

토양정보별 포장내 공간변이 예측에 관한 연구

The Prediction of Spacial Variability for Soil Information in Paddy Field

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

ABSTRACT

This study was carried out to verify and predict the soil informations such as the contents of organic matter(OM) and Mg and pH of the soil. The predictability of spacial variation in the paddy field was examined by analyzing the various soil information. The prediction models for the OM, pH, and Mg, were developed using inverse distance weighted (IDW), triangulated irregular network(TIN) and Kriging model. The determination of coefficients of linear and spherical Kriging models were 0.756 and 0.578, respectively, and were very low in comparison with other soil information. For IDW and TIN model, the determination of coefficients were 1.000 and hence the performance of the models was found to be excellent.

The developed models were validated using unknown soil sample obtained In 2000 and 2001. From the analysis of relationship between the measured pH and predicted 0.9353. For prediction of Mg, the determination of coefficient is more than 0.8. Since the determination of coefficients of developed models for OM were relatively low, it may be difficult to predict the content of OM using the developed models.

For further study, the additional works to enhance the performance of the prediction models for soil information are required.

Keywords : Precision agriculture, Field variation, Soil information, Interpolation.

1. 서 론

현재 전세계적인 농업의 발전 추세인 친환경 정밀농업의 구현을 위해서는 포장정보의 획득과 구축, 의사결정 및 변량처방을 위한 기계기술 개발 등이 요구된다. 이 중에서도 토양정보, 생육정보, 수확량과 같은 포장정보의 획득은 그 기본이 되는 요소로서 매우 중요한 의미가 있다. 즉, 저렴한 비용의 투입으로 신속한 포장정보의 취득과 분석 능력이 정밀농업의 성패를 좌우한다고 해도 과언이 아니다.

이를 위해서는 포장정보 취득을 위한 각종 센서의 개발이나 성능향상이 무엇보다 중요하며, 취득한 데이터를

분석하고 포장정보 개개 항목에 대한 포장내의 공간적 변이를 파악하여 변량처방을 위한 처방지도를 작성하는데 활용될 수 있도록 하는 기술도 또한 중요하다. 즉, 공간적 변이를 파악할 수 있는 기술을 개발함으로써 적은 수의 표본으로부터 포장 전체의 정보를 도출함으로써 포장정보 취득을 위한 시간과 노력을 대폭 줄임으로써, 정밀농업의 구현을 더욱 현실성있게 구체화 하는데 기술적인 뒷받침을 할 수 있게 되는 것이다.

본 연구에서는 토양정보에 대한 포장내의 통계적 변화를 먼저 계산할 수 있다면 수집할 샘플의 수를 줄일 수 있을 것이라는 점에 착안하여, 그 동안 실제 정밀농업 시

The article was submitted for publication in December 2003; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2004. The authors are In Gyu Jung, Je Hoon Sung, Choung Keun Lee, Sang Cheul Kim, Yong Beom Lee, Research Engineer, National Institute of Agricultural Engineering, RDA. The corresponding author is In Gyu Jung, Research Engineer, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, Korea, 441-707, E-mail : <igjung@rda.go.kr >

범포장에서 취득하여 구축해 놓은 토양정보들을 다각도로 분석함으로써, 앞으로 토양정보별로 취득한 표본(Sample)으로부터 포장전체에 대한 공간변이의 예측이 가능하겠는가에 대해 검토하고자 하였으며, 이러한 결과를 포장에 대한 변량처방지도를 작성하는 데 적용 가능한지를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 토양정보별 공간변이 예측

여러 가지 토양정보들 중에서 토양정보별 포장내의 공간변이 예측 가능성을 검토하기 위하여, 토양의 유기물 함량인 OM(Organic matter) 및 토양내의 한 화학적 성분인 Mg, 토양의 산성화 정도를 나타내는 pH 그리고, 토양의 유기물 함량과 관련이 있는 토양의 EC(Electric Conductivity)를 선정하여 그 분석 대상으로 하였는데, 이러한 정보들은 2000년에서 2001년 사이에 매년 농업기계화연구소 부속의 100 × 30m 크기의 입북동 시험포장에서 5 × 5m 크기의 셀(Cell) 각 지점에서 채집된 토양 샘플들을 농촌진흥청 농업과학기술원에 의뢰하여 정밀 분석을 통하여 얻어진 것들이다.

공간변이의 예측을 위한 기법으로는 IDW(Inverse Distance Weighted)와 최적 내삽방법으로 알려져 있는 Kriging 그리고 수치고도모델(DEM, Digital Elevation Model)인 TIN(Triangulated Irregular Networks)을 사용하였다. 여기서 IDW 보간법은 거리가 멀어짐에 따라 지역적인 영향력이 작아짐을 가정하는 방법으로, 이것은 현재 처리중인 셀과 가까운 점에 그렇지 않은 점보다 가중치를 크게 부여하여 값을 예측하는 방법이다. 이 때, 한 지점의 값을 결정하기 위해서는 특정수의 점 혹은 일정 반지름 내의 모든 점이 사용될 수도 있다. 그리고, 수치고도 모델인 TIN은 원래 지형의 기복을 모델화하기 위하여 개발되었지만, 현재에는 기복뿐만 아니라 다른 속성들의 연속적인 변화를 나타내는 데에도 많이 사용되고 있기 때문에, 본 연구에서도 예측모델로서 적용을 하였다.

그리고 이러한 공간적 변이를 예측하는 데 있어 분석툴(Tool)로서 GIS 전용 S/W인 ArcGIS 8.1과 ArcView 3.2 그리고 GS+ 5.0을 사용하였다.

토양정보별로 포장내의 공간변이를 예측하기 위하여, 두

가지의 과정으로 나누어 분석을 실시하였는데, 첫 번째는 이미 알고 있는 기지점(points of known value)에 대한 검증 방법으로서, 포장 각 위치별로 획득된 정보를 분석 틀에 입력한 후, 보간(interpolation) 방법별로 보간을 실시하여 센서로부터 획득되어 구축되어 있는 기지값과 보간을 통하여 얻어진 값을 비교하여 그 차이를 구하는 것이다. 이를 통해 보간방법별로도 그 보간성능을 검증하고자 하였다.

그림 1은 기지점 검증을 위한 토양 표본채취점을 나타내는 것으로서, 각 셀의 크기는 5 × 10m로서 각 셀의 가운데 점에서 한 점의 표본을 채취하여 30 × 100m 크기의 포장에서 모두 60개의 값을 취득하고 보간을 실시하여 기지점을 검증하였다.

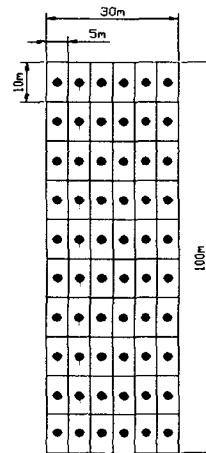


Fig. 1 Sampling point of each cell(5×10m) for verification model.

두 번째 분석과정은 미지점에 대해 예측을 하는 단계로서, 포장의 각 지점에서 보간을 통하여 예측하고자 하는 지점에는 기지의 값을 입력하지 않은 상태에서 보간을 수행한 후, 보간을 통하여 얻어진 예측값과 분석을 위하여 입력하지는 않았지만 이미 측정되어져 알고 있는 값을 서로 비교하여 그 차이를 구하여 예측오차를 확인하는 것이다.

미지점의 예측을 위한 각 토양정보의 입력간격(Lag)은 그림 2의 한 예에서와 같이, 폭 × 길이(m)가 각각 5 × 10m, 5 × 20m와 10 × 10m의 세 가지로 하였다. 즉, 그림 2는 5 × 10m의 경우로서 포장의 빈 셀은 보간을 위하여 기지의 토양정보를 입력한 곳이고, ▲의 셀은 보간을 통하여 값을 도출해 낸 위치인데, 보간을 위한 토양정보의 입력 간격을 위의 세 가지로 달리하여 분석하였다.

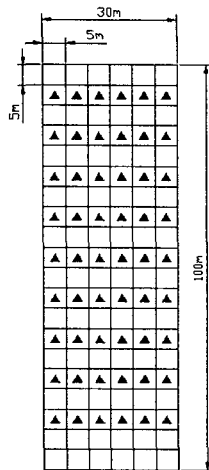


Fig. 2 Sampling points for prediction model (5 × 10m).

3. 결과 및 고찰

가. 각 토양정보에 대한 기지점 검증결과

2000년도 토양정보를 이용한 기지점에 대한 검증에는 OM, pH, Mg, EC값이 사용되었으며, 검증을 위한 데이터의 입력간격(Lag)은, 모두 폭 × 길이(m)로 5 × 10m 크기의 한 경우에 대해 보간을 실시하여 그 값을 검증한 결과, 그림 3, 4에서 알 수 있는 바와 같이 Kriging 모델을 사용한 경우, pH에 대한 검증 정확도는 결정계수(R^2)가 0.9999, Mg의 경우 0.9986으로 나타났다. 그리고 EC에 대해서는 0.9995를 나타내었다.

그러나 OM에 대한 검증 정확도에 있어서는 R^2 이 0.7566(linear), 0.5718(spherical)로 나타나 그 검증 정확

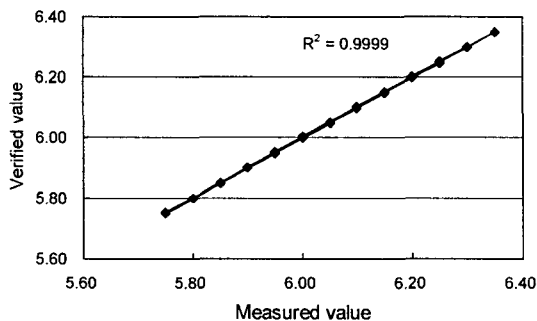


Fig. 3 Relationship between pH by measured value and predicted value by the spherical Kriging model for soil samples obtained in 2000.

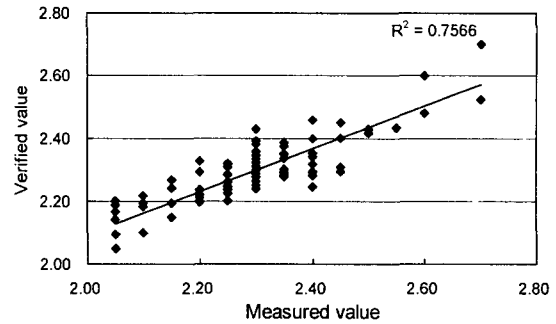


Fig. 4 Relationship between OM by measured value and predicted value by the linear Kriging model for soil samples obtained in 2000.

도가 다른 토양정보에 비해서 현저히 낮게 나타나 OM 값에 대한 Kriging 모델의 사용에 있어 신중을 기하여야 할 것으로 판단된다.

이에 비해, 그림 5에서 보는 바와 같이 IDW 및 DEM 모델인 TIN에서는 OM에 대한 검증 정확도가 $R^2 = 1$ 로 나타나 보간에 의한 검증 성능이 우수한 것으로 나타났다. IDW 및 TIN 모델은 Mg와 pH 및 EC의 기지값에 대한 검증에서도 R^2 값이 1로 나타났다.

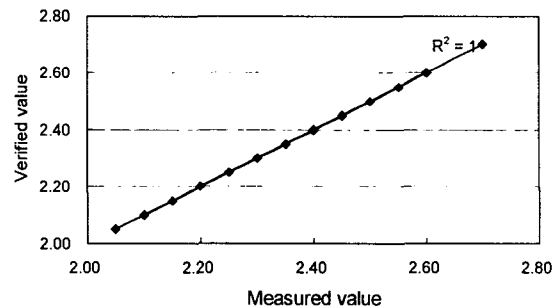


Fig. 5 Relationship between OM by measured value and predicted value by the spherical TIN model for soil samples obtained in 2000.

이러한 기지점의 검증에는 5 × 10m 크기의 120개 각 셀(cell)의 중간지점의 측정값이 보간된 후의 값과 비교되어 R^2 로 정확도가 구해졌다.

그림 6과 7은 기지점에 대한 검증을 위해 토양정보들에 대해 Kriging 및 TIN 모델로 보간을 한 공간변이 지도를 나타내고 있다.

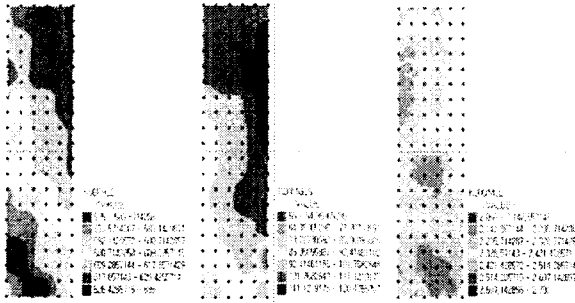


Fig. 6 The interpolated pH, Mg and OM maps by Kriging model using known soil samples.

이러한 기지점에 대한 검증 및 보간법의 작성에는 툴(tool)로서 ArcGIS 8.1 버전을 사용하였으며, 한 지점의 값을 결정하는 데 있어서 주변 12점의 값을 이용하여 보간이 이루어지도록 하였다.

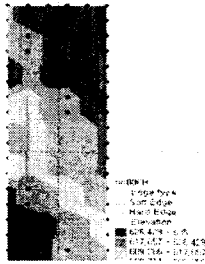


Fig. 7 The interpolated pH map by TIN model using known soil samples.

나. 각 토양정보에 대한 미지점 예측결과

토양정보를 이용한 미지점에 대한 예측에는 2000년과 2001년도의 OM, pH, Mg 값이 사용되었으며, 예측을 위한 데이터의 입력간격(Lag)은, OM, pH, Mg의 각각에 대해서 5 × 10m, 5 × 20m와 10 × 10m의 세 가지의 경우에 대해 분석하였는데, 그림 8, 9 및 10에서, 각 보간 방법별로 2000년 pH 값에 대한 예측결과를 보여주고 있다.

예측모델별로 pH값에 대해 R²이 0.9134~0.9353의 범위로 나타나, 5 × 10m 크기의 토양 샘플링 간격에 대한 pH값의 예측 정확도가 매우 높은 것으로 나타났다. 그림 11은 미지점에 대한 예측을 위해 pH에 대해 IDW, Kriging 및 TIN 모델로 보간을 실시하여 나타난 공간변이 지도이다.

다음의 표 1, 2 및 3에는 각 예측 모델별로 연도 및 포장의 토양 샘플링 간격에 따른 예측 정확도를 R² 값으로 구하여 나타내었다.

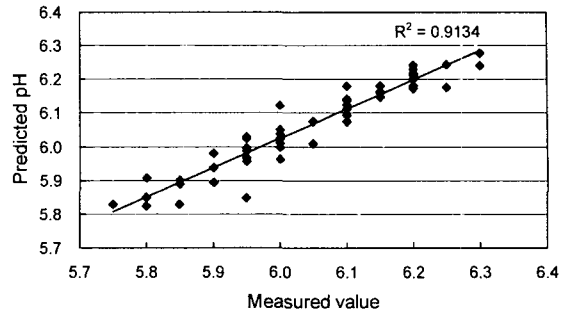


Fig. 8 Relationship between pH by measured value and predicted value by the IDW model for soil samples obtained at 5 × 10m cell in 2000.

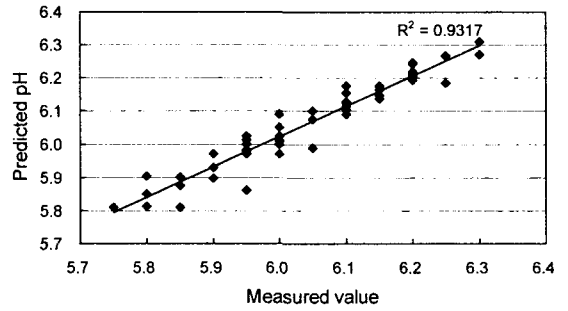


Fig. 9 Relationship between pH by measured value and predicted value by the kriging model for soil samples obtained at 5 × 10m cell in 2000.

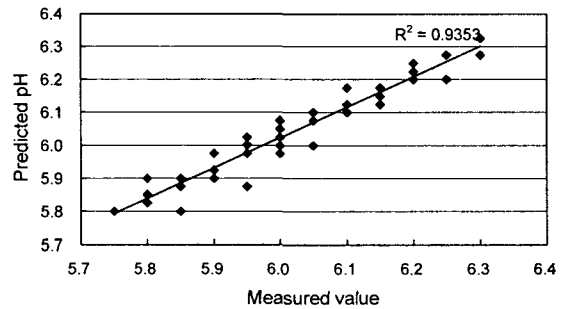


Fig. 10 Relationship between pH by measured value and predicted value by the TIN model for soil samples obtained at 5 × 10m cell in 2000.

표에서 알 수 있는 바와 같이, 미지점에 대한 추정오차가 Mg의 경우에는 5 × 20m 샘플링 간격인 경우의 오차를 제외하고는 R²가 모두 0.8 이상으로 비교적 작게

나타났다. pH의 경우에는 2000년과 2001년의 예측오차 간에 비교적 큰 차이가 나타났으나, 대체적으로 작은 예측오차를 나타내었다.

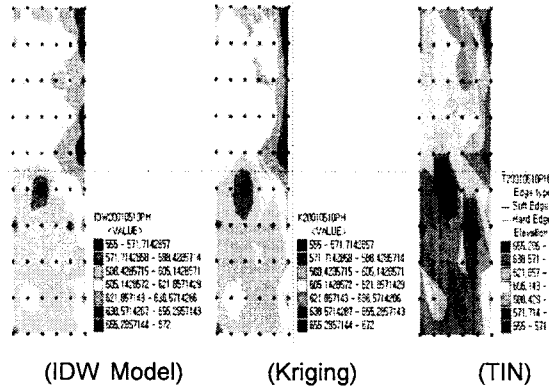


Fig. 11 The interpolated pH maps by the IDW, Kriging and TIN models using unknown samples, respectively.

Table 1 The determination of coefficients of TIN, IDW and kriging models for predicting pH of soil samples obtained at several sampling interval in 2000 and 2001

Year	Sampling interval(m)	pH		
		TIN	IDW	Kriging
2000	5 × 10	0.9353	0.9134	0.9317
	5 × 20	0.8309	0.8130	0.8523
	10 × 10	0.9022	0.9051	0.9019
2001	5 × 10	0.6857	0.7172	0.7237
	5 × 20	0.4228	0.4295	0.5373
	10 × 10	0.4327	0.4810	0.4335

Table 2 The determination of coefficients of TIN, IDW and kriging models for predicting OM of soil samples obtained at several sampling interval in 2000 and 2001

Year	Sampling interval(m)	OM		
		TIN	IDW	Kriging
2000	5 × 10	0.4861	0.3211	0.3244
	5 × 20	0.2558	0.2395	0.1464
	10 × 10	0.0973	0.0928	0.0955
2001	5 × 10	0.2239	0.2169	0.2441
	5 × 20	0.1636	0.0546	0.1043
	10 × 10	0.1682	0.1700	0.1734

그러나, OM의 경우에는 전반적으로 매우 큰 추정오차를 나타내었으며, 샘플링 간격 5 × 10m인 경우에도 R²가 0.5를 넘지 않아 추정오차가 매우 크게 나타났다.

이는 토양정보중 OM의 경우에는 적은 수의 표본으로부터 다른 셀의 값을 추정하여 포장내의 공간변이를 파악하거나 맵을 작성하는 것이 매우 어렵다는 것을 뜻한다고 볼 수 있다.

토양샘플링 간격에 따른 추정오차를 살펴보면, Mg의 경우, 5 × 20m 샘플링 간격인 때가 다른 경우에 비해 매우 크게 나타났다. 이로 보아 Mg의 경우에는 샘플링 간격을 한쪽 방향으로 20m 이상으로 하는 것은 바람직하지 못하다는 것을 알 수 있다.

Table 3 The determination of coefficients of TIN, IDW and kriging models for predicting Mg of soil samples obtained at several sampling interval in 2000 and 2001

Year	Sampling interval(m)	Mg		
		TIN	IDW	Kriging
2000	5 × 10	0.8012	0.7747	0.7996
	5 × 20	0.4962	0.6215	0.5274
	10 × 10	0.9172	0.9198	0.9178
2001	5 × 10	0.8455	0.8909	0.8723
	5 × 20	0.8245	0.8528	0.8540
	10 × 10	0.8237	0.8331	0.8225

pH와 OM의 경우에도 정도의 차이는 있지만 샘플링 간격이 커질수록 추정오차도 이에 비례하여 커지는 것을 알 수가 있다. 특히 OM의 경우에는 반경 10m 이내의 샘플링 간격으로 표본을 수집하고 TIN 모델로 예측을 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그 이유는 OM(유기물)의 경우 거리가 멀어질수록 다른 토양정보들에 비해 거리에 따른 영향을 작게 받기 때문인 것으로 추정된다.

이러한 샘플링 간격은 참고문헌(이충근 등, 2002)에 나타난 연구결과인 수도작 포장의 토양정보에 대한 공간의존거리인 15~30m 범위값과도 유사한 결론이라고 할 수 있다.

이상의 분석결과로부터, 포장내의 공간변이 파악이나 처방지도 작성을 위한 토양의 샘플링을 위해서는, 표본

수 및 샘플링 간격을 토양정보에 따라 서로 다르게 하여야 하며 예측을 위한 모델도 적절한 것을 선택하여야 할 것이다.

그리고 포장내 공간변이의 추정에는 그 결과에 영향을 미치는 많은 변수들이 존재하기 때문에 앞으로도 여러 가지 다양한 자료수집 및 분석을 통하여서는 이상의 결론들이 수정되어질 여지는 남아있다고 할 수 있다.

4. 요약 및 결론

여러 가지 토양정보들 중에서 토양정보별 포장내의 공간변이 예측 가능성을 검토하기 위하여, 토양내의 OM 및 Mg의 함량, 토양의 pH 그리고 토양의 EC를 선정하여 기지점 및 미지점에 대하여 검증 및 예측을 실시하여 도출한 결과는 다음과 같다.

2000년도 토양정보를 이용한 기지점에 대한 OM, pH, Mg, EC값의 검증 결과, Kriging 모델을 사용한 경우 pH에 대한 검증 정확도가 R²로 0.9999, Mg에 대해서는 0.9986으로 나타났다. 그리고 EC에 대해서는 0.9995를 나타내었으나 OM에 대한 검증 정확도에 있어서는 R²이 0.7566(linear), 0.5718 (spHerical)로 나타나 그 검증 정확도가 다른 토양정보에 비해서 현저히 떨어지는 것으로 나타났다.

IDW 및 TIN에서는 OM에 대한 검증 정확도가 R² = 1로 나타나 보간에 의한 검증 성능이 우수한 것으로 나타났다.

2000년과 2001년도의 OM, pH, Mg 값을 사용한 미지점에 대한 예측결과, 예측모델별로 pH값에 대해 R²이 0.9134~0.9353의 범위로 나타나, 5×10m 크기의 토양 샘플링 간격에 대한 pH값의 예측 정확도가 매우 높으므로 나타났으며, Mg의 경우에도 대부분 0.8 이상으로 비교적 높게 나타났다.

OM의 경우에는 전반적으로 결정계수가 상대적으로 매우 낮게 나타나 적은 수의 표본으로부터 다른 셀의 값을 추정하는 것이 어려울 것으로 판단된다.

포장내 공간변이의 추정에는 그 결과에 영향을 미치는 많은 변수들이 존재하기 때문에 앞으로의 다양한 자료수집 및 분석을 통하여서 이상의 결론들이 다소 달라

질 수도 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 류근배 편저, 1997, 지리정보론, 상조사.
2. 이충근 외 6인. 2002. 논에 있어서 포장정보 공간변이의 공간통계학적 해석. 한국국제농업개발학회지. 14(2):127-138.
3. 이희연, 1999, 지리통계학, 법문사.
4. Bob Booth, Using ArcGIS 3D Analyst, ESRI.
5. Lee, C. K., M. Umeda, J. Yanai, M. Iida and T. Kosaki. 1999. Grain yield and soil properties in paddy field. ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting. Toronto Canada. Paper No. 9901057.
6. Lee, C. K., M. Iida, M. Umeda and T. Kaho, 1999. Yield maps of grain and straw in Japanese paddy field. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 61(4):133-140 (in Japanese).
7. Lee, C. K., T. Kaho, J. Yanai, M. Iida, M. Umeda and T. Kosaki. 2000. Field information maps using geostatistics in the paddy field. ASAE Annual International Meeting. Milwaukee. USA. Paper No. 001108.
8. Lee, C. K., Yanai, J., 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).
9. Li, M. Z., A. Sasao, S. Shibusawa and K. Sakai. 1999. Local variability of soil nutrient parameters in Japanese small size field. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 61(1):141-147 (in Japanese).
10. Robert, P. C. 1999. Precision Agriculture : Research needs and status in the USA. Precision Agriculture 99 Part 1:19-33.
11. Yanai, J., C. K. Lee, M. Umeda and T. Kosaki. 2000. Spatial variability of soil chemical properties in the paddy field. Soil Science and Plant Nutrition 46(2): 473-482.