

## 수도작 포장의 고저차 측정을 위한 최적 받침대 선정

성제훈 장순우

### Selection of Optimum Fulcrum Type for Measurement and Geo-statistical Analyze of Elevation within Rice Paddy Field

J. H. Sung S. W. Jang

#### Abstract

This study was conducted to investigate the specificities of four fulcrum types for geo-statistical analysis of elevation within rice paddy field. In Korea, the spaces between inter-rows and between hills for rice transplanting are 30 cm and 11 cm to 14 cm, respectively. So, the size and shape of fulcrum for field elevation measurement should be considered according to the inter-row and the hill spaces. Four kinds of fulcrum were chosen such as round-shape with 2.5 cm diameter, circular-shape with 10 cm diameter, 10 cm (one third of inter-row space) by 24 cm (double of hill space) rectangular-shape, and 20 cm (two-thirds of inter-row space) by 24 cm rectangular-shape. The resulting descriptive statistics couldn't determine the best fulcrum type to measure the rice paddy field elevation. But the results of geo-statistical analysis could determine the best fulcrum type. In the case of 10 cm by 24 cm rectangular-shape fulcrum, Nugget and range, meaning measurement error and/or noise, and limit of spatial connection, respectively, were minimum; Q value meaning weight of spatial structure and  $r^2$  value were minimum, and residual sum of squares was minimum. It means that 10 cm by 24 cm rectangular-shape fulcrum could best describe the rice paddy field elevation.

**Keywords** : Elevation, Geo-statistical analysis, Optimum fulcrum, Paddy field

#### 1. 서론

농산물의 질과 양은 포장별 또는 포장내 위치별로 토양의 이화학적 성질, 비옥도, 균평 정도, 물의 흐름, 병해충 저항성 등 포장정보에 따라 다를 수 있다. 이러한 포장내 위치별 변이를 고려하여 위치별로 최적의 농작업을 수행하고자 하는 것이 정밀농업의 목적 중 하나이다. 정밀농업의 기본 개념은 포장내 위치별로 작물 생산능력과 작물 생육상태에 차이가 있으므로, 각 위치별로 적당한 시기에 적절한 처리를 수행함으로써 농자재의 과다투입으로 인한 환경오염을 줄이면서 농지를 적정하게 활용하는 농법이다(Sudduth 등, 1996).

포장정보 중 포장의 지형은 매년 크게 변하지 않으나 균평

정도와 고저차는 경운 작업 등으로 매년 변하게 된다. 포장의 고저차와 균평 정도는 토양특성, 물 흐름 등에 영향을 미쳐 궁극적으로 농업 생산물의 질과 양에 큰 영향을 미친다(Westphalen 등, 2004). 앞에서 언급한 대로 정밀농업에서 포장내 위치별로 적당한 시기에 적절한 처리를 수행하기 위해서는 매년 달라지는 포장 고저차를 고려하여 농작업을 수행해야 한다. 이를 위해서는 먼저 포장내 고저차의 공간변이를 이해해야 한다.

포장내 공간변이를 해석하고 표현하고자 하는 연구는 국내 외적으로 많이 이루어 졌다. Kravchenko(2003)은 정밀농업의 효과는 토양 이화학적성을 얼마나 정확하고 효과적으로 지도화 하느냐에 달려있다고 보고, 토양 시료 채취 밀도를 달리해가

면서 격자 토양 시료 채취 방법에 대해 고찰했으며, 내삽 알고리즘간의 차이도 분석했다. Sadler등(1998)은 정밀농업에서는 수많은 데이터가 필요하다고 전제하고, 데이터 수가 많지 않으면 그만큼 비용이 많이들게 되므로 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 시료 수를 얻기 위한 공간변이를 분석했다. Franzen(1998)은 일정간격으로 토양 시료를 채취한 경우와 지형을 기초로 토양 시료를 채취한 경우를 비교하여 지형을 기초로 시료를 채취하는 게 훨씬 경제적인을 밝혔다. Brown과 Bara(1994)는 세미베리어그램(semi-variogram)을 사용해서 포장 고저차, 경사, 곡률 데이터에 들어있는 조직 에러(systematic error)를 없앨 수 있음을 보고했다.

우리나라에서는 Lee등(2002, 2004)이 1 ha 논 포장을 대상으로 포장정보 공간변이를 공간통계학적으로 해석했다. 연구 결과, 포장면 고저차의 변이계수가 51.3%이고, 63.4 m의 공간 의존성이 존재한다고 보고했고, 세미베리어그램을 분석한 결과 30 m 정도의 공간변이를 가지고 있음을 보고했다.

본 연구는 포장내 위치별 고저차를 측정하고 분석하기 위한 기초연구로 측정 받침대의 형상별 특성을 분석하여 수도작 포장의 고저차 측정을 위한 최적 받침대를 선정하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시 포장 및 측정장치

시험포장은 100 m×30 m 직사각형 형태의 논이다. 관개수는 그림 1과 같이 오른쪽 아래에서 왼쪽 위로 흐른다. 포장내 위치별 고저차를 측정하기 위해 그림 1과 같이 5 m×10 m 단위로 1 ha의 포장을 60개 구획으로 구분하여 각 격자의 중심부에서 고저차를 측정했다. 포장 내 고저차는 정밀측량기(model TPS-System, Leica Co., Heerbrugg, Switzerland)를 사용했다. 측정원리는 측량기에서 레이저를 송신하고 수신기에서 레이저를 수신해서 포장내 위치별 고저차를 1 mm 정밀

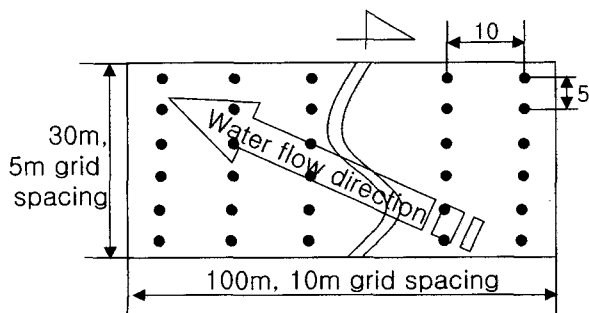


Fig. 1 The experimental paddy field, irrigation water direction and cell size for elevation measurement.

도로 측정한다. 구획중심부에서 3점을 측정한 후 평균한 값을 그 구획의 고저차 값으로 취했다.

### 나. 받침대 영상

일반적으로 우리나라 이앙기는 재식밀도 76 주/3.3 m<sup>2</sup>~97 주/3.3 m<sup>2</sup>을 유지하기 위해 조간 30 cm, 주간 11 cm~14 cm로 이앙한다. 따라서 일반적인 포장의 조간과 주간의 형상은 그림 2와 같다. 논 포장 표면의 굴곡 형상에 따라 포장 고저차를 측정하는 기준 높이가 달라질 수 있는데(그림 2), 본 연구에서는 포장내 위치별 고저차를 효율적으로 측정하기 위해 조간 한 가운데를 측정하는 것으로 가정하여, 조간(30 cm)에서 두 주간(24 cm) 사이를 측정할 수 있도록 네 종류의 받침대를 설계했다.

1번 받침대(fulcrum #1)는 레이저 수신기 지지대와 두께가 같은 2.5 cm 굵기의 원형봉이고, 2번 받침대(fulcrum #2)는 지름 10 cm 크기의 원형판이며, 3번 받침대(fulcrum #3)는 가로는 조간의 1/3 크기인 10 cm, 세로는 두 주간의 간격인 24 cm(12 cm 간격×2 주) 크기의 직사각형이고, 4번 받침대(fulcrum #4)는 가로는 조간의 2/3 크기인 20 cm, 세로는 두 주간의 간격인 24 cm(12 cm 간격×2 주) 크기의 직사각형으로 만들었다(그림 2, 그림 3, 그림 4).

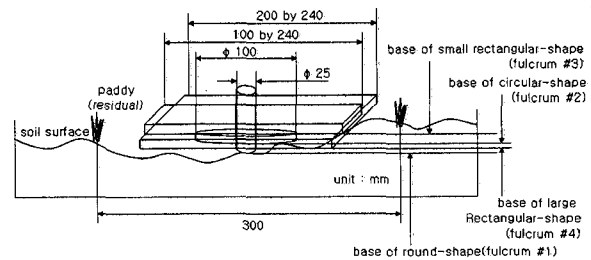


Fig. 2 Relationship among soil surface and four kinds of fulcrum types.

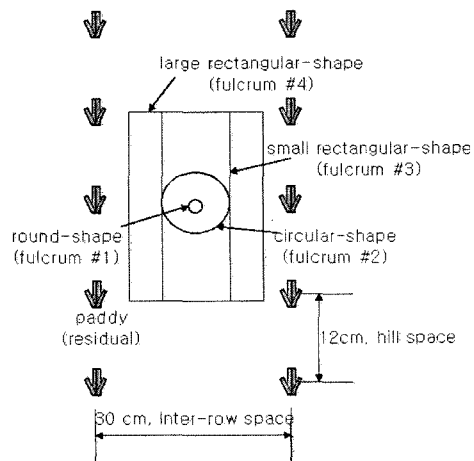


Fig. 3 Scale and shape of four kinds of fulcrum types with inter-row and hill spaces.

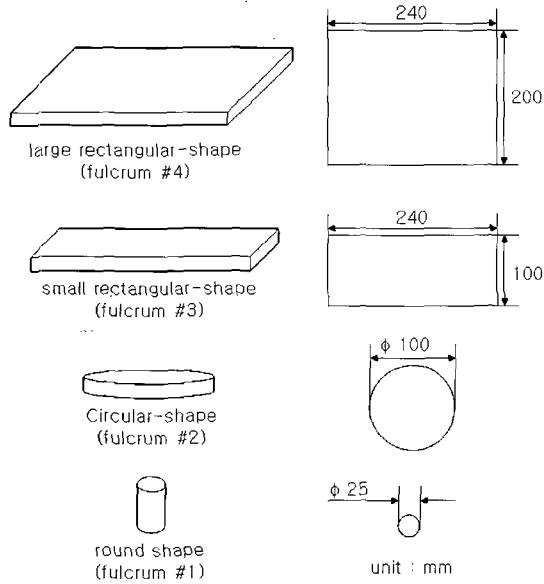


Fig. 4 Specifications of four kinds of fulcrums.

#### 다. 기술통계

본 연구에서 사용한 자료의 기술통계와 상관 분석은 SAS (version 8.01, SAS Institute Inc., North Carolina, USA) 를 이용하였으며, 공간변이 해석은 GS+(version 5.2, Gamma Design software, Michigan, USA)를 사용했고, 지도는 Surfer (version 8.03, Golden software Inc., Colorado, USA)를 이용하여 그렸다.

#### 라. 경향 제거

일반적으로 공간변이의 원인은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 포장 정보 자체의 변이고 다른 하나는 경향이다. 본 연구에서 포장정보 자체의 변이는 포장 고저차이고, 경향은 작물, 비료, 농작업 수행 등에 의해 생긴 것이다. 이러한 물리적 요인의 경향을 제거하기 위해 Surfer를 이용했다. 경향 제거에 사용한 공식은 식 (1)과 같다(Sadler 등, 1998).

$$Z_{res} = Z_{dat} - Z_{grd} \quad (1)$$

where,  $Z_{res}$  = the residual value

$Z_{dat}$  = the Z value in the data file, and

$Z_{grd}$  = the Z value of the surface at the XY coordinate from the grid file

#### 마. 공간 의존성 해석

공간 의존성은 공간에 존재하는 두 인자 사이의 크기와 양

식을 의미한다. 일반적으로 변이는 두 인자가 가까이에 위치하고 있을 때에는 상호간에 큰 영향을 미치고 멀어짐에 따라 두 인자간의 관계가 약하게 되며, 일정 거리 이상 떨어지게 되면 거의 영향을 받지 않는다. 이와 같은 두 인자의 관계를 평가하는데 세미베리어그램 값인  $r(h)$ 를 이용한다. 세미베리어언스(semi-variance)를 x축에 표시하고 y축에 포장 고저차 측정 간격을 표시한 것이 세미베리어그램이다(Lee 등, 2004). 세미베리어언스를 구하는 식은 식 (2)와 같다.

본 연구에서는 포장에서 측정한 고저차 데이터에서 경향을 제거한 후 그 데이터를 대상으로 GS+를 이용하여 공간 의존성을 해석했다. 지도는 Surfer를 이용하여 그렸다.

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2 \quad (2)$$

where,  $h$  is lag distance,

$r(h)$  is semivariograms estimator, semi-variance for interval distance class  $h$ ,

$Z(X_i)$  is the elevation residual value at location  $X_i$ ,

$Z(X_i+h)$  is the elevation residual value at location  $X_i+h$ , and

$N(h)$  is total number of sample couples.

세미베리어그램에서 너겟(Nugget)은 시료채취 간격 이하의 공간변이나 시험오차 등과 같은 설명할 수 없는 노이즈 등을 의미한다. 따라서 이 값은 작을수록 좋다. 세미베리어그램에서 세미베리어언스는 래그의 증가와 함께 증가하고 대부분 어느 거리에서 최대값이 도달하는데 이 최대값은 데이터의 분산과 거의 같은 값을 가지는 실(Sill)이다. 이 실값에 도달했을 때의 래그가 실측한 두 지점 이상의 데이터로부터 내삽입이 가능한 범위를 표시하는 공간 의존성의 한계인 레인지(Range)다. 일반적으로 공간 의존성을 분석할 때는 세미베리어그램의 Q 값과 레인지를 분석한다(Lee 등, 2002). Q 값은 실과 너겟의 차이를 실로 나눈 값으로 Q 값이 작으면 근접한 위치간에 연속성이 작아진다. 이 측정값의 연속성을 공간구조라고 하는데 Q 값이 1에 가까울수록 연속성이 높아 공간구조가 강하고, 역으로 Q 값이 0에 가까울수록 연속성이 낮아 공간구조가 약하다. 레인지는 공간적으로 데이터의 연속성을 가진 거리로 공간거리 의존성을 표시한다.

본 연구에서 사용한 한 격자의 크기가 5 m×10 m이므로 세미베리어그램을 작성할 때 고려한 단위 래그(lag class distance interval)를 5 m로 하였다. 최대 form(active lag distance)는 포장 전체 크기(30 m×100 m) 중 최대거리의 반인 50 m로

했다. Davis 등(1995)도 최대 리그 설정기준을 시료 채취 점과 최대 시료 채취점 사이 최대거리의 50%를 제안하고 있다. 본 연구에서는 세미베리어그램의 너겟, 실, 레인지, Q 값을 분석해서 포장 고저차를 측정하기에 가장 알맞은 받침대 형상을 선별했다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 기술통계 분석

포장 고저차 측정에 앞서 포장내 위치별 고저차의 공간변이를 해석하기 위한 기초연구로 측정 받침대 형상별 정밀도를 분석하기 위해 네 종류의 받침대로 공시포장에서 60 위치의 고저차를 측정하여 기술통계분석을 실시했다(표 1). 분석 결과 받침대 1번으로 측정한 고저차의 평균이 107.8 mm이고 받침대 4번은 77.9 mm로 받침대 표면적이 상대적으로 작은 받침대(받침대 1)가 위치별로 세밀한 측정이 가능함을 알 수 있다. 편차의 절대치를 취하여 절대치의 편차함을 관측치수로 나눠 평균화한 평균편차는 받침대 3번이 18.71 mm로 가장 작게 나타났다. 그러나 이 비교는 수치에 대한 산술적인 비교로 공간적인 개념이 빠져있어 포장내 위치별 고저차를 측정하는 데 가장 좋은 받침대를 선택하는 기준으로 활용할 수는 없다. 또한 표준편차, 변이계수, 왜도, 첨도, 평균편차 등을 분석한 결과, 최적 받침대를 선정하기 위한 기준으로 사용하기에는 곤란한 것으로 나타났다.

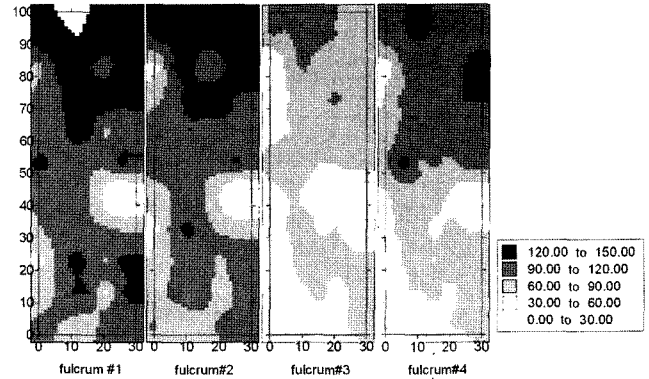


Fig. 5 Elevation map from four kinds of fulcrums.

#### 나. 지도

그림 5는 네 종류 받침대를 이용하여 포장 고저차를 측정한 결과를 지도로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 받침대 종류에 따라 전체적인 경향을 나타내어 지도를 이용하는 방법은 최적 받침대 선정 방법으로 사용하기에는 곤란한 것으로 생각된다.

#### 다. 공간 의존성 분석

근접한 데이터와 어느 정도 결합 능력이 있는지를 나타내는 공간 의존성을 공간변이 프로그램인 GS+를 이용하여 분석하였고, 그 결과는 표 2와 같다.

Table 1 Results of descriptive statistics for the elevation measured using four kinds of fulcrums.

property	max. <sup>1</sup>	mean (mm)	std. err <sup>2</sup>	95% conf. <sup>3</sup>	99% conf. <sup>4</sup>	var. <sup>5</sup>	avg. edv. <sup>6</sup>	std <sup>7</sup>	CV <sup>8</sup> (%)	skew	kurto-sis
fulcrum #1 <sup>9</sup>	170.0	107.8	3.68	7.37	9.80	813.9	21.91	28.5	26.5	-0.89	2.53
fulcrum #2	147.0	101.1	3.52	7.05	9.38	745.0	20.26	27.3	27.0	-1.04	2.10
fulcrum #3	110.0	61.8	3.11	6.21	8.27	578.6	18.71	24.1	38.9	-0.63	0.23
fulcrum #4	136.0	77.9	3.94	7.89	10.49	932.6	24.67	30.5	39.2	-0.40	-0.37

<sup>1</sup>max.=maximum, <sup>2</sup>std. err=standard error, <sup>3</sup>95% conf.=95% confidence interval, <sup>4</sup>99% conf.=99% confidence interval, <sup>5</sup>var.=variance, <sup>6</sup>avg. edv.=average deviation, <sup>7</sup>std=standard deviation, <sup>8</sup>CV=coefficient of variation, <sup>9</sup>fulcrum #1=round-shape (Φ2.5 cm), fulcrum #2=circular-shape (Φ10 cm), fulcrum #3=small rectangular-shape (12 cm×20 cm), fulcrum #4=large rectangular-shape (24 cm×20 cm)

Table 2 isotropic semivariogram parameters for the elevation measured using four kinds of fulcrums.

Property	Model <sup>1</sup>	Nugget (C <sub>0</sub> )	Sill (C <sub>0</sub> +C)	Range (A <sub>0</sub> , m)	Q (C/(C <sub>0</sub> +C))	r <sup>2</sup>	RSS <sup>2</sup>
fulcrum #1 <sup>3</sup>	LINR	0.421	1.302	47.17	0.677	0.929	0.0417
fulcrum #2	EXPO	0.299	1.407	82.20	0.787	0.837	0.0948
<b>fulcrum #3</b>	<b>SPHE</b>	<b>0.164</b>	<b>0.899</b>	<b>20.50</b>	<b>0.818</b>	<b>0.943</b>	<b>0.0132</b>
fulcrum #4	LINE	0.213	1.149	47.17	0.815	0.913	0.0586

<sup>1</sup>SPHE=spherical model, LINR=linear model, EXPO=exponential model, <sup>2</sup>residual sum of squares, <sup>3</sup>fulcrum #1=round-shape, fulcrum #2=circular-shape, fulcrum #3=small rectangular-shape, fulcrum #4=large rectangular-shape

시험오차나 노이즈를 의미하는 너겟은 작을수록 좋은데, 네 종류의 받침대 형상별 너겟을 분석한 결과 받침대 3번의 너겟이 0.164로 가장 작고, 받침대 1번의 너겟이 0.421로 가장 컸다. 이는 받침대 3번으로 포장내 고저차를 측정한 경우가 다른 경우에 비해 실험오차나 노이즈가 가장 작았음을 의미한다. 동시에 받침대 표면적이 가장 작은 받침대 1번이 예상대로 실험오차나 노이즈가 가장 큼을 의미한다. 실 값도 받침대 3번으로 측정한 경우가 0.899로 가장 작았고, 표면적이 작은 받침대 1번과 받침대 2번의 값이 다른 종류의 받침대에 비해 상대적으로 컸다.

공간 의존성의 한계를 나타내는 레인지도 받침대 3번이 20.50으로 가장 작았다. 근접한 위치간의 연속적인 공간구조를 나타내는 Q 값은 1에 가까울수록 연속성이 높아 공간구조가 강한데, 네 종류의 받침대 형상별 Q 값을 분석한 결과 받침대 3번이 0.818로 가장 컸고, 받침대 표면적이 가장 작은 받침대 1번이 0.677로 가장 작은 Q 값을 가지고 있었다. 회귀모델식의 적합도를 나타내는 결정계수 값도 받침대 3번이 0.943으로 가장 컸다. 회귀모델식 선상에 있는 값과 실측값간의 편차를 제공하여 합한 잔차제곱합도 받침대 3번이 0.0132로 가장 작았다.

앞에서 분석한 기술통계와 지도를 이용해서는 네 가지 받침대 형상 중 포장내 고저차를 측정하는데 가장 좋은 받침대를 선택할 수 없었으나, 공간개념을 포함하여 GS+로 분석한 결과 받침대 3번이 네 가지 받침대 중 포장 고저차를 측정하는데 가장 좋은 받침대임을 알 수 있다.

일반적으로 우리나라에서는 조건 30 cm, 주간 11 cm~14 cm로 이양하기 때문에 포장의 고저차를 효율적으로 측정하기 위해서는 조건과 주간을 고려하여 고저차 측정 받침대의 크기를 결정해야 한다. 본 연구에서 분석한 결과, 가로는 조건의 1/3 크기인 10 cm, 세로는 두 주간의 간격인 24 cm 크기의 직사각형을 받침대로 이용하는 것이 포장내 고저차를 가장 잘 측정할 수 있는 것으로 나타났다.

앞으로, 이 크기의 받침대를 이용하여 반복간 오차 정도인 측정 정밀도를 분석할 필요가 있고, 단위 격자내 위치별 변이를 분석하여 고저차 측정 밀도를 결정해야 하며, 작물 생육기간중에 고저차가 어느 정도 변하는지 분석할 필요가 있을 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

포장내 위치별 고저차를 측정하고 분석하기 위한 기초연구로 측정 받침대 형상별 특성을 분석했다. 일반적으로 우리나라에서는 조건 30 cm, 주간 11 cm~14 cm로 이양하기 때문

에 포장의 고저차를 효율적으로 측정하기 위해서는 조건과 주간을 고려하여 고저차 측정 받침대의 크기를 결정해야 한다. 본 연구에서는 포장의 고저차를 효율적으로 측정하기 위해 조건 한 가운데를 측정하는 것으로 가정하여, 조건(30 cm)에서 두 주간(24 cm)을 측정할 수 있도록 네 종류의 받침대를 설계하여 실험했다.

네 종류의 받침대를 대상으로 공간변이 프로그램을 이용하여 공간 의존성을 분석한 결과, 시험오차나 노이즈를 의미하는 너겟과 공간 의존성의 한계를 나타내는 레인지가 가장 작으며, 근접한 위치간의 연속적인 공간구조를 나타내는 Q 값과 회귀모델식의 결정계수 값이 가장 크며, 잔차제곱합이 가장 작은 받침대 3번이 포장내 위치별 고저차를 측정하는데 가장 적당한 것으로 나타났다.

즉, 가로는 조건의 1/3 크기인 10 cm, 세로는 두 주간의 간격인 24 cm 크기의 직사각형을 받침대로 이용하는 것이 포장내 고저차를 가장 잘 측정할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. Brown, D. G. and Bara, T. J. 1994. Recognition and reduction of systematic error in elevation and derivation surfaces from 71/2 minute DEMs. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 60:189-194.
2. Chung, S. O., Sung, J. H., Sudduth, K. A., Drummond, S. T. and Hyun, B. K. 2000. Spatial variability of yield, chlorophyll content and soil properties in a Korea rice paddy field. *Proc. 5th Intl. Conf. on Precision Agriculture*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
3. Davis, J. G., Hossner, J. R., Wilding, L. P. and Manu, A. 1995. Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soil of Niger. *Soil Science* 159(5):321-329.
4. Franzen, D. W., Cihacek, L. J., Hofman, V. L. and Swenson, L. J. 1998. Topography-based sampling compared with grid sampling in the Northern great plains. *J. Prod. Agric.* 33: 364-370.
5. Kravchenko, A. N. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1564-1571.
6. Lee, C. K., Son, Y. K., Jung, I. G., Kim, S. C., Park, W. P. and Park, W. K. 2002. Geostatistical analysis of spatial variability for field information in paddy field. *Kor. J. Int'l Agri.* 14:127-138. (In Korean)
7. Lee, C. K., Sung, J. H., Jung, I. G., Kim, S. C., Lee, Y. B. and Park, W. K. 2004. Geo-statistical analysis of growth variability in rice paddy field. *J. of Biosystems Engineering* 29:109-120. (In Korean)

8. Sadler, E. J., Busscher, W. J., Bauer, P. J. and Karlen, D. L. 1998. Spatial scale requirements for precision farming: A case study in the southeastern USA. *Agron. J.* 90:191-197.
9. Sudduth, K. A., Drummond, S. T., Birrell, S. J. and Kitchen, N. R. 1996. Analysis of spatial factors influencing crop yield. *Int'l Proc. 3rd Int. Conf. On Precision Agriculture, O.C. Robert et al. (ed.) pp. 129-140.*
10. Westphalen, M. L., Steward, B. L. and Han, S. 2004. Topographic mapping through measurement of vehicle attitude and elevation. *Trans. of ASAE* 47:1841-1849.