

최 중
연구보고서

**벼 직파재배 농가의 정밀농업 기법 개발과
농경영 및 환경개선**

**Development of Precision Agriculture Technique
and Improvement of Agricultural Management
and Environment in Direct-Seeding Rice Culture**

연 구 기 관

서울대학교(전북대학교, 강원대학교)

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “벼 직파재배 농가의 정밀농업 기법 개발과 농경영 및 환경개선” 과제(세부과제 “벼 직파재배 농가의 정밀농업 기법 개발과 농경영 및 환경개선”, “직파 농가 경영분석에 따른 적정모형 개발”, “지력도와 변량시비 추천에 따른 정밀농업기법 도입”)의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 12 월 28 일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 이 호 진

연 구 원 : 정 지 훈

연 구 원 : 이 창 환

협동연구기관명 : 강원대학교

협동연구책임자 : 정 영 상

협동연구기관명 : 전북대학교

협동연구책임자 : 박 정 근

요 약 문

I. 제 목

벼 직파재배 농가의 정밀농업기법 개발과 농경영 및 환경 개선

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구목적

정밀농업 기법과 친환경 농업기술들을 벼 직파 농가에 적용하여 적정 시비관리가 벼 재배와 수량에 미치는 영향을 분석하고, 영농합리화와 주변 환경에 미치는 영향을 감소하여 한국 벼 재배농가에 적합한 영농기술을 개발하고, 벼 농업경영을 향상시키며 환경보전의 효과를 얻으려 한다.

현 영농기술과 경영개선에 관심이 큰 벼 직파농가들을 대상으로 그들 경작농지에서 지력과 수량변이를 조사하여 필지별 토양지력도(soil mapping)와 벼 수량도(yield mapping)를 작성한다. 이에 기초하여 필지별 적정시비량을 투입하고 수확물의 유기물을 효과적으로 재순환시키고 배출을 억제하는 경지 내 물질 순환형 시험구를 유지하여 기존 농법과 관행 시비구와 벼 생육과 수량을 비교한다. 나아가 영양성분과 농자재, 농용에너지 투입량과 질소 인 성분의 배출량을 측정하여, 주변 수질 환경에 미치는 영향을 평가하며, 직파농가의 경영분석을 실시하여 소득 최적화 모형을 도출한다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

벼 직파농가는 이앙을 생략하여 생력화가 크게 향상되었지만 본답 생육기간이 늘어남에 따라 시비량이 증가되었고 관개수의 소요량이 늘어났다. 경작지에서 소실된 질소성분은 지하수, 하천, 근해에 유입되어 질산염농도를 증대시키고 부영양화현상을 초래하고 있다. 직파농가의 벼 재배면적이 늘어나고 있고 농기계화가 진행되었지만 농

작업 효율도 낮은 편이다. 필지별 토질, 지력 변이에 따른 적량시비는 비료량을 절감하고 벼의 생육과 수량을 최대화하며 수질환경을 보호함으로써 친환경농업 기술로서 인정된다. 이러한 정밀관리는 농기계에 전산화와 원격자동화 장치를 도입한 정밀농업의 신기술 도입으로서 가능하여지며 앞으로 식량작물 재배관리에는 이러한 기술의 적용이 절실하게 필요하다.

나. 경제·산업적 측면

국내 쌀 가격은 국제 거래 가격에 비해 3-5배 높을 뿐 만 아니라 국내 벼농사가 흉년이 들면 한국인이 주식으로 하는 자포니카 계통 쌀을 도입할 곳은 매우 제한되어있어 값이 폭등할 위험이 있다. 2000년대는 남북 간 식량교류와 생산 기술의 이전이 더욱 확대될 것으로 전망되어 한국 벼의 환경친화형 정밀기술화 재배 기술의 개발은 더욱 요청된다.

21세기 모든 산업에 정보화 물결이 밀려들 듯이 농업에도 지식화 정보화가 추진되고 있는데 그 대표적 변화가 바로 농기자재에 컴퓨터와 GPS, GIS를 활용한 Hi-tech이 도입되고 농작업에서 자동화와 정밀화가 진행되기 시작하였다. 미국의 정밀농업 제품시장은 1999년 20억\$로 성장하였고 앞으로 더욱 빠른 추세로 늘어날 것이며 세계 시장으로 확대될 전망이다.

다. 사회·문화적 측면

벼는 타 농산물과 달리 국내 농업을 대표할 뿐 아니라 5000년 한민족의 생존과 번영의 밑바탕을 이루는 먹거리 생산업이고 민족 정서의 맥을 이루고 있는 기본 요소 중 하나이다. 한반도에서 생산되는 쌀로서 한민족의 삶을 지속적으로 영위하는 것은 민족고유성을 지켜나가는 일이라 하겠다. 또 벼농사가 홍수방지와 지표수 공급, 습지 생태계 기능을 유지하여 국토환경 보전에 역할을 무시할 수 없다.

벼농사는 국내 농업에서 가장 중요하고 기본적인지만 재배농가의 영농소득이 낮아 회피하는 경향이 늘어나고 있어 매우 우려된다. 벼 재배는 넓은 면적을 단지화 하여 공동 기계화 작업으로 생력화를 이루고 여가 시간을 타 산업에 종사할 수 있도록 하여 농가소득을 보장받아야 한다. 또 주변 환경에 미치는 영향을 최소화 하여 환경보전적인 기술을 개발하여야 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 시험포장선정과 재배상황조사 : 직파 시험 대상 농가를 선정하고 직파재배농가의 재배 실태조사, 투입에너지, 영농 상황을 조사하여 TF의 실태를 분석.
2. 정밀농업 기기 도입 및 훈련 : 미국의 정밀농업기기 회사로부터 yield monitoring 과 mapping, GPS를 도입, 설치 및 작동 훈련을 위하여 현지회사 교육 훈련프로그램 이수.
3. 기기 장착과 성능검사 : 콤바인에 GPS와 grain flow sensor를 부착하여 yield monitoring 과 mapping 성능검사. 필지별 수량조사 후 수량도를 예비 작성.
4. 시험포장 토양분석 : 시험포장의 각 지점별 토양을 채취하고 토성, PH, 유기물함량, 무기성분을 조사한다.
5. 벼 직파농가 사회경제적 여건 및 경영실태조사 : 조사지역 선정 및 조사지역 농가인구, 호수, 경영형태, 소유규모 조사. 조사대상 농가의 선정, 시험포장 농가 농업경영진단
6. 농가 포장에서 기존 TF농법과 EF-PF기법의 시험구를 설치, 재배법과 시비법을 변화에 따른 벼 생육, 수량변화를 조사.
7. yield map 작성 : 각 농가별 필지별 시험구들의 벼 수량의 mapping을 하여 벼 수량 변이성을 평가.
8. soil map 작성 : 시험구 별 토양을 조사하고 지도를 작성, 토양변이를 벼 수량과 비교 평가함.
9. variable rate 시비 : 필지별 시험구의 지력에 따라 적정시비량을 처방하고 그에 따른 시비를 실시함.
10. 조사농가 adaptability analysis : 시험포장 농가의 경영요인 및 기술요인 조사와 계량 모형분석. 조사농가 adaptability analysis
11. 벼 직파농가 EF-PF기법확립 : 경지별 변량시비와 물질 순환에 따른 효과를 비교하고 환경 및 영향평가를 실시한 후 직파농가에 적합한 EF-PF기법을 확립하여 농가에 보급안을 확정하고, 경영모형을 확립하여 개선안을 제시함.
12. 토양변이성에 따른 시비량 산정기법 확립 : 토양 변이도를 작성하고 그에 따른 시비량 산정 기법을 확립함.
13. GPS/GIS 이용 공간변이성 조사방법 : 지리정보를 각 포장에 적용하고 공간 변이에 따

른 조사방법을 확립함.

14. 수질 및 토양 영향 평가 : 물질 순환에 따른 효과를 비교하여 EF-PF기법의 성과를 환경평가와 경영분석을 통하여 조사함.

15. 직파농가의 합리적 경영모형개발 : 지속가능한 농업경영 사회경제적 지표 개발, 농업 경영합리화 모델 개발, 정책방향 제시

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 수도 포장의 토양 및 수량 지도 작성과 변량시비 추천

정밀농업은 기존 농업 체계를 획기적으로 바꿀 수 있는 발전된 기술이다. 벼 재배에 있어서 정밀농업 적용의 가능성을 알아보고 양분 이용효율을 높이기 위해서 전북 김제의 0.4ha의 기계이앙재배 포장에서 지점별로 벼의 생육과 수량을 측정하였다. 공시 품종으로는 삼천벼를 이용하였으며, 콤바인 예취폭을 고려해 35m × 112m의 포장을 4.3m × 10.2m의 88개 구획으로 나누어 토양 샘플과 생육 및 수량 조사가 이루어졌다. 재배전의 토양 화학 성분의 분포도를 작성하였으며, 토양 화학 성분에 기초하여 시비량 추천 지도를 작성하였다. 출수기에는 초장, 분얼, 건물중, 엽면적지수, SPAD, 광 투과율을 측정하였으며, 수량은 8.6m × 10.2m의 44개 구획에서 측정하였다. 각 측정치는 GS+ 소프트웨어를 이용해서 공간의존도에 대한 분석을 하고 지도를 작성하였다.

수량은 751kg/10a에서 1,021kg/10a까지 분포하였으며, 수량의 포장내 공간의존도는 53m 내에서 높게 존재하였다. 생육 정보와 수량 간에는 공간적인 유사점이 발견되었으며, 질소시비 추천량 지도와는 상반된 형태로 나타나 시비량이 많이 필요한 곳에 수량이 적게 나타나서 수량과 시비추천량과는 공간적, 통계적인 상관관계를 가진다고 볼 수 있다.

2. 수비질소 변량시비가 직파재배 벼 생육 및 수량에 미치는 영향

변량시비는 비료의 이용 효율을 증대시키고, 토양 및 지하수 오염을 감소할 수 있

는 발전된 기술이다. 본 연구는 벼 직파재배 포장에서 수비 시용시에 토양 검정에 의한 추천 시비량에 따라서 작성된 시비 추천량 지도에 따라서 변량시비 처리를 하고, 그 효과를 알아보기 위해 수행되었다. 남평벼를 공시하여 사용하였으며, 포장 2개를 대조구와 변량시비 처리구로 나누어 대조구는 농가 관행에 따라 재배하고, 변량시비 처리구는 질소 수비 시용시 변량처리를 하였다. 재배 전에 9.8m × 8.9m로 나뉜 각 구획별로 토양을 샘플링 하였으며, 출수기에는 초장, 분얼, 건물중, 엽면적지수와 엽록소 함량을 측정하였다. 수량은 콤바인을 이용해 구획별로 측정하였으며, 추가적으로 토양 수 오염도를 보기 위해 Irrrometer를 이용해 토양수를 추출하였으며, 얻어진 정보들은 GS+ 소프트웨어를 이용해 공간통계 분석 및 지도 작성을 실시하였다.

변량시비 처리 시 절감된 비료량은 평균 1.8kg/10a였으며, 대부분의 생육량이 변량시비 처리구가 높게 나타났다. 수량의 경우 대조구는 494kg/10a를 나타냈고, 변량시비 처리구는 660kg/10a를 나타내 변량시비 처리구가 높게 나타났으며, 포장내의 변이도 크게 감소하여 이앙재배 수준을 유지하였다. 토양수의 nitrate 함량도 변량시비 처리구에서 더 낮게 나타났다.

3. 논에서 변량시비를 통한 비료 절감과 벼 생육 및 수확량 변이 지도의 작성

본 연구는 벼 재배 포장에서 사전 토양분석과 작물 중간생육에 따라 구획별 변량시비를 실시하고 그에 따른 비료 절감 효과와 벼 생육 및 수량에 미치는 영향에 대해 알아보려고 수행하였다. 공시된 벼 품종은 해평벼였다. 포장실험은 세 개의 농가에서 각각 한 개씩의 field를 사용하였고, 각 field는 대조구와 변량시비 처리구로 구분하였다. 다시 각 대조구 및 변량시비 처리구 포장을 10m×10m의 30개 구획으로 나누어 시험을 실시하였다. 토양 분석 결과를 기초로 기비와 분얼비의 구획별 변량시비를 실시하였고, 식물 생육 중 엽면적지수와 엽록소 함량을 이용하여 수비의 변량시비를 실시하였다. 실험 결과를 이용해 대조구와 변량시비 처리구의 생육 및 수량을 비교하고, 포장의 구획별 생육과 수확량 지도를 그려 포장 내 변이를 나타내었다.

Field 1에서는 N-P-K = 0.95-8.8-5.7kg/10a의 비료를 절감해 N-P-K = 7.1-100-64.8%의 감소비율을 나타냈으며, 대조구와 변량시비 처리구의 생육량은 비슷하였다. 수량은 변량시비 처리구가 23.1kg/10a 높아서 4.3% 증가하였고, 포장내의 생육량과 수량의 변이는 큰 차이가 없었다. 비료 절감에 따른 수량감소는 없었으나, 도복으

로 인한 실험오차가 있었으며, 포장 내 수량의 변이 감소는 나타나지 않았다.

Field 2에서는 N-P-K = 3.71-7.3-3.47kg/10a의 비료를 절감해 N-P-K = 23.6-100-47.5%의 감소 비율을 나타냈다. 생육량은 대조구가 월등히 높았지만, 수량은 변량시비 처리구가 14.3kg/10a 낮게 나타나 2%정도의 감소만을 나타냈다. 변량시비 처리구의 초장과 엽록소함량의 변이가 대조구에 비해 작게 나왔으며, 나머지 생육과 수량의 변이는 비슷하였다. 비료 절감에 따른 수량감소는 적었으며, 변량시비 처리에 따른 효과로 엽록소 함량의 변이가 감소하였다.

Field 3에서의 비료 감소량은 N-P-K = 5.63-5.6-3.0kg/10a로 각각 32.2-100- 53.6%의 감소비율을 나타냈다. 대조구의 생육량이 변량시비 처리구에 비해 전체적으로 더 높았지만 엽록소 함량은 낮은 수치를 나타냈다. 수량은 변량시비 처리구가 3.4kg/10a 높아 0.5%의 증가량을 보여 유의적 차이는 없었다. 생육량과 수량의 포장내 변이는 큰 차이가 나타나지 않았으며, 수량의 변이계수는 4.13으로 포장내의 변이가 매우 적었다. 비료 절감에 따른 수량감소가 없었고, 포장내 수량변이도 감소하였다.

대조구와 변량시비 처리구에서 추출한 토양 침출수의 nitrate 함량은 큰 차이가 나타나지 않았으며, 미질은 변량시비 처리구가 약간 높은 수치를 나타내어 미질이 향상되었다.

결과를 종합해보면 벼 포장에서의 변량시비를 통해서 시비량 절감효과를 볼 수 있었으며, 일부 포장에서는 변이 감소 효과도 나타났다. 질소 수비 시용량 결정에 이용한 생육정보로는 엽면적지수를 이용한 것이 더 정확한 결과를 나타냈다. 변량시비 처리는 벼 재배에 활용이 가능할 것으로 추측되며, 이를 위해서는 정확한 변량시비 추천량 개발이 필요할 것이다.

4. 수확량 모니터링 시스템을 이용한 수확량 측정

수확량 모니터링 시스템은 콤바인에 위치좌표를 얻을 수 있는 GPS와 실시간으로 수확량을 계측할 수 있는 센서를 설치하여 포장내의 시간별, 지점별 수확량을 실시간으로 얻을 수 있게 하는 기술이다. 수확량 모니터링 시스템은 위치 정보를 얻을 수 있는 GPS, 유입되는 곡물의 양을 측정하는 flow sensor 또는 로드 셀, 그리고 콤바인의 진행속도를 측정하는 speed sensor의 세 파트로 나뉘어 있다. 획득한 위치정보, 곡물 유입량 정보, 속도 정보가 종합되면 지점별 수확량을 얻을 수 있다. 그러나 일반적

으로 수확량 모니터링 시스템을 이용해 얻어지는 수확량 정보는 매우 방대하며, 센서의 측정오차가 발생할 수도 있다. 그래서 얻어진 수확량 정보를 cleaning하는 과정이 필요하며, 일정 구획별로 수확량 정보를 종합해야 한다.

미국 Micro-Trak 사에서 시판된 Yield monitoring system을 도입하여 콤바인에 장착하였고, 실내에서 이루어진 예비성능시험은 Simulation 장치를 이용하였으며 GPS는 1.2m, flow sensor는 1kg의 표준오차를 나타냈다. 포장성능시험은 시험포장에서 Monitoring system의 정상작동 여부와 정밀도를 조사하였다. GPS는 1.2m의 표준오차를 나타냈고, speed sensor는 $\pm 0.5\%$ 의 오차를 보였다. Flow sensor는 $\pm 2\%$ 의 오차를 보였으나 곡물탱크가 3/4이상 차거나, 작업 초기에 오차가 증가했다.

획득한 수량정보는 Data cleaning 과정을 거쳐서 편차를 줄이고, 이상 데이터를 제거하여 정리한 후 포장구획별로 평균하고 공간통계학을 이용하여 포장정보의 공간변동과 의존성을 해석한 후 크리깅 기법을 이용해서 수확량 지도를 작성하였다.

5. 지력도 분포에 따른 변량시비 추천도 작성

토양 검정은 토양 중 유효한 영양소의 함량을 결정하고, 이에 따른 비료 사용량, 비료 종류, 시용시기 등을 결정할 수 있다. 또한 생산 목표를 결정하게 되므로 적절한 양의 비료를 투여할 수 있는 과학적 근거를 제공하게 된다.

정밀농업에서의 토양 검정은 시험 포장의 위치별로 토양의 이·화학 특성과 공간변이성 등의 분석결과를 근거로 작물의 생육과 밀접한 생리작용을 갖고 있는 필수 영양분들의 토양 내 분포도를 작성하여 위치별로 적합한 시비처방을 하여 수확량을 극대화 하면서도 불필요한 농자재의 투입을 최소화 하여 경제적이면서 환경에 친화적인 시비관리에 그 목적이 있다.

매년 시험포장에서 일정 간격으로 구획을 나누고 토양시료를 채취하였으며, 토양경도 조사와 EM38을 이용한 ground conductivity 측정을 실시하였다. 채취된 토양시료는 pH, EC, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, P_2O_5 , K, SiO_2 에 대한 측정을 수행하였고, 토양검정에 의한 시비량에 준하여 시비 처방을 결정하고 Kriging 기법을 이용해 지도를 작성하였다.

pH와 유기물은 벼 재배에 적절한 수준을 유지했고, 유효인산은 적정 수준보다 높았다. EM38의 측정값과 토양 EC의 상관성이 나타났으며, 토양 경도는 재배 전후에 차이

가 나타났다. 토양 화학성은 동일한 포장에서도 큰 차이를 나타냈고, 추천시비량도 큰 차이가 나타났다. 이는 동일 포장에도 변량시비가 필요하다는 것을 보여준다.

6. 직파농가 경영분석에 따른 적정모형 개발

김제 대신부락과 용화부락의 쌀 생산비 분석과 시험포장의 결과를 토대로 쌀농사 정밀농업의 부분시산법에 의한 경제성분석 결과는 다음과 같다.

1. 연구지역의 10a당 쌀 생산량은 2002년에 비하여 2003년에 더 감소했고 생산비는 더 높아졌기 때문에 2003년 쌀 농가의 경영수지가 2002년에 비하여 더 악화되었다.
2. 2002년이나 2003년 모두 이앙재배의 쌀 수량이 직파재배에 비하여 약간 높으나 생산비는 직파재배가 더 낮아 kg당 생산비가 이앙재배에 비하여 직파재배가 더 낮았다. 따라서 연구지역에서는 직파재배의 경영수지가 이앙재배에 비하여 높았다.
3. 시험포장 분석결과에 의하면 관행 시비법의 경우 단위면적당 시비량이 토양조사 결과의 시비필요량보다 많아 비료 손실액뿐만 아니라 과다 시비로 인한 수확량 감소가 발생하여 경제적 손실액이 크게 나타났다. 반면에 정밀농업을 도입할 경우 수질 오염 방지 등의 사회적 효과 이외에도 직파농가와 이앙농가에서 평균적으로 a당 655.9원의 손실액을 제거하는 효과와 미질 향상의 효과를 가져왔다.
4. 시험포장 계측결과를 토대로 정밀농업을 도입할 경우 농가에서 정밀농업에 따른 비용 전액을 부담할 경우, 직파와 이앙농가 모두 상당히 큰 손실이 나타났다. 반면에 정부에서 정밀농업 관련 비용을 100% 보조할 경우 직파농가는 연간 38.3천원/ha, 이앙농가는 연간 77.6천원/ha의 경제적 편익을 얻는다. 시비량이 많은 이앙농가에서의 경제적 성과가 더 크게 나타났다.
5. 마을 전체적으로 마을 내 농가에서 정밀농업 도입비용 전액을 부담하고 기존의 관행 시비법을 정밀농업으로 전환할 경우 마을에서 총 42,862천원의 손실로 나타난다. 반면에 정부에서 토양조사 비용을 100% 보조할 경우 GPS 관련 보조가 없어도 연간 약 3,888천원의 경제적 편익(B/C ratio=2.73)을 얻게 되어 정밀농업에 대한 투자가 타당하게 된다. 특히 토양조사를 실시한 후에 농가에서 시비필요량의 평균량을 일괄적으로 시비할 경우 정부보조와 상관없이 경제적 효과는 미미하게 나타났다. 따라서 환경보호 측면에서 신기술인 정밀농업을 도입하기 위해서는 정부가 토양조사뿐만 아니라 GPS 관련비용에 대한 추가보조를 할 경우에 농가에서 이 기술을 수용할 수 있

는 가능성을 보여주고 있다. 이 경우의 마을 내 총 경제적 성과액은 GPS 관련비용에 대한 추가보조가 없는 경우보다 57.8% 증가한 6,132천원으로 커지게 된다.

SUMMARY

1. Soil and Yield Mapping and Nutrient Recommendation for Precision Agriculture in Rice Paddy

Precision Agriculture is a developing technique that can modify the current agricultural production system dramatically. To obtain basic information for precision agriculture that can improve nutrient use efficiency by rice plant, spatial variability of growths and yields for rice plant was investigated over a 0.4ha paddy field in Kimje, Korea. We also developed some nutrient recommendation maps from soil nutrients availability. The rice variety was *Oryza sativa* L. cv. Samchonbyeon, an early maturing Japonica. Grid sampling was conducted with each of the 4.3m×10.2m plots in a 35m×112m paddy field. Eighty-eight surface soil samples were collected before soil puddling to investigate the spatial variability of their chemical properties: pH, EC, total N content, inorganic N, available P, potash, and silica. We collected the growth characteristics at heading stage from each plot: plant height, dry weight, number of tillers, leaf area index(LAI), SPAD value, light transmission ratio(LTR). The grain yield was measured in each 8.6m×10.2m plot at harvest. Geostatistical analysis and mappings were performed by GS+ Geostatistics software. The yield variations in 8.6m×10.2m grid ranged from 7.5ton/ha to 10.2ton/ha. The range of spatial dependence was about 40m for grain yield. Yield map was correlated with the growth maps showing spatial continuity in spatial variation. The spatial distribution of N recommendations for variable rate application showed similarity with the yield map in spatial variation.

2. Effect of Variable Rate Fertilization of Nitrogen Topdressing at Panicle Initiation Stage in Growth and Yield of Direct Seeded Rice

Variable rate treatment(VRT) of fertilization is a developing technique that can

increase the efficiency of fertilizer and can decrease the environmental pollution. This experiment was conducted to verify the effect of variable rate nitrogen fertilization in rice paddy field. Rice cultivar was *Oryza sativa* L. cv Nampyeongbyeo, a late maturing Japonica and rice field was divided to control plot and VRT plots. The control plot was applied with conventional rate of N fertilizer, while VRT plot was applied with variable rate that based on N fertilizer recommendation from soil analysis. Soil samples of each plot were collected before puddling to make the map of N fertilizer recommendation for VRT of fertilization. We collected the data; plant height, number of tillers, dry weight, LAI (leaf area index), chlorophyll meter values and yield at heading stage from each plot(size; 9.8m×8.9m) of each field. Furthermore, we took soil water samples by irrometer to determine the N pollution in leaching water. Geostatistical analysis and mappings were performed by GS+ software.

Average amount of N fertilizer reduced in VRT plot was 18kg/ha less than in control. Most of growth values in VRT plot were higher than in control. Yield variations were 1.96t/ha to 6.43t/ha in control plot, but 5.87t/ha to 8.73t/ha in VRT plot. Average yields were 4.94t/ha in control and 6.60t/ha in VRT plot, respectively. In VRT plot, yield variation was minimized and average yield was higher than control. Variation of soil water nitrate concentration and average soil water nitrate concentration in VRT plot was decreased than control.

3. Reducing Fertilizer Application and Rice Growth and Yield Mapping by Variable Rate Treatment in Paddy Fields

Variable rate fertilization technique is a developing technique that can reduce fertilizer and environmental pollution. This study was conducted to investigate the effect of reduced fertilizer through variable rate application on growth and yield of paddy rice.

The plant variety was *Oryza sativa* L. cv. Haepyeongbyeo. We used three fields, and divided each field into control and variable rate treatment (VRT) plot. In each

plot, grid sampling was conducted with each of the thirty 10m×10m size cells. We decide the amount of basal fertilizer and topdressing at tillering stage in each cell based on soil chemical analysis, and decided N amount of topdressing at panicle initiation stage in each cell based on plant leaf area index and chlorophyll meter value. The experiments were conducted in three farmers field; filed 1, field 2, field 3.

In field 1, we could reduce fertilizer N-P-K=7.1-100-64.8% at VRT plot than control, and growth characteristics of control and VRT plot were similar. Yield was 4.3% higher than control in VRT plot, and variations of growth and yield were similar in each plot. There was no yield decrease by reduced fertilizer, but there was experimental error by lodging, and variation of yield didn't decrease.

In field 2, we could reduce fertilizer N-P-K=23.6-100-47.5% at VRT plot than control, and growth characteristics of control were higher than VRT plot. Yield of VRT plot was 2% lower than control, but was not big difference. Variations of plant height and chlorophyll meter value of VRT plot were lower than control, and variations of other growth characteristics and yield were similar. There was a little yield decrease by reduced fertilizer, and variation of chlorophyll meter value was decreased by the effect of variable rate fertilization.

In field 3, we could reduce fertilizer N-P-K=32.2-100-53.6% at VRT plot than control, and the most of growth characteristics of control were higher than VRT plot, but chlorophyll meter value was lower. Yield was 0.5% higher than control in VRT plot than was no significant difference. Variations of growth characteristics and yield of control and VRT plot were similar, and variation of yield in VRT plot was very low. There was no yield decrease by reduced fertilizer, and variation of yield was decreased by the effect of variable rate fertilization.

There was no difference on nitrate contents of soil infiltrated water in control and VRT plot, and quality of rice grain in VRT plot was a little better than control.

According to result, variable rate fertilization of paddy rice was effective on reducing fertilizer without yield decrease and decreasing variations of growth and yield.

4. Yield Measurement by Yield Monitoring System

Yield monitoring system is a developing technique that can measure the grain yield and position coordinate by real time. Yield monitoring system is composed of GPS, grain flow sensor and speed sensor. GPS takes position coordinate by real time, grain flow sensor measure amount of grain transferred to grain tank in a unit time, and speed sensor measure the speed of the combine. We can combine position data & yield and make yield map by yield monitoring system. As the raw data included very huge observations, we have to clean yield data and average by plot.

We introduced Micro-Trak yield monitoring system and installed it on Kukje 575-G combine. In indoor experiment, standard deviations of GPS and flow sensor were 1.2m and 1kg per minute. In outdoor experiment, standard deviations of GPS and speed sensor were 1.2m and $\pm 0.5\%$. Standard deviation of flow sensor was $\pm 2\%$, but error was increased at cereal tank fills more than $3/4$, or at starting harvest. We decreased errors of acquired yield data by data cleaning and averaged by plot. Finally, we can draw the yield map using cleaned and averaged data.

5. Making Variable Rate Fertilizer Recommendation Maps by Soil Chemical Properties

We can determine contents of the available nutrients and amount, type and timing of fertilizer by soil chemical analysis. And it furnishes scientific basis determining the adequate amount of fertilizer to achieve the goal of production. The role of soil examination in precision agriculture is economical and environmental friendly fertilizer management by soil chemical application maps and fertilizer recommendation.

We divided experimental field with fixed area and took soil samples every year and measured soil hardness and ground conductivity by EM38. We analysed soil samples about pH, EC, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, P_2O_5 , K, SiO_2 , and made kriging maps of fertilizer recommendation by soil analysis.

pH and organic matter were optimum level for rice cultivation, and available phosphate was higher than optimum level. EM38 measurement and the soil EC were correlation, and the soil hardness was different in before seeding and after harvest. Soil chemical properties showed a big variation within a field and recommendation of fertilizer amount was different in same field. These result indicate that we need variable rate fertilization in each grids of the same field.

6. Optimum Model Development by Business Analysis of Rice Direct Seeding Farmhouse

Economic performance analysis result by partial budget method of precision rice farming on cost of production analysis and result of test field in Daesin and Yonghwa village, Gimje is as following.

1. Rice yield per 10a of research area decreased more in 2003 than 2002 and cost of production rose more, because management balance of rice farmhouse worsened more than 2002 in 2003.

2. Rice yield of transplanting is some higher than direct seeding both 2002 or 2003, but cost of production in direct seeding is lower. Therefore cost of rice production per kg is lower direct seeding than transplanting and management balance is higher than transplanting in research area.

3. According to test field analysis result, in case of traditional fertilization, because the fertilizer amount per unit area is more than fertilizer necessity amount with result of soil survey, yield decrease by excess fertilizer and fertilizer loss happens and economical loss appeared greatly. While, brought effect of elevation rice quality with effect that remove amount of loss of 655.9 won per a averagely both direct seeding and transplanting farmhouse in addition to social effect of decreasing water pollution and so on in case introduce precision agriculture.

4. In case introduce precision agriculture based on result of test field, if farmhouses share total expense by precision agriculture, big damage appeared both direct seeding and transplanting. While, in case government help all expense of

precision agriculture, farmhouse get economical convenience 38.3 thousand won/ha in direct seeding and 77.6 thousand won/ha in transplanting per year.

5. In case, the village share total expense of precision agriculture introduction and whole farmhouses in the village change traditional fertilizer to precision agriculture, a loss of village is 42,862,000won. While, if government help all cost of soil survey, that getting economical convenience about 3,888,000won(B/C ratio = 2.73) of annual even if it is no assist for GPS, investment about precision agriculture is reasonable. Specially, in case farmhouses fertilize average of fertilizer necessity amount after soil survey, economical effect is slight regardless of government assistance. Therefore, show possibility that can accommodate this technology in farmhouse in case of government does addition assistance for GPS expense as well as soil survey to introduce precision agriculture that is new technology in environmental protection side. Economical benefit is grown by 6,132,000 won that increase 57.8% than case that it is no addition assistance for GPS expense in village of this case.

CONTENTS

Summary	11
Contents	17
Chapter 1. Outline of the report on development of research	25
Section 1. Objectives of research	25
Section 2. Necessities of research	25
1. Technical scope	25
2. Economical and industrial scope	26
3. Social and cultural scope	26
Chapter 2. Statuses of research in Korea and other countries	28
Section 1. Present state of research	28
Section 2. Present state and problems of related technology in Korea and other countries	30
1. Rice species breeding and persistence of production	31
2. Optimum supply and precision operation	31
3. Profitability of rice farming and secure farming area	32
4. Environmental friendly rice cultivation	33
Section 3. Future prospect	34
Section 4. Propriety of technology induction	35
Chapter 3. Contents and products of the development of research	36
Section 1. Soil and yield mapping and nutrient recommendation for precision agriculture in rice paddy	36
1. Introduction	36
2. Materials and methods	37
3. Results and discussion	39

A. Maps of soil chemical properties	39
B. Maps of fertilizer recommendation	43
C. Maps of rice growth and yield	45
Section 2. Effect of variable rate fertilization of nitrogen topdressing at panicle initiation stage in growth and yield of direct seeded rice	51
1. Introduction	51
2. Materials and methods	52
3. Results and discussion	54
A. Soil characteristics	54
B. Variable rate fertilizer application	55
C. Maps of rice growth and yield	56
D. Quality of rice grain analysis	64
E. Estimate environmental assessment	65
Section 3. Reducing fertilizer application and rice growth and yield mapping by variable rate treatment in paddy fields	70
1. Introduction	70
2. Materials and methods	72
A. Field composition and division	72
B. Soil survey and measure growth and yield	73
C. Fertilizer amount decision	74
D. Soil characteristics	76
3. Results and discussion	77
A. Variable rate fertilization and effect of reduced fertilizer	77
B. Growth and yield	84
1) Field 1	84
2) Field 2	90
3) Field 3	95
C. Nitrate contents of soil water and quality of grain analysis	100
D. Soil characteristics after harvest	102

4. Conclusion	103
Section 4. Yield measurement by yield monitoring system	107
1. Introduction	107
2. Introducing system and experimental method	108
3. Efficiency test of yield monitoring system	108
A. Indoor test	108
B. Outdoor test	110
4. Cleaning Yield Data	112
Section 5. Making variable rate fertilizer recommendation maps by soil chemical properties	115
1. Introduction	115
2. Methods	116
A. Soil survey in experimental fields	116
1) 2001	116
2) 2002	117
3) 2003	117
B. Analysing methods	117
1) Soil survey of experimental fields	117
2) Distribution maps of EMv and EMh	118
C. Variable rate fertilization by soil chemical properties	118
D. Make kriging maps of soil chemical variation	119
3. Results and discussion	120
A. Soil characteristics of experimental fields	120
B. Maps of soil chemical properties in experimental fields	122
C. Maps of variable rate fertilizer recommendation	130
D. Distribution maps of EMv	133
E. Soil hardness research	135
4. Conclusion	137
Section 6. Optimum model development by business analysis of rice direct	

seeding farmhouse	140
1. Socioeconomic situation and management condition of research region	140
A. Present state of research region	140
B. Management condition analysis in research region	143
2. Economical efficiency analysis of precision agriculture by partial budget method	146
A. Partial budget method	146
B. scenario composition	148
C. Expenses and convenience producing method	151
D. Result of economical efficiency analysis by partial budget	152
1) Economical efficiency analysis per unit by scenario	152
2) Economical efficiency analysis per farmhouse by scenario	154
3) Economical efficiency analysis of whole village by scenario	157
3. Policy direction	160
4. Appendix - Scenario calculation results of research farm and whole village(case 6 to 4)	161
Chapter 4. Achievements and contribution of the studies to the related fields	172
Section 1. Objectives of the research	172
Section 2. Yearly objectives of the research	173
Section 3. Standpoints of evaluation and accomplishment of the research	175
Chapter 5. Plans for the application of the research	176
Section 1. Necessities of further research	176
Section 2. Practical use plan	177
Section 3. Research results	178
Chapter 6. References	180

목 차

요 약 문	2
목 차	21
제 1 장 연구개발과제의 개요	25
제1절 연구목적	25
제2절 연구개발의 필요성	25
1. 기술적 측면	25
2. 경제·산업적 측면	26
3. 사회·문화적 측면	26
제 2 장 국내외 기술개발 현황	28
제1절 연구현황	28
제2절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점	30
1. 벼 품종 육종과 생산의 지속성	31
2. 적정투입 및 정밀 작업화	31
3. 벼농사 수익성과 재배지역 확보	32
4. 환경친화형 벼 재배	33
제3절 앞으로의 전망	34
제4절 기술도입의 타당성	35
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	36
제1절 수도 포장의 토양 및 수량 지도 작성과 변량시비 추천	36
1. 서론	36
2. 재료 및 방법	37
3. 결과 및 고찰	39

가. 토양 특성 분포도	39
나. 변량시비량 추천도	43
다. 생육량 및 수량 지도	45
제2절 수비질소 변량시비가 직파재배 벼 생육 및 수량에 미치는 영향	51
1. 서론	51
2. 재료 및 방법	52
3. 결과 및 고찰	54
가. 토양 특성	54
나. 변량시비 처리	55
다. 생육량 및 수확량 지도	56
라. 미질분석	64
마. 환경영향평가	65
제3절 논에서 변량시비를 통한 비료 절감과 벼 생육 및 수확량 변이 지도의 작성	70
1. 서론	70
2. 재료 및 방법	72
가. 포장구성 및 분획	72
나. 토양, 생육 및 수량조사	73
다. 시비량 결정	74
라. 토양특성	76
3. 결과 및 고찰	77
가. 변량시비 처리 및 비료절감 효과	77
나. 생육 및 수량	84
1) Field 1	84
2) Field 2	90
3) Field 3	95
다. 침출수 Nitrate 함량 및 미질분석	100

라. 수확 후의 토양특성	102
4. 종합고찰	103
제4절 수확량 모니터링 시스템을 이용한 수확량 측정	107
1. 서론	107
2. 기기 도입 및 시험방법	108
3. 수확량 모니터링 시스템 성능검사	108
가. 실내 성능시험	108
나. 포장 성능시험	110
4. Cleaning Yield Data	112
제5절 지력도 분포에 따른 변량시비 추천도 작성	115
1. 서론	115
2. 연구 수행 방법	116
가. 시험포장 토양조사	116
1) 2001년 토양조사	116
2) 2002년 토양조사	117
3) 2003년 토양조사	117
나. 분석방법	117
1) 시험 포장의 토양 조사	117
2) EMv와 EMh의 분포도	118
다. 토양화학성에 따른 변량 시비법	118
라. 토양특성 분포도 작성(Kriging)	119
3. 결론 및 고찰	120
가. 시험 포장의 토양 특성	120
나. 시험 포장의 토양 특성 분포도	122
다. 변량 시비 분포도	130
라. EMv의 분포도	133
마. 토양경도 조사	135

4. 종합고찰	137
제6절 직파농가 경영분석에 따른 적정모형 개발	140
1. 연구지역의 사회경제적 여건 및 경영실태	140
가. 연구지역의 일반현황	140
나. 연구지역 경영실태 분석	143
2. 부분시산법에 의한 정밀농업의 경제성 분석	146
가. 부분시산법(Partial Budget)	146
나. 시나리오의 구성	148
다. 비용·편익 산출방법	151
라. 부분시산(P.B.)에 의한 경제성 분석 결과	152
1) 시나리오별 단위당 경제성 분석	152
2) 시나리오별 개별농가의 경제성 분석	154
3) 시나리오별 마을 전체의 경제성 분석	157
3. 정책방향	160
4. 부록 - 연구농가 및 마을전체의 시나리오 계산 결과 (6 to 4의 경우)	161
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	172
제1절 연구개발 목표와 내용	172
제2절 연차별 연구개발 목표와 내용	173
제3절 연구평가의 착안점 및 달성도	175
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	176
제1절 추가연구의 필요성	176
제2절 활용계획	177
제3절 본 연구과제를 통해 얻어진 연구실적	178
제 6 장 참고문헌	180

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구목적

정밀농업 기법과 친환경 농업기술들을 벼 직파 농가에 적용하여 적정 시비관리가 벼 재배와 수량에 미치는 영향을 분석하고, 영농합리화와 주변 환경에 미치는 영향을 감소하여 한국 벼 재배농가에 적합한 영농기술을 개발하고, 벼 농업경영을 향상시키며 환경보전의 효과를 얻으려 한다.

현 영농기술과 경영개선에 관심이 큰 벼 직파농가들을 대상으로 그들 경작농지에서 지력과 수량변이를 조사하여 필지별 土壤地力圖(soil map)와 벼 收畝圖(yield map)를 작성한다. 이에 기초하여 필지별 적정시비량을 투입하고 수확물의 유기물을 효과적으로 재순환시키고 배출을 억제하는 경지 내 물질 순환형 시험구를 유지하여 기존 농법과 관행 시비구와 벼 생육과 수량을 비교한다. 나아가 영양성분과 농자재, 농용에너지 투입량과 질소 인 성분의 배출량을 측정하여, 주변 수질 환경에 미치는 영향을 평가하며, 직파농가의 경영분석을 실시하여 소득 최적화 모형을 도출한다.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

벼 직파농가는 이앙을 생략하여 생력화가 크게 향상되었지만 본답 생육기간이 늘어남에 따라 시비량이 증가되었고 관개수의 소요량이 늘어났다. 특히 질소비료의 사용량이 기존재배보다 30-50% 늘어났지만 상당량이 용탈되거나 휘산되어 벼에 이용되지 못하고, 배수로 유출되는 질소 손실 량도 크게 증가하였다. 경작지에서 소실된 질소성분은 지하수, 하천, 근해에 유입되어 질산염농도를 증대시키고 부영양화현상을 초래하고 있다.

직과농가의 벼 재배면적이 늘어나고 있고 농기계화가 진행되었지만 농작업 효율도 낮은 편이다. 특히 논 전 면적에 대하여 농업지도 기관에서 추천하는 일정 시비량을 일률적으로 사용하여 일부 지역은 과도한 시비 때문에 도복하지만 다른 지역은 타 비료 성분이 부족하게 되어 최대수량을 올릴 수 없게 된다. 필지별 토질, 지력 변이에 따른 적량시비는 비료량을 절감하고 벼의 생육과 수량을 최대화하며 수질환경을 보호함으로써 친환경농업 기술로서 인정된다. 이러한 정밀관리는 농기계에 전산화와 원격 자동화 장치를 도입한 정밀농업의 신기술 도입으로서 가능하여지며 앞으로 식량작물 재배관리에는 이러한 기술의 적용이 절실하게 필요하다.

2. 경제·산업적 측면

국내의 쌀 가격은 국제 거래 가격에 비해 3-5배 높을 뿐 만 아니라 국내 벼농사가 흉년이 들면 한국인이 주식으로 하는 자포니카 계통 쌀을 도입할 곳은 매우 제한되어 있어 값이 폭등할 위험이 있다. 따라서 벼의 자급화 기술을 확보하여 주식의 안전 공급 기능을 유지하여야 한다. 2000년대는 남북 간 식량교류와 생산 기술의 이전이 더욱 확대될 것으로 전망되어 한국 벼의 환경친화형 정밀기술화 재배 기술의 개발은 더욱 요청된다.

21세기 모든 산업에 정보화 물결이 밀려들 듯이 농업에도 지식화 정보화가 추진되고 있는데 그 대표적 변화가 바로 농기자재에 컴퓨터와 GPS, GIS를 활용한 Hi-tech 이 도입되고 농작업에서 자동화와 정밀화가 진행되기 시작하였다. 미국의 정밀농업 제품시장은 1999년 20억\$로 성장하였고 앞으로 더욱 빠른 추세로 늘어날 것이며 세계 시장으로 확대될 전망이다.

3. 사회·문화적 측면

벼는 타 농산물과 달리 국내 농업을 대표할 뿐 아니라 5000년 한민족의 생존과 번영의 밑바탕을 이루는 먹거리 생산업이고 민족 정서의 맥을 이루고 있는 기본 요소 중 하나이다. 한반도에서 생산되는 쌀로서 한민족의 삶을 지속적으로 영위하는 것은 민족고유성을 지켜나가는 일이라 하겠다. 또 벼농사가 홍수방지와 지표수 공급, 습지 생태계 기능을 유지하여 국토환경 보전에 역할을 무시할 수 없다.

벼농사는 국내 농업에서 가장 중요하고 기본적인지만 재배농가의 영농소득이 낮아

회피하는 경향이 늘어나고 있어 매우 우려된다. 벼 재배는 넓은 면적을 단지화 하여 공동 기계화 작업으로 생력화를 이루고 여가 시간을 타 산업에 종사할 수 있도록 하여 농가소득을 보장받아야 한다. 또 주변 환경에 미치는 영향을 최소화 하여 환경보전적인 기술을 개발하여야 한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 연구현황

1929년 미국 일리노이 대학에서는 경작지를 비슷한 속성을 지닌 지역으로 세분하여 관리함으로써 농자재 투입량을 줄일 수 있다(Linsley & Bauer, 1929)고 주장하여 오늘날 정밀농업의 탄생을 예고했다. 그러나 현실은 농업의 기계화와 농업기계의 대형화로 인하여 반대의 방향, 즉 넓은 지역을 균일하다고 가정하고 균일한 양의 농자재를 투입하는 쪽으로 진행됐다.

정밀농업(Precision Agriculture 또는 Precision Farming)이라는 명칭은 1997년 6월 미국 미네소타대학에서 열린 국제회의에서 통일되었다. 80년대 말 미국의 토양학자들이 정밀농법의 아이디어를 제안한 후 10년도 되지 않아 세계적으로 확산되었다. 여기에는 두 가지 강력한 배경이 있는데 하나는 “농지가 환경오염원”이라는 여론이 높아진 것으로 질산태질소가 지하수를 오염하여 청색증후군이 문제화 된 것이 전형적 예이다. 다음은 농가의 수익성 향상 압력으로 환경보전을 위한 유기농업 등을 실시해도 생산성과 수익성이 높아지지 않고 노력과 경비만 더 들게 된다는 점이다. 이 상반된 두 가지 사항이 정밀농법을 단기간에 실용단계까지 끌어올렸다. 즉, 환경오염 방지와 생산성 향상을 동시에 실현하는 정밀농업을 추진하게 된 것이다. 정밀농업은 하나의 특정 기술이나 개발된 기계를 일컫는 것이 아니라 작물생산을 위한 농법인 만큼 농업의 전 분야에 걸쳐 연구 개발이 이루어지고 있다.

이러한 이익 때문에 미국과 유럽을 중심으로 해서 이제까지 안정된 식량 증산을 위해서 획일적으로 비료와 농약을 살포하는 통계적이고 평균적인 재배방법을 재평가하고 여러 가지 요소를 가진 포장의 성질에 대하여 변량 적으로 대응하는 정밀농업을 연구하여 현재 농가에서 옥수수 등의 밭작물을 중심으로 수행하고 있다(Vetsch, 1995). 또한 친환경 농업을 위한 토양 영양상태의 분포도 작성에 관한 연구가 활발히 수행되고 있으며(Sudduth, 2001), 수확량 센서와 GPS 시스템을 이용한 실시간 수확량 모니터링에 관한 연구도 이루어지고 있다(Drummond, 1999). Shearer 등(1998)은 수확

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

우리나라와 재배작물 및 농지규모가 유사한 일본에서도 소규모 벼 포장에 대한 정밀농업 연구가 최근 수행되고 있다. Noguchi 등(1998)은 정밀농업 연구를 전 국가적인 차원에서 계획, 추진해야 한다고 주장하고 해외의 전문가를 초청하여 일본의 실정에 적합한 정밀농업 형태를 찾고자 하였다. 아울러 Shibusawa 등 (1998)은 토양역학과 정밀농업의 개념을 연관하여 1m 단위의 격자로 나눈 포장에서도 질산태질소의 변이가 있음을 보고하였으며, Shoji 등(1998)은 30m×100m 크기의 소규모 논에서 벼의 수확량 지도를 작성하는 것이 가능함을 보였다. 또한 벼 재배시의 포장지도에 의하면 작은 포장내에서도 무시할 수 없는 공간변이가 있다고 하였으며(Lee et al., 1999), 포장안의 변이뿐만 아니라 포장간의 변이 또한 중요하며, 이를 위해서는 포장의 데이터를 모으는 것부터 필요하다고 지적하였다(Shibusawa, 1999).

우리나라에서는 정밀농업의 기초 연구로서 전국 토양도에 관한 연구가 수행되었고 그 자료를 지역별로 데이터베이스화 하고 있으며(농업과학기술원, 2002), 소구획 경지에서의 벼 수확량 지도 작성(Chung et al., 1999), 소구획 경작지내에서 시비처방을 위한 시험(Cho et al., 2000)을 수행하였다. 또한 벼 포장의 엽록소 함량의 공간변이에 대한 연구(Sung et al., 2000), 공간 통계학적 방법을 이용해 논에 있어서 생육정보의 공간 변이의 원인(Lee, 2001)에 대한 연구도 이루어졌다.

변량시비 기법은 작물의 시비량을 결정하는 여러 토양 인자들의 정확한 공간변이성 파악에 기초하여 이루어지며, 정밀농업을 실현하는데 있어서 필수적인 시비처방기법(Sawyer, 1994)인데 일본에서도 수도작에 있어서 변량시비의 효과에 대하여 연구(Mikio, 2002)해오고 있다. 국내에서는 소규모 경작지에서도 토양의 pH와 유기물의 양은 공간적으로 변이가 분포하며 이에 따른 시비요구량이 큰 차이를 보인다고 하였으며(Cho et al., 2000), 수확량 지도는 변량시비 추천지도와 대체적으로 유사한 공간적

분포를 보인다고 하였다(Seo et al., 2002).

변량시비에 대한 연구가 가장 활발히 이루어지고 있는 것은 질소 성분으로 높은 질소질 비료를 요하는 포장은 미래에 있어서도 질소질비료 살포량을 증가시키기 위한 피드백을 생산 업자에게 제공한다고 알려져 있다(Kitchen & Goulding, 2001). 장기간의 연구결과 동일 포장내의 어떠한 영역에 있어서는 충분한 질소질비료 살포가 이루어지지 못했으며, 저수준의 질소질비료 살포를 요하는 영역에 있어서는 과다 비료 살포량을 보였다(Magdoff et al., 1984; Schmitt & Randall, 1994; Bundy & Andraski, 1995). 질소질 비료 과다 살포에 따른 부정적인 환경 영향을 감소시키는데 있어 실현 가능성 해결방안은 질소질 비료를 요하는 위치별로 작물에 맞게 가변 질소질비료를 처방하는 관리 작업을 수행하는 것이다(Schroeder et al., 2000; Scharf et al., 2002). 가변 전략이 가지는 난제는 작물이 요하는 질소질비료의 필요량을 평가하는데 있어 민감하면서도 비용 효율적인 절차와 측정방법을 결정하는 것이다(Schroeder et al., 2000).

제 2 절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

원래 농업은 태양에너지 순환시스템을 연장 활용한 식량생산체제로서 환경의존형 산업이었다. 그러나 과도한 化學化로 인하여 생태계의 재순환 구조가 파괴됨으로써 생산활동마저 제약을 받고 농업의 持續性에 대하여 의문을 남고 있다.

한국의 농업도 21세기의 국제환경에서 살아남으려면 환경보존과 식량 확보의 두 원칙을 준수하지 않으면 안 된다. 한반도에서 한민족이 반만년을 살아왔던 것처럼 다음 반만년을 살아가려면 양쪽을 조화롭게 향상시키는 기술을 개발하여야 한다. 저습지나 논을 대상으로 하는 벼농사는 홍수로 범람하긴 해도 토양 침식이 거의 일어나지 않아 몇 천 년에 걸쳐 계속되어 온 지속적 농업방식이라 할 수 있다. 그러나 녹색혁명 이후 강력한 다수확의 경작압력을 받아 왔던 논 경지생태계는 지력의 악화와 생태계의 퇴화현상이 나타나고 있다. 토지자원의 감퇴와 더불어 농업에서 타 산업분야로 빠져나가는 경험 많은 기술 인력자원의 감소도 문제점이 되고 있다. 생산단가를 낮추는

것은 현 수량수준에서 증수의 구조를 바꾸거나 투자효율을 증대시킴으로써 가능하다. 효율성 증대에 대한 연구는 자원의 지속적 사용에 대한 필요성과 상반되는 것은 아니다. 많은 경우 이들은 함께 작용하는데 예를 들면 관개용수나 농약사용의 효율성은 생태계의 장기적 생산성을 향상시킬 수 있다. 또 효율성은 비용면에서도 효과적이다. 비용을 고려하지 않는 기술추천은 대부분 실용화과정에서 실패로 돌아갈 수 있다.

한국 쌀의 상품 가치 향상에 노력하여야만 국민의 쌀로서 사랑을 받을 수 있지 우리 쌀이므로 우리가 애호해야 한다는 주장은 더 이상 당위성을 얻지 못하게 될 수 있음을 인식하여야 한다. 더구나 21세기에는 범지구적 차원에서 환경 보전정책 수행을 강력하게 추구하게 될 것이고, 농산물시장의 개방 압력이 더욱 증대되는 상황에서 한국 쌀의 자급 전략은 새로운 방향을 찾아야 할 것이다.

1. 벼 품종 육종과 생산의 지속성

쌀을 자급하여야 함은 우리 농업의 지상과제이므로 현 생산량을 확보하려면 점감하는 벼 재배면적을 최대한 100만 정보는 농업진흥지역으로 지정하여 논으로 유지하여야 하고 현재의 단위수량을 증가시킬 수 있는 다수성 품종과 재배기술의 개발이 필요하다. 앞으로 신품종들의 수량성을 높이는 데는 벼 작물체의 광합성 능력과 양분흡수의 효율성을 증대시켜야 한다. 종래의 多收穫은 직립화 초형과 왜성화, 다분얼 품종을 육성하고 밀식재배를 통하여 실현하였으나, 새로운 超多收穫 전략은 적정 유효분얼수만을 확보하고 이삭당 립수가 200개에 달하는 穗重型 품종으로 강건한 줄기를 갖는 품종들을 적정밀도로 재배함으로써 광 투과성을 향상시켜 多收를 이루려는 것이 특징이다. 또 地下部는 굵은 뿌리들이 地上部를 지탱하고 높은 양분 흡수 능력을 갖추어 토양에 공급되는 자원을 최대한 활용하여야 한다.

병해충에 대한 耐性 품종의 육종이 계속되어야하고 최근 보급되고 있는 BT 유전 인자를 도입하는 유전공학기법을 응용한 육종도 시도되고 있다. 생태계 다양성을 유지하려면 논에 소량의 농약만으로 해당 해충의 밀도 감소를 목표로 살포하여야 하고 병해만연을 방지를 위한 예방위주의 대책이 수립되어야 한다.

2. 適正投入 및 精密 작업화

최근 선진국 농업에서 큰 변화는 종래의 방만한 포장과 작물 생산을 보다 정밀 정

확하게 하려는데 있다. 이러한 정밀화는 작업의 효율성을 높이고 환경을 보호하며 영농 생산성을 극대화 할 수 있게 한다. 대표적인 Site Specific Management 는 농기계에서도 인공위성을 이용한 GPS, GIS를 부착하여 자동으로 위치와 지리정보를 토양과 수량에 결부시키는 정밀농업기술이 시도되었다. 아울러 토양조건에 따라 시비량을 적절히 변화시키는 Variable Rate Treatment 기술을 사용하여 시비량도 절감하고 지하수질도 향상시키려는 시도가 있다.

다수확재배에 필수적으로 다량 사용되었던 질소, 인산비료는 불과 20-40%만이 작물에 흡수되고 나머지는 지하로 용출되거나 가스의 형태로 유실되고 있다. 농경지에서 물질순환이 원활히 일어나게 하려면 토양 및 수계 미생물 및 미소동물 생태계를 복원하여야 한다. 또 경지생태계에서 외부로 물질의 방출이 억제되도록 閉鎖循環系化하여야 한다.

논의 필지별로 토양의 유효태 비료성분 공급능력과 토양산도, 관개수에 의한 공급량에 따라 시비량을 적량 환산하여 基肥와 分施로서 공급하고 全層시비 하는 것이 시비효율성을 높이는 방법이다. 또 이삭을 제외한 볏짚을 전량 논토양으로 환원하고 併 兼作 綠肥作物을 재배하여 논토양에 유기물 공급량을 높이도록 하는 것이 다수확을 지속하는 재배법이다.

논의 시비량을 전국적으로 일괄하여 추천하기보다는 토성별 지역별로 세분시켜 추천 시비량을 비료 포장지 표면에 나타내거나, 농지별로 토양조사 후 농민에게 시비법을 개별 지도하는 것이 바람직하다. 농약과 제초제의 살포는 경지생태계에 급격한 파괴와 불균형을 유발한다. 병해충의 발생을 항상 진단하여 사전에 예보할 수 있는 체제를 갖추고 잔효성이 길고 광범위한 영향을 미치는 화학제를 살포하기 보다는 경지생태계에서 천적을 활용하거나 생물학적 방제법을 조합하여 사용하여야 한다. 농약을 사용할 때에도 종류와 기능에서도 엄격히 검정된 제재를 사용하고 외부 유출이나 피해를 경감시켜야 한다. 농약과 제초제 살포는 반드시 농약 관리자자격증을 취득한 사람만이 살포하도록 법제화하고, 규정에 따라 살포내용을 포장 앞에 게시하고, 논물을 일정기간 방출하지 않아야 한다. 나아가 논물을 하천으로 배출하지 못하도록 지역별로 재순환 시스템을 구성할 필요가 있다.

3. 벼농사 수익성과 재배지역 확보

농업의 경제성이 없으면 농업이 지속될 수 없다. 농업의 생산성이 환경친화성이나 안정성보다 우위에 있다. 앞으로 지구의 기상변이는 그 폭이 급속히 커지고, 예측하기 어려운 이상기후가 보편화될 것이다. 2000년대의 식량사정은 더욱 악화될 것으로 예측되고 우리나라의 식량自給度의 향상도 어렵고, 주곡 자급화도 흔들릴 입장이다. 특히 남북한 농업에 대한 공통관심사는 식량자급이지만, 통합 후 한반도의 식량사정은 더욱 악화될 것이고 문제해결이 어려울 것으로 예상된다.

평화의 기본은 安保를 확보함에 그치지 않고 주식의 안정적 공급이 필수적이고, 이는 국가 행정의 기본 책무이기도 하다. 농민이 국토를 활용하여 식량을 생산하는 것을 단순히 산업 활동만으로 평가할 것이 아니라 국민의 생존을 위한 식품소재 확보차원에서 보호하고 육성하여야 한다. 농업은 특성상 기상과 환경의 영향을 크게 받고 생산에 장기간이 소요되며 생산자의 경제활동에는 취약점이 많다. 세계 선진국들은 농민의 생산활동에 직간접의 장려정책을 계속하고 있고 일부 국가에서는 이들에게 국토 생태계 保存 管理士 역할을 부여하고 있다. 우리나라도 안정적 주식 확보를 위하여 정책적 배려가 계속 보장되도록 하여야 한다. 벼 재배면적이 漸減됨에 따라 앞으로 식량 확보에 우려를 낳게 되면서 정부는 농업진흥지역을 선정을 서두르게 되었다. 현 농경지의 약 반 정도만이 진흥지역으로 지정되었으나 식량의 안전 공급을 위하여서는 현재 벼 재배면적의 70%까지는 진흥지역으로 확대하고 지정에 따른 적절한 보상이 있어야 하겠다.

논의 토양산성화와 노후화현상을 방지하기 위하여 산 흙으로 객토하고 규산과 석회 비료의 사용이 필요하다. 논 생산기반 정비를 계속 확대하고 담전윤환이 쉽게 이루어질 수 있도록 우량 농지화하여 소득성 높은 작물과 벼를 윤환 재배할 수 있어야 하겠다.

4. 환경친화형 벼 재배

1999년부터 정부는 친환경 농업 직접지불제도를 아시아 최초로 실시하여 농민들의 환경친화적 영농에 대한 보조계획을 발표하였다. 시행 첫해에는 상수원 보호지역에 도입한 후 점차적으로 확대 실시하고 앞으로 중산간지역에 적용한 후 일반 영농지역까지 확대하려는 것이다. 친환경농업의 종류에는 유기농업과 저투입농업이 대상이 되고 정부의 환경보전 프로그램에 참여하기를 희망하는 농가에 대하여 일정액의 보상을

하여 주고 해마다 수확 후 토양검사와 농산물검사를 통하여 잔류물질 검사를 실시하고 보조금을 지급하려 한다. 또 환경농산물에 대한 認證제도와 병행하여 品質認證을 해주고, 소비자 단체와 직접 거래하도록 하여 유통단계를 줄이려 한다. 농업연구기관에서 친환경기술에 대한 조직적 연구와 논의를 바탕으로 적당한 프로그램을 개발하여 정부에서 확정하여 제시하고 농민이 채택하도록 지도하여야 하겠다.

지역에 따라 기상조건과 생태환경이 다르므로 지역적 특성을 최대한 반영한 환경친화형의 영농계획이 제안되어 확립되어야 한다. 강 유역에서는 저비료 투입과 저농약 방식을 도입하여 수질오염 방지에 노력하여야 하고 산촌에서는 토양 침식방지를 고려하고 주변 생태환경을 보호하는 생태형 영농계획을 수립하여야 하겠다.

농업 인력이 60대 이상으로 고령화하고 여성인력으로 채워져 있는데 앞으로는 전문대학 이상의 기술교육을 받은 전문인들이 담당하여야 한다. 도시의 노동자나 직업인에 못지않은 소득이 확보될 수 있어야 하고 쾌적한 전원생활에 만족할 수 있는 농업전문인들을 확보하여야 한다. 농작업을 대행하는 영농회사에는 농업기술사 자격을 가진 기능 인력이 벼 재배와 수확 등의 작업을 담당하게 하고 농약이나 제초제의 살포는 農藥處理士 면허를 갖는 전문인이 담당하여야 하겠다.

생산단가를 낮추는 것은 현 수량수준에서 증수의 구조를 바꾸거나 투자효율을 증대시킴으로써 가능하다. 효율성 증대에 대한 연구는 자원의 지속적 사용에 대한 필요성과 상반되는 것은 아니다. 많은 경우 이들은 함께 작용하는데 예를 들면 관개용수나 농약사용의 효율성은 논의 생태계의 장기적 생산성을 향상시킬 수 있다. 또 효율성은 비용면에서도 효과적이다. 비용을 고려하지 않은 기술추천은 대부분 실용화과정에서 실패로 돌아간다.

제 3 절 앞으로의 전망

1. 벼농사의 수질개선, 수원확보, 습지생태 보전의 기능이 강조될 것이고 농민에 대한 친환경 농업직불제도 등 환경보전에 대한 국내외적 지원이 확대될 전망이다.
2. 벼 직파 재배면적은 독농가와 대규모 단지 중심으로 확대될 것이고 이들의 영농노

력 감소는 많은 영농인들의 관심을 끌 것이다.

3. 선진국을 중심으로 크게 확대 보급되고 있는 정밀농업기술은 21세기의 농업혁명을 주도할 것이며, 본 연구에서 국내 벼농사에 도입과 개발은 국내에 농기계산업과 농업기술의 재편을 가져올 것이다. 나아가 주변국과 동남아에 정밀 농업기계 보급과 새로운 첨단 영농기술로서 활용시킬 수 있다.

4. 영농체계화 연구(Farming Systems Research)에 의한 현장연구를 통하여 직파재배 농가들이 직면하는 현실적 문제를 진단하고 해결하는 새로운 연구 방법론적인 개선이 이루어질 것이다.

제 4 절 기술도입의 타당성

정밀농업 기술은 미국과 유럽에서 실용화를 서두르고 있는 첨단 농업기술이다. 이것은 현대의 농업과학 발전과 지식산업의 접목으로서 시작되었다. 특히 농기계회사와 컴퓨터 소프트웨어사들이 주도하여 인공지능기능을 이용하여 농작업의 정밀화와 고도의 자동화를 꾀함으로써 조방적이고 산만하였던 포장관리를 정밀화 정확화를 기할 수 있게 할 것이다.

이미 미국과 유럽 일부국가에서 Site Specific Agriculture, Variable Rate Technology 와 같은 기술이 개발되었고 John Deere 회사에서 자체 회사의 농기계에 설치하여 고가로 판매를 서둘고 있다. 외국의 농기계들은 대형이고 고가로서 국내에서는 이러한 선진국 제품을 수입하여 사용하는 것은 여러 가지로 부적합하기 때문에 자체 개발에 노력을 기울여야만 세계적 대회사의 진출을 막고 국내시장을 보전할 수 있을 것이다.

특히 한국의 전자기술 산업은 세계 최고 수준에 이르렀고 이러한 Hi-Tech을 농업에 적용한다면 국내 농업기술 발전은 물론 동남아 벼농사지역에 일본에 앞서 한국의 정밀농기계 산업계 진출의 가능성을 열어준다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 수도 포장의 토양 및 수량 지도 작성과 변량시비 추천

1. 서론

산업화가 진전됨에 따라 우리나라의 농업생산구조는 증산위주의 고투입 다수확 농법을 채택하여 왔다. 이러한 고투입 농법을 통하여 토지생산성을 증대시켜 주곡의 자급화를 달성하였다는 긍정적 측면에도 불구하고 농자재의 과도한 투입으로 인한 농업생태계의 오염과 농산물의 안전성에 대한 우려가 커지고 있다. 작물생산의 사회경제적 요구가 급변하는 현실에서 농업생산의 부작용을 최소화하면서 식량의 안정적 확보를 위해서는 경지생태계내의 국부적인 생산 환경 요소들의 변이를 위치에 따라 파악하여 관리할 필요가 있다.

최근 주목받고 있는 정밀농업은 포장내의 공간변이에 대응하여 적절한 재배관리를 수행함으로써 작물의 안정생산, 농자재의 적정투입 및 환경부하의 경감을 추구하는 작물생산체계이다. 미국을 비롯한 선진국에서는 이미 친환경 농업을 위한 토양 영양상태의 분포도 작성에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다 (Sudduth, 2001). 최근에는 트랙터와 같은 농작업기에 여러 가지 계측센서와 GPS/GIS 시스템을 장착하여 실시간으로 작물 생산 환경요소들을 모니터링하고 진단소프트웨어를 이용하여 재배적 처방을 할 수 있는 시스템 개발에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 또한, 수확량센서와 GPS 시스템을 이용한 실시간 수확량 모니터링에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다 (Drummond, 1999).

정밀농업을 실현하는데 있어서 작물의 생육과 밀접한 생리작용을 갖고 있는 필수 영양성분들의 토양 내 분포도를 작성하고 주요 생육량지도를 작성하여 수확량지도와

의 연관성을 공간통계학적으로 비교 분석하는 것이 필수적이다. 변량시비기법(VRT)은 작물의 시비량을 결정하는 여러 토양인자들의 정확한 공간변이성의 파악에 기초하여 이루어지며, 정밀농업을 실현하는데 있어서 필수적인 처방시비기법이다 (Sawyer, 1994). 최근 들어 수도 재배에 있어서 토양비옥도와 수확량과의 상관관계를 공간통계학적으로 분석하고자 하는 연구가 점차적으로 이루어지고 있다 (Lee, 2000).

본 연구는 수도 재배 포장의 토양 비옥도 지도와 변량시비지도를 작성하고 생육량 지도 및 수확량지도를 작성하여 관련 요인들을 공간통계학적으로 분석함으로써 정밀농업기법을 적용한 친환경 수도 재배기술을 개발하기 위한 기초 자료를 수집하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 전북 김제 만경평야 소재 답작포장(0.4ha)에서 2001년 5월부터 10월 사이에 공시품종은 삼천벼를 사용하여 실시되었다. 시험포장은 벼-보리 2모작 포장으로 경운방식은 춘경 1회만 실시하였고, 수확시 벧짚과 보릿짚은 전량 유기물형태로 포장에 환원하였다. 시험포장의 시비체계는 표준시비량보다 질소는 다소 다비하고 인산 및 칼리는 다소 소비하여 N-P-K 19.0-4.8-4.8kg/10a 수준으로 시비하였다. 그 밖의 재배관리는 호남농업시험장 수도표준재배법에 준하였다.

포장 규모는 112m×34m로서 토양 시료는 4.3m×5.1m간격으로 0~10, 10~20cm깊이로 각각 채취하여 기초 토성 분석과 토양 화학성 분석을 실시하였다. pH와 EC는 초자전극법, 질소는 Kjeldahl법, 인산은 몰리브덴청법, 칼륨은 원자흡광법, 규산은 1N CH₃COONa 침출액 법으로 각각 성분 분석하였다.

변량시비추천량은 토양 검정에 의한 작물별 시비량 결정 방법 (이춘수, 1998)에 따라 질소, 인산의 성분시비량을 다수확과 저투입 기준으로 나누어 아래의 식에 의해 계산되었다.

다수확을 위한 벼 재배의 경우

$$N(\text{kg}/10\text{a}) = 22.76 - 2.72 \times \text{OM}(\%) + 0.05 \times \text{SiO}_2(\text{mgkg}^{-1})$$

$$\begin{aligned} \text{P}_2\text{O}_5(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{유효인산 } 100 \text{ mgkg}^{-1} \text{ 조절량} \\ &= (180 - \text{토양 } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ mgkg}^{-1}) \times 0.1 \\ &\quad (\text{최소시비량 } 5\text{kg}/10\text{a}) \end{aligned}$$

저투입 시비 처방인 경우

$$N(\text{kg}/10\text{a}) = 12.74 - 1.52 \times \text{OM}(\%) + 0.028 \times \text{SiO}_2(\text{mgkg}^{-1})$$

$$\begin{aligned} \text{P}_2\text{O}_5(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{유효인산 } 100 \text{ mgkg}^{-1} \text{ 조절량} \\ &= (100 - \text{토양 } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ mgkg}^{-1}) \times 0.1 \\ &\quad (\text{유효인산 } 100 \text{ mgkg}^{-1} \text{ 이상인 토양은 무시용}) \end{aligned}$$

생육량 및 수량 기초 데이터는 그림 1과 같이 격자 중심 샘플링 방법을 이용하여 수집하였다. 샘플 격자 간격은 수확 작업에 이용되는 콤바인의 예취 폭을 고려하여 4.3×10.2m로 결정하였다.

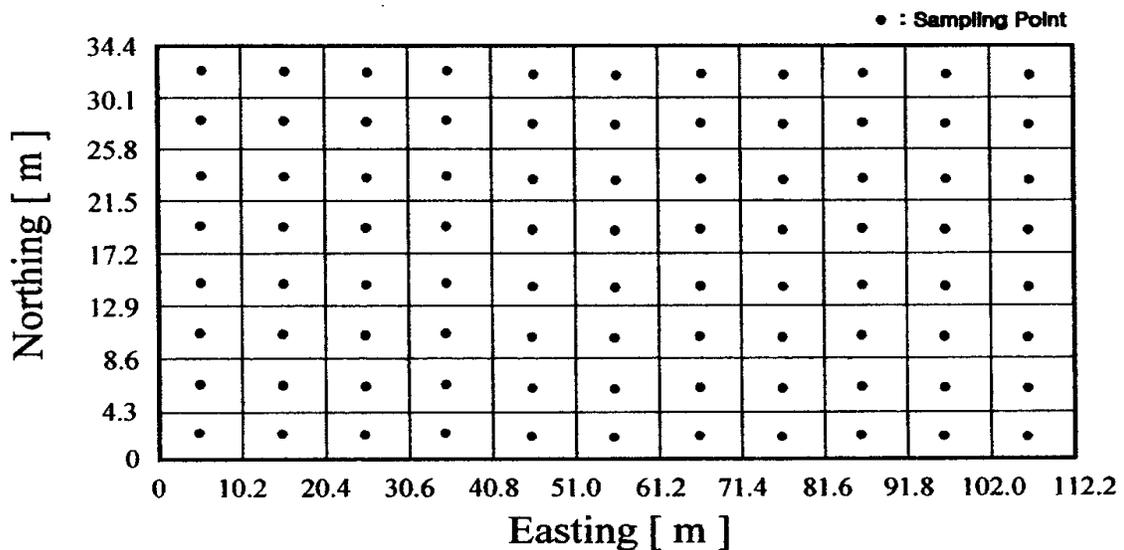


Fig. 1-1. Data sampling point of the rice paddy field.

벼 출수기에 각 포장격자(4.3×10.2m) 단위별로 기초 생육량을 조사하기 위하여 초장, 분얼수, 건물중을 측정하고, 출수기 생장률을 간접적으로 평가하기 위하여 엽면적지수(LAI), SPAD, 광투과율(LTR)을 측정하였다. 이를 통해 얻어진 각각의 생육지표들을 이용하여 생육량 지도를 작성하였다. 벼 수확기에 각 포장격자별로 콤바인으로 전예하여 정조수량 기준으로 수확량 조사를 실시하였다.

이들 토양, 생육, 수확량의 자료들을 바탕으로 GS+ 소프트웨어를 이용하여 포장정보의 공간변이성과 의존성을 Semivariogram으로 해석한 후 Kriging기법을 이용해 토양 특성 분포도, 변량시비도, 생육량지도, 수확량지도를 작성하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 토양 특성 분포도

시험 포장의 일반 토양 특성은 표 1과 같았고, 시험 포장의 토성은 사질 식양토이었다.

Table 1-1. Chemical properties of the soil

pH	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	유기물 (g kg^{-1})	P_2O_5	SiO_2 (mg kg^{-1})	K
5.28	118.3	89.1	62.2	35.6	103	98.9	243.5
4.90-5.64	76.0-278.0	64.4-254.8	30.8-170.8	22.1-43.0	60-182	52.7-158.1	171.1-411.5

시험 전 포장의 특성을 주요 성분의 공간변이성을 표 2의 공간의존성 지표값들과 그림 2의 Semivariogram을 통하여 살펴볼 수 있다. 공간구조의 강도를 표시하는 Q값은 유기물, 인산, 규산, 칼리 모두 0.99이상으로 공간구조가 매우 강하였고, 의존거리를 나타내는 Range가 23.2~64.4를 보여 토양 특성들에는 높은 공간의존성이 존재하였다

(그림 2). 포장내 특성 분포도를 보면 유기물과 인산은 대체로 중앙부분이 높고 동서 양방향으로 갈수록 점차 낮아지는 분포를 보였고, 규산은 북쪽이 높고 남쪽 방향으로 점차 낮아지는 분포를 보였으며, 칼리는 중앙부분이 낮고 동서 양방향으로 약간 높아지는 분포를 보였다 (그림 3).

Table 1-2. Geostatistical parameters of the soil chemical properties

	Nugget	Sill	Range	Q	R ²	Model
OM	0.100	41.830	23.20	0.998	0.586	Spherical
P	1.000	924.000	35.90	0.999	0.806	Spherical
SiO ₂	1.000	910.000	33.60	0.999	0.805	Spherical
K ₂ O	30.000	3247.000	64.40	0.991	0.997	Spherical

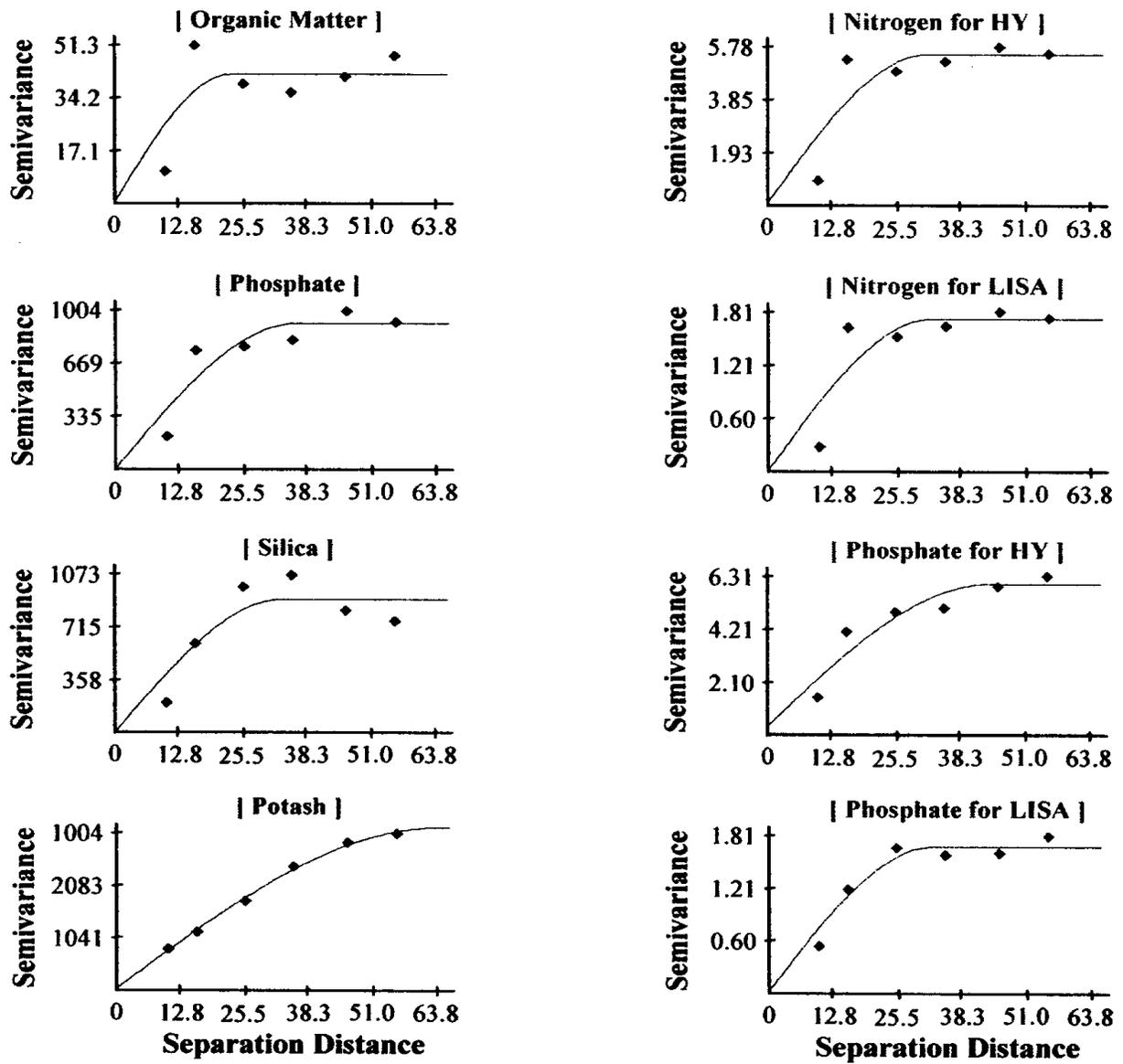


Fig. 1-2. Semivariograms of soil chemical properties and fertilizer amounts for variable rate fertilization.

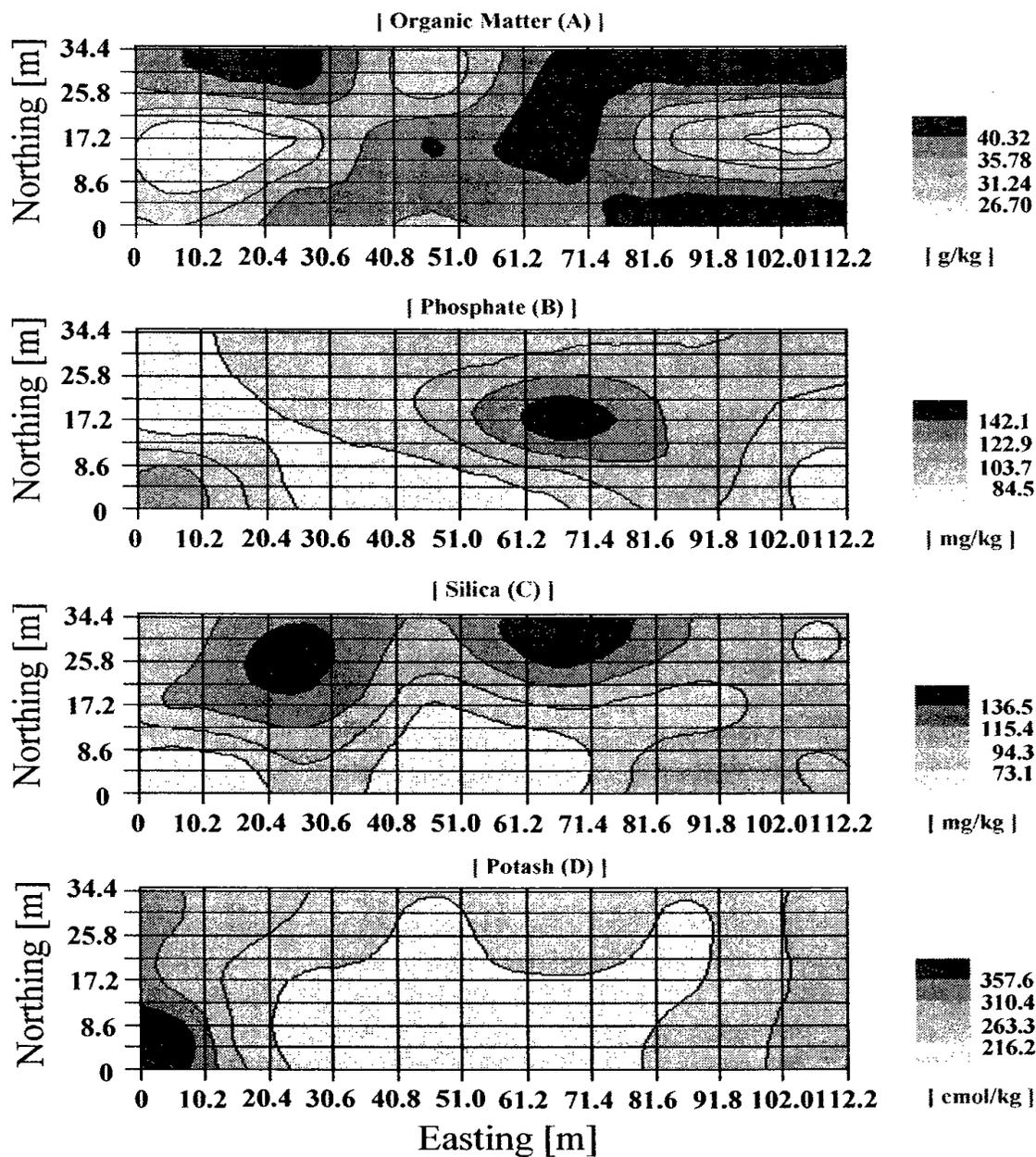


Fig. 1-3. Kriged maps of soil chemical properties in the paddy field.

나. 변량시비량 추천도

시험 포장의 시비처방기준을 토양검정에 의한 시비량 결정 방법에 따라 다수확 및 저투입 재배 방식을 위한 시비량을 포장내 지점별로 변량적으로 도출하여 표 3과 그림 2, 4를 작성하고 공간변이성을 조사하였다. 변량시비추천량의 Q값은 질소, 인산 모두 0.95이상으로 공간구조가 매우 강하였고, Range는 31.9~44.4를 보여 변량시비추천량에는 공간의존성이 존재하였다.

그림 4의 변량시비추천량 분포도를 보면, 다수확을 목표로 할 경우, 질소시비량(kg/10a)은 평균 18.01로 최소 14.70에서 최대 22.74까지 분포하여 표준편차 2.27로 변이계수는 7.93을 보였고, 인산시비량(kg/10a)은 평균 7.88로 최소 2.50에서 최대 12.01까지 분포하여 표준편차 2.27로 변이계수는 3.46으로 나타났다. 저투입 재배의 경우, 질소시비량(kg/10a)은 평균 10.09로 최소 8.24에서 최대 12.73까지 분포하여 표준편차 1.27로 변이계수는 7.94를 보였고, 인산시비량(kg/10a)은 평균 0.86으로 최소 0.00에서 최대 4.01까지 분포하여 표준편차 1.32로 변이계수는 0.65로 나타났다. 질소시비량은 남쪽이 낮고 북쪽 및 동서 양방향으로 점차 높아지는 분포를 보였고, 인산은 대체로 중앙부분이 낮고 남서 방향으로 점차 높아지는 분포를 보였다.

Table 1-3. Geostatistical parameters of fertilizer recommendations for variable rate fertilization

	Nugget	Sill	Range	Q	R ²	Model
N(H)	0.010	5.524	31.90	0.998	0.720	Spherical
N(L)	0.001	1.728	32.60	0.999	0.733	Spherical
P(H)	0.270	5.997	44.40	0.955	0.878	Spherical
P(L)	0.001	1.692	33.10	0.999	0.935	Spherical

* N(H) : N recommendation for high yield

N(L) : N recommendation for low input sustainable agriculture

P(H) : P recommendation for high yield

P(L) : P recommendation for low input sustainable agriculture

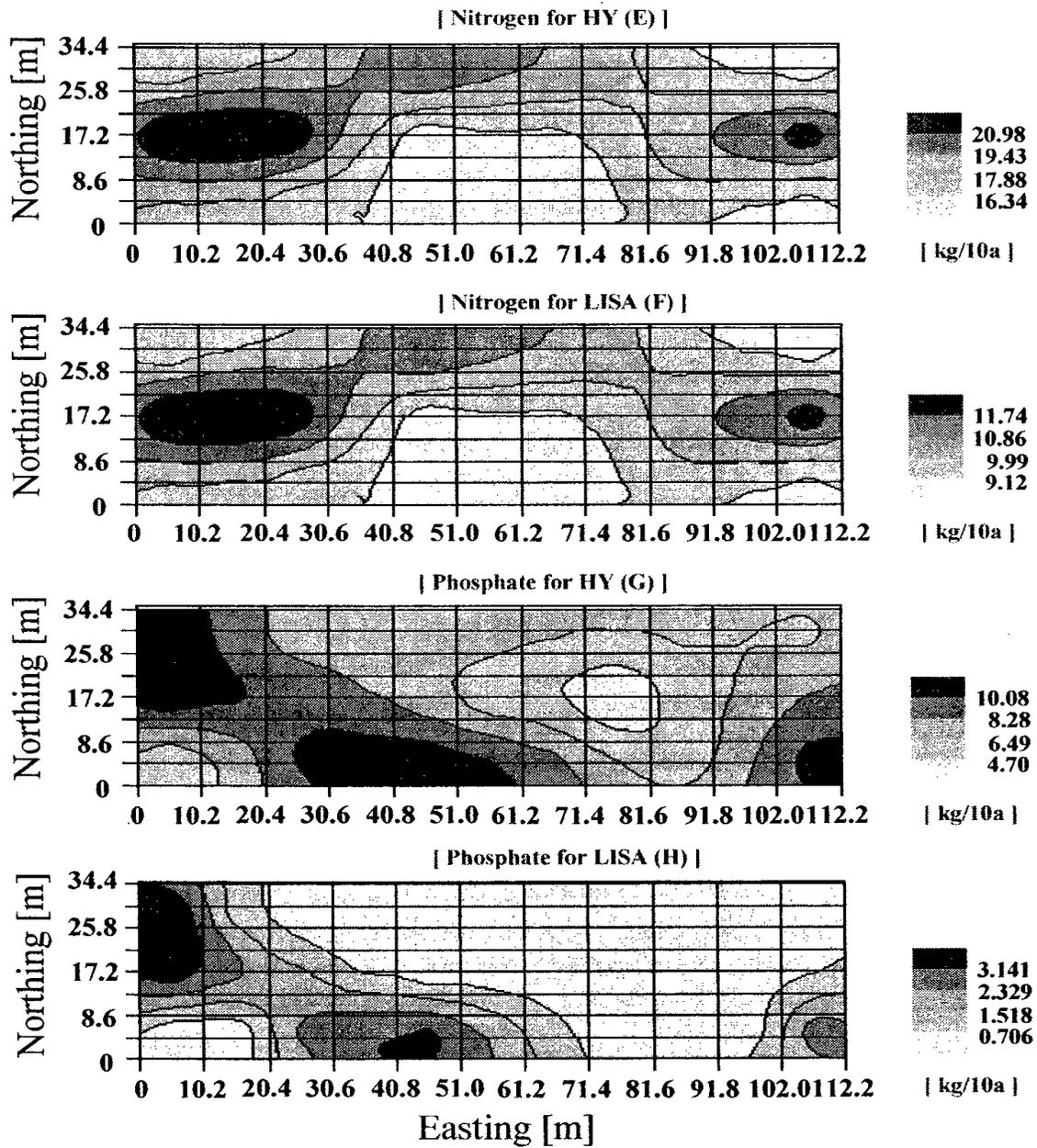


Fig. 1-4. Kriged maps of fertilizer recommendations for variable rate fertilization.

다. 생육량 및 수량 지도

표 4와 그림 5, 6은 시험포장의 주요 생육량 및 수확량의 공간변이성과 공간 분포 양상을 나타내고 있다. 생육량의 Q값은 초장, 엽면적지수(LAI), SPAD, 생장률에서 0.47이상이었고, Range는 28.40~57.84를 보여 공간의존성이 존재함을 알 수 있었다. 그 밖의 건물중, 분얼수, 광투과율에서는 결정계수가 낮아 공간의존성이 존재하지 않는 것으로 판단되었다. 공간의존성이 존재하는 생육량에서는 대체적으로 북서쪽이 낮고 남동 방향으로 점차 높아지는 공간적 분포를 나타내었다 (그림 5, 6).

출수기에 조사된 생육량 지도를 그림 6에서 살펴보면, 건물중은 평균 36.56g로 최소 25.67g에서 최대 46.53g까지 분포하여 표준편차 4.93g로 변이계수는 7.42를 보였고, 초장은 평균 97.89cm로 최소 92.40cm에서 최대 103.56cm까지 분포하여 표준편차 2.11cm로 변이계수는 46.39를 보였으며, 단위면적당 분얼수는 평균 369개로 최소 315개에서 최대 447개까지 분포하여 표준편차 30.79로 변이계수는 11.97로 나타났다. 출수기 생장률의 공간변이성을 간접적으로 조사하기 위하여 엽면적지수(LAI), SPAD 및 광투과율(LTR)을 측정하여 지도를 작성한 결과, 엽면적지수는 평균 4.16으로 최소 2.61에서 최대 5.92까지 분포하여 표준편차 0.71로 변이계수는 5.83을 보였고, SPAD값은 평균 42.53으로 최소 36.26에서 최대 46.90까지 분포하여 표준편차 2.26으로 변이계수는 18.78을 보였으며, 광투과율은 평균 16.28%로 최소 10.37%에서 최대 23.07%까지 분포하여 표준편차 2.33%로 변이계수는 6.98로 나타났다.

Table 1-4. Geostatistical parameters of some growth characteristics and rice yield

	Nugget	Sill	Range	Q	R ²	Model
Dry weight	21.620	27.552	57.84	0.215	0.102	Linear
Plant height	1.999	5.961	57.84	0.665	0.582	Linear
No. of tillers	168.000	915.000	5.40	0.816	0.016	Spherical
LAI	0.202	0.584	28.40	0.654	0.503	Spherical
SPAD	2.210	6.283	39.80	0.648	0.511	Spherical
LTR	0.120	5.477	5.90	0.978	0.011	Spherical
SPAD*(1-LTR)	3.700	6.983	57.84	0.470	0.533	Linear
Yield	2748.000	5497.000	53.30	0.500	0.852	Spherical

* LAI : Leaf area index

LTR : Light transmission ratio

SPAD*(1-LTR) : SPAD*fractional radiation interception \propto Biomass growth rate (dw/dt)

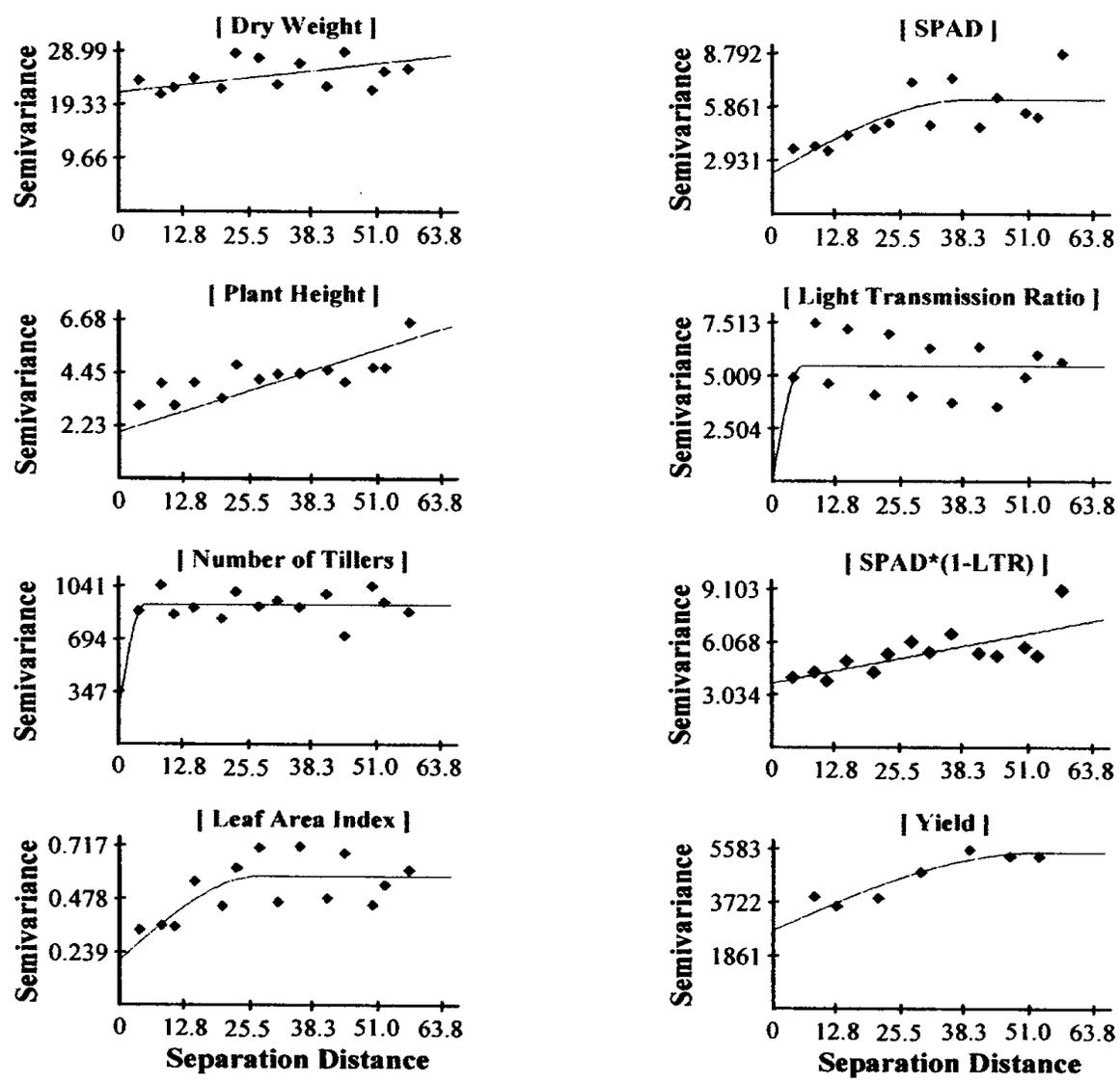


Fig. 1-5. Semivariograms of rice growth characteristics and yield.

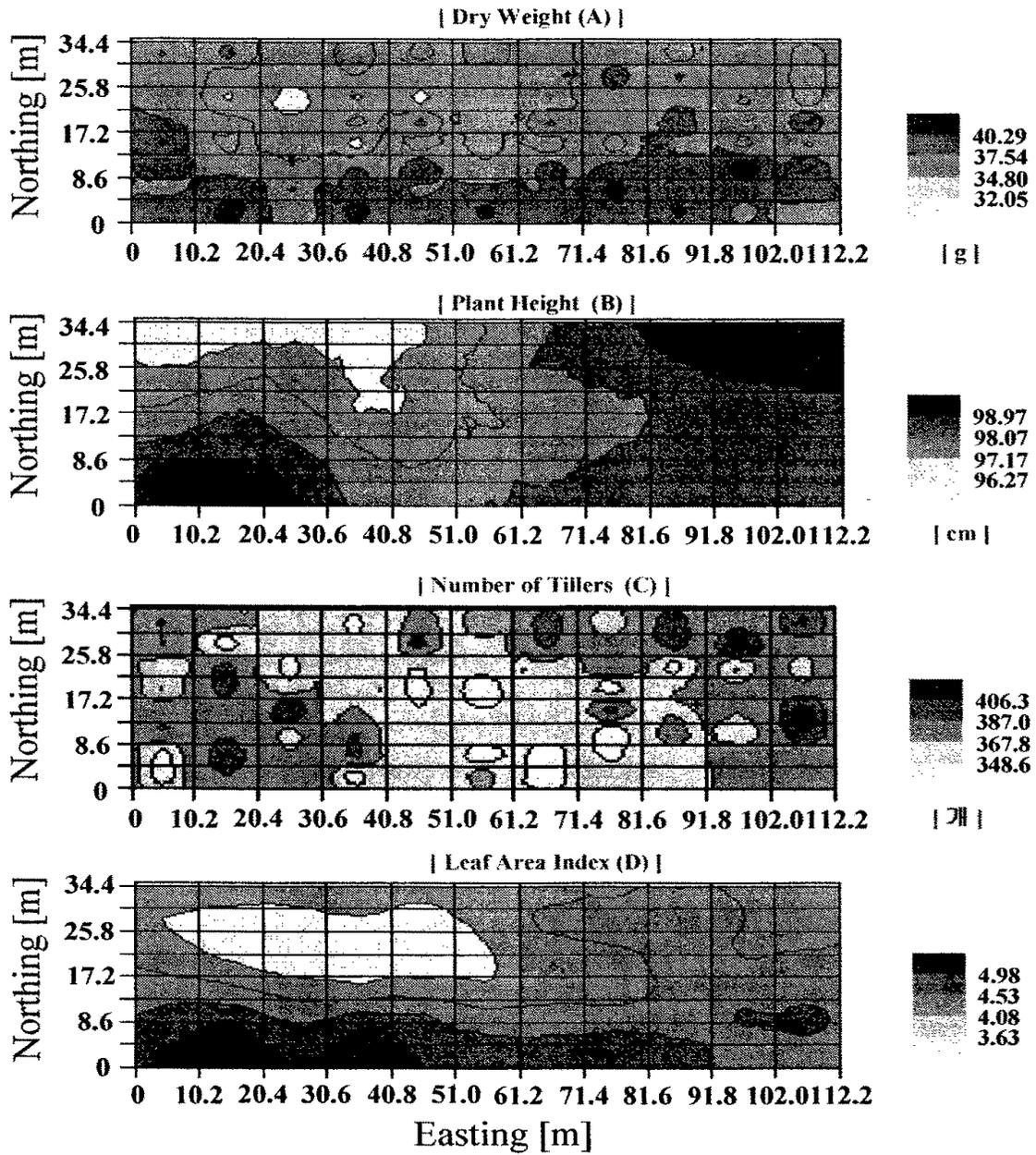


Fig. 1-6. Kriged maps of rice growth characteristics and yield (continue)

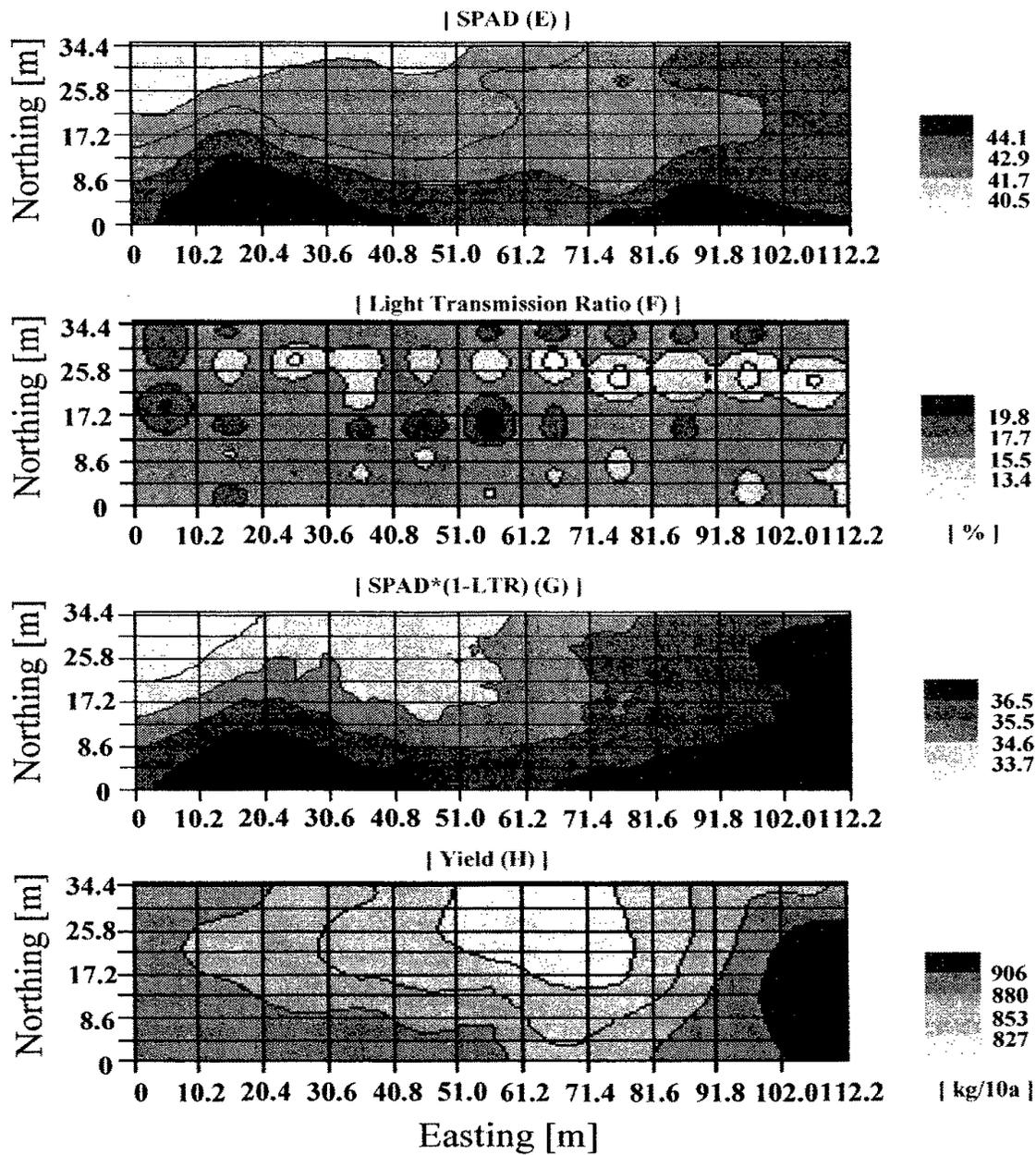


Fig. 1-6. Kriged maps of rice growth characteristics and yield.

수확량에서는 Q값이 0.5이고, Range가 53.3m로 공간변이성이 존재하였으며, 대체로 북쪽이 낮고 남동쪽으로 점차 높아지는 공간적 분포를 보여서 생육량의 분포와 전반적으로 일치하였다. 정조수량은 평균 861.90kg으로 최소 750.56kg에서 최대 1020.56kg까지 분포하여 표준편차 68.29kg으로 변이계수는 12.62를 보였으며, 수량이 낮은 지점에는 다소의 약해도 인정되었다. 한편, 정조수량은 건물중 및 엽면적지수와 고도로 유의한 상관관계가 있었고, 출수기 생장률과도 유의한 수준의 상관관계가 인정되었다 (표 5).

Table 1-5. Correlation coefficients among growth characteristics

	DW	PH	NOT	LAI	SPAD	LTR	SPAD* (1-LTR)	Yield
DW	1.000							
PH	0.073	1.000						
NOT	-0.017	0.109	1.000					
LAI	0.843**	0.360**	0.106	1.000				
SPAD	0.184	0.555**	0.141	0.506**	1.000			
LTR	-0.064	-0.416**	0.029	-0.160	-0.195	1.000		
SPAD* (1-LTR)	0.180	0.637**	0.106	0.487**	0.907**	-0.590**	1.000	
Yield	0.395**	0.120	-0.052	0.467**	0.280	-0.030	0.304*	1.000

본 연구의 결과를 종합하면, 수확량 지도는 토양의 개별 특성지도와는 공간적 분포에서 유사성이 없었고, 토양 검정 방법에 의한 변량시비추천도와 대체적으로 유사한 공간적 분포를 보였으며, 공간의존성이 존재하였던 생육량들은 전체적으로 수확량지도와 유사한 공간 의존적 분포를 보였다. 결론적으로 벼의 수량은 주요한 생육인자들과 밀접하게 공간 의존적으로 분포하며, 이는 종합적인 토양 특성들의 모델링을 통해서 관리될 수 있을 것으로 판단되었다.

제 2 절 수비질소 변량시비가 직파재배 벼 생육 및 수량에 미치는 영향

1. 서론

농업은 태양에너지 순환시스템을 활용한 식량생산체제이면서 환경의존형 산업이라 할 수 있다. 그러나 현대 농업은 과도한 화학화로 인하여 생태계의 재순환 구조가 파괴됨으로써 생산활동마저 제약을 받고 농업의 지속성에 대하여 의문을 낳고 있다.

한국의 농업도 21세기의 국제환경에서 살아남으려면 환경보존과 식량 확보의 두 원칙을 준수하지 않으면 안 된다. 저습지나 논을 대상으로 하는 벼농사는 홍수로 범람하긴 해도 토양 침식이 거의 일어나지 않아 몇 천 년에 걸쳐 계속되어 온 지속적 농업방식이라 할 수 있다. 그러나 녹색혁명 이후 강력한 다수확 재배법을 투입하였던 논 경지생태계는 점차 지력의 악화와 생태계의 퇴화현상이 나타나고 있다. 토지자원의 감퇴와 더불어 농업에서 타 산업분야로 빠져나가는 경험 많은 기술 인력자원의 감소도 문제점이 되고 있다. 생산단가를 낮추는 것은 현 수량수준에서 증수의 구조를 바꾸거나 투자효율을 증대시킴으로써 가능하다. 효율성 증대에 대한 연구는 자원의 지속적 사용에 대한 필요성과 상반되는 것은 아니다. 이러한 고투입 농법을 통하여 토지생산성을 증대시켜 주곡의 자급화를 달성하였다는 긍정적 측면에도 불구하고 농자재의 과도한 투입으로 인한 농업생태계의 오염과 농산물의 안전성에 대한 우려가 커지고 있다. 작물생산의 사회경제적 요구가 급변하는 현실에서 농업생산의 부작용을 최소화하면서 식량의 안정적 확보를 위해서는 경지생태계내의 국부적인 생산 환경요소들의 변이를 위치에 따라 파악하여 관리할 필요가 있다.

이러한 요구들에 부합해 연구가 한창 진행되고 있는 것이 정밀농업이다. 정밀농업은 포장내의 공간변이에 대응하여 적절한 재배관리를 수행함으로써 작물의 안정생산, 농자재의 적정투입 및 환경부하의 경감을 추구하는 작물생산체계이다. 이미 미국을 비롯한 선진국에서는 정밀농업에 대한 연구가 활발하여 포장에 대한 국소 관리와 GPS/GIS를 이용한 실시간으로 작물생산의 환경요소들을 모니터링하고 실시간 수확량

모니터링 기술을 이용해 포장내의 수량변이도 수집하고 있다.

정밀농업 기술 중에 토양조건에 따라 시비량을 적절히 변화시키는 Variable rate application 기술을 사용하여 시비량도 절감하고 지하수질도 향상시키려는 시도가 있다. 다수확재배에 필수적으로 다량 사용되었던 질소, 인산비료는 불과 20-40%만이 작물에 흡수되고 나머지는 지하로 용출되거나 가스의 형태로 유실되고 있다. 농경지에서 물질순환이 원활하게 일어나게 하려면 토양 및 수계 미생물 및 미소동물 생태계를 복원하여야 한다. 또 경지생태계에서 외부로 물질의 방출이 억제되도록 폐쇄순환계화하여야 한다. 논의 필지 내 각 지점별로 토양의 유효태 비료성분 공급능력과 토양산도, 관개수에 의한 공급량에 따라 시비량을 적량 환산하여 기비와 분시로서 비료를 변량 처리 하는 것이 시비효율성을 높이는 방법이다. 또 이삭을 제외한 볏짚을 전량 논토양으로 환원하고 답리작 녹비작물을 재배하여 논토양에 유기물 공급량을 높이도록 하는 것이 고수확을 지속하는 재배법이다.

본 연구는 수도 직파재배 포장의 토양정보를 기초로 필지 내 지점별로 변량시비 지도를 작성하고 이에 따라 각 포장구획별로 변량시비 처리를 실시 한 후 생육량 및 수확량에 대한 분석 및 지도화를 통하여 변량시비 기법 도입에 대한 효과를 알아보고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 전북 김제 만경평야 소재의 두 답작포장(각각 0.4ha)에서 2002년 5월부터 10월 사이에 공시품종은 남평벼를 사용하여 변량시비 처리구와 대조구로 나누어 시행되었다. 각 포장은 춘경 1회만 실시하였고, 수확시 볏짚은 전량 유기물형태로 포장에 환원하였다. 파종은 답수직파로 이루어졌으며, 각 포장의 파종량은 7.2kg/10a로 Kioritz 사의 DMC721F-30 전동식 살포기를 이용해 5월 20일에 산파하였다. 기상 상태에서 특이할만한 사항은 8월 중순에 집중호우가 있었으며, 8월 말에 태풍피해가 있었다. 또한 수확기 이전에 잦은 강우가 있었다.

포장규모는 처리구와 대조구 각각 107.6m × 35.6m로서 각 포장을 그림 1과 같이 9.8m × 8.9m 간격으로 총44개 구획으로 분할하여 격자 중심 샘플링 방법을 이용해

토양시료 채취 및 생육량과 수확량 조사를 실시하였다. 토양 시료는 각 구획별로 0~15cm깊이로 채취하여 기초 토성 분석과 변량시비 추천량 계산을 위한 토양 화학성 분석을 실시하였다. pH와 EC는 초자전극법, 질소는 Kjeldahl법, 유기물은 Walkley Black 법, 인산은 몰리브덴청법, 칼륨은 원자흡광법, 규산은 1N CH₃COONa 침출 법으로 각각 분석하였다.

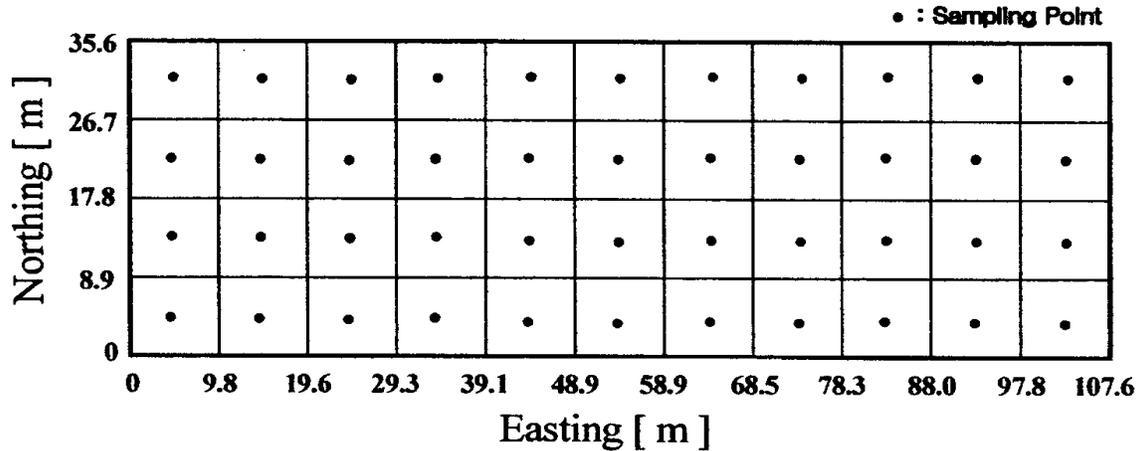


Fig. 2-1. Data sampling point

시험포장의 시비체계는 질소의 경우 기비는 농가 관행에 따라서 각 포장에 동일하게 8.77kg/10a가 시비되었으며, 추비 시용시 대조구의 경우는 농가의 관행 재배에 따라서 4.8kg/10a를 시비하였다. 변량시비 처리구의 경우는 토양 검정에 의한 작물별 시비량 결정 방법(이춘수, 1998)에 따라 저투입 기준으로 아래의 식에 의해 각 구획별로 계산되었다.

저투입 시비 처방인 질소 시비량 환산식

$$N(\text{kg}/10\text{a}) = 12.74 - 1.52 \times \text{OM}(\%) + 0.028 \times \text{SiO}_2(\text{mgkg}^{-1})$$

구획별로 계산된 변량시비 추천량을 바탕으로 변량시비 추천량 지도를 작성하였고, 작성된 변량시비 추천량 지도에 따라서 4수준으로 나누어 포장내에 각 구획별로 변량

처리 하였다. 인산과 가리의 경우는 농가 관행에 따라서 각 포장에 5.01kg-4.59kg/10a 수준으로 시비하였다. 그 밖의 재배관리는 호남농업시험장 수도표준재배법에 준하였다.

벼 출수기인 9월 10경에 변량시비 처리구와 대조구의 각 포장격자(9.8m × 8.9m) 단 위별로 기초 생육량에 대한 조사를 위해 초장, 분얼수, 건물중을 측정하고, 출수기 포장 동화 능력을 간접적으로 평가하기 위해 Li-Cor사의 LAI-2000 Plant Canopy Analyzer를 이용해 엽면적지수(LAI)를 측정하였으며, Spectrum Technology 사의 CM-1000 Chlorophyll meter를 이용해 엽록도를 측정하였다. 벼 수확기에는 각 포장 격자별로 콤바인으로 전예하여 정조수량 기준으로 수확량 조사를 실시하였으며, 또한 수확시 포장구획별로 샘플링을 실시한 후 미질에 대한 정보를 얻기 위해 완전미 비율 검사를 시행하였다.

변량시비 처리의 환경영향평가를 위해 변량시비 처리구와 대조구에 각각 포장격자를 나누어 Irrrometer를 설치한 후 토양수를 추비 시비 직전인 8월 3일, 시비후인 8월 20일, 9월 12일에 각각 추출하여 토양수내의 Nitrate 함량을 측정하고, 이를 이용해 시비전과 시비후, 변량시비 처리구와 대조구의 질소용탈량을 측정하여 비교하였다.

위의 토양, 생육, 수확량, 환경평가 자료들을 바탕으로 GS+ 소프트웨어를 이용하여 포장정보의 공간변이성과 의존성을 Semivariogram으로 해석한 후 Kriging기법을 이용해 변량 시비량 추천도, 생육량지도, 수확량지도, 질소 용탈량 지도를 작성하였다. 각각 작성된 지도를 이용해 변량시비 처리의 효과에 대해 알아보았다.

3. 결과 및 고찰

가. 토양 특성

시험 포장의 일반 토양 특성은 표1과 같았고, 시험 포장의 토성은 사질 식양토였다. 처리구와 대조구의 토양 특성을 비교해 보았을 때 암모늄태 질소와 인산, 칼륨 등의 수치에서 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 위의 각 토양화학 특성 값은 비료 시용에 따라서 후에 증가하게 되는 수치로서 두 포장의 토양특성의 차이가 차후

수량에까지 미치는 영향은 미비하다고 판단하였다.

Table 2-1. Chemical properties of the soil

	pH	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	OM (g kg^{-1})	P_2O_5 (mg kg^{-1})	SiO_2 (mg kg^{-1})	K (cmol kg^{-1})
control	6.8 (6.3-7.7)	165 (118-238)	44 (28-67)	52 (39-70)	34.6 (17.6-62.1)	189 (127-217)	42.4 (25.3-142)	0.65 (0.21-1.14)
VRT	6.5 (5.9-7.0)	167 (121-223)	78 (45-146)	44 (28-59)	34.0 (14.2-52.8)	88 (36-297)	35.8 (19.5-74.1)	0.37 (0.23-0.93)

나. 변량시비 처리

변량시비 처리구 포장의 질소시비처방기준을 토양검정에 의한 시비량 결정 방법에 따라 토양정보를 기초로 포장구획내 각 지점별 시비량을 변량적으로 도출하여 Kriging 기법으로 지도를 작성하여 그림 2의 Kriged map을 작성하였다. 추가적으로 Kriged map을 기초로 하여 각 구획별로 변량시비 작업을 할 수 있도록 그림 2의 아래 지도를 작성하였다. 이렇게 작성된 변량시비 처리량 지도를 이용해 8월 3일 수작업으로 각각의 포장구획별로 변량시비를 실시하였다.

변량시비 추천량 값은 추비 시용량 기준으로 최소 2.47kg/10a에서 최대 3.82kg/10a로 평균적으로 3.03kg/10a를 나타냈다. 또한 표준편차는 0.38이었으며 변이계수는 12.54를 나타냈다. 이는 대조구에 시비된 4.8kg/10a의 비료량에 비해서 평균적으로 10a당 1.8kg 가량 감비된 것이다. 공간의존도 지표인 Q값은 0.999, Range값은 31.2이며, R^2 값은 0.722를 보여 변량시비 추천량에는 높은 공간의존성이 존재하였다.

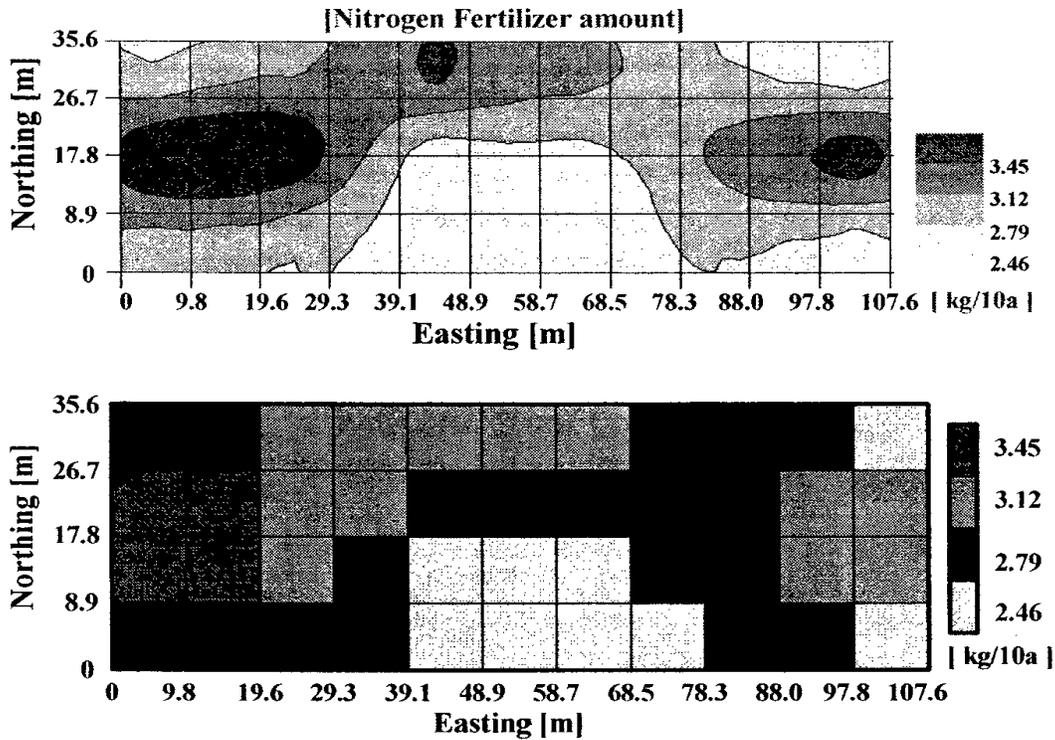


Fig. 2-2. Kriged map and operational map of nitrogen fertilizer recommendation for variable rate fertilization.

다. 생육량 및 수확량 지도

생육량 및 수확량 조사는 대조구와 변량시비 처리구에 각각 실시되었다. 표 2는 조사된 각각의 생육량별 최소값, 최대값, 평균값, 표준편차, 변이계수를 나타내고 있다. 표 3은 수집된 정보를 공간통계학적으로 분석하여 나타난 공간의존도 지표들을 나타내고 있으며, 그림 3에서는 각 포장의 생육량 및 수량에 대한 Semivariogram 그래프를 나타내고 있으며, 그림 4, 5는 대조구와 변량시비 처리구의 각 생육량 및 수량에 대한 지도를 나타내고 있다. 지도상에 나타나는 형태로 보았을 때 대부분의 생육량들이 변량시비 처리구의 경우에 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

Table 2-2. Statistical parameters of growth characteristics

	Dry Weight		No. of Tillers		Plant Height		Chlorophyll		LAI	
	(g)		(unit/m ²)		(cm)		meter			
	control	VRT	control	VRT	control	VRT	control	VRT	control	VRT
Min.	33.54	43.87	213.33	266.67	90.93	90.93	244.65	257.90	2.91	3.06
Max.	72.86	80.01	490.67	485.33	104.80	111.93	539.76	620.04	6.76	7.25
Avg.	49.53	55.29	330.67	355.03	96.94	101.10	390.69	458.32	4.81	5.25
SD	8.59	8.77	65.07	48.18	3.60	4.57	62.80	88.03	0.89	0.81
CV	17.35	15.87	19.68	13.57	3.71	4.52	16.07	19.21	18.49	15.41

Table 2-3. Geostatistical parameters of growth characteristics and rice yield

Control plot	Nugget	Sill	Range	Q	R2	Model
Dry weight	0.206	0.934	9.3	0.780	0	Spherical
No. of tillers	0.171	0.892	14.8	0.808	0.393	Spherical
Plant height	0.665	1.082	50.7	0.385	0.938	Linear
CM	0.758	1.170	50.7	0.353	0.818	Linear
LAI	0.199	0.964	9.3	0.794	0	Spherical
Yield	0.170	0.919	9.3	0.815	0	Spherical
VRT plot	Nugget	Sill	Range	Q	R2	Model
Dry weight	0.138	1.018	8.9	0.864	0	Spherical
No. of tillers	0.213	1.046	11.4	0.796	0.232	Spherical
Plant height	0.658	1.255	49.8	0.476	0.957	Linear
CM	0.493	1.085	47.7	0.546	0.914	Spherical
LAI	0.258	1.010	17.1	0.745	0.612	Exponential
Yield	0.457	0.915	32.1	0.500	0.870	Spherical

* CM : Chlorophyll meter value

LAI : Leaf area index

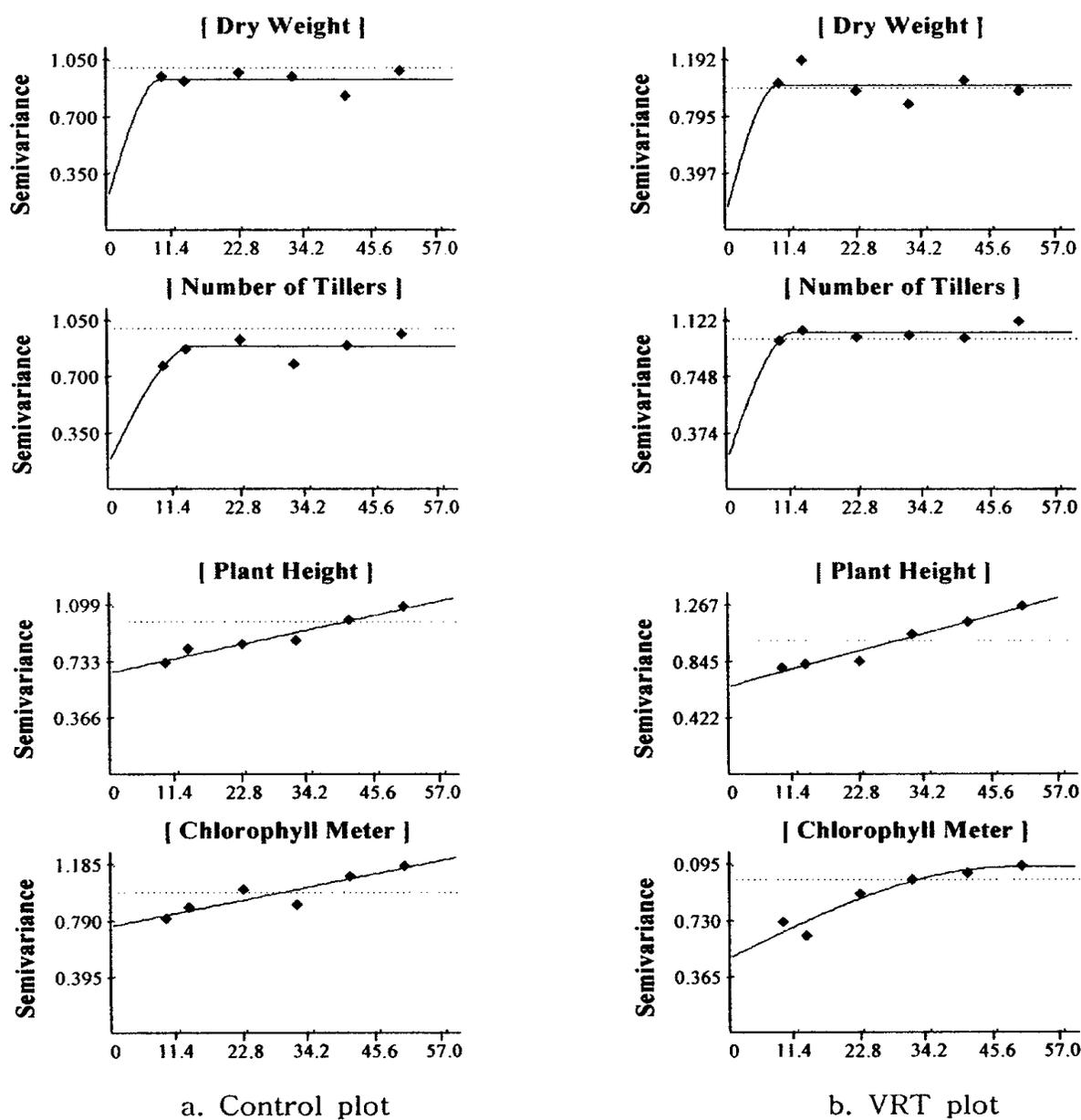


Fig. 2-3. Semivariograms of rice growth characteristics and yield (continue)

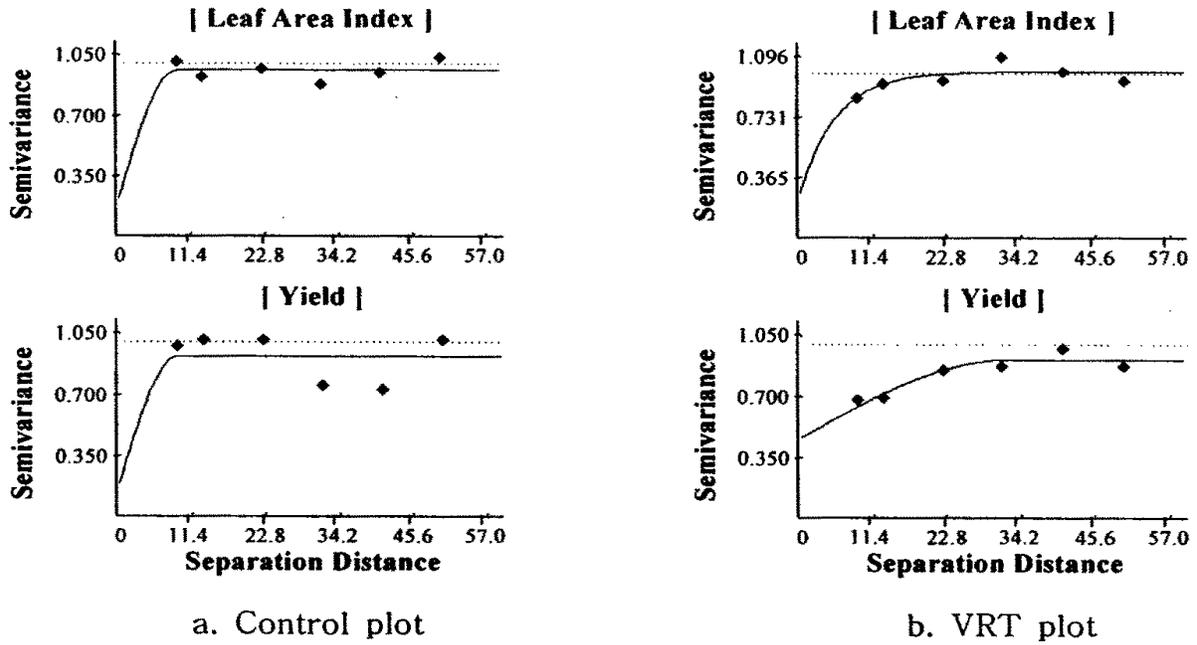


Fig. 2-3. Semivariograms of rice growth characteristics and yield.

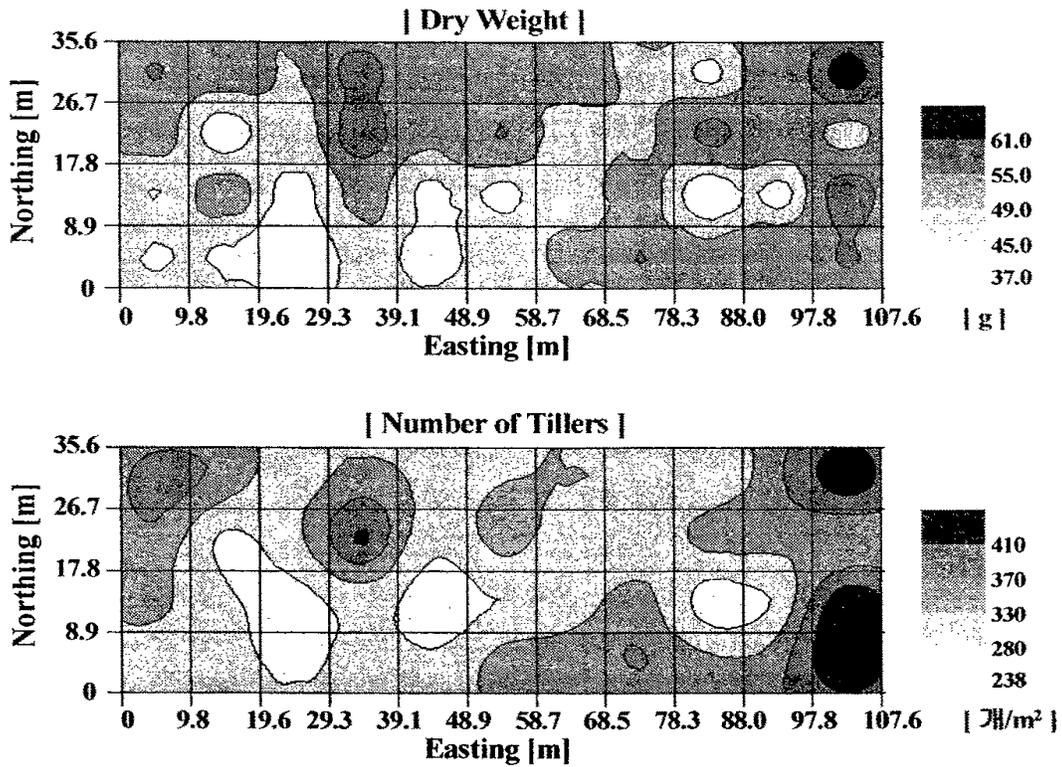


Fig. 2-4. Growth characteristics and yield maps of control plot (continue).

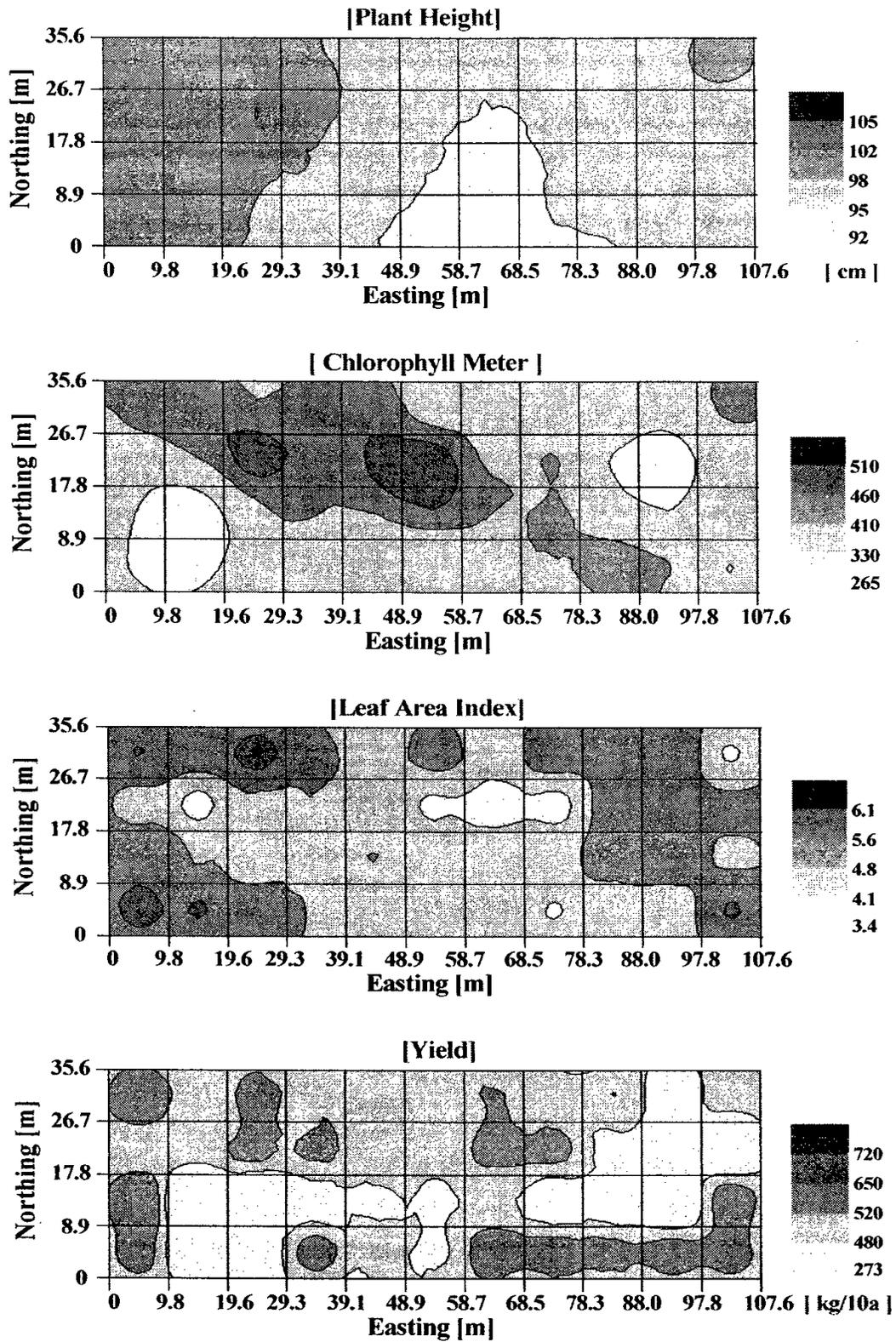


Fig. 2-4. Growth characteristics and yield maps of control plot.

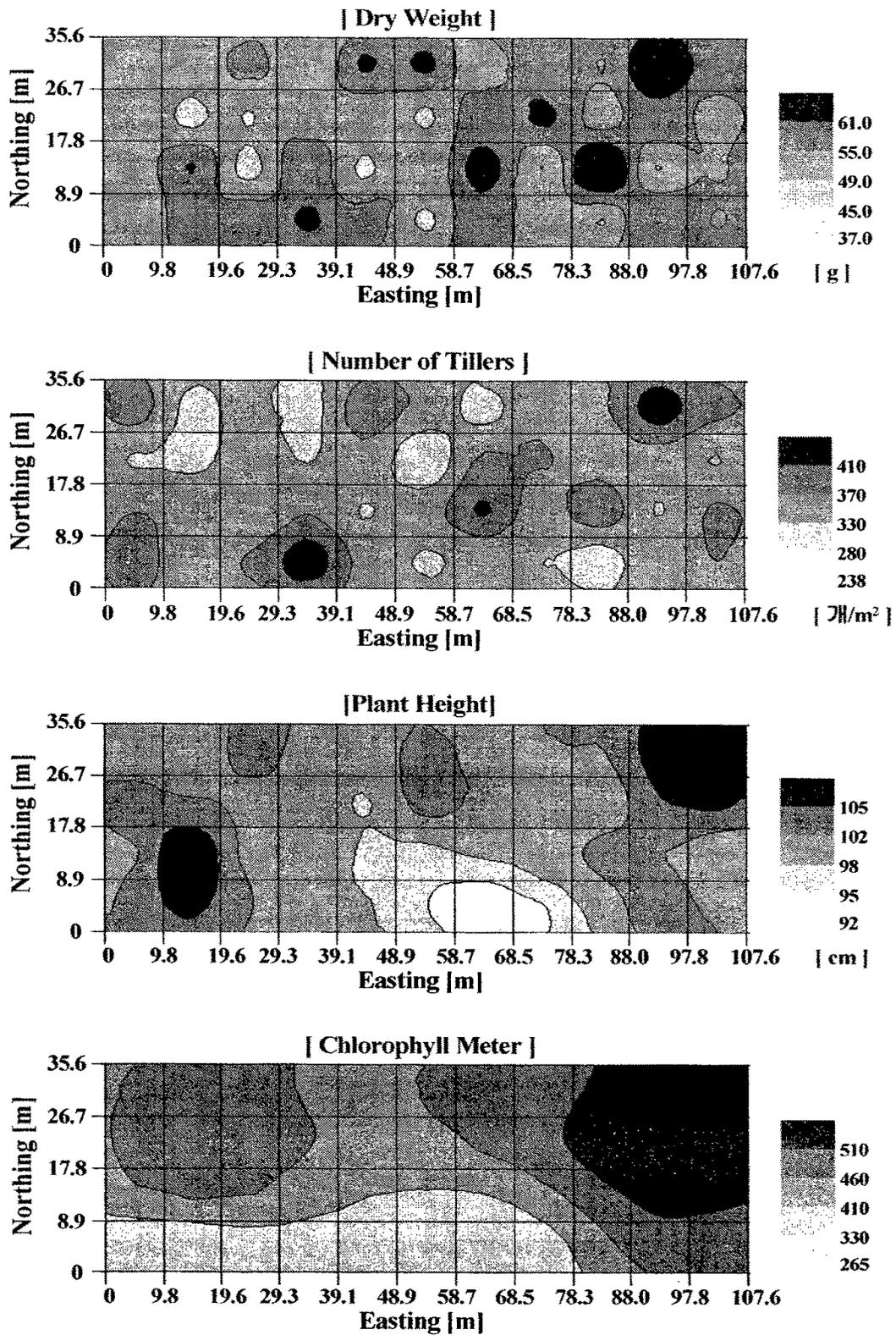


Fig. 2-5. Growth characteristics and yield maps of VRT plot (continue)

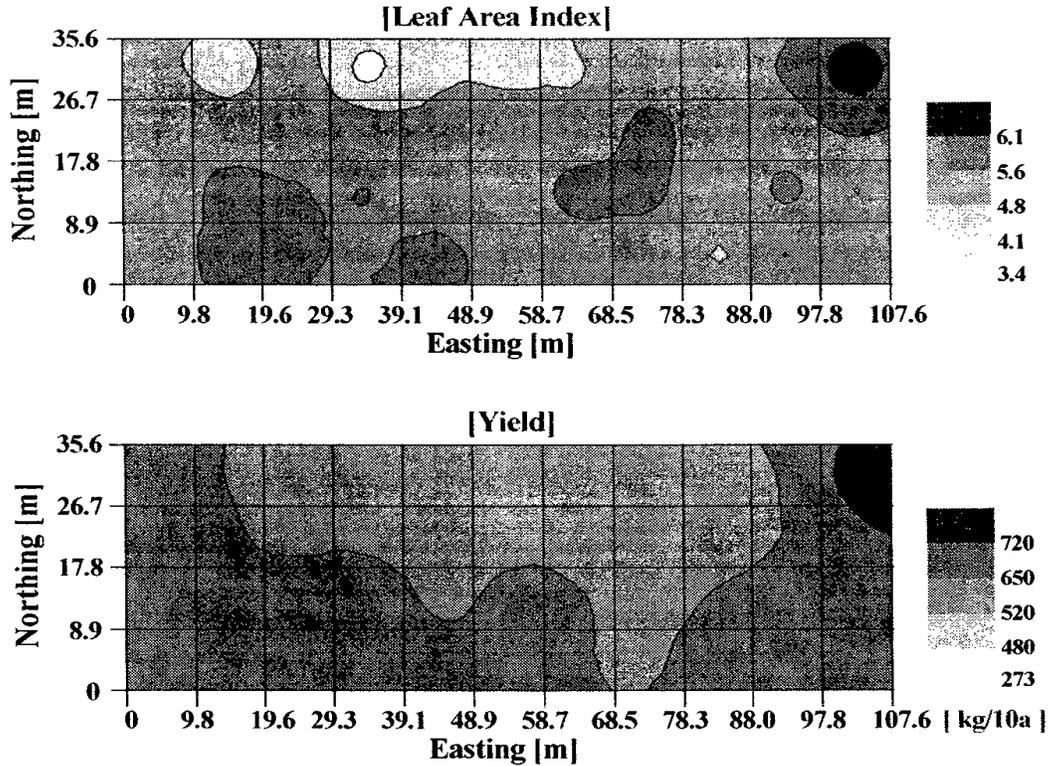
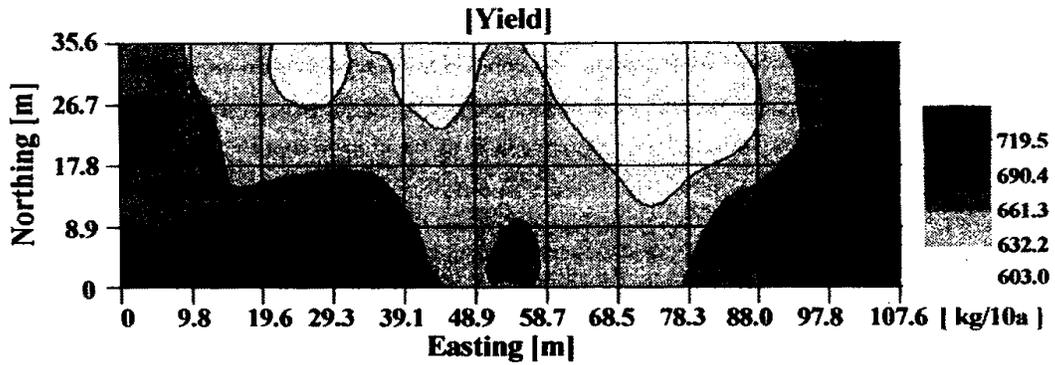


Fig. 2-5. Growth characteristics and yield maps of VRT plot.

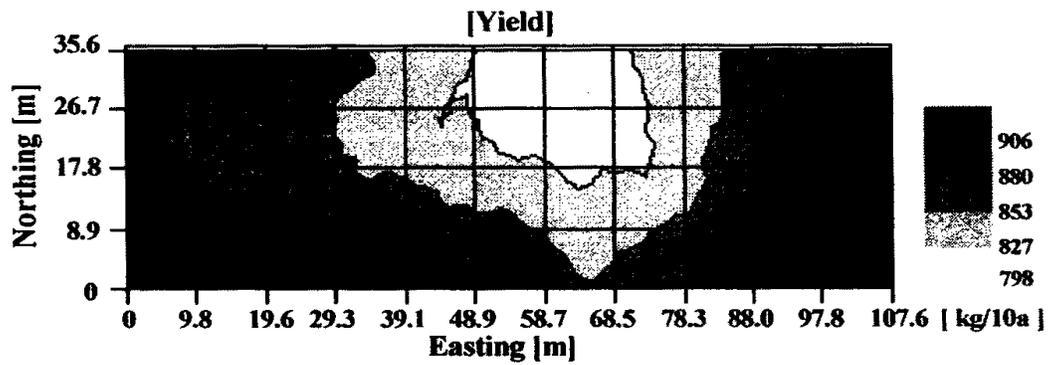
수확량 정보와 지도의 결과를 살펴보면 대조구 포장의 정조수량은 평균 493.61kg/10a로 최소 196.23kg/10a에서 최대 643.46kg/10a까지 분포하였고, 표준편차는 316.24로 변이계수는 64.07로 높게 나타났다. 변량시비 처리구 포장의 정조수량은 평균 660.64kg/10a로 최소 587.44kg/10a에서 최대 872.61kg/10a까지 분포하였고, 표준편차는 60.72로 변이계수는 9.19를 보였다. 8월의 집중호우와 태풍으로 인한 도복과 앵미의 대량 발생으로 수량이 전체적으로 감소하였으며, 특히 부분적으로 급격히 감소한 지점이 나타났다. 이런 경향은 대조구 포장에서 더욱 심하게 나타났으며, 이는 추비 사용시 질소 시비량의 차이로 인해 다비된 대조구의 경우에 도복이 더 심하게 나타난 것으로 추측되었다.

일반적으로 직파재배에 있어서는 필지 내에서 이양재배에 비해 수량의 변이가 심하게 나타나는데, 2001년의 동일 포장에서의 이양재배의 수량지도와 비교하였을 때 관행 직파재배의 수량은 변이가 매우 심하였지만 변량시비를 적용하였을 경우 이양재배

수준으로 변이정도가 감소함을 확인할 수 있었다(그림 6).



a. 2002 VRT plot - Direct seeding field



b. 2001 Transplanting plot

Fig. 2-6. Compare direct seeding with transplanting in rice yield.

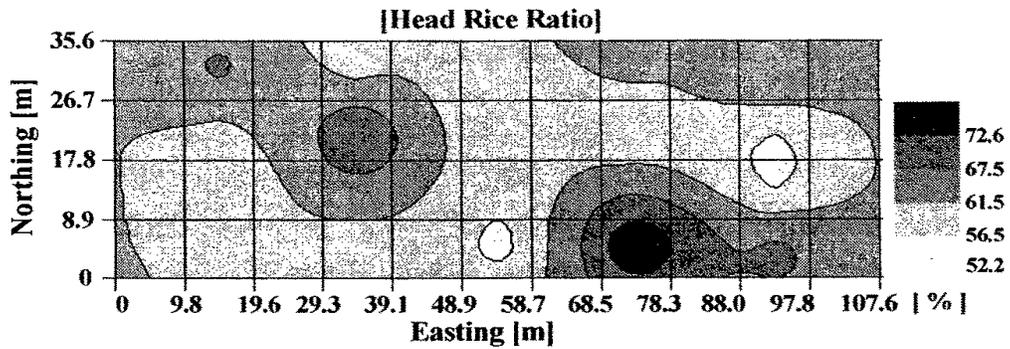
표 4는 변량시비 처리구의 생육량 및 수량의 상관계수를 나타내고 있다. 직파재배의 경우는 분얼수와 건물중간에 고도로 유의한 상관을 나타내었다. 건물중은 초장과도 유의한 수준의 상관을 나타냈다. 수량과 건물중, 수량과 분얼수 간에는 고도로 유의한 상관을 나타내었고, 수량과 초장 간에도 유의한 수준의 상관이 나타났다.

Table 2-4. Correlation among growth characteristics of VRT plot

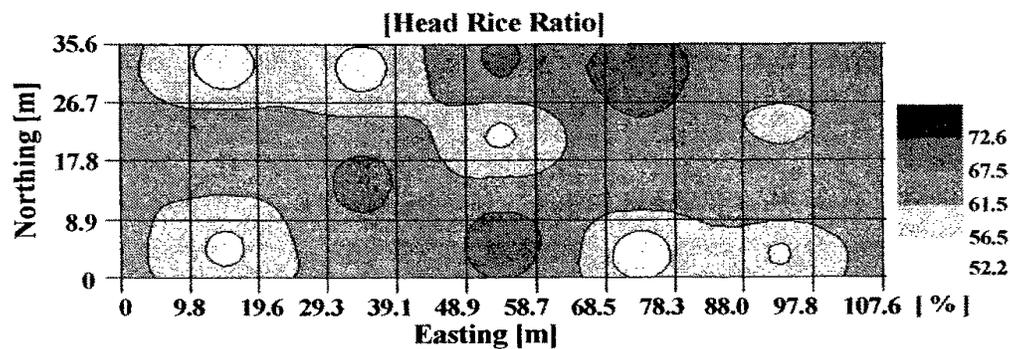
	DW	NOT	PH	CM	LAI	Yield
DW	1.000					
NOT	0.732**	1.000				
PH	0.337*	0.117	1.000			
CM	0.035	-0.042	0.385**	1.000		
LAI	0.212	0.198	0.442**	0.090	1.000	
Yield	0.999**	0.728**	0.317*	0.031	0.160	1.000

* DW : Dry weight NOT : Number of tillers PH : Plant height
 CM : Chlorophyll meter value LAI : Leaf area index

라. 미질분석



a. Control plot



b. VRT plot

Fig. 2-7. Head rice ratio of each plot.

변량시비 처리구와 대조구의 완전미 비율을 조사하여 미질에 대한 평가를 수행하였다. 8월의 집중호우와 태풍으로 인한 미등숙립의 대량 발생으로 완전미 비율이 평년보다 낮은 수치를 나타내었다. 각각 나타난 완전미 비율 분석 결과를 지도화 하였다(그림 7). 변량시비 처리구의 경우 평균 62.6%로 최소 52.2%에서 최대 73.1%까지 분포하여 표준편차 6.7%로 변이계수는 10.74를 보였고, 대조구는 평균 62.0%로 최소 55.3%에서 최대 77.3%까지 분포하여 표준편차는 6.3%로 변이계수는 10.13을 보였다. 변량시비처리 후 미질은 관행재배에 비해 소폭 개선되었으나 유의성은 나타나지 않았다.

마. 환경영향평가

추비 시용 이전에 변량시비 처리구와 대조구에 각각 포장격자를 나누어 Irrrometer를 설치한 후 토양수를 시비직전인 8월 3일, 시비후인 8월 20일, 9월 12일에 각각 추출하여 토양수내의 Nitrate 함량을 측정하고 이를 이용해 질소용탈량 지도를 작성하였다(그림 8, 9). 표 5, 6에서는 추출 시기별 토양수의 각각의 통계정보와 공간의존도 지표를 나타낸다. 8월 3일의 토양수의 정보를 보면 그림 2의 변량시비 추천량 지도와 유사한 형태를 보이고 있다. 변량시비 추천량 지도를 역으로 생각해보면 시비 추천량이 적은 곳이 지력이 높다고 볼 수 있는데 토양수의 Nitrate함량이 지력에 따라 포장구획별 편차도 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나 변량 시비 이후인 8월 20일의 Data를 보면 변이 정도가 크게 줄어들고, 변량시비 추천량 지도와의 유사성이 없어지는 것을 볼 수 있다. 이는 변량시비가 포장내 지점별로 나타날 수 있는 질소 집적을 막아서 질소과다에 의한 환경부하를 경감시킬 수 있다는 것을 보여준다. 이는 대조구와 비교했을 때 8월 3일에 비해서 8월 20일의 경우 농도차이가 커지는 것으로 보아서 더욱 확실해진다. 9월 12일의 경우는 시비후 이미 한 달 이상이 지난 상황으로 시비의 효과가 없어지기 때문에 변이가 다시 커지는 경향이 나타났다.

Table 2-5. Statistical parameters of nitrate concentration of soil water

	August 3		August 20		September 12	
	control	VRT	control	VRT	control	VRT
Min.	24.9	13.5	20.8	15.0	19.9	15.3
Max.	61.4	88.6	64.5	59.6	166.4	113
Avg.	37.5	35.1	40.3	33.3	42.7	36.6
SD	9.83	15.65	9.53	9.28	30.11	24.00
CV	26.21	44.59	23.65	27.8	70.51	65.57

Table 2-6. Geostatistical parameters of nitrate concentration of soil water

Control plot	Nugget	Sill	Range	Q	R2	Model
Aug. 3	0.097	1.032	7.1	0.906	0	Spherical
Aug. 20	0.165	1.070	12.6	0.846	0.097	Exponential
Sep. 12	0.238	1.512	40.2	0.843	0.536	Spherical
VRT plot	Nugget	Sill	Range	Q	R2	Model
Aug. 3	0.071	1.049	7.1	0.933	0	Spherical
Aug. 20	0.152	1.042	11.6	0.854	0.396	Spherical
Sep. 12	0.001	1.080	14.0	0.999	0.093	Spherical

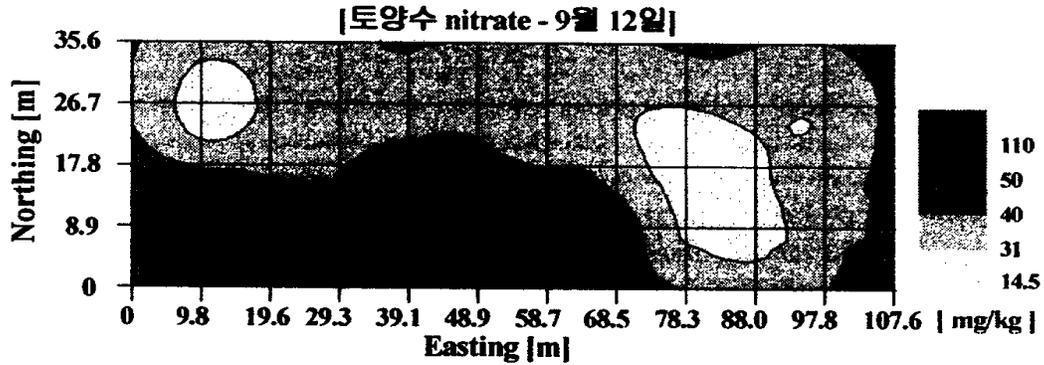
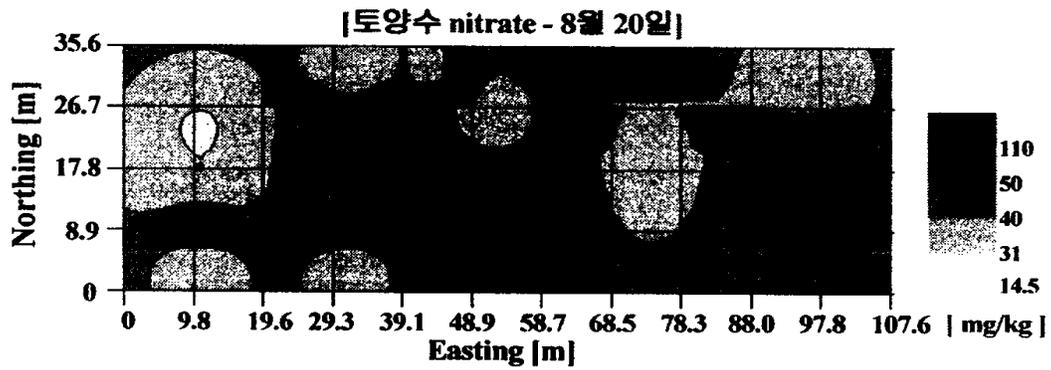
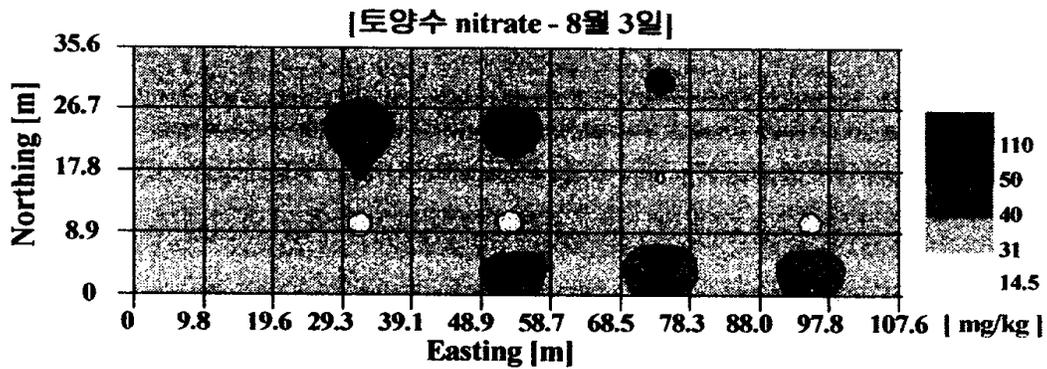


Fig. 2-8. Kriged map of nitrate concentration of soil water in control plot.

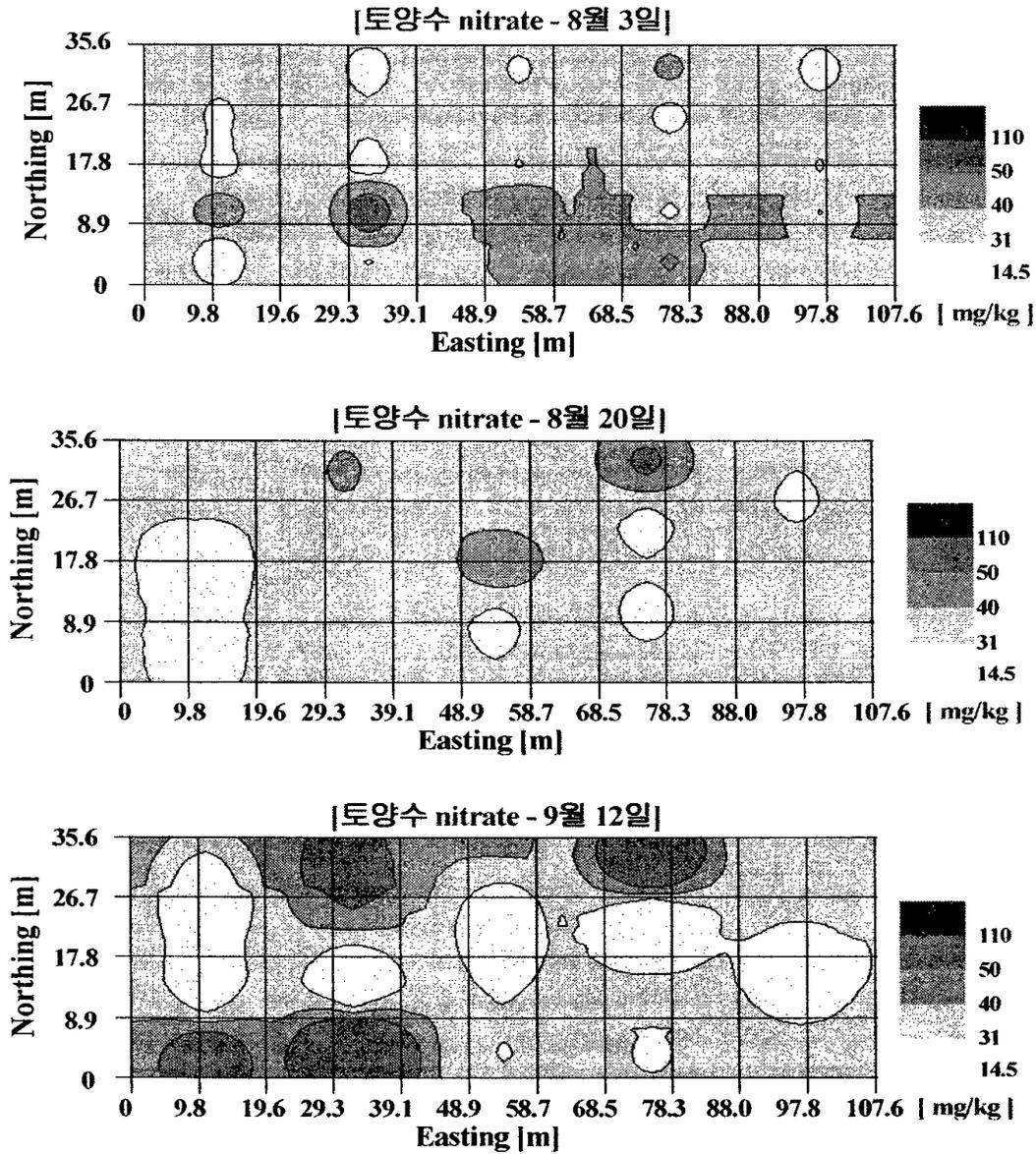


Fig. 2-9. Kriged map of nitrate concentration of soil water in VRT plot.

본연구의 결과를 종합하면 이양재배의 경우는 포장 전체에 재식 밀도가 균일하기 때문에 분얼수에서는 공간의존성이 나타나지 않고, 건물중과 LAI가 수량과 유의한 상관성이 있어서 유사한 공간 의존적 분포가 나타난다. 그러나 직파재배, 특히 산파의 경

우에는 포장내 재식밀도에 변이가 크기 때문에 포장내의 수량변이도 대조구에서 보는 것처럼 크게 나타나게 된다. 분얼수는 1차적으로 재식밀도에 의해 영향을 받으므로 직파의 경우 분얼수가 건물중과 고도로 유의한 상관관계를 가지게 되며, 수량과도 높은 상관관계를 가지게 된다. 변량시비 처리구의 경우를 보면 건물중과 분얼수의 편차가 낮아져 수량변이도 포장 전체적으로 이양재배 수준까지 편차가 줄어들어 안정적인 수량이 나타내게 됨을 확인할 수 있었다. 또한, 질소 과다에 의해 일어나는 도복과 추락 현상 등을 경감시키며, 포장내 일정 지점에서의 질소분 집적을 막아서 포장 토양에 대한 환경부하를 경감시킬 수 있었다.

제 3 절 논에서 변량시비를 통한 비료 절감과 벼 생육 및 수확량 변이 지도의 작성

1. 서론

산업혁명 이후 개발 위주의 경제성장은 산업화 과정에서 자연 생태계의 저장 능력을 떨어뜨려 지구 전체의 환경이 급속히 악화되고 있다. 이러한 지구 환경 문제는 특정 분야에 한정해서 발생하는 것이 아니며, 그 피해 또한 한 국가에 국한되지 않고 지구 전체에 영향을 미친다는 특성이 있다. 농업 분야는 1992년 리우선언으로 농업 정책을 친환경 측면에서 재조명하고 토지 자원의 합리적 이용, 토양의 보전복구, 수자원 관리, 병해충 종합 관리 등 지속적 농업을 실천토록 한 바 있다.

지속농업은 비료와 농약의 저투입과 토양보전 기술 개발에 초점을 맞추었으나 저투입의 부정확 때문에 기술 확립에 문제가 발생함으로써 정확한 투입량 산출이 필요하게 되었다. 작물이 필요로 하는 비료의 양은 근본적으로 토양과 관개수를 통하여 공급되는 천연 공급량을 제외하고 생육과 수확에 필요한 양을 인위적으로 공급하는 것이지만 경지 토양의 변이성으로 인하여 정확한 추산에 어려움이 따랐고 정확한 시용은 인위적으로 불가능한 것이었다.

정밀농업기술은 농업에 컴퓨터를 활용한 전자기술, 지리정보 시스템(GIS), 위성을 이용한 지구 위치정보 시스템(GPS) 같은 첨단기술을 활용하여 포장관리의 정밀화, 농작업의 정밀화를 실천하고, 작물종이 갖고 있는 유전적 능력인 잠재수량에 접근하도록 한다. 나아가 철저한 작업관리와 자동화를 통하여 영농 수익성을 높이고 비료와 농약을 적시 적량 투입함으로써 환경보전을 동시에 추구하려는 기술이다. 관행 영농 기술은 모든 포장을 동일한 토양조건이라는 가정아래 동일한 재식밀도, 동일한 시비량을 획일적으로 포장에 적용하고 포장의 일부지점에 병충이 발생하였다더라도 모든 포장에 동일시기에 같은 농약량을 살포하는 균일처리 위주였다. 그러나 동일 소유자의 농토라도 지력, 무기영양성분, pH, 수분공급 등에서 변이가 존재하고 심지어 토성에서도 차이가 나타남이 확인되었다. 이러한 토양조건 변이가 각 지점별 수량의 차이로

나타나고, 부분적으로 비료의 과다 시용으로 인한 유실이 심하게 나타난다. 최근 미국과 유럽에서는 대규모 농지에서 자동화 토양표본 채취와 분석이 이루어지고, GPS, 센서, 모니터 같은 필요 장비를 파종기, 작업기, 수확기 등 농기계에 장착하여 예정된 작업을 정확히 수행함으로써 고도의 영농효과를 거두려는 농업기술이 실현되고 있다.

정밀농업은 첨단공학 기술과 과학적인 수단에 의하여 필지를 1m 이하의 단위로 구분하여 포장내의 토양특성, 생육상황, 작물 수량 등을 조사하여 위치별 잠재적 작물 수확량에 따라 비료와 농약, 종자 등의 투입량을 달리하여 작물을 관리하는 농법으로 농산물의 생산비를 낮추고, 환경오염 피해를 줄이는데 궁극적인 목표가 있다.

변량시비기법은 작물의 시비량을 결정하는 여러 토양인자들의 정확한 공간변이성의 파악에 기초하여 이루어지며, 정밀농업을 실현하는데 있어서 필수적인 처방시비기법이다(Sawyer, 1994). 이는 곧 필지 내 각 지점의 토양 변이와 식물 생육 상태에 따라서 비료와 농약, 종자를 변량 처리하는 기술로서 토양 성분량별로 함량이 낮은 곳에는 표준량보다 다비하고, 함량이 높은 곳에는 비료를 적게 처리하며, 생육이 부진한 곳에 비료량을 증가하는 등의 처방을 말하며, 이를 통해 비료사용량을 줄이고, 시비효율을 높여 환경을 보호할 수 있게 된다.

변량시비에 대한 연구는 미국과 유럽등지에서 대규모 포장을 중심으로 이루어지고 있으며, 대상 작물도 콩, 옥수수, 밀 등으로 소규모 벼 포장에 대한 연구는 일본에서만 일부 이루어지고 있고 국내에서의 연구는 거의 전무한 실정이다. 또한 우리나라 벼 재배 농가들은 질소비료 사용을 대체로 높게 하고 있는 실정이고 이에 따른 논의 토양 및 배출수질 오염과 미질 악화 등의 문제점이 드러나고 있다. 본 연구는 한국의 벼 포장에서 토양 검정에 따른 기비 및 분얼비의 변량 시비와, 작물 생육상태에 따른 수비 변량 시비를 실시하여 일반농가의 관행적 농법에 비해 어느 정도의 비료를 절감할 수 있으며, 질소 및 인산, 칼륨 비료의 적정 변량시비를 통하여 수량의 저하는 방지하면서 환경 피해를 감소하고, 미질 향상 효과를 얻을 수 있는지 판단하여 차후 벼 포장에의 변량시비 기법 적용과 정밀농업 기법 도입의 기초자료로 활용하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 포장구성 및 분획

본 연구는 벼 직파와 기계이앙 재배 포장을 일정 넓이의 구획으로 분획한 후 각 구획별로 토양의 이화학적 성분을 기초로 한 기비와 분얼비 변량시비와, 작물의 생육상태를 기초로 한 수비 변량시비를 통해 시비량을 절감하고, 이러한 변량시비 처리가 벼 생육, 수량 및 쌀 품질에 미치는 영향과, 논토양 침출수의 질소 오염에 대해 알아보고자 수행되었다.

본 연구는 2003년 5월부터 10월 사이에 전북 김제 만경평야 소재의 3 농가 소유의 벼-보리 이모작 답작포장에서 이루어졌으며, 해평벼(*Oryza sativa* L. cv. Haepyeongbyeo)를 공시하여 사용하였다. 3개의 field를 소유 농가별로 field 1, 2, 3로 나누었으며, field 1은 답수직파재배가 이루어져서 종자 10kg/10a를 동력 비료살포기를 이용해 파종하였고, field 2, 3은 중묘 기계이앙 하였다. 각 field를 둘로 나누어 대조구와 변량시비 처리구(Variable rate treatment plot: VRT)로 구성하여 연구가 이루어졌으며, 대조구는 소유 농가의 관행 형태로 시비처리를 실시하였고, 변량시비 처리구는 전 시비 과정에 걸쳐서 변량시비 처리를 하였다. 대조구와 변량시비 처리구의 시비 이외의 관리는 각 농가의 관행에 따라서 동일하게 이루어졌다.

각 field는 보리수확을 마치고 보릿짚을 태운 후 1회 경운을 하였고, 그 후 기비를 처리한 후에 다시 1회 경운 후 1~3일 사이에 이앙 및 파종이 이루어졌다. Field 1은 6월 11일에 파종되었고, field 2는 6월 9일, field 3은 6월 14일에 이앙되었다. 6월 28일 전후로 변량시비 처리구 포장에 5엽기 추비 및 분얼비를 시비하였고, 포장별로 Irrrometer를 설치하였다. 생육 상황의 진전에 따라서 생육이 빨랐던 field 2는 7월 말에 수비 시용이 이루어졌으며, field 1, 3은 8월 10일경에 수비시용을 하였다. 9월에 태풍으로 인하여 직파포장인 field 1에 도복피해가 크게 발생하였으며, 수확은 10월 10일경에 이루어졌다.

각 대조구와 변량시비 처리구 포장의 면적은 각각 107m × 36m로 약0.4ha이었으며, 각 포장은 사방으로 약 3m가량의 보더를 제한 후 100m × 30m의 면적에서 연구가 이루어졌으며, 10m × 10m로 총 30개의 100㎡면적으로 구획을 나누어 각 구획의 중앙

지점에서 토양시료 채취, 작물의 생육정보 등의 자료 수집이 이루어졌다 (그림 1).

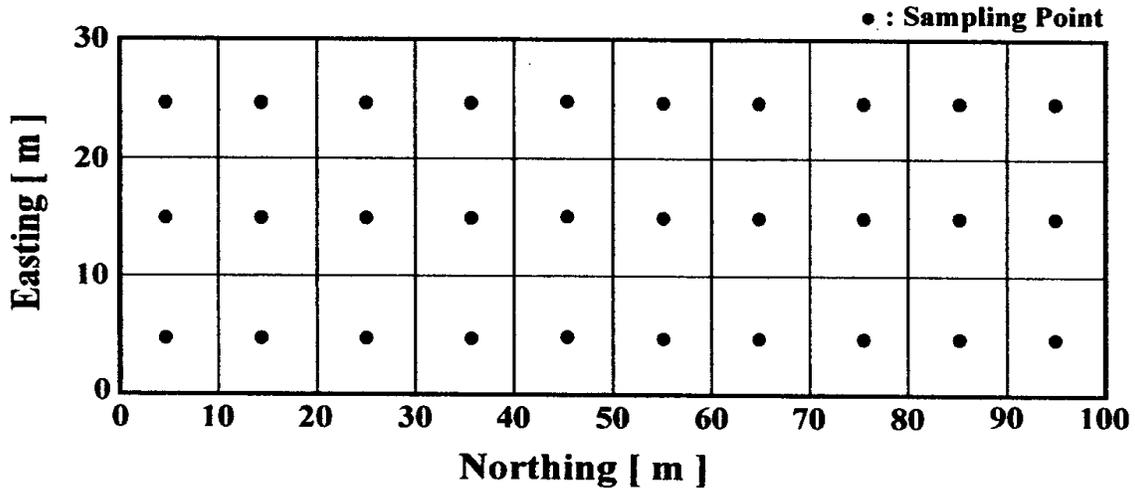


Fig. 3-1. Data sampling points of each plot except border.

나. 토양, 생육 및 수량조사

파종 및 이앙 전에 각 포장의 각 구획별로 10~20cm깊이에서 토양시료를 채취하였으며, 기비 및 분얼비 시용량 결정에 필요한 유기물, 인산, 칼륨, 규산 함량을 분석하였다.

생육량 조사는 수비 시용에 이용하기 위해 수비 시용 10일 전에 초장, 분얼수, 엽면적지수, 엽록소 함량에 대한 조사를 하였으며, 출수기에 초장, 분얼수, 건물중, 엽면적지수, 엽록소 함량에 대한 조사를 실시하였다. 엽면적지수는 미국 LI-COR사의 LAI-2000 Plant canopy analyzer를 이용해 조사였으며, 엽록소 함량은 미국 Spectrum technology사의 CM-1000 Chlorophyll meter를 사용하였다.

수량은 field 1, 3의 경우는 콤바인을 이용하여 각 구획별로 예취한 후 무게를 정량하는 방법을 이용해 측정하였으며, field 2는 농업 기계화 연구소에서 개발한 수확량 모니터링 시스템을 이용해 수량 정보를 획득하였다. 수확과 동시에 구획별로 일정량의 곡물을 샘플링 하여 수분함량을 측정하였고, 일부 샘플은 미질 분석을 위해 채현

한 후 일본 Kett사의 AN-800 Grain Analyzer를 이용해 단백질, 아밀로스, 지방산 함량을 분석하였다.

토양 침출수의 오염도를 측정하기 위해 파종 및 이앙 후 15일경에 각 포장별로 5개씩의 Irrrometer를 설치하였으며, 수확 전까지 총 6회에 걸쳐서 토양 침출수를 채취하였다. 채취된 토양 침출수는 미국 Orion사의 720 Ion selective meter에 nitrate electrode를 연결하여 각각의 nitrate 함량을 측정하였다.

획득한 토양 및 생육량 정보를 바탕으로 Gamma design software사의 GS+ version 3.1 for windows 프로그램을 이용해서 공간통계 분석을 하고, Kriging기법을 이용해 각 포장별 시비 추천량 지도, 생육량 변이 지도, 수확량 변이 지도를 작성하였다.

다. 시비량 결정

대조구의 시비량은 각 농가별로 큰 차이를 나타냈다(표 1). 기비는 복합비료를 트랙터 연결형 비료 살포기를 이용해 시용하였고, 분얼비와 수비는 요소비료를 사용하였으며, 시용방법으로는 동력 비료살포기를 이용하였다. 농가별로 사용하는 복합비료의 종류와 사용량에 따라서 시비량의 차이가 나타났으며, 기비에 다량을 시비하고 분얼비와 수비 중에서 일회를 생략하는 방법을 이용하였다. 또한 시비처리 시기도 농가별로 차이가 나타났는데 대조구 2의 경우가 가장 빨리 시비되었고, 대조구 1, 3이 시비가 일주일가량 늦었다. 농가별로 차이가 있지만 표준 시비량에 비해서 질소, 인산, 가리 모두 다비하는 경향을 보였다.

Table 3-1. Fertilizer application of control plot

Application timing	Amount of fertilizer application (kg/10a)								
	Control 1			Control 2			Control 3		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Basal	10.9	8.8	8.8	10.9	7.3	7.3	10.3	5.6	5.6
TS	0	0	0	0	0	0	7.2	0	0
PIS	2.4	0	0	4.8	0	0	0	0	0
Total	13.3	8.8	8.8	15.7	7.3	7.3	17.5	5.6	5.6

* TS: Tillering stage PIS: Panicle initiation stage

변량시비 처리구의 질소비료는 요소를 이용하였으며, 분시 비율은 직파가 이루어진 VRT 1의 경우는 기비-5엽기-수비에 35-35-30%로 3회 분시하고, 이앙재배가 이루어진 VRT 2, 3의 경우는 기비-분얼비-수비에 50-20-30%로 분시하였다. 인산의 경우는 포장 내 인산 함량이 매우 높아서 시비 추천량이 대부분 0으로 나타나 변량시비 처리구에는 시비하지 않았으며, 칼륨의 경우는 염화가리를 이용해 모든 변량시비 처리구 기비와 수비에 70-30%로 분시하였다. 변량시비 처리구의 모든 시비는 수작업을 통해 이루어졌다.

기비와 분얼비의 변량시비 추천량은 토양 검정에 의한 작물별 시비량 결정 방법(이, 1998)의 저투입 시비처방에 따라 질소, 인산, 칼륨의 성분시비량이 계산되었다.

$$N(\text{kg}/10\text{a}) = 12.74 - (1.52 \times \text{OM}(\%)) + (0.028 \times \text{SiO}_2(\text{mg kg}^{-1}))$$

$$P_{2O_5}(\text{kg}/10\text{a}) = (100 - P_{2O_5}(\text{mg kg}^{-1})) \times 0.1 \text{ (유효인산 } 100\text{mg kg}^{-1}\text{이상인 토양은 무시용)}$$

$$K_2O(\text{kg}/10\text{a}) = (0.03 \times 10 - K_2O(\text{cmol kg}^{-1})) \times 47.1$$

질소비료의 수비 변량시비 추천량은 수비시용 전에 측정된 생육량 정보 중 수량과 관계가 깊은 것으로 알려진 엽면적지수와 엽록소 함량을 기초로 하여 계산하였다. VRT 1은 엽록소 함량(CM)을, VRT 2는 엽면적지수(LAI)를, VRT 3은 엽면적지수와 엽록소 함량을 곱한 값(LAI×CM)을 기준으로 포장별로 각 값의 평균과 목표 값과의 차이가 표준시비량을 나타낸다고 가정한 후 각 구획별로 얻어진 수치와 목표 값과의 차이를 구한 후 비례식을 이용하여 구획별 시비 추천량을 계산하였다. 수비시용 후 도달해야 할 엽면적지수, 엽록소 함량, 엽면적지수×엽록소 함량의 목표 값은 각 포장별로 LAI=5, CM=450, LAI×CM=2500으로 설정하고, 다음의 포장별 계산식을 사용하였다.

$$\text{VRT 1 추천량(kg/10a)} = \{3.3 \times (450 - \text{CM})\} / (450 - \text{평균 CM})$$

$$\text{VRT 2 추천량(kg/10a)} = \{3.3 \times (5 - \text{LAI})\} / (5 - \text{평균 LAI})$$

$$\text{VRT 3 추천량(kg/10a)} = \{3.3 \times (2500 - \text{LAI} \times \text{CM})\} / (2500 - \text{평균 LAI} \times \text{CM})$$

칼륨의 수비시용 시에는 호남농업시험장 표준시비량에 따라서 변량시비 처리구 포장 전체에 균일시비 하였다.

라. 토양특성

시험 토양의 토성은 모두 미사질 양토였으며, 기비 및 분얼비 변량시비 추천량을 구하기 위해 이앙 및 파종 전에 채취한 각 field 변량시비 처리구 토양의 유기물, 인산, 규산, 칼륨의 함량은 표 2에서 볼 수 있다. 인접한 포장이었지만 많은 차이가 나타남을 볼 수 있었다. 유기물의 경우는 전 포장이 3% 미만으로 낮은 함량을 보였는데 이는 벼-보리 이모작을 위해 수확 후 부산물을 태우기 때문에 유기물 축적이 부족하기 때문으로 추정되었다. 그리고 인산과 칼륨의 경우 높은 함량을 나타내었는데 이는

복합비료를 사용할 때 질소량을 기준으로 환산하여 시용량을 결정하기 때문에 인산과 칼륨이 동반적으로 다비되었기 때문이다. 규산의 경우는 정부에서 지급되는 규산질 비료를 다량 시비하기 때문에 그 함량이 높게 나타났다고 판단하였다. 결과적으로 유기물 함량이 낮고 규산 함량이 높았으므로 유기물과 규산함량을 이용해 구해지는 질소시비 추천량은 높게 나타나게 되고, 인산과 칼륨의 함량이 높기 때문에 인산과 칼륨의 시비 추천량은 낮게 나타나게 되었다.

Table 3-2. Chemical properties of the soil before seeding and transplanting

	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	K (cmol kg ⁻¹)
Field 1	22.1*	142	96.3	0.28
	11.4-34.3**	96-187	30.0-158.0	0.17-0.57
Field 2	26.1	393	170.2	0.24
	16.0-35.5	302-504	43.3-296.7	0.13-0.40
Field 3	27.2	201	79.0	0.30
	17.5-35.5	73-289	41.1-113.9	0.18-0.45

* : mean ** : range

3. 결과 및 고찰

가. 변량시비 처리 및 비료절감효과

대조구의 기비와 분얼비 시비량을 합산한 값과 변량시비 처리구의 토양 검정에 의한 작물별 시비량 결정 방법에 따른 질소와 칼륨의 기비와 분얼비 시비량을 비교해 보았으며(표 3), 포장에 따른 구획별 시비량에 따라서 포장별 질소의 시비 추천량 지도(그림 2)와 칼륨의 시비 추천량 지도를 작성하였다(그림 3). 질소비료의 경우는 시비량 결정요인인 규산과 유기물 함량 중 규산함량이 100mg/kg이상으로 높고, 유기물 함량은 2%대의 값을 보였기 때문에 평균값이 표준 시비량인 11kg/10a보다 높게 나타났다. 인산의 경우는 포장 내 인산 함량이 대부분 100mg/kg이상의 값을 보였기 때문에

인산은 과도한 것으로 판단해 시비처리를 하지 않았으며, 칼륨의 경우는 포장별로 차이가 나타나긴 했지만 대조구의 평균 시비량에 비해서 크게 적은 시비량을 나타냈다.

각 포장별로 사용된 기비와 분얼비의 최소 투입량과 최대 투입량의 차이는 10a 기준으로 질소는 최소 1.92kg, 최대 2.41kg, 칼륨은 최소 4.06kg, 최대 5.73kg의 분포가 나타났다.

Table 3-3. Nitrogen and potassium fertilizer recommendation and used amount of basal and topdressing at tillering stage

		Amount of fertilizer application (kg/10a)					
		Field 1		Field 2		Field 3	
		N	K	N	K	N	K
Control		10.9	8.8	10.9	7.3	17.5	5.6
VRT	mean	9.05	1.39	8.69	2.12	8.57	0.89
	range	7.81-10.22	0-4.31	7.69-9.76	0-5.73	7.69-9.61	0-4.06

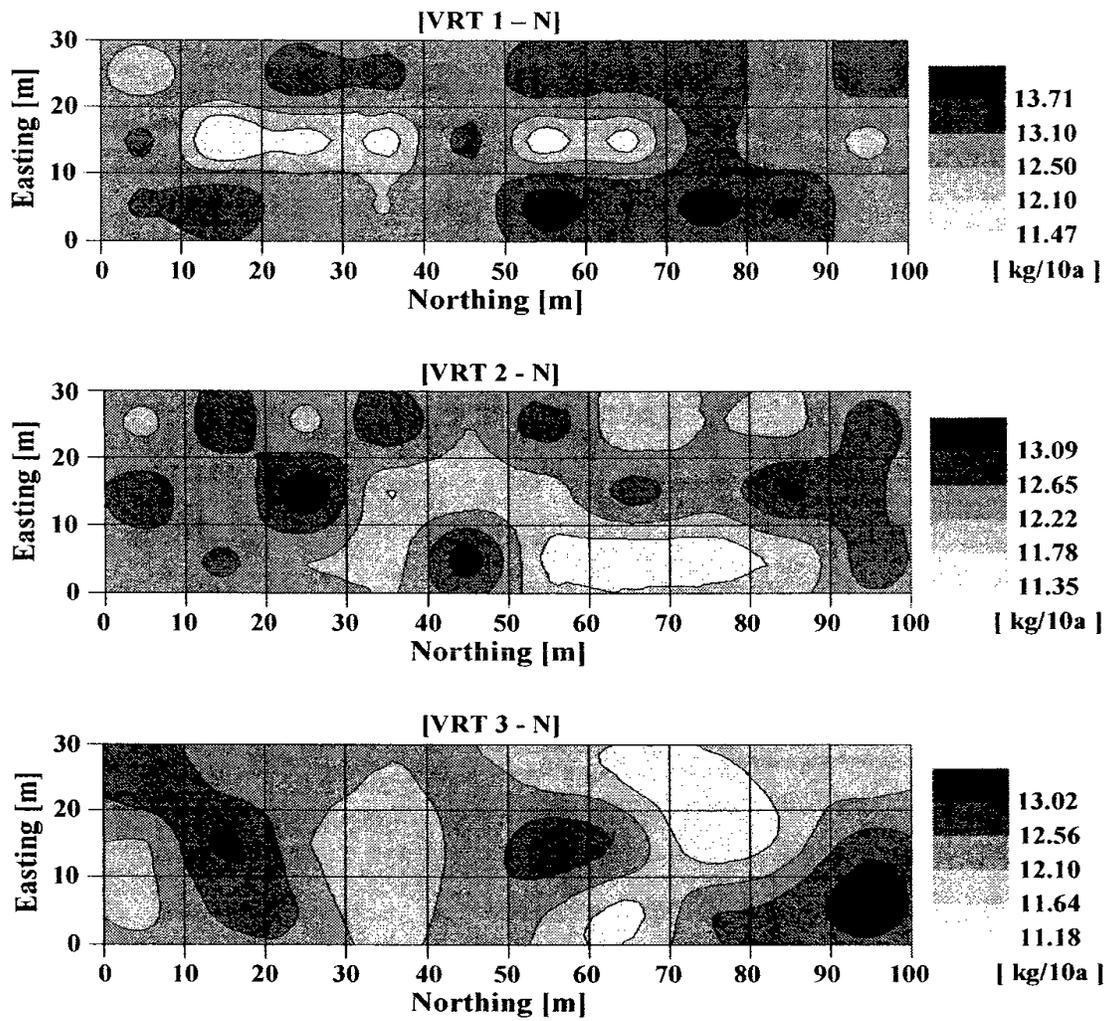


Fig. 3-2. Maps of nitrogen fertilizer recommendation based on soil chemical analysis.

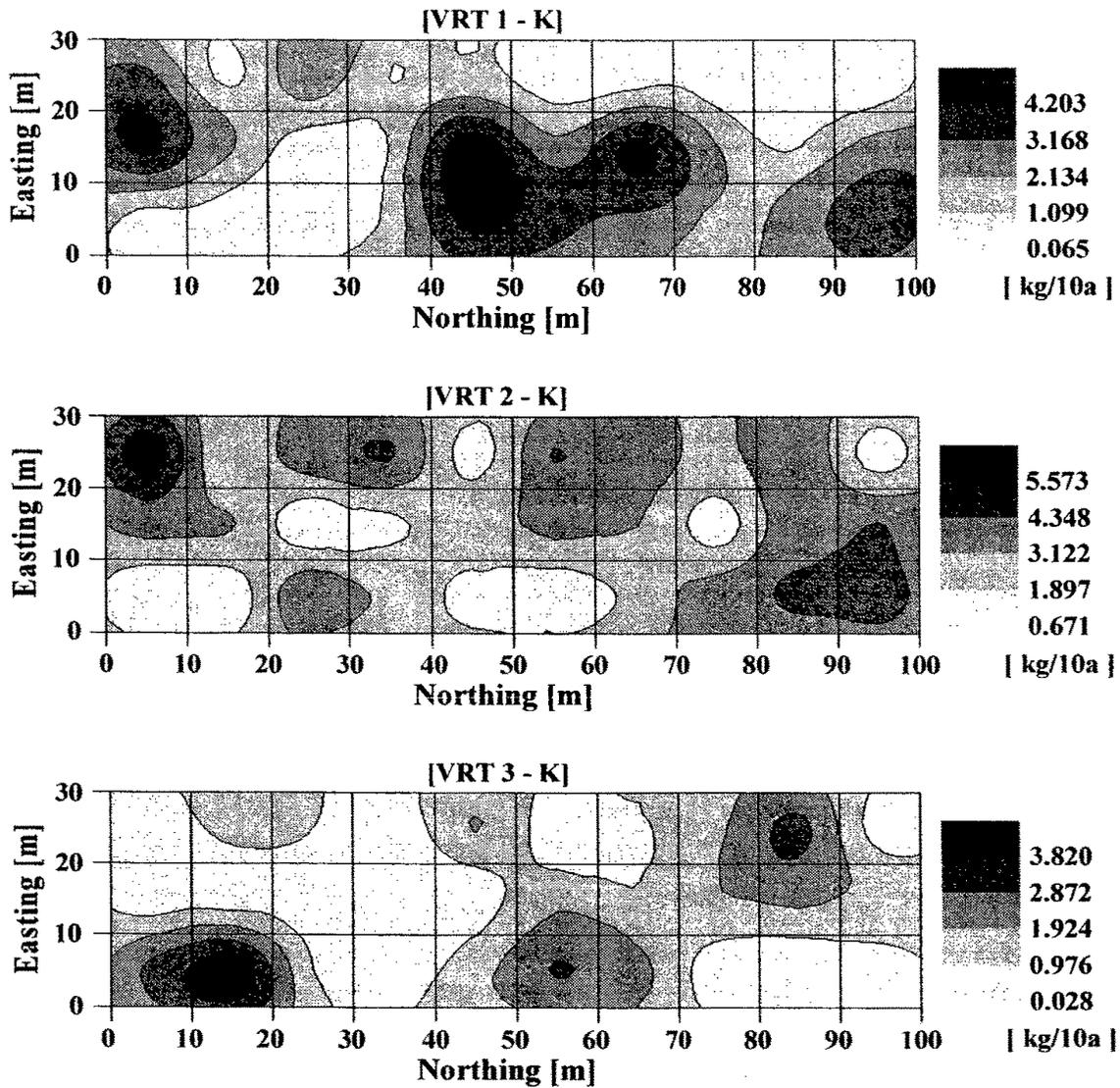


Fig. 3-3. Maps of potassium fertilizer recommendation based on soil chemical analysis.

포장별 질소 수비 시비량 결정 요인으로는 field 1, 2, 3에 각각 엽록소 함량, 엽면적 지수, 엽록소 함량에 엽면적지수를 곱한 값을 사용하였으며(표 4), 포장별로 시비량 결정 요인과 시비 추천량 지도를 작성하였다(그림 4, 5, 6). 본 연구에서는 수비 시용 시의 시비 추천량을 수비 시용 이전의 벼 생육정보를 이용하여 결정하였는데, 이제까지 밝혀진 중간 생육과 수량과의 관계를 조사했을 때 식물체의 엽면적과 엽록소 함량

이 수량과의 관계가 밀접하였기 때문에 각 포장의 구획별로 엽면적지수와 엽록소 함량을 측정하였다. 그 후 수확시기의 목표치를 엽면적지수는 5, 엽록소 함량은 450, 엽면적지수와 엽록소 함량의 곱은 2500으로 설정한 후 목표치와 측정치의 차이가 클수록 목표치 도달을 위해서 시비량을 증가시켜야 한다는 이론으로 목표치와 포장내 평균 측정치의 차와 목표치와 각 구획 측정치의 차를 비례식을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 (\text{목표치} - \text{포장내 평균 측정치}) : \text{표준 시비량}(3.3\text{kg}/10\text{a}) = \\
 (\text{목표치} - \text{구획별 측정치}) : \text{추천시비량}(\text{kg}/10\text{a})
 \end{aligned}$$

시비량 평균은 시비추천량 계산식이 표준시비량과 결정요인의 평균값을 기준으로 계산되었기 때문에 3.3kg/10a로 일정하였으며, 각 포장별로 10a당 최소 1.29kg에서 최대 2.51kg까지의 차이를 나타냈다. 보다 정확한 생육 정보를 통한 시비추천을 위해서는 생육 모델링 등을 통한 정확한 질소비료 시비 추천량 개발이 필요할 것으로 생각된다.

Table 3-4. Decision factor for additional N fertilizer and recommendation amount of N topdressing at panicle initiation stage

Plot		VRT 1	VRT 2	VRT 3
Fertilizer decision factor		CM	LAI	LAI × CM
Decision factor	mean	188.05	2.80	882.97
	range	137.11-239.31	1.99-3.66	552.94-1289.94
Used amount of fertilizer	mean	3.30	3.30	3.30
	range	2.65-3.94	2.01-4.52	2.47-3.97

*CM : Chlorophyll meter value LAI : Leaf area index

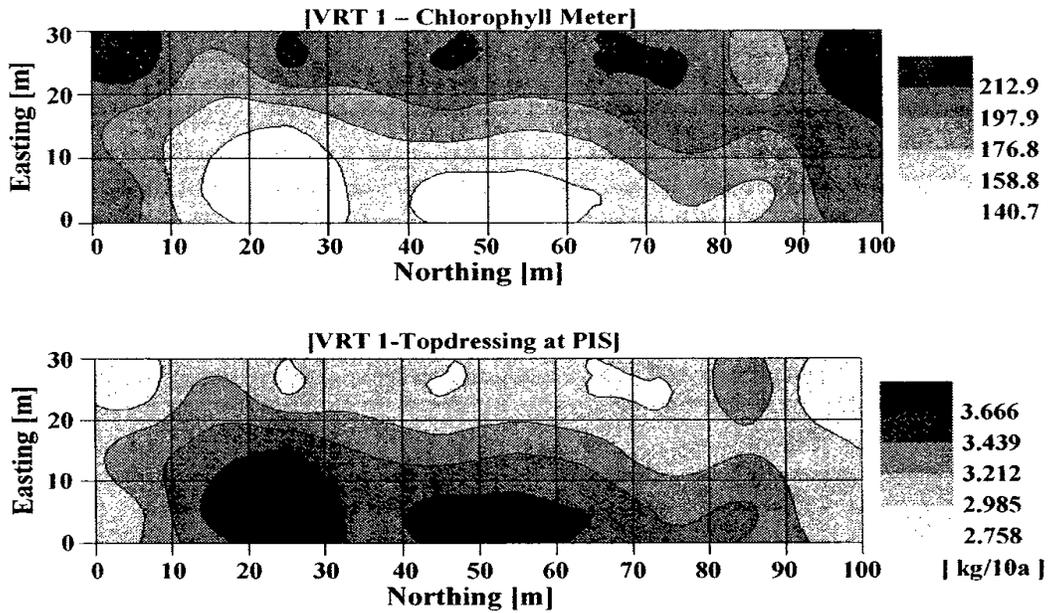


Fig. 3-4. Maps of chlorophyll meter value and N fertilizer used amount of topdressing at panicle initiation stage in VRT 1.

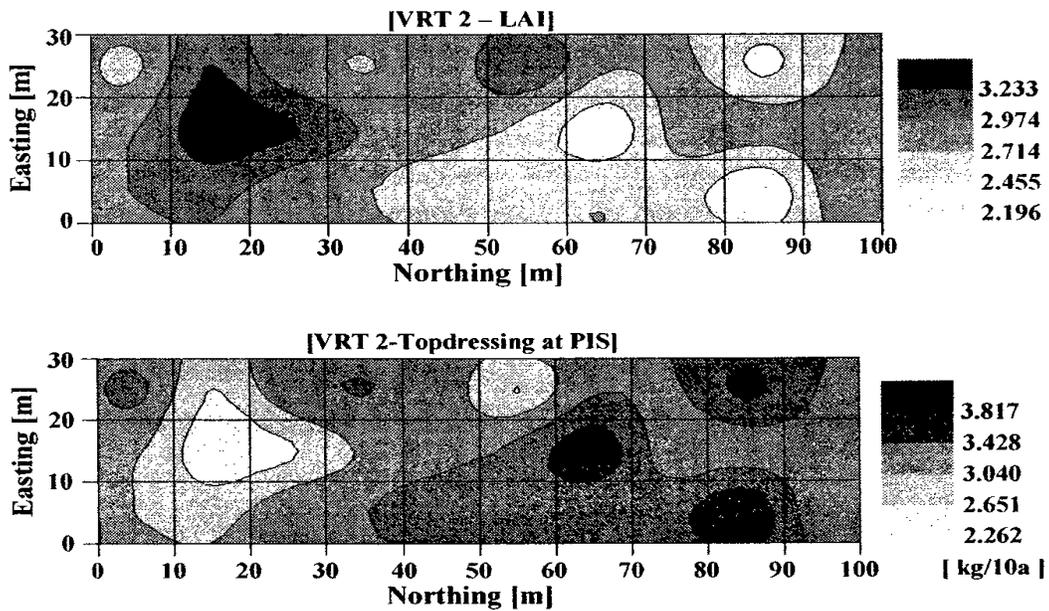


Fig. 3-5. Maps of LAI and N fertilizer used amount of topdressing at panicle initiation stage in VRT 2.

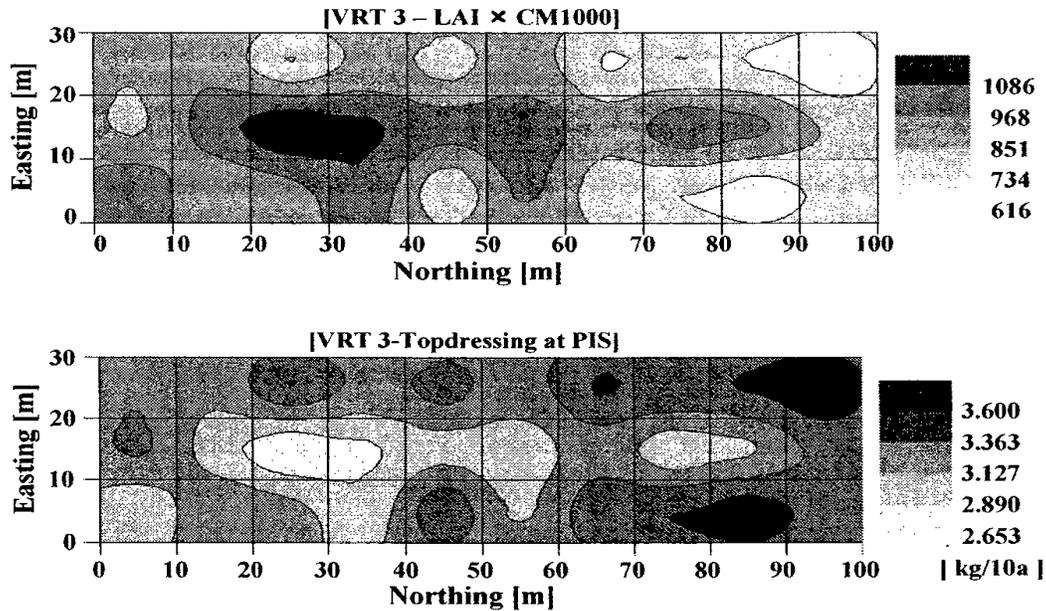


Fig. 3-6. Maps of LAI×CM and N fertilizer used amount of topdressing at panicle initiation stage in VRT 3.

지금까지 나타난 대조구와 변량시비 처리구의 기비, 분얼비, 수비의 포장별 평균 시비량을 종합해 정리하면 표 5와 같다. 각 field의 대조구와 변량시비 처리구의 시비량을 비교해 보면 field 1에서는 10a 기준으로 N-P-K 각각 0.95-8.8-5.7kg, field 2에서는 3.71-7.3-3.47kg, field 3에서는 5.63-5.6-3.0kg의 차이로 변량시비 처리구의 시비량이 적게 나타났으며, 이는 곧 각 field별로 변량시비 처리를 통해 절감할 수 있었던 비료의 양이다.

결과적으로 이 연구에서 이용된 토양 검정에 의한 기비 및 분얼비 시비추천량과 벼 생육상태를 통해 추정된 수비 시비추천량을 이용했을 경우 토양의 이화학적 특성과 비료 성분에 따라서 차이가 나타나지만 일반적으로 작물시험장 등의 표준 시비량과 큰 차이가 없거나 적게 나타났지만, 일반 농가의 관행적 시비체계와 비교하였을 때는 큰 수준의 비료 절감 효과를 얻을 수 있었다.

Table 3-5. Fertilizer application of each plot

Application timing	Fertilizer	Amount of fertilizer (kg/10a)					
		Field 1		Field 2		Field 3	
		Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT
Basal	N	10.9	4.53	10.9	6.21	10.3	6.12
	P	8.8	0	7.3	0	5.6	0
	K	8.8	1.39	7.3	2.12	5.6	0.89
TS	N	0	4.52	0	2.48	7.2	2.45
PIS	N	2.4	3.3	4.8	3.3	0	3.3
	K	0	1.71	0	1.71	0	1.71
Total	N	13.3	12.35	15.7	11.99	17.5	11.87
	P	8.8	0	7.3	0	5.6	0
	K	8.8	3.1	7.3	3.83	5.6	2.6

* TS: Tillering stage PIS: Panicle initiation stage

나. 생육 및 수량

1) Field 1

직파재배가 이루어진 field 1에서는 10a 기준으로 N-P-K 각각 0.95-8.8-5.7kg의 비료 절감이 이루어졌다. 감소 비율은 변량시비 처리구에 시비를 하지 않은 인산을 제외하고 질소가 7.1%, 칼륨이 64.8%로 나타났다. 2모작으로 인해 늦은 시기에 직파를 하였고, 봄철의 잦은 강우와 낮은 기온으로 인하여 초기 생육이 좋지 않았고, 이로 인해 이앙이 이루어진 다른 포장에 비해 중간 생육이 부진했으며, 직파재배의 약점으로 인하여 9월의 태풍에 의해 전 포장에 걸쳐서 도복이 심하게 나타났다.

Field 1의 대조구와 변량시비 처리구의 각 구획별 출수기 초장, 분얼수, 건물중, 엽록소 함량, 엽면적지수의 값과 정조 수량을 측정하여 최소, 최대, 평균값과 표준편차, 변이계수의 통계수치를 구하였고(표 6), 대조구와 변량시비 처리구의 각 생육정보와 수량 정보를 이용해 상관분석을 실시하였다(표 7, 8). 또한 대조구와 변량시비 처리구

포장의 구획별 출수기 생육정보와 수량 정보를 기초로 GS+ 프로그램을 이용해 크리깅 기법을 통해 생육량 및 수확량 분포도를 작성하였다(그림 7, 8).

Field 1의 출수기 생육량을 보면 엽면적지수의 경우 대조구가 높았지만 나머지 항목의 평균값은 비슷했으며, 수량의 경우는 오히려 변량시비 처리구가 10a 기준으로 23.1kg 높은 것으로 나타나 4.3%의 증가를 보였다. 수비 시용시의 목표 값으로 사용된 엽면적지수의 경우 대조구는 목표 값이었던 5에 가깝게 나왔지만, 변량시비 처리구는 4를 약간 넘는 수치를 보였다. 이는 출수기 조사 이후로도 엽면적 지수는 약간 증가하며, 수량이 비슷하게 나온 것으로 보아 출수기의 엽면적 지수 차이는 크지 않은 것으로 판단되었다. Field 1의 경우는 농가의 질소 시비량과 변량시비 처리구의 질소 시비량에서 차이가 가장 적게 나타났기 때문에 출수기 생육량의 평균값에서 큰 차이가 나타나지 않았다.

포장 내 변이를 나타내기 위해 구한 표준편차와 변이계수 값을 보면 초장 값에서 변량시비 처리구의 변이가 적은 것으로 나타났고, 나머지 항목들에 있어서는 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 엽면적지수의 변이가 감소하지 않아 시비량 결정시의 목표 값이나 계산식을 수정해야 할 것으로 판단되었다. 수량의 경우는 변량시비 처리구의 변이계수가 약간 작은 수치로 나타났는데, 이는 직파포장의 포장내 수량 변이계수가 일반적으로 10 이상의 값을 보인다는 사실에서 유추하여 볼 때, 변이가 적은 것으로 판단되었다.

상관 분석 결과를 봤을 때 대조구와 변량시비 처리구 모두 건물중과 분얼수가 높은 상관관을 보이는데 이는 직파재배의 특성상 분얼이 많을수록 건물중이 많아졌기 때문으로 판단된다. 대조구 수량은 생육량과 유의한 상관관을 나타내지 않았으며, 건물중과 분얼, 초장, 엽록소 함량 등에서만 상관관이 나타났는데, 직파재배시의 수량이 건물중과 분얼 등과 상관관을 나타내는 경향과 일치하지 않았다. 이는 도복에 따른 일정 지점의 수량 감소에 따른 것으로 추측되었다. 변량시비 처리구 수량의 경우는 건물중, 시비량과의 상관관이 나타났는데 변량시비 처리의 효과를 보기 위해서는 시비량이 많은 곳과 적은 곳의 생육 및 수량의 변이가 적어야 하는데 시비 처방이 많은 곳에 수량이 많이 나타난 점으로 미루어 포장내의 도복으로 인한 오류이거나, 엽면적지수를 이용해 구한 시비량 추천이 포장에 적합하지 않았던 것으로 판단되었다.

지도를 통해 보았을 때 대조구의 경우 생육량과 수량의 지도 구성에 유사점이 나타

나지 않는데 이는 도복에 의해서 포장내의 생육변이와 수량변이가 변화하였기 때문으로 판단되었으며, 상관분석 결과가 높게 나타났던 건물중과 엽록소 함량의 경우 지도상의 유사점도 발견할 수 있었다. 변량시비 처리구의 경우도 상관관계가 나타났던 건물중과 수량지도가 정확하진 않았지만 어느 정도 유사한 형태를 보였다.

Field 1에서의 변량시비 처리는 수량의 감소가 없었기 때문에 비료절감 효과를 확실히 나타냈다고 볼 수 있었지만, 포장내의 수량 변이의 감소를 이루지 못하였다. 이는 도복에 의한 오류인지, 시비량 결정의 영향인지에 대한 검증이 필요할 것이고, 평균적인 시비량은 적당하지만, 구획별 시비량을 계산하는데 있어서는 어느 정도의 보완이 이루어져야 할 것으로 판단할 수 있었다. 특히 직파의 경우 이앙재배와 차이가 나타나기 때문에 직파에 적합한 생육정보를 통한 시비량 결정 방법이 개발되어야 할 것이다.

Table 3-6. Statistical parameters of growth characteristics and yield in field 1

	Plant Height		Tiller No.		Dry Weight		CM		LAI		Yield	
	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT
Min	78.00	77.17	13.00	15.33	13.43	21.03	250.9	262.3	3.58	2.98	424.9	480.4
Max	92.33	88.00	26.00	26.33	33.62	38.73	382.6	398.2	5.96	4.96	623.3	675.8
Avg	84.40	82.98	20.00	19.64	26.56	27.99	305.5	319.6	4.80	4.06	541.9	565.0
SD	3.59	2.21	2.68	2.55	3.69	3.90	33.46	36.03	0.57	0.53	50.78	51.84
CV	4.25	2.66	13.40	13.00	13.91	13.92	10.95	11.27	11.79	12.97	9.37	9.17

* CM: Chlorophyll meter value LAI: Leaf area index

SD: Standard deviation CV: Coefficient of variation

Table 3-7. Correlation coefficients between growth characteristics in control 1

	PH	Tiller No.	DW	CM	LAI	Yield
PH	1.0000					
Tiller No.	0.4589*	1.0000				
DW	0.5004**	0.8006**	1.0000			
CM	0.3962*	0.4041*	0.4888**	1.0000		
LAI	0.3652*	0.4498*	0.2233	0.2056	1.0000	
Yield	-0.0267	0.0213	0.0731	-0.2115	-0.0783	1.0000

* PH : Plant height DW : Dry weight CM : Chlorophyll meter value

Table 3-8. Correlation coefficients between growth characteristics in VRT 1

	PH	Tiller no.	DW	CM	LAI	Fertilizer	Yield
PH	1.0000						
Tiller no.	0.2310	1.0000					
DW	0.3322	0.7917**	1.0000				
CM	0.5601**	0.1436	0.1100	1.0000			
LAI	0.2194	-0.1004	-0.2216	0.3404	1.0000		
Fertilizer	0.0468	0.0339	0.1061	-0.0444	-0.0260	1.0000	
Yield	0.0653	0.1883	0.3775*	-0.0655	-0.2218	0.5655**	1.0000

* PH : Plant height DW : Dry weight CM : Chlorophyll meter value

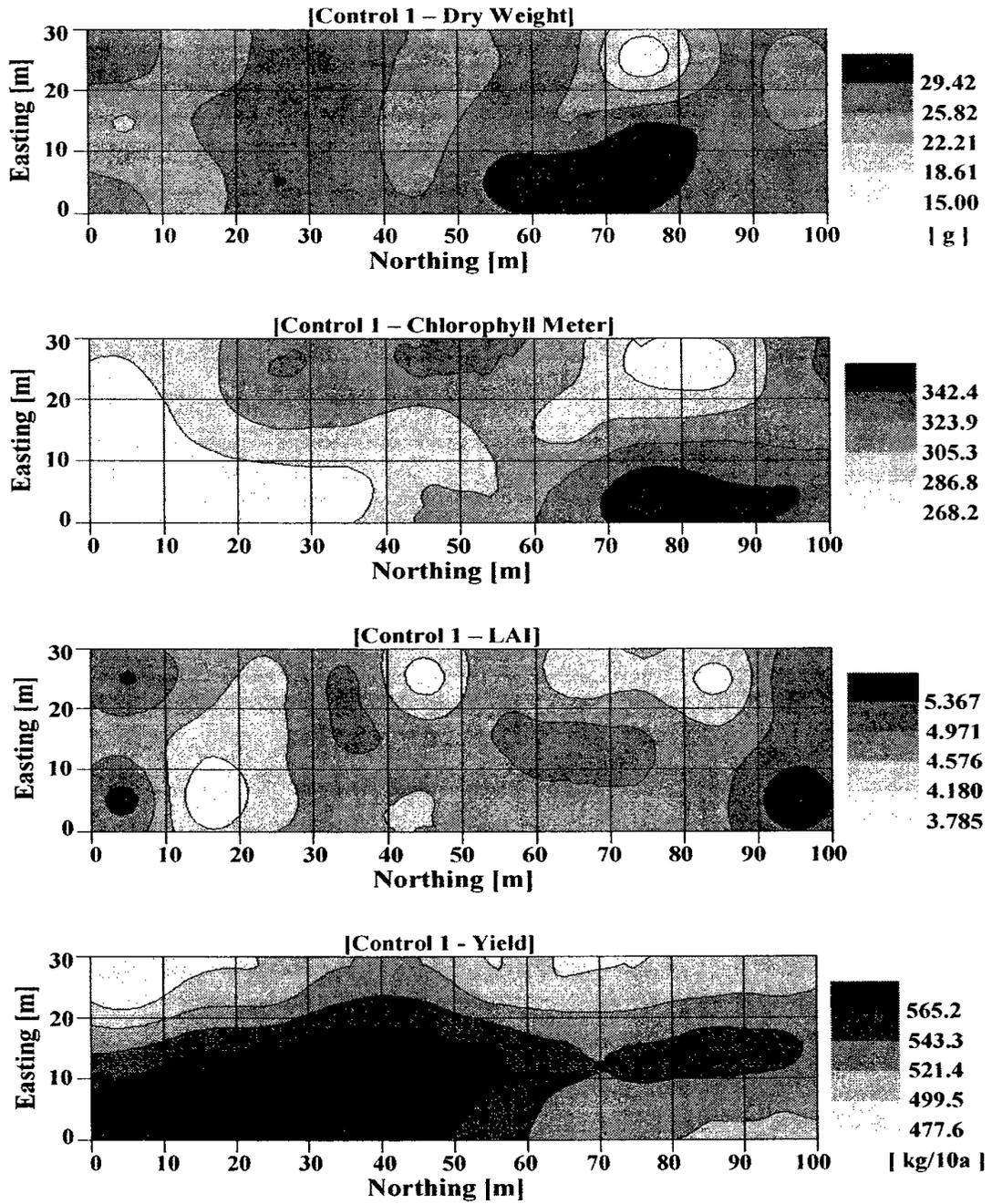


Fig. 3-7. Maps of growth characteristics and yield in control 1.

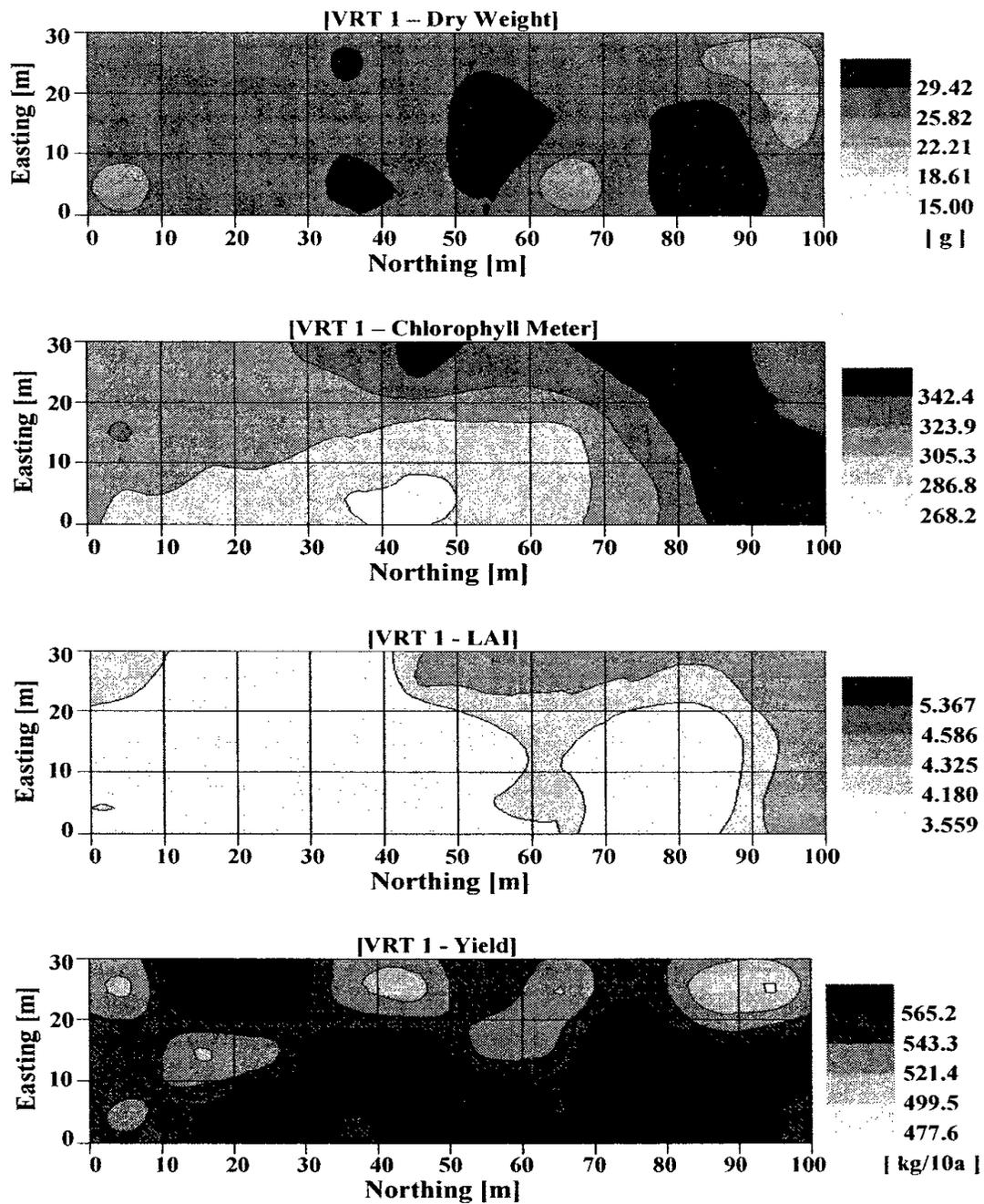


Fig. 3-8. Maps of growth characteristics and yield in VRT 1.

2) Field 2

기계이앙을 통해 재배가 이루어진 field 2의 경우는 N-P-K = 3.71-7.3-3.47kg 수준의 시비량 절감이 10a 단위에서 이루어져서 질소와 칼륨에서 각각 23.6%와 47.5%의 감소율을 나타냈다. 농가의 관리 및 병충해 방제가 안정적인 편이어서 병해충 피해나 도복피해 없이 재배기간 동안 가장 안정적인 생육을 나타냈고, 수량도 세논가 중 가장 높게 나타났다. Field 2의 경우는 수확량 측정 시 예취 후 무게 측정을 하지 않고 농진청 농업기계화연구소에서 개발하고 있는 수확량 모니터링 시스템을 이용하였기 때문에 지점별 데이터가 방대하고 약간의 기계적 오차가 존재하기 때문에 데이터 정리 상에서 변이 및 오차가 크게 나타나게 되었고, 그로인해 수량의 포장 내 변이가 크게 나타났다. 이는 추후 모니터링 시스템을 이용한 수량정보의 보정기술 확립을 통해서 오차를 줄일 수 있을 것으로 보인다.

Field 2에서도 초장, 분얼, 건물중, 엽면적지수, 엽록소 함량에 대한 출수기 조사 값과 수량에 대한 평균, 표준편차 등의 통계적인 수치를 구했다(표 9). 그리고 대조구와 변량시비 처리구의 각 구획별 생육량 및 수량의 상관분석도 수행하였으며(표 10, 11), 각 포장의 건물중, 엽록소 함량, 엽면적지수, 수량의 분포 지도는 그림 9와 10에서 볼 수 있다.

Field 2의 출수기 생육량 평균값에서는 대조구가 변량시비 처리구보다 모든 항목에서 높은 값을 나타내는 것을 볼 수 있으며, 수량의 경우도 대조구가 변량시비 처리구에 비해서 10a당 14.3kg이 높게 나타나서 2% 정도의 감소율을 나타냈다. 그러나 출수기 생육량의 차이와 수량의 차이를 비교해보면 그 차이가 현저하게 감소하였음을 알 수 있으며, 질소비료의 감소율에 비해서는 매우 적은 수치의 수량 감소였다. 이를 통해 수비 시용시의 변량시비 처방이 생육량에서 크게 나타났던 차이를 수량에 있어서는 어느 정도 줄일 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

포장내 변이는 초장과 엽록소 함량에서 대조구의 변이가 매우 크게 나타났으며, 이외의 사항에 대해서는 변이의 차이는 크지 않았다. 근적외선 분광법을 이용해 측정된 엽록소 함량의 경우는 목표치로 설정한 400에 전혀 못 미치는 값을 대조구와 변량시비 처리구에서 보여주고 있는데 이는 측정에 사용한 field scout CM-1000 chlorophyll meter의 측정치가 기상 상황에 따라서 크게 변동하기 때문으로 엽록소 함량이나 잎의 녹색 정도를 이용해 시비추천을 하기 위해서는 기상 상황에 따른 변화가 적고 품종별

차이가 적게 나타나는 측정기기의 이용이 필요할 것이다. 그러나 변량시비 처리구의 엽록소 함량의 포장내 변이가 대조구에 비해 크게 작은 것으로 보아 엽록소 함량을 이용한 변량시비는 포장내에서 효과를 거둔 것으로 판단할 수 있었다.

수확량 모니터링 시스템을 이용해 측정한 수확량 정보는 한 포장내에 수 만개 이상의 지점별 수량이 나타나는데 이를 보정을 거쳐 각 구획별로 정리한 후에 평균하여 포장내 구획별 수량을 얻었다. 이를 통해 얻어진 수량은 변이계수가 10 이상으로 다른 포장에 비해 상당히 높은 값을 나타냈는데, 데이터 정리방법의 보완을 통해 오차를 줄일 경우 포장내의 변이도 줄일 수 있을 것으로 예상되었으며, 포장내 전체 수확량의 경우는 정확하게 나타났으므로 신뢰할 수 있었다. 수확량 변이의 대조구와 변량시비 처리구간의 변이정도의 차이는 크지 않았다.

상관분석 결과에서는 대조구에서 초장과 엽록소 함량, 변량시비 처리구에서 분얼과 건물중간의 상관성이 나타났을 뿐 생육량간의 큰 유의성은 나타나지 않았다. 변량시비 처리구의 시비량과 생육량 및 수량간의 상관성은 전혀 나타나지 않아서 시비량이 많은 곳에 수량이 크게 나타나지 않을 것으로 보아 토양 및 생육정보를 통한 변량시비 처리가 어느 정도 효과적이었다고 평가할 수 있었다. 지도상으로 보이는 결과로는 대조구의 경우 엽록소 함량과 엽면적지수, 수량에서 아래쪽이 높은 값을 보이는 형태로 약간의 유사성을 나타내고 있으나, 변량시비 처리구는 공간의존도가 크지 않아서 지도상에서의 유사성은 발견할 수 없었다.

Field 2에서는 변량시비 처리구에 약간의 수량 감소가 나타났지만 시비량과 비교했을 때 매우 작은 수치였기 때문에 비료 절감 효과는 나타났다고 평가할 수 있고, 수비처방 기준으로 이용한 엽록소 함량의 포장변이가 감소해서 변량처리의 효과도 있었던 것으로 평가할 수 있다. 수량의 포장내 변이는 정확한 수확량 보정 후에 다시 평가하여야 할 것으로 판단되었다.

Table 3-9. Statistical parameters of growth characteristics and yield in field 2

	Plant Height		Tiller No.		Dry Weight		CM		LAI		YIELD	
	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT
Min	89.33	84.00	18.67	16.33	29.95	30.68	163.9	151.0	3.90	2.83	433.7	371.9
Max	107.0	92.33	24.33	21.33	40.66	39.54	384.6	219.9	6.32	5.04	1017.9	976.8
Avg	94.59	88.23	21.76	18.33	36.51	34.71	233.6	181.0	5.06	3.90	719.2	704.9
SD	4.37	2.17	1.50	1.37	2.48	2.19	61.47	16.50	0.61	0.51	114.77	112.75
CV	4.62	2.46	6.90	7.46	6.78	6.30	26.31	9.02	12.09	13.21	15.96	15.99

* CM: Chlorophyll meter value LAI: Leaf area index

SD: Standard deviation CV: Coefficient of variation

Table 3-10. Correlation coefficients between growth characteristics in control 2

	PH	Tiller No.	DW	CM	LAI	Yield
PH	1.0000					
Tiller No.	0.0397	1.0000				
DW	0.1184	0.2866	1.0000			
CM	0.3778*	-0.1297	0.3066	1.0000		
LAI	0.0038	0.2934	-0.1837	0.0000	1.0000	
Yield	0.1230	0.1094	-0.1875	0.0324	0.1033	1.0000

* PH : Plant height DW : Dry weight CM : Chlorophyll meter value

Table 3-11. Correlation coefficients between growth characteristics in VRT 2

	PH	Tiller no.	DW	CM	LAI	Fertilizer	Yield
PH	1.0000						
Tiller no.	-0.2246	1.0000					
DW	-0.2417	0.6732*	1.0000				
CM	0.1807	0.1747	0.0421	1.0000			
LAI	0.1509	0.0581	0.3378	0.0995	1.0000		
Fertilizer	0.1588	-0.2317	-0.0438	-0.0635	0.1575	1.0000	
Yield	-0.0515	-0.0430	-0.2071	-0.1683	0.1466	0.2024	1.0000

* PH : Plant height DW : Dry weight CM : Chlorophyll meter value

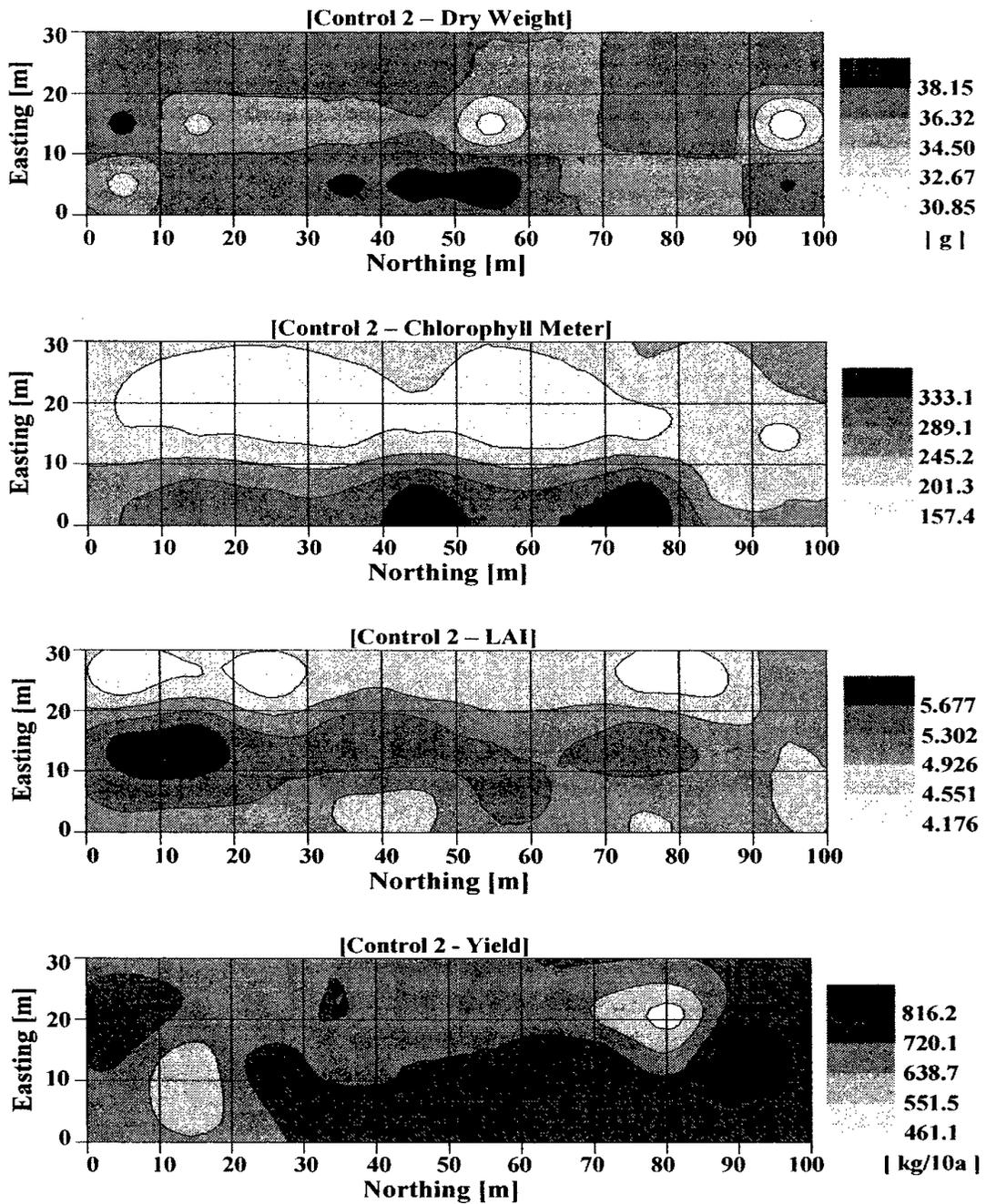


Fig. 3-9. Maps of growth characteristics and yield in control 2.

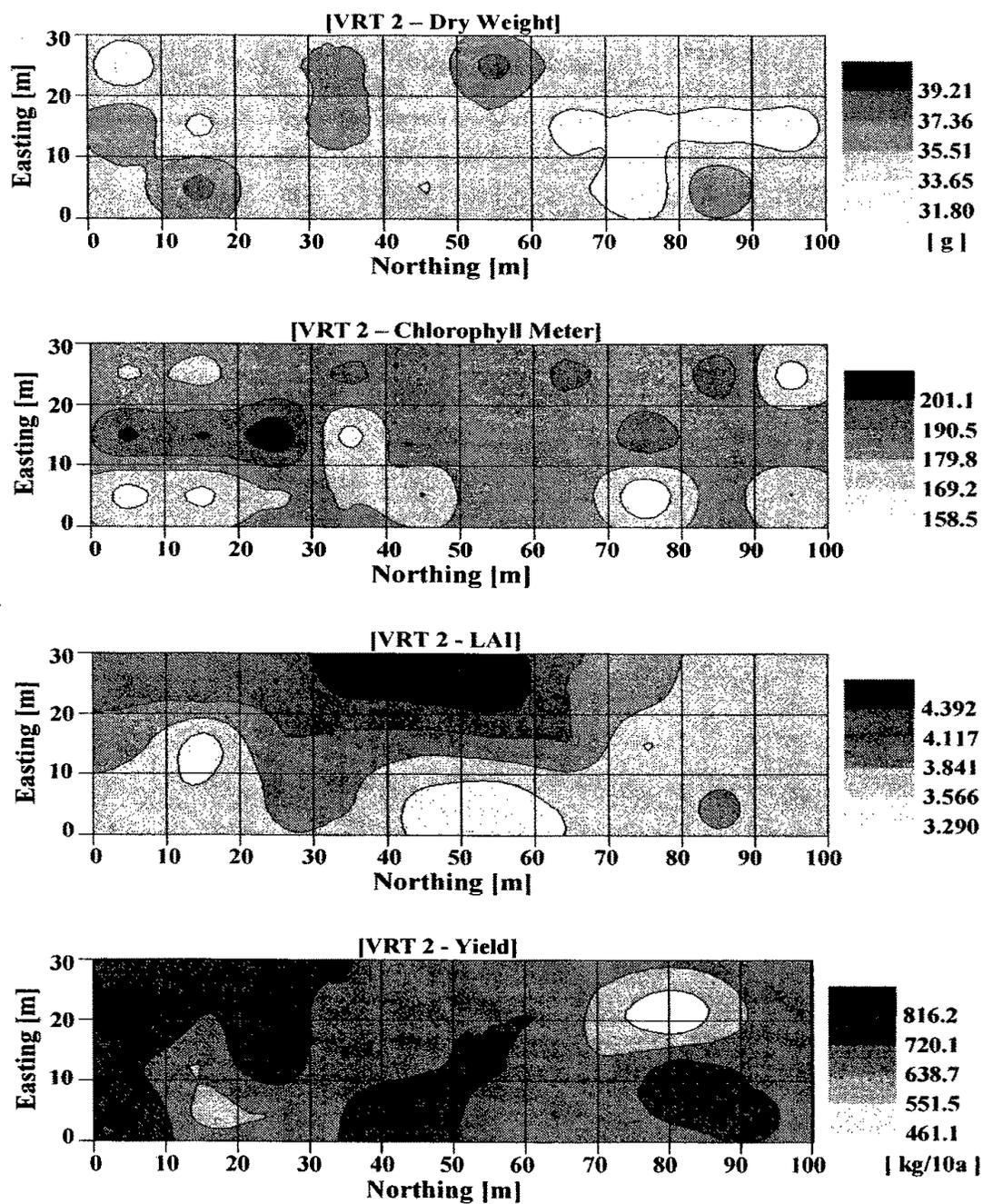


Fig. 3-10. Maps of growth characteristics and yield in VRT 2.

3) Field 3

Field 2와 마찬가지로 기계이앙 재배된 field 3의 경우는 10a당 N-P-K 각각 5.63-5.6-3.0kg 절비하여 질소와 칼륨을 각각 32.2%와 53.6% 절감할 수 있었으며, 세 field중에서 질소량에 있어서는 가장 큰 시비량 절감을 할 수 있었다. 대조구의 경우 분얼비에 질소를 다량 사용하고 수비를 생략하였으며, 여름철 태풍에 의한 도복 피해는 거의 없었으나 흑명나방에 의한 피해가 대조구와 변량시비 처리구의 일부분에 나타났다. 이로 인해 전체적인 수량에서는 field 2보다 적은 값을 나타냈다.

Field 3의 대조구와 변량시비 처리구의 출수기에 측정된 초장, 분얼, 건물중, 엽록소 함량, 엽면적지수와 수량정보의 평균값과 변이계수 등의 통계 수치를 구하였으며(표 12), 각 포장의 생육정보와 수량간의 상관분석을 실시하였다(표 13, 14). 또한 각 포장의 생육량 및 수확량 정보를 이용해 작성한 포장 분포도는 그림 11, 12에서 볼 수 있다.

Field 3의 경우는 대조구가 초장, 분얼, 건물중, 엽면적지수의 평균값에 있어서 높게 나타나고 있지만 field 2에 비해서 그 차이가 적게 나타났으며, 엽록소 함량의 경우는 변량시비 처리구가 크게 나타나고 있다. 변이 정도는 대조구와 변량시비 처리구에서 크게 차이가 나타나는 항목이 없었다. 특이한 사항으로는 이앙 시점이 가장 늦은데 비해 대조구의 엽면적지수가 세 field중 가장 높은 값을 나타내고 엽록소 함량이 적게 나타나고 있는데 이는 다른 농가와 달리 분얼비에 다량의 요소를 투입하고 수비를 생략했기 때문에 분얼이 많고 엽면적지수가 높으며, 비료성분이 떨어지는 시기기 때문에 엽록소 함량이 낮아지게 된 것으로 추정할 수 있었다.

수량의 경우는 변량시비 처리구가 3.4kg/10a 높게 나타나 0.5% 증가해 유의적 차이가 없었으며, 비료 절감에 따른 수량감소는 전혀 없었다고 판단할 수 있었으나, 수량의 변이계수는 대조구가 오히려 더 적게 나타났다. 그러나 수량의 최대값과 최소값의 차이는 변량시비 처리구가 작았으며, 변이계수의 차이도 크지는 않았다. 또한 일반적인 기계이앙 재배 포장의 수량의 변이계수가 4 이하면 매우 적은 값으로 볼 수 있기 때문에 변량시비 처리구의 변량시비 처리가 포장 내 변이 감소에 효과가 없었다고 보기 보다는 대조구의 변이가 이상적으로 적게 나타났다고 보는 것이 합당할 것이다.

상관 분석 결과를 보면 대조구의 경우 분얼과 건물중, 엽면적지수와 엽록소 함량간의 상관성이 나타났으며, 수량은 초장과의 상관만이 유의하게 나타났다. 변량시비 처리

구의 경우는 많은 수치들이 높은 상관관계를 나타내고 있는 것을 볼 수 있는데, 수량과의 상관관계를 살펴보면 초장, 분얼, 건물중, 엽면적지수, 엽면적지수 × 엽록소 함량 값이 0.1%오차 수준에서 높은 상관관계를 나타내고 있었다. 그리고 시비량과 생육 및 수량과의 상관관계가 전혀 나타나지 않은 것으로 보아 시비량이 많은 곳에 생육과 수량이 높게 나타나지 않았다고 볼 수 있다. 특히 수비 변량시비 결정에 이용한 LAI × CM값 간의 상관관계가 높은 것으로 나타나서 이 값을 이용한 수비 변량시비 결정이 효과적이었으며, 변량시비 처리 결과 포장내 생육 변이의 감소가 나타났다고 평가할 수 있었다.

이러한 경향은 지도상에서도 나타나서 변량시비 처리구의 생육량과 수량의 분포가 매우 유사함을 볼 수 있다. 건물중과 엽록소 함량, 엽면적지수와 수량의 분포도가 왼쪽으로 갈수록 높아지는 경향을 확실하게 나타내고 있다. 수량의 경우 오른쪽이 전체적으로 낮게 나왔는데 이는 흑명나방 피해에 의한 것이다. 대조구의 경우는 상관분석 결과에서 유의성이 나타난 엽록소 함량과 엽면적지수의 분포도가 약간의 유사성을 나타냈다.

Field 3의 경우는 변량시비 처리 후 수량의 감소가 전혀 나타나지 않았으며, 시비량과 생육량 및 수량간의 유사성이 나타나지 않았기 때문에 비료 절감과 변량시비의 효과가 확실하게 나타난 것으로 평가할 수 있다. 또한 포장내 수량의 변이도 일반적인 이양 포장에 비해서 적게 나타났고, 대조구에 비해 수량의 최대, 최소의 분포범위도 적게 나타났기 때문에 포장내의 수량 변이 감소에도 성공적이었다고 판단할 수 있었다.

Table 3-12. Statistical parameters of growth characteristics and yield in field 3

	Plant Height		Tiller No.		Dry Weight		CM		LAI		YIELD	
	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT
Min	86.33	77.33	18.67	15.33	30.50	29.30	120.3	188.6	3.81	2.75	651.8	657.2
Max	104.7	90.00	26.33	24.00	42.35	46.22	237.6	293.1	6.30	5.40	789.6	766.9
Avg	90.88	85.00	22.17	20.46	36.90	34.79	198.8	238.1	5.30	4.54	708.1	711.5
SD	3.64	3.10	2.01	2.03	3.24	3.45	25.90	25.89	0.61	0.59	27.82	29.40
CV	4.01	3.65	9.06	9.92	8.79	9.93	13.03	10.87	11.50	13.11	3.93	4.13

* CM: Chlorophyll meter value LAI: Leaf area index

SD: Standard deviation CV: Coefficient of variation

Table 3-13. Correlation coefficients between growth characteristics in control 3

	PH	Tiller No.	DW	CM	LAI	Yield
PH	1.0000					
Tiller No.	0.1248	1.0000				
DW	0.1589	0.5143**	1.0000			
CM	-0.2282	-0.0613	-0.0271	1.0000		
LAI	0.0906	-0.0866	0.0379	0.3933*	1.0000	
Yield	0.5949**	-0.0569	0.0296	0.0494	-0.0452	1.0000

* PH : Plant height DW : Dry weight CM : Chlorophyll meter value

Table 3-14. Correlation coefficients between growth characteristics in VRT 3

	PH	Tiller No.	DW	CM	LAI	Fertilizer	LAI×CM	Yield
PH	1.000							
Tiller No.	0.473**	1.000						
DW	0.467**	0.679**	1.000					
CM	-0.018	-0.188	-0.143	1.000				
LAI	0.572**	0.589**	0.508**	-0.070	1.000			
Fertilizer	-0.316	-0.176	-0.125	-0.016	-0.357	1.000		
LAI×CM	0.445*	0.345	0.305	0.597**	0.754**	-0.305	1.000	
Yield	0.625**	0.576**	0.491**	0.151	0.508**	-0.067	0.488**	1.000

* PH : Plant height DW : Dry weight CM : Chlorophyll meter value

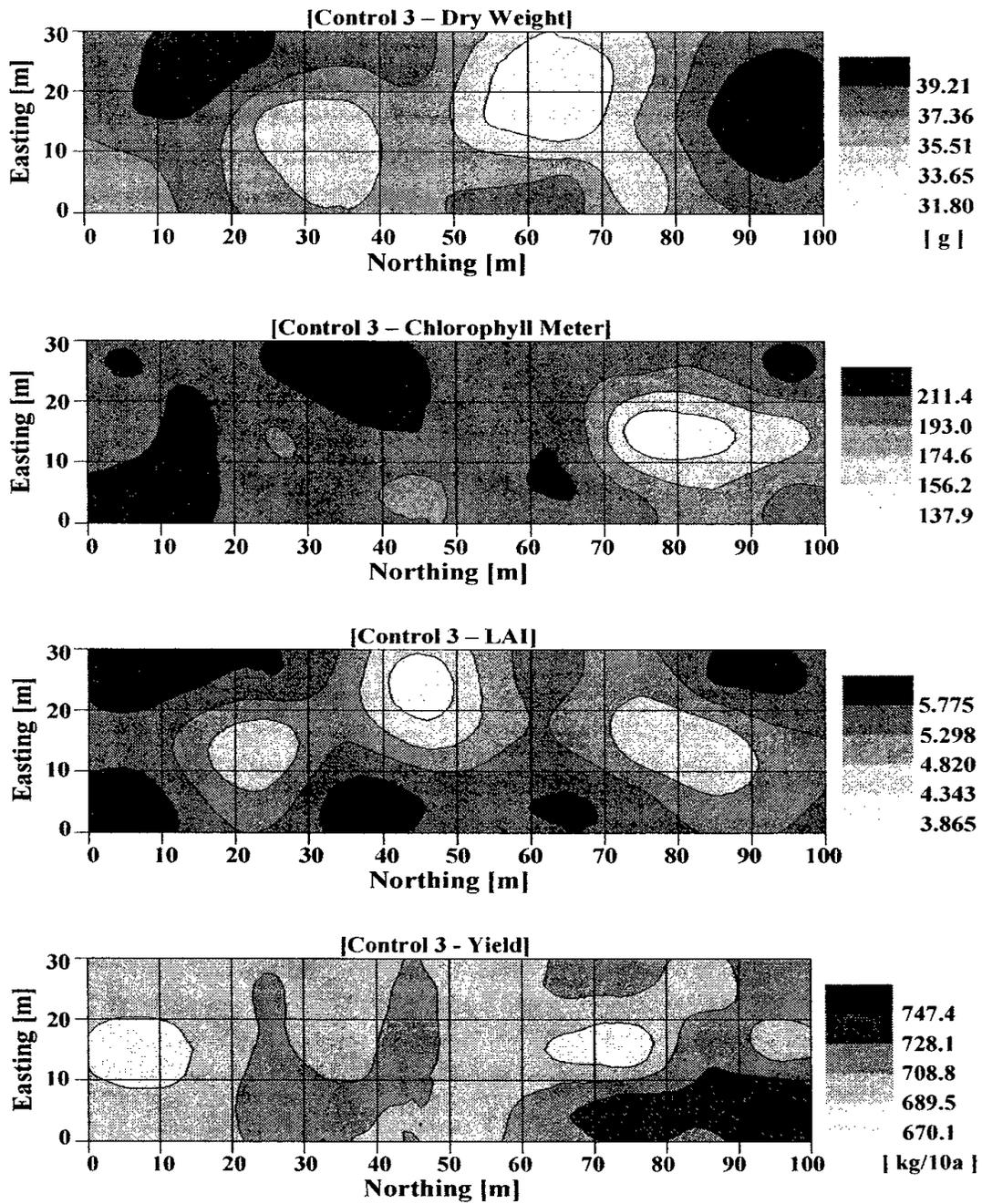


Fig. 3-11. Maps of growth characteristics and yield in control 3.

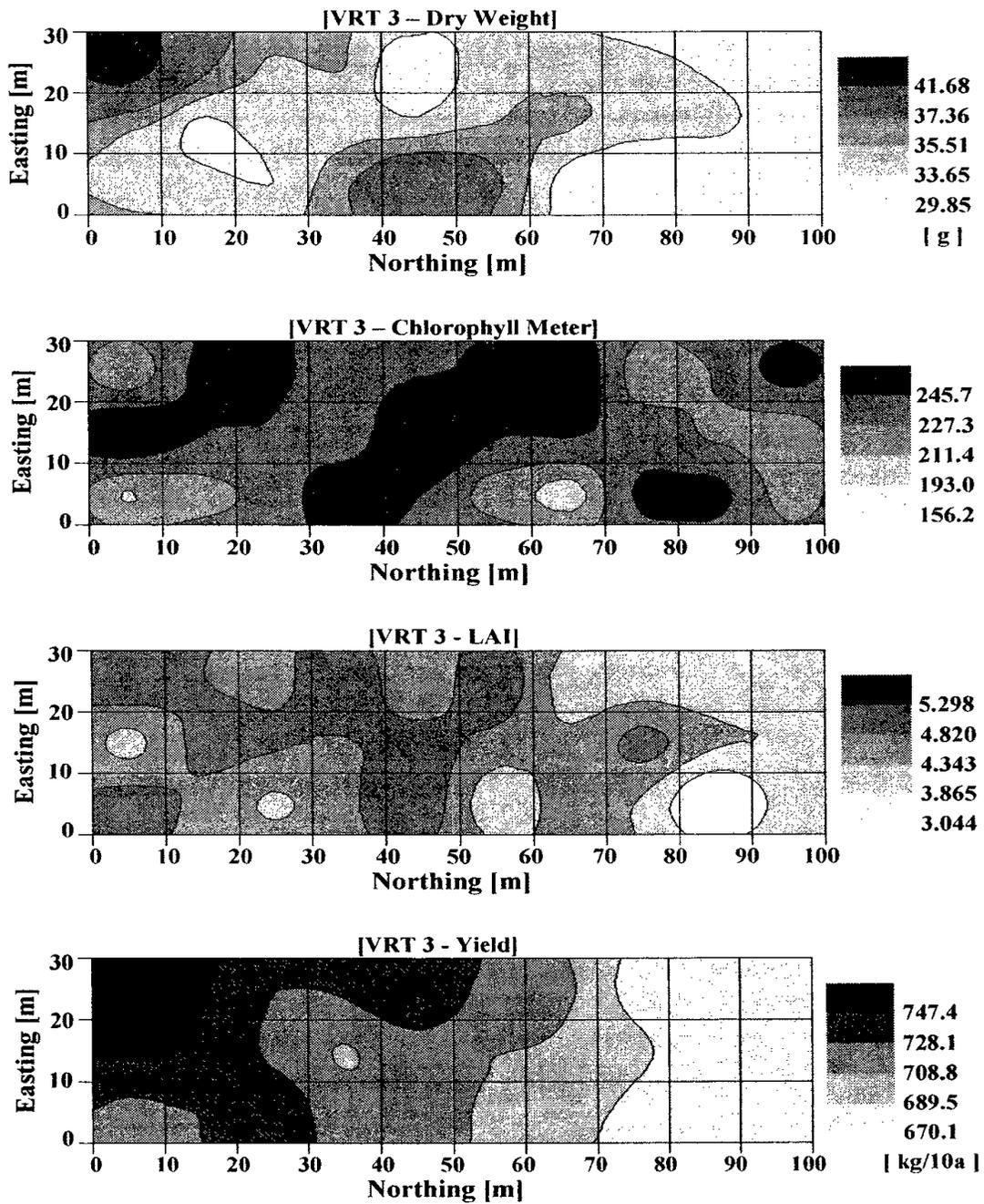


Fig. 3-12. Maps of growth characteristics and yield in VRT 3.

다. 침출수 Nitrate 함량 및 미질분석

Irrrometer를 사용해 추출한 토양수의 시기별, 포장별 nitrate 함량은 그림 13과 같은 분포를 보였다. 모든 포장에서 수비시용 후에 채취한 침출수까지는 함량이 높아지고 이후에는 다시 낮아지는 경향을 보이고 있다. 그러나 이앙 및 파종 후 20일 전후에 채취한 토양수의 nitrate 함량보다 수확 전에 마지막으로 채취한 토양수의 nitrate 함량이 높게 나타났다. 또한 포장별로 최초의 함량은 거의 비슷한 값을 보였지만, 수비시용 직후의 최대치와 수확 전의 함량은 차이를 보였다. 시비량에서 크게 차이가 나지 않는 각 field의 변량시비 처리구간에도 차이가 나타나는데 이는 포장내 변이 및 관개수에 의한 것으로 추측된다.

Field 1의 경우는 변화 경향과 값까지 대조구와 변량시비 처리구가 비슷한 모습을 보이고 있다. 이는 대조구와 변량시비 처리구 간의 질소 시비량 차이가 세 field중 가장 적었기 때문이며, 기비와 5엽기 시비량을 같은 35%로 했기 때문에 초기의 증가 기울기가 거의 일정하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 분얼비를 생략하고 기비와 수비만 시비한 대조구와 기비와 5엽기, 수비로 나누어 시비한 변량시비 처리구의 증가 양상이 같게 나타나는데 이는 초기 담수상태로 유지되는 이앙재배에 비해 5엽기까지 물을 깊이 대지 않는 직파의 특성으로 비료분이 토양내부로 하강하는 속도가 느리기 때문이다.

Field 2에서는 대조구의 nitrate 함량이 전 과정에 걸쳐서 높게 나타났다. 거의 일정한 기울기로 증가하는 대조구에 비해서 변량시비 처리구는 40일경에 기울기가 증가하는데, 이는 분얼비 시비에 따른 효과로 보인다. 또한 수비 사용량이 대조구 1이나 변량시비 처리구 2에 비해서 높기 때문에 출수기 부근의 감소정도가 적게 나타났다.

Field 3은 대조구에 분얼비를 다량 시비하였기 때문에 초반의 함량 증가정도가 매우 높고, 수비가 생략되어서 수비시용 시기의 함량 증가율이 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 분얼비 시비량이 매우 높았기 때문에 분얼비의 영향이 남아 다른 포장에 비해 농도 감소가 늦어졌다. 대조구와 변량시비 처리구의 차이가 적게 나타났는데 이는 토양의 영향으로 생각된다.

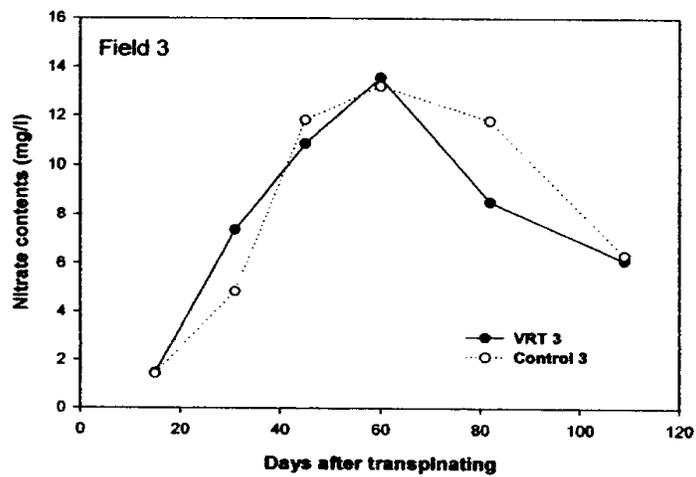
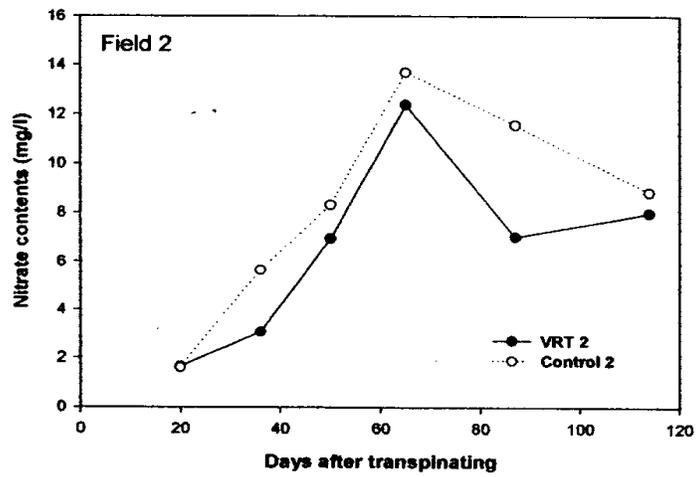
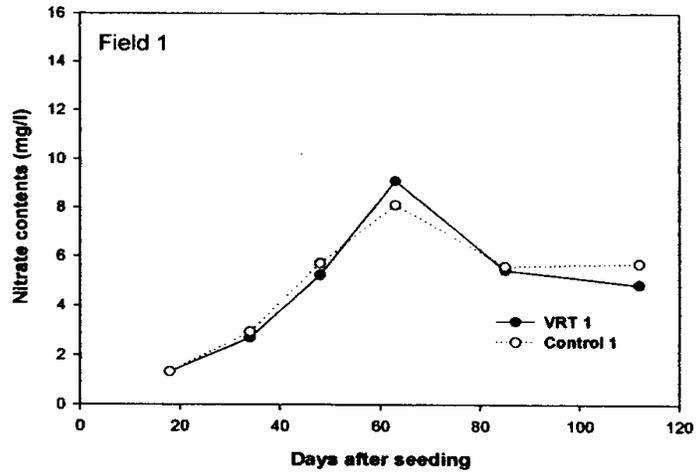


Fig. 3-13. Nitrate contents of soil infiltrated water

일반적으로 질소 시비량이 늘어나게 되면 곡물의 단백질과 아밀로오스 함량이 높아지게 되는데 단백질 함량이 높으면 식미에 비린 맛이 나게 되고, 아밀로오스 함량이 높아지면 찰기가 없어지기 때문에 미질은 떨어지게 된다. 국내 농가에서는 질소 비료를 일반적으로 과다하게 사용하기 때문에 수량은 늘어도 밥맛은 오히려 나빠지는 경향을 보이고 있는 것이다. 이에 변량시비를 통해 질소 시비량을 줄였을 때 미질에 있어서는 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해서 미질 분석을 수행하였다. 각 포장별로 곡물의 단백질과 아밀로오스, 지방산의 성분함량을 분석하였다(표 15). 각 field별로 결과를 보면 field 2의 단백질 함량을 제외하고는 모든 수치가 대조구에 비해서 변량시비 처리구에서 낮게 나타남을 알 수 있다. 일반적으로 단백질 함량과 아밀로오스 함량이 낮을 경우에 미질이 높은 것으로 판단하기 때문에 질소 시비량을 감소시킨 변량시비 처리구의 경우가 미질이 더 좋다고 볼 수 있을 것이다. Field별로 나타나는 차이는 포장내의 토양상태와 농가의 관리 차이에 의해 나타나는 것으로 추측되었다.

Table 3-15. Protein, amylose and fatty acid contents of rice grain

Component	Contents (%)					
	Field 1		Field 2		Field 3	
	Control	VRT	Control	VRT	Control	VRT
Protein	8.95*	8.392	8.45	8.71	6.87	6.47
	8.6-9.3**	8.6-9.2	8.4-8.6	8.6-8.8	5.65-8.7	5.6-6.8
Amylose	20.07	19.77	19.51	19.26	20.79	20.30
	20.0-20.1	19.7-19.8	19.4-19.6	19.2-19.3	19.7-22.3	20.0-20.9
Fatty acid	20.3	19.62	18.55	17.71	22.29	20.87
	20.1-20.5	19.1-20.0	18.0-18.9	17.3-18.1	19.9-27.6	19.9-23.1

* : mean ** : range

라. 수확 후의 토양특성

수확 후 변량시비 처리구 토양의 일반적인 토양 특성과 화학 성질을 조사하였다(표 16). pH는 6정도로 일반적인 논토양 pH에 비해서는 산성 정도가 낮았다. EC는 포장별

로 차이가 크게 나타났으며, 암모늄태 질소와 질산태질소 함량은 포장별 차이가 크게 나타나지 않았다. 유기물 함량은 변량시비 처리구 1, 2의 경우는 이양전보다 낮게 나타났는데 변량시비 처리구 3의 경우는 더 높게 나타나는 현상을 보였다. 인산은 포장별로 함량이 낮아졌지만 이양 전 함량이 가장 높던 변량시비 처리구 2의 함량이 수확 후에도 가장 높은 값을 보이는 등 같은 경향을 보였는데, 이는 인산시비 처리를 생략했음에도 불구하고 기존 토양에서 과다한 양을 함유하고 있었기 때문으로 판단되었다. 규산은 감소량이 매우 커서 식물체에 많은 양이 흡수되었음을 추측할 수 있었으며, 칼륨의 경우는 포장별로 흡수량의 차이가 크게 나타났는데 직파구인 변량시비 처리구 1의 경우가 감소량이 가장 크게 나타났다.

Table 3-16. Chemical properties of the soil after harvest

	pH	EC (ds m ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	K (cmol kg ⁻¹)
VRT1	6.0*	0.03	30.0	31.4	20.9	117	15.7	0.18
	5.7-6.4**	0.02-0.04	16.8-61.6	19.6-44.8	8.5-38.0	21-161	6.0-33.0	0.10-0.29
VRT2	6.6	0.06	33.3	31.9	23.5	180	68.0	0.23
	6.5-6.9	0.05-0.08	14.0-53.2	22.4-56.0	11.5-43.9	91-212	32.6-138.9	0.13-0.44
VRT3	6.5	0.05	29.0	29.3	34.8	159	21.1	0.29
	6.3-6.6	0.03-0.07	14.0-53.2	22.4-44.8	21.6-49.5	117-194	11.9-38.8	0.12-0.46

* : mean ** : range

4. 종합고찰

산업혁명 이후의 환경 악화와 지구환경 문제에 대한 관심이 극대화된 시대에서 농업역시 이전의 수량 증대 위주의 정책에서 점차 친환경적인 환경 보존형 농업 형태로의 발전이 요구되고 있다. 이에 따라서 지속적 농업이 대두되었으나 단순한 저투입에 따른 수량 감소 등의 문제에 직면하게 되면서 정확한 투입량을 산출이 필요하게 되었다. 이러한 요구에 따라서 1990년대에 미국에서 처음 등장한 것이 정밀농업이다. 정밀농업은 컴퓨터 전자기술의 농업에의 활용을 통해 발전하였으며, 생육과 수량의 모니

터링과 포장내 각 지점별로 적정 투입량을 산출하고, 그에 따라 처리하는 등의 기술 개발이 이루어져 왔다.

정밀농업의 기초 기술 중 하나가 변량시비기법으로 토양정보와 생육정보에 따라서 적정량의 시비량을 산출해 포장내 각 지점별로 산출된 시비량을 처리하는 것이다. 이는 시비에만 국한된 것이 아니라 파종, 약제 살포 등 생육 전반에 걸쳐서 이루어져야 하는 것이다. 변량시비에 대한 연구는 현재 미국과 유럽 등지에서 활발하게 이루어지고 있지만, 이들의 연구는 대부분 대규모 농지를 대상으로 하였으며, 대상 작물도 밀, 콩, 옥수수 등의 밭작물이었다. 논 포장에서의 변량시비에 대한 연구는 일부 일본에서 이루어지고 있지만 아직 확실한 결과를 얻지는 못하고 있는 실정이다. 이에 국내 벼 포장에의 토양검정에 따른 기비 변량시비와, 생육에 따른 수비 변량시비의 효과를 알아보고자 본 연구를 수행하였다.

벼 재배 농가별로 재배 방식이나 관리가 다르기 때문에 확실한 결과를 위해 각각 다른 세농가의 포장을 임대하여 연구를 수행하였다. 토양 검정에 따른 작물별 시비량 검정 방법(이, 1998)에 따라서 유기물과 규산 함량을 이용해 질소 비료의 시비량을 결정하였고, 인산과 칼륨은 토양내의 각 성분의 함량에 따라서 비료 시용량을 결정하여 기비 및 분얼비 살포시 각 포장의 각 구획별로 적용하였다. 또한 출수기 이전의 엽면 적지수, 엽록소 함량을 이용해 생육이 좋은 곳에 시비량을 줄이는 형식으로 질소비료 추천량을 계산해 각 포장의 구획별로 수비를 변량시비 처리 하였으며, 평균 시비량은 표준시비량과 일치시켰다. 위의 방법에 의한 변량 시비처리를 통해 field 1, 2, 3에 10당 N-P-K 각각 0.95-8.8-5.7kg, 3.71-7.3- 3.47kg, 5.63-5.6-3.0kg의 비료를 절감해 7.1-100-64.8%, 23.6-100-47.5%, 32.2-100 -53.6%의 감소율을 나타냈다.

직파로 재배가 이루어진 field 1의 경우는 태풍에 의한 도복피해에 따른 수량 감소와 수량 변이의 증가로 인해서 수량에 대한 변량시비의 결과가 정확하게 나타나지 않았지만, 변량시비 처리시의 수량이 대조구에 비해 4.3% 가량 더 크게 나타났으며, 초장, 분얼, 건물중 등의 생육정보는 대조구와 변량시비 처리구간의 차이가 크게 나타나지 않았다. 수량의 변이계수는 9정도로 나타났으며, 이는 직파재배 포장에 있어서는 작은 값으로 볼 수 있다.

이앙재배가 이루어진 field 2의 경우는 전체적인 포장 상태와 수량이 가장 높은 값을 보였다. 그러나 수량의 경우 수확량 모니터링 시스템을 이용한 수량 정보의 보정

이 아직 완벽하지 않아서 전체 수량의 경우는 오차가 거의 없지만, 지점별 수량에 있어서는 오차가 있어서 포장내 변이가 크게 나타났다. 변량시비 처리구의 수량이 대조구 수량보다 14.3kg/10a 적은 값을 보였지만, 이는 비율로 환산할 때 2% 정도의 수량 감소로써 큰 차이는 아니라고 판단할 수 있었다. 수량의 정확한 보정을 마친 후 수량과 생육량과의 비교가 더 이루어져야 할 것이며, 시비량 절감효과는 확실하게 나타났고, 시비량과 생육량 및 수량의 상관관계가 없었기 때문에 변량시비에 따른 효과도 나타났다고 판단할 수 있었다.

Field 3 역시 이양재배가 이루어졌고, 농가의 관리 차이와 흑명나방 피해에 의해서 field 2에 비해서는 수량이 적게 나타났다. 대조구에 분얼비 시비량이 매우 높아서 분얼이 많고 엽면적이 높은 경향을 나타냈으나, 수비 시용을 생략하였기 때문에 엽록소 함량은 낮게 나타났다. 출수기 생육량의 경우는 대조구가 엽록소 함량을 제외하고는 높게 나타났지만 수량의 경우는 대조구와 변량시비 처리구가 거의 같은 값을 보였다. 포장내의 수량 변이는 변이계수 4정도로 대조구와 변량시비 처리구 모두 변이가 매우 낮았다. 대조구와 변량시비 처리구의 수량변이가 비슷하게 나타났지만 대조구의 수량 변이가 이상적으로 적게 나온 것으로, 변량시비 처리에 따른 포장내 수량 변이 감소도 성공적이었다고 판단할 수 있었다. 또한 시비량 절감에 따른 수량 감소도 없었기 때문에 시비량 절감 효과도 확실하게 얻을 수 있었다. 특히 field 3의 경우는 생육량과 수량의 상관 값이 매우 높았으며, 시비량과 생육량 및 수량 간에는 상관이 전혀 나타나지 않았다.

수비 시용량 결정에 이용된 엽록소 함량과 엽면적지수는 각각 field 2, 3에서 생육 및 수량의 변이를 줄이는 효과가 있었지만 field 3의 결과에서 엽록소 함량이 수량과 상관관계를 나타내지 않고 엽면적지수와 높은 상관을 보이는 것으로 보아 엽면적 지수를 이용한 시비량 결정이 더 적합했다고 판단할 수 있었다.

부수적으로 수행된 포장내 토양 침출수의 nitrate 함량 분석과 미질분석 결과 시비량이 많았던 대조구의 토양 침출수내 nitrate 함량이 높게 나타나긴 했지만 큰 차이는 없었으며, 시비시기에 따른 nitrate 함량의 변화는 모든 포장에서 유사한 경향을 보였다. 시비량 차이에 따른 포장별 차이도 약간 나타났지만, 이는 토양 내 nitrate 함량에 영향을 받기 때문에 정확하다고 볼 수는 없었다. 식용으로 사용하는 물에서 nitrate 함량 10ppm을 안전 기준으로 정하고 있으므로 본 연구결과에서는 수비 시용 후에 8~

14ppm까지 이르렀고, 그 이외의 시기는 10ppm 미만으로 크게 문제가 되지 않았다. 변량시비의 질소비료 절감에 따른 침출수질의 효과는 인정되지 않았다.

미질의 경우는 단백질, 아밀로오스, 지방산 함량에서 변량시비 처리를 했을 경우 값이 약간씩 작게 나타났으며, 식미 결정시에 위의 세 가지 성분 함량이 낮아야 식미가 좋은 것으로 판단되기 때문에 변량시비 처리를 통한 시비량 감소는 식미에도 좋은 영향을 미친다고 판단하였다.

전체적인 연구 결과를 고찰해보면 토양 검정에 따른 기비 변량시비와, 생육에 따른 수비 변량시비는 비료 절감과 수량의 유지, 미질의 향상에 있어서는 성공적이라 평할 수 있었으나, 포장내의 수량 변이 감소에 있어서는 field 3에서만 결과를 정확히 확인할 수 있었다. 또한 토양 침출수에 대한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 변량시비 처리는 벼 포장에서의 활용이 가능할 것으로 보이며, 연구 결과의 보완을 위해서는 토양 내 성분함량과 식물 생육상황에 따른 정확한 시비량 결정에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

제 4 절 수확량 모니터링 시스템을 이용한 수확량 측정

1. 서론

수확량 모니터링 시스템은 콤바인에 위치좌표를 얻을 수 있는 GPS와 실시간으로 수확량을 측정할 수 있는 센서를 설치하여 포장내의 시간별, 지점별 수확량을 실시간으로 얻을 수 있게 하는 기술이다. 이를 통해 실시간 또는 수확후 처리를 거쳐 수확량 지도를 얻을 수 있으며, 이를 통해 정확한 수확량 정보를 얻을 수 있으며, 차기년도의 재배 관리에 이용하거나, 포장이력에 이용할 수 있다. 현재 미국에서 사용되는 정밀농업 기술 중 대부분이 수확량 모니터링 시스템이다.

수확량 모니터링 시스템은 크게 세 개의 파트로 나뉘어 있다. 위치 정보를 얻을 수 있는 GPS, 유입되는 곡물의 양을 측정하는 flow sensor 또는 로드 셀, 그리고 콤바인의 진행속도를 측정하는 speed sensor가 그것이다. 각 파트에서 얻어진 정보를 모듈에서 종합하여 시간별, 위치별 수확량을 저장하는 것이다. GPS는 오차가 1m 내외로 작은 DGPS(differential global positioning system)를 사용한다. 이는 위성에서 받은 신호와 기지국과의 신호를 이용해 오차를 수정하기 때문에 일반 GPS보다 오차가 크게 감소했다. 농작업에 사용하는 GPS 시스템은 포장내의 국지적 정보를 얻어낼 수 있어야 하므로 오차가 큰 일반 GPS보다는 DGPS를 사용하는 것이 일반적이다.

유입되는 곡물의 양을 측정하는 것은 크게 두 가지 종류를 사용한다. 하나는 곡물이 곡물 저장통으로 투입되는 부위에 설치하여 곡물이 분출되는 충격을 유입량으로 계산하여 사용하는 flow sensor이고, 다른 하나는 곡물 저장통 하부에 설치하여 저장통의 무게 증가를 이용해서 측정하는 로드 셀이다. 각각의 장단점이 있으나 일반적으로 대형 콤바인을 사용하는 미국에서는 flow sensor를 사용하며, 일본에서는 로드 셀을 이용한 방식에 대해 연구 중이라고 한다.

속도 측정은 차축에 센서를 설치해서 차축의 회전속도를 이용해 측정하거나, 초음파 속도 센서를 이용해 발사된 초음파가 토양에 반사되어 돌아오는 속도를 이용해 측정한다. 또는 콤바인 내부의 속도계에서 직접 속도정보를 획득하기도 한다.

이렇게 얻어진 위치정보, 곡물 유입량 정보, 속도 정보가 종합되면 지점별 수확량을 얻을 수 있다. 그러나 일반적으로 수확량 모니터링 시스템을 이용해 얻어지는 수확량 정보는 수초 단위로 갱신되기 때문에 그 정보가 매우 방대하다. 또한 콤바인의 진동이나 진행에 따라서 센서의 측정오차가 발생할 수도 있다. 그래서 얻어진 수확량 정보를 바로 사용하는 것보다 수확량 정보의 오차를 줄이기 위해 cleaning 과정이 필요하며, 일정 구획 및 지점별로 수확량 정보를 종합할 필요가 있다. 이렇게 종합한 수확량 정보를 이용해 지도화가 가능한 것이다.

2. 기기 도입 및 시험방법

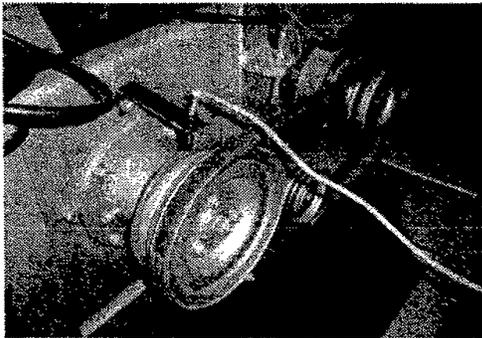
미국 Micro-Trak사에서 시판된 Yield monitoring에 필요한 Grain flow sensor, Speed sensor, DGPS를 도입하여 시험농가의 국제 575G 콤바인에 정상 장착하고, 예비성능시험은 Simulation 장치를 이용하여 Speed sensor 및 Grain flow sensor의 수치 보정과 정밀도 조사를 실시하였다. 포장성능시험은 보리수확기와 벼 수확기에 시험포장에서 Speed sensor, Grain flow sensor 및 GPS의 정상작동 여부와 정밀도를 조사하였다. 이를 통해 얻어진 수확정보를 Data cleaning 과정을 거쳐서 편차를 줄이고, 이상 데이터를 제거하여 정리한 후 포장구획별로 평균하고 공간통계학을 이용하여 포장정보의 공간변동과 의존성을 해석한 후 크리깅 기법을 이용해서 수확량 지도를 작성하였다.

3. 수확량 모니터링 시스템 성능검사

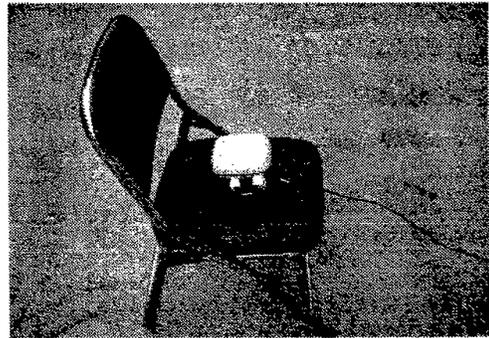
가. 실내 성능시험

Micro-trak사로부터 도입한 GPS, Yield monitoring system의 calibration 및 성능시험을 위해서 실내 성능평가를 수행하였다. 도입된 Yield monitoring system 및 GPS를 일본형인 국내 콤바인에 정상적으로 장착 가능하였다. Grain flow sensor의 경우

작동에는 문제가 없었으나, 예비시험의 결과 정밀도가 낮아 콤바인 곡물탱크 상판 덮개를 자체 제작하여 최대 Grain flow profile을 나타내는 위치에 장치하였다. GPS는 Auto beacon mode 상태에서 1.2m 표준오차 범위 내에서 정상적으로 작동되었다. Yield monitoring system은 정상 작동되었고, Grain flow sensor는 calibration 후 반복적으로 정밀도를 조사한 결과, 오차 범위가 최대 측정 한계 (1kg) 내에서 유지되었다.



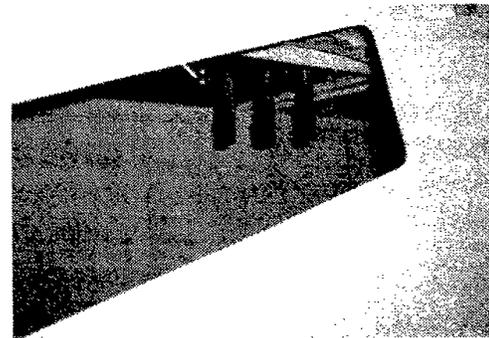
<Speed sensor>



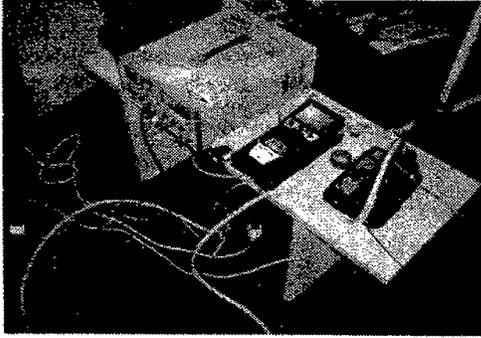
<GPS antenna>



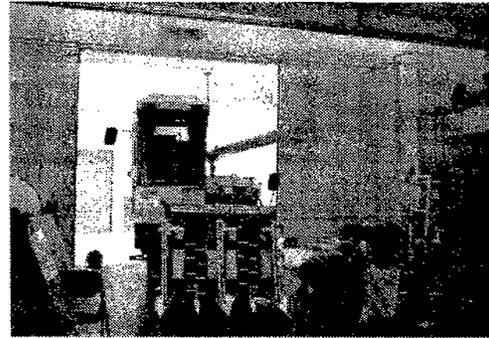
<Grain flow sensor>



<Grain flow sensor forks>



<Display console and module>



<575G combine>

나. 포장 성능시험

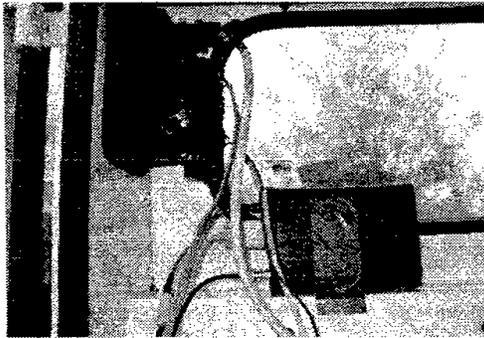
보리 수확기와 벼 수확기에 GPS와 Yield monitoring system의 calibration 및 성능 시험을 수행하였다. GPS는 Auto beacon mode 상태에서 1.2m 표준오차 범위 내에서 정상적으로 작동되었다. Speed sensor의 경우 wheel type인 미국 콤바인과는 달리 crawler type인 국내 콤바인에 Sensor 부착 유도장치를 전륜 drive shaft에 연결하여 장착할 수 있었다. Speed sensor는 정상적인 calibration을 수행한 결과, 평균 작업 주행속도 2.5~3.5km/hr에서 약 $\pm 0.5\%$ 의 거리 오차 범위 내에서 정상적으로 작동되었다. Grain flow sensor는 calibration 후 그림 1과 같은 작업 계통도에 따라 반복적으로 정밀도를 조사한 결과, 오차 범위가 약 $\pm 2\%$ 이내로 유지되었지만, 탈곡탱크 3/4 적재 시 곡물 하역 후에 초기 작업 예취조에서 다소 오차가 증가되는 것으로 나타났고, Null frequency calibration을 통하여 보정할 수 있었다. 정상 작업 조건에서 Grain flow sensor의 적합도 범위는 4,000~10,000kg이었으며, 예취작업 개시 후 Flow Sensor가 Grain Flow Signal을 적합도 범위 내에서 작동하는 데는 평균 27초의 Time delay가 감지되었다.



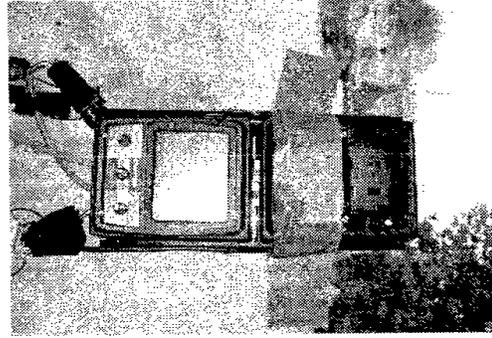
<Speed sensor>



<GPS antenna + grain flow sensor>



<Sensor module + GPS receiver>



<Display console + data logger>

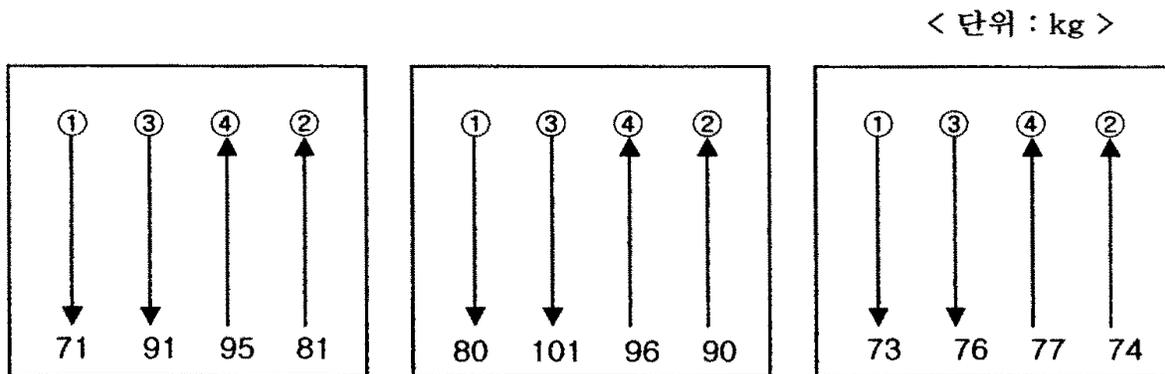


Fig. 4-1. Scheme of combine operation and data collection of rice yield.

벼 수확기에 GPS와 Yield monitoring system을 설치하고 calibration 및 성능검사를 수행하였다. GPS는 Auto beacon mode 상태에서 1.2m인 표준오차 범위 내에서 정상적으로 작동됨을 볼 수 있었다. Speed sensor의 경우는 Sensor 부착 유도장치를 전륜 drive shift에 장착하였고, Calibration 수행 후 측정결과 평균적인 작업 속도인 2.5~3.5km/hr에서 100m 주행 시 1m내외의 오차로 약 $\pm 0.5\%$ 의 거리 오차를 보이며 정상적으로 작동되었다. Grain flow sensor는 calibration후 25초가량의 Time delay가 나타났지만 Flow가 측정된 이후부터는 정속 주행 시 오차범위 약 $\pm 3\%$ 이내에서 정밀도가 유지되었으며, 탈곡탱크가 3/4이상 적재시와 하역후의 오차는 여전히 발생하였다. 그러나 Data cleaning 기법을 이용하면 오차를 크게 감소시킬 수 있었다.

4. Cleaning Yield Data

Yield monitoring system을 이용해서 얻어진 수량 정보는 다수의 측정값을 가지며, Time delay등에 따른 오차가 다수 나타나게 된다. 이를 보정하기 위해서 South Dakota State University에서 개발한 Cleaning yield data 기법을 이용하였다. Data cleaning은 몇 가지 과정을 거쳐 가면서 오차가 크거나 쓸모없는 측정값을 제거함으로써 이루어진다. 첫째, 콤바인의 예취부가 올라가 있어서 예취가 진행되지 않을 경우에 측정된 값을 제거해 준다. 둘째, 콤바인의 속도가 급격히 증가하거나 감소할 경우는 수확량 정보의 오차가 매우 크기 때문에 이때의 정보를 제거해 준다. 셋째, 콤바인의 속도가 너무 느릴 경우 곡물의 유입량이 많아도 Grain flow가 적어지기 때문에 실제보다 매우 적은 양으로 기록이 된다. 이경우의 수량 데이터도 제거해 준다. 이러한 과정을 거치게 되면 편차가 줄어들게 되고 더욱 정확한 수량정보를 얻게 되어 신뢰성 있는 수확량지도 작성에 도움을 준다. 그림 2에서는 실시간으로 얻어진 수량 정보를 보여주고 있고, 그림 3에서는 Data cleaning 과정을 거친 수량 정보를 나타내고 있다. Cleaning 과정을 거친 후에 다시 구획별로 수량 정보를 정리하여 평균값을 구해 그 값을 구획의 대푯값으로 이용해 Kriged map을 작성했다(그림 4).

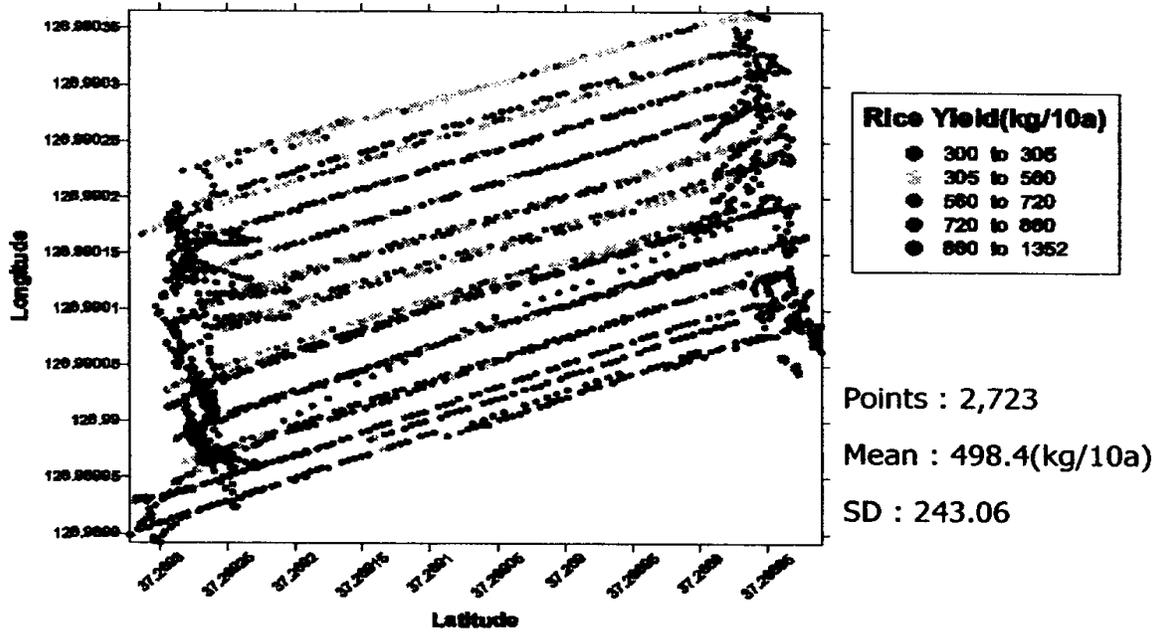


Fig. 4-2. Classed post map of rice yield using yield monitoring system.

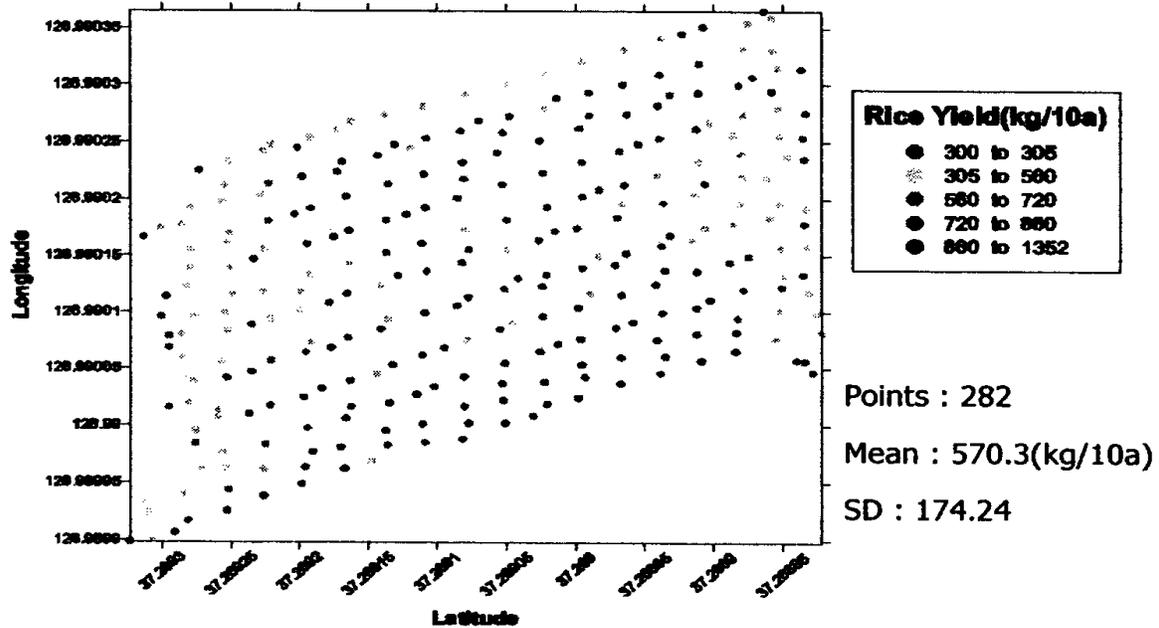


Fig. 4-3. Classed post map of rice yield after cleaning yield data.

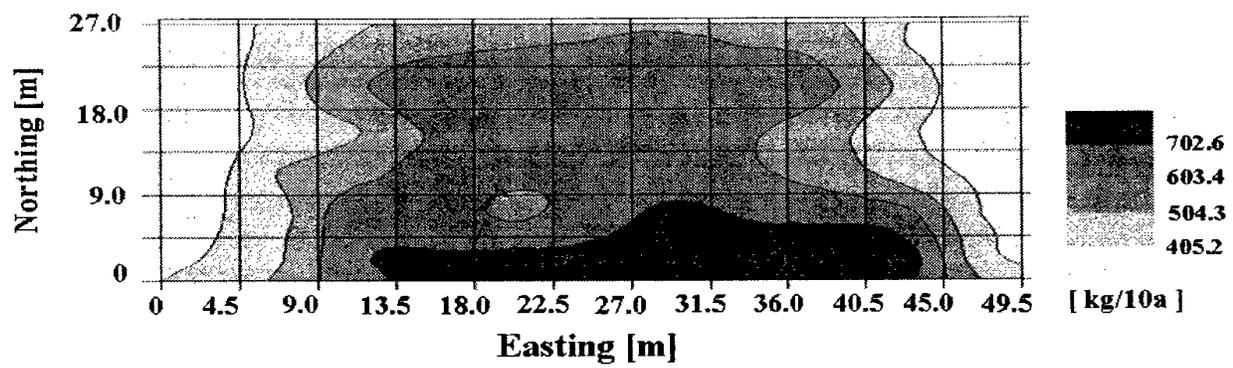


Fig. 4-4. Kriged map of rice yield.

제 5 절 지력도 분포에 따른 변량시비 추천도 작성

1. 서론

오늘날 우리나라의 현대 농업은 농업 정책 결정자에서 농민 그리고 농업교육자와 농업 과학자에 이르기까지 「친환경농업」을 주창한다. 친환경 농업에 대하여 정부는 「농업과 환경을 조화시켜 농업 생산을 지속가능하게 하는 농업 형태로서, 농업 생산의 경제성 확보, 환경 보전 및 농산물의 안전성을 동시에 추구하는 농업」이라 하고 있다.(박 등, 2000) 실천적 관제로 합성 농약, 화학 비료 등 화학 투입재의 사용을 최대한 줄이고, 자원의 재활용을 가능케 하여, 지역 자원과 환경을 보전하면서, 장기적으로 일정한 생산성과 수익성을 확보하고, 안전한 식품을 생산할 수 있는 친환경 농업의 기본 패러다임은 단기적이 아닌 장기적인 이익추구, 개발과 환경의 조화, 단작 중심이 아닌 순환적 종합농업체계, 생태계 메커니즘을 활용한 고도의 농업 기술을 의미한다.

정밀 농업은 21세기 지리정보 지식으로 농업에 접목 시킬 수 있는 첨단 농업기술로(NRC, 1997), 지속 가능한 농업(Sustainable Agriculture)의 개념에서, 환경에 건전하며(Environmentally sound), 생태계와 환경에 친화성이 있으며(Ecologically friendly), 농촌경제에 활력을 불어 넣어줄 수 있는(Economically viable), 종합적인 농업 체계(Integrated agricultural system)인 것이다(Gold, 1999).

정밀 농업은 지역 특이적(site-specific) 성격에 따라야하며, 정확한 장소에(Right Place), 정확한 시간에(Right Time), 정확한 방법(Right Way)으로 농자재를 투입할 수 있는 기술 체계를 수립하여 농업을 시행하는 것이다. 이를 위하여 무엇보다도 중요한 것은 관리 대상 경작지에 대한 정밀한 자료이다. 이 자료에는 토양, 기상, 생물, 농업 인구 기술 지표 등 농업에 필요한 모든 자료를 포함한다. 특히 토양정보는 정밀 농업에 있어서 가장 효율적이며 절실하게 필요한 도구이다.

토양의 검정은 토양 중 유효한 영양소의 함량을 결정하고, 이에 따른 비료 사용량, 비료 종류, 시용시기 등을 결정할 수 있다. 또한 생산 목표를 결정하게 되므로 적절한

양의 비료를 투여할 수 있는 과학적 근거를 제공하게 된다.

정밀농업에서의 토양 검정은 시험 포장의 위치별로 토양의 이·화학 특성과 공간변이성 등의 분석결과를 근거로 작물의 생육과 밀접한 생리작용을 갖고 있는 필수 영양분들의 토양 내 분포도를 작성하여 위치별로 적합한 시비처방을 하여 수확량을 극대화 하면서도 불필요한 농자재의 투입을 최소화 하여 경제적이면서 환경에 친화적인 시비관리에 그 목적이 있다.

2. 연구 수행 방법

가. 시험포장 토양조사

1) 2001년 토양조사

시험포장의 규모를 30m×100m로 구획하고 4.3m×5.0m의 간격으로 선정하여 0~10, 10~20cm 깊이로 168Point에서 336점의 토양시료를 채취하였으며, 토양 경도 조사는 Dynamic penetrometer를 이용하여 0~80cm까지 조사하였다.

시험포장의 공간 변이성 파악과 염 분포 조사를 위하여 EM38(Geonics사)에 의해 수평 mode (EMh)와 수직 mode (EMv)값의 ground conductivity를 일정 간격(4.3m×5m)으로 측정하였다.

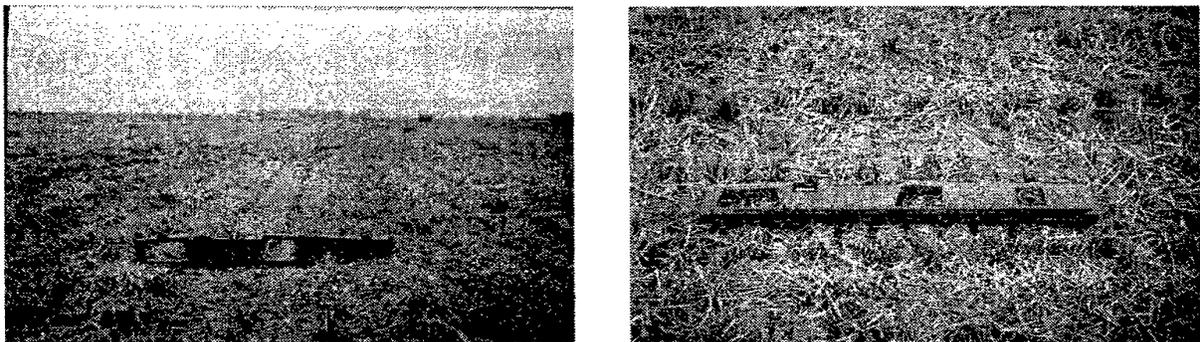


Fig. 5-1. Vertical mode (EMv) and horizontal mode (EMh) of EM38.

2) 2002년 토양조사

시험포장의 선정은 실험구 3개 plot(1, 2, 3)과 대조구 3개 plot(A, B, C)을 선정하고 포장의 규모를 35m×100m로 구획하여 실험구 3개 plot(1, 2, 3)에서는 9.3m×10.5m 간격(각 40 point) 으로 토양 시료 채취를 채취하였으며, 대조구 3개 plot(A, B, C)에서는 14m×14m 간격(각 24 point) 으로 토양 시료를 채취 하였다.

3) 2003년 토양조사

시험포장의 선정은 실험구 3개 plot(1, 3, 5)과 대조구 3개 plot(2, 4, 6)을 선정하고 포장의 규모를 30m×100m로 실험구와 대조구를 동일하게 구획하여 10m×10m 간격(각 30 point) 으로 0~10, 10~20cm 깊이 별로 180점의 토양시료를 4월 수확전과 10월의 수확후로 분류하여 토양 시료를 채취 하였다.

나. 분석방법

1) 시험 포장의 토양 조사

○토양 화학성 : pH, EC - 초자전극법

NH₄-N, NO₃-N, T-N - Kjeldahl 법

P₂O₅ - 몰리브덴청법

K - 원자흡광광도법(AAS)

SiO₂ - 1N CH₃COONa 침출액법

Ground conductivity - EM38

○토양 물리성 : 토양 경도 - Dynamic penetrometer

Dynamic penetrometer는 네덜란드의 Eijelkamp사에서 제작한 모델 06.15 penetrologger set이며, 0~80cm까지 연속적인 측정이 가능하다(그림 2).

측정하고자 하는 토양 표면에 초음파를 일정하게 반사시켜줄 수 있는 반사판을 놓고 가운데 뚫린 구멍에 penetrometer 끝의 원추형 관을 삽입한 후 일정한 속도로 토

양에 눌러 넣어 측정한다. 주입속도는 2cm sec^{-1} 로 하였다.

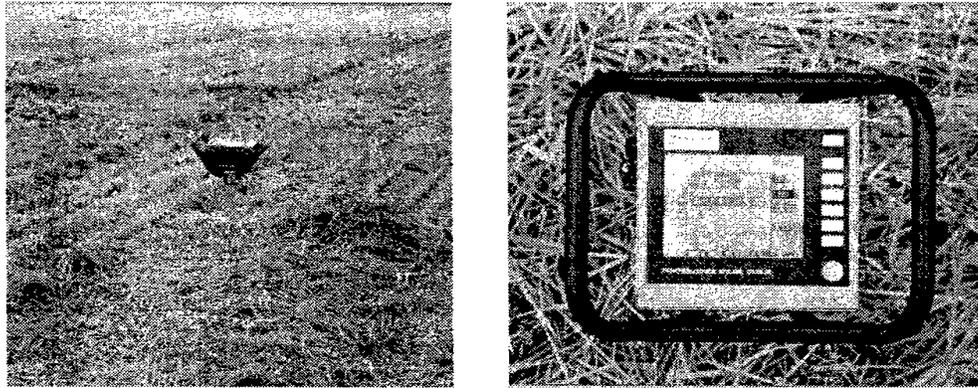


Fig. 5-2. Dynamic penetrometer.

2) EMv와 EMh의 분포도

염류도 측정방법으로 비파괴 현장 측정법(전자장 유도법 : EM38-Geonics), 실험실 내 분석법으로는 1:5(토양 : 증류수)법을 이용하였다. 시험포장내에서 grid별로 EM38의 수평 mode(EMh)와 수직 mode(EMv)값의 ground conductivity를 측정하여, 이에 대한 분포도를 surfer로 작성하였다.

다. 토양화학성에 따른 변량 시비법

논토양에서 토양 검정에 의한 시비처방전은 1999년도 농업과학기술원의 작물별 시비처방기준 중에서 토양검정에 의한 시비량에 준하였으며, 토양 분석 자료를 입력하여 시비 처방을 결정하고, 이를 시험 포장에 연계하여 분포도를 surfer로 작성하였다.

○다수확을 위한 벼 재배의 경우

$$N(\text{kg}/10\text{a}) = 22.76 - 2.72 \times \text{OM}(\%) + 0.05 \times \text{SiO}_2(\text{mg kg}^{-1})$$

$$\begin{aligned} P_2O_5(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{유효인산 } 100\text{mg kg}^{-1} \text{ 조절량} \\ &= (180 - \text{토양 } P_2O_5 \text{ mgkg}^{-1}) \times 0.1 \\ &\quad \text{최소시비량 } 5\text{kg}/10\text{a} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2O(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{칼륨 포화도 } 3\% \text{ 조절량} \\ &= (0.04 \times \text{CEC} - \text{토양 } K) \times 47.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{규산}(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{토양유효규산 } 130 \text{ mg kg}^{-1} \text{ 조절량} \\ &= (150 - \text{토양 } SiO_2 \text{ mgkg}^{-1}) \times 3.8 \end{aligned}$$

유기물(퇴구비) : 토양 유기물 3.0% 미만일 때 1.5 ~ 2.5 톤 10a¹ 사용

○저투입 시비 처방인 경우

$$N(\text{kg}/10\text{a}) = 12.74 - 1.52 \times \text{OM} + 0.028 \times SiO_2$$

$$\begin{aligned} P_2O_5(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{유효인산 } 100\text{mg kg}^{-1} \text{ 조절량} \\ &= (100 - \text{토양 } P_2O_5 \text{ mgkg}^{-1}) \times 0.1 \\ &\quad \text{유효인산 } 100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ 이상인 토양은 무시용} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2O(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{칼륨 포화도 } 3\% \text{ 조절량} \\ &= (0.03 \times \text{CEC} - \text{토양 } K) \times 47.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{규산}(\text{kg}/10\text{a}) &= \text{토양유효규산 } 130 \text{ mg kg}^{-1} \text{ 조절량} \\ &= (130 - \text{토양 } SiO_2) \times 3.8 \end{aligned}$$

유기물(퇴구비) : 토양 유기물 3.0% 미만일 때 1.0~2.0 톤/10a 사용

라. 토양특성 분포도 작성(Kriging)

시험 포장내의 공간 변이에 대응하여 적절한 시비 관리를 위한 방법으로 시험 포장의 토양 특성을 조사하여 공간 통계학적 방법을 이용 공간 의존성을 해석하기 위하여 Kriging기법을 이용하여 지도화 하였다.

Kriging기법은 지질통계학적인 gridding 방법으로 가장 효과적이며, 가장 널리 사용되고 있다. 이 방법은 불규칙한 data로부터 contour surface mapping을 효과적으로 수행한다.

$$h = \sqrt{[\Delta x \ \Delta y] \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{A}\right)^2 & 0 \\ 0 & (p/A)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}}$$

$[\Delta x \ \Delta y]$ = is the separation (in map coordinates),

A = is the component's Length parameter,

θ = is the anisotropy angle,

p = is the anisotropy ratio.

Kriging기법은 정밀농업에서 사용되는 가장 복잡하고 정확하게 예측할 수 있는 보간법으로서 토양의 특성과 같은 자료가 많을수록 좋은 보간값을 찾을 수 있는 것이다. 이러한 기법은 거리를 이동할 때 자료의 값의 변화정도를 쉽게 예측할 수 있다.

Kriging기법은 Δx , Δy 의 제곱의 형태로 나타낸다. 거리 (h)를 결정하는 데 θ , A, p에 따라서 거리를 추정해가면서 data을 예측하는 보간법으로서 정방향의 계산일 때는 $\cos\theta$ 와 $\sin\theta$ 의 값이 0, 1이므로 계산이 용이하나 비정방향(anisotropy)일 때는 계산이 매우 복잡하다. 이러한 kriging기법을 올바르게 사용하기 위해서는 적절한 variogram을 작성하여야 하며, 이러한 수행을 해나가기 위해서는 수많은 자료 값이 필요하다. 만약 자료가 충분하지 않다면 variogram의 기울기의 값이 정확하지 못하여 변이의 높고 낮음의 파악이 힘들며, 분포도 작성 시 적정 거리를 구할 수 없게 된다.

3. 결론 및 고찰

가. 시험 포장의 토양 특성

표 1~3은 정밀 농업을 위한 시험 포장의 화학적 분석을 한 결과 값이다. 시험 포장에서의 pH는 2001년은 평균 pH값이 5.8로 약산성으로 조사 되었으며, 2002년과 2003년의 시험포장도 약산성으로 벼 재배시 적정 수준인 pH값으로 분석되었다.

논토양에서의 벼 재배시 적정 pH는 6.0~6.5이며, 유기물과 유효인산, 유효규산 및 칼륨의 정정 수준은 유기물 함량이 2.5~3.0이고, 유효인산과 규산이 각 80~120mg kg⁻¹과 130~180mg kg⁻¹의 범위이다.(임 등. 1999)

Table 5-1. Chemical properties of the soil in 2001

pH (1:5)	EC _(1:5) ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
5.28	118.3	89.1	62.2	35.6	103	98.9	243.5
4.90-5.64	76.0-278.0	64.4-254.8	30.8-170.8	22.1-43.0	60-182	52.7-158.1	171.1 -411.5

Table 5-2. Chemical properties of the soil in 2002

	pH (1:5)	EC _(1:5) ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	K cmol kg ⁻¹
plot1	6.5 (5.9-7.0)	167 (121-223)	78 (45-146)	44 (28-59)	34.0 (14.2-52.8)	88 (36-297)	35.8 (19.5-74.1)	0.37 (0.23-0.93)
plot2	6.4 (5.9-7.2)	154 (105-243)	69 (41-152)	52 (37-110)	32.6 (14.7-44.8)	74 (52-114)	610.5 (50-1447)	0.77 (0.11-1.22)
plot3	6.4 (6.1-7.4)	135 (81-211)	86 (62-244)	61 (32-141)	48.9 (34.5-60.9)	122.4 (59-154)	544 (267-942)	0.68 (0.36-1.09)

Table 5-3. Chemical properties of the soil in 2003

	pH (1:5)	EC _(1:5) ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	K cmol kg ⁻¹
VRT1	6.0 (5.6-6.5)	30 (25-41)	30 (17-62)	31 (20-45)	20.9 (8.5-38.0)	117 (21-161)	15.7 (6.0-33.0)	0.19 (0.1-0.29)
VRT2	6.6 (6.5-6.9)	68 (48-84)	28 (14-53)	26 (22-56)	16.9 (11.5-43.9)	152 (91-212)	49.3 (32.6-138.9)	0.18 (0.13-0.44)
VRT3	6.5 (6.3-6.6)	53 (35-67)	29 (14-53)	29 (22-45)	34.8 (21.6-49.5)	159 (117-194)	21.0 (12-39)	0.29 (0.12-0.46)

질소 성분의 공급원으로써 중요한 유기물(OM)의 평균값은 3개년도 모두 벼 재배시 적정 수준을 유지하고 있었다. 질소 시비 처방전의 경우 유기물(OM)은 질소 시비량의 영향 인자이다. 즉 토양 내 유기물(OM)함량이 많아지면 질소의 시비량은 당연히 줄어들 것이고, 유기물 함량이 적을시에는 질소의 시비량은 많아져야 한다.

규산은 벼 재배에 있어서의 규산은 매우 중요한 성분이다. 규산은 벼의 생육시 지나친 수분증발을 조절하고 벼 잎과 줄기를 단단하게 하여 도복을 줄이며, 탄소 동화량 등을 많게 하여 수량을 증가시키며, 병해충의 발병률도 적어진다. 벼는 생육시 특히 규산을 많이 흡수한다. 그러나 산성 토양인 우리나라 논토양의 규산 함량은 평균 80ppm 안팎의 매우 낮은 값으로 조사 되어있다.(·87 농기연)

시험 포장내의 유효규산(SiO_2) 함량도(74~159ppm) 비교적 낮은 것으로 분석 조사 되었다. 그러므로 적절한 규산의 시비지도가 절실히 요구되며, 아울러 질소의 시비량에도 영향을 미치게 되므로 질소의 시비량을 위하여도 규산의 함량은 매우 중요하다고 할 수 있다.

시험 포장의 유효인산 함량은 평균값이 각 포장별로 상이 했으며, 벼 재배시의 적정 수준과 적정 수준보다 높은 값으로 분석되었다.

나. 시험 포장의 토양 특성 분포도

그림 4~10은 시험 포장 토양의 화학적 성분을 바탕으로 Kriging 기법을 이용하여 Surfer로 지도화한 그림으로 유기물과 인산, 규산, 칼륨의 토양 특성 분포도 이다.

각 토양 특성 분포도 그림에서 볼 수 있듯 수치화된 자료를 도식화한 결과다. 거리별로 시험 포장내에서의 영양성분의 함량을 쉽고 간단하게 파악할 수 있다. 이처럼 토양검정에 의한 포장내의 토양특성을 파악한 뒤 정밀 농업에 적용하고자 할 경우 정확한 장소에 목표하고자 하는 수량에 맞게 정량의 비료성분을 시비할 수 있다. 정밀한 토양 특성 분포도는 포장의 관리 지도 측면에서 유용하게 활용될 수 있다.

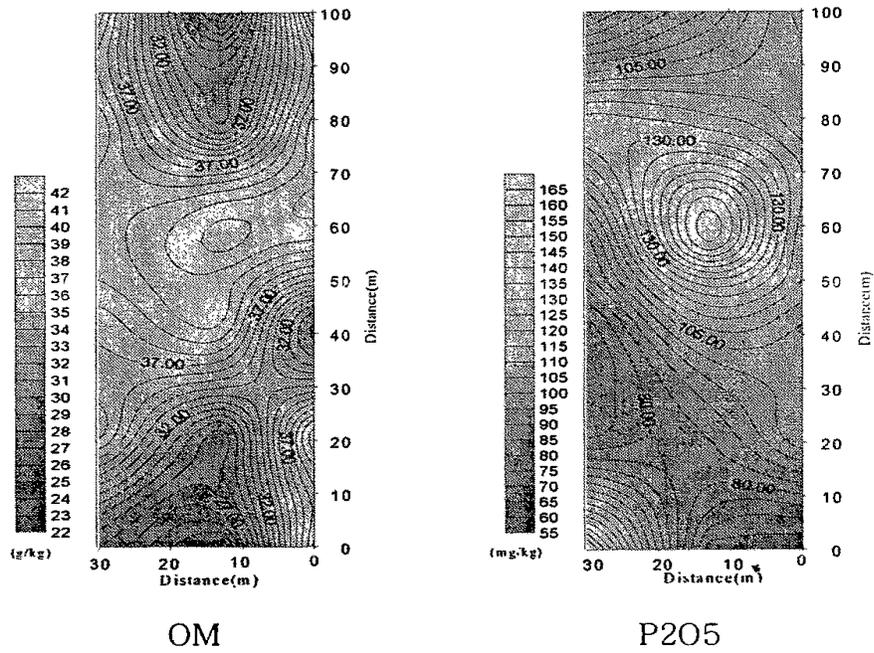


Fig. 5-3. Kriged maps of soil organic matter and P₂O₅ in 2001.

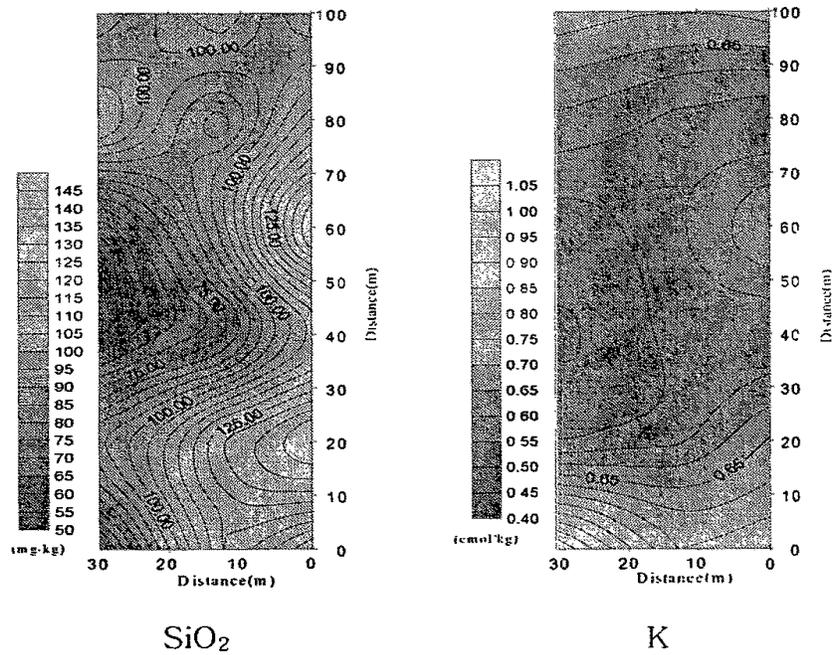


Fig. 5-4. Kriged maps of soil SiO₂ and K in 2001.

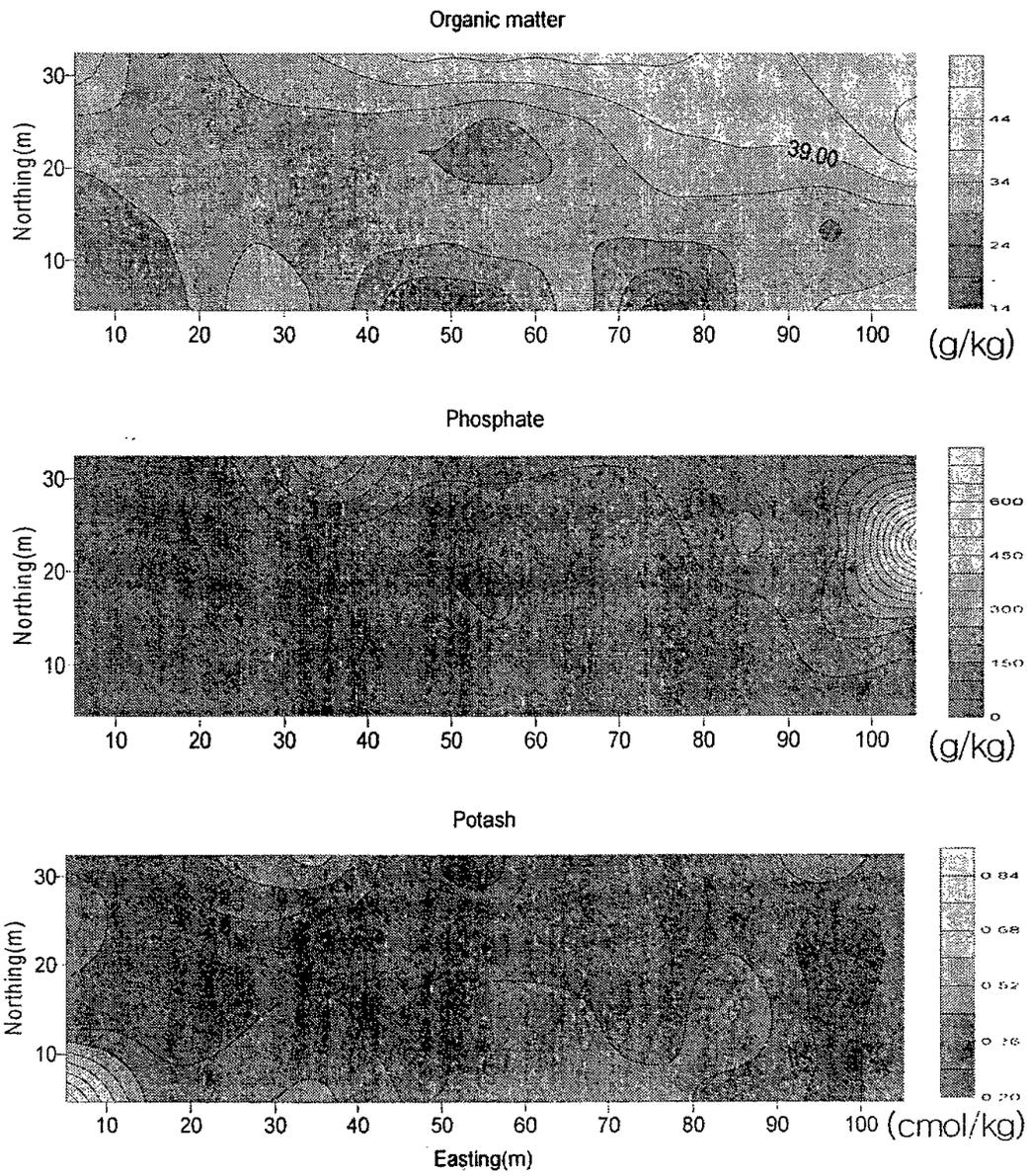


Fig. 5-5. Kriged maps of soil chemical properties in plot 1, 2002

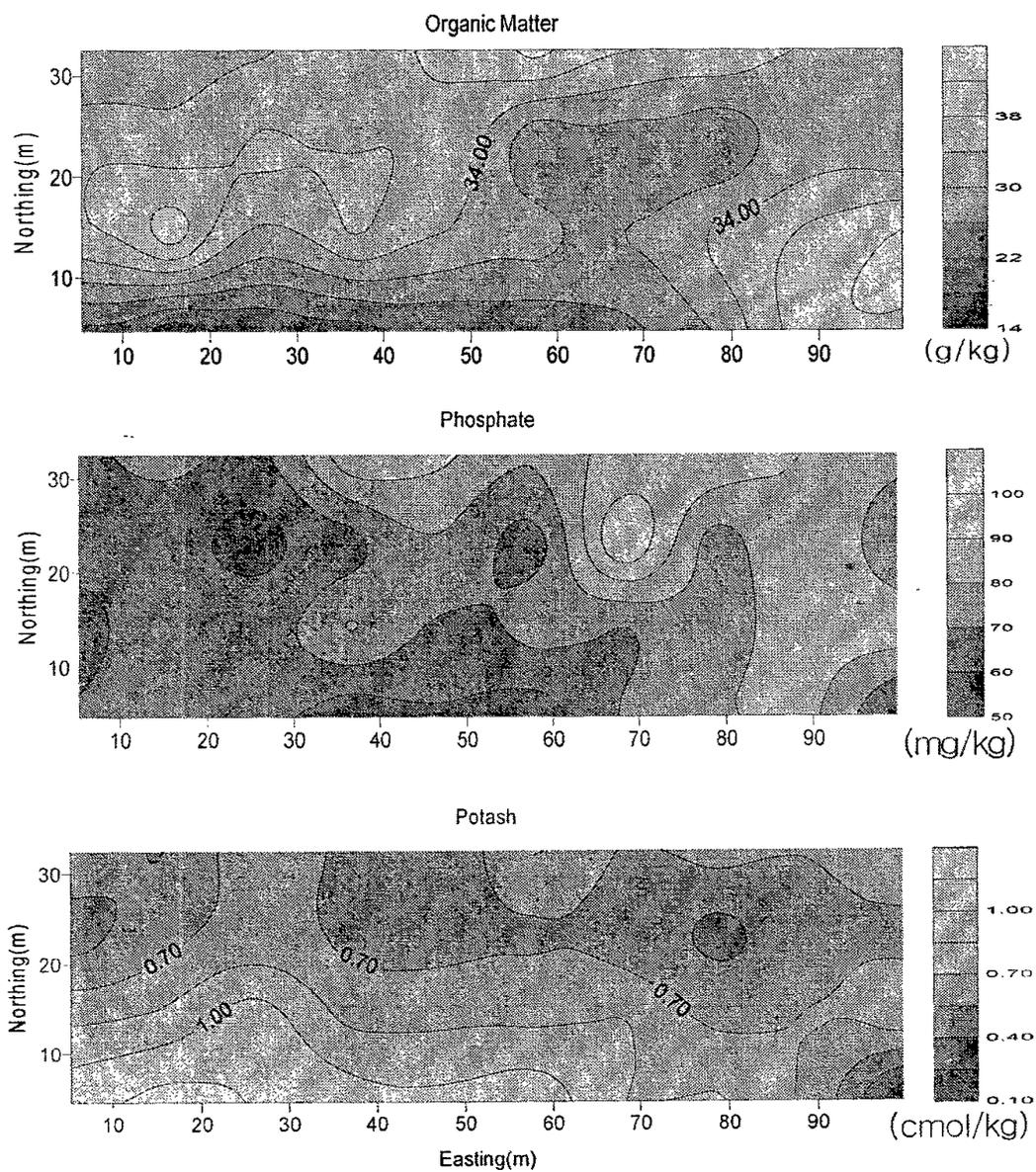


Fig. 5-6. Kriged maps of soil chemical properties in plot 2, 2002

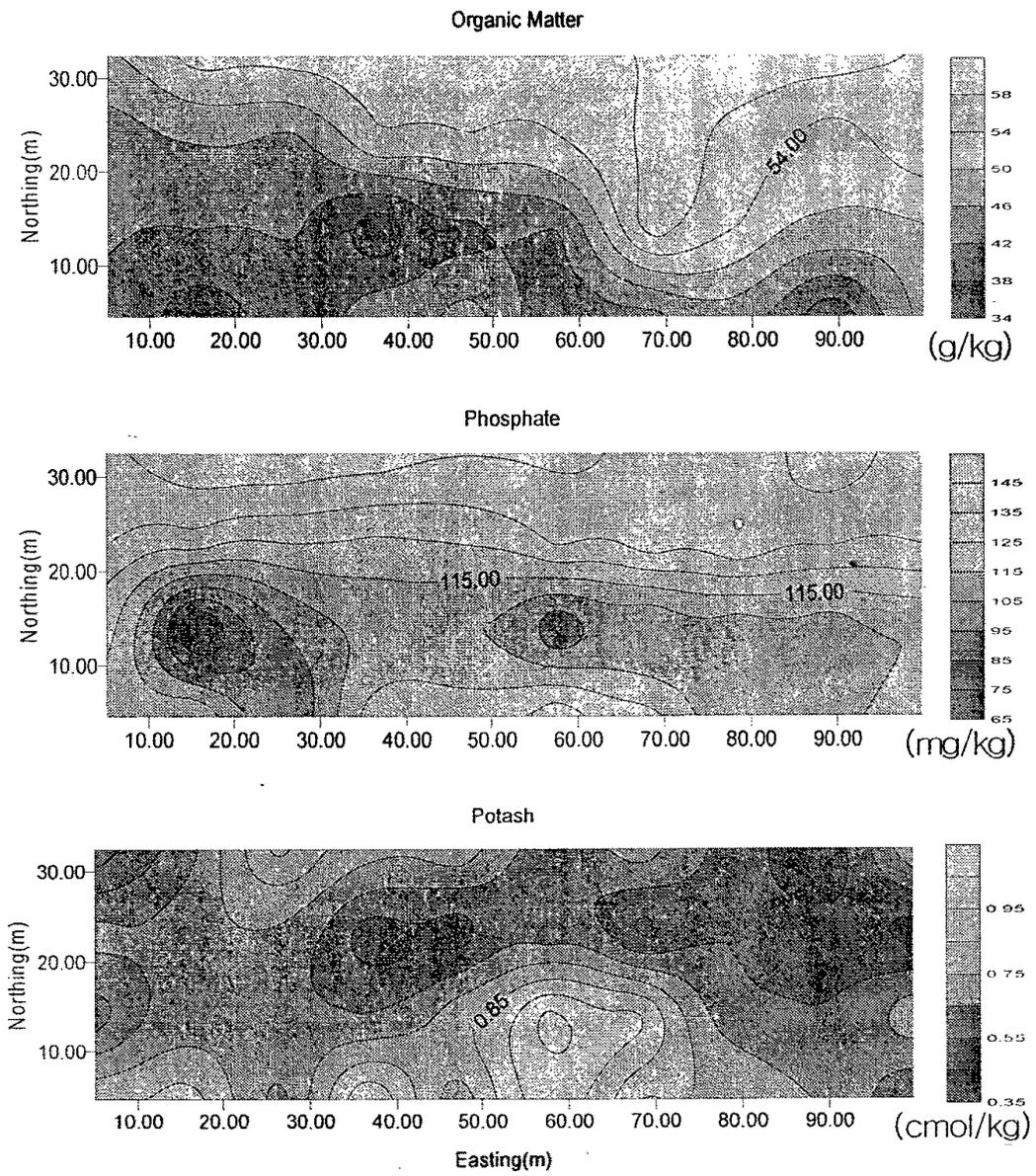


Fig. 5-7. Kriged maps of soil chemical properties in plot 3, 2002

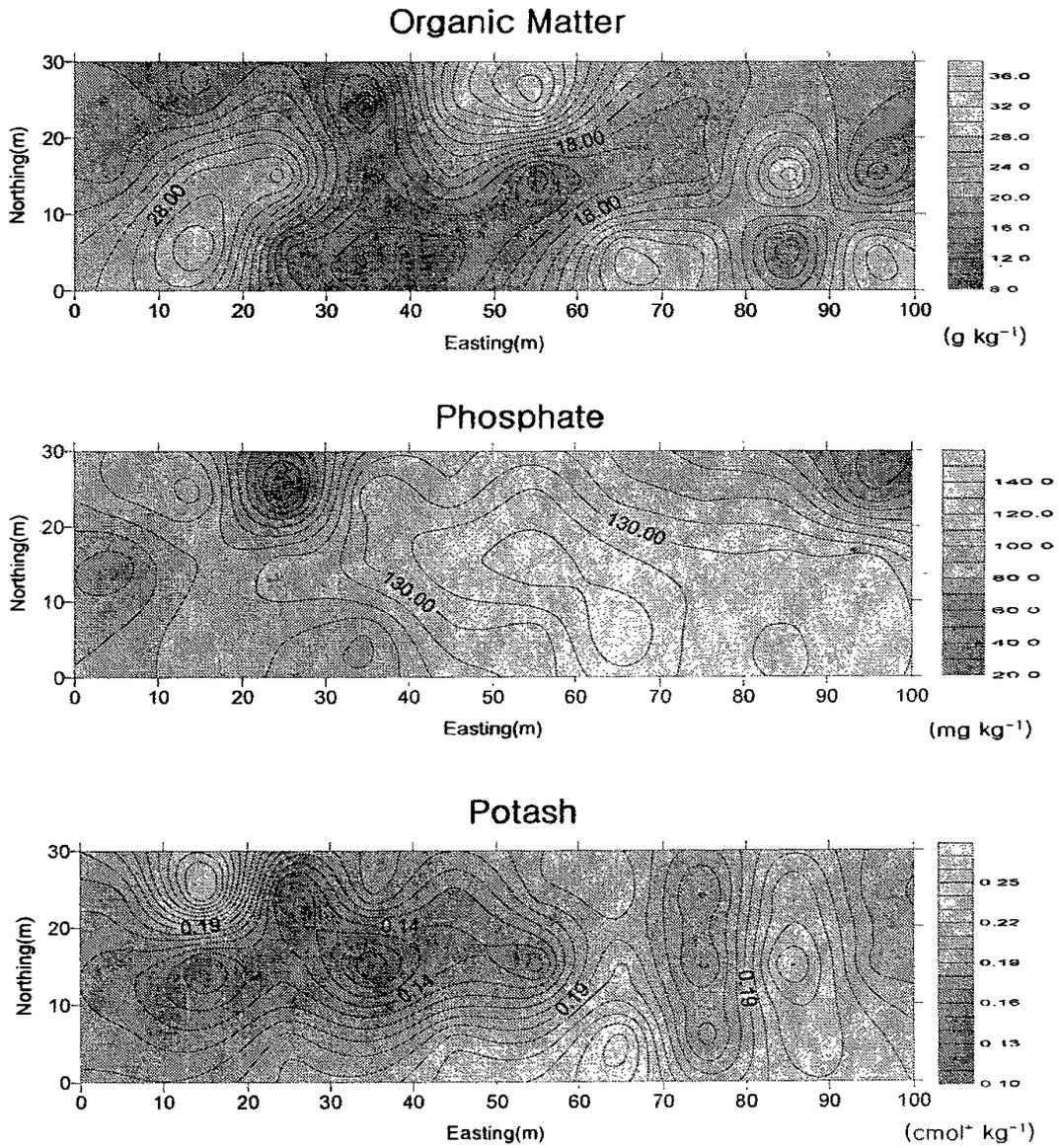


Fig. 5-8. Kriged maps of soil chemical properties in VRT 1, 2003

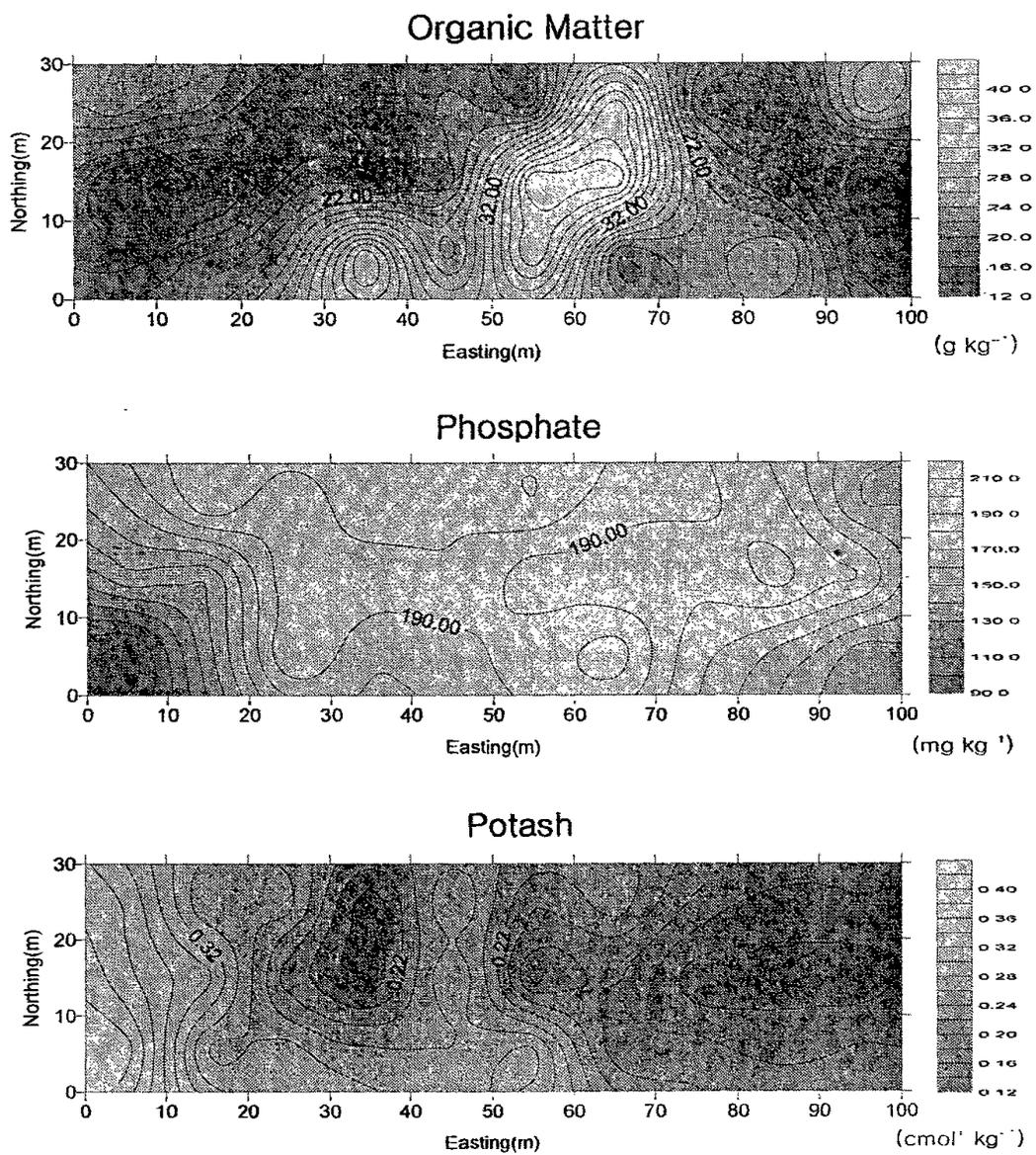


Fig. 5-9. Kriged maps of soil chemical properties in VRT 2, 2003

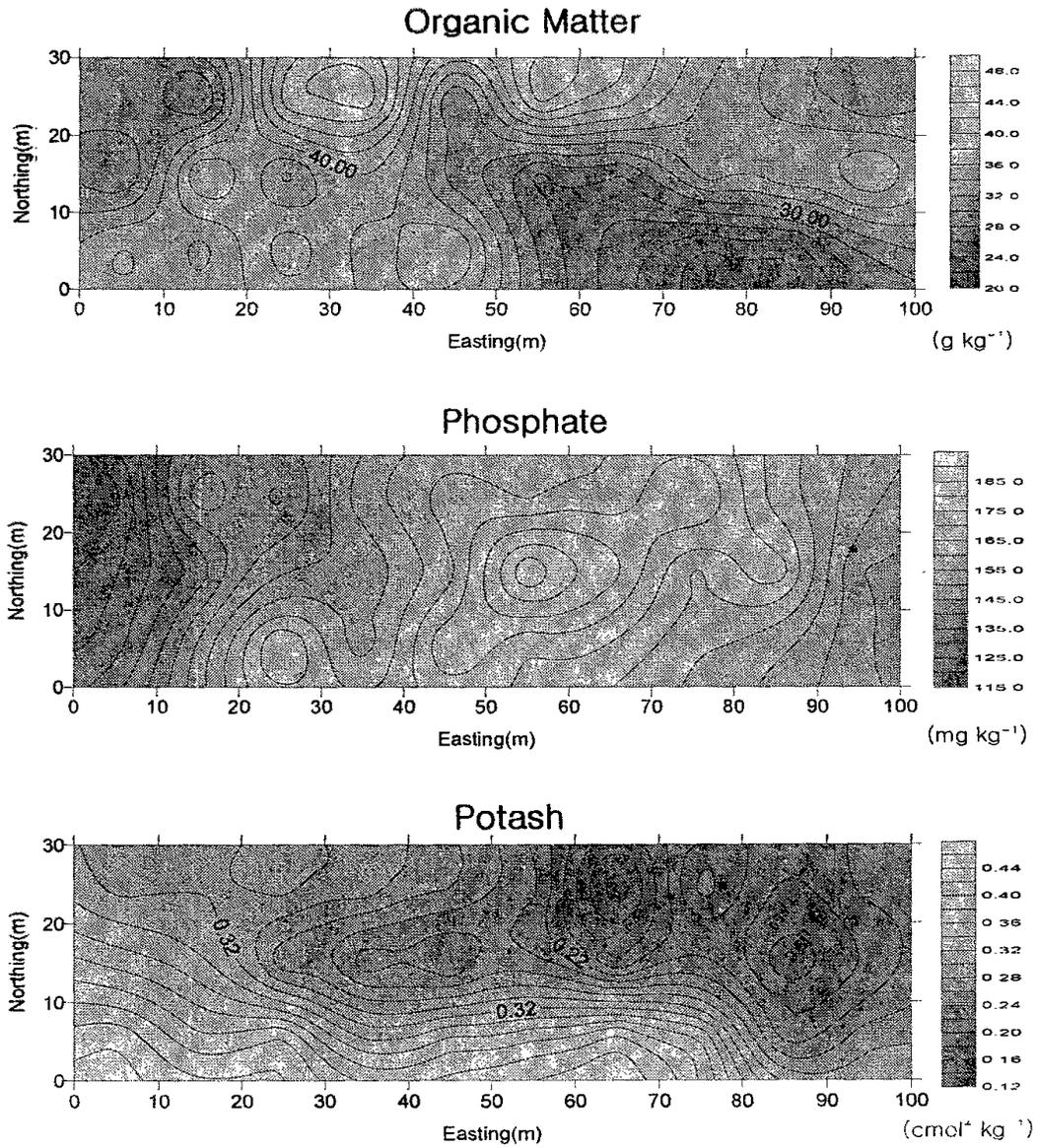


Fig. 5-10. Kriged maps of soil chemical properties in VRT 3, 2003.

그림 3-10에서와 같이 토양의 화학성이 같은 포장에서 일률적일 수는 없으므로, 동일한 포장내에서도 일정한 시비량을 적용하기에는 모순점이 있다.

다. 변량 시비 분포도

시험포장의 토양특성 조사에 의한 결과 값에 1999년 농업과학기술원의 토양검정에 의한 시비처방기준에 준하여 수도포장에서의 다수확을 위한 변량시비 분포도와 저투입 변량시비 분포도를 질소와 인산 칼리로 구분하여 surfer로 작성하였다.

시비량은 목표수량 및 토양의 비옥도, 지역 및 재배시기에 따라 차이가 나는 점을 감안하여야 한다. 질소는 토양 유기물 및 유효규산 검정에 의해 추천하는데 이 방법에 의한 질소 시비량을 저투입과 다수확 시비기준으로 구분하였다.

2001년에 조사된 비옥도(OM) 3.6%, SiO₂ 98.9ppm을 기준하여 산출하여 보면 다수확 시비량은 $\{12.74 - (2.72 \times 3.6) + (0.028 \times 98.9)\} = 15.7 \text{ kg } 10a^{-1}$ 이며, 저투입 시비량은 $\{12.74 - (1.52 \times 3.6) + (0.028 \times 98.9)\} = 10.0 \text{ kg } 10a^{-1}$ 의 양을 포장에 시비하여야 한다. 또한, 유효인산 및 칼륨의 시비처방도 토양검정에 의한 화학적 성분 에 의하여 저투입과 다수확 시비량으로 구분하여 시비처방을 하였다.

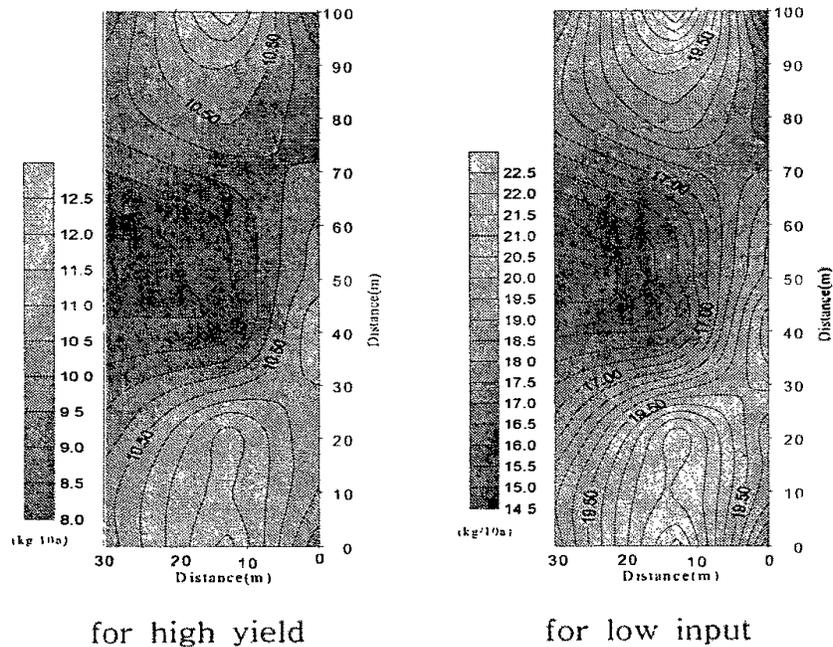


Fig. 5-11. Maps of N fertilizer recommendation.

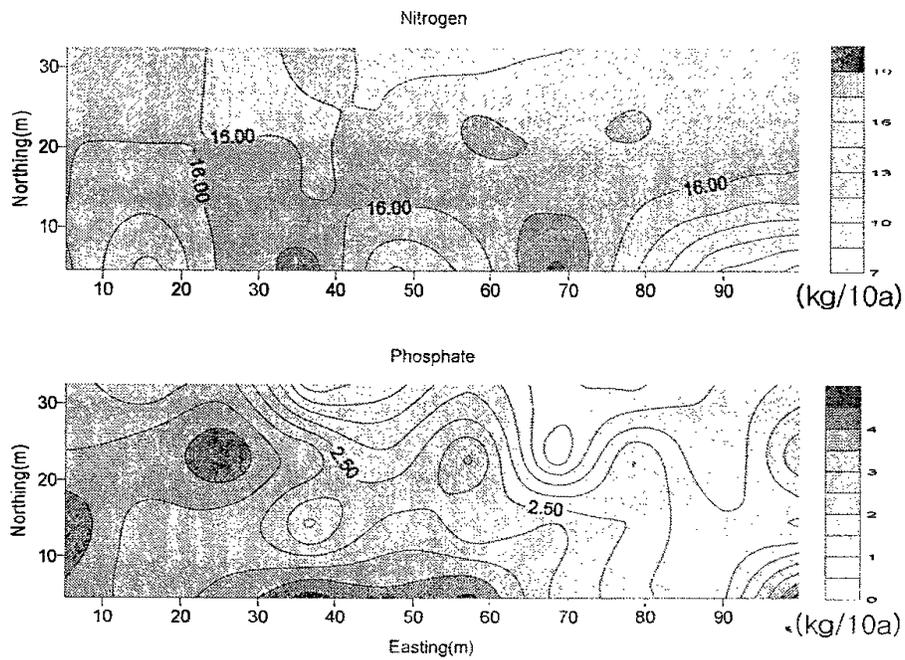


Fig. 5-14. Maps of fertilizer recommendation for low input in plot 2, 2002.

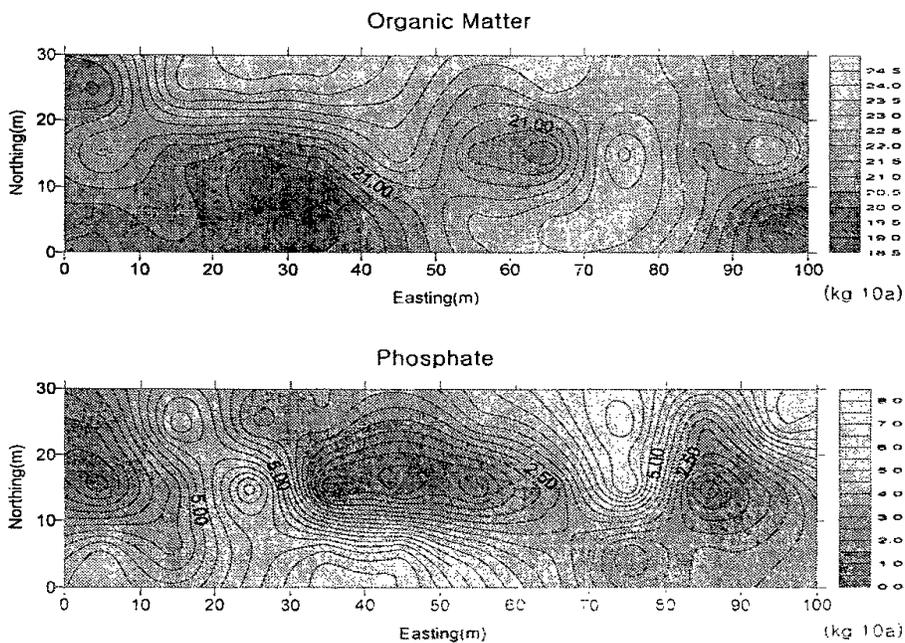


Fig. 5-15. Maps of fertilizer recommendation for high yield in VRT 1, 2003.

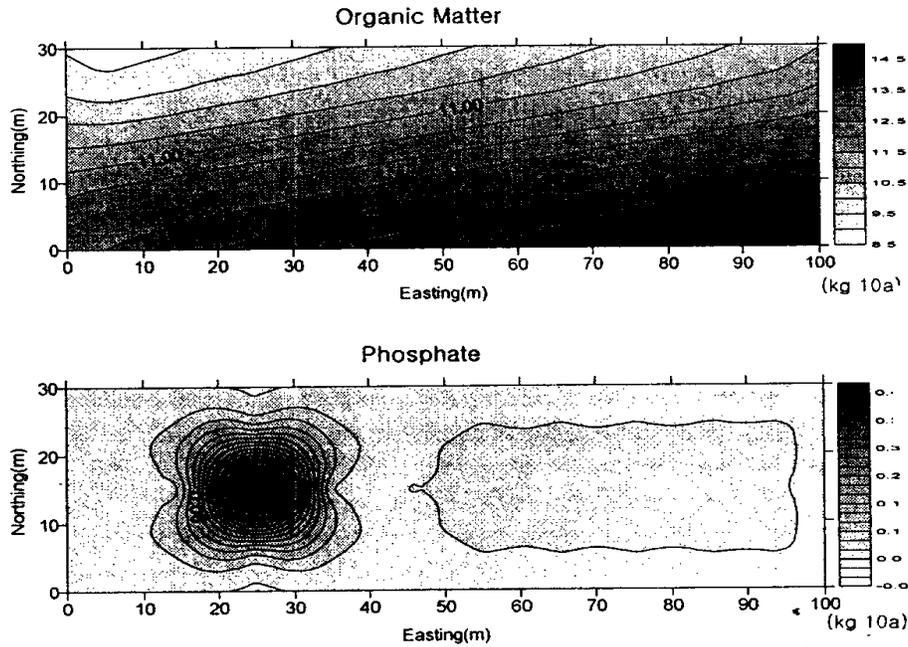


Fig. 5-16. Maps of fertilizer recommendation for low input in VRT 1, 2003.

Surfer로 도식화된 그림은 동일한 포장이라 할지라도 각 거리별, 연도별, 포장별로 서로 상이한 시비량 값을 표시하고 있다. 또한 다수확을 위한 시비량과 저투입 시비량 차이도 있다. 따라서 비료의 시비는 토양의 유효성분을 검정하여 생산성과 수익성 및 환경에 조화되는 시비를 해야 한다.

라. EMv의 분포도

시험 포장에서 측정한 EMv와 토양 시료를 실험실에서 분석한 1:5법 간의 EC가 매우 높은 상관관계는 그림 17에 나타나 있다. 시험포장에서의 EMv와 EC 1:5법의 관계식은 $Y = 8.09x - 98.29 (r^2 = 0.957)$ 로서 매우 높은 상관이 있음을 알 수 있다. 이는 현장에서 비 파괴적으로 측정하는 EM38로도 토양의 EC값을 쉽고 빠르게 그리고, 정밀하게 측정하고 평가할 수 있다는 것을 의미한다.

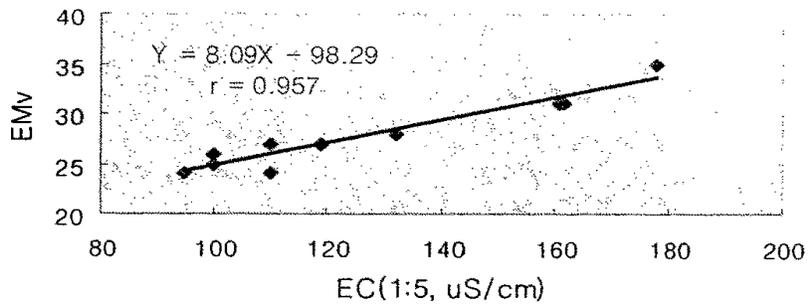


Fig. 5-17. Relation with EM38 measured value and EC_{1:5}.

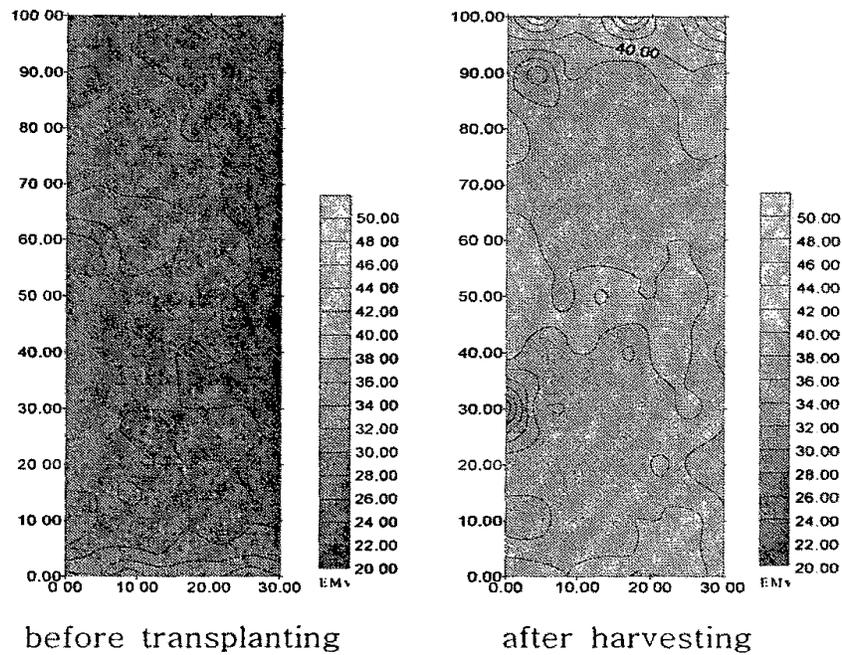


Fig. 5-18. Maps of EMv variation in 2001.

그림 18은 전자장 유도장치인 EM38의 수직(EMv) mode의 측정치로부터 시험포장의 EM값의 분포도를 작성한 것이다. 시비처방전의 논에서의 EMv 측정치가 낮은 경향을 보여주고 있었으며, 수확후의 논에서는 EMv의 측정치가 시험전보다 높게 측정되었다.

마. 토양경도 조사

농업의 기계화 작업으로 인한 포장에서 토양구조 및 모세관의 파괴에 의한 경반층 형성은 투수성과 경도, 공극량 등 물리성이 불량하게 되어 작물의 생육에 지장을 초래하여 수확량을 저하시킬 수 있다.

벼 재배 전에 토양 표면이 건조할 때 측정된 4월의 경도는 15~20cm가 높은 경도 값을 가지고 있었으며, 벼 재배가 끝나고 수확기에 측정된 10월의 경도는 25~30cm가 높은 경도 값을 보였다. 전체적으로는 봄 건조기가 담수 기간을 거친 수확기 보다 경도 값이 높게 나타났다.

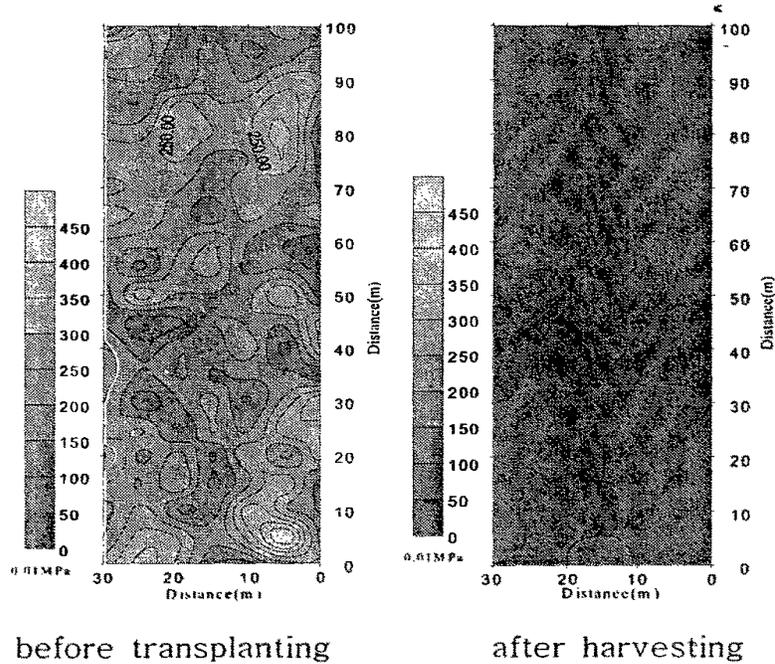
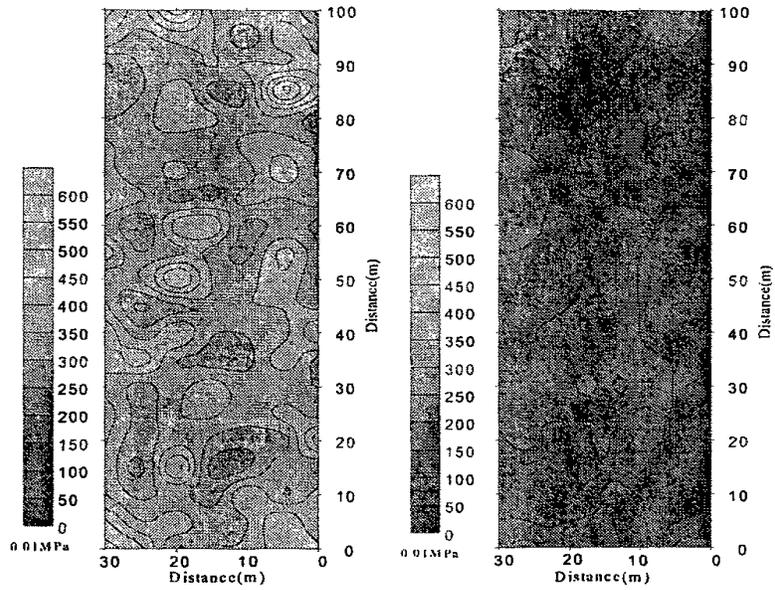


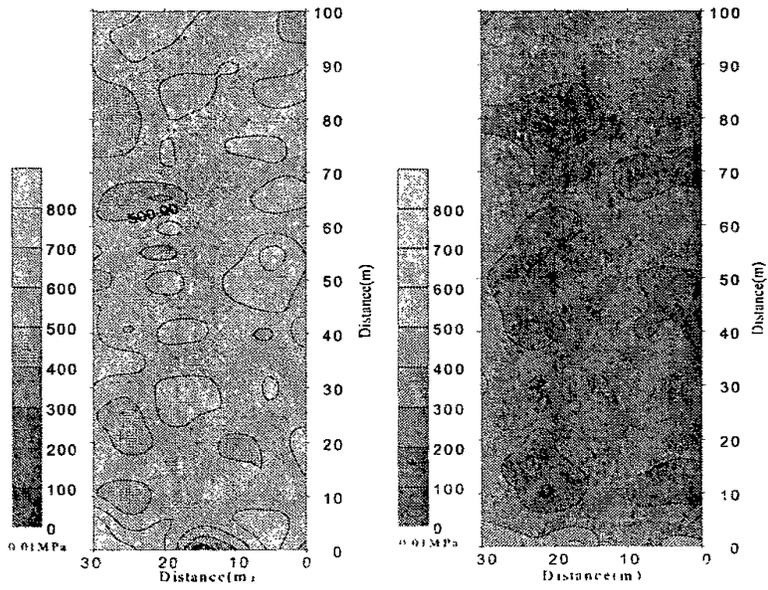
Fig. 5-19. Maps of soil hardness(0-5cm) in 2001.



before transplanting

after harvesting

Fig. 5-20. Maps of soil hardness(10-20cm) in 2001.



before transplanting

after harvesting

Fig. 5-20. Maps of soil hardness(10-20cm) in 2001

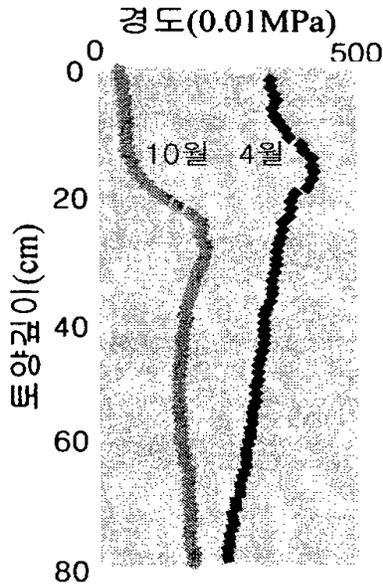


Fig. 5-22. Average soil hardness by depth in 2001.

포장에서의 물리적 개량으로 유기물의 시용과 심경 및 객토로 개선할 수 있다. 심경의 경우 갈이층의 깊이를 깊게 하여 양분의 보존량을 증대시켜 뿌리의 분포범위가 넓어지고 양분 흡수량이 많아지며, 토양의 물리적 지지력이 커지게 된다. 또한 심토의 양분을 쉽게 이용할 수 있게 한다. 객토는 포장의 물 빠짐이 좋게 되고 양분보존력이 커짐에 따라 양분 유실량이 적게 된다. 유기물은 분해되어 작물에 양분을 공급하고 토양의 성질을 개량하여 물리적 성질을 좋게 하며 양분 보존력을 증가시키며, 벼 생육시에 양분을 서서히 공급하여 주므로 비료의 효율도 있다.

4. 종합고찰

정밀농업 기술은 미국과 유럽에서 실용화를 서두르고 있는 첨단 기술이다. 이것은 현대의 농업과학 발전과 지식산업의 접목으로 시작되었다. 특히, 정밀농업은 현장에서 관찰과 경험에 의하여 얻어지는 지식과 정보를 자연의 변화에 맞추어 더 발전시키고 작물생산에서의 응용의 폭을 다양한 기술과 실습에 의하여 넓혀야 한다.

정밀농업 기술은 계속 개발되고 있지만 몇 가지 특징이 있다.

- 정밀농업의 자료는 전산화 및 자동화, 고 부가가치성 이다.
- 정밀농업 기본 자료를 자주 수집할수록 세밀해진다.
- 정밀농업의 정보는 포장 작업 중에 얻어지거나 외부로부터 구입될 수 있는데, 생산 작업의 투입은 독립적일 수 있다.
- 자료의 해석과 분석은 더 형식화되고 분석적으로 될 수 있다.
- 정밀농업의 과학적 결정방법은 실제 경작에 적용될 수 있다.
- 정밀농업 수량의 결과는 시간과 지역특이성을 가진다.
- 정밀농업의 목표달성 관리 계획 정량적으로 평가할 수 있다.

위의 특징과 같은 정밀농업은 장기적으로 일정한 생산성과 수익성을 확보하고, 안전한 식품을 생산할 수 있는 친환경 농업의 기본 패러다임으로 순환적 종합농업체계, 생태계 메커니즘을 활용한 고도의 농업 기술이다.

토양 및 기상, 생물, 농업 기술 등 농업에 필요한 모든 자료 중 토양정보는 정밀농업에 있어서 가장 효율적이며 절실하게 필요한 도구로서, 토양 내에 함유된 유효한 영양소의 함량을 결정하여 이에 따른 비료 사용량, 비료 종류, 시용시기 등을 과학적으로 결정할 수 있다.

다수확 재배에 필수적으로 다량 사용되었던 질소, 인산비료는 불과 20~40%만이 작물에 흡수되고 나머지는 지하로 용출되거나 가스의 형태로 유실되고 있다. 농경지에서 물질순환이 원활히 일어나게 하려면 토양 및 수계 미생물 및 미소동물 생태계를 복원하여야 한다. 또 경지생태계에서 외부로 물질의 방출이 억제되도록 폐쇄 순환계여야 한다.

논의 필지별로 토양의 유효태 비료성분 공급능력과 토양산도(pH), 관개수에 의한 공급량에 따라 시비량을 적량 환산하여 기비와 분시로서 공급하고 전층시비 하는 것이 시비효율성을 높이는 방법이다. 또 이삭을 제외한 벼짚을 전량 논토양으로 환원하고 답리작 녹비작물을 재배하여 논토양에 유기물 공급량을 높이도록 하는 것이 다수확을 지속하는 재배법이다.

논의 시비량을 전국적으로 일괄하여 추천하기보다는 충분한 토양의 검정 후 토성별 지역별로 시기별로 세분시켜 추천 시비량을 비료 포장지의 표면에 나타내거나, 농지별로 토양조사 후 농민에게 시비법을 개별 지도하는 것이 바람직하다. 토양정보를 기

초로 적정 시비량을 산출하고 시비한다면 과다 시용에 의한 환경오염 문제도 해결될 수 있다.

농기계화는 대형화보다 정밀작업화에 초점을 맞추어 우리나라 논 규모에 적합한 중소형 장비에 전산화와 정보화 기능을 보강하여야 할 것이다.

제 6 절 직파농가 경영분석에 따른 적정모형 개발

1. 연구지역의 사회경제적 여건 및 경영실태

가. 연구지역의 일반현황

정밀농업 연구지역의 지리적 위치는 전라북도 중앙부의 서쪽에 있는 김제시의 남단에 위치한 부량면 용성리 대신부락과 금화부락이다. 부량면은 김제와 정읍을 잇는 국도 29호선이 통과하고 있으며, 연구지역은 이 도로를 중심으로 동편과 서편에 형성되어 있는 전형적인 답작 중심지역이다.

연구지역 2개 부락의 일반현황을 살펴보면 총 가구 수는 2002년과 2003년 모두 43호로 변화가 없으나, 2003년 재촌탈농가 4호가 발생하여 농가호수는 2002년 34호에서 30호로 감소하였다. 탈농자는 고령으로 더 이상 농업에 종사할 수 없는 부녀자 경영주 3인과 도정업으로 전업한 경영주이다.

(표 1) 연구지역의 가구구성

구 분	농가	비농가	계
2002	34(79.1)	9(20.9)	43(100.0)
2003	30(69.8)	13(30.2)	43(100.0)

연구지역의 총 인구는 144명, 호당인구는 3.3인으로 2002년과 2003년 동일하다. 이 중 농업종사인구는 2002년 전체인구의 45.1%인 65명에서 2003년에는 61명 42.4%로 감소하였다. 호당 농업인구는 1.9인에서 2.0인으로 약간 증가하였다.

(표 2) 연구지역의 농가 및 농업인구 현황

구 분	인구(A)	농업종사자(B)	B/A(%)
2002	144	65	45.1
2003	144	61	42.4

농업경영주의 특성을 연령과 학력으로 살펴보면, 평균연령은 2002년 59.2세에서 2003년 59.8세로 0.6세 증가하였다. 경영주의 평균연령이 1년 전과 비교해 약간 증가한 것은 고령 부녀자 경영주 3인의 탈농 결과 평균연령이 감소했기 때문이다. 그러나 2003년 현재 경영주의 연령이 60세 이상인 농가는 15호로 10년 후의 농업경영자는 현재의 절반수준이 될 것으로 예상된다.

경영주의 학력수준을 2003년을 기준으로 보면 대부분이 중졸이하이며, 33.3%인 10명만이 고졸이상으로 나타났다. 그리고 대졸 농업경영주 3인은 연구지역의 기간농업인으로 지역농업의 중추적인 역할을 담당하고 있다.

(표 3) 연구지역의 농업경영주 특성

구 분	경영주 평균연령	경영주 학력			
		초 졸	중 졸	고 졸	대 졸
2002	59.2	12(35.3)	11(32.4)	8(23.5)	3(8.8)
2003	59.8	9(30.0)	11(36.7)	7(23.3)	3(10.0)

연구지역의 전체 경지면적은 2002년의 경우 자작지 55.0ha, 임차지 38.5ha, 총 93.5ha로 호당 평균경지면적은 2.75ha로 전국평균의 2배에 가까운 수준이었으며, 자작지의 비율은 58.8%로 나타났다. 그리고 2003년의 경우 탈농한 가구의 농지를 연구지역내의 농가가 매입 또는 임차하여 경작함에 따라 총 경영면적은 변화가 없는 것으로 나타나 호당 경영면적은 3.12ha로 증가하였다. 또한 탈농자의 농지를 매입하여 소유지

는 약간 증가하고, 임차지는 소유지 증가만큼 감소한 것으로 나타났다.

(표 4) 연구지역의 경지면적

구 분	경 영 면 적(ha)			호당 경영면적 (ha)
	자작지	임차지	계	
2002	55.0(58.8)	38.5(41.2)	93.5(100.0)	2.75
2003	56.2(60.1)	37.3(39.9)	93.5(100.0)	3.12

연구지역의 수도작 재배유형은 2002년의 경우 전체 경지면적의 66.8%인 62.5ha가 이앙이었으며, 직파가 33.2%로 비교적 높은 수준이다. 그리고 직파의 경우 건답직파 23.6ha, 담수직파 7.4ha로 나타났다. 그러나 2003년의 경우에는 건답직파가 전무한 것으로 나타나 2002년과 대조를 이루었다. 이것은 파종기에 잦은 강우로 건답직파를 한 농가들이 대부분 담수직파로 전환했기 때문이다. 이앙재배가 전년에 비해 약간 증가한 것 역시 건답직파를 포기한 농가들이 이앙의 형태로 전환했기 때문이다.

(표 5) 연구지역의 수도작 재배유형

구 분	이 앙	직 파			계
		건 답	담 수	계	
2002	62.5(66.8)	23.6(25.3)	7.4(7.9)	31.0(33.2)	93.5(100.0)
2003	64.9(69.4)	-	28.6(30.6)	28.6(30.6)	93.5(100.0)

연구지역의 주요농기계 보유현황을 보면 트랙터 17대, 콤바인 13대, 이앙기 12대, 건조기 15대로 기종에 따라 차이는 있으나 35~50%의 보유율을 보이고 있었다. 이러한 연구지역의 농기계보급률은 전북평균 농기계보급률(2002년 기준)이 트랙터 18.2%, 콤바인 8.6%, 이앙기 28.2%, 건조기 8.1%인 점을 감안하면 매우 높은 수준임을 알 수 있다.

그리고 이모작(보리) 재배면적은 2002년의 경우 전체 경지의 절반수준인 46.4ha에 이르렀으나, 2003년에는 보리수매의 감소로 그 재배면적이 감소하여 39.8%인 37.2ha로 나타났다.

(표 6) 연구지역의 농기계 보유 및 이모작 면적

구 분	주요 농기계 보유현황				이모작(보리) 면 적
	트랙터	콤바인	이앙기	건조기	
2002	17	13	12	15	46.4(49.6)
2003	17	13	12	15	37.2(39.8)

나. 연구지역 경영실태 분석

연구지역의 수도작 경영실태 분석을 위해 2002년과 2003년 2개년간 전체 농가를 대상으로 생산비조사를 실시하였다.

우선 10a당 투하노동시간을 보면 연도별로는 큰 차이가 없으나 재배유형별로는 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 2002년의 경우 이앙이 21.34시간으로 나타났으며, 직파의 경우에는 8.54시간으로 이앙대비 40%수준이며, 평균적으로 17.08시간으로 나타났다. 직파가 이앙에 비해 노동투하시간이 40% 수준에 그치는 것은 직파의 노동절감 요인과 함께 연구지역의 직파재배는 대부분 대농을 중심으로 확산되어 규모의 경제에 의한 투하노동절감도 작용한 복합적인 결과로 보인다.

그리고 연구지역의 이러한 노동투하시간은 전국대비 60%, 전북대비 55% 수준으로 매우 낮음을 알 수 있는데 이것은 연구지역이 답작 중심지역으로 전국 또는 전북 평균에 비해 호당 경영규모가 크며, 농작업 조건이 양호하며, 직파재배 비율이 30%를 상회하는 요인들의 결과라고 생각된다.

(표 7) 10a당 노동투하시간

구 분	연구지역						전국 및 전북 ¹⁾	
	2002			2003			전국	전북
	이앙	직파	평균	이앙	직파	평균		
묘판, 온상, 파종	8.34	0.86	5.85	8.02	0.85	5.83	4.71	5.39
경운·정지	0.54	0.44	0.51	0.55	0.54	0.55	3.36	4.35
이앙(직파)	3.61	1.03	2.75	3.59	1.19	2.86	5.03	5.79
시비	0.59	0.23	0.47	0.61	0.27	0.51	1.81	1.97
병충해방제	0.91	0.41	0.74	1.14	0.73	1.01	2.07	2.25
제초	0.39	0.2	0.33	0.36	0.13	0.29	1.77	1.70
본논관리	5.68	4.22	5.20	5.58	4.47	5.24	4.97	4.68
수확 및 운반	0.86	0.78	0.83	0.86	0.84	0.85	3.72	3.35
건조	0.42	0.37	0.40	0.39	0.29	0.36	0.96	1.04
기타	0.65	0.48	0.59	0.65	0.56	0.62	0.17	0.37
계	21.34	8.54	17.08	21.1	9.31	17.5	28.57	30.89

1) 농촌진흥청, 작목별 작업 단계별 노동투하시간, 2002에서 작성

단위시간당 노동생산성은 2003년 기상악화에 따른 수확량 감소로 2002년 대비 약 9%정도 감소한 51,273원에 머물고 있음을 알 수 있다. 그러나 전국 대비 투하노동시간의 단축으로 노동생산성은 전국평균에 비해 1.5배 이상으로 나타났다

(표 8) 수도작의 10a당 노동생산성

구 분	연구지역		전국평균 ¹⁾ (2002)
	2002	2003	
노동생산성 (원/시간)	56,310	51,273	31,272

1) 농촌진흥청, 작목별 작업 단계별 노동투하시간, 2002에서 작성

조사결과에 의한 생산비를 살펴보면 10a당 생산비는 2002년 760,985원에서 2003년 789,228원으로 약 3.7% 상승하였다. 생산비 상승은 2003년에 기상악화에 따른 잦은 병충해 발생으로 농약비가 30%이상 증가했으며, 보리수매 축소로 이모작 재배면적 감소

에 따른 토지용역비 증가에서 그 원인을 찾을 수 있다. 실제 2002년의 경우 평균적인 병충해방제 횟수는 2~3회였으나 2003년에는 4회 정도로 나타났으며, 이모작 보리재배 면적도 2002년 대비 20%정도 감소하였다.

정곡 1kg당 생산비는 기상악화에 따른 생산비 증가와 수량감소로 2002년 1,501원에서 2003년 1,669원으로 10%이상 상승하였다.

생산비조사를 토대로 연구지역의 농가호당 경영성과를 살펴보면 농업조수입은 2002년 26,449천원에서 2003년 27,965천원으로 약간 증가했음을 알 수 있다. 생산량 감소에도 농업조수입이 증가한 이유는 호당 약 0.3ha 정도의 경영규모가 확대되었기 때문이다. 그리고 연구지역의 수도작 조수입은 2002년 전국평균 7,471천원의 3.5배 이상으로 매우 높아 전형적인 답작 중심지역임을 확인할 수 있었다.

농업경영비와 농업생산비는 각각 10,629천원에서 11,018천원으로, 20,927천원에서 24,598천원으로 증가하였는데 증가원인은 앞에서 살펴본 바와 같이 농약비와 토지용역비 증가에 있다. 농업소득은 15,820천원에서 16,947천원으로 증가한 반면, 농업순수익은 5,522천원에서 3,367천원으로 감소하였다.

(표 9) 연구지역의 농가 경영성과

단위 :천원

구 분	2002	2003
농업(수도작)조수입(A)	26,449	27,965
농업(수도작)경영비(B)	10,629	11,018
농업(수도작)생산비(C)	20,927	24,598
농업(수도작)소득(A-B)	15,820	16,947
농업(수도작)순수익(A-C)	5,522	3,367

(표 10) 연구지역의 10a당 비목별 생산비

구 분		2002			2003			
		이양	직파	평균	이양	직파	평균	
10a당 생산량(kg)		510	500	507	475	470	473	
직접 생산 비	종묘비	16,611	15,010	16,079	16,554	14,937	16,059	
	비료비	22,283	22,283	22,283	22,563	22,563	22,563	
	농약비	48,619	48,619	48,619	64,961	64,961	64,961	
	기타 제재료비	2,135	1,450	1,908	2,135	1,450	1,925	
	영농광열비	10,812	8,580	10,071	10,681	8,476	10,006	
	농구비	124,255	45,714	98,179	123,332	58,727	103,563	
	영농시설비	2,337	2,851	2,508	1,770	1,766	1,769	
	노력비	자가	105,031	49,288	86,524	104,331	52,217	88,384
		고용	18,687	2,608	13,349	18,492	3,883	14,022
		계	123,718	51,896	99,873	122,823	56,100	102,406
소계		350,770	196,403	299,520	364,819	228,980	323,252	
간접 생산 비	토지 용역비	자가	266,446	222,637	251,901	265,612	262,324	264,606
		임차	148,162	224,558	173,525	156,742	186,228	165,765
		계	414,608	447,195	425,426	422,354	448,552	430,371
	자본용역비		42,271	23,499	36,039	40,183	25,221	35,605
	소계		456,879	470,694	461,465	462,537	473,773	465,976
10a당 생산비(원)		807,649	667,097	760,985	827,356	702,753	789,228	
kg당 생산비(원)		1,584	1,334	1,501	1,742	1,495	1,669	

2. 부분시산법에 의한 정밀농업의 경제성 분석

가. 부분시산법(Partial Budget)

정밀농업과 같은 신기술을 도입하고자 할 때 경제적으로 신기술을 사용함으로써 얻게 되는 수익이 신기술의 도입에 따른 비용보다 크다면 신기술을 도입하게 된다. 이때 신기술이 기술적으로 현장에 응용하기가 복잡하지 않은가와 신기술의 비용과 수익을 어떻게 결정하는가를 판단해야 한다.

부분시산법(Partial Budget)은 농장경영에서 신기술의 도입 등 새롭게 제기되는 변화로부터 발생하는 비용과 수익을 비교하는 데 유용하다. 즉, 신기술을 도입할 경우 현재 사용되고 있는 기술과 비교하여 신기술 도입에 따른 특정 변화를 평가하는 것이다.

신기술의 도입여부를 결정하기 위한 부분시산을 사용하려면 현재 기술의 경제적 성과와 신기술 도입 후의 경제적 성과를 각각의 시나리오를 구성하여 평가하여야 한다. 또한 신기술 도입에 따른 경제적 성과 변화와 관련된 다음과 같은 4가지 질문에 대한 정보를 가져야 한다.

1. 신기술 도입으로 새로운 비용이 발생하는가?
2. 신기술 도입으로 기존 기술사용 시의 비용 중 절감되는 부분이 있는가?
3. 신기술 도입으로 새로운 수익이 발생하는가?
4. 신기술 도입으로 기존 기술사용 시의 수익 중 감소되는 부분이 있는가?

위 4가지 질문에 대한 정보를 바탕으로 부분시산표를 작성하는 과정은 다음과 같다.

1. 기존 기술과 신기술과 관련된 정보를 수집한다.
2. 신기술 도입과 관련된 여러 경우의 시나리오를 구성한다.
3. 각 시나리오의 경제적 성과와 신기술 도입 시나리오의 경제적 성과를 계산한다.
4. 부분시산표를 작성하여, 순편익과 비용편익비(B/C ratio)를 계산한다.
5. 순편익과 비용편익비를 통하여 신기술 도입 여부를 결정한다.

이상의 과정을 통하여 다음과 같은 부분시산표를 작성하게 된다.

(표 11) 부분시산표 예시 (시비기술 관련)

Problem : Use VRT			
Reduced Revenues :		Additional Revenues :	
수확량 감소	0.0	수확량 증가	0.0
기타 수입 감소	0.0	기타 수입 증가	0.0
Additional Costs :		Reduced Costs :	
비료 투입비 추가비용	0.0	비료 투입비 절감	0.0
GPS 및 토양조사 비용	0.0		
Total Costs : Reduced Revenues		Total Benefits : Additional Revenues	
	+ Additional Costs		+ Reduced Costs
총비용	0.0	총편익	0.0
Net Benefit :		B/C Ratio : 총편익 / 총비용	
총편익 - 총비용 = 순편익	0.0		0.0

부분시산표에서 결정사항(problem)은 현재의 기술과 신기술중 어떤 것을 선택할 것인가 하는 것이다. 이를 결정하기 위한 정보는 위의 4가지 질문에 대한 각각의 경제적 성과액을 구하여 이를 바탕으로 순편익과 비용·편익비(B/C ratio)를 계산하여 신기술 도입여부를 결정하게 된다.

나. 시나리오의 구성

정밀농업의 경제성을 분석하기 위한 부분시산을 하기 위해서 정밀농업의 도입과 관련하여 고려할 수 있는 경우들의 시나리오를 구성하는 것이다.

먼저, 시험포장에서의 토양조사 결과 최적비료요구량과 관련하여 최소량, 최대량, 평균량과 최적량을 시비하는 경우들을 고려할 수 있다. 또한 일반농가에서 관행적으로 해오던 시비의 경우를 고려할 수 있다. 이러한 각각의 경우의 시나리오를 구성하여 시나리오별 경제적 성과액을 계산한다.

(표 12) 시나리오 개요

No.	내 용
Scenario 1.	구획(plot)별 비료 필요량중 최소필요량을 일괄적으로 투입
Scenario 2.	구획(plot)별 비료 필요량중 최대필요량을 일괄적으로 투입
Scenario 3.	전체 구획(30 plots)의 비료 평균필요량을 일괄적으로 투입
Scenario 4.	구획(plot)별 비료 필요량을 적량 투입 (정밀농업)
Scenario 5.	표본 구획(6 plots)의 비료 평균필요량을 일괄적으로 투입
Scenario 6.	관행 시비법으로 비료 투입 (대조구)

(시나리오 1)은 필지당 30개 구획(plot)을 대상으로 토양조사를 실시한 결과중 최소 비료필요량을 필지 전면적에 일괄적으로 살포하는 경우로, 비료의 손실은 없으나 비료 부족으로 인한 수확량 감소가 예상된다.

(시나리오 2)는 필지당 30개 구획(plot)을 대상으로 토양조사를 실시한 결과중 최대 비료필요량을 필지 전면적에 일괄적으로 살포하는 경우로, 비료의 손실이 많으며 비료 과다로 인한 수확량 감소가 예상된다.

(시나리오 3)은 필지당 30개 구획(plot)을 대상으로 토양조사를 실시한 결과중 구획당 비료필요량의 평균치를 필지 전면적에 일괄적으로 살포하는 경우로, 약간의 비료의 손실과 수확량 감소가 예상된다.

(시나리오 4)는 정밀농업을 실시하는 경우로 구획별 비료의 필요량만큼 적량 시비하는 경우로 비료와 수확물의 손실이 없다.

(시나리오 5)은 전체 30 구획중 6개 구획을 표본추출하여 이의 비료필요량평균치를 전면적에 일괄 살포하는 경우이다.

(시나리오 6)은 현행 농가에서 관행적으로 실시하고 있는 시비법을 그대로 적용한 경우이다.

이렇게 구성된 시나리오의 경제적 성과액은 토양조사 결과에 따른 수확물의 잠재적 최대수량과 비료의 최적요구량과 비교하여 각 시나리오의 수확물 손실량과 비료 손실(절감)량을 계산한다.

(표 13) 시나리오별 손실액 계산표

Type of Soil	Max. Potential Yield	Fertilizer Required (A)	Fertilizer Applied (B)	Actual Yield	Yield "Lost"	Fertilizer "Lost"
일련번호	정곡기준 (kg/a)	(kg/a)	(kg/a)	정곡기준 (kg/a)	정곡기준 (kg/a)	(kg/a)
1	51.834	1.117	1.187	51.781	0.053	0.069
2	52.423	1.229	1.187	52.423	0.000	0.000
3	54.149	1.207	1.187	54.149	0.000	0.000
4	51.256	1.091	1.187	51.109	0.147	0.096
5	51.774	1.246	1.187	51.774	0.000	0.000
6	50.780	1.146	1.187	50.780	0.000	0.040
7	50.324	1.150	1.187	50.324	0.000	0.037
8	49.179	1.253	1.187	49.179	0.000	0.000
9	47.321	1.288	1.187	47.321	0.000	0.000
10	48.772	1.317	1.187	48.771	0.002	0.000
11	54.145	1.184	1.187	54.145	0.000	0.002
12	53.682	1.230	1.187	53.682	0.000	0.000
13	52.003	1.088	1.187	51.844	0.159	0.098
14	50.731	1.096	1.187	50.605	0.127	0.090
15	51.882	1.151	1.187	51.882	0.000	0.036
16	51.068	1.208	1.187	51.068	0.000	0.000
17	50.820	1.202	1.187	50.820	0.000	0.000
18	50.216	1.049	1.187	49.913	0.302	0.138
19	49.099	1.119	1.187	49.054	0.045	0.067
20	47.726	1.256	1.187	47.726	0.000	0.000
21	55.215	1.265	1.187	55.215	0.000	0.000
22	54.008	1.178	1.187	54.008	0.000	0.009
23	52.450	1.247	1.187	52.450	0.000	0.000
24	52.652	1.168	1.187	52.652	0.000	0.019
25	54.143	1.219	1.187	54.143	0.000	0.000
26	51.893	1.154	1.187	51.893	0.000	0.033
27	51.518	1.169	1.187	51.518	0.000	0.017
28	48.952	1.142	1.187	48.952	0.000	0.045
29	47.559	1.206	1.187	47.559	0.000	0.000
30	49.190	1.223	1.187	49.190	0.000	0.000
sum	1,536.8	35.6	35.6	1,535.932	0.834	0.796
average	51.226	1.187	1.187	51.198	0.028	0.027

주) 이양농가에서 토양조사결과의 평균필요량을 일괄적으로 시비할 경우.

다. 비용·편익 산출방법

정밀농업의 도입과 관련된 시나리오의 구성과 부분시산표의 작성을 위한 자료는 시험구 포장 3곳과 대조구 포장 3곳의 자료중 직파농가 1농가(시험구 1, 대조구 1)와 이양농가 1농가(시험구1, 대조구 1)의 자료를 이용하였다.

비료의 손실량은 토양조사결과 각 구획(plot)별 비료 필요량을 기준으로 과부족을 계산하여 각 시나리오별 비료의 절감량과 손실(과다)량을 측정하였다.

수확물 감소량은 토양조사 결과 비료의 필요량을 적량 투입한 후 산출된 수확량을 기준으로 실제 또는 가상의 비료 투입량을 시비하였을 경우 얻게 되는 수확물을 계산하여 이 차이를 수확물 감소량으로 보았다. 이 때 비료 투입량과 수확물량과의 관계는 김제시 농업기술센터에서 실시한 비료(질소질) 투입량과 수확물량간의 실험결과를 이용하였다.

수확물과 비료의 가격 자료는 수확물은 정곡(쌀)을 기준으로 80kg당 16만원, 비료는 20kg당 4,800원인데 질소질 함유율 0.46%를 고려하여 각각 단위당 쌀 가격 2,000.0원/kg, 비료 가격 521.7원/kg을 이용하였다.

마을 전체의 경제성 분석결과는 직파농가와 이양농가의 단위당 경제성 분석결과를 마을내 직파재배 면적과 이양재배 면적의 자료를 이용하여 가중평균하여 계산하였다.

정밀농업의 도입으로 추가로 발생하는 비용으로는 GPS 및 비료살포기 관련비용과 토양조사비용 두 가지가 있다. 이러한 비용은 농가에서 100% 부담하여 시행할 경우 농가에 상당한 경제적 부담으로 작용할 소지가 있어 농가에서 100% 부담하는 경우와 함께 정부에서 부분적으로(50%) 또는 전체적으로(100%) 보조를 하는 경우를 고려하여 시산하였다.

정밀농업의 주요 비용중 GPS 및 비료살포기 관련비용은 25ha당 600만원이며, 내구년수는 10년이다. 토양조사비용은 1필지당 30구획(plot)을 조사할 경우 구획당 2만원이며, 15구획만 조사할 경우 25,000원/plot, 6구획만 조사할 경우 30,000원/plot이다. 토양조사 결과는 1회 조사로 3년간 이용할 수 있다.

이상의 자료를 이용하여 시나리오를 구성하고 부분시산표를 작성한 결과로 개별농가 및 마을 단위의 경제적 성과액을 추정하였다. 이는 사적 편익과 사적 비용만을 고려한 것이다. 즉 사회적 입장에서 볼 때 비료소비량의 감소로 인한 수질 오염 방지

등 환경 개선에 따른 사회적 편익은 고려되지 않았다. 정밀농업이 갖는 이러한 사회적 편익과 비용을 반영한 연구 또한 앞으로 필요하다고 사료된다.

라. 부분시산(P.B.)에 의한 경제성 분석 결과

1) 시나리오별 단위당 경제성 분석

시나리오별 단위(plot)당 경제성 분석은 이양농가, 직파농가 그리고 마을 전체로 구분하여 분석하였다.

이양농가의 시나리오 분석결과, 정밀농업을 도입할 경우(시나리오 4) 수확물 손실과 비료 손실이 전혀 없는 것으로 나타났으며, 이를 기준으로 각각의 시나리오 결과를 추정, 비교한 결과가 다음 표와 같다.

경제적 손실이 가장 큰 경우는 시나리오 1로 토양조사 결과 비료 필요량 중 최소요구량을 전면적에 일괄 살포하는 경우이다. 가장 적은 경우는 시나리오 3으로 토양조사 결과 비료필요량의 평균을 전면적에 일괄 살포하는 경우로 69.4원/a이다.

(표 14) 연구농가(이양) 시나리오별 결과

No.	물 량		금 액			1필지당 (1200평) 손실 (원/필지)
	Yield "Lost" 정곡기준 (kg/a)	Fertilizer "Lost" (kg/a)	Yield "Lost" 정곡기준 (원/a)	Fertilizer "Lost" (원/a)	계 (원/a)	
Scenario 1.	0.443	0.000	886.9	0.0	886.9	35,474.7
Scenario 2.	0.249	0.130	498.2	67.8	566.0	22,641.1
Scenario 3.	0.028	0.027	55.6	13.8	69.4	2,776.7
Scenario 4.	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Scenario 5.	0.051	0.041	102.0	21.4	123.4	4,935.0
Scenario 6.	0.241	0.563	482.3	293.8	776.1	31,044.0

- 주) 1. 정곡 단위당 가격 : 160,000원 / 80kg = 2,000원/kg
 2. 비료 단위당 가격 : 4,800원 / (20kg*0.46) = 521.7원/kg
 (0.46 = 질소질 환산비율)

이양농가의 경우 관행 시비법으로 할 경우(시나리오 6) 비료 사용량이 과다하여 비료 손실 뿐 아니라 수확량 감소까지 발생하여 경제적 손실이 776.1원/a에 이르고 있다.

직파농가의 경우는 시험구 포장과 대조구 포장에 도복피해가 있어 이를 고려하여 도복피해에 따른 수확 감소량을 제거한 결과로 추정하였다.

시나리오 분석결과 단위당 경제성(손실)이 383.0원/a로 이양농가보다 양호하게 나타났다. 특히 이농가의 경우 비료 손실량이 a당 0.095kg으로 평균적으로 토양조사 결과의 비료필요량에 근접하게 시비하였으나, 전면적에 일괄 시비함으로써 a당 0.167kg의 수확 손실이 발생하였다.

(표 15) 연구농가(직파) 시나리오별 결과

No.	물 량		금 액			1필지당 (1200평) 손실 (원/필지)
	Yield "Lost" 정곡기준 (kg/a)	Fertilizer "Lost" (kg/a)	Yield "Lost" 정곡기준 (원/a)	Fertilizer "Lost" (원/a)	계 (원/a)	
Scenario 1.	0.281	0.000	562.0	0.0	562.0	22,478.1
Scenario 2.	0.260	0.161	520.2	84.2	604.4	24,176.1
Scenario 3.	0.029	0.028	57.4	14.8	72.2	2,888.6
Scenario 4.	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Scenario 5.	0.055	0.011	110.6	5.5	116.1	4,644.7
Scenario 6.	0.167	0.095	333.3	49.6	383.0	15,319.2

- 주) 1. 정곡 단위당 가격 : 160,000원 / 80kg = 2,000원/kg
 2. 비료 단위당 가격 : 4,800원 / (20kg*0.46) = 521.7원/kg
 (0.46 = 질소질 환산비율)
 3. 수확량(손실)은 도복에 따른 손실을 반영한 결과로 계산.

(표 16) 연구농가(마을) 시나리오별 결과

No.	물 량		금 액			1필지당 (1200평) 손실 (원/필지)
	Yield "Lost" 정곡기준 (kg/a)	Fertilizer "Lost" (kg/a)	Yield "Lost" 정곡기준 (원/a)	Fertilizer "Lost" (원/a)	계 (원/a)	
Scenario 1.	0.394	0.000	787.48	0.0	787.5	31,499.3
Scenario 2.	0.252	0.140	504.91	72.86	577.8	23,110.6
Scenario 3.	0.028	0.027	56.14	14.14	70.3	2,811.0
Scenario 4.	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Scenario 5.	0.052	0.032	104.63	16.53	121.2	4,846.2
Scenario 6.	0.218	0.420	436.71	219.14	655.9	26,234.1

- 주) 1. 정곡 단위당 가격 : 160,000원 / 80kg = 2,000원/kg
 2. 비료 단위당 가격 : 4,800원 / (20kg*0.46) = 521.7원/kg
 (0.46 = 질소질 환산비율)
 3. 이양농가와 직파농가의 (면적)가중 평균한 것.

마을 전체를 대상으로 경제성 분석을 할 경우, 전반적으로 이양농가에서 비료 시비량이 많아 비료 손실액뿐만 아니라 과다 시비로 인한 수확량 감소가 발생하여 경제적 손실액이 크게 나타났다. 이는 마을 전체를 대상으로 정밀농업을 도입할 경우 a당 655.9원의 손실액을 제거하는 효과를 가져오게 된다. 특히 시나리오 3과 5에서처럼 토양조사를 실시한 후 이를 토대로 비료 시비량을 조절할 경우 역시 경제적 손실액을 상당히 줄일 수 있음을 알 수 있다.

2) 시나리오별 개별농가의 경제성 분석

시나리오 구성 결과를 이양농가와 직파농가를 대상으로 단위당 경제성을 살펴보았다. 이는 정밀농업을 도입할 경우의 추가 비용측면을 고려하지 않은 것이다. 신기술인 정밀농업이 도입될 경우 추가로 발생하는 편익과 비용을 모두 고려하여 각 시나리오별로 정밀농업을 도입할 경우의 시나리오와 비교하여 경제성을 분석했다. 부분시산법

에 의한 경제성 평가는 순편익(Net Benefit)과 편익·비용비(B/C ratio)를 사용한다.

우선 직파농가의 경우, 시나리오에서 단위당 경제적 성과액을 현재 이농가에서 경작하고 있는 면적(8ha)으로 환산하여 시산분석표를 작성하였다. 그 결과를 보면, 농가에서 정밀농업에 따른 비용 전액을 부담할 경우 순편익은 모두 상당히 큰 손실로 나타난다. 특히 시나리오 (6 to 4)의 경우는 농가가 정밀농업 도입에 따른 비용을 전액 부담하여 기존 시비법을 정밀농업으로 바꿀 경우 연간 3,885천원의 손실을 보게 된다.

반면에 정부에서 토양조사 비용을 100% 보조할 경우 연간 114천원의 경제적 편익을 얻게 된다. 이 때 농가단위의 B/C ratio는 1.569로 정밀농업에 대한 투자가 타당하게 된다.

특히 시나리오 (3 to 4)와 (5 to 4)와 같이 토양조사를 실시한 후에 정밀농업을 도입하지 않고 농가단위에서 평균시비량을 일괄적으로 시비할 경우 정부보조와 상관없이 여전히 경제적 손실을 보게 된다. 따라서 정밀농업을 도입하게 되면 토양조사를 실시하고 그 결과에 따라 최적시비량을 시비하여야 한다.

(표 17) 연구농가(직파) 시산분석 결과

구 분		< GPS · 토양조사 > 보조비율			
		전 액 농가부담	토양조사 100%		
			GPS 0%	GPS 50%	GPS 100%
1 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-3,795,268 (0.106)	204,732 (1.836)	300,732 (3.021)	396,732 (8.510)
2 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-3,708,479 (0.115)	291,521 (2.518)	387,521 (5.037)	483,521 -
3 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-4,134,227 (0.014)	-134,227 (0.301)	-38,227 (0.602)	57,773 -
5 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-4,099,105 (0.022)	-99,105 (0.484)	-3,105 (0.968)	92,895 -
6 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-3,885,616 (0.073)	114,384 (1.596)	210,384 (3.191)	306,384 -

- 주) 1. 토양조사에 대한 정부보조는 0%(전액 농민부담)와 100%만을 고려하였음.
2. GPS에 대한 정부보조는 토양조사에 대한 정부보조가 100%일 경우에 한해 GPS 관련 보조 0%, 50%, 100%의 3가지 경우를 고려하였음. 임.

이양농가 역시 시나리오에서 계산한 단위당 경제적 성과액을 현재 이농가에서 경작하고 있는 면적(2.2ha)으로 환산하여 시산분석표를 작성하였다.

(표 18) 연구농가(이양) 시산분석 결과

구 분		< GPS · 토양조사 > 보조비율			
		전 액 농가부담	토양조사 100%		
			GPS 0%	GPS 50%	GPS 100%
1 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-973,531 (0.167)	126,469 (2.842)	152,869 (4.619)	179,269 (12.316)
2 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-1,028,274 (0.108)	71,726 (2.358)	98,126 (4.717)	124,526 -
3 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-1,137,528 (0.013)	-37,528 (0.289)	-11,128 (0.578)	15,272 -
5 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-1,125,658 (0.024)	-25,658 (0.514)	742 (1.028)	27,142 -
6 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-982,058 (0.148)	117,942 (3.234)	144,342 (6.468)	170,742 -

그 결과를 보면, 농가에서 정밀농업에 따른 비용 전액을 부담할 경우 순편익은 직파농가와 마찬가지로 큰 손실로 나타난다. 다만 토양조사 대상면적이 작아 신기술 도입에 따른 비용이 적게 들어 그 손실액은 시나리오 (6 to 4)의 경우 직파농가보다 작은 총 982천원으로 나타났다.

반면에 정부에서 토양조사 비용을 100% 보조할 경우 연간 약 118천원의 경제적 편익을 얻게 된다. 이 때 농가단위의 B/C ratio는 3.234로 정밀농업에 대한 투자가 타당하게 된다.

시나리오 (3 to 4), (5 to 4)와 같이 토양조사를 실시한 후에 정밀농업을 도입하지 않고 농가단위에서 평균시비량을 일괄적으로 시비할 경우 직파농가에서와 마찬가지로 정부보조와 상관없이 여전히 경제적 손실을 보게 된다.

직파농가와 이양농가의 시나리오 (6 to 4)를 비교해 보면 정밀농업 도입에 따른 경제적 성과액이 규모가 작은 이양농가에서 더 높게 나타나고 있다. 이는 정밀농업 도입에 따른 토양조사 비용이나 GPS 관련비용 등을 단위면적당 비용을 경지면적만큼

농가에서 부담함으로써 나타나는 현상이다.

그러나 정밀농업의 도입에 따른 비용을 정부에서 100% 보조할 경우 규모가 큰 직파농가에서의 경제적 성과액이 더 크게 나타날 뿐만 아니라 경제적 성과액의 증가율 또한 높게 나타나고 있다.

3) 시나리오별 마을 전체의 경제성 분석

정밀농업의 도입에 따른 마을 전체의 경제적 효과를 파악하기 위하여 시나리오 구성 결과를 마을 내 이양재배면적과 직파재배면적을 이용하여 부분시산법에 의한 경제성 분석을 하였다. 신기술인 정밀농업이 도입될 경우 개별농가 뿐만 아니라 마을 전체적으로 추가로 발생하는 편익과 비용을 모두 고려하여 정밀농업을 도입할 경우의 시나리오 4와 다른 시나리오들을 비교하여 경제성을 분석했다.

우선 마을 내 직파농가 전체의 경제성 분석은 시나리오에서 직파농가의 단위당 경제적 성과액을 마을 내 전체 직파재배면적(28.6ha)으로 환산하여 시산분석표를 작성하였다. 그 결과를 보면, 마을 전체적으로 직파농가에서 정밀농업에 따른 비용 전액을 부담할 경우 순편익은 상당히 큰 손실로 나타났다. 특히 시나리오 (6 to 4)의 경우처럼 현재 마을 내 전체 직파재배면적에 농가가 정밀농업 도입에 따른 비용을 전액 부담하여 기존 시비법을 정밀농업으로 바꿀 경우는 연간 약 13,891천원의 손실을 보게 된다. 그러나 이 경우에 토양조사에 대한 정부보조가 100% 이루어진다면 정밀농업 도입에 따른 비용·편익비는 1보다 크게 나타나게 된다. 이 때 GPS 관련 보조를 100%할 경우는 1,095천원으로 GPS 관련보조가 없는 경우의 408천원보다 매우 높게 나타났다.

(표 19) 직파농가 전체 시산분석 결과

구 분		< GPS · 토양조사 > 보조비율			
		전 액 농가부담	토양조사 100%		
			GPS 0%	GPS 50%	GPS 100%
1 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-13,568,083 (0.106)	731,917 (1.836)	1,075,117 (3.021)	1,418,317 (8.510)
2 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-13,257,812 (0.115)	1,042,188 (2.518)	1,385,388 (5.037)	1,728,588 -
3 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-14,779,862 (0.014)	-479,862 (0.301)	-136,662 (0.602)	206,538 -
5 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-14,654,301 (0.022)	-354,301 (0.484)	-11,101 (0.968)	332,099 -
6 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-13,891,078 (0.073)	408,922 (1.596)	752,122 (3.191)	1,095,322 -

주) 직파농가의 경제적 성과액을 마을 내 직파재배면적을 반영하여 추정.

마을 내 이양농가 전체의 경제성 분석은 시나리오에서 이양농가의 단위당 경제적 성과액을 마을 내 전체 이양재배면적(64.9ha)으로 환산하여 시산분석표를 작성하였다. 그 결과를 보면, 마을 전체적으로 이양농가에서 정밀농업에 따른 비용 전액을 부담할 경우 직파의 경우와 마찬가지로 순편익은 상당히 큰 손실로 나타났다. 특히 시나리오 (6 to 4)의 경우처럼 현재 마을 내 전체 직파재배면적에 농가가 정밀농업 도입에 따른 비용을 전액 부담하여 기존 시비법을 정밀농업으로 바꿀 경우는 연간 약 28,970천원의 손실을 보게 된다. 그러나 이 경우 역시 토양조사에 대한 정부보조가 100% 이루어진다면 정밀농업 도입에 따른 비용·편익비는 직파의 경우와 마찬가지로 1보다 크게 나타나게 된다. 이 때 GPS 관련 보조를 100%할 경우는 5,036천원으로 GPS 관련보조가 없는 경우의 3,479천원보다 매우 높게 나타났다.

(표 20) 이양농가 전체 시산분석 결과

구 분		< GPS · 토양조사 > 보조비율			
		전 액 농가부담	토양조사 100%		
			GPS 0%	GPS 50%	GPS 100%
1 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-28,719,168 (0.167)	3,730,832 (2.842)	4,509,632 (4.619)	5,288,432 (12.316)
2 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-30,334,078 (0.108)	2,115,922 (2.358)	2,894,722 (4.717)	3,673,522 -
3 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-33,557,075 (0.013)	-1,107,075 (0.289)	-328,275 (0.578)	450,525 -
5 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-33,206,898 (0.024)	-756,898 (0.514)	21,902 (1.028)	800,702 -
6 to 4	순편익 (원) (B/C ratio)	-28,970,705 (0.148)	3,479,295 (3.234)	4,258,095 (6.468)	5,036,895 -

주) 이양농가의 경제적 성과액을 마을 내 이양재배면적을 반영하여 추정.

이상의 결과를 토대로 마을 전체농가의 경제적 성과액을 추정하기 위하여 직파농가의 경제적 성과액과 이양농가의 경제적 성과액을 마을 내 경작형태별 면적으로 가중 평균 하여 이를 다시 각각의 면적으로 계산하여 각 시나리오별로 마을 내 총 경제적 성과액을 추정하였다.

그 결과를 보면, 마을 내 농가에서 정밀농업 도입비용 전액을 부담하고 기존의 관행 시비법을 정밀농업으로 전환할 경우(시나리오 6 to 4) 순편익은 총 42,862천원으로 큰 손실로 나타난다.

반면에 정부에서 토양조사 비용을 100% 보조할 경우 GPS 관련 보조가 없어도 연간 약 3,888천원의 경제적 편익을 얻게 된다. 이 때 농가단위의 B/C ratio는 2.733으로 정밀농업에 대한 투자가 타당하게 된다.

(표 21) 마을 전체농가 시산분석 결과

구 분		< GPS · 토양조사 > 보조비율			
		전 액 농가부담	토양조사 100%		
			GPS 0%	GPS 50%	GPS 100%
1 to 4	순편익 (원)	-42,287,251	4,462,749	5,584,749	6,706,749
	(B/C ratio)	(0.148)	(2.539)	(4.141)	(11.220)
2 to 4	순편익 (원)	-43,591,890	3,158,110	4,280,110	5,402,110
	(B/C ratio)	(0.110)	(2.407)	(4.815)	-
3 to 4	순편익 (원)	-48,336,937	-1,586,937	-464,937	657,063
	(B/C ratio)	(0.013)	(0.293)	(0.586)	-
5 to 4	순편익 (원)	-47,861,199	-1,111,199	10,801	1,132,801
	(B/C ratio)	(0.023)	(0.505)	(1.010)	-
6 to 4	순편익 (원)	-42,861,783	3,888,217	5,010,217	6,132,217
	(B/C ratio)	(0.125)	(2.733)	(5.465)	-

주) 이양농가와 직파농가의 경제적 성과액을 마을 내 이양재배면적과 직파재배면적을 반영하여 추정.

특히 개별농가와 마찬가지로 시나리오 (3 to 4)와 (5 to 4)와 같이 토양조사를 실시한 후에 정밀농업을 도입하지 않고 농가단위에서 평균시비량을 일괄적으로 시비할 경우 정부보조와 상관없이 경제적 효과는 미미하거나 손실로 나타남을 알 수 있다. 따라서 신기술인 정밀농업을 도입하는 경우는 정부에서 토양조사뿐만 아니라 GPS 관련 비용에 대한 추가보조가 있어야 한다는 것을 보여주고 있다. 이 경우의 마을 내 총 경제적 성과액은 GPS 관련비용에 대한 추가보조가 없는 경우보다 57.8% 증가한 6,132천원으로 커지게 된다.

3. 정책방향

가. 김제평야와 같은 대농 중심지역에서는 직파재배기술의 안정성이 어느 정도 이루어져있기 때문에 쌀 생산농가의 경쟁력을 높이기 위해서 직파재배 기술의 확대가 바람직하다.

나. 정밀농업은 수질오염을 막고 토양을 보호하는 등 공익적 기능을 갖는다. 그러나 정밀농업을 위한 토양조사나 GPS 기기설비 등에 대한 비용을 개별농가가 부담할 경우에는 경제성이 낮기 때문에 개별농가가 수용하기 어렵다. 따라서 환경보호 등 공익적 기능을 갖기 때문에 국가에서 정책적으로 지원할 필요가 있다.

다. 앞으로 농업에서도 환경문제가 커지기 때문에 농업기술센터를 중심으로 농가의 토양조사에 대한 지원과 정밀농업기기를 보유하여 농민들이 마을단위로 공동 사용할 수 있고 농가나 농촌지도기관에서 정밀농업에 대한 교육을 시키는 등 지원체제에 대한 검토가 요망된다.

4. 부록 - 연구농가 및 마을전체의 시나리오 계산 결과 (6 to 4의 경우)

<표 1> 직파농가에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 0%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	0.0%	
			토양조사 보조	0.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소 0.0			수확량 증가 266,669.3		
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용 0.0			비료 투입비 절감 39,714.6		
GPS 관련 (0% 보조) 192,000.0			기타 비용 절감 0.0		
토양조사 (0% 보조) 4,000,000.0					
기타 추가 비용 0.0					
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용 4,192,000.0			총편익 306,383.9		
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익 306,383.9	총비용 4,192,000.0	순편익 -3,885,616.1	0.07		

<표 2> 직파농가에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	0.0%	
			토양조사 보조	100.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	266,669.3	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	39,714.6	
GPS 관련 (0% 보조)	192,000.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	192,000.0		총편익	306,383.9	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	1.60		
306,383.9	192,000.0	114,383.9			

<표 3> 직파농가에 GPS 보조 50%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	50.0%	
			토양조사 보조	100.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	266,669.3	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	39,714.6	
GPS 관련 (50% 보조)	96,000.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	96,000.0		총편익	306,383.9	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	3.19		
306,383.9	96,000.0	210,383.9			

<표 4> 직파농가에 GPS 보조 100%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	100.0%	
			토양조사 보조	100.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		266,669.3
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		39,714.6
GPS 관련 (100% 보조)	0.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	0.0		총편익		306,383.9
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익			
306,383.9	0.0	306,383.9	-		

<표 5> 이앙농가에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 0%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	0.0%	
			토양조사 보조	0.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이앙농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		106,097.5
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		64,644.7
GPS 관련 (0% 보조)	52,800.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (0% 보조)	1,100,000.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	1,152,800.0		총편익		170,742.2
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익			
170,742.2	1,152,800.0	-982,057.8	0.15		

<표 6> 이양농가에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	0.0%	
			토양조사 보조	100.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이양농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	106,097.5	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	64,644.7	
GPS 관련 (0% 보조)	52,800.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	52,800.0		총편익	170,742.2	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	3.23		
170,742.2	52,800.0	117,942.2			

<표 7> 이양농가에 GPS 보조 50%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	50.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이양농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	106,097.5	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	64,644.7	
GPS 관련 (50% 보조)	26,400.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	26,400.0		총편익	170,742.2	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	6.47		
170,742.2	26,400.0	144,342.2			

<표 8> 이양농가에 GPS 보조 100%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	100.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이양농가	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
1	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	106,097.5	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	64,644.7	
GPS 관련 (100% 보조)	0.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	0.0		총편익	170,742.2	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	-		
170,742.2	0.0	170,742.2			

<표 9> 직파농가 전체에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 0%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	0.0%
				토양조사 보조	0.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	953,342.7	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	141,979.7	
GPS 관련 (0% 보조)	686,400.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (0% 보조)	14,300,000.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	14,986,400.0		총편익	1,095,322.4	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	0.07		
1,095,322.4	14,986,400.0	-13,891,077.6			

<표 10> 직파농가 전체에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	0.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	953,342.7	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	141,979.7	
GPS 관련 (0% 보조)	686,400.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	686,400.0		총편익	1,095,322.4	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	1.60		
1,095,322.4	686,400.0	408,922.4			

<표 11> 직파농가 전체에 GPS 보조 50%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	50.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	953,342.7	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	141,979.7	
GPS 관련 (50% 보조)	343,200.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	343,200.0		총편익	1,095,322.4	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	3.19		
1,095,322.4	343,200.0	752,122.4			

<표 12> 직파농가 전체에 GPS 보조 100%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	100.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
직파전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	333.3	49.643	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가	953,342.7	
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가	0.0	
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감	141,979.7	
GPS 관련 (100% 보조)	0.0		기타 비용 절감	0.0	
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용	0.0		총편익	1,095,322.4	
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	-		
1,095,322.4	0.0	1,095,322.4			

<표 13> 이양농가 전체에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 0%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	0.0%	
			토양조사 보조	0.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이양전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		3,129,876.2
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		1,907,018.4
GPS 관련 (0% 보조)	1,557,600.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (0% 보조)	32,450,000.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용		34,007,600.0	총편익		5,036,894.7
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	0.15		
5,036,894.7	34,007,600.0	-28,970,705.3			

<표 14> 이양농가 전체에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4			GPS 보조	0.0%	
			토양조사 보조	100.0%	
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이양전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		3,129,876.2
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		1,907,018.4
GPS 관련 (0% 보조)	1,557,600.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용		1,557,600.0	총편익		5,036,894.7
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익	3.23		
5,036,894.7	1,557,600.0	3,479,294.7			

<표 15> 이양농가 전체에 GPS 보조 50%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	50.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이양전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		3,129,876.2
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		1,907,018.4
GPS 관련 (50% 보조)	778,800.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용		778,800.0	총편익		5,036,894.7
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익			
5,036,894.7	778,800.0	4,258,094.7	6.47		

<표 16> 이양농가 전체에 GPS 보조 100%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	100.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
이양전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	482.3	293.840	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		3,129,876.2
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		1,907,018.4
GPS 관련 (100% 보조)	0.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용		0.0	총편익		5,036,894.7
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익			
5,036,894.7	0.0	5,036,894.7	-		

<표 17> 마을농가 전체에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 0%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	0.0%
				토양조사 보조	0.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
마을전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	436.7	219.144	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		4,083,218.9
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		2,048,998.2
GPS 관련 (0% 보조)	2,244,000.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (0% 보조)	46,750,000.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용		48,994,000.0	총편익		6,132,217.1
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익			
6,132,217.1	48,994,000.0	-42,861,782.9	0.13		

<표 18> 마을농가 전체에 GPS 보조 0%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario 6 to 4				GPS 보조	0.0%
				토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"	Fert. "Lost"	Fert. "save"
마을전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)	(원/a)	(원/a)
	30	200,000	436.7	219.144	0.000
Problem : Use VRT					
Reduced Revenues :			Additional Revenues :		
수확량 감소	0.0		수확량 증가		4,083,218.9
기타 수입 감소	0.0		기타 수입 증가		0.0
Additional Costs :			Reduced Costs :		
비료 투입비 추가비용	0.0		비료 투입비 절감		2,048,998.2
GPS 관련 (0% 보조)	2,244,000.0		기타 비용 절감		0.0
토양조사 (100% 보조)	0.0				
기타 추가 비용	0.0				
Total Costs : Reduced Revenues			Total Benefits : Additional Revenues		
+ Additional Costs			+ Reduced Costs		
총비용		2,244,000.0	총편익		6,132,217.1
Net Benefit :			B/C Ratio :		
총편익	총비용	순편익			
6,132,217.1	2,244,000.0	3,888,217.1	2.73		

<표 19> 마을농가 전체에 GPS 보조 50%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario			6	to	4	GPS 보조	50.0%
						토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"		Fert. "Lost"	Fert. "save"	
마을전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)		(원/a)	(원/a)	
	30	200,000	436.7		219.144	0.000	
Problem : Use VRT							
Reduced Revenues :				Additional Revenues :			
수확량 감소		0.0		수확량 증가		4,083,218.9	
기타 수입 감소		0.0		기타 수입 증가		0.0	
Additional Costs :				Reduced Costs :			
비료 투입비 추가비용		0.0		비료 투입비 절감		2,048,998.2	
GPS 관련 (50% 보조)		1,122,000.0		기타 비용 절감		0.0	
토양조사 (100% 보조)		0.0					
기타 추가 비용		0.0					
Total Costs : Reduced Revenues				Total Benefits : Additional Revenues			
+ Additional Costs				+ Reduced Costs			
총비용		1,122,000.0		총편익		6,132,217.1	
Net Benefit :				B/C Ratio :			
총편익		총비용		순편익		5.47	
6,132,217.1		1,122,000.0		5,010,217.1			

<표 20> 마을농가 전체에 GPS 보조 100%, 토양조사 보조 100%를 할 경우.

Partial Budget : Scenario			6	to	4	GPS 보조	100.0%
						토양조사 보조	100.0%
농가번호	토양조사		Y. "Lost"		Fert. "Lost"	Fert. "save"	
마을전체	plots/필지	원/필지, 년	(원/a)		(원/a)	(원/a)	
	30	200,000	436.7		219.144	0.000	
Problem : Use VRT							
Reduced Revenues :				Additional Revenues :			
수확량 감소		0.0		수확량 증가		4,083,218.9	
기타 수입 감소		0.0		기타 수입 증가		0.0	
Additional Costs :				Reduced Costs :			
비료 투입비 추가비용		0.0		비료 투입비 절감		2,048,998.2	
GPS 관련 (100% 보조)		0.0		기타 비용 절감		0.0	
토양조사 (100% 보조)		0.0					
기타 추가 비용		0.0					
Total Costs : Reduced Revenues				Total Benefits : Additional Revenues			
+ Additional Costs				+ Reduced Costs			
총비용		0.0		총편익		6,132,217.1	
Net Benefit :				B/C Ratio :			
총편익		총비용		순편익		-	
6,132,217.1		0.0		6,132,217.1			

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표와 내용

정밀농업 기법과 친환경 농업기술들을 벼 직파 농가에 적용하여 적정 시비관리가 벼 재배와 수량에 미치는 영향을 분석하고, 영농합리화와 주변 환경에 미치는 영향을 감소하여 한국 벼 재배농가에 적합한 영농기술을 개발하고, 벼 농업경영을 향상시키며 환경보전의 효과를 얻으려 한다.

현 영농기술과 경영개선에 관심이 큰 벼 직파농가들을 대상으로 그들 경작농지에서 지력과 수량변이를 조사하여 필지별 土壤地力圖(soil map)와 벼 收畝圖(yield map)를 작성한다. 이들에 기초하여 필지별 적정시비량을 투입하고 수확물 이외 유기물을 효과적으로 재순환시키고 배출을 억제하는 경지 내 물질 순환형 시험구를 유지하여 기존 농법과 관행 시비구와 벼 생육과 수량을 비교한다. 나아가 영양성분과 농자재, 농용에너지 투입량과 질소 인 성분의 배출량을 측정하여, 주변 수질 환경에 미치는 영향을 평가하며, 직파농가의 경영분석을 실시하여 소득 최적화 모형을 도출한다.

제 2 절 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2001년)	-정밀농업기기 도입과 장착 -벼 직파농가 선정 -농지별 토양도 및 수량도 작성 -직파재배 농가들의 영농여건과 경영실태조사	1. 시험포장선정과 재배상황조사: 직파 시험 대상 농가를 선정하고 직파재배농가의 재배실태조사, 투입에너지, 영농 상황을 조사하여 TF의 실태를 분석. 2. 정밀농업 기기 도입 및 훈련: 미국의 정밀농업기기 회사로부터 yield monitoring 과 mapping, GPS를 도입, 설치 및 작동 훈련을 위하여 현지회사 교육 훈련프로그램을 이수. 3. 기기 장착과 성능검사: 콤바인에 GPS와 grain flow sensor를 부착하여 yield monitoring 과 mapping 성능검사. 필지별 수량조사 후 수량도 예비 작성. 4. 시험포장 토양분석: 시험포장의 각 지점별 토양을 채취하고 토성, PH, 유기물함량, 무기성분을 조사한다. 5. soil mapping: 수집 자료에 따라 1년차 토양도를 작성한다. 6. 지역 벼 직파농가 사회경제적 여건 및 경영실태조사: 조사 지역 선정 및 조사지역 농가인구, 호수, 경영형태, 소유규모 조사. 조사대상 농가의 선정, 시험포장 농가 농업경영진단

<p>2차년도 (2002년)</p>	<p>-수량과 토양 지도 작성</p> <p>-경영평가 및 환경영향분석</p> <p>-변량시비기술 확립</p> <p>-EF-PF기법에 따른 직파재배와 환경영향 및 경영분석</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 농가 포장에서 기존 TF농법과 EF-PF기법의 시험구를 설치, 재배법과 시비법을 변화에 따른 벼 생육, 수량변화를 조사. 2. yield mapping 작성: 각 농가별 필지별 시험구들의 벼 수량의 mapping을 하여 벼 수량 변이성을 평가. 3. soil mapping 작성: 시험구 별 토양을 조사하고 2년차의 mapping을 작성, 토양변이를 벼 수량과 비교 평가함. 4. variable rate 시비: 필지별 시험구의 지력에 따라 적정 시비량을 처방하고 그에 따른 시비를 실시함. 5. 조사농가 adaptability analysis: 시험포장 농가의 경영요인 및 기술요인 조사와 계량모형분석. 조사농가 adaptability analysis
<p>3차년도 (2003년)</p>	<p>-친환경 정밀농업 기법 확립과 환경영향 평가</p> <p>-EF-PF기법의 확립과 개선안 제시</p> <p>-벼 직파농가 경영모델 개발</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 벼 직파농가 EF-PF기법확립: 경지별 변량시비와 물질순환에 따른 효과를 비교하고 환경 및 영향평가를 실시한 후 직파농가에 적합한 EF-PF기법을 확립하여 농가에 보급안을 확정하고, 경영모형을 확립하여 개선안을 제시함. 2. 토양변이성에 따른 시비량 산정기법 확립: 토양 변이도를 작성하고 그에 따른 시비량 산정 기법을 확립함. 3. GPS/GIS 이용 공간변이성 조사방법: 지리정보를 각 포장에 적용하고 공간 변이에 따른 조사방법을 확립함. 4. 수질 및 토양질 영향 평가: 물질 순환에 따른 효과를 비교하여 EF-PF기법의 성과를 환경평가와 경영분석을 통하여 조사함. 5. 직파농가의 합리적 경영모형개발: 지속가능한 농업경영 사회경제적 지표 개발, 농업경영합리화 모델 개발, 정책방향 제시

제 3 절 연구평가의 착안점 및 달성도

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	달성도 (%)
1차년도(2001년)	○ 정밀농업 연구기기 도입, 장착 및 성능	100
	○ 시험 대상농가의 영농 상황 조사	100
	○ 시험 포장 토양분석, 토양 특성의 변이성 및 mapping 기법의 효율성	100
	○ 농가 사회경제적 실태조사 및 농업경영진단	100
2차년도(2002년)	○ 시험포장의 TP, EF-PF구의 벼 생육 및 수 량 평가	100
	○ 필지별 벼 yield mapping	100
	○ soil mapping 과 변이성 평가	100
	○ 변이성에 따른 시비량 산정 기법	100
	○ 조사대상 농가의 Adaptability Analysis	100
3차년도(2003년)	○ 벼 직파농가들의 친환경-정밀농업 기법 확 립	100
	○ 벼 수량과 토양 변이성에 따른 시비량 산정 기법 확립	100
	○ GPS/GIS 이용 공간변이성 조사방법 확립	100
	○ 수질 및 토양질 영향 평가의 적정성	100
	○ 직파재배 농가의 경영 및 환경 영향 분석	100
	○ 지속적 영농 경영 합리화 모형 개발	100
최종평가	○ 수량 평가 및 mapping	100
	○ 질소, 인, 가리 및 유기물 변이성에 따른 시 용량 변이 및 물질순환 평가	100
	○ VTR기법과 물질 순환에 따른 환경 영향 평가	100
	○ 수질 및 토양 질 변화 해석의 적정성	100
	○ 직파재배 농가의 경영 및 환경 영향 분석	100
	○ 지속적 영농 경영 합리화 모형 개발	100

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 추가연구의 필요성

본 연구를 통해서 정밀농업의 효용성과 국내 도입의 타당성에 대해 검토해 보았으며, 정밀농업 기술은 국내 벼 재배에 있어서도 충분한 활용 가능성 및 효용성이 있으며, 정밀농업 기술을 이용해 시비량을 줄이면서도 수량의 감소는 막으며, 미질의 향상을 가져오고, 환경 부하를 절감할 수 있다. 또한 포장의 토양 및 수량에 대한 지도 작성을 통해 포장 이력을 database화해서 장기적으로 이용할 경우 국내 농업 전반에 걸쳐서 정밀농업의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

이러한 정밀농업의 실용화를 위해서는 추가적인 연구 개발이 필요할 것이다. 먼저 국내에 거의 전무한 정밀농업 관련 기계의 개발이 필요하다. 정밀농업 실현은 기계기술이 반드시 동반되어야 하므로 변량살포기, 변량시비기, 벼 생육측정 장치 및 수확량 모니터링 시스템이 장착된 콤바인의 개발이 이루어져야 국내 벼농사 전반에 걸친 정밀농업의 도입이 이루어질 수 있을 것이다.

다음은 변량처리에 필요한 정확한 시비 처방의 도출이다. 본 연구를 거쳐서 토양검정에 따른 변량시비와 생육 중간평가를 이용한 변량시비를 실시하여 어느 정도 효과를 거둘 수 있었지만, 보다 정확하고 광범위한 정밀농업 도입을 위해서는 국내 주요 벼 품종별로 토양 검정에 따른 시비량 추천식과 중간 생육에 따른 시비량 추천식이 성립되어야 할 것이다. 이는 장기적인 토양과 작물 생육 모델링 등을 통해서 정립해 나아가야 할 것이다. 또한 시비 이외에도 파종이나, 제초 등의 여러 분야에 걸친 variable rate treatment의 개발 및 도입을 통해서 정밀농업의 저변 확대를 꾀해야 할 것이다.

마지막으로 정밀농업 도입에 있어서의 구획에 대한 이론 정립이 필요하다. 1m 이내의 공간에서도 변이는 존재하지만 너무 좁은 면적까지 구획화를 할 경우는 작업효율이 떨어질 수 있으므로 작업에 효율적이고 실제 농가 도입이 가능한 면적을 찾아내어 이에 따른 기계개발과 기술 개발이 이루어져야 할 것이다.

제 2 절 활용계획

1. 국내 농기계회사와 농업software 회사들에 정밀농업 기술의 도입을 추천하고, 새로운 사업 분야를 개발해 벼농사에서 정밀농업 도입을 추진한다.
2. 현존하는 농업관련 기업 외에도 다양한 벤처기업들의 창설이 가능하고 농촌지역에 새로운 사업체가 만들어지며, 농촌지역 경제 활성화에 기여 할 수 있다.
3. 비료 시비량의 제조정과 비료업계에 customer specified fertilizer 생산의 계기를 마련할 수 있다.
4. 적합성 분석(Adaptability Analysis)에 의한 영농지도 효과를 높일 수 있다.
5. 영농체계화연구(Farming Systems Research)에 의한 연구효율을 제고 수 있다.
6. 작은 규모의 수도포장 내에도 토양과 작물 생육에 있어서 지점별의 공간변이가 크게 존재한다. 그러므로 지점별 정밀 관리가 필요하다. 수도작에 있어서의 정밀농업 도입을 통한 정책 활용이 가능하다.
7. 수확량 모니터링 시스템을 이용하여 실시간으로 포장내 지점별 수확량을 얻을 수 있었으며, 수확량 지도를 작성해 재배이력으로 이용할 수 있었다. 벼 수확기계 개발에 활용할 수 있다.
8. 토양성분에 기초로 한 변량시비를 통해 시비량을 크게 절감할 수 있었으며, 그에 따른 수량 감소는 나타나지 않았으므로 농민 영농 지도시 활용이 가능하다.
9. 정밀농업 기법의 도입으로 투입 농자재를 줄일 수 있었으며, 환경부하도 감소할 수 있었다는 사실을 이용 농업정책 도입에 활용할 수 있다.

제 3 절 본 연구과제를 통해 얻어진 연구실적

본 연구 과제를 통해서 얻어진 연구실적은 국내 전문학술지 게재 5편, 국내외 학술회의 발표 7편, 학위논문 4편 이었다.

1. 국내외 전문학술지 게재

- 1) 이호진, 서준한. 2002. 작물재배에서 정밀농업기법의 활용. 친환경정밀농업연구회지. 1(1): 31-38.
- 2) 서준한, 이호진, 정영상, 이승훈. 2002. 수도 포장의 토양 및 수량 지도 작성과 변량시비 추천. 친환경정밀농업연구회지. 1(1): 61-60.
- 3) 이호진, 정지훈, 서준한, 이승훈, 이창환. 2003. 질소 변량시비가 직파재배 벼 수량에 미치는 영향. 친환경정밀농업연구회지. 2(1): 37-41.
- 4) 곽한강, 송요성, 연병열, 오왕근, 정영상. 2001. 토양검정에 의한 질소시비량 결정에 Mitscherlinch-baule-spillman 개념의 응용. 한국토양비료학회지 34(5): 311-315.
- 5) 오남기, 김흥기, 신용규, 조흥기, 소순영, 김동완, 박정근. 2002. 전북 평야지역의 쌀 생산비절감 실증 연구 : 쌀 생산농가의 경영 수준별 성과분석 연구. 전라북도 농업기술원 시험연구보고서 2001: 73-85.

2. 국내외 학술회의 발표

- 1) H. J. Lee, J. H. Seo, J. H. Chung, and A. Chun. 2002. Growth and Yield Mapping of Rice for Precision Agriculture in Paddy Field. 6th international Conference on Precision Agriculture. p. 178.
- 2) 서준한, 이호진, 이승훈, 정지훈. 2002. 수도 포장의 생육 및 수량 지도와 변량시비도의 공간분포 작성. 한국작물·육종·약용작물학회 공동심포지엄 발표요지. 별

- 47(1): 214.
- 3) 정지훈, 서준한, 이승훈, 이호진. 2002. Yield Monitor를 활용한 수확량 지도 및 토양 변이도 작성. 한국작물학회 2002 추계학술발표회 발표요지. 別 47(2):p. 52.
 - 4) 정지훈, 이호진, 서준한, 이승훈, 천아름, 이창환. 2003. Variable Rate Fertilization of Nitrogen in Direct Seeded Rice Field. 한국작물학회 한국육종학회 공동학술대회 발표요지. 別 48(1): 260.
 - 5) 이승훈, 이호진, 정지훈, 이창환, 김희동, 조영철, 이재홍. 2003. 질소비료 시용량이 벼 품종들의 질소이용효율에 미치는 영향. 한국작물학회 한국육종학회 공동학술대회 발표요지. 別 48(1): 243.
 - 6) 이창환, 정지훈, 이호진. 2003. Remote sensing에 의한 벼 식물 질소의 간접 평가와 변량 시비 효과. 한국작물학회 2003 추계학술발표회 발표요지. 別 48(2): 149.
 - 7) 정지훈, 이호진, 이창환, 이승훈. 2003. 논 포장에서 수확량과 수분함량 정보의 공간변이성 해석. 한국작물학회 2003 추계학술발표회 발표요지. 別 48(2): 156-157.

3. 학위논문

- 1) 이정삼. 2001. 논 투입 볏짚과 헤어리베치의 분해 및 질소 방출이 벼 생육에 미치는 영향. 서울대 농학과 박사학위논문. 104 p.
- 2) 서준한. 2002. 벼 담수직파재배에서 질소 시비체계와 이용효율 개선 연구. 서울대학교 농학과 박사학위논문. 76 p.
- 3) Areum Chun. 2003. Nitrogen Uptake and Partitioning of ¹⁵N Labeled Fertilizer by Different N Application Levels in Rice Cultivars. Thesis of Seoul National University. 45 p.
- 4) 정지훈. 2004. 논에서 변량시비를 통한 비료 절감과 벼 생육 및 수확량 변이 지도의 작성. 서울대학교 농학과 석사학위논문. 44 p.

제 6 장 참고문헌

- Drummond, S. T., C. W. Fraisse and K. A. Sudduth. 1999. Combine harvest area determination by vector processing of GPS position data. *Trans. ASAE* 42(5): 1221-1227.
- Sawyer, J. E. 1994. Concepts of variable rate technology with consideration for fertilizer application. *J. Prod. Agric.* 7: 195-201.
- Lee, C. K., J. Yanai, T. Kaho and T. Kosaki. 2001. Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis of yield-determining factors. *Soil Science and Plant Nutrition* 47(2): 291-301.
- Isaaks, E. H. and R. M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York.
- Prospects of precision farming. Korean Precision Farming Conference. April 1999.
- Shibusawa, S. 1998. Precision farming and teramechanics. *Proc. of the 5th Asia-Pacific Regional conference. ISTVS*. Seoul, Korea. p. 251-261.
- Cho, S. I., I. S. Kang and S. H. Choi. 2000. Determination of variable rate fertilizing amount in small size field for precision fertilizing. *KSAM* 25(3): 241-250.
- Chung, S. O., W. K. Park, Y. C. Chang, D. H. Lee and W. P. Park. 1999. Yield mapping of a small sized paddy field. *KSAM* 24(2): 135-144.
- Kitchen, N. R., K. S. Sudduth, S. Y. Hong. 2002. Before you variable apply, understand why : Lessons from Missouri Precision Agriculture Research. *Proceedings of the KSPA 2002 Conference*. NAMRI, Suwon, Korea. p. 45-66.
- Sudduth, K. A. 2001. Precision agriculture data acquisition, analysis and interpretation : A Missouri perspective. *Proceedings of the 3rd Precision Agriculture Seminar*. NAMRI, Suwon, Korea. p. 43-86.

- Lee, C. K. 2003. Yield monitoring mechanical technology for paddy rice. Proceedings of the International Seminar on Current Development Technology and Application Case of the Mechanical Technology for Precision Agriculture. NAMRI, Suwon, Korea. p. 79-93.
- Park, W. P. 2003. Research of precision agriculture in Korea. The Korean Society of Precision Agriculture 2(1): 30-36.
- Umeda, M. 2003. The role of precision agriculture in Japan. The Korean Society of Precision Agriculture 2(1): 8-23.
- Franzen, D. W., N. R. Kitchen. 1999. Developing management zones to target nitrogen applications. Site-Specific Management Guidelines 5 #10-1005.
- Ronald, F. C., Lijbert, B., 1997. Soil Ecology in Sustainable Agricultural System. CRC : p71-85.
- Bouma J. 1997. Precision agriculture: introduction to the spatial temporal variability of environmental quality. In Precision agriculture: spatial temporal variability of environmental quality. 5-17. John Wiley & Sons Ltd.
- Steven T. SONKA., 1997. Precision Agriculture in the 21st Century. National Research Council. : p16-18.
- Dingkuhn M., H. F. Schnier, S. K. Datta, K. Dörffling, C. Javellana, and R. Pamplona. 1990. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: II. Interactions among canopy properties. Crop Sci. 30: 1284-1292.
- Gold, M. V. 1999. Sustainable Agriculture: Definition and Terms. Special Reference Briefs Series no. SRB : p99-102.
- R. Bongiovanni and J. Lowenberg-DeBoer. 2001. Precision Agriculture : Economics of Nitrogen Management in Corn Using Site-specific Crop Response Estimates from a Spatial Regression Model. American Agricultural Economists Association Annual Meeting, August 5-8, 2001.
- Kent Olson. 1988. Precision Agriculture : Current Economic and Environmental Issues. Sixth Joint Conference on Food, Agriculture and the Environment, August 31-September 2, 1988.

- 이춘수. 1998. 토양 검정에 의한 작물별 시비량 결정. 토양 검정과 시비 처방에 관한 심포지엄. 제주대학교: 139-151.
- 박원규. 2002. 친환경 정밀농업 기술 개발. 친환경정밀농업연구회지 1(1): 1-21.
- 이호진, 서준한. 2002. 작물재배에서 정밀농업기법의 활용. 친환경정밀농업연구회지 1(1): 31-38.
- 최민규, 김상수, 백남현, 최원영, 이재길, 이충근, 김순철. 2002. 소규모 경작지에서 정밀관리를 위한 포장변이 지도 작성. 친환경정밀농업연구회지 1(1): 39-50.
- 서준한, 이호진, 정영상, 이승훈. 2002. 수도 포장의 토양 및 수량 지도 작성과 변량 시비 추천. 친환경정밀농업연구회지 1(1): 51-60.
- 이충근, 성제훈, 손연규, 정인규, 김상철, 황성준, 박우풍. 2002. 벼 포장에 있어서 생육 변이의 공간통계학적 해석. 친환경정밀농업연구회지 1(1): 61-70.
- 이호진, 정지훈, 서준한, 이승훈, 이창환. 2003. 질소 변량시비가 직파재배 벼 수량에 미치는 영향. 친환경정밀농업연구회지 2(1): 37-41.
- 류일훈, 김경옥. 2003. 정밀 농업을 위한 수도 포장의 비료 성분 및 수확량 변이에 관한 연구. 친환경정밀농업연구회지 2(1): 42-62.
- 곽한강, 송요성, 안병열, 오왕근, 정영상. 2001. 토양검정에 의한 질소시비량 결정에 Mitscherlich-Bauls-Spillman 개념의 응용. 한국토양비료학회지. 34(5): 311-315.
- 정연태, 조인상 등. 1999. 작물별 시비처방기준. 농촌진흥청 농업과학기술원. p. 152.
- 박천서. 1970. 한국 논토양 갈이흙의 유효규산 함량과 규산질 비료의 효과와의 관계. 농시연보. 13집(식환): 1-29.
- 박철수, 정영상, 이호진, 주진호, 서준한. 2000. 건답 직파재배 논에서 질소비료 형태에 따른 시용효과. 한국토양비료학회지. 33(5): 324.
- 이기상, 허범량, 홍종운, 황기성. 1981. 규산질비료 효과시험. 농기연보고서. 386-403.
- 이호진, 서준한, 이정삼, 정영상, 박정근. 1996. 벼 직파재배 노동력 투입 및 에너지 효율성 비교. Korean J. Crop Sci. 41(1): 115-121.
- 이호진. 1998. 고투입 다수확 재배의 결과와 성찰. 경상대학교 개교 50주년 기념 심포지엄 '21세기 한반도 농업전망과 대책'. 210-232.
- 유순호, 박무언, 박이열, 노희명. 1982. 수도에 대한 규산질비료의 잔효. 한국토양비료학회지. 15(2): 95-100.

- 정영상, 주진호, 윤세영. 2003. 간척지에서 토양과 관개수의 염류도와 염류토 관리. 강원대학교 농업과학연구소. 28-30.
- 정영상, 임형식, 윤세영, 주진호, 박철수, 김은규, 신중두. 환경 보전형 정밀 농업을 위한 전자장 이용 비파괴 신속 염 분포도 작성 이용법 및 염류토 관리 지침서 개발. 2002. 농림부, 강원대 농업생명과학대학. 31-42, 91-109.
- 정영상, 양재의, 박철수, 안재훈. 2001. 산지 농업 환경의 최적 관리 방안. 고령지농업 시험장. 151-156.
- 정영상, 양재의, 주진호. 2003. 산지 농업 환경 최적 관리 방안. 강원대 농업과학연구소, 농촌진흥청 고령지농업시험장. pp 71.
- 조인상, 임정남, 소재돈, 이선용, 최대용. 1983. 하해혼성 식양질 답토양에서 토양물리 성 개선이 수도 수량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 16(2): 92-97.
- 류순호. 2000. 토양사전. 서울대학교출판부. pp730.