

# 친환경 정밀농업 기술의 발전방향

농학박사 박 원 규  
농업기계화연구소 소장  
e-mail : parkwk@rda.go.kr

## I. 서 론

산업혁명이후 개발위주의 경제성장은 산업화 과정에서 자연생태계의 자정능력을 떨어뜨려 지구전체의 환경이 급속히 악화되고 있다. 이러한 지구환경 문제는 특정분야에 한정해서 발생하는 것이 아니며, 그 피해 또한 한 국가에 국한되지 않고 지구전체의 영향을 미친다는 특성이 있다. 농업분야는 1992년 6월 리우선언으로 농업정책을 친환경 측면에서 재조명하고 토지 자원의 합리적 이용, 토양의 보전복구, 수자원 관리, 병해충 종합관리 등 지속적 농업을 실천토록 한 바 있다.

우리 나라는 1994년 12월 농림부에 환경농업과를 설치하고, 농림환경정책을 수립하는 등 환경농업의 정책개발과 육성지원 시책을 추진하고 있다. 1997년 12월 친환경농업육성법<sup>1)</sup>이 공포됨으로서 환경농업 육성에 관한 제도적인 기틀을 마련하고, 1998년을 친환경농업 원년의 해로 선포하고, 1999년 친환경 농업직접지불제를 도입하는 등 친환경 농업을 본격적으로 추진하고 있다. 2000년에 수립된 친환경 농업육성 5개년계획<sup>2)</sup>을 보면 작물양분종합관리(Integrated Nutrient Management, INM), 병해충종합관리(Integrated Pest Management, IPM)를 기반으로 저농약재배, 무농약재배, 유기재배 등을 확산하여 2005년까지 화학 비료와 농약을 각각 30%씩 줄이고, 친환경 농산물 생산량을 5%로 확대하는 것을 목표로 하고, 실천계획의 주 내용은 유기농업의 확대에 되어 있다.

그러나, 관행의 유기농업은 많은 면적으로 확대하기는 사실상 어렵다. 왜냐하면, 관행의 유기농업은 중노동을 요구하며 유기질비료 시비효과의 적합한 타이밍을 포착하기 어렵다. 그래서 덴마크, 핀란드 등 오래전부터 유기농업을 실시한 유럽 국가도 유기농업의 비중이 7% 이내이며 목표를 10% 정도 잡고 있기 때문이다. 또한, INM, IPM을 기반으로 한 저비료, 저농약, 무농약 재배도 첨단농업기계 기술이 보급되지 않고 인력으로 확대하기는 사실상 어렵다.

이와 같은 점을 감안하면 미국, 유럽 등 선진국에서 연구 추진하고 있는 정밀농업이 실현될 경우 정부가 정한 목표치만큼 화학비료와 농약의 살포를 크게 줄일 수 있다고 본다<sup>3)</sup>. 정밀농업은 농산물의 생산성 증가와 동시에 환경에 대한 충격을 줄이려는 목적으로 지난 10여년 동안 세계적으로 급속히 연구 발전되어 오고 있는 친환경 농업이다.

1) 친환경농업 육성법은 1997. 12. 13. 법률 제5442호로 제정되었고, 2000. 1. 26. 법률 제6378호로 일부 개정되었음. 2001. 7. 1.일 다시 개정되었으며 주요 개정내용은, 친환경농산물 품질관리제도, 친환경농산물의 생산을 위한 친환경자재의 사용기준 마련 등 이다.

2) 농림부는 2000.12월 친환경농업 육성에 대한 중장기 정책비전과 방향을 제시하고, 친환경농업 실천기반을 조성하며, 친환경 농업을 육성 지원하는 친환경 농업 육성 5개년 계획을 수립 시달하였음.

3) '98년 기준 OECD 국가의 화학비료 사용량(kg/ha) : 네덜란드 521, 한국 406, 일본('93) 348, 미국 114

'96년 기준 OECD 국가의 농약 사용량(kg/ha) : 일본 19.3, 이태리 15.3, 벨기에 13.5, 한국 11.5, 프랑스 5.0, 미국 2.0(출처 : 2002년도 친환경농업육성정책, 농림부)

인력으로 농사를 지을 때는 영농경험을 통해 자기 논의 필지내 위치별 수확량 차이를 기억하고 있다가 모를 이앙하기 전에 수확량이 적었던 부분에는 더욱 세심하게 균평작업을 하거나 비료를 많이 주었고, 아침, 저녁으로 논을 둘러보며 잡초를 뽑고, 생육이 불량한 부분을 찾아 거름이나 비료를 더 주고, 토양의 수분 상태에 따라 물꼬를 관리하는 등 정밀농업을 실시하였다.

그러나, 농작업이 생력기계화 되고 영농규모가 커지고, 노동력 부족 현상이 나타나면서 제초제나 농약, 비료를 농업기계를 이용하여 필지 전체에 균일하게 살포하고, 부분별 생육관리를 하지 못하게 되었다. 그 때문에 토양내 영양분이 많은 곳에 비료가 과다 살포되어 수확기에 도복하는 사례를 많이 보게 되는 것이다.

정밀농업은 첨단공학 기술과 과학적인 수단에 의하여 필지를 수m 단위로 포장내의 토양 특성치, 생육상황, 작물수확량 등을 조사하여 위치별 잠재적 작물수확량에 따라 비료와 농약, 종자 등의 자재 투입량을 달리하여 과학적으로 작물을 관리하는 정보화 농법으로 농산물의 생산비를 낮추고, 환경오염 피해를 줄이는데 궁극적인 목표가 있다.

## II. 친환경농업과 정밀농업

### 1. 친환경 농업이란?

친환경 농업이란 지속 가능한 농업 또는 지속농업(Sustainable Agriculture)으로 농업과 환경을 조화시켜 농업의 생산을 지속 가능하게 하는 농업형태로서 농업생산의 경제성 확보, 환경보존 및 농산물의 안전성을 동시 추구하는 농업으로 정의하고 있다. 친환경농업의 기본패러다임은 단기적인 것이 아닌 장기적인 이익추구, 개발과 환경의 조화, 단일작목 중심이 아닌 순환적 종합농업체계, 생태계의 물질순환 시스템을 활용한 조화된 고도의 농업기술로, 「유기농업」 등 특수농법 뿐 아니라, 병해충종합관리(IPM), 작물양분종합관리(INM), 천적과 생물학적 기술의 통합이용, 윤작 등 흙의 생명력을 배양하는 동시에 농업환경을 지속적으로 보전하는 모든 형태의 농업을 포함한다

농업은 본래, 자연의 물질순환을 기본으로 하여 먹거리를 포함한 유기물을 경제적으로 생산함으로써 환경과 가장 조화된 산업이다. 그러나, 농약과 비료 등의 사용으로 농업이 환경을 가해하는 작용이 증대되어 미국과 EU를 중심으로 이의 대응책으로 LISA(Low Input Sustainable Agriculture) 즉, 저투입에 의한 지속 가능한 농업이 요구되어 왔다.

유기농업이나 지속농업이 처음으로 거론될 때는 화학물질의 과용에서 연유할 수 있는 폐단을 강조하고, 농업의 생산성이나 경제성은 고려하지 않았다. 이 현상은 미국에서 초기 유기농업에 대한 정의와 최근 지속농업에 대한 정의에서 잘 반영되어 있다.

최근 USDA의 지속 농업에 대한 정의는 두 가지 중요한 사실을 시사한다. 첫째는 전 지구적 관심의 대상이 되고 있는 지속 농업을 정의함에 있어서 농업의 환경친화성이나 안정성 보다는 농업의 생산성을 우위에 두고 있고, 또 경제성이 없으면 그 농업은 지속될 수 없음을 들고 있는 점이다. 이는 종전의 정서와는 크게 다른 점이다. 둘째는 지속 농업의 실천기술로 제안된 기술에는 유기농업의 기술이 포함되어 있다는 사실이다. 이는 유기 농업은 지속농업의 범주에 포함되는 농업이라 할 수 있다. 따라서, 이제는 유기농업을 따로 생각할 것이 아니라 유기농업을 지속 농업이라는 틀 속에서 생각해야 할 것임을 시사한다. 이런 의미에서 볼 때 유기농업을 안전농산물을 생산하는 정도의 농업으로 좁혀서 생각하는 것은 적절하지 못하다. 다시 말해서, 유기농업의 개념을 새로이 제안되고 있는 지속농업, 즉 생산성과 경제성은 여전히 높으면서 환경친화성과 지속성이 다 같이 높은 농업이라는 틀 속에서 재 정립해야 할 것이다.

우리나라에서 친환경 농업에 관심을 갖기 시작한 것은 '70년대말 부터라고 할 수 있다. 이때 부터 친환경 농업에 관련된 용어정의와 친환경 농업이 많이 소개되기 시작하였다. 친환경관련 농업은 ①지력을 토대로 자연의 물질순환 원리에 따르는 농업인 『자연농업』 ②지역폐쇄 시스템에서 작물양분과 병해충 종합관리 기술을 이용하여 생태계 균형유지에 중점을 두는 농업인 『생태농업』, ③농약과 화학비료를 사용하지 않고 원래 흙을 중시하여 자연에서 안전한 농산물을 얻는 것을 바탕으로 한 농업인 『유기농업』, ④환경에 부담을 주지 않고 영원히 유지할 수 있는 농업으로 환경을 오염시키지 않는 농업인 『저투입 지속농업』 등이 있다. 우리나라에서 알려진 친환경 농업으로는 토종농법, 청정농법, 그린음악농법, 육각수농법, 산화전해수농법, BMW(박테리아, 미네랄, 활성화물)농법, 거미농법, 자연농법, 전해이온수농법, 흙살림순환농법, 키토산농법, 참깨농법, 쌀겨농법, 오리농법, 태평농법, 붕어농법, 솔잎농법, 음이온농법, 우렁이농법, 목초액농법, 활성화탄농법 등 많은 농업이 있으며, 1993년 12월부터 유기농산물에 대한 품질인증제를 도입하는 등 유기농업에 대한 지원을 추진해 오고 있다.<sup>4)</sup>

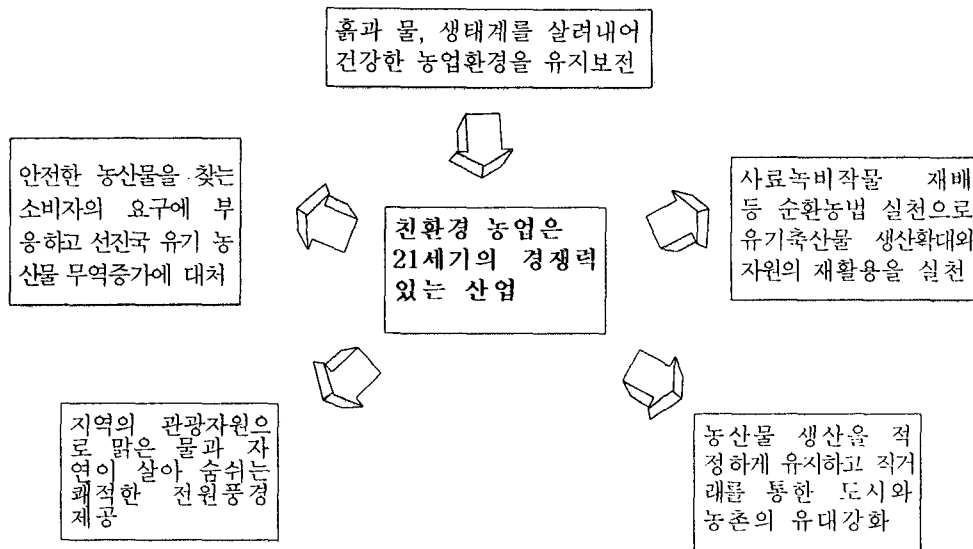


그림 1. 친환경농업의 개념

그리고, 환경농업육성법 제1장 2조 용어의 정의에 환경농업이란 『농약의 안전사용기준 준수, 작물별 시비기준량 준수, 적절한 사료첨가제 사용 등 화학자원 사용을 적정수준으로 유지하고, 축산분뇨의 적절한 처리 및 재활용 등을 통하여 환경을 보전하고 안전한 농산물을 생산하는 농업』이라 규정하였다.

4) “친환경농산물 표시신고제”와 “품질인증제”를 “친환경농산물 표시인증제”로 전환, 제도 개선(친환경농업육성법령 개정시행, '01.7.1). 2002. 1. 1부터는 기존 품자마크 포장재 및 스티커 등을 사용할 수 없게 조치

## 2. 친환경농업의 국제동향

1992년 6월 리우선언에 따라 온실가스 배출 억제를 위한 『기후변화협약』 생물종의 다양성과 유전자원의 보호를 위한 『생물다양성협약』, 산림보호 및 개발에 관한 기본 원칙인 『산림원칙 성명』 등이 채택되었고, OECD농업/환경위원회는 농업활동이 환경에 미치는 영향을 계량하기 위하여 농장관리지표, 양분이용지표 등 13개 분야에 대한 농업 환경지표개발을 추진중이며, 국제식품규격위원회(Codex)에서는 유기식품의 국제교역 확대에 대비하여 1999년 7월 유기농산물의 생산·가공·표시·판매에 관한 가이드라인을 제정하여 공포하였다.

앞으로도 현재 기후변화협약 관련하여 논의되고 있는 교토메카니즘이 향후 온실가스 감축을 위한 국제규범으로 활용될 것으로 예상되며, OECD 농업·환경 국제논의가 환경보전형 개발에 초점이 모아지고 있어 지속가능 농업정책 개발 추진에 대한 국가별 의무가 더욱 가중될 전망이다. 또한, OECD 농업환경지표는 각국의 농업과 농업정책에 대한 평가도구로 활용될 것이며, Codex 유기식품 지침에 따라 각국은 관련제도를 등 지침에 조화되도록 정비하는 등 유기농산물의 국제교역을 촉진할 것이며, 각국은 환경친화적인 농산물을 생산하기 위한 연구개발 등 많은 노력을 할 것이며, 향후 환경친화적 농산물의 국제교역이 확대될 것으로 전망된다.

미국에서는 농업의 환경보전 기능을 강화하기 위한 수단으로 경제적 인센티브 제공과 비친환경적인 행위에 대한 규제를 병행 실시하고 있으며, 유기농산물 판매액이 1990년 이후 연평균 20%씩 성장하고 있고, 1995년 전체 농산물 판매액의 1%를 점하고 있다. 장기적으로 유기농산물의 시장점유율을 10%까지 올릴 예정이다. 1993년도에 75%의 IPM 수행 목표를 수립하고 종합이행 프로그램에 필요한 지원 자원을 제공하고 있으며, 1994년도에 미국 연방정부가 환경농업 프로그램에 65억US\$를 지출하였다.

정밀농업은 1990년대 초부터 농업현장에 보급되기 시작하여 미국의 경우 1998년도에 주요작물 재배 면적의 11%인 1천만ha에서 정밀농업을 실시하고 있으며, 1999년도 통계에 따르면 어떤 형태로든 정밀농업을 실시하고 있는 농가 비율은 37.5% 라고 한다.

유럽에서는 독일을 시작으로 1970년대부터 친환경농업정책을 수립하여 1980년대 이후 국가의 재정지원이 시작되면서 유기농산물 재배면적이 급속히 증가하고 있다. 독일은 농산물 과일 생산의 대책으로 유기농업전환을 원칙으로 하는 조방화 농업을 본격 추진하고 있으며, 실천 농가에 장려금을 지급하고 있다. 영국은 유기농업 전환농가에 재정적 지원을 함으로써 유기농업을 권장하고 있고, 비료·농약·잉여 가축분뇨에 대한 환경세를 부과하여 환경 오염부담 경감을 유도하고, 환경세의 세수는 농업분야에 투자하고 있다. 특히, 최근 북유럽 지역에 유기농업이 크게 확산되고 있다. 유기농업 비중을 보면, 덴마크의 경우 1995년도에 전체 농지면적중 1.3%이던 유기농업 면적이 2000년도에는 7%로 확대 되었으며 유기농산물의 시장 점유율이 15~20%로 증가되었다. 스웨덴은 유기농업의 전환 목표를 10%로 설정하여 1996년에 전체 농업생산의 5%를 유기농업으로 전환하였다.

핀란드는 전체 농지면적중 유기농업 비중이 1995년 1.7%에서 1996년에는 5%로 증가하였다. 유럽의 정밀농업은 덴마크, 프랑스 등에서 실시하고 있으며, 독일은 집단농장 등에서 1만ha 규모에서 시범사업을 실시하고 있으며, 일부 정밀농업을 채용한 농가는 ISO 9002(품질관리의 국제기준)과 ISO 14001(환경관리의 국제기준)의 인증을 받았을 정도로 정밀농업의 인프라가 구축되었다.

프랑스는 환경이나 식품안전성 등을 고려하면서도 유기농업 보다는 덜 엄격한 개념의 '합리적 농업(agriculture raisonnee)'을 제도화하는 법령을 공포한 바 있다. 또한 '합리적 농업'을 영위하는 농가에 대한 인증시스템을 도입하는 한편, 이들 농가에서 생산한 농산물에 대해서도 새로운 품질인증제도를 적용하고 있다. 유기농업의 경우와 같이 아직까지는 유럽연합차원에서 공식적인

품질인증제도로 그 지위를 인정받지 못하고 있지만, 프랑스는 향후 이를 유럽연합 차원에서 제도화시킨다는 계획을 갖고 있다. 프랑스에서 말하는 '합리적 농업'은 비료와 농약사용을 최대한 억제하는 한편, 지역별 또는 위치별 토양 비옥도에 따라 심을 작물을 결정하고, 기계적인 방법에 의해 잡초를 제거하는 농법이다.

일본은 1994년 『환경보전형농업 추진본부』를 설치하고, UR 대책의 일환으로 환경보전에 관한 농업정책을 본격적으로 추진하고 있다. 특히, 단계적으로 환경보전형 농업 추진 목표<sup>5)</sup>를 설정하고, 국가차원에서 지원이 이루어지고 있으며, 친환경 농산물시장이 1996년도에 1천500억엔 이던 것이 2000년에는 3천500억엔으로 확대되고 있어 수년내에 1조엔을 달성할 것으로 전망하고 있다.

일본은 1996년경부터 초산태 질소를 조사하는 토양센서를 개발함과 동시에 정밀농업 세미나 개최와 해외조사를 실시하였다. 1997년에는 코토대학에서 0.5ha 논을 대상으로 토양지도와 수확량 지도를 작성하였고, 1999년에는 벼의 꽃수(벼알수) 제어에 관한 모델 작성을 시작 하였고, 재배시스템공학, 토양학, 농업기계학의 3분야에 의한 정밀농업공동연구 체제가 정립 되었다. 2000년부터는 농림수산성 농림수산기술회의의 경로화(輕勞化) 제3기에 정밀농업이 채택되었다.

### 3. 정밀농업이란?

산업화 도시화로 부족되는 농업노동력을 대체하기 위해 농작업의 기계화가 진행되면서 농지와 작물에 투입하는 농자재의 양을 통계적인 방법으로 결정하게 되었다. 다시 말해, 들판에 있는 작물의 생육상태나 땅심에 근거하여 각각의 세부 위치별로 비료나 농약을 다르게 살포하지 못하고, 들판 전체에 대하여 균일한 파종을 하고 비료·농약 등을 균일하게 처리한 것이다. 물론 그 기준은 전체 농경지와 작물의 상태를 평균적으로 통계 처리하여 결정된 요소들이다.

그러나 전체 농경지에 씨앗을 똑같이 뿌리고, 작업을 똑같이 했는데도 불구하고 포장의 각 위치에 따라 수확량이 달라지는 것을 설명할 수가 없었다. 따라서, 포장 내에 각 위치별로 속성의 변이를 인정하는 새로운 접근방법이 필요했다.

개개의 포장은 토질, 영양분, 관개수의 흐름, 병해충 저항정도 등이 각기 달라 생산된 농산물은 질과 양에서 다른 특징을 갖는다. 한 포장 내에서도 이러한 차이는 존재하기 때문에 포장의 각 부분에 대한 특성을 이해하고, 위치별 지역특성에 맞는(site-specific)처리가 이루어진다면, 적은 투자에서 최대의 혹은 최적의 수익을 얻을 수 있다는 것을 알게 되어 정밀농업을 실시하게 되었다. 따라서, 정밀농업의 개념은 농업생산에서 다목적 의사결정 체계를 정밀하게 관리하는 것이라 말할 수 있으며, 변량형 농법(variable rate agriculture)인 동시에 과거의 정보를 토대로 최적의 수익을 얻을 수 있도록 농자재를 처방(prescription farming)한다는 측면에서 농업의 정보·전산화와 시스템화를 내포하는 개념이라 하겠다. 또한, 위치별 특성에 맞는 관리(site-specific management)를 통하여 미래의 포장상태 및 수확량을 조절하기 때문에 정밀농업은 환경보전이라는 선진 사회의 요구에 부합되는 개념이기도 하다.

정밀농업은 농업시스템 전반이 통계적인 접근방식에서 변량적인 접근방식으로 변화하는 것이기 때문에 정밀농업의 적용범위는 농업시스템 전체라고 해도 과언이 아니다. 농업을 하나의 시스템으로 보면 정밀농업을 완전하게 구현하기 위해서는 세가지 범주가 전제되어야 한다.

첫째는 작물 생육상태, 토양비옥도, 기후 등 농작물이 성장하는 주변환경의 정보를 위치별로

#### 5) 일본의 환경보전형 농업추진 목표

- 1 단계( ~1993) : 환경보전형 농업의 실천사례가 각지에 산발적으로 형성
- 2 단계(1994~1998) : 환경보전형 농업의 실천사례가 증가하고 사업이 확대
- 3 단계(1999~ ) : 환경보전형 농업의 실천사례가 일반화·정착

획득하는 것이다. 정보를 얻는 수단으로는 포장 내의 각 지점의 위치, 작물의 수확량, 토양의 함수율, 영양분, 수분용력, 병해충이나 잡초의 발생정도를 감지하는 센서를 예로 들 수 있으며, 이들 센서는 기계에 장착된 형태나 원격에서 사용할 수도 있다. 이러한 센서들은 시료를 채취한 후 실험실에서 분석하는 형태가 아니라, 감지한 정보를 실시간으로 즉시 처리하고 저장할 수 있는 (on-line processing and storing) 기계기술이다.

둘째는 원하는 위치에 원하는 농자재를 원하는 양만큼 투입하는 것이다. 농자재 투입 및 작물 관리에 대한 의사결정 결과에 따라 물, 종자, 양분, 화학자재를 혼합하고 살포하는 기계기술이 이 범주에 속한다.

셋째는 전산화된 지리정보시스템 지도와 데이터베이스로 위치별 작물 생육환경 정보를 처리하고 변량형 농작업기계 제어시스템을 구동하기 위한 농자재투입 처방을 결정하는 것이다. 첫째와 둘째의 범주가 훌륭하게 개발되더라도 셋째의 의사결정 과정이 이루어지지 않으면 정밀농업의 수행이 어렵게 된다.

농업의 어느 한 분야가 변하고, 하나의 농작업을 정밀농업형으로 만든다고 해서 이러한 3가지 범주가 결코 확립되지 않는다. 따라서, 정밀농업은 하나의 기술을 일컫는 단어가 아니라 농업의 새로운 변화를 이야기하는 총체적인 개념이다.

예를 들면, 지금의 친환경농법인 작물양분종합관리(INM)에서는 작물을 수확한 후 포장의 토양을 분석해서 토양상태와 작물이 흡수가능한 영양분을 고려하여 다음 년도에 줄 비료량을 결정하였다. 즉, 현재의 작물 건강상태를 고려치 않고 작물 별 양분흡수량과 작물을 심기전 토양의 상태만 가지고 비료 살포량을 결정하고 있다. 이 경우에 있어서 작물을 이식한 후 토양 내 양분의 이동이나 위치별 작물의 생육상태를 고려치 못해 작물이 가장 많은 양분을 흡수하는 유수형성기 때 나쁜 영향을 미칠 수가 있다. 수도작의 경우, 유수형성기부터 출수기 직전까지의 토양내 양분 상태나 작물의 건강상태에 따라 수량에 결정적인 영향을 미치는데도 불구하고 추비량 결정시 이 과정의 생육진단 없이 이양전의 토양상태와 작물의 평균적인 영양분흡수량만 가지고 추비량을 결정하고 있다.

그러나, 정밀농업에서는 작물별 양분의 흡수량과 수확후의 토양 상태뿐만 아니라 현재의 작물 상태까지 진단하여 종합적으로 비료 살포량을 결정하게 된다. 따라서, 정밀농업은 기존의 작물종합양분관리 농법보다 한층 진보된 환경친화적인 농법으로서 더 정밀한 관리가 가능하여 목표수량 확보에 작물이 꼭 필요한 양만을 시기별로 결정하여 살포할 수 있다. 우리나라 수도작에서는 일반 기준으로 2회에 걸쳐 비료를 살포한다. 정밀농업에서는 수확후 토양의 이화학성에 근거하여 기비량을 결정하고, 추비량은 위치별 토양의 이화학성 뿐만 아니라 현재의 작물 영양상태까지를 고려하여 추비량을 결정한다.

더군다나, 정밀농업에서는 토양의 이화학성이나 작물의 생육상태 측정시 기계를 이용하므로 여러번에 걸쳐 측정이 가능하고, 필지별 측정뿐만 아니라 포장 내 위치별 측정도 가능하다. 이러한 모든 자료는 디지털화되어 관리되므로 올해의 작업 이력을 내년도의 농작업수행에 바로 적용할 수 있다.

따라서, 정밀농업은 농업의 생산성 증대, 오염의 최소화, 농산물의 안전성 확보, 농가소득 증대 등 단위면적당 생산량의 극대화 와 환경오염의 최소화를 위한 환경친화적 농업으로 21세기에 새롭게 실현될 친환경 농업이다.

### III. 정밀농업의 발전과 추진실태

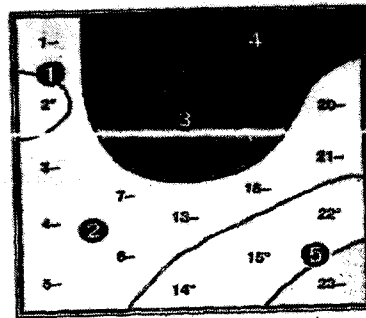
#### 1. 정밀농업의 태동과 발전

정밀농업은 미국에서 개념이 적립되었고, 미국이 선두주자로 실시하고 있는 나라이다. 현재 판매되고 있는 제품과 농업현장에 제공되고 있는 각종 서비스, 학술연구결과 등 정밀농업의 모든 면에서 다른 나라에 비해 가장 앞서 있다.

1929년 일리노이 대학의 린슬리(Linsley)와 바우어(Bauer)는 경작지를 비슷한 속성을 가진 지역으로 세분하여 관리함으로써 농자재 투입량을 줄일 수 있다고 주장하여 오늘날 정밀농업의 탄생을 예고했다(그림 2). 이후에도 많은 농업과학자들이 『같은 경작지에서도 토양의 양분과 유기물 수준이 위치마다 다르기 때문에 토양조사 결과에 기초하여 농자재 투입량을 다르게 해야 한다』는 연구를 계속했다. 그러나 현실은 농업의 기계화와 농업기계의 대형화로 인하여 반대의 방향, 즉 넓은 지역을 균일하다고 가정하고 균일한 양의 농자재를 투입하는 쪽으로 진행됐다.

#### Test Your Soil For Acidity Systematic Testing Saves Clover Seed and Limestone

by C.M. Linsley and C.F. Bauer



Don't Guess -- TEST!

Univ. of Illinois Circular 346  
Published 1929

그림 2 1929년 일리노이 대학의 린슬리(Linsley)와 바우어(Bauer)가 발표한 논문 표지

그러다가 1970년대 후반~1980년대 초반에 걸쳐 올바른 방향으로 전환할 수 있는 기회를 맞이하게 됐다. 토양조사 및 분석기법, 작물조사, 항공사진 분석 등의 기술이 발전하고 우수한 성능의 컴퓨터 프로세서가 개발되어 포장의 정보를 수집하는 장비들, 센서와 제어장치를 갖춘 농기계가 선보이기 시작하면서 서서히 정밀농업이 모습을 드러내기 시작한 것이다. 1970년대 말 미네소타의 트윈(Twin)시의 센트럴(Centrol)이라는 벤처기업이 토양과 작물에 대한 정보를 농사에 본격적으로 이용하기 시작하였고, 1985년에는 농기계로 작업을 하면서 비료의 양을 조절할 수 있는 기

계가 처음으로 선보였다. 특히 1995년에 지구위치시스템(GPS)의 상업화 이용이 가능하게 되면서 정밀농업기술 보급에 기폭제 역할을 했다. 이후 잡지들은 정밀농업관련 소식을 머리기사로 신기 시작하였고, 정밀농업관련 장비들이 개발 되었으며 관련 서비스를 제공하는 사업이 생겨나고 연구자들은 연구를, 교육자들은 새로운 교육 프로그램을 개발하였으며, 농업인들은 개발된 기술들을 작업에 사용하기 시작했다.

정밀농업(Precision Agriculture 또는 Precision Farming)이라는 명칭은 1997년 6월에 미국 미네소타대학에서 열린 국제회의에서 통일되었다. 당초는 Site-Specific Crop Management(장소대응형재배관리), Environmentally -Friendly Farming(환경에 친근한 농업), Farming by Soil(토양보전농업), Farming by the Foot(足本농법) 혹은 Prescription Farming(처방농법) 등으로 불려졌다.

정밀농업이 단기간 동안에 국제적인 주목을 모은 것은 농업에 있어서 환경보전에 대한 강력한 압력을 들 수 있다. 예를 들면, 질소에 의한 지하수 오염, 블루베이버증후군, 그리고, 포장에 살포하는 화학비료와 농약에 의한 환경오염 문제가 사회적 문제로 대두된 점이다. 그리고, 구미 각국에서는 농약과 비료의 살포량을 제한하고 벌칙을 동반했으며, 하천과 개수로 근접지에서는 농약과 비료를 거의 살포할 수 없도록 규정하고 있다. 또한, 무농약재배와 유기농업이 일시적으로 각광을 받았지만, 종래의 기술체계 그대로는 감수되어 대규모 농장에서는 실행이 어렵기 때문에 포장을 치밀하게 관리하여 화학자재에 의한 환경오염을 방지하고 지력유지, 생산성 향상을 동시에 실현하는 정밀농업을 추진하게 되었다.

정밀농업은 하나의 특정 기술이나 개발된 기계를 일컫는 것이 아니라 작물생산을 위한 농법인 만큼 농업의 전 분야에 걸쳐 연구 개발이 이루어지고 있다. 정밀농업은 그림 3에서 보는 바와 같이 포장정보의 수집, 수집된 정보에 기초한 농자재 투입량 결정 및 작업계획, 변량살포, 평가의 4과정을 반복적으로 수행하게 된다.

포장정보의 수집과 관련해서는 수확량을 모니터링하고 작물 생육상태와 토양의 물리화학적 성을 검출하는 센서들이 개발, 사용되고 있다. 토양의 물리 화학성은 센서를 사용하는 방식 이외에 토양샘플채취 및 실험실 분석을 병행하고 있다. 또한, 기상과 수질관련 자료도 수집하고 있다. 수집된 자료는 기술통계(classical descriptive statistics)와 지리 통계적(geostatistical) 기법을 이용한 변이(variability) 분석과, 포장정보들의 상호관계와 수확량에 미치는 요인에 대한 분석에 사용된다.

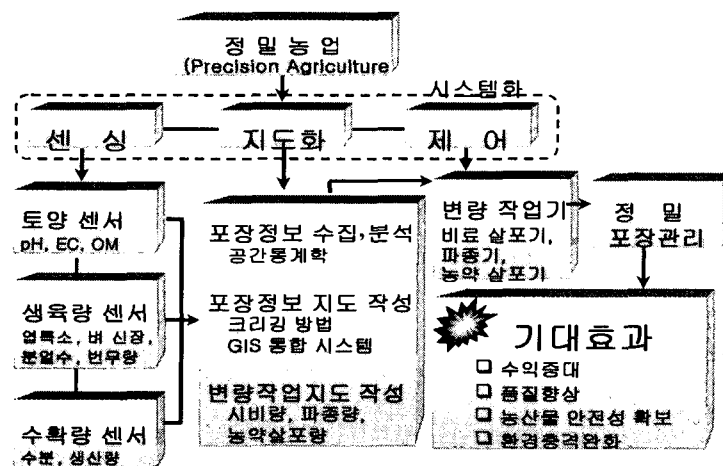


그림 3 정밀농업에 필요한 시스템



농자재 투입량 결정 및 작업계획에는 GIS와 인공지능기법 등이 이용되는데, 최근에는 적정 『관리구역 (management zone)』을 어떻게 결정할 것인가에 대한 연구가 부각되고 있다. 변량 살포분야에서는 이미 경운·시비·파종·관개 등 거의 모든 부분의 장비가 개발, 시판되고 있으며, 보다 다양한 정보를 주입하고 그에 반응하는 성능 향상 연구가 주류를 이루고 있다. 주목할 것은 살포 시스템의 구성요소와 데이터 교환방식의 표준화가 크게 고려되고 있다는 것이다. 평가는 주로 관행농법과 정밀농업의 경제성 비교의 형태로 진행되고 있다.

1999년 미국연구협회의 정밀농업 연차모임(NCR-180)에서 『앞으로 연구개발이 이뤄져야 할 분야』에 대해 조사한 결과, 대략 6개 분야로 나누어졌으며, 개발요구 순서를 보면, 첫째는 기계기술, 둘째는 포장관리, 셋째는 자원의 위치별 변이, 넷째는 경제성 평가, 다섯째는 환경관리, 마지막으로 개발된 기술의 전파로 나타났다.

## 2. 외국의 정밀농업 추진실태

### 가. 미국

미국은 1990년대초부터 정밀농업이 농업현장에 보급되기 시작했다. 미국에서 정밀농업을 실시하고 있는 면적은 1998년도에 주요곡물재배 면적의 11%인 1천만ha로서 작물별로 보면 표 1과 같다. 옥수수가 2천9백만ha로 가장 많고 콩, 옥수수, 밀, 면화, 벼, 사탕수수, 감자 순이다. 정밀농업 실행 기술내용은 토양조사, 수확량조사, 생육조사, 변량살포로 1999년도 통계에 의하면 어떠한 형태로든 정밀농업을 수행하고 있는 농가가 37.5%나 되며, 세부기술별로 농가수의 비율을 보면 격자단위 토양조사가 19.5%, 변량시비 18.4%, GPS를 이용한 수확량 모니터링 13.3%, 변량파종 11.3%, 변량방제 9.2%, 원격생육조사가 2.4%다. 미국에서는 정밀농업을 실천하는 농가가 매우 빠른 속도로 증가하고 있으며, 정밀농업이 증가하는 이유는 농업인에게 경제적 이익이 되기 때문이라고 한다.

표 1 미국의 작물별 정밀농업기술 활용면적과 보급면적률 (1998년)

작물명	수확면적 (백만ha)	수량조사 (수확량모니터링)			토양조사			변량살포		
		보급면적 (백만ha)	보급률 (%)	개시후 년수 (년)	보급면적 (백만ha)	보급률 (%)	개시후 년수 (년)	보급면적 (백만ha)	보급률 (%)	개시후 년수 (년)
옥수수 (곡립용)	29	4이상 (8이상)	13이상 (25이상)	7-8	4.5-5.0	12-15	7-8	2.4-2.8	8-10	7-8
콩	28	4이상 (8이상)	13이상 (25이상)	7-8	4.5-5.0	12-15	7-8	2.0-2.4	7-8	7-8
밀	24	0.4-0.8 (0.8-1.2)	2-3 (3-5)	3-4	0.7	3	2	0.2	1	2
면화	4.5	적음	적음	-	0.1	2	2	0.1	2	2
벼	1.3	0.07 (0.1)	5 (8)	3-4	0.1	8	3	0.1	8	3
사탕 수수	0.6	0.04이하 (0.04이하)	7이하 (7이하)	1-2	0.2	35	5	0.2	35	5
감자	0.55	0.04이하 (0.04이하)	7이하 (7이하)	1-2	0.1	20	3	0.1	20	3
계	88	10 (22-24)	11 (25-27)	-	10-11	11-13	-	5-6	6-7	-

### (1) 작물별

수확량모니터링을 실시하고 있는 작물 중 보급율이 가장 높은 것은 옥수수과 콩으로 13%이상으로 추정된다. 토양조사와 변량시비를 실시하고 있는 작물 중 보급률이 높은 것은 품질(당분)에 의해 가격이 변화하는 사탕수수(35%), 감자 (20%), 옥수수(8~15%), 콩(7~15%)의 순이다. 밀은 가격이 싸고 경제적 효과가 낮기 때문에 보급률이 낮은 편이다. 수도작의 경우 표 1에서 보는 바와 같이 5~8%이지만, 연작재배나 휴경재배(1년단위) 등 작부체계가 다양한 캘리포니아주와 텍사스주에서는 거의 보급되고 있지 않다. 벼-콩의 윤작이 실시되고 있는 아칸소주 등에서의 보급이 가장 활발한 것으로 추정된다.

### (2) 영농규모별

미국에서 정밀농업을 실천하고 있는 농가는 대부분이 경영면적 500ha정도(평균적 규모의 약 2.5배) 이상의 대규모 농가이다. 이 중 500~1,000ha 정도의 경영면적을 갖고 있는 농가에서는 비용이 많이 소요되는 토양 격자 조사를 생략하고 수확량모니터링만을 수행하고 토양조사는 문제가 있는 장소만 실시하고 있다. 비교적 비용이 저렴한 수동변량시비 등 비용절감에 노력하고 있는 예가 많지만, 1,000ha이상의 농가는 본격적인 정밀농업을 채용하는 경향이다. 한편, 인터넷을 이용하고 있는 농가의 비율은 규모별로 보면 수입이 많은 대규모 농가, 연령별로 보면 젊은 세대가 많은 경향을 보이고 있다.

### (3) 수확량모니터링

곡물수확량모니터는 표2에서 보는 바와 같이 1992년경부터 보급되기 시작하여 1998년에는 약 23,500대(보급 콤바인의 약 25%)가 보급되어 미국 전체 작물 재배면적의 약 25%에서 사용되고 있다. 이 중 50%이상의 콤바인(면적으로보면 40%정도)에 수확량정보를 해석하고 지도를 작성할 수 있는 GPS장치가 부착되어 있다. 작물 재배면적의 10%이상, 전체농가의 13%정도에서 수확량모니터링 장치를 장착한 콤바인으로 농사를 짓고 있다.

전세계에서 사용되고 있는 곡물수확량 모니터링장치의 약 80%가 미국에서 생산되고 있고, 미국내에서 가장 많이 보급되고 있는 지역은 중서부 옥수수벨트지대이다. Case Corp.(현재 CNH Gloval N. V.)가 오스트리아, 아르헨티나, 브라질에서 판매하고 있는 콤바인에는 거의 100%가 수확량 모니터링 장치를 부착하고 있다.

표 2 수확량 모니터링과 입제 변량살포기의 보급 추이

년 도	곡물수확량 모니터링	감자·사탕수수 수확량 모니터링	입제 변량살포기
	대		
1992	100	-	-
1993	250	-	-
1994	1,350	-	50
1995	5,500	-	125
1996	10,500	-	250
1997	18,000	보급개시	375
1998	23,500	200 - 300	500
1999	27,000 - 28,000	?	600 - 650

#### (4) 토양조사

격자형 토양 조사는 미국 전체 작물 재배면적의 11%이상에서 실시하고 있다. 토양조사는 대부분이 중서부 옥수수벨트지대의 옥수수, 콩 재배에서 실시하고 있다. 또한, 토양 격자 조사를 수행하고 있는 농가의 비율은 미국 전체 농가의 20%정도이고, 팜 서비스회사(Farm Services, Inc.) 가운데 토양 격자 조사를 수행하고 있는 비율은 약 33%이다.

#### (5) 변량 작업기

입제 변량살포기는 1994년경부터 보급되기 시작하여 현재 약 600대 이상이 보급되었으며, 미국 전체 작물 재배면적의 6~7%정도 활용되고 있다. 입상물 변량살포기는 1999년 현재, 미국 전체의 약 35%의 팜 서비스회사에 도입되어 있고, 그 가운데 55%가 가격이 저렴한 1 호퍼식 시비기를 이용하고 있다. 일반적으로 봄 분무기의 제어기만을 교환하여 액제 가변살포기로 사용이 가능하기 때문에 액제 변량살포기의 보급대수 및 변량방제의 보급면적의 정확한 추정은 힘들다. 그러나 여러 가지 사정으로 미루어보아 변량방제가 수행되고 있는 면적은 미국 전체 작물 재배 면적의 2~5%정도일 것으로 추정된다. 다만, 잡초가 있는 곳에만 제초제를 살포하는 스폿살포는 일반적으로 실시되고 있다. 1999년 현재, 변량작업을 수행하고 있는 농가의 비율은 시비에서 18%, 파종에서 11%, 살충·살균에서 9%정도라는 조사결과가 있다.

#### 정밀농업 실시 농가의 사례

##### 미국 일리노이주 Champaign의 John Reifstec씨

- 경영면적 : 80ha
- 재배작물 : 옥수수, 콩
- 정밀농업 시작 : 1991년부터 수확량 모니터링, 토양조사, 변량살포
- 정밀농업을 한 이유 : 수확량증대, 농자재부위 감소로 경비 절감, 자원의 효율적 이용 기대
- 정밀농업의 효과 : 토양비옥도의 공간변이 감소, 옥수수의 수량 증가, 가변 시비로 가리 투입량 10%증가, 인산은 25% 감소

#### 나. 유럽

유럽의 정밀농업은 1990년초부터 연구 개발되었으며 국가마다 목표와 시행방법이 매우 다양하다. 환경보전기능을 중요시하는 덴마크는 농약류를 5년 이내에 25%, 10년 이내에 50%를 줄이도록 규정하고 있는데, 이 때문에 국립 시험연구기관과 대학 등의 관계 기관을 대폭 개편하고 있다. 추진 중인 주요 연구의 예를 보면 작물과 잡초간 성장경쟁을 면밀히 조사하여 제초제를 사용하지 않고 재배하는 방법의 확립을 서두르고 있고, 이 경우 토양과 작물 생육의 포장내 불균일성 조사와 변량작업(variable rate application)의 효과 등을 조사중에 있다. 덴마크는 약 8년전에 정밀농업

기술의 하나인 수확량 모니터 부착 콤바인을 처음으로 도입하였고 일부 정밀농법을 채용한 농가는 ISO9002(품질관리의 국제기준)과 ISO14001(환경관리 국제기준)의 인증을 받았을 정도로 정밀농업의 인프라가 구축된 상태이다. 예를 들어 밀과 근대를 주작물로 하는 경영면적 330ha의 밭을 가진 농가의 경우 토양과 수확량을 지도화하고 농약과 비료살포 작업을 변량으로 실시하여 수익성을 유지하면서 환경부하를 줄이고 있다.

영국은 1995년도에 영국 곡물위원회가 정밀농업센터에 포장내의 변이에 관한 연구용역을 주어 1996년부터 영국의 4개 포장에서 5개년 프로젝트로 정밀농업을 이용하여 곡물생산의 이익을 극대화하고 환경에 대한 영향을 최소화하는 시험을 하는 등 정밀농업을 이용하여 농업경영을 개선하기 위한 시책을 추진하고 있다.

독일의 정밀농업은 미국과 영국에서의 정밀농업 목적과 동일하고 수확량 지도와 토양지도를 작성해 공간변이를 파악하고, 공간변이에 기초해 비료와 농약의 사용을 줄이고 수익성의 개선과 환경보전을 도모하는 것이다. 정밀농업의 보급에 따라 공간변이에 대응해 수익성의 개선과 환경보전을 도모한다는 것을 인식하고 있다. 오우엔하머 대학, 뮌헨 공과대학 바이엔슈티판 학교 등에서 GPS(Global Positioning System)와 수확량 모니터 부착 콤바인을 이용해 수확량 지도를 작성하는 것을 연구했다. 뮌헨 공과대학 바이엔슈테판교에서는 콤바인의 수확량 센서인Class사의 Yield-meter와 Massey Ferguson사의 Datavision/Flow Control을 이용해 정밀도를 비교했다. 또한, GPS는 1990년부터 1993년까지 각 회사의 것이 테스트되어 측정정도가 보고되었다. 최근 콤바인 이외의 사료 수확기와 사탕수수 수확기의 수확량 측정에 연구가 확대되고 있으며, 아웬함 교수는 농업용 버스시스템(Landwirtschaftlichen Bus-system)의 표준화와 보급의 노력에 보답해 1998년에 맥스아이트(Max-Eyth)기념 메달을 수여받았다. 또한, 같은 해 국제멀티미디어상 Digi Globe가 경제와 정치분야에서 정밀농업프로젝트를 실시한 아웬함 교수에게 수여되었다. 오우엔하머 대학에서도 같은 형태로 GPS와 수확량 모니터의 연구가 동시기에 개시되었다. 사용한 수확량 센서가 체적을 측정하는 것이기 때문에 체적과 질량의 관계를 밀도에 의해 보정하기 위한 밀도교정장치 개발되어, 초음파를 이용한 예취폭의 측정, 조타각에 의한 주행체적의 추정 연구가 수행되었다. 수확량 센서로서는 곡물엘리베이터로 운반하는 층의 높이를 광으로 측정하는 방법이 연구되었다. 최근에는 사전에 수확량을 계산하는 일에 의해 콤바인의 작업정도와 소비동력을 최적으로 하는 연구가 수행되고 있다. 그 외의 연구기관에서는 연방농업연구센터(FAL)에서 수확량 지도의 연구, 반사분광 특성에 의한 토양과 잡초를 식별하고 농약살포량 절감을 도모하는 연구가 진행되고 있다. 키루 대학에서도 잡초를 식별해 농약을 살포하는 방법과 잡초를 검출해 토양에 적당하게 시비하는 연구가 보고되고 있다. 또한, 본 대학 등에서도 연구가 수행되고 있다.

독일은 통일이후, 볼루님 농업공학연구소(ATB)를 중심으로 토양지도와 수확량 지도, 시비, 방제 및 리모트 센싱의 연구가 상당히 진행되고 있다. 구 동독 지역은 제2차세계대전전부터 대농업 지역으로 있었고, 집단화되어 있었기 때문에 농장의 면적이 크고, 정밀농업의 효과는 크다고 생각한다. 로스톡 대학에서는 역사적인 지형변천의 조사에 리모트 센싱을 이용하는 연구를 수행하고 있다.

또한, 유럽에서는 과수원 토양화학성의 공간변이 해석, 와인포도의 수확량 및 품질의 공간변이 해석, 포도생산 계획과 모니터링, 항공방제용 살포지도작성, 품질관리를 위한 GIS시스템 구축, 인공위성 영상을 이용한 병해충 예찰 등의 연구를 하고 있다.

정밀농업과 관련된 최근의 이슈는, 대부분의 농민들에게 매우 복잡하게 느껴지는 정밀농업을 어떻게 하면 간단하면서도 명료하게 접근할 수 있도록 기술을 지원하느냐 하는 점이다. 이를 위해 별도의 기술지원팀을 구성하고 있으며, 새로운 응용기술을 개발하고 있다.

### 다. 일본

일본은 수도작중심으로 1997년부터 정밀농업관련 연구가 본격적으로 진행되어 오고 있다. 1999년에 일본 농림수산성은 정밀농업을 주테마로 한 『21세기형 농업기계 등 긴급개발사업』을 시작했다. 이때부터 일본은 농업기계화연구소와 4개의 농업시험장과 6개대학 15개 민간기업 등이 본격적으로 정밀농업 연구개발에 나섰다.

일본 정밀농업의 목표는 쌀 주산지인 호쿠리쿠(北陸)지역에서는 호쿠리쿠 농업시험장과 이시가와(石川)농업시험장이 중심이 되어 구체적인 목표달성을 위한 연구가 진행되고 있다. 목표안전 수확량은 520kg/10a(직파의 경우)이며, 일등미 비율을 90%이상, 현미의 단백질 함량을 7%로 잡고 있다. 또한, 도열병약 살포횟수 1.6회, 시비량(질소성분/10a) 30% 감소, 배수내 초산태 질소량 1.0ppm이하, 이산화탄소 배출량 30% 감축을 목표로 연구하고 있다. 홋카이도에서는 농업시험장 중심으로 옥수수, 보리·콩 등 발작물에 대한 정밀농업 기초연구를 진행하고 있다.

그림4의 토양지도는 교토대학에서는 1997년 가을부터 2000년까지 0.5ha의 논포장을 대상으로 토양을 샘플링한 후, 연구실에서 토양의 이화학성을 분석해 토양지도를 작성하였고, 1999년 봄에 각 구획별(10×5m)로 토양중의 전질소량을 분석하여 지도로 나타낸 것으로 좌측은 질소질비료를 관행대로 균일살포하고, 우측은 토양변이에 따라 변량살포한 것이다.

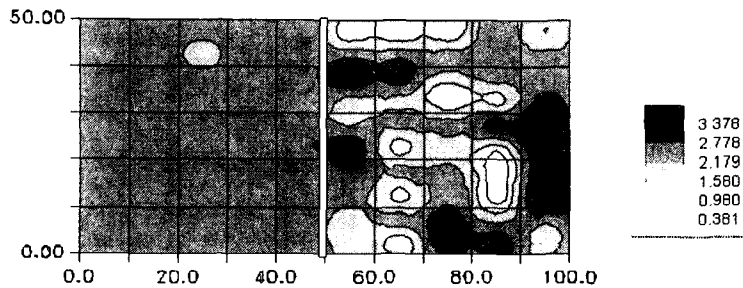


그림 4 질소질 비료 변량 살포 지도(좌:균일살포, 우:변량살포)

1999년도 가을에 교토대학 동 실험포장에서 각 구획별(10×5m) 전면예취로 수확량을 조사한 결과를 그림 5와 같이 한 포장내에서도 구획에 따라 수량의 차이를 보였다. 이 수확량 지도는 한 해 농사의 평가자료로 이용됨과 동시에 다음 연도의 시비결정을 할 때 자료로 활용이 가능하다. 2000년 교토대학의 0.5ha 시험포장에서 실시된 시험결과에 의하면 추비를 변량으로 살포했을 경우, 목표수확량을 확보하면서 비료살포량을 12% 절감할 수 있었고, 수확량의 변이도 감소했다.

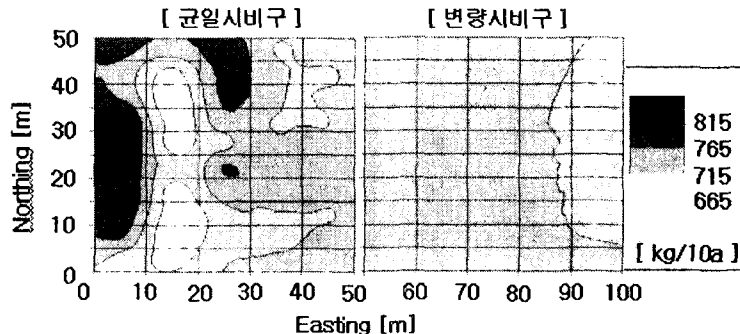


그림 5 추비 변량 시비후의 수확량 지도

동경농공대학의 시부사와 교수와 오무론 회사는 토양센서를 개발하고 있다. 이 토양센서는 트랙터에 부착하는 심토쟁기(Subsoiler)를 개량해서 만들었다. 이 센서는 토양 특성값을 트랙터의 후부에 장착된 토양센서를 통해서 알아내는 원리로서 그림 6과 같은 토양센서를 일정한 깊이로 넣어 견인하면서 실시간으로 계측할 수 있는 센서이다. 토양의 수분·pH·전기전도도·유기물·초산태 질소 등을 측정할 수 있다. 아직 실용화 되지는 않았지만 실용화시키기 위해 마지막 노력을 기울이고 있다.

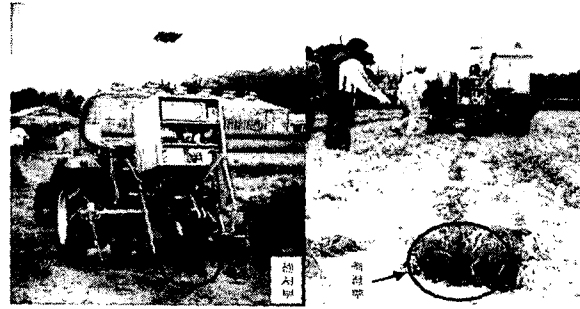


그림 6 토양센서

교토대학에서는 생육량 센서를 개발하고 있다. 벼가 함유하고 있는 질소량을 계측해 추비살포 결정에 도움을 주는 센서로 가시광선부터 근적외선까지의 여러 가지 필터를 교환 사용할 수 있는 카메라를 부착하여 벼의 생육영상을 찍어 컴퓨터로 그 영상을 분석해 벼의 질소보유량을 계산할 수 있는 장치이다.

또한, 자탈형 콤바인 부착형 수확량 센서를 개발하고 있다. 이 센서도 아직까지 실용화 되어 있지 않고, 약간의 연구가 더 필요할 것으로 생각된다. 교토대학과 호쿠리쿠 농업시험장에서는 포장관리기 뒤쪽에 장착 가능한 기존의 시비기를 개량하여 변량적으로 비료를 살포할 수 있는 그림 7과 같은 변량형시비기를 2000년도에 개발했다. 이 시비기는 작업전에 입력된 변량시비 지도를 기초로 해서 작업을 할 수 있으며, 자기자신의 위치는 GPS를 이용하여 인식한다.



그림 7 변량시비기

## IV. 우리나라 정밀농업 연구 결과

우리나라의 정밀농업기계 기술은 농촌진흥청과 대학을 중심으로 개발되고 있다. 우리나라에서 정밀농업이 논의된 것은 1999년 4월 한국농업기계학회 주관으로 개최된 『친환경 농업과 기계화방향』 국제심포지엄에서 미국 Roy B. Dodd 박사와 일본 Shibusawa Sakae 박사가 정밀농업에 대하여 발표한 것이 처음이다. 그해 5월에 농업기계화연구소에서 『정밀농업과 기계기술 개발전략』에 관한 국제세미나를 개최하면서 정밀농업의 필요성과 추진전략, 기술개발 내용이 소개되고 정밀농업 추진에 대한 본격적인 논의가 시작되었다. 그 이후로 농업기계화연구소에서는 매년 가을 정기적으로 정밀농업국제 세미나를 개최해 오고 있다.

또한 농업기계화연구소는 1998년부터 농업기계의 무인화 연구를 수행하여 농기계 자율주행기술, 원격제어기술 등을 개발하였고, 1999년부터 미국 미조리 주립대와 국제공동연구를 통해 정밀농업관련 기초기술을 개발하였다. 현재는 2차 국제공동연구과제를 수행중이다. 더불어서 정밀농업기술의 저변확대를 위해 2000년 2월에 우리나라에서는 처음으로 『정밀농업과 농업기계 시스템』이라는 정밀농업 전문 책자를 발간하였다.

농업기계화연구소는 GPS, GIS, RS 등 정밀농업기계 기술개발에 관련된 장비를 확보하고, 2000년 2월에 정밀농업기계연구실을 신설하였으며, 벼 수확량 측정센서, 작물의 건강도 판단센서, 토양의 특성을 실시간으로 측정할 수 있는 토양센서 등의 개발에 착수하는 등 정밀농업 실현을 위한 기계기술을 개발중에 있으며, 그 현황을 살펴보면 다음과 같다.

### 1. 정밀농업 시험포장 운영(농업기계화연구소)

농업기계화연구소에서는 1999년부터 정밀농업 시험포장을 운영해 오고 있다. 시험포장은 우리나라의 전형적인 수도 포장으로써, 100×30m 직사각형 형태의 농업기계화연구소 포장((37.287678N, 126.956689E), (37.287793N, 126.956999E), (37.288498N, 126.956188E), (37.288544N, 126.956474E))이다. 관개수는 그림 8과 같이 오른쪽 아래에서 왼쪽 위로 흐른다.

시험포장에서는 매년 토양화학성, 작물 생육상태, 수확량을 5×5m단위로 측정하고 이 결과를 이용하여 5×5m단위로 수작업으로 변량시비하고 있다. 변량시비의 기준식은 농업과학기술원에서 작성한 아래와 같은 환경보전형 시비기준식을 이용하고 있다. 이 시비 추천서에는 토양 분석 결과를 이용하여 기비와 추비량을 산정하는데, 연구소 시험포장에는 기비만을 변량살포하였다. 추비는 토양 분석결과와 작물의 생육상황을 동시에 고려해야 하는 문제점이 있는데, 아직 작물 생육상황을 실시간으로 측정할 수 있는 센서가 없기 때문이다.

$$\text{질 소}^6 = 12.74 - 1.52 \times \text{OM} + 0.028 \times \text{SiO}_2$$

$$\text{인 산} = (100 - \text{P}_2\text{O}_5) \times 0.1$$

$$\text{칼 리} = (0.03 \times \text{CEC} - \text{K}) \times 47.1$$

1999년부터 2002년 초까지 3년간 시험포장의 토양 조사 결과를 분석한 결과 질소의 경우는 변량 시비 필요가 있지만, 인산, 칼리의 경우는 시비량 산출식에 의해 계산된 시비량이 시비량 계산식의 경계값인 최저시비량보다 소량으로 계산되었기 때문에 변량시비를 할 수 없었다.

연구소 시험포장 외에 농가포장을 이용하여 정밀농업의 조기실현을 위한 연구도 시행중이다. 실험포장은 경기도 안성시 양성면 덕봉리에 위치한 100×100m의 농가포장((37.044641N,

---

6) 2002년의 경우, 요소를 이용하여 질소질비료(요소 속에는 46%의 질소 포함)를 사용하였는데, 시험포장 120개 위치에서 10a 기준으로 최고 13.77, 최저 10.35, 평균 11.26kg의 질소를 사용하였다. 단위 매쉬인 5×5m 기준으로는 최고 241, 최저 181, 평균 197g이었다.

127.195941E), (37.043806N, 127.196190E), (37.043944N, 127.197173E), (37.044786N, 127.196979E))이다. 2001년도 2월부터 포장면 고저차, 토양특성값 등의 포장정보를 조사하고 있다. 포장의 면적은 1ha(100×100m)로서 1997년도에 4필지의 포장을 1필지로 경지정리하여 관리하고 있다. 관개수는 그림 9와 같이 오른쪽 아래에서 왼쪽 위로 흐른다.

시험포장에서는 매년 토양화학성, 작물 생육상태, 수확량을 5×10m단위로 측정하고 있다.

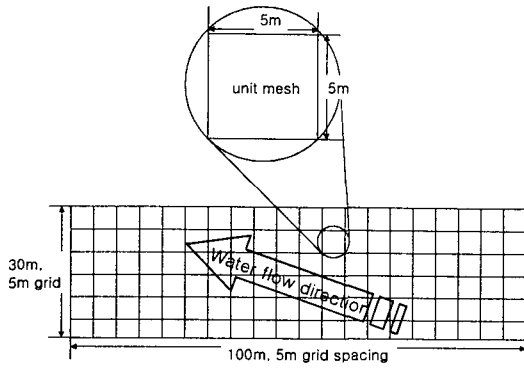


그림 8 정밀농업 시험포장의 관개수 흐름과 단위 메쉬 및 측정 위치

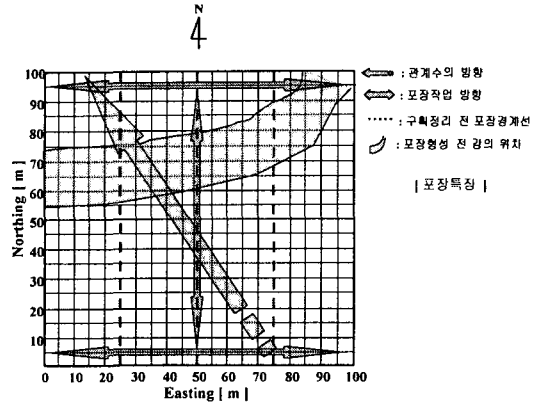


그림 9 농가 정밀농업 시험포장의 관개수 흐름과 단위 메쉬 및 측정 위치

## 2. 수확량 모니터링 장치 개발(농업기계화연구소)

농업기계화연구소에서는 1999년부터 미국 미조리 주립대학과 공동으로 정밀농업에 필요한 수확량 모니터링 장치와 엽록소 측정장치를 개발하고 있다. 그림 12는 수확량 모니터링 장치를 나타내고 있다, 수확량 모니터링 장치에 들어가는 수확량 센서는 곡물의 충격량을 검출하여 수확량을 계산하는 장치인데, 충격량은 유동 곡물의 무게에 따라 달라지므로 곡물내 수분함유량도 동시에 측정해야 한다. 곡물의 수분은 흐르는 곡물의 순간적인 정전용량을 측정하여 구하며 수확량은 스트레인 게이지를 이용하여 충격량을 검출하여 환산한다. 현재 수분은 98%정도의 정밀도로 흐르는 곡물을 측정할 수 있으며, 수확량은 총량 기준으로 70%정도의 정밀도를 나타내고 있어 계속 보완 개발중에 있다.

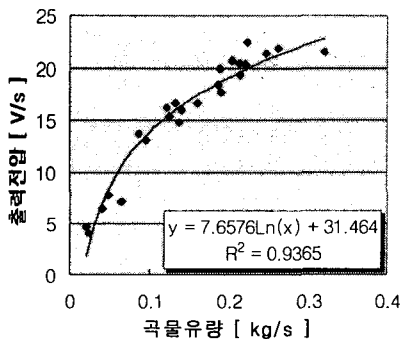


그림 10 곡물 수확량 실험 결과

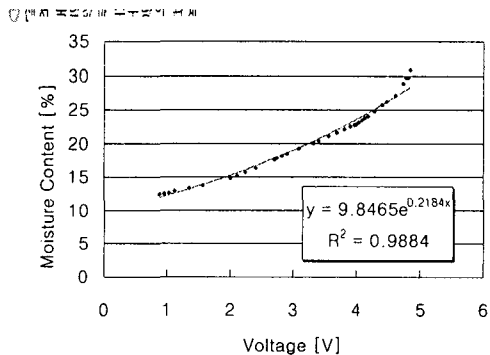


그림 11 곡물 수분 측정센서 실험결과



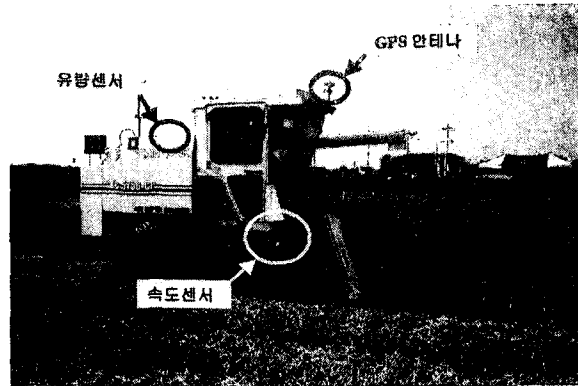


그림 12 농업기계화연구소에서 개발한 콤바인 부착형 수확량 모니터링 장치 포장시험 광경

### 3. 작물 건강도 측정 장치 개발(농업기계화연구소)

작물 생육상태나 건강상태를 종합적으로 알기 위해서는 식부심, 초장, 경수, 엽수, 엽내 엽록소 함량, 병해충 발생 여부 등 많은 항목을 측정해야 한다. 정밀농업에서 수도작의 추비를 주기 위해서는 이러한 여러 항목이 실시간으로 측정되어야 한다. 이 가운데 농업기계화연구소에서는 잎의 엽록소 함량을 실시간으로 측정할 수 있는 엽록소 측정센서를 미조리 대학과 공동으로 개발중에 있다.

작물의 건강도를 판단하기 위한 엽록소 측정센서는 입모중에 포장에 들어가 작업이 가능한 관리기에 부착하여 벼 군락의 반사광을 분석하여 건강도로 환산한다. 아직은 엽록소만을 측정하도록 설계돼 있으나 앞으로 번무도, 질소함유량 등의 센서를 추가 개발하여 수도작의 건강진단 센서로 활용할 예정이다. 현재의 센서는 작물의 생육상태를 파악하여 추비량을 결정하는 기초자료로 활용할 예정이다. 이 장치는 노지에서 사용하기 때문에 외란광의 영향을 보정할 수 있는 센서가 부착되어 있다. 또한 GPS 수신기를 장착하고 있어 포장내 생육정보를 위치별로 저장하여 GIS를 이용한 다중분석이 가능하다. 농업용 GIS를 이용하여 현재 작물의 건강상태에 영향을 미친 원인을 분석하고 이를 해결하기 위한 최적의 처방을 내려주며 수확량과의 상관관계도 분석하여 다음해의 농작업을 설계할 수 있으며, 그림 13은 실시간 엽록소 측정센서의 측정화면을 나타내고 있다.

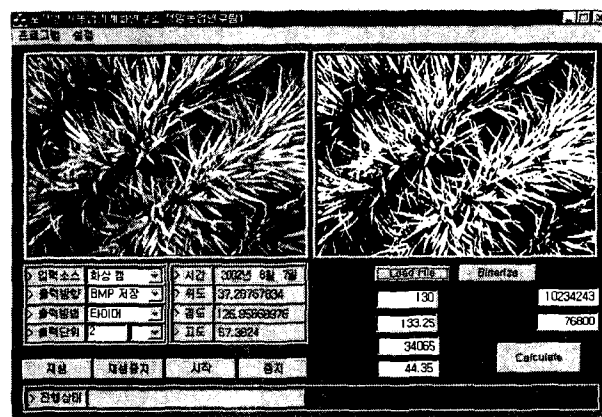


그림 13 실시간 엽록소 측정센서의 측정 화면

#### 4. 포장정보 입력 저장장치(농업기계화연구소)

정밀농업을 실천하기 위해서는 가능한 한 많은 지점에서 많은 종류의 정보를 입력 처리해야 한다. 이러한 정보는 위치정보와 속성정보가 동시에 저장되어야만 위치별 속성정보의 상관관계를 분석할 수 있다.

농업기계화연구소에서는 GPS 수신기를 장착하고 포장내 위치별로 속성정보와 영상정보를 동시에 저장관리할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 아날로그 센서포트 8개(0~5V : 4 port, 0~12V : 4 port)와 디지털 5포트(각 16바이트), 32M의 영상정보와 위치정보를 동시에 저장이 가능하다.

2001년도에는 이 센서를 보완하여, PAD를 이용하여 한글 입력이 가능하고, 입력된 정보를 포장내에서 바로 분석할 수 있는 데이터베이스 프로그램을 개발하였다. 또한, PDA<sup>7)</sup>에는 프로그램 입력이 가능하기 때문에 입력센서의 종류에 따라 다양한 분석 및 정보 가공이 가능하며, 그림 14, 15는 속성정보 입력 저장장치를 이용한 토양정보의 측정 광경을 나타내고 있다.



그림 14 속성정보 입력 저장장치를 이용하여 위치별 엽록소를 측정하고 있는 광경



그림 15 복합 포장정보 입력저장장치 실험장면

#### 5. 가변 시비량에 따른 벼 반사도 특성 연구(서울대학교)

국내의 벼농사에 적합한 정밀 농업의 개념을 정립하고 이를 구현하기 위한 구체적인 방법을 수립하기 위하여 기초적인 연구가 서울대학교에서 수행되었다. 가장 적정한 양의 비료가 주어졌을 때의 농작물의 생육상태와 그렇지 않았을 때의 생육상태를 조사하여 군락반사율과 비교함으로써 질소영양상태(NNI)의 비파괴적인 추정방법을 설정하고자 하는 연구다.

측정은 분얼수, 질소함량, 건물중, 엽면적, 엽록소, 군락반사율을 항목으로 출수 전까지는 10일 간격으로, 출수 이후에는 7일 간격으로 하였다. 토양 중의 질소 함량과 물리 화학성을 알아보기 위하여 실험구의 토양을 채취하였으며, 모내기 전에 가급적 질소함량과 물리화학성을, 영화분화기에 토양 중의 무기태 질소함량을 알아보았다. 엽록소 함량은 휴대용 엽록소 함량 측정 기기인 Chlorophyll meter SPAD 502를 이용하여 측정하였다. 또, 군락반사율은 휴대용 스펙트럼 측정기기인 GER1500 vegetation analyzer를 이용하여 측정하였다. 수확과 관계된 변수는 수량과 품질을

7) Personal Digital Assistants(개인용 휴대 단말기)

대상으로 하였다. 수확 직전 시험 포장의 각 구획에서 일정량의 샘플을 채취한 후, 이를 분석하였다. 채취된 표본에서 이삭 수, 천립중, 등숙률, 수확량을 측정하였다. 천립중과 등숙률은 수확된 산물을 이용하여 측정하였으며, 산물의 수량을 표시한 수확량은 수확물의 중량을 10a당 kg 수로써 나타내었다.

시비는 기비, 분얼비, 수비로 나누어 실시하였다. 기비는 이앙 전에 시비하고, 분얼비는 묘 분얼기에 시비하였다. 수비는 이삭이 팥 무렵 시비하였다. 질소, 인산, 칼륨 비료는 각각 요소, 용과린, 염가를 사용하였다.

실험결과 건물중의 시간변이는 점차 높아지는 대신에 N%의 시간변이는 점차 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 시비에 의해 질소 공급이 일정한데 반해, 건물중이 늘어남에 따라 N%는 낮게 나타나기 때문이다.

SPAD 변이지도는 분얼 시기까지는 질소의 가변 시비량을 따르는 성향을 보이다가 분얼기 이후에는 평균화되는 경향을 보인다.

군락반사율과 Blue, Green, Red, NIR의 4가지 파장대의 반사율관의 관계는 Blue 파장대역의 경우는 질소함량과의 상관관계가 희박한 것으로 보인다. Red 파장대역이 가장 큰 상관관계를 보이는데 이는 생장시기에 따른 차이가 거의 없으므로, Red 파장대역이 질소함량을 나타내는 척도로 사용할 수 있다고 생각된다. 단, 오차가 생길 수도 있으므로, 다음으로 상관관계가 높은 Green이나 NIR 파장대역을 질소함량 측정의 척도로 함께 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있는 방법이라고 생각되어진다. Green과 NIR 중에서 NIR의 경우 각 구간별로 반사도의 폭이 차이가 넓어서 질소함량의 차이를 확연히 드러낼 수 있는 것으로 생각되어진다.

## 6. 소규모 경작지 정밀관리를 위한 포장 지도작성(호남농업시험장)

소규모 경작지에서 필지내 지점별 포장변이 지도를 작성하기 위하여 2001년에 전북 익산시 목촌동에 소재한 일반 농가답(전북통)에서 중만생종인 동안벼를 공시 작물로 시험하였다.

시험결과 유수형성기 토양중 암모니아태질소 및 엽의 SPAD값, 세미베리어값 및 공간의존성 지표값은 토양중 암모니아태 질소 분포는 지력 질소의 근원이 되는 유기물함량이 높은 부분에서 무기태 질소 발현량이 높은 것을 알 수 있었고, 엽의 SPAD값은 환원 정도가 높은 지점에서 높은 경향을 보였다. 최고 분얼기 및 유수형성기의 초장 및 경수의 분포는 최고 분얼기의 초장 및 경수의 분포가 일정한 경향을 보이지 않았는데 이는 지력보다는 기비 및 분얼비의 시비에 영향을 받고 있는 시기이기 때문으로 생각된다. 그러나 유수형성기의 초장 및 경수는 남북방향으로 서쪽보다는 동쪽이 초장이 길고 경수가 많은 경향을 보여 주고 있으며, 초장 및 경수의 의존거리는 최고 분얼기 14.4m, 10.2m보다 유수형성기에는 44.3m로 길어지고 있는데 이러한 것은 시비질소, 지력, 물관리 등과 연관해 해석해야 할 것으로 보인다.

쌀수량 및 현미의 완전립비율 및 현미중 단백질함량 분포는 쌀수량은 지력질소 함량이 높고 생육이 좋은 남동 부분과 유기물함량이 높은 중앙이 높고 pH가 높은 부분이 낮은 경향을 보였다. 완전립 비율은 중앙 부분이 낮은 경향이었으나, 현미중 단백질 함량은 반대로 중앙부분이 높았다. 그리고 쌀수량, 완전립비율 및 단백질 함량의 Q값이 0.70 이상으로 공간구조성이 강하였으며, 의존거리를 나타내는 Range값이 12.0~26.1m로 공간의존성이 존재함을 보여 주었다.

생육 정보간의 상관관계는 유수형성기의 SPAD와 경수는 쌀수량과 상관계수가 각각 0.307, 0.311로 1%수준의 유의성을 보였으나 현미중 단백질 함량과는 유의성이 없었다. 그러나 초장은 쌀수량과 상관계수가 0.385로 정의 상관, 현미중 단백질함량과는 -0.185로 부의 상관이 있었다. 미질의 한 지표인 현미중 단백질 함량과 유기물, 전질소 및 유수형성기의 토양중 암모니아태 질소

와는 상관계수가 각각 0.172, 0.237, 0.310로 정의상관이, 포장면 고저차 및 초장과는 각각 -0.372, -0.185의 부의 상관을 보였다. 이상의 결과로 볼 때 쌀수량과 현미중 단백질함량은 유수형성기의 생육과는 물론 벼 재배전 포장의 토양상태와도 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

결론적으로 소규모 포장에서도 토양 화학성분, 생육 및 수량의 공간의존성이 존재하며, 포장 지도 작성에 의하여 여러 정보간에 변이를 파악할 수 있었다. 그리고 쌀수량과 현미중 단백질 함량은 유수형성기의 생육 및 벼 재배전 토양상태와도 높은 상관관계를 가지고 있으며 이는 소규모 논에 있어서도 정밀농업의 필요성이 있음을 보여준다.

## 7. 시비 처방전(농업과학기술원)

농업과학기술원에서는 그림 16에서 보는 바와 같이 실시간 시비 처방전 발급을 위해 농업토양 환경지리정보시스템(www.niast.go.kr/gishome)을 개발하였다. 이 시스템에서는 일반농가에서 인터넷을 통해 농지의 특성을 확인할 수 있고, 농민이 원하는 농지의 시비처방서를 발급받을 수도 있으며, 해당 농지에 적절한 재배 작물을 선택할 수도 있다. 또한 한국의 발토양 표준물관리법과 작물 양분의 종합관리기술, 병해충종합관리기술 등을 인터넷상에서 제공할 수 있는 시스템을 개발 중이다.



그림 16 농업토양 환경정보시스템  
(<http://www.niast.go.kr/gishome>)

## V. 정밀농업 기술개발 방향과 전략

### 1. 기술개발 방향

정밀농업은 작물성장에 영향을 주는 다양한 요소와 농장 의사결정사이의 복잡한 상호관계의 이해를 향상시키는 것으로 정밀농업에서 가장 중요한 연구영역은 향상된 작물모델, 농장관리방법, 전문가시스템소프트웨어를 지원하는 이론적·경험적 지식의 발전이다. 정밀농업은 주로 수확량모니터(yield monitors), 원격탐사(remote sensing), 디지털화된 토양맵핑(digitized soil mapping)을 통한 변이성의 측정을 중심으로 다루어 왔다. 그러나 변이 측정이 더 좋은 관리를 만들어내지 못한다면 그것은 의미가 없다. 정밀농업은 농업관리에 대한 시스템적 접근(system approach)이며, 1970년대의 환경문제를 포함한 시스템원리적용(application of systems principles), 1980년대의 지속농업시스템(sustainable agricultural systems)과 IPM(Integrated pest management), 1990년대의 분기점(watershed)과 생태계관리(ecosystem management initiatives)와 다르지 않다. 정밀농업은 근본적으로 농업생태계(agroecosystems)의 복잡성과 상호연관성에 집중하도록 하는 정보기술이다. 그러나 작물시스템(cropping system)의 체계적인 이해가 모델안에서 획득되지 않는다면 땅속의 변화(subfield variation)에 대한 많은 정밀데이터들은 향상된 관리결정(management decisions)을 제공하도록 처리될 수 없다. 만약 그러한 모델이 개발될 수 없다면 정밀농업의 많은 잠재력은 현실화되지 못할 것이다.

영양분과 토양의 성질 변화에 따른 작물수확응답성(crop yield responses)에 대한 이론상·경험상의 이해는 초보상태이다. 예를 들어, 이론이나 증거가 작물의 영양응답은 비선형적이며 다른 영양분이 부족할 때 수확량은 몇 가지 영양분의 추가에 대해 응답하지 않을 것이라는 것을 나타냄에도 불구하고 비료의 추천은 "one and a quarter pounds of nitrogen per acre for every bushel of yield goal for corn"과 같이 엄지손가락 규칙(rules of thumb)에 기초를 둔다. 비슷하게도 작물의 생산성과 작물영양응답(crop nutrient response)은 (구조, 짜임새, 유기물, 수분보유능력) 토양의 성질과 경운에 의존한다고 널리 알려져 있지만 작물생산에서 이러한 요소의 양에 관한 모델링(quantitative modeling)은 존재하지 않는다. 질병관리도 유사한 모습으로 존재한다-대책의 시작은 엄지손가락 규칙에 종종 기초를 둔다. 왜냐하면 믿을만한 작물질병생태계모델(crop-pest ecosystem models)이 없기 때문이다. 비록 영양분과 질병관리의 엄지손가락 규칙이 중요한 경험적 자료를 기반으로 한 것일지라도 추천결과는 포장안에서 변하는 다른 요소들을 무시한 집합된 기초 위에서 개발된다. "[정밀농업]은 지역적 범위에서 처음으로 개발된 현재의 질소비료지침에서 벗어난다.....결과적으로 현재의 질소 추천은 국부특성에 맞는 질소관리의 적용을 제한해 왔을 수 있다." 땅속에서(subfield level) 변하는 요소의 변이영향(effect of variation)을 알 수 있는 모델화된 관계를 개발할 수 있다면 더 좋은 추천을 할 수 있다.

작물질병 상호작용의 모델은 향상된 생태학적 질병관리전략을 고안하기 위해 중요하다. 살충제의 좀더 현명한 사용은 환경에 대한 피해를 줄일 수 있다. 토양성질에 대한 투자는 지속농업시스템(sustainable farming systems)에서 중요한 신념이다. 작물수확에 대한 토양성질구성요소의 상대적 공헌을 명료하게 하는 모델은 지속농업시스템의 설계를 향상시키는 것을 도울 수 있다.

작물모델의 개발은 작물성장에 대한 영양분의 유효성에서 땅속 변화의 영향, 작물의 영양분 흡수와 질병(곤충, 잡초)유행에 대한 토양성질 변화의 영향, 작물질병 생태계의 상호작용(crop-pest ecosystem interactions)에 대한 기본연구를 포함할 것이다. 그것은 또한 다른 위치에서 중요한 작물을 위한 성장기를 가로질러 영양분, 토양성질, 질병유행에 대한 작물수확응답량(crop yield responses)을 정하기 위해 시도되고 있는 적용된 경험연구(applied empirical research)

를 포함한다. 그것은 농경제학자, 곤충학자, 경제학자, 식물병리학자, 잡초학자, 생태학자를 포함하는 다양한 학과의 연구가 필요할 것이다. 그러한 모델의 개발은 쉽게 착수할 수 있는 것이 아닐 것이며 많은 학과에게 협력을 요구하는 노력은 필수적이다.

현재의 작물학 연구모델은 단지 관심이 있는 요소(예; 비료의 비율)의 변화만을 허용하는 모사블록설계(replicated block designs)를 주의 깊게 통제되는 연구계획실험(research plot experiments)을 채택하고 있다. 정밀농업은 이미 몇 가지 전망이 있는 기술로서 인식되어 왔기 때문에 세부적인 작은 계획연구(detailed small-plot studies)와 기술적합실험(technology-adaptation experiments)은 필요하지 않을 수도 있다(Gomex and Gomez, 1984; Gotway Crawford et al., 1997). 더구나 시스템은 혁신과 배움이 전통적 연구계획실험과 정밀농업을 통해 실제의 포장운영으로부터 입수한 정보 양쪽 모두를 이용할 수 있도록 발전이 필요할 수도 있다. 정밀농업은 모든 포장에 대한 많은 층의 데이터를 수집하고 작물의 성장에 영향을 주는 변수들의 세부적인 변화를 기록하는 잠재력을 가지고 있다. 그러므로 정밀농업은 (a)불완전한 블록디자인(incomplete block designs), 행렬디자인(row-column designs), nearest neighbor designs, split plot designs와 같은 좀더 복잡한 실험 설계를 사용하여; (b)실험설계에서 공간변이를 특별하게 통합하여; (c)완전한 분배의 비교로 mean-based analyses를 보충하여; (d)다중회귀 같은 통계적인 방법을 사용하여 station-based plot studies부터 farm-based studies까지 연구 패러다임을 바꿀 수 있다. 이 패러다임 아래에서 생산자집단은 정밀데이터를 수집하고, 농경연구자들은 처리하기 쉬운 요소에서 작은 변화가 다양한 자원과 날씨 상황에서 작물수확에 어떻게 영향을 주었는지를 평가하는 통계적인 방법을 가지고 데이터를 분석해야 한다.

## 2. 기술개발 목표

정밀농업을 실천하는데 필요한 기계기술을 농작업별로 구분하여 개발하는 목표를 설정해야 한다. 먼저 농업인이 수시로 들판에 나가 농작물의 생육상태를 판단하는 것처럼 기계를 이용하여 작물의 생육상태를 판단할 수 있는 작물 생육정보 검출기술이 필요하다. 일기예보에서 사용하는 것처럼 인공위성 사진을 이용하여 넓은 들판의 생육상태를 판단하기도 하고 농작업기계에 부착한 센서를 이용하여 작업기 근처의 작물 생육상태를 실시간으로 판단하는 기술이 필요하다.

또한, 컴퓨터를 이용하여 전년도와 기상자료나 수확량 자료를 데이터베이스로 만들어 놓고 현재의 작물 생육상태와 비교하여 수행해야 할 농작업의 종류와 수준을 결정하는 농작업의사결정 기술이 필요하다. 즉, 전년도에는 어떤 곳에 어떠한 처리를 해 줬고, 현재의 작물 생육상태가 어떠한지 이곳에는 지금 어떤 농작업 처리를 해 줘야 하는가에 대한 판단을 컴퓨터가 내려주는 것이다. 이는 마치 숙련된 농업전문가가 수행해야 할 농작업의 종류나 시기·수준을 결정하는 것처럼 기계가 판단할 수 있는 컴퓨터 인공지능 기술을 이용한 전문가 시스템인 것이다.

여기에 필요한 또 한가지의 기술은 '작년에 이 위치에서 수확량이 어떠했는가' 등의 정보를 컴퓨터 데이터베이스에서 찾기 위해 농기계가 현재 서 있는 위치를 알아내는 위치 정보 획득 기술이다. 이를 위해서는 지구위치시스템(GPS)을 이용해야 한다. GPS는 지구 위를 돌고 있는 인공위성을 이용하여 지구의 어느 위치에 있어도 자신의 위치를 정확하게 알 수 있도록 만든 위치 측정시스템이다.

최종적으로 실제 그 위치에서 컴퓨터가 명령을 내린 농작업을 수행하는 변량 작업기술이 필요하다. 이는 기존의 농업기계가 들판에 일괄적으로 거름을 살포했던 것과는 달리 들판의 위치에 따라 작물 생육상태에 맞는 최적의 농작업을 수행해 주기 위해 위치별로 비료나 농약의 살포량을 달리하는 농작업 기술을 의미한다. 이와 같이 정밀농업기술은 파종전 처리에서부터 수확까지 작물

재배기간의 모든 면에 정보화 기술이 이용되는 것이다.

구체적으로 정밀농업 작업기술을 보면, 토양검사, 경운작업, 파종이식작업, 시비방제작업, 작물 생육관찰, 수확작업, GPS와 GIS를 이용한 위치측정작업 등 모든 작업에서 시간적 공간적인 정보화가 이루어져야 한다. 따라서, 정밀농업기술과 기계 개발은 어느 한 분야의 노력만으로는 해결될 수 있는 문제가 아니다. 농공학, 토양학, 농화학, 작물학, 항공학 등 농학 공동 분야의 학자와 농업 기자재 생산업체, 농업인이 합심노력해서 기술을 개발해야만 한다.

### 3. 기술개발 추진전략

정밀농업기술은 농업생산의 정보화로 21세기에 실현해야 할 새로운 친환경 농업기술로 정부와 산·학·연이 일체가 되어 기술을 개발하고 범 정부적으로 지원추진해야 할 새로운 실천과제이다. 기술개발은 그림 17과 같이 기반기술, 응용기술, 실용화기술로 구분하여 개발하고 단계적으로 실천해야 한다.

정밀농업기술과 기계개발을 촉진하기 위해서 정부는 농업기계공학, 토양학, 작물학 등의 관련 연구기관과 농기계 및 센서 생산업체가 공동으로 연구를 수행할 수 있도록 대형연구사업의 예산 등을 지원해야만 한다.

농업기계화연구소에서는 1단계로 기반기술인 수확량, 엽록소, 토양유기물 측정센서를 개발하고, 2단계로 생육 및 토양지도 작성, 농자재 처방시스템, 변량투입 전자제어 시스템 등 응용기술을 개발하고 3단계로 변량시비기, 변량 방제기, 자율주행제어 시스템 등 실용화 기술을 개발하여 실증시험을 거친 후 농가에 보급한다는 목표를 가지고 연구개발 계획을 수립하고 있으나, 이는 정부에서 특단의 지원 정책이 마련되어야 실행이 가능하다.

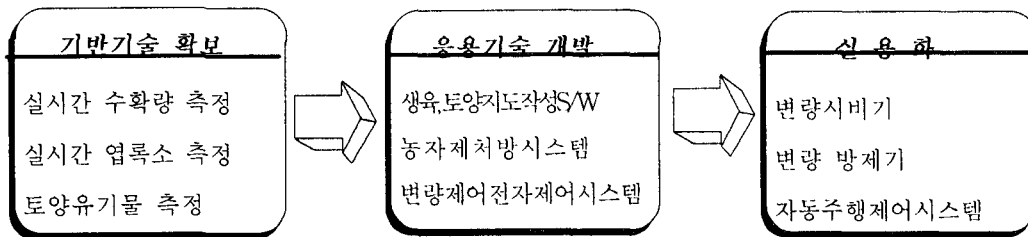


그림 17 정밀농업기계 기술의 단계적 개발 전략

또한, 정밀농업을 실현하기 위해서는 기술개발도 중요하지만, 예산지원 제도개선 등 정책적인 지원 시책이 있어야 한다. 농림부는 정밀농업을 친환경농업에 포함시켜 친환경농업 육성을 위해 지원하는 혜택을 받을 수 있도록 하고, 정밀농업 시범단지를 만들어 시범사업을 추진해야 한다.

그리고, 정밀농업으로 생산된 농산물의 품질인증제도를 시행하고 정밀농업의 조기 실현을 위해 토양상태를 인증하는 토지거래용 토지진단서를 발급하는 제도를 마련하여야 한다. 또한, 정밀농업을 실행하는 농지는 직불제를 실시하고 BB(Bulk Blending)비료 생산 및 유통체계를 확립하고 정밀농업 관련기술의 표준화 등을 추진해야 한다.

수도작의 정밀농업 기술을 개발하기 위하여 2002년도 농림기술개발연구 기획과제로 『친환경수도작 정밀농업 변량형 농작업 시스템 개발』 과제가 선정되어 2002년부터 2005년까지 수도작의 정밀농업기술을 연구·개발하게 된다. 동 연구는 농기계연이 주관이 되어 서울대학교, 작시, 생산업체(4개)가 공동으로 토양분석 및 경도 측정, 벼 수확량 모니터링, 농약 및 비료의 변량제어 시스템 등을 개발하고 벼 생육정보 및 시비처방기술을 개발하게 된다.

## VI. 맺음말

농경문명의 변화를 보면 1차혁명은 철의 이용으로 농기구를 만들어 사용한 것이고, 2차 혁명은 증기기관의 발명으로 농용트랙터를 만들어 사용한 것이라고 한다. 그리고 제3차 혁명은 지금 진행중인 농업의 정보화가 될 것이며 농업의 정보화중에서 농업생산의 획기적인 변화를 가져올 것은 정밀농업(Precision Agriculture)이 될 것이라고 세계 석학들이 말하고 있다.

농업은 자연과 생명체를 다루고 농가의 경영규모, 자본력의 한계 등으로 공업분야에 비해서 정보화가 늦어지고 있지만, 구미 선진농업국을 중심으로 정밀농업을 추진하므로서 농업의 정보화가 추진되고 있다.

정밀농업은 정책면에서 볼 때 화학비료와 농약을 대량 감축하여 환경오염 문제를 해결할 수 있다. 수요자인 농업인 측면에서는 농업기계에 GPS와 GIS, 인터넷 컴퓨터 등 첨단공학기술을 접목한 하이테크 농업 실천으로 생산성을 증가시키면서 경제적 수익을 얻을 수 있다. 농기계 생산자는 농기계를 정보화 첨단화 하므로서 새로운 상품을 개발하여 구매의욕을 촉진하고 부가가치를 향상시킬 수 있다.

대학등의 연구자는 농업의 정보화라고 하는 새로운 연구영역이 확대됨으로 학문적 가치가 높아진다. 이와 같이 정밀농업은 산·관·학·연의 이해가 일치되는 새로운 농업기술이다. 정밀농업은 한필지 포장내에서 작물 생육차이를 파악하여 포장을 소공간으로 분할하고 미시적인 관점에서 최적의 관리작업을 목표로 하는 농업의 정보화 자동화 시스템이 복합된 기술로 현행 농업에서 보면 비약적인 기술혁신이며, 21세기에 추구해야 할 친환경 과학농업이다.

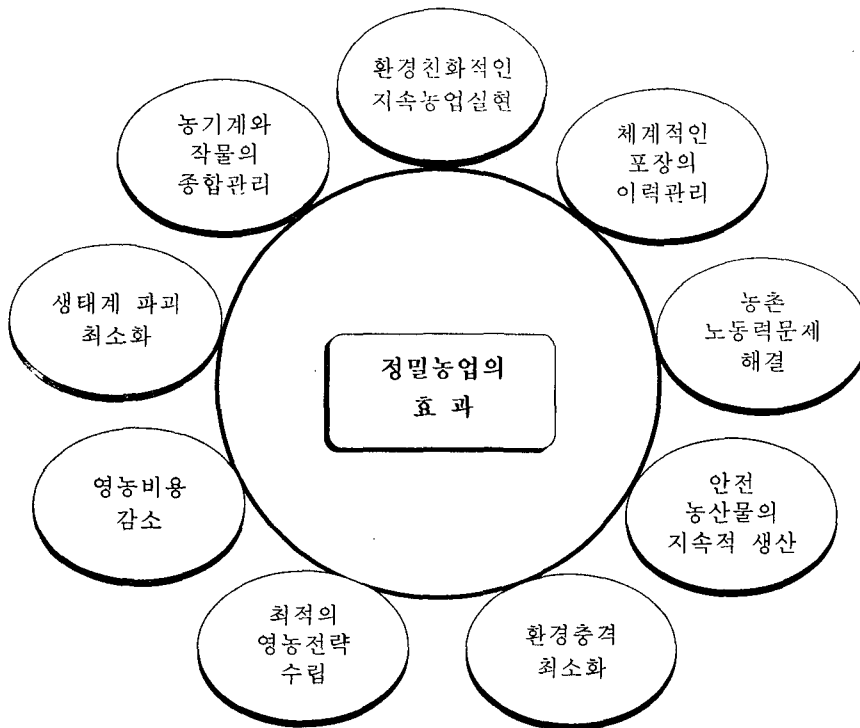


그림 18 정밀농업의 효과



구미는 농업기술이 정밀농업 세대로 농업기계 생산의 구도가 변하고 있다. 미국에서는 지금까지 농업기계와 관계가 없었던 센서회사, GPS 회사, 소프트웨어 개발회사가 농업기계분야에 참여하고 있다.

또한, 학교에서도 농업공학의 연구자이외에 항공우주공학, 전자공학, 컴퓨터공학, 로봇공학의 연구자가 정밀농업의 추진에 큰 역할을 담당하고 있다. 이와같은 점을 감안할 때, 정밀농업의 실현은 농업이 새로운 산업으로 발전 전환하고 있다는 것을 보여주는 것이며, 농업기계 연구자와 기술자가 중심이 되어 정밀농업기계기술을 개발해야 된다고 믿으며, 우리농업을 한차원 발전시키는 중차대한 역할을 실현하는 것이다.

따라서, 우리농업을 한차원 발전시키고 경쟁력 있는 농업으로 만들기 위해서 정부는 정밀농업 기술과 기계개발을 촉진하고 조기에 보급될 수 있도록 농업기계공학, 토양학, 작물학 등을 담당하는 연구기관과 농기계 및 센서 생산업체가 공동으로 연구할 수 있도록 예산과 제도적인 지원을 하고, 정밀농업이 새로운 농업정책으로 추진될 수 있도록 제반조치를 강구하는 것이 시급한 과제이다.

#### ◆ 참고문헌

1. 농림부. 2001. 친환경농업 육성 5개년 계획
2. 농민신문사. 디지털 농업. 2001. 6월호 pp. 103-118.
3. 농업기계화연구소 시험연구보고서. 1999, 2000, 2001년
4. 농업기계화연구소, 친환경정밀농업연구회. 2002. 정밀농업과 포장변이 학술발표 자료집
5. 농촌진흥청. 2000. 친환경농업 기술개발 및 실천전략. 연구동향 분석보고서
6. 棟方 研, 石塚 裕一, 上野 康男. 1999. 시비자동화를 위한 분광센서 개발. Brain 테크노 뉴스. 74:14-17.
7. 박원규 외 4. 2000. 정밀농업을 위한 농업기계 시스템. 서원
8. 생연기구, 농업기계화연구소. 2000. 北美における精密農業技術の調査. 해외조사보고서
9. 소구획 정밀농업기계 기술 전략. 2000. 농업기계화연구소. 국제세미나 자료집
10. 정밀농업과 기계기술 개발전략. 1999. 농업기계화연구소. 국제세미나 자료집
11. 정밀농업과 포장변이. 2002. 농업기계화연구소. 국제세미나 자료집
12. 정밀농업을 위한 포장정보 수집 및 분석. 2001. 농업기계화연구소. 국제세미나 자료집
13. 친환경 농업과 기계화 방향. 1999. 한국농업기계학회. 세미나 자료집
14. Kuhar John E. 1997. The Precision Farming Guide for Agriculturists. Deere & Company.
15. Society of Automotive Engineers, Inc. 1996. New Trends in Farm Machinery Development and Agriculture.
16. Society of Automotive Engineers, Inc. 1997. New Trends in Tractor and Farm Machinery. 1997.
17. Sudduth, K. A. 1998. Engineering and application of precision farming technology. Integrated weed and soil management. 311-331.
18. <http://www.agriculture.pe.kr/site.htm>(정밀농업관련 사이트 모음)
19. <http://www.croplife.com/pdf/croplife2002.pdf>(미국 정밀농업장비 업자 설문조사 결과)