박사학위논문, 경북대학교, pp. 8-9.
- 배덕효, 이병주, 정일원 (2004), 위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제36권, 제6호, pp. 985-998.
- 이미란 (2001), 수치표고모형과 유출곡선지수를 이용한 유출량 및 오염부하량 추정, 석사학위논문, 전남대학교, pp. 29-55.
- 윤용남 (2007), 수문학, 청문각, pp. 526-612.
- 환경부 (1995), 비점오염원 조사 연구 사업 보고서, 환경부.
- 환경부 (2006), 물환경관리기본계획, 환경부.
- Olivera, F. (1996), *Spatial hydrology of the Urbanba river system in Peru using Geographic Information Systems*, Center for Research in Water Resources University of Texas.
- Quenzer, A. M. (1998), *A GIS Assessment of the Total Loads and Water Quality in the Corpus Christi Bay System*, Center for Research in Water Resources.
- Saunders, W. K. and D. R. Maidment (1996), *A GIS Assessment of Nonpoint Source Pollution in the San Antonio-Nueces Coastal Basin*, Center for Research in Water Resources.
- Soil Conservation Service (1986), *Urban Hydrology for Small Watersheds*, TR-55, Soil Conservation Service.

(접수일 2011. 07. 12, 심사일 2011. 07. 31, 심사완료일 2011. 08. 11)