

필지내 벼 수량의 공간변이 해석

Spatial Variability Analysis of Paddy Rice Yield in Field

이충근 우메다 미키오 정인규 성제훈 김상철 박우풍 이용범
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
C. K. Lee M. Umeda I. G. Jung J. H. Sung S. C. Kim W. P. Park Y. B. Lee

ABSTRACT

Using geo-statistical method, yield data of different fields were analyzed to examine their field variability according to examining year, analysis method. Semivariogram and Kriged maps of geo-statistical analysis were used to examine their spatial dependence within a field. The results obtained were as follows.

1) Descriptive statistical results of the yield showed that the yield and the difference of yield ranged from 100 to 946 kg/10a and from 272 to 653 kg/10a, respectively within a field. The coefficient of variation also ranged from 5.9 to 22.4 %. 2) More than 90 % of yield data were placed between 350 to 850 kg/10a. The results indicated that the grain mass flow sensor should have the measuring range from 0.34 to 0.82 kg/s considering the yields when 4 rows head-feeding combine with 0.8 m/s of working speed was utilized. 3) A high spatial dependence was found within paddy field. The Q values ranged from 0.20 to 0.97, and the range of spatial dependence was from 6.9 to 53.3 m. From this result, the rational sampling interval for yield investigation was estimated 6.9 m. 4) Yields within a field between observation years showed considerable variability even if the field was evenly cultivated and managed. To apply precision agriculture in a paddy field, the field test should be continued to build a solid data-base including meteorological data, blight damage and insect damage.

Keywords : Spatial variability, Yield map, Yield monitoring system, Field information, Precision agriculture.

1. 서 론

지금까지 우리 농업은 증산위주 정책에 의하여 화학비료와 농약을 많이 사용하는 고투입 농업을 지속하였으며 환경오염과 농산물의 안전성에 다소 소홀했다. 그러나, 21세기에 우리 농업을 지키고 발전시키기 위해서는 친환경농업 실현이 시급한 과제이다. 근래, 구미선진국에서는 농산물의 생산에 영향을 미치는 포장내 변이정보를 탐색하여 그 정보를 바탕으로 한 의사결정 및 처리과정을 거쳐 생산물의 공간적 변이를 최소화시키는 정밀농업이 실용화되고 있다(Robert, 1999).

정밀농업은 IT 기술과 첨단과학기술을 농업에 응용, 논이나 밭에서 위치별로 토양센서를 이용하여 산도, 전기전도도, 유기물 함량 등을 측정하고, 생육센서를 이용하여 엽록소, 분얼수, 초장 등 생육상태와, 수확량 센서를 이용하여 수량과 수분 등을 측정하여 GIS 등을 이용

하여 포장정보지도를 작성한다. 그리고, 처방알고리즘에 기초해 작성된 변량처방지도를 기반으로 화학비료와 농약의 살포량 그리고 파종량 등을 GPS와 결합된 변량작업기로 위치별로 필요한 양을 살포하는 새로운 정밀포장관리를 수행하고 있다. 이를 통해 농산물의 품질을 향상시키고 안전성을 확보하여 수익을 증대하면서 환경충격을 완화시키는 정보기반형 친환경 과학영농을 실현하고 있다.

최근 논 포장에 있어서도 정밀농업을 적용하기 위해 많은 연구들이 수행되고 있다. Lee 등(1999)은 논 포장에 있어서 벼 수량과 벧짚 수량을 조사하여 공간통계학적 방법을 이용하여 공간변이를 해석하고 지도를 작성하였으며, Chung 등(1999)은 소구획 경작지에서 벼 수확량 지도를 작성하는 연구를 수행하였으며, Cho 등(2000)은 정밀시비를 위한 소구획 경작지내의 가변적 시비처리량 결정을 하기 위한 연구도 수행하였다. 그리고 Lee and

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

필지내 벼 수량의 공간변이 해석

Kim(2003)은 질소시비량에 따른 벼의 건물중, 질소 함량, 엽록소, 수확량 변이지도 및 이들의 상관관계에 관한 연구를 수행하였으며, Lee 등(2003)은 논 포장에 있어서 질소 변량시비가 직파재배 벼 수량에 미치는 영향에 대해서 분석을 하였으며, Cho 등(2003)은 수비질소 변량시비가 벼 수량 및 현미 단백질의 공간변이에 미치는 영향 등에 관한 연구를 수행하였다. 그러나, 포장면적, 조사년도, 조사방법 및 재배품종 등이 다른 수량정보의 변이에 대한 고찰과 자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템 개발에 필요한 수량정보를 구체적으로 분석하여 제시한 논문은 거의 없는 편이다.

본 논문의 목적은 이러한 문제점에 착안하여 논 포장에 있어서 벼 수량의 필지내 공간변이를 분석하고 자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템에 필요한 기초 정보를 제공하는 것이다. 본 연구에서는 기술통계와 함께 포장내 공간의존성을 해석하는 공간통계학(Geostatistics) 방법을 적용해 세미베리어그램(Semivariogram)에 의한 공간의존성의 평가와 그것에 기초한 크리깅(Kriging) 방법에 의한 지도화를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 시험한 실험포장은 3곳으로서 경기도 안성시 포장은 1 ha의 일반 농가포장으로서, 재배된 품종은 2001년도에는 대진벼였으며, 2002년도에는 추청벼였다(이하 안성포장). 경기도 수원시 포장은 0.3 ha의 포장이며, 재배된 품종은 일품벼였다(이하 수원포장). 일본 오사카부 타카쓰키시 포장은 0.5 ha의 교토대학 농학연구과 부속농장 포장으로서, 재배된 품종은 남광벼였다(이하 교토포장).

가. 안성포장

1) 포장관리

이 시험포장은 연차별로 토양의 이화학적 특성, 포장면 고저차, 생육량 및 수량 등을 조사하였다. 포장면적은 1 ha(100 × 100 m)로 1997년에 4개 필지의 포장을 1개 필지로 경지정리한 것이다. 시비관리는 화학비료를 10a 당 질소 15 kg, 인산 5 kg 그리고 칼리 5 kg을 사용하였으며, 퇴비(우분과 볏짚)를 3 ton/10a, 규산을 3년에 1회 340kg/10a을 사용하였다. 포장에서 얻어지는 볏짚은 격년으로 한해는 소의 조사료로 회수하고, 또 한해는 포장으로 환원시켰다. 일반적으로 벼의 수량은 현미를 기준

으로 평균 10 a당 550 kg을 수확했다. 수확작업의 종료 시점부터 다음 해의 이앙시기까지의 포장관리는 수확후 쟁기를 이용하여 깊이갈이를 하였으며, 이앙 2주전에 기비를 시용하고 관개수를 관개한 후에 로타리 경운을 수행한 다음 이앙작업을 실시하였다.

2) 수량조사

2001년도 수량조사는 그림 1과 같이 1 필지를 5 × 5 m 크기로 총 400곳으로 분할하여 조사를 수행하였다. 조사시기는 10월 21~23일이며, 수량조사를 위한 표본추출은 구획수가 많은 관계로 각 구획별 중심부에서 21주를 예취하여 탈곡기를 이용하여 탈곡하여 벼 수량을 측정하였다. 벼의 수분은 전기저항식 수분계(GMK-303, G-Won Mac. Co)를 이용하여 측정을 하였으며, 최종적으로 10 a 당 수량(함수율 14%기준)으로 환산하였다. 2002년도 수량조사는 그림 1과 같이 1 필지를 5 × 10 m 크기로 총 200곳으로 분할하여 조사를 수행하였다. 조사시기는 10월 23~24일에 실시하였으며, 수량조사의 효율성을 증진시키기 위해 4조식 콤바인을 이용하여 4조×10 m를 수확한 후 구획별로 배출하여 2001년과 동일한 방법으로 데이터 처리를 하였다.

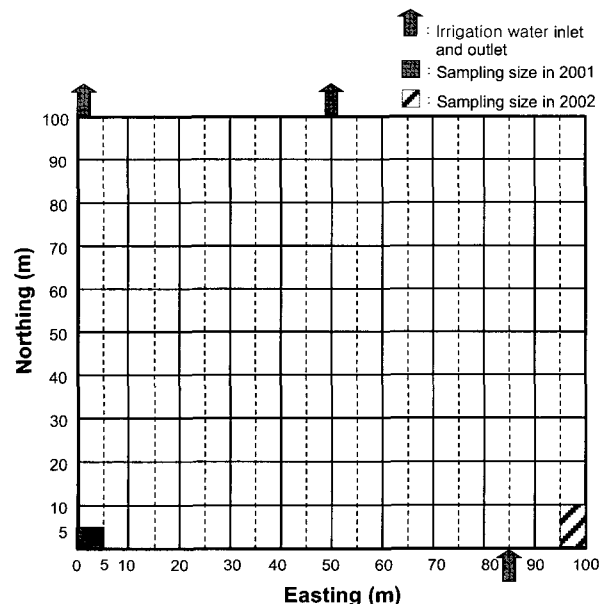


Fig. 1 The schematic diagram of Ansung test field.

나. 수원포장

1) 포장관리

수원포장은 1999년부터 농촌진흥청 농업기계화연구소에서 정밀농업시험포장으로 사용하는 곳으로서 토양의

이화학적 특성, 생육특성, 포장면 고저차 및 수량 등을 조사하였다. 포장면적은 0.3 ha(30 × 100 m)로 1973년에 0.3 ha로 경지정리하여 지금까지 논으로 사용하고 있다. 시비관리는 화학비료를 10 a당 질소 15 kg, 인산 5 kg 및 칼리 5 kg을 사용하였다. 포장에서 얻어진 벧짚은 계속적으로 포장에 환원시키고 있으며, 벧의 수량은 현미를 기준으로 평균 10 a당 550 kg을 얻고 있다. 수확작업의 종료시점부터 다음 해의 이앙시기까지의 포장관리는 깊이갈이를 하며, 이앙 2주전에 기비를 사용하고 관개수를 관개한 후에 로타리 경운을 수행한 후 이앙작업을 실시하였다.

2) 수량조사

1999년도 수량조사는 그림 2와 같이 1 필지를 5 × 10 m 크기로 총 60곳으로 분할하여 조사를 수행하였다. 조사 시기는 1999년도 10월 12일에 실시하였으며, 각 구획의 중심부에서 2조 × 10 m를 인력으로 예취하고 벧 수량을 계측하였다. 벧의 수분은 전기저항식 수분계(GMK-303, G-Won Mac. Co)를 이용하여 측정하였으며, 최종적으로 10 a당 수량으로 환산하였다. 2000년, 2001년 그리고 2002년도에는 1 필지를 5 × 5 m 크기로 총 120곳으로 분할하여 조사를 수행하였다. 조사시기는 2000년도에는 10월 2일, 2001년도에는 10월 8일 그리고 2002년도에는 10월 14일에 실시하였다. 조사방법은 2000년도와 2001년도에는 각 조사지점의 중심부에서 21주를 인력으로 예취하여 벧 수량을 계측하였으며, 2002년도에는 4조식 콤파인을 이용하여 1.2 m × 5 m를 수확하여 벧 수량을 계측하였다. 수량조사에 있어서 연차별 조사방법을 변화시킨 것은 조사시기에 있어서 인력문제와 조사 효율성 문제 등을 고려하였기 때문이며, 또한, 조사면적 변화에 따른 수량의 공간변이 차이 등을 살펴보기 위함이었다. 수분조사방법은 1999년도와 동일하다.

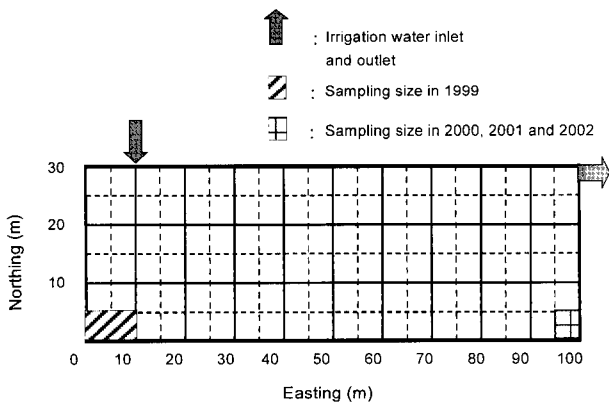


Fig. 2 The schematic diagram of Suwon test field.

다. 교토포장

1) 포장관리

교토포장은 1998년부터 교토포대의 정밀농업연구팀이 정밀농업시험포장으로 사용하는 곳으로서 화학비료를 10 a당 질소 6 kg, 인산 3 kg 그리고 칼리 6 kg을 사용하고 있다. 포장에서 얻어진 벧짚은 계속적으로 포장에 환원시키고 있으며, 벧 수량은 현미를 기준으로 평균 10 a당 600 kg의 수량을 올리고 있다. 수확작업의 종료시점부터 다음 해의 이앙시기까지의 포장관리는 수확 후 디스크 쟁기와 로터리 경운을 통해서 가을갈이를 하였으며, 이앙 2주전에 로터리 경운과 동시에 기비를 사용하였으며, 이앙 1주일 전에 관개수를 관개하고 3일전에 썬레질을 한 후 이앙작업을 실시하였다.

2) 수량조사

본 연구에 있어서 1999년도와 2000년도 수량조사는 그림 3과 같이 1 필지를 10 × 5 m 크기로 총 100곳으로 분할하여 조사를 수행하였다. 1999년도 조사시기는 10월 29일~11월 3일이며, 2000년도에는 10월 27일~31일에 콤파인을 이용하여 조사지점별로 수확작업을 수행하여 벧 수량을 계측하였다. 벧의 수분은 전기저항식 수분계(시즈오카제작소, GTR-800E)를 이용하여 측정을 하였으며, 최종적으로 10 a당 수량으로 환산하였다.

라. 통계 분석

수량정보의 기술 통계값인 평균값, 변이계수 그리고 빈도분포 등은 통계해석 프로그램 SYSTAT8.0을 이용하여 구하였다. 공간변이 해석에는 공간통계학 해석용 소프트웨어인 GS⁺ Version 3.1 for Window(Gamma Design Software)를 이용했다(Stewart, 1985 ; Robertson, 1998).

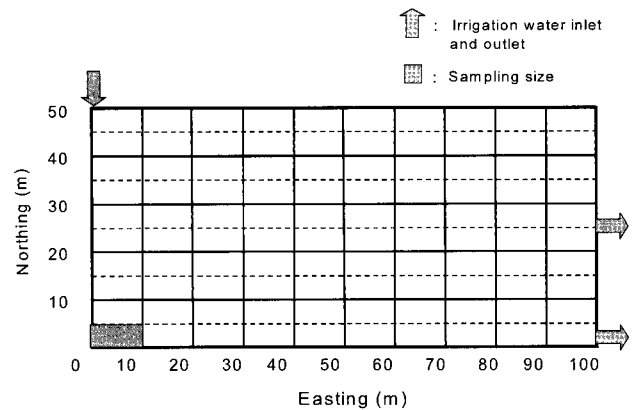


Fig. 3 The schematic diagram of Kyoto test field.

3. 결과 및 고찰

가. 공간변이 해석

표 1은 측정된 수량정보의 포장별, 연도별 최소값, 최대값, 평균값, 최소수량과 최대수량의 차이를 나타내는 수량차 그리고 변이계수를 나타낸 것이다. 포장별, 연도별 수량의 평균값을 살펴보면 454~734 kg/10a 정도로 일반적인 수량분포라고 할 수 있었다. 평균수량의 연차별 변화를 살펴보면, 안성포장의 경우 연차별로 약 100 kg의 차이를 보였으며, 수원포장은 연차별로 240 kg의 큰 차이를 보였다. 안성포장에서의 연차별 수량변이는 재배 품종의 영향을 약간은 반영한 것이라 생각되었다. 그러나, 수원포장에서의 연차별 큰 수량차이는 태풍피해와 목도열병 발생에 따른 수량감소 때문으로 판단되었다. 교토포장의 경우는 연차별로 큰 차이가 없었다. 이는 태풍피해를 전혀 입지 않았으며, 철저한 병·해충 관리의 결과라 생각되었다. 각 포장내에서의 수량차 즉, 최소수량과 최대수량의 차이를 살펴보면 200 kg 이상의 큰 변이를 보였다. 더욱이, 변이계수를 살펴보면 변이가 가장 낮은 교토포장이 5.9~6.4 %, 수원포장과 안성포장이 11.9~22.3 %의 큰 변이를 보였다. 이는 한 필지의 포장내에서도 큰 수량변이가 존재함을 의미하는 것이며 지금까지 벼 재배 포장내에서 수량 차는 크지 않다는 의견에 대한 반증으로서, 이것은 논 포장에 있어서도 정밀농업의 적용가능성을 보여준 것으로 판단되었다.

나. 수량의 빈도분포

표 2는 포장별 연차별 수량의 빈도분포를 나타낸 것이며, 그림 4, 5 그리고 6은 포장별 수량의 빈도분포를 나타낸 것이다. 각 포장별 수량분포를 살펴보면, 안성포장은 91 % 이상이 10a당 400~850 kg의 수량변이를 보였으며, 수원포장은 90 % 이상이 10 a당 350~850 kg을 보였다. 그리고 교토포장은 95 % 이상이 10 a당 600~800 kg의

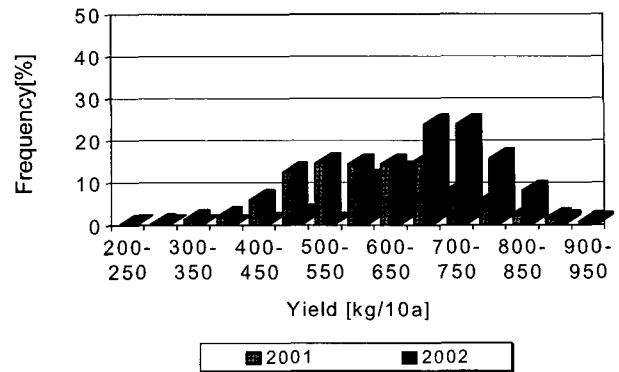


Fig. 4 Histogram of paddy rice yield at Ansung test field.

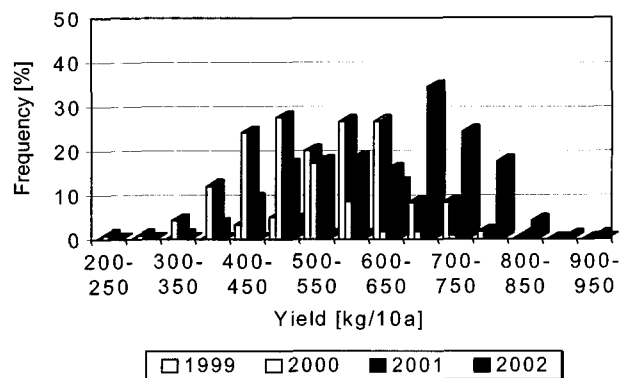


Fig. 5 Histogram of paddy rice yield at Suwon test field.

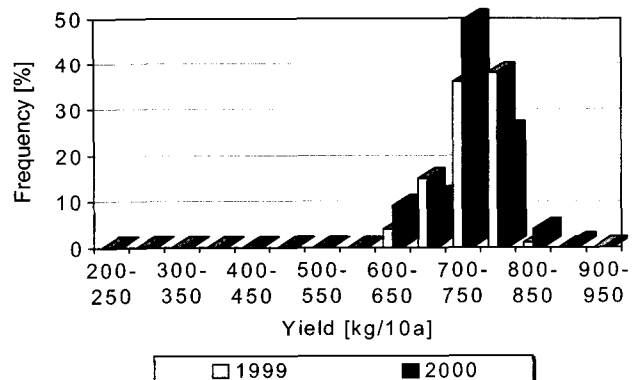


Fig. 6 Histogram of paddy rice yield at Kyoto test field.

Table 1 Descriptive statistics of paddy rice yield

Test field	Ansung		Suwon				Kyoto	
	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000
Investigation year	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000
Min. (kg/10a)	277	432	407	100	346	467	601	610
Max (kg/10a)	930	905	779	742	946	878	802	882
Aver. (kg/10a)	599	694	592	454	563	696	734	729
Diff. (kg/10a)	653	472	372	642	600	411	201	272
C. V. (%)	19.9	11.9	12.3	22.3	18.6	10.5	5.9	6.4

Table 2 Frequency distribution of paddy rice yield

Yield (kg/10a)	Ansung		Suwon				Kyoto	
	2001 (%)	2002 (%)	1999 (%)	2000 (%)	2001 (%)	2002 (%)	1999 (%)	2000 (%)
200~250	0	0	0	0.86	0	0	0	0
250~300	0.26	0	0	0.86	0	0	0	0
300~350	1.31	0	0	4.31	0.83	0	0	0
350~400	2.09	0	0	12.1	3.33	0	0	0
400~450	6.01	0.51	3.33	24.1	9.17	0	0	0
450~500	12.5	2.54	5	27.6	16.7	4.20	0	0
500~550	14.6	0.51	20	17.2	17.5	0.84	0	0
550~600	14.4	10.7	26.7	8.62	18.3	0.84	0	0
600~650	14.4	12.7	26.7	1.72	15.8	12.6	4.26	9.09
650~700	15.1	23.9	8.33	1.72	8.33	34.5	16	11.1
700~750	8.36	23.9	8.33	0.86	5.83	24.4	38.3	49.5
750~800	6.01	15.7	1.67	0	1.67	17.6	40.4	25.3
800~850	2.61	8.12	0	0	1.67	4.20	1.06	4.04
850~900	1.57	1.02	0	0	0	0.84	0	1.01
900~950	0.78	0.51	0	0	0.83	0	0	0

수량분포를 나타내어 연차별로 약간의 차이는 있었다. 이것은 시비관리 및 포장관리를 연차별로 유사하게 함에도 불구하고 이런 결과가 나온 것은 연차별 기상조건과 병·해충 발생정도에 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다. 따라서, 정밀농업을 적용하기 위해서는 연차별 기상정보의 수집과 병·해충 발생과 관련된 정보를 수집하고 수량조사도 일회성이 아니라 연차별로 계속해서 조사하고 데이터 베이스화할 필요가 있다고 판단되었다.

이 결과에 따르면 4조식 콤바인의 평균작업속도를 0.8 m/s, 평균수량을 350~850 kg/10a으로 가정할 때, 초당 곡립유량은 0.34~0.82 kg으로 산정되므로 수확량 모니터링 시스템의 곡물유량센서를 개발함에 있어서 이 수량범위를 작동범위에 포함시켜야 할 것으로 판단되었다.

다. 공간의존성 해석

그림 7, 8 및 9의 좌측은 수량정보에 관한 세미베리어그램을 표시하고 있으며, 공간의존성의 지표값을 표 3에 표시하였다. 세미베리어그램의 형태와 함께 공간구조의 정도를 표시하는 Q값과 의존거리를 표시하는 라인지에 있어서 포장별로 큰 차이를 보였다. 즉, 공간구조의 발달 정도를 표시하는 Q값이 안성포장에서는 0.68~0.69, 수원포장에서는 0.68~0.94 그리고 교토포장에서는 0.68~0.97을 표시했다. 의존거리를 표시하는 라인지는 안성포장에서는 6.9~462 m, 수원포장에서는 7.2~52 m 그리고 교토포장에서는 14~53.3 m로 나타났다. 이 시험결과에 의하면 수량조사에 있어서 요구되는 이론적인 샘플링 간격은 6.9m 이내가 적정하다고 판단되었다.

Table 3 Geostatistical parameters of paddy rice yield

Test field	Ansung		Suwon				Kyoto	
	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000
Investigation year	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000
Nugget (N)	4,410	4,040	280	4,230	3,190	4,350	683	60
Sill (S)	13,900	13,190	4,447	13,030	11,300	5,422	2,159	1,941
Range (R)	6.9	462	7.2	48.1	13.5	52.0	53.3	14
Q value	0.683	0.694	0.937	0.675	0.718	0.198	0.684	0.969
Fitting Model	Exponential	Exponential	Spherical	Spherical	Exponential	Linear	Spherical	Spherical
R ²	0.416	0.850	0.280	0.992	0.723	0.101	0.864	0.699

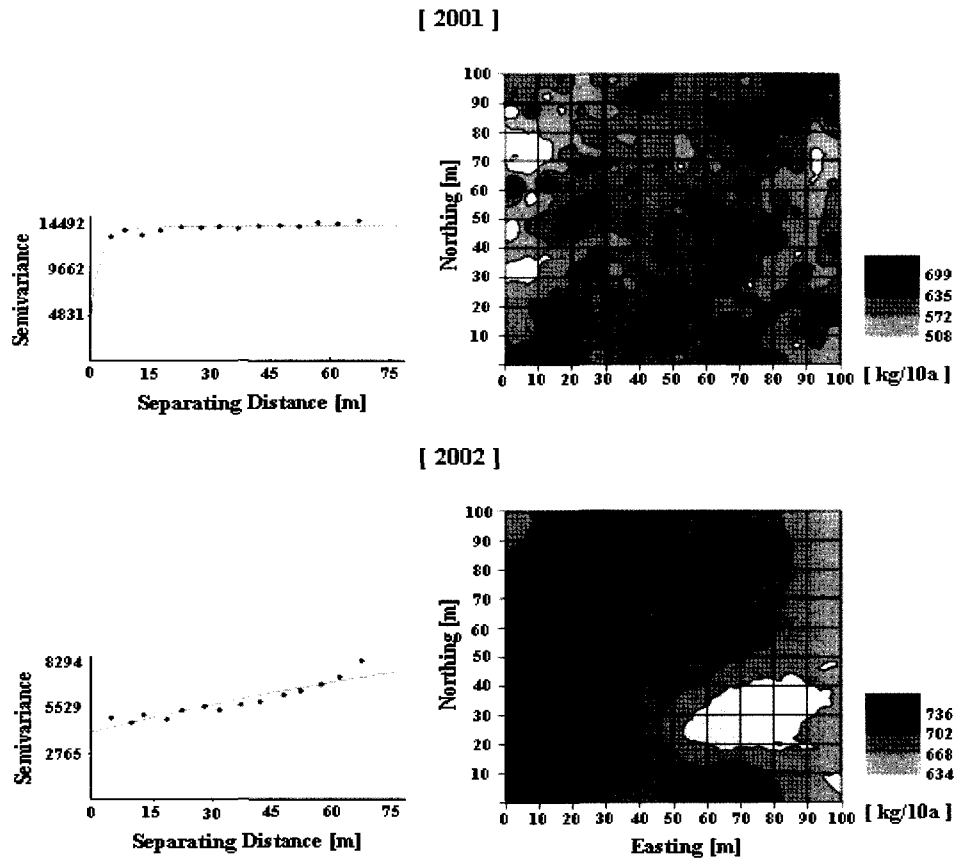


Fig. 7 Semivariogram and Kriged maps of paddy rice yield at Ansung test field.

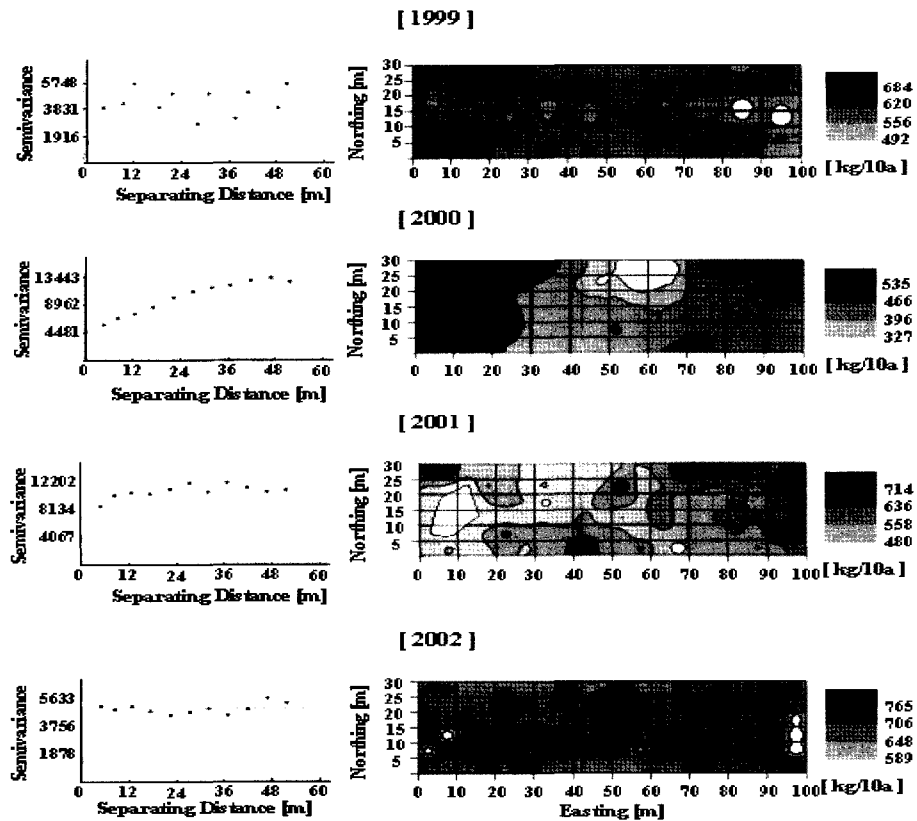


Fig. 8 Semivariogram and Kriged maps of paddy rice yield at Suwon test field.

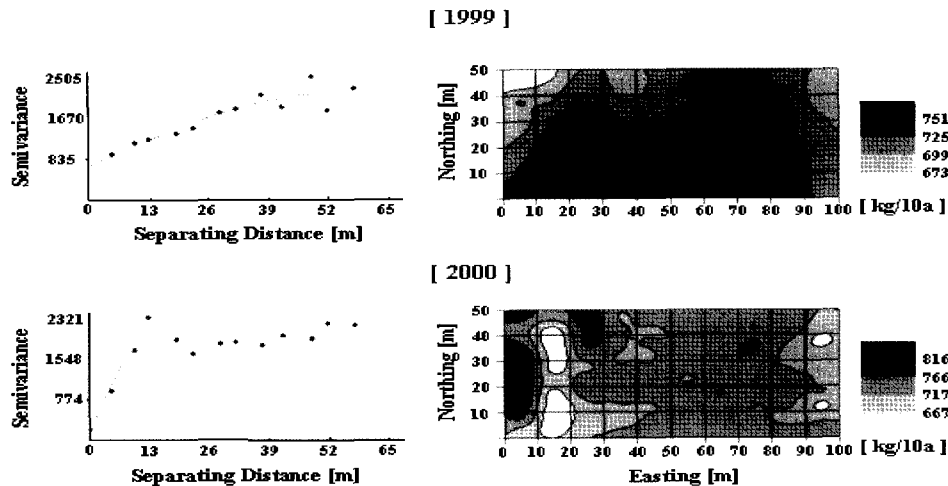


Fig. 9 Semivariogram and Kriged maps of paddy rice yield at Kyoto test field.

더욱이, 그림 7, 8 및 9의 우측은 이상의 결과에 기초해 크리징 방법에 의해 작성된 수량지도로서 포장내의 공간변이를 나타낸다. 세미베리어그램에서 표시된 것과 같이 각 수량정보는 공간의존성을 나타내었으며, 포장내에서의 수량정보는 해마다 변동하고 있는 것을 알 수 있다.

4. 적 요

논 포장에 있어서 벼 수량의 연차별 공간변이를 살펴 보기 위해 포장면적, 조사년도, 조사방법 및 재배품종 등이 각각 다른 안성포장, 수원포장, 교토포장에서 수집된 수량정보를 이용하여 기술통계와 함께 공간통계학적 개념을 도입하여 해석한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

(1) 포장면적, 조사년도, 조사방법 그리고 품종에 따라 한 필지의 포장내 수량분포는 100~946 kg/10a의 큰 변이를 보였고, 최대수량과 최소수량의 차이는 272~653 kg/10a를 보였으며, 변이계수는 5.9~22.4 %의 큰 공간변이를 보였다.

(2) 수량빈도 분포로부터 보면 약 90 % 이상의 수량이 10 a당 350~850 kg의 수량범위를 나타내었다. 이 결과에 따르면 4조식 콤바인의 평균 작업속도를 0.8 m/s로 가정하고 평균수량이 350~850 kg/10a이라고 한다면, 수확량 모니터링 시스템 개발에 있어서 초당 곡립유량은 0.34~0.82 kg으로 산정되므로 곡물유량센서를 개발함에 있어서 이 수량범위를 작동범위에 포함시켜야 할 것으로 판단되었다.

(3) 수량정보의 공간의존성 해석결과에 의하면 수량의 공간구조를 나타내는 Q값은 0.20~0.97이며, 그 의존거리를 표시하는 범위는 6.9~53.3 m로 나타났다. 따라서,

이 시험결과에 의하면 수량정보의 이론적인 샘플링 간격은 6.9 m 이내가 적정하다고 판단되었다.

(4) 논 포장에 있어서 유사한 포장관리를 함에도 불구하고 수량의 연차별 차이가 발생하는 또 다른 주 원인은 연차별 기상조건과 병·해충 발생 정도로 생각되며, 정밀농업을 논 포장에 적용함에 있어서 포장정보 외의 이러한 외적인 정보들도 데이터베이스화할 필요성이 있었다.

참 고 문 헌

1. Robert, P. C. 1999. Precision Agriculture : Research needs and status in the USA. Precision Agriculture 99 Part(1):19-33.
2. 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)
3. Stewart, B. A. 1985. Advances in Soil Science, Vol(3): 8-34.
4. Robertson, G. P. 1998. GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan, USA.
5. Chung, S. O., W. K. Park, Y. C. Chang, D. H. Lee and W. P. Park. 1999. Yield mapping of a small sized paddy field. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 24(2):135-144.(in Korean)
6. 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)
7. Lee, H. S. and K. U. Kim. 2003. Dry matter, Nitrogen content, Chlorophyll and Yield maps of rice by different rates of nitrogen application and their correlations. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 28(4):361-368.(in Korean)
8. Lee, H. J., J. H. Chung, J. H. Seo, S. H. Lee and C. H. Yi. 2003. Effect of variable rate fertilization of nitrogen in direct seeded rice yield. *The Korean Society of Precision Agriculture* 2:37-41.
9. Choi, M. K., N. H. Back, H. K. Park, J. H. Lee, S. S. Kim, B. C. Jang, C. H. Ryu, J. K. Lee and C. K. Lee. 2003. Influences of variable-rate N application on spatial variation of rice grain yield and protein content. *The Korean Society of Precision Agriculture* 2:73-81.