

## 정밀농업의 연구 동향과 전망

### Research Trends and Their Perspectives in Precision Farming

장 영 창\*  
정희원  
Y. C. Chang

정 선 옥\*\*  
정희원  
S. O. Chung

#### 1. 서 론

최근 들어 농업생산기술 분야에서는 정밀농업이라는 용어가 자주 등장하고 있으며 내용의 다양성에 기인하여 정밀농업(precision farming, precision agriculture), 처방농업(prescription farming), 국지적 농업(site-specific farming, farming-by-the-foot), 변량형 농업(variable rate agriculture) 등의 여러 가지 명칭으로 불리고 있다. 현재 서구에서 새로운 농업의 표준이 되어 가고 있는 정밀농업의 큰 특징은 기존 농업이 거시적, 통계적 접근방법임에 비교하여 미시적, 변량적 접근방법에 기초한다는 것이다.

정밀농업의 완전한 구현에는 아직 해결해야 할 많은 문제점이 있으나 외국에서는 정밀농업의 응용으로 얻어지는 경제적 이득 사례가 보고되고 있다(Earl 등, 1996; Stone 등, 1995; Hayes 등, 1994; Stafford 등, 1993). 나아가 정밀농업을 통하여 작물 생산과정의 문제점을 정확히 파악할 수 있고 농업기계의 사용효율이 증가되며 농산물 생산의 차등화와 안전성 고취, 환경 침해의 최소화라는 다양한 이득을 얻을 수 있다(Nowak 등, 1995).

정밀농업에는 그 다양한 용어가 보여주는 바와 같이 많은 응용 기술들이 필요하며, 아울러 새로운 기술의 개발과 응용 가능성 등이 연구되어야 한다. 현재 외국에서는 원격탐사(remote sensing), 지구상 측위시스템(global positioning system, GPS) 및 지리정보시스템(geographical information system, GIS)과 같은 정밀농업의 기초기술들을 이용하여 미국을 중심으로 다양한 연구가 진행되고 있으며, 가까운 일본에서도 이에 대한 기초적인 연구가 진행중이다.

우리나라에서는 정밀농업에 관한 인식은 크게 확산되고 있으나 그에 대한 연구는 미비한 실정이다. 특히 농업기계의 경우, 정밀농업은 농업생산기술 분야에서 기계화의 다음 단계 대안으로 현재 많은 관심을 집중시키고 있다. 이는 그간의 컴퓨터 기술의 발전, 에너지를 최소로 투입하고 최적의 수입을 얻으면서 환경에 대한 피해를 최소화해야 한다는 사회적 요구에 의해 정밀농업이라는 변량형 접근방법이 필요했기 때문이다. 따라서 우리나라에서도 정밀농업에 대한 연구의 활성화가 시급히 요청되고 있다.

정밀농업은 농업기계 분야에서 아직 생소한 접근방법으로서, 여기서는 정밀농업의 개념 소개와 응용

\* 서울대 농생대 농업개발연구소

\*\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

범위, 정밀농업의 기초 요소기술인 원격탐사, 지구 측위시스템(GPS) 및 지리정보시스템(GIS) 등에 대하여 간략하게 살펴보고, 농업기계 분야를 중심으로 정밀농업에 관한 연구의 현황과 연구의 제한점을 알아보며, 아울러 향후 정밀농업 분야의 연구 전망을 살펴보고자 하였다.

## 2. 정밀농업의 개념과 응용 범위

### 가. 정밀농업의 개념

정밀농업은 1960년 중반 이후 개념이 설정되었으나 그 당시 전자기술의 발전 상태, 컴퓨터의 저급한 성능 등으로 활발한 연구가 진행되지 못하였다. 기존의 통계적인 접근방법으로 해석되던 시비량, 토성, 판개량, 수확량 등으로는 균일한 파종을 하고 비료, 농약 등을 균일하게 처리했음에도 불구하고 포장 내의 지역에 따라 수확량이 달라지는 것을 설명하지 못했기 때문에 포장내의 변이를 인정한 새로운 접근방법이 필요했던 것이다.

개개의 포장은 다른 토질, 영양분, 물의 흐름, 병해충 저항정도 등 각기 다른 특성을 갖고 있으며, 이에 따라 생산된 농산물은 질과 양에서 다른 특질을 갖는다. 한 포장 내에서도 이러한 차이는 존재하기 때문에 포장의 각 부분에 대한 특성을 이해하고 그 특성에 맞는(site-specific) 처리가 이루어져야 하며, 이에 따라 궁극적으로 적은 투자에서 최대의 혹은 최적의 수익을 얻을 수 있다는 것이 정밀농업의 개념이다.

정밀농업은 개념상으로 변량형 농법임과 동시에 과거의 정보를 토대로 최적의 수익을 얻을 수 있도록 의사 결정과 장비를 투입한다는 측면에서 농업의 시스템화를 내포하는 개념이라 하겠다. 또한 적절한 관리를 통하여 미래의 포장상태 및 수확량을 조절하기 때문에 정밀농업은 환경보호, 보전이라는 선진 사회적 요구에 부합되는 개념이기도 하다.

### 나. 정밀농업의 응용 범위

정밀농업의 개념을 응용할 수 있는 농업기계 분야는 매우 다양하지만 주로 경운 및 정지작업, 파종작업, 시비 및 병해충 방제작업, 수확작업 등, 농업생산기술 분야에 적용되고 있다.

경운 및 정지작업의 경우에는 포장내 토양유실상태, 지력 등을 감안하여 토양 조건에 따른 경심 조절 등의 방법으로 적절한 밭아 조건을 형성시킬 수 있으며, 잡초 생장을 조절할 수 있고 이에 따라, 연료 절감의 효과를 갖게 된다.

파종작업의 경우, 각 지역의 토양의 종류, 영양상태, 과거의 수확량 추이 등, 토양의 특성에 맞도록 파종량을 변화시켜 작물 생육시에 작물이 밀집되지 않고 많은 일조량을 확보하는 등, 작물 생육조건을 최적화 시킴으로써 최대의 수확과 최고의 품질을 확보할 수 있다.

시비 및 병해충 방제작업은 현재 정밀농업을 응용하는 분야 중에서 가장 활발한 연구가 이루어지고 있는 분야이며 정밀살포(precision application, site-specific application)라고 불리기도 한다. 기본적으로 정밀살포는 작물을 관리하는데 있어 포장 및 작물의 상태를 파악하고 그에 따라 필요한 장소에 농약 및 비료 등을 필요한 만큼 살포함으로써 환경보호와 경비 절감을 동시에 이루고자 하는 것이다. Blackmore (1994)가 지적한 바와 같이, 이 분야는 정밀농업의 개념을 응용함으로써 경제적 이득의 급신장과 환경침해의 최소화를 이룰 수 있는 분야이다.

수확작업의 경우는 포장내 변이나 작물관리 상태를 작물의 수확량과 결합하여 수확량 지도(yield map)를 작성하고, 수확량 지도에 근거하여 작물관리에 대한 의사 결정을 새롭게 하는 범위에서 정밀농업의 개념이 응용되고 있다. 최근 서구에서는 수확과 동시에 각 포장에서 수확량을 측정, 기록하는 상업용 콤바인이 개발된 상태이다(Mangold, 1995). 앞으로 농산물 품질에 대한 온라인 계측 방법이 연구

될 경우에는 수확량 지도에 대비하여 품질 지도 (quality map)의 작성도 가능하며 토양 지도(soil map)와 더불어 보다 종합적인 작물생산관리 체계가 형성될 수 있다.

### 3. 정밀농업의 기초 요소기술

정밀농업을 구현하는데 있어서 그 개념상 토양의 상태나 수확량 등을 포장의 위치와 결합하는 것은 매우 중요하며 기본적인 조건이라고 할 수 있다. 정밀농업에 필요한 기초기술은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

첫째, 작물, 토양, 위치에 대한 정보를 얻을 수 있는 센서로서 포장내의 현위치, 함수율, 단백질, 수응력(water stress), 병해충이나 잡초의 발생정도를 감지하는 센서를 예로 들 수 있으며, 원격이나 기계에 장착된 형태로 사용할 수 있다. 이러한 센서들은 샘플을 채취하여 나중에 실험실에서 분석하는 형태가 아니라 감지한 정보를 실시간으로 처리하고 저장할 수 있는 것이(on-line processing and storing) 바람직하다고 할 수 있다.

둘째, 정밀한 제어 시스템을 들 수 있다. 작물관리의 의사 결정에 따라 포장기계를 안내하며 물, 종자, 양분, 화학제 살포의 양을 조절하고 혼합하며 살포하는 것은 하나의 좋은 예라고 할 수 있다.

셋째는 전산화된 GIS 지도와 데이터베이스로서 센서에 의해 생성된 데이터를 처리하고 제어 시스템을 구동하며 처방을 결정하는 기술을 들 수 있다. 첫째와 둘째의 기술이 훌륭하게 개발되더라도 셋째에 해당되는 의사 결정 과정이 이루어지지 않으면 정밀농업이 어렵게 된다.

정밀농업은 실제적으로 여러 가지 요소기술이 복합적으로 사용되고 있으나 여기서는 비교적 최근에 중점적으로 연구되고 가장 가능성있는 요소기술로 알려져 있는 원격탐사, 지구측위시스템, 지리정보시스템에 대하여 간단히 살펴보고자 한다.

#### 가. 원격탐사(remote sensing)

원격탐사는 접촉하지 않고 물체의 특성을 측정하는 기술로 주로 여러 파장대의 스펙트럼 이미지 형태로서 자료를 제공한다. 원격탐사 기술은 오래 전부터 농업에 적용할 수 있는 가능성을 보여 주었으며, 대부분 전자기 스펙트럼의 특성을 이용하여 작물 관찰에 응용되고 있다. 그러나 원격탐사 기술은 높은 비용 때문에 높은 공간 해상도를 가진 실시간 데이터는 그 사용이 최근까지 매우 제한적이었다. 현재는 항공기나 위성에서 획득한 영상을 제공하는 회사가 늘어나고 사용 비용이 다소 감소하면서 활용이 광범위하게 확대되고 있다.

원격탐사의 가장 큰 장점은 스펙트럼 이미지 형태로 제공된 자료를 이용하여 식물의 성장, 생체 중량, 작물 수확량, 환경적인 스트레스 등을 분석할 수 있다는 것이다(Jackson 등, 1986). 그러나 원격탐사를 통하여 얻어진 자료는 직접적인 분석을 통하여 그 자료의 효용성을 인식하기 쉽지 않다. 대개는 식물 성장, 작물 수확량, 관개일정 설정, 식물의 병충해 정도를 모델링하여 분석을 실시하며, 이를 통하여 자연적 또는 인위적인 환경 변화에 작물이 반응하는 공간적, 일시적 변화를 알 수 있게 된다.

농업에서 사용하는 파장대는 주로 가시광선, 근적외선, 열적외선이며 극초단파도 새롭게 연구되고 있다. 생물체 표면에서 반사되는 특정 스펙트럼의 에너지 양은 물체의 특성 및 생물체를 가열하는 조사체(illumination source)의 특성에 영향을 받는다. 태양을 조사체로 생각한다면, 광량이 일정하지 않기 때문에 물체의 복사량은 물리적 특성을 나타내는 지수로 사용하기 어렵다. 그러나 물체에서 나오는 복사에너지와 물체에 도달하는 에너지의 비율로 나타내는 생물체의 표면반사(reflectance)는 일정하기 때문에 표면반사를 이용하여 생물체 특성을 분석하는 것이 일반적이다.

가시광 스펙트럼(visible spectrum)과 근적외선 스

펙트럼(near-infrared spectrum, NIR)으로 작물이 있을 때와 토양만 있을 때 표면반사를 살펴보면 반사 특성이 확연히 다름을 알 수 있다. 작물은 가시광 중에서 녹색영역(550 nm 부근)에서 표면반사가 크게 된다. 이러한 경향은 작물이 포함하는 클로로필이 갖는 특성이다. 또한 클로로필은 적색영역(690 nm 부근)에서 파장의 흡수성이 커지며 가시영역을 넘어 근적외선(800 nm 이상) 부근에 이르면 다시 작물의 표면반사를 급격히 증가시킨다. 반면 순수 토양은 가시영역에서 근적외선 영역까지 표면반사가 완만히 증가된다. 사람의 눈과는 다르게 반사 에너지를 감지할 수 있는 전기전자적 센서는 적색영역과 적외선 영역에서 민감도가 높다. 이러한 특성을 결합하여 적색과 근적외선 영역을 조사하고 반사특성을 지수화하여 특정지역에서 작물의 존재여부와 생육상태 등을 분석할 수 있다(Jackson 등, 1991; Jackson, 1984).

작물의 상태를 평가하는 또다른 방법으로 열원격탐사(thermal remote sensing)를 들 수 있다. 군사적 목적으로 흔히 쓰이고 있으며 대개 적외선 스펙트럼(infrared spectrum)의 반사 에너지를 측정함으로써 물체의 표면온도를 구하고 분석하는 기술이다. 작물은 수분을 토양에서 흡수하고 잎에서 공기 중으로 방출하는데, 이때 잎은 차가워진다. 작물에 수분이 부족하면 표면온도가 올라가므로 이 온도로서 작물이 건강한 상태인지를 알 수 있다. 이와 같이 농작물의 생물학적 특성이 활발히 연구되면서 원격탐사에 사용되는 파장대와 적용사례는 더욱 다양해질 것으로 전망된다.

#### 나. 지구측위시스템(global positioning system, GPS)

GPS는 궤도위성을 이용한 지구상의 위치결정 시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS)의 일종으로, 여러 개의 기준점과 기준점으로부터 측정점

까지의 거리를 계산하여 현재 측정점의 위치를 알려 주는 시스템이다. 우주 궤도에 쏘아 올린 여러 개의 위성은 기준점이 되고, 판매되고 있는 위성신호 수신기는 측정점이 되며 수신기 위치는 지구상 위도, 경도, 고도의 3차원 좌표로 나타난다(Leick, 1995).

이 시스템의 장점은 수신 시스템을 구비하면, 무료로 신호를 이용할 수 있으며, 수신기가 소형이고 실시간으로 출력을 얻을 수 있으므로 이동하면서 작업할 수 있다는 것이다. 기존의 측량기가 담당했던 많은 부분을 이 시스템이 대신함으로써 새로운 응용 가능성이 열렸으며, 실제로 전세계 여러나라에서 위치측정과 동시에 그 위치에서의 토양상태, 수확량 등을 결합함으로써 농업에 응용하고 있으며 실용화 단계에 와 있는 분야도 많다(Cahn, 1994).

GPS는 우주부분(Space Segment), 지상 제어부분(Ground Control Segment), 사용자부분(User Segment)의 세 부분으로 구성되어 있고, 각 부분은 다른 임무를 수행하고 있다. GPS의 위치결정 정밀도는 미국 방성이 제공하는 전파의 종류(selective availability), 전리권과 대류권의 전파지연, 위성과 수신기 시계의 오차, 궤도위성의 위치예측 오차, 수신기 잡음, 경로의 다중성, 위성의 배치 등에 따라 달라지며 오차 정도는 <표 1>과 같다.

GPS는 지금까지 개발된 어떤 전파 항법장치보다 매우 정확한 항법장치이지만, <표 1>에서 보는 바와 같이 정밀도는 약 100m로서 현재 정확도를 더욱 높여 그 사용범위를 넓혀 보려는 노력이 진행중이다. 특히 고정밀도를 요구하는 측량이나 비행기의 이착륙, 좁은 수로에서 선박 유도, 차량의 자율주행, 농기계의 정밀작업 등이 그 예가 될 것이다.

DGPS(Differential GPS)는 GPS가 가지고 있는 오차를 줄이기 위해 개발된 측위방식이다. DGPS의 원리는 두 수신기간의 거리가 수백 km 이내이면 지구상에서는 매우 짧은 거리이므로 전리권, 대류권에서 일어나는 전파지연의 효과 등, 두 수신기에서는 오차 원인파 오차량이 같다는 가정에 근거한다. 따라

Table 1 Positioning errors of a GPS

Error source	Typical RMS range error (m)
Selective availability	24.0
Atmospheric error	
- ionosphere	7.0
- troposphere	0.7
Clock and ephemeris error	3.6
Receiver noise	1.5
Multipath	1.2
Total UERE	25.3
Typical horizontal DOP	2.0
<hr/>	
Total stand-alone horizontal accuracy (2d rms)	101.2

서 위치를 정확히(수 mm 이내) 알고 있는 장소에 정밀한 시계와 수신기를 갖춘 기준국을 설치하고, GPS 위성신호를 받아 수신기로 계산한 위치와 미리 알고 있는 기준국 위치를 비교하여 위치 오차에 대한 보상값을 계산한다. 그 다음, 보상값을 인근에 있는 다른 수신자에게 전송하여 수신자의 위치 정밀도를 높이는 원리로 되어 있다. 현재는 실시간으로 수 mm의 정밀도를 얻을 수 있는 DGPS도 시판 중이다.

다. 지리정보시스템(GIS)

GIS란 일반적으로 공간데이터와 해당 속성데이터를 연결하여 입력, 저장, 가공, 분석을 할 수 있으며, 그 결과를 화면에 보여주고 자료로서 출력이 가능한 소프트웨어 시스템을 의미한다. 공간데이터는 점으로 저장되는데 소프트웨어에 의해 점, 선, 면적으로 변환된다. 지형지물에 대한 정보는 각각의 층(layer)으로 구분되는 것이 보통이다(Koussoulakou, 1992). 예를 들어 하나의 층은 강을 나타내고 또 다른 층은

도로를 나타내는 방식으로 정보를 구분한다.

농업에서 GIS는 토양특성, 병해충 정보, 작물 성장특성 등 공간적 농업자료와 수확량, 농업 순이익 등을 연결하는 소프트웨어적 도구를 의미하며 지형학적 정보의 집약이라 할 수 있다. 층으로 구분된 농업자료는 해당되는 속성을 가지게 된다. 이 속성은 토양종류, 농용수의 흐름방향, 품종, 수확량 자료 등 그 응용 목적에 따라 다양하다. 속성들은 다른 데이터베이스에 저장되어 태그(tag)나 레이블(label)을 이용하여 내부적으로 서로 연결되는 형태를 취한다. 이런 방식으로 속성데이터를 조회함으로써 포장의 특성, 위치와 해당된 자료를 얻을 수 있다. <그림 1>은 지형학적 정보와 작물의 수용력 정도를 결합하여 3차원적으로 도시한 GIS 지도의 한 예를 보여주고 있다.

GIS에서 가장 중요한 것은 데이터 베이스를 만들고 이에 기초하여 의사 결정을 내리는 알고리즘이다. 알고리즘의 성격에 따라 GIS는 수확량지도(yielding map)와 같은 간단한 형태에서부터 총 이익지도(gross margin map)나 농장 관리정보시스템(farm management information system, FMIS)과 같은 복잡한 의사 결정 체계와 연결된다. 농장 관리자나 농민들은 이에 근거하여 자신의 농업 전략을 세우고 문제점을 해결하게 된다(Musto, 1994).

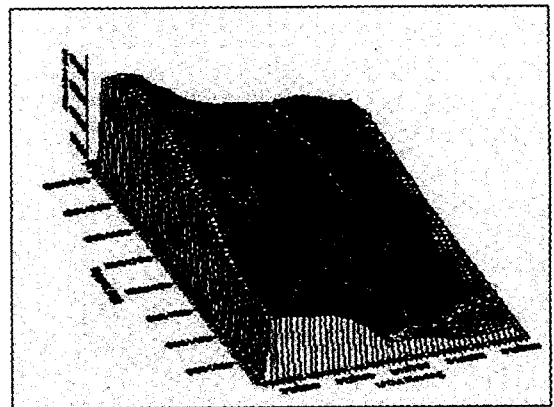


Fig. 1 An example of GIS map displayed in 3-dimensional topography.

#### 4. 정밀농업 연구의 일반 동향과 제한점

##### 가. 정밀농업 연구의 일반 동향

정밀농업 연구는 주로 미국, 캐나다, 영국 등 서구를 중심으로 수행되고 있으며, 디지털 공학과 컴퓨터 응용공학에 그 기반을 두고 있다. 정밀농업 연구에 참여하고 있는 학문 분야는 농학, 생물학, 곤충학, 농경제학 등 매우 다양하지만 연구 범위는 아직 정밀농업의 기초기술을 개발하고 문제점을 보완하려는 수준에 머물러 있다.

농공학에 있어 정밀농업 연구는<sup>1)</sup> 농업기계 및 동력(power and machinery), 토양 및 물(soil and water), 정보 및 전기전자 기술(information and electrical technology) 분야에서 활성화되고 있다. 현재 농공학에서는 정밀농업과 관련하여 농작업의 효율성과 성능향상, 다양한 종자형태 개발, 농화학제, 토양 등이 수확에 미치는 영향의 측정, 단위면적당 포장능력의 추정과 분석, 효율적인 포장관리에 대한 방법론 등이 연구되고 있다. 아울러 정밀농업 연구의 다양성을 인식하고 농공학 분야와 기초 농학분야와의 협력 연구에 대한 필요성이 부각되고 있다.

최근에 발표된 정밀농업 관련 연구를 1997년 미국 농공학회 국제학술대회를 기준하여 살펴보면 센서 및 응용기술 개발, 정밀농업을 위한 장치 및 장비 개발, 미시적 변량형 농법으로서 정밀농업 연구를 위한 새로운 포장실험 방법론 설정, 자료를 효율적으로 관리하는 자료관리체계의 개발 등으로 대별된다.

센서 및 그 응용기술에 관련하여, 유전체(dielectric sensor)를 이용한 습도 측정, 옥수수 개체 및 땅콩, 사탕무의 수확량 계측, 기계시각을 이용한 잡초의 감지, 광학 필터(turnable optical filter)를 이용한 채소의 응력 측정에 관한 연구가 발표되었다. Behme 등(1997)은 기존의 곡초 수확기에 랩탑 컴퓨

터, DGPS, 로드셀을 이용하여 수확량 측정장치를 설치하고 온라인으로 곡초 수확량을 측정하고자 하였으며, 수확량 측정장치의 오차는 단지 2.5%~5.2% 정도라고 보고하였다. 그러나 Searcy 등(1997)은 유사한 계측장치를 이용하여 온라인으로 면화 수확량을 측정한 결과, 수확기 이동에 따른 기계적 진동과 동력학적 요인 때문에 무게측정에 많은 오차가 포함되어 있다고 하였다. 또한, 정밀방제를 위한 기초 연구로서 다중 분광영상과 신경회로망을 이용하여 포장에서 잡초와 작물을 구분하는 정밀농업형 센서를 개발하고자 하는 노력이 진행중이나 그 측정의 정확도는 요인에 따라 50%~90%로 변화가 매우 심하였다(Haralson 등, 1997).

정밀농업을 수행하기 위한 구체적인 장치 및 장비도 활발히 개발되고 있어, GPS 항행시스템 특성화, 변량형 곡물 조파기 및 건조비료 회전살포기, 기계시각을 이용한 정밀살포기의 개발 등 다수의 연구 결과가 보고되었다. 특히, 소프트웨어적 도구로서 현재 공급되고 있는 다수의 수확량지도 작성 프로그램에 대하여 그 장단점 및 문제점이 분석되었는데, 같은 자료임에도 불구하고 다른 결과의 수확량지도를 만들어 냄으로써 정밀농업을 위해 하드웨어 뿐만 아니라 소프트웨어에 관하여 많은 연구가 필요함을 보여 주었다(Ess 등, 1997; Bechman, 1997).

정밀농업의 개념은 미시적 변량형 농법으로 기존의 방법론과 근본적인 차이가 있기 때문에 정밀농업 연구를 수행하는데 있어 자료의 수집이나 분석 등도 매우 다르다. 이에 따라 정밀농업 연구를 수행하기 위한 새로운 연구 방법론이 제시되고 있다. 곡물수확에 미치는 토양분의 영향에 대한 공간적 분석법이 발표되었고, Adams 등(1997)은 기존의 단인자 실험 설계(one factor strip trial 등)에 대하여 보다 복잡한 다인자 실험설계법(2D sine wave 등)을 제시하고 그 장단점을 분석하였다.

1) 농공학 연구 분야는 미국 농공학회(ASAE)의 분류 기준을 참조하였음.

정밀농업형 자료관리(data management)와 연관하여 수확량지도에 관한 기초적인 GIS 연구가 많이 발표되고 있으며 정밀농업의 실질적인 구현에 필요한 종합적인 작물관리 체계에 대한 연구는 아직 전무한 실정이다. 현재 정밀한 작물관리체계를 개발하기 위해 작물 성장모델을 변경하고 개선하는 연구가 진행 중이며, 공간적 데이터의 효율적 선별법과 정밀농업 자료를 통하여 그 경향을 분석하는 인공지능적 접근법이 개발되고 있다. 또한 Shearer 등은(1997) 수확량 지도를 작성하는데 측도 설정, 작업자의 기술, 계측 시스템의 영향이 내재됨을 주목하고 이를 개선하기 위해 자료의 체계적인 교정기법을 제시하였다.

현재 우리나라에서는 농공학을 중심으로 정밀농업 연구를 시작하려는 단계에 있으며 구체적인 연구 사례는 보고되지 않고 있다. 그러나 정밀농업의 기초 요소기술의 하나인 GPS를 이용하는 연구(장 등, 1998; 정 등, 1998; 조 등, 1997)가 활성화되고 응용 기술이 축적됨에 따라 가까운 시일내에 우리나라에서도 정밀농업의 연구에 GPS가 응용될 것으로 전망된다. 또한, 토양 및 물 분야에서는 원격탐사 기술에 의거하여 토양 지도와 GIS 지도를 작성하고자 하는 기초적인 정밀농업 연구과제가 진행중인 것으로 알려져 있다.

#### 나. 정밀농업 연구의 제한점

현재 정밀농업의 연구를 수행하는 데는 개념적, 기술적으로 매우 다양한 제한점이 존재한다. 가장 큰 제한점으로는 정밀농업 개념에 근거한 신기술의 응용을 통해서 궁극적으로 농민에 경제적 이득을 최대한으로 보장할 수 있으며 환경침해를 최소화 할 수 있는가 라는 정밀농업의 장점에 대한 불확신을 들 수 있다. 이것은 연구 활성화를 위해 가장 기본적으로 해결해야 할 걸림돌이다. 아울러 신기술 개발에 따른 농업기계 가격상승 여부도 정밀농업의 연구투자에 중요한 변수로 작용한다.

기술적 제한점으로는 현재 정밀농업의 효율성을 측정할 수 있는 계측방법이 부족하고, 정밀농업의 구현을 위한 기초자료가 미흡하다는 것이다. 예를 들면, 정밀방제의 경우에 기존의 농화학제 살포량은 통계적 방법에 근거한 것으로 변량형 살포방법에는 적합하다고 할 수 없으며 소량, 집중살포에 따른 적정 농도와 양이 검증될 필요가 있다(Chang 등, 1995). 따라서 학교나 전문 연구소에서 정밀농업에 관련된 기초연구의 활성화가 시급한 실정이며, 기초 연구에 많은 시간이 요구되어 정밀농업의 신기술 응용에 따른 실제적인 결과는 단시간 내에 가시화 하기 힘들 것으로 전망된다.

정밀농업에서는 전기전자적 장비의 응용이 매우 중요하나 농업환경의 열악성에 견딜 수 있는 전자장비의 내구성이 부족한 것도 정밀농업 연구의 제한점으로 들 수 있으며 이에 대한 해결방향이 고려되어야 할 것이다.

정밀농업 관련 연구가 활성화되기 위해 해결해야 할 또 다른 제한점으로 연구인력의 부족을 들 수 있다. 정밀농업 연구의 활성화는 기존 연구의 침체화와 연구인력의 대체를 의미하는 것은 아니기 때문에 새로운 연구인력의 확보는 시급한 문제이다. 따라서 대학 등 관련 교육기관에서 정밀농업에 관련한 커리큘럼의 연구와 개설이 요청되고 있다. Ess 등(1997)은 정밀농업 커리큘럼에 대한 한 방향을 제시하였다. 그들이 제시한 커리큘럼은 기본적으로 정밀농업의 개념에 근거한 것으로서 정밀농업의 소개와 더불어 위치 검출시스템, 수확량지도, 토양 샘플링과 분석법, 원격탐사, 컴퓨터와 GIS, 변량형 기술의 응용 사례 등을 포함하고 있다.

정밀농업은 필연적으로 농업기계 운용에 대한 복잡성을 증가시키기 때문에 연구의 초기 단계에서부터 농민에 대한 정밀농업 신기술의 교육 프로그램을 마련하고 교육해야 하는 필요성도 비용과 프로그램의 복잡성 때문에 한 제한점으로 제시되고 있다.

## 5. 정밀농업의 연구 전망

정밀농업 연구가 앞으로 성공적인 방향으로 진행될 것인가, 나아가 어떠한 파급효과를 갖게 되는가를 분석하는 것은 현 시점에서 매우 어려운 과제이다. 그러나 농업기계 분야에 있어 정밀농업의 연구 방향은 정밀농업의 장래와 깊은 연관을 가지고 고찰해야만 한다. 정밀농업의 연구는 농공학 분야에 국한된 것이 아니며, 연구 진행의 단계는 서로 독립적일 수 없다. 또한 연구의 단계는 기초, 응용 분야와 같이 순서적일 수도 있고 동시 다발적일 수도 있어 매우 복잡한 양상을 띠고 있다.

기존의 연구결과를 토대로 향후 정밀농업의 연구 방향을 크게 분류하면, 식물성장과 병충해 정도 등, 제요인에 따른 작물생장의 모델화와 작물생산 관리를 위한 센서의 다양화가 기초연구의 한 분야를 이룰 것으로 생각된다. 정밀농업의 개념에 근거할 때 기초연구의 또다른 한 분야는 위치 검출시스템의 다양화 및 안정화가 될 것으로 전망된다. 연구결과에 따르면 정밀농업의 기초 요소기술인 GPS는 그 기술의 장점에도 불구하고 신호 수신에 대한 제약 등이 응용의 장애로 지적되고 있다(Leick, 1995; 정 등, 1998).

정밀농업 연구의 다음 단계는 기초연구의 결과를 토대로 하여 작물생장의 변경을 통한 농업의 다양화와 그에 따른 농작업의 다양화 및 효율화에 관련된 연구가 활발히 진행될 것으로 전망된다. 이 분야의 연구는 기초연구와 분리되어 생각할 수 없으나 기초연구의 결과가 부재한 상태에서는 효과적인 연구가 불가능하다. 이 단계에서 정밀농업 실현을 위한 다양한 농기계 제어시스템 및 상업화 장비가 등장할 것으로 생각된다.

정밀농업 연구의 최종적 단계에서는 작물생산관리, 농기계의 효율적 운용 등과 같은 소프트웨어적 연구가 주로 이루어질 것이며 농기계, 환경요인, 작물생산 및 판매의 일체화 및 시스템화를 통해서 궁

극적으로 농업기계의 자동화와 농업의 시스템화를 구현할 수 있는 방향으로 진행될 것으로 전망된다.

## 6. 결 론

정밀농업은 미시적 변량형 농법으로서 최소의 비용 투자로 최대의 수익을 얻으며 적절한 관리를 통하여 환경보호, 보전을 가능하게 하는 선진 사회적 개념의 새로운 농법이다. 이러한 신농법은 서구와 같이 대규모 농장을 경영하는 농민에게 뿐만 아니라 우리나라와 같이 소규모 단위의 농민에게도 많은 장점과 경쟁력을 갖추고 있어 앞으로 정밀농업은 우리나라의 농업의 표준으로써 농업시스템화에 크게 기여할 전망이다.

정밀농업의 실현을 위해 선진 외국에서는 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 다양한 연구결과가 발표되고 있다. 그러나 우리나라에서 정밀농업의 관련 연구는 전무한 실정이다. 특히 농공학에 있어 정밀농업은 농업생산기술 분야에서 기계화의 다음 단계 대안으로 부각되고 있으며 관련 연구자에게도 많은 기회와 도전을 제공할 것으로 판단된다. 아울러 정밀농업에서 있어 농공학은 매우 중요한 역할을 차지하고 있다. 따라서 우리나라에서도 정밀농업에 대한 연구의 활성화가 시급히 요청되고 있다.

현재까지 정밀농업의 관련 연구를 고찰해 본 바에 따르면 외국에서도 그 연구 수준은 기초기술 범위에 머무르고 있다. 향후 연구의 필요성을 인식하여 체계적인 연구과제를 확립하고 연구를 활성화시킬 때, 우리나라의 농업기계 기술은 잠재성있는 첨단기술로서 경쟁력을 갖추게 될 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 장익주, 이기명, 김태한, 김신길, 팽정수. 1998. GPS와 CCD 카메라의 영상을 이용한 무인 작업 트랙터 개발(II) -시작기의 개요 및 시스템의



- 구성 - 한국농업기계학회 1998년 동계 학술대회 논문집 3(1):493-497.
2. 정선옥, 박원규, 김상철, 박우풍, 장영창. 1998. DGPS와 Gyro Compass를 이용한 트랙터의 자세 검출. 한국농업기계학회 1998년 동계 학술대회 논문집 3(1):505-510.
  3. 조성인, 이재훈, 정선옥. 1997. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 자율주행(I) - 그래픽 시뮬레이션 -. 한국농업기계학회지 22(4):487-496.
  4. Adams, M. L. and S. E. Cook. 1997. Methods of on-farm experimentation using precision agriculture technology. ASAE Paper NO. 973020, Minneapolis, MN, USA.
  5. Bechman, T. J. 1997. A buyer's guide for yield-mapping software. Missouri Ruralist, 138(3):cg4-8.
  6. Behme, J. A., J. L. Schinstock, L. L. Bashford and L. I. Leviticus. 1997. Site-specific yield for forages. ASAE Paper NO. 971054, Minneapolis, MN, USA.
  7. CAHN, M. D., J. W. HUMMEL and C. E. Goering. 1994. Mapping maize and soybean yields using GPS and a grain flow sensor. Poster presentation abstr., 2nd Int. Conference on Site-Specific Mgt. St. Paul, Minn., USA.
  8. Chang, Y. C., B. Wade, L. E. Bode and L. M. Wax. 1995. The spatial analysis of herbicide penetration on plant leaves with spray deposit characteristics. ASAE Paper No. 951653. St. Joseph, MI, USA.
  9. Clark, R. L.. 1997. Practices and potential : Assessing and agricultural revolution in progress. Precision farming, April.
  10. Earl, R., P. N. Wheeler, B. S. Blackmore and R. J. Godwin. 1996. Precision farming : The management of variability. The Journal of the Institution of Agricultural Engineers, 51(4):18-23.
  11. Ess, D. R., M. T. Morgan. 1997. Development of a course in precision agriculture, ASAE Paper No. 975036, Minneapolis, MN, USA.
  12. Ess, D. R., S. D. Parsons and R. M. Strickland. 1997. Evaluation of commercially available software for grain yield mapping. ASAE Paper NO. 971033, Minneapolis, MN, USA.
  13. Haralson, A. E. et al. 1997. Site-specific sensor for chemical application : hardware and software for multispectral images. ASAE Paper NO. 973056, Minneapolis, MN, USA.
  14. Hayes, A. O. and J. W. Price. 1994. Feasibility of site-specific nutrient and pesticide applications. Environmental Sound Agriculture, Proceedings of the Second Conference, 62-68.
  15. Jackson, R. D. 1984. Remote sensing of vegetation characteristics for farm management. SPIE 475:81-96.
  16. Jackson, R. D. and A. R. Huete. 1991. Interpreting vegetation indices. Preventive Veterinary Medicine 11:185-200.
  17. Jackson, R. D., P. J. Pinter Jr., R. J. Reginato and S. B. Idso. 1986. Detection and evaluation of plant stresses for crop management decisions. IEEE Trans. on GeoSci. and Remote Sensing GE-24(1): 99-106.
  18. Koussoulakou, A. 1992. GIS education in the Netherlands : profile and prospects. Proceedings EGIS '92 Conference, Munich, 84-92.
  19. Leick, A. 1995. GPS satellite surveying, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc.
  20. Mangold, G. 1995. Deere deploys new GreenStar System. Successful Farming 93(8):25.
  21. Musto, I. P. 1994. GIS in natural-resource management : the move from map database to quantitative analysis. Proceedings of Resource Technology '94, New Opportunities, Best Practice, Melbourne, 25-36.
  22. Nowak, P., J. Lowenberg-DeBoer and S. Swinton. 1995. Socio-economic evaluation of site specific management. SSSA Symposium on Site Specific Management. ASA Annual Meeting, St. Louis,

- USA.
23. Searcy, S. W., D. S. Motz and A. Inayatullah. 1997. Evaluation of a cotton yield mapping system. ASAE Paper NO. 971058, Minneapolis, MN, USA.
  24. Shearer, S. A., S. G. Higgins, S. G. McNeill, G. A. Watkins and R. I. Barnhisel. 1997. Data filtering and correction techniques for generating yield maps from multiple combine harvesting systems. ASAE Paper NO. 971034, Minneapolis, MN, USA.
  25. Stafford, J. V. and P. C. H. Miller. 1993. Spatially selective application of herbicide to cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 9:217-229.
  26. Stone, M. L., J. B. Solie, W. R. Ruan, S. L. Taylor, J. D. Ringer and R. W. Whitney. 1995. Use of spectral radiance for correcting in season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. ASAE Paper No. 95-133.