

정밀농업 구현을 위한 공간 데이터베이스 구축

Construction of a Spatial Database for Realizing Precision Farming

조성인
정회원
S. I. Cho

장영창
정회원
Y. C. Chang

여운영
정회원
W. Y. Yeo

ABSTRACT

Database as a supporting system for decision-making is one of essential parts for realizing precision farming. Application models on constructing a database for precision farming, including collection of spatial and attribute data, were suggested using a GPS, DXF files, AutoCAD, a Java application program and PostgreSQL DBMS in this study. The constructed spatial database based on the schema design of spatial and attribute data table was evaluated as a supporting system for decision-making by a simulation of a virtual variable-rate chemical applicator. The applicator could extract the values of soil property at its consecutive location in the tested field in communication with the constructed database, and prescribe the corresponding variable-rate of chemicals. The results of the study suggested the possibility that the constructed database can function a supporting system for decision-making for precision farming.

Keywords : Precision farming, GPS, GIS, Database, Decision-making supporting system.

1. 서 론

정밀농업은 생산성 향상과 환경보전이라는 상반된 문제를 해결하고 농업을 지속시키기 위해 복미를 중심으로 대두된 개념으로 최근에 전 세계적으로 생물생산 분야에서 21세기 표준농업으로 부각되고 있다. 정밀농업은 관행농업으로는 농업 본래의 목적인 생산성과 경제성을 극대화하면서 환경친화성과 지속성을 추구할 수 없다는 것을 지적하고 있으며, 농업이 환경 및 생태계에 미치는 악영향을 최소화하는 방법론이다.(Pearce et al., 1988) 정밀농업에서는 첨단공학 기술과 과학적인 방법에 의해 수 cm단위로 포장내의 토양 특성치, 생육상황, 작물수확량 등을 조사하여 위치별 잠재적 작

물수확량에 따라 비료와 농약, 종자 등의 투입량을 가변적으로 조절하여 작물 및 토양을 관리한다. 따라서 농산물의 생산비를 낮추고, 환경오염 피해를 줄이는데 궁극적인 효과를 얻을 수 있게 된다.(박원규, 2001)

정밀농업은 포장정보를 기반으로 변량적인 접근 방법을 취하는 농업의 시스템화를 의미하므로 그 적용범위는 농업시스템 전체라고 보아야 한다. 농업을 하나의 시스템으로 보면 정밀농업을 온전하게 구현하기 위해서는 다음의 세 가지 범주가 전체된다.

첫째는 작업 대상이 되는 포장의 특성, 작물의 생육상태, 기후 등 농작물이 성장하는 주변 환경 정보의 위치별 획득이며, 둘째는 원하는 위치에

This study was conducted by the research fund supported by the National Agricultural Mechanization Research Institute. The article was submitted for publication in March 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2002. The authors are S. I. Cho Professor, Seoul National University, Y. C. Chang Research Specialist, Seoul National University, and W. Y. Yeo, Graduate Student. The corresponding author is S. I. Cho, Seoul National University, Kwonsun-ku, Suwon city, 441-744 Korea. E-mail:<stico@plaza.snu.ac.kr>.

원하는 농자재를 원하는 만큼 투입하는 기술이다. 마지막으로 전산화된 지리정보시스템 지도와 데이터베이스로 위치에 기반한 농자재 투입 처방을 결정하는 것이다. 처음 두 범주가 훌륭하게 구축되었다 하더라도 마지막 단계로 의사결정 과정이 이루어지지 않으면 정밀농업의 구현은 불가능하다. 그림 1은 정밀농업 구현을 위한 각 범주와 구성성분을 나타낸다.

기존에 국내에서 수행된 정밀농업 관련 연구는 먼저 정밀농업 구현 가능성을 구명하고자 포장 내에서의 토양 속성 및 작물 생육상태의 변이 발견 여부 및 지도화에 관한 연구와 토양 속성 및 작물 생육상태를 감지하기 위한 센서 개발 분야의 연구에 국한되었다.(박원규, 2001) 근래에 변량 작업기 개발에 관한 연구가 수행 중에 있다.(박원규,

2001) 그러나 센서를 통해 획득한 토양 및 작물에 관한 정보를 변량 작업기가 의사 결정을 내릴 수 있도록 정보를 저장, 관리, 처리하기 위한 데이터베이스 구축에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 정밀농업 구현을 위한 필수 불가결의 요소인 데이터베이스 구축의 필요성에 착안하여 공간 및 속성 데이터 구축 알고리즘의 설계와, 데이터베이스를 구성하는 테이블의 스키마(schema) 설계를 통해 공간 데이터베이스를 구축하고, 구축된 데이터베이스와의 통신을 통해 농작업 기계의 위치에 따른 토양 속성값을 추출해 내는 과정을 보임으로써 의사결정 지원시스템으로서의 그 기능을 시뮬레이션을 통해 제시하고자 하였다.

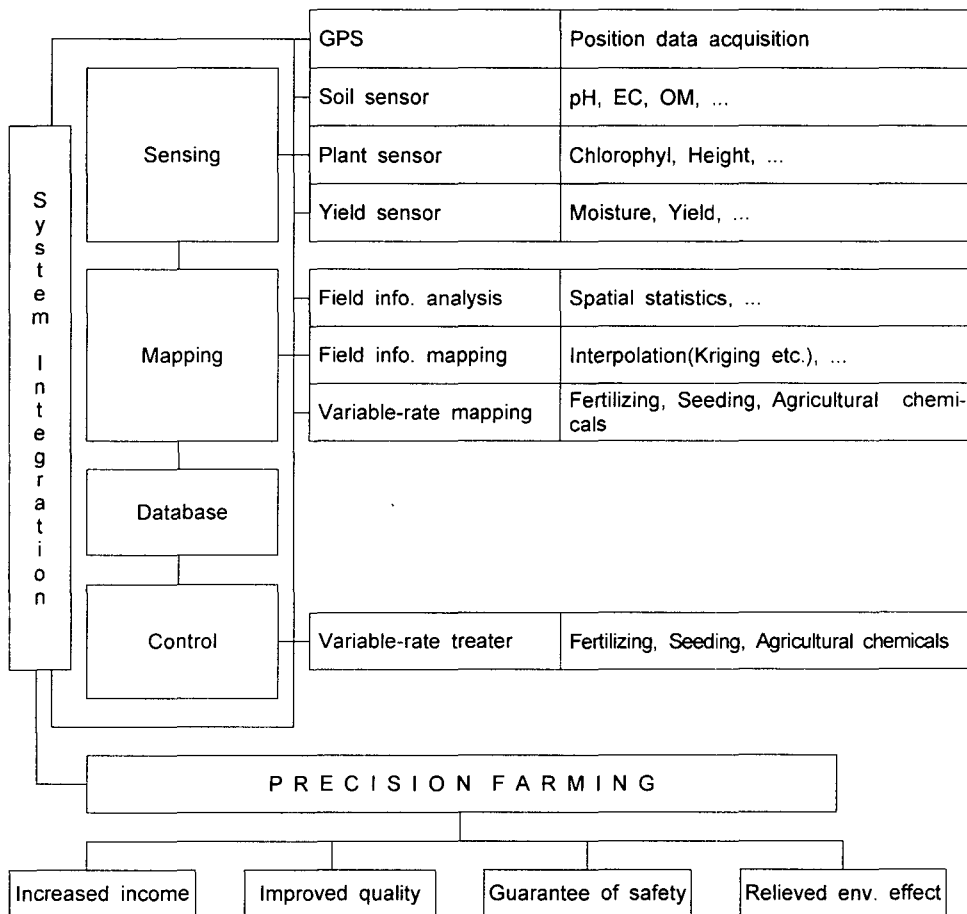


Fig. 1 Components constituting precision farming.

2. 재료 및 방법

가. 정밀농업용 지리정보시스템

정밀농업을 구현하기 위해서는 포장내 위치에 따라 다양한 환경 및 속성 변이를 정보화하여 이를 효과적으로 처리할 수 있는 기술이 요구된다. 포장의 경계와 같은 공간 데이터와 그 안에서 발견되는 속성 데이터를 정보화하고 처리하기 위해서는 지리정보시스템(geographic information system, GIS)의 적용이 필수적이다. Lynn(1995)이 수행한 연구 결과에 의하면 정밀농업을 구현하기 위해서는 그림 2와 같은 데이터 관리 체계가 요구된다. 정밀농업은 포장내 데이터들의 공간적/시간적 변이에 대한 변량형 처방 농업이므로 이를 위해서는 공간 및 속성 데이터의 획득, 데이터의 저장 및 관리, 이를 이용한 처방이라는 세 가지 관점이 요구된다.

나. 공간 데이터 획득 장치

본 연구에서는 정밀농업 구현에 적합한 방법으로 GPS 수신기를 이용하여 공간 데이터를 획득하였다.

공간 데이터 획득에 사용된 GPS 수신기는 RT-2 (Novatel, Canada)로 사양은 표 1과 같다. RT-2는 L1-C/A 코드와 L2-P 코드를 모두 획득하며, 동시에 24개의 위성을 병렬 채널로 추적한다. 오차 보

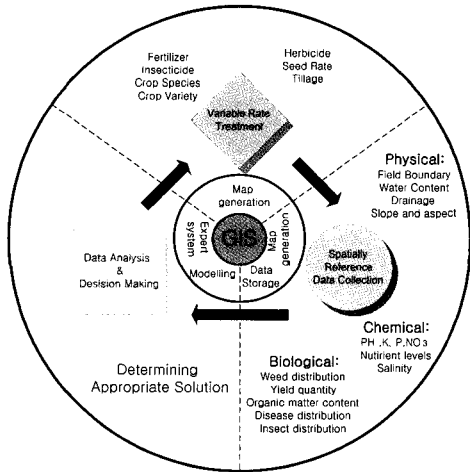


Fig. 2 Data management of precision farming using GIS.

Table 1. Specification of the RT-2 receiver

| | | | |
|-------------------|-----------------|----------|-----------|
| Position accuracy | standalone | SA off | 15m CEP |
| | differential | code(L1) | 0.75m CEP |
| | | RT-2 | 0.02m CEP |
| Time to first fix | 70 sec(typical) | | |
| Reacquisition | L1 | | 1 sec |
| | L2 | | 10 sec |
| Time accuracy | SA off | | 50ns RMS |

Table 2. Specification of SNRDS

| | |
|-------------------|--------------|
| Modulation | FM |
| Baud Rate | 1,200~57,600 |
| Antenna Impedance | 50Ω nominal |

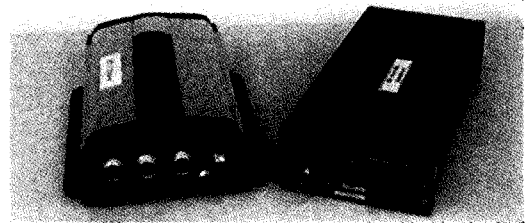


Fig. 3 GPS receiver and radio modem.

정을 위해 농진청 농업기계화연구소의 기지국 좌표(동경 : 126.97974568°, 북위 : 37.27714308°, 고도 : 76.222m)를 사용하였다. 기지국과의 통신을 위해 사용된 라디오 모뎀은 미국 GLB사의 SNRDS로 RS-232를 통하여 GPS 수신기와 직렬통신을 한다. 모뎀의 사양은 표 2와 같다.

그림 3은 연구에 사용된 GPS 수신기와 모뎀을 나타내며, 그림 4는 대상 포장에 대한 공간 데이터를 획득하는 모습을 보여주고 있다.

다. 공간 데이터베이스

(1) 개념

데이터베이스(database, DB)는 현실세계에 존재하는 정보를 여러 가지 목적의 응용분야에서 사용할 수 있도록 체계적으로 표현하여 컴퓨터에 저장



Fig. 4 Data logging.

해 놓은 것이다. 공간 데이터베이스(spatial database, SDB)는 위치정보를 기반으로 지리정보시스템을 구현함에 있어 반드시 요구되는 공간 데이터(spatial data)를 포함하는 데이터베이스를 의미한다.

(2) 데이터 표현방법

응용분야의 요구사항에 따라 다양한 공간 데이터 표현방법이 존재하며, 본 연구에서는 현재 지리정보시스템에서 가장 널리 사용되고 있는 벡터모델(vector model)을 이용하여 공간 데이터를 표현하였다. 벡터모델은 데카르트 좌표계를 이용하여 공간 객체가 위치하고 있는 지점의 좌표값으로 공간 객체를 표현한다. 벡터모델로 표현되는 공간 객체는 주로 점, 선, 다각형과 같이 단순하고 기본적인 도형들이다. 즉, 공간 객체의 절점(vertex)을 좌표로 표현하고, 이들을 조합하여 표현하고자 하는 다양한 형태의 공간 객체를 표현하게 된다. 그림 5와 표 3은 간단한 공간 객체와 이를 벡터모델로 표현한 예이다.

벡터모델을 이용하는 장점은 그 모델이 갖는 데이터 크기와 분석의 편리성 때문이다. 래스터모델(raster model)에 비해 벡터모델로 표현된 데이터의 크기는 매우 작으므로 정확도를 높이는 것과 데이터 크기와의 상관관계를 무시할 수 있다. 일반적으로 지리정보시스템을 구성하는 데이터베이스의 크기가 매우 크고, 이로 인해 성능상의 문제가 발

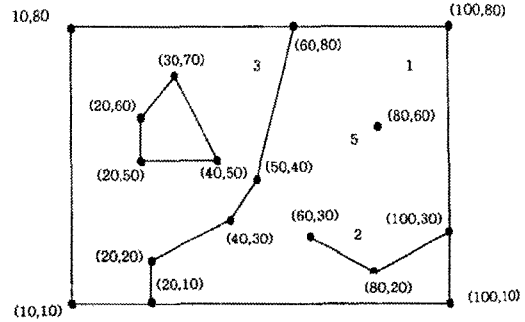


Fig. 5 Spatial objects.

Table 3. Spatial objects represented in a vector model

| Feature | No | Position(Vertex data) |
|---------|----|--|
| Point | 1 | (80,60) |
| Line | 2 | (60,30)(80,20)(100,30) |
| Polygon | 3 | (10,10)(10,80)(60,80)(50,40)(40,30)(20,20)(20,10)(10,10) |
| Polygon | 4 | (40,50)(20,50)(20,60)(30,70)(40,50) |
| Polygon | 5 | (20,10)(20,20)(40,30)(50,40)(60,80)(100,80)(100,10)(20,10) |

생된다는 점을 고려하면 이것은 매우 중요한 의미를 지닌다. 또한 벡터모델은 데이터 분석 및 조작이 래스터모델보다 효과적이다. 그림 5에 면 공간 객체로 표현된 5번 다각형의 면적을 계산함에 있어 래스터모델의 경우 다각형을 구성하는 내부 픽셀의 수를 모두 더한 다음 픽셀 하나의 크기를 곱해야 한다. 픽셀의 수가 많은 경우, 이 방법은 상당한 시간과 시스템 부하를 초래하게 된다. 그러나 벡터모델은 단순히 주어진 다각형의 절점 좌표를 이용하면 산술적인 면적 계산이 가능하다.

(3) 공간 데이터와 비공간 데이터 결합

연구에서 구현하고자 하는 공간 객체, 즉 지형지물(feature)은 실제계에 존재하는 공간 객체 중 지리정보시스템을 구성하는 데이터베이스가 필요에 의해 실제로 표현하는 객체의 단위이다. 그림 6은 지형지물의 구성 요소를 나타낸다.

지형지물은 공간 데이터와 비공간 데이터로

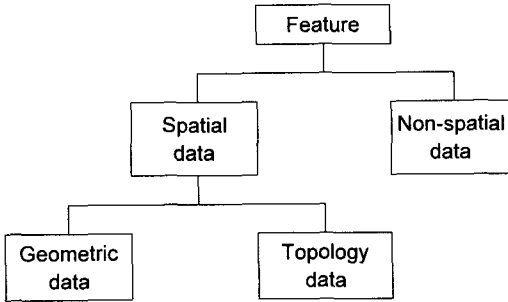


Fig. 6 Feature.

성되며, 두 데이터는 각기 독립적으로 존재하는 것이 아니라 서로 결합되어 필요한 경우 참조될 수 있어야 한다. 본 연구에서는 공간 데이터와 비공간 데이터를 각기 독립적인 테이블로 구축한 후, 두 테이블을 결합하였다. 이 방식은 현재 관계형 데이터베이스(relational DB, RDB)에서 가장 많이 사용되고 있는 방식으로 두 개의 분리된 테이블을 구축한 후, 외부 참조키(foreign key, FK)를 이용하여 이들 각각의 테이블을 필요에 따라 결합하거나 참조하는 것이다. 그림 7은 공간 데이터와 비공간 데이터를 결합하는 방법을 나타낸다.

(4) 데이터베이스 관리시스템

공간 데이터베이스 구축을 위한 데이터베이스 관리시스템(database management system, DBMS)으로 PostgreSQL을 선택하였다. PostgreSQL DBMS는 공간 객체 구축을 위한 다양한 공간 데이터 타입을 지원하며(표 4), 구입비용이 들지 않고, 운영체제와 관계없이 구축이 가능하기 때문이다.

Table 4. Spatial data types supported by PostgreSQL

| Data type | Size (Bytes) | Expression |
|-----------|--------------|---|
| Point | 16 | '(x1,y1)' |
| Line | 32 | '(x1,y1), (x2,y2)' : Line passing through two points(infinite) |
| Lseg | 32 | '(x1,y1), (x2,y2)' : Line connecting two points (finite) |
| Path | 4+32n* | '((x1,y1), ...)' : Closed path |
| Path | 4+32n | '[(x1,y1), ...]' : Open path |
| Polygon | 4+32n | '(x1,y1), ...' : Closed polygon |
| Circle | 24 | '<(x1,y1), r>' : Center & radius |

라. 공간 데이터 구축 알고리즘

(1) 공간 데이터 테이블

포장의 위치 정보를 포함하고 있는 공간 데이터를 저장하기 위해 데이터베이스 내에 구축 대상에 따라 테이블을 따로 구성한 후 테이블의 스키마를 설계하였다. 테이블의 스키마는 다수의 공간 데이터를 구분할 수 있도록 integer 유형의 id 필드와 공간 데이터의 실제 좌표값을 가지는 polygon 유형의 field(road) 필드, 그리고 차후의 확장된 연구를 위한 integer 유형의 map_no 필드로 구성되었다. 표 5와 표 6은 구축하고자 하는 공간 데이터

| Spatial Objects | ... | ... | ... | Attribute Objects |
|-----------------|-----|-----|-----|-------------------|
| SO ₁ | ... | ... | ... | AO ₂ |
| SO ₂ | ... | ... | ... | AO ₁ |
| SO ₃ | ... | ... | ... | AO ₃ |
| ... | ... | ... | ... | ... |

| Attribute Objects | ... | ... | ... | Spatial Objects |
|-------------------|-----|-----|-----|-----------------|
| AO ₁ | ... | ... | ... | SO ₂ |
| AO ₂ | ... | ... | ... | SO ₁ |
| AO ₃ | ... | ... | ... | SO ₃ |
| ... | ... | ... | ... | ... |

Relation(1:N)

Spatial object table

Attribute object table

Fig. 7 Join operation using foreign reference key.

Table 5. Schema of field table

| Attribute | Type | Size(Byte) |
|-----------|---------|------------|
| id | integer | 4 |
| field | polygon | 4+32×n |
| map_no | integer | 4 |

Table 6. Schema of road table

| Attribute | Type | Size(Byte) |
|-----------|---------|------------|
| id | integer | 4 |
| road | polygon | 4+32×n |
| map_no | integer | 4 |

인 포장과 농로를 저장하기 위한 field 및 road 테이블의 스키마를 나타낸다.

(2) 공간 데이터 구축 알고리즘

공간 데이터를 구축하기 위해 GPS 수신기를 통해 획득한 데이터를 AutoCAD 프로그램을 이용하여 국립지리원 및 기타 상용 GIS 프로그램에서 기본 포맷으로 사용하고 있는 DXF 파일형식으로 변환하여 출력하였다. DXF 파일 포맷은 CAD 시스템의 대표적인 소프트웨어인 AutoCAD에서 데이터 교환을 목적으로 만든 형식으로, 구조는 머리 부분(header section)과 몸체 부분(body section)으로 나뉘며, 각 부분은 한 라인에 한 항목씩 아스키(ASCII) 형식으로 나열되는 특징을 가진다.

출력된 공간 데이터에 대한 정보를 가지는 DXF 파일을 Java 응용프로그램을 이용하여 PostgreSQL DBMS에 데이터베이스를 구축하였다. 그림 8은 공간 데이터 구축 알고리즘이다.

마. 비공간 데이터 구축 알고리즘

(1) 비공간 데이터 테이블

포장의 속성 정보를 포함하고 있는 속성 데이터를 저장하기 위해 데이터베이스 내에 구축하고자 하는 속성에 따라 테이블을 따로 구성하였다. 또한 각 속성이 나타내는 값의 범위를 인덱스 형태의 테이블로 따로 설계하였다. 하나의 속성에 대하여 속성 테이블과 별도의 인덱스 테이블을 구성한 이유는 데이터베이스의 크기를 줄여 부하를 감

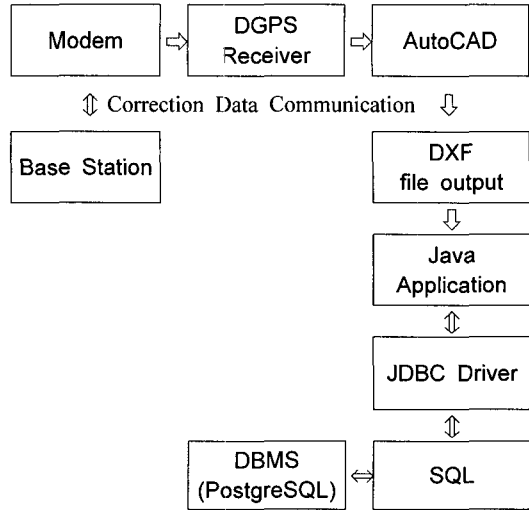


Fig. 8 The algorithm for construction of spatial data in the study.

Table 7. Schema of om_idx table

| Attribute | Type | Size(Byte) |
|-----------|----------|------------|
| om_id | smallint | 2 |
| om_min | float8 | 8 |
| om_max | float8 | 8 |

Table 8. Schema of ph_idx table

| Attribute | Type | Size(Byte) |
|-----------|----------|------------|
| ph_id | smallint | 2 |
| ph_min | float8 | 8 |
| ph_max | float8 | 8 |

소시키기 위함이다.

인덱스 테이블의 스키마는 다수 속성값의 범위를 데이터를 구분할 수 있도록 smallint 유형의 om_id(ph_id) 필드와 속성값의 최소값과 최대값을 표현하는 float8 유형의 om_min(ph_min) 필드와 om_max(ph_max) 필드로 구성되었다. 표 7과 표 8은 구축하고자 하는 속성 데이터의 인덱스 테이블인 om_idx 및 ph_idx 테이블의 스키마를 나타낸다.

속성 테이블의 스키마는 다수의 속성 데이터를

Table 9. Schema of OM table

| Attribute | Type | Size(Byte) |
|-----------|---------|------------|
| id | integer | 4 |
| om_vtx | polygon | 4+32×n |
| fld_no | integer | 4 |
| idx_no | integer | 4 |

Table 10. Schema of pH table

| Attribute | Type | Size(Byte) |
|-----------|---------|------------|
| id | integer | 4 |
| ph_vtx | polygon | 4+32×n |
| fld_no | integer | 4 |
| idx_no | integer | 4 |

구분할 수 있도록 integer 유형의 id 필드와 데이터의 실제 좌표값을 가지는 polygon 유형의 om_vtx (ph_vtx) 필드, 그리고 구축되어 있는 공간 데이터와 관계를 짓기 위해 외부 참조키의 역할을 하는 integer 유형의 fld_no 필드, 실제 속성값의 범위를 추출하기 위해 인덱스 테이블과 관계를 짓기 위해 외부 참조키의 역할을 하는 integer 유형의 idx_no 필드로 구성되었다.

표 9와 표 10은 구축하고자 하는 속성 데이터인 OM(organic matter)과 pH를 저장하기 위한 OM 및 pH 테이블의 스키마를 나타낸다.

(2) 비공간 데이터 구축 알고리즘

비공간 데이터를 구축하기 위해 기존의 래스터 파일 형태로 제공되는 속성 자료를 원데이터(raw data)로 활용하였다. 래스터 파일 형태의 속성 자료를 디지털라이저(digitizer)와 AutoCAD를 이용하여 디지털라이징하였다. AutoCAD 상에서의 디지털라이징은 속성별로 레이어를 구축한 후 원데이터로부터 자료를 입력하여 수정하였다. 그림 9와 10은 속성 자료로 사용된 것으로써, 1999년 조사한 서울대 농생대 부설농장의 토양 OM 분포도와 pH 분포도이다.

디지털라이징된 자료를 DXF 파일 포맷으로 변환하여 출력한 후, 출력된 속성 데이터에 대한 정보를 가지는 DXF 파일을 Java 응용프로그램을 이용

하여 Postgre SQL DBMS에 데이터베이스를 저장하였다. 그림 11은 속성 데이터 구축 알고리즘을 나타낸다.

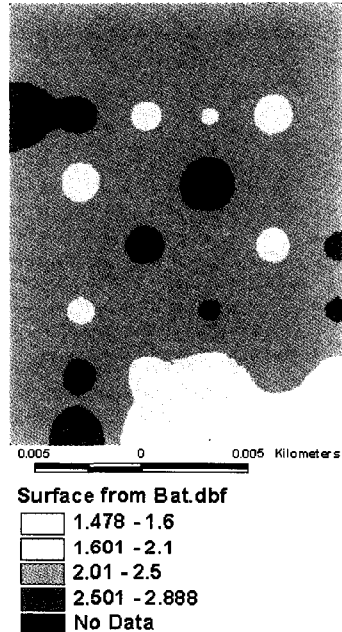


Fig 9. Soil OM map of radish field.

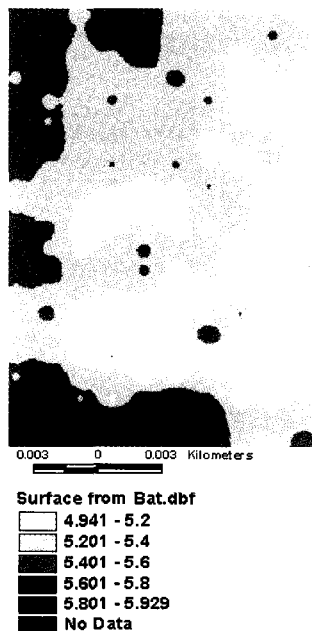


Fig 10. Soil pH map of radish field.

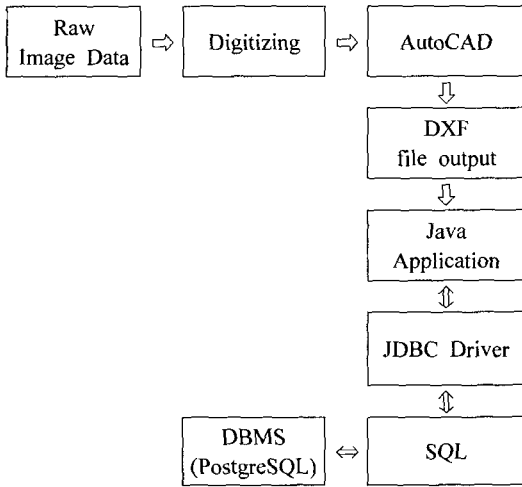


Fig. 11 The algorithm for construction of attribute data in the study.

3. 결과 및 고찰

가. 공간 데이터 구축

(1) 구축 지역 및 대상

본 연구에서는 공간데이터 구축 대상지역으로 농업기계화연구소 GPS 기지국에서 남동쪽(약 33°) 1.344km 지점에 위치한 포장을 선택하였다. 또한 구축 대상지역 내 다양한 지형지물 중 무인 농작업 기계의 주행과 작업을 위해 농로와 포장을 공간 데이터구축 대상으로 하였다.

(2) 공간 데이터 구축 및 출력

그림 12는 GPS 수신기를 통해 획득한 WGS 84 경위도 좌표값을 XY좌표값으로 변환한 후, AutoCAD 상에 나타난 모습이다. 구축 대상을 농로와 포장으로 한정하였으므로 농로와 포장을 레이어별로 구분하여 자료를 입력하였다. 그림 13은 입력된 농로와 포장 자료를 DXF 파일 포맷으로 변환하여 출력시킨 결과의 일부이다. 그림에서 홀수번째 행은 그룹 코드를, 짝수번째 행은 그룹 코드의 값을 나타낸다. 박스 안의 그룹 코드 10, 20, 30은 X, Y, Z 좌표를 의미하며, 그룹 코드 10, 20, 30 아래의 숫자는 각각 출력되는 도면의 좌측 하단 및 우측 상단의 X, Y, Z 값을 의미한다.

그림 14는 출력된 DXF 파일을 Java 응용프로그램을 이용하여 레이어 별로 PostgreSQL 데이터베이스

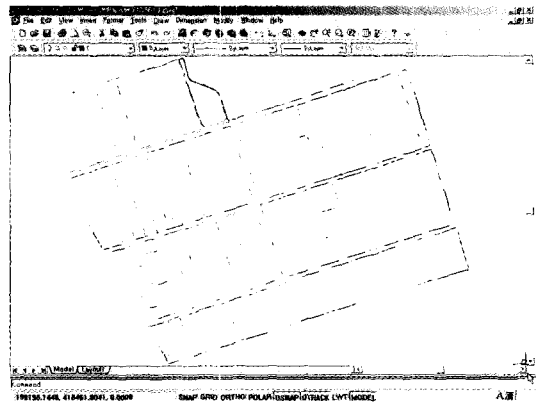


Fig. 12 Farm roads and fields reconstructed by layered spatial data.

| | | | | | | |
|---------------|----------|------|----------|-----------|-----------|-----|
| 0 | 20 | 0.0 | 9 | STANDARD | 40 | |
| SECTION | 0.0 | 9 | SMIRTEXT | 9 | 1.0 | |
| 7 | 10 | 31.0 | MAX | 70 | SCLAYER | 9 |
| HEADER | 10 | 12.0 | 1 | 0 | SDDMASZ | 0 |
| 9 | 10 | 12.0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| \$ACADVER | 1982.125 | 20 | 3.14159 | 9 | 0.18 | ... |
| 1 | 20 | 9.0 | 40 | SCLETYPE | ... | ... |
| ACI015 | 41841.45 | 9 | 1.0 | 6 | ... | ... |
| 9 | 30 | 9.0 | 40 | TEXTMODE | 9 | ... |
| \$ACADNAME | 0.0 | 20 | 3.14159 | 9 | ... | ... |
| 10 | 9 | 9.0 | 1 | SCCOLOR | ... | ... |
| 30 | 9 | 9.0 | 1 | SCCOLOR | ... | ... |
| 10 | 10 | 9.0 | 5 | TEXTSIZE | 9 | ... |
| 9 | 1982.125 | 70 | 1 | 40 | SCLESCALE | ... |
| \$DWGCODEPAGE | 70 | 1 | 40 | SCLESCALE | ... | ... |
| 3 | 41899.85 | 9 | 0.2 | 45 | ... | ... |
| ANSI 940 | 30 | 70 | TEXTMODE | 9 | 1.0 | ... |
| 9 | 32 | 70 | TRACEWID | 9 | ... | ... |
| \$NSBASE | 9 | 1 | 40 | SDRPSIZE | ... | ... |

Fig. 13 Farm roads and fields represented as layered spatial data in a DXF file.

```

1 1 ((19918.41,41894.2),(19918.86,41894.77),(19918.41,41895.27),(19918.86,41895.78),(19918.41,41896.28),(19918.86,41896.79),(19918.41,41897.29),(19918.86,41897.80),(19918.41,41898.30),(19918.86,41898.81),(19918.41,41899.31),(19918.86,41899.82),(19918.41,42000.32),(19918.86,42000.83),(19918.41,42001.33),(19918.86,42001.84),(19918.41,42002.34),(19918.86,42002.85),(19918.41,42003.35),(19918.86,42003.86),(19918.41,42004.36),(19918.86,42004.87),(19918.41,42005.37),(19918.86,42005.88),(19918.41,42006.38),(19918.86,42006.89),(19918.41,42007.39),(19918.86,42007.90),(19918.41,42008.40),(19918.86,42008.91),(19918.41,42009.41),(19918.86,42009.92),(19918.41,42010.42),(19918.86,42010.93),(19918.41,42011.43),(19918.86,42011.94),(19918.41,42012.44),(19918.86,42012.95),(19918.41,42013.45),(19918.86,42013.96),(19918.41,42014.46),(19918.86,42014.97),(19918.41,42015.47),(19918.86,42015.98),(19918.41,42016.48),(19918.86,42016.99),(19918.41,42017.49),(19918.86,42017.50),(19918.41,42018.50),(19918.86,42018.51),(19918.41,42019.51),(19918.86,42019.52),(19918.41,42020.52),(19918.86,42020.53),(19918.41,42021.53),(19918.86,42021.54),(19918.41,42022.54),(19918.86,42022.55),(19918.41,42023.55),(19918.86,42023.56),(19918.41,42024.56),(19918.86,42024.57),(19918.41,42025.57),(19918.86,42025.58),(19918.41,42026.58),(19918.86,42026.59),(19918.41,42027.59),(19918.86,42027.60),(19918.41,42028.60),(19918.86,42028.61),(19918.41,42029.61),(19918.86,42029.62),(19918.41,42030.62),(19918.86,42030.63),(19918.41,42031.63),(19918.86,42031.64),(19918.41,42032.64),(19918.86,42032.65),(19918.41,42033.65),(19918.86,42033.66),(19918.41,42034.66),(19918.86,42034.67),(19918.41,42035.67),(19918.86,42035.68),(19918.41,42036.68),(19918.86,42036.69),(19918.41,42037.69),(19918.86,42037.70),(19918.41,42038.70),(19918.86,42038.71),(19918.41,42039.71),(19918.86,42039.72),(19918.41,42040.72),(19918.86,42040.73),(19918.41,42041.73),(19918.86,42041.74),(19918.41,42042.74),(19918.86,42042.75),(19918.41,42043.75),(19918.86,42043.76),(19918.41,42044.76),(19918.86,42044.77),(19918.41,42045.77),(19918.86,42045.78),(19918.41,42046.78),(19918.86,42046.79),(19918.41,42047.79),(19918.86,42047.80),(19918.41,42048.80),(19918.86,42048.81),(19918.41,42049.81),(19918.86,42049.82),(19918.41,42050.82),(19918.86,42050.83),(19918.41,42051.83),(19918.86,42051.84),(19918.41,42052.84),(19918.86,42052.85),(19918.41,42053.85),(19918.86,42053.86),(19918.41,42054.86),(19918.86,42054.87),(19918.41,42055.87),(19918.86,42055.88),(19918.41,42056.88),(19918.86,42056.89),(19918.41,42057.89),(19918.86,42057.90),(19918.41,42058.90),(19918.86,42058.91),(19918.41,42059.91),(19918.86,42059.92),(19918.41,42060.92),(19918.86,42060.93),(19918.41,42061.93),(19918.86,42061.94),(19918.41,42062.94),(19918.86,42062.95),(19918.41,42063.95),(19918.86,42063.96),(19918.41,42064.96),(19918.86,42064.97),(19918.41,42065.97),(19918.86,42065.98),(19918.41,42066.98),(19918.86,42066.99),(19918.41,42067.99),(19918.86,42067.00),(19918.41,42068.00),(19918.86,42068.01),(19918.41,42069.01),(19918.86,42069.02),(19918.41,42070.02),(19918.86,42070.03),(19918.41,42071.03),(19918.86,42071.04),(19918.41,42072.04),(19918.86,42072.05),(19918.41,42073.05),(19918.86,42073.06),(19918.41,42074.06),(19918.86,42074.07),(19918.41,42075.07),(19918.86,42075.08),(19918.41,42076.08),(19918.86,42076.09),(19918.41,42077.09),(19918.86,42077.10),(19918.41,42078.10),(19918.86,42078.11),(19918.41,42079.11),(19918.86,42079.12),(19918.41,42080.12),(19918.86,42080.13),(19918.41,42081.13),(19918.86,42081.14),(19918.41,42082.14),(19918.86,42082.15),(19918.41,42083.15),(19918.86,42083.16),(19918.41,42084.16),(19918.86,42084.17),(19918.41,42085.17),(19918.86,42085.18),(19918.41,42086.18),(19918.86,42086.19),(19918.41,42087.19),(19918.86,42087.20),(19918.41,42088.20),(19918.86,42088.21),(19918.41,42089.21),(19918.86,42089.22),(19918.41,42090.22),(19918.86,42090.23),(19918.41,42091.23),(19918.86,42091.24),(19918.41,42092.24),(19918.86,42092.25),(19918.41,42093.25),(19918.86,42093.26),(19918.41,42094.26),(19918.86,42094.27),(19918.41,42095.27),(19918.86,42095.28),(19918.41,42096.28),(19918.86,42096.29),(19918.41,42097.29),(19918.86,42097.30),(19918.41,42098.30),(19918.86,42098.31),(19918.41,42099.31),(19918.86,42099.32),(19918.41,42100.32),(19918.86,42100.33),(19918.41,42101.33),(19918.86,42101.34),(19918.41,42102.34),(19918.86,42102.35),(19918.41,42103.35),(19918.86,42103.36),(19918.41,42104.36),(19918.86,42104.37),(19918.41,42105.37),(19918.86,42105.38),(19918.41,42106.38),(19918.86,42106.39),(19918.41,42107.39),(19918.86,42107.40),(19918.41,42108.40),(19918.86,42108.41),(19918.41,42109.41),(19918.86,42109.42),(19918.41,42110.42),(19918.86,42110.43),(19918.41,42111.43),(19918.86,42111.44),(19918.41,42112.44),(19918.86,42112.45),(19918.41,42113.45),(19918.86,42113.46),(19918.41,42114.46),(19918.86,42114.47),(19918.41,42115.47),(19918.86,42115.48),(19918.41,42116.48),(19918.86,42116.49),(19918.41,42117.49),(19918.86,42117.50),(19918.41,42118.50),(19918.86,42118.51),(19918.41,42119.51),(19918.86,42119.52),(19918.41,42120.52),(19918.86,42120.53),(19918.41,42121.53),(19918.86,42121.54),(19918.41,42122.54),(19918.86,42122.55),(19918.41,42123.55),(19918.86,42123.56),(19918.41,42124.56),(19918.86,42124.57),(19918.41,42125.57),(19918.86,42125.58),(19918.41,42126.58),(19918.86,42126.59),(19918.41,42127.59),(19918.86,42127.60),(19918.41,42128.60),(19918.86,42128.61),(19918.41,42129.61),(19918.86,42129.62),(19918.41,42130.62),(19918.86,42130.63),(19918.41,42131.63),(19918.86,42131.64),(19918.41,42132.64),(19918.86,42132.65),(19918.41,42133.65),(19918.86,42133.66),(19918.41,42134.66),(19918.86,42134.67),(19918.41,42135.67),(19918.86,42135.68),(19918.41,42136.68),(19918.86,42136.69),(19918.41,42137.69),(19918.86,42137.70),(19918.41,42138.70),(19918.86,42138.71),(19918.41,42139.71),(19918.86,42139.72),(19918.41,42140.72),(19918.86,42140.73),(19918.41,42141.73),(19918.86,42141.74),(19918.41,42142.74),(19918.86,42142.75),(19918.41,42143.75),(19918.86,42143.76),(19918.41,42144.76),(19918.86,42144.77),(19918.41,42145.77),(19918.86,42145.78),(19918.41,42146.78),(19918.86,42146.79),(19918.41,42147.79),(19918.86,42147.80),(19918.41,42148.80),(19918.86,42148.81),(19918.41,42149.81),(19918.86,42149.82),(19918.41,42150.82),(19918.86,42150.83),(19918.41,42151.83),(19918.86,42151.84),(19918.41,42152.84),(19918.86,42152.85),(19918.41,42153.85),(19918.86,42153.86),(19918.41,42154.86),(19918.86,42154.87),(19918.41,42155.87),(19918.86,42155.88),(19918.41,42156.88),(19918.86,42156.89),(19918.41,42157.89),(19918.86,42157.90),(19918.41,42158.90),(19918.86,42158.91),(19918.41,42159.91),(19918.86,42159.92),(19918.41,42160.92),(19918.86,42160.93),(19918.41,42161.93),(19918.86,42161.94),(19918.41,42162.94),(19918.86,42162.95),(19918.41,42163.95),(19918.86,42163.96),(19918.41,42164.96),(19918.86,42164.97),(19918.41,42165.97),(19918.86,42165.98),(19918.41,42166.98),(19918.86,42166.99),(19918.41,42167.99),(19918.86,42167.00),(19918.41,42168.00),(19918.86,42168.01),(19918.41,42169.01),(19918.86,42169.02),(19918.41,42170.02),(19918.86,42170.03),(19918.41,42171.03),(19918.86,42171.04),(19918.41,42172.04),(19918.86,42172.05),(19918.41,42173.05),(19918.86,42173.06),(19918.41,42174.06),(19918.86,42174.07),(19918.41,42175.07),(19918.86,42175.08),(19918.41,42176.08),(19918.86,42176.09),(19918.41,42177.09),(19918.86,42177.10),(19918.41,42178.10),(19918.86,42178.11),(19918.41,42179.11),(19918.86,42179.12),(19918.41,42180.12),(19918.86,42180.13),(19918.41,42181.13),(19918.86,42181.14),(19918.41,42182.14),(19918.86,42182.15),(19918.41,42183.15),(19918.86,42183.16),(19918.41,42184.16),(19918.86,42184.17),(19918.41,42185.17),(19918.86,42185.18),(19918.41,42186.18),(19918.86,42186.19),(19918.41,42187.19),(19918.86,42187.20),(19918.41,42188.20),(19918.86,42188.21),(19918.41,42189.21),(19918.86,42189.22),(19918.41,42190.22),(19918.86,42190.23),(19918.41,42191.23),(19918.86,42191.24),(19918.41,42192.24),(19918.86,42192.25),(19918.41,42193.25),(19918.86,42193.26),(19918.41,42194.26),(19918.86,42194.27),(19918.41,42195.27),(19918.86,42195.28),(19918.41,42196.28),(19918.86,42196.29),(19918.41,42197.29),(19918.86,42197.30),(19918.41,42198.30),(19918.86,42198.31),(19918.41,42199.31),(19918.86,42199.32),(19918.41,42200.32),(19918.86,42200.33),(19918.41,42201.33),(19918.86,42201.34),(19918.41,42202.34),(19918.86,42202.35),(19918.41,42203.35),(19918.86,42203.36),(19918.41,42204.36),(19918.86,42204.37),(19918.41,42205.37),(19918.86,42205.38),(19918.41,42206.38),(19918.86,42206.39),(19918.41,42207.39),(19918.86,42207.40),(19918.41,42208.40),(19918.86,42208.41),(19918.41,42209.41),(19918.86,42209.42),(19918.41,42210.42),(19918.86,42210.43),(19918.41,42211.43),(19918.86,42211.44),(19918.41,42212.44),(19918.86,42212.45),(19918.41,42213.45),(19918.86,42213.46),(19918.41,42214.46),(19918.86,42214.47),(19918.41,42215.47),(19918.86,42215.48),(19918.41,42216.48),(19918.86,42216.49),(19918.41,42217.49),(19918.86,42217.50),(19918.41,42218.50),(19918.86,42218.51),(19918.41,42219.51),(19918.86,42219.52),(19918.41,42220.52),(19918.86,42220.53),(19918.41,42221.53),(19918.86,42221.54),(19918.41,42222.54),(19918.86,42222.55),(19918.41,42223.55),(19918.86,42223.56),(19918.41,42224.56),(19918.86,42224.57),(19918.41,42225.57),(19918.86,42225.58),(19918.41,42226.58),(19918.86,42226.59),(19918.41,42227.59),(19918.86,42227.60),(19918.41,42228.60),(19918.86,42228.61),(19918.41,42229.61),(19918.86,42229.62),(19918.41,42230.62),(19918.86,42230.63),(19918.41,42231.63),(19918.86,42231.64),(19918.41,42232.64),(19918.86,42232.65),(19918.41,42233.65),(19918.86,42233.66),(19918.41,42234.66),(19918.86,42234.67),(19918.41,42235.67),(19918.86,42235.68),(19918.41,42236.68),(19918.86,42236.69),(19918.41,42237.69),(19918.86,42237.70),(19918.41,42238.70),(19918.86,42238.71),(19918.41,42239.71),(19918.86,42239.72),(19918.41,42240.72),(19918.86,42240.73),(19918.41,42241.73),(19918.86,42241.74),(19918.41,42242.74),(19918.86,42242.75),(19918.41,42243.75),(19918.86,42243.76),(19918.41,42244.76),(19918.86,42244.77),(19918.41,42245.77),(19918.86,42245.78),(19918.41,42246.78),(19918.86,42246.79),(19918.41,42247.79),(19918.86,42247.80),(19918.41,42248.80),(19918.86,42248.81),(19918.41,42249.81),(19918.86,42249.82),(19918.41,42250.82),(19918.86,42250.83),(19918.41,42251.83),(19918.86,42251.84),(19918.41,42252.84),(19918.86,42252.85),(19918.41,42253.85),(19918.86,42253.86),(19918.41,42254.86),(19918.86,42254.87),(19918.41,42255.87),(19918.86,42255.88),(19918.41,42256.88),(19918.86,42256.89),(19918.41,42257.89),(19918.86,42257.90),(19918.41,42258.90),(19918.86,42258.91),(19918.41,42259.91),(19918.86,42259.92),(19918.41,42260.92),(19918.86,42260.93),(19918.41,42261.93),(19918.86,42261.94),(19918.41,42262.94),(19918.86,42262.95),(19918.41,42263.95),(19918.86,42263.96),(19918.41,42264.96),(19918.86,42264.97),(19918.41,42265.97),(19918.86,42265.98),(19918.41,42266.98),(19918.86,42266.99),(19918.41,42267.99),(19918.86,42267.00),(19918.41,42268.00),(19918.86,42268.01),(19918.41,42269.01),(19918.86,42269.02),(19918.41,42270.02),(19918.86,42270.03),(19918.41,42271.03),(19918.86,42271.04),(19918.41,42272.04),(19918.86,42272.05),(19918.41,42273.05),(19918.86,42273.06),(19918.41,42274.06),(19918.86,42274.07),(19918.41,42275.07),(19918.86,42275.08),(19918.41,42276.08),(19918.86,42276.09),(19918
```

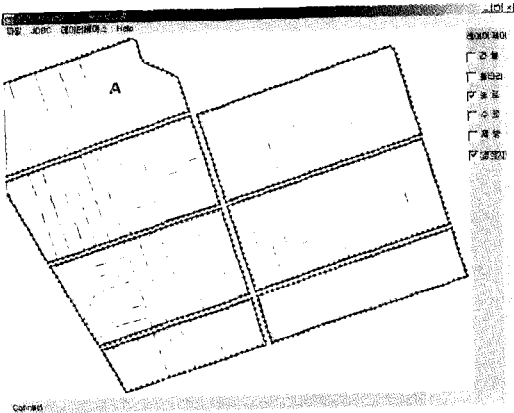



Fig. 15 Display of layered spatial data stored in DBMS

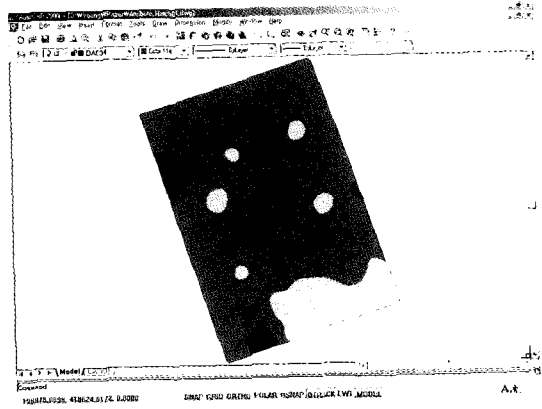


Fig. 16 The OM distribution of target area.

우 해당 레이어만을 출력하는 모습이다. 구축되어 있는 농로와 포장을 점선과 실선으로 각각 출력하였다.

나. 속성 데이터 구축

(1) 구축 대상

속성 데이터 구축 대상은 공간 데이터 구축 대상 지역 중 농로에 대한 속성은 의미가 없기 때문에 포장으로 한정하였다. 그림 15에 출력된 지역 중 A로 표시된 지역을 속성 데이터 구축 대상으로 선정하여 속성 데이터를 입력하였다.

(2) 속성 데이터 구축 및 출력

구축 대상 지역에 대한 입력 속성 데이터는 기존에 이미 연구되어 있는 속성값을 이용하였으며, 본 연구에서는 토양에 존재하는 다양한 속성 중 대상 포장내 토양의 OM과 pH값의 분포를 속성 데이터로 구축하였다. 그림 16과 그림 17은 대상 지역에 대한 속성값을 가지는 자료를 AutoCAD 상에서 디지털이정한 분포도를 나타낸다.

그림 18은 대상 포장의 OM과 pH값에 대한 정보를 가지고 출력된 DXF 파일을 Java 응용프로그램을 이용하여 속성별로 PostgreSQL 데이터베이스 서버에 저장시킨 모습이다. 박스 안의 내용은 표 9에서 정의한 테이블의 스키마 형식인 id와 om_vtx, fld_no 그리고 idx_no 정보를 나타낸다.

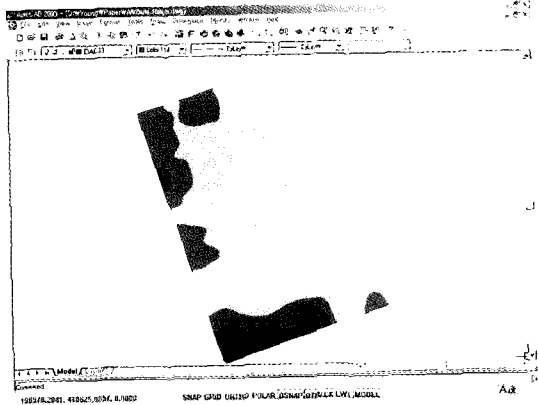


Fig. 17 The pH distribution of target area.

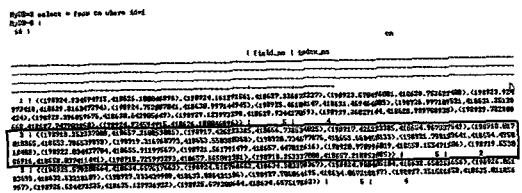


Fig. 18 Attribute data stored in database server(OM).

표 11과 표 12는 속성값의 범위를 가지는 토양 OM과 pH의 인덱스 테이블이다. 재료 및 방법 부분에서 언급한 바와 같이 이 값을 그림 18에 나타난 속성 테이블에 동시에 구축하지 않은 이유는 데이터베이스의 크기 문제로 인한 부하 발생 가능성을 줄이기 위함이다.

Table 11. Attribute index table(OM)

| om_id | om_min | om_max |
|-------|--------|--------|
| 1 | 1.478 | 1.601 |
| 2 | 1.601 | 2.101 |
| 3 | 2.101 | 2.501 |
| 4 | 2.501 | 2.888 |

Table 12. Attribute index table(pH)

| ph_id | ph_min | ph_max |
|-------|--------|--------|
| 1 | 4.941 | 5.201 |
| 2 | 5.201 | 25.401 |
| 3 | 5.401 | 5.601 |
| 4 | 5.601 | 5.801 |
| 5 | 5.801 | 5.929 |

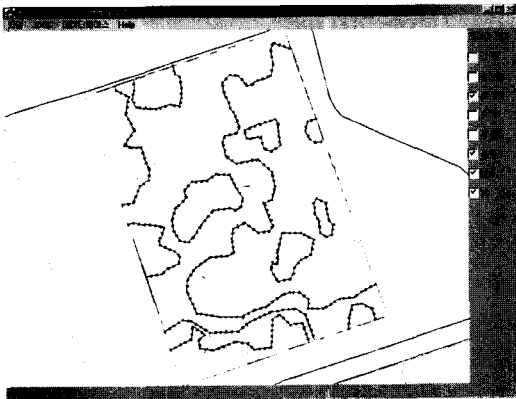


Fig. 19 Extended map of soil OM/pH.

그림 19는 데이터베이스 서버에 접속한 클라이언트 프로그램에서 원하는 속성을 선택할 경우 해당 속성이 대상 지역에 출력되는 모습을 보여준다. 포장내의 점선의 곡선은 토양 pH 분포를 나타내며, 실선의 곡선은 토양 OM 함량의 분포를 나타낸다.

다. 구축된 공간 데이터베이스를 이용한 변량 살포기 시뮬레이션

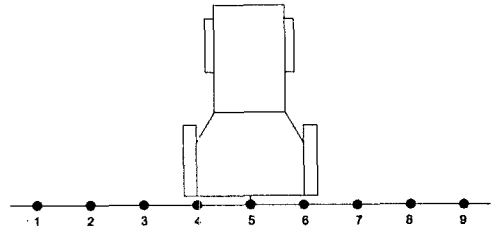


Fig. 20 A virtual VR applicator for simulation.

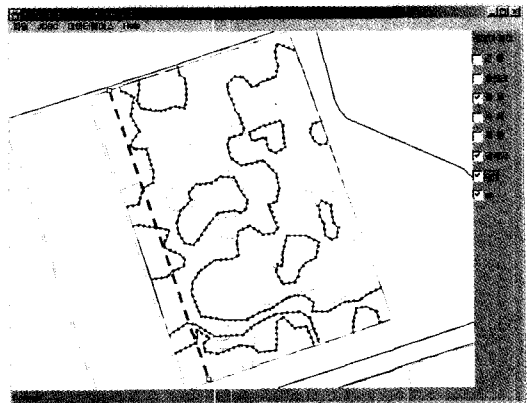


Fig. 21 The path of the virtual VR applicator in the field.

시뮬레이션 프로그램은 농작업 기계가 현재 위치한 곳에서의 포장 속성값의 추출을 통해 가변처리량을 결정할 수 있도록 구성되었다. 또한 이를 통하여 구축된 데이터베이스의 의사결정 지원 시스템으로서의 성능을 평가하였다.

그림 20은 구축된 공간 데이터베이스를 이용하여 노즐의 각 위치별로 토양의 속성값을 추출해내기 위해 가상으로 구성된 변량 살포기이다. 내부가 칠해진 원은 노즐을 나타내며 노즐 아래의 숫자는 노즐의 번호를 나타낸다. 노즐과 노즐간의 간격은 60cm로 설계하였고, 그림 21에 나타난 포장의 우측 하부에서 좌측상부까지 연결하는 점선을 50cm/sec속도로 이동하면서 각 노즐이 위치한 곳에서의 유기물 함량을 추출하였다.

그림 22는 변량 살포기가 이동하면서 각 노즐의 위치에서 토양의 OM 함량을 추출하는 모습을 나타낸다. 그림 22의 열(column, 실선 박스)은 각 노

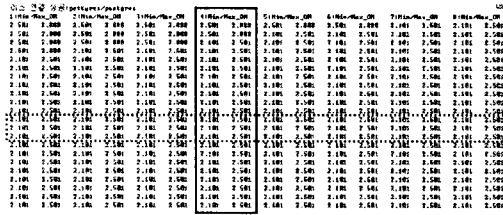


Fig. 22 Soil OM contents at nozzle locations along the simulation path.

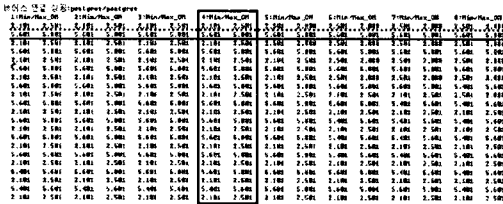


Fig. 23 Soil OM & Ph contents at each nozzle locations along the simulation path.

줄이 위치한 곳의 OM 함량의 최소값과 최대값을 나타내며 행(점선 박스)은 변량 살포기의 이동 위치를 나타낸다.

그림 22에서 보는 바와 같이 각 노즐의 위치에 따라 서로 다른 토양 OM 값이 추출되고 있음을 알 수 있다. 그림 23은 변량 살포기가 주행 경로를 따라 이동하면서 각 노즐의 위치에서 토양의 OM 함량과 pH 값을 동시에 추출하는 모습을 나타낸다.

다수의 토양 속성값을 동시에 추출하는 시뮬레이션은 변량 살포기가 가변 처리량을 결정하는데 있어 다중 속성을 변수로 하여 작동하는 성능을 나타낸다. 그림 23의 열(실선 박스)은 각 노즐이 위치한 곳의 OM 함량과 pH 값의 최소값과 최대값을 나타내며, 홀수 번째 행(row, 점선)은 변량 살포기의 이동 위치에서의 OM 함량을, 짝수 번째 행(실선)은 pH값을 나타낸다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 정밀농업 구현의 필수 불가결의 요소인 데이터베이스 구축의 필요성에 착안하여

공간 및 속성 데이터 구축 알고리즘을 설계하였다. 또한 데이터베이스를 구성하는 공간 및 속성 테이블의 스키마 설계를 통해 공간 데이터베이스를 구축하고, 구축된 데이터베이스와의 통신을 통해 농작업 기계의 위치에 따른 토양 속성값을 추출해 내는 의사결정 지원시스템으로서의 그 기능을 시뮬레이션을 통해 제시하였다.

본 연구의 내용을 정리하면 아래와 같다.

1) 지구측위시스템(GPS)을 이용하여 공간 데이터를 획득하고, 래스터 파일 형태의 속성 자료를 디지털라이저(digitizer)와 AutoCAD를 이용하여 속성 정보를 획득하여 DXF 파일, Java 응용프로그램을 기반으로 하여 PostgreSQL DBMS에 공간 및 속성 데이터를 구축하는 알고리즘을 개발하였다.(그림 8, 그림 11)

2) 본 연구에서 구축된 알고리즘은 공간 및 속성 데이터의 입력 및 분석 과정에서 자동화 공정을 제시하였다.(그림 14, 그림 15, 그림 18 및 그림 19)

3) 구축된 데이터베이스는 포장의 각 위치별로 속성 정보를 획득하고 가변 처리량을 결정하기 위한 의사 결정 지원시스템으로서, 데이터베이스와의 통신을 통해 농작업 기계의 위치에 따른 토양 속성값을 추출하고 이에 대한 연속, 변량적 처리가 가능함을 시뮬레이션을 통해 제시하였다.(그림 20, 그림 21, 그림 22 및 그림 23)

본 연구는 정밀농업 구현을 위한 데이터베이스 구축과 설계에 대한 기초 연구로서 두 가지 속성에 대한 테이블의 스키마를 설계하였다. 그러나 다양한 환경과 분야에 정밀농업을 구현하고자 할 때 구축되어야 하는 속성의 종류는 다양하며 속성들 각각에 대한 스키마 설계에 대한 연구가 요구된다. 또한 구축하고자 하는 데이터의 양과 종류가 증가함에 따라 필연적으로 유발되는 검색속도 저하문제를 해결하기 위한 데이터베이스 튜닝에 대한 연구도 병행되어야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. 강인성. 2000. 지리정보시스템을 이용한 소구획 경작지내의 토양 유기물 및 pH의 변이분석. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원.

2. 공간데이터베이스. 한국정보통신대학원대학교 부설 정보통신교육원.
3. 박원규. 2001. 친환경 정밀농업 기계화기술 개발. 21세기 농업·생물산업의 기계화 및 북한 농업기계화 현황과 과제. 한국농업기계학회 창립 25주년 기념 심포지엄. pp45-85.
4. AutoCAD 2000 DXF Reference.
<http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/acad2000/dxf>
5. Pearce, D., E. Barbier and A. Markanda. 1988. Sustainable development and cost-benefit analysis. London Environmental Economics Centre, UK. Paper 88-01.
6. Usery, E. Lynn., Stuart Pocknee, and Broughton Boybell. 1995. Precision Farming Data Management Using Geographic Information Systems. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 61(11):1383-1391.