

## 실시간 토양 유기물 센서와 DGPS를 이용한 질소 시비량 지도 작성 시스템 개발

### Development of Electronic Mapping System for N-fertilizer Dosage Using Real-time Soil Organic Matter Sensor and DGPS

조성인	최상현	김유용
정회원	정회원	정회원
S. I. Cho	S. H. Choi	Y. Y. Kim

#### ABSTRACT

It is crucial to know spatial soil variability for precision farming. However, it is time-consuming, and difficult to measure spatial soil properties. Therefore, there are needs for sensing technology to estimate spatial soil variability, and for electronic mapping technology to store, manipulate and process the sampled data. This research was conducted to develop a real-time soil organic matter sensor and an electronic mapping system.

A soil organic matter sensor was developed with a spectrophotometer in the 900~1,700 nm range. It was designed in a penetrator type to measure reflectance of soil at 15cm depth. The signal was calibrated with organic matter content (OMC) of the soil which was sampled in the field. The OMC was measured by the Walkeley-Black method. The soil OMCs were ranged from 0.07 to 7.96%. Statistical partial least square and principle component regression analyses were used as calibration methods. Coefficient of determination, standard error prediction and bias were 0.85 0.72 and -0.13, respectively.

The electronic mapping system was consisted of the soil OMC sensor, a DGPS, a database and a makeshift vehicle. An algorithm was developed to acquire data on sampling position and its OMC and to store the data in the database.

Fifty samples in fields were taken to make an N-fertilizer dosage map. Mean absolute error of these data was 0.59. The Kring method was used to interpolate data between sampling nodes. The interpolated data was used to make a soil OMC map. Also an N-fertilizer dosage map was drawn using the soil OMC map. The N-fertilizer dosage was determined by the fertilizing equation recommended by National Institute of Agricultural Science and Technology in Korea. Use of the N-fertilizer dosage map would increase precision fertilization up to 91% compared with conventional fertilization. Therefore, the developed electronic mapping system was feasible to not only precision determination of N-fertilizer dosage, but also reduction of environmental pollution.

**Keywords** : Precision farming, N-fertilizer, Soil organic matter, Electronic map, Reflectance, DGPS

---

This study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea and article was submitted for publication in April 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2002. The corresponding authors is S. I. Cho, Professor, School of Bioresources and Material Engineering, Seoul National University Suwon, Korea, E-mail : <sicho@snu.ac.kr>.

## 1. 서 론

인구 증가와 농경지의 감소로 인하여 식량증산을 위한 화학비료의 사용은 불가피하다. 그러나 국소적인 환경차이를 무시하고, 획일적으로 비료를 투입하는 것은 환경오염과 생산비용의 증가 등 많은 문제점을 일으킨다. 국부적으로 과다사용된 화학비료는 하천으로 유입되어 하천은 물론 호수 및 연안해역에 부영양화를 초래하여 생태계에 피해를 끼치며 물고기의 성장에 해를 초래하기도 한다. 뿐만 아니라 화학비료에 불순물로 포함된 미량의 중금속은 토양에 장기적으로 축적되어 인체에 영향을 미칠 수도 있다.

질소가 부족하면 작물발육이 빈약해지고, 종실의 수량도 적고 품질도 나빠진다. 반면에 질소가 과다하면, 잎이 연약해지며, 병충해나 냉해의 저항력이 약해져서, 종실의 성숙이 느려져 수량이 줄어든다. 따라서, 토양의 국부적인 환경변이를 사전에 정확히 파악하여 재배작물의 양분 요구량에 맞게 비료의 양을 처방하는 정밀농업(precision farming)이 요구되고 있다.

이러한 정밀 농업을 위해 요소기술인 경작지내의 국부적인 토양 변이 및 작물의 생육 상태 변이를 정확하고 신속하게 측정할 수 있는 센싱 기술과 이러한 데이터를 저장·가공·처리할 수 있는 전자 지도 작성 기술이 필요하다.

기존의 유기물 측정방법은 화학적 방법으로 분석 방법이 복잡하고 전문 인력이 필요하며, 오랜 분석시간이 걸려 이를 대체할 센서에 관한 연구가 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다. 이러한 일례로 국외에서는 Smith 등(1987)은 높은 상관관계로 유기물 함량을 측정하는 포터블 분광분석기를 개발하였고, Shonk 등(1991)은 유기물 측정센서를 개발하여 비옥한 토양에서는 토양반사도와 유기물 함량은 선형관계를 나타내고, 사질토양에서는 지수함수 형태를 나타냄을 구명하였으며, 일본에서는 Shibusawa 등(2000)이 분광분석기를 이용한 센서를 농용차량에 부착하여 1 m/s의 속도로 토양 반사도를 측정할 수 있는 프로토타입을 개발하였다. 또한 Anom 등(2000)은 유기물 센서를 개발하여 트랙터에 부착하여 토양반사도와 수분, 토양 유기물 함량, 질소 함량과의 상관관계를 구하고, 실시간으로 측정된 반사도에 기초하여 지도를 작성하였다. 국내에서는 조 등(2000)이 400~2,400 nm의 분광분석기를 사용하여 토양 유기물 함량과

토양 흡광도와의 상관관계를 규명하고, 토양 입자의 크기, 수분에 관계없이 높은 상관관계가 있음을 규명하였다. 그러나 장비가 고가이며, 포장에서는 사용할 수 없는 단점을 가지고 있었다. 또한, 조 등(2000)은 한국에서의 경작지의 토양 유기물 함량과 토양 pH를 측정하여 유기물 지도와 시비량 지도를 작성하여 정밀농업의 가능성을 제시하였으나, 수작업에 의해 분석함으로써 많은 시간이 필요하였으며, 정확한 위치를 알 수 없어 지도를 활용할 수 없는 문제점이 있었다.

이러한 이유로 본 연구는 포장에서 실시간 사용할 수 있는 토양 유기물 센서의 개발과 유기물 센서를 이용하여 유기물 및 질소 시비량 지도 작성 시스템을 개발하는 것을 목표로 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 토양 유기물 센서 개발

기초연구로서, 휴대용 분광 분석기(900~1,700 nm)를 이용한 토양 유기물 함량 측정가능성을 평가하기 위하여 토양 샘플링 오거를 사용하여 서울대학교 부속 농장과 강원도 평창 지역, 대관령 지역에서 각각 20점, 40점, 39점을 토양 표면으로부터 10~15 cm 깊이에서 채취하여, 그림 1과 같이 10회 반복 측정된 토양의 반사도와 Walkley-Black 방법을 이용하여 측정된 유기물 함량 사이의 상관관계 분석을 수행하였다. 샘플된 토양의 유기물 함량분포는 서울대학교 부속농장과 대관령 지역 각각 1.56~3.33%와 0.88~10.14%이었다.

실시간 유기물 함량 측정을 위해 그림 2와 같이



Fig. 1 Measuring NIR reflection of soil samples.

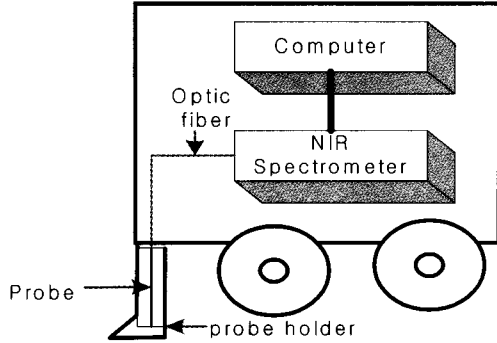


Fig. 2 Schematic of the real-time soil organic matter sensor.

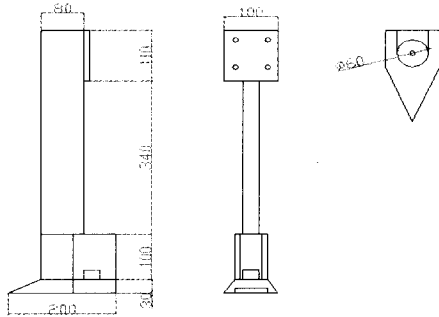


Fig. 3 Design of probe holder.

데이터 획득과 저장을 위한 컴퓨터, NIR Spectrophotometer, 광원으로부터 토양 시료로 광을 전달하여 시료로부터 반사된 신호를 획득하는 probe와 광섬유 그리고 probe holder로 이루어진 유기물 측정시스템을 구성하였다.

Probe holder는 probe 고정, 외부 광원의 차단, 지표면으로부터 10~15 cm 정도 깊이에서 측정 그리고 probe와 토양과의 접촉을 피하기 위해 측정 토양으로부터 3 cm 높이에서 측정할 수 있도록 그림 3과 같이 제작되었다.

구축한 토양 유기물함량 측정 시스템을 이용하여 서울대학교 부속 농장과 대관령 지역에서 그림 4와 같은 방법으로 측정 위치에 범추어 각각 55개와 58개의 토양 반사도를 10회 반복하여 측정하고, 토양을 채취하여 Walkley-Black 방법을 이용하여 측정된 실제 유기물 함량과 상관관계 분석을 수행하였다. 서울대학교 부속농장과 대관령지역의 유기물 함량 분포는 각각 1.97~3.33%, 0.07~7.96%이었다.

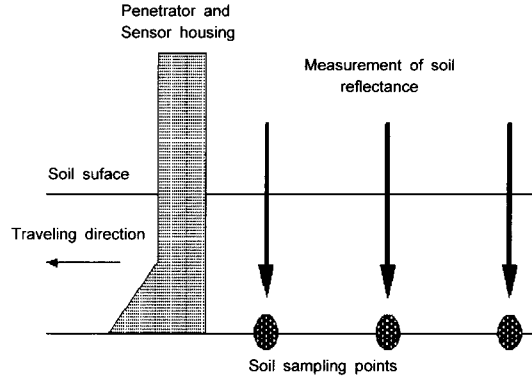


Fig. 4 Measurement of soil organic matter contents.

일반적으로 스펙트럼에는 성분의 농도와 관련된 정보 이외에 노이즈가 포함되어 있다. 900~1,049 nm와 1,601~1,700 nm의 산란이 많은 파장영역을 제거하고 1,050~1,600 nm 영역의 반사도만을 2 nm 간격으로 측정하여 사용하였으며, 다음과 같은 전처리과정을 수행하였다. 노이즈를 감소시키기 위해 10회 반복 측정된 반사도를 평균하여 흡광도로 바꾸었으며, 10 nm 간격으로 평활화를 수행하였다. 또한 일차미분과 이차 미분을 이용하여 데이터를 변환하였다.

모델을 개발하기 위해 위의 전처리 과정을 거친 데이터들에 대하여 Matlab 5.3의 PLS\_Toolbox(ver 2.0 Eigenvector Research)을 이용하여 PLS(partial least square)와 PCR(principle component regression) 분석을 수행하였다. PCR 및 PLS 예측 모델을 위한 최적 인자의 수는 cross-validation법에 의한 최소 PRESS법을 이용하여 최적인자 수를 결정하였다.

#### 나. 지도작성 시스템 개발

##### (1) 하드웨어

시비량 지도 작성을 위해 토양 유기물 함량 값과 측정된 위치 정보를 획득하는 시스템을 그림 5와 같이 구성하였다.

위치 정보 측정을 위해 GPS(Global Positioning System) 수신기(Canada Novatel)와 라디오 모델(GLB)으로 구성된 DGPS(Differential GPS)가 사용되었으며, 유기물 측정을 위해 앞에서 구성된 유기물 함량 측정 시스템을 사용하였다.

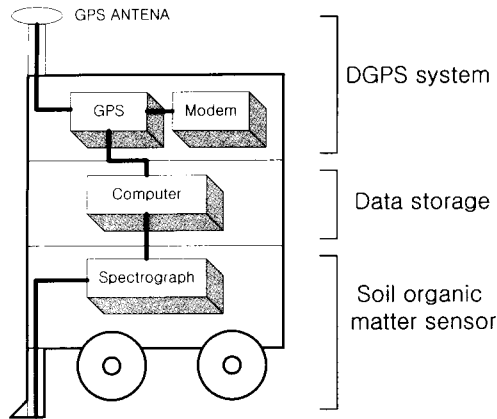


Fig. 5 Data acquisition system for the electronic mapping.

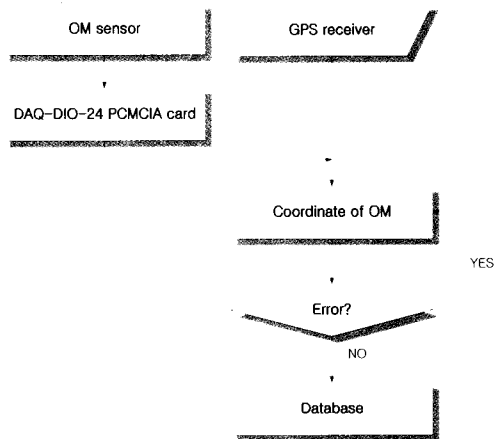


Fig. 6 Input algorithm of soil organic matter content and the position.

(2) 데이터 수집 알고리즘

DAQ-DIO-24 PCMCIA card를 사용하여 NIR Optical Spectrograph Card로부터 파장별 반사도 값을 Visual C++ 6.0으로 작성된 프로그램을 이용하여 획득했다. 획득된 반사도는 흡광도로 전환했다. 상관분석을 통하여 획득된 파장별 계수를 곱하여 유기물 함량을 계산한다. 동시에 COM1 포트를 이용하여 DGPS와 통신을 하게 된다. 이 두 가지 정보는 MS access로 구축된 데이터 베이스에 저장된다. 그림 6은 유기물 함량과 위치데이터의 획득 알고리즘이다.

Table 1 N-fertilizer amount vs. OMCs

Fertilizer amount for each soil OMC		Conventional fertilizer amount
1.6% under	33.6(kg/10a)	
1.6~2.5%	28.0(kg/10a)	28.0(kg/10a)
2.5% over	22.4(kg/10a)	

(3) 전자지도 작성 알고리즘

시비량 지도작성을 위해 Visual C++ 6.0을 사용하였으며, 작성 알고리즘은 다음과 같다.

① MS access로 구축된 데이터베이스에 저장되어 있는 위치데이터와 유기물 함량 정보를 획득한다.

② 유기물 함량 값들의 최대값, 최소값을 검색한다.

③ 최대값과 최소값을 이용하여 데이터들은 5등급으로 분류한다.

④ 등급별로 각각 다른 색과 크기를 가진 데이터를 지도 위에 point 형태로 그려 point 지도를 작성한다

⑤ 분포도지도 작성을 위해 30 cm 간격의 grid point로 지도를 재구성한다.

⑥ 각각의 point에 kriging 방법을 사용하여 보간하여 얻은 값을 부여한다.

⑦ 유기물 분포도 지도에 보간된 데이터들은 작물의 시비식에 따라 시비량 지도를 작성한다.

표 1은 농업과학기술원에서 무를 대상으로 실험을 통해서 획득한 토양 유기물량(OMC)에 따른 관행적인 시비량이다.

3. 결과 및 고찰

가. 기초연구

기초 연구로 획득된 데이터에 대하여 예측에 50개, 검증에 49개를 임의로 선택하여, PLS, PCR 통계 분석을 이용하여 토양 유기물 함량에 대한 예측과 검증을 수행하였다. PLS 흡광도 분석결과  $R^2$  0.89, SEP 0.84로 분광분석기를 이용하여 토양 유기물 측정 센서 개발의 가능성을 보여주고 있다. 그 결과를 그림 7에 나타내었다.

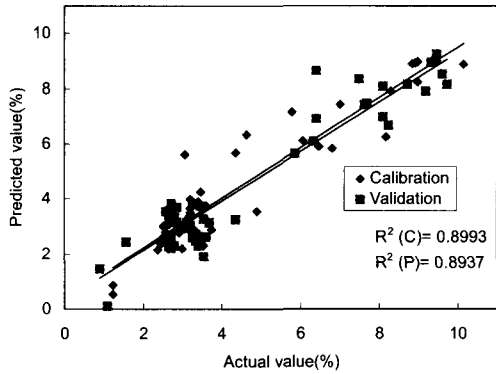


Fig. 7 Result of PLS analysis with the adsorbance spectra.

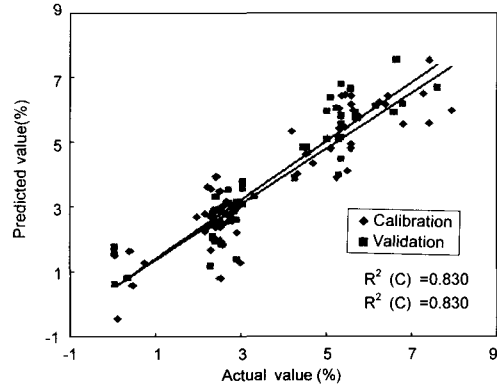


Fig. 9 Result of PLS analysis with the 1st derivative absorbance.

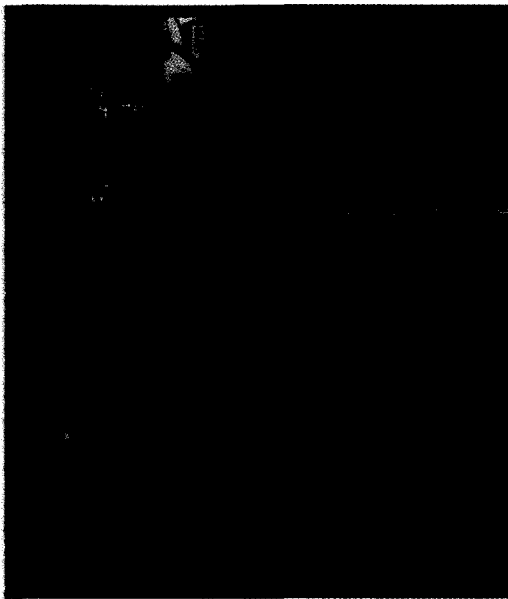


Fig. 8 The real-time soil organic matter sensor.

#### 나. 실시간 토양 유기물 센서 개발

컴퓨터, 미국의 Control Development 사의 NIR Optical Spectrograph Card, 광원으로부터 probe와 광섬유, 그리고 probe holder로 이루어진 실제 제작된 실시간 유기물 측정센서를 그림 8에 나타내었다.

구축된 실시간 토양 유기물 함량 측정시스템을 통해 획득된 데이터의 예측과 검증을 위해 PLS,

PCR 통계 분석을 수행하였다. 예측을 위해 65개의 데이터와 검증을 위해 48개의 데이터를 Matlab의 랜덤 함수를 이용하여 임의로 선택하였으며, PLS\_Toolbox의 PRESS 함수를 이용하여 최소 PRESS값을 보이는 최적인자를 선정하였다.

사용된 파장(1,050~1,600 nm)에 대한 반사도와 토양 유기물 함량과의 상관관계 분석 결과 흡광도의 일차미분 PLS 분석 결과가 가장 좋은 결과를 보였다. 따라서, 유기물 함량 예측 모델은 흡광도의 일차미분 PLS 분석결과를 선정하였다. 최적인자는 PRESS 곡선의 최소값을 이용하여 선정하였으며, 인자 수는 5이었다.

앞에서 구한 최적인자를 이용하여 PLS 분석을 수행한 결과는 그림 9와 같으며, 예측 데이터의  $R^2$  0.83, SEC 0.72이며, 검증 데이터의  $R^2$  0.82, SEP 0.82이었다.

#### 다. 속성 데이터 획득 시스템

그림 10은 속성 데이터 획득 프로그램의 구동 모습이다. 화면 왼쪽의 그래프는 사용된 파장대의 반사도를 그래프로 나타내고 있으며, 그 밑에 알고리즘을 통하여 계산된 유기물 함량 값을 표시하였다. 그리고 오른쪽은 측정된 위치의 DGPS 경도, 위도, 고도 값과 오차 값을 나타내었다.

#### 라. 전자 지도 작성

속성데이터 획득 시스템을 이용하여 토양 유기물 함량과 위치데이터를 획득하였다. 실험 장소는

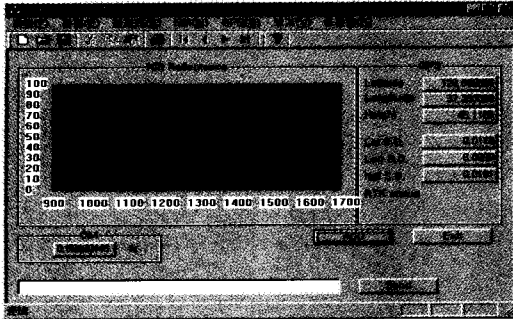


Fig. 10 OMC data acquisition program.

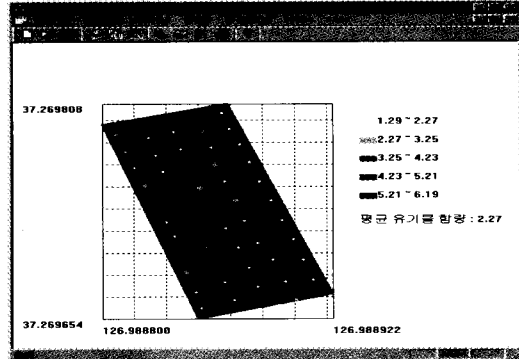


Fig. 12 A Point map of soil OMC obtained by the measured data with Walkeley-Black method.

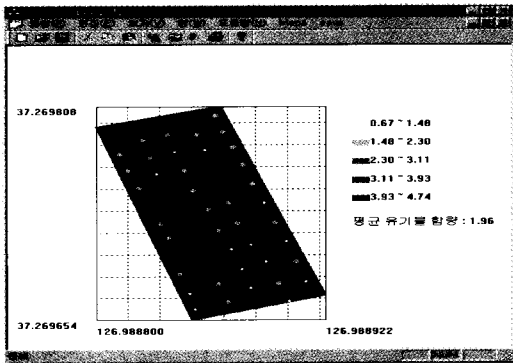


Fig. 11 Point map of soil OMC obtained by the measured data with the sensor.

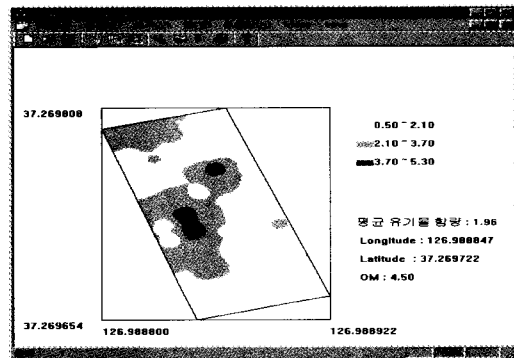


Fig. 13 Distribution map of soil OMC with the measured data.

서울대학교 농업생명과학대학 부속 농장에서 실시하였다. 1.5 m 간격으로 50점의 데이터를 획득하였으며, 이 데이터들은 전자 지도용 데이터베이스에 저장하였다.

그림 11은 데이터 획득 시스템을 사용하여 획득한 농장의 토양 유기물 함량 지도이다. 그리고 그림 12는 채취한 샘플을 분석한 결과를 이용하여 작성한 토양 유기물 함량 지도이다. 두 지도의 MAE(mean absolute error)는 0.59이었다.

그림 13과 14는 그림 11과 12의 유기물 지도를 보간하여 작성한 유기물 함량 분포지도이다. 분포지도 작성을 위해 30 cm 간격으로 격자점을 나누었다. 각 점들은 kriging 방법에 의해 보간하였으며, 등급 간격을 1.6으로 하여 지도를 작성하였다. 두 지도의 MAE는 0.44이었다

유기물 함량 분포 지도를 이용하여 농장의 질소비료 시비량 지도를 작성하였다. 시비량 계산에는 무밭의 시비식(강, 1999)을 사용하였다. 격자 크기

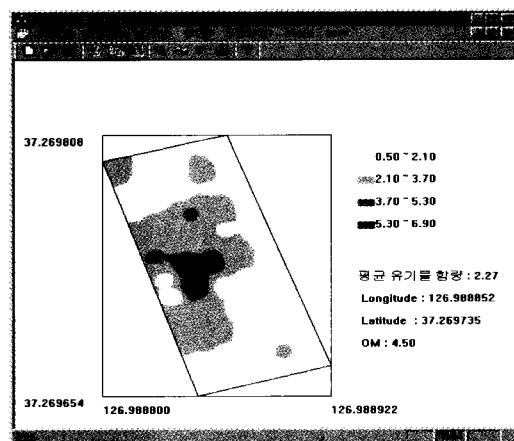


Fig. 14 Distribution map of soil OMC with the actual data.

Table 2 Accuracy of mapping on different grid sizes

Error (kg/10a)		0	5.6	11.2
Grid size	1 m	71.6 %	17.4 %	11 %
	2 m	65 %	25 %	10 %
	3 m	58.3 %	41.7 %	0 %

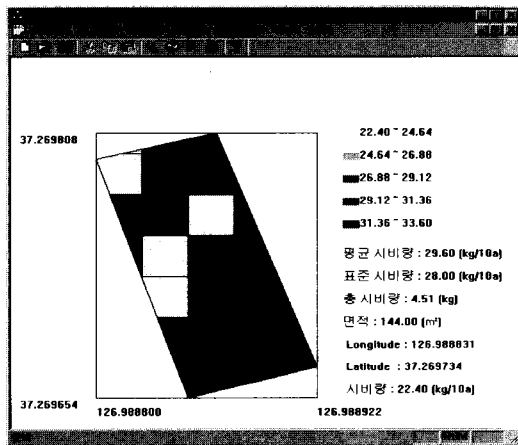


Fig. 15 N-fertilizer amount map with the measured data.

를 결정하기 위하여 격자 크기를 1, 2, 3 m로 설정하여 분석을 하였다. 표 2에서 보는바와 같이 격자 크기를 1m로 하였을 경우 정확하게 예측한 곳이 71.6%, 5.6 kg/10a의 에러를 가진 곳이 17.4%, 11.2 kg/10a의 에러를 가진 곳이 11%이었다. 2 m의 격자 크기 역시 11.2 kg/10a의 오차 범위가 10%나 되어 격자크기로 적합하지 않았다. 3 m의 격자크기는 정확도가 58.3%로 낮으나 11.2 kg/10a의 오차 지역이 없어, 격자크기는 3 m로 결정하였다.

그림 15와 16은 작성된 질소 시비량 지도이다. 시험한 무 밭의 표준 질소비료 시비량은 28.0 kg/10a이며, 계산된 평균 시비량은 29.6 kg/10a이었다. 그리고 시험농장 총 시비량은 4.51kg 이었다.

#### 마. 시비량 지도 성능평가

시비량 지도의 평가를 위해 작성된 지도에 의한 시비량과 획일적인 방법에 의한 시비량을 실제값

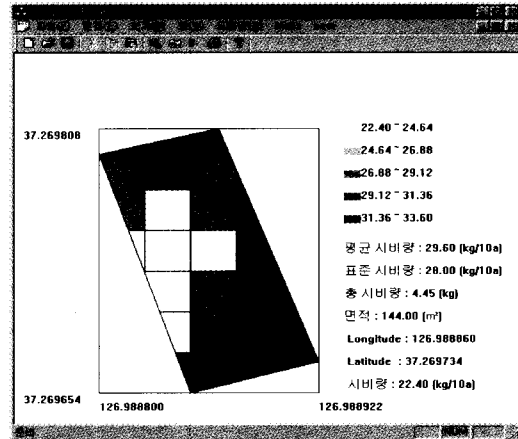


Fig. 16 N-fertilizer amount map with the actual data.

Table 3 Comparison of the fertilizer amount

Error amount (kg/10a)	-5.6	0	+5.6
Fertilizing by electronic map	25.0 %	58.3 %	16.7 %
Conventional fertilizing	44.5 %	30.5 %	25.0 %

을 이용하여 작성된 지도의 시비량과 비교하였다. 시비량은 모두 22.4, 28.0, 33.6 kg/10a의 3단계로 분류되어 있으며, 획일적인 방법의 시비량은 28.0 kg/10a이다.

분석 결과는 표 3과 같이, 획일적인 방법에 의한 시비는 정확한 시비가 30.5%에 그쳤으며, 69.5%가 ±5.6 kg/10a 만큼 오차를 보였다. 반면 작성된 지도에 의한 시비량은 정확한 시비가 58.3%로 증가하였다. 그러나 오차가 있는 시비는 41.7%가 존재하였다. 그 이유는 특정 부분에서의 센서의 오차가 너무 커서, 이 부분이 다른 데이터에 영향을 준 것으로 생각된다. 이를 피하기 위해 여러번 측정하거나, 보다 더 작은 격자 크기의 데이터 획득이 필요할 것으로 판단된다.

작성된 시비량 지도를 이용하면 오차가 없는 정확한 시비는  $\frac{58.3-30.5}{30.5} \times 100 = 91(\%)$ 의 증가를 가져왔고, 오차가 있는 시비는 44%와 33%의 감소를 가져왔다. 따라서 전자지도를 이용한 정밀 농업의 가능성을 찾을 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 정밀시비를 위한 전자지도 작성 시스템을 개발하고, 질소 시비량 지도를 작성하였다. 개발된 토양 유기물 함량 계측 센서는 0.07%~7.96%까지의 토양 유기물 함량을  $R^2$  0.85, SEP 0.72, bias -0.13으로 계측할 수 있었으며, 작성된 시비량 지도를 이용한 시비는 58.3%의 정확성을 보였다. 시비량 지도에 의한 정밀시비는 확실적인 시비에 비해 91%의 오차가 없는 시비의 정확성 향상을 보였으며 오차가 있는 시비도 33%이상 감소하였다. 그러나, 개발된 센서의 오차로 인하여 유기물 함량 등급 분류 간격이나 격자 간격 면에서 세분화된 지도는 작성할 수 없었다. 좀 더 정확하고 세분화된 시비량 지도 작성을 위해서는 오차 범위가 작은 정밀한 센서의 개발이 요구된다. 작성된 전자 지도는 농작업의 의사결정에 도움을 주며, 빠른 처방이 가능할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 강인성. 1999. 지리정보시스템을 이용한 소구획 경작지내의 토양 유기물 및 pH의 변이 분석. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
2. 조성인, 배영민, 양희성. 2000. 근적외선 반사도를 이용한 토양 유기물 함량 측정. 한국농업기계학회 동계학술대회.
3. Anom S. W., S. Shibusawa, A. Sasao, K. Sakai, H. Sato, S. Hirako and S. Blackmore. 2000. Moisture, soil organic matter and nitrate nitrogen content maps using the real-time soil spectrophotometer. Bio-Robotics II pp 305-310.
4. Shibusawa, S., H. Sato, S. Hirako, A. Otomo and A. Sasao. 2000, A revised soil spectrophotometer. Bio-Robotics II pp 225-230.
5. Shonk, J. L., L. D. Gaultney, D. G. Schulze and G.E. Van Scoyoc. 1991. Spectroscopic sensing of soil organic matter content. Transactions of the ASAE. 34(5):1978-1984.
6. Smith, D. L., C. R. Womer and J. W. Hummel. 1987. Soil spectral reflectance relationship to organic matter content. ASAE Paper No. 87-1608.