

농촌 비점원 오염 모형을 이용한 농촌 소유역 축산농가 관리기법에 관한 연구

A Study on the Farmstead Management in Small Agricultural Watershed
using AGNPS model

이 윤 아* · 김 성 준 · 장 석 길 (건국대)
Lee, Yun Ah · Kim, Seong Joon · Jang, Seok Gill

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the effect of stream quality by the farmer's livestock wastes management in a typical small agricultural watershed. AGNPS model has the capability to adjust the level of pollutant load from farmstead and the fertilization level of upland field. A small agricultural watershed(4.12 km²) which has as livestock farmhouses located in Gosan-myun, Ansong-gun was selected. AGNPS data were prepared by using Arc/info and Idrisi. 4 storm events in 1999 was used for runoff calibration, and 2 storm event which is measured in hourly-base at 4 locations along the stream were used for water quality(TN, TP) calibration. Model's behavior to stream quality for 3 cases was investigated. First, the variation of pollution produced from the cattle shed affected little to the stream quality because the cattle sheds were roofed. Second, the good management of ground in farmstead affected to stream quality with 11% and 17% decrease in TN and TP, respectively. Third, the reduction of fertilization level to upland field affected to stream quality with 27.2% and 38.5% decrease in TN and TP, respectively.

I. 서 론

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 형태

를 띠고 있는 농촌 유역에 적합한 모형이다. 특히 축산농가에서 발생하는 점원오염의 거동을 파악할 수 있어 이를 효율적으로 관리할 수 있는 방법을 평가 할 수 있다.

II. 시험유역 및 측정자료

본 연구의 대상 유역(Fig. 1)으로는 경기도 안성군 고산면(정동리, 야동리, 쌍령리)에 위치하고, 유역 면적 4.12 km² 내에 20개의 소규모 축산 농가가 산재해 있는 지역이다. 본 연구에서 모형의 보정과 검증에 위한 수질 측정은 6지점(Fig. 2)에서 수행하였고, 이 중에서 3번과 5번 지점은 지류에서 측정하였으며, 유출량은 유역의 출구 지점인 6번 지점에서 실측하였다.

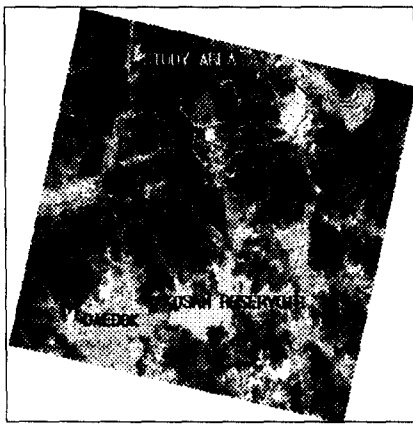


Fig. 1 Study Area

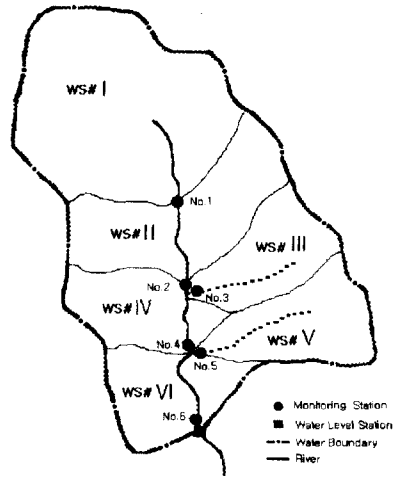


Fig. 2 Monitoring station

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 측정한 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.

III. 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. DEM(미국 Defence of Mapping Agency; DMA에서 제공한 3초간격)으로부터 방향도와 경사도를 생성하고, 토지이용도로부터 조도계수와 USLE의 C와 P인자, COD인자 등을 생성하였으며, CN은 선행함수조건을 고려하여 배수도와 토양도로부터 생성하였다. 이상의 공간자료를 ASCII 형태

로 변환 후 FORTRAN을 이용하여 모형의 입력변수의 형태에 맞게 변형시켰으며 유역매개변수 즉, 강우량, 강우침식인자, 강우 형태 등은 모형에서 직접 입력하였다. GIS 입력자료 중 흐름방향도(Fig. 3)는 유역을 나눈 각 격자가 어느 격자로 이동하는가를 추정함으로써 마지막 출구지점까지의 유출량과 오염 부하량의 흐름을 파악할 수 있다. 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 I에 해당하며, 나머지 9월 20일 자료는 AMC II에 해당한다.

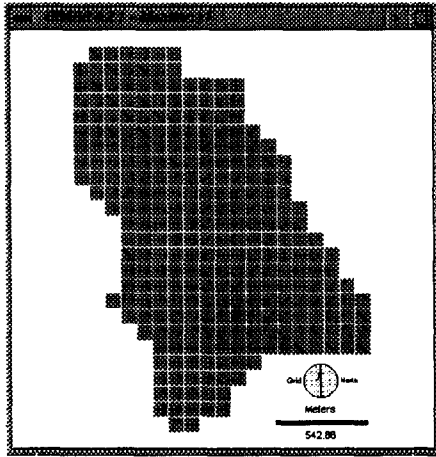


Fig. 3 Flow direction map

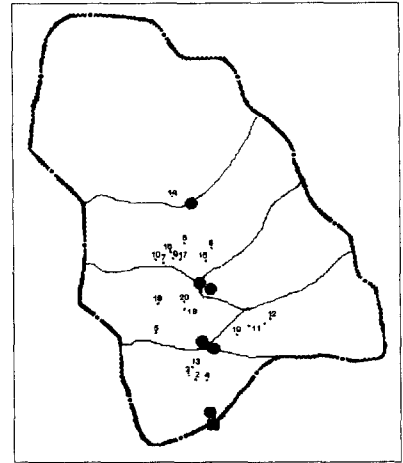


Fig. 4 Feedlot sites in the watershed

점원오염원은 축산농가를 고려하였으며 유역내 축산농가의 위치도는 Fig. 4와 같다. 점원오염원으로 입력되는 매개변수는 Nonfeedlot 및 Feedlot으로 구분되는데 본 연구에서는 Feedlot을 고려하여, 축사의 운동장을 고려한 경우와 시비수준의 변화 및 오염물질의 변화를 통해 오염원의 거동을 분석하였다.

2. 모형의 보정 및 검증

본 연구에서는 모형의 매개변수를 변화시키면서 도식적 일치(eye fitting), 상관계수 및 결정계수 등의 값이 만족할 만한 결과를 얻을 때까지 모형을 반복 실행하여 최적의 매개변수를 결정하는 단 순시행착오법을 이용하였다. 모형의 보정은 유출관련 매개변수, 오염물질관련 매개변수의 순서로 하였다. 총유출량의 경우 보정시 가장 민감도가 큰 매개변수는 CN 값으로 나타났다. 보정에 사용된 강우자료는 1999년 7월 29일 자료로 5일 선행강우량이 14mm인 AMC I 조건의 강우사상이다. AMC I 조건으로 고려한 결과 본 유역의 특성상 산림이 78%로 대부분의 CN값이 80으로 나타나 전체적으로 높은 값을 보였다. 이때의 실측 자료는 No. 6 지점에서만 측정되었으므로 이 지점과 일치하는 셀에서의 유출값과 비교하였고, 그 결과 출구 지점의 총유출량은 60.9mm로 실측값인 56.9mm와 비교적 잘 일치하는 경향을 보였다. 나머지 3개의 강우사상에 대하여 검증한 결과는 Table 4와 같다. 실측치보다 모의 발생치가 더 큰 경향을 나타냈으나 대체로 양호한 결과를 보였다.

Table 1. Comparing simulated runoff results with observed data

| 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 나타났으며, 밭 시비수준의 변화에 따른 TN과 TP의 예민도 분석 결과는 Fig. 5 와 같다. 모형의 보정 및 검증결과는 Table 2 와 같다. 표에서와 같이 유출이 적게 일어나는 99/05/18 의 경우는 오염물질의 농도가 높고, 유출이 크게 발생한 99/07/29 은 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 해석시 발생하는 오차와 더불어 강우시 각 축산농가별로 실제로 배출되는 오염물질의 불확실성에 기인하는 것으로 판단된다.

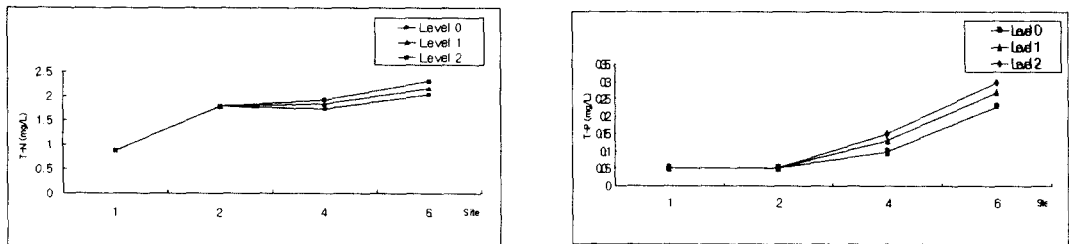


Fig. 5 Sensitivity of TN and TP by fertilization level

Table 2. Comparison of observed and simulated TN, TP (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 |

IV. 모형의 응용

축산농가에서 배출되는 점원오염이 시험구역에 미치는 영향을 알아보기 위해 기존의 축산농가에서 배출되는 점원오염을 고려하지 않을 경우의 결과는 Fig. 7, Fig. 8과 같다. 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 구역의 수질에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 따라서 축산농가에서의 여러 시나리오에 따른 결과를 살펴봄으로써 축산농가 관리기법을 알고자 한다.

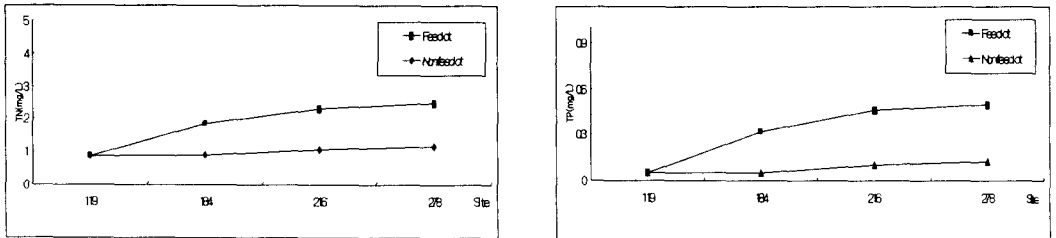


Fig. 6 Sensitivity of TN and TP by the existent and the non-existent of Feedlot

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

오염물질의 경우 Table 3과 같이 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 구역의 하천수질 개선에 비교적 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

Table 3. Variation of TN and TP by changing CN in Feedlot (Unit :mg/L)

| Site | Farmstead | | Pasture | | Feedlot number |
|---------|-----------|------|---------|------|------------------------------|
| | TN | TP | TN | TP | |
| 1 | 0.88 | 0.05 | 0.88 | 0.05 | 14 |
| 2 | 1.77 | 0.34 | 1.64 | 0.30 | 6, 7, 8, 9, 10 15, 16, 17 |
| 4 | 2.10 | 0.45 | 1.92 | 0.39 | 5, 18, 20 |
| 6 | 2.13 | 0.46 | 1.94 | 0.40 | 2, 3, 4, 13 |
| Average | 1.72 | 0.33 | 1.60 | 0.29 | |

2. 축사의 운동장에서 발생되는 오염물질을 감소시킬 경우에 하천 유달률의 변화

축사의 운동장 면적에 따른 질소와 인의 변화(Table 4)를 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 구역의 하천수질에 가장 영향을 주는 것으로 판단된다.

Table 4. Variation of TN and TP by ground existence (unit :mg/L)

| Station | Ground | | No ground | |
|---------|--------|------|-----------|------|
| | TN | TP | TN | TP |
| 1 | 0.88 | 0.05 | 0.88 | 0.05 |
| 2 | 1.73 | 0.32 | 1.62 | 0.29 |
| 4 | 2.03 | 0.43 | 1.88 | 0.38 |
| 6 | 2.02 | 0.43 | 1.87 | 0.37 |
| Average | 1.67 | 0.31 | 1.56 | 0.27 |

3. 시비수준을 변화시킬 경우에 하천 유달물의 변화

축산지역에서 발생하는 가축분뇨등을 밭에 환원하여 사용할 경우 시비하는 수준에 따른 TN, TP의 하천 유달물의 변화를 파악하기 위하여, 현재 상태인 Level 2(TN 100mg/L, TP 40mg/L)에서 Level(TN 50mg/L, TP 20mg/L), Level 0(TN 0mg/L, TP 0mg/L)으로 시비수준을 감소시켰을 경우의 하천 지점별 TN, TP의 변화량은 Table. 5 와 같다. 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.

Table 5. Change of TN and TP by fertilization decreas (Unit :mg/L)

| | 99/07/29 | | | | | | 99/05/18 | | | | | |
|---------|----------|------|---------|------|---------|------|----------|------|---------|------|---------|------|
| | Level 2 | | Level 1 | | Level 0 | | Level 2 | | Level 1 | | Level 0 | |
| | TN | TP | TN | TP | TN | TP | TN | TP | TN | TP | TN | TP |
| 1 | 0.88 | 0.05 | 0.88 | 0.05 | 0.88 | 0.05 | 1.19 | 0.05 | 1.19 | 0.05 | 1.19 | 0.05 |
| 2 | 1.64 | 0.30 | 1.64 | 0.30 | 1.64 | 0.30 | 3.73 | 0.87 | 3.73 | 0.87 | 3.73 | 0.87 |
| 4 | 2.10 | 0.44 | 2.01 | 0.42 | 1.92 | 0.39 | 5.60 | 1.36 | 4.98 | 1.22 | 4.36 | 1.09 |
| 6 | 2.20 | 0.47 | 2.07 | 0.43 | 1.94 | 0.40 | 6.06 | 1.45 | 5.17 | 1.26 | 4.28 | 1.07 |
| Average | 1.71 | 0.32 | 1.65 | 0.3 | 1.60 | 0.29 | 4.15 | 0.93 | 3.77 | 0.85 | 3.39 | 0.77 |

V. 요약 및 결론

1. 유역 유출량의 경우는 보정시 CN값이 유출량에 가장 민감한 것으로 나타났고, 총질소와 총인인 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 측사에서 발생하는 오염물질을 TN 100mg/L, TP 10mg/L에서 50%씩 감소시킬 경우에 하천 유달률은 큰 변화를 나타내지 않았고 현재의 측산지역의 출구지점에 초지를 조성하여 완충지를 만들었을 경우 인과 질소가 각각 13%, 9%씩 감소하였다. 측사에서 운동장 면적을 현재의 3,369m²에서 운동장이 없는 상태로 가정하여 줄일 경우 인과 질소가 각각 14%와 8%씩 감소하여 하천수질에 비교적 영향을 미치는 것은 측산농가의 형태와 운동장에서 발생하는 오염물질로 나타났다.

4. 전체 실험유역에 대한 비점원 오염의 경우는 밭에서의 시비수준을 현재 수준인 TN 100mg/L, TP 40mg/L에서 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

1. 김진수. 1997. AGNPS 모형에 의한 농업비점원오염 해석에 관한 최근의 연구동향. 농업환경 과학 연구의 최근동향-1997년도 NICEM 해외교육훈련 결과 SYMPOSIUM. 127-135
2. 김진택. 1995. 농업비점원 오염모형을 위한 지리정보시스템 호환모형의 개발 및 적용. 서울대학교 박사학위논문.
3. 조재필. 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염 모형의 적용. 서울대학교 석사학위논문.
4. ESRI. 1992. PC ARC/INFO Ver. 3.4.2. Redlands, CA.
5. Eastman, J. R. 1997. IDRISI for Windows-User's Guide Ver 2.0. Clark University, Worcester, MA.
6. U.S. Army CERL. 1993. GRASS 4.1 Users Manual. Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL.
7. Mitchell. J. K. 1993. Validation of AGNPS for small watersheds using intergrated AGNPS/GIS system. Water resources bulletin. 29(5): 833-850
8. 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