

논에서의 영양물질 부하량 예측모형 개발

Development of GLEAMS-PADDY Model for Nutrients Loading Simulation from Paddy-field Areas

김현수*(농기공) · 정상옥(경북대) · 김진수(충북대)

Kim, Hyun Soo · Jung, Sang Ok · Kim, Jin Soo

Abstract

The objective of this study is to develop the GLEAMS-PADDY model for nutrients loading simulation from paddy-field areas. This model is developed by modifying the GLEAMS model. The model is composed of hydrology, sediment and chemical parts. The model was evaluated using field data. The model estimates water balance and nutrients concentrations reasonably well. The model can be applied to find BMP's in the paddy areas.

I. 서론

우리나라의 농지면적은 1999년말 현재 190만ha로, 이 중 논면적이 115만ha로 전체 농지면적의 약 61%를 차지하고 있으며, 벼 재배면적은 101만ha로 논면적의 88%를 차지하고 있다. 이와 같이 수도작 위주의 영농활동을 유지하고 있는 농업유역에 적용가능한 비점원오염 부하량의 합리적 예측을 위한 모형의 개발은 최적영농관리기법개발과 환경농업육성 및 환경보전과 더불어 지속가능한 농업 실현을 위해 우선적으로 요구되는 연구분야이며, 향후의 농업은 식량생산과 농업유역 환경보전이라는 상반되는 목표를 어떻게 잘 조화시켜나가야 할 것인가가 현재 우리가 당면한 과제라 할 수 있다.

지금까지의 비점원오염(nonpoint source pollution) 예측에 관한 연구가 미국을 비롯한 주요 곡물생산국을 중심으로 진행되어 왔으며, 우리나라는 1980년대 후반부터 외국에서 개발된 모형을 이용하여 그 적용성에 대한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나 지금까지 소개되고 있는 대부분의 비점원오염 부하량 예측모형은 대규모 발작물 재배지역에 적용가능한 모형들로서 우리나라와 같이 수도작 위주의 농업유역에 적합한 모형의 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구는 논에서의 물수지, 질소 및 인의 영양물질수지의 분석과 흐름특성을 파악하고, GLEAMS 모형을 수정·보완하여 논농업유역에 적용 가능한 GLEAMS-PADDY모형을 개발하는데 그 목적이 있다.

II. GLEAMS 모형의 개요

GLEAMS 모형은 지표유출에 의한 농업화학물질의 이동을 예측하는 CREAMS 모형을 기초로 하여 작물의 근근역(root zone)을 통한 지하수로의 침투를 고려하여 농업화학물질의 이동을 수정·보완하여 개발되었으며, 포장의 가장자리와 근근역 하부에서의 작물관리효과와 농작지로부터

터 비점오염을 평가하는데 효율적인 모형이다.

이 모형은 수문, 침식, 농약 및 비료의 화학물질의 부모형으로 구성되어 있으며, 근근역에서 물의 흐름을 계산하기 위해 저류추적기법이 이용된다. 수분흡수를 위한 작물의 유효 근근역은 토층의 깊이와 두께에 따라 최소 3개, 최대 12개의 토층으로 나눌수 있다. 1cm 두께의 표토층은 유출 발생시 화학물질의 동반흐름이 활발한 것으로 추정하였다. 근근역의 수분저류와 전달특성은 토층에 따라 모형에 입력되어지며, 하나의 토층 내의 토양특성은 동일한 것으로 추정한다.

GLEAMS 모형의 수문, 침식, 농약 및 비료 성분 이동 계산을 위해 요구되는 토양의 물리적 특성들은 수문매개변수들에 포함되며, 작물의 질소성분에 필요한 추가적인 특성들은 수문매개변수 파일에 추가된다. 이 자료들은 토층에 따라 입력되며, 수문요소내의 토층에 할당된다.

III. GLEAMS-PADDY 모형의 개발

논벼 재배 포장에서 적용할 수 있는 모형의 개발을 위해 GLEAMS 모형을 기초로하여 논에서의 담수추적에 의한 수문 부모형의 적용과 화학물질 부모형을 수정·보완하였다.

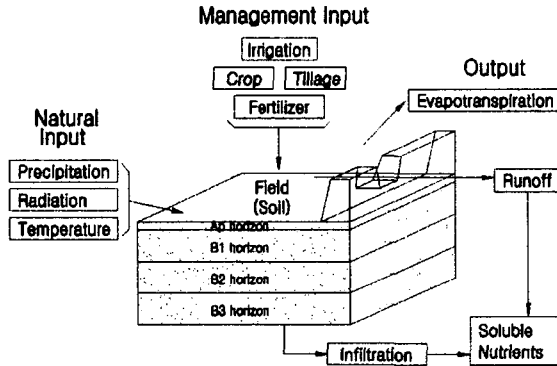


Fig. 1. GLEAMS-PADDY 모형의 구성

3.1 수문(물수지) 모형

GLEAMS-PADDY모형의 수문 부모형은 담수추적에 의한 물수지법을 적용하였다. 일별 물수지식은 다음과 같다.

$$W_{d+1} = W_d + RNF_d + IR_d - (F_d + ET_d + DR_d)$$

여기서, W : 담수위, RNF : 강우량, IR : 관개량, F : 침투량, ET : 증발산량, DR : 물꼬높이 이상에서의 유출량, d : 날짜

논에서의 물수지는 유입인자로 강우량과 관개량, 손실인자로 증발산량, 침투량(지하 및 논두렁 침투), 물꼬로의 유출량 등으로 구성된다.

유출량(runoff)은 적정담수심과 물고높이의 관계로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$DR_d = W_d - OH_d \quad W_d > OH_d$$

$$DR_d = 0.0 \quad W_d \leq OH_d$$

여기서, DR_d 는 d일의 물꼬로의 배수량(mm/day)이며, OH_d 는 물고높이(mm)로서, 담수심이 물고

높이 이상일 경우 물고높이 이상의 양은 전량 지표배수되는 것으로 가정하였다.

증발산량(evapotranspiration)은 FAO-24 Corrected Penman법을 이용하여 기준작물 잠재증발산량을 산정하였으며, 순별 작물계수를 적용하여 벼의 증발산량을 산정하였다. 또한, 침투량(percolation)은 포장 관측자료를 적용하였다.

3.2 화학물질모형

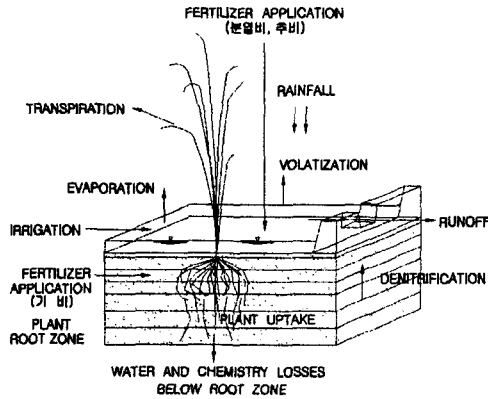


Fig. 2. GLEAMS-PADDY 모형의 물리적체계 및 과정

질소 성분의 이동 및 반응은 벼의 근근역(root zone)에서 표토층 1cm이내의 산화층과 표토층 1cm이하의 환원층으로 구분할 수 있으며, 논에서의 질소성분의 손실은 표토층 1cm를 기준으로 산화층과 환원층에서의 질산태질소, 암모니아태질소, 유기태질소 각각의 반응식과 농도에 의해 결정된다.

인 성분의 이동 및 반응은 전반적으로 질소와 유사하지만 단순하며 총인에 대한 반응식과 농도에 의해 결정된다.

Reddy(1982), Reddy와 Partrick(1986)은 수도의 질소이용률이 곡립 1/3, 벧짚 1/4 ~ 1/3, 토양과 뿌리 1/5 ~ 1/4 이라고 하였으며, 이와 관련된 유사연구에서도 조금의 차이는 있으나 작물흡수량이 대략 50% 정도라 발표하고 있다.

IV. 모형의 보정과 검증

4.1 대상지역의 개요

본 연구의 대상지구는 충청북도 청주시 교외에 위치한 청원군 옥산면 소로리에 위치하고 있으며, 대상지역의 전체면적은 50.9ha이고, 물리면적은 41.9ha이며, 표준필지 크기는 100m×100m로 용·배수로 분리의 대구획 경지정리지구로서 용수로 이외의 외부로부터 물의 유출입이 없으며, 대상지역 전체가 논 지구이며, 토성은 자갈 2.0%, 모래 44.6%, 실트 31.9%, 점토 21.5%로 구성된 양토이다. 용수는 금강수계의 제1지류인 미호천에서 취수하고 있다.

4.2 관측자료

1) 물 수지

강우량자료는 청주측후소 관측자료를 활용하였으며 1999년의 년 강우량은 1,321mm가 발생하였

으며, 적용대상기간인 5월5일~9월17일까지의 발생 강우량은 712mm를 기록하였다.

관개량과 배수량은 모형의 적용기간인 5월5일~9월17일까지 용수간선으로부터 적용대상지역의 유입량은 3,586mm이며, 대상지역의 말단배수로로의 배수량은 3,830mm를 기록하였다.

용수로에서 포장으로의 관개량은 용수간선으로부터 대상지역 유입량의 약 56%인 2,014mm이며, 44%인 1,571mm는 포장에 관개되지 않고 용수로 말단을 통해 배수로로 방출되었으며, 포장으로부터의 배수량은 2,259mm이다.

침투량 및 증발산량은 포장에서의 침투량과 증발산량은 작물의 소비수량이다. 개발 모형의 적용대상기간 동안의 침투량과 증발산량은 각각 136mm와 1,073mm로 총 소비수량은 1,208mm가 발생하여 일평균 소비수량은 8.6mm/day가 발생하였다.

2) 물질 수치

대상지역의 시비량자료는 대상지역 농가의 설문조사를 통하여 얻었으며, 기비는 질소 88.8, 인 21.4kg/ha가 시비되었으며, 분얼비 및 수비로 질소 75.6kg/ha가 시비되었다.

질소의 경우 표준시비기준량 11.0kg/10a에 비하여 5.4kg/10a 과비되었으며, 인의 경우는 1.94kg/10a에 비하여 0.21kg/10a 과비된 것으로 조사되었다.

적용대상기간 동안에 발생한 강우의 수질측정을 위하여 대상지구에서 약 6km 떨어진 충북대학교 농과대학에서 강우를 채취하였으며, 강우의 COD, T-N, T-P는 각각 4.7, 0.89, 0.015mg/ℓ이며, 5월 중순의 COD 및 T-N 측정치가 다른 시기의 측정치보다 높게 나타난 것은 황사현상의 영향을 받은 것으로 사료된다.

관개수 및 배수의 수질측정은 대상지구의 용수로 시점 3곳과 배수로 말단에서 이루어졌으며, COD, T-N, T-P의 농도는 관개수는 각각 12.08, 2.74, 0.10mg/ℓ, 배수는 각각 11.07, 2.45, 0.08mg/ℓ로 나타났다.

논 표면수 농도 및 침투수에 대한 수질측정은 2필지에서 시료를 채취하였으며, 적용기간의 평균 COD, T-P, T-N은 각각 표면수는 17.56, 2.8, 0.11mg/ℓ, 침투수는 5.96, 2.61, 0.02mg/ℓ로 나타났다.

4.3 모형 매개변수 보정

개발된 GLEAMS-PADDY모형의 매개변수 보정은 화학물질 부모형에 포함된 탈질 및 질산화 반응에 영향을 미치는 토양수분, 작물의 질소흡수량에 영향을 미치는 경험계수 등의 매개변수에 대한 보정을 실시하였다.

일본의 질소균형지표설정에 논에서의 탈질량 70kg/ha, 작물흡수량 81kg/ha를 기준으로 제시하고 있어 본 모형에서도 일본에서 기준으로 제시하고 있는 탈질량 및 작물흡수량 값과 가까운 값으로 조정하기 위해 탈질량에 영향을 미치는 매개변수인 토양수분인자와 작물흡수량에 영향을 미치는 작물생산량의 총중량에 대한 질소 비율을 산정하는 구성인자에 대한 매개변수 보정에 시행착오법을 적용하였다.

4.4 모형의 검증

GLEAMS-PADDY모형을 대상지역의 관측자료 및 일본의 질소균형지표설정 기준에 근거한 입력자료의 작성과 매개변수 보정을 통한 모형의 검증은 충북 청원군에 위치한 지구면적 50.1ha,

몽리면적 41.9ha인 벼 1모작 영농의 대구획 경지정리 지구를 대상으로 개발모형의 검정을 실시하였다.

관개량 2,014mm를 적용한 결과 모의된 유출량은 1,589mm로 관측값 2,259mm와 670mm의 차가 발생하였으며, 이는 주로 강우발생과 낙수시의 영향에 기인된 것으로 판단된다.

논 표면수의 일 평균 농도는 T-N, T-P가 각각 3.22mg/ℓ, 0.09mg/ℓ로 관측값의 2.8mg/ℓ, 0.11mg/ℓ와 근사값을 나타냈다.

개발모형의 검정은 적용 대상지구의 배수량과 영양물질 부하량을 결정하는 논 표면수의 농도에 대한 모의값과 관측값을 비교하고, 이들값 사이의 r 과 RMSE 값을 구하여 모형을 검정하였다. 상관계수 r 의 경우 물수지는 0.82, RMSE는 0.69mm로 분석되었고, 논 표면수의 T-N, T-P에 대한 상관계수는 각각 0.79, 0.69이며, RMSE는 각각 1.14mg/ℓ, 0.07mg/ℓ로 개발모형은 논에서의 영양물질 부하량을 예측하는 비교적 적합한 모형이라 할 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 벼 재배 논에서의 물수지, 질소 및 인의 물질수지의 규명과 흐름특성을 파악하고, 유역 및 발지역에 적용가능한 GLEAMS 3.0 모형을 수정·보완하여 논농업유역에 적용 가능한 GLEAMS-PADDY모형을 개발하고, 광역논에서의 수질 측정자료를 활용하여 모형을 검정함으로써 수도작 위주의 논 농업유역으로부터 비료의 사용으로 인한 영양물질 부하량 예측을 위한 합리적인 모형을 제시하며, 최적영농관리기법개발에 모형의 활용성을 제시하고자 하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. GLEAMS모형의 수문부모형은 토양층에서의 토양수분에 의한 저류추적기법을 근거로 물의 흐름을 설명하고 있으나, GLEAMS-PADDY모형은 논에서의 담수추적에 의한 물수지법을 적용하였다.
2. GLEAMS모형의 침식 부모형은 강우에 의한 토양박리 및 지형경사에 의한 물의 흐름과 토양입자의 이동을 고려하고 있으나, GLEAMS-PADDY모형은 담수상태로 인한 강우의 토양입자 타격 에너지의 상실과 지형경사 요인에 의해 토양입자 유실이 미약하여 침식 부모형은 적용하지 않았다.
3. 화학물질 부모형은 물질순환을 기초로 토양수분인자와 논에서의 질소 균형지표를 고려하여 매개변수를 보정하였다.
4. 개발모형의 실측치와 비교·검토결과 T-P는 T-N에 비해 상대적으로 낮은 상관성을 나타냈으며, 이는 인 성분은 질소에 비해 토양흡착력이 강하여 토양유실에 의한 손실이 크기 때문으로 판단된다.

향후추진계획은 개발된 GLEAMS-PADDY모형을 벼 재배 논에서의 최적영농관리기법개발에 그 적용성을 검토하고자 한다.

■ 참고문헌 ■

1. 농림부, 1998. 농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편.
2. 농림부, 1997. 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구.
3. 이은웅, 1996. 수도작, 향문사.

4. 김진수, 오승영, 김규성, 1999, 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성, 한국농공학회지, VOL. 41(4), pp. 47 ~ 56.
5. 서천석, 2001, 관개 논에서의 영양물질 추정 모형의 개발, 석사학위논문.
6. 김현수, 정상옥, 1999, 우리나라 주요지점의 기준작물 증발산량 산정과 비교, KCID J, VOL. 6(2), pp. 37 ~ 46.
7. <http://sacs.cpes.peachnet.edu/sewrl/Gleams/glmspub.htm>.
8. Knisel, W. G. 1980. (ed.) CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. USDA Conservation Research Report No. 26.
9. W. G. Knisel(ed), 1993. GLEAMS : Groundwater Loading Effects of Agricultural Management System manual.