

# 지리정보시스템과 원격탐사를 이용한 농촌 비점원 오염 모형의 적용 및 축산농가 관리기법 연구

이 윤아 · 김 성준

(건국대학교 농공학과)

## 1. 서론

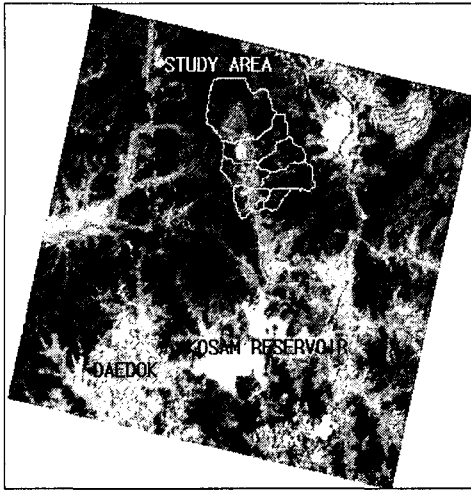
오염원은 크게 점원(point source)과 비점원(non-point source)으로 분류되는데, 농촌지역의 비점원 오염은 산림 및 농경지 등에서 배출되는 비료, 농약 등의 화학물질과 점원오염은 생활하수 및 축사 등에서 배출되는 가축분뇨, 그 밖의 폐기물들이 원인이 된다. 농촌지역의 오염원 배출은 점원, 비점원에 관계없이 특정지점으로 국한되지 않고 광범위하게 발생하므로 수질개선을 위해서는 이들 오염원의 평가 및 효율적인 관리가 필요하다. AGNPS(AGricultural Non-point Source Pollution Management)모형은 분포형 강우사상 모형으로서 유출량, 유사량, 영양분(N, P)의 이송을 모의하며 격자분할(cell division)의 개념을 사용하고, 셀은 다시 재분할이 가능하므로 소규모의 토지이용 형태를 띠고 있는 농촌 유역에 적합한 모형이다. 특히 축산농가에서 발생하는 점원오염의 거동을 파악할 수 있어 이를 효율적으로 관리할 수 있는 방법을 평가 할 수 있다.

## 2. 본론

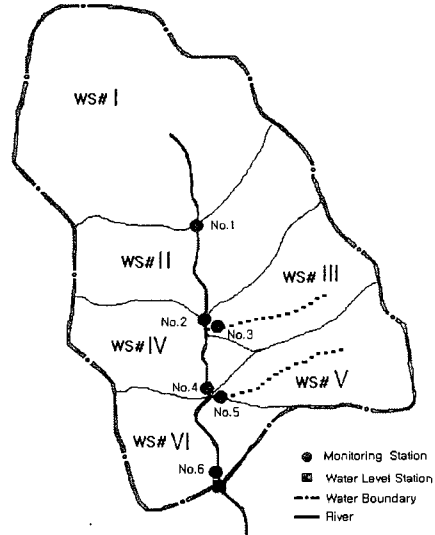
### 2.1 시험유역 및 측정자료

본 연구의 대상 유역(그림. 1)으로는 경기도 안성군 고산면(정동리, 야동리, 쌍령리)에 위치하고, 유역 면적 4.12 km<sup>2</sup> 내에 20개의 소규모 축산 농가가 산재해 있는 지역이다. 본 연구에서 모형의 보정과 검증에 위한 수질 측정은 6지점(그림. 2)에서 수행하였고, 이 중에서 3번과 5번 지점은 지류에서 측정하였으며, 유출량은 유역의 출구 지점인 6번 지점에서 실측하였다.

강우 자료는 1999년 5월 18일, 7월 29일, 9월 10일, 9월 20일에 1시간 간격으로 관측되었고, 강우와 관련된 입력 변수로는 강우량, 강우침식인자, 강우 형태 등이 있다. AGNPS모형의 유출량은 SCS 산정법에 의한 것이므로, 6번 지점에서 측정된 실측 유출량에서 수평 분리법으로 기저 유출량을 분리하여 직접 유출량을 구하여 사용하였다. 시험 유역의 수질 항목으로는 5월 18일과 7월 29일에 각 지점에서 총 질소(TN)와 총인(TP)을 측정하였다.



〈그림 1〉 시험대상 유역



〈그림 2〉 소유역 및 수질측정지점

## 2.2 모형의 적용

### 1) 자료 구축

AGNPS(Version 3.65)모형의 GIS 입력자료는 모두 22가지로 구성되어 있다. S/W는 IDRISI(Eastman, 1997)를 사용하여 GIS 공간정보를 만들었으며, 좌표체계는 UTM-52n을 기준으로 하였다. 토양도는 농촌진흥청 토양물리과에서 제작된 정밀토양도 (1:25,000)로부터 구축하였으며, 이때 ARC/INFO 자료를 DLG 파일 형태로 변환시킨 후, 이를 IDRISI로 불러들여 원래 토양부호별로 입력된 자료를 토양종류별, 배수분포별로 재분류 (RECLASS)하였다. 토지이용도는 Landsat TM 과 KOMPSAT 위성영상을 이용하여 토지피복 분류하여 토지이용도로 사용하였으며, 이때 재배열은 Nearest Neighbor방법을 적용하고, 식생에 대한 정확한 정보를 얻기 위하여 열밴드를 제외한 6개의 밴드를 사용하여 새로운 축을 가지는 Tasseled Cap 변환을 하여 최우도법으로 분류하였다. Error Matrix에 의한 검증 결과는 전체정확도가 92.24%로 나타났으며, KHAT에 의한 산정 결과를 보면 0.90로 전체 정확도 0.92 보다는 낮은 값이지만 비교적 높은 정확도를 나타내었다. Tasseled Cap 변환에 의해 재구성한 Brightness, Greenness, Wetness 밴드는 다음과 같다.

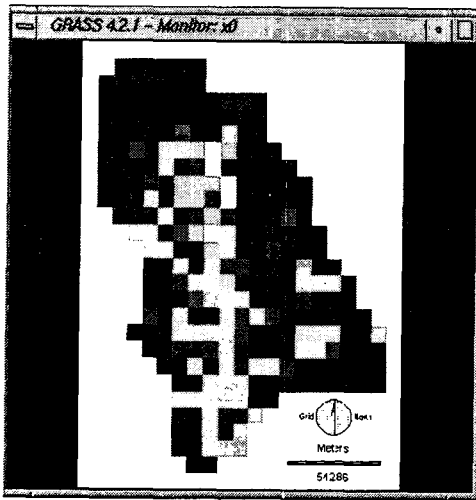
$$\text{Brightness} = 0.3037(\text{Band } 1) + 0.2793(\text{Band } 2) + 0.4743(\text{Band } 3) + 0.5585(\text{Band } 4) + 0.5082(\text{Band } 5) + 0.1863(\text{Band } 7)$$

$$\text{Greenness} = -0.2848(\text{Band } 1) - 0.2435(\text{Band } 2) - 0.5436(\text{Band } 3) + 0.7243(\text{Band } 4) +$$

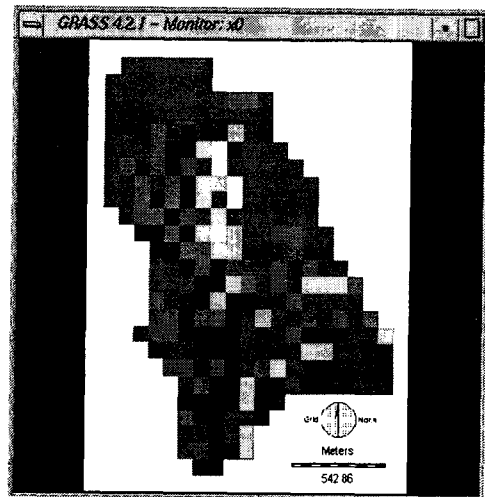
$$0.0840(\text{Band } 5) - 0.1800(\text{Band } 7)$$

$$\text{Wetness} = 0.1509(\text{Band } 1) + 0.1973(\text{Band } 2) + 0.3279(\text{Band } 3) + 0.3406(\text{Band } 4) - 0.7112(\text{Band } 5) - 0.4572(\text{Band } 7)$$

SCS CN추정은 유출량 보정을 위하여 각 강우사상에 대해서 AMC조건을 고려하여 CN을 결정하였다. 본 연구에 사용된 실측유량자료 중 3개(5월 18일, 7월 29일, 9월 10일)는 AMC I 에 해당하며, 나머지 9월 20일 자료는 AMC II 에 해당한다(그림1, 2).

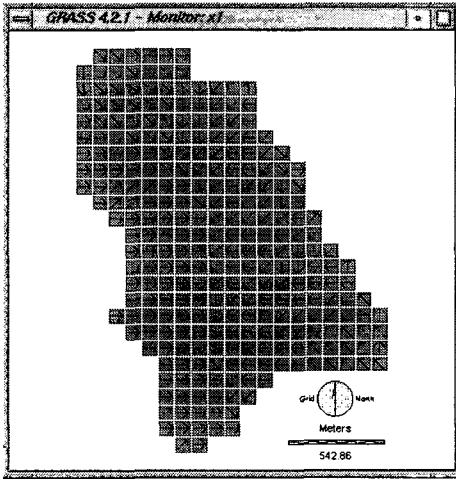


〈그림 3〉 AMC I에서의 CN

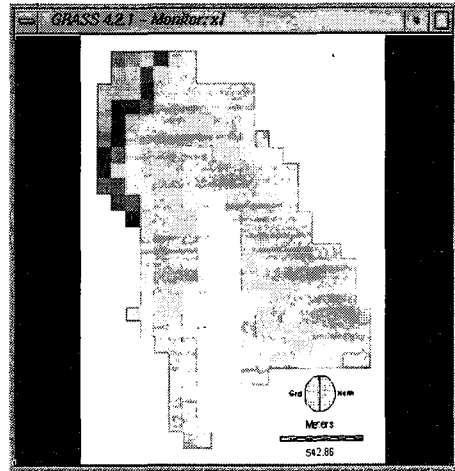


〈그림 4〉 AMC II에서의 CN

흐름방향도는 aspect(8방향으로 재분류된 데이터)를 GRASS4.2에서 `d.rast.arrow map=asp120 type=agnps` 명령어를 이용하여 그림 5와 같은 방향도를 생성한다.



〈그림 5〉 흐름 방향도



〈그림 6〉 수치고도모델

점원오염원은 축산농가를 고려하였다. 점원오염으로 입력되는 매개변수는 Nonfeedlot 및 Feedlot으로 구분되는데 본 연구에서는 Feedlot을 고려하여, 축사의 운동장을 고려한 경우와 시비수준의 변화 및 오염물질의 변화를 통해 오염원의 거동을 분석하였다. 수치고도모델(DEM)은 대상지역을 격자로 나누고, 각 격자의 평균 고도값과 각 격자간의 위상(topology) 관계를 포함하고 있어, 대상지역의 지형을 나타낼 수 있는 수치자료이다. 본 연구에서의 수치고도모델은 1:50,000 축적의 등고 원판을 사용하여 스캐닝, 벡터라이징, 속성입력의 과정을 통하여 수치지도를 작성한 후, ARC/INFO를 이용하여 TIN, LATTICE로 DEM을 구성한 것이다. 이 수치고도모델을 IDRISI에서 UTM-52N 좌표계로 변환하였다. 그림 6는 IDRISI에서 연구대상지역을 유역경계로 clipping한 DEM을 보여주고 있다. 격자의 한 셀의 크기는 가로 120m, 세로 120m의 정방형이다. 유역내의 고도분포는 80~501m이며, 유역 평균경사는 17.74 °이다.

## 2. 모형의 보정 및 검증

본 연구에서는 보정시 단순시행착오법을 이용하였으며, 유출관련 매개변수, 오염물질관련 매개변수의 순서로 하였다. 보정에 사용된 강우자료는 1999년 7월 29일 자료로 5일 선행강우량이 14mm인 AMC I 조건의 강우사상이다. 그 결과 출구 지점의 총유출량은 60.9mm로 실측값인 56.9mm와 비교적 잘 일치하는 경향을 보였다. 나머지 3개의 강우사상에 대하여 검증한 결과는 표 1과 같다. 실측치보다 모의 발생치가 더 큰 경향을 나타냈으나 대체로 양호한 결과를 보였다.

〈표 1〉 유출량의 실측치와 모의 발생치의 비교

Event (yy/mm/dd)	Rainfall (mm)	Duration (hr)	AMC	EI(L)	Discharge (mm)		Relative error (%)
					Obs.	Sim.	
99/05/18	23.5	20	I	6.94	1.8	3.0	40
99/07/29	122.9	39	I	86.54	56.9	60.9	6
99/09/05	35.0	13	I	13.01	3.1	6.8	55
99/09/20	251.9	80	II	255.75	185.3	204.7	10

오염물질에서 민감도가 가장 큰 변수는 축산농가에서의 점원오염이며, 그 다음으로 밭에서의 시비수준으로 나타났다. 그 중에서 축산농가의 점원오염에서 영향을 받는 변수는 Feedlot의 축사 면적 및 축사에서 배출되는 TN, TP의 원단위 순으로 나타났다. 모형의 보정 및 검증결과는 표 2와 같다. 표에서와 같이 유출이 적게 일어나는 99/05/18의 경우는 오염물질의 농도가 높고, 유출이 크게 발생한 99/07/29은 오염물질이 낮게 나타나는 것을 알 수 있는데 이는 유출시 오염물질이 희석되기 때문으로 판단된다. 실측치와 모의 발생치를 비교해 보면 TN은 실측치보다 대부분 작게 모의되었으며, 나타나는 것을 알 수 있다. TP의 경우는 유출이 적은 99/05/18 강우사상에 대하여 실측치보다 모의 발생치가 대부분 크게 나타나고, 유출이 많은 99/07/29 강우사상에 대해서는 모의 발생치가 실측치보다 대부분 작은 경향을 나타내었다. 이는 유출 해석 시 발생하는 오차와 더불어 강우시 각 축산농가별로 실제로 배출되는 오염물질의 불확실성에 기인하는 것으로 판단된다.

〈표 2〉 오염물질의 실측치와 모의 발생치의 비교

(Unit :mg/L)

	99/05/18				99/07/29			
	TN		TP		TN		TP	
	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.
1	6.21	1.19	0.11	0.05	3.04	0.88	0.05	0.05
2	6.15	3.73	0.15	0.87	3.10	1.64	0.01	0.30
3	6.44	1.21	0.30	0.05	1.70	0.90	0.18	0.05
4	6.95	4.36	0.48	1.09	1.73	1.92	0.02	0.39
5	5.02	1.21	0.18	0.05	2.83	0.89	0.14	0.05
6	3.33	4.28	0.20	1.07	2.85	1.94	0.32	0.40

## 2.3 모형의 응용

축산농가에서 배출되는 점원오염이 시험유역에 미치는 영향을 알아보기 위해 기존의 축산농가에서 배출되는 점원오염을 고려하지 않을 경우의 결과는 출구지점의 경우를 보면 TN이 2.49mg/L(100%)에서 1.16mg/L(46.6%)으로 감소하고 TP는 0.5mg/L(100%)에서 0.12mg/L(24.0%)로 감소하여 유역의 수질에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 따라서 축산농가에서의 여러 시나리오에 따른 결과를 살펴봄으로써 축산농가 관리기법을 알고자 한다.

### 1) 축산농가에 완충대(초지조성)를 조성하였을 때의 하천 유달률의 변화

오염물질의 경우 축산지역의 출구지점에 초지를 조성하여 완충대를 만들었을 경우 하천 출구지점의 TN은 2.13mg/L(100%)에서 1.94mg/L(91.1%)로 감소하고 TP의 경우는 0.46mg/L(100%)에서 0.40mg/L(87.0%)으로 감소하였다. 따라서 축산지역에 완충대를 만드는 것이 유역의 하천수질 개선에 비교적 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

### 2) 축사의 운동장에서 발생하는 오염물질을 감소시킬 경우에 하천 유달률의 변화

축사의 운동장 면적에 따른 질소와 인의 변화를 보면 TN은 운동장을 고려하지 않을 경우 출구 지점(WS #6)은 2.02mg/L(100%)에서 1.87mg/L(92%)로 감소하였고 TP는 0.43mg/L(100%)에서 0.37mg/L(86%)로 감소하여 TN, TP 모두 어느 정도 감소하는 경향을 보였다. 따라서 점원오염인 축산농가의 오염원 중 유역의 하천수질에 가장 영향을 주는 것으로 판단된다.

### 3) 시비수준을 변화시킬 경우에 하천 유달률의 변화

축산지역에서 발생하는 가축 분뇨 등을 받게 환언하여 사용할 경우 시비하는 수준에 따른 TN, TP의 하천 유달률의 변화를 파악하기 위하여, 시비수준에 변화를 줄 경우의 하천 지점별 TN, TP의 변화량은 5월 18일의 경우, 시비수준을 Level 2에서 Level 1, Level 0으로 감소시켰을 때 유역출구(6번)에서의 TN은 6.06mg/L(100%), 5.17mg/L(85.3%), 4.28mg/L(70.6%)로 감소하였으며, TP는 1.45mg/L(100%), 1.26mg/L(86.9%), 1.07mg/L(73.7%)로 감소하였다. 따라서, AGNPS 모형으로 하천의 수질을 모의한 결과 시비수준이 모형의 거동에 크게 영향을 주는 것으로 파악된다.

### 3. 결론

1) 유역 유출량의 경우는 보정시 CN값이 유출량에 가장 민감한 것으로 나타났다, 총질소와 총인의 경우는 유역내 점원오염원인 축산지역에 대해 가장 민감했으며, 비점원 오염에서는 시비수준의 변화에 가장 민감했다. 실측치는 총질소의 경우 5.67mg/L, 모의 발생치가 3.28mg/L로 전체적으로 작게 모의되었으며 총인의 경우에는 실측치가 0.24mg/L, 모의 발생량이 0.66mg/L로 더 크게 나타났다.

2) 축산농가에서 배출되는 점원오염이 시험유역에 미치는 영향을 알아보기 위해 기존의 축산농가에서 배출되는 점원오염을 고려하지 않을 경우의 결과를 보면 출구지점에서 TN과 TP가 각각 53.4%, 76%씩 감소하여 유역의 수질에 축산농가의 점원오염이 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 따라서 축산농가에서의 오염물질의 관리가 유역에 수질개선에 중요한 영향을 미친다.

3) 점원오염의 경우는 축사에서 발생하는 오염물질을 TN100 mg/L, TP 10 mg/L에서 50%씩 감소시킬 경우에 하천 유달률은 큰 변화를 나타내지 않았고 현재의 축산지역의 출구지점에 초지를 조성하여 완충지를 만들었을 경우 인과 질소가 각각 13%, 9%씩 감소하였다. 축사에서의 운동장 면적을 현재의 3,369m<sup>2</sup>에서 운동장이 없는 상태로 가정하여 줄일 경우 인과 질소가 각각 14%와 8%씩 감소하여 하천수질에 비교적 영향을 미치는 것은 축산농가의 형태와 운동장에서 발생하는 오염물질로 나타났다.

4) 전체 실험유역에 대한 비점원 오염의 경우는 밭에서의 시비수준을 현재 수준인 TN 100mg/L, TP 40mg/L 에서 TN 50mg/L, TP 20mg/L 과 시비수준을 고려하지 않을 때로 고려할 경우 인과 질소가 각각 27.2%, 38.5%로 감소하여 하천수질에 대해 크게 영향을 주었다. 그러므로 비점원 오염 관리를 위해서는 밭의 시비수준을 줄이기 위한 방안이 필요하다고 생각된다.

### 참고문헌

- 김진수. 1997. AGNPS 모형에 의한 농업비점원오염 해석에 관한 최근의 연구동향. 농업환경 과학연구의 최근동향-1997년도 NICEM 해외교육훈련 결과 SYMPOSIUM. 127-135
- 김진택. 1995. 농업비점원 오염모형을 위한 지리정보시스템 호환모형의 개발 및 적용. 서울대학교 박사학위논문.

- 조재필. 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염 모형의 적용. 서울대학교 석사학위논문.
- ESRI. 1992. PC ARC/INFO Ver. 3.4.2. Redlands, CA.
- Eastman, J. R. 1997. IDRISI for Windows-User's Guide Ver 2.0. Clark University, Worcester, MA.
- U.S. Army CERL. 1993. GRASS 4.1 Users Manual. Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL.
- Mitchell. J. K. 1993. Validation of AGNPS for small watersheds using intergrated AGNPS/GIS system. Water resources bulletin. 29(5): 833-850
- Tim. U. S. and R. Jolly. 1994. Evaluating agricultural nonpoint source pollution using integrated geographic information systems and hydrologic/water quality model. J.Environ. qual. 23(1):25-35

본 연구에서 사용된 다목적 실용위성 아리랑 1호 위성영상은 항공우주연구소에서 제공한 것임.