

## 벼 수확량 및 곡물 수분함량의 공간변이 해석

정지훈\* · 이호진\*<sup>†</sup> · 이승훈\* · 이창환\*\*

\*서울대 농업생명과학대학 식물생산과학부, \*\*신젠타 코리아(주)

### Spatial Variability Analysis of Rice Yield and Grain Moisture Contents

Ji-Hoon Chung\*<sup>†</sup>, Ho-Jin Lee\*, Seung-Hun Lee\*, and Chang-Hwan Yi\*\*

\*Dept. of Plant Science, Seoul National University, Seoul, 151-921, Korea

\*\*Syngenta Korea Ltd. Jincheon, Chungbuk, 365-841, Korea

**ABSTRACT** Yield monitoring is one of a precision agriculture technology that is used most widely. It is spatial variability analysis of yield information that should be attained with yield monitoring system development. This experiment was conducted to evaluate spatial variability of yield and grain moisture content in rice paddy field, and their relationships to rice productivity. It is necessary to minimize sampling interval for accurate yield map making or to control cutting width of rice combine. Considering small rice plots such as 0.2~0.4 ha, optimum size of sampling plot was below 15 m more than 5 m in width and length. In variable rate treatment field, average yield was similar, but yield variation was reduced than conventional field. Gap of yield by another plot in same field was bigger than half of average yield than yield variation was significantly big. Therefore yield measuring flow sensor must be able to measure at least 300 kg/10a more than 1000 kg/10a. Variation of moisture content in same field was not big and spatial dependence did not appear greatly. But, variation between different field is appeared difference according to weather circumstance before harvesting. Change of spatial dependence of yield was not big, because of field variation of moisture content is not big.

*Keywords* : rice yield, yield monitoring, geostatistics, grain moisture contents

**수확량** 모니터링 시스템의 개발은 미국에서부터 시작되어 점차 발전되어 왔으며, 현 시점에서 가장 활발하게 이용되고 있는 정밀농업 기술 중 하나이다. 수확량 모니터링 시스템은 포장내의 지점별 수확량을 GPS신호를 이용해 지점정

보를 얻고, 곡물 유량 센서를 이용해 시간별 수확량을 측정하고, 속도 센서를 이용해서 이동속도를 측정하고, 추가적으로 수분함량 센서를 이용해 지점별 곡물의 수분함량을 측정 결합하여, 이동속도별 유량을 이용해 지점별 수확량을 GPS의 위치신호와 함께 지도에 표시하며, 수분함량의 보정까지 한 번에 이루어지게 하는 종합적인 프로세스이다. 현재 실제로 많은 수확량 측정 시스템이 미국에서 출시되고 이용되고 있지만 미국에서 이용하는 시스템의 경우는 국내에서 주로 이용하는 자탈형 소형 콤바인과는 맞지 않으며, 곡종의 경우도 옥수수, 콩, 밀 등에 맞추어서 제작이 되고 있다. 또한 소형 콤바인에서 들어오는 곡물 유입량의 신호가 너무 작아서 미국에서 제작된 시스템을 국내 콤바인에 사용 시 오차도 크게 나타난다. 이로 인해 국내 콤바인에 적합한 수확량 모니터링 시스템의 개발이 필요한 것이다.

수확량 모니터링 시스템 개발과 함께 이루어져야 할 것이 수확량 정보의 공간변이성 해석이다. 이는 수확량이 전체 논 포장에서 어느 정도의 변이나 나타나며, 최소 유입량과 최대 유입량이 어느 정도 편차를 유지하는지를 알아야 센서 개발 시 적합한 측정범위를 알아낼 수 있으며, 추후 수확량 모니터링 시스템을 이용한 정보를 바로 지도로 제작 하는데도 이용할 수가 있다. 모니터링 시스템을 이용하지 않고 수작업을 이용해 수확한 포장에서의 지점별 수확량을 측정한 후에 샘플링 격자 크기에 따른 수확량의 공간변이성을 확인하고 이를 이용해 수확량 지도 작성 시 최소 샘플링 격자 크기를 결정할 수 있다. 일정 포장 내에서의 수확량을 통계학적, 공간통계학적 변이 해석을 통해 필지별 한계 수확량 변이를 확인해야 하며, 특히 수분함량이 수확량에 미치는 영향을 측정 및 조사해야 할 필요가 있다. 본 실험은 위와 같은 논 포장에서의 수확량의 공간변이성과 한계수확량 및 수분함량이 수확량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었다.

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-2-880-4556

(E-mail) hojinlee@snu.ac.kr <Received March 27, 2009>

## 재료 및 방법

콤바인을 이용해 지점별로 벼 수확량을 측정해 수확량의 공간변이를 확인하기 위해 2002년 10월 서울대학교 부속 실험농장 소재 중묘 기계이앙 재배 답작포장(0.2 ha) 두 포장 을 포장 주위의 3 m 가량은 변두리로 제외한 후 4.5 m × 4.5 m로 총 6×11=66개의 구획으로 구분하였다. 구획 구분을 완료한 후 각 구획별로 콤바인을 이용해 수확한 후 수작업을 통해 무게를 측정하였다. 구획별로 측정된 수확량 정보를 4.5 m × 4.5 m, 6×11=66구획, 4.5 m × 9 m, 3×11=33구획, 9 m × 4.5 m, 6×6=36구획, 9 m × 9 m, 3×6=18구획으로 각각 조정한 후 GS+ 소프트웨어를 이용해 공간의존도 해석 및 지도 작성을 하여 각각의 결과를 비교분석 하였다.

포장 내 수확량의 변이를 해석하기 위해서 2002년 10월 서울대학교 부속 실험농장 소재의 두 기계이앙 재배 답작 포장(0.2 ha)과, 전북 김제 만경평야 소재의 두 직파재배 포장(0.4 ha)에서 구획별 수확량 정보를 획득한 후 각 포장별로 통계분석을 통해서 포장 내의 재배 방법에 따른 수량변이를 조사 및 해석하였다.

또한 곡물수분함량의 수량기여도 공간 해석을 위해 각 포장의 수확작업 시 구획별로 샘플을 획득하여 수분함량을 측정한 후 수분함량 보정전과 보정후의 수량을 비교 분석하고, 수분함량과 수확량에 대한 비교 분석과, 수분함량 지도를 작성하여 수확량 지도와의 비교를 통해 수분함량과 수확량간의 관계를 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### Manual-based Map의 공간변이성 해석

실험에 이용된 포장은 서울대학교 부속 실험농장에 소재한 답작 포장으로 55.5 m × 35 m로 약 0.2 ha의 면적으로

두포장이 실험에 사용되었다. 2002년 5월 기계이앙 하였고, 포장 1은 기비에서 토양 검정에 따른 변량처리로 비료살포가 되었으며, 기비 이외의 분얼비와 수비, 그 외 재배에서는 작물시험장 수도표준재배법에 준하였다. 포장 2는 작물시험장 표준재배법에 준하여 재배하였으며, 공시품종은 추정 벼였다. 수확작업은 4.5 m × 4.5 m로 구획을 총 66구획으로 나누어 실시하였으며, 콤바인을 이용해 구획별로 수확 후 전부 하역하여 무게 측정과 수분함량 측정이 이루어졌다.

가로 11, 세로 6의 총 66구획으로 얻어진 수확량 정보를 세로 방향으로 2구획을 하나로 묶어 평균하여 4.5 m × 9 m로 3×11구획으로 정리하고, 가로 방향으로 2구획을 하나로 묶어 평균하여 9 m × 4.5 m로 6×6구획으로 정리하였으며, 좌우로 인접한 4구획을 통합 평균하여 9 m × 9 m로 3×6구획으로도 정리하였다. 각각에 정리된 수량정보를 GS+를 이용해 정리한 결과 표 1과 같은 공간통계 지수를 나타냈고, 그림 1은 포장1에서의 수확량 지도를 나타내고 있다.

Q값은 공간변이의 연속성을 나타내는 지표로  $Q = (Sill - Nugget) / Sill$ 로서 1에 가까울수록 공간변이의 연속성이 강하고, 0에 가까울수록 공간변이의 연속성이 없다고 판단할 수 있으며,  $R^2$ 값은 결과의 신뢰성을 나타내 준다. 결과를 검토하여보면 두 포장 모두 샘플링 면적이 가장 작은 4.5 m × 4.5 m 구획일 경우가 Q값과  $R^2$ 값을 함께 비교했을 때 가장 공간의존도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 짧은 방향으로 두 개의 구획을 통합한 4.5 m × 9 m의 경우도 높은 공간의존도 값을 나타내는 것을 알 수 있으며, 4.5 m × 4.5 m 샘플링 시와 Sill값과 range 값에서도 어느 정도 유사성을 나타냈고, 지도에서 보았을 때도 가장 유사한 형태를 나타내고 있다. 긴 방향으로 두 개의 구획을 통합한 9 m × 4.5 m로 샘플링 된 경우는 두 포장에서 모두  $R^2$ 값이 0이 나왔으며, Range 값이 크게 감소하는 경향을 나타내고 있지만 Q값은 높게 나타나고 있으며, 지도에서도 공간의존도가

Table 1. Geostatistical parameters of rice yield in different sampling size

	Sampling size	Nugget	Sill	Range	Q	$R^2$	Model
Plot1	4.5×4.5 m	0.425	1.005	13.30	0.577	0.741	Spherical
	4.5×9 m	0.001	0.998	12.51	0.999	0.494	Spherical
	9×4.5 m	0.022	0.915	4.50	0.976	0.000	Spherical
	9×9 m	0.105	1.005	10.65	0.896	0.008	Spherical
Plot2	4.5×4.5 m	0.270	1.025	11.97	0.737	0.712	Exponential
	4.5×9 m	0.007	0.988	11.49	0.992	0.562	Exponential
	9×4.5 m	0.001	0.957	4.5	0.999	0.000	Spherical
	9×9 m	0.267	0.929	17.88	0.713	0.998	Spherical

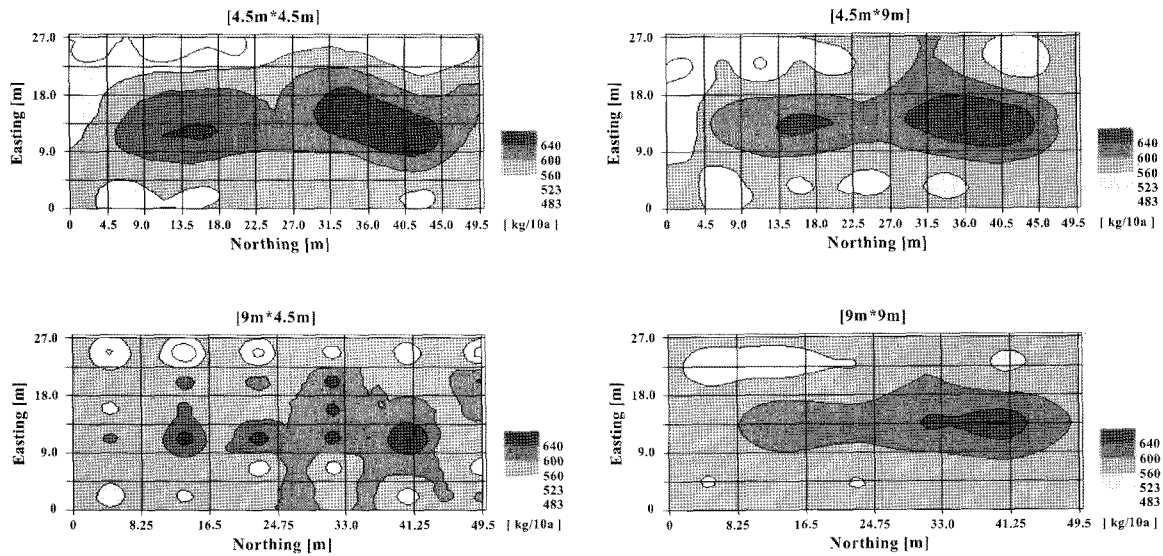


Fig. 1. Kriged maps of rice yield in different sampling size.

적게 나타나고 있지만 4.5 m × 4.5 m로 샘플링 한 경우와 어느 정도 유사한 수확량 분포를 나타내고 있다. 9 m × 9 m로 샘플링 된 경우는 두 포장에서 차이가 나타나고 있지만 공간의존도가 나타남을 알 수 있으며, 지도의 형태도 4.5 m × 4.5 m일 때와 유사하게 나타났다.

결과를 검토하여 보았을 때 우선 샘플링 결정에 이용되어야 할 것이 Range 값인데 Range 값은 대부분 10이상의 값을 나타냈으며, 실험포장보다 넓은 포장에서 실험을 수행한 경우는 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 정확한 수확량 지도 작성을 위해서는 샘플링 간격을 최소화 하는 것이 효과적일 것이나 콤팩트의 예취 폭과 포장면적을 고려하여 조절해야 할 것이다. Range 값을 기초로 유추하여 볼 때 포장구획이 10 m내외에서 결정되면 신뢰성 있는 수확량 지도를 획득할 수 있다고 볼 수 있으며, 가로와 세로의 구획길이는 차이가 나도 무관하다고 볼 수 있다. Sensor를 통해 얻어지는 수확량 정보는 일반적으로 수많은 점으로 이루어지기 때문에 추후에 일정넓이의 수확량을 통합하여 통계를 낼 수 있도록 조절하면 정확한 지도 작성을 이룰 수 있을 것으로 판단되었다. 수확량 정보 통계시의 한 구획의 넓이는 포장 면적에

따라서 조절이 가능하겠지만 가로 세로 길이로 봤을 때 5 m 이상 15 m이하가 적당할 것으로 판단되었다.

**한계 수확량 변이의 공간 해석**

한계 수확량 변이의 공간해석을 위해 총 4개 포장의 수확량 정보를 획득하였다. 서울대학교 부속 실험농장의 0.2 ha 답작 포장 2개(포장 1, 2)에서 2002년도에 공시품종 추청벼로 이앙재배가 이루어졌으며, 포장 1에는 기비 사용 시 토양검정에 의한 변량시비 처리를 하였다. 전북 김제 만경평야 소재의 0.4 ha 답작 포장(포장 3)에서는 2001년도에 공시품종 삼천벼를 이용한 이앙재배가, 2002년에는 공시품종 남평벼를 이용한 답수직파재배가 이루어졌으며, 2002년 재배 시는 수비 사용 시 토양검정에 따른 변량시비 처리를 하였다. 포장 1, 2는 4.5 m × 4.5 m, 6×11=66구획으로, 포장 3은 8.9 m × 9.8 m, 4×11=44구획으로 분할하여 수확량을 측정하였다. 구획별로 수집된 수확량 정보를 분석하여 각각의 포장에 대한 최대, 최소, 평균값과, 표준편차와 변이계수를 계산하였고(표 2), GS+를 이용해 공간의존도 분석 후 지도 작성을 실시하였다(표 3, 그림 2).

Table 2. Statistical parameters of rice yield

Plot	Maximum	Minimum	Average	S. D.	C. V.
Plot 1 transplanting	748.82	376.91	583.68	67.17	11.51
Plot 2 transplanting	722.78	352.20	585.80	73.00	12.46
Plot 3 transplanting	1020.56	750.56	861.90	68.29	7.92
Plot 3 direct seeding	872.61	587.44	660.64	60.72	9.19

Table 3. Geostatistical parameters of rice yield

Plot	Nugget	Sill	Range	Q	R <sup>2</sup>	Model
Plot 1 transplanting	0.425	1.005	13.30	0.577	0.741	Spherical
Plot 2 transplanting	0.270	1.025	11.97	0.737	0.712	Exponential
Plot 3 transplanting	0.707	1.903	48.4	0.628	0.657	Exponential
Plot 3 direct seeding	0.457	0.915	32.10	0.501	0.870	Spherical

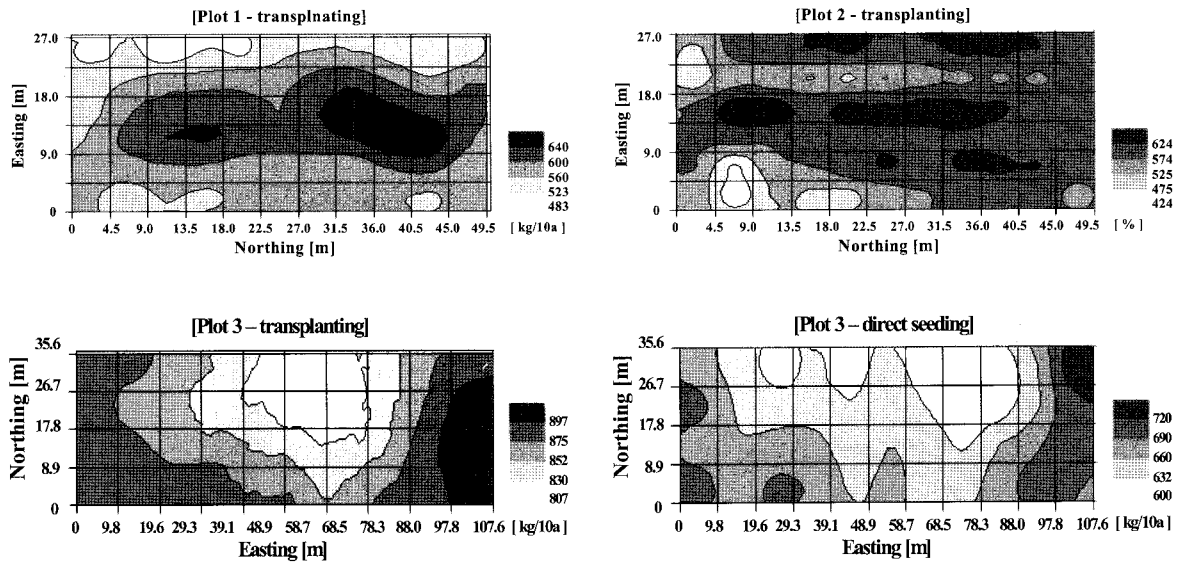


Fig. 2. Kriged maps of rice yield.

각 포장의 측정값을 보면 R<sup>2</sup>값이 0.6이상이고 Q값도 0.5 이상을 나타내고 있으므로 공간의존도는 존재한다고 볼 수 있다. Range값은 규모가 작고 한 구획 넓이가 좁은 포장 1, 2의 경우는 10이 조금 넘는 수치를 나타냈고, 포장 3의 경우 30 이상의 값을 나타냈다. 각 포장 수확량의 최대, 최소 값을 비교해보면 모두 300 kg/10a이상의 변이가 나타남을 알 수 있으며, 표준편차도 60이상이 나타났다. 포장 내 수량의 변이를 나타내기 위해 구한 변이계수를 보면 토질이 좋은 김제에서 포장 내 변이가 비교적 적게 나타나는 이양재 배를 한 2001년의 경우가 편차가 가장 적어서 7.92라는 가장 적은 값을 나타냈으며, 변량시비 처리가 된 직파포장인 2002년의 경우도 수원에서 재배된 이양재배 포장보다 적은 9.19로 나타났다. 변량시비 처리가 실시된 포장1의 경우 같은 조건에서 재배된 포장 2에 비해서 수량은 비슷하나 변이는 적게 나타남을 알 수 있었다.

각 포장내의 변이의 크기는 일반적으로 평균 수확량의 절반이상의 편차를 보이고 있으므로 포장내의 지점별 수확량의 변이는 상당하다고 판단할 수 있다. 특히 기상재해나 병해충, 백수현상 등 이상 현상이 발생할 경우는 포장내의 변

이가 더욱 증가하게 된다. Sensor를 이용한 수확량 측정에서는 위에서 나타난 값으로 보았을 때 최소 300 kg/10a 이하에서 최대 1000 kg/10a 이상까지 측정이 가능하도록 설계되어야 할 것이다. 이는 도정하지 않은 정조 수량 기준이며, 공시품종으로 이용된 품종들은 일반계 품종이기 때문에 초다수성 품종의 경우는 일반계에 비해 1.2배 이상의 수량이 나타나기 때문에 최대 1300 kg/10a 이상의 측정이 필요하다.

곡물수분함량의 수량기여도 공간 해석

정조 수량은 14%의 수분함량시의 수량으로 환산하여 이용하게 된다. 그러므로 수분함량은 수확량 정보 획득에 있어서 매우 중요한 사항이다. 곡물 수분함량의 수량기여도에 대한 해석은 위에서 기술했던 서울대학교 부속농장의 포장 1과 김제에서 2002년에 포장 3, 직파재배포장에서 얻어진 수량과 수분함량 데이터를 이용하였다. 우선 수분함량 보정 이전의 수량과 수분함량에 대한 분석 및 지도화를 한 후, 수분함량 보정 후의 정조 수량과 비교하여 수분함량이 수확량에 미치는 영향에 대해서 조사하였다.

표 4는 수분함량 보정 전후의 수량과 수분함량에 대한 통계수치를 나타내고 있으며, 표 5는 공간통계 수치를 나타내고 있다. 그리고 그림 3에서는 각각의 지도를 나타내고 있다. 수분함량은 한 포장 내에서의 변이가 큰 편은 아니었고 공간의존성도 크게 나타나지 않았다. 그러나 포장간의 변이는 수확 전의 기상상황에 따라서 차이가 나타나게 된다. 수원 지역의 실험포장에서는 수확 전 매우 건조한 기상상태가 계속되어 건조도가 매우 높아서 낮은 수분함량 분포를 보였으며, 이로 인해 수분함량 보정 전후의 수확량이 평균적인 수량과 공간적으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 김제의 농가 포장에서는 수확 전에 잦은 강우로 인해서 수분함량이 24% 이상으로 나타났으며, 이로 인하여 수확량 평균이 수분함량 보정 후 10a당 100 kg가까이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그러나 수분함량 자체의 포장 내 변이가 크지 않으므로 수확량의 공간의존도에 대한 변화는 크지 않았다.

일반적으로 콤파인으로 수확한 경우의 수분함량은 24% 정도를 나타내게 되는데 이는 14% 수분함량 보정 시에 건조 전 수량보다 12%가량 수치가 감소하기 때문에 수확 시 정확한 수분함량 측정은 정확한 수확량 정보 획득을 위해 필수적인 것이라고 할 수 있다. 센서를 통한 수확량 정보 획득시마다 동시에 수분함량 측정이 되는 것이 최선이겠으나, 기술적으로 어려움이 있다면 수분함량의 포장 내 변이는 크

지 않기 때문에 수확량 정보 획득과 약간의 시간적 오차가 있더라도 보정이 가능할 것이라고 생각되며, 수확량 정보가공 시에 구획별 대푯값을 얻어서 이용하는 것도 가능할 것으로 추정된다. 단, 구획별 대푯값으로 이용될 경우는 몇 번의 반복측정이 이루어져서 오차를 최소화 하여야만 보다 정확한 수확량 정보를 획득하는데 도움이 될 것이다.

적 요

수확량 모니터링 시스템의 개발은 미국에서부터 시작되어 점차 발전되어 왔으며, 현 시점에서 가장 활발하게 이용되고 있는 정밀농업 기술 중 하나이다. 수확량 모니터링 시스템 개발과 함께 이루어져야 할 것이 수확량 정보의 공간변이성 해석이다. 본 실험은 논 포장에서의 수확량의 공간변이성과 한계수확량 및 수분함량이 수확량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었다.

2002년 10월 서울대학교 부속 실험농장 소재의 두 기계이앙 재배 답작 포장(0.2 ha)과, 전북 김제 만경평야 소재의 두 직파재배 포장(0.4 ha)에서 구획별 수확량 정보를 획득한 후 각 포장별로 통계분석을 통해서 포장 내의 수량변이를 조사 및 해석하였다. 그리고 각 포장의 수확작업 시 구획별로 샘플을 획득하여 수분함량을 측정 후 수분함량 보정

Table 4. Statistical parameters of wet, dry yield and moisture content

	Plot	Maximum	Minimum	Average	S. D.	C. V.
Suwon	Wet yield	735.80	370.37	575.47	65.91	11.45
	Dry yield	748.82	376.91	583.68	67.17	11.51
	M. C.*	14.41	11.10	12.77	0.61	4.75
Kimje	Wet yield	996.17	668.54	753.94	69.78	9.26
	Dry yield	872.61	587.44	660.64	60.72	9.19
	M. C.*	27.40	22.57	24.63	0.99	4.03

\*moisture contents

Table 5. Geostatistical parameters of wet, dry yield and moisture content

	Plot	Nugget	Sill	Range	Q	R <sup>2</sup>	Model
Suwon	Wet yield	0.434	1.009	13.39	0.570	0.739	Spherical
	Dry yield	0.425	1.005	13.30	0.577	0.741	Spherical
	M. C.*	0.680	1.037	24.70	0.344	0.460	Linear
Kimje	Wet yield	0.478	0.957	40.10	0.501	0.915	Spherical
	Dry yield	0.457	0.915	32.10	0.501	0.870	Spherical
	M. C.*	0.089	1.023	8.90	0.913	0.000	Spherical

\* moisture contents

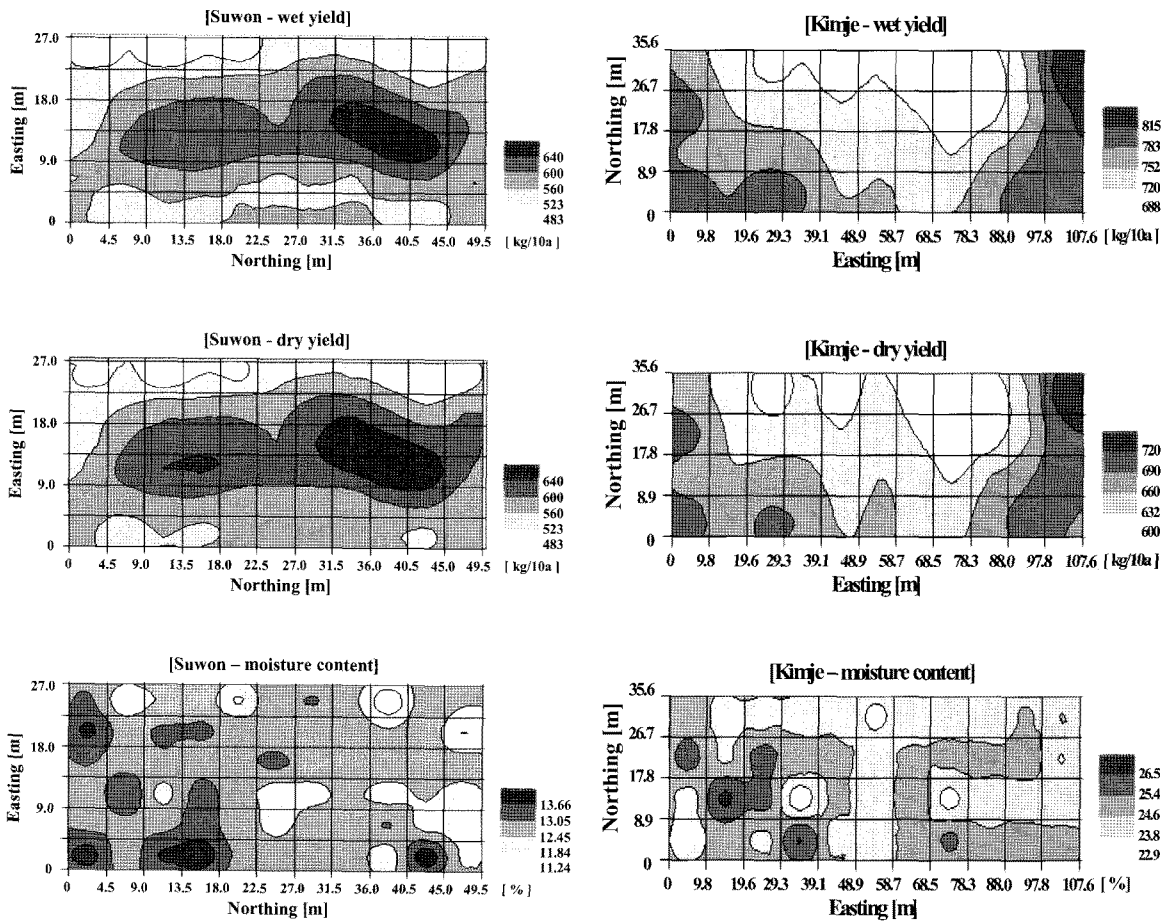


Fig. 3. Kriged maps of wet, dry yield and moisture content.

전과 보정후의 수량을 비교 분석하고, 수분함량과 수확량에 대한 비교 분석과, 수분함량 지도를 작성하여 수확량 지도와의 비교를 통해 수분함량과 수확량간의 관계를 조사하였다. 정확한 수확량 지도 작성을 위해서는 샘플링 간격을 최소화 하는 것이 효과적일 것이나 콤바인의 예취 폭과 포장면적을 고려하여 조절해야 할 것이다. 수확량 정보를 얻을 때 한 구획의 넓이는 포장 면적에 따라서 조절이 가능하겠지만 가로 세로 길이로 봤을 때 5 m 이상 15 m이하가 적당할 것으로 판단되었다.

변량시비 처리가 실시된 포장의 경우 같은 조건에서 일반 시비로 재배된 포장에 비해서 수량은 비슷하나 변이는 적게 나타남을 알 수 있었다. 각 포장내의 변이의 크기는 일반적으로 평균 수확량의 절반이상의 편차를 보이고 있으므로 포장내의 지점별 수확량의 변이는 상당하다고 판단할 수 있다. Sensor를 이용한 수확량 측정에서는 위에서 나타난 값으로 보았을 때 최소 300 kg/10a 이하에서 최대 1000 kg/10a 이상까지 측정이 가능하도록 설계되어야 할 것이다.

수분함량은 한 포장 내에서의 변이가 큰 편은 아니었고 공간의존성도 크게 나타나지 않았다. 그러나 포장간의 변이는 수확 전의 기상상황에 따라서 차이가 나타나게 된다. 수분함량 자체의 포장 내 변이가 크지 않으므로 수확량의 공간의존도에 대한 변화는 크지 않았다.

### 사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발연구과제와 농촌진흥청 현장협력기술개발사업의 연구비를 지원받아 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

### 인용문헌

서준한, 이호진, 정영상, 이승훈. 2002. 수도 포장의 토양 및 수량 지도작성과 변량시비 추진. 친환경정밀농업연구회지. 1(1) : 51-60.  
 이호진, 정지훈, 서준한, 이승훈, 이창환. 2003. 질소 변량시비

- 가 직파재배 벼 수확에 미치는 영향. 친환경정밀농업연구회지. 2(1) : 37-41.
- 정선옥. 1999. 정밀농업을 위한 GPS 이용기술. 농업기계화연구소 : 217-241.
- 홍석영. 1999. 작물 및 경지관리를 위한 RS 및 GIS 이용기술. 정밀농업과 기계기술 전략. 농업기계화연구소 : 187-216.
- Agricultural Primer: The Precision -Farming Guide for Agriculturists. 1997 John Deere Publishing Dept.
- Blackmore, S. 1998 A yield map primer, 日本機械學會 Seminar 23-37.
- Tatsuya Inamura. 1999. Research prospects of precision agriculture in crop science. Special Edition: Technology in the 21st Century precision agriculture. Journal of the Japanese society of agricultural machinery 61(4) : 12-13.
- Lee, C. K., J. Yanai, T. Kaho, and T. Kosaki. 2001. Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis of yield-determining factors. Soil Sci. Plant Nutr. 47(2) : 291-301.
- Isaaks, E. H. and R. M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press. New York.
- Reitz, P., Kutzbach, H.D., 1996. Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. Comput. and Electron. Agric. 14 : 137-150.
- Arslan, S., Inanc, F., Gray, J. N., Colvin, T. S., 2000. Grain flow measurements with X-ray techniques. Comput. and Electron. Agric. 26 : 65-80.
- Clay, D. E., Carlson C. G., et al., 2001. Cleaning yield data. Unpublished.