

벼 생장모형 SIMRIW를 이용한 주암호 건설에 따른 주변지역의 벼 잠재생산성 변이 추정

임준택* · 윤진일** · 권병선*

Change in Potential Productivity of Rice around Lake Juam Due to Construction of Dam by SIMRIW

June Taeg Lim, Jin Il Yun and Byung Sun Kwon

ABSTRACT : To estimate the change in rice productivity around lake Juam due to construction of artificial lake, growth, yield components and yield of rice were measured at different locations around lake Juam for three years from 1994 to 1996. Automated weather stations (AWS) were installed nearby the experimental paddy fields, and daily maximum, average and minimum temperature, solar radiation, relative humidity, and precipitation were measured for the whole growing period of rice. Plant height, number of tillers, leaf area and shoot dry weight per hill were observed from 8 to 10 times in the interval of 7 days after transplanting. Yield and yield components of rice were observed at the harvest time. Simulation model of rice productivity used in the study was SIMRIW developed by Horie. The observed data of rice at 5 locations in 1994, 3 locations in 1995 and 4 locations in 1996 were inputted in the model to estimate the unknown parameters. Comparisons between observed and predicted values of shoot dry weights, leaf area indices, and rough rice yield were fairly well, so that SIMRIW appeared to predict relatively well the variations in productivity due to variations of climatic factors in the habitat. Climatic elements prior to as well as posterior to dam construction were generated at six locations around lake Juam for thirty years by the method of Pickering et al. Climatic elements simulated in the study were daily maximum and minimum temperature, and amount of daily solar radiation. The change in rice productivity around lake Juam due to dam construction were estimated by inputting the generated climatic elements into SIMRIW. Average daily maximum temperature after dam construction appeared to be more or less lower than that before dam construction, while average daily minimum temperature became higher after dam construction. Average amount of daily solar radiation became lower with 0.9 MJ d^{-1} after dam construction. As a result of simulation, the average productivity of habitats around lake Juam decreased about 5.6% by the construction of dam.

Key words : SIMRIW, Rice productivity, Cooling degree day, Developmental index, Yield and yield component, Simplex method, Daily maximum temperature, Daily minimum temperature, Solar radiation, Automated weather station.

* 순천대학교 농과대학 (College of Agriculture, Suncheon National Univ., Suncheon 540-742, Korea)

** 경희대학교 식량자원개발연구소 (Institute of Food Resource Development, Kyung Hee Univ., Yongin 449-701, Korea)

〈'97. 8. 14 接受〉

인공호의 생성은 그 규모에 따라 정도의 차이는 있겠지만 주변환경에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 환경요소 중 인공호 생성 후 단기간내에 직접적인 변화를 기대할 수 있는 것은 기상이다. 이는 호수면과 여기에 접촉하고 있는 대기층과의 열 및 수분 교환이 인공호 생성전과 다른 데 있다. 인공호가 주변 지역의 기상에 미치는 영향 정도는 인공호 주변지역의 지형, 인공호의 유역면적, 인공호의 형태(면적, 폭, 길이 등)에 의해 좌우된다^{2,3,5,11,12,13,15,19}. 이제까지 수자원의 확보를 위해 거대한 댐이 건설되어 왔고 앞으로 이러한 추세는 지속되리라 그 예견되는데, 이러한 거대 인공호의 생성에 따른 기상환경의 변화가 주변 농경지의 작물 생산성에 미치는 영향이 댐 인근지역 주민들의 관심사로 대두되고 있다^{1,21}.

작물의 생산성에 영향을 주는 환경은 기상, 토양 그리고 생물적 환경으로 구분될 수 있는데, 인공호 생성에 의해 변할 것으로 추정되는 요인은 일사, 기온, 강수, 풍속 등 기상환경과 병해충 발생과 같은 생물적 환경이라고 할 수 있다. 이 중 기상요인은 인공호 생성과 동시에 변하는 것이고 다른 환경요인의 변화 원인을 제공하는 것이다. 인공호 생성에 따른 농경지 토양환경의 변화는 기상 및 생물적 환경의 변화에 따른 주변 식생의 변화와 이에 따른 농경지로의 유입수의 화학적 성분의 변화를 통해 일어나는 것으로 생각할 수 있는데 이는 장기간에 걸쳐 일어날 것으로 생각된다. 따라서 인공호 생성에 따른 주변농경지의 잠재생산력 변화를 추정하기 위해서는 먼저 기상환경과 생물적 환경의 변화에 대한 정보가 필요한데, 인위적인 병해충 및 잡초 방제가 가능하다는 전제하에서는 기상환경변화에 대한 정보만이 요구된다.

일단 기상정보가 확보된다면 적절한 작물모형의 실행을 통해 주어진 기상변화에 따른 작물의 잠재생산력 변화를 추정할 수 있다. 작물모형은 이미 다양한 분야에서 작물의 기상반응을 예측하기 위해 성공적으로 사용되어 왔다^{7,8,9,18,21}.

본 연구는 작물모형의 적용을 통해 1990년 전남 순천시 서쪽 외곽에 건설된 주암다목적댐에 의해 생성된 인공호수(주암호)가 주로 벼를 재배하는 주변 농경지의 잠재생산력에 미치는 영향을 평

가하기 위해서 실시되었다.

재료 및 방법

1. 벼생장모형 SIMRIW 해설

본 연구에서 이용한 기상의 변이에 따른 벼 수량의 변이에 관한 예측모형은 일본의 Horie가 개발한 SIMRIW(Simulation Model for Rice-Weather relations)이다. 이 모형은 무논에서 재배하는 벼의 수량을 예측하는 것으로 벼의 기상생태적 반응을 근거로 개발되었으며 장점으로는 모형이 매우 간결하다는 것이다. 이 모형은 미국이나 일본에서 검증한 결과 비교적 만족스럽게 기상에 따른 수량변이를 설명하는 것으로 알려져 있다^{6,8}. 1993년에 발표된 SIMRIW는 CO₂의 상승에 따른 수량변이도 설명하도록 되어 있으나 본 연구에서는 광량과 온도만을 고려하여 이용하였는데 본 연구에서 이용한 모형의 개요는 다음과 같다.

벼 수량예측모형 SIMRIW는 1) 기온과 日長에 따른 벼 발육지수(developmental index, DVI), 2) 기온에 따른 엽면적지수(leaf area index), 3) 광량, 엽면적지수 그리고 DVI에 따른 건물생산속도, 그리고 4) 수잉기 및 개화기에서의 일평균기온, 일최고기온 그리고 DVI에 따른 수확지수(harvest index)의 추정 과정으로 구성된다.

발육지수(DVI)는 벼의 생육 정도를 알려주는 지수로서 발아기는 DVI=0, 출수기는 DVI=1 그리고 수확기는 DVI=2이다. 발육지수의 값에 의해 생육정도가 판정되고 생육시기에 따른 벼의 기상환경에 대한 달라지는 반응이 함수화 되어 있어 SIMRIW에서 이것의 추정은 무엇보다 우선적으로 이루어져야 한다. 발아기에서 t 일 경과 후의 발육지수를 DVI_t 라 하면

$$DVI_t = \sum_{j=0}^t DVR_j$$

로 정의되며 발아기에서 i 번째 일의 발육속도(DVR_i)는 일평균기온이 T 일 때

$$DVI_i \leq DVI^* \text{일 때}$$

$$DVR_i = \frac{1}{G_v \{1.0 + \exp[-A(T - T_h)]\}}$$

$DVI_i > DVI^*$ 이고 $L \leq L_c$ 이면

$$DVR_i = \frac{1 - \exp[B(L - L_c)]}{G_v \{1.0 + \exp[-A(T - T_h)]\}}$$

$DVI_i > DVI^*$ 이고 $L > L_c$ 이면 $DVR_i = 0$, 그리고 $1 < DVI < 2$ 이면

$$DVR_i = \frac{1 - \exp[-K_r(T - T_{cr})]}{G_r}$$

로 주어지는데 이때 T_h 는 DVR 의 최대치의 $\frac{1}{2}$ 을 주는 기온이며 L_c 는 벼의 한계일장이고 DVI^* 는 벼가 일장반응기에 들어갔을 때의 DVI 값이며 G_v 는 출수기에 도달하기까지의 최소 소요일수를 말하고 L 은 일장이며 G_r 은 생리적 등속일수이고 A, B, K_r, T_{cr} 은 상수들이다. 본 연구에서는

$$L = 13.4735 + 0.0294x - 0.00024x^2$$

의 식을 통해서 일장을 계산했는데 이때 x 는 파종기(4월 20일)로부터의 일수이다(그림 1).

엽면적지수의 증가는 토양수분과 무기염류가 충분한 조건에서 엽면적지수(F)의 상대생장율은 현재의 엽면적지수와 출수까지의 일평균기온에 의해 영향받는 것으로 되어 있으며 그 관계식은

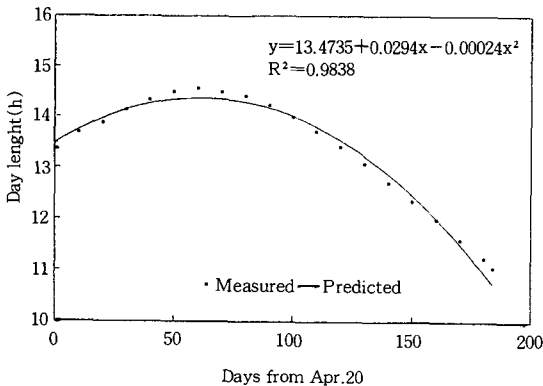


Fig. 1. The equation used to estimate the day length in SIMRIW.

$$dF/(F dt) = \alpha \{1 - \exp[-K_f(T - T_{cf})]\} [1 - (F/F_{as})^h]$$

이다. 이때 α 는 엽면적지수의 최대생장율이며 T_{cf} 는 엽생장의 최저기온이고 F_{as} 는 기온이 좋은 조건에서의 엽면적지수의 점근값이며 K_f 와 h 는 상수이다. 본 연구에서는 $K_f = 0.07$, $T_{cf} = 11.5$, $F_{as} = 5.5$, 그리고 $h = 0.72$ 의 값을 이용하였다.

건물생산량의 증가는 작물의 균락상부에서 흡수하는 총광량과 단위엽면적당 광합성율(광이용 효율)에 의해 영향을 받는다. 출아일로부터 t 일 후의 건물중을 W_t 라 하면 SIMRIW에서의 건물중 증가율은

$$dW_t/dt = C_s S_s$$

로 표현되는데 이때 C_s 는 광이용효율(g dry matter/MJ)이며 S_s 는 일누적흡수광량($MJ m^{-2} d^{-1}$)이다. 작물의 균락이 흡수하는 총광량(S_s)은 엽면적지수, 작물의 광반사율(r) 그리고 입사광량에 의해 영향을 받는다. 작물 균락상부에서의 반사율은

$$r = r_f - (r_f - r_0) \exp(-F/2)$$

로 계산되었는데 이때 r_f 는 지표면이 엽으로 완전히 덮혔을 때의 반사율이며 r_0 는 나지의 반사율이다. 흡수광량 S_s 는

$$S_s = S_0 \{1 - r - (1 - r_0) \exp[-(1 - m)KF]\}$$

로 추정하였는데 이때 S_0 는 일 누적입사광량이며 m 은 광분산계수(scattering coefficient)이고 K 는 소멸계수(extinction coefficient)이다. 본 연구에서는 $m = 0.25$, $r_f = 0.22$ 그리고 $r_0 = 0.1$ 값을 이용하였다.

광이용효율 C_s 는 등속기까지는 일정한 것으로 알려져 있으며⁹⁾ 그 후 점차 감소하여 성숙기에 달하면 0이 된다. 이 관계는

$$0 < DVI < 1.0 \text{이면, } C_s = C,$$

1.0 ≤ DVI ≤ 2.0이면,

$$C_s = C(1 + \beta) / [1 + \beta \exp(DVI - 1) / \tau]$$

로 표현되는데, C는 CO₂가 330ppm 일 때의 광이용효율이고 β와 τ는 상수이다.

수량의 추정은 총건물생산량(W)에 알곡 생산량(W_r)의 비율인 수확지수 h의 곱에 의해 이루어진다. 즉,

$$W_r = hW$$

이다. 그런데 수확지수, h는 수잉기에서 개화기까지의 저온에 의한 불임발생과 개화기의 고온장애에 의한 불임에 의해 영향을 받는다. Uchijima²⁰⁾에 의하면 수잉기에서 개화기까지의 저온정도를 cooling degree day(Q_i)로 나타낼 때 저온에 의한 불임발생율을 γ₁이라 하면

$$\gamma_1 = \gamma_0 + K_q Q_i^a$$

으로 나타나며 이때 γ₀, K_q 그리고 a는 상수이고

$$Q_i = \sum(22 - T_i), T_i \leq 22.0^\circ\text{C}$$

인데, 이때 T_i는 0.75 ≤ DVI ≤ 1.2 기간 동안의 일평균기온이다. 본 연구에서는 γ₀ = 4.6, K_q = 0.54, 그리고 a = 1.56을 이용하였다.

개화기의 고온에 의한 불임발생율을 γ₂라 할 때, Horie²¹⁾에 의하면

$$\gamma_2 = 1 / \{1 - \exp[-0.853(T_m - 36.6)]\}$$

로 나타내지며 이때 T_m은 개화기(0.96 ≤ DVI ≤ 1.22)의 일최고기온의 평균이다. 수잉기에서 개화기까지의 저온이나 고온에 의한 불임발생율 γ은 γ₁, γ₂ 중의 큰 값을 취한다. 수확지수 h와 불임발생율 및 DVI의 관계식은

$$h = h_m(1 - \gamma) \{1 - \exp[-K_h(DVI - 1.22)]\}$$

로 나타났는데 이때 h_m은 주어진 품종의 최대 수

확지수 값이고 K_h는 상수이다. 본 모형은 DVI=2 이거나, 3일 연속으로 일평균기온이 12°C이하 또는 수확시기에 도달하면 끝나게 되는데 윗 식의 DVI 값은 시뮬레이션이 종료되었을 때의 DVI 값이다.

2. 모수 추정 및 모형 검증실험

1992년에 호수 주변 주요 농경지를 대표할 수 있는 7개 지점에 무인기상관측소(automated weather station, AWS)를 설치하여 매시간 평균 기상을 관측하고 이들 값으로부터 일최저기온, 일최고기온, 일평균기온, 일적산일사량, 일누적강수량, 그리고 일평균상대습도를 얻었다. 한편 1994년에서 1996년까지 각 AWS 인근에 포장을 조성하여 동일품종과 동일 재배법을 통해 재배된 벼의 생육과 수량을 조사하였다. 실험장소는 AWS가 설치된 동촌, 복다, 오봉, 이읍, 금성, 유정 그리고 다산으로서, 각 지역별로 100평 정도의 논을 1~3배미 임대하여 동일한 방법으로 벼를 재배하였다. 공시품종은 팔공벼로 하였고, 4월 20일에 30×60cm의 기계이앙상자에 120g의 종자를 파종하였으며 5월 25일에 이앙하였는데 '94~'95년도는 기계이앙을, '96년도는 손이앙을 하였다. 재식밀도는 24~27주 / m² (12.5cm×30cm)이었고 본답시비량을 N-P₂O₅-K₂O = 100-90-110kg / ha로 하였다. 경운 및 씨레질은 이앙 3일전에 완료하였고, 인산질(용성인비) 및 칼리질비료(엽화칼리)는 전량 기비로 사용하였으며 질소질비료(요소)의 분시는 기비:분얼비:수비:실비는 50:20:20:10의 비율로 하였다. 질소기비는 정지작업시, 분얼비는 이앙 후 12일에, 수비는 출수 25일 전에, 그리고 실비는 출수기에 사용하였다. 잡초는 이앙 후 10~12일에 손노리 입제를 처리하여 방제하였다. 발육조사 시기는 '94년에는 6월 18일, '95년에는 6월 7일, 그리고 '96년에는 6월 8일에 시작하여 일주일 간격으로 5개체 임의 표본을 채취하여 8~10회에 걸쳐 엽, 줄기의 건물중, 엽면적, 분얼수, 그리고 초장을 조사하였다. '94년에는 9월 15일, '95년에는 9월 23일, 그리고 '96년에는 9월 30일에 수확하였는데 이때 10주의 임의표본을 통해 주당수수, 수당립수, 등숙율, 천립중,

Table 1. Parameter values used in the study

Parameter	Vaule	Parameter	Vaule
DIV*	.3202	G _r	25.5965
G _v	48.1438	K	.4170
A	.4246	C	2.4010
T _b	17.4179	β	.2591
L _c	17.5403	τ	.9968
B	.4789	α	.2460
K _r	.9705	h _m	1.1196
T _{cr}	-8.8000	K _h	1.0411

그리고 고증을 조사하였고 단위면적당 주수 및 수량은 2평의 면적을 수확하여 조사하였다.

모수의 추정과 모형검증에 이용된 자료는 측정된 기상자료가 충분한 '94년도의 복다, 동촌, 이읍, 오봉, 유정, '95년도의 복다, 다산, 유정, 그리고 '96년도의 복다, 동촌, 오봉, 유정이었다. 본 모형은 두개의 상태변수 (state variable), 지상부 건물중과 엽면적지수로 구성되었으며 추정한 모수수는 16개이다. 이들 모수값의 추정은 Simplex법¹⁴⁾을 이용하였는데 이때 목적함수 (object function)는

$$\text{minimize } \sum \sum (y_{ij} - ey_{ij})^2$$

이고 y_{1j} 는 j 번째 조사시기의 지상부건물중 ($g \text{ dw m}^{-2}$)이며 y_{2j} 는 j 번째 조사시기의 엽면적지수이고 ey_{ij} 는 모형에서 추정한 y_{ij} 값이다.

미분방정식의 해법은 Fourth order Runge ~ Kutta method를 이용하였으며 이때 시간단위는 1일로 하였고 step의 크기는 0.01로 하였다. Simulation의 시작점은 이앙일로 하였으며 상태변수의 초기값으로 지상부 건물중은 4.5 g m^{-2} , 엽면적지수는 0.05로 하였고 이앙일의 DVI 값은 0.1을 주었다. Simplex 법에 의해 추정된 모수값은 표 1과 같다.

3. 담수 전후 벼 생산성 예측

기상환경의 변화에 따른 벼의 잠재생산력 변화 정도를 앞서 모수추정 및 검증이 완료된 SIM-RIW를 통해 추정하였다. 우선 실험포장별 호수 생성전 월별 평년기후값을 과학기술처¹⁰⁾로부터

입수하고, Pickering 등¹⁶⁾의 방법에 의해 30년치의 일별 최고기온, 최저기온, 일사량을 생성하였다. 담수 후의 기상자료는 1992년부터 1996년까지 5년간 실측자료로부터 월별 평균값을 구한 다음 같은 방법에 의해 30년치의 일별 기상값을 산출하였다. 이렇게 산출된 일기상값을 SIMRIW에 입력하고 모형을 구동하여 출력된 담수 전과 담수 후의 30년간 생육 및 수량값을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 기상요인의 변이에 따른 수량 및 수량구성요소 소의 변이

'94년도에서 '96년도에 걸쳐 주암호 주변의 실험포장에서 조사된 수량 및 수량구성요소는 표 2에, 그리고 연도별 실험장소에서 관측된 벼의 전 생육기간에 걸친 평균 일최저기온, 일평균기온, 일최고기온, 일누적일사량, cooling degree-days (Q_t), 그리고 개화기의 평균 일최고기온 (ADMT)는 표 3에 제시되어 있다. Q_t는 출수전 15일부터 출수후 10일에 걸친 기간의 ($0.75 \leq DVI \leq 1$). 2) 일평균기온이 22°C보다 낮을 때 22°C와의 차이를 합산한 값이며 ADMT는 개화기의, 즉 출수전 3일에서 출수후 11일까지의 ($0.96 \leq DVI \leq 1$. 2) 평균 일최고기온이다.

'94년도는 가뭄이 심했던 해로 평균 일최고, 일최저, 일평균기온, 그리고 일누적일사량이 다른 해보다 비교적 높았고 Q_t값은 0이었으며 ADMT는 34.90에서 36.42의 범위의 비교적 높은 값을 보였다. '96년도는 벼의 생육전반기에 저온현상이 나타났던 관계로 평균 일최저기온이 비교적 낮은 값을 보였으나 생육후기에 기상이 좋아서 평균 일평균기온은 다소 낮지만 평년값을 보인 것으로 생각된다. 또한 출수전 15일에서 출수후 10일까지의 22°C 이하의 일평균기온의 출현정도를 나타내는 Q_t값은 7.9~9.0의 분포를 보였고 개화기의 평균일최고기온은 (ADMT) 27.2~28.5의 분포를 보여 등숙에 비교적 좋은 기온을 보인 것으로 생각된다. 이러한 기상요인의 변이에 따라 수량도 영향받은 것으로 '94년도는 비교적 낮은 수량을,

Table 2. Means of yield and yield components at the experimental fields for three years

Year	Place	No. of hills per m ²	No. of panicles per hill	No. of spikelets per panicle	% of filled grain	1000 grain wt (g)	Rough rice yield (MT/ha)
94	Bokda	23.2	17.9	78.7	80.2	26.2	4.98
94	Dongchon	19.8	21.4	69.3	90.0	25.7	5.61
94	I-oob	23.9	18.6	86.4	57.5	26.6	6.09
94	Obong	27.0	18.6	72.8	67.6	26.0	5.46
94	Youjung	23.2	18.1	68.9	80.6	26.0	5.37
95	Bokda	25.8	19.1	83.9	77.8	24.3	7.01
95	Dasan	27.5	20.2	61.0	77.0	24.1	6.84
95	Youjung	25.8	16.6	81.2	76.3	23.3	5.99
96	Bokda	24.0	17.4	99.2	92.4	24.6	7.62
96	Dongchon	25.2	19.8	82.6	87.4	24.2	7.67
96	Obong	24.4	16.4	75.6	90.3	26.6	6.38
96	Youjung	22.7	18.5	82.6	80.4	24.5	6.47

Table 3. Average values of climatic elements based on the measured data in the simulation process of whole growing season

Place	Year	Daily max. temp.	Daily min. temp.	Daily ave. temp.	Daily rad. (MJ d ⁻¹)	Qt	ADMT*
Bokda	94	31.81	19.50	24.88	18.96	.00	36.36
Dongchon	94	31.94	19.93	25.13	21.59	.00	36.42
I-oob	94	31.07	19.42	24.73	18.29	.00	34.90
Obong	94	31.36	19.86	24.95	18.07	.00	34.91
Youjung	94	31.18	20.42	25.11	17.82	.00	35.01
Bokda	95	29.92	18.61	23.31	16.23	.90	32.77
Dasan	95	29.15	19.65	23.65	16.17	.00	32.76
Youjung	95	29.16	19.06	23.43	16.02	.40	31.76
Bokda	96	30.03	18.28	23.11	15.13	8.30	28.10
Dongchon	96	29.38	18.30	22.93	18.17	7.90	28.50
Obong	96	29.14	18.58	23.03	15.27	7.90	27.20
Youjung	96	29.16	19.38	23.43	15.93	9.00	27.65

* Qt and ADMT indicate cooling degree days and average daily maximum temperature during the flowering period, respectively.

그리고 '96년도는 비교적 높은 수량을 보였으며 '95년도는 평년 수준의 수량을 보인 것으로 나타났다.

이들 기상요인과 수량 및 수량구성요소들과의 관계를 살펴 보기 위하여 재배기간의 평균 기상값 (표 3)과 표 2간의 상관관계수 값을 계산한 결과가 표 4에 제시되어 있다. 주당 유효경수는 재배기간의 평균 일누적일사량과 유의한 정의 상관관계를

보여 일일사량이 증가함에 따라 주당 유효경수는 증가하였으며, 재배기간의 평균 일최저기온과 수당입수는 부의 상관을 보여 일최저기온이 높을수록 수당입수는 감소하는 것으로 나타났다. 천립중은 재배기간의 평균 일최고기온이나 평균 일최저기온과 유의한 정의 상관을 보여 이들이 높을수록 증가하는 경향을 보였는데 이는 생육후기의 기온이 높을 때 동화산물의 이동이 양호해지는 경향을

Table 4. Correlation coefficients among yield components and climatic elements in Table 3

Climatic elements	No. of panicles per hill	No. of spikelets per panicle	% of filled grain	1000 grain wt(g)	Rough rice yield (MT/ha)
Daily max. temp.	0.2924	-0.1542	-0.2220	0.6483*	-0.6917*
Daily min. temp.	0.3035	-0.6922*	-0.3805	0.3818	-0.7913**
Daily ave. temp.	0.2932	-0.4289	-0.4116	0.6168*	-0.8416**
Daily radiation	0.6391*	-0.3484	-0.0957	0.4064	-0.5295
Qt	-0.2720	0.5100	0.5660	-0.1778	0.6440*
ADMT	0.3854	-0.4478	-0.4737	0.3814	-0.7347**

* and ** indicate significant correlations at the significant level of 5 and 1%, respectively.

반영한 것으로 생각된다. 수량은 전생육기간을 통한 평균 일최고기온, 일최저기온, 그리고 일평균 기온과 유의한 부의 상관을 보여 이들의 증가에 따라 수량은 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 '94년도의 높은 기온과 낮은 수량성, 그리고 '96년도의 낮은 기온과 높은 수량을 반영하는 것으로 생각되며, 또한 적정온도 범위 내에서는 기온이 다소 낮은 것이 다수확에 유리한 것을 의미한다.

2. 모형의 적합성

각 지점별로 실측 지상부건물중과 모형에서 예측한 지상부건물중의 비교는 그림 2에 제시되어 있다. 모형에 의해 계산된 지상부건물중은 45°선을 기준으로 볼 때 비교적 양호하게 추정된 것으로 보이나 엽면적지수에서는(그림 3) 7월 중순까지는 비교적 높게, 그리고 그 이후에서는 비교적

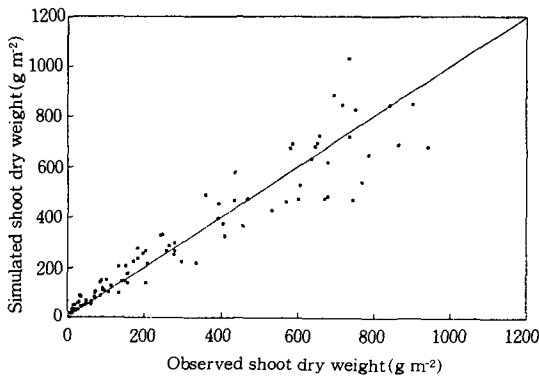


Fig. 2. Comparison between observed and simulated dry weight of shoot by SIMRIW.

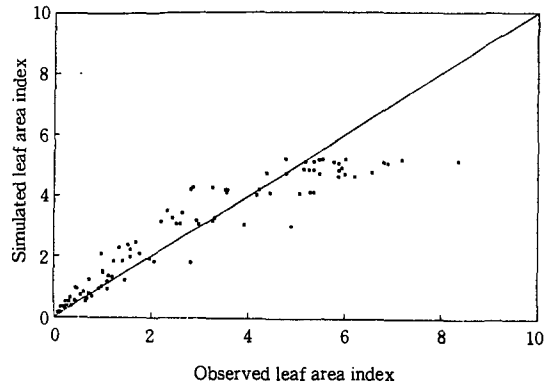


Fig. 3. Comparison between observed and simulated leaf area index by SIMRIW.

낮게 추정되었으나 45°선을 기준으로 볼 때 전체적으로 평균값을 보이는 것이라 할 수 있다. 모형에서 예측되는 엽면적지수가 6을 넘지 않은 반면 본 연구에서 측정한 엽면적지수는 최대 8이상을 보여, 관측 엽면적지수가 다소 높게 측정된 것으로 생각된다.

모형에 의해 계산된 수량과 실제 조사된 수량의 비교는 표 5와 그림 4에 제시되어 있다. 예측된 수량과 조사된 수량간 편차가 가장 큰 지역은 '96년도의 복다 지역이다. 표 3에 의하면 '96년의 복다지역은 일최고기온이 높고 일평균기온이 비교적 높으며 일누적일사량이 낮으며 Qt나 ADMT 값이 비교적 높아 수량이 낮게 예측된 반면 실제 조사된 수량은 매우 높았다. 이 지점을 제외하면 그림 4와 같이 실제수량과 예측된 수량의 경향은 대체로 일치하는 것으로 생각되며 45°선

Table 5. Comparison between actual yield and simulated yield by SIMRIW

Year	Place	Actual yield (MT/ha)	Simulated yield (MT/ha)
94	Bokda	4.98	4.564
94	Dongchon	5.61	5.171
94	I-oob	6.09	6.328
94	Obong	5.46	6.382
94	Yujung	5.37	6.087
95	Bokda	7.01	6.834
95	Dasan	6.84	6.684
95	Yujung	5.99	6.553
96	Bokda	7.62	6.087
96	Dongchon	7.67	7.486
96	Obong	6.38	6.240
96	Yujung	6.86	6.946

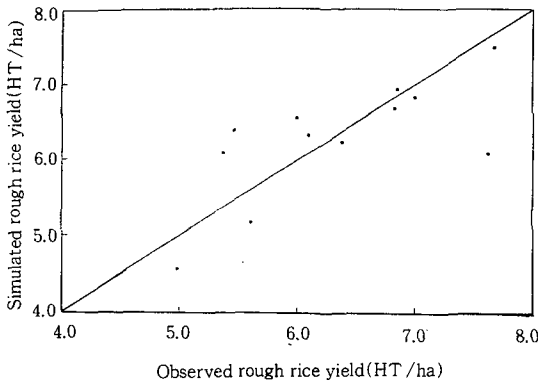


Fig. 4. Comparison between observed and simulated rough rice yield by SIMRIW.

을 기준으로 볼 때 계산된 수량은 실제 수량의 평균값을 보이는 것으로 SIMRIW가 기상환경 변이에 따른 벼의 생산성 변이를 비교적 양호하게 평가하는 것으로 생각된다.

3. 호수생성에 따른 벼 생산력의 변화

담수 전후 30년간씩 추정된 작물기간중 일최고기온, 일최저기온, 일평균기온, 그리고 일적산일사량 값을 SIMRIW에 입력하여 종실수량을 추정한 후 그 평균을 비교한 결과가 표 5에 제시되

어 있다. 일최고기온은 담수 전이 약간 높았으나 일최저기온은 담수 후가 약간 높아서 일평균기온은 담수 후가 오히려 높은 경향을 보였고, 일적산일사량은 담수 후에 대략 0.9 MJ d⁻¹ 정도 낮아졌다. 수잉기의 저온 정도를 나타내는 Qt는 이읍, 금성, 그리고 유정지방에서 담수 후가 높았고 복다, 오봉, 그리고 다산지역에서는 담수 전이 높았으나 큰 차이는 없는 것으로 생각된다. 등숙기의 고온 정도를 나타내는 ADMT 값은 오봉, 이읍, 유정, 그리고 다산에서는 담수 전이 높았고 복다와 금성에서는 담수 후가 높았다. 이러한 것들이 복합적으로 작용하여 벼의 수량을 결정하게 되는데 모형의 수행 결과 복다-동춘-승주지역은 담수 전의 6.72MT/ha에서 담수 후의 6.37MT/ha로 5.2% 정도 감수하였고 오봉에서는 4.9%, 이읍은 9.1%, 금성은 5.5%, 유정은 4.8% 그리고 다산은 3.3% 정도 담수 후 수량이 감소된 것으로 나타났다. 전 지역을 평균하여 볼 때 담수 전이 6.82MT/ha, 담수 후가 6.44MT/ha로 전체적으로 5.6% 정도 감수한 것으로 나타났다.

적 요

본 연구에서는 주암호 건설에 따른 기후 요소의 변이에 따른 벼 생산성에서의 변이를 밝히기 위해 주암호 주변 6개 지역에 AWS를 설치하고 그 인근 지역에서 벼를 재배하고 생육 및 수량을 조사하였다. 조사항목은 주요 기상요소로서 일최고기온, 일최저기온, 일평균기온, 일평균상대습도, 일평균풍속, 일평균지온, 일적산일사량 그리고 일적산강우량이었고, 생육형질로는 일주일 간격으로 8~10회에 걸쳐 초장, 분얼수, 엽면적, 엽건물중, 경건물중, 그리고 수량 및 수량구성요소를 조사하였다. 기상요소의 변이와 벼 생산성의 변이간의 관계는 SIMRIW의 모수추정을 통해서 이루어졌으며 호수 생성 전과 생성 후의 기상을 30년간 시뮬레이션을 통해 추정한 다음 이 결과를 모형에 입력하여 30년간의 모형에 의한 수량을 추정하고 그 평균을 통해 호수생성에 따른 벼 생산성 변이를 추정하였다. '94년도 5개 지역 그리고 '95년도

Table 6. Average values of climatic factors for the growing period of rice and simulated yield based on the 30 years simulated climatic data.

Treat	Place	Daily max. temp.	Daily min. temp.	Daily ave. temp.	Daily rad	Qt	ADMT	Simulated yield (MT/ha)
Before Dam Construction	Bokda	30.28	19.95	25.11	16.26	.10	31.16	6.727
	Obong	30.72	19.65	25.18	15.96	.34	31.98	6.526
	I-oob	30.49	18.98	24.73	18.08	.09	32.45	7.193
	Kmsung	30.03	18.47	24.25	17.41	.12	31.37	7.226
	Youjung	29.70	19.92	24.81	16.14	.07	31.38	6.720
	<u>Dasan</u>	31.64	20.25	25.94	16.30	.04	33.02	<u>6.518</u>
	Mean							6.817
After Dam Construction	Bokda	30.14	20.94	25.54	15.40	.04	31.28	6.366
	Obong	30.52	20.70	25.61	15.14	.01	31.44	6.207
	I-oob	30.28	20.07	25.18	16.28	.11	31.52	6.540
	Kmsung	29.78	19.39	24.59	16.62	.25	31.50	6.829
	Youjung	29.50	20.72	25.11	15.49	.16	30.87	6.396
	<u>Dasan</u>	31.43	21.11	26.27	15.68	.02	32.61	<u>6.301</u>
	Mean							6.435

3개 지역, 그리고 '96년도 4개 지역의 관측된 시험 성적과 SIMRIW에서 추정된 지상부 건물중, 엽면적지수 그리고 수량을 비교해 보았을 때 SIMRIW의 결과가 대체적으로 각 관측치의 평균값에 접근함을 알 수 있어 이 모형이 비교적 양호하게 기상환경의 변이에 따른 수량을 예측함을 알 수 있었다. 30년간의 simulation을 통해 얻은 담수 전과 담수 후의 기상자료를 비교해 보면 일최고기온은 담수 전이 약간 높았으나 일최저기온은 담수 후가 약간 높아서 일평균기온은 담수 후가 오히려 높은 경향을 보였고, 일적산일사량은 담수 후에 대략 0.9 MJ d⁻¹ 정도 낮아졌다. 이들 자료를 SIMRIW에 입력하여 수량을 예측해 본 결과 주암호의 생성에 따라 북다-동촌-승주지역에서 5.2%, 오봉 4.9%, 이읍 9.1%, 금성 5.5%, 유정 4.8%, 다산 3.3% 정도 수량이 감소된 것으로 나타났다. 전지역을 평균하여 볼 때 담수 전이 6.82MT/ha, 담수 후가 6.44MT/ha로 전체적으로 5.6% 정도 감수한 것으로 나타났다.

LITERATURE CITED

1. Choi S.H, Choi J.S, Lee S.P, Lee K.S, Choi D.W, Choi K.B and Sim Y.G. 1989. Influence of climatic factors on rice yield in the foggy area. Res. Rept. RDA(rice) 31(3): 67-72.
2. Dussart B.H, Lagler K.F, Larkin P.A, Scudder T, Szesztay K and White G.F. 1972. Man-made lakes as modified ecosystems, scope report 2, International Council of Scientific Unions.
3. Gregory S and Smith K. 1967. Local temperature and humidity contrasts around small lakes and reservoirs. Weather 22 (12): 497-506.
4. 한국수자원공사, 1996. 임하 및 주암다목적댐 건설에 따른 기상환경변화 조사 (5차). 최종 보고서, 642p.
5. Hong S.G. 1982. Increase of the fogs in Andong due to the construction of Andong reservoir. Journal of Korean Meteorological Society 18(2): 26-32.
6. Horie T. 1987. A model for evaluating climatic productivity and water balance of irrigated rice and its application to Southeast Asia. Southeast Asian Studies 25:

- 62-74.
7. _____. 1993. Predicting the effects of climatic variation and effect of CO₂ on rice yield in Japan. *J. Agr. Meteor.* (Tokyo) 48: 567-574.
 8. _____, Nakagawa H, Centeno H.G.S and Kropff M.J. 1995. The rice crop simulation model SIMRIW and its testing. In, *Modeling the impact of climate change on rice production in Asia*, Eds. Matthews, R., M.J. Kropff, D. Bachelet & H.H. Van Laar. CAB International in association with the IRRI.
 9. _____ and Sakuratani T. 1985. Studies on crop-weather relationship model in rice. I, Relation between absorbed solar radiation by the crop and the dry matter production. *J. Agr. Meteor.* (Tokyo) 40: 331-342.
 10. 과학기술처, 1992. 전국 그물망기후값 추정 및 기후도 작성 연구(Ⅲ), 379p.
 11. Lee C.B. 1981. Changes of fog days and cloud amount by artificial lakes in Chuncheon. *Journal of Korean Meteorological Society* 17(1): 18-26.
 12. _____, Bong J.H and Cho H.M. 1990. Aspects of local climatic change due to dam construction. *Journal of Atmospheric Research* 7(1): 75-81.
 13. Made A. 1956. *Über die methodik der meteorologischen gelandevermessung*. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 5: 2-25.
 14. Nelder J.A and Mead R. 1963. A simplex method for function minimization. *Computer Journal* 6: 308-313.
 15. Nemeč J. 1973. *Interaction between reservoirs and the atmosphere and its hydro-meteorological elements*. In *Man-made lakes: Their problems and environmental effects*, Geophys. Monogr. Ser, Vol 17, Eds(W.C Ackermann, G.F. White, and E.B. Worthington. AGU, Washington, D.C)
 16. Pickering N.B, Hansen J.W, Jones J.W, Chan H and Godwin D. 1994. *Weather-Man: A utility for managing and generating daily weather data*. *Agron. J.*, 86(2): 332-337.
 17. Satake T and Yoshida S. 1978. High-temperature-induced sterility in indica rice at flowering. *Japanese J. Crop Sci.* 47: 6-17.
 18. Shin J.C and Lee M.H. 1995. Rice production in South Korea under current and future climates. In *Matthews, R.B, M.J. Kropff, D. Bachelet, and H.H. van Laar.* (eds) *Modeling the impact of climate change on rice production in Asia*. IRRI & CAB International, Wallingford, UK. pp. 199-215.
 19. Thornthwaite C.W. 1958. *Introduction to arid zone climatology*. *Climatology and microclimatology*, AZR XI, UNESCO, pp. 15-22.
 20. Uchijima T. 1976. Some aspects of the relation between low air temperature and sterile spikelets in rice plants. *J. Agric. Meteor.* (Tokyo) 31: 199-202.
 21. Yun J.I, Hwang K.H, Chung H.H, Shin M.Y, Lim J.T and Sin J.C. 1997: Effects of an artificial lake on the local climate and the crop production in Suncheon area. *Journal of Korean Meteorological Society* 33(3): 409-427.