

이상기후에 따른 농작물의 수확량 및 재해발생 확률의 추정

Simulating Crop Yield and Probable Damage From Abnormal Weather Conditions

임 상 준* · 박 승 우** · 강 문 성*
Im, Sang Jun · Park, Seung Woo · Kang, Moon Seong

Summary

Potential impacts for unfavourable weather conditions and the assessment of the magnitudes of their adverse effects on crop yields were studied. EPIC model was investigated for its capability on crop yield predictions for rice and soybean. Weather generation model was used to generate long-term climatic data. The model was verified with observed climate data of Suwon city. Fifty years weather data including abnormal conditions were generated and used for crop yield simulation by EPIC model. Crop yield probability function was derived from simulated crop yield data, which followed normal distribution. Probable crop yield reductions due to abnormal weather conditions were also analyzed.

I. 서 론

최근에 이르러 이상저온과 일조시간의 부족 등으로 인하여, 채소, 과수 등 작물의 작황이 부진하거나 논벼의 수확량이 감소하는 등의 기상재해가 빈번히 발생하고 있다. 이와 같은 농작물의 수확량 감소는 농가의 경제에 상당한 타격을 주고 있다.

기상조건에 따른 농작물의 피해는 지역적으로 광범위하게 발생하며, 정상적인 기상조건 하에서도 발생하거나와 특히, 이상기상일 경

우에 더 큰 피해를 입게 된다. 이러한 이상기상으로 인한 농업재해는 불가항력적인 것으로, 과거에도 한발, 홍수 등에 의한 수확량의 감소가 있었으나(이은웅, 1982; 유인수 등, 1982), 농업개발사업과 다수확 품종의 개발, 영농기술 등의 발달로 인하여 상대적으로 한발 등에 의한 수확량의 감소 위험은 낮아진 것이 사실이다. 그러나, 최근의 전세계적인 이상기후로 인하여 상당 규모의 수확량 감소가 발생하고 있으며 이에 대한 대책이 요구되고 있는 실정이다.

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드: 수확량 모형, 기상발생모형, 기상재해, 재해 확률함수

농작물의 기상재해에 대한 대책으로는 이상 기후 등으로 인한 농업활동의 기상재해를 계량화하여 이에 대한 대비책을 마련하고, 소위 농업재해보험 등의 구제방안을 마련하여야 할 것이다. 이를 위하여 과거의 기상과 수확량과의 통계적 관계를 기초로 한 농업재해 규모의 예측에는 어려움이 따른다. 이는 품종 개량이 외에도 경운, 제초 및 병충해 방제, 관개 및 배수, 수확방법 등의 영농방법이 발달되어, 과거의 농업 생산량 자료는 기상조건만을 반영하지 않기 때문이다.

따라서, 작물 성장 및 수확량 모형을 이용하여, 장기간의 기상조건에 따른 잠재 수확량을 추정하고, 잠재 수확량 자료의 확률분포함수를 이용하여 이상기상으로 인한 재해확률별 수확량을 구할 수 있을 것이다(Rotter 등, 1997).

본 연구에서는 EPIC의 작물 성장 및 수확량 부모형(Sharpley와 Williams, 1989)을 수정하고, 이로부터 작물의 수확량을 추정하였으며, 이상기상을 재현하기 위하여 기상발생 모형을 이용하였다. 또한, 수확량 자료의 재해 확률함수를 결정하였으며, 이로부터 기상재해에 따른 작목별 수확량을 추정하였다.

II. 작물 성장 및 수확량 모형

1. 모형의 구성

가. 작물의 성장

기상조건에 따른 작물의 수확량 변화를 추정하기 위하여 Fig. 1과 같이 기상자료로부터 작물의 성장을 모의 발생하는 모형을 구성하고, 수확지수를 이용하여 수확량을 추정하였다.

작물의 성장은 광합성에 이용되는 복사량이나 작물에 흡수된 단파복사량에 비례한다. 즉, 작물 생체량(biomass)의 일 증가량은 Monteith방법에 의하여 아래 식으로부터 구할 수 있다.

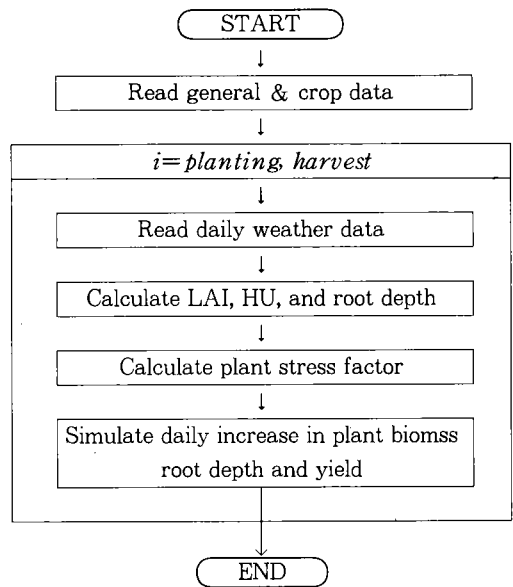


Fig. 1. Flow chart of crop growth and yield model

$$\Delta B_{p,i}(BE) \cdot (PAR)_i \dots\dots\dots (1)$$

여기서, ΔB_p 는 작물생체량의 일별 증가량(t/ha), BE 는 단파복사량에서 작물생체량으로의 변환계수(kg/MJ)이다. 또한, PAR 은 광합성 이용 복사량(MJ/m²)으로서 아래의 식(2)로부터 계산할 수 있다.

$$PAR_i = 0.5(RA)_i [1.0 - \exp(-0.65LAI)]_i \dots\dots\dots (2)$$

여기서, RA 는 복사량(MJ/m²), LAI 는 엽면적지수(leaf area index)이다.

대부분의 작물의 경우, 발아시의 엽면적은 매우 작은 값을 가지고 있으며, 작물이 성장함에 따라 지수함수적으로 증가한다. 작물의 성장으로 인한 잎의 고사율과 엽면적의 증가율이 같아지게 되면 최대 엽면적지수에 도달하게 되고, 이후부터 엽면적지수는 점차 감소한다. 엽면적지수는 열단위(heat unit)와 작물

스트레스, 작물의 생육단계에 따라 결정된다. 작물의 발아시기부터 엽면적지수가 감소하는 시기까지의 엽면적지수는 다음 식으로 부터 구할 수 있다.

$$LAI_i = LAI_{i-1} + \Delta LAI$$

$$\Delta LAI = (\Delta HUF) \cdot (LAI_{mx}) \{1.0 - \exp[5.0(LAI_{i-1} - LAI_{mx})]\} \sqrt{REG_i} \dots (3)$$

여기서, HUF 는 열단위인자(heat unit factor)이며 REG 는 작물 스트레스이다. 첨자 m x 는 최대치를 나타내며, Δ 는 일 변화량이다. 열단위인자 HUF 는 열단위지수(heat unit index)로부터 구할 수 있다.

$$HUF_i = \frac{HUI_i}{HUI_i + \exp[ah_{j,1} - ah_{j,2}(HUI_i)]} \dots (4)$$

여기서, $ah_{j,1}$ 와 $ah_{j,2}$ 는 작물에 따른 매개변수이며 HUI 는 열단위지수이다.

또한, 엽면적지수의 감소부는 아래 식 (5)로부터 계산한다.

$$LAI_i = LAI_0 \left[\frac{1 - HUI_i}{1 - HUI_0} \right]^{ad} \dots (5)$$

여기서, ad 는 작물에 따라 엽면적지수의 감소율을 결정하는 매개변수이며 첨자 o 는 엽면적지수가 감소하기 시작하는 날을 뜻한다.

작물의 초장(crop height)은 다음 식으로부터 계산한다.

$$CHT_i = HMX \sqrt{HUF_i} \dots (6)$$

여기서, CHT 는 작물의 초장 (m)이고 HMX 는 작물의 최대 초장 (m)이다.

작물생체량 중 뿌리가 차지하는 비율은 파종시기의 0.3~0.5에서 완전히 성숙했을 때의 0.05~0.2로 점차적으로 감소한다. 따라서 본

연구에서는 뿌리의 중량비를 발아시기의 0.4에서 작물의 생장에 따라 0.2의 값으로 선형적으로 감소한다고 가정하여 계산한다.

$$\Delta RWT_i = \Delta B_{p,i} (0.4 - 0.2 HUI_i) \dots (7)$$

여기서, ΔRWT 는 뿌리의 일별 중량변화량 (t/ha)이다.

나. 작물 수확량

대부분의 작물은 생체량 중의 일부를 수확량으로 전환하며, 수확량으로 전환되는 생체량은 작물에 따라 다르다. 작물의 수확량은 수확지수(harvest index)를 이용하여 건물생산량으로부터 구할 수 있다.

$$YLD = (HI) \cdot (B_{AG}) \dots (8)$$

여기서, YLD 는 작물의 수확량(t/ha), HI 는 작물의 수확지수이며 B_{AG} 는 건물생산량(t/ha)으로, 생체량 중에서 뿌리의 중량을 제외한 값이다. 수확지수는 작물의 유전적 특성을 나타내는 지수로서, 최적의 재배조건에서 건물생산량중의 일부가 수확량으로 전환되는 비율을 나타내며, 일반적으로 생육기간을 통하여 비선형적으로 증가한다.

다. 생육제한인자

실제의 작물생육은 생육환경에 의해 여러 가지 제약을 받는다. 이들 제약조건은 비배관리, 물관리, 제초 등 인위적 관리요인과 온도, 일장, 토양수분 등 환경요인이 있으나, 정상적인 관리하에서는 인위적 관리요인은 무시할 수 있는 정도이다. 따라서 오래 전부터 온도와 일장에 의해서 생육상태를 예측하는 모형들을 구성하여 왔다. 본 연구에서는 온도에 따른 생육제한인자를 구성하였으며, 잠재작물 생육조건으로부터 생육제한인자를 이용하여 실제의 생육상태를 예측하였다. 이때 생육

제한인자는 1.0보다 작은 값을 가지는 제약조건이 된다.

$$\Delta B = (\Delta B_p) \cdot (REG) \dots\dots\dots (9)$$

온도는 작물이 생장하는데 있어서 기본적인 요소이며 주요 에너지원이다. 또한, 생리학적 으로 작물의 생장을 제약하는 중요한 요소가 되기도 한다. 이 때, 온도에 의한 작물의 스트레스는 다음의 식 (10)으로부터 결정된다.

$$TS_i = \sin\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{TG - T_b}{T_o - T_b}\right)\right\} \dots\dots\dots (10)$$

여기서 TS 는 온도에 의한 일별 작물 스트레스, TG 는 토양 표면의 온도(°C)로써 최고 및 최저온도로부터 구해지며, T_b 는 최저생육가능온도(base temperature), T_o 는 최적생육온도(optimal temperature)이다.

2. 모형의 적용

모형의 적용성 검토를 위하여 수원 및 밀양의 2개 지역을 선정하였으며, 논벼와 콩에 대하여 각각 수확량을 비교하였다. 수원지방의 경우에는 작물시험장의 수확량 자료와 수원기상대의 기상자료를 이용하였으며, 밀양지방은 영남 농업시험장의 수확량 자료 및 밀양 관측소의 기상자료를 이용하였다. 논벼의 수확량 자료는 1983~1994년의 작물시험장의 상품벼와 영남 농업시험장의 낙동벼에 대한 작황 시험 자료를 사용하였으며, 콩은 작물시험장의 1983~1993년의 11개년에 대한 황금콩의 수확량 자료와 영남 농업시험장의 단원콩에 대한 1988~1993년의 작황 자료를 이용하였다 (농업진흥청, 1983~1994).

작물의 생장 및 수확량 모형을 이용하여 작목별 수확량을 추정한 결과는 Table 1과 같다. 논벼의 추정 수확량은 수원 및 밀양에서

Table 1. Mean and standard deviation of actual and simulated yield

Crop	Location	Years	Yield(t/ha)				t-values for differences in means*
			Actual		Simulated		
			\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
Rice	Suwon	'83~'94	6.55	0.427	6.47	0.615	0.280
	Miryang	'83~'94	6.29	0.333	6.26	0.437	0.370
Soybean	Suwon	'83~'93	2.25	0.278	2.22	0.221	0.079
	Miryang	'88~'93	2.72	0.183	2.70	0.293	0.142

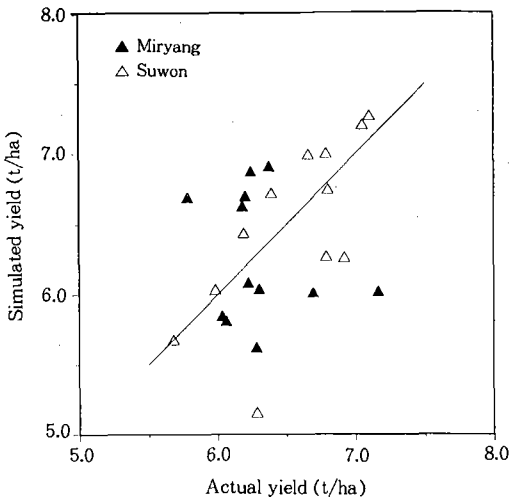
* None were significant at the 95% confidence level.

그 평균이 각각 6.47t/ha, 6.26t/ha로서, 실측 평균 수확량에 대하여 각각 1.2%, 0.47%의 상대오차를 나타내었다. 콩의 수확량 추정 결과, 평균 수확량이 수원은 2.22t/ha이었으며, 밀양은 2.70t/ha이었다. 추정된 콩의 평균 수확량을 실측치와 비교한 결과, 상대오차는 수원 및 밀양에 대하여 각각 1.33%, 0.73%를 보였다.

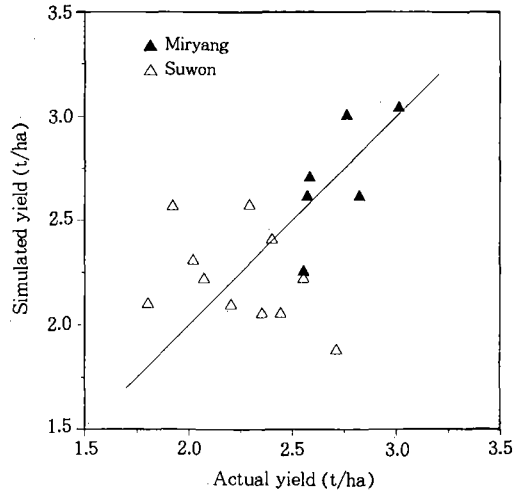
작목별 수확량의 추정치와 실측치의 평균간의 차이를 분석하기 위하여 t-검정을 실시하였으며, 그 결과는 Table 1에 나타나있다. Table 1에서와 같이 t-검정 결과, 수원 및 밀양의 논벼와 콩에 대하여 95% 유의수준에서 유의성이 없었으며, 이로부터 추정치와 실측치의 확률분포는 서로 일치하며, 추정치로부터 실측 수확량의 확률분포함수를 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.

또한, 실측치와 추정치의 상관성을 분석한 결과, 수원지방의 논벼에 대한 상관계수는 0.702로서 높게 나타났으며, 밀양지방의 논벼는 0.385로서 낮은 상관성을 보였다. 콩의 경우에는 밀양이 0.720으로 높은 상관성을 보인 반면에 수원지방은 0.385를 보였다. 논벼와 콩의 수확량 추정결과를 실측수확량과 비교하여 도시하면 Fig. 2와 같다.

Fig. 3은 수원지방의 논벼와 콩의 연도별 수확량 변화를 나타내고 있다.



(a) Rice



(b) Soybean

Fig. 2. Relationship between actual and simulated crop yield

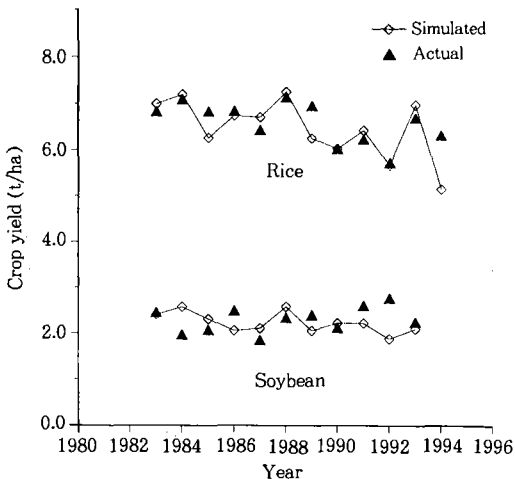


Fig. 3. Yearly variation in actual and simulated crop yield in Suwon

III. 기상 발생 모형

1. 모형의 구성

작물의 수확량 모형을 이용하여 기상조건에 따른 수확량의 변이를 추정하기 위하여는 기상자료로부터 영농조건을 동일하게 처리하여 기상조건과 작물의 생육 및 수확량과의 관계

를 분석하여야 한다. 이를 위하여 장기간의 기상자료가 필요하지만 우리나라의 경우에는 장기간의 기상관측자료가 미비한 실정이다. 따라서, 기상 발생 모형으로부터 장기간의 기상자료를 생성하여, 이들 자료로부터 수확량을 추정하였다.

기상자료의 모의발생은 기상요소들의 통계학적 매개변수를 결정하고, 이로부터 장기간의 기상자료를 생성하는 방법으로, 어떤 지점의 시계열 자료 성분을 분석하여 단기간의 기상인자 시계열을 추계학적으로 모형화하여 장기간의 시계열을 모의 발생시키는 추계학적 모의발생기법이 널리 이용되고 있다(강문성, 1995).

본 연구에서는 추계학적인 기상자료의 모의 발생기법을 이용하여 수확량 모형의 입력자료인 최고 및 최저온도, 태양복사량, 상대습도를 모의 발생하였다.

가. 최고온도와 최저온도

최고온도와 최저온도의 잔차계열을 발생시키기 위한 모형은 Richardson(1981)이 제안하였는데, 그 방법은 Matalas(1967)가 제시한 약정상 상태(*weakly stationary*)의 발생과

정에 근거를 두고 있다. 이를 수식으로 표시하면 식 (11)과 같다.

$$x_i = Ax_{i-1} + B\epsilon_i \dots\dots\dots (11)$$

여기서, x_i 는 최고온도와 최저온도의 잔차 요소로서 i 일에 대한 3×1 매트릭스이다. ϵ_i 는 정규분포를 나타내는 독립난수요소인 3×1 매트릭스이다. A와 B는 계열상관계수(serial correlation)와 상호상관계수(cross correlation)로서 정의되는 3×3 매트릭스 요소이다. 식 (11)에서 최고온도와 최저온도의 잔차는 정규분포를 이루고 있으며, 각 변수의 계열상관은 1차 선형 자기회귀모형을 나타내고 있다.

A와 B의 매트릭스는 식 (12)와 식 (13)의 매트릭스 방정식에 의해 결정되어진다.

$$A = M_1 M_0^{-1} \dots\dots\dots (12)$$

$$BB^T = M_0 - M_1 M_0^{-1} M_1^T \dots\dots\dots (13)$$

여기서, 위첨자 -1과 T는 각각 역행렬과 전치행렬을 나타낸다. 그리고, M_0 와 M_1 은 각각 상호상관계수와 계열상관계수를 나타내고 있다.

최고온도와 최저온도의 모의발생은 식 (11)에서 발생된 잔차요소, 월 평균값 및 표준편차의 함수로서 아래의 식에 의해 이루어진다.

$$t_i = x_i \cdot s_i + m_i \dots\dots\dots (14)$$

여기서, t_i 는 최고온도와 최저온도의 일별 모의발생값, x_i 는 식 (11)에서 구한 잔차요소, s_i 는 각각의 표준편차, m_i 는 각각의 월평균값을 나타낸다. s_i 와 m_i 는 각각 우천일과 청명일로 구분하여 결정된다.

나. 태양복사량

태양복사량의 모의발생은 최고온도와 최저

온도의 발생과정을 따르고 있다. 즉, 태양복사량의 모의발생은 식 (12)와 식 (13)에서 식 (11)의 잔차계열을 발생시키기 위한 상수 A와 B를 계산하여 태양복사량을 나타내는 잔차요소인 3×1 매트릭스를 식 (11)과 같이 계산하고 우천일과 청명일에 따라 식 (14)와 같이 모의 발생시킨다.

다. 상대습도

상대습도는 삼각분포함수를 이용하여 과거의 월평균 값으로부터 구할 수 있다. 온도나 태양복사량과 마찬가지로 상대습도는 우천일과 청명일의 사상에 영향을 받는다. 우천일의 상대습도는 청명일의 상대습도와 관계를 이용하여 아래 식 (15)로부터 계산된다.

$$RHW_j = RHD_j + \phi(1.0 - RHD_j) \dots\dots (15)$$

여기서, RHW_j 는 j 월에 해당하는 우천일의 상대습도이고, RHD_j 는 j 월에 해당하는 청명일의 상대습도이다. 그리고, ϕ 는 형상계수로서 0.0~1.0의 값을 가진다. 청명일의 상대습도는 식 (16)으로부터 구하여진다.

$$RHD_j = \frac{RH_j - \phi(NWD/ND)}{1.0 - \phi(NWD/ND)} \dots\dots (16)$$

여기서, RH_j 는 j 월에 해당하는 과거 상대습도 자료의 평균값이며, ND 는 청명일의 발생횟수이고 NWD 는 우천일에 이어 청명일이 발생한 횟수이다.

2. 모형의 검증

기상 발생 모형의 적용성을 평가하기 위하여 수원기상대의 기상자료를 사용하였다. 온도와 상대습도는 1951~1989년의 일별 자료를 사용하여 매개변수를 추정하였고, 1990~1992년의 관측자료와 비교하여 그 적용성을 검증하였다. 또한, 태양복사량은 1973~1989

년의 자료로부터 매개변수를 추정하고, 1990~1992년의 관측자료와 비교하였다.

가. 최고 및 최저온도

수원측후소의 기상 자료로부터 계산된 통계치와 가중합수를 이용하여 최고 및 최저온도를 모의 발생하였으며, 실측치와 모의 발생치의 비교는 Table 2에 나타나 있다. 기상자료의 비교를 위하여 두 계열간의 R²와 RMSE (root mean square error)를 계산하여 실측치와 모의 발생치의 상관성을 분석하였다(이재형과 전일권, 1994).

Table 2에서와 같이 실측치와 모의발생치의 R²는 최고온도의 경우 0.999이었으며 최저온

도는 0.999이었고, RMSE는 각각 0.23, 0.29℃로서 실측치와 모의발생치가 잘 일치하였다. Table 2는 최고 및 최저온도의 관측치와 모의 발생치의 월 평균값을 비교하여 보여주고 있는데, 최고온도의 상대오차는 0~9%의 범위를 나타내었으며 최저온도는 1~14%의 범위를 보였다.

Fig. 4는 1990~1992년의 검정기간에 대한 최고온도의 관측치와 모의발생치의 변화를 보여주고 있다. Fig. 4에서와 같이 최고온도는 뚜렷한 주기성을 나타내고 있으며, 절대오차의 최대치는 최고온도의 경우에 7.15℃이었으며, 최소온도는 6.91℃의 값을 보였다.

Table 2. Comparisons of observed and simulated weather data

Data	Month												R ²	RMSE	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12
Max. Temp.(℃)	Obs.	1.5	3.4	9.4	17.4	22.7	26.3	28.4	29.4	25.3	19.5	11.4	4.1	0.999	0.23
	Sim.	1.6	3.7	9.4	17.4	22.9	25.9	28.4	29.4	25.6	19.5	11.9	4.0		
Min. Temp.(℃)	Obs.	-8.8	-6.8	-1.6	4.9	10.8	16.3	21.1	21.4	14.9	7.0	0.4	-6.0	0.999	0.29
	Sim.	-8.8	-6.7	-1.5	4.4	10.9	16.0	20.8	21.4	15.1	6.9	1.0	-5.6		
Solar Rad. (MJ/m ²)	Obs.	8.0	10.4	13.5	15.7	17.3	16.4	13.0	13.5	13.1	11.3	8.0	6.9	0.989	0.50
	Sim.	8.2	10.1	13.0	15.3	16.9	16.2	12.8	13.3	13.4	11.1	7.0	5.9		
Humidity (%)	Obs.	70	69	69	67	70	75	82	81	78	76	71	70	0.936	1.44
	Sim.	68	68	67	65	70	75	81	80	76	75	72	72		

다. 태양복사량

태양복사량의 관측치와 모의발생치의 R²는 0.989이었으며, RMSE는 0.50MJ/m²이었다. 또한, 태양복사량의 상대오차는 1~14%의 범위를 나타내었다.

태양복사량 모의발생의 적용성을 평가하기 위하여 1990~1992년의 관측자료와 비교하였으며 그 결과는 Fig. 5에 나타나 있다. 태양복사량의 관측치와 모의발생치의 상대오차는 1~70%의 범위를 보였다. 특히, 1990년 1월에서 8월까지의 실측치가 모의발생치보다 현저하게 낮은 값을 보이는 것은 당해년도에 우천일의 빈도가 높기 때문인 것으로 보인다.

라. 상대습도

상대습도의 월평균 관측치와 모의발생치의 R²는 Table 2에서와 같이 0.936이었으며, RMSE는 1.44 %이었다. 또한, 월평균 상대습도는 모의발생기간에 대하여 상대오차 1~3%의 범위를 가지고 있었다.

Fig. 6은 1990~1992년에 대한 상대습도의 적용 결과를 나타내고 있다. 관측치와 모의발생치의 상대오차는 0~10%의 범위를 보였으며, 1990년 여름철의 모의발생치가 관측치보다 낮게 나타난 것은 태양복사량의 경우와 같이 우천일의 빈도가 높고 강수량이 많기 때문인 것으로 보인다.

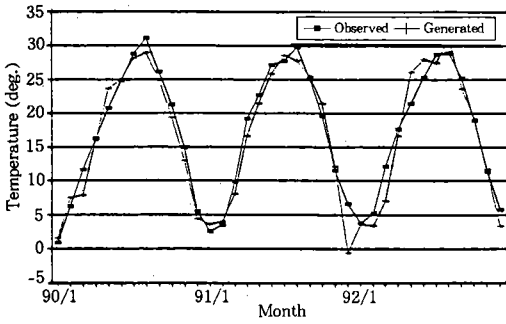


Fig. 4. Comparison of observed and generated monthly mean of daily maximum temperature

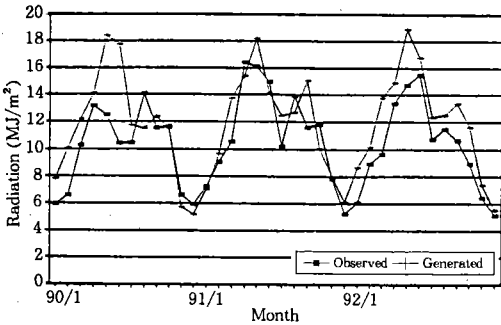


Fig. 5. Comparison of observed and generated monthly mean of daily solar radiation

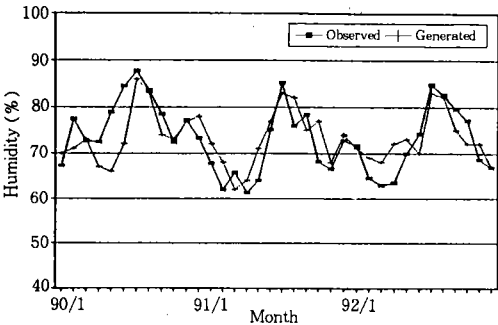


Fig. 6. Comparison of observed and generated monthly mean of daily relative humidity

IV. 기상재해확률의 추정

1. 수확량 추정

기상 발생 모형을 이용하여 수원지방의 최대 및 최소온도, 태양복사량과 상대습도를 모의 발생하였다. 모의 발생된 수원지방의 50년간의 기상자료로부터 논벼와 콩의 수확량을 추정하였으며, 작목별 수확량 추정결과는 Table 3과 같다. Table 3에서와 같이 논벼의 수확량은 최대값이 7.27t/ha이고 최소값은 5.49t/ha였으며, 평균 6.39t/ha로서 표준편차는 0.44이었다. 콩의 수확량은 1.72~2.39t/ha의 범위를 보였으며, 평균 수확량은 2.05t/ha이고 표준편차는 0.17이었다.

Table 3. Simulated crop yield for 50 years

Yield (t/ha)	Rice	Soybean
Maximum	7.27	2.39
Minimum	5.49	1.72
Mean	6.39	2.05
Std. Deviation	0.44	0.17

2. 재해확률함수의 선정

이상기상으로 인한 농작물의 재해확률은 수확량의 확률분포함수를 이용하여 추정할 수 있다. 수확량의 확률분포함수는 정규분포함수가 많이 이용되고 있으며, Gamma분포, Beta분포 및 혼합정규분포(mixed normal distribution) 등도 이용되고 있다(Rotter, 1996). 작물 수확량은 작물의 재배환경이나 기상조건 등이 다양하기 때문에 장기간의 자료를 이용하여 적합한 확률분포함수를 결정하여야 한다.

작목별 수확량의 확률분포함수를 선정하기 위하여 각 확률분포함수에 대하여 적합도 검정을 실시하였다. 적합도 검정 결과, 수확량의 확률분포함수는 정규분포, 대수정규분포, Gamma분포, Beta분포가 선정되었으며, 이들 4개의 분포함수 중에서 수확량 분포함수로 많이 이용되고 있는 정규분포함수를 선정하여 재해발생확률을 추정하였다.

Fig. 7은 논벼에 대한 수확량의 분포함수와

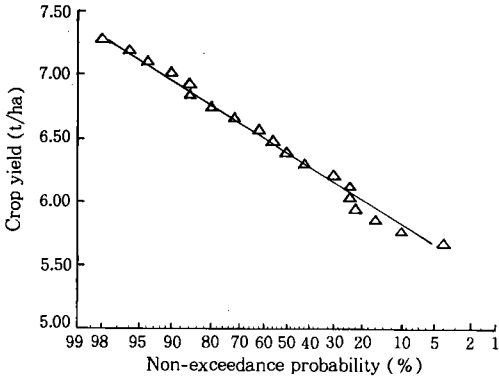


Fig. 7. Normal probability distributions of crop yield for rice

정규분포함수를 도식한 것으로, 선정된 정규분포함수가 수확량의 분포를 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

3. 재해발생확률별 수확량

이상기후로 인한 수확량의 감소를 계량화하기 위하여 정규분포함수를 이용하여 재해확률에 따른 작목별 수확량을 구하고, 이로부터 평균 수확량보다 작은 수확량에 대하여 2, 5, 10, 20, 50, 100년 빈도의 재해발생확률별 수확량을 각각 추정하였다.

Table 4는 논벼와 콩에 대한 재해확률 및 재현기간별 수확량을 표시하고 있다. 논벼의 경우에 6.02t/ha는 5년 빈도의 재해발생시 예상되는 수확량이며 이는 20%의 재해확률에 해

Table 4. Probable damage from abnormal weather conditions

Return Period (yrs)	Non-Exceedance Probability (%)	Crop Yield (t/ha)	
		Rice	Soybean
2	50	6.39	2.05
5	20	6.02	1.90
10	10	5.82	1.82
20	5	5.66	1.76
50	2	5.49	1.69
100	1	5.37	1.64

당한다. 콩의 경우 1.82t/ha는 10년 빈도의 이상기상으로 인하여 예상되는 수확량이며, 1.69t/ha는 50년빈도, 2%의 재해확률 수확량이다.

Table 4로부터 작물의 수확량에 대한 기상재해 정도를 계량화할 수 있으며, 재해보상기준을 수립하기 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

IV. 요약 및 결론

이상기후에 따른 농작물의 재해발생확률을 계량화하기 위하여, 기상발생모형을 구성하여, 최고 및 최저온도, 태양복사량 및 상대습도 등의 기상자료를 모의 발생하였으며, 이로부터 작물 수확량 모형을 이용하여 논벼와 콩 수확량을 추정하였다. 추정된 수확량 자료를 이용하여 작목별 재해확률함수를 선정하고, 재해발생확률별 수확량을 결정하였다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. EPIC의 수확량 모형을 이용하여 수원, 밀양지방의 논벼와 콩의 수확량을 추정하였으며, 실측치와 비교하여 적용성을 평가하였다.

2. 장기간의 기상자료를 모의발생하기 위하여 기상 발생 모형을 구성하였으며, 수원지방에 대한 최고 및 최저온도, 태양복사량 및 상대습도를 모의 발생하였다.

3. 기상발생모형의 적용성을 평가하기 위하여 모의발생 기상자료를 실측치와 비교한 결과, 최고 및 최저온도의 RMSE는 각각 0.23, 0.29°C로서 잘 일치하고 있으며, 태양복사량, 상대습도는 각각 0.50 MJ/m², 1.44 %이었다.

4. 50년간의 모의 발생된 기상자료를 이용하여 작목별 수확량을 추정하고 수확량의 확률분포함수로서 정규분포함수를 선정하였다.

5. 정규분포함수를 이용하여 재해발생확률별 수확량을 추정하였으며, 이상기상으로 인한 농작물의 수확량 감소를 계량화하였다.

본 연구는 1994년도 서울대학교 발전
기금 일반 학술연구비 지원에 의하여 수
행되었음

참 고 문 헌

1. 강문성, 1995. 우리나라 일별 기상인자의 추계학적 모의발생에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
2. 농촌진흥청, 1983~1994. 시험보고서 (작황시험).
3. 유인수, 이종훈, 권용웅, 1982. 기상재해와 수도재배상의 대책, 한국작물학회지, 27(4) : 385-397.
4. 이은웅, 1982. 농작물의 기상재해와 대책, 한국작물학회지, 27(4) : 291-295.
5. 이재형, 전일권, 1994. 기상 자료 미세측지점의 강우 예보 모형, 대한토목학회논문집, 14(2) : 307-316.
6. Matalas, N. C., 1967. Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology, Water Resources Research, 3 : 937-945.
7. Sharpley, A. N. and J. R. Williams, 1990. EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator : 1. Model Documentation, Technical Bulletin No. 1768, USDA-ARS, p. 235.
8. Richardson, C. W., 1981. Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature, and Solar Radiation, Water Resources Research, 17(1) : 182-190.
9. Richardson, C. W., 1982. Dependence Structure of Daily Temperature and Solar Radiation, Trans. ASAE, 25(3) : 735-739.
10. Rotter, R, H. van Keulen, and M. J. W. Jansen, 1997. Variation in Yield Response to Fertilizer Application in the Tropics : I. Quantifying Risks and Opportunities for Smallholders Based on Crop Growth Simulation, Agricultural Systems, 53 : 41-68.