

발생부하원단위와 수치표고모형을 이용한 하천유역 오염부하량 산정

양홍모* · 김 혁**

*전남대학교 조경학과 · **전남대학교 대학원 조경학과

Calculation of Pollutant Loadings from Stream Watershed Using Digital Elevation Model and Pollutant Load Unit Factors

Yang, Hong-mo* · Kim, Hyuk**

* Dept. of Landscape Architecture, College of Agriculture, Chonnam National University

**Department of Landscape Architecture, Graduate School, Chonnam National University

ABSTRACT

The purpose of this study is to compare calculated pollutant loadings using pollutant load unit factors and vector type coverage, and expected mean concentration(EMC) and raster type of digital elevation model(DEM). This study is also focusing on comparison of the advantages and the disadvantages of the two methods, and seeking for a method of calculation of pollutant loadings using DEM.

Estimation of pollutant inputs using pollutant load unit factors has limitations in identifying seasonal variations of pollutant loadings. Seasonal changes of runoffs should be considered in the calculation of pollutant loadings from catchments into reservoirs. Evaluation of pollutant inputs using runoff-coefficient and EMC can overcome these drawbacks. Proper EMC and runoff-coefficient values for the Koeup stream catchments of the Koheung estuarine lake were drawn from review of related papers.

Arc/Info was employed to establish database of spatial and attribute data of point and non-point pollutant sources and characteristics of the catchments. ArcView was used to calculate point and non-point pollutant loadings.

Pollutant loads estimated with either unit factors-coverages, i.e., pollutant load unit factors and vector coverages of point sources and land use, or EMC and digital elevation model(DEM) were compared with stream monitoring loads.

We have found that some differences were shown between monitoring results and estimated loads by Unit Factors-Coverages and EMC-DEM. Monthly variations of pollutant loads evaluated with EMC-DEM were similar to those with monitoring results. The method using EMC-DEM can calculate

accumulated flows and pollutant loads and can be utilized to identify stream networks.

A future research on correcting the difference between vector type stream using flow direction grid and digitalizing vector type should be conducted in order to obtain more exact calculation of pollutant loadings.

Key Words : GIS, DEM, EMC, Pollutant Load Unit Factor, Point Source, Non-point Source

I. 서론

호수의 수질을 예측하기 위해서 유역에서 발생하여 호수로 유입되는 오염부하량을 산출한다. 산출된 오염부하량이 수질예측모형의 입력자료로 활용되어 합리적인 오염부하량을 산정하는 것이 호수수질 예측에서 중요하다.

국내에서는 환경부에서 제시한 오염발생 원단위를 적용하여 오염부하량을 산정하는 방법을 일반적으로 활용하고 있다. 이 방법은 원단위 값이 연간 일정하다는 가정하에 오염부하량을 산정하기 때문에 시기별 오염부하량 변화를 파악하기 어려운 단점이 있다. 선진국에서는 시기별 오염부하량 변화를 파악하기 위해 강우유출량과 기대평균농도(expected mean concentrations : EMC)를 적용하여 오염부하량을 산정하는 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 토지이용별 강우유출계수와 EMC에 관한 자료의 축적이 필요하다.

최근 국내에서도 오염부하량 산정에 지리정보체계(geographical information systems : GIS)를 활용하는 방법이 연구되고 있다. GIS와 데이터베이스의 연계분석은 각 오염원의 공간상 위치와 오염부하량을 쉽게 파악할 수 있고, 오염원의 위치와 발생량에 변화가 있을 때 수정이 용이한 장점이 있다. 발생부하 원단위를 적용하여 오염부하량을 산출하는 방법에서 유역의 점오염원 및 토지이용 자료를 벡터형(vector type) 커버리지(coverage)로 구축하여 각 coverage에 발생부하 원단위를 입력하여 오염부하량을 자동으로 산출하는 기법이 활발히 연구되고 있다. EMC와 강우유출량을 적용하여 오염부하량을 산정하는 방법에서는 유역의 등고선 및 하천 coverage로부터 래스터형(raster type) 수치표고모형(digital elevation model : DEM)을

구축하여 오염부하량을 산출하는 기법이 최근에 시도되고 있다.

본 연구의 목적은 발생부하 원단위와 벡터형 coverage를 이용하여 산출한 오염부하량과, EMC와 래스터형 DEM을 이용하여 산출한 오염부하량을 실측 오염부하량과 비교하여 두 접근방법의 장단점을 비교하고, DEM을 이용하여 오염부하량을 산정하는 방법을 연구하는데 있다.

II. 이론적 고찰

유역에서 발생하여 호수로 유입되는 오염부하량 예측에는 다양한 방법이 응용되고 있다. 시기별 오염부하량 변화를 파악하기 위해서는 강우유출량과 EMC를 고려하여 오염부하량을 산정하는 것이 합리적이다. 선진국에서는 유역을 토지이용별로 구분한 후 수질 및 유량 측정지점을 설정하여 평상시와 강우시의 유량 및 수질을 다년간 분석하여 토지이용별 EMC와 강우유출계수를 선정한다. 국내에서는 강우시 유량과 수질을 다년간 분석한 경우가 거의 없어 환경부에서 제시한 발생부하 원단위 개념을 적용하여 오염부하량을 산정하고 있다.

GIS를 활용하여 수문인자를 정량화하고, 지표수의 흐름을 파악하고, 오염부하량을 산출하는 기법이 개발되고 있다. 위성영상을 분석을 통하여 작성한 토지이용도와 미국토양보존국(Soil Conservation Service)에서 미계측 유역의 유량산정을 위해 개발한 유출곡선지수(curve number)를 활용하여 유역의 유출량을 산출하는데 GIS를 활용하기 시작하였다.

Saunders(1996)는 텍사스 San Antonio-Nueces 하구지역의 DEM을 이용하여 유량과 오염부하량을 산정하는 방법과 오염물질 이동경로를 파악하는 방법을

연구하였으며, Olivera(1996)는 ArcView의 Spatial Analysis를 이용하여 유역의 특성을 데이터베이스로 구축하고, Avenue Script를 이용하여 강우유출량을 산정하는 방법을 연구하였다. Quenzer(1998)는 ArcView를 이용하여 유역특성을 파악하고 비점오염부하량에 점오염원과 대기로부터 오염부하를 고려하여 총 오염량을 산출하는 방법을 연구하였으며, 100m DEM을 이용하여 물의 흐름을 파악하고 예측오염부하량과 실측오염부하량을 비교분석하였다. GIS를 활용한 오염부하량 산정에서 외국의 최근 연구는 DEM을 이용하여 오염부하량을 산정하는 기법에 집중되어 있다.

박영일(1995)은 부정삼각망(TIN)을 레티스(Lattice)로 변환할 경우 하천망 추출에 영향을 미치는 셀의 크기를 분석하였으며, 함창학(1996)은 GIS를 이용하여 하천의 기하학적, 지형학적 특성을 정량화하는 방법을 연구하였으며, 김동인(1999)은 대상지역의 수치지도를 그리드(grid)로 작성하여 추출한 유역과 수작업으로 추출한 유역을 비교하였으며, 양홍모(1999)는 GIS를 활용하여 영산강 유역의 점오염원과 비점오염원의 데이터베이스를 구축하고 오염부하량을 산정하는 방법을 연구하였다. 국내의 연구들은 DEM을 이용하여 유역의 특성과 정보를 추출하는 연구가 대부분이며, DEM을 활용한 오염부하량 산정에 관한 연구는 활발하지 않다.

지형의 고저를 모형화하기 위해 개발된 DEM은 표고뿐만 아니라 토지이용, 토양, 지질의 연속적인 변화를 나타내는데도 활용하고 있다. GIS에서 사용되는 DEM은 격자망 형태의 그리드로 고도를 포함하여 여러 지형정보를 수치화할 수 있기 때문에 유역의 하천망을 추출하고 누적 흐름량을 파악하기 용이하며, 오염원에 대한 공간상 정보와 오염부하량의 분석이 가능하여 수문학이나 수자원분야에서 활용하고 있다.

III. 연구방법

1. 연구범위

연구대상지는 고흥지구 간척사업으로 조성된 고흥호로 유입되는 고읍천 유역을 선정하였다. 고읍천은 유로장이 약 6km로 유량이 많으며 유역내에는 풍양면 소재

지인 야막리를 포함한 5개 법정리가 위치하고 있다.

기존문헌 연구를 통해 고읍천 유역에 적합한 강우유출계수와 EMC를 선정하고, 발생부하 원단위와 점원 및 토지이용 벡터 커버리지(coverage)를 활용하여 산출한 오염부하량과, EMC와 DEM을 활용하여 산출한 오염부하량을, 고읍천 유역에서 실측한 오염부하량과 비교하였다. GIS를 활용하여 유역의 점오염원과 비점오염원의 데이터베이스를 구축하는 방법과 고읍천 유역의 DEM을 활용하여 흐름방향(flowdirection)과 흐름누적(flowaccumulation)을 분석하는 방법을 연구하였다.

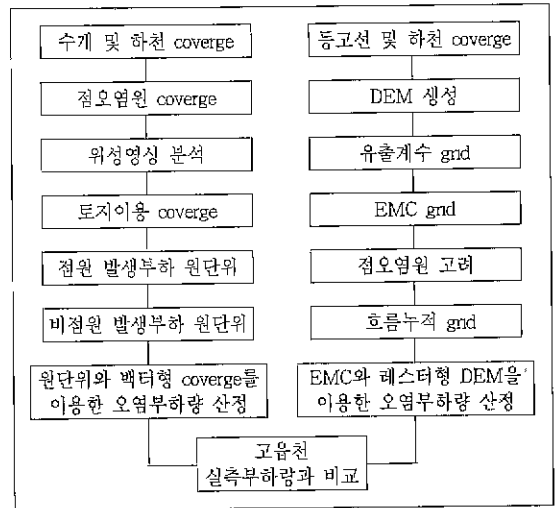


그림 1. 연구수행 과정

2. 연구방법

그림 1은 연구수행과정을 보여준다. 발생부하 원단위를 적용한 오염부하량 산출은 GIS를 활용하여 점오염원 커버리지를 작성하고, 위성분석을 통한 유역의 토지이용 커버리지를 작성하여, 점원 및 비점원 발생부하 원단위를 각 커버리지의 테이블(table)에 입력하여 오염 발생부하량과 배출부하량을 산정하였다.

DEM과 EMC를 활용하여 오염부하량을 산정하는 방법은 GIS를 활용하여 유역의 DEM을 구축하고 작성된 DEM과 강우량, 강우유출계수, EMC 그리드를 활용하여 흐름방향 및 흐름누적 그리드를 작성하여 오염부하량을 산출하였다.

원단위를 적용한 오염부하량과 DEM과 EMC를 적용하여 산출한 오염부하량을 실측오염부하량과 비교하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 오염원 데이터베이스 구축

1) 점오염원

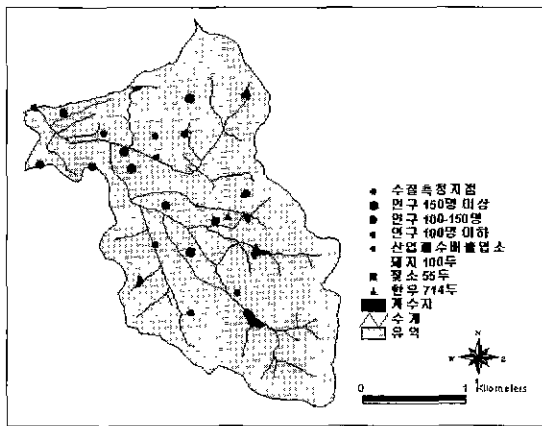


그림 2 고읍천 유역 오염원현황 및 수질측정지점

그림 2는 고읍천 유역의 하천과 점오염원 현황을 보여준다. 유역의 동남쪽 하단부에 위치한 표고 약 550m의 천등산 계곡에서 발원한 고읍천은 사동저수지를 경유한 후 유하하며 2개 지천이 유입된다.

유역의 경계 및 하천, 점오염원인 인구, 축산시설, 산업폐수배출업소의 위치는 1:25,000지형도와 NT Arc/Info Ver. 8.0.1(ESRI, 1999)를 활용하여 입력하였다. 유역경계와 하천을 면적(polygon) 커버리지와 선(line) 커버리지로, 점오염원의 위치를 점(point) 커버리지로 작성하였다. 각 커버리지를 황메르카토르(TM) 좌표로 전환한 후 ArcView Ver. 3.1 (ESRI, 1996)에서 속성자료를 입력하여 다양한 주제도(theme map)를 작성하였다.

인구는 1999년도 인구통계를 기준으로 마을과 읍 단위로 주택이 밀집된 지점을 선정하여 입력하였다. 고읍천 유역의 총 인구는 1,999명이며 야막리에 인구가 가

장 많이 분포하고 있으며 고읍천 유역 전체인구의 약 26%를 차지하고 있다.

축산폐수 발생량의 대부분을 차지하며 수질오염에 영향이 큰 돼지, 젓소, 한우의 사육현황을 입력하였다. 한우 714두, 젓소 55두, 돼지 100두가 모두 풍양면 야막리에서 사육되고 있다. 산업폐수 배출업소는 고읍천 유역에 4개소가 있으며 총 폐수배출량은 35m³/일이다.

2) 비점오염원

그림 3은 고읍천 유역의 비점오염원인 토지이용현황을 보여준다. IA(Image Analyst) Ver. 7.01 (Intergraph, 1997) 프로그램을 이용하여 1998년 10월 랜드셋(LANDSAT) 위성영상과 고읍천 유역경계를 정치시킨 후 고읍천 유역 위성영상을 추출하여, 감독분류(supervised classification)로 유역의 토지이용도를 작성한 후 TIFF파일로 전환한 다음 Arc/Info에서 TIFF파일을 불러들여 TM좌표로 전환한 후 토지이용 커버리지를 작성하였다. 고읍천의 유역면적은 16.6km²이며, 임야 10.33km², 논 3.46km², 밭 2.49km², 주거지 0.17km²이다.

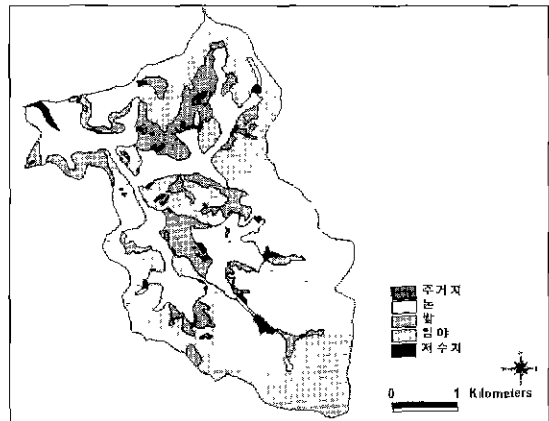


그림 3. 고읍천 유역 토지이용현황도

2. 실측 오염부하량

고읍천 유역 최하단부에 수위를 자동으로 측정할 수 있는 Global Water사의 압력변환형 수위계인 WL-14 수위계를 설치하였다(그림 2 참조). 수질은 수위계

측기 주변에서 샘플을 채취하여 분석하였다. 수위, 유속, 수질은 2000년 3월부터 8월까지 6개월간 모니터링 하였다. 수위와 유속관계로부터 도출된 수위-유량 관계식을 이용하여 유량을 산정하였다. 수위-유량 관계란 수위측정지점의 수로단면에서 임의의 수위에 대한 통수 단면과 그 때의 유속을 측정하여 수위와 유량의 관계를 수식이나 그래프로 표시한 것을 말한다. 모니터링 기간의 유량은 0.027 ~ 5.010 m/s 범위였다. 수질분석결과 생물화학적산소요구량(BOD)는 조사기간 중 0.7 ~ 11.5mg/l, 총질소(TN)은 2.198 ~ 12.353mg/l로 높은 수치를 나타내었고, 총인(TP)값은 0.02 ~ 0.835mg/l 범위의 값을 보였다. 표 7의 실측부하는 모니터링한 수위, 유속, 수질을 기초로 산출한 실측 오염부하량이다. 2000년 3월 ~ 8월에 고읍천 유역 BOD, TN, TP 실측부하량은 각각 16,037kg, 21,445kg, 536kg에 달한다.

3. 원단위를 이용한 오염부하량

1) 오염부하량 원단위

고읍천 유역의 각 오염원에서 발생하는 오염부하량은 환경부의 “오염총량관리계획수립지침(안)(1999)”에서 제시한 오염원별 발생부하량 원단위를 적용하여 산출하였다. 표 1은 환경부에서 제시한 오염원별 발생부하 원단위이다. 산업폐수는 “오염총량관리계획수립지침(안)(1999)”의 표준산업분류를 기준으로 해당 산업의 발생원단위를 적용하였다.

2) 오염부하량

표 1. 오염원별 발생원단위

오염원	구 분	BOD(mg/l)	TN(mg/t)	TP(mg/t)
인 구 (g/인·일)	미 시 가	49	13.2	1.5
	시 가	50	105	12
가 축 (g/두·일)	한 우	528	116.8	36.14
	젖 소	556.2	161.82	56.65
	돼 지	109	27.7	12.24
토 지 이 용 (g/ha·일)	전	15.9	94.4	2.4
	답	23	65.6	6.1
	임 야	9.3	22.0	1.4
	대 지	859	136.9	21.0
	기 타	9.6	7.59	0.27

표 2는 원단위를 이용한 배출부하량 산출방법과 개념을 나타낸다. ArcView의 지도질의(map query) 및 지도계산(map calculate) 기능(ESRI, 1997)을 이용하여 점오염원 데이터베이스 구축에서 작성된 인구, 축산시설, 산업체 커버리지의 테이블(table)에 BOD, TN, TP 항목(item)을 추가하고 발생부하 원단위를 입력하여 발생부하량을 산출하였다. 인구에 의한 발생부하량은 시가지와 비시가지의 인구수에 발생부하량 원단위를 곱하여 산출하였으며, 축산시설에 의한 발생부하량은 젖소, 한우, 돼지의 사육두수에 발생부하량 원단위를 곱하여 산출하였고, 산업체에 의한 발생부하량은 폐수발생량에 발생부하 원단위를 곱하여 산출하였다. 배출부하량은 발생부하량에 배출부하율을 곱하여 산출하였으며, 환경부에서 제시한 인구, 가축, 산업폐수에 의한 배출부하량 산정방법에서 제시한 배출부하율을 적용하여 산출하였다.

ArcView에서 토지이용 커버리지의 테이블에 BOD, TN, TP item을 추가하고 토지이용별 발생부하 원단위를 입력하여 토지이용별 발생부하량을 산출한 후, 환경부에서 제시한 배출부하율을 적용하여 배출부하량을 산출하였다. 토지이용 오염부하량은 비점원 오염부하량을 의미한다.

표 2 원단위 활용 오염원별 배출부하량 산정

구 분	산정 방법
인구 배출부하량	인구(시가지 및 비시가지)수×발생원단위×배출부하율
축산 배출부하량	가축(젖소, 한우, 돼지)두수×발생부하량×배출부하율
산업체 배출부하량	산업체폐수발생량×발생원단위×산업체배출부하율
토지이용 배출부하량	토지이용별 면적×발생원단위×배출부하율
총 배출부하량	인구배출부하량+축산배출부하량+산업체배출부하량+토지이용 배출부하량

표 7의 배출부하량은 고읍천 유역의 점오염원 배출부하량과 비점오염원 배출부하량을 합한 오염부하량을 의미한다. 2000년 3월 ~ 8월에 고읍천 유역 BOD, TN, TP 배출부하량은 각각 37,402kg, 28,379kg, 2,306kg에 달한다.

4. 수치표고모형과 기대평균농도를 이용한 오염 부하량 산정

표 3은 DEM과 EMC를 이용한 오염부하량 산출 방법과 개념을 나타낸다.

표 3. DEM과 EMC 활용 오염부하량 산정

구분	산정 방법
토지이용별 강우유출량 그리드	강우량 그리드 × 토지이용별 강우 유출계수 그리드
토지이용별 오염부하량 그리드	토지이용별 강우유출량 그리드 × EMC 그리드
점오염원 부하량 그리드	인구오염부하 그리드 + 축산오염부하 그리드 + 산업체오염부하 그리드
지점별 누적 오염부하량	토지이용별 오염부하량 그리드 + 점오염원 부하량 그리드
총 오염부하량	지점별 누적 오염부하량의 합

1) 강우유출계수 및 기대평균농도

토지이용별 강우유출량과 강우유출수의 오염농도를 고려하여 비점원 오염부하량을 산정하였다. 강우유출량은 강우량에 토지이용별 유출계수를 곱하여 산정한다. 표 4는 2000년 3월부터 8월사이의 고읍천 유역 월별 강우량을 보여준다. 고읍천 유역 강우자료는 고읍천 인근의 고흥측후소 강우자료를 이용하였다. 3월에서 5월의 강우량은 아주 적은 양이며, 6월과 7월에는 증가하여 8월에는 413.5 mm에 달한다.

환경부에서 영산강 유역의 수문자료, 강우강도, 토지 이용 등을 고려하여 유출계수를 산정한 바 있다(환경부, 1995). 고읍천 유역의 강우유출계수가 연구된 바 없어 환경부에서 제시한 영산강 수역권의 유출계수를 적용하여 강우유출량을 산출하였다. 영산강 수역은 연구부지에 근접하고 기후조건이 유사하다. 표 5는 환경부에서 제시한 영산강 수역권 토지이용별 유출계수이다.

EMC는 토지이용별 강우유출수의 오염농도를 의미한다. 표 6은 환경부에서 제시한 영산강 수역권 토지이용별 오염농도로 이들 오염농도 값을 EMC 값으로 사용하였다.

2) 수치표고모형 그리드

GIS 데이터구축에서 활용하는 레스터 방식은 같은

표 4 고읍지역 2000년 월별 강수량

구분	3월	4월	5월	6월	7월	8월
강수량(mm)	36.5	13	80	160.5	255.5	413.5

자료: 고흥측후소(2000) 월별 강수량

표 5 강우유출계수

구분	논	밭	산림	주거지	계답지
영산강 수역권 강우유출계수	0.3	0.4	0.4	0.1	0.3

자료: 환경부(1995) 비점오염원 조사연구사업 보고서 p51

표 6 영산강 수역권 토지이용별 오염농도

구분	주거지	논	밭	산림	기타
BOD(mg/l)	67.23	8.39	3.48	1.9	0.5
TN(mg/l)	13.05	5	2.16	1.67	1.5
TP(mg/l)	0.57	0.3	0.07	0.04	0.12

자료: 환경부(1995) 비점오염원 조사연구사업 보고서, pp. 82-83.

크기를 가지는 셀을 이용하며, 셀이 행과 열로 구성된 매트릭스를 그리드라고 부른다(ESRI, 1994). DEM은 평면상의 위치를 X, Y 좌표로, 고도를 Z 좌표로 표시하여 3차원을 표현한다. Arc/Info에서 작성한 하천 커버리지에서 하천을 나타내는 선(arc)의 방향이 물의 흐름방향과 반대로 디지털라이징(digitizing)된 경우는 방향을 수정하고 저수지와 같이 정체된 구역은 하나의 arc로 수정하였다. Arc/Info 그리드 모듈의 Topognd 명령어를 사용하여 고도 값을 갖고 있는 등고선 커버리지와 하천 커버리지를 이용하여 셀 크기 10m × 10m의 DEM 그리드를 작성하였다.

고읍천 유역 벡터형 토지이용 커버리지의 면적과 100m, 30m, 10m의 셀 크기로 전환한 DEM 면적을 비교한 결과 각각 49,184m², 4,184m², 516m² 오차가 발생하였다. 셀의 크기가 작으면 오차가 적게 발생하나 데이터의 용량이 증가하기 때문에 데이터의 용량과 해상도를 고려하여 셀의 크기를 10m로 정하였다.

3) 흐름방향 및 흐름누적 그리드

Arc/Info 그리드 모듈의 Flowdirection 명령어를 이용하여 DEM으로부터 Flowdirection 그리드를 작성하였다. 흐름방향은 중심 셀과 인접 8개 셀의 고도

값을 기초로 계산된 가중하강(weighted drops)값을 기준으로 결정된다. 중심 셀로부터 8방향의 흐름은 동쪽 1, 남동쪽 2, 남쪽 4, 남서쪽 8, 서쪽 16, 북서쪽 32, 북쪽 64, 북동쪽 128 값이 부여된다(Jenson, 1988).

흐름방향 그리드 작성과정에서 음수 값이 부여된 경우는 저지(sink)를 보정해 주어야한다. sink는 중앙 셀(cell)이 인접 셀보다 고도 값이 낮아 물의 흐름이 방해받는 경우로 인접 cell중에서 가장 낮은 고도 값과 같게 중앙 셀의 고도 값을 보정한다. 그림 4는 sink를 보정한 고읍천 유역의 흐름방향 그리드를 나타낸다.

Arc/Info 그리드 모듈의 Flowaccumulation 명령어를 이용하여 흐름방향 그리드로부터 흐름누적 그

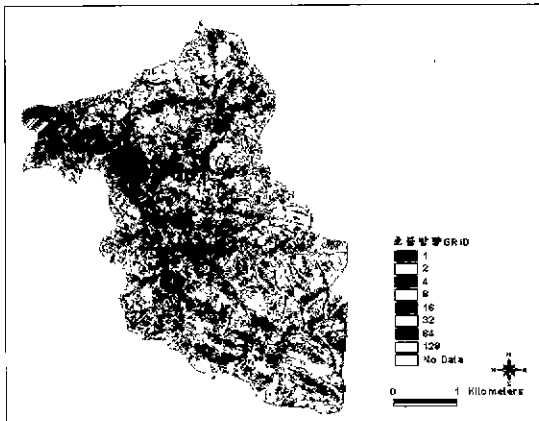


그림 4. 고읍천 유역 흐름방향 그리드

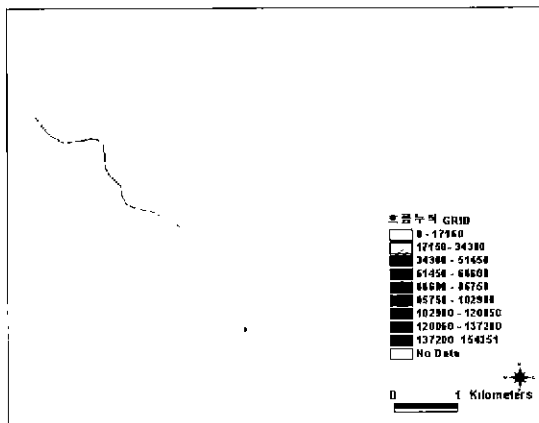


그림 5 고읍천 유역 흐름누적 그리드

리드를 작성하였다. 그림 5는 고읍천 유역 흐름누적 그리드이다.

Flowaccumulation 명령에서 가중그리드(weighted grid)를 지정하지 않으면 기본 값 1을 자동으로 곱하게 되어 산출된 그리드의 셀 값(value)는 각 셀로 흘러들어 오는 셀의 수가 된다. 강우 그리드를 가중 그리드로 사용하면 어느 지점으로 흐름이 누적되어 유입되는지 판단할 수 있다. 흐름누적 그리드는 벡터로 전환이 가능하여 하천망을 작성할 수 있다.

4) 강우유출량 그리드

ArcView에서 고읍천 수계 커버리지에 월별 강우 item을 추가하여 2000년 3월~8월의 강우량을 입력한 후 10m × 10m 격자의 월별 강우 그리드를 작성하였다. 오염원 데이터베이스 구축에서 작성한 토지이용 커버리지에 강우유출계수 item을 추가하여 표 5의 토지이용별 강우유출계수를 입력한 후 10m × 10m 격자 강우유출계수 그리드를 작성하였다. 그리드 모듈에서 식 1을 이용하여 강우 그리드인 Pre_grd와 유출계수 그리드인 Coef_grd를 곱하여 유출량 그리드인 Runoff를 월별로 작성하였다. 식 1에서 100과 0.01은 단위변환 상수이다.

$$\text{Grid: Runoff} = \text{Coef_grd} \times \text{Pre_grd} \times 100 \times 0.001 \quad (\text{식 1})$$

3) 오염부하량 산출

(1) 비점오염부하량

ArcView에서 토지이용 커버리지의 테이블에 BOD, TN, TP item을 추가하여 표 6의 토지이용별 EMC 값을 입력한 후 10m × 10m 격자의 BOD, TN, TP EMC 그리드를 각각 작성하였다. 식 2를 이용하여 TN EMC 그리드인 TN_etc와 강우유출량 그리드인 Runoff를 곱하여 TN부하량 그리드인 TN_in을 월별로 작성하였다. 식 2에서 0.001은 단위변환 상수이다. 같은 방법으로 월별 BOD부하량, TP부하량 그리드를 작성하였다.

$$\text{Grid: TN_in} = \text{TN_etc} \times \text{Runoff} \times 0.001 \quad (\text{식 2})$$

(2) 점오염원부하량 고려

점오염원인 생활계, 축산계, 산업계 커버리지에 ArcView의 map query 및 map calculate 기능을 이용하여 오염부하량을 산출하여 입력한 후, 각 점오염원 커버리지를 10m × 10m 그리드로 전환하였다. 점오염원이 위치하는 셀은 점오염원에서 배출되는 오염부하량 값을 가지며, 나머지 셀은 '0'으로 처리하였다. 그리드 모듈의 Merge 명령어를 사용하여 생활계, 축산계, 산업계 그리드를 합하여 통합 점원오염부하량 그리드를 작성하였다.

그리드 모듈의 Flowaccumulation 명령어를 사용하여 월별 BOD, TN, TP 총오염부하량을 산출하였다. 이 때 사용한 가중 그리드는 비점원오염부하량 그리드와 통합 점원오염부하량 그리드를 더하여 작성한 총 오염부하량 그리드를 이용하였다.

Grid: Total = Flowaccumulaton(Flow_dir, Weight) (식 3)

식 3을 이용하여 오염부하량누적 그리드 작성하였다. 위 식에서 Total은 작성할 오염부하량 흐름누적 그리드를, Flow_dir은 흐름방향 그리드를, Weight는 점원과 비점오염량을 합한 총오염부하량 그리드를 나타낸다.

오염부하량 흐름누적 그리드에서 총 누적 오염부하량뿐만 아니라 하천이 합류하는 지점의 누적오염부하량을 파악할 수 있다. 그림 6은 고읍천 유역의 8월 TN 흐름누적 그리드를 나타낸 것으로 유역의 총 TN부하량은 8,107kg이며, 하천 합류지점의 TN부하량은 7,435kg, 4,534kg이다. 같은 방법으로 월별 BOD, TP 흐름누적 그리드를 작성하였다.

5. 산정방법별 오염부하량 비교

표 7에서 실측부하는 고읍천에서 실측된 오염부하량을 나타내며, 배출부하는 발생부하 원단위와 점원 및 비점원 커버리지를 활용하여 산출한 오염부하량이며, DEM부하는 DEM과 EMC를 활용하여 산출한 오염부하량을 지칭한다.

BOD, TN, TP 부하량 모두 배출부하가 가장 높게

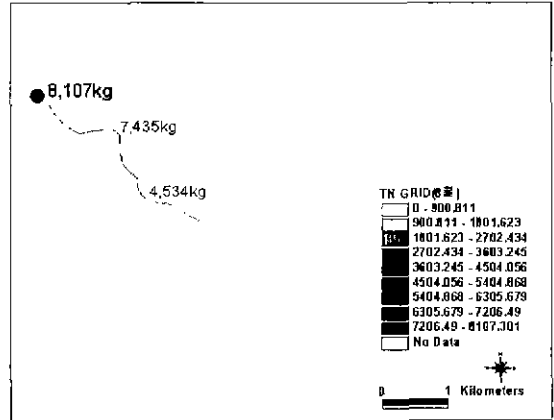


그림 6. 고읍천 유역 TN 흐름누적 그리드
범례. ●. 수질측정지점

나타났다. BOD, TN, TP 실측부하량은 3, 4, 5월에 아주 작으며, 6, 7, 8월에 급격히 증가한다. 표 4의 월별 강우량에서 3, 4, 5월의 적은 강우량과, 6, 7, 8월의 많은 강우량과 유사한 추세를 보이고 있다. BOD, TN, TP DEM부하량도 3, 4, 5월은 작고 6, 7, 8월은 높게 나타나 실측부하량과 유사한 추세를 보이고 있다. BOD, TN, TP 배출부하량은 3, 4, 5월과 6, 7, 8월 사이에 큰 차이를 보이지 않아 시기별 강우량에 따른 오염부하량을 반영하지 못하고 있다.

표 7에서 유달율은 실측부하량이 배출부하량에서 차지하는 비율로 3, 4, 5월의 BOD, TN, TP 유달율은 매우 낮고 6, 7, 8월에는 높게 나타난다. 3, 4, 5월의 BOD, TN, TP 실측부하량이 적은 이유는 3, 4, 5월에 강우 유출량이 매우 적어 유역에서 발생한 오염물이 하류로 적게 유입되는데 원인이 있으며, 6, 7, 8월의 BOD, TN, TP 실측부하량이 많은 이유는 6, 7, 8월에 강우 유출량이 많아 유역에서 발생한 오염물이 유역 하류로 많이 도달하는데 원인이 있다. TN의 경우 7, 8월의 실측부하량이 배출부하량보다 높은 이유는 영농기에 비료와 농약을 사용하여 는 유출수에 TN이 많이 함유되어 있는 것으로 사료된다.

발생부하 원단위를 활용한 오염부하량 산출은 시기별 강우유출량과 오염농도가 고려되지 않아, 합리적인 오염부하량의 산정을 위해서는 강우유출과 오염농도를 고려하는 것이 바람직하다. 배출부하량과 실측부하량의 차이를 줄이기 위해 배출부하량에 유달율을 적용하여

유달부하를 산정하는 경우가 있다.

표 7의 배출부하 및 DEM부하가 실측부하와 차이가 있는가를 대응하는 두 표본평균 비교 (paired comparison) 방법을 활용하여 t-검정을 하였다(채영암 등, 1988). 각 대응하는 짝이 나타내는 두 평균간의 차이를 하나의 변량으로 보고 변량간의 차이를 검정하는 방식으로 적용하는 공식은 $t_s = D/S_d$ 이며, D는 변량간 차이의 평균치이고 Sd는 평균차이의 표준오차이다.

표 8은 t-검정의 통계량을 나타낸다. 3, 4, 5월의 경우 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 BOD, TN, TP 모두 실측부하량과 배출부하량에 차이가 있으며, 실측부하량과 DEM부하량에도 차이가 있다. 6, 7, 8월의 경우 $\alpha=0.05$ 에서 BOD는 실측부하량과 배출부하량에 차이가 있으나 실측부하량과 DEM부하량에 차이가 없다. TN은 실측부하량과 배출부하량, 실측부하량과 DEM부하량에 차이가 없다. TP는 실측부하량과 배출부하량에 차이가 있으나 실측부하량과 DEM부하량에 차이가 없다.

표 8의 t-검정에서 차이가 없다는 의미는 두 방법에

의해 산출한 부하량이 거의 같음을 의미한다. 강우량이 아주 적은 3, 4, 5월의 경우 강우에 의한 오염물 유출이 적어 실측부하-배출부하 및 실측부하-DEM부하 간에 차이가 크게 나타나고 있다. DEM부하는 강우량을 고려하여 부하량을 산출하는 방법이나, 3, 4, 5월에 DEM부하와 실측부하 간에 차이가 나타나는 원인은 3, 4, 5월의 강우사상이 강우유출을 유발할 정도가 아닌데 있다고 사료된다.

강우량이 많은 6, 7, 8월의 경우 BOD와 TP는 실측부하와 DEM부하가 차이가 없어 DEM방법이 부하량 산출에 적합함을 알 수 있다. TN의 경우 실측부하와 배출부하에 차이가 없는 이유는 영농기 시비로 농경지로부터 TN 부하가 많은데 원인이 있는 것으로 사료된다.

표 7. 방법별 오염부하량

월	생물화학적산소요구량				총질소				총인			
	실측부하 (kg)	배출부하 (kg)	DEM부하 (kg)	유달율 (%)	실측부하 (kg)	배출부하 (kg)	DEM부하 (kg)	유달율 (%)	실측부하 (kg)	배출부하 (kg)	DEM부하 (kg)	유달율 (%)
3월	19	3,515	2,612	0.5	190	1,495	1,678	12.7	3	135	140	2.0
4월	43	4,293	2,866	1.0	427	2,575	1,259	16.6	6	201	120	3.0
5월	132	5,025	3,122	2.62	1,322	3,336	2,568	39.6	19	280	194	6.6
6월	3,130	7,227	5,146	43.3	3,712	6,467	3,838	57.4	36	505	248	7.1
7월	5,621	8,327	6,390	67.5	6,485	6,265	6,262	103.5	67	534	417	12.5
8월	7,092	9,015	8,251	78.7	9,309	8,241	8,107	113.0	405	651	448	62.6
총계	16,037	37,402	28,387	32.2	21,445	28,379	23,712	156.6	536	2,306	1,567	23.2

표 8. 오염원별 실측-배출 부하량 및 실측-DEM 부하량 비교

기간	3, 4, 5월						6, 7, 8월					
	생물화학적산소요구량		총질소		총인		생물화학적산소요구량		총질소		총인	
부하량 비교	실측-배출	실측-DEM	실측-배출	실측-DEM	실측-배출	실측-DEM	실측-배출	실측-DEM	실측-배출	실측-DEM	실측-배출	실측-DEM
변량간차이의평균치(D)	4,213.0	2,802.0	1,822.3	1,188.6	196.0	142.0	2,908.6	1,314.6	1,347.6	517.0	394.0	201.6
변량간차이의 표준오차(SD)	403.7	115.1	261.5	191.5	37.2	17.7	635	368.3	745.0	343	74.0	88.7
$t_s (=D/SD)$	10.43**	24.34**	6.96*	6.20*	5.26 ¹	7.98 ¹	4.57 ¹	3.56	1.80	1.50	5.32*	2.27

*. $p > 0.05$; $t_{값}=4.30$. **: $p > 0.01$; $t_{값}=9.93$

V. 결론

유역의 점원 및 비점원 오염원을 GIS를 활용하여 데이터베이스로 구축하는 방법과 DEM을 이용하여 유역의 오염부하량을 산출하는 방법을 연구하였다. 점원 및 비점원 오염발생 원단위와 벡터형 점오염원 및 토지이용 커버리지를 이용하여 산출한 오염부하량과, EMC와 래스터형 DEM을 이용하여 산출한 오염부하량을 실측오염부하량과 비교분석하였다.

분석결과 시기별 강우유출을 반영하기 어려운 발생부하 원단위를 적용하여 오염부하량을 산출하는 방법보다는 DEM과 EMC를 이용하여 오염부하량을 산출하는 방법이 월별 실측오염부하량 변화와 유사한 오염부하량 변화를 보여 유역에서 발생하는 오염부하량 산정에 적합함을 알 수 있다.

EMC와 DEM을 이용한 오염부하량 산출에서 토지이용별 강우유출계수와 EMC값이 오염부하량 산정에 영향을 미쳐 미계측 유역의 오염부하량 산정을 위해서는 연구유역과 유사한 유역에서 조사된 강우유출계수와 EMC값을 사용하는 것이 중요하다.

오염부하량을 산출하고자하는 유역이 넓은 경우 유역 전체의 토지이용별 강우유출계수와 EMC를 현장에서 조사하는데는 많은 비용과 시간이 소요되므로 토지이용별 대표 소유역을 설정하여 현장에서 유량과 수질을 조사하여 전체유역에 적합한 강우유출계수와 EMC를 도출하여 오염부하량을 산정하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

오염부하량 산정에서 DEM을 이용하면 하천망 분기 지점에서 누적오염부하량, 강우유출의 흐름방향을 분석할 수 있으며, 흐름방향 그리드로부터 벡터형 하천망을 추출할 수 있는 장점이 있다.

좀더 정확한 오염부하량 산정을 위해서는 DEM으로부터 작성한 흐름방향 그리드를 이용하여 만든 벡터형 하천망과 지형도상에서 디지털이징한 벡터형 하천망의 차이를 보정하는 연구와, 오염부하량 산정에서 오염물이 하천을 따라 흐르면서 침전과 분해되는 양을 고려하는 연구가 앞으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

인용문헌

- 1 김동인(1999) Topognd를 이용한 준평야지의 유역자동추출에 관한 연구. 전북대학교 대학원 석사학위 논문. pp. 20-25.
- 2 박영일(1995) 수치지형모형으로부터 유역의 하천형태학적 특성인자 추출에 관한 연구 강원대학교 대학원 석사학위 논문 pp. 13-16.
- 3 양홍모(1998) 지리정보체계를 응용한 영산강상류 수계생태계의 점오염원 관리 대한국토·도시계획학회지 33(2)·187-203.
- 4 চেয়াম. 구자욱, 서학수, 이영란(1988) 기초생물통계학 서울. 향문사, pp 128-130
- 5 함창학(1996) GIS를 이용한 수문 지형정보 추출에 관한 기초적 연구. 충북대학교 대학원 박사학위 논문. pp 5-9
- 6 환경부(1995) 비점오염원 조사연구사업 보고서 pp 51-83
- 7 환경부(1999) 오염총량관리계획수립지침(안).
- 8 Benaman, J, N E Armstrong and D. R Madment(1996) Modeling of Dissolved Oxygen in the Houston Ship Channel Using WASP5 and Geographic Information Systems Bureau of Engineering Research. The University of Texas at Austin pp. 45-56
9. David D. G (1987) Raster and Vector Processing for Scanned Linework. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 53(10)· 1383-1387.
- 10 ESRI (Environmental Systems Research Institute) (1994) Arc/Info Data Management Redlands, CA pp 1-27.
11. ESRI (Environmental System Research Institute)(1996) Using ArcView GIS. Redlands, CA
12. Intergraph(1997) Image Analyst User's Guide. Huntsville, Alabama
- 13 Jenson S K., and J. O. Domingue(1988) Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geogrhc Information System Analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(11) 1593-1600.
- 14 Naranjo, E., and H Larsen(1998) An Integrated Model to Assess Pollution Loads with the Use of GIS and Numerical Methods. Hydroinformatics Vol 1 pp. 409-417.
15. Olvera, F.(1996) Spatial Hydrology of the Urubamba River System in Peru Using Geographic Information Systems Center for Research in Water Resources. University of Texas, pp 1-16.
16. Quenzer, A M and D. R. Maidment(1998) A GIS Assessment of the Total Loads and Water Quality in the Corpus Christi Bay System Bureau of Engineering Research. The University of Texas at Austin pp 60-74.
- 17 Saunders, W. K. and D. R Maidment(1996) A GIS Assessment or Nonpoint Source Pollution in the San Antonio - Nueces Coastal Basin. Bureau of Engineering Research The University of Texas at Austin pp. 49-124.

원고접수: 2001년 1월 26일

최종수정본 접수: 2001년 2월 26일

2인 익명 심사필