

## 소구획 경지에서의 벼 수확량 지도 작성

### Yield Mapping of a Small Sized Paddy Field

정선옥*	박원규*	장영창**	이등현*	박우풍*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S. O. Chung	W. K. Park	Y. C. Chang	D. H. Lee	W. P. Park

#### ABSTRACT

An yield monitoring system plays a key role in precision farming. An yield monitoring system and a DGPS were implemented to a widely used domestic combine for yield mapping of a small sized paddy field, and yield mapping algorithms were investigated in this study. The yield variation in the 0.1ha rice paddy field was measured by installing a yield flow sensor and a grain moisture sensor at the end of the clean grain elevator discharging grains into a grain tank. Yield map of the test field was drawn in a point map and a linear interpolated map based on the result of the field test. The size of a unit yield grid in yield mapping was determined based on the combine traveling speed, effective harvesting width and data storing period. It was possible to construct the yield map of a small sized paddy field.

**주요용어(Key Words):** 정밀농업(Precision farming), 수확량 지도(Yield map), 수확량 모니터링 시스템(Yield monitoring system), 디지털에스(DGPS), 포텐셜 맵핑(Potential mapping)

#### 1. 서 론

북미를 중심으로 한 농업선진국에서는 토지효율 및 생력화를 제고하고자 하는 사회·경제적인 요구와 농자재 과다투입에 의한 환경오염을 줄여야 한다는 환경적인 요구를 충족하기 위하여 정밀농업(precision farming)이란 새로운 농업표준을 채택하고 있다. 아울러 정밀농업에 사용되는 센서와 장비를 판매하는 회사들도 있으며 정밀농업 기법을 사용하는 농가도 증가하고 있다.

생물생산 분야에서 주로 적용되고 있는 정밀 농업

은 포장 및 작물을 통계적인 관점에서 분석, 처리하지 않고 수확량, 토양성분, 작물생육상태의 위치에 따른 변이(variation)를 인정하고 각 위치에 적절한 처리(site-specific application)를 하고자 하는 것이다. 정밀농업의 구현을 위하여 필요한 요소는 포장 및 작물의 위치에 따른 변이검출, 검출된 수확량과 포장속성(attribute)간의 상호관계 분석 및 처방, 처방에 근거하여 농자재 및 노동력을 투입하는 기술로 나눌 수 있다.

정밀농업에 필요한 여러 요소기술 중에서 수확량과 포장속성간의 상호관계 분석 및 처방은 다년간의

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* 서울대 농업생명과학대학 농업개발연구소

실험결과가 요구되는 광범위한 기술로 가장 어려운 부분이라고 할 수 있다. 이에 따라 현재 포장변이의 검출에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 수확량 모니터링 시스템(yield monitoring system) 개발, 토양관련 실시간 센서개발, 원격탐사(remote sensing) 기법을 이용한 토지이용 및 토양성분 분석에 관한 연구가 수행되고 있다.

수확량 모니터링 시스템을 개발하고 수확량 지도를 작성하는 것은 수확량의 변이정도를 측정하고 분석하여 처방하고자 하는 대상포장에 대한 정밀농업 전략을 세울 수 있기 때문에 가장 먼저 실용화되고 있는 부분이다.

Shearer 등 (1998)은 수확량 모니터링에 대해 포괄적인 소개를 하였고 Birrell 등 (1996)은 작물 수확량 지도 작성에 사용되는 여러 가지 센서 및 관련기술을 비교하였으며 Reitz 등 (1996)은 현재 콤바인 수확기에 사용되는 수확량 맵핑 시스템에 관하여 조사 연구를 수행하였다. Stafford 등 (1996)은 곡물의 수확량 변이를 해석하고 지도를 작성할 경우에 발생할 수 있는 문제점을 다루었다. Blackmore 등 (1996)은 수확량 지도를 작성하는 알고리즘과 오차원인을 분석하였으며 Thylen 등 (1996)은 콤바인에서 얻어지는 수확량 측정의 오차 조절법에 대하여 연구하였다.

우리 나라와 재배작물 및 농지규모가 유사한 일본에서도 정밀농업에 관한 연구가 증가되고 있다. Noguchi 등 (1998)은 정밀농업 연구를 전 국가적인 차원에서 계획, 추진해야 한다고 주장하고 해외의 전문가를 초청하여 일본의 실정에 적합한 정밀농업 형태를 찾고자 하였다. 아울러 Shibusawa 등 (1998)은 토양역학과 정밀농업의 개념을 연관하여 1m 단위의 격자로 나눈 포장에서도 NO<sub>3</sub>-N의 변이가 있음을 보고하였으며 Shoji (1998) 등은 30m×100m 크기의 소규모 논에서 벼의 수확량 지도를 작성하는 것이 가능함을 보였다.

우리 나라에서는 정밀농업의 기초 연구로서 전국 토양도에 관한 연구가 수행되고 있다. 김유학 등 (1998)은 정밀농업을 위한 효율적인 시비량 모델링 연구에서 “다가올 미래의 농업은 정보와 기술 등 모

든 것이 종합된 정밀농업이 될 것이고 시비추천 방법도 이에 맞도록 발전해야 할 것이다”라고 주장하였다. 농업기계분야에서 정밀농업에 관한 연구는 매우 초보적인 단계에 있으며 장영창 등(1998)이 농업 기계의 관점에서 정밀농업의 연구현황과 전망을 살펴보고 있다.

우리 나라에서는 아직까지 체계적인 정밀농업 연구가 이루어지지 않고 있는 실정으로 정밀농업의 구현을 위하여 국내 수확기에 적합한 수확량 모니터링 시스템을 개발하는 것이 연구의 큰 출발점이 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 외국에서 사용되고 있는 콤바인에 적용하여 소규모 논에서 벼 수확량 모니터링 시스템을 구성하고 수확량 지도작성 알고리즘을 제시하며 지도작성의 오차원인을 분석함으로써 국내 수확기에 대한 수확량 모니터링 시스템의 개발방향을 설정하고자 하였다.

## 2. 수확량 모니터링 시스템 구성

수확량 모니터링 시스템은 작물의 함수율에 기초하여 포장 전체의 수확량, 시간당 수확량, 면적당 수확량, 수확 지점의 수확량을 측정한다. 따라서 수확량 모니터링 시스템은 함수율 센서, 수확량 센서, 속도센서, 예취부 작동 유무 감지 센서, 디스플레이부, 데이터 저장 및 계산처리부, 전원부로 이루어진다.

대상포장에 대한 수확량 및 함수율 지도는 수확하는 콤바인의 위치를 자동으로 출력해 주는 지구위치 시스템(DGPS)을 이용하여 작성된다. 지구위치시스템에서 제공된 위치 자료는 지리정보시스템(GIS)에서 일컫는 공간자료가 되고 수확량이나 함수율은 그 공간자료와 결합된 속성자료가 된다.

본 연구에서는 미국의 Micro-Trak사에서 도입한 Grain-Trak을 이용하여 소규모 논에서의 수확량 모니터링 시스템을 구성하였다. 그림 1에 수확량 모니터링 시스템에 입력 및 출력 항목을 요약하였다. 곡물의 수확량 및 함수율, 주행속도, 수확지점의 3차원 좌표 등은 센서로 직접 검출되며 누적 수확량, 평균 수확량, 평균 함수율, 작업면적, 작업능률 등은 계산으로 구해진다.

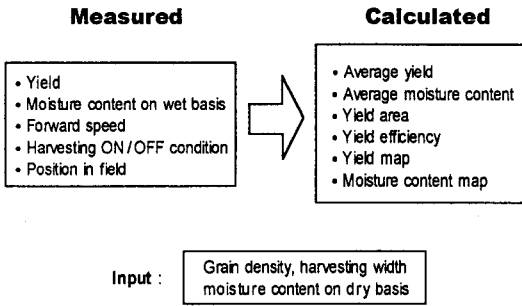


Fig. 1 The measured inputs and the calculated outputs of the yield monitoring system.

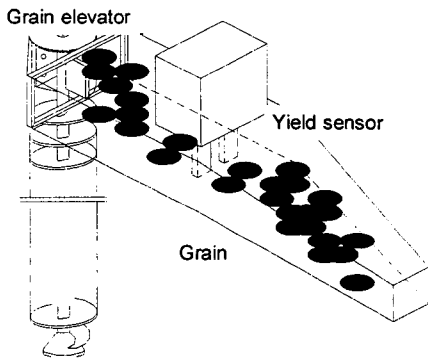


Fig. 2 The schematic diagram of the yield monitoring sensor and its attachments on grain flow.

가. 수확량 센서

본 연구에서 사용된 수확량 센서는 스트레인게이지를 이용한 방식으로 그림 2와 같이 스트레인게이지가 부착된 두 개의 갈퀴(fork)가 달려있어 갈퀴에 곡물이 부딪히는 힘의 크기를 검출함으로써 수확량을 계산한다. 이 센서의 버킷형식의 곡물이송 엘리베이터에 맞도록 개발되었으나 우리나라에서 사용되는 콤팩트는 일반적인 스쿠류식 엘리베이터를 채택하고 있어 곡물이 탱크로 이송될 때 흩뿌려지므로 곡물의 양을 검출하기 어렵다. 따라서 그림 2와 같이 곡물 이송터널을 부착하여 곡물이 탱크로 흩뿌려지는 현상을 줄였다.

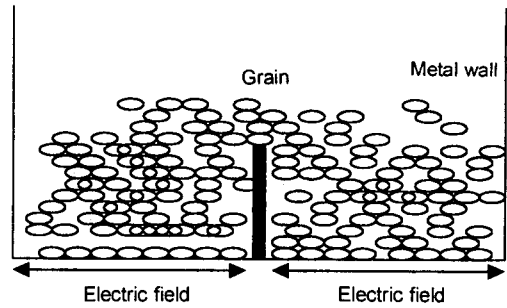


Fig. 3 The schematic diagram of measuring the moisture content of grain by capacitance variation.

나. 함수율 센서

함수율에 따라 벼의 수확량은 크게 변하기 때문에 습량기준으로 계측된 수확량은 함수율 보정을 통하여 건조시의 수확량으로 환산된다. 본 연구에서는 연속적으로 곡물의 함수율을 측정하기 위하여 그림 3과 같이 전극판을 설치하고 극판으로 곡물이 통과할 때 수분의 양에 따라 주파수 및 정전용량이 변하는 함수율 센서를 사용하였다.

센서의 출력신호의 특성은 투입되는 곡물의 밀도에도 영향을 받기 때문에 검출하는 위치에서는 곡물이 같은 밀도로 통과되도록 하는 것이 바람직하다. 또한 온도에 따라서도 검출되는 신호가 영향을 받기 때문에 온도를 검출하여 함수율을 보정한다.

함수율 센서의 장착위치로 곡물이 탱크로 유입되기 직전의 터널 끝을 선택하였다. 예비실험을 통하여 곡물이 수확량 센서를 타격한 후 터널의 굽어진 곳에 맞고 흐르는 부분이 함수율 측정의 적정 위치로 판단하였다. 특히 그 부분의 단면적을 줄여 센서를 통과하는 곡물의 항상 전극판을 덮을 수 있도록 하였다.

다. 속도 센서

본 연구에서는 그림 4와 같이 콤팩트 궤도의 축을 연장하고 자석과 마그네틱 센서를 장착하여 속도를

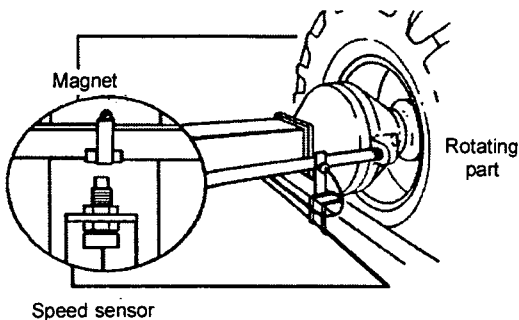


Fig. 4 The schematic figure of magnetic speed sensor and its attachments on a combine wheel.

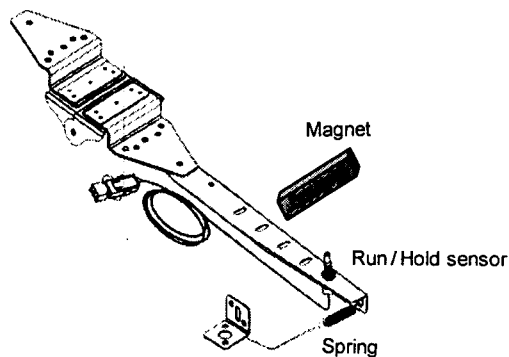


Fig. 5 The schematic configuration of Run/ Hold sensor.

측정하였다. 콤바인의 펄스당 주행거리는 630mm로 설정하였으며 마그네틱 센서로 검출되는 신호의 1 펄스 검출시간과 펄스당 이동거리를 기초로 속도를 계산하였다.

연산처리부에서는 측정된 작업속도와 미리 입력된 콤바인 작업폭으로 작업면적을 구하고 수확량 센서에서 계속된 값을 나누어 평균 수확량을 구하게 된다. 계산주기동안 계속된 수확량(Q), 콤바인 작업폭(w), 주행속도(v), 계산주기(t)로부터 평균수확량(q)은 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$q = \frac{Q}{w \cdot v \cdot t} \dots\dots\dots (1)$$

라. 예취부 작동 유무 감지 센서

콤바인이 수확을 할 때 예취부는 내리게 되고 단순히 주행을 할 경우에는 예취부를 올리게 된다. 본 연구에서는 예취부의 작동 유무를 감지하기 위하여 속도센서와 같이 자기방식의 센서를 이용하였다.

예취부 몸체에 자석을 설치하고 고정부에 마그네틱 센서를 부착하여 예취부의 위치에 따라 예취부의 작동유무를 판단하였다(그림 5). 특히 콤바인의 걷어올림장치가 예취부와 함께 상하운동을 한다는 점에 착안하여 걷어올림장치 상단에 센서를 장착하였다.

예취부 작동상태가 검출되면 DGPS로 측정된 위치와 그 위치에서의 센서 입력값을 결합하여 저장하게 된다. 예취부가 작동하지 않을 경우 자료의 저장은 멈추게 되어 콤바인이 수확된 벼를 배출하고 다시 수확위치로 이동하더라도 그 자취는 수확량 지도에 나타나지 않도록 조정하였다.

3. 수확량지도 작성 알고리즘 및 오차발생

수확량 지도는 포장내의 수확량 변이를 시간적으로 표현함으로써 작업자가 변이를 쉽게 파악할 수 있도록 해주며 토성, 작물 생육상태에 대한 지도와 결합할 수 있는 기초가 된다. 위도, 경도, 수확량의 결합형태로 지도를 작성할 경우, 수확량 모니터링 시스템과 수확량 지도 작성 소프트웨어에 설정되는 값의 부정확성과 가변성으로 인하여 지도작성의 오차가 발생한다.

가. 수확량 지도작성 알고리즘

수확지점의 위치와 수확량은 점 형태의 자료로 얻어지며 이 자료를 수확량 지도에 그대로 표시할 경우 작업자가 전체 포장에 대한 수확량 변이를 판단하기 어려울 뿐 아니라 수확량 자료의 일부를 수집하지 못할 때에는 지도작성이 어렵게 된다. 따라서

본 연구에서는 검출된 자료를 이용하여 수확량 지도를 작성할 때 이를 보완하는 스무딩(smoothing) 알고리즘을 고려하였다.

수확량 지도를 작성할 때 점 형태로 얻어지는 자료를 보완하기 위해 대표적인 방법으로 크리징(kriging) 보간법, 거리역비례 (inverse squared) 보간법, 포텐셜지도법(potential mapping)이 사용된다.

1) 크리징 보간법

크리징 보간법은 BLUE(best linear unbiased estimator)로 정의된 추정법을 통하여 얻어진 자료를 가중선형조합으로 보간한다. 이 방법은 토양도(soil map), 광물도(mineral map), 수확량 지도(yield map) 등에 대하여 중간의 자료를 얻지 못해 보간이 필요한 경우에 적합하다.

2) 거리역비례 보간법

거리역비례 보간법은 추정치를 거리에 반비례한 가중치로 보간하는 방법으로써 선형 불편추정이지만 분산을 최소화하지는 않는다. 추정치 계산식은 식 2와 같다.

$$\hat{y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} y_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \dots\dots\dots (2)$$

3) 포텐셜 지도법

포텐셜 지도법은 일정면적 안에 있는 자료를 더하거나 평균을 구함으로써 수확량 지도의 높낮이를 보다 부드럽게 하는 방법이다. 단위면적의 크기가 증가함에 따라 모서리 부분의 자료가 감소되는 효과가 나타나므로 이를 해결하기 위하여 사지수형(quadtree)면적 분할법을 사용하기도 한다.

나. 오차의 발생

수확량 모니터링 시스템 및 지도작성 소프트웨어의 일반적인 오차 발생은 다음과 같이 요약된다.

- ① 예취폭이 수확기간동안 일정하지 않기 때문에 발생하는 예취폭 결정의 오차
  - ② 예취된 후 탈곡, 선별과정을 거쳐 수확량 센서에 도달하는데 걸리는 시간 지연
  - ③ DGPS가 가지는 위치 오차
  - ④ 콤바인 내에서 곡물 흐름이 일정하지 못하기 때문에 생기는 수확량의 변이
  - ⑤ 콤바인의 곡물 손실량
  - ⑥ 센서 정밀도 및 교정상태, 시스템 응답 특성
- 문헌에 따르면 상기 원인 중에서 ①, ②번 오차의 영향이 가장 큰 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 수확량 지도의 분석에 주요 오차의 영향을 주목하였고 아울러 기체가 경사지는 경우, 센서 설치부위가 약해져서 진동이 가해지는 경우, 속도센서의 정밀도, 함수울 센서에서 전극판 주변에 풀이 붙은 경우 등을 고려하고자 하였다.

4. 재료 및 방법

본 연구에서는 공시 콤바인으로 대동 3조 콤바인(R1-301)을 사용하였다. 예취폭은 1.2m, 자료 저장간격은 3초, 예취부에서 곡물탱크에 곡물이 도달하는 시간은 예비시험을 통하여 12초로 설정하였다. 그림 6은 실험에 사용된 수확량 모니터링 시스템과 DGPS를 이용하여 수확작업을 수행하는 모습을 보여주고 있다.

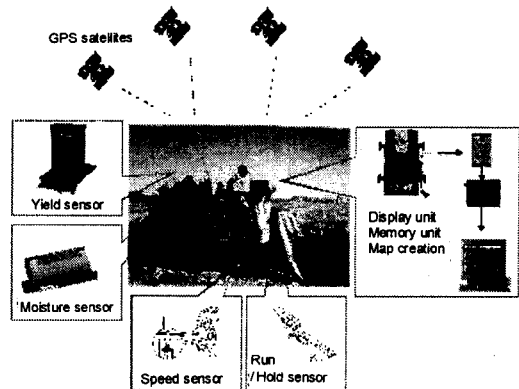


Fig. 6 The yield monitoring system in the study.

벼의 품종은 '일품'으로 수확한 면적은 0.1ha이었고 수확시 가비중은 함수를 18.1%에서 601.1kg/m<sup>3</sup>이었다. 수확실험은 수원시 권선구 입북동에 위치한 농업기계화연구소 시험포장에서 수행되었으며 토양 강도가 경반에서 15kg/cm<sup>2</sup>, 수분 함량이 32%로 나타나 콤바인의 슬립이 심하지 않은 상태로 판단하였다.

수확실험은 모니터링 시스템의 교정실험과 수확량 지도 작성실험으로 나누어 수행하였다. 교정실험의 경우 곡물탱크에 곡물이 찰 때까지 벼를 수확한 후 무게를 측정하고 임의로 벼를 5번 채취하여 라이스타 K-305 수분측정기로 곡물 함수율을 측정하였다. 이 값과 수확량 모니터링 시스템에서 제시된 값을 비교하여 교정값을 입력하였다. 교정실험은 2회를 수행함으로써 시스템의 정밀도를 높이고자 하였다. 수확량 지도를 얻기 위한 수확작업은 일반적인 작업 형태인 회행 후 왕복작업으로 수행하였다.

수확량 모니터링 시스템에서 제공하는 자료중에서 본 연구에서는 위도, 경도, 수확량(kg/hr), 함수율(%)을 이용하였다. 이 자료로부터 거리반비례 보간법, 포텐셜 지도법을 위한 값을 계산하였고 DGPS의 위도/경도 위치자료로부터 (x, y) 좌표를 구하였다.

수확량 지도는 3가지 방법으로 작성하였다. 먼저, 구입한 수확량 모니터링 시스템의 자체 프로그램을 사용하여 지도를 그린 후 알고리즘의 타당성을 검토하였고 그 다음 자료 변환과정을 거쳐 얻어진 결과로 보간된 2차원 및 3차원 지도를 구하였다. 또한 포장 내 수확량 변이를 얻기 위한 적정 단위구획의 크기를 구하기 위하여 단위구획의 면적을 변화시키면서 수확량 지도의 변화를 분석하였다.

### 5. 결과 및 고찰

수확량 모니터링 시스템에서 측정된 총 수확량은 1,150kg으로 나타났으며 실제 측정된 수확량 1,184 kg과 비교할 때 총 수확량의 오차는 2.9%로서 구성된 시스템은 비교적 정확하게 수확량을 측정할 수 있는 것으로 판단되었다. 또한 시스템 센서가 측정

한 평균함수율은 18.1%로 함수율 측정기가 제시한 함수율 평균치와 차이가 없었다.

#### 가. 수확량 지도(오차처리 전)

수확량 모니터링 시스템에서 제공하는 자체 지도 작성 프로그램을 이용하여 실험 결과를 처리하였다. 그림 7은 습량기준 수확량 지도이며 그림 8은 함수

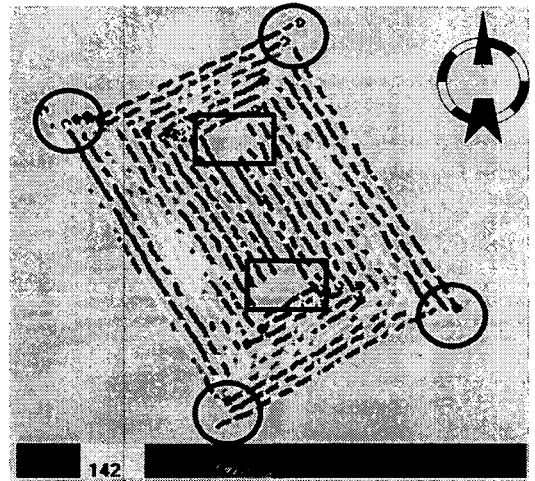


Fig. 7 A yield map of an experimental paddy field on wet basis.

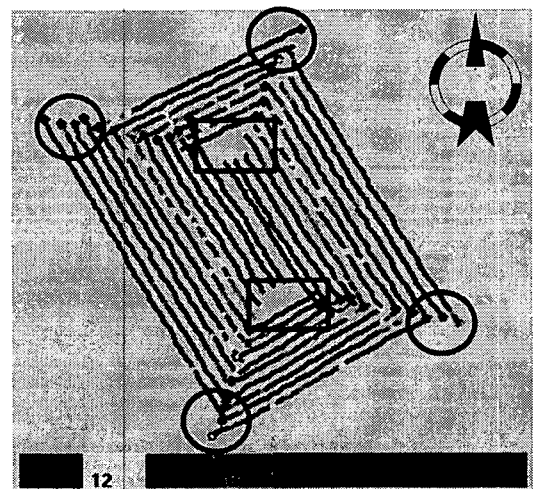


Fig. 8 A moisture content map of an experimental paddy field.

을 지도를 나타낸다. 수확량 지도와 함수율 지도는 해당지점의 수확량과 함수율을 나타내고 있으며 단위는 각각 kg ha과 % 이다.

실험포장에 대해 수확량 총합과 함수율 평균은 수동 측정값과 거의 일치하였으나 작성된 지도로부터 콤바인의 회전구간에서 모양이 어긋나 있음을 알 수 있다. 그림에서 원으로 둘러 쌓인 부분에서는 실제로 수확작업을 하지 않고 콤바인이 진입하는 구간임에도 수확량이 표시되었으며, 직사각형으로 표시된 부분에서는 수확작업이 수행되었으나 수확량은 표시되지 않았다. 또한 왕복주행 구간에서 진입하는 부분은 수확량이 중복되어 표시되었다. 이러한 경향은 함수율 지도에서도 마찬가지로 나타났다.

이러한 부분이 나타나는 원인은 두 가지로 생각할 수 있다. 수확량 모니터링 시스템에서 자료를 저장하는 방법이 작업시점과 맞지 않거나, 벼가 예취부에서 탱크로 도달하는 시간 및 예취폭 등 모니터링 시스템 설정값을 전체 포장에 대하여 일률적으로 적용하기 때문에 오차가 발생된 것으로 판단된다.

본 연구에서 구성된 시스템은 예취부 센서에서 예취부가 작동하고 있다는 신호가 들어오면 자료를 저장하고 예취부가 작동하지 않는다는 신호가 들어오면 자료를 저장하지 않는다. 따라서 수확하기 2~3 초 전에 예취부를 내리면 메인 프로세서는 이때부터 DGPS 위치와 각 센서의 값을 저장하게 되어 진입부분에서 수확량 자료가 나타나게 된다. 또한 자료가 연속적으로 저장되는 것이 아니라 일정한 주기로 저장되기 때문에 예취부가 들어올려지기 바로 전의 자료는 DGPS 위치신호를 놓치게 되어 저장되지 않기 때문에 빈 공간이 생기게 된다. 이런 현상은 포장 크기가 충분히 큰 경우에 문제가 되지 않으나 소구획 포장에서는 올바른 형태의 수확량 지도를 얻을 수 없다. 특히 수확량이 중복되어 나타난 부분은 수확이 많이 된 것처럼 보이게 된다.

수확량 지도로부터 포장 외곽부의 네 변을 따라 수확량이 전체적으로 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 이 부분은 수확작업 시에 작업폭 1.2m를 모두 사용하지 못하였기 때문에 발생한 오차이다.

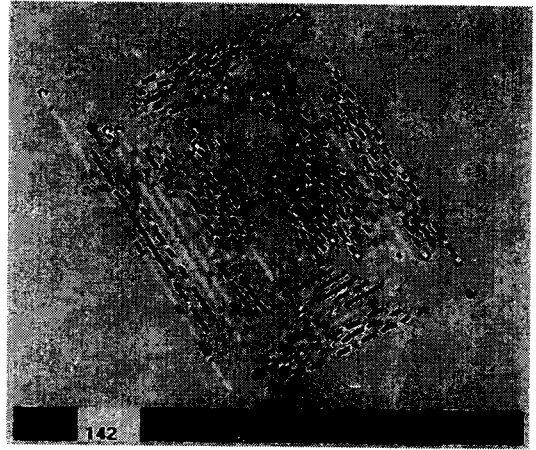


Fig. 9 A yield map of an experimental paddy field after error correction.

#### 나. 수확량 지도(오차처리 후)

그림 9는 중복된 부분, 회전하면서 자료가 일정하게 입력되지 못한 부분을 삭제하고 다시 재구성된 오차처리 후의 수확량 지도이다. 또한 그림 9는 경도, 위도, 습량기준으로 되어 있는 자료를 x 좌표, y 좌표, 건량기준 수확량, 함수율로 변환하고 거리에 대한 지수는 1로 하여 거리역비례 보간법으로 보정한 지도로서, 자료의 빈 공간이 많이 나타나지만 그림 7의 수확량 지도보다는 실제로 더욱 가까운 지도이다.

수확량 지도를 점의 형태로 작성하는 것보다 등고선의 형태로 작성하는 것이 시각적으로 포장내 수확량 변이를 파악하는데 용이하다. 그러나 등고선 지도를 작성하기 위해 측정된 모든 값을 그대로 보간하는 것은 일부 특징치의 영향으로 수확량 지도의 일부가 과장되어 표시될 수 있다.

그림 10은 이러한 현상을 보완하고 수무당 효과를 얻기 위해 포텐셜 지도법으로 수확량 자료를 보간하고 2차원 등고선 및 3차원 입체지도로 나타낸 결과이다. 그림에서 수평좌표는 미터단위이고 수직좌표는 kg/ha 단위이다.

그림 10에서 보는 바와 같이 수확량 센서가 내재하는 측정오차를 고려하더라도 실험포장이 비교적

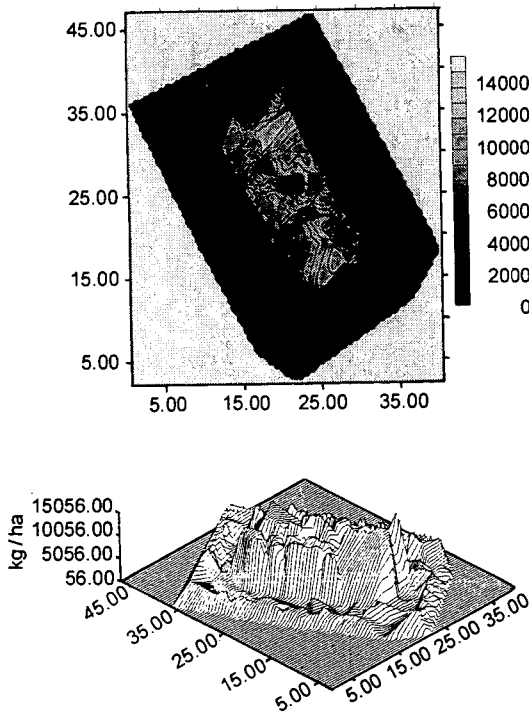


Fig. 10 A contour and 3-dim yield map on the interpolated yield data.

소규모였음에도 포장내 위치에 따라 벼의 수확량은 매우 다르게 나타났다. 본 연구에서는 시비량 변이, 토양의 특성 등과 같은 실험포장의 기초자료가 충분하지 못하여 수확량 변이의 원인을 분석할 수는 없었으나 향후 이의 분석이 필요할 것으로 판단된다.

#### 다. 수확량 지도의 단위구획 결정

수확량 지도에 있어서 단위구획의 크기를 증가시키면서 수확량을 보간할 경우 포장내 변이는 계속 줄어들고 상세한 수확량의 변이를 얻을 수 없게 된다. 따라서 포장내 변이를 크게 표현하면서 보간할 수 있는 단위구획의 크기를 결정하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 직접 단위구획의 크기에 대한 기준을 수확량 자료가 저장되는 한 주기동안의 이동한

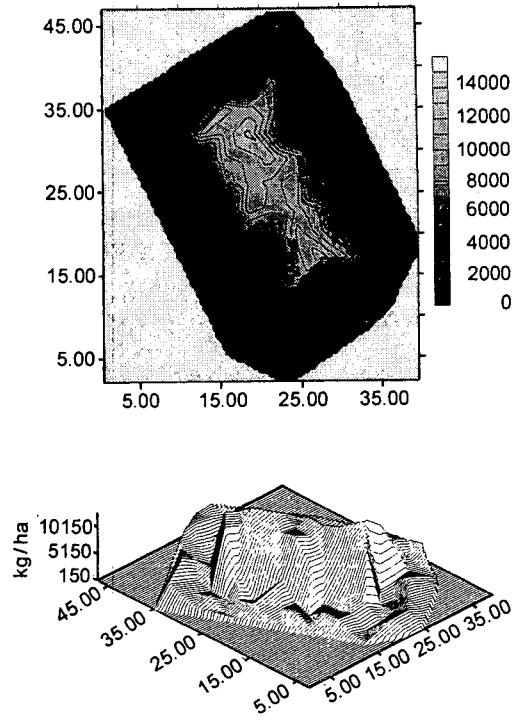


Fig. 11 A contour and 3-dim yield map with respect to a basic yielding grid (3.6 m<sup>2</sup>).

거리로 설정하였다. 따라서 수확량지도 작성의 최소 단위구획은 수확기 주행속도와 자료저장주기 및 유효 수확폭의 곱으로 구해진다. 본 실험에서 콤바인 평균 주행속도는 0.50 m/sec이었고 최대 주행속도는 0.78m/sec로 측정되었다. 또한 자료 저장주기는 3초로 설정하여 수확량 변이를 유지하면서 신뢰할 수 있는 단위구획의 크기는 콤바인 최대 주행속도를 고려하여 3.6m<sup>2</sup>로 결정하였다.

그림 11은 단위구획의 크기를 3.6m<sup>2</sup>로 했을 때의 수확량 지도를 보여주고 있다. 그림 10과 비교할 때 수확량 변이는 보다 완만하게 나타나고 있으며 단위구획 내에서 얻어진 자료를 평균함으로 나타난 결과이다. 단위구획을 기준으로 수확량 변이를 추적할 수 있고 소구획 경계에서 나타나는 수확량 모니터링 시스템의 오차를 줄일 수 있다는 것을 보여준다.



우리 나라와 같은 소구획 농지를 대상으로 수확량 모니터링 시스템에 저장된 자료를 변환하고 수확량 지도를 구성하는 데는 아직도 해결해야 할 문제가 많은 것으로 판단되었다. 특히 일정하지 못한 작업 폭으로 인하여 수확량이 적게 맵핑되는 문제와 예취부를 작동하기 시작하여 곡물 수확량이 정상상태로 센서에 도달할 때까지의 지연시간 동안의 수확량 자료처리 문제 등이 향후 연구에서 해결되어야 할 것으로 판단되었다.

## 6. 요약 및 결론

생물 생산분야에서 주로 적용되고 있는 정밀 농업은 수확량, 토양성분, 작물 생육상태의 위치에 따른 변이(variation)를 인정하고 각 위치에 적절한 처리(site-specific application)를 하고자 하는 것이다. 그러나 우리 나라에서는 아직까지 체계적인 정밀농업 연구와 실용화가 이루어지지 않고 있는 실정으로 향후 정밀농업을 구현을 위하여 국내 수확기에 적합한 수확량 모니터링 시스템의 개발은 매우 중요한 과제이다.

본 연구에서는 외국에서 개발된 수확량 모니터링 시스템을 국내에서 사용되고 있는 콤바인에 적용하여 소규모 논에서 벼 수확량 모니터링 시스템을 구성하고 수확량 지도 작성 알고리즘을 제시하며 지도 작성의 오차 원인을 분석함으로써 국내 수확기에 대한 수확량 모니터링 시스템의 개발방향을 설정하고자 하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 질량 측정 수확량 센서와 정전용량식 함수울 센서를 오우거로 곡물을 이송하는 국산 콤바인에 적용하여 0.1ha 규모의 소구획 농지에 대한 수확량 및 함수울 변이를 측정하는 것이 가능하였다.

2) 총 수확량은 1,150kg으로 예측되어 실제 수확량 1,184kg과는 2.9%의 차이를 보였으며 평균 함수울은 18.1%로 예측되어 휴대용 함수울 측정기로 측정한 값과 차이가 없었다.

3) 예취부의 위치를 감지하여 예취작업의 유무를

결정하기 때문에 수확작업을 시작하는 지점과 수확작업이 끝나는 지점 주변에서 수확량이 계속되지 못하거나 중복되어 나타났다.

4) DGPS와 결합하여 점으로 이루어진 수확량 지도와 함수울 지도를 구성하고 포텐셜 지도법에 의한 자료의 보간을 통하여 보다 실제적인 수확량 지도를 작성할 수 있었다.

5) 수확기의 작업시 최대 주행속도와 유효작업폭, 자료의 저장주기를 고려하여 포텐셜 지도법의 단위구획 크기를 정하였다.

## 참 고 문 헌

1. 장영창, 정선옥. 1998. 정밀농업의 연구 동향과 전망. 한국농업기계학회지 23(3):305-314.
2. Birrell, S. J., K. A. Sudduth and S. C. Borgelt. 1996. Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping. Computers and electronics in agriculture. Special issue 14:215-233.
3. Blackmore, B. S. and C. J. Marshall. 1996. Yield mapping ; Errors and algorithms. Proceeding of 3rd international conference on precision agriculture. pp. 403-415.
4. Kim, Y. H., B. G. Jung and C. S. Lee. 1998. Modeling of efficient fertilizer application for precision farming.
5. Noguchi, N. 1998. Proceeding of symposium for precision farming in Japan. pp. 1-8.
6. Reitz, P. and H. D. Kutzbach. 1996. Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. Computers and electronics in agriculture. Special issue 14:137-150.
7. Shearer, S. A., S. G. McNeill and S. F. Higgins. 1998. Basics of Yield Monitoring. <http://www.bae.uky.edu/~shearer/monitoring.htm>.
8. Shibusawa, S. 1998. Precision farming and terramechanics. Proceeding of the 5th Asia-Pacific Regional Conference of ISTVS. pp. 251-261.

9. Shoji, K. and T. Kawamura. 1998. Yield mapping of a rice paddy field. *Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery* 60(4):73-74.
10. Stafford, J. V., B. Ambler, R. M. Lark and J. Catt. 1996. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. *Computers and electronics in agriculture*. Special issue 14:101-119.
11. Thyllen, L. and D. P. Murphy. 1996. The control of errors in momentary yield data from combine harvesters. *Journal of Agricultural Engineering Research* 64(4):271-278.