

농업용 화학물질 이동 추정 모형의 발달

-GLEAMS 모형을 중심으로-

Development of Numerical Models to Predict Movement of Agricultural Chemicals

-with emphasis on the GLEAMS model-

鄭 相 玉*

Chung, Sang-ok

Abstract

Non-point source pollution due to agricultural chemicals is one of the great concerns from the viewpoint of environmental protection. Scientists have been trying to develop best management practices in agriculture in order to decrease the water pollution potential not sacrificing high yields. As one of these efforts, several numerical models have been developed to predict the movement of agricultural chemicals.

In this paper, the advancement of models to simulate agricultural chemicals is introduced, and the GLEAMS, which is the most popular simulation model in this area, is described in detail. The GLEAMS model is applied for the first time in Korea to simulate pesticide losses.

I. 서 론

과거 수십년 동안 영농의 주목적은 농산물 생산 증대에 있었으며 이를 위하여 많은 비료와 농약을 투입하게 되었다. 이러한 농업용 화학물질의 성분은 포장내에서의 분해나 작물에 의하여 완전히 소비되지 않고 농경지에 잔류하고 있다가 도달하게 되어 수자원을 오염시키게 된다. 특히 필요 이상의 과다한 농약과 비료의 사용은 비점오염원이 되어 수질오염을 촉진시키게 되어 환경파괴의 원인이 된다.

한편, 습윤지역이나 해안지대의 농경지에서는 높은 지하수위나 과잉토양수분으로 인하여 작물생

육에 걱정하지 못한 토양 환경을 유지하는 경우가 많은데, 이 때에는 지하배수시설을 통하여 과잉수분을 제거하여 작물생육에 적절한 환경으로 바꾸어 주어야 한다. 이러한 지하배수의 도입은 지표배수만 하는 경우에 비하여 수질오염 관리기법에 영향을 미치게 되며 따라서 지하배수에 대하여도 수질관리 대책의 수립을 필요로 하게 되었다.

컴퓨터 공학의 발달과 더불어 각 분야에서 컴퓨터의 이용과 수치모형의 개발 및 사용이 급증하고 있다. 수치모형은 환경보전과 농업생산성의 양측면을 모두 만족시킬 수 있는 물관리 시스템의 설계 및 개발을 위한 기본적인 도구이다. 농경지 표면으로부터 농업화학물질의 이동에 대한 수치모형의

* 경북대학교 농과대학

키워드 : 농약, 비료, 침식, 수질오염, 비점오염, GLEAMS 모형

및 개발을 위한 기본적인 도구이다. 농경지 표면으로부터 농업화학물질의 이동에 대한 수치모형의 개발과 지하수위 관리모형의 개발에서 부터 시작하여, 작물 근근역을 포함하는 모형, 지하배수를 포함하는 모형, 또는 개별 모형의 약점을 서로 보완하도록 조합에 의한 수정모형의 개발 등을 통하여 많은 수치모형이 개발되었다.

본 논문에서는 여러가지 영농방법 중에서 농약과 비료에 의한 비점오염원에 의한 수질오염을 최소로 억제하면서 작물 생산량을 유지할 수 있는 최적영농기법(Best management practices)의 선정에 많이 사용되고 있는 여러가지의 농업용 화학물질 이동 추정 모형에 대하여 개발자, 개발년도 및 개요 등을 소개하고, 특히 그중 성능이 우수하여 서구에서 보편적으로 사용되고 있는 GLEAMS 모형에 대하여 모형의 구성과 성능 및 적용 사례 등을 중점적으로 논의하여 앞으로 우리나라에서도 비점오염원에 의한 수질오염을 저감시킬 수 있는 최적영농기법의 개발에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

II. 모형의 종류와 발달

농업관련 모형은 여러가지 기준에 의하여 분류할 수 있다. 즉, 본 고에서 주로 다루는 농업용 화학물질 이동 추정 모형을 비롯하여 지하수위 관리 모형, 토양침식 모형 및 작물생육과 경제성 분석 모형 등 여러가지가 있다. 물론 이들 중 두가지 이상의 성능을 갖춘 복합적인 모형도 있으며 개개의 모형에서 서로 보완적인 부분을 조합하여 수정한 조합모형도 여러가지가 개발되었다.

개별 작물의 생육에 대한 모형으로는 SOYGRO와 SOYMOD, TOMMOD, CERES-Maize, RICEMOD 등이 각각 콩, 토마토, 옥수수 및 벼의 생육을 시뮬레이션 하는 모형으로 개발되었다. 또, 최근에 자연자원의 관리를 위하여 100년 후까지의 수목생육을 모의발생할 수 있는 TREGRO 모형이 개발되었다.

토양침식도 농업에서 그 중요성이 매우 크기 때문에 이에 대한 모형도 많이 개발되어, RUSLE, ANSWERS, MODANSW, FESHM, SEDI-

MOT II, EPIC, WEPP, PRORIL, KYERMO, SSAST 등 여러가지의 수치모형이 개발되어 농경지나 유역으로부터 지표면 유출과 토양침식 및 유송을 추정하기 위하여 사용되고 있다.

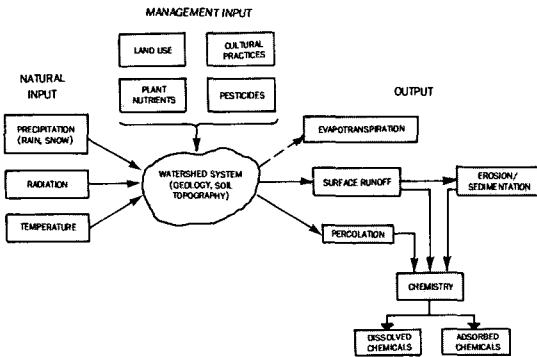
과잉토양수분의 조절을 위한 지하수위관리 모형의 대표적인 것이 DRAINMOD 모형이며, 이는 지하배수 및 지하관개 시스템이 물사용 양상과 작물의 반응등에 미치는 영향을 시뮬레이션할 수 있으며, 또, 지하배수의 암거 간격 등 설계에도 이용되고 있다.

비료와 농약 등 농업용 화학물질이 농경지로부터 유실되는 것을 추정하기 위하여 1970년대초부터 여러가지 수치모형의 개발이 시작되었다. Crawford and Donigian(1973)이 유출, 침식 및 농약의 유실을 추정하기 위하여 PRT 모형을 개발하였고, 이어서 여기에 비료부분을 더하여 ARM 모형을 개발하였다. Frere, et al.(1975) 이 포장과 유역에서 유출, 유사 및 비료의 유실을 추정하기 위하여 ACTMO 모형을 개발하였으며, Bruce et al(1975)은 포장에서 한개의 강우사상에 대한 유추르, 침식 및 농약의 유실을 추정하기 위하여 WASCH 모형을 개발하였다. 또, Computer Sciences Corporation(1980)이 지표유출에 의한 농약유실을 추정하기 위하여 PRS 모형을 개발하였다.

최적영농기법 선정을 위하여 본격적으로 개발된 수질관리 모형의 시초는 CREAMS로 볼 수 있다. 이 모형은 1972년 미국의 연방 수질오염방지법(Federal Water Pollution Control Act)의 개정에서 환경처(Environmental Protection Agency)는 농무성 등 관련기관과 함께 농경지로부터의 오염저감 기법개발에 대한 연구를 하도록 하였으며, 이에 의하여 1975년부터 농무성 산하 농업연구소(Agricultural Reserach Service)에서 영농방법의 차이가 비점 오염원에 의한 수질오염에 미치는 영향을 시뮬레이션 하기 위한 모형개발에 착수하여 수년간의 연구결과 1980년에 CREAMS 모형을 개발하였다. <Fig. 1>은 일반적인 비점오염원으로 부터의 수질오염을 분석하는 시스템의 흐름도를 보여주고 있으며, 비점오염원의 영향을 분석하기 위하여 유역의 현황상태에 기상 입력자

료와 영농 입력자료가 들어가면 모형이 물, 유사 및 화학물질에 대한 출력자료를 생산해 내도록 되어 있다.

CREAMS 모형은 수문, 침식/유송 및 화학물질의 3개 부모형으로 구성되어 있으며 얇은 지표층만 모형에 포함되며 작물의 근근역은 포함되지 않는다. 따라서 지표면을 통과한 침투수는 모형의 경계를 벗어나서 고려대상에서 제외되게 된다. CREAMS 모형에 작물의 근근역을 포함시킨 것이 GLEAMS 모형이다. 따라서 GLEAMS 모형의 구성은 작물의 근근역이 포함되어 있다는 것이 외에는 CREAMS 모형의 구성과 거의 같다.

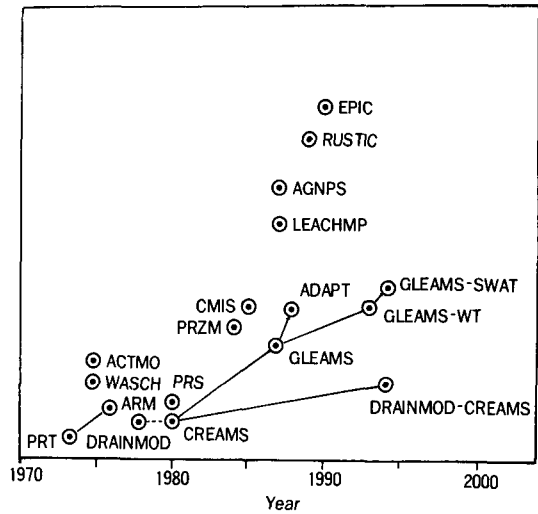


<Fig. 1> Flow chart of system for evaluating nonpoint source pollution

한편, 지하수위 조절을 통한 최적토양수분 상태의 유지를 위하여는 지하배수가 필요한 바, GLEAMS 모형에 DRAINMOD의 지하배수와 지하관개 부분을 조합하여 ADAPT 모형이 개발되었다. ADAPT 모형은 GLEAMS 모형의 융설, 큰공극을 통한 흐름, 증발산량 및 지표유출 등에 많은 수정을 가하여 모형의 기능을 강화하였다.

또, GLEAMS 모형을 지하수면이 지표 가까이 있는 경우에 적용할 수 있도록 수정한 것이 GLEAMS-WT 모형이며, 여기에 다시 지하배수를 추가한 것이 GLEAMS-SWAT 모형이다. 또, DRAINMOD-CREAMS 모형은 CREAMS 모형의 수문 부모형을 DRAINMOD로 대치하여 조합한 모형이다. 이들은 통틀어서 CREAMS / GLEAMS 모형군으로 분류할 수 있다.

그 외에 비료와 농약의 이동에 관한 모형을 소개하면, 먼저 농약이 작물 근근역에서 이용 및 분해



<Fig. 2> Evolution tree of the agricultural chemical models

<Table 1> Developed year and fullname of the models

Model name	Year	Full name
PRT	1973	Pesticide Runoff Transport
ACTMO	1975	Agricultural Chemical Transport Model
WASCH	1975	
ARM	1976	Agricultural Runoff Management
DRAINMOD	1978	DRAINage Model
PRS	1980	Pesticide Runoff Simulator
CREAMS	1980	Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems.
PRZM	1984	Pesticide Root Zone Model
CMIS	1985	Chemical Movement In Soil
AGNPS	1987	AGricultural Non-Point-Source
LEACHMO	1987	Leaching Estimation And CHEMistry Model
GLEAMS	1987	Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems
ADAPT	1988	Agricultural Drainage And Pesticide Transport
RUSTIC	1989	Risk of Unsaturated/ Saturated Transport and transformation of Chemical concentration
EPIC	1990	Erosion/ Productivity Impact Calculator
GLEAMS -WT	1993	GLEAMS with Water Table
GLEAMS -SWAT	1994	GLEAMS with Subsurface drainage and Water Table
DRAINMOD -CREAMS	1994	DRAINMOD with CREAMS

하는 것을 추정하기 위하여 PRZM 모형이 개발되었고, 지하침투와 화학물질의 이동을 추정하기 위하여 LEACHMP 모형이 개발되었으며, 농업구역에서 강우에 의한 지표유출, 유사, 질소 인 및 COD 등 화학물질의 유실량을 추정하기 위하여 AGNPS 모형이 개발되었으며, 포화층과 불포화층에 연하여 농업용 화학물질의 이동과 변환을 추정하기 위하여 RUSTIC 모형이 개발되었다. 또, 토양침식으로 인한 비료성분의 유실과 작물생산성에 미치는 영향을 추정하기 위하여 EPIC 모형이 개발되었다.

물론 이외에도 지역적으로 개발된 여러가지의 모형과 앞에서 소개한 여러가지의 모형을 가감, 수정 및 조합등에 의하여 만들어진 모형들이 있으나 본고에서는 소개를 생략하였다.

〈Fig. 2〉는 농업용 화학물질 이동 추정 모형의 발달과정을 보여주고 있으며, 〈Table 1〉은 이러한 모형들의 개발년도와 원명을 보여주고 있다.

III. GLEAMS 모형

1. 모형의 개요

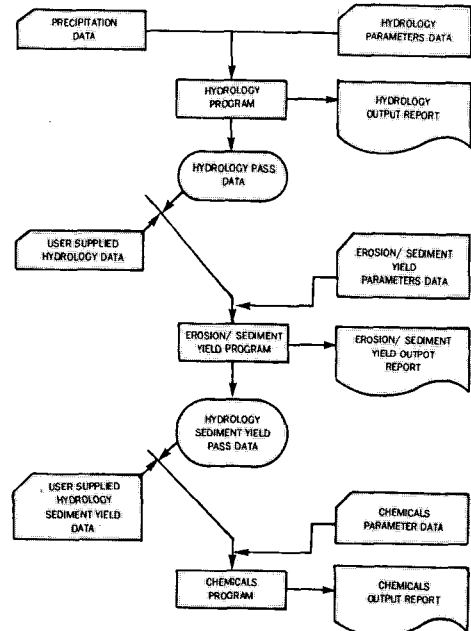
GLEAMS 모형은 1987년에 발표된 이래로 계속적으로 수정과 보완을 통하여 성능을 개선시켜 오고 있으며, 1993년에는 비료부분을 대폭 수정한 Version 2.03을 배포하였다. GLEAMS 모형은 수문, 침식/유송 및 화학물질의 3개의 副모형으로 구성되어 있다. 〈Fig. 3〉은 GLEAMS 모형의 개략적으로 흐름도를 나타내고 있으며 각 부모형의 개요는 다음과 같다.

가. 수문

농경지로부터 오염물질의 이동은 지표면과 토양 내에서 물의 이동량과 속도에 달려 있다. 즉 농경지에서의 수문현상을 강우에 의한 지표유출, 침투, 토양수 이동, 증발산 등을 포함하고 있으며, 지표유출로 인해 토양침식이 발생하고 오염물질이 이동하게 된다.

본 모형에서 일유출량 계산은 SCS 유출수 (Curve number)법을 사용하였고, 침투는 저축추

적기법을 이용하였다. 한 토층으로부터 아래 토층으로의 물 이동은 토양수분이 포장용수량을 초과했을 때 발생한다. 증발산량의 계산은 Ritchie식을 이용하였다.



〈Fig. 3〉 Simplified schematic representation of GLEAMS model

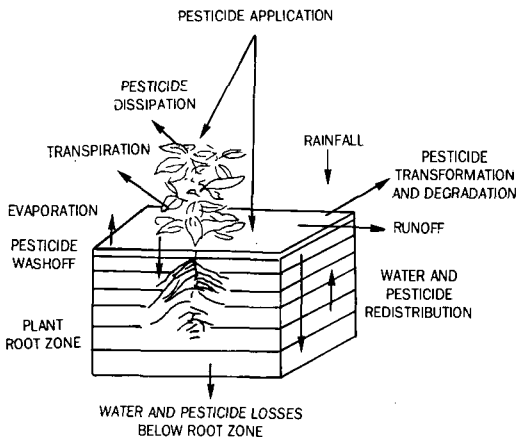
나. 침식/ 유송

침식/유송 모형은 강우로 인하여 농경지로부터 토양이 剝離, 운송 및 퇴적되는 과정을 나타내며, 이로 인해 토양표면에 흡착되어 있는 오염물질이 침식된 토양과 함께 하천으로 유출하게 된다.

침식/유송은 유사량이 운송력보다 작을 경우에는 물의 운동 에너지에 의해 토양침식이 발생하고, 반대로 유사량이 운송력을 초과하는 경우에는 퇴적한다. 침식토양입자의 분포는 5개의 입자크기 (clay, silt, small aggregate, large aggregate, sand) 별로 계산하고, 剝離量은 수정 USLE식을 이용하여 계산하였다.

다. 화학물질

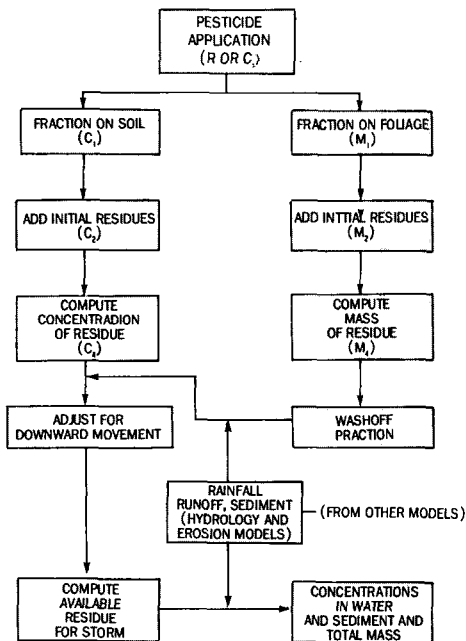
GLEAMS 모형의 주요목적은 영농체계가 지표면과 근근역에서의 화학물질 이동에 미치는 영향을 모의발생하는 것으로 토양표층이 농약과 비료의 이동에 중요한 역할을 한다. 〈Fig. 4〉는



〈Fig. 4〉 Physical system and processes presented in the GLEAMS

GLEAMS 모형의 물리적 체계를 보여주고 있다. 화학물질 모형은 농약부분과 비료부분으로 나누어지며, 지표유출, 침식토양 및 심층침투에 의해 유실되는 비료와 농약의 양과 농도를 계산한다.

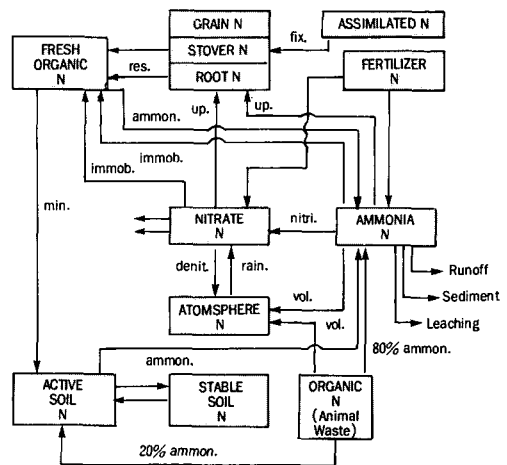
GLEAMS 모형은 10종류의 농약을 동시에 처리할 수 있으며, 작물의 잎에 살포된 농약이 토양에 살포된 농약보다 빨리 분해되기 때문에 잎에 살포된 농약과 토양에 살포된 농약을 구분하여 모의 발생한다.



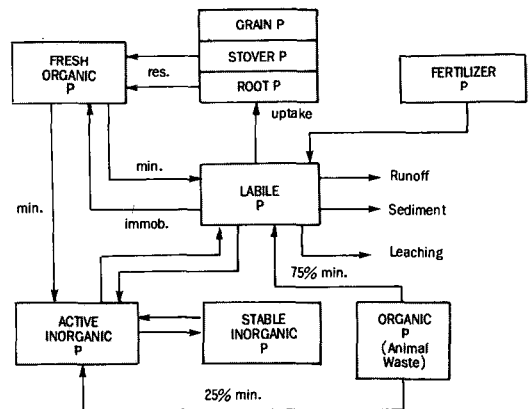
〈Fig. 5〉 Simplified schematic representation of the pesticide model

〈Fig. 5〉는 농약 부모형의 흐름도를 보여주고 있다. 표층은 1cm로 가정하고 표층으로부터의 농약 이동은 강우유출, 침투 및 농약 용해도에 지배된다. 용액부분과 토립자부분의 농약배분은 단순한 선형흡착관계로 나타내었다.

화학물질 모형에서 비료부분은 농경지에서의 N과 P의 순환과 유실을 추정한다. 화학비료나 축산분뇨 등에 의해 토양입자에 흡착된 N과 P 성분은 침식토양과 함께 유실되고, 가용성 N과 P는 지표면 유출로 유실되며, 토양내의 N은 침투, 탈질소 작용, 작물의 섭취 등에 의해서 유실이 발생된다. N과 P의 순환은 매우 복잡한 과정을 거치며 〈Fig. 6〉은 GLEAMS 모형에서 N의 순환 흐름도를 보여주고 있으며, 〈Fig. 7〉은 P의 순환 흐름도를 보여주고 있다. 여기에 나타나는 약자들의 원어는



〈Fig. 6〉 Nitrogen cycling in the GLEAMS model



〈Fig. 7〉 Phosphorus cycling in the GLEAMS model

Residue, Fixation, Uptake, Ammonification, Immobilization, Mineralization, Nitrification, Denitrification, Volatilization이다.

라. 입출력 자료

GLEAMS 모형의 입력자료로는 일강우, 일평균기온, 월평균최고·최저기온, 월평균복사열 등의 기상자료와 토양의 종류, 토양층의 두께, 공극율 등의 토양자료, 작물의 근근역 깊이, 엽면적 지수 등의 작물자료, 농약의 용해도, 작물엽면과 토양에서의 농약의 반감기 등의 농약특성자료 등이며, 이들 자료들을 입력하여 모의발생한 결과 출력자료로는 수문 분야는 유출량, 증발산량, 침투량 등이고, 침식/유송 분야는 강우유출로 인한 농경지 표면과 농경지내 하천에서의 토양 유실량이며, 농약 분야는 표면유출, 토양침식 및 침투에 의한 농약성분의 유실량이다.

이들 출력자료들은 필요에 따라 각 강우별, 월별, 연별 및 총 모의발생 기간 등으로 출력이 가능하다.

2. 모형의 적용

가. 대상지역 및 입력자료

GLEAMS 모형의 적용대상적지로는 농지이용이 단순하고 지역의 토양이 균일하며 공간적으로 균일한 강우가 발생하는 지역이다. 본 연구의 대상지역은 경북 경산시 내동 일대의 포도밭이며, 대상면적은 7.85ha이며 토양은 대부분이 중점토로 구성되어 있고 농경지내 하천의 길이는 360m, 평균경사는 0.006이다.

모형 적용을 위한 입력자료는 크게 기상자료, 지형 및 토양자료, 농약자료로 구분되며, 본 적용에서는 비료부분은 포함하지 않았다. 강우, 기온, 복사열 등 기상자료는 최근 수년간의 대구측후소 자료를 분석한 결과, 평균치에 가까운 1989년도 자료를 이용하였으며, 강우는 일강우량, 기온은 일평균기온 및 월별 최고·최저기온, 복사열은 월별 평균치를 입력하였다.

대상지역 농경지 및 하천의 길이, 경사 등은 지형도 및 현장에서 특정하였으며, 토양자료는 시료

의 채취 분석 및 GLEAMS 모형의 사용설명서에 제시된 표준값을 참고하였다. <Table 2>는 토양 및 작물에 대한 주요 입력자료를 보여주고 있다.

농약자료는 농약공업협회에서 발간한 농약사용지침서, GLEAMS 모형 사용설명서의 도표, 농민설문 등에 의해 값을 선정하였다. <Table 3>은 대상농경지인 포도밭에서 일반적으로 사용하는 농약의 살포일과 살포량 및 화학적 특성들을 보여주고 있다.

<Table 2> Input parameter values of the soil and plant

Item	Description	Input value		Remark
		1	2	
Soil	Horizon	1	2	field invest.
	Soil layer thickness(cm)	17	50	-
	Porosity(cm ³ /cm ³)	0.47	0.43	GLEAMS manual
	Wilting point(cm ³ /cm ³)	0.28	0.30	-
	Organic matter content(%)	0.24	0.21	soil test
	Field capacity(cm ³ /cm ³)	0.39	0.40	GLEAMS manual
Crop	Crop name	Grape		field invest
	Rooting depth(cm)	50		-
	Leaf area index			-

<Table 3> Parameter values of the applied pesticides

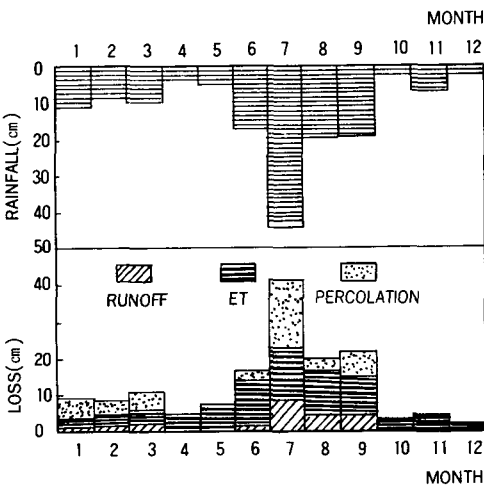
Commercial name (General name)	Date of application (Julian day)	3Solubility (mg/l)	Half life (days)		Application rate (kg/ha)	Remark
			soil	plant		
Sevin (carbaryl)	130	120	10	7	2.25	Pesticide
Dithane (Mancozeb)	164	6	70	10	3.6	Insecticide
Fenitox (Fenitrothion)	186	30	8	3	1.8	Pesticide
Benlate (Benomyl)	211	2	240	6	1.17	Insecticide
Total					8.82	

나. 적용결과 및 고찰

1) 수문

1989년 대구측후소 기상자료를 사용하여 모형이 모의발생한 수문부문 결과는 모의발생 기간중의 강우량 1,285.4mm와 모형이 계산한 5월부터 8월까지의 필요 관개량 230.2mm의 합인 1,515.6mm를 총 강우량으로 간주 하였으며, 이로 인하여 유출량 269.7mm, 증발산량 780.7mm, 침누 467.0mm가 발생 하였으며, 근근역의 연평균 토양수분량은 143.8mm 이었다.

<Fig. 8>은 월별 강우량과 손실량의 관계를 보여주고 있으며, 7월에 가장 많은 강우와 손실이 발생한 것을 알 수 있다. 여기서 손실량은 표면유출, 증발산, 침누량의 합이며 강우량과 손실량과의 차이는 토양수분의 증감에 사용된 것으로 판단된다.



<Fig. 8> Monthly rainfall(including irrigation) and losses.

2) 침식/유송

토양침식은 표면유출로 인해 발생하며 침식토양은 농경지내의 하천으로 유입되며 농경지내의 하천에서는 하천내에서 발생한 침식토양과 표면유출로 인한 침식토양을 하천출구로 운송하게 되며, 토양유실은 농경지의 경사와 토성에 크게 영향을 받는다.

본 모형이 추정한 토양유실량은 총 강우량 1,515.6mm로부터 발생한 표면유출량 269.7mm에 의하여 4.91t/ha가 발생하였다.

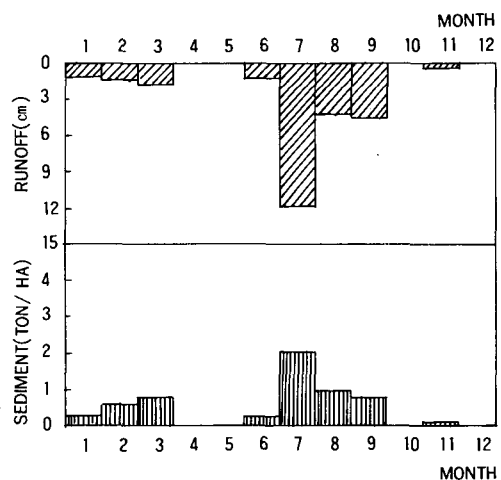
또, 대상지역에서 표면유출에 의해 발생한 토양

유실량과 농경지내 하천에서 발생한 토양유실량이 농경지내 하천의 출구로 운송되어 농경지 밖의 하천으로 유출된 총 토양유실량은 5.72t/ha이었다. <Table 4>는 농경지내 하천출구로 유출된 토양유실량과 토양의 농도를 입자의 크기별로 나타내고 있으며 이는 하천의 경사와 관리상태에 따라 변하게 된다.

<Fig. 9>는 유출로 인한 월별 토양유실량을 보여주고 있으며 유출이 가장 많은 7월에 가장 많은 토양유실이 발생했음을 알 수 있다.

<Table 4> Soil loss at the farm land channel outlet.

Particle type	Frac. of sediment load	Soil loss (kg)	Concentration		
			kg/ m ³	kg/ kg	ppm
Clay	0.67	30,301	1.4303	0.0014	1,430
Silt	0.15	6,534	0.3084	0.0003	308
Small Aggregate	0.11	4,868	0.2298	0.0002	230
Large Aggregate	0.07	3,135	0.1480	0.0001	148
Sand	0	97	0.0046	0	5
Total	1.0	44,935	2.1211	0.0020	2,121



<Fig. 9> Monthly soil loss due to surface runoff.

3) 농약

농약 모형은 강우로 인해 발생하는 유출, 침식/

유송 및 침투에 의한 농약의 유실량을 산출하게 된다. <Table 5>는 대상지역에서의 유출, 침투 및 침식에 의한 단위면적당 농약 유실량과 살포량에 대한 비를 보여주고 있다.

살포된 4종류의 총농약 성분량 8.82kg/ha중 0.69%를 차지하는 60.68g/ha의 농약성분이 유실되었으며, 표면유출, 토양유실, 침투에 의한 유실량은 각각 58.5g/ha, 0.55g/ha, 1.63g/ha이었다.

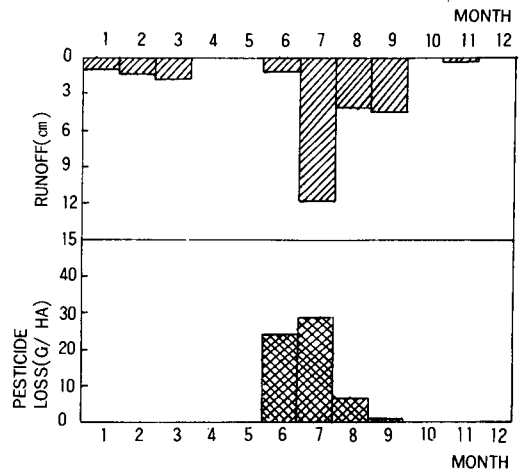
유출에 의한 농약의 유실량이 전체 유실량의 96.4%로 대부분을 차지하고 있으며, 살포량에 대한 ha당 유실비를 기준으로 볼 때 유출량이 가장 많이 발생한 7월에 살포한 Fenitox가 가장 큰 값인 살포량의 1.35%에 해당하는 24.38g/ha의 유실량을 나타내고 있다.

<Fig. 10>은 월별 지표면 유출과 농약유실량을 보여주고 있으며 강우가 가장 많은 달인 7월에 농약성분이 가장 많이 유실되었음을 알 수 있고, 6월에는 유출량에 비해 농약성분의 유실이 많이 발생한 것은 가장 많은 농약성분이 포함된 Dithane이 6월에 살포되었기 때문으로 판단된다.

본 연구에서는 단지 모형을 적용만 하였으며, 앞으로 현장 실측조사를 통한 모형의 검증에 대한 연구가 추가로 이루어져야 할 것이다.

<Table 5> Pesticide losses per unit area and ratio to total amount

pesti- cide	Runoff		Sediment		Percolation		Total	
	g/ ha	ratio (%)	g/ ha	ratio (%)	g/ ha	ratio (%)	g/ ha	ratio (%)
Sevin	0.07	0	0	0	0.74	0.03	0.81	0.04
Dithane	27.94	0.78	0.26	0.01	0.86	0.02	29.06	0.81
Fenitox	24.13	1.34	0.23	0.01	0.02	0	24.38	1.35
Benlate	6.36	0.54	0.06	0	0.01	0	6.43	0.54
Total	58.5	0.66	0.55	0.01	1.63	0.02	60.68	0.69



<Fig. 10> Monthly pesticide loss due to surface runoff.

IV. 요약 및 결론

농업용 화학물질인 비료와 농약으로 인한 지표수 및 지하수의 오염은 환경보전 측면에서 많은 문제를 제기하고 있다. 따라서 수질오염의 가능성을 최소한으로 줄이면서 많은 수확량을 얻을 수 있는 최적영농기법의 개발을 위하여 많은 노력을 하여 오고 있다. 이러한 노력의 일환으로 농업용 화학물질의 흐름을 추정할 수 있는 수치모형이 많이 개발되었다.

본 논문에서는 이러한 농업용 화학물질 이동 추정모형의 발달과정을 소개하고 그중 가장 많이 사용되고 있는 GLEAMS 모형에 대하여 자세히 소개하고, 우리나라의 밭에서 이 모형을 적용하여 모형이 추정한 농약의 유실량을 고찰하였는 바, GLEAMS 모형이 우리나라에서도 밭영농에서 농약의 유실을 추정하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. 김현수, 1994. GLEAMS 모형을 이용한 농약 유실의 추정. 경북대학교 석사학위논문, pp. 47.
2. 농약공업협회, 1993. 농약사용지침서.

3. Agricultural Research Service, 1990. EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation, USDA-ARS Technical Bulletin No. 1768.
4. Alexander, C., 1988. ADAPT-A model to simulate pesticide movement into drain tiles. M.S. thesis, Agricultural Engineering Department, The Ohio State University, Columbus, Ohio.
5. Beasley, D.B., W.G. Knisel, and A.P. Rice, 1989. (Eds.) Proceedings of the CREAMS/GLEAMS symposium, Publication No. 4, Agricultural Engineering Department, University of Georgia-Coastal Plain Experiment Station, Tifton, GA.
6. Bruce, R.R., L.A. Harper, R.A. Leonard, W. M. Snyder, and A.W. Thomas, 1975. A model for runoff of pesticides from small upland watersheds. J. of Environmental Quality, Vol. 4, No. 4, pp. 541-548.
7. Carsel, R.F., D.N. Smith, L.A. Mulkey, J. D. Dean, and P. Jowisel, 1984. User's manual for the pesticide root zone model. Release 1. US EPA 600/3-84-109.
8. Chung, S.O., A.D. Ward, and C.W. Schalk, 1992. Evaluation of the hydrologic component of the ADAPT water table management model. Trans. of ASAE, Vol. 35, No. 2, pp. 571~579.
9. Chung, S.O., A.D. Ward, N.R. Fausey, G. Knisel, and T.J. Logan, 1992. An Evaluation of the ADAPT water table management model. Proceedings of the 6th International Drainage Symposium, ASAE, St. Joseph, MI., pp. 337~344.
10. Chung, S.O., A.D. Ward, N.R. Fausey, and T.J. Logan, 1991. Evaluation of the pesticide component of the ADAPT water table management model. ASAE Paper No. 91-2632, St. Joseph, MI.
11. Computer Sciences Corporation, 1980. Pesticide Runoff Simulator (PRS) user's manual. USEPA Office of Pesticide Program, Washington, D. C.
12. Crawford, N.H. and A.S. Donigian, Jr., 1973. Pesticide transport and runoff model for agricultural lands. EPA-660/274-013, Office of research and development, USEPA.
13. Dean, J.D., P.S. Huyakom, A.S. Donigian, Jr., K. A. Voos, R.W. Shanz, and R. F. Carsel, 1989. User's guide for the risk of unsaturated/saturated transport and transformation of chemical concentration (RUSTIC). Vol II, EPA/600/3-89/0486. Athens, GA, USEPA Environmental Research Laboratory.
14. DeCoursey, D.G., 1990. (Ed.) Proceedings of the International Symposium on water Quality Modeling of Agricultural Non-Point Sources. ARS-81, Part 1. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture.
15. Donigian, A.S., Jr., and N.H. Crawford, 1976. Modeling pesticides and nutrients on agricultural lands. EPA-600/2-76-043, Office of research and development, USEPA.
16. Frere, M.H., C.A. Onstad, and H.N. Holtan, 1975. ACTMO, an agricultural chemical transport model. USDA Agricultural Research Service, ARS-H-3.
17. 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.
18. Leonard, L.A., W.G. Knisel, and D.A. Still, 1987. GLEAMS : Groundwater loadings effects of agricultural management systems. Trans. of the ASAE, Vol. 30, No. 5, pp. 1403~1418.
19. Leonard, L.A., and W.G. Knisel, 1988. Evaluating groundwater contamination potential from herbicide use. Weed Technology Vo. 2. pp. 207~216.
20. Leonard, L.A., and W.G. Knisel, 1989. Groundwater loadings by controlled-release pesticides : A GLEAMS simulation. Trans. of the ASAE, Vol. 32, No. 6, pp. 1915~1922.
21. McMennamy, J.A., and J.C. O'Toole, 1983. RICEMOD : A physiologically based rice growth and yield model. IRRI research

- paper series No. 87. The International Rice Research Institute. The Philippines.
22. Nofziger, D.L., and A.G. Hornsby, 1985. Chemical movement in soil. In IBM PC User's Guide. Florida Coop. Ext. Serv. Circ. No. 654, University of Florida, Gainesville.
 23. Parr, A., S. Limback, B. McEnroe, and S. Zou, 1994. Non-Point-Source Pollution from interrill flow areas. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 120, No. 6, pp. 1056~1066.
 24. Reyes, M.R., R.L. Bengtson, and J.L. Fous, 1994. GLEAMS-WT hydrology submodel modified to include subsurface drainage. Trans. of the ASAE Vol. 37, No. 4, pp. 1115~1120.
 25. Reyes, M.R., R.L. Bengtson, J.L. Fous, and J.S. Rogers, 1993. GLEAMS hydrology submodel modified for shallow water table condition. Trans. of the ASAE, Vol. 36, No. 6, pp. 1771~1778.
 26. Saleh, A.R., R.L. Bengtson, and J.L. Fous, 1994. Performance of the DRAINMOD-CREAMS model with an incorporated nutrient submodel. Trans. of the ASAE, Vol. 37, No. 4, pp. 1109~1114.
 27. Skaggs, R.W., 1978. A water table management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134. Water Resources Institute of the University of North Carolina, North Carolina State University, Raleigh, NC.
 28. Svetlosanov, V., and W.G. Knisel, 1982. (Eds.) European and United States case studies in application of the CREAMS model. IIASA collaborative proceedings series CP-82-S11. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
 29. Thooko, L.W., R.P. Rudra, W.T. Dickinson, N.K. Patni, and G.J. Wall, 1994. Modeling pesticide transport in subsurface drained soils. Trans. of the ASAE, Vol. 37, No. 4, pp. 1175~1181.
 30. Wagenet, R.J., and J.L. Hutson, 1987. User's manual for leaching estimation and chemistry model(LEACHMP). Continuum No. 2 Water Resources Institute, Ithaca, N.Y.
 31. Yoon, K.S., K.H. Yoo, C.W. Wood, and M. Hall, 1994. Application of Gleams to predict nutrient loss from land application of poultry litter. Trans. of the ASAE, Vol. 37, No. 2, pp. 439~452.
 32. Young, R.A., C.A. Onstad, D.D. Bosch, and W.P. Anderson, 1987. AGNPS : Agricultural Non-Point-Source Pollution Model : A watershed analysis tool. Conservation Res. Rep. 35. USDA-ARS Science and Education Administration, Washington, DC.
 33. Zacharias, S., and C.D. Heatwole, 1994. Evaluation of GLEAMS and PRZM for predictiong pesticide leaching under feild conditions. Trans. of the ASAE, Vol. 37, No. 2, pp. 453~460.

약 력

정 상 옥



1976. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
 1982. University of Hawaii M.S.
 1985. Iowa State University Ph. D.
 1989. 토목기술사(수자원 개발)
 현재 경북대학교 농과대학 농업토목공학과 교수
 KCID 배수분과위원장 /
 편집 및 학술분과위원