

# 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모형의 적용 Applications of AGNPS model with rural watersheds having complex land use characteristics

조 재 필 (서울대) · 박 승 우 (서울대) · 강 문 성\* (서울대)  
Cho, Jae Phil · Park, Seung Woo · Kang, Moon Seong

## Abstract

GRASS-AGNPS model integrated with GIS was applied to rural watersheds having complex land use characteristics and evaluated for its applicability through calibration using observed data.

The analyses of raster encoding accuracy and model behavior to runoff, sediment yields and nutrient loads for different cell-size showed that 150 m cell size indicated reasonable applicability of the model.

Simulated runoff was in a good agreement with the observed data and simulated peak runoff rate was larger than the observed data. The sediment yield simulated by modified AGNPS model using irregular cell for forest area were less than that of the regular cell method. In predicting sediment yields, the result showed a different trend at each representative rural watershed. Nutrient loads simulated by the model were significantly different from the observed data.

## I. 서론

본 연구에서는 GRASS-AGNPS모형을 이용하여 균일한 크기의 정사각형 격자를 사용하여 AGNPS모형을 적용할 경우 격자크기에 따른 모형의 거동을 살펴보고, 시험유역의 복합 토지이용 특성에 맞는 격자크기를 결정하고, 논 및 산림의 특성을 고려하여 적절한 CN 및 AMC의 선정을 통해 유출을 모의발생하며, 산지에서 유사량 및 영양물질의 부하량이 과다하게 산정되는 점을 고려하여 산림지역을 비정형화된 격자망을 이용하여 총괄적으로 처리하였을 경우의 결과를 분석하여 국내 실정에 맞는 모형의 적용방법을 제시하고, 영양물질의 경우는 많은 부하량을 차지하는 생활 및 축산폐수를 고려하여 모형을 적용하고자 한다.

## II. 연구방법

### 2.1 AGNPS 모형

AGNPS 모형은 미국 농무성의 농업연구소(Agricultural Research Service)와 미네소타 환경보전국 (Minesota Pollution Control Agency) 및 토양보전국(Soil Conservation Service)에서 통일된 방법으로, 농업유역의 비점오염의 발생원의 파악과 이의 억제를 위한 BMP를 적용하기 위한 목적으로 수 acre에서 50,000 acre(200 km<sup>2</sup>)정도 크기의 농업용 유역에서 발생하는 폭우사상에 대한 유출과 침투유량, 토양유실, 총질소, 총인, 화학적 산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 등을 추정하기 위하여 개발하였다.

### 2.2 GRASS-AGNPS 호환모형

GIS-AGNPS호환 모형은 손쉬운 입력데이터 생성 및 모의발생 결과의 시각적 출력을 위해 서 ARC/INFO, GRASS, VirGIS 등 다양한 GIS환경하에서 개발되어 활용되고 있다.

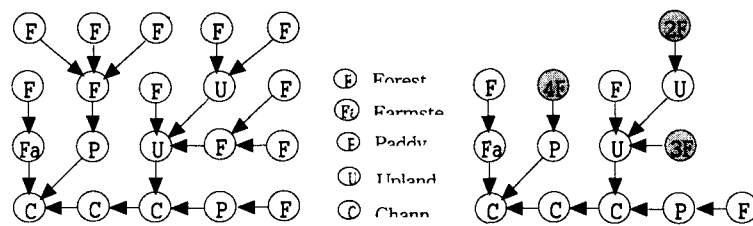
1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

본 연구에서는 지리정보시스템의 하나인 GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)환경에서 개발된 GRASS-AGNPS호환 모형을 사용하였다. 본 연구에 사용한 GRASS-AGNPS호환모형은 WATERSHEDSS GRASS-AGNPS MODELING TOOL Version 1.1 (D. E. Line 및 M. A. Foster, 1996)로서 입력자료 생성부분의 경우 R. Srinivasan 및 B. A. Engel (1994)에 의해 개발된 것을 AGNPS 5.0 version에 맞게 수정 및 기타 기능들을 추가시켜 향상시킨 GIS호환 모형이다.

### 2.3 수정 AGNPS모형

수정 AGNPS모형은 산림지역이 농촌유역의 배후지로서 유사 및 영양물질 부하량이 과도하게 추정되는 점을 고려하여 산지지역을 기존의 정사각형 격자에서 비정형의 총괄격자로 처리하여 적용할 수 있도록 수정한 모형이다.

비정형 총괄 격자로의 처리는 (그림1)과 같이 여러 개의 정사각형 산림 격자를 통합된 면적 및 평균 입력변수를 갖는 하나의 노드(node)로 대신하는 것으로서, 산지의 유사량의 감소뿐만 아니라 모형을 단순화 시켜 계산시간의 단축효과도 기대할 수 있다.



(그림1) 사각형 격자와 비정형격자의 적용 모식도 (예)

## III. 결과 및 고찰

### 3.1 시험유역 및 자료

#### 3.1.1 대상지구

시험유역은 모형의 보정을 위해서는 서울대학교 농공학과에서 운영하고 있는 발안 유역의 HS#3을 설정하였고, 검증은 반월 유역의 WS#1에 적용하였다. 유역 특성은 Table 4.1에서와 같이 논 및 산림이 각각 HS#3의 경우 49.7%와 38.1%, WS#1에서는 41.0% 및 28.6%로 유역의 대부분을 차지하고 있다.

#### 3.1.2 수문자료

HS#3 유역에서의 수문자료는 자기수위계를 이용하여 수위를 측정하고, 유속측정과 횡단면 측량을 실시하여 수위-유량관계식을 구성하고, 이로부터 유량을 산정하였다. 직접유출량 분리는 경사급변점법(傾斜急變點法)을 사용하였다.

#### 3.1.3 수질자료

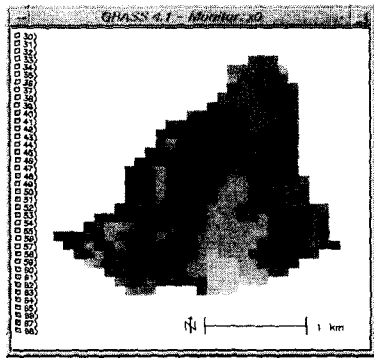
수질 표본의 채취는 강우시 1회 1l 용기를 이용하여 수작업으로 시료를 채취하였으며, 실험실에 운반 후 즉시 냉장상태로 보관한 다음 수질 분석을 실시하였다. pH, 수온 등은 현장에서 측정하였으며, 수질 표본의 분석은 SS는 수질공정시험법의 Filter법을, T-N은 Kjeldahl method, T-P는 흡광도를 측정하는 Ascorbic acid reduction method를 사용하여 수질 표본으로부터 실험실에서 정량분석을 실시하였다.

#### 3.1.4 도형자료

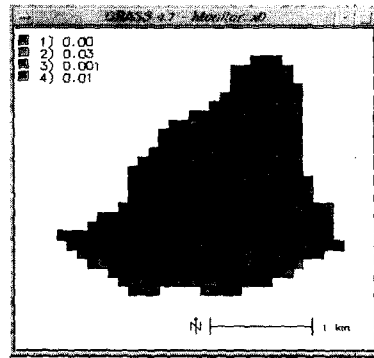
GIS 데이터는 1/25,000 지형도와 1/25,000 정밀토양도를 이용해 구축하였다. GRASS는 래스

터 위주의 시스템으로 래스터 자료를 생성하기 위해서는 기본이 되는 벡터자료를 생성해야 하며, 지형도로부터 등고선도, 하천도 및 토지이용도를, 정밀도양도로부터는 토양도를 트레이싱, 스캐닝, 벡터라이징 및 위상(topology)형성 등의 과정을 통하여 4개의 기본도를 생성한후 이를 격자크기별로 래스터화하여 사용하였다.

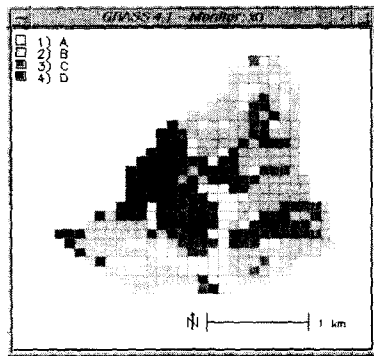
Land use 데이터는 분류방법에 따라서 분류항목의 다양성, 정확성 등이 달라질수 있으며 각각의 방법은 장단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 1/25,000 지형도로부터 트레이싱하여 구하였으며, 논, 밭, 산림, 주거지, 물의 5개로 분류하였다. (그림2)~(그림5)는 GIS자료구축의 예를 보여주고 있다.



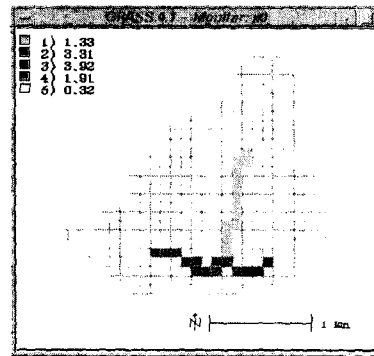
(그림2) 수치고도모델 (HS#3)



(그림3) 작물경작인자도 (HS#3)



(그림4) 수문학적 토양군도 (HS#3)



(그림5) 평균하천경사도 (HS#3)

### 3.2 모형의 보정

#### 3.2.1 격자크기에 따른 영향 분석

격자 크기를 결정하는 것은 raster형 자료를 사용할 때 가장 중요한 문제이다. 본 연구에서는 구축된 벡터자료가 래스터화 되는 과정에서의 정확도와 격자크기에 따른 AGNPS모형의 거동 특성을 살펴 보았다.

##### 3.2.1.1 격자크기에 따른 도형자료의 정확도 분석

면적은 비슷하더라도 벡터 자료를 래스터화 하는데는 데이터의 손실이 발생할 수 있는데 이러한 점을 고려하기 위하여 원격탐사에서 분류정확도를 나타내기 위해 사용되는 Error matrix를 사용하였다.

분석을 위해 벡터 데이터로 구축된 토양도 및 토지이용도를 5m, 10m, 25m, 50m, 75m,

100m, 200m의 격자크기로 GRASS명령어를 이용해 래스터화 하였다. 여기서 5m크기의 데이터를 벡터의 100% 정확도라 가정하고 10m, 25m, 50m, 75m, 100m, 200m의 래스터화된 자료를 5m 크기로 다시 잘라내어 100%로 가정한 5m 데이터와 격자별로 1 : 1 대응이 되도록하여 정확도를 계산했다.

### 3.2.1.2 격자크기에 따른 모형의 거동 특성

격자크기에 따른 모형의 거동 특성을 분석한 결과, 유출량의 경우 200m까지 비슷한 경향을 보이다가 250m에서 감소한 후 350m에서 최대값을 보였으며, 400m에서 다시 감소하였다. 모형에서 유출량은 유출곡선번호 (CN)와 관련이 있는데, 350 m의 격자크기에서 유역 평균 CN이 74.94로서 이때 유출량이 가장 크게 나타났다. 또한 격자크기가 증가함에 따라서 200m 까지는 CN값이 비슷한 결과를 보이지만 250m이상에서는 CN값의 변화가 심함을 알 수 있는데 이는 250m 이상에서는 래스터화 과정에서의 오차가 CN값에 직접적인 영향을 미치며, 일관된 모형 적용을 위해서는 200m 이하의 격자크기가 적절하리라 생각된다.

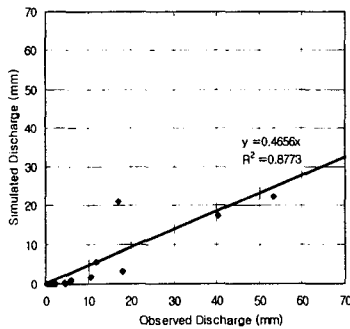
침투유량은 격자 크기가 증가함에 따라서 감소하는 경향을 보였으며 하천을 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 다소 크게 나타났다.

유사량은 격자 크기가 증가함에 따라 150m까지 감소하다가 200m에서 증가한후 다시 감소하여 400m에서 다시 증가하였다. 격자크기에 따라 유사량의 감소현상은 작은 강우에서는 미미한 경향을 보였다. 따라서 본 연구의 시험유역의 경우에는 100m 이하의 격자크기를 적용하는 것이 타당하리라 생각된다.

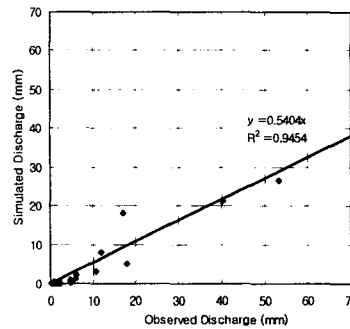
## 3.3 모형의 적용

### 3.3.1 유출량 및 침투유량

각각의 강우사상에 대하여 기존의 AMC 설정기준인 35.56mm와 53.34mm를 적용한 결과, 전체 강우사상에 대한 유출량의 모의발생치의 평균은 5.46mm로 실측치의 평균인 12.94mm에 비하여 작은 값을 보였고,  $R^2$ 은 0.8773의 값을 보였으며, 유출량의 모의발생치와 실측치의 비교는 (그림6)과 같다.



(그림6) 유출량 비교 (일반적 조건)

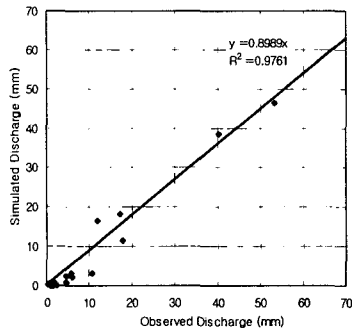


(그림7) 유출량 비교 (논의 AMC보정)

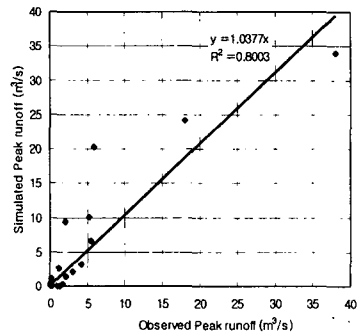
논의 담수상태를 고려하여 5일 선행강우에 의한 AMC가 I 또는 II의 경우에 논의 AMC를 II조건으로 적용하였고, III 조건에서는 동일하게 III조건으로 적용하였으며, 각각의 조건에서의  $CN_I$ ,  $CN_{II}$ ,  $CN_{III}$ 의 값으로는 69, 78, 88을 각각 사용하여 적용하였으며, 그 결과는 (그림7)과 같다. 논에서의 AMC를 보정하여 적용한 결과, 평균은 6.31mm였고,  $R^2$ 은 0.9454로 나타났다.

AMC의 설정기준을 11mm로 하여 적용한 결과, 평균은 10.79mm로서 실측치 평균인 12.94와 비슷한 결과를 보였으며, RMSE는 3.56mm,  $R^2$ 은 0.9761의 값을 보였으며, 비교한 결과는 (그림8)과 같다.

앞에서와 같이 논에서 생육시기별 담수심 및 물고높이를 고려하여 AMC 조건을 달리하고, 기존의 AMC I과 II의 기준인 35.56 mm을 11 mm로 조정하여 적용한 결과 실측치와 가장 잘 일치하였으며, 이때 침투유량은 (그림9)에서와 같으며, 모의 발생치가 실측치에 비하여 작은 경향을 보였다.



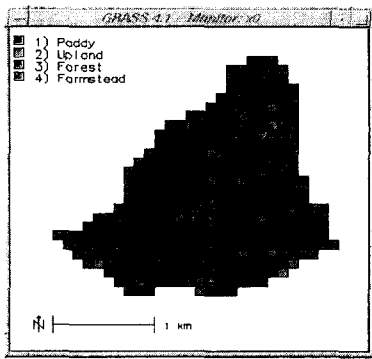
(그림8) 유출량 비교 (논과 AMC 기준 보정)



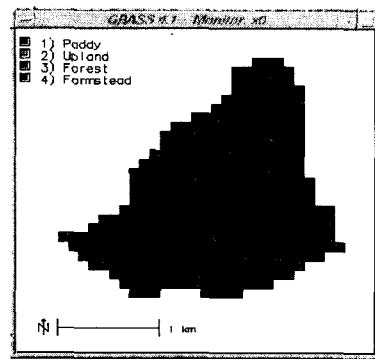
(그림9) 침투유량 비교

### 3.3.2 유사량

유사량은 균일한 사각형 격자를 사용할 경우 산림지역에서의 유사량이 과도하게 추정될 수 있다는 점을 고려하여 산지를 비정형의 총괄격자망으로 처리한 수정 AGNPS모형을 적용하였다. (그림10)은 정사각형 격자에 의한 HS#3 구역의 적용 예이며, (그림11)은 산림지역을 비정형 총괄격자로 처리한 적용 예이다.

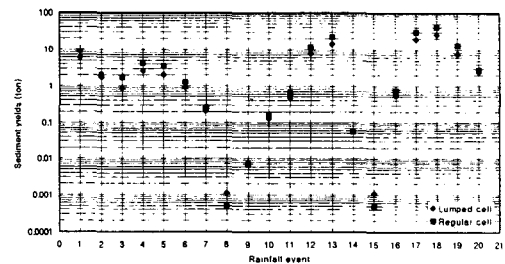


(그림10) 정사각형 격자 예 (HS#3)



(그림11) 비정형 총괄격자 (HS#3)

강우사상에 대해 정사각형 격자와 비정형 총괄격자로 처리하여 적용한 유사량의 변화를 도기한 결과는 (그림12)와 같았다. 비정형 총괄격자로 처리한 경우 유사량의 평균은 7.07ton에서 4.62ton으로 감소하였으나 유출량은 10.79mm에서 12.16mm로 증가하였다.

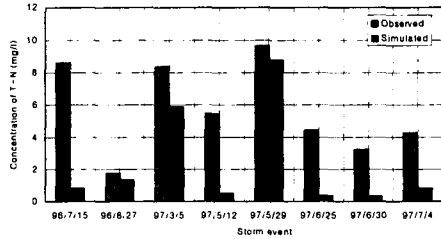


(그림12) 정사각형격자 및 비정형 총괄격자에 의한 유사량 비교

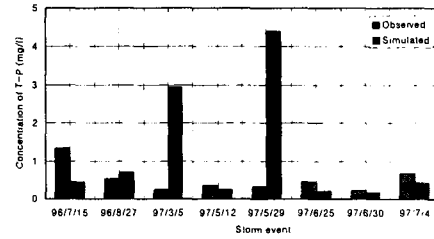
### 3.3.3 영양물질

영양물질과 관련하여 주거지에서 생활오수 및 축산폐수를 점원오염으로 입력하여 적용하였다. (그림13)에서와 같이, 총질소의 경우는 모의발생치가 실측치보다 항상 작은 값을 나타냈으며, 강우량이 비교적 작은 강우사상에 대해서 실측치와 유사한 값을 보였다.

총인의 경우, (그림14)에 나타난 바와 같이 강우량이 많지 않은 강우에 대해서 모의발생치가 실측치에 비해서 현저히 큰 값을 보였다.



(그림13) 총질소 실측치와 모의발생치



(그림14) 총인 실측치와 모의발생치

## IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌지역의 토지이용 특성을 고려하여 비점원모형인 AGNPS모형을 적용하여 유출량, 유사량, 영양물질에 대한 모의를 실시하였고 실측치와 비교를 통하여 모형을 보정하여 결과를 고찰하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. AGNPS모형의 입력자료 생성을 위해 GRASS-AGNPS모형을 이용하였고, GRASS를 이용하여 지역의 토지이용, 지형 및 토양과 관련된 도형자료를 구축하였다.
2. 구축된 도형자료를 이용하여 발안의 HS#3 지역에 격자크기 및 토지이용 특성을 고려하여 모형을 적용하였다.
3. 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400m의 격자 크기에 따라 모형을 적용한 결과 유출량의 경우는 변화가 거의 없으나, 유사량에 있어서는 전체적으로 감소하는 추세를 보였고, 200m 이상의 격자크기에서는 래스터화 정확도 및 유출경로에 따라서 많은 차이를 보였다.
4. 논에서 담수조건을 고려하여 AMC를 조정하여 적용하였고, 기존의 AMC I과 II의 구분기준인 35.56mm를 11mm로 조정하여 적용한 결과 유출량에 있어 실측치와 비슷한 결과를 보였다.
5. 유사량과 관련하여 산림지역을 비정형의 총괄형 격자로 처리하여 모형을 적용한 결과 유출량 및 침투유량은 증가하였고 유사량은 감소하는 결과를 보였다.
6. 영양물질의 모의 발생을 위해서 논 및 밭에서의 시비수준을 0로 하여 적용하는 대신에 주거지에서 생활하수 및 가축분뇨를 점원으로 처리하여 적용한 결과 모의 발생치가 실측치보다 큰 경향을 보였다.

## 참고 문헌

1. Mitchell J. K., B. A. Engel, R. Srinivasan, and S. S. Y. Wang, 1993. Validation of AGNPS for small watersheds using an integrated AGNPS/GIS system, W. R. B., 29 (5) : 833-842.
2. Young R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson, 1989. AGNPS : A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds, J. of Soil and Water Conservation, 44 (2) : 168-173.