

# 관개는 영양물질 추정모형의 개발

## Modeling of the Nutrient Concentration in Irrigated paddy

서 춘 석\* · 임 상 준 · 박 승 우(서울대) · 윤 광 식(전남대)

Seo, Chun Suk · Im, Sang Jun · Park, Seung Woo · Yoon, Kwang Sik

### \* Abstract

CREAMS-PADDY model for simulating daily water and nutrient balance at irrigated paddies was developed, applied to, and validated with field data. The model simulates daily flooding depth and total nitrogen and phosphorus concentrations from meteorological, irrigation, and farming data. Simulated results from the model were in good agreement with field data. Among different scenarios to reduce nutrient losses from paddies, the water management was found to be very effective, and recommended for field applications.

### I. 서론

우리 나라 하천과 호소의 수질관리는 대부분 점오염원인 생활하수, 축산폐수, 공장폐수를 중심으로 이루어져 왔는데, 최근 들어 이 같은 점오염원에 대한 처리시설과 처리량을 증가시켜도 하천과 호소의 수질이 크게 개선되지 않는다는 것을 인식하게 되었다. 이러한 현상은 여러 가지 비점오염원 가운데 수계 환경에 영향을 미칠 수 있는 농약, 비료 및 농업배수와 같은 농업 비점오염원에 대한 환경용량이 제대로 평가되지 않았기 때문이라는 주장이 제기되고 있다(박 등, 1996).

하천이나 호소의 수질환경을 건전하게 유지하기 위해서는 유역 수질관리에 앞서 정확한 수질 오염 현황을 파악하고 오염원과 부하량에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 한다. 특히 우리나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60% 이상을 차지하고 있는데, 논에서 영양물질의 이동과 물질수지는 벼에 대한 양분의 수급을 결정하고 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 논에서 농업비점오염물질의 유·출입 수지와 유출 메카니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 그러기 위해서는 무엇보다도 논에서의 영양물질 거동에 대한 정확한 모니터링뿐만 아니라 이를 수학적 모형으로 정립하여 응용의 폭을 넓힐 필요가 있다.

본 연구는 CREAMS-PADDY 모형에서 제안한 논에서의 물수지 모형과 Mori의 질소, 인 기작모형을 근간으로 하여 모형을 구성한 후 모니터링을 통해 얻은 실측치와 모형의 모의발생치를 비교하여 모형을 검증하는데 있다.

### II. 관개는 영양물질모형의 구성

### 1. 관개는 물수지 모형

논에서의 일별 담수심은 강우량, 증발산량, 관개량, 유출량, 침투량 등에 의해 좌우된다. Fig. 1 은 관개수로, 포장, 배수로에서의 수문과정을 도식화 한 것이다. Fig. 1 에서 담수심  $W$  는 다음과 같은 물수지식으로 표시할 수 있다.

$$W_{j+1} = W_j + I_j + P_j - (D_j + ET_j + F_j) \quad (1)$$

여기서,  $I$  = 관개량,  $P$  = 일강우량,  $D$  = 유출량,  $ET$  = 증발산량,  $F$  = 침투량,  $W$  = 담수심이다. 첨자  $j$ 는  $j$ 일을 나타낸다.

관개량은 시기별 관개량 자료로부터 구하거나, 최저,최고 담수심 개념을 적용하여 최저담수심 이하로 내려가는 경우 관개하는 것으로 보았으며, 다음과 같은 식으로 나타내었다.

$$I_j = 0.0 \quad \text{if } W_j \geq PH_j \quad (2)$$

$$I_j = PH_j - W_j \quad \text{if } W_j < PL_j \quad (3)$$

$$I_j = IMAX \quad \text{if } I_j > IMAX \quad (4)$$

여기서,  $PL$  = 최저담수심이다.  $PH$  = 최고담수심,  $IMAX$  = 일최대관개가능량이다. 식 (2) 에 서와 같이 담수심이 최고담수심 이상일 경우는 관개량은 0 이며, 최저담수심에 미치지 못할 때 는 관개가능량 안에서 최고담수심까지 관개하는 것으로 모의하였다. 최저담수심은 벼의 생육 에 따라 변화하며, 이양후 활착기, 분얼기, 수잉기, 황숙기, 등숙기로 구분되어진다. 유출량은 담수심과 물고높이의 관계로부터 다음과 같이 나타내었다.

$$D_j = D_j \quad \text{if } W_j \leq H_j \quad (5)$$

$$D_j = D_j + (W_j - H_j) \quad \text{if } W_j > H_j \quad (6)$$

여기서,  $H$  = 물고높이이다.

식 (5), 식 (6)과 같이 담수심은 물고높이 이상이 될 수 없으며, 물고높이 이상의 양은 전량 배수된다.

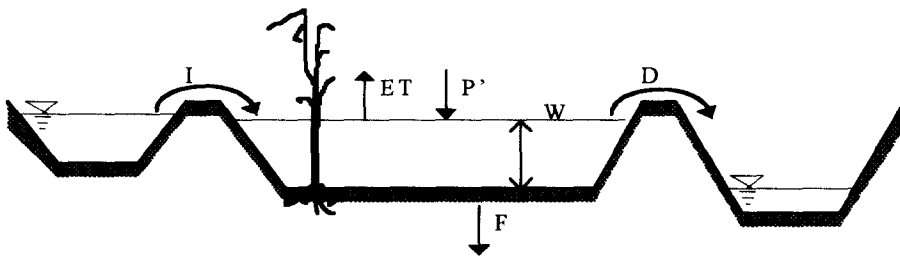


Fig. 1. Water balance of paddy field

## 2. 관계는 영양물질 모형

논에서의 질소 순환은 강우나 관개수에 용해되어 유입되거나, 비료에 의해 투입되고 침투, 탈질, 작물의 흡수 등에 의해 유실되며, 담수에 용해되어 유출과 함께 하류로 흘러나온다. 이중 관개량, 강우량의 농도는 실측치의 평균값을 적용할 수 있으므로, 논외의 물수지 요소 중 담수심과 침투, 유출 등의 기작에 따른 물질순환기작을 고려하도록 한다. 논에서의 질소 순환을 모식화하면 Fig. 2와 같다.

토양에 시용된 질소 비료는 토양환경조건에 따라서 여러 가지로 형태적 변화를 일으키며 이 과정에서 질소의 손실이 일어난다. 토양에 시비된 요소는 암모니아태로 변환되며, 이 암모니아태질소의 일부는 암모니아 가스로 휘산되어 손실이 일어나며, 산화층에서는 질산화작용에 의하여 질산태질소로 변환이 되는데 질산태질소는 토양에 흡착력이 작아서 용탈손실이 되기 쉽다. 질산태질소가 논토양의 환원층으로 이동하면 혐기성 미생물에 의하여 다시 환원의 과정을 거쳐서  $N_2O$  가스로나  $N_2$  가스로 탈질되어 손실된다(De Datta, 1991). 이와 같이 시비한 질소는 유출 및 암모니아 휘산, 탈질, 용탈 등의 과정에 의하여 손실이 발생한다.

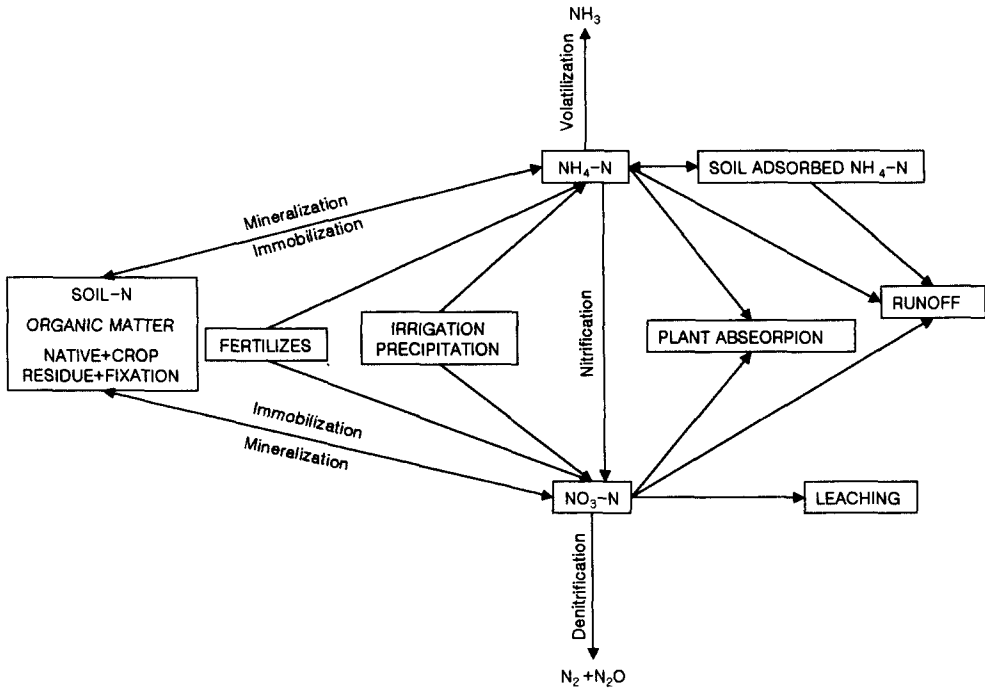


Fig. 2. Schematic representation of nitrogen transformation

모형은 입력값으로 암모니아태질소와 질산태 질소의 양을 분리하여 입력받도록 하였으며, 논 표면수 중 생물에 의한 흡수, 토양중에서의 질산화, 흡착평형, 토양유기물과 간극수 사이의 이동, 토양중에서의 탈질, 작물 흡수, 교란 및 확산에 의한 이동등의 순환기작을 가지고 있다.

논에서의 인의 입력값은 시비량, 강우량, 관개량등이며 출력값은 식물체에 의한 흡수, 침투, 지표배출등이다. 논 내부의 인의 이동기작은 질소와 마찬가지로 표면수, 토양층으로 구분하여 이루어 진다. 인성분은 무기태인과 유기태인의 형태로 존재한다. 표면수에서 조류 등의 번식에

따라 무기태인은 유기태인으로 변하게 된다. 토양에서 질소와 공통되는 현상으로는 간극수 중의 P가 토양입자와 흡착평형관계를 유지하고 있다는 것이다. 간극수 중의 무기태인은 벼에 의해 흡수된다. 논 표면수에서의 영양물질의 수지를 수식으로 나타내면 아래 식과 같다.

$$PON_{j+1} \cdot W_{j+1} = I_j \cdot CIRR + P_j \cdot CRAIN + FERN + PON_j \cdot W_j - (F_j \cdot PON_j + D_j \cdot RON_j + RDIN + RORGN) \quad (7)$$

여기서, RON은 담수의 농도(mg/l), CIRR은 관개수중 농도, CRAIN은 강우중 농도, FERN은 시비량(mg/m<sup>2</sup>/day), RON은 유출수 농도, RDIN은 표면수에서의 확산 교환량(mg/m<sup>2</sup>/day), RORGN은 표면수에서의 생물에 의한 흡수량등이다.

## II. 모형의 적용

### 1. 대상지구 및 자료

시험대상 지점은 경기도 수원시에 위치한 서울대학교 농업생명과학대학 정밀시험포장으로서 인근지하수로 관개하며, 토양은 사양토이다. 공시품종인 화성벼를 5월 26일에 이앙하여 9월 10일에 출수하였으며, 기비는 썩레질과 동시에 작토층에 전층시비하였으며, 추비는 표층시비하였다. 시비량은 Table 1과 같다. 강우량은 시험포장과 0.5km 정도 떨어진 수원관측소의 자료를 사용하였으며, 강우의 수질은 직접 채취하여 실험하였다.

Table 1. Fertilizer application of Nutrients in the test plot

구분	기비	분얼비	수비
시기	96/5/24	97/6/13	7/28
시비량(kg/ha)	질소	146	87
	인	80	59

## III. 결과 및 고찰

### 1. 논에서의 물수지

유출량은 담수심이 물고높이 이상이 될 때 배수되는 양으로 287.5mm로 모의되었다. 관개량은 710mm, 강우량은 638mm로 유입량의 약 21%가 유출된 것으로 나타났다. 유출량이 적게 나온 이유는 강우량이 평년에 비하여 적었으며, 일강우량이 100mm이상인 경우도 1회에 지나지 않았기 때문이다.

담수심의 변화는 관개량과 강우량, 물고높이에 의해 결정되어 진다. 관개기간중 논에서의 담수심 변화 및 유출량의 변화는 Fig. 3 과 Fig. 4와 같다.

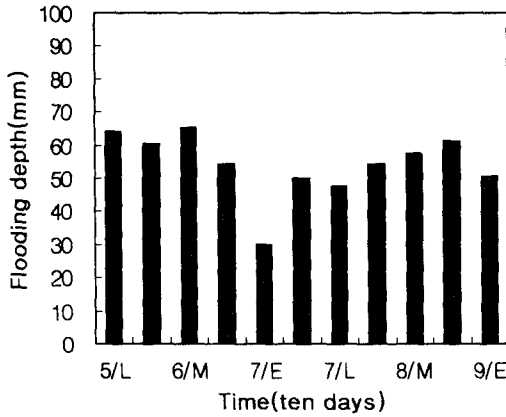


Fig. 3. Changing Flooding depth in paddy fields.

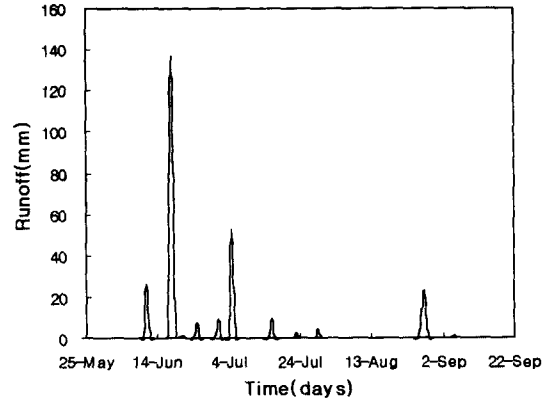


Fig. 4. Changing of Runoff in paddy fields.

## 2. 담수의 영양물질농도

논에서의 담수중 영양물질의 농도는 시비와 담수심의 영향을 가장 크게 받게 된다. 또한 유출되는 영양물질의 양과도 밀접한 연관을 가지고 있다. 폭우시 영양물질 유출에 대한 모의를 하기 위해서는 시비나 강우자료 외에 그 시기의 담수의 농도를 이용하는 것이 합리적인 수 있으므로 시기별 담수농도의 모의 또한 관개논의 영양물질농도모의에 매우 중요하다고 할 수 있다.

기비의 경우 이양전 토양 전층에 전층시비되었으므로 담수의 농도가 크게 올라가지 않은 것으로 모의 되었으며, 이는 모니터링을 통해 얻은 값과도 유사 하였다. 추비의 경우는 표층시비를 하였으므로 양이 기비에 비하여 적음에도 시비 직후 고농도를 유지하였으며, 이 시기의 강우에 의한 유출은 담수중의 영양물질의 농도를 낮추는 요인으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 추비의 경우 표층시비가 이루어 지므로 시비시기도 영양물질의 유출과 담수중 농도의 변화에 영향을 미침을 알 수 있다. 모의된 담수중의 영양물질 농도는 총질소의 경우 평균 6.74mg/l, 최대 46.85mg/l, 최소 2.11 mg/g 로 모의되었으며, 총인의 경우는 평균 2.88mg/l, 최대 8.29mg/l, 최소 0.89 mg/l로 모의되었으며, 분얼비의 경우는 고농도가 몇일간 지속되었지만, 수비의 경우는 농도가 급격히 떨어지는 것으로 모의 되었다. 또한 총인의 경우 기비후 특별한 공급원이 없음으로 농도의 급격한 변화는 보이지 않았다. 일별 담수의 영양물질 농도의 변화에 대한 실측값과 모의치의 비교는 Fig. 5와 Fig. 6과 같다

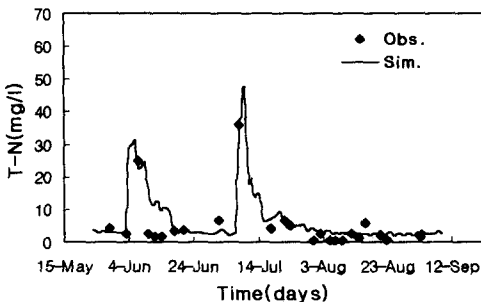


Fig. 5 Changing of concentration of T-N in paddy fields

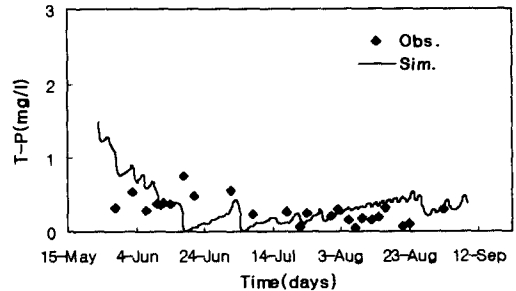


Fig. 6 Changing of concentration of T-P in paddy fields

### III. 요약 및 결론

관개기간 논에서의 물질순환기작을 알기 위해 영양물질 추정모형구성 한 후, 1996년 서울대학교 정밀시험포장의 관개기간 자료와 비교하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강우와 관개량인 입력된 단위논의 물수지는 강우량 638mm, 관개량 710mm이며, 유출량이 288mm로 모의 되었으며, 장마기간에 다량이 배수되었다.
2. 관개기간 영양물질의 유출은 논에서 유출되는 배수량에 가장 큰 영향을 받으며, 배수량은 강우량과 물꼬관리에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
3. 모의된 논 표면수의 영양물질 평균 농도는 총질소는 평균 6.74 mg/l, 총인의 평균농도는 2.88mg/l로 모의 되었다.
4. 관개기간 논에서의 영양물질의 유출을 저감하기 위해서는 시비시기 및 방법에 대한 관리와 동시에 물꼬관리등의 물관리를 적정히 사용 할 경우 저감 효과가 증가하는 것으로 모의 되었다.

### 참고문헌

1. 박승우, 윤광식, 진영민, 이변우, 1997, 논외 물질순환 모니터링, 서울대농학연구지 22 (1), pp.19-27.
3. 조재영, 1999, 논에서 영양물질의 수지와 유출부하량, 전북대학교 농화학과 박사학위 논문.
4. 진영민, 1998, 논외 비점오염물질 배출량 추정을 위한 CREAMS-PADDY 모형의 개발, 서울대학교 농공학과 석사학위 논문.
5. De Datta, S.K. 1987, Nitrogen transformation process in relation to improved cultural practices for lowland rice, Plant Soil, 100, pp. 47-69.
6. 國松孝男 外, 1989, 河川汚濁の モデリ解析, 技 報堂出版.
7. 森保文, 1990, 水田表面水窒素濃度變化の モデリ化, 日本農業土木學會論文集, 146, pp. 15-25.
8. 森保文, 1991. 水田表面水リン濃度變化の モデリ化, 日本農業土木學會論文集, 153, pp. 45-53. 川西璣也, 姜 志恒, 林良茂, 1994, 稻わらお利用 した脱窒法, ケミカル, 39 (6), pp. 41~44