

# 우리 나라의 순1차생산력 및 벼 수량의 지역성과 변이성 1)

정영상<sup>1</sup>· 방정호<sup>1</sup>· 林 陽生<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 농업생명과학대학· <sup>2</sup>일본농업환경기술연구소

(1999년 6월 15일 접수)

## Regionality and Variability of Net Primary Productivity and Rice Yield in Korea<sup>\*</sup>

YEONG-SANG JUNG<sup>1</sup>· JUNG-HO BANG<sup>1</sup>· YOSEI HAYASHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Division of Biological Environmental College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701. R. O. Korea*

<sup>2</sup>*National Institute of Agro-Environmental Sciences, MAFF, Japan*

(Manuscript received 15 June 1999)

### ABSTRACT

Rice yield and primary productivity(NPP) are dependent upon the variability of climate and soil. The variability and regionality of the rice yield and net primary productivity were evaluated with the meteorological data collected from Korea Meteorology Administration and the actual rice yield data from the Ministration of Agriculture and Forestry, Korea.

The estimated NPP using the three models, dependent upon temperature(NPP-T), precipitation(NPP-P) and net radiation(NPP-R), ranged from 10.87 to 17.52 Mg ha<sup>-1</sup> with average of 14.69 Mg ha<sup>-1</sup> in the South Korea and was ranged 6.47 to 15.58 Mg ha<sup>-1</sup> with average of 12.59 Mg ha<sup>-1</sup> in the North Korea. The primary limiting factor of NPP in Korea was net radiation, and the secondary limiting factor was temperature.

Spectral analysis on the long term change in air temperature in July and August showed periodicity. The short periodicity was 3 to 7 years and the long periodicity was 15 to 43 years.

The coefficient of variances, CV, of the rice yield from 1989 to 1998 ranged 3.23 percents to 12.37 percents which were lower than past decades. The CV's in Kangwon and Kyeongbuk were high while that in Chonbuk was the lowest.

The prediction model based on the yield index and yield response to temperature obtained from the field crop situation showed reasonable results and thus the spatial distributions of rice yield and predicted yield could be expressed in the maps. The predicted yields was well fitted with the actual yield except Kyungbuk. For better prediction, modification should be made considering radiation factor in further development.

Key words : Net primary productivity, variability, regionality, temperature, rice yield, prediction model

---

Corresponding Author : Yeong-Sang Jung(jungys7@cc.kangwon.ac.kr)

\*이 연구는 1995년도 한국학술진흥재단 한일과학기술협력 한일농업기상공동연구과제의 일환으로 수행된 것임)

## 서론

농업은 대기중의 자연계에서 이산화탄소와 물을 이용하여 태양에너지를 복잡한 물리화학적 생물학적 상호작용에 의하여 고정하는 생물의 생산활동에 의존하게 되므로 기후조건에 의하여 지배받는다(김, 1995). 지난 수 십년간 우리 농업 과학자들은 식량의 자급 달성이라는 큰 목표를 달성하기 위하여 많은 노력을 기울여 왔고, 새로운 기술을 개발하였다. 그 결과, 우리 나라의 주곡인 벼의 경우에는 단위 수량을 높여 주곡의 자급을 달성하기에 이르렀다. 그러나, 쌀의 수확량이 해마다 다르고, 연도에 따라 큰 변이를 보이고 있다. 변이를 보이는 가장 큰 원인은 기상 조건인데, 냉해, 한발해, 수해 등의 기상 재해에 의한 것이다(박, 1987).

주요 기상 재난 중에서 저온 피해의 빈도는 가뭄 또는 홍수 피해의 빈도 보다 더 낮지만, 벼 생산량의 감소의 피해는 훨씬 크다(정 등, 1991). 1980년에는 여름의 저온 현상으로 벼의 수량이 크게 감소했고, 이는 당시 우리 나라의 경제에 큰 타격을 주었다. 1993년에도 이와 못지 않은 저온 현상이 있었으나, 벼 수량의 감소는 1980년보다는 심각하지 않았다(Jung et al., 1997). 이는 1980년 대냉해 이후 저온 피해에 대처하기 위하여 추위에 견딜 수 있는 품종을 재배하고, 이에 알맞은 경작 기술을 적용한 데 있다(박 등, 1994). 이와 같이 환경의 변화에 맞추어 농업생산성을 유지·향상하기 위해서는 장기적인 환경 변화에 대응하면서 단기적인 기상변동에 대처하기 위한 노력을 함께 기울여야 한다.

지구의 온난화는 어떤 면에서 작물의 재배기간이 길어지고 재배 가능 면적이 확대되어 농업에 유리하게 작용하는 면이 있는 반면에 변화되는 기후에 적응하여야 하는 어려움을 극복하지 못하면 생태계의 변화 속에서 인간의 식량생산은 엄청난 어려움을 겪게 될 것이 분명하다(Hayashi et al., 1999) 또한, 비록 농업양식을 오래도록 환경에 알맞도록 적응시켜 왔다 하더라도 기후는 변이성이 크므로 예기하지 못한 기후의 변동에 의하여 농업생산이 큰 차이를 나타내게 된다.

기후 변동에 의한 작물의 생산성을 평가하기 위하여 순 1차 생산력이 이용된다(Bolin, 1980). 순 1차 생산력(Net Primary Productivity ; NPP)의 예측모형

으로 세계적으로 많이 이용되는 것이 연간 강수량과 평균기온을 이용한 Miami model이다(Lieth, 1978). 또한 Montreal의 Thornthwaite Memorial Symposium 에서 위의 Miami model을 수정하여 발표된 것으로 실측된 연간 증발산량으로써 생산량을 추정하는 모형이 있다(Box, 1987). 이 밖에 Uchijima와 Seino(1985)가 군락상부에서 이산화탄소와 수증기의 흐름을 이용하여 물 이용효율을 정의하고, 이를 바탕으로 하여 기후요소와 순 1차 생산력과의 관계를 도출한 바 있다. 우리 나라에서는 임(1985)에 의하여 전국토의 삼림 식생의 분포가 기후요소의 특성과 일치함을 밝히고 Miami model과 Montreal model에 따른 추정치를 비교한 바 있다. 이 등(1990)은 Chikugo model을 적용하여 우리 나라의 벼의 순1차생산력 평가를 위한 기후학적 평가를 시도한 바 있다. 윤(1990)과 이 등(1991)도 상기 모델을 적용하여 대기 중 이산화탄소의 농도가 배증할 때의 기후 생산력 변화 평가를 위하여 순1차생산력을 계산한 바 있다.

이 연구에서는 우리 나라에서의 순 1차 생산력을 평가하고, 벼 수량의 지역성과 변이성을 알아내기 위하여, 순1차 생산력과 수도 생산력의 지역성과 변이성을 평가함과 동시에 벼의 생산량에 영향을 주는 평균기온의 주기성과 벼의 생산량에 미치는 영향 및 한국 기상청에서 수집한 기후 자료와 농림부에서 수집한 도별, 시·군별 벼 수량 자료를 작물 수량 추정 모형에 적용하여 벼 수량의 예측을 시도하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 기상 자료

#### 1) 순 1차 생산력(NPP) 추정

순 1차 생산력(NPP)의 추정을 위해 한국 기상청으로부터 수집한 기상 자료를 이용하였으며, 남한은 1961~1998년까지 68개 지점에서(기상청, 1991), 그리고 북한은 1974~1993년까지 27개 지점에서 측정된 월 평균값을 사용하였다(기상청, 1995). NPP의 평가에는 기상 자료로부터 평가가 가능한 Miami model과 Chikugo model를 이용해서 지역별 NPP를 추정하였다.

#### 2) 순복사량의 추정

순복사량 추정을 위한 기상 자료는 순 1차 생산력

의 추정과 마찬가지로 한국 기상청으로부터 수집하였다. 남한은 1961~1998년까지 68개 지점에서, 그리고 북한은 1974~1993년까지 27개 지점에서 측정한 월 평균값을 이용하였다. 일사량 자료는 남한의 44개 관측소에서 측정한 값을 이용하였다. 사용한 기상 자료는 일사량, 온도, 강수량, 기압, 습도, 풍속과 운량이다. 북한 지역의 일사량을 추정하기 위해서 일사량과 운량사이의 관계식(Jung, et al., 1998)을 이용하여 산출하였다.

### 3) 주기성 분석

벼의 생육에 영향을 미치는 기상요소 중에서 가장 중요한 평균기온의 주기성을 분석하기 위하여 한국 기상청으로부터 수원(1908~1998), 강릉(1913~1998), 대구(1910~1998), 전주(1918~1998)의 자료를 수집하였다. 통계적인 분석은 SAS를 이용하여 Spectral analysis를 수행하였다(김 등, 1988; Brockwell and Davis, 1991.).

## 2. 수량 자료

우리 나라의 쌀 생산량의 변이성을 평가하기 위해서 농림부로부터 자료를 수집하였다. 도별 쌀 생산량은 1954~1998년, 시·군별 쌀 생산량은 1997~1998년까지의 자료를 이용하였고, 쌀 생산량을 추정하기 위해서 정 등(1997)의 모형을 이용하여 수행하였다.

### 3. 순1차생산력과 수량 추정 모형

#### 1) 순1차 생산력 (NPP) 추정 모형

##### 가. MIAMI 모형

MIAMI 모형은 거시적인 기후 상태에서의 순1차 생산력(NPP; Mg ha<sup>-1</sup>)을 나타내며, 단순하고 경험적인 모형으로 Leith(1978)에 의해 제안된 것이다. 평균 기온에 의한 모형 NPP-T와 년강수량에 의한 모형 NPP-P는 다음과 같이 계산된다.

$$NPP - T = \frac{30}{1 + e^{(1.315 - 0.1197T)}} \quad [1]$$

$$NPP - P = 30(1 - e^{-0.000664PPT}) \quad [2]$$

NPP-T는 순 1차 생산력의 여러 기후 인자 중에서 기온이 제한 요인로서 작용하는 것이다. 여기서 T는

년간 평균기온(°C)이다. NPP-P는 NPP-T와 마찬가지로 강수량 PPT(mm)이 제한 요인으로 작용한 것이다. 여기서 PPT는 년간 강수량(mm)이다.

#### 나. CHIKUGO 모형

Chikugo 모형(Uchijima와 Seino, 1985)은 순 복사량과 복사건조지수의 복합함수이며, 물 균형의 관점에서 중요한 모델이다. 이 모델에 의한 순1차 생산력 NPP-R은 다음과 같이 계산된다.

$$NPP - R = 0.29e^{(0.216RDI^2)}Rn \quad [3]$$

Rn은 순 복사량(Kcal cm<sup>-2</sup>)이고, RDI는 복사건조지수이며, 순 복사량을 강수량으로 나누어 다음과 같이 계산하였다.

$$RDI = \frac{Rn}{ppt} \quad [4]$$

$$NPP = \min(NPP - T, NPP - P, NPP - R) \quad [5]$$

순1차 생산력 NPP는 기온이 제한 요인인 NPP-T, 강수량이 제한 요인인 NPP-P, 순 복사량이 제한 요인인 NPP-R의 값 중 최소값을 취하였다.

Rn은 순복사량으로써 태양 복사 및 천공 복사로 지면에 도달하는 복사량과 지면에서 반사된 양과 지면의 장파 복사량을 뺀 값이다. 순 복사량 Rn의 계산은 Jensen(1972)의 방법을 이용하였다.

$$Rn = (1 - \alpha)Rs - Rb \quad [6]$$

Rs는 전천(全天)일사량(cal cm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>)이며, Rb는 유효장파 복사량으로 지면의 장파복사에서 천공의 장파 복사를 뺀 값이며, α는 albedo이다. albedo는 태양 복사에너지에 대한 반사계수로 토양표면을 덮고 있는 물질에 따라 달라지는데 0.23으로 보았다(Jung et al., 1980). 전천일사량 Rs는 다음과 같이 계산하였다.

$$Rs = Rso(a + b \cdot C) \quad [7]$$

Rso는 대기권의 일사량(extraterrestrial solar

radiation), C는 운량이다. 유효장파 복사량 Rb는 다음과 같이 계산하였다.

$$Rb = \left( a \frac{R_s}{R_{so}} + b \right) R_{bo} \quad [8]$$

Rbo는 대기습도와 온도에 의하여 결정되는 유효 장파복사량이다. 여기서 a와 b는 지역적인 상수로서, 반습윤지대에 해당하는 1.1과 -0.1 값을 사용하였다 (Jensen, et al., 1972). Rbo는 지표온도 Ts로부터 식 [9]에 의해 산출된다.

$$R_{bo} = \epsilon' \delta (T_s + 273.1)^4 \quad [9]$$

$\epsilon'$ 는 지면 복사능으로서 Idso와 Jackson(1969)에 의한 추정식

$$\epsilon' = -0.02 + 0.261 \text{EXP}(-0.000777 T_a^2) \quad [10]$$

에 의하여 계산하였다. Ta는 대기중의 평균기온(°C)이다.

$\delta$  (cal cm<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)는 Stephan-Boltzman 상수로서 다음과 같다.

$$\delta = 11.71 \times 10^{-8} \quad [11]$$

## 2) 작물 수량 추정 모형

X년의 쌀 수량 예측을 위해 Jung et. al(1997)의 모형을 사용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$Y_x = IY_x \times MY_x \quad [12]$$

MYx는 5년 이동 평균으로부터 계산된 수량(kg/10a)이며, IYx는 x년도의 수량 지수로서 다음과 같이 계산하였다.

$$IY = C - \text{coeff}(T_{789} - M_{temp})^2 + MIY \quad [13]$$

C-coeff는 7~9월까지의 월 평균 기온의 독립변수를 사용한 2차식 model에서의 C-coefficient, T789는 7~9월까지의 월 평균 기온(°C), Mtemp는 년 평균기온(°C), MIY는 지난 5년간의 이동 평균으로부터 계산된 수량 지수이다.

## 결과 및 고찰

### 1. 한반도의 순 1차 생산력 평가

표1은 순1차생산력(NPP)과 총1차생산력(GPP; growth primary productivity, Mg ha<sup>-1</sup>), 호흡 손실량(REP: respiration, Mg ha<sup>-1</sup>)이다. 우리 나라의 NPP는 10.87~17.52 Mg ha<sup>-1</sup>, GPP가 18.63~36.31 Mg ha<sup>-1</sup>의 범위이었고, 평균 NPP와 GPP가 각각 14.69 Mg ha<sup>-1</sup>, 27.94 Mg ha<sup>-1</sup>의 값을 나타냈다. 북한의 경우에는 NPP가 6.47~15.58 Mg ha<sup>-1</sup>, GPP가 10.08~24.64Mg ha<sup>-1</sup>의 범위이었고, 평균은 NPP와 GPP가 각각 12.59 Mg ha<sup>-1</sup>, 18.62 Mg ha<sup>-1</sup>이었다. 남한이 북한보다는 높은 값을 보였으며, GPP의 경우에는 1.5배 이상 차이가 있는 것으로 추정되었다.

Table 1. Statistics of the Natural productivity in Korea

| Country  | Natural Productivity               |                        |                       |
|----------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
|          | NPP*                               | GPP                    | REP                   |
|          | ----- (Mg ha <sup>-1</sup> ) ----- |                        |                       |
| S. Korea | 14.69<br>(10.87~17.52)             | 27.94<br>(18.63~36.31) | 13.30<br>(7.76~26.40) |
| N. Korea | 12.59<br>(6.47~15.58)              | 18.62<br>(10.08~24.64) | 11.72<br>(3.60~11.18) |

\*NPP, GPP and REP are net primary productivity, gross primary productivity and respiration, respectively.

표2는 한반도의 순 1차 생산력의 제한 요인을 나타내고 있다. 한반도의 93개 지점에 대한 NPP를 평가한 결과, NPP에 영향을 주는 제한 요인은 76개 지점에서 순 복사량이 1차 제한 요인이며, 16개 지점에서 기온이, 그리고 1개 지점에서 강수량이 1차 제한 요인인 것으로 나타났다. 이제까지의 순 1차 생산력 평가를 위한 Miami model의 적용에서는 연평균 기온과 연강수량만이 사용되어 왔기 때문에 순1차 생산력 평가를 위한 1차 제한 요인은 기온이었다. 그러나 Chikugb 모형을 사용하여 순복사 요인을 고려한 결과, 순1차 생산력의 1차 제한 요인은 기온보다는 순복사가 한국에서의 자연 생산력에 1차적으로 주된 제한 요인으로서 작용하는 것을 알 수 있었다. 2차적인 제한 요인은 주로 온도가 작용하는 것으로 나타났다.

## 2. 평균기온의 주기성 분석

그림1에서 4는 우리 나라 주요 지역의 1900년대 초부터 1998년까지의 7, 8월의 평균기온의 변동이다. 벼의 생육에 있어서 가장 중요한 이 시기를 분석한 결과, 4개 지역 모두에서 일정한 주기성을 보이는 것을 알 수 있었으며, 1980년과 1993년의 기온이 매우 낮게 나타나 냉해가 있었음을 보여주고 있다. 그러나, 장기적 변화로 보아 7, 8월 평균 기온은 지구 온난화에 따른 상승의 경향이 보이지 않고 있다. Jung 등의 보고에 따르면, 7, 8월 평균 기온의 경우 연간 기온 상승률은 0.0029~0.0033℃로서, 다른 기간의 0.009~0.0236℃ 상승률에 비해 현저히 낮다.

Table 2. Limiting factor for net primary productivity in Korea

| Country  | Limiting factor | Number of locations |           |
|----------|-----------------|---------------------|-----------|
|          |                 | Primary             | Secondary |
| S. Korea | Net radiation   | 54                  | 12        |
|          | Temperature     | 11                  | 24        |
|          | Precipitation   | 1                   | 8         |
| N. Korea | Net radiation   | 22                  | 1         |
|          | Temperature     | 5                   | 7         |
|          | Precipitation   | -                   | 3         |

\*The primary limiting factor was showed the minimum value of NPP among the three models and the secondary factor showed the NPP within half of the standard deviation

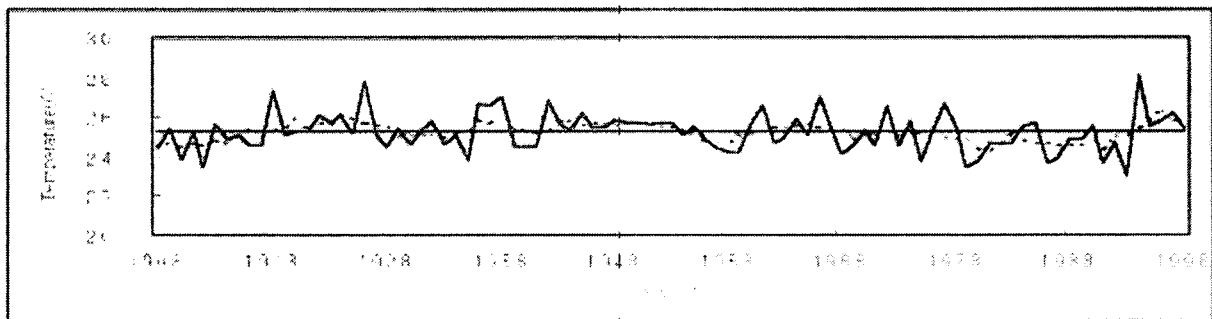


Fig. 1. Secular change in July-August temperature from 1908 to 1998 in Suwon

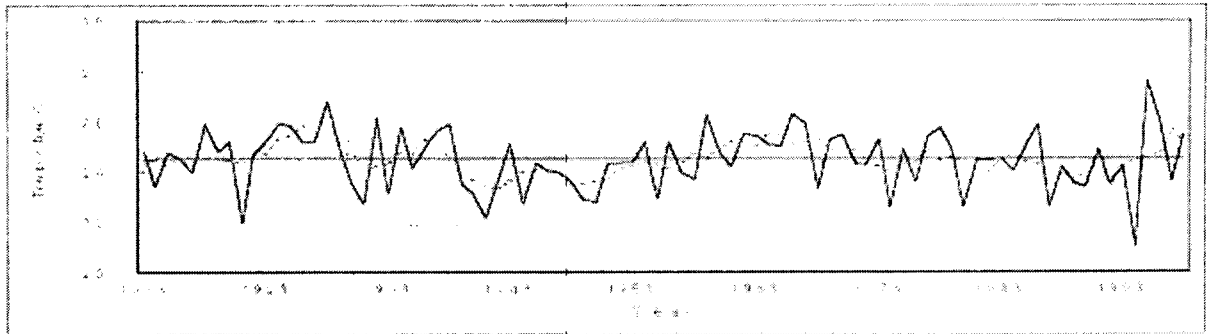


Fig. 2. Secular change in July-August temperature from 1913 to 1998 in Kangnung

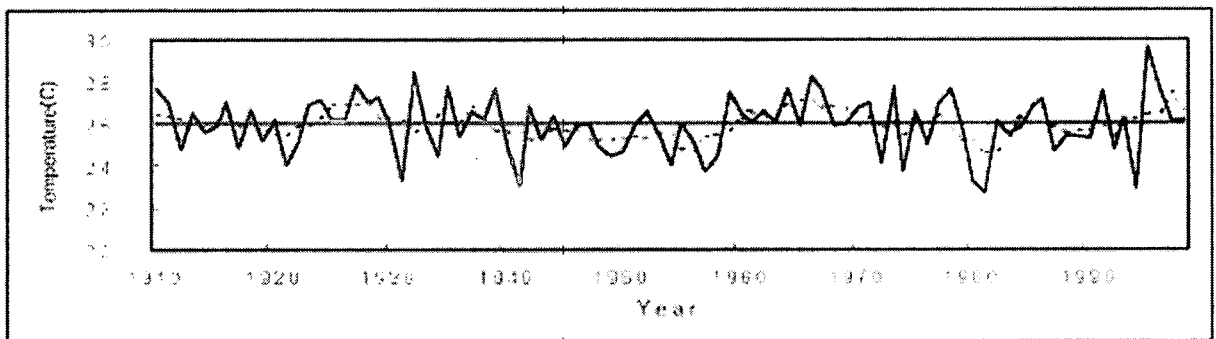


Fig. 3. Secular change in July-August temperature from 1910 to 1998 in Taegu

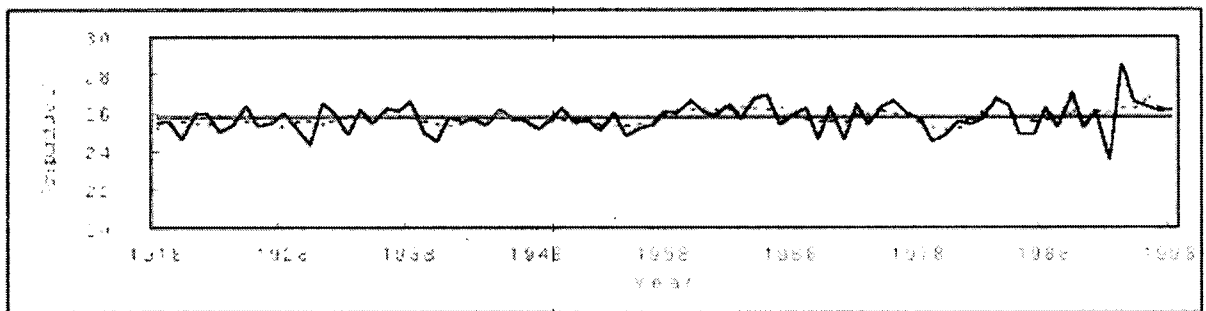


Fig. 4. Secular change in July-August temperature from 1918 to 1998 in Chonju

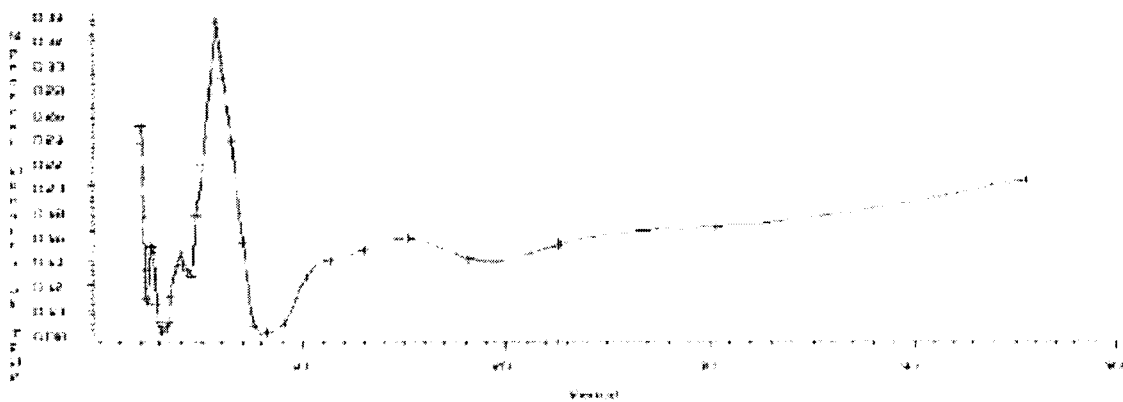


Fig. 5. Spectral density of July-August air temperature from 1908 to 1998 in Suwon

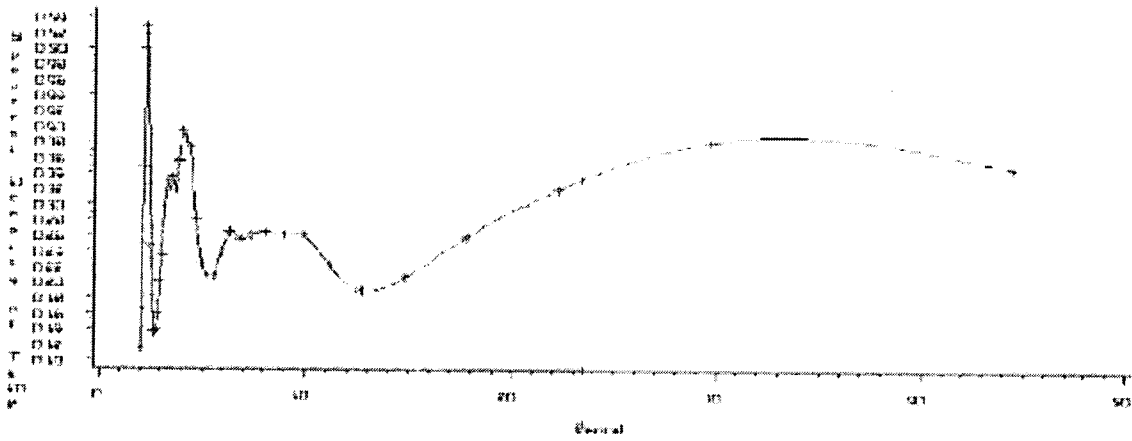


Fig. 6. Spectral density of July-August air temperature from 1910 to 1998 in Taegu

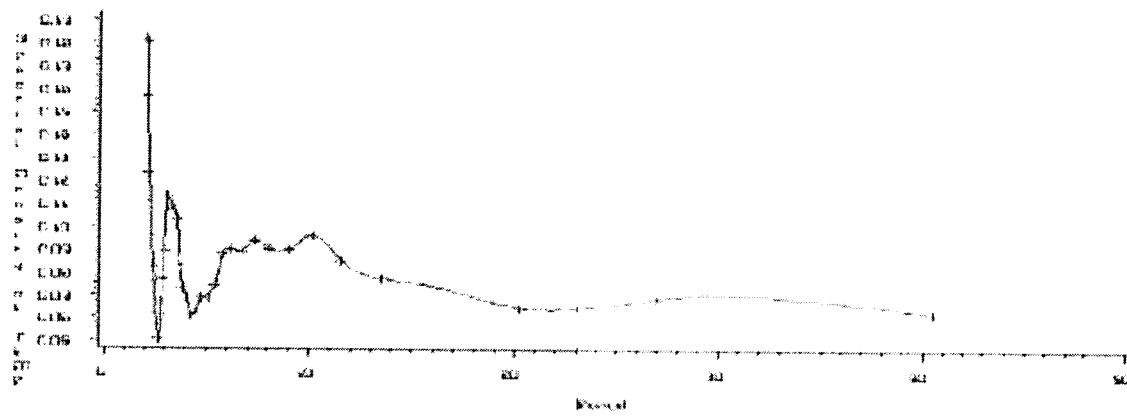


Fig. 7. Spectral density of July-August air temperature from 1913 to 1998 in Chonju

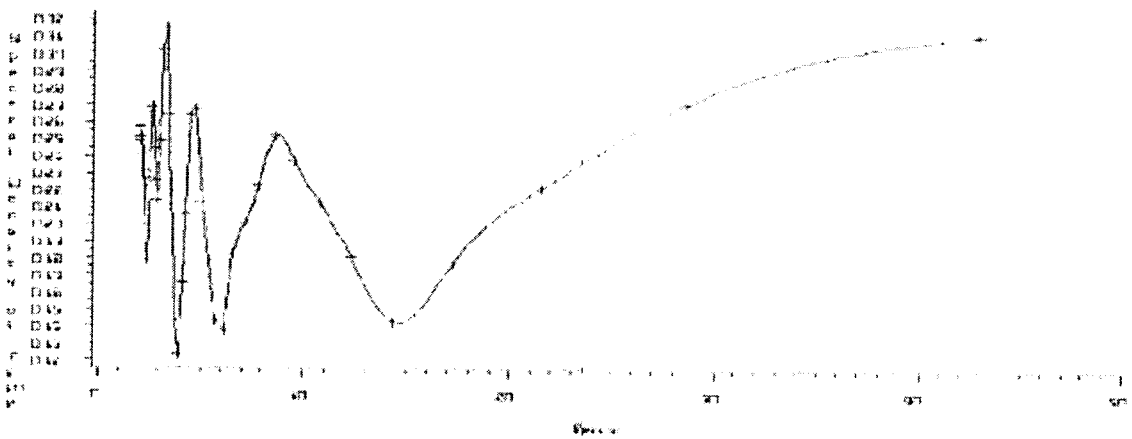


Fig. 8. Spectral density of July-August air temperature from 1918 to 1998 in Kangnung

그림5에서 8은 위의 그림 4~7에서 나타난 4개 지역의 6~8월 평균 기온의 주기성을 분석한 것이다. 수원의 경우 장주기는 15.1년, 단주기는 7.4년으로 나타났고, 대구의 장주기는 32.9년, 단주기는 4.1년으로 나타났다. 전주와 강릉의 경우는 장주기가 각각 30.1년, 42.9년, 단주기는 각각 3.2년, 4.7년으로 평가되었다. 장주기는 대구, 전주, 강릉이 수원보다 약 2배 이상으로 주기성이 강했고, 단주기는 반대로 수원이 다른 지역보다는 주기성이 강하게 나타났다. 이는 수원이 대구보다 평균기온의 변동성이 더 크게 나타나는 것으로 판단된다.

### 3. 한국의 벼 수량 변동 및 예측

표3은 각 도별 쌀 생산량에 대한 변이계수 CV를 나타내고 있다. 1990년대에 이르러서 CV의 값이 낮아진 것을 볼 수 있는데, 이는 이 기간 중 벼의 수량에 영향을 미칠 수 있는 기상 변동이 크지 않았거나 수량 면에 있어서 안정성 확보가 높아지고 있음을 시사하여 주고 있다. 전반적으로, 8개 도에서 쌀 생산량에 대한 CV의 값이 비슷하게 나타남을 볼 수 있다. 그러나, 강원도와 경상북도 지역의 CV의 값은 10%이상의 값을 나타내고 있으므로 이 지역은 10%이하의 CV 값을 가지는 타 지역에 비하여 아직도 저온의 피해를 크게 받을 수 있는 가능성이 있는 것으로 판단된다.

그림9는 우리 나라의 1997년(a), 1998년(b)의 실제 쌀 수량의 분포를 나타낸 것이다. 실제 쌀 수량은 1997년과 1998년 모두 충청도와 전라도의 수량이 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 이 지역이 타도에 비하여 벼 재배지가 평야지에 많이 분포하고 있어 병해충 관리 및 태풍이나 호우에 의한 피해 방지가 유리할 뿐 아니라 삽교호, 금강하구언 등과 같은 수리 시설이 잘 갖추어져 있어 벼의 생육 관리가 잘 이루어질 수 있고, 500kg/10a이상의 다수성 품종 보급율이 높은 점에도 기인한 것으로 판단된다.

그림10은 식[12]와 식[13]에 의해 추정한 1997년(a), 1998년(b)의 쌀 수량의 분포를 나타낸 것으로서, 경상도를 제외한 다른 도에서는 실제 쌀 수량과 비슷한 수준의 분포를 나타내고 있다. 그러나 경상도는 실제치보다 예측치가 높게 분포되고 있다. 이는 이 지역에 의 쌀 수량은 기온에 의한 영향 보다는 다른 영향이 크기 때문으로 생각된다. 쌀생산량 추정 분포도를 작성하는데 있어서 사용한 Jung's 모형이 온도에 대한 것이므로 강수량 및 순 복사량이 고려되지 않았다. 그림 2에서 본 바와 같이 경상북도 지역은 충청도와 전라도 지역보다 순 복사량이 적은 것으로 평가되어, 농업 생산성도 이 지역들보다는 낮을 것이라 판단한 바 있다. 따라서 더 정확한 분포도를 작성하기 위해서는 Jung's model를 기초로 하고 순복사 인자를 고려한다면 좀 더 정확한 수량 예측 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

Table 3. Coefficient of variance(CV) of the rice yield in Korea

| Region    | CV (%)    |           |           |           |             |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|           | 1959~1968 | 1969~1978 | 1979~1988 | 1989~1998 | Total years |
| Kangwon   | 6.22      | 20.34     | 27.87     | 12.37     | 35.92       |
| Kyeonggi  | 11.56     | 13.53     | 19.11     | 7.12      | 30.59       |
| Chungbuk  | 15.77     | 20.63     | 26.31     | 6.68      | 36.57       |
| Chungnam  | 21.56     | 18.14     | 22.30     | 6.94      | 35.52       |
| Chonbuk   | 15.92     | 16.15     | 19.53     | 3.23      | 35.73       |
| Chonnam   | 16.33     | 17.36     | 23.48     | 7.89      | 34.63       |
| Kyeongbuk | 22.21     | 19.33     | 28.35     | 10.09     | 34.87       |
| Kyeongnam | 20.97     | 19.81     | 25.24     | 8.64      | 32.25       |



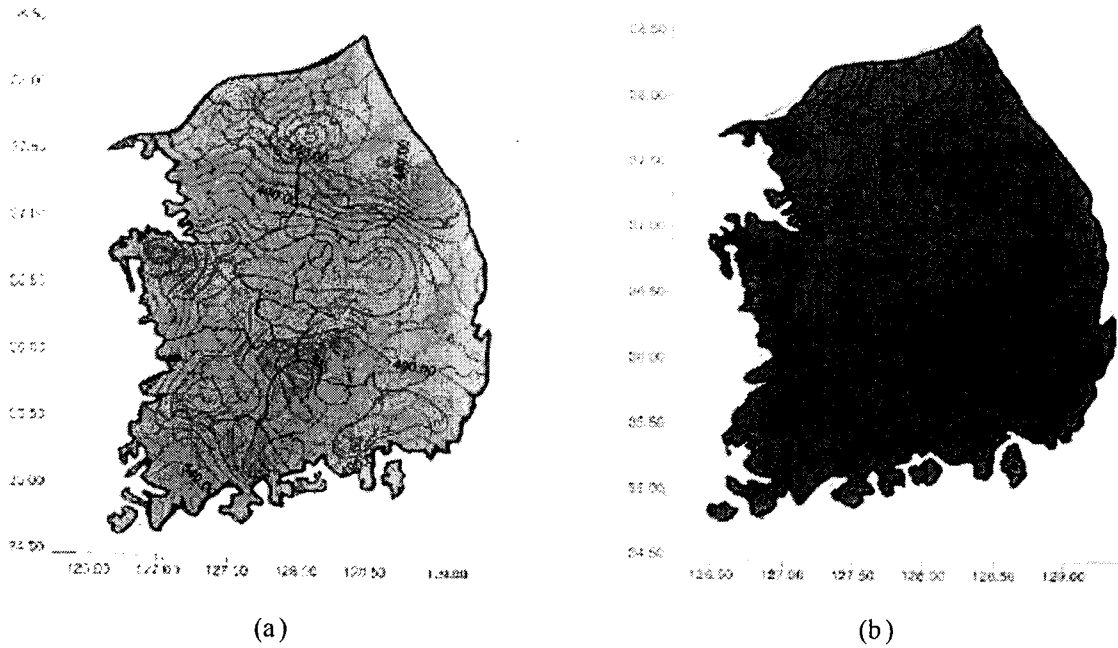


Fig. 9. Actual yield map of rice in 1997(a) and 1998(b) in Korea.

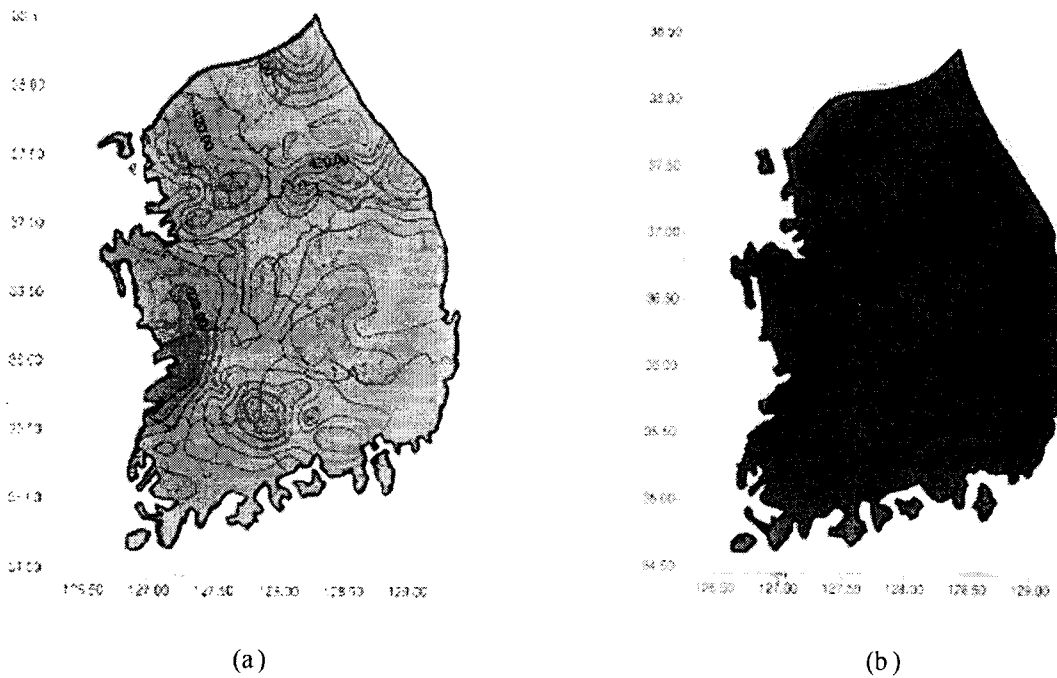
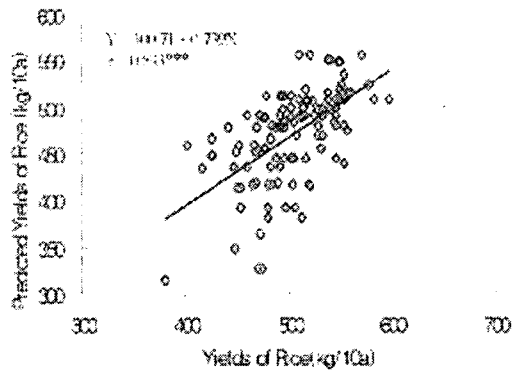


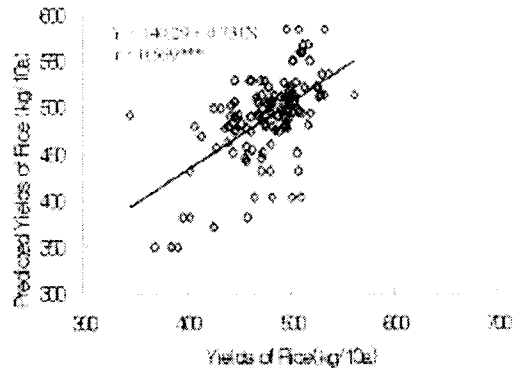
Fig. 10. Predicted yield maps of rice in 1997(a) and in 1998(b) in Korea

그림11은 1997년(a)과 1998년(b) 우리 나라 144개 시·군중 경상북도 지역을 제외한 전국의 실제 쌀 수량과 예측된 쌀 수량 사이에서의 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 것처럼 경상북도를 제외한전국에서는 높은 유의성을 나타내었다. 쌀생산량 추정치 분포도에서 나타난 것처럼 경상북도 지역의 예측치가 실측치보다 높게 평가되었다. 이

지역에 대한 실제 쌀 생산량과 추정치의 상관 관계는 그림12에서 보는 바와 같이 1997년(a)의 예측치는 통계적인 유의성을 전혀 찾아 볼 수 없었으며, 1998년(b)의 예측치는 유의성은 낮으나 오히려 반대 경향을 보였다. 이 지역 쌀 수량 예측을 위해서 강수량과 순복사량 등의 요인에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

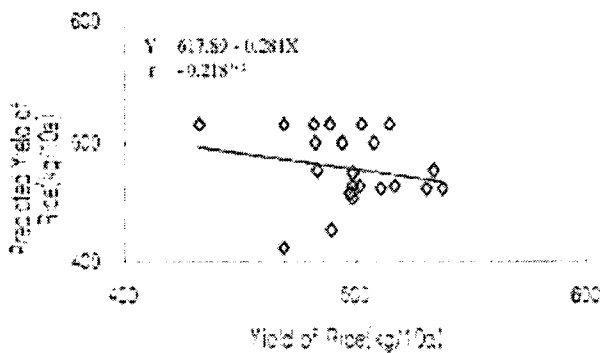


(a)

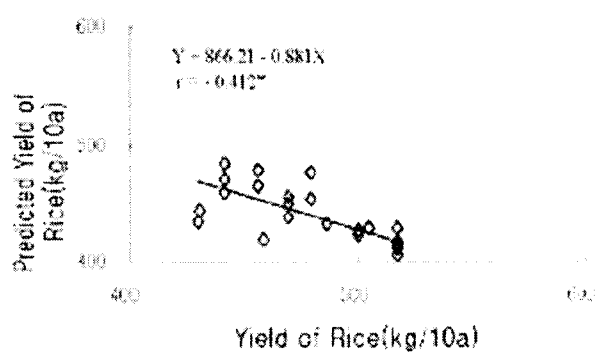


(b)

Fig 11. Correlation between the predicted rice yield and the actual rice yield in 1997(a) and in 1998(b) in Korea



(a)



(b)

Fig. 12. Correlation between the predicted rice yield and the actual yield of rice in 1997(a) and in 1998(b) in Kyungbuk area

### 적 요

작물의 수량은 재배하는 식물의 특성과 토양 그리고 기후 등 환경에 의하여 지배된다. 주곡인 쌀 수확량의 지역성과 변이성을 알아내기 위하여 기상청의 기상 자료와 농림부의 쌀생산량 통계 자료를 수집 분석하였다. 기상 자료로부터 순복사량, 증발산량 및 순 1차 생산력지수 NPP를 산출하고, Jung의 모형을 이용하여 우리 나라 각 지역의 쌀 생산량을 산출하고, 이를 실생산량과 비교하였다.

7, 8월 기온의 장기 변이를 검토한 결과, 수원의 경우 장주기는 15.1년, 단주기는 7.4년으로 나타났고, 대구의 장주기는 32.9년, 단주기는 4.1년으로 나타났다. 장주기는 대구가 수원 보다 약 2배이상으로 주기성이 강했고, 단주기는 반대로 수원이 대구보다는 주기성이 강하게 나타났다.

한국의 67개 지점에서 순1차생산력지수인 NPP와 총생산력지수 GPP를 추정 결과, 순 복사량이, 16개 지점에서 기온, 1개 지점에서 강수량이 NPP의 제한 요소로 작용하는 것으로 나타났다. 순 복사량은 한국에서의 자연 생산력에 1차적으로 주된 제한 요인으로서 작용하였고, 2차적인 제한 요인은 주로 기온이 작용하였다.

남한 지역의 NPP는 10.87~17.52 Mg ha<sup>-1</sup>, GPP가 18.63~36.31 Mg ha<sup>-1</sup>의 범위이었고, 평균은 NPP와 GPP가 각각 14.69 Mg ha<sup>-1</sup>, 27.94 Mg ha<sup>-1</sup>의 값을 나타냈다. 북한 지역의 경우에는 NPP가 6.47~15.58 Mg ha<sup>-1</sup>, GPP가 10.08~24.64 Mg ha<sup>-1</sup>의 범위이었고, 평균은 NPP와 GPP가 각각 12.59 Mg ha<sup>-1</sup>, 13.62 Mg ha<sup>-1</sup>의 값이 나타났다.

Jung의 모델에 의하여 97년과 98년의 쌀 생산량을 추정된 결과 실제 쌀 생산량과 근접하였다. 경상도 지역은 타 지역에 비해 실측치보다 예측치가 높게 평가되었고, 추정 생산량과 실제 생산량간 사이에 상관성이 없었다. 이 지역에 대한 모델의 수정이 필요하며, 순복사량과 강수량 요인이 고려되면 좀 더 정확한 분포도가 작성될 수 있을 것이다.

### 인용문헌

기상청, 1991: 한국 기후 관측 자료(월별), 497p.  
 기상청, 1991: 한국 기후 관측 자료(월별), 516p.  
 기상청, 1995: 북한 기상 20년 보, 200p.  
 김광식, 1995: 농업기상, p9-16.  
 김연형, 김은정, 최병선, 1988: 스펙트럼 분석 입문, 자유아카데미, p17-23.  
 박영선, 1994: '93 이상기상과 작물피해 실태 종합 보고서, 농촌진흥청, 326p.  
 박중수, 1987: 한국의 농업기후 특징과 수도 기상재해 대책, 농촌진흥청, 194p.  
 신용화, 황규선, 1976: 수원지방의 증발산량 분석, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, 9(1): 47-55.  
 윤진일, 1990: 대기중 이산화 탄소 배증 조건하의 기후 시나리오에 의한 국내 쌀 생산량 추정, *한국 기상학회지*, 26(2):263-274.  
 이변우, 신 진철, 봉 중현, 1991: 대기중 CO<sub>2</sub> 농도 증가에 따른 기후 변화가 농업 기후 자원, 식물의 순 1차 생산력 및 벼 수량에 미치는 영향. *한국작물학회지*, 36(2):112-126.  
 이정택, 윤성호, H. Seino, 1990: 우리나라 자연식생과 벼에 대한 순1차생산력의 농업기후학적 평가, *농서논문집(수도편)*, 32(2): 64-70.  
 이종범, 전상호, 1982: 한국의 기후구분에 관한 연구, *한국 기상학회지*, 18(1): 48-52.  
 임양재, 1985: 육상 생태계의 1차 생산, *생물과학심포*

지움, 제5집:63-75.  
 정영상, 이정택, 윤성호, 김병찬, 1991: 기후변동과 농업생산성, 농업환경 보전에 관한 심포지움, p145-174.  
 정영상, 김이훈, 김홍현, 1997: 한국에서 1980년과 1993년의 쌀 생산량에 대한 저온 피해의 평가, *J. Agric. Meteorol.*, 52(5):917-922.  
 정영상, Y. Hayashi, 방정호, 김병찬, 1997: Penman법과 Thornthwaite법에 의한 한반도 증발산량 추정, *ESAF Soil Science*, p469-475.  
 정영상, Y. Hayashi, H. Toritani, 방정호, 이원호, 1999: 한국에서의 순 1차 생산력과 쌀 수량의 변동성과 지역성, *일본농업저온과학연구회 제 36회 세미나*, p(1)28-(1)31.  
 하상건, 1998: 토양온도 및 동결심도의 변화 특성파 예측 Modeling, 강원대학교 박사학위 논문.  
 Bolin, B., 1980: Climatic changes and their effect on biosphere, WMO No. 542: 49p.  
 Box, E. O, 1987: Estimating the Seasonal Carbon Source-Sink Geography of a Natural, Steady-State Terrestrial Biosphere, *Journal of Applied Meteorology*, 27:1109-1124.  
 Brockwell, P. J. and R. A. Davis, 1991: ITSM: An Interactive Time Series Modeling Package for the PC, 101p.  
 Collins, H. G., R. D. Burman, A. E. Gibbs, M. E. Jensen, and A. I. Johnson, 1972: Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements, p80-102.  
 Hayashi, Y., H. Toritani, S. Goto, H. Kanno, Y. Jung, S. Hwang, and H. Kim, 1999: Agro-climatological study on a projection of rice yield in Northeast Asia, Including Korea and Japan, *Japan Agricultural Low Temperature Science Research Seminar*, p(1)2-(1)4.  
 Idso, S. B. and R. D. Jackson, 1969: Thermal radiation from the atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 74:5397-5403  
 Jensen, M. E, 1972: Consumptive use of water and irrigation water requirements, *Am. Soc. Civil Eng*, 210p.

- Jung, Y. S., Y. Hayashi, J. H. Bang, and B. C. Kim, 1997: Estimation of evapotranspiration of the Korea Peninsula by Penman and Thornthwaite methods, 4th Int. Con. ESAF/KSSSF, p469-475.
- Jung, Y. S., E. H. Kim, and H. H. Kim, 1997: Assessment of low temperature on rice production in 1980 and 1993 in Korea, *J. Agr. Met.*, **52**(5):917-922.
- Lieth, H, 1978: Vegetation and CO<sub>2</sub> changes. In Williams, J. (Ed). Carbon Dioxide, Climate and Society, Pergaman Pr., p150-159.
- Uchijima, Z. and H. Seino, 1985: Agroclimatic evaluation of net primary productivity of natural vegetations(1) Chikugo model for evaluation of net primary productivity, *J. Agr. Met.*, **40**(4):343-352.