

## 벼 재배 포장 생육변이의 공간통계학적 해석

### Geo-statistical Analysis of Growth Variability in Rice Paddy Field

이충근      성제훈      정인규      김상철      박우풍      이용범      박원규  
정희원      정희원      정희원      정희원      정희원      정희원      정희원  
C. K. Lee   J. H. Sung   I. G. Jung   S. C. Kim   W. P. Park   Y. B. Lee   W. K. Park

#### ABSTRACT

To obtain basic information for precision agriculture, spatial variability of rice growth condition was evaluated in 100m × 100m paddy field. The rice growth condition of four hundred locations in the field were investigated to analyze the spatial variability of their properties ; SPAD, plant length and tiller number. Geostatistical analysis was carried out to examine within-field spatial variability using semivariograms and kriged maps as well as descriptive statistics. Descriptive statistics showed that the coefficient of variation for SPAD, plant length, and tiller number exceeded 5.70 %, suggesting a relatively high variability. Geostatistical analysis indicated a high spatial dependence for all the properties except for the second tiller number. The range of spatial dependence was about 20 m for SPAD, plant length, and tiller number. Based on the results of spatial dependence, kriged maps were prepared for the properties to analyse their spatial distribution in the field. The results reflected the history of field management. In conclusion, the need for site-specific field management and possibility of precision agriculture were demonstrated even in an almost flat paddy field.

**Keywords :** Spatial variability, Growth map, Geo-statistics, Precision agriculture.

#### 1. 서      론

정밀농업(precision agriculture)은 포장내의 공간변이에 대응해 적절한 시비관리를 수행함으로써 쌀의 품질향상, 농자재의 적량투입 및 환경부하의 저감을 추구한다. 이러한 점 때문에 구미에서는 1990년대 초부터 본격적으로 정밀농업에 대한 연구를 수행하여 현재 현장에서 실질적으로 정밀농업을 실현하고 있다 (Burgess and Webster, 1980 등). 정밀농업기술의 핵심은 포장의 위치별 토양, 생육, 수확량 등의 포장정보를 이용하여 변량적으로 처방하는 기술이다. 미국의

경우, 옥수수 등의 발작물을 중심으로 질소질 비료의 이용효율 향상과 토양시스템이 작물성장과 생산에 미치는 변이 등에 관한 연구(Newell R. Kitchen 등, 2002)를 수행하고 있다. 일본에서도 논 포장내 토양, 생육, 수확량 등을 조사하여 공간변이를 분석하여 변량시비를 위한 기초자료를 도출하였으며(Lee 등, 2000), 소구획 포장에 있어서 토양비옥도 파라미터의 시·공간적 변이를 공간통계학의 방법을 이용해 토양화학특성값중에서 pH, 전기전도도 및 질산태 질소에 한정해서 분석하여 변량시비를 위한 기초자료를 제시하였다(Li 등, 2000). 우리나라에서는 소규모 경

The article was submitted for publication in December 2003 ; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2004. The authors are Choung Keun Lee, Je Hoon Sung, In Gyu Jung, Sang Cheul Kim, Woo Pung Park, Yong Beom Lee, National Institute of Agricultural Engineering, RDA. Won Kyu Park, Professor, Kyungpook National University. The corresponding author is Choung Keun Lee, Research Engineer, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, Korea, 441-100, E-mai : <cklee@rda.go.kr>.

작지에서도 토양의 pH와 유기물의 양은 공간적으로 변이가 분포하며 이에 따른 시비요구량이 큰 차이를 보인다고 하였으며(Cho 등, 2000), 수확량 지도는 변량시비 추천지도와 대체적으로 유사한 공간적 분포를 보인다고 하였다(Seo 등, 2002). 또한, 2종의 엽록소 측정기를 이용한 포장내 벼의 엽록소 함량 분포 측정하여 생육정보의 공간변이를 해석하였다(Sung 등, 2003). 그러나 우리나라에서 정밀농업을 도입함에 있어서 필요한 변량시비에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반농가의 1ha 포장을 대상으로 생육정보의 공간변이를 해석하고 동시에 이 정보를 기반으로 추비의 효과적인 변량시비의 가능성을 확인하기 위하여 생육조사를 실시하여 공간통계학적으로 해석한 후 그 결과를 토대로 생육지도를 작성하는 것을 목적으로 하였다. 구체적으로는 엽록소(SPAD값), 초장, 분얼수를 조사하였고, 얻어진 각 생육정보에 대해서 기술통계와 함께 포장내에서의 공간의존성을 해석하는 공간통계학을 적용하여 세미베리어그램(Semi-variogram)에 의한 공간의존성의 해석과 크리징(Kriging) 방법에 의한 지도화를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시험포장

포장은 경기도 안성시 양성면 덕봉리에 위치한 논으로서, 2001년도 2월부터 포장면 고저차, 토양특성값 등의 포장정보를 조사했다. 포장의 면적은 1 ha(100 × 100 m)로서 1997년도에 4필지의 포장을 1필지로 경지정리하여 관리했다. 2001년도 포장관리로서는 5월 15일에 밀거름과 제초제를 살포하였으며, 5월 22일에 대진 벼를 주간 15 cm, 조간 30 cm 간격으로 이앙하였다. 6월 7일에 가지거름을 살포하였으며 6월 12일에 제 2차 제초제를 살포하였으며, 7월 15일에는 항공방제를 실시하였다. 생육조사를 위한 포장의 구획은 5 × 5 m로 총 400구획으로 분할하여 생육정보를 조사했다. 포장의 형태와 생육조사를 위한 구획분할에 관한 것을 Fig. 1에 나타내었다.

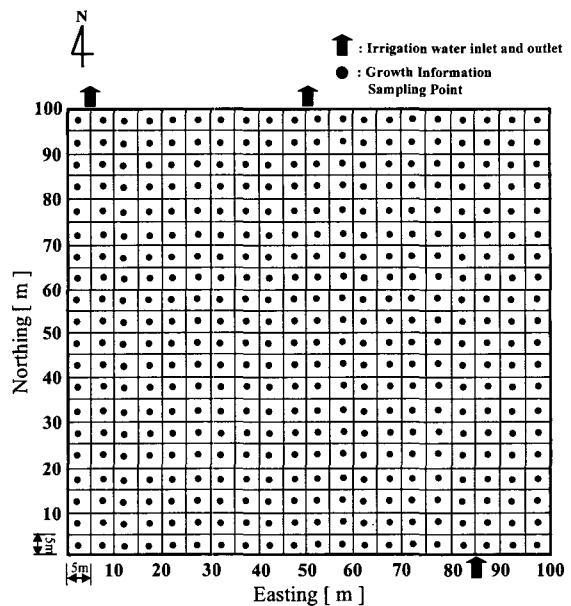


Fig. 1 The experimental paddy field for investigation of rice growth condition.

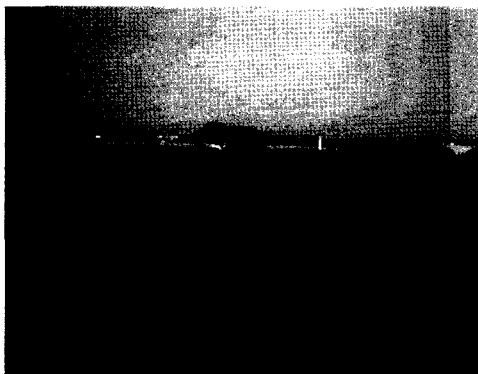
### 나. 생육조사

벼의 실제 생육상태를 조사함에 있어서 일반적으로 많이 이용되고 있는 SPAD값(SPAD 502 Chlorophyll Meter, Minolta Camera Co.), 초장, 분얼수 등 주요 3가지 항목만을 조사하였으며(농촌진흥청, 1995), 조사 시기는 벼를 이앙한 후 유수형성기인 2001년 7월 9일~10일과 출수기인 2001년 8월 6일~7일에 2회 실시했다. SPAD값의 측정은 각 구획의 중심으로부터 반경 1 m 이내의 원내에서, 5주를 선택하여 1주중의 초장이 가장 긴 잎을 선택해 잎의 선단으로부터 3등분하여 3개소를 측정했다. 1구획에서 총 15점을 측정해 평균값을 그 구획의 SPAD값의 대표값으로 했다. 초장은 SPAD값을 조사한 주의 키를 측정하였고, 한 구획에 있어서 5주를 측정하였으며 그 전체의 평균값을 1구획의 대표값으로 했다. 분얼수는 400구획을 모두 5주씩 조사함에 있어서 많은 시간과 노력이 필요했기 때문에 SPAD값과 초장을 조사한 개체중에 평균정도라 생각되는 1주를 선택하여 조사했다.

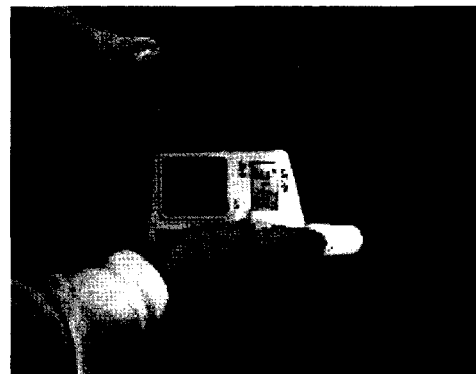
포장정보의 조사시기, 항목, 포장관리 및 내용에 관한 정보는 Table 1에 표시했다. Fig. 2는 생육조사 광경을 나타내고 있다.

Table 1 Investigation date, item, and field management

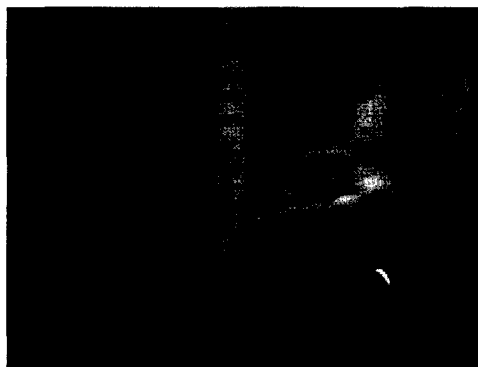
Date	Item and management	Remarks
15 May	Basal dressing, 1 <sup>st</sup> herbicide spreading	N (9.2 kg/10a), Manual
22 May	Transplanting	Variety - DAEJIN, Distance between hills : 15 cm, Interrow space : 30 cm
7 June	1 <sup>st</sup> topdressing	N (3.2 kg/10a), P (2.72 kg/10a), K (2.72 kg/10a)
12 June	2 <sup>nd</sup> herbicide spreading	Manual
9-10 July	1 <sup>st</sup> growth and development investigation	Panicle differentiation stage, SPAD, plant length, tiller number
15 July	1 <sup>st</sup> areal application	Insecticide, Fungicide
6-7 August	2 <sup>nd</sup> growth and development investigation	Heading stage, SPAD, plant length, tiller number
8 August	2 <sup>nd</sup> topdressing	N (3.2 kg/10a), P (2.72 kg/10a), K (2.72 kg/10a)



(a) A scene of field



(b) SPAD



(c) Plant length



(d) Tiller number

Fig. 2 Growth and development investigation of paddy rice.

다. 통계 해석

얻어진 각 생육정보 값에 관해서 기술통계적인 해석을 위해서 최소값, 최대값, 평균값 그리고 변이계수를 구했다. 또한, 생육정보 상호간의 관계를 살펴보기 위해 상관계수를 구했다. 해석에는 해석용 소프트웨어 SYSTAT 8.0을 이용했다.

3. 생육정보지도 작성

일반적으로 정밀농업연구에 있어서 토양의 이화학적 특성, 생육상태, 수량, 포장면 고저차 등 포장정보를 시각적 효과와 상호비교의 편리성을 증진시키기 위해 지도화(mapping)를 수행하여 왔다. 지금까지의 지도화는 단순히 지점과 지점간에 취득한 정보를 이용하여 임의의 점의 값을 보간법을 적용해 구한 다음 지도화를 수행하였다. 그러나, 본 연구에서는 지도화를 수행함에 있어서 공간통계학적인 개념을 적용해 지점과 지점간의 취득정보를 이용하여 공간의존성을 해석하고 그 결과를 바탕으로 크리징 방법을 이용해 보간한 다음 지도화를 수행하였다.

가. 세미베리어그램(Semi-variogram)

벼 생육정보의 공간의존성 해석에서는 세미베리어그램을 이용했다(Stewart, 1985). 우선 공간의존성이란 공간에 존재하는 두 인자 관계의 크기와 양식을 의미한다. 일반적으로 변이는 두 인자가 가까이에 위치하고 있을 때에는 상호간에 큰 영향을 미치고 멀어짐에 따라 두 인자간의 관계가 약하게 되고 어느 거리 이상 떨어지게 되면 거의 영향을 받지 않는다고 생각하는 것이 타당하다. 이와 같은 두 인자의 관계를 평가하는 파라미터로서 이용되는 것이 세미베리언스(Semi-variance)  $\gamma(h)$ 이다. 이 세미베리언스를 종축에 표시하고 횡축에 라그( $h$  : 샘플링 간격)를 표시한 것이 세미베리어그램이다. 라그(Lag)  $h$  일 때 세미베리언스  $\gamma(h)$ 는  $h$ 만큼 떨어진 전체의 페어의 분석값 차의 제곱평균으로부터 구한다. 예를 들면, 직선상에서 1차원적인 등간격으로  $n$ 점 샘플링을 수행하고 지점  $x_i, x_i+h$ 에서의 분석값

이 각각  $Z(x_i), Z(x_i+h)$ 로 있는 경우는 이하의 식으로 얻어진다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(n-h)} \sum_{i=1}^{n-h} \{z(x_i) - z(x_i+h)\}^2 \quad (1)$$

그러나, 포장에서 얻어지는 정보들은 2차원으로 확장해서 구해야 하므로 Fig. 3-a)에 표시한 것과 같이 평면상에서의 세미베리언스를 구할 필요가 있다. 격자상으로 샘플링된 2차원 데이터를 취급할 경우 세미베리언스는 이하의 식으로 표현된다.

$$\gamma(p, q) = \frac{1}{2(m-p)(n-q)} \sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=1}^{n-q} \{z(i, j) - z(i+p, j+q)\}^2 \quad (2)$$

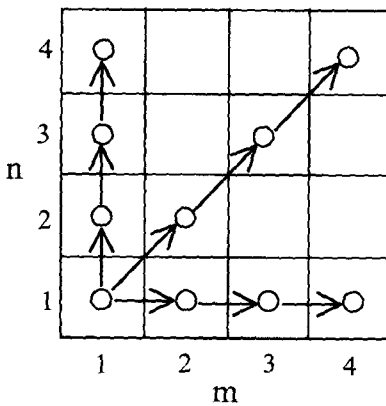
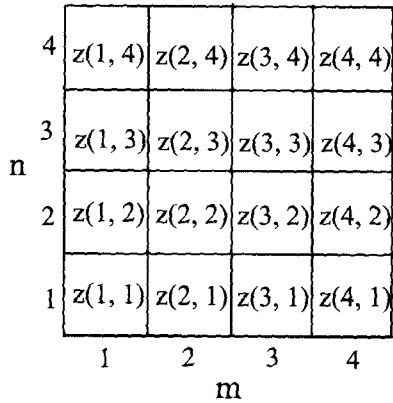
$$\gamma(p, -q) = \frac{1}{2(m-p)(n-q)} \sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=q+1}^n \{z(i, j) - z(i+p, j-q)\}^2 \quad (3)$$

Fig. 3-b)에 표시한 횡방향, 종방향 및 경사상방향으로의 라그를 취하는 경우는 식 (2)에 의해 세미베리언스를 구한다. Fig. 3-c)와 같이 경사하방향으로 라그를 취할 경우만 식 (3)을 이용한다. 라그는 반드시 샘플링 점이 정확한 격자상으로는 되지 않기 때문에 일정하게는 되지 않는다. 그렇기 때문에 예를 들면 5m로 한 경우 두 인자간의 거리 5 m 마다 그 거리와 특성값의 세미베리언스를 구해서 거리의 평균값을 라그로 한다.

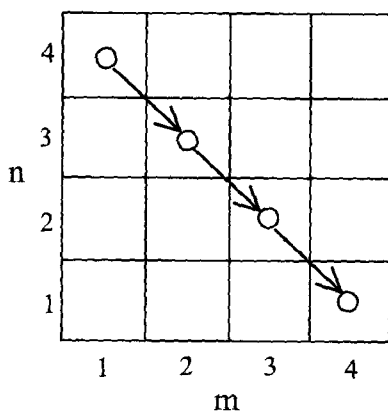
여기에서, 라그 1, 2, 3의 세미베리언스를 구할 때에 계산해야할 두 지점의 조합은 Fig. 4와 같이 된다. 그림에서 보는 바와 같이 라그가 크게 됨에 따라 조합수는 감소해 가고 있기 때문에 구해지는 세미베리언스의 값은 신뢰성이 저하한다. 그 때문에 일반적으로 최대라그(전장)의 50~60 %정도까지의 라그를 유효라그로서 세미베리어그램에 표현한다.

벼의 생육정보는 대부분의 경우, 공간적으로 연속해서 변화하기 때문에 생육정보의 세미베리어그램은 연속적으로 Fig. 5와 같이 된다. 즉, 세미베리언스는 라그의 증가와 함께 증가하고, 그대로 무한히 증가하는 경우도 있지만 그림에 표시한 것처럼 어느 거리에서 최대값에 도달하는 일이 많다. 이 최대값을 실(Sill)이라고 말하고,

얻어진 전 데이터의 분산과 거의 같다. 또한 실에 도달했을 때의 라그를 레인지(Range)라고 말한다.



(b) Lags in horizontal, vertical and upward directions



(c) Lags in a downward direction

Fig. 3 Take a measure lag between 2 points in the two-dimension.

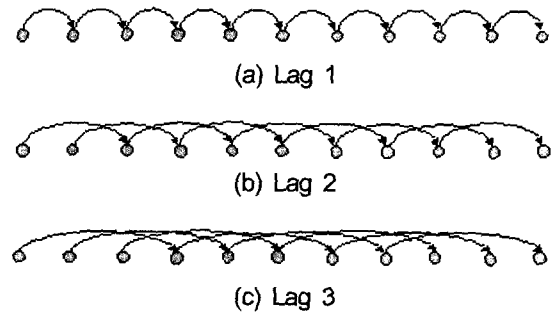


Fig. 4 Combination between 2 points in Lag 1, 2, 3.

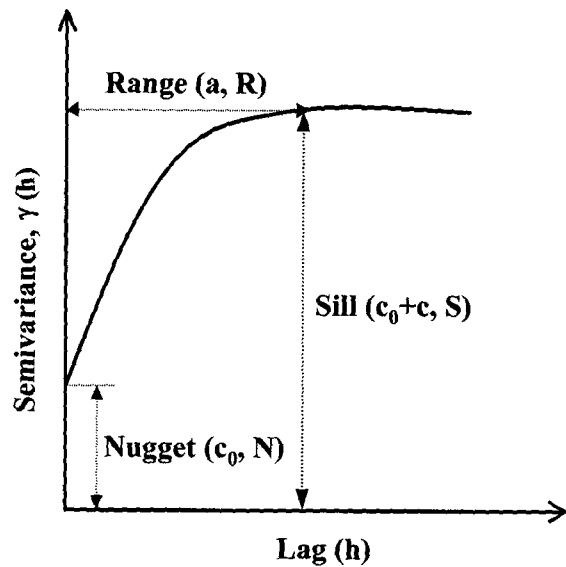


Fig. 5 The principal feature of semi-variogram.

레인지는 공간의존성의 한계를, 실측한 두 지점 이상의 데이터로부터 그 사이에 존재하는 측정하지 않은 값을 추측할 수 있는 데이터의 내삽입이 가능한 범위를 표시하는 중요한 값이다. 한편, 라그를 0에 무한히 접근시키면 이론적으로는 세미베리어그램은 0으로 되어야 하지만, 실제로는 많은 경우에 정의 값을 가진다. 이 라그 0에서는 세미베리언스를 나겟트(Nugget)라고 부른다. 나겟트는 샘플링간격 이하의 공간변이와 실험 오차 등의 설명할 수 없는 우연의 변이를 표시하는 것으로 생각할 수 있다. 그러나, 세미베리어그램은 반드시 그림과 같은 커브를 그리지 않고 다양한 형태로 표시된다. 또한 계측한 샘플수와 위치에 따라 산출되는 세미베리언스의 값과 조합 수가 다르다. 따라서, 라

그의 크기를 적당하게 변화시킴으로서 선명한 공간의존성을 표시하는 세미베리어그램을 구해 이것에 수학 모델을 회귀시켜 나뭇트, 실 그리고 래인지를 구한다. 이번 해석에는 주로 많이 이용되는 선형모델(식 4)과 지수모델(식 6)을 적용했으며, 적용모델의 적합도를 나타낸 것이 결정계수이며 이것을 이용하여 모델의 적합도를 판단할 수 있다.

선형모델(Linear Model)

$$r(h) = c_0 + wh \text{ for } h > 0 \dots\dots\dots (4)$$

$$r(0) = 0 \dots\dots\dots (5)$$

w: slope, c<sub>0</sub>: nugget variance, h: lag

지수모델(Exponential model)

$$\gamma(h) = c_0 + c \left[ 1 - \exp\left(\frac{-h}{r}\right) \right] \text{ for } h > 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$\gamma(0) = 0 \dots\dots\dots (7)$$

a: range, c<sub>0</sub>: nugget variance, r: distance parameter, h: lag

본 연구에서는 세미베리어그램을 작성할 때 고려한 단위 라그는 5 m로 하였다. 이 이유는 최소 샘플링 간격이 5 m였고, 세미베리어그램 페어의 수를 라그별로 최적화시키기 위함이었다. 최대 라그는 샘플링한 지점과 지점의 최대거리의 65 % 정도인 64 m로 했다. 이 이유는 다른 논문에서 설정기준으로서 충분한 페어의 확보 가능한 거리내에서 샘플링한 점과 점의 최대거리의 50 %를 제안하고 있었기 때문이다(Davis 등 1995, Lopez 등 1995).

나. 공간의존성의 지표값

1) Q값

본 연구에서는 각 생육정보의 공간의존성을 검토하기 위해서 지표값으로서 이하의 2가지 값을 이용했다. 한 가지는 Q값이라고 불리는 것으로서 실(S)과 나뭇트(N)로부터 다음과 같이 정의된다.

$$Q = \frac{S - N}{S} \dots\dots\dots (8)$$

이 값은 나뭇트가 실에 대해서 큰 비율을 차지하면 할수록 즉, Q값이 작을수록 가까이에 위치한 점 상호간의 측정값의 연속성은 작게 되고 측정값은 랜덤하게 나타나게 된다. 이 측정값의 연속성을 공간구조라고 부르고 연속성이 높을 때(Q값이 1에 가까울 때) 공간구조가 강하고, 역으로 연속성이 낮을 때(Q값이 0에 가까울 때) 공간구조는 약하다고 한다.

2) 래인지

래인지는 공간적으로 연속이 있는 거리로서 공간거리 의존성을 표시하는 지표값이고, 래인지가 구해지는 경우 공간거리 의존성의 대소가 고찰 가능하다. 즉, 래인지값에 따라 이 특성값은 저 특성값보다 의존거리가 길다·짧다라고 평가할 수 있다.

다. 지도작성을 위한 보간

본 연구에서는 각 생육정보의 지도를 작성함에 있어서 크리징 방법을 이용했다. 크리징 방법이란 세미베리어그램에 의해 구해져 있는 공간영역에 있어서 관측값의 공간의존성을 이용해 영역의 임의점의 추정값을 주변의 관측값의 가중치를 선형결합에 의해 구하는 방법이다. 즉, 어느 지점 x<sub>0</sub>에서의 변수 z의 추정치 z'(x<sub>0</sub>)는 공간의존성을 표시하는 거리, 즉 래인지의 범위내에 있는 주변의 샘플값 z(x<sub>i</sub>)의 수가 n개로 있을 때

$$z'(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \dots\dots\dots (9)$$

이라고 추정되고 여기서  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 이다. λ<sub>i</sub>는 추정에 동반되는 오차를 최소화시키기 위해서, 추정치 z'(x<sub>0</sub>)에 편향됨이 없고 동시에 추정분산 σ<sub>e</sub><sup>2</sup>가 최소로 되도록 선정되었다. 본 연구에서는 포장정보가 5 m×5 m의 범위를 대상으로 하고 있기 때문에 점 크리징(Punctual Kriging)에 비해 블럭 크리징(Block Kriging)이 블럭내 변이가 배제되기 때문에 추정오차가 적게 되어 전체적인 경향을 표시함에 있어서 적절함으로부터 블럭 크리징 방법을 이용해서 생육정보지도를 작성하였다.

이상의 해석에는 공간통계학의 해석 소프트웨어 GS+ Version 3.1 for Windows (Gamma Design Software)을 이용했다(Robertson, 1998).

#### 4. 결과 및 고찰

##### 가. 생육정보의 기술통계학적 해석

생육정보의 최소값, 최대값, 평균값 그리고 변이계수를 Table 2에 표시하였다. 변이계수는 각 생육정보값의 표준편차를 평균값으로 나누어 계산하였다. 유수형성기에 있어서 SPAD값을 제외한 초장, 분얼수는 공간변이계수가 11.39 %와 23.19 %로서 10 % 이상의 큰 공간변이를 보였으며, SPAD값도 9.69 %를 보였다. 출수기에 있어서는 분얼수는 23.19 %로서 10 % 이상의 큰 공간변이를 보였으며, 초장과 SPAD 값은 5.7 %와 7.32 %를 보였다. 이 결과 유수형성기에 생긴 포장내 생육변이가 출수기까지 영향을 미친다는 것을 의미하며, 이것은 유수형성기에 있어서 추비의 변량시비 필요성을 반증한 것이라 생각되었다. 또한, 비교적 균평한 씨레질과 균일한 시비관리를 수행하고 있음에

도 불구하고 벼 포장내에서도 상당한 변이가 존재함을 알 수 있었다.

##### 나. 생육정보의 공간통계학적 해석

Fig. 6-a)는 유수형성기 생육정보, Fig. 6-b)는 출수기 생육정보의 세미베리어그램을 표시한다. Table 3은 세미베리어그램으로부터 계산된 공간의존성의 지표값을 표시하고 있다. 여기서, 세미베리어그램의 횡축은 라그 대신에 두 지점간의 거리로 표시했다. 우선, 세미베리어그램의 형태와 함께 공간구조의 강·약 정도를 표시하는 Q값과 의존거리를 표시하는 라인지도 정보값에 따라 크게 다름을 알 수 있다. 유수형성기에 있어서 Q값이 SPAD값, 초장, 분얼수는 0.73 이상으로 공간구조가 강함을 알 수 있고 의존거리도 16.2~114.6 m를 보여 공간의존성이 존재함을 알 수 있다.

Table 2 Descriptive statistics in panicle differentiation stage and heading stage

Item		Min.	Max.	Ave.	C. V(%)
SPAD	PDS	25.70	40.94	33.07	9.69
	HS	29.62	43.48	37.28	7.32
Plant Length(m)	PDS	0.56	0.91	0.74	11.39
	HS	0.92	1.26	1.05	5.70
Tiller Num.(ea/hill)	PDS	11.00	38.00	22.90	20.66
	HS	11.00	36.00	20.56	23.19

\* PDS : panicle differentiation stage, HS : heading stage.

Table 3 Geostatistical parameters in panicle differentiation stage and heading stage

Item		Nugget(N)	Sill(S)	Range(R)	Q Value	Fitting Model	r <sup>2</sup>
SPAD	PDS	2.86	11.52	60.90	0.75	Exponential	0.88
	HS	4.24	8.48	97.80	0.50	Exponential	0.87
Plant Length(m)	PDS	0.002	0.01	114.6	0.80	Exponential	0.91
	HS	0.001	0.005	139.5	0.80	Exponential	0.96
Tiller Num.(ea/hill)	PDS	5.78	21.70	16.20	0.73	Exponential	0.52
	HS	18.89	25.44	73.08	0.26	Linear	0.94

\* PDS : Panicle Differentiation Stage, HD : Heading Stage.

출수기에 있어서 Q값이 분얼수를 제외하고 0.50 이상을 보였고 의존거리를 나타내는 레인지는 73.1~139.5 m로서 공간의존성이 존재함을 알 수 있다. 그러나 세미베리어그램을 자세히 살펴보면 SPAD값, 초장에 있어서 20 m 전후에 공간의존성이 존재함을 알 수 있다. 이는 생육정보가 한 포장내에서 큰 변

이와 작은 변이가 중첩되어 있다는 것을 의미한다. 이것들의 세미베리어그램에 기초해서 크리깅에 의해 작성된 생육정보지도를 Fig. 6의 우측에 표시하였다. 이 결과 생육정보는 세미베리어그램에서 표시된 것과 같이 포장의 북서에서 남동쪽으로 큰 변이를 가지고 있으며 동시에 작은 변이를 가지고 있음을 알 수 있다.

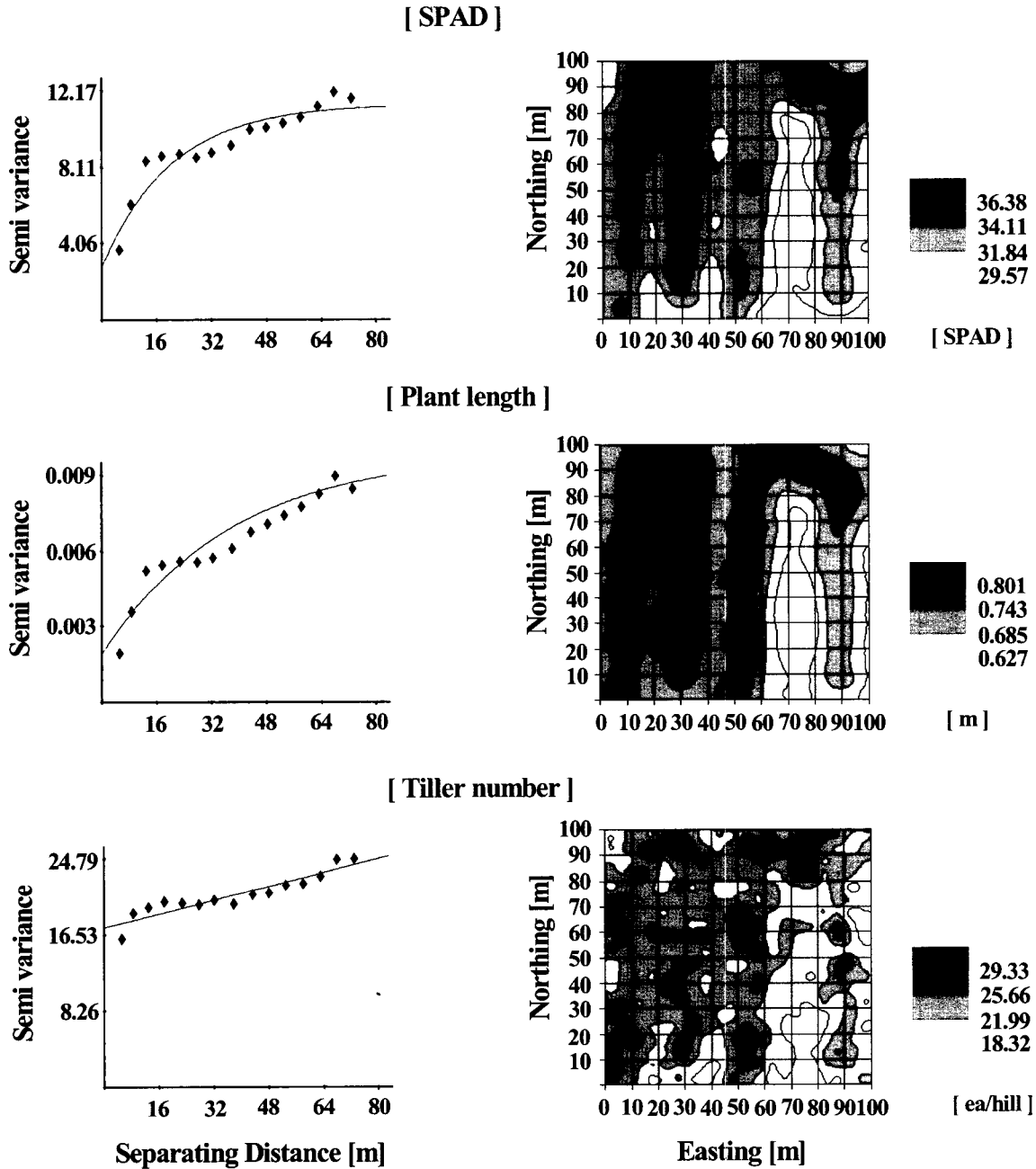


Fig. 6-a) Semi-variograms and Kriging maps in panicle differentiation stage.



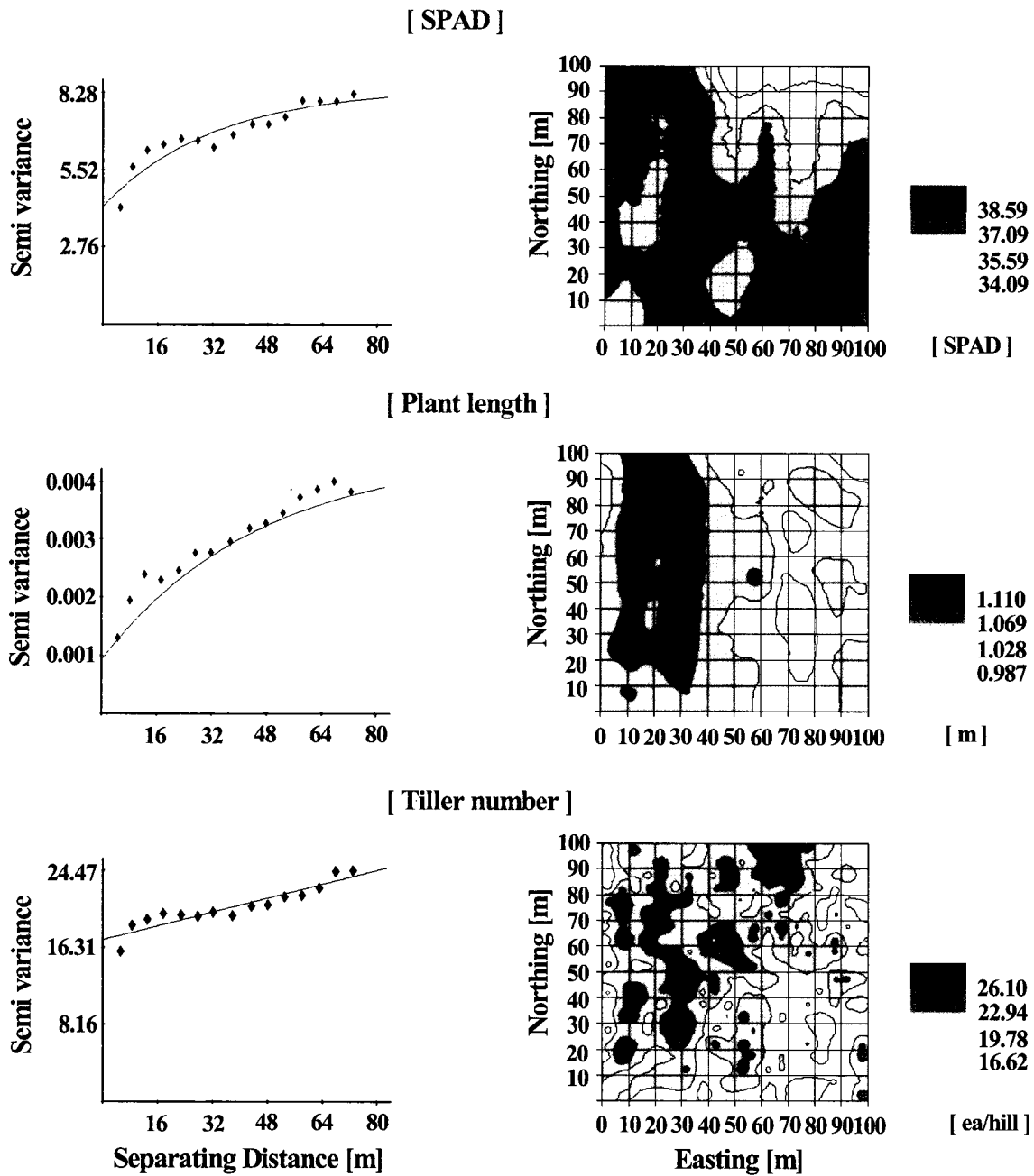


Fig. 6-b) Semi-variograms and Kriging maps in heading stage.

다. 생육정보 상관관계

Table 4는 생육정보간의 상관계수를 나타낸 것이다. 유수형성기와 출수기에 있어서 SPAD값, 초장, 분얼수의 상관관계를 살펴보면 다음과 같다. SPAD값은 전 생

육정보와 상관계수가 0.189 이상으로 유의수준 5 % 이상을 보였다. 초장은 출수기의 SPAD값을 제외하고 상관계수가 0.312 이상으로 유의수준 5 % 이상을 보였다. 분얼수는 출수기의 SPAD값을 제외하고 상관계수가 0.254 이상으로 유의수준 5 % 이상을 보였다. 이 결과,

Table 4 Correlation between panicle differentiation stage and heading stage

	SPAD Value(PDS)	Plant Length(PDS)	Tiller Num.(PDS)	SPAD Value(HS)	Plant Length(HS)	Tiller Num.(HS)
SPAD Value(PDS)	1.000					
Plant Length(PDS)	0.867	1.000				
Tiller Num.(PDS)	0.405	0.460	1.000			
SPAD Value(HS)	0.189	0.162	-0.085	1.000		
Plant Length(HS)	0.697	0.742	0.254	0.472	1.000	
Tiller Num.(HS)	0.255	0.312	0.325	-0.168	0.267	1.000

\* PDS : panicle differentiation stage, HS : heading stage.

생육정보는 유수형성기에 있어서 상호간에 높은 상관 관계를 나타냄을 알 수 있었다.

### 라. 포장관리이력 지도

포장의 이력 등을 기록한 포장관리이력 지도를 Fig. 7

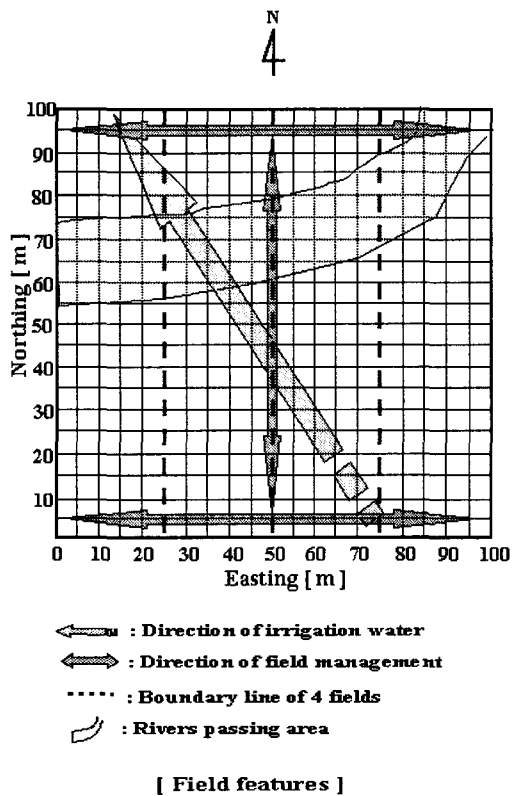


Fig. 7 Field management map of the field.

에 나타내었다. 이 포장은 2년에 한 번 축분을 중심으로 한 퇴비를 살포하고 있다. 그 잔효를 반영해 생육정보의 불균일한 분포가 표시되었다고 생각된다. 즉, 남북으로 퇴비를 살포하였고, 또한 약 20 m 걸러 한 번씩 살포하였기 때문에 이러한 결과가 나타났다고 생각된다. 이와 같이 논에 있어서 관리상황을 지도화 함으로서 포장정보의 공간변이를 이해하는데 도움이 되었다. 금후에는 각 지도를 비교 검토해 추비의 변량시비를 결정할 때 보조수단으로 활용할 수 있을 것으로 생각되었다.

### 5. 요약 및 결론

일반농가 1 ha 포장을 대상으로 생육정보의 공간변이를 해석하고 동시에 이 정보를 기반으로 추비의 효과적인 변량시비의 가능성을 확인하기 위하여 생육조사를 실시하여 공간통계학적으로 해석한 후 그 결과를 토대로 생육지도를 작성해 본 결과, 아래와 같은 결과를 얻었다.

1) 유수형성기에 있어서 SPAD값을 제외한 초장, 분얼수는 공간변이계수가 11.39 %와 23.19 %로서 10 % 이상의 큰 공간변이를 보였으며, SPAD값도 9.69 %를 보였다. 출수기에 있어서 분얼수는 23.19 %로서 10 % 이상의 큰 공간변이를 보였으며, 초장과 SPAD값은 5.7 %와 7.32 %를 보였다.

2) 유수형성기에 있어서 Q값이 SPAD값, 초장, 분얼

수는 0.73 이상으로 공간구조가 강하게 발달하였음을 알 수 있었고 의존거리도 16.2~114.6 m를 보여 공간의 존성이 존재함을 알 수 있었다. 출수기에 있어서 Q값이 분얼수를 제외하고 0.50 이상을 보였고 의존거리를 나타내는 레인지는 73.1~139.5 m로서 공간의존성이 존재함을 알 수 있다. 그러나 세미베리어그램을 자세히 살펴보면 SPAD값, 초장에 있어서 20 m 전후에 공간의존성이 존재함을 알 수 있다. 크리징 방법에 의한 생육 지도의 작성함을 통해 포장정보의 시각화와 상호비교가 가능하였다.

3) 유수형성기와 출수기에 있어서 상관관계를 살펴보면 SPAD값은 전 생육정보와 상관계수가 0.189 이상으로 유의수준 5 % 이상을 보였다. 초장은 출수기의 SPAD값을 제외하고 상관계수가 0.312 이상으로서 유의수준 5 % 이상을 보였다. 분얼수는 출수기의 SPAD값을 제외하고 상관계수가 0.254 이상으로서 유의수준 5 % 이상을 보였다.

4) 포장관리이력 지도의 작성에 의해 논 포장내 생육정보의 공간변이 원인을 고찰하는 일이 가능하였다. 또한, 이번 결과만을 통해서 본다면, 생육정보를 신속·정확하게 측정할 수 있는 센싱기술이 개발되어 생육정보의 공간변이를 분석하여 그것을 기반으로 포장의 추비 변량시비가 가능할 것으로 판단되었다.

## 참 고 문 헌

1. Burgess, T. M. and R. Webster. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging, J. Soil Sci. 31:333-341.
2. Cho, S. I., I. S. Kang and S. H. Choi. 2000. Determination of variable rate fertilizing amount in small size fields for precision fertilizing. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 25(3): 241-250(in Korean).
3. Davis, J. G., L. R. Hossner, L. P. Wilding and A. Manu. 1995. Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soil of niger, Soil Science Vol 159(5):321-329.
4. Goerres, J. H., M. J. Dichiaro, J. B. Lyons and J. A. Amador. 1997. Spatial and temporal patterns of soil biological activity in a forest and an old field. Soil Biol. Biochem. 30:219-230.
5. Lee, C. K., J. Yanai, T. Kaho, M. Iida, M. Umeda, T. Kosaki and T. Matsui. 2001. Mapping of field information in a paddy field. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 63(5):45-52(in Japanese).
6. Li, M. Z., A. Sasao, S. Shibusawa and K. Sakai. 1999. Sampling size within grid cell for field map of soil parameter. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 61(5):65-73(in Japanese).
7. Lopez, M. V. and J. L. Arrue. 1995. Efficiency of an incomplete block design based on geostatistics for tillage experiments. Soil Sci. Soc. Am. J 59:1104-1111.
8. Newell, R. Kitchen, Kenneth, S. Sudduth and Suk Young Hong. 2002. Before You variable Apply, Understand Why. Proceedings of the KSPA 2002 Conference:45-66(In Korean).
9. Robertson, G. P. 1998. Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software, Plainwell, Michigan.
10. Seo, J. H., H. J. Lee, Y. S. Jung and S. H. Lee. 2002. Soil and yield mapping and nutrient recommendation for precision agriculture in rice paddy. The Korean Society of Precision Agriculture 1:51-60(in Korean).
11. Stewart, B. A. 1985. Advances in Soil Science. Vol. 3:8-34.
12. Sung, J. H., S. R. Suh, W. P. Park, I. G. Jung, S. C. Kim and C. K. Lee. 2003. Measurement of variability of chlorophyll contents in paddy fields using two kinds of chlorophyll meter. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 28(3):245-252(in Korean).
13. Trangmar, B. B., R. S. Yost and G. Uehara. 1985.

- Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv. Agron. 38:45-94.
14. Webster, R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field ; in Advances in soil science. Vol 3, ed. B. A. Stewart. p. 1-70. Springer-Verlag New York Inc. New York.
15. 海外調査報告. 2000. 北米における精密農業技術の調査. 生研機構農業機械化研究所.
16. 농촌진흥청. 1995. 농사시험연구조사기준. p. 603.



### 학 위 취 득

성 명 : 김 응  
생 년 월 일 : 1974년 4월 20일  
취 득 학 위 명 : 공 학 박 사  
학 위 수 여 대 학 : 성균관대학교  
학 위 취 득 년 월 일 : 2003년 8월 25일  
학 위 논 문 : 착유 로봇 개발

