

## 最大境界線을 이용한 벼 收量の 氣象反應分析과 收量 豫測 II. 수량예측모형 검증

김창국<sup>1</sup> · 한원식<sup>1</sup> · 이변우<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학대학  
(2002년 8월 7일 접수; 2002년 9월 10일 수락)

## Boundary Line Analysis of Rice Yield Responses to Meteorological Conditions for Yield Prediction II. Verification of Yield Prediction Model

Chang Kug Kim<sup>1</sup>, Weon Sik Hahn<sup>1</sup>, and Byun Woo Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Farm Management Bureau, RDA, Suwon 441-707, Korea

<sup>2</sup>Coll. of Agric. and Life Sci., Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744, Korea

(Received August 7, 2002; Accepted September 10, 2002)

### ABSTRACT

Yield prediction model of rice based on the boundary line analysis of the relationships between rice yield and meteorological conditions during rice growing period was reported in the previous report (Kim *et al.*, 2001). Using the 15-year data of the 20 locations used for the model formulation and of the 12 locations not used, the model was tested for its predictability of location to location, year to year, and variety to variety variation of rice yield. The model predicted reliably the mean yield differences among locations, the yearly yield variation in each location, and the yield variation by variety. However, the model showed relatively lower predictability for the years of cool weather injury especially in mountainous locations. In conclusion, the model using boundary line analysis could be used to predict the yield responses to meteorological conditions during rice growth period and the locational, yearly, and varietal variations of rice yield. And the predictability of the present yield prediction model might be improved by including the boundary line analysis for the other factors such as soil characteristics, fertilization levels, etc.

**Key words** : boundary line, yield, rice, model, meteorological index

### I. 서 론

작물 생산성의 지역 및 연차간 변이를 가져오는 중요한 요인 중에 하나가 기상 환경이다. 기상 환경이 작물의 생산성에 미치는 영향은 복잡 다양하고 품종과 생육단계에 따라서 차이가 많을 뿐만 아니라 다른 기상 요소를 통제된 조건에서 각 기상 요소의 수량에 대한 영향을 평가하기가 매우 어렵다. 이와 같은 경우

최대경계선 분석이 반응 분석의 도구로 매우 유용하게 이용될 수 있다. 最大境界線 分析은 Webb(1972)에 의해 최초로 생물학적 자료에 대하여 적용된 후 주로 토양 양분 균형의 최적 모형을 구하거나 식물의 성장 모형에서 양분의 최적점을 찾는 데 주로 이용되었으며 (Moller-Nielsen *et al.*, 1976; Walworth *et al.*, 1986), 作物收量豫測模型에 이용한 것은 金 등(2001)의 연구 뿐이다.

본 연구에서는 1985년부터 1999년까지 15년간 전국에서 수행한 水稻地域適應試驗 결과를 最大境界線 分析方法을 이용하여 벼의 收量構成要素와 收量の 기상반응을 종합적으로 검토하고, 이를 토대로 하여 수량기상지수에 의한 收量豫測模型을 작성하여 보고한 바 있다(金 등, 2001). 여기서는 이 모형의 지역, 품종, 연차간 수량변이의 예측 정확도를 검증하였다.

## II. 材料 및 方法

### 2.1. 收量氣象指數에 의한 收量豫測模型

最大境界線 分析方法(Schnug et al., 1996; Walworth et al., 1986; Webb, 1972)을 통하여 얻어진 각 생육 시기별 收量氣象指數와 收量과의 직선회귀식을 구하여 收量예측모형(Model I, II, III)을 구하였는데, 이 모형의 결정계수들은 0.6512, 0.6703, 0.6129로(金 등, 2001), 모든 생육단계에 걸쳐서 기간을 15~20일 단위로 세분하였다. 모든 기간의 收量에 대한 氣象指數를 고려하여 전 생육기간의 收量氣象指數를 산출한 Model II가 氣象變化에 따른 收量變異의 설명도가 가장 높았다. 따라서 본 연구에서는 Model II 만을 대상으로 정확도를 검증하고자 하였다.

Model II는 벼의 생육기간을 營養生長期, 生殖生長期, 登熟期의 3시기로 구분하고 그 각각의 시기에 대하여 營養生長期를 이양후 0~15일, 16~30일, 31~45일의 3시기로, 生殖生長期를 출수전 30~16일, 15~0일의 두 시기, 登熟期를 출수 후 0~20일, 21~40일의 두 시기, 登熟期를 출수 후 0~20일, 21~40일의 두 시기로 구분하였다. 이 모든 시기의 氣象指數를 기하평균하고 종합수량기상지수를 계산하여 수량과의 관계를 구하였다.

### 2.2. 모델검증자료 및 검증방법

1985년부터 1999년까지 15년간에 걸쳐 農村振興廳 作物試驗場, 湖南農業試驗場, 嶺南農業試驗場, 京畿, 江原, 忠南, 忠北, 慶南, 慶北, 全南, 全北 地域에서 수행한 水稻地域適應試驗중에서 지리적 위치와 지형을 고려한 20개소를 선정하여 기상 최대경계선 分析과 수량예측모형 구축을 하였다. 선정된 地域들은 표고 6~576 m, 緯도 35°02'~38°15', 經도 126°27'~129°21' 사이에 위치하고 있다. 추가로 12개 地域을 選定하여 模型檢證을 실시하였는데 그 地域들의 위치는 標고 5~450 m, 緯도 35°10'~37°36', 經도 126°37'~128°24' 이었다.

조사품종은 일반계 품종인 대청벼, 동진벼, 상풍벼, 소백벼, 오대벼, 중원벼, 추청벼, 화성벼로 보통기의 標準栽培法(水稻地域適應試驗報告書, 1999)으로 재배되었으며 收量은 標準調査方法(水稻地域適應試驗報告書, 1999)에 의하여 조사되었다. 氣象資料는 해당 생육 관찰포가 있는 地域의 기상대에서 관측한 氣象資料와 農村振興廳의 시·군 농업기술센터에서 氣象 DB로 구축한 자료를 이용하였으며 1985년부터 1999년까지 15년간의 연도별 일 平均氣溫, 日較差, 일조시간을 사용하였다.

## III. 結果 및 考察

### 3.1. 地域 平均收量の 豫測

模型構築에 이용된 전국 20개 地域과 이용되지 않은 12개 地域의 地域別 15년간의 연도별 收量을 收量豫測模型(Model II)으로 豫測하여 평균한 지역 평균 수량과 실제 조사된 것을 일대일로 대응시켜 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. 模型구축에 이용된 地域에서 실측치와 豫測치간의 상관은  $r=0.9296^{**}$ 으로 고도로 유의한 상관을 나타내고 있으나 模型에 의해 추정된 收量은 收量이 낮은 경우에는 실제 收量보다 다소 높게 추정하고 收量이 높은 경우에는 다소 낮게 추정하는 경향이였다.

模型作成에서 제외시켰던 12개 地域의 경우는 상관계수가  $r=0.8923^{**}$ 으로 模型작성에 이용된 地域보다 收量豫測의 정확도가 다소 낮게 나타났으나 통계적으로 고도로 유의하였으며 실제 收量보다 다소 낮게 추

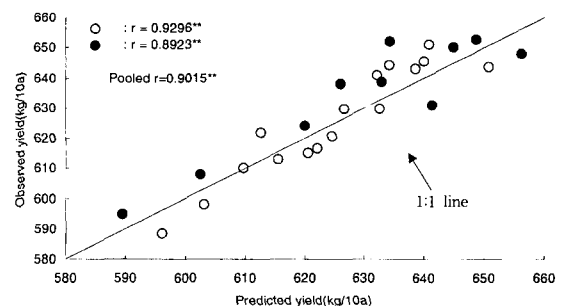


Fig. 1. Comparison between observed and predicted mean yields for 20 places (○) and 12 places (●) where data were used and not used for the model formulation, respectively. Mean yield for each place was calculated by averaging across 15 years and varieties employed in each place. Some data points were obscured by duplications.

정하는 경향이 있었다. 또한 模型구축에 이용된 20개 地域과 模型작성에서 제외시켰던 12개 地域을 모두 고려한 상관계수는  $r=0.9015^{**}$ 으로 통계적으로 고도로 유의하였다. 따라서 이 모델은 우리나라 지역별 벼의 기후생산력 추정에 이용될 수 있을 것으로 판단되었다.

3.2. 收量 年次變異의 豫測

收量豫測模型이 각 地域 收量의 年次變異를 잘 설명하는지를 검토하기 위하여 模型설정에서 사용된 20개 地域과 사용되지 않은 12개 地域의 연차별 실제 收量과 추정收量의 상관을 비교하였다(Table 1).

模型設定에 이용된 모든 地域의 實際收量과 豫測收量간의 상관이 고도로 유의하여 연차간 변이를 잘 설명하였다(Table 1, Fig. 2). 다만 고위도 지방인 珍富, 春川 地域 등에서는 냉해년인 '93년의 경우 實際收量보다 높게 추정되어 平野地 보다 模型의 추정 정확도가 다소 떨어졌는데 이는 模型이 冷害가 심할 경우 이를 충분히 반영하지 못하기 때문인 것으로 생각되며 이에 대하여는 상세한 검토가 더 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

한편 Table 1, Fig. 3과 같이 模型設定 外 地域의 경우도 당진을 제외하면 모든 地域의 豫測 年次別 收量과 실측 收量간에 유의한 상관을 보였다. 그러나 상관정도는 模型設定 地域의 경우보다 다소 저하되었다. 당진의 경우는 조사 연수가 6년으로 매우 작아 연차간 收量의 변이가 작기 때문에 실측치와 예측치간에 상관이 낮았으나 절대수량의 정확도는 크게 떨어지지

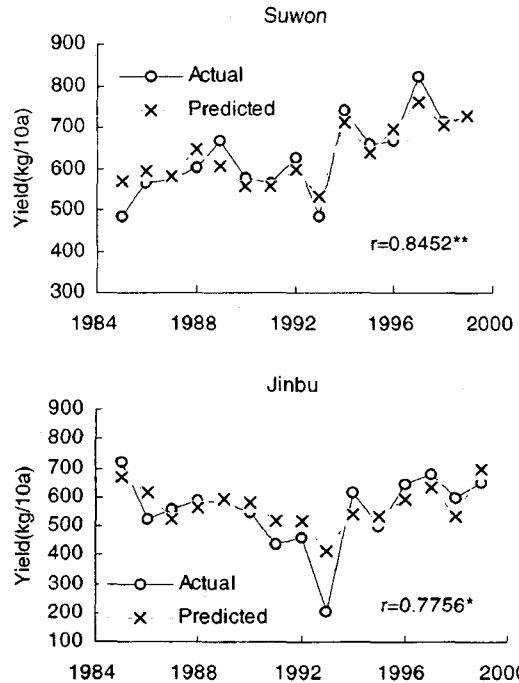


Fig. 2. Comparisons between yearly variations of the observed and predicted yield of two selected locations of which data were used for the model formulation.

않았다.

3.3. 品種別 收量의 豫測

동진벼, 화성벼, 추청벼 등의 8개 品種별로 實際收量과 豫測收量의 1:1 대응관계에 대한 상관계수를 模

Table 1. Correlation coefficient between the observed and predicted mean yields of 15 years in 32 locations

Places: Used <sup>1)</sup>	Correlation coefficient	Places: Used <sup>1)</sup>	Correlation coefficient	Places: Not Used <sup>2)</sup>	Correlation coefficient
Suwon	0.8452**	Iksan	0.8123**	Pyongtaek	0.6179*
Yuju	0.8954**	Sunchang	0.9239**	Hwasung	0.6891**
Chunchon	0.9282**	Naju	0.9322**	Pyongchang	0.6892*
Cholwon	0.8563**	Taegu	0.8892**	Hongchon	0.8596**
Jinbu	0.7756*	Sonsan	0.8573**	Jechon	0.7697**
Wonju	0.7921**	Yongdok	0.8372**	Jungwon	0.6762*
Chongju	0.7892**	Andong	0.8347**	Yesan	0.7327**
Poemun	0.8543**	Milyang	0.8862**	Dangjin	0.5274 <sup>NS</sup>
Taejon	0.9212**	Jinju	0.8927**	Unbong	0.7923**
Sosan	0.8317**	Hamyang	0.8482**	Hwasun	0.6972*
				Bonghwa	0.6819*
				Tongyong	0.6234*
Pooled			0.9296**	Pooled	0.8923**

<sup>1)</sup>Data from 20 locations used for the model formulation.

<sup>2)</sup>Data from 12 locations not used for the model formulation.

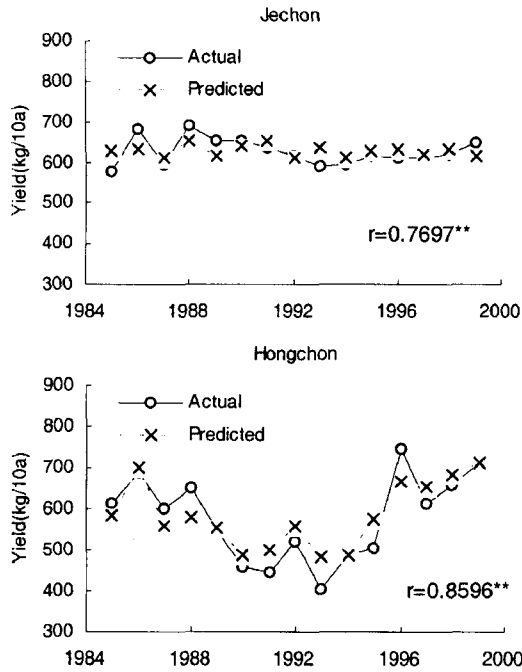


Fig. 3. Comparisons between yearly variations of the observed yield and predicted yield of two selected locations of which data were not used for the model formulation.

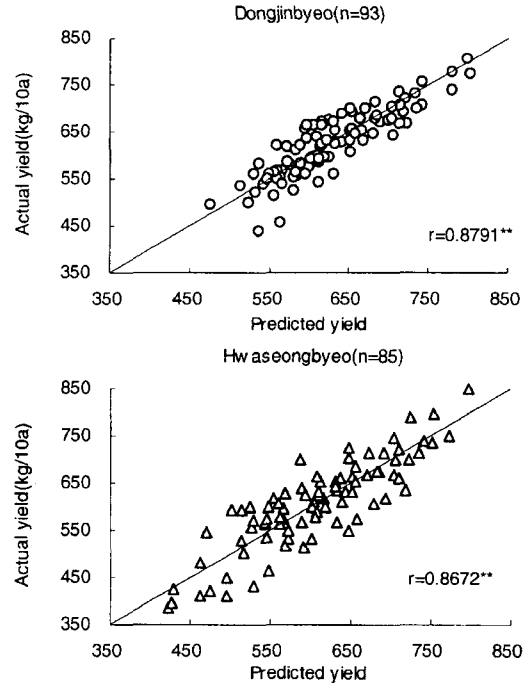


Fig. 4. Comparisons between the observed and predicted yield of two selected varieties with data which were used for the model formulation.

Table 2. Correlation coefficients between the observed and predicted mean yields of varieties

Places : Used <sup>1)</sup>	Correlation coefficient	Places : Not Used <sup>2)</sup>	Correlation coefficient
Dongjinbyeo	0.8791**	Dongjinbyeo	0.7891**
Hwaseongbyeo	0.8672**	Hwaseongbyeo	0.6797**
Chucheongbyeo	0.7867**	Chucheongbyeo	0.7298**
Odaebyeo	0.8262**	Odaebyeo	0.7689**
Sobaekbyeo	0.7726*	Sobaekbyeo	0.6754*
Daecheongbyeo	0.6546**	Jungwonbyeo	0.7123**
Sangpungbyeo	0.7162**		
Jungwonbyeo	0.7327**		

<sup>1)</sup>Data from 20 places used for the model formulation.

<sup>2)</sup>Data from 12 places not used for the model formulation.

型構築에 이용한 地域자료와 이용하지 않은 地域자료에 대하여 나타낸 것이 Table 2이다.

模型設定 地域資料를 이용한 경우 모든 品種의 실측치와 예측치 간에는 고도로 유의한 상관성이 있었다 (Table 2, Fig. 4).

模型구축에 이용되지 않았던 地域의 자료를 이용하는 경우도 모든 品種에서 실측치와 예측치 간에는 고

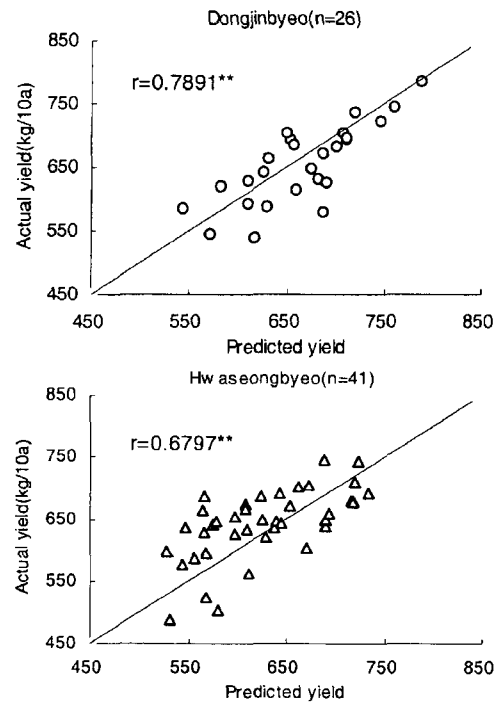


Fig. 5. Comparisons between the observed and predicted yield of two selected varieties with data independent of the model formulation.

도로 유의한 상관이 인정되었으나 模型設定 자료를 이용한 경우보다는 다소 상관이 낮아져 모형 추정력이 다소 낮아졌다(Table 2, Fig. 5). 한편 조생종인 오대벼와 소백벼의 경우가 다른品種에 비하여 추정의 정확도가 다소 떨어졌는데 이는 이들品種이 주로 山間 內陸地方에 재배되는品種으로 앞에서 언급하였듯이 이들 地域의 냉해에 대한 模型의 추정력이 낮았기 때문인 것으로 판단된다.

#### IV. 摘 要

우리나라 벼 수량 기상반응의 최대경계선 분석을 통하여 구축한 벼 수량예측모델(金 등, 2001)의 지역, 연차 및 품종의 수량 변이 예측 정확도를 검증한 결과는 다음과 같다.

1. 모형구축에 이용된 전국 20개 地域의 地域別 15년간의 平均收量은 실측치와 예측치 간에  $r=0.9296^{**}$ 으로 고도로 유의한 상관을 나타내고 있으며 모형작성에서 제외시켰던 12개 地域 平均수량의 예측치와 실측치간의 상관계수도  $r=0.8923^{**}$ 으로 模型작성에 이용된 地域보다 收量 豫測의 정확도가 다소 낮게 나타났으나 통계적으로 고도로 유의하였다.
2. 모형설정에 사용된 20개 地域과 사용되지 않는 12개 地域 모두 年次별 실제수량과 예측수량간에는 고도로 유의한 상관이 존재하여 수량의 연차간 변이를 잘 예측하였다. 다만 냉해년에는 다소 과대 추정하는 경향이였다.
3. 동진벼, 화성벼, 추청벼 등의 8개 品種별로 실제

수량과 예측수량간에는 고도로 유의한 상관이 있었다. 다만 모형구축에 이용되지 않은 地域의 자료를 이용하는 경우 模型設定에 이용한 자료를 이용한 경우보다 다소 상관이 낮아졌다.

4. 결론적으로 收量氣象反應의 最大境界線(boundary line)분석은 收量 豫測 模型의 구축에 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 판단되었으며, 본 연구에서 고려하지 않은 土壤條件, 施肥條件 등에 대한 最大境界線 분석을 포함시키는 경우 보다 정확도가 높은 收量豫測模型을 작성할 수 있으며 이를 통한 地域, 年度, 品種에 따른 收量의 變異를 실용적으로 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 引用文獻

- 김창국, 이변우, 한원식. 2001: 최대경계선을 이용한 벼 수량의 기상반응분석과 수량 예측. I. 최대경계선 분석과 수량예측모형 구축. 한국작물학회지, **46**(3), 241-247.
- 農村振興廳. 1985~1999: 水稻地域適應試驗報告書.
- Moller-Nielsen, J. and B. Friis-Nielsen, 1976: Evaluation and control of the nutritional status of cereals. *Plant and Soil*, **45**, 339-351.
- Schnug, E., J. Heyn and F. Acwan. 1996: Establishing critical values for soil and plant analysis means of the boundary line development system(BOLIDES). *Communications in Soil & Plant Analysis*, **45**, 339-351.
- Walworth, J.L., W.S. Letzsch, and M.E. Sumner, 1986: Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. *Soil Science Society America Journal*, **50**, 123-128.
- Webb, R.A. 1972: Use of the boundary line in the analysis of biological data. *Journal of Horticultural Science*, **47**, 309-319.