

## 홍수기 논의 저류량 산정모형 개발 및 적용 Development and Application of Paddy Storage Estimation Model During Storm Periods

김성준\* / 김선주\*\* / 윤춘경\* / 권형중\*\*\* / 박근애\*\*\*\*  
Kim, Seong Joon / Kim, Sun Joo / Yoon, Chun Gyeong /  
Kwon, Hyung Joong / Park, Geun Ae

### Abstract

The hydrologic behavior of paddy field depends largely on the irrigation and levee height management by farmers. The storage and drainage amount of paddy for storm events certainly influences the stream discharge. To understand the paddy storage effect during storm periods, a daily paddy water balance model embedding farmer's water management was developed by using 4 years (1996, 1997, 2001, 2002) field experimental data at 2 locations (Suwon and Yeosu). From the modeling, it was possible to simulate the daily ponding depth of paddy by treating paddy levee height and threshold ponding depth indicating irrigation time as 10 days average parameters of the model. The storage amount(306.9 mm to 343.6 mm) showed little deviation to rainfall amount(425.1 mm to 850.8 mm).

**Keyword** : hydrologic behavior of paddy, paddy storage, daily water balance model, ponding depth, levee height

### 요 지

논의 수문학적 거동은 물관리에 따른 담수심 상태, 비의 생육시기별 물꼬관리에 크게 지배 받는다. 강우사상에 의한 논에서의 저류 및 배수량은 하천유량에 적지 않은 영향을 준다. 본 연구에서는 홍수기 논의 저류효과를 정량적으로 파악하기 위하여 논의 저류량을 모의할 수 있는 일별 물수지 모형을 개발하고, 수원과 여주의 논을 대상으로 4년간(1996, 1997, 2001, 2002) 측정된 자료를 이용하여 모형의 적용성을 검토하였다. 모형에서 물꼬높이와 기준 담수심(관개를 해야하는 한계 담수심)을 10일 단위의 매개변수로 처리하여 일별 담수심을 재현할 수 있었다. 홍수기 논의 저류량은 425.1 mm - 850.8 mm의 강우량 변동폭에 대하여 306.9 mm - 343.6 mm의 상대적으로

\* 건국대학교 지역건설환경공학과 부교수  
Associate Professor, Dept. of Rural Eng., Konkuk Univ., Seoul 143 701, Korea  
(E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr)  
\*\* 건국대학교 지역건설환경공학과 교수  
Professor, Dept. of Rural Eng., Konkuk Univ., Seoul 143 701, Korea  
\*\*\* 건국대학교 지역건설환경공학과 박사과정  
Doctoral Student, Dept. of Rural Eng., Konkuk Univ., Seoul 143-701, Korea  
\*\*\*\* 건국대학교 지역건설환경공학과 석사과정  
Graduate Student, Dept. of Rural Eng., Konkuk Univ., Seoul 143-701, Korea

작은 저류량 변동폭을 보였다.

**핵심용어** : 논 의 수문학적 거동, 논 의 저류량, 일별 물수지모형, 담수심, 물꼬높이

## 1. 서 론

수지원의 효과적인 활용측면과 주식인 쌀의 재배특성 측면에서, 우리나라는 하천을 따라 하천주변의 적절한 공간적 범위를 대상으로 논이 형성된 토지이용 형태를 갖추고 있다. 논벼는 일반적으로 담수상태에서 재배되므로, 효율적인 물관리를 위하여 관개횟수를 최소화하기 위해서는 배수가 잘되지 않는 토양조건을 가지는 것이 좋다. 한편 오랜 기간동안 유역에서 꾸준히 침식된 토양의 운송작용 등이 하천 주변지역 토양을 자연적으로 siltation화하여 배수가 잘 안되는 토양으로 형성되어 있고, 또한 하천주변지역은 지하수위가 높으므로 논벼의 재배지역으로 적합한 특성을 지니고 있다.

과거로부터 지금까지 논은 농업용수의 원활한 공급과 이용 관점에서 용배수시설이 이루어져 왔다. 그러나, 우리나라의 기후 특성에 따라 장마가 시작되는 6월부터 태풍이 올라오는 9월 동안의 홍수기(이는 벼의 재배시기와도 일치함)에는 논 재배가 원활하게 이루어지는 조건에서 과연 어느 정도의 저류능력을 가지고 홍수에 대처할 수 있는지에 대한 정량적인 통계자료 또는 분석자료가 없는 실정이다. 다만 농업과학기술원에서 논에서의 여유고(물꼬높이에서 담수심을 뺀 값)와 침투량을 단순히 산술적으로 계산하여 ha당 2,378톤(237.8 mm)을 저류시킬 수 있다고 제시한 바 있다. 따라서 논의 동적인 물관리 상태를 고려하여 저류능을 정량적으로 제시한다면, 앞으로 논을 포함한 도시개발계획, 저류능력을 고려한 하천정비사업 시에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

홍수시 논 의 저류능을 파악하기 위해서는 논 의 물꼬 관리 관행과 강우와 관개를 고려하여 벼의 재배시기별로 논에서의 물수지를 파악하여야 한다. 이를 위해서는 관개배수분야에서 다루는 논에서의 필요수량, 소비수량과 유효수량 개념을 이해하여야만 가능해진다. 논에서의 물수지는 관개량, 증발산량 산정에 요구되는 기상자료, 침투량 등의 현장자료 수집의 한계와 효율성을 고려하면 일단위로 산정하는 것이 바람직하다. 따라서 이 개념들을 도입하여 논에서의 일별 물수지모형을 구성함으로써, 홍수시 논에서의 저류량 및 물꼬를 통하여 배출되는 지표유출량을 산정할 수 있게 된다.

한편 우리나라의 논재배 형태는 최근 들어서는 농촌의 노동력 부족, 다수확 신품종 벼의 개발, 관개기술의 발전 등으로 그 동안의 이양 담수재배 위주에서 수확량은 거의 확보되면서 노동력을 최소한으로 줄이고자 하는 직파재배(담수 및 건답)를 선호하는 농가가 증가추세에 있다. 이와 같은 재배방식의 변화는 홍수시 논 의 저류능을 시기적으로 변화시키는 요인이 된다. 따라서, 지역적으로 차이는 있지만 이러한 벼의 재배방식별 물관리를 고려한 물수지모형을 개발하여 홍수시 논 의 저류능을 산정할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 이양재배, 직파재배(건답 및 담수) 방식별 물관리 형태를 고려하여 강우시 논에서의 저류능을 산정할 수 있는 논의 일별 물수지모형을 개발하고 현장측정자료를 이용하여 모형의 적용성을 평가한 후, 검증된 모형을 이용하여 재배방식 및 물꼬관리와 담수심 관리별로 논 의 저류량을 분석하므로써 홍수시 논 이 가지는 저류능력의 정량화를 시도하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 논 의 저류량 산정을 위한 기본이론

논 의 저류량 산정을 위하여 관개배수 분야에서 활용하고 있는 논에서의 유효수량 산정기법을 도입하고자 한다. 유효수량은 “벼의 생육기간 동안의 총 강우량 중에서 논 내에서 사용되지 않은 강우량을 뺀 양”으로 정의된다. 관개수량이 없는 조건하에서 논내에서 사용되지 않은 강우량이 물꼬를 넘어 간 양이라고 가정하면, 유효수량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$ER(\%) = \frac{-(\dot{E}T + DP + ST)}{RF} \times 100 \quad (1)$$
$$= \left(1 - \frac{SD}{RF}\right) \times 100$$

여기서 ER: 강우의 유효율(%), RF: 강우량(mm), ET: 증발산량(mm), DP: 삼투량(mm), ST: 논내의 저류량(mm), SD: 물꼬를 통한 유출량(mm). 상기의 식에서 유효수량의 산정시 논내의 저류량 ST를 구하면 된다. 강우 발생시의 논내 저류량 ST를 구하기 위해서는 논에서의 일별 담수심 변화를 추적하는 모형이 필요

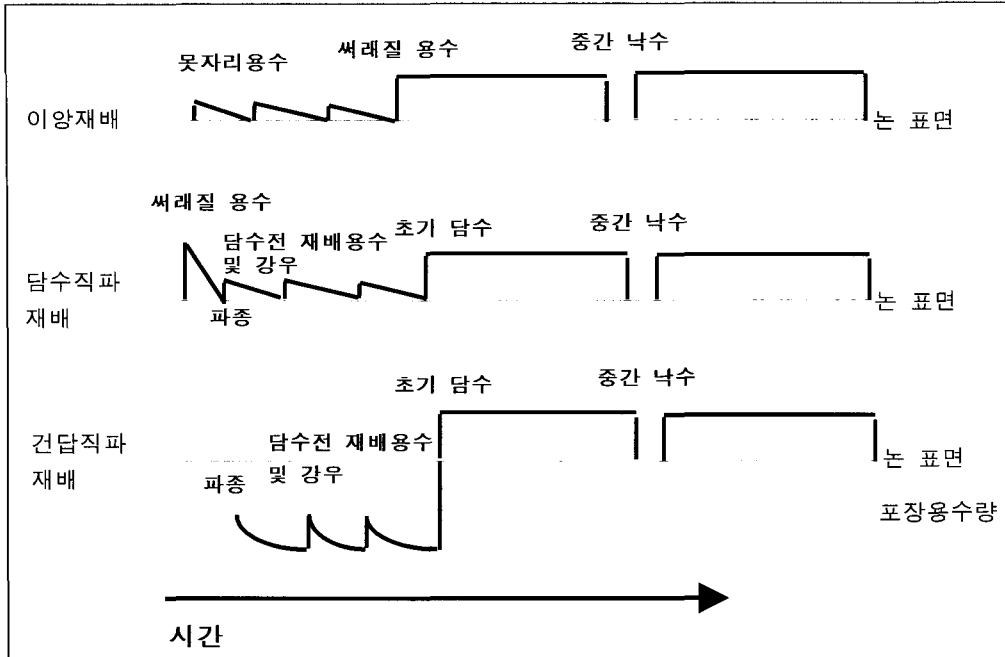


그림 1. 벼의 재배방식별 물관리 개념도

하다.

잠재증발산량을 계산하기 위한 식은 Blaney-Criddle식, Jensen & Haise식, Penman식 등 여러 가지가 있으나, 우리나라 농업분야에서는 수정 Penman식(Doorenbos와 Pruitt, 1977)을 적용하고 있다. 수정 Penman식에 의한 잠재증발산량(potential evapotranspiration, PET) 산정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 PET &= C \cdot [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(U) \cdot (e_a - e_d)] \\
 &= C \cdot \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right. \\
 &\quad \left. \cdot 0.27(1 + 0.01 U_2)(e_a - e_d) \right]
 \end{aligned}$$

여기서 PET: 잠재증발산량(mm/day), C: 밤과 낮의 기상효과를 고려하는 보정계수, W: 기온과 관련된 가중인자,  $R_n$ : 순일사량(mm/day),  $f(U)$ : 풍속함수,  $U_2$ : 지상 2m에서의 주간풍속(km/day),  $e_a$ : 평균기온에서의 포화수증기압 (mbar),  $e_d$ : 평균기온에서의 수증기압 (mbar),  $\Delta$ : 온도에 따른 포화수증기압의 변화율,  $\gamma$ : 건습계 상수. 실제증발산량(ET) 산정을 위한 벼의 작물 계수(K)는 농림수산부(1986)의 자료를 인용하였다(표 1).

## 2.2 논벼의 재배방식별 물관리 특성

우리나라의 벼농사에서 이앙재배는 1977년부터 시작한 동력이앙기의 개발 보급에 따라 기존의 손이앙방식에서 기계이앙방식으로 급진적으로 확대되었고, 2002년

표 1. 논벼의 Penman 작물계수 K

구분	5	6			7			8			9	평균
	하	초	중	하	초	중	하	초	중	하	초	
북부	1.13	0.92	0.78	1.23	1.06	1.27	1.12	1.35	1.13	1.12	-	0.89
중부	-	0.97	1.03	1.27	1.27	1.34	1.47	1.57	1.43	1.41	-	1.31
남부	-	0.96	0.87	0.94	1.06	1.10	1.18	1.30	1.09	1.10	1.27	1.16

자료: 작물소비수량 산정방법 정립연구, 1986, 농림수산부, 농이촌진흥공사

현재 기계이양 재배면적은 전체 이양면적의 약 90%를 차지하고 있다. 이양재배시 벼의 생육시기별 담수심은 물꼬높이와는 별도의 의미를 가지며, 강우시 논내에 실질적으로 저류되는 양을 산정하기 위해서는 농민들의 물꼬높이 관리관행을 고려하여 어느 정도의 여유고를 두어야 현실성이 있다.

직파재배는 크게 건답직파와 담수직파로 나눌 수 있다. 건답직파는 논에 물이 없는 조건에서 파종하는 작업이 용이하고 대형기계화가 가능한 재배법이다. 파종후 적정한 토양수분 상태에서 10-15일 후에 출아되며, 벼의 본엽이 2-3엽기(파종후 30일 정도)가 되는 입묘기 이후부터는 담수하여 이양재배와 동일하게 재배하면 된다. 담수직파(무논 골뿌림)는 경운→정지(씨레질)→논 굳히기→파종→논 그루기 (3일관개/2일배수의 간단관개)후 무논골의 깊이를 채울 수 있는 10-20mm 정도의 담수심을 유지하는, 관개용수가 충분히 확보된 상태에서 가능한 재배법이다. 파종후 10-15일(논그루기를 실시한 후)에는 깊게 관개하여야 하며, 직파재배와 마찬가지로 2-3엽기가 되면 이양재배와 동일하다.

이양재배, 건답직파 및 담수직파의 본답 관개전까지의 물관리를 위한 필요용수량의 변화를 살펴보면 그림 1(농림부, 1997)과 같다. 이양재배는 못자리용수와 씨레질 용수 및 본답 담수량과 지배용수로 구분되고, 건답직파에서는 발아를 위한 토양수분 유지를 위한 담수전 재배 용수와 3-4엽시 이후의 초기 담수 용수, 재배 용수로, 담수직파와 재배는 씨레질 용수와 담수전 재배 용수, 초기 담수용수, 재배 용수로 구분되어 진다. 최대용수량을 비교해 보면 이양재배와 담수직파재배는 씨레질 용수량을 공급할 때이고, 건답직파와 재배는 3-4엽시의 최초 본답 관개시에 용수량이 크다. 특히 건답직파 재배는 토양을 포화시킨 후에 담수해야 하므로 단기간에 이양재배나 담수직파와 재배에 비하여 많은 물량을 필요로 한다.

재배방식은 논외 삼투량에도 영향을 준다. 건답직파에서는 담수후 상당한 기간이 경과한 후에도 논외 투수성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

### 3. 논외 저류량 산정모형 개발

#### 3.1 일별 물수지 모형에 의한 저류량 산정

논에서의 일평균 담수심을 연속적으로 추적하기 위해서는 전일의 담수심과 논으로의 유입과 유출에 근거를 둔 당일의 변화된 담수심을 일단위로 계산하는 물수지

식이 필요하다(Le Nogc Sen, 1977).

$$D_t = D_{t-1} + IR_t + RF_t - ET_t - DP_t - SD_t \quad (3)$$

여기서 D: 담수심(mm), IR: 관개수량(mm), t: 일(day). 이 식과 더불어 논에서 저류되는 한계량을 추정하기 위하여 매일의 여유고(freeboard)를 산정하여야 하는데, 이는 다음 식과 같다.

$$FB_t = LH - D_{t-1} + ET_t + DP_t \quad (4)$$

여기서 FB: 여유고(벼의 소비수량을 고려한 물꼬높이에서 담수심을 뺀 값)(mm), LH: 벼의 생육시기별로 고정된 물꼬높이(mm). 상기의 두 식을 이용하면, 논에서의 저류량과 더불어 물꼬를 넘어 유출된 양도 계산이 가능하다. 강우발생시 논에서의 저류량은 다음 식으로 계산된다.

$$\begin{aligned} ST &= RF && \text{for } RF \leq FB \\ ST &= FB && \text{for } RF > FB \end{aligned} \quad (5)$$

#### 3.2 모형의 구성 및 입출력자료

논외 저류량에 영향을 주는 인자는 물수지 요소 즉, 강우량, 차단, 증발산량, 삼투량, 물꼬를 통한 유출량, 물꼬높이 및 관개방법 등으로 이루어진다. 이들은 크게 자연적인 조건과 인위적으로 조작되는 것으로 나누어진다. 자연적인 조건 즉, 강우량, 차단, 증발산량, 삼투량은 입력자료로 처리가 가능하며, 인위적인 조건 즉, 물꼬높이, 관개방법, 강제배수량은 모형의 매개변수로 처리하여야 한다.

논외 저류량과 밀접한 관계가 있는 관개방법은 강우직전의 담수심에 영향을 주어 여유고를 결정하는 중요한 요인이 된다. 본 연구에서는 관개여부를 판단하는 기준담수심을 설정(관개당일의 담수심이 그 날의 소비수량(증발산량+삼투량)을 만족시키지 못할 때 관개)하여 관개를 실시하는 간단관개(일반적인 관개관행) 방법을 채택하였다. 물꼬높이는 강우량에 대한 논외 저류량 범위(저류량의 상한값)를 결정하는 인자로서, 벼의 생육시기별 논외 물꼬관리는 관개조직의 특성(관개수로와 논바닥의 표고차, 농민이 관리하는 논외 면적에 따른 월류관개 등)에 따라 그 변화가 심하다. 본 연구에서는 기준담수심(관개시기를 결정하는 담수심)과 순별 물꼬

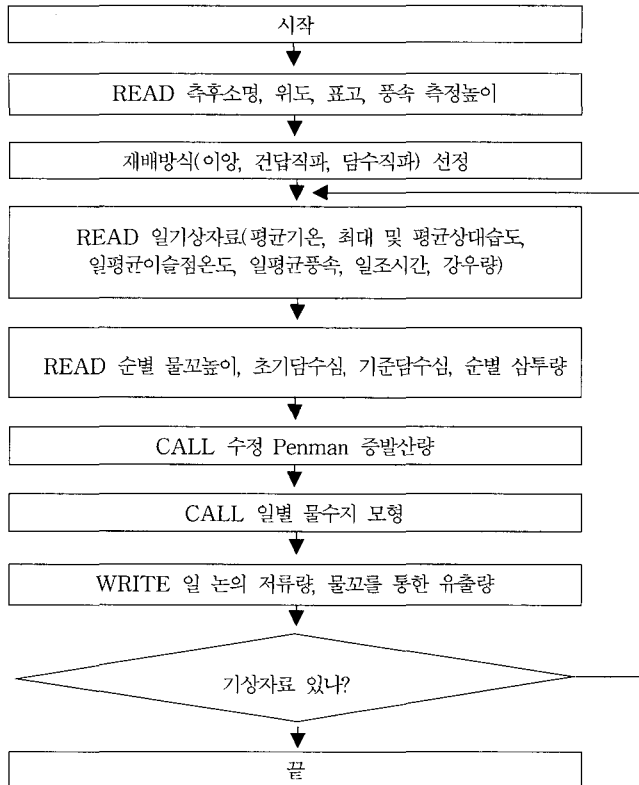


그림 2. 홍수시 논 의 저류량 산정모형 흐름도

높이를 매개변수로 처리하였다.

본 모형에서의 입력자료는 측후소의 위도 및 표고, 풍속 측정높이, 일강우량, 일기상자료(평균기온, 최대 및 평균상대습도, 평균이슬점온도, 평균풍속, 일조시간, 순별 삼투량, 초기담수심으로 이루어져 있다.

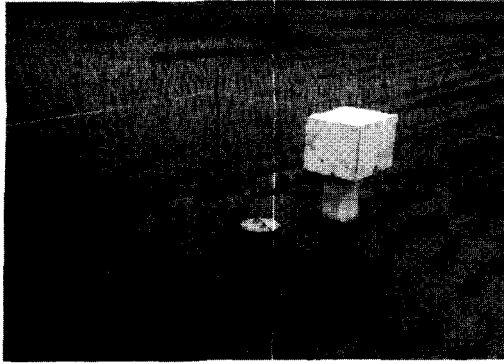
출력자료는 입력자료와 더불어, 물꼬를 통한 유출량, 저류량, 그리고 필요에 따라 유효우량을 출력하도록 하였다. 본 모형의 언어는 Fortran을 사용하였으며, 구성 흐름도는 그림 2와 같다.

#### 4. 일별 물수지모형의 적용성 검토

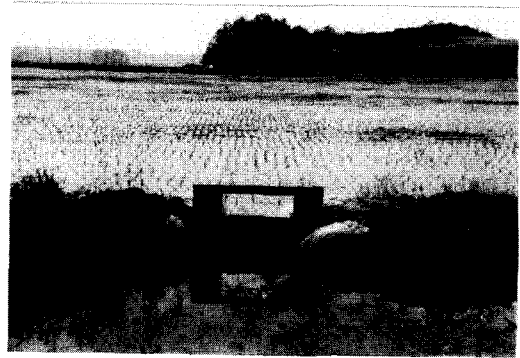
개발된 논 의 일별 물수지모형의 적용성을 검토하기 위하여, 수원지역(1996년-1997년)과 여주지역(2001년-2002년)의 현장 측정자료(담수심, 관개량, 배수량, 침투량)를 이용하였다(농림부, 1997, 2002). 그림 3은 논 의 관개량, 배수량 및 담수심 측정장치들을 보여 주고 있다.

표 2는 논 의 일별 담수심을 모의하기 위한 모형의 조건(생육시기별 물꼬높이, 관개시기 결정을 위한 기준

담수심), 즉 보정된 매개변수들을 정리한 것이며, 표 3은 모의결과를 정리한 것이다. 2001년과 2002년의 모의결과, Nash-Sutcliffe(1970) 모형효율은 각각 0.41-0.94의 범위를 보였다. 그림 4는 여주지역의 2001년 및 2002년의 기상자료와 현장자료를 이용하여 모의한 결과를 도시한 것이다. 2001년의 물꼬유출량을 비교하는 그림에서 5월과 7월에 실제로는 물꼬유출량이 있는데, 모형에서는 유출량이 없는 것으로 모의되었다. 모의결과에 대한 오차원인으로서 실제 담수심의 거동을 자세히 살펴보면, 5월에는 기준담수심 이하로 담수심이 떨어졌는데도 불구하고 관개를 실시하지 않았으며, 7월에는 관개 후에 물꼬를 조절하여 강제배수를 실시하므로 모의발생치와 차이가 발생한 것으로 판단된다. 2002년의 경우에는 7월초에 상당한 양의 실제 물꼬유출량이 있는데, 이는 2001년의 7월의 경우와 마찬가지로 비의 무효분열기인 중간낙수 시기임에도 불구하고 관개를 실시하고 관개 후에 물꼬를 조절하여 강제배수를 실시하므로 모의발생치와 차이가 발생한 것으로 판단된다.



담수심 및 삼투량 측정장치



관개량 및 배수량 측정용 사각웨어

그림 3. 논외 담수심, 관개량 및 배수량 측정장치

표 2. 일별 담수심을 모의하기 위한 조건

월	순	5			6			7			8			9	
		하	초	중	하	초	중	하	초	중	하	초	중		
물꼬높이 (mm)	1996	-	-	-	40	0	60	100	70	80	90	80	60		
	1997	-	-	70	80	100	100	110	110	90	80	60	-		
	2001	80	40	80	120	0	0	120	120	90	60	0	-		
	2002	100	100	140	100	170	0	140	200	140	140	140	-		
기준담수심 (mm)	1996	-	-	-	5	0	60	60	25	30	45	40	20		
	1997	-	-	40	50	60	60	35	65	70	65	20	-		
	2001	15	15	15	15	0	0	15	15	15	15	0	-		
	2002	90	90	90	100	100	0	90	90	90	90	90	-		
삼투량 (mm/day)	1996	-	-	-	5.3	5.5	1.0	0.8	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3		
	1997	-	-	1.3	1.5	1.0	0.8	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	-		
	2001	1.3	1.5	1.0	0.8	0	0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	-		
	2002	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	-		

표 3. 모형의 모의결과

년도	총 강우량 (mm)	관개		물꼬유출량		논저류량 (mm) (저류율)	증발산량 (mm)	삼투량 (mm)	Nash-Sutcliffe 모형효율	
		양(mm)	횟수	양(mm)	횟수					
1996	425.1	실측	-	-	121.2	4	306.9 (72.2%)	375.1	149.4	0.74
		모의	269.4	7						
1997	660.5	실측	65.2	6	320.9	6	339.6 (51.4%)	427.5	65.8	0.41
		모의	130.8	5						
2001	511.3	실측	122.8	7	507.3	11	342.9 (67.1%)	496.8	63.9	0.94
		모의	240.1	5						
2002	850.8	실측	192.5	28	1290.2	10	343.6 (40.4%)	467.5	43.0	0.94
		모의	482.4	20						

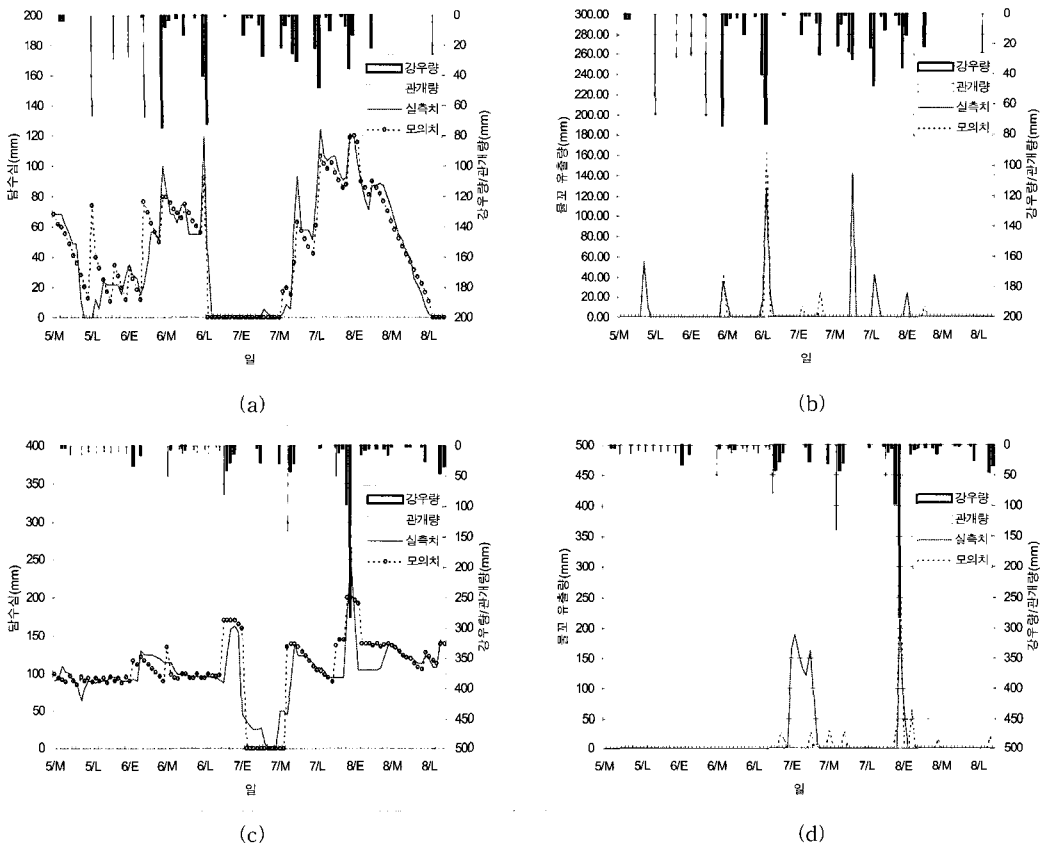


그림 4. 여주지역 모의결과 (a) 실측담수심과 모의담수심의 비교(2001), (b) 실측 물꼬유출량과 모의 물꼬 유출량의 비교(2001), (c) 실측담수심과 모의담수심의 비교(2002), (d) 실측 물꼬유출량과 모의 물꼬유출량의 비교(2002)

논의 일별 담수심을 재현하기 위하여 농민의 실제 물꼬높이 관리와 관개시기를 10일 간격의 매개변수로 처리하여 모델링을 시도하였다. 그 결과, 4개년도(1996, 1997, 2001, 2002)의 실제 담수심과 관측 담수심이 재현될 수 있음을 확인하였다. 그러나, 물꼬높이와 기준담수심은 연도간 그리고 순별로 큰 편차를 보이고 있는데, 이는 해당년도의 강우상황에 따른 농민의 물꼬관리 및 관개행위에 대한 현장 정보가 없다는 모의가 불가능하다고 말할 수 있다.

수원과 여주지역의 총 4개년(1996, 1997, 2001, 2002)간의 모의결과, 벼 재배기간동안의 강우량과 논에 저수된 양과의 관계를 도시하면 그림 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이, 측정된 강우량 범위내에서 두 변수간의 관계는 결정계수가 0.984로서 고도의 유의차를 갖는 1차 선형식으로 표현이 가능하였다. 이는 강우량이

증가할수록 논에서의 저수율이 7.75% 기율기(강우량 100 mm 증가마다 저수율 7.75% 감소)로 떨어지는 것을 말한다. 한편, 4개년 동안의 논내 저수량은 강우량의 크기와는 관계없이 평균 333.3 mm(범위: 306.9 mm - 343.6 mm)로서 큰 편차를 보이지 않고 있다. 따라서 평균 저수량을 측정된 강우량의 범위 외로도 적용하여 벼 재배기간 중의 강우량이 333.3 mm 이하이면 논에서의 저수율이 100%가 되며, 1000 mm, 1200 mm, 1400 mm의 강우량에 대해서는 각각 33.3 %, 27.8 %, 23.8 %의 저수율을 추정할 수 있다. 이 값들을 그림(삼각점)에 도시하면 강우량이 증가할수록 지수함수적으로 감소하면서 저수율은 약 20%에 수렴하는 것을 알 수 있었다.

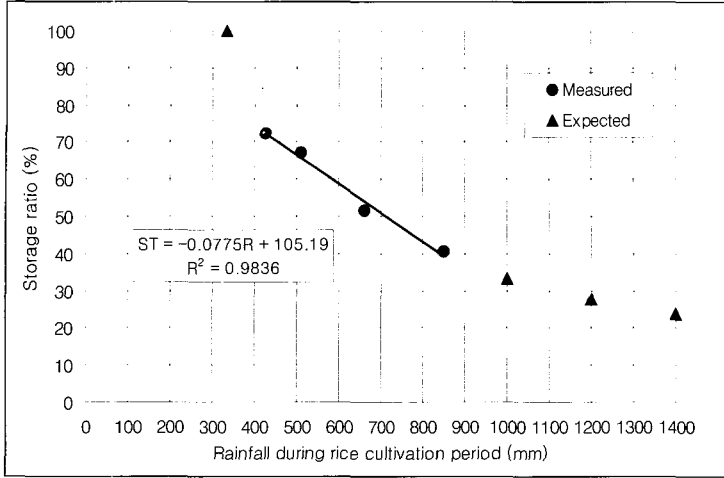


그림 5. 벼재배기간 중의 강우량과 논내 저수율과의 관계

### 5. 물수지모형을 이용한 재배방식별 논의 저류량 산정

이앙, 건답직파, 답수직파 재배방식별 강우에 의한 논 저류량의 변화를 살펴보고자 우선 농촌진흥청에서 추천하는 생육시기별 표준답수심과 삼투량 측정자료를 이용하여 표 4와 같은 조건하에서 모의한 결과를 정리 하면 표 5 및 그림 6과 같다.

재배방식별 논 저류량 변화를 살펴보기 위한 모형의 결과를 정리하면, 총 재배기간동안 이앙재배, 답수직파, 건답직파 순으로 관개량이 증가하는 것으로 나타났으며, 물꼬를 통한 유출량은 답수직파 44.6%, 이앙재배

40.7%, 건답직파 34.8% 순으로 많았으며, 논 저류량은 답수직파 49.7%, 건답직파 41.5%, 이앙재배 34.1% 순으로 많은 것으로 모의되었다. 건답직파가 관개량이 가장 많은 이유는 벼 생육초기에 삼투량이 많이 소비되기 때문이다. 답수직파가 논 저류량이 가장 많은 이유는 이 재배방법이 5월 중순과 하순에 답수를 실시하기 때문에, 이 시기에 발생한 강우를 논내에 가두어둘 수 있기 때문이다. 한편 6월부터 9월까지 홍수기 논의 저류율은 답수직파 55.1%, 건답직파 53.1%, 이앙재배 43.6% 순으로 모의되었다.

표 4. 재배방식별 논 저류량 모의를 위한 모형의 입력조건

월	순	5				6			7			8			9
		중		하		초	중	하	초	중	하	초	중	하	초
		11-15	16-20	21-25	26-31										
물꼬높이 (cm)	이앙	-	-	-	-	8	6	6	0	8	8	8	6	6	4
	건답직파	-	-	-	-	8	6	6	0	8	8	8	6	6	4
	답수직파	6	0	6	0	8	6	6	0	8	8	8	6	6	4
삼투량 (mm/day)	이앙	-	-	-	-	6.7	6.7	6.7	0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	건답직파	-	-	-	-	12.5	12.5	12.5	0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	답수직파	8.8	0	8.8	0	8.8	8.8	8.8	0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
기준답수심 (cm)	이앙	-	-	-	-	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2
	건답직파	-	-	-	-	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2
	답수직파	2	0	2	0	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2



표 5. 재배방식별 모형의 거동 분석결과 (단위: mm)

재배방식	총 강우량 (6월- 9월)	관개		물꼬유출량				논 저류량 (저류율)		평균담수심
		양	횟수	양		횟수		총 재배기간	홍수기 6월-9월	
				총 재배기간	홍수기 6월-9월	총 재배기간	홍수기 6월-9월			
담수직파	868.5 (679.2)	846.9	16	387.3 (44.6%)	277.6 (40.9%)	10	6	431.4 (49.7%)	374.4 (55.1%)	31.7
건담직파		995.2	18	302.3 (34.8%)	302.3 (44.5%)	5	5	360.7 (41.5%)	360.7 (53.1%)	32.4
이앙		770.7	15	353.3 (40.7%)	353.3 (52.0%)	6	6	295.8 (34.1%)	295.8 (43.6%)	35.8

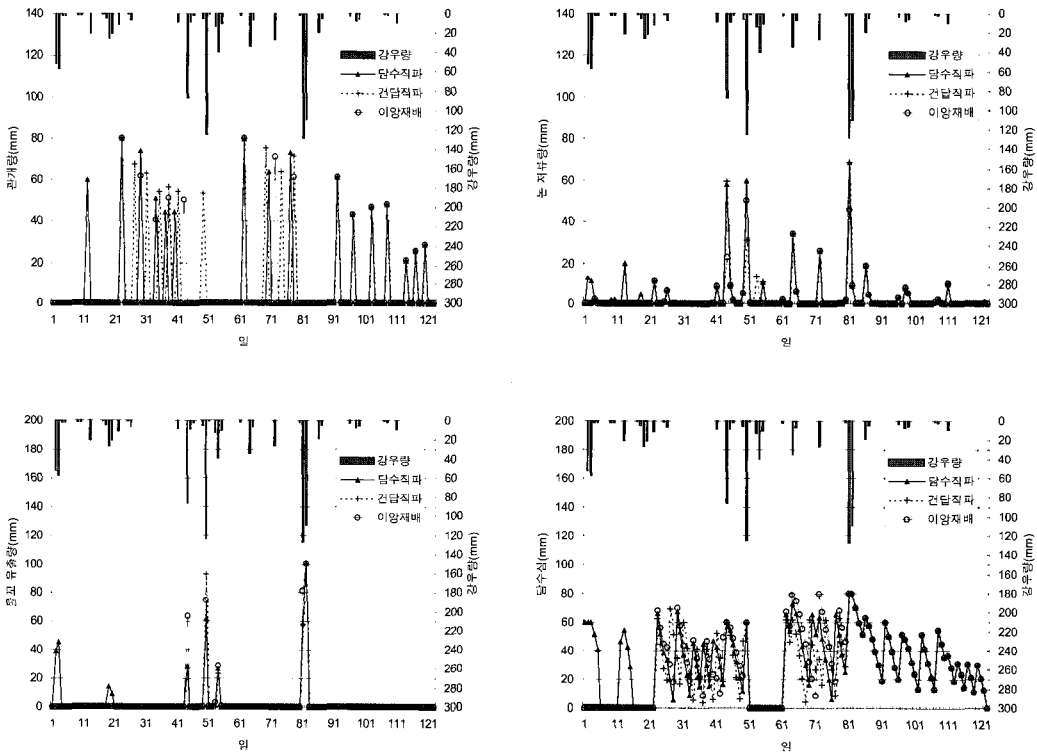


그림 6. 재배방식별 모형의 모의결과

## 6. 결 론

본 연구는 논벼의 이앙재배, 직파재배 방식별 물관리 형태를 고려하여 홍수기 논 저류량을 산정할 수 있는 논 일별 물수지모형을 개발하고, 4년(1996, 1997, 2001, 2002)간의 현장 측정자료를 이용하여 모형의 적

용성을 평가하였다. 검증된 모형을 이용하여 재배방식별로 논 저류량을 분석하여, 벼의 재배기간 및 홍수기 논이 가지는 저류능력의 정량화를 시도하였다. 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 논 물꼬높이와 기준담수심(관개를 실시해야 하는 한계담수심)을 10일 단위의 매개변수로 처리하

- 여 논에의 일별 담수심을 재현할 수 있었다. 4개년간의 모의결과, Nash-Sutcliffe 모형효율은 0.41-0.94의 범위를 보였다.
2. 4개년 동안 논내 저수량은 강우량의 크기와는 관계없이 평균 333.3 mm(범위: 306.9 mm - 343.6 mm)로서 큰 편차를 보이지 않았다. 관측된 강우량과 논에의 저수량과의 관계는 강우량 100 mm 증가마다 저수율이 7.75% 감소하는 1차 선형식으로 표현이 가능하였다.
  3. 모형을 이용하여 강우량이 증가할수록 논에의 저수율은 지수함수적으로 감소하면서 저수율이 약 20%에 수렴하는 것을 알 수 있었다.
  4. 총 강우량 868.5mm 조건에서, 재배방식별 논 저류량 변화를 모의한 결과, 홍수기 논에의 저류율은 담수직과 55.1%, 건답직과 53.1%, 이양재배 43.6% 순으로 모의되었다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 지원하는 2002년도 IHP 사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 농림수산부 (1986). 작물 소비수량 산정방법의 정립. pp. 92.
- 농림부 (1997). 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구. pp. 145-148.
- 농림부 (2002). 농지배수의 친환경적 관리 및 처리기법 개발. pp. 288-339.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome.
- Le, N. S. (1977). *Field studies of effective rainfall for lowland rice*. Thesis, M.S., University of the Philippines at Los Banos, Los Banos, Laguna.
- Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles." *J. of Hydrology*, Vol. 10, pp. 283-290.

(논문번호:03-47/접수:2003.05.13/심사완료:2003.10.06)