

임야지에서 강우사상시 질소거동 모의에 관한 연구

Simulation of Nitrogen Movement in the Rainfall Event at an Upland Agricultural Watershed

김 상 현* / 김 건 목**
Kim, Sanghyun / Kim, Geon Mog

Abstract

The propagation patterns of nitrogen during rainfall events are unsteady and heterogeneous due to the characteristics of generation and transport mechanisms. A simulation of non point source pollution was performed using GRASS-AGNPS to examine efficient management methods for diffusive pollution. Digital Elevation Model(DEM) was prepared to estimate the impact of topography on the transport pattern of diffusive pollutant. Hanjaechón watershed on the Kyungbook province was selected as a study area. Water quality samples were collected and analyzed for the calibration of the model. A heuristic approach was employed to improve the model performance. The model could successfully produce spatial distributions of nitrogen. The constructed map-layers may help to decision makers to determine the best management practices.

keywords : GRASS, AGNPS, DEM, Nitrogen

요 지

강우유출시 발생하는 질소는 그 발생특성과 천이기자의 비정상성과 공간적 불균일성이 극심하다. 분산형 질소의 효율적인 관리를 위해서 GRASS-AGNPS 호환모형을 사용해서 비점오염 현상을 모의했다. 오염물의 거동에 대한 지형의 영향을 추정하기 위해 수치표고도를 구축하였다. 대상유역은 경북 정도군 정도읍의 한재천 유역으로 선정되었다. 모형 보정을 위한 수질자료는 강우시 유역내 15개 지점으로부터 시료를 채취하여 실험실에서 분석하였다. 모형 보정방법은 시행착오법을 사용하였다. 모형의 수행을 통해 질소성분 비점오염물의 공간적인 분포를 나타내는 수치도를 확보할 수 있었다. 생성된 수치도는 유역의 최적 관리 대책을 위한 의사결정 과정에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어 : GRASS, AGNPS, 수치표고도, 질소거동

* 부산대학교 환경공학과 조교수

Assistant Professor, Dept. of Environmental Eng., Pusan National Univ., Pusan 609 735, Korea
(E-mail:kimsangh@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

** 부산대학교 환경공학과 석사 졸업

Former Graduate Student, Dept. of Environmental Eng., Pusan National Univ., Pusan 609 735, Korea

1. 서론

하천 수질 오염의 주요 요인 중 하나로 부각되고 있는 비점 오염원은 농경활동에 수반되는 비료나 농약 등이 강우유출시 하천으로 유입되는 농업용 비점 오염이 대표적이다. 점오염원의 경우와는 달리 처리를 통한 수질 개선이 곤란하므로, 보다 효율적인 비점 오염원의 관리를 위해서는 비점원오염의 발생과 확산을 최소화할 수 있는 유역관리대책의 수립이 필요하다.

Agricultural Nonpoint Source (AGNPS) 모형은 미국 농무성의 농업연구소와 미네소타 환경보전국 및 토양 보전국에서 농업유역으로부터 발생하는 폭우사상에 대한 유출과 침투유량, 유사량, 총질소, 총인, COD등을 추정하기 위해서 공동 개발한 분포형·폭우사상 모형이다(Young 등, 1985; Young 등 1987; 김진택, 1995; 조재필 1998). AGNPS 모형은 용이한 입력자료의 생성과 모의 결과의 시각적 도시로 인해서 ARC/INFO, GRASS, VirGIS 등 다양한 GIS 상에서 구현되어 활용되고 있다(김진택, 1995; 조재필 1998). 대부분의 분포형 모형들이 그렇듯이 많은 매개변수를 고려하기 때문에 입력자료 구축에 시간이 많이 소모된다. 그러나 일반적으로 GIS-AGNPS모형은 다른 분포형 모형들과 상대적으로 비교했을 때 시간이 단축된다고 알려져 있다(Smith 와 Williams, 1980). 이 모형이 많이 사용되고 있는 이유중의 하나는 공간적으로 변하는 자료를 수집, 관리, 저장하는 도구인 GIS의 장점을 최대한 활용할 수 있다는 것이다. 또한 자원계획에 자동화된 접근 방법의 사용이 증가되는 가장 강한 이유 중의 한가지는 문제점이나 시나리오 혹은 가정들을 신속하고 손쉽게 바꿀 수 있다는 것이다. 짧은 시간 내에 GIS의 지도중첩과 논리연산자와 같은 간단한 분석도구를 사용해서 복잡한 분석이 수행될 수 있다. 그리고 도식적인 결과, 분석물을 출력하므로 비점 오염원의 추정과 그 억제대책 마련에 용이하다.

AGNPS는 CREAMS 모형을 바탕으로 평균 지형경사도가 5 % 미만인 미국 중서부 지역을 대상으로 개발된 모형으로 이 모형의 국내적용을 위해서는 산지가 대부분인 국내 지형 및 토지이용정보, 토양정보, 수질자료가 미흡한 실정으로 이에 대한 연구가 필요하다. 산지가 60 %이상을 차지하고 있는 국내의 토양특성에 관한 정보와 논, 밭, 과수원의 인공시비의 양을 고려하여 영양염류의 입력자료를 구성해야한다. 산지의 경사에 따른 유사량을 정확히 추정해야하므로 토양특성에 관한 정밀한

정보를 필요로 한다. 한편 온화한 산지유역에서의 질소 거동에 관한 연구는 지형과의 밀접한 연관성을 시사하고 있다(Creed and Band, 1998). 따라서 본 연구의 목적은 경북 청도군 청도읍 청도천의 한 지류인 한재천의 복합토지이용 특성을 고려한 AGNPS-GRASS 모형의 보정 및 검증을 실시하여 AGNPS의 국내 입자에 대한 적용성을 질소거동을 추정함으로써 검증하는데 있다.

2. 모형의 개요

2.1 AGNPS 모형

AGNPS 모형은 전체면적이 수 km^2 에서 300 km^2 에 달하는 농업지역이 있는 유역에서 강우사상에 대한 유출량, 침투유량, 유사량, 총질소량, 총인량, COD부하량을 추정한다(Young 등, 1985). 질소, 인, COD부하량은 농도 및 질량의 단위로 표현되며, 유사에 흡착된 양과 용존량으로 분류해서 추정한다. AGNPS는 전 유역에 대한 추정량과 유역내에서 사용자가 선택한 영역에 대한 추정량도 모의가 가능하다. 유출량, 유사량, 영양염류의 양은 상류에서 하류 출구지점까지 격자(cell) 단위로 단계적으로 추적된다. 모든 유역특성은 격자기준으로 추정되고 설명된다.

모형은 지표면 유출량, 침투유량, 경사지 토양유실량, 유사량, 영양염류이송량 추정과 같은 다섯 가지 공정을 기반으로 한다. 지표면 유출량은 강우사상에 대해 SCS 곡선 지수법, 침투유량은 Smith 등이 개발한 CREAMS모형의 침투유량 계산식과 TR-55방법으로, 경사지 토양 유실량은 수정된 범용 토양 유실 방정식(RULSE)으로, 유사량은 Foster 등에 의한 정상상태 연속 방정식, 영양염류이송량은 CREAMS 모형과 Young 등에 의해 개발된 측사 평가 모형에 적용된 방정식을 사용한다(Young 등 1987; Srinivasan, 1992; Foster, 1982). 각 공정의 모의시 유사량은 점토, 미사, 잔골재, 모래, 굵은 골재와 같이 입경 크기로 분류해서 계산된다. 영양염류이송량은 용존량과 유사흡착량으로 구분된다.

2.2 모형의 구조 및 입출력변수

본 연구에서는 GIS tool 중 GRASS(Geographic Resources Analysis Support System)에서 개발된 GRASS-AGNPS 호환모형을 사용하였다. 모형은 입력변수를 생성하는 입력 보조 장치, 입력자료를 계산해서 수치로 출력하는 출력 보조 장치, 출력된 자료를 시각화해서 도시하는 시각화 장치로 구성되어 있다. 모형

은 격자기반으로 모의하므로 지배방정식들은 각 격자들에 적용된다. 모형은 유출량과 유사량, 영양염류이송량을 이러한 격자들을 통해서 추적하므로 각 격자는 상위 격자들의 공정에 의해 영향을 받는다. AGNPS모형의 실행을 위해서는 5개의 총체적 모형 입력 매개변수와 Table 1과 같이 22개의 분포형 모형 입력 매개변수로 구분해서 입력하도록 구성되어있다. 총괄형 모형 입력 매개변수는 유역을 식별할 수 있는 이름, 격자 면적, 강우량, 범용 토양 유실 방정식의 강우에너지 계수(EI-index)이며, 분포형 모형 매개변수는 수문학적 특성변수, 토양 침식에 관한 변수, 화학물질에 관한 정보와 같이 세부분으로 나눌 수 있다. 이러한 입력 매개변

수들은 수치고도자료(DEM), 토양도, 토지이용도로부터 도출된 18개의 수치도를 입력보조 장치를 사용해서 모형을 실행하기 위한 입력 매개변수를 생성하도록 구성되어 있다.

모형은 출력 보조 장치, 시각화 장치를 사용해서 유출량, 유사량, 화학물질량을 수치도로 유역출구에서는 ASCII 형식의 값으로 나타내고 각 격자에서의 모형의 결과는 공간적인 분포특성을 나타내는 수치도로 출력되도록 구성되어 있다. 모형의 출력 매개변수는 Table 2에 제시되어 있다.

Table 1. AGNPS cell input parameters

| |
|--|
| 1. Cell number |
| 2. Number of cell into which it drains |
| 3. SCS curve number |
| 4. Average slope % |
| 5. Slope shape factor |
| 6. Average field slope length |
| 7. Average channel slope |
| 8. Slope length factor |
| 9. Manning's roughness coefficient for channel |
| 10. Soil erodibility factor (K) from USLE |
| 11. Cropping factor (P) from USLE |
| 12. Practice factor (P) from USLE |
| 13. Surface condition constant (based on land use) |
| 14. Aspect (one of directions indicating drainage from cell) |
| 15. Soil texture(sand, silt, clay, peat) |
| 16. Fertilization level(zero, low, medium, high) |
| 17. Incorporation factor(% fertilizer left in top 1cm of soil) |
| 18. Point source indicator(indicates existence of a point source input within a cell) |
| 19. Gully source level(estimate of amount, tons, or gully erosion in a cell) |
| 20. Chemical oxygen demand factor |
| 21. Impoundment factor(indicating presence of an impoundment terrace system within the cell) |
| 22. Chemical indicator(indicating existence of a defined channel within a cell) |

Table 2. AGNPS output parameters at the watershed outlet or any cell

| Hydrology output | Runoff volume(inches) | |
|------------------|-------------------------|--|
| Sediment output | Sediment yield(tons) | |
| | Cell erosion(tons/acre) | |
| Chemical output | Nitrogen | Sediment-attached nitrogen(lbs/acre) Total soluble nitrogen(lbs/acre) |
| | Phosphorous | Sediment-attached phosphorous(lbs/acre) Total soluble phosphorous(lbs/acre) |
| | COD | Sediment-attached COD(lbs/acre) Total soluble COD(lbs/acre) |
| | Pesticide | Pesticide in sediment(lbs/acre) Pesticide in runoff(lbs/acre) Pesticide percolation within cell(lbs/acre) Pesticide yields at outlet cell |

3. 모형의 적용

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역은 행정구역으로는 경북 청도읍 청도읍에 위치해 있으며, 북서쪽으로는 남산(해발 830 m), 서쪽으로는 화악산(해발 931.5 m), 남쪽으로는 철마산(해발 627.3 m)으로 둘러싸인 청도천의 한 지류인 한재천 유역을 선정하였다. 본 유역의 면적과 유로연장은 각각 18.6 km², 7.965 km이며, 평균경사는 21.6 %이다. 산악지형이기 때문에 타지역에 비해 산업화, 도시화에 따른 지형의 변동이 거의 없는 지역이다. Fig. 1은 대상유역을 도시한 것이며, 실선으로 표시된 인쪽부분이 본 연구의 대상유역에 해당되며, S1과 S2는 두 지류구간 S3는 합류부에서 유역 출구까지의 구간이며 ○로 표시된 곳은 유역의 수질시료 채취지점을 표시한 것이다.

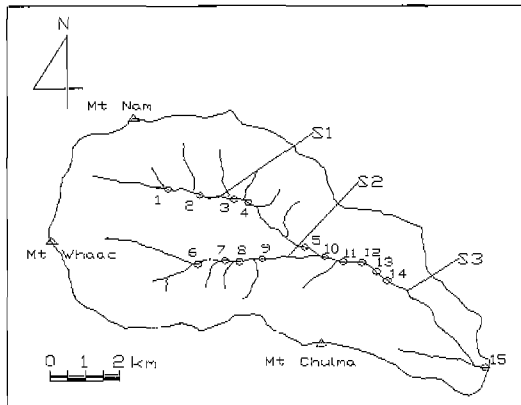


Fig. 1. The boundary, channel, water sample's site of watershed.

3.2 입력자료 구축

3.2.1 강우자료

강우에 관한 모형의 입력변수로는 강우량, 강우침식인자(Rainfall Erosivity Factor), 강우지속기간, 강우형태 등이 있으며, 본 유역의 강우량 및 강우침식인자는 유역에서 약 10 km 정도 떨어진 수자원공사의 청도 TM 우량 관측소의 시간우량자료를 이용하였다. 강우 침식인자의 경우 일반적으로 30분 최대 강우강도를 이용하는데 본 유역의 경우 자료수집의 어려움으로 인해 1시간 간격의 자료를 이용하였다. 강우침식인자는 식 (1)과 같이 (Smith와 Williams, 1980)에 의해 제시된 식을 사용하며, 이는 강우량, 강우형태, 지속기간을 아는 경우 강우침식인자를 계산한다.

$$EI = \frac{Ae^{2.119e^{0.0001 \log D \log R}}}{e^{B \log D}} \quad (1)$$

여기서, $EI(100\text{ft-tons/acre-in})$ 는 강우침식인자, D 는 강우지속기간(hr), R 은 강우량을 가리키며, A 와 B 는 강우유형별 강우침식인자의 계산에 사용되는 상수이다.

Table 3은 청도군 TM관측소의 자료로부터 식(1)에 의해 결정된 강우침식인자를 나타낸 것이다. 강우사상의 선정은 1월부터 7월까지의 시간별 우량을 인접강우로부터 6시간 이상의 무강우 시간이 있고 강우량이 12.7 mm 이상이 되는 강우를 선정하였다. 이 중 수질 측정과 관련 있는 사상만을 선정하여 EI를 계산했다. 각 강우사상별 선행토양함수조건(AMC)은 SCS의 분류 방법에 따라 결정하였다.

Table 3. The calculation of Erosivity-Index

| Rainfall event | Occurrence day | Duration (hr) | Rainfall | | AMC | EI (100ft-tons/acre-in) |
|----------------|----------------|---------------|----------|---------|-----|-------------------------|
| | | | mm | inch | | |
| 1 | 1999/06/23 | 21 | 41 | 1.61376 | 1 | 16.11944 |
| 2 | 1999/07/23 | 6 | 23 | 0.89838 | 2 | 7.849396 |
| 3 | 1999/08/04 | 19 | 72 | 2.81232 | 3 | 31.89366 |
| 4 | 1999/08/30 | 20 | 43 | 1.67958 | 1 | 16.93087 |

Table 4. Sampling day for rainfall event

| Rainfall event | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Sampling day | 1999/06/25 | 1999/07/24 | 1999/08/04 | 1999/08/31 |

3.2.2 수질자료

Fig. 1에 표시된 것처럼 채취지점은 소지류가 합류하고 난 뒤의 본류지점(1번 지점~9번 지점)을 택했으며 두 지류(S1, S2)의 합류점부터 유출지점까지는 S3로 하고 S3구간을 약 200m 간격으로 1km 구간에 5개 지점을 선정(10번 지점~14번 지점)하였다. 그리고 마지막으로 유출지점(15번 지점)을 선정하였다.

수질표본의 채취는 강우가 끝난 직후 각 채취지점별로 시료를 채취하여 수질분석을 수행하였다. 입력 매개변수 중 하나인 강우중 질소량은 유역으로부터 약 50km 떨어진 부산대학교 제로관 건물 옥상에서 채취한 시료를 분석한 결과 모형의 일반값인 0.8 ppm과 거의 일치하였고 유역내 대기오염 배출원이 없어서 대기내 질소량의 변동이 거의 없으므로 이 값을 입력값으로 택했다. 수질표본의 분석에서 총질소는 각각 수질오염공정시험법의 자외선 흡광광도법 및 아스코르빈산 환원법으로 실험실에서 정량분석을 실시했다. 다음 Table 4는 강우사상에 따른 시료채취시기를 나타낸다.

Table 4를 보면 알 수 있듯이 강우사상과 시료채취시기가 정확히 일치하지는 않지만, 일반적으로 인은 지표면 유출 경로를 통해 이동되므로 인은 강우시에 대부분 발생하고 질소는 토양 속에 침투해 있다가 강우가 끝난 후에도 지표하 흐름을 통해서 하천으로 용출되므로 본 모형에서 질소를 모의대상항목으로 선정한 것은 적절할 것으로 사료된다.

3.2.3 GIS 입력자료 구축

모형의 GIS 입력자료를 생성하기 위해 1/25,000 지형도와 1/25,000 정밀도양도를 이용해서 지형 및 토양정보를 구축하였다. 1/25,000 정밀도양도는 영남작물시험장에서 임야까지 토양분류를 해놓은 자료를 입수하여 이를 이용하였다. GRASS의 래스터 자료를 생성하기 위해 지형도와 정밀도양도를 스캔한 후 벡터라이징해서 벡터 자료를 생성하였다. 이 벡터자료를 GRASS에서 위상(topology)을 형성해서 래스터 자료로 전환시켰다. 이러한 과정을 통해서 격자간격이 10m인 수치표고도(DEM)와 격자간격 30 m인 수치도양도 및 수치토지이용도를 구축하였다.

Young 등(1987)은 모형의 격자크기에 대해서 2.5 acre(100m × 100m)~40 acre(400m × 400m)의 격자크기를, 유역면적이 2000 acre(8 km²)이하인 유역에서 세밀한 분석을 요하는 경우 10 acre(200m ×

200m)이하의 격자크기를 제시하고 있으며, 2000 acre를 초과하는 유역에 대해서는 40 acre의 격자크기를 추천한다. 관련 연구(Smith와 Williams, 1980)에 의하면 유출량 추정시는 200 m이하의 격자크기로, 유수량과 영양염류의 경우 150 m 이하의 격자크기에서 일관된 결과를 보였음을 제시하였다. 격자크기를 줄이면 분석은 세밀하게 할 수 있지만 모형 실행에 시간이 많이 걸린다는 단점을 제외하고 특별히 다른 문제점은 제시되어 있지 않으므로 본 연구에서는 모형의 기본 격자크기를 50 m의 정방형 격자로 모의를 실시하였다.

본 모형에서 필요로 하는 입력자료로는 유역 전체를 나타내는 유역도, 지형을 고도로 표현한 수치표고도, 각 격자의 유출방향을 표시하는 경사방향도, 수로경사도, 수문학적 토양군도, 모래함량도, 점토함량도, USLE 방정식의 K-factor, 수치토지이용도, USLE 방정식의 C-factor, USLE 방정식의 P-factor, 토성도, 격자내의 질소와 인의 양을 표시해놓은 시미수준도, 격자내의 살충제의 양을 표시해놓은 살충제도 등이 있다. 본 연구에서는 살충제의 양에 대한 자료의 수집이 미비하여 이를 제외시켰다. 이외에도 점원 및 저수지 입력 자료를 부가적으로 고려할 수 있지만 유역내에서 주거지가 차지하는 비율이 적고 기타 산업시설 및 저수지가 없기 때문에 이들의 영향은 미미하다고 판단하고 무시하였다. Fig. 2는 지형도와 정밀도양도로부터 모형의 입력변수를 생성해서 모형을 실행시키 출력자료를 도출하는 과정을 보식도로 나타내며, GIS입력자료의 속성은 Table 5와 같다.

Table 5에서 알 수 있듯이 수치지도, 수치도양도, 수치토지이용도로부터 입력자료의 속성들을 계산할 수 있다. 이는 GRASS의 래스터 분식 프로그램인 'r.reclass', 'r.support', 'r.slope.aspect', 'r.mask', 'r.out.ascii' 등과 같은 프로그램으로 재구성할 수 있다.

GRASS에서 수치표고를 산출하는 방법은 여러 가지 방법이 있지만 일반적으로 가장 많이 사용하는 방법은 한 점에서 인접한 2개의 등고선을 보간하는 방법(r.surf.contour)과 그 격자와 인접한 격자들의 값을 거리에 따라 가중해서 고도를 구하는 방법 및 가중평균법(r.surf.idw, r.surf.idw2)이 있다. 각각의 방법에는 몇 가지 제한들이 있기 때문에 수치표고 산출시 이러한 제한들에 위배되지 않는 범위에서 작업을 해야 한다. 예를 들어 'r.surf.contour' 프로그램의 경우 수치지도의 바깥 경계선까지 등고선이 확장되어 있어야 하며, 'r.surf.idw' 및 'r.surf.idw2' 프로그램은 system

Table 5. The attributes of GIS input

| Input maplayers | Attributes | |
|-----------------|---|------------------|
| | Label | Value |
| X.wshd | null | 0 or 1 |
| X.elev | " | elevation |
| X.chsl | " | channel slope(%) |
| X.asp.const | " | 1 ~ 8 |
| X.hyg | hydrological soil group(A, B, C, D) | any value |
| X.sand | the percent of sand contents(%) | " |
| X.clay | the percentage of clay contents(%) | " |
| X.K | USLE K factor | " |
| X.luse | the types of land use(SCS 분류기준) | " |
| X.mach | Tillage practice related to fertilizer availability factor(lister, large offset disk 등) | " |
| X.mgpr | straight row, contoured, contoured and terraced | " |
| X.C | USLE C factor | " |
| X.nut | fertilization level(none, low, medium, high) | " |
| X.soils | soil texture(sandy loam 등) | " |
| X.slen | USLE slope length factor | " |

memory를 생각해서 인접점들의 수를 적당히 제한해야 한다. 본 연구에서는 이들 방법들에 대해서 모두 실시 해본 결과 'r.surf.idw2' 프로그램으로 생성된 결과가 가장 합리적인 결과를 보였다.(Fig. 3)

지형도에서 작성한 수치토지이용도는 SCS 유출곡선 지수의 각 조건에 따라 구분하였는데 임야는 woods로, 밭의 경우는 row crops로, 과수원은 forests로, 주거

지는 farmsteads로, 논외의 경우는 임상준과 박승우 (1997)의 연구 결과를 참조하여 결정하였다(Fig. 4). 이로부터 USLE C-factor, USLE P-factor와 관련된 피복처리상태(X.mgpr), 경종방법(X.mach)을 결정 하였다. 표면상태상수는 앞의 매개변수들이 결정되면 AGNPS 입력장치로 결과를 도출하도록 되어 있다. 도 출된 결과를 필요하면 사용자가 약간 수정해 주면 된다.

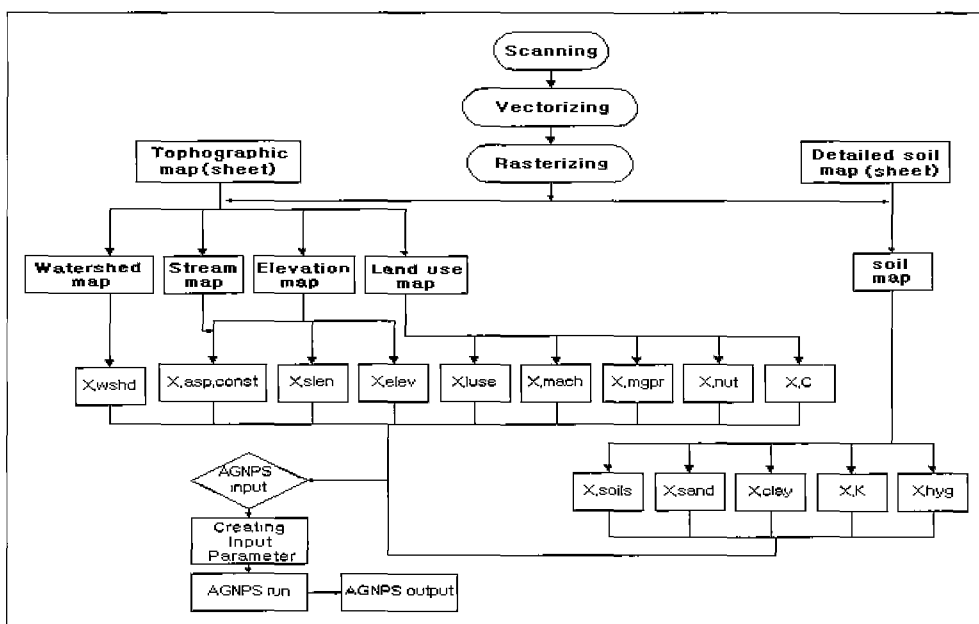


Fig. 2. Input data development and execution of AGNPS-GRASS.

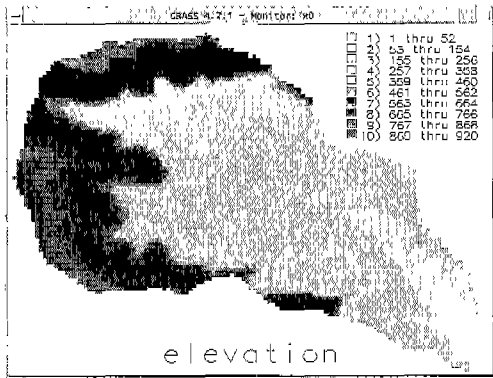


Fig. 3. Elevation map of input map layers.

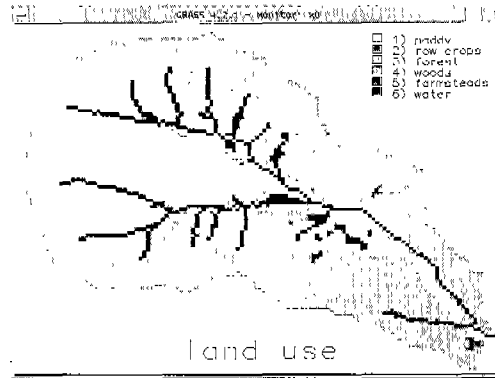


Fig. 4. Land use map of input map layers.

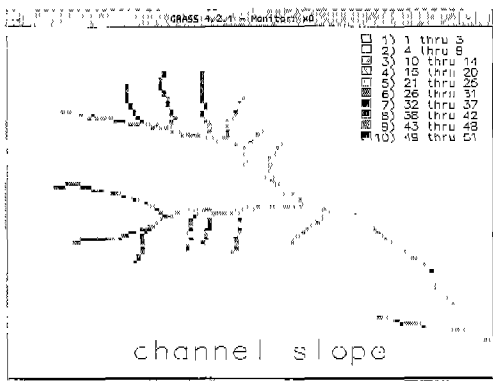


Fig. 5. Channel slope map of input map layers.

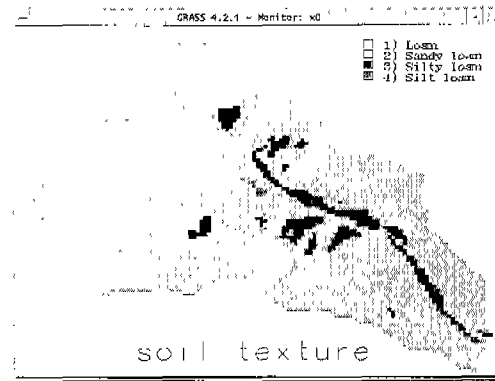


Fig. 6. soil texture map of input map layers.

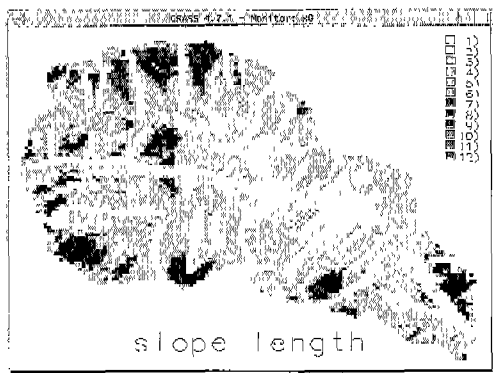


Fig. 7. USLE LS factor map of input map layers.

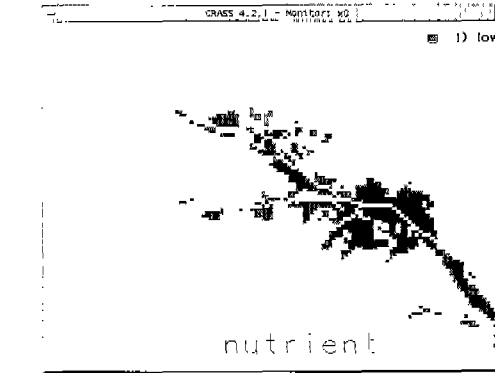


Fig. 8. Fertilization level map of input map layers.

수치토양도는 정밀토양도를 토양설명서와 최철용(1999)의 연구결과로부터 수문학적 토양군을 분류하여 수문학적 토양군도를 구축하였다.(Fig. 6)

Fig. 2에서 보이는 것처럼 우선 지형도로부터 도출된 입력자료를 살펴보면, 유역도는 유역의 바깥쪽은 값을 0으로, 유역의 안쪽은 1로 두어 유역의 형상을 나타내며, 다른 모든 layer들은 1로 표시된 영역에서 계산된다는 것을 의미한다. 수치표고도는 각 격자내의 고도값을 표현한 것으로 DEM을 유역내의 격자와 유역경계밖으로 최소한 격자간격의 2배만큼 완충영역을 주어 생성된 격자들을 합한 layer로 한다. 경사방향도는 GRASS의 래스터 분석 프로그램인 'r.watershed' 프로그램의 결과 중 지표수의 배수경로도이며, 이 프로그램은 DEM으로부터 계산되며 각 격자의 흐름방향을 8방향으로 표시한다. 이 layer는 AT least cost search 알고리즘(Ehlschlaeger, 1989)으로 계산한 경사에 기반을 둔다. Fig. 5의 하천 경사도는 유역 경사도로부터 GIS의 'Masking 기법'으로 재분류하여 도출했다. Fig. 7은 USLE LS-factor로써 경사장 계수를 나타낸다. Fig. 8은 시비량 기준에 대한 입력 값을 나타낸다.

4. 모형의 보정

본 연구에서의 모형의 보정 방법은 실측값과 일치시키고자 모형의 매개변수를 변화시켜가는 단순시행착오법을 이용하였다. 유출량 관련 매개변수는 김진택(1995)과 조재필(1998)의 연구 결과를 토대로 산정하였다. 유출량과 관계된 변수는 CN값이 가장 큰 영향을 미치는데 이 값은 모형과 연결되어 있는 외부장치인 'r.cn' 또는 'r.cn2' 라는 프로그램으로부터 그 값이 도출된다. 이 프로그램은 수문학적 토양군도, 피복처리상태도, 표면상태도, 수치토지이용도의 값으로 토양함수조건에 따른 유출곡선지수를 산정한다. 3.2.3 절에서 구축된 입력 자료가 합리적이라고 가정하고 모형을 실행시키면 Fig. 9와 같은 유출 곡선지

수를 수치지도의 형태로 도출할 수 있다. 이 프로그램은 SCS 유출 곡선지수표에 따라 유출곡선지수를 산정한다. Fig. 9는 대상유역의 선행토양함수조건이 1일 때의 결과이다. 결과값의 분포는 SCS 유출곡선지수의 값의 범위에서 벗어나지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서 유출량의 산정 결과에는 문제되지 않을 것으로 판단된다. 김진택(1995)과 조재필(1998)의 연구결과에서도 유출량과 유사량에 대한 보의 결과는 적절한 것으로 보고되었다.

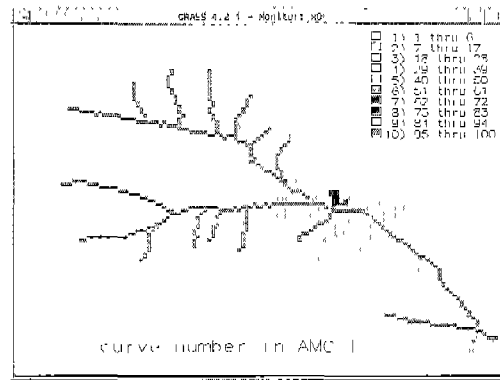


Fig. 9. The map layer of SCS curve number in AMC I.

유사량 관련 매개변수는 측정자료의 부재로 모형의 보정을 실시하지 못했으며, 영양염류량 결과값의 대부분 유사 흡착량인 입자상 물질로 나타나므로 유사량 관련 매개변수에 대한 보정은 영양염류량에 대한 결과값 보정으로 만족하는 것으로 판단했다. 따라서 본 연구에서는 질소의 측정치와 일치하는 모의치를 도출하기 위해 시행착오법으로 매개변수를 변화시키며 매개변수의 영양염류량에 대한 민감도를 분석해보고 결과치를 도출하였다.

우선 유사량과 관련된 매개변수 중 영양염류량에 가장 영향을 많이 미치는 매개변수는 USLE 방정식의 K,

Table 6. Management practice, tillage practice, USLE C-factor based on types of land use

| The types of land use | Management practice | Tillage practice | USLE-C |
|-----------------------|---------------------|------------------|--------|
| paddy | terraced | no till | 0 |
| row crops | contoured | lister | 0.03 |
| forests | contoured | lister | 0.001 |
| woods | null | no till | 0.001 |
| farmsteads | null | no till | 0.01 |
| water | null | no till | 0 |

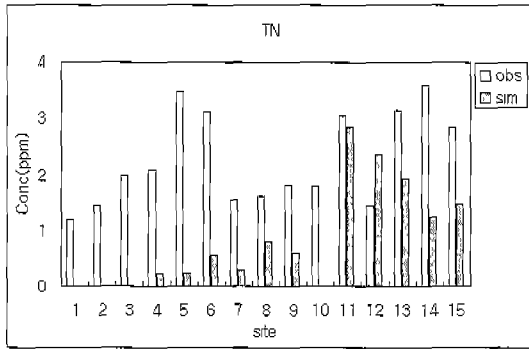


Fig. 10. The comparison of observed value and simulated value for TN in rainfall event 1.

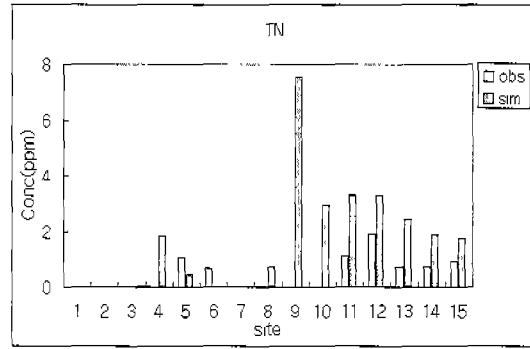


Fig. 11. The comparison of observed value and simulated value for TN in rainfall event 2.

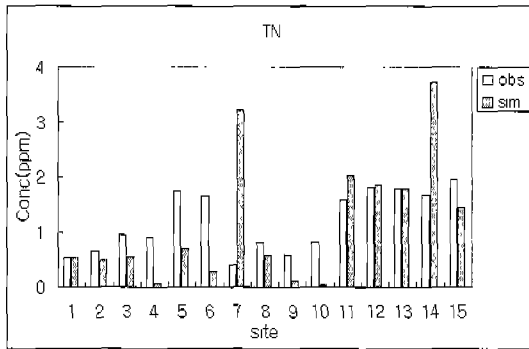


Fig. 12. The comparison of observed value and simulated value for TN in rainfall event 3.

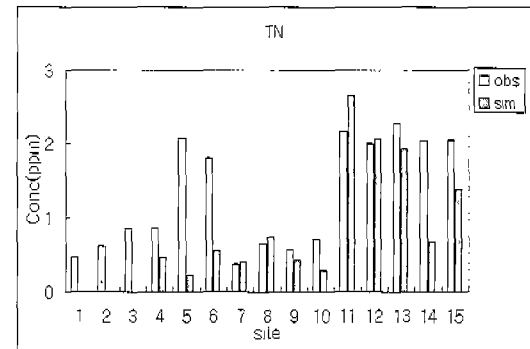


Fig. 13. The comparison of observed value and simulated value for TN in rainfall event 4.

Table 7. The comparison of observed and simulated value's scales for TN in rainfall events

| Rainfall event(ppm) | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------|-----|------|------|------|------|
| Observed value | Min | 1.19 | 0 | 0.4 | 0.47 |
| | Max | 3.48 | 1.93 | 1.95 | 2.27 |
| Simulated value | Min | 0 | 0 | 0.03 | 0 |
| | Max | 2.84 | 1.71 | 3.73 | 2.65 |

C, P factor이다. USLE K 인자는 토양의 물리적 특성으로부터 Wischmeier 등(1971)에 의한 토양 침식 momograph로부터 도출한다. C 및 P-factor는 Shen과 Julien(1992)과 AGNPS manual(1997)을 참조하여 결정하였다. 결과는 Table 6과 같다.

시비량은 사상별 양을 조절해야하나 정확한 자료가 없어서 기본 수치대로 AGNPS manual(13)을 참조하여 Fig. 8과 같이 논, 밭, 과수원에 low값을 적용하

고 국내 작물별 표준 시비량 자료를 참조하여 모형입력 시 격자값을 수정했다.

5. 적용 결과

Fig. 10에서 Fig. 13은 각각 강우사상 1에서 4까지의 질소의 모의치와 실측치를 비교하기 위해 도시한 것이며, Table 7은 강우사상에 따른 실측치와 모의치의 스케일을 비교하기 위해 결과를 정리한 것이다. Table

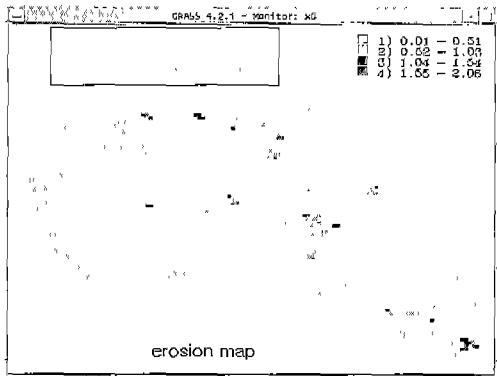


Fig. 14. Cell erosion map of outmap layers in rainfall event 1.

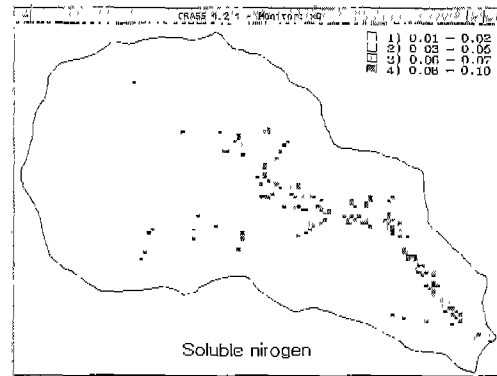


Fig. 15. Total soluble nitrogen map of output map layers in rainfall event 1.

7을 보면 전체 강우사상에서 실측치와 모의치의 스케일이 큰 차이가 없음을 알 수 있으며, Fig. 10 ~ Fig. 13에서 소유역(S1, S2, S3)별로 영양염류의 공간적인 거동특성을 보면 강우사상 1과 2의 몇 지점을 제외하고 스케일을 무시한다면 모의치와 관측치의 증감의 추세는 유사하다는 것을 알 수 있다.

Table 3은 강우사상의 상대적인 크기를 표현하고 있는데 강우사상 2의 경우 타 강우사상들보다 모의치가 과다 추정되었고 가장 큰 강우사상인 강우사상 3의 경우 모형이 비점오염의 공간적 거동을 갖아 잘 기술하고 있음을 암시해준다.

Fig. 14와 Fig. 15는 강우사상 1에 대해서 모형의 시각화 출력 장치로 출력된 결과이다. Fig 14는 모형의 지배방정식 중 RUSLE로 계산된 임야 침식량에 대한 결과로써, 값의 분포는 $1.12 \text{ kg/km}^2 \sim 230 \text{ kg/km}^2$ 의 범위를 보인다. Fig. 14의 S1 유역에서 검은색 실선 box 부분은 전체 유역에서 가장 경사가 급한 지역(40% ~ 60%)이며, 경사가 급하면 침식량이 많아야 하는데 그 반대의 결과가 도출되었다. 따라서 Fig 10과 같이 S1 유역에서 모의치가 거의 나타나지 않는 결과가 나온 것으로 추정된다. 이는 기존의 연구에서 AGNPS 모형의 적용대상지역이 대부분 경사가 완만한 지역임을 감안한다면 경사가 매우 급한 지역에서는 과소 추정되는 문제가 있음을 알 수 있다. 본 연구의 대상지역의 경우 전체 유역에 비해 경사가 매우 급한 지역은 미소함으로 큰 문제가 되지 않을 것으로 사료된다. 따라서 전체적으로 침식량이 나타나는 격자의 분포가 하천부보다 경사가 급한 입야지역에 골고루 분포가 되어있으며, 현재 경사가 매우 급한 지역을 제외하면 나머지 지역에서의 모형의

침식량 추정은 지형상의 특성을 잘 반영하는 것으로 사료된다.

Fig. 15는 용존질소량의 공간적인 분포를 나타낸 것으로 값의 분포는 $1.12 \text{ kg/km}^2 \sim 11.2 \text{ kg/km}^2$ 의 범위를 보인다. 결과를 보면 논지역과 하천부에만 용존질소량의 분포가 나타나 있음을 알 수 있으며, 하류로 갈수록 농도가 가장 짙은 $8.96 \text{ kg/km}^2 \sim 11.2 \text{ kg/km}^2$ 범위의 격자들이 점차 늘어나는 것을 알 수 있다. 하류로 갈수록 하천부 주위의 격자들에서 용존질소의 격자가 점차 증가하는 것은 토지이용형태를 볼 때 상류인 S1과 S2 보다는 하류인 S3지역에 논지역의 분포가 더 많기 때문이다. 따라서 모형에서의 오염물거동 추정은 토지이용형태를 잘 반영한다는 것을 알 수 있다.

비점 오염원의 모의는 상당기간의 유출량 자료와 유사량 관측자료를 가져야만 신뢰성 있게 수행될 수 있다 (Grunwald and Norton, 2000). 그러나 하상계수가 크고 급경사면이 상당수인 국내 유역의 특성상 강우사상시 토류사량의 측정은 위험하며, 많은 시간과 경비를 소요하고도 신뢰성 있는 결과의 확보가 난해하다.

국내유역과 유사한 지형적 특성을 지니고 있는 Canada의 Ontario에 위치하고 있는 Turkey Lakes Watershed에서 질소거동에 관한 유역특성의 함수적 유사성에 관한 연구(Creed and Band, 1998)는 질소의 거동이 수문 및 영양염류의 순환과정의 해석에 적절한 대상인자가 될 수 있음을 보여준다. 본 연구에서는 대상유역에서 유출되는 수질을 분석하고 그 중 질소인자에 대한 결과를 AGNPS의 운영에 필요한 보정과정에 활용하였으며 그 결과 질소의 용출에 대하여 약 15 개의 유역내 지점에서 실측치 수질과 상당히 근접한 질

과를 얻을 수 있었다(Fig 10, 11, 12, 13). 강우사상이 비교적 큰 경우(Fig 12) 보다 잘 일치되는 결과를 얻을 수 있었는데 이는 AGNPS에서 구현하는 격자간의 흐름 양상이 보다 큰 강우사상에서 잘 발달될 수 있으므로 설명될 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 임야지에서의 비점원 오염관리를 위해 GRASS-AGNPS 모형이 국내 지형의 적용성을 분석하고 유역의 최적 관리 대책의 수립을 위한 모형의 검증을 실시하여 적용성을 분석하였다. 이를 위해 대상 유역에 대해서 수질시료를 채취하여 질소와 인에 대한 실험자료를 획득하고, 지형정보자료 및 토양자료를 구축하여 질소와 인에 대한 실험치와 모의치를 단순시행 착오법을 사용하여 모형의 보정을 실시하였다.

AGNPS는 질소와 부유물에 대한 공간적 분포를 적절히 기술하고 있으며, 실험치와의 최소값, 최대값의 비교결과는 모형이 유역전체의 비점원오염 발생량의 정량적 예측에 기여할 수 있음을 보여주고 있다. 또한 큰 강우사상에 대한 보다 신뢰성 있는 모의결과는 입력자료의 불확실성이 강우사상의 효과로 상쇄될 수 있음을 보여주고 있다.

그러나, 모형의 지배방정식은 모두 경험식이므로 국내 지형에 맞도록 기반자료 및 프로그램의 수정이 필요할 것으로 사료되고 토지이용현황의 변화 및 시설 추가 시에 따른 수질에 미치는 영향에 대한 분석은 차후의 연구과제가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 김진택, (1995). "농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원정보시스템 호환모형의 개발 및 적용," 서울대학교 박사학위논문.
- 임상준, 박승우(1997). "논의 유출곡선번호 추정", 한국수자원학회논문집 제30권 제4호 pp. 379-387
- 조재필, (1998) "복합 토지이용 특성의 농촌 유역에 대한 농업비점원 오염 모형의 적용," 서울대학교 석사학위 논문.
- 최철웅, (1999) "지형공간정보체계를 이용한 수문지형인자 결정에 관한 연구," 부산대학교 박사학위 논문.
- Byars, B.W. Byars and S.F. Clamons, (1997) Section VII-New GRASS 4.2 Commands, GRASS 4.2 Reference manual, GRASS Research Group, Baylor University, pp. 3~7.
- Creed, I. F. and Band L. E. (1998) "Exploring functional similarity in expert of nitrate-N from the forested catchments: A mechanistic modelling approach." *Water Res. Res.* Vol 34 No. 11, pp. 3079-3093.
- Ehlschlaeger, C. R., (1989) "Using the AT Search Algorithm to Develop Hydrologic Models from Digital Elevation Data." in proceeding of the International Geographic Information System (GIS) Symposium, Baltimore, MD. pp. 275~281.
- Foster, G.R. (1992) "Modeling the erosion process" in Hydrologic Modeling of Small Watersheds. Ed. C.T.Hann. ASAE Monograph Number 5, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. pp. 297~380
- Grundwald, S and Norton, L. D. (2000) "Calibration and Validation of a nonpoint source pollution model" *Agri. Water Manage.* Vol 45 No. 1 pp 17-39
- Shen, H. W. and P. Julien, (1992). "Erosion and Sediment Transport," *Handbook of Hydrology.* Ed. David R. Maidment, pp. 12.45~12.55.
- Smith, R.E., and J.R. Williams. (1980) Simulation of the surface water hydrology, in CREAMS, A field scale model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. Ed., W.G. Knisel, USDA, Conservation Research Report 26, Washington, DC., Chapter 2, Vol. 1., pp. 13~35.
- Srinivasan, R. (1992). Spatial Decision Support System for Assessing Agricultural Nonpoint Source Pollution Using GIS, Ph. D. Thesis, May, Purdue University
- Wischnmeier, W. H., C. B. Johnson, and B. V. Cross., (1971) "A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites," *J. Soil and Water Conservation*, Vol 26, No 5, pp 189~193.
- Young, R.A., C.A. Onstad, D.D. Bosch and W.P. Anderson., (1987) AGNPS, Agricultural Nonpoint Source Pollution Model: A large Watershed Analysis Tool, Conservation Research Report 35, Agricultural Research Service,

- USDA, Washinton, D.C. pp. 77.
- Young, R.A., C.A. Onstad, D.D. (1985). Bosch and W.P. Anderson., Agricultural nonpoint surface pollution models (AGNPS) I and II model documentation. St. Paul: Minn. Pollution control Agency and Washington D.C., USDA -Agricultural Research Service.
- Young, R.A., M.A. Otterby and A.Roos. (1987). "A technique for evaluation feedlot pollution potential," *J. Soil and water Conservation*, Vol 37, No 1, 21~23.
- (논문번호:01-020/접수:2001.02.27/심사완료:2001.08.07)