

최 종  
연구보고서

# 친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업 시스템 개발

Development of Variable Rate Application  
System for Environment Friendly Precision  
Rice Farming in Paddy Field

연구기관

주관연구기관 농업공학연구소  
협동연구기관 서울대학교  
위탁연구기관 서울대학교  
작물과학원

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2006 년 8 월 29 일

주 관 연구기관명 : 농촌진흥청농업공학연구소

총괄연구책임자 : 박 우 풍

제1세부연구책임자 : 박 우 풍

위탁연구기관명 : 서울대학교

위탁연구책임자 : 이 중 용

참 여 기 업 명 : 화인특장, (주)드림바이오스

제2세부연구책임자 : 이 충 근

위탁연구기관명 : 서울대학교

위탁연구책임자 : 이 호 진

참 여 기 업 명 : 쌍용기계산업(주)

제1협동연구기관명 : 서울대학교

제1협동연구책임자 : 류 관 희

참 여 기 업 명 : 중앙그린텍

제2협동연구기관명 : 서울대학교

제2협동연구책임자 : 이 변 우

위탁연구기관명 : 농촌진흥청 작물과학원

위탁연구책임자 : 신 진 철

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템 개발” 과제에 대한 제 1세부연구과제(토양 분석용 시료 채취기 개발 및 분석 기술 확립 및 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템 개발)의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 8 월 29 일

제1세부연구기관명 : 농촌진흥청 농업공학연구소

세부과제책임자 : 박 우 풍

연 구 원 : 김 상 철

성 제 훈

정 병 학

황 성 준

위탁연구기관명 : 서울대학교

위탁연구책임자 : 이 중 용

연 구 원 : 박 영 준

박 서 범

임 수 인

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템 개발” 과제에 대한 제 2세부연구과제(실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정시스템 개발 및 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성 기법 개발)의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 8 월 29 일

제2세부연구기관명 : 농촌진흥청 농업공학연구소

세부과제책임자 : 이 충 근

연 구 원 : 박 원 규

최 용

전 현 중

이 용 범

정 인 규

정 선 옥

조 영 목

성 민 기

송 기 훈

유 영 기

위탁연구기관명 : 서울대학교

위탁연구책임자 : 이 호 진

연 구 원 : 정 지 훈

이 수 경

이 승 훈

안 수 진

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템 개발” 과제에 대한 제 1협동연구과제(농약 및 비료 변량제어 시스템 개발에 관한 연구)의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 8 월 29 일

제1협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 류 관 희

연 구 원 : 조 성 인

이 중 용

김 영 주

유 지 훈

박 두 산

박 태 진

김 민 수

양 승 환

이 상 훈

이 기 욱

이 성 대

이 민 욱

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템 개발” 과제에 대한 제 2협동연구과제(벼 생육 정보 비파괴적 수집 및 가변 시비처방 기술개발 및 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사)의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 8 월 29 일

제2협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 이 변 우

연 구 원 : 김 민 호

Ahn

Hung

위탁연구기관명 : 농촌진흥청 작물과학원

위탁연구책임자 : 신 진 철

연 구 원 : 최 경 숙

김 덕 수

이 충 근

심 주 미

# 요 약 문

## I. 제 목

친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업 시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 쌀 재배는 통일벼 개발 이후로 농약과 비료에 의존한 수량증대를 목표로 이루어져왔다. 이러한 배경에는 품질보다는 건조정도와 쭉정이 포함여부를 기준으로 일괄적으로 벼의 가격을 책정하던 관행이 있다. 전통적인 벼 재배방식은 수량증대를 위하여 추천시비량보다도 많은 비료를 사용하는 관행을 낳았다. 과다 시비는 저수지나 하천의 부영양화 및 지하수 오염 등을 일으켰고, 질소 과다 시비로 인한 병충해 발생도 증가하여 농약 등의 화학제 사용을 증가시켰다. 한편, 우리나라 농업은 1990년대 UR협상과 2000년대 들어 DDA와 FTA등을 거치면서 농업의 패러다임이 바뀌게 되었다. 즉 농산물의 다수확보다는 고품질 농산물 생산과 친환경 국토관리에 의한 공익적 효과를 제고하는 방향으로 변화된 것이다. 정밀농업은 포장 내·포장 간 위치별로 토양, 작물의 생육상태, 수확량 등을 측정 분석하여 위치별로 필요한 양의 비료, 농약, 종자를 살포하는 친환경 과학영농이다. 정밀농업은 미국, 유럽 등 선진국에서 빠른 속도로 확대 보급되고 있는 첨단 영농기술로서 미국의 정밀농업농가는 1999년도 현재 전체 농가의 40%에 이르고 있으며 일본의 경우 정밀농업의 기초기술이 개발되고 실용화를 위한 검증단계에 있다.

본 연구는 작물과 토양의 환경 정보를 수집 분석하여 처방함으로써 화학비료와 농약사용량을 줄여, 농업생산량은 지속되면서 환경부담을 경감시킬 수 있는 친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템을 개발하고자 수행되었다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 벼 재배에 적용할 수 있는 정밀농업기술을 개발하는 것으로, 벼 재배에 모든 작업을 정밀농업에 포함시키지 않고 정밀농업을 벼농사에서 실현하는데 필요한 4개의 핵심기술 분야로 나누어 수행 되었다. 첫 번째 핵심기술 분야인 토양 분석용 시료 채취기는 힘든 작업인 토양시료 채취공정의 기계화와 구조가 단순하고 간단한 조작으로 시료채취와 동시에 포장의 위치정보 및 토양 특성을 단기간 내 계량화 할 수 있도록 개발하는 것이다. 단, 토양조사는 실시간 분석이 아니라 특정 간격으로 격자를 구성

하여 토양을 샘플링하고, 현장에서 측정해야만 하는 토양경도는 현장에서 측정하도록 한다. 여기서 토양분석기술은 연구범위에 해당되지 않는다. 두 번째 핵심기술 분야는 정밀 농업의 시비 의사결정과 처방을 위한 수확량정보를 제공할 수 있는 자탈형 콤바인에 부착 가능한 실시간 벼 수확량 모니터링 시스템을 개발하는 것이다. 즉, 콤바인에 장착할 수 있는 모니터링 시스템과 이 시스템을 사용하는데 필요한 소프트웨어를 개발하고 수확량 평가에 필수적인 곡물 수분을 동시에 측정하여 산물상태에서도 벼의 양을 정확하게 알 수 있도록 한 것이다. 세 번째 핵심기술 분야는 토양의 공간적 변이를 파악하기 위한 방법을 강구하고, 군락반사를 이용하여 작물의 생육상태를 신속하고 비파괴적으로 측정할 수 있는 기술을 개발하며, 목적하는 수량과 목적하는 단백질함량을 위한 수비처방을 위해 벼 생육정보의 비파괴적 수집 및 가변시비처방기술 개발하는 것이다. 즉, 이를 통해 벼의 수량에 영향을 미치는 주요 인자를 확인하고, 벼의 생산량, 벼의 품질, 토양의 이화학특성, 비료시비량의 관계를 구명하여 이를 근거로 시비량을 결정하는 것이다. 네번째 핵심기술 분야는 정밀 농업을 기반으로 하는 벼 재배에서 시비 지도를 기반으로 작동되는 변량입제살포기를 개발하기 위해 살포 균등도가 고른 분형 입제 살포기와 시비 지도 정보에 의한 제어되는 입제 배출기를 설계·제작하고, GPS 시스템을 도입함으로써 제작된 시스템의 위치 및 속도 정보를 추출할 수 있는 가변 시비 처방 기술개발 하는 것이다.

본 연구는 당초 5년으로 제안되었으나 연구비나 연구기간이 축소되어 개발된 요소기술을 통합하는 연구까지는 포함되지 않았다. 즉, 벼 재배의 완벽한 정밀농업기술이 되려면 생육중 포장변이 측정기술과, 병해충의 실시간 계측기술, 액제 농약의 변량살포기, 정밀 관계배수기술이 요청되지만, 실시간 처방량 결정과 처방 지도간의 통합의사결정기술이 요청되는데 이것은 추후 개발되어야 할 부분이다.

## IV. 연구개발 결과

본 연구는 수도작에서 벼의 수량은 같은 수준에서 생산하되 환경의 부담을 줄이기 위하여 토양, 생육, 수확량 정보를 수집하여 GPS/GIS를 기반으로 꼭 필요한 위치에 꼭 필요한 농자재를 처방할 수 있는 친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업 시스템을 개발하는 목적으로 수행되었으며 구체적인 연구결과는 다음과 같다.

### 1. 토양분석용 시료 채취기 개발 및 분석 기술 확립과 트랙터 부착형 토양 경도 측정시스템 개발

이 연구는 정밀농업에 필수적인 토양의 이화학적 특성의 변이를 측정하는데 필요



한 토양 분석용 시료채취기를 개발하고, 현장에서만 측정 가능한 토양경도를 측정하는 기능을 추가하며, 토양지도 작성에 응용할 수 있는 분석기술을 개발하는 것이다. 단, 토양의 이화학적 특성을 측정하는 것은 측정기술 자체를 개발하는 것은 연구범위가 아니다. 시료 채취를 위한 장치는 트랙터 장착형과 휴대형으로 나누어 개발하였으며, 수직 다점 채취방식인 트랙터 장착형 시료채취기는 깊이 20cm 까지 114cc의 시료를 1분 이내에 채취하도록 하였으며, 즉답식 수동관입 장치를 가진 휴대형 시료채취기는 100cc 표준 시료채취원통에 시료를 충전하여 라벨링을 완료하는데 까지 약 1분 30초 정도가 소요되었다.

트랙터 장착형 토양 시료 채취기는 토양 경도와 토양 EC를 동시에 측정할 수 있도록 설계되었으며, 휴대형 토양 시료 채취기는 센서 프로브를 교체 장착 함으로 토양 경도와 EC측정이 가능한 구조로 개발하였다.

트랙터 장착형과 휴대형 토양 시료 채취기 모두 GPS 수신 장비로부터 위치정보를 얻을 수 있도록 하고, 토양 경도 및 토양 EC에 대한 정보를 위치정보와 함께 전용의 컴퓨터에 저장 될 수 있도록 하고 데이터가 라벨로도 출력되어 샘플에 부착되도록 설계제작되었다.

한 포장내에서 작물생육에 영향을 미치는 이화학 성분들의 공간변이를 해석하여 적정 샘플링 밀도를 파악하여 시료채취장치의 설계기준 및 운용방법에 대한 기본 자료를 얻기 위해 공간통계학적 해석모형을 이용하여 최소 샘플링 밀도의 결정기법을 개발하고 개발된 모델의 유용성을 실제 포장성분 조사를 통해 검증하였다.

특히 기존의 인력식 채취기는 손의 힘만을 이용하여 채취하도록 한 구조인 반면 시작기는 발의 힘을 이용하여 채취부가 토양속을 관입하도록 하여 채취자의 작업피로가 적고 장시간 작업도 가능하며 토양경도를 동시에 측정할 수 있어 포장의 작토(경반)층의 깊이를 추정 할 수 있다.

## 2. 실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정시스템 개발

자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템을 개발하기 위해 각 구성센서들에 대한 단위기술들의 개발과 통합 보더의 개발, 운영 프로그램의 개발 그리고 주변기기들의 개발하여 포장 성능시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 유량을 계측할 수 있는 곡물 유량 측정 센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과 곡물 저장통에 배출된 곡물 총량과 측정한 실제값과 결정 계수가 0.9949로서 아주 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차는 11.1kg으로서 수확 작업 시 포장 내 위치별 벼의 수량을 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.

자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 총 양을 계측할 수 있는 곡물총량계측센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과, 곡물 총량 계측 센서의 출력신호와 실제 곡물질량과의 관계가 결정계수로 0.998을 보였으며, 검량선 표준오차는 4.09kg을 보여 포장시험을 실시한 결과, 예측 곡물총량과 실측 곡물총량과의 관계가 결정계수로 0.999를 보였으며, 예측표준오차는 4.46kg, 편이는 -1.93kg을 보였다. 따라서 이 방식을 이용한다면 곡물의 총량을 계측할 수 있을 것으로 판단되었다.

자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 수분을 계측할 수 있는 곡물 수분 계측센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과, 곡물 수분과 센서 출력 값과는 높은 상관관계를 보였으며, 곡물온도가 20℃에서 시험한 결과를 살펴보면, 결정계수의 범위가 0.994~0.998의 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차를 살펴보면 0.256~0.446으로서 높은 정밀도를 보였다. 개발한 곡물 수분 계측센서 모델검증을 위하여 실제 측정된 곡물 수분과 예측한 곡물 수분과는 높은 상관관계를 보였으며, 결정계수 범위가 0.986~0.997을 나타냈으며, 예측표준오차는 0.394~0.659%를 나타내었으며, 편이는 -0.180~-0.154%를 보였다. 따라서 개발된 센서를 콤바인에 부착하여 포장시험을 실시한 결과, 실제 측정한 곡물 수분과 개발한 센서로 측정된 값 사이에 결정계수가 0.9065를 보였으며 예측표준오차는  $\pm 0.73\%$ 를 보였으며, 편이는 0.05%를 보여 포장내포장 별 곡물의 수분 변이를 수확과 동시에 측정 가능함을 나타낸 것으로 판단되었다.

수량정보 계산을 함에 있어서 필요한 곡물 유량 계측 센서, 곡물 총량 계측 센서, 곡물 수분 계측 센서, 작업유무 검출 센서, 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 GPS 등을 메인으로 하는 장치와 각 센서들의 원활한 동작을 위한 주변장치 등의 신호를 통합적으로 입력받고 처리할 수 있는 통합 보더를 작성하였다. 속도 센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 작업유무 검출센서 등을 개량하거나 개발하여 본 시스템이 원활하게 동작될 수 있도록 하였다. 그리고 수확량 모니터링 시스템을 운영하기 위해 필요한 운영 프로그램의 주요 모드는 보정모드, 포장정보 입력모드, 수확모드, GPS 및 센서모드 등 5개의 모드로 표현할 수 있었다. 이 시스템을 이용하여 포장시험을 실시했을 때 수량 측정 오차는 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 2.3%의 오차를 보여 높은 정밀도를 보였으며, 수분 정보도 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 0.2%의 오차를 보였다. 끝으로 수확과 동시에 수확정보를 수치와 지도로 가시화 할 수 있었으며, 필지 내 수확량 변이를 포장에서 확인할 수 있었다.

### 3. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성 기법 개발

포장의 수확작업 시 구획별로 샘플을 획득하여 수분함량을 측정한 후 수분함량 보정전과 보정후의 수량을 비교 분석하고, 수분함량과 수확량에 대한 비교 분석과, 수분함량 지도를

작성하여 수확량 지도와의 비교를 통해 수분함량과 수확량간의 관계를 조사해본 결과;

정확한 수확량 지도 작성을 위해서는 샘플링 간격을 최소화 하는 것이 효과적일 것이나 콤바인의 예취 폭과 포장면적을 고려하여 조절해야 할 것이다. 수확량 정보 통계시의 한 구획의 넓이는 포장 면적에 따라서 조절이 가능하겠지만 가로 세로 길이로 봤을 때 5m이상 15m이하가 적당할 것으로 판단되었다.

Sensor-based map 작성을 위해서 우선 수확량 모니터링 시스템을 통한 수확량 정보 획득을 하였다. 수작업을 통한 수분함량 보정을 위해서 각 구획별로 일정량의 곡물을 샘플링 하여 건조법을 이용해 수분함량을 측정하였다. 그 후 각종 소프트웨어를 이용해 보정 후 지도를 작성하였다.

단위시간당의 곡물유량과 진행속도, 예취 폭을 통해 단위 면적당의 수량이 얻어지고 이를 수분보정을 통해 정조 수량을 얻을 수 있다. 그러나 초기 수확량 정보는 수많은 점 data로 이루어지게 되므로 지도 작성을 위해 다시 정리가 필요하다. 우선적으로 콤바인이 예취작업을 진행하게 될 경우 예취 후부터 유량센서까지 도달하게 될 때까지 나타나는 시간차를 보정하고, 예취 폭이 일정하지 않기 때문에 나타나게 되는 오차를 보정해야 하며, 유량이 거의 0에 가깝게 나타나게 되면 수확량 정보의 보정 시에 유의수준 이하의 값을 제거해 보정해 준다.

#### 4. 벼 생육정보의 비파괴적 수집 및 가변시비처방기술 개발과 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이 조사

Boundary line 분석기법을 이용하여 공간적 변이의 해석기법을 개발하였고, 그에 따른 수량변이를 모델을 통해 살펴보았는데 약 50% 이상의 변이를 설명할 수 있었다. 또한 수량에 영향하는 토양내 요인을 검토한 결과 점토함량과 유기물함량, CEC, 토양 총질소 등이 가장 중요하다는 것을 알게 되었다.

토양 특성의 공간변이를 고려한 가변시비 처방을 한 결과 수량과 단백질 함량의 공간변이를 크게 줄이고 또한 수량도 향상되는 결과를 얻었다. 수비 처방시 수량보다는 목표 단백질 함량을 기준으로 처방하여야 하는 것으로 파악되었다.

유수분화기 다양한 생육 및 질소영양 상태별 질소시비량에 따른 수량 및 단백질함량 반응을 실제 작물이 흡수한 질소흡수량을 기준으로 검토하여 추정정확도와 그 효용성을 극대화 하였으며, 이를 모델로 만들고 검증하였다. 만들어진 모델의 결정계수( $R^2$ )는 대체로 0.9 이상으로 매우 높았다. 이 모델들은 중생종 벼에 대하여 시비 처방에 활용할 수 있을 것으로 보이며, 조생종과 중만생 내지 만중종에 대한 검토가 더 필요하다고 판단되었다.

유수분화기 및 유수분화기 1주일전의 RVIgreen 및 SPAD 측정치로써 목적하는 수량과 단백질함량 모델과 함께, 유수분화기 SPAD값 및 생체중으로써 목적하는 수량과

단백질함량 모델을 작성하였고 이를 검증하였다. 검증결과 약 70%의 변이를 설명할 수 있었다. 이들 식을 이용하여 목표 단백질을 얻기 위한 가변 수비처방을 한 결과 단백질함량이 목표치에 매우 가까웠을 뿐만 아니라 수량과 단백질 함량의 공간 변이를 줄여서 품질이 균질화 될 뿐만 아니라 수량도 향상 되었다

## 5. 농약 및 비료 변량제어 시스템 개발

농용 승용 관리기 후방에 부착할 수 있도록, 송풍식으로 붐대를 이용하여 입제를 살포하는 시스템을 설계 개발하였으며, 작업기의 구성은 원동기, 호퍼, 붐 장착 프레임, 입제 배출 장치, 송풍기, 좌·우·중앙 붐과 분두, 시스템 제어박스, GPS 및 레디도 주파수 수신기, 데이터 처리 컴퓨터로 구성된다.

작업기의 살포 폭은 10m이며, 시비 지도의 최소 셀(cell)의 크기는 10m×10m로 결정한다. 시비 작업에서 10cm 간격의 비료 배출 균등도는 10% 이내를 목표로 하며, 이는 분두의 수, 분두 간 거리, 분관 내의 충돌판의 관입 길이 및 분두의 높이와 비료의 물리적 특성을 바탕으로 최적 조건을 시스템에 적용하였다.

시스템 제어박스는 시비 지도를 바탕으로 GPS로부터 수신되는 위치 및 속도데이터를 수신하여 작업기의 실시간 위치와 속도에서 살포될 시비량을 결정하여 입제 배출 장치의 모터 회전수를 제어함으로써 입제 배출량을 제어하게 된다. 또한 각 위치에서 입제 배출 장치를 통해 배출된 비료의 양을 저장하여 실제로 각 위치에 뿌려진 비료의 양을 지도화 할 수 있도록 개발하여 시험한 결과 시비량은 5단계로 나누어 균등 시비 작업을 하게 되었다.

GPS로부터 수신되는 위치와 속도 신호의 오차를 계산하여 비교적 저속으로 시비 작업을 하게 되는 실제 환경에서 나타나는 신호의 오차율을 실험을 통해 분석하여 시스템 적용 가능성을 판단한다. GPS로부터 임의의 농지 윤곽 데이터를 획득하고 시비 지도를 적용하는 소프트웨어 프로그래밍을 통해 개발된 프로그램의 개발하였다.

작업할 포장정보 및 작업정보를 한 눈에 파악 가능하도록 모니터를 부착하여 시험한 결과; 변량살포기의 핵심부인 공기운반 붐 살포에 적용할 분두를 개발되었고, 살포율의 변화에 크게 영향을 받지 않고 균등한 살포가 가능한 분두시스템을 개발하였다. 살포 실험을 통한 살포 균등도는 CV값이 15% 이내로 높은 살포 균등도를 보였다. 또한 변량제어기는 사용자의 편리를 도모하기 위해 완전 자동과 수동을 겸용 가능하도록 하였다.

## V. 활용에 대한 건의

정밀농업은 우리나라가 당면한 농업문제 즉 농장의 규모화와 경쟁력 있는 영농시스

템의 구축, 지속가능한 농업생산기반 유지를 위한 친환경 농업 패러다임, 농업 인력의 감소와 경험적 농업지식 전수체계의 붕괴에 따른 사회적 지식공유체계의 필요성 증대와 같은 일련의 문제들을 해소 할 수 있는 미래의 농업 패러다임이라 할 수 있다.

본 기획과제는 정밀농업을 구현할 수 있는 각 요소기술을 종합적으로 개발한 것이나 연구비와 연구기간의 제한으로 인하여 실제 포장에서 정밀농업을 구현하고 문제점을 파악하고 보완할 기회를 갖지 못하였다.

따라서 이 연구과제 종료 이후에 별도의 연구 과제를 개발하여 농촌(인)-산-학-연이 공동으로 참여하여 이미 개발된 시작기와 정밀농업기술을 현장에서 평가하는 한편, 새롭게 개발된 정밀농업기술 즉, 실시간 토양, 작물생육 계측 기술을 접목하거나 개발하여야 할 것이다.

이 후속 연구가 성공적으로 완료된다면 이후에 친환경 고품질 쌀 생산단지나 상수원 보호지구에 기술을 적용할 수 있을 것이다.

# SUMMARY

## I. Title

Development of variable rate application system for environment friendly precision rice farming in paddy field.

## II. Objective and Significance

Rice farming in Korea has been conducted to increase yield per unit area by applying enough amount of pesticides and fertilizers since Tong-IL rice varieties had been bred. This traditional rice production practice resulted in over dose of fertilizers than recommended. Overdose of fertilizers resulted in eutrophication of water reservoir and strams, underground water contamination by nitrogen, and increasement of pesticide use to control increasement of disease and weed, those were caused by excessive fertilizer use.

On the other hand, paradigm of rice production in Korea has been changed from "yield increasement by use of pesticides and fertilizers" to "production of high quality rice and enforcing non-economical public contribution effect by environment-friendly agriculture through UR in 1990's and DDA, FTA between Korea and Chile, and FTA between Korea-USA in 2000's.

Precision Farming in which seeds, pesticides and fertilizers are site-specifically applied based on scientific judgement using information on soil properties, crop growth, and yield of previous year, is one of the environment-friendly and scientific agricultural technologies. Precision farming technologies has been spread among farmers in advanced countries like USA, Japan and west European countries. Number of farm households of precision farming in USA reached to over 40% of total number of farm households. In case of Japan, precision farming technologies had been developed and have been tested at farmer's level.

This study had been conducted to develop precision farming technologies for rice production in Korea to reduce amount of fertilizer use by gathering and

analyzing information on soil, crop and environment, applying required amount of fertilizers based on scientific analysis.

### III. Contents and Scope

The study aimed to develop precision farming technologies for rice farming in paddy field. All of the rice farming practices are not included in this study. Instead, four major technologies required to conduct precision farming were selected and were researched.

The first core technology was development of soil sampler and sampling technologies. The developed soil sampler had simple structure and good controllability. Use of this machine greatly reduced amount of manual hard work for soil sampling and time for data analysis by combining global position information with soil properties. Soil sampling should be conducted at every grid distance that was pre-determined. Measurement of soil hardness, that could be measured only in-situ were conducted at the time of sampling. This study excluded analysis technologies on soil's physiochemical properties.

The second core technology was development of real time yield monitoring system, that could be mounted on the head feeding type rice combine harvester. It could provide local rice yield information for decision making of determining amount of fertilizer site-specifically. The study included software development related to the yield monitor. The yield monitor measured amount of rough rice threshed and moisture content at the same time to estimate yield precisely in bulk condition.

The third core technology was development of decision making technology for determining amount of fertilizer application based on non-destructive in-situ detection technologies on crop growth information, spatial variability of soil properties and relationship between panicle N prescription, rice quality (protein content in rice grain), target rice yield, and soil properties. In this study, major factor that affected yield and quality of rice among factors of soil physiochemical properties were evaluated and selected.

The last core technology was development of variable-rate granule chemical and

fertilizer applicator, that could apply fertilizers uniformly within its application swath, at variable-rate based on the fertilizer application map.

This study was proposed as a five year long project. However, research fund and period was reduced so that testing of the core technologies by combining the individual technologies at research farm level. In order to develop a complete precision rice farming system, some technologies such as real time pest and weed measurement, variable-rate liquid chemical applicator, and enhancement of decision making technology that could combine real time information with pre-measured or pre-analyzed information. These technologies should be developed at the next research project in future.

## **IV. Results and Opinion**

This study has been conducted to develop variable rate application system for environment friendly precision rice farming in paddy field, that could reduce environment load of farming practice without change in rice yield by applying GPS/GIS technologies to soil sampling and analysis, sensing crop growth information and yield, determining site-specific fertilizer application amount, and applying the determined amount of fertilizer correctly by use of a variable-rate granule chemical and fertilizer applicator.

Main result from this study were summarized as following:

### **1. Development of Soil Sampler for Evaluating Field Properties and Soil Hardness Measurement System**

It is very important to maintain soil state suitable to produce crops for sustainable agriculture. Precision agriculture could be accomplished by site-specific variable prescription after acquisition of the soil information should be in the first step. The information is the key to make decision for growth environment and fertilization. Current analysis method, however, needs a lot of efforts and time, and application of precision agriculture must be limited.

For precision agriculture, soil information is necessary for decision making of variable prescription. Current analysis method, however, needs a lot of efforts and time, and application of precision agriculture must be limited. We



developed a useful system which measures soil properties in short time with simple structure and easy controllability. The soil sampling system consists of the following three parts: soil sampling device(soil sampler), soil hardness measuring device and electrode measuring electric conductivity(EC) and moisture contents. The system is mounted to the 3-point hitch system of a tractor. The tractor is located a site and soil sampler samples test soil in the following processes: the probe is pressed into the soil to 20 deep by the hydraulic cylinder, and rotated by the hydraulic motor. The cut soil is filled into a plastic sample tube by 100cm<sup>3</sup>, and the probe is pulled out of the soil. Hardness measurement device is composed of three cone penetrometers, three loadcells, three hydraulic cylinders and three linear potentiometers. The cone-penetrometer penetrates into the soil as the hydraulic cylinder is provided hydraulic oil. The penetration force is measured by the loadcell as the penetration depth is detected by the linear potentiometer by 45cm depth. Penetration speed is calculated using the depth and the measured time. EC and moisture contents of soil are measured by electronic pole which emits two microwaves whose wave lengths are 10MHz and 100MHz respectively. All data are stored into the file in the computer with position information from GPS. It was possible to take a soil sample in 46 seconds. Automatic soil hardness measuring device indicated less than 5% as error compared to data from manual soil hardness measuring device. The soil sampling system should be improved to get the filling rate sufficient irrespective of soil type and moisture contents.

## **2. Development of yield monitoring system for head-feeding combine on paddy field.**

In order to develop of yield monitoring system for head-feeding combine, grain flow-rate measuring sensor, grain gross mass measuring sensor, grain moisture content measuring sensor, system operating program etc. were developed. These each components of yield monitoring system attached at the four-rows head feeding combine. The results obtained were as follows ;

The grain flow-rate measuring sensor showed high interrelation between sensor output and measured value as coefficient of determination of 0.9949 and

standard error calibration of 11.1kg in test.

In basal performance tests, the grain total mass measuring sensor showed that the coefficients of determination with respect to the accumulated grain mass within grain tank were 0.998, 4.09kg of standard error coefficient.

In addition, field tests were conducted to estimate the total grain mass by the combine with the gross grain mass measuring system. The sensor could determine the total grain mass at the coefficients of determination 0.999, 4.46kg of standard error prediction, -1.93kg of bias. Results of the field test showed a reliable performance of the gross grain mass measuring sensor and it was considered that this system would be useful to detect the variation of yield in paddy field.

The grain moisture content measuring sensor consisted electronic input part, oscillation part, impedance matching part, sensing part, high-frequency to current transform part, amplify part of current and output part of voltage. The sensor for grain moisture content measurement designed to detect the impedance change within grain.

To between the grain moisture measurement sensor and grain moisture content was shown high interrelation as coefficient of determination of 0.994 ~ 0.998 and standard error calibration of 0.256 ~ 0.446% in inner test.

10°C to 20°C range of grain temperature, grain moisture content increased 0.092% of Nampung, 0.024% of Dongjin, 0.043% of Junam and 0.017% of Chuchung per 1°C.

20°C to 30°C range of grain temperature, grain moisture content increased 0.009% of Nampung, 0.035% of Dongjin, 0.037% of Junam and 0.019% of Chuchung per 1°C.

To between the measured grain moisture content and predicted grain moisture content was shown high interrelation as coefficient of determination of 0.986 ~ 0.997, standard error of prediction of 0.394 ~ 0.659% and bias of -0.180 ~ -0.154% for prediction.

In these results, this sensor the structure was simple, the setting was convenient and it was thought with the fact that the application of head-feeding combine will be use.

The sensor was shown high interrelation between the measured grain

moisture content and predicted grain moisture content as coefficient of determination of 0.9065, standard error of prediction of  $\pm 0.73\%$  and bias of 0.05% for prediction in field test. Results of the field test showed a reliable performance of the grain moisture content measuring sensor.

An operating program that provided automatic acquisition, processing, mapping, and storage of grain yield data and operation parameters of head-feeding combines in paddy field. The developed program supported acquisition and processing of both digital and analog data streams. The software consisted of five modes: calibration mode, field information input mode, harvesting mode, GPS mode and sensor interface mode.

The program of a rice yield monitoring system was developed and tested. The program provided not only basic functions for commercially available yield monitoring systems, but also other functions for Korean users. Results of the field test showed a reliable performance of the operating program.

In field test of this system, grain yield measurement error was shown 2.3%, grain moisture content measurement error was 0.2%. Results of the field test showed a reliable performance of this yield monitoring system for head-feeding combine in paddy field.

However, this yield monitoring system will be tested in various rice paddy fields, and revised to ensure better performance.

### **3. Developing yield mapping technique based on yield monitoring sensor**

Yield information that is gotten by yield monitoring system is appeared to set of yield by point data usually. To use displaying yield by map in field, contour map and map of divided by lattice is the most suitable. This experiment was achieved to manufacture by map estimating performance in field of yield monitoring system, and corrects and pigeonhole gotten yield data.

Did first yield information acquisition through yield monitoring system for Sensor-based map creation. For moisture content revision through manual processing cereal of fixed rate by each division using seasoning because do sampling moisture content measure . Made map after revision using various softwares after that.

Yield per unit area is gotten through grain flow rate and going, cutting width per unit time and this can get unhulled rice yield through water revision. But, early yield information need arrangement again for mapmaking because is consisted of many point data. If must correct error that is corrected time lag that appear until is reached at flow sensor from cutting after in case of combine progresses cutting work preferentially, and appears because cutting width is indefinite, and flux is appeared nearly to almost 0 yield information of when correct value fewer than significance level remove and correct .

#### **4. Development of variable rate control spraying system for granule agricultural chemicals and fertilizer.**

This study was accomplished to develop a variable rate granule applicator for paddy production in Korea as a part of development of precision agriculture technology. In this study the granule included granule chemical fertilizer(compound fertilizer) and granule type pesticides.

To develop the machine, 3 teams worked together, one team developed hardware such as applicator frame and applicator itself, the other team developed a control system that could control metering device to apply granule at variable rate based on the granule application map and real working speed. The last team developed a DGPS system and a program that could calculate working speed based on the position information from the DGPS system.

Specifications of the granule applicator were decided by conceptual design process. Information on precision farming technology and agronomy, rice cultivation practices, characteristics of available prime movers were considered.

The developed granule applicator was composed of a prime mover(riding type cultivator), a frame mounted on the read of the cultivator, a fan and pneumatic conveying system that was driven by P.T.O. of the cultivator, boom and blow heads, hopper and metering system, controller, DGPS system, and an industrial computer with a monitor that showed field and working path etc.

The developed granule applicator could apply granule fertilizer and chemicals based on the application map, with 10 m of application swath. It could be operated at 0.2 to 0.6 m/s of working speed in paddy fields, regardless of existence of rice plants. The application rate per unit area could be

continuously controlled, but to make matters simple fertilizer application rate was divided into 5 levels. Uniformity of fertilizer application (C.V. value was within 15%) was also satisfactory.

## **5. Development of within-field spatial variability analysis method and site-specific panicle N prescription model using non-destructive analysis of rice growth and nitrogen nutrition status**

Within-field Spatial variation in plant growth and yield was significantly dependent on soil variability regardless of fertilizer application, rice cultural method and years of cultivation. Boundary line analysis and an application of the Law of the minimum were well applied for an analysis of spatial variation of rice yield response to soil properties. As this approach provide a best fit to the analysis of spatial variation of yield response to soil variables, it is regarded that it could clearly address the common question in precision agriculture: what and where yield-limiting factor is. The prescription of N fertilizer requirement for management of spatial variation in rice yield and protein contents at PIS using basic spatial information from the previous study and in-situ prediction of variation in plant growth status using hyper-spectral reflectance was formulated successfully. Design of experimental field for testing a possibility of management of spatial yield variability using prescription of nitrogen at PIS has successfully worked. It not only reduced the spatial variability of yield and protein content but also increased rice yield.

Among the vegetation indices (VI) RVIgreen had significantly higher coefficients of determination ( $R^2$ ) than the other VI's: it showed higher correlation of above 0.64 with leaf N concentration, shoot N concentration and shoot dry weight, and above 0.8 with LAI, shoot N content, and nitrogen nutrition index (NNI). Though SPAD reading had a significantly high correlation value at a given VGS in each year, it showed very loose relationship with growth parameters and nitrogen nutrition status (NNS) when pooled across growth stages and years, suggesting that SPAD has much limitations for estimating growth parameters and NNS in contrast to vegetation indices. To determine panicle nitrogen topdress rate (PN) based on the nondestructive diagnosis, yield and protein content were regressed to SPAD reading or

RVIgreen at PIS and one week before PIS, and nitrogen accumulation from PIS to harvest (PNup). The regression models for prediction yield and protein content had a high coefficient of determination ( $R^2 > 0.9$ ). PNup for maximizing yield (PNup<sub>Ymax</sub>) showed a negative correlation with RVIgreen at PIS, and was estimated to be 9 ~ 13.5 kgN/10a within RVIgreen range at PIS of this experiment. In this case protein content rose up to 9% that degrade the rice taste seriously. PNup for controlling the protein content below 7% (PNup<sub>protein<7%</sub>) was calculated as 6 ~ 8 kgN/10a. Therefore, It would be desirable to prescribe PN based on the model for protein content rather than for grain yield.

Partial least square regression (PLS) using hyperspectral canopy reflectance data to predict six plant variables (SDW: shoot dry weight, SN: shoot nitrogen concentration, SND: shoot nitrogen density, NNI: nitrogen nutrition index, LDW: leaf dry weight, and LN: leaf nitrogen concentration) produced an acceptable model precision and accuracy. The PLS model using canopy reflectance data could be a promising method to predict within-field spatial variation of rice crop growth and N status and N fertilizer topdressing rate prescription if error sources occurring during canopy reflectance measurement were successfully controlled. Earlier applied N at PIS resulted in lower protein content but the highest grain yield was obtained when N was applied at 28 days before heading. However, the optimum N timing for grain yield at PIS was at 30 days before heading for no N treatments at tillering stage and at 27 days before heading for 3.6 and 7.2 kg N/10a treatments, respectively while at 27 days and 29 days before heading for Hwaseongbyeo and Daeanbyeo, respectively. Response models were formulated for N rate prescription for target grain yield and milled-rice protein content based on shoot N content (PNup) measured by canopy reflectance and partial least square regression method at PIS. PNup in combination with applied N rates at PIS were successful to predict grain yield, milled-rice protein content and N uptake from PIS to harvest. Nitrogen rate prescription treatment (PRT) for target protein content reduced variation in protein content and was very close to the target protein content. In addition, PRT increased grain yield significantly as compared to the FRT. Prescription of N topdressing at PIS for target yield and protein content based on shoot fresh weight (PFW) and SPAD value (PSPAD) reduced the coefficient of

variation in protein content and increased the grain yield as well. In the prescribed N rate treatments for target 6.8% protein content, grain yields were highly dependent on fresh weights at PIS and the estimated optimum fresh weight at PIS for maximum yield was 2180 kg/10a.

## V. Future Use

Precision farming is an alternative farming technology for future that could solve urgent faced problems such as sustain ability of agriculture, restructure of farm-households from small scale traditional farming to competitive large scale farming system, and difficulties of farming technology transfer from the old experienced farmer to young farmer by rapid collapse of agricultural labor source. This research developed core technologies for precision rice farming. However, integral application of the developed technologies at research farm level was not conducted so that latent problems that could happen in integral application of the individual core technologies at farmers level could not be figured and evaluated because of lack of research time and research fund.

Therefore, another research project for evaluation and improvement of the developed core technologies as well as development of some technologies those were excluded in this study. The research project should be done by a consortium of farmer-industry-academy-research institute for at least three years.

After this successive research project has been done successfully, transferring the developed and improved precision farming technologies to farmers in region of environment friendly farming for high quality rice or region for water resource conservation could start.

# CONTENTS

## Chapter 1. Introduction

<b>Paragraph 1. The needs for technology development</b> .....	<b>1</b>
1. Technical aspects .....	2
2. Economical and industrial aspects .....	2
3. Social and cultural aspects .....	3
<b>Paragraph 2. Current status and problems of concerned technology</b> .....	<b>3</b>
1. Domestic currents .....	3
2. Foreign currents .....	4
3. Forecast of future .....	5
<b>Paragraph 3. Research objectives</b> .....	<b>5</b>
1. Research objectives and contents .....	5
2. Annual research objectives and contents .....	7

## Chapter 2. Development of Soil Sampler for Evaluating Field Properties and Soil Hardness Measurement System



Summary .....	10
Paragraph 1. Introduction .....	11
Paragraph 2. Present status of soil sampling technology .....	13
Paragraph 3. Development of soil sampler for precision farming .....	17
1. Investigation of soil sampler developed with variable mechanism .....	17
a. Structure and properties .....	17
b. Sampling mechanism .....	19
2. Determination of density of soil sampling points .....	20
a. Analysis of sampling density for field understanding .....	20
b. Verifying experiment for sampling density model evaluation .....	22
3. Rough understanding of field properties using soil hardness .....	24
a. Soil hardness and soil physics .....	24
b. Measurement apparatus for soil hardness .....	25
4. Rough understanding of field properties using soil electro conductivity(EC) .....	34
a. Soil electro conductivity(EC) and soil properties .....	34
b. Measurement apparatus for soil EC .....	34
c. ....	36
5. Test for determination of sampling structure of soil sampler .....	37
a. Discrete sampling structure .....	37
b. Continuous sampling structure .....	40
6. Design and manufacturing of soil sampler .....	44
a. Attachable type on tractor hitch .....	44
b. Portable type .....	57
7. Economic viability of soil sampler .....	61
Paragraph 4. Conclusions .....	63
1. Design and manufacturing of implement .....	64
2. Functions of each parts .....	66
3. Test of sampling and measuring .....	67
4. Test results .....	67

5. Economic viability and practicality .....	68
6. Suggestions for next study .....	68
<b>Reference .....</b>	<b>70</b>
<b>Chapter 3. Development of yield monitoring system for head-feeding combine on paddy field</b>	
<b>Summary .....</b>	<b>72</b>
<b>Paragraph 1. Background and scopes .....</b>	<b>74</b>
<b>Paragraph 2. Current status of research and development .....</b>	<b>74</b>
1. Foreign currents .....	74
2. Domestic currents .....	77
<b>Paragraph 3. Development of grain flow-rate measuring sensor .....</b>	<b>77</b>
1. Materials and methods .....	77
a. Design and manufacture .....	77
b. Basal test .....	80
2. Results and discussion .....	81
a. Field test .....	81
b. Results .....	82
3. Conclusions .....	82
<b>Paragraph 4. Development of grain gross measuring sensor .....</b>	<b>83</b>
1. Materials and methods .....	83
a. Design and manufacture .....	83
b. Basal test .....	85
2. Results and discussion .....	87
a. Field test .....	87
b. Results .....	88
3. Conclusions .....	89

<b>Paragraph 5. Development of grain moisture content measuring sensor</b> .....	<b>89</b>
1. Materials and methods .....	89
a. Basal information .....	89
b. Variation in rice moisture content during harvesting period .....	90
c. Design and manufacture .....	92
d. Test material and method .....	95
2. Results and discussion .....	96
a. Model for each variety .....	96
b. Temperature adjust constant .....	98
c. Model validation .....	101
3. Conclusions .....	103
<b>Paragraph 6. Development of grain moisture content measuring system</b> .....	<b>103</b>
1. Materials and methods .....	103
a. Design .....	103
b. Manufacture .....	104
2. Results and discussion .....	108
a. Field test .....	108
b. Results .....	110
3. Conclusions .....	111
<b>Paragraph 7. Integration of system and filed performance test</b> .....	<b>111</b>
1. Development of data acquisition, treatment and visualization equipments	
111	
a. System components .....	112
b. Design and manufacture of data aquisition and treatment board .....	112
c. Design and manufacture of visualization equipment and others .....	115
2. Development of system operating program .....	120
a. Terms of program .....	120
b. Specification of system .....	121
c. Structure of system .....	121

d. User interface .....	123
3. Field performance test .....	127
a. Field test .....	127
b. Evaluation of performance test .....	128
4. Conclusions .....	129
<b>Paragraph 8. General conclusions .....</b>	<b>130</b>
<b>Reference .....</b>	<b>132</b>
<b>Chapter 4. Analysing spatial variability of yield related information and enveloping yield mapping technology</b>	
<b>Summary .....</b>	<b>133</b>
<b>Paragraph 1. Outline of the report on development of research .....</b>	<b>136</b>
<b>Paragraph 2. Current statuses of research and development .....</b>	<b>137</b>
<b>Paragraph 3. Materials and method in the research .....</b>	<b>138</b>
1. Analysing spatial variability of information related by yield .....	138
a. Analysing spatial variability of Manual-based Map .....	138
b. Analysing spatial variability of limited yield variability .....	139
c. Analysing spatial variability of effect that grain moisture contents gets in yield	
139	
2. Developing yield mapping technique based on yield monitoring sensor	139
3. Fitness analysis of yield monitoring sensor in paddy field .....	140
<b>Paragraph 4. Outcomes of the research .....</b>	<b>142</b>
1. Analysing spatial variability of information related by yield .....	142
a. Analysing spatial variability of Manual-based Map .....	142

b. Analysing spatial variability of limited yield variability .....	144
c. Analysing spatial variability of effect that grain moisture contents gets in yield	
146	
2. Developing yield mapping technique based on yield monitoring sensor	148
a. Developing sensor-based map making process .....	148
b. Sensor revision technique development at field application .....	150
c. Contour map creation techniques development based on real time yield	
151	
3. Fitness analysis of yield monitoring sensor in paddy field .....	157
a. Comparing head-feed type combine and conventional type combine .....	157
b. Both yield monitoring that use large size combine in large scale field	
159	
c. Revision of yield .....	161
d. Growth and yield characteristics in reclaimed paddy field .....	163
e. Yield monitoring in barley field .....	165
Paragraph 5. Discussion of the research .....	168
Reference .....	170

## Chapter 5. Development of variable rate control application system for granule agricultural chemicals and fertilizer

Summary .....	172
Paragraph 1. Objective and scope .....	174
Paragraph 2. Significance .....	175
Paragraph 3. Physical property analysis on granular fertilizer and agricultural chemicals .....	176
1. Standard of fertilizer application and applying methods in paddy field	

176	
a.	Standard of fertilizer application ..... 176
b.	Applying methods ..... 177
2.	Physical property analysis on granular fertilizer and agricultural chemicals 178
a.	Geometric property analysis ..... 178
b.	Bulk density ..... 179
c.	Particle density ..... 179
d.	Repose angle ..... 179
e.	Coefficient of friction ..... 180
f.	Moisture absorption ..... 181
g.	Terminal velocity ..... 181
h.	Pickup velocity ..... 182
i.	Coefficient of repulsion ..... 182
3.	Results on physical property analysis ..... 183
4.	Comparison between foreign and domestic granule applicator ..... 186
a.	Developed granule applicators ..... 186
b.	Blow type granule applicator's discharger of 'ISEKI' ..... 187
c.	Determination of application rate by the standard and method ..... 188
d.	Determination of maximum and minimum application amount of granule agricultural chemicals ..... 189
e.	Determination of proper revolution rate on discharger roller ..... 189
<b>Paragraph 4. Development of variable rate granule applicator ..... 192</b>	
1.	Concept development ..... 192
2.	Public announced machinery ..... 193
3.	Public announced granule applicator ..... 194
a.	Loading formation ..... 194
b.	Design of granule discharger ..... 195
c.	Design of granule carrier ..... 196
d.	Selection of drive motor for granule discharger ..... 196
e.	Selection and performance of blower ..... 197
f.	Granule transfer system and measurement of air speed and flow ..... 198

g. Design of blow head .....	200
4. Development of variable rate control system on hardware .....	201
a. Development of variable rate controller .....	201
b. Signal processing of variable rate controller .....	202
c. Design of variable rate control system .....	203
5. Results .....	204
a. Selection of blower .....	204
b. Blow characteristic of granule transfer system .....	206
6. Summary .....	207
<b>Paragraph 5. Development of variable rate granule applicator .....</b>	<b>208</b>
1. Blow head and boom section .....	208
2. Public announced fertilizer .....	209
3. Application uniformity by the inserting length of collecting plate .....	210
4. Application uniformity by application height .....	212
5. Results .....	212
a. Granule application character by collision board penetration length ·	212
b. Application uniformity by applying height .....	215
6. Summary .....	217
<b>Paragraph 6. Improvement of variable rate granule applicator .....</b>	<b>218</b>
1. Granular flow pattern analysis on boom using high speed camera .....	218
a. Composition of experiment equipment .....	218
b. Pattern analysis of granule fertilizer transport .....	220
2. Improvement of granule applicator .....	224
3. Application uniformity by the inserting length of collecting plate .....	225
4. Application uniformity by application height .....	226
5. Results .....	226
a. Granule application character by collision board penetration length ·	226
b. Application uniformity by applying height .....	227
6. Summary .....	231
<b>Paragraph 7. Development of control system on hardware .....</b>	<b>232</b>

1. Design and composition of control system .....	232
a. Design of granule variable rate applicator .....	232
b. Composition of control system .....	233
c. Composition and control method of granule discharger .....	238
2. Design and analysis of control system simulation model .....	242
a. Response character analysis by revolution rate on granule discharger	242
b. Analysis of control motor character on granule variable rate applicator	243
c. Simulation of granular variable rate control system .....	249
d. Verification and results of simulation model .....	253
3. Performance analysis of control system .....	257
a. Granule applying tendency analysis on discharger .....	257
b. Decision of control standard on controller .....	261
c. Revolution character analysis on discharger .....	264
d. Fertilizer discharging character analysis .....	268
4. Summary .....	278

**Paragraph 8. Database on variable rate prescription map & system**

<b>interface with GPS .....</b>	<b>279</b>
1. Program of database on variable rate prescription map .....	279
a. Deciding fertilizer applying amount for building an application map ..	279
b. E-R diagram and schema for supporting decision making .....	283
c. Database for fertilizer applying map .....	285
d. Interface construction on fertilizer applying map system .....	286
2. DGPS system performance .....	287
a. Composition of DGPS and judgment of working properly .....	287
b. Accuracy of position data .....	291
c. Accuracy of velocity data .....	292
d. Decide of signal receiving interval .....	294
3. Interface with prescription map and system .....	296
a. Coordination conversion and cell coordination decision algorithm .....	296
b. Introduction of developed software .....	298



<b>Paragraph 9. Database on variable rate prescription map &amp; system interface with GPS .....</b>	<b>300</b>
1. Introduction of developed total system .....	300
2. Measurement of gravity center on machinery .....	303
3. Application uniformity analysis by total application amount .....	305
4. Outer test of variable rate granule applicator .....	307
<b>Paragraph 10. General conclusion .....</b>	<b>309</b>
1. Development of granule variable rate application machinery .....	312
2. Development of granule variable rate applicator .....	313
3. Improvement of granule variable rate applicator .....	314
4. Development of granule variable rate applicator controller .....	315
5. Performance of the total system on outer test .....	316
<b>Reference .....</b>	<b>318</b>

**Chapter 6. Development of within-field spatial variability analysis method and site-specific panicle N prescription model using non-destructive analysis of rice growth and nitrogen nutrition status**

<b>Summary .....</b>	<b>321</b>
<b>Paragraph 1. Background and scopes .....</b>	<b>326</b>
<b>Paragraph 2. Current status of research and development .....</b>	<b>327</b>
<b>Paragraph 3. Materials and methods .....</b>	<b>329</b>

1. Spatial variability in field and site-specific nitrogen prescription for the improved yield and grain quality .....	330
2. Determination of panicle N based on non-destructive diagnosis of rice growth status .....	331
3. Determination and assessment of panicle N prescription model for target yield and protein content in rice .....	333
<b>Paragraph 4. Results .....</b>	<b>335</b>
1. Within-field spatial variability and site-specific nitrogen prescription for the improved yield and grain quality .....	335
a. Within-field spatial variability of soil physico-chemical properties .....	335
b. Response of grain yield under spatially-variable soil condition .....	340
c. Formulation and assessment of site-specific N prescription model .....	342
2. Determination of panicle N based on non-destructive diagnosis of rice growth status .....	347
a. Relationship of rice growth and N status with canopy reflectance and SPAD346reading at vegetative growth stage .....	347
b. Response of rice yield and protein content to N accumulation after panicle	
352	
c. Regression equation of rice yield and protein content to RVIgreen and SPAD value at PIS .....	356
3. Determination and assessment of panicle N prescription model for target yield protein content in rice .....	360
a. Partial least square(PLS) regression model to estimate rice growth and N status using canopy reflectance .....	361
b. Response of rice yield and protein content to timing of panicle N topdressing and N accumulation .....	365
c. Prescription of panicle N topdressing rate based on plant growth and N nutrition status estimated by partial least regression model using canopy reflectance .....	367
d. Prescription of panicle N topdressing rate based SPAD value and shoot fresh weight .....	368
<b>Paragraph 5. Discussion .....</b>	<b>372</b>

References .....	375
Chapter 7. Conclusions	
Chapter 8. Achievement of the goal and contributions	
Paragraph 1. Achievement of the goal .....	383
Paragraph 2. Achievement of the research target .....	384
Paragraph 3. Contribution of the related fields .....	386
Chapter 9. Application plan of achieved results	
Paragraph 1. Extension plan .....	387
Paragraph 2. Industrialization plan .....	387
Paragraph 3. Technology transfer plan .....	388
Paragraph 4. Paper presentation .....	388
Appendices	

# 목 차

## 제 1장 서론

제 1절 연구의 필요성 .....	1
1. 기술적 측면 .....	2
2. 경제·산업적 측면 .....	2
3. 사회·문화적 측면 .....	3
제 2절 국내외 관련기술의 현황과 문제점 .....	3
1. 국내 기술 현황 .....	3
2. 국외 기술 현황 .....	4
3. 앞으로 전망 .....	5
제 3절 연구 개발의 목표 .....	5
1. 연구 개발 목표와 내용 .....	5
2. 연차별 연구개발 목표와 내용 .....	7

## 제 2장 토양 분석용 시료 채취기 개발 및 분석 기술 확립과 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템 개발

Summary .....	10
제 1절 연구 개발 과제의 개요 .....	11
1. 토양채취를 위한 기계적 메카니즘 및 시스템 설계요인 구명 .....	11
2. 토양시료 채취장치의 시작기 제작 및 성능시험 .....	11
3. 토양시료채취장치와 GPS, 토양경로 측정장치 통합 .....	12
제 2절 국내외 기술 개발 현황 .....	13
제 3절 연구 개발 수행 내용 및 결과 .....	17
1. 국내외 토양 시료 채취기 조사 분석 .....	17
가. 구조 및 특징 .....	17
나. 핵심 메카니즘 .....	19

2. 토양 시료 샘플링 지점의 밀도 분석 .....	20
가. 토양분석을 위한 토양 샘플링 지점 밀도 해석모델 개발 .....	20
나. 토양분석을 위한 토양 샘플링 밀도 해석모델의 검증 .....	22
3. 토양 경도를 이용한 토양특성의 간이 분석 기술 .....	24
가. 토양 경도와 토양 물리성 .....	24
나. 토양 경도 측정 장치 개발 .....	25
4. 토양 EC를 이용한 토양특성의 간이 분석 기술 .....	34
가. 토양의 전기 전도도(EC)와 이화학적 특성 .....	34
나. 토양 전기전도도 측정 장치 개발 .....	34
다. 토양 전기전도도(EC) 측정 장치 시험 .....	36
5. 토양시료채취기의 채취부 구조결정을 위한 요인 시험 .....	37
가. 다점 채취 방식(수직 관입형) .....	37
나. 연속 채취 방식(수평 견인형) .....	40
6. 토양 시료 채취기의 설계 제작 .....	44
가. 트랙터 부착형 토양시료 채취기 .....	44
나. 휴대형 토양 시료 채취기 .....	57
7. 토양 분석용 시료 채취기의 경제성 분석 .....	61
<b>제 4절 요약 및 결론 .....</b>	<b>63</b>
1. 장치의 설계 및 제작 .....	64
가. 토양시료 채취부 .....	64
나. 토양 경도 측정부 .....	65
2. 기능 설계 .....	66
3. 시료 채취 및 경도 측정 시험 .....	67
4. 성능시험 결과 .....	67
가. 관입속도 제어를 위한 오리피스 시뮬레이션 결과 .....	67
나. 토양시료 채취시험 .....	67
다. 토양 경도측정 시험 .....	68
5. 경제성 분석 및 실용성 .....	68
6. 금후 연구를 위한 제언 .....	68
<b>참고 문헌 .....</b>	<b>70</b>

## 제 3장 실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정 시스템 개발

Summary .....	72
제 1절 연구 개발 과제의 개요 .....	74
제 2절 국내외 기술 개발 현황 .....	74
1. 국외 기술 개발 현황 .....	74
2. 국내 기술 개발 현황 .....	77
제 3절 곡물 유량 계측센서 개발 .....	77
1. 재료 및 방법 .....	77
가. 설계 및 제작 .....	77
나. 기초시험 .....	80
2. 결과 및 고찰 .....	81
가. 포장시험 .....	81
나. 시험결과 .....	82
3. 요약 및 결론 .....	82
제 4절 곡물 총량 계측 센서 개발 .....	83
1. 재료 및 방법 .....	83
가. 설계 및 제작 .....	83
나. 기초 시험 .....	85
2. 결과 및 고찰 .....	87
가. 포장시험 .....	87
나. 결과 및 고찰 .....	88
3. 요약 및 결론 .....	89
제 5절 곡물 수분 계측 센서 개발 .....	89
1. 재료 및 방법 .....	89
가. 기초자료 .....	89
나. 수확시기 벼 수분 변이 .....	90
다. 곡물 수분 계측센서 설계 및 제작 .....	92
라. 공시 재료 및 시험방법 .....	95

2. 결과 및 고찰 .....	96
가. 품종별 모델 .....	96
나. 온도보정계수 .....	98
다. 모델 검증 .....	101
3. 요약 및 결론 .....	103
<b>제 6절 곡물 수분 계측 시스템 개발 .....</b>	<b>103</b>
1. 재료 및 방법 .....	103
가. 설계 .....	103
나. 제작 .....	104
2. 결과 및 고찰 .....	108
가. 포장시험 .....	108
나. 시험결과 .....	110
3. 요약 및 결론 .....	111
<b>제 7절 시스템 통합 및 포장 성능시험 .....</b>	<b>112</b>
1. 데이터 수집, 처리 및 가시화 장치 개발 .....	112
가. 시스템 구성요소 .....	112
나. 데이터 수집, 처리 통합 보더 설계 및 제작 .....	112
다. 가시화 장치 및 기타 장치 설계 및 제작 .....	115
2. 시스템 운영 프로그램 개발 .....	120
가. 프로그램 구비 조건 .....	120
나. 시스템 권장 사양 .....	121
다. 시스템 구조 .....	121
라. 사용자 인터페이스 .....	123
3. 포장성능시험 .....	127
가. 포장시험 .....	127
나. 성능평가 .....	128
4. 요약 및 결론 .....	129
<b>제 8절 종합결론 .....</b>	<b>130</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>132</b>

## 제 4장 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성 기법 개발

Summary .....	133
제 1절 연구개발 과제의 개요 .....	136
제 2절 국내외 기술개발 현황 .....	137
제 3절 연구개발 수행 방법 .....	138
1. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 .....	138
가. Manual-based Map의 공간변이성 해석 .....	138
나. 한계 수확량 변이의 공간 해석 .....	139
다. 곡물수분함량의 수량기여도 공간 해석 .....	139
2. 수확량 모니터링 센서에 기초한 수확량 지도 작성 기법 개발 .....	139
3. 수확량 모니터링 센서의 포장에서의 적합도 검정 .....	140
제 4절 연구개발 수행 결과 .....	142
1. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 .....	142
가. Manual-based Map의 공간변이성 해석 .....	142
나. 한계 수확량 변이의 공간 해석 .....	144
다. 곡물수분함량의 수량기여도 공간 해석 .....	146
2. 수확량 모니터링 센서에 기초한 수확량 지도 작성 기법 개발 .....	148
가. Sensor-based Map의 작성 기법 개발 .....	148
나. 포장 적용 시 sensor 보정기법 개발 .....	150
다. Real time yield에 기초한 contour map 작성기법 개발 .....	151
3. 수확량 모니터링 센서의 포장에서의 적합도 검정 .....	157
가. 자탈형 콤바인과 일반형 콤바인 비교 .....	157
나. 대규모 포장에서 대형 콤바인을 이용한 수확량 모니터링 .....	159
다. 수확량의 보정 .....	161
라. 간척지 포장에서의 생육 및 수량 특성 .....	163
마. 보리포장에서의 수확량 모니터링 .....	165
제 5절 종합고찰 .....	168
참고문헌 .....	170



## 제 5장 농약 및 비료의 변량제어 시스템 개발

Summary .....	172
제 1절 연구개발과제의 개요 .....	173
제 2절 국내의 기술개발 현황 .....	174
1. 국외 기술개발 현황 .....	174
2. 국내 관련 기술 현황 .....	175
제 3절 입제 농약 및 비료의 물성 .....	175
1. 수도작에서의 표준시비량/ 시비방법 조사 .....	175
가. 표준 시비량 .....	175
나. 시비방법 .....	176
2. 입제 비료와 농약의 물성 조사 .....	177
가. 입도분석 .....	177
나. 산물밀도 .....	178
다. 진밀도 .....	178
라. 안식각 .....	178
마. 마찰계수 .....	179
바. 수분흡습률 .....	180
사. 종말속도 .....	180
아. 부양속도 .....	181
자. 반발계수 .....	181
3. 입제 비료와 농약의 물성 조사 결과 .....	182
4. 국외 개발된 입제 살포기와 공시 개발기의 비교 .....	185
가. 국내의 입제 살포기 비교 .....	185
나. ISEKI 사의 송풍식 입제살포기의 배출장치 .....	186
다. 표준시비량/시비방법에 따른 비료의 살포량 결정 .....	187
라. 입제 농약의 최대, 최소 살포량 결정 .....	188
마. 배출 롤러의 적정 회전속도 결정 .....	188

제 4절 입제 변량 살포기 개발 .....	191
1. 개념설계 .....	191
2. 공시기 .....	192
3. 공시 입제 변량살포기 .....	193
가. 탑재 방식 .....	193
나. 입제 배출장치 설계 .....	194
다. 입제 비료통 설계 .....	195
라. 입제 배출장치의 구동 모터 선정 .....	195
마. 송풍기의 선정과 성능 .....	196
바. 입제 이송시스템과 각 지점별 송풍속도와 송풍량 측정 .....	197
사. 분두 형상 설계 .....	199
4. 입제 변량 제어 시스템의 개발 .....	200
가. 입제 변량 제어기의 개발 .....	200
나. 입제 변량 살포 제어기의 신호처리 .....	201
다. 입제 변량 제어 시스템의 설계 .....	202
5. 실험 결과 .....	203
가. 송풍기의 선정 .....	203
나. 입제 이송시스템에서 송풍특성 .....	204
6. 요약 및 결론 .....	206
제 5절 입제 변량 살포장치 개발 .....	207
1. 입제 비료 살포 분두와 붐섹션 .....	207
2. 공시 입제 비료 .....	208
3. 충돌판 삼입길이별 살포균등도 실험 .....	209
4. 살포높이별 살포균등도 실험 .....	211
5. 결과 및 고찰 .....	211
가. 충돌판 삼입길이에 따른 입제배출 특성 .....	211
나. 살포높이별 살포균등도 .....	214
6. 요약 및 결론 .....	216
제 6절 입제 변량 살포장치 개선 .....	217
1. 고속 카메라를 이용한 입제 비료의 이송 유형 분석 .....	217
가. 실험 장치 구성 .....	217
나. 입제 비료의 이송 유형 분석 .....	219

2. 입제 살포장치 개선 .....	223
3. 충돌판 삽입길이별 살포균등도 실험 .....	224
4. 살포높이별 살포 균등도 실험 .....	225
5. 결과 및 고찰 .....	225
가. 충돌판 삽입길이에 따른 입제 살포특성 .....	225
나. 살포높이별 살포균등도 .....	226
6. 요약 및 결론 .....	230
<b>제 7절 입제 변량 살포를 위한 변량 제어기 개발 .....</b>	<b>231</b>
1. 입제 변량 살포기 제어를 위한 제어기 설계 및 구성 .....	231
가. 입제 변량 살포기의 설계 .....	231
나. 제어 시스템의 구성 .....	232
다. 입제 배출장치의 제어방식과 구성 .....	237
2. 입제 변량 살포 제어 시스템 시뮬레이션 모델 설계 및 분석 .....	241
가. 입제 배출기의 회전 속도별 응답 특성 .....	241
나. 입제 변량 살포 제어시스템의 제어용 모터 특성 분석 .....	242
다. 입제 변량 제어시스템의 시뮬레이션 .....	248
라. 시뮬레이션 모델의 성능 검증 및 결과 .....	252
3. 입제 변량 제어기의 성능평가 .....	256
가. 입제 변량살포기 배출장치의 입제 배출 경향 분석 .....	256
나. 입제 변량살포 제어기의 제어 기준 결정 .....	260
다. 입제 변량살포 제어기의 배출장치 회전특성 분석 .....	263
라. 입제 변량살포 제어기의 배출성능 분석 .....	267
4. 요약 및 결론 .....	277
<b>제 8절 시비 처방 지도 데이터베이스 및 GPS와 시스템 인터페이스 .....</b>	<b>278</b>
1. 시비 처방 지도 데이터베이스 .....	278
가. 처방지도 작성을 위한 시비량 결정 .....	278
나. 의사결정 지원을 위한 E-R diagram과 schema .....	282
다. 시비 처방지도 데이터베이스 작성 .....	284
라 처방지도 시스템 인터페이스 구축 .....	285
2. DGPS 시스템 .....	286
가. DGPS 시스템의 구성과 DGPS의 정상 작동 여부 판단 .....	286

나. 위치정보의 정확도 .....	290
다. 속도정보의 정확도 .....	291
라. GPS 신호 수신 간격 결정 .....	293
3. 처방지도 시스템 인터페이스 구축 .....	295
가. 좌표 변환, 셀 좌표 결정 알고리즘 .....	295
나. 개발 소프트웨어 소개 .....	297
<b>제 9절 입제 변량살포기의 포장실험 .....</b>	<b>299</b>
1. 개발한 입제 변량살포기 .....	299
2. 무게 중심 측정 .....	302
3. 비료 살포량의 변화에 따른 살포 균등도 실험 .....	304
4. 입제 변량살포기의 실외 실험 .....	306
<b>제 10절 종합결론 .....</b>	<b>308</b>
1. 입제 변량 살포기 개발 .....	311
2. 입제 변량 살포장치 개발 .....	312
3. 입제 변량 살포장치 개선 .....	313
4. 입제 변량 살포를 위한 변량 제어기 개발 .....	314
5. 입제 변량 살포기 포장실험 .....	315
<b>참고문헌 .....</b>	<b>317</b>
<b>제 6장 벼 생육 정보의 비파괴적 수집 및 가변시비처방 기술 개발</b> <b>    및 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이 조사</b>	
<b>Summary .....</b>	<b>320</b>
<b>제 1절 연구개발과제 개요 .....</b>	<b>325</b>
<b>제 2절 국내의 기술개발 현황 .....</b>	<b>326</b>
<b>제 3절 연구개발 수행 방법 .....</b>	<b>328</b>
1. 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사 .....	329

2. 벼 유수분화기 질소영양상태의 비파괴적 진단에 의한 질소 수비량 결정	330
3. 벼 질소영양상태의 비파괴적 진단방법 개선 및 목표형질을 위한 질소 수비량 결정연구	332
<b>제 4절 연구개발 수행 결과</b>	<b>334</b>
1. 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사	334
가. 필지내 토양의 이화학적 특성의 공간적 변이조사	334
나. 필지내 토양특성의 공간적 변이에 따른 가변시비시의 수량반응	339
다. 가변수비처방 모델의 검증	341
2. 벼 유수분화기 질소영양상태의 비파괴적 진단에 의한 질소 수비량 결정	346
가. 군락반사 및 SPAD값과 작물 생육 및 질소영양 특성치와의 관계	346
나. 가변수비시 질소흡수량에 따른 수량 및 단백질함량 반응	351
다. 수량 및 미립단백질함량 예측 중회귀모형	355
3. 벼 질소영양상태의 비파괴적 진단방법 개선 및 목표형질을 위한 질소 수비량 결정연구	359
가. 벼의 생육 및 질소영양 특성치 추정에 적합한 파장대 검색	360
나. 수비시용시기 및 지상부 질소흡수량에 따른 수량 및 단백질함량 변화	364
다. 군락반사에 PLS 모델에 의한 생육예측에 근거한 가변수비처방	366
라. 벼 유수분화기 SPAD 측정값과 생체중을 이용한 가변수비질소처방	367
<b>제 5절 종합고찰</b>	<b>371</b>
<b>참고문헌</b>	<b>374</b>
<b>제 7장 종합결론</b>	
1. 토양분석용 시료 채취기 개발 및 분석 기술 확립과 트랙터 부착용 토양경도 측정 시스템 개발	377
2. 실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정시스템 개발	378
3. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성 기법 개발	379
가. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석	379
나. 수확량 모니터링 센서에 기초한 수확량 지도 작성 기법 개발	380
4. 농약 및 비료 변량제어 시스템 개발	380
5. 벼 생육정보의 비파괴적 수집 및 가변시비처방기술 개발	381
6. 친환경 벼 재배를 위한 한국형 정밀농업 모형의 제안	382

## 제 8장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절 목표달성도 .....	387
제 2절 과제별 연구개발 목표의 달성도 .....	388
1. 토양분석용 시료 채취기 개발 및 분석기술 확립과 트랙터 부착형 토양경도 측정시스템 개발 .....	388
2. 실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정 시스템 개발 .....	388
3. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성기법 개발 .....	389
4. 농약 및 비료의 변량 제어시스템 개발 .....	389
5. 벼 생육 정보 비파괴적 수집 및 가변시비처방 기술 개발 및 토양의 이화학적 특성, 수량과 기질의 필지내 공간적 변이조사 .....	390
제 3절 관련 분야에의 기여도 .....	390

## 제 9장 연구개발결과의 활용계획

제 1절 현장보급 방안 .....	391
제 2절 산업화 계획 방안 .....	391
제 3절 기술이전 방안 .....	392
제 4절 논문발표 .....	392

## 부 록

1. 트랙터 부착 토양 분석용 시료 채취기의 취급 설명서 .....	393
가. 각부의 명칭 .....	393
나 작동 순서 .....	395
다. 제어 프로그램 사용 설명 .....	400
2. 토양경도 측정 시스템 제어 프로그램 source code .....	403

# 제 1 장 서 론

## 제 1절 연구의 필요성

정밀농업은 포장내·포장간 위치별로 토양, 작물의 생육상태, 수확량 등을 측정 분석하여 위치별로 필요한 양의 비료, 농약, 종자를 살포하는 친환경 과학영농이다. 정밀농업은 미국, 유럽 등 선진국에서 빠른 속도로 확대 보급되고 있는 첨단과학 영농으로 미국의 정밀농업농가는 1999년도 현재 40%에 이르고 있다. 정밀농업은 화학비료와 농약의 사용량을 과학적으로 저감하여 환경오염 문제를 최소화하고 농업생산도 줄이지 않는 획기적인 농법이다. 이러한 정밀농업은 농업생산에 GPS(지구측위시스템), GIS(지리정보시스템), RS(원격탐사) 그리고 IT(정보기술)기술이 접목된 최첨단 하이테크 기술의 집합체로 이루어진다. 현재, 우리 농업은 WTO체제하의 신속한 대응, 농업활동에 의한 환경오염 문제의 해결, 고품질·안전성이 확보된 농산물의 생산 및 공급 등 사회적으로 많은 내용들이 요청되고 있다. 이런 상황속에서 지금까지 수행되어져 왔던 중산정책위주의 관행농법은 21C 디지털 시대에 맞추어 정보와 지식을 기반으로 한 정밀농업으로 서급히 패러다임의 변화를 모색할 때이다.

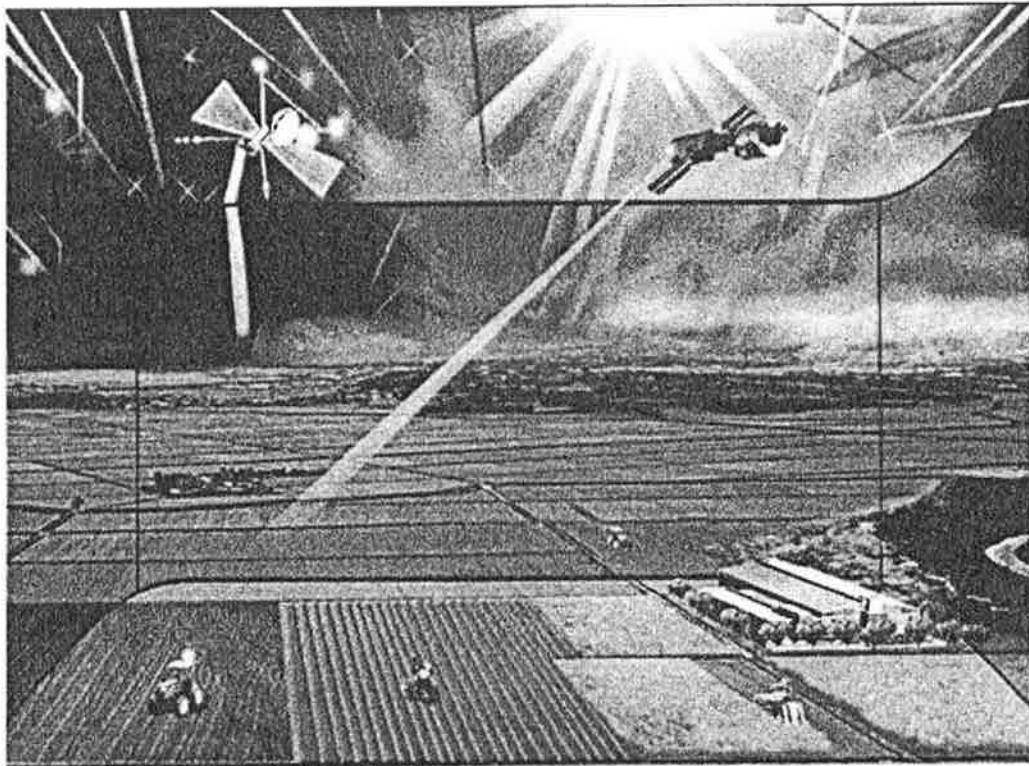


그림 1-1. 정밀 농업 구상도

## 1. 기술적 측면

- 토양정보는 정밀농업의 변량처방을 위한 필수적인 의사결정 요인이지만 현재의 토양분석방법은 많은 노력과 시간을 필요로 하며 정밀농업실현의 제약이 되고 있다. 따라서, 구조가 단순하고 간단한 조작으로 단기간내 토양성분을 계량화할 수 있는 기계장치의 개발이 필요하다.
- 변량처방을 위해서는 포장내의 토양, 작물정보와 더불어 수확량에 대한 정보가 필요하며, 수확량 정보를 신속·정확하게 조사하기 위해서는 우리나라에서 주로 이용되어지고 있는 자탈형 콤바인에 부착하여 수확량을 계측할 수 있는 시스템의 개발이 요구되고 있다.
- 획득한 포장정보를 분석하여 작물의 생산성 및 품질을 향상시키고, 환경부하를 경감할 수 있는 정밀시비처방기술의 개발이 필요하다. 즉, 토양의 특성과 작물 생육상태의 공간적 변이를 파악하여 적기에 적량을 적소에 시비처방하는 기술이 개발되어야 한다.
- 개발된 시비처방지도를 이용하여 포장의 정확한 위치에 정확한 양의 농약과 비료를 살포할 수 있는 변량형 농작업기가 개발됨으로서 정밀농업의 기본 사이클을 완성할 수 있을 것이다.

## 2. 경제·산업적 측면

- 정보에 기초한 비료의 변량처방은 비료사용량을 30~40%정도 줄이고도 수확량을 감소시키지 않는 차세대 정보기반형 농법이다.
- 농자재의 사용절감은 경영수지를 개선하고 생산되는 농산물의 품질을 안정화함으로써 보다 높은 가격을 받을 수 있어 농민의 직접적인 소득향상이 가능하다.
- 현재 우리나라의 벼 재배에서 표준 적정 시비량은 10a당 질소 11kg, 인산 4.7kg, 칼리 5.7kg인 반면 실제 농민들이 사용하는 시비량은 기준시비량보다 적게는 1.5배에서 많게는 2배에 이르는 등 비료를 남용하고 있는 실정이다. 따라서 전국적으로 벼의 재배면적이 1,083천ha인 점을 감안하면, 질소를 기준으로 10a당 1kg을 줄일 경우 전국적으로는 10,830톤을 절약하게 된다.
- 또한 변량시비에 의한 정밀농업이 구현되게 되면, 안정적인 식량 자급기반이 조성되며 환경오염을 최대한 줄일 수 있어, 지속적인 농산물의 생산이 가능해질 뿐만 아니라 이로 인한 눈에 보이지 않는 공익적 기능은 그 가치를 가늠하기 어렵다.



### 3. 사회·문화적 측면

- 우리나라의 농업은 홍수방지, 토사붕괴방지, 토양침식방지 등의 국토보전 기능을 비롯한 국민의 정서함양과 같은 다면적 역할을 수행하고 있으며 지속적인 농업생산력의 기초로 농지자원은 유지되어야 함에도 불구하고 환경보존과 국제적 경쟁력의 부재로 위기에 직면하고 있다. 따라서, 이를 극복할 새로운 농업기술의 개발이 절실한 시기이다.
- 현재 농업생산이 이루어지는 농촌은 65세 이상의 인구가 약 21.7%로 고령화가 심각하게 진행되고 있는 실정이며 농촌에 젊은 인력이 정착하고 우리농업을 이어나가기 위해서 농업지식의 객관화 및 DB화, 센서와 컴퓨터, GPS 등 첨단기술을 적용한 농작업의 패적화 기술을 도입함으로써 산업적 경쟁력을 갖춘 정보기반형 농업으로의 이행이 요구된다.
- 정밀농업기계기술의 개발로 WTO체제하에서의 쌀 시장의 개방에 적극적으로 대응할 수 있으며, 포장의 정보들을 종합적이고 객관적으로 정밀 관리함으로써 환경오염을 줄이면서도 고품질미를 생산하여 가격경쟁력을 높일 수 있으며, 안전성 확보로 인하여 외국의 값싼 쌀보다 우리가 생산한 쌀의 소비를 증진시킬 수 있다.

## 제 2절 국내외 관련 기술의 현황과 문제점

### 1. 국내 기술 현황

- 정밀농업기계 기술은 농촌진흥청 농업공학연구소와 농업과학기술원을 중심으로 개발하고 있다. 농업과학기술원에서는 우리나라 전체토양의 전산화율을 위해 1:25,000의 정밀토양도를 이미 완성하였고, 현재는 1:5,000의 세부정밀토양도를 작성중에 있으며 농업공학연구소에서는 포장정보 검출센서 개발과 정밀농업 지원을 위한 기계기술 개발에 주력하여 왔다.
- 농업공학연구소는 1999년부터 미국 미주리 주립대학과 공동으로 정밀농업에 필요한 포장정보 검출 기계기술 개발 연구를 시작하여 정밀농업에 활용되는 수확량, 엽록소, 병해충, 토양 정보 등의 포장 정보 중에서 우선 수확량을 계측하기 위한 기초기술과 병의 건강도 식별을 위한 엽록소 계측기초기술을 확보하였다.
- 변량 작업기의 제어정보 제공을 위한 경작지 각 지점의 위치에 따른 국부적 작물 생육 정보나 토양 속성에 관한 지리정보기반 의사결정 지원시스템의 구축이 요구되나 국내에서는 이러한 연구가 아직 미진한 형편이다.

## 2. 국외 기술 현황

- 미국은 1990년대초부터 정밀농업이 농업현장에 보급되기 시작하여 정밀농업을 실천하고 있는 면적은 1998년도에 주요곡물재배 면적의 11%인 1천만ha에 달하였다. 1999년도 통계에 의하면 어떠한 형태로든 정밀농업을 수행하고 있는 농가는 37.5%나 되며, 세부기술별로 농가수의 비율을 보면 격자단위 토양조사가 19.5%, 변량시비 18.4%, GPS를 이용한 수확량 모니터링 13.3%, 변량파종 11.3%, 변량방제 9.2%, 원격생육조사가 2.4%수준이다. 곡물수확량모니터는 1992년경부터 보급되기 시작하여 1998년에는 약 23,500대(보급 콤바인의 약 25%)가 보급되어 미국 전체 작물 재배면적의 약 25%에서 사용되고 있다. 이 중 50%이상의 콤바인(면적으로보면 40%정도)에 수확량정보를 해석하고 전자지도를 작성하는데 기반이 되는 GPS장치가 부착되어 있다. 즉, 작물 재배면적의 10%이상, 전체농가의 13%정도에서 수확량모니터링 장치를 장착한 콤바인으로 농사를 짓고 있다. 전세계에서 사용되고 있는 곡물수확량 모니터링장치의 약 80%가 미국에서 생산되고 있고, 미국 내에서 가장 많이 보급되고 있는 지역은 중서부 옥수수 생산벨트지대이다. Case Corp.(현재 CNH Gloval N. V.)가 오스트리아, 아르헨티나, 브라질에서 판매하고 있는 콤바인에는 거의 100%가 수확량 모니터링 장치를 부착하여 시판하고 있다.
- 유럽의 정밀농업은 1990년 초부터 연구 개발되기 시작하였으며 국가마다 목표와 시행방법이 매우 다양하다. 환경보전기능을 중요시하는 덴마크는 농약류를 5년 이내에 25%, 10년 이내에 50%를 줄이도록 규정하고 있는데, 이 때문에 국립 시험연구기관과 대학 등의 관계 기관을 대폭 개편코자 하고 있다. 추진 중인 주요 연구의 예를 보면 작물과 잡초간 성장경쟁을 면밀히 조사하여 제초제를 사용하지 않고 재배하는 방법의 확립을 서두르고 있고, 이 경우 토양과 작물 생육의 포장내 불균일성 조사와 변량작업(variable rate application)의 효과 등을 조사 중에 있다. 덴마크는 약 8년전에 정밀농업 기술의 하나인 수확량 모니터 부착 콤바인을 처음으로 도입하였고 일부 정밀농법을 채용한 농가는 ISO9002(품질관리의 국제기준)과 ISO14001(환경관리 국제기준)의 인증을 받았을 정도로 정밀농업의 인프라가 잘 구축된 상태이다.
- 유럽의 1999년 수확량모니터 보급대수는 영국이 400대, 덴마크 400대, 독일 150대, 스웨덴 150대, 프랑스 50대, 네덜란드 6대, 벨기에 5대이며, 영국은 Massey Ferguson의 지원으로 Silsoe 대학에서 수확량 모니터링을 개발하였다.
- 일본은 수도작중심으로 1997년부터 정밀농업관련 연구가 본격적으로 진행되어 오고 있다. 1999년에 일본 농림수산성은 정밀농업을 주테마로 한 『21세기형

농업기계 등 긴급개발사업」을 시작하였으며, 이때부터 일본은 농업기계화연구소와 4개의 농업시험장과 6개대학 15개 민간기업 등이 본격적으로 정밀농업 연구개발에 착수하였다. 교토대학, 호쿠리쿠 농업시험장, 생연기구, 농림수산성에서는 외국의 수확량센서를 도입해 기초시험을 실시하고 자탈형 콤바인에 최적인 수확량 센서를 개발하기 위해 박차를 가하고 있으나 아직까지 실용화에는 성공하지 못했다.

### 3. 앞으로 전망

- 앞으로 우리나라의 벼 전업농가는 2010년까지 벼 재배면적의 약 70%인 62만 ha를 경작하고 생산량은 2004년까지 약 50%, 2010년까지 약 70%에 이를 전망이다. 이는 벼 전업농가의 규모화와 벼를 재배하는 농민의 전문화를 의미하며 따라서 영농의 단순한 기계화가 아닌 정밀농업 형태의 정보기반형 처방농업이 산업화된 농업기술의 주류를 이룰 것이다.
- 기존의 농업발전은 품종개발과 재배법 향상, 특히 생력화된 기계에 의존하였다면, 앞으로의 농업발전은 신품종 육성과 아울러 자동화된 적정 시비관리를 통한 친환경적인 재배법으로 발전되어 갈 것이다.
- 고품질 및 친환경적인 쌀 재배가 더욱 촉진될 것으로 보이며, 이에 따라 유기농업이나 자연농법까지도 포괄적으로 지원할 수 있는 변량형 가변시비기술이 발전함에 따라 새로운 농기계의 출현도 가능하게 될 것이다.
- 경작지내의 작물 및 토양에 대한 국부적 변이를 고려하는 정밀농업 기법이 우리나라 농업에도 적용되어 농업의 생산성 향상과 농산물 생산비 감소를 이루게 될 것이라 판단된다.
- 정밀농업 구현에 필요한 지구측위시스템(GPS), 지리정보시스템(GIS), 원격탐사(RS) 및 센싱 기술의 발달과 농업분야에서의 활용이 점차 일반화될 것으로 예상된다.
- 환경 및 농작물의 안전성에 대한 인식이 점점 강조되는 추세에 비추어 불 때 정밀농업기술을 통한 환경친화적인 작물 생산방식이 더욱 촉진될 것으로 판단된다.

## 제 3절 연구개발의 목표 및 내용

### 1. 연구개발 목표와 내용

본 연구의 목표는 화학비료와 농약사용량을 감축하여 농업생산량을 줄이지 않고 환경오염을 최소화하는 친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템을 개발함에 있다.

이를 위한 구체적인 과제명과 이를 도식화 한 것은 아래와 같다.

- 토양 분석용 시료 채취 기계화 기술과 간이 분석 기술 확립 및 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템 개발
- 자탈형 콤바인의 곡물 수확량을 실시간 계측할 수 있는 센서기술 개발 및 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성 기법 개발
- 벼 생육정보의 비파괴적 수집 및 처방기술 개발 및 생육정보의 비파괴적 수집 및 가변 시비 처방 기술 개발
- 농약과 비료(입제/액제)를 변량살포 할 수 있는 제어기 개발과 의사결정지원 시스템과 농업용 GIS를 결합한 입제 농약 및 비료 변량 살포기 개발

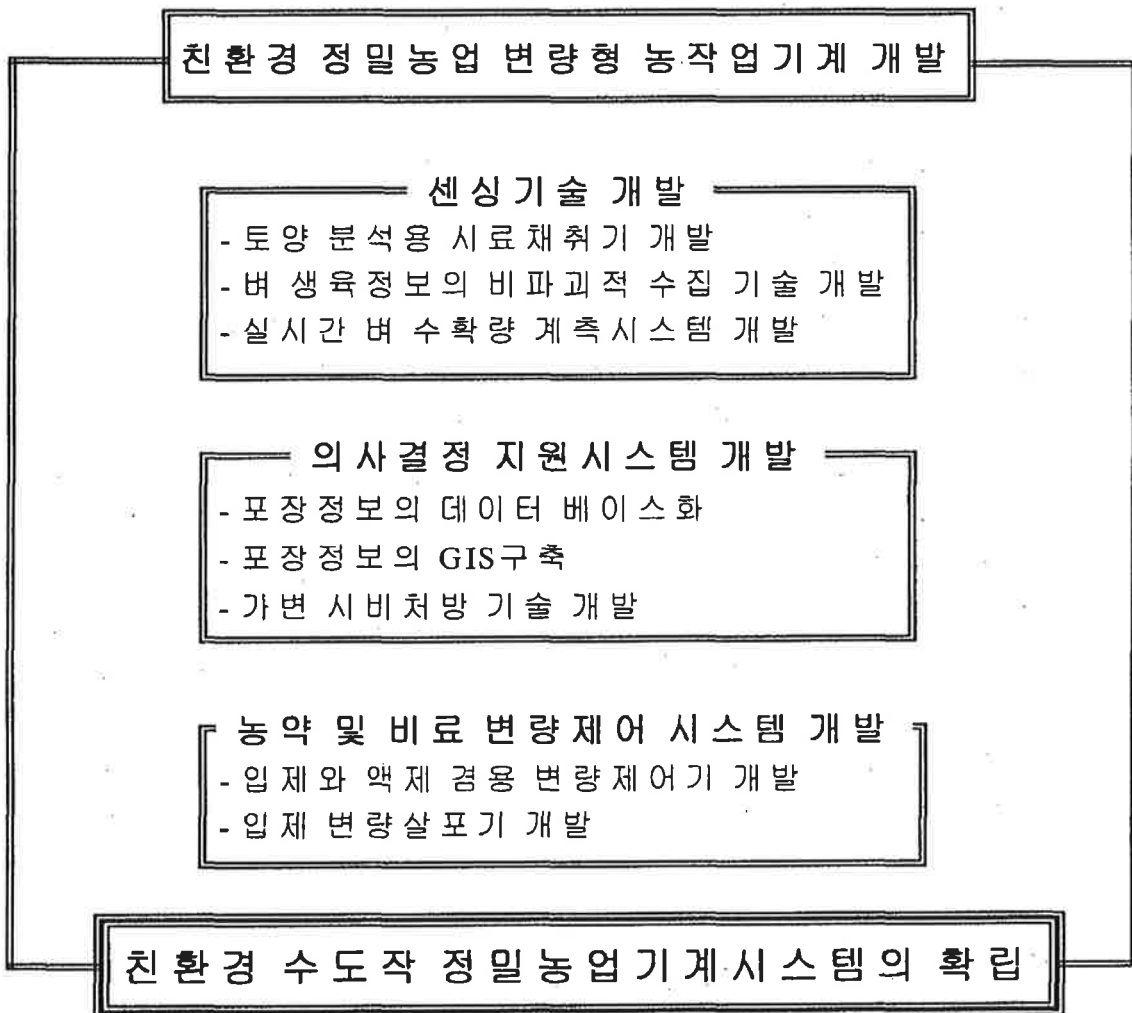


그림 1-2. 친환경 수도작 정밀농업기계시스템의 도식화

2. 연차별 연구개발 목표와 내용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (2002)	<p>&lt;주관 1세부&gt; 토양채취를 위한 기계적 메카 니즘 및 시스템 설계요인 구명</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 샘플러의 기계적 메카니즘 구명</li> <li>- 샘플링 밀도해석을 위한 이론 구명</li> <li>- 토양경도 측정장치의 설계 및 이론분석</li> </ul>
	<p>&lt;주관 2세부&gt; 수확량센서 개발을 위한 기초 자료 및 기초기술 확보</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 프로토타입의 유량센서 제작</li> <li>- 수분센서 제작</li> <li>- 각 센서의 실내시험</li> <li>- 포장기초시험을 실시 및 현장적용시 문제점 과약</li> </ul>
	<p>&lt;협동 1세부&gt; 입제살포기의 개념설계, 요인실험, 설계 그리고 액제 살포기의 제어특성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비료, 제초제 물성조사(보충)</li> <li>- Metering device(배종장치) : 6set</li> <li>- 호퍼((비료, 제초제), 분두관, blower</li> <li>- 변량살포기의 붐대(좌,우 : 2.7m, 중앙 : 1.8m)</li> <li>- 호퍼 프레임과 히치부의 탑재대 설계</li> <li>- 입도분석, 밀도(산물밀도, 진밀도, 안식각), 마찰계수, 형상(원형률, 구형률), 공기역학적 성질, 비료몽치의 제거</li> <li>- 배종장치 크기 및 작동속도, 재질</li> <li>- 모터 회전수에 따른 배종장치의 배출량 실험</li> <li>- 송풍량의 분배방식</li> <li>- 송풍량의 조절</li> <li>- 살포분배의 균등</li> <li>- 송풍속도에 따른 살포패턴</li> <li>- 살포높이에 따른 중첩률</li> <li>- 입제살포기 각부설계 및 검토</li> <li>- 액제 살포량 제어방식 탐색</li> <li>- 액제 살포량 제어장치에 요구되는 특성조사</li> </ul>
	<p>&lt;협동 2세부&gt; 벼 생육 모델을 이용한 가변 수비 처방기술 확립  유수형성기 비과과 생육정보 수집에 의한 가변 수비 처방 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지 내 공간적 변이 조사(작물시험장 위탁)</li> <li>- 공간적 변이의 생육모델에 의한 해석 방법 개발</li> <li>- 군락 반사를 이용한 유수형성기 생육 및 질 소 영양상태의 비과과 측정방법의 개발(측정 기개발 제외)</li> <li>- 유수형성기 벼 생육 및 영양상태에 따른 수비 시용량이 수량과 품질에 미치는 영향 실험</li> </ul>

2차 년도 (2003 )	<p>&lt;주관 1세부&gt; 토양시료 채취장치의 시작기 제작 및 성능시험</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 트랙터 부착형 또는 자주형 토양 샘플러의 개발 및 시작기 제작</li> <li>- 실내 성능시험(인공토조)</li> <li>- 포장 성능시험</li> </ul>
	<p>&lt;주관 2세부&gt; 수확량 센서개발 및 현장 적 응시 문제점 파악</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수확량 계측센서의 시작</li> <li>- 실내·포장시험후 적응성 향상</li> <li>- 수확량 계측센서의 개선</li> </ul>
	<p>&lt;협동 1세부&gt; 입제살포기의 시작기 제작 및 성능평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 변량살포기 시작기 제작</li> <li>- 제어부 장착 성능시험</li> <li>- 실내시험 후 시작기의 개량 보완</li> <li>- 포장에서 성능시험 개량 보완</li> <li>- 변량살포기와 제어장치의 통합성능시험</li> <li>- 배출량응답성 : 모터속도별 배출량과 살포균 일도(변수 : 풍량, 팬 형식 등)</li> <li>- 원동기와 변량살포기(히치작동부-봄대 수평 유지, 잔동분석-경반변화고려)</li> </ul>
	<p>&lt;협동 1세부&gt; 변량 제어기 제어부 개념 설 계 및 제어기 설계</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 센서선택을 위한 요인실험</li> <li>- 입제살포 제어 모터 제어성능 및 특성 실험</li> <li>- 입제살포 제어기 설계 및 제작</li> <li>- 입제살포 제어기 응답성 실험</li> <li>- 입제살포 제어기 내진성 내후성 테스트</li> <li>- 액제 제어부 설계 및 제작</li> <li>- 액제 제어부 응답성·내진성·내후성 실험</li> </ul>
	<p>&lt;협동 1세부&gt; 의사결정 지원을 위한 데이터 베이스 설계</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ERD(Entity-Relation Diagram)설계</li> <li>- Schema 설계</li> <li>- 관계형 테이블 설계</li> <li>- 성능평가</li> </ul>
	<p>&lt;협동 2세부&gt; 벼 생육 모델을 이용한 가변 수비 처방기술 개발  유수형성기 비파괴 생육정보 수집에 의한 가변 수비 처방 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지 내 공간적 변이 조사(작물시험장 위탁)</li> <li>- 생육모델에 의한 가변수비 처방기술 개발</li> <li>- 유수형성기 벼 생육 및 영양상태에 따른 수 비 시용량과 시기가 수량과 품질에 미치는 영향 분석</li> <li>- 가변 수비 처방 모델의 개발</li> <li>- 가변 수비처방 프로그램 개발</li> </ul>

3차 년도 (2004)	<주관 1세부> 토양시료채취장치와 GPS, 토양경도계 통합	- GPS 인터페이스 및 데이터 로깅 시스템 개발 - 샘플링 밀도 설정기술 개발(농과원 협조) - 토양경도 측정시스템과 통합
	<주관 2세부> 수확량 센서의 보완 및 현장 적응성 실증시험	- 실내 성능시험 및 농가실증시험 수행 - 정밀성, 내구성 등 시험 - 시작기 완성
	<협동 1세부> 입제살포기의 성능개선 및 평가(실험실)	- 2차년 개선점 확인 및 수정제작 - 내부식성 고려하여 2차 시작기 제작
	<협동 1세부> 변량살포기 통합 및 처방지도 통합	- 변량 살포기 인터페이스 제작 - 비료살포 검출방법 - 작업속도와 진동에 따른 배출량 - 제어기 응답성 실험 및 성능 개선 - 처방지도 인터페이스 통합 - 성능평가 및 개선
	<협동 1세부> 인터페이스 구축 및 데이터베이스 구축	- 공간변이 분석 방법 및 모듈 개발 - 데이터베이스 구축 자동화를 위한 모듈 개발 - 통합 소프트웨어 개발 - 성능평가 - 데이터베이스 구축 - 제어용 컴퓨터에 탑재
	<협동 2세부> 가변시비 처방시스템 개발 및 검증 가변시비 처방기술 확립, 검증 및 경제효과분석	- 가변시비 처방기술 종합 검증 - 생육, 수량 및 쌀 품질에 대한 가변시비 처방 효과 분석(작물시험장 위탁) - 가변시비 처방의 경제성, 환경오염 경감효과 등의 분석(작물시험장 위탁)
4차 년도 (2005)	<주관 2세부> 수확량 센서의 품종별 검량선 작성 및 도면화	- 포장 반복 시험 - 성능검증 시험 실시 - 품종별 검량선 작성 - 실용화대비 도면화
	<협동 1세부> 입제살포기의 성능개선 및 평가(포장)	- 3차년 개선점 확인 및 수정제작 - 논에서의 변이분석 후 종합적인 분석(살포구간, 살포단계결정)
	<협동 1세부> 변량제어기 시스템 완성 및 제어부 소형화 연구	- 입제 살포 제어부의 제어 성능 실험 및 개선(실험실, 포장실험) - 액제살포 제어부의 성능개선(실험실 실험) - 제어기 완성 - 관리기 부착용 소형 제어기 개발 - 성능평가 및 개선
	<협동 1세부> 의사결정 지원시스템 구축 및 데이터 베이스의 이용 확대를 위한 연구	- 신경망을 이용한 처방량 지도 및 데이터베이스 구축 - 성능평가 - 검색속도 향상을 위한 알고리즘 설계 및 성능평가 - 제어용 컴퓨터에 탑재

## 제 2장 토양 분석용 시료 채취기 개발 및 분석 기술 확립 및 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템 개발

### SUMMARY

For precision agriculture, soil information is necessary for decision making of variable prescription. Current analysis method, however, needs a lot of efforts and time, and application of precision agriculture must be limited. We developed a useful system which measures soil properties in short time with simple structure and easy controllability. The soil sampling system consists of the following three parts: soil sampling device(soil sampler), soil hardness measuring device and electrode measuring electric conductivity(EC) and moisture contents. The system is mounted to the 3-point hitch system of a tractor. The tractor is located a site and soil sampler samples test soil in the following processes: the probe is pressed into the soil to 20 deep by the hydraulic cylinder, and rotated by the hydraulic motor. The cut soil is filled into a plastic sample tube by 100cm<sup>3</sup>, and the probe is pulled out of the soil. Hardness measurement device is composed of three cone penetrometers, three loadcells, three hydraulic cylinders and three linear potentiometers. The cone penetrometer penetrates into the soil as the hydraulic cylinder is provided hydraulic oil. The penetration force is measured by the loadcell as the penetration depth is detected by the linear potentiometer by 45cm depth. Penetration speed is calculated using the depth and the measured time. EC and moisture contents of soil are measured by electronic pole which emits two microwaves whose wave lengths are 10MHz and 100MHz respectively. All data are stored into the file in the computer with position information from GPS. It was possible to take a soil sample in 46 seconds. Automatic soil hardness measuring device indicated less than 5% as error compared to data from manual soil hardness measuring device. The soil sampling system should be improved to get the filling rate sufficient irrespective of soil type and moisture contents.



## 제 1절 연구 개발 과제 의 개요

산업 생산기술의 발달과 함께 급속히 증가한 화학적 농업 생산자재들은 농업의 환경 부담을 가중시키고 수탈적 영농에 의한 생산량을 제고를 통해 소득을 높이려는 농민들의 욕구 때문에 농업 생산기반이 피폐화되어 감에 따라, 농업의 지속적 생산가능성에 대한 심각한 우려가 제기되었으며, 이를 해소하기 위한 기술적 대안으로 새로운 농업 패러다임(Paradigm)인 정밀농업 기술의 등장하였다.

정밀농업은 이러한 환경에 대한 각성과 더불어 GPS, RS, GIS등 첨단화된 과학기술을 농업에 적용함으로써 실용적인 농업기술로 발전이 가능하게 되었다. GPS를 이용한 측위 기술은 수 m 이내의 정밀도로 농기계의 작업 위치를 실시간으로 제공하고, 농작업에 필요한 지리정보의 분석과 매핑(mapping) 그리고 센서를 이용한 토양과 작물의 생육 및 포장정보의 검출, 위성 및 항공 촬영 등을 이용한 원격탐사(RS) 기술이 첨단 농업의 새로운 기술로 도입되게 되었다.

정밀농업은 정보기술을 사용하여 포장 내에서 발견된 특정 조건에 적합하도록 토양 및 작물 관리를 조정하는 것으로 정의된다. 정밀농업에는 생산의 기반이 되는 토양과 작물의 생육과 수확 및 품질에 관한 정보를 모으기 위해 지리 측정 시스템(GPS)을 비롯한 다양한 종류의 센서와 전자공학에 의존하는 여러 가지 기술이 수반된다. 이러한 기술을 통해 얻은 정보는 농부들이 효과적으로 포장을 관리하고 영농계획을 수립하는데 도움을 줄 뿐 아니라 농업의 산업적 경쟁력과 효율적 경영을 통한 수익의 증대에 직접적인 영향을 줄 전망이다.

정밀농업 실현의 가장 원초적 자료가 되는 토양정보는 정밀농업의 변량처방을 위한 필수적인 의사결정 요인이지만 현행의 토양분석방법은 많은 노력과 시간을 필요로 하며 정밀농업실현의 제약이 되고 있다. 따라서, 구조가 단순하고 간단한 조작으로 단기간내 토양성분을 계량화 할 수 있는 기계장치의 개발이 필요하다.

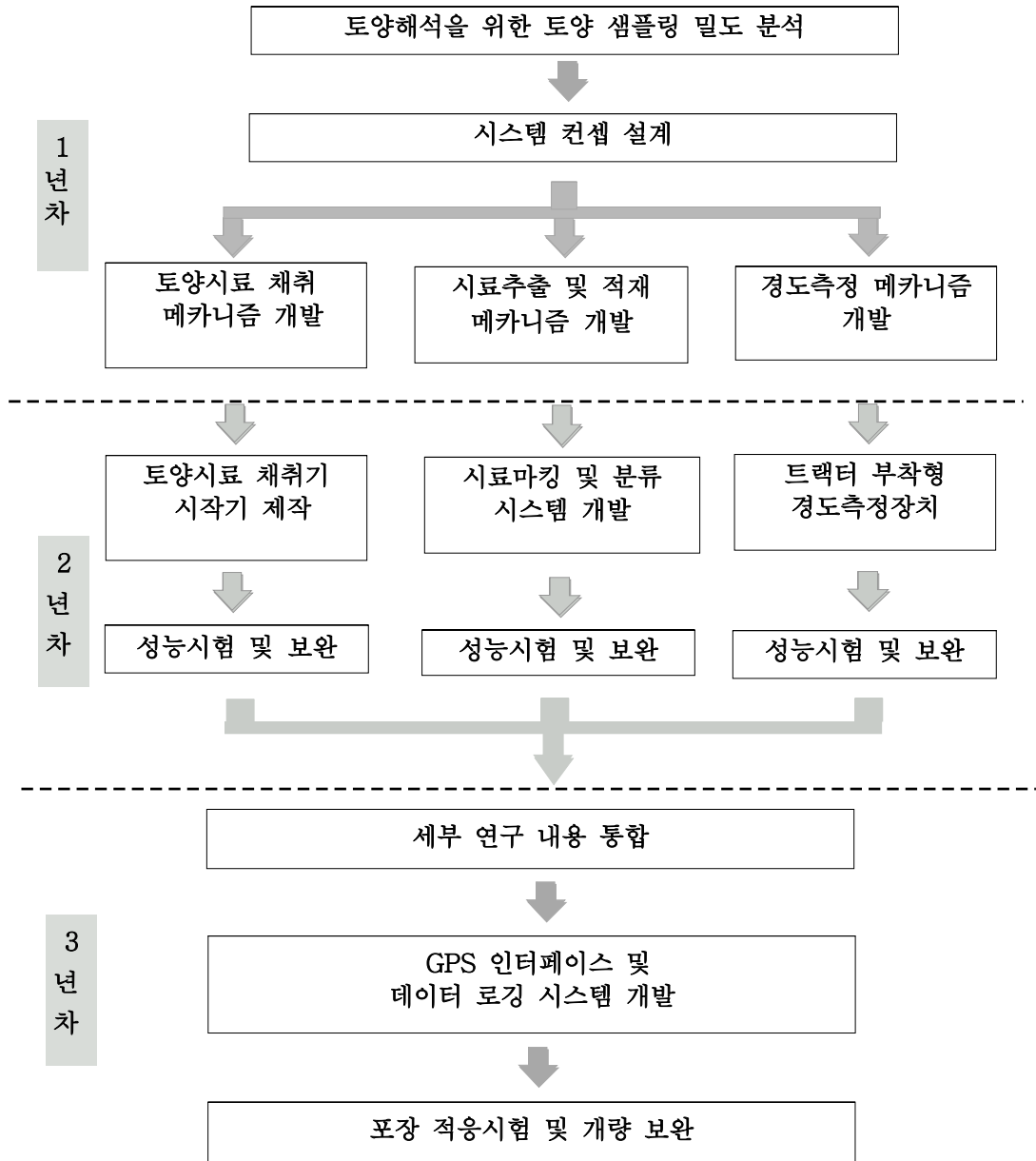
따라서 본 연구의 목표는 토양해석을 위한 시료 채취 기계화 기술과 신속한 토양 성분 현장분석 기술 개발이며, 다음과 같은 과정에 의해 수행되었다.

1. 토양채취를 위한 기계적 메카니즘 및 시스템 설계요인 구명
  - 샘플러의 기계적 메카니즘 구명
  - 샘플링 밀도해석을 위한 이론 구명
  - 토양경도 측정장치의 설계 및 이론분석
  
2. 토양시료 채취장치의 시작기 제작 및 성능시험
  - 트랙터 부착형 또는 자주형 토양 샘플러의 개발 및 시작기 제작
  - 실내 성능시험(인공토조) 및 포장 성능시험

3. 토양시료채취장치와 GPS, 토양경도 측정장치 통합

- GPS 인터페이스 및 데이터 로깅 시스템 개발
- 샘플링 밀도 설정기술 개발
- 토양경도 측정시스템과 통합

다음은 토양 분석용 시료 채취기 개발에 대한 연구 개발 추진 체계이다.



## 제 2절 국내외 기술 개발 현황

토양 중에 포함된 영양소와 토성을 파악하기 위해서는 먼저 시료를 채취하게 된다. 물론, 시료의 채취대상은 조사의 목적에 따라 다소 차이는 있지만 주로 토양속의 영양분, 식물의 성장과 관련된 토양의 물리적 화학적 상태를 파악하게 된다. 일반적으로 토양시료는 심도에 따라 원소의 분포, 물리화학적 성질이 변화하므로 조사목적에 부합되는 심도를 선택하여 다양한 형태의 토양 시료 채취기 또는 쪽삽을 이용하여 채취하며, 자연건조 또는 오븐을 이용하여 105℃에서 건조시킨다. 건조된 토양은 2mm이하의 입도를 갖도록 체질하여 약산, 강산 및 혼합산 등을 이용하여 분해시킨 후, 다양한 종류의 분석기기를 이용하여 화학분석을 통해 원소의 함량을 측정한다. 또한 토양의 주요한 물리적 또는 화학적 특성인 pH, 유기물함량, 양이온교환능력, 토양의 입도 분석(토성) 등을 측정하여 개별적인 토양의 성질을 조사한다.

일반적으로 농업에서 이용하는 시료의 채취범위는 표토층을 포함하여 대략 20cm 전후이다. 표토라고 하면 0~10cm 전후의 토양을 의미하지만 경작지의 경우는 경운에 의해 표토층이 형성되므로 경운이력과 포장관리상태에 따라 표토층이 20cm 이상인 경우도 있다. 표층을 채취하기 위해서는 주로 쪽삽이나 인력식 토양 시료채취기(soil hand auger)를 이용하지만 한 포장 내에서도 수십 개 이상의 시료가 필요한 정밀농업에서는 시료채취가 매우 힘든 작업임으로 정밀농업을 도입하는 농업선진국을 중심으로 자주형 자동식 시료채취기 및 트랙터 부착형 시료채취기의 개발을 위한 연구가 진행되고 있다.

P.K.Sharma 등(1991)은 코어 샘플러를 이용하여 교란되지 않은 상태의 토양 시료를 채취하는 장치를 만들었다. 수동으로 작동을 하며, 최대 10cm 까지의 토양 샘플을 채취할 수 있도록 고안하였으며, 한 시간에 20-25개의 토양 샘플 채취가 가능하였다.

Mark T. Morgan(1993) 등은 토양 다짐, 경운 효과 등을 측정하기 위하여 토양의 밀도, 공기 충전율, 통기성, 함수율을 측정할 수 있도록 지름이 47.6mm인 코어 샘플러를 이용하여 토양 시료를 채취하고, 원추 관입기를 이용하여 토양의 강도를 측정할 수 있는 장치를 개발하였다. 장치는 전기 모터로 구동하며, 토양의 강도는 50cm까지 측정이 가능하고, 토양의 시료 채취를 마치는데 까지 15분의 시간이 소요된다.

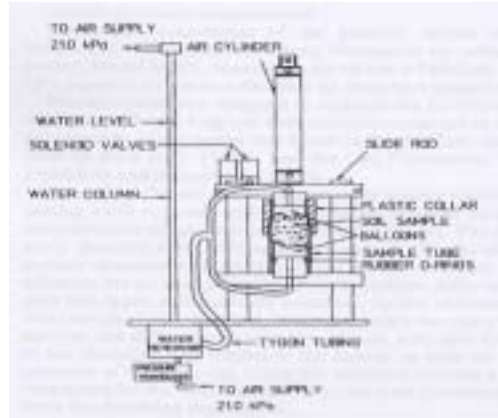
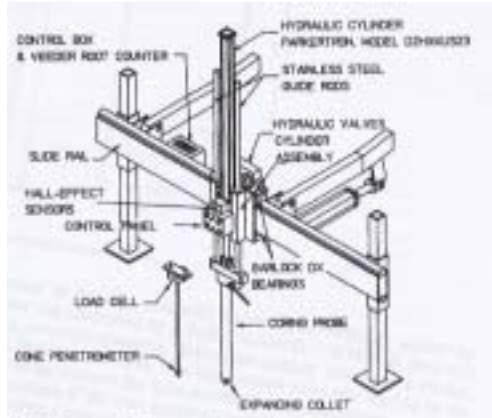


그림 2-1. Mark T. Morgan(1993)이 개발한 토양 시료 채취기

Nidal H. Abu-Hamdeh 등(1999)는 Morgan이 개발한 토양 시료 채취를 개선하여 토양 밀도와 공극율을 측정할 수 있는 코어 샘플러를 개발하였다. 그러나 Morgan과는 달리 토양 시료 채취기의 동력은 트랙터의 후방에서 유압을 취출하여 유압 실린더를 작동시키는데 사용하였다. 특히 이 토양 시료 채취 장치는 최대 50cm까지의 토양 시료 채취가 가능하며, 5cm 간격으로 10개의 시료를 채취하는데 10분이 소요된다.



그림 2-2. Nidal H. Abu-Hamdeh(1999)이 개발한 토양 시료 채취기 및 시료 채취부

Flex Ponder, Jr 등(1997)은 산림에서 사용 가능한 수동 작동용 토양 시료 채취 장치를 설계 제작하였다. 표토의 구조 및 토성을 알 수 있도록 40cm까지 토양 시료 채취가 가능하도록 하였으며, 내부 직경이 9.5cm가 되도록 설계하였다. 이것은 두 명의 인력으로 스크류 방식으로 관입시키며, 토양 시료 채취 시간이 숙련도에 따라 달라지는 등의 단점이 있으므로 농업용 토양 시료 채취 장치로의 적용성이 떨어진다.



그림 2-3. 산림용 토양시료 채취기

이외에도 공압을 이용한 코어 샘플러 등이 있으나 별도의 컴프레서가 필요하므로 휴대성이 낮고 유압에 비해 큰 힘을 낼 수 없다는 단점이 있다.

Viscarra Rissel R.A.(2004)는 실시간으로 토양의 pH를 측정하여 토양 지도를 작성하였으며 이것을 바탕으로 석회의 요구량을 산정하는 장치를 개발하였다.

정확한 pH의 측정을 위하여 토양을 교란하는 장치를 고안하였으며, 교란된 토양의 pH는 이온 전극을 이용하여 현장 직접 측정하였으며, 장치는 트랙터를 이용하여 견인할 수 있도록 제작하였다. 최대 20cm 깊이까지의 측정이 가능하고, 2m/s까지 견인할 수 있으므로 신속한 측정이 가능하다.





그림 2-4. 디스크형 토양 EC센서

미국의 경우 정밀농업 형태의 토양관리에 대한 최초의 연구로는 일리노이주 대학교수인 Lindsey와 Bauer는1929년 특정 지역별 석회 관리에 관한 최초의 보고서를 발표이다. 1990년대 들어와 정밀농업 개념이 확대되면서 USDA ARS를 중심으로 토양특성계측을 위한 센서 및 성분측정을 위한 샘플링 기술에 대한 연구가 폭넓게 진행되었다. 그림 2-5는 Missouri 대학의 Sudduth 와 Chung 등이 개발한 실시간 연속 토양강도 측정장치 이다.



그림 2-5. 칼날형 토양경도 측정장치

## 제 3절 연구 개발 수행 내용 및 결과

### 1. 국내외 토양 시료 채취기 조사 분석

#### 가. 구조 및 특징

##### 1) 인력 관입형



그림 2-6. 인력관입형 토양시료채취기

인력 관입형 토양 시료 채취기는 위의 그림과 같이 각 채취 시료의 용량별, 관입 방법별로 다소 차이가 있는 구조를 가지고 있으나 모두 타격 관입 또는 인력 압입 등의 방법을 이용하므로 관입력이 많이 소요되는 단점이 있다.

## 2) 오거형



그림 2-7. 오거형 토양 채취기

오거의 경우 토양 시료 채취 깊이 조절이 용이하지 않으며, 토양을 교란하지 않은 상태에서의 채취가 불가능하다.

국내에 보급된 토양 시료 채취기는 수동 핸들형이며, 기계식의 경우 대부분 2~3m 깊이의 지질 탐사용이며, 채취 지점의 측위 정보는 이루어지지 않고 있다.

## 3) 자동화 시스템(국외)



그림 2-8. 기계식 토양시료 채취장치



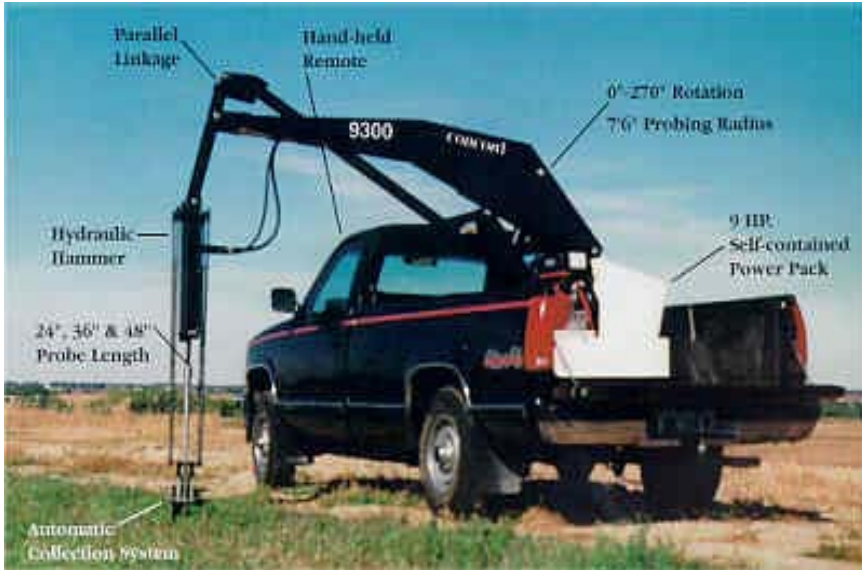


그림 2-9. 머니플라이어형 토양 시료 채취기

국외에서 보급되어 있는 자주형 표층 토양 샘플러(Geoprov co.)는 대구획의 소수 샘플링에 적합한 구조로 국내의 정밀 농업 기본 자료 수집용에는 적합하지 않을 것으로 판단된다.

#### 나. 핵심 메카니즘

토양 시료 채취 장치는 토양의 이화화성을 함께 측정할 수 있는 시스템으로 구성되어 있으며, 토양 경도, EC, 함수율 등의 측정이 가능하도록 구성하는 것이 일반적이다.

전형적인 예는 Nidal H. Abu-Hamdeh 등이 1999년에 개발한 토양 시료 채취 장치로서 토양의 경도 측정과 토양 시료 채취가 가능하도록 시스템을 구성하였다.

이 장치는 Morgan이 개발한 토양 시료 채취를 개선하여 토양 밀도와 공극율을 측정할 수 있으며, 토양 시료 채취기의 동력은 트랙터의 후방에서 유압을 취출하여 유압 실린더를 작동시키는데 사용하였다. 즉, 토양의 관리 및 작업에 널리 쓰이는 트랙터를 이용하여 이동성을 높이고 동력원으로 활용하였다는 점이 중요한 특징이라 하겠다. 이 토양 시료 채취 장치는 최대 50cm까지의 토양 시료 채취가 가능하며, 5cm 간격으로 10개의 시료를 채취하는데 10분이 소요된다.

교란되지 않은 상태의 토양 샘플링이 가능하게 하기 위해서는 코어 샘플러를 채택하는 게 유리하며, 정치 상태에서 토양 시료를 채취하므로 동시에 토양 경도, EC, 함수율 등을 측정할 수 있도록 센서 측정 시스템을 구성하고 더불어 측정된 자료를 저장하

고, 측정 위치의 측위 정보를 함께 저장하여 토양의 이화학성 지도를 작성할 수 있도록 구성하는 게 바람직하다 하겠다.

다음은 토양의 경도와 EC, 측정 지점의 측위 정보를 함께 측정할 수 있으며, 더불어 토양 시료 채취가 가능하도록 구성한 토양 시료 채취 장치의 구성도이다.

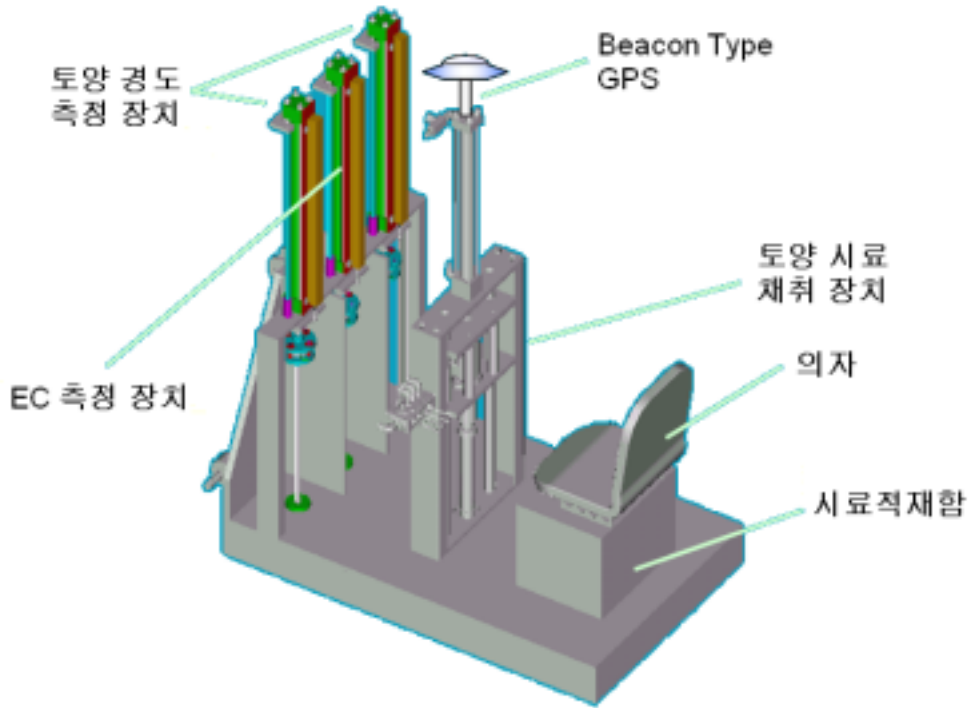


그림 2-10. 토양 시료 채취 장치 구성도

## 2. 토양 시료 샘플링 지점의 밀도 분석

### 가. 토양분석을 위한 토양 샘플링 지점 밀도 해석모델 개발

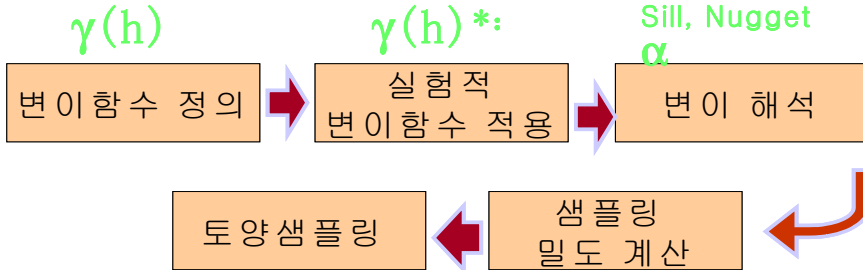
토양 시료를 채취함에 있어 채취 지점간 거리 및 시료의 개수는 인적, 물적 효율적 자원의 활용과 관련하여 대단히 중요한 문제가 된다.

한 포장의 토양특성을 파악하기 위하여 확보해야할 적정 샘플링 개수 및 샘플링 간격의 계산 기법을 개발할 필요가 있다.

샘플링 밀도 해석을 위하여 다음과 같은 가정을 하고 해석 모델을 개발하였다.

- 1) 대상 포장은 처음 5×5m의 단위 셀 크기로 조사되었으며 해마다 반복적인 조사가 이루어진다.
- 2) 동일 성분내 있어 샘플간의 값 차이는 공간적인 거리와 상대적 방향에 의해 결정된다.

토양 시료를 채취함에 있어 채취 밀도를 공간 통계학적(Geostatistics) 방법을 적용하여 해석하였으며 그 과정은 다음과 같다.



서로 다른 지점에서 채취한 토양 샘플간에 동일 성분 차이에 대한 기대치인 Semi-Variogram으로 변이 함수를 정의하였다.

$$\gamma(h) = E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

샘플 사이에 나타나는 동일 성분간의 차이에 대한 분산의 반을 변이 함수에 적용하면 다음과 같은 관계가 나타난다.

$$\gamma(h)^* = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

- 여기서,  $\gamma(h)^*$  = 실험적 변이 함수
- $n$  = 시료의 개수
- $Z(x_i)$  =  $i$  지점에서  $x$  성분의 값
- $Z(x_i + h)$  =  $i$  지점에서  $h$  떨어진 지점의  $x$  성분의 값

공간적인 이격거리에 따른 변이함수의 변화로부터 샘플간의 공간의존도를 계산하고 Sill, Nugget( $C_0$ )로부터 샘플링 거리와 적정 샘플링 개수를 계산하는 변이해석을 수행하였다.

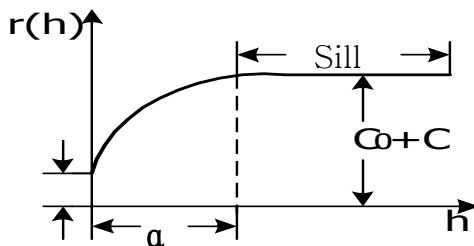


그림 2-11 공간 의존도 해석을 위한 Semi variance

나. 토양분석을 위한 토양 샘플링 밀도 해석모델의 검증

토양 샘플링 밀도 해석모델을 검증하기 위하여 안성시 양성면에 소재한 100×100m의 실험포장에서 5×5m의 샘플링 단위 구획 크기로 토양을 샘플링하여 토양 pH, EC, SiO<sub>2</sub>등을 조사하여 모델과 비교하였다.

다음은 실험포장을 각 셀로 구분한 모습과 포장의 환경을 표시한 것이다.

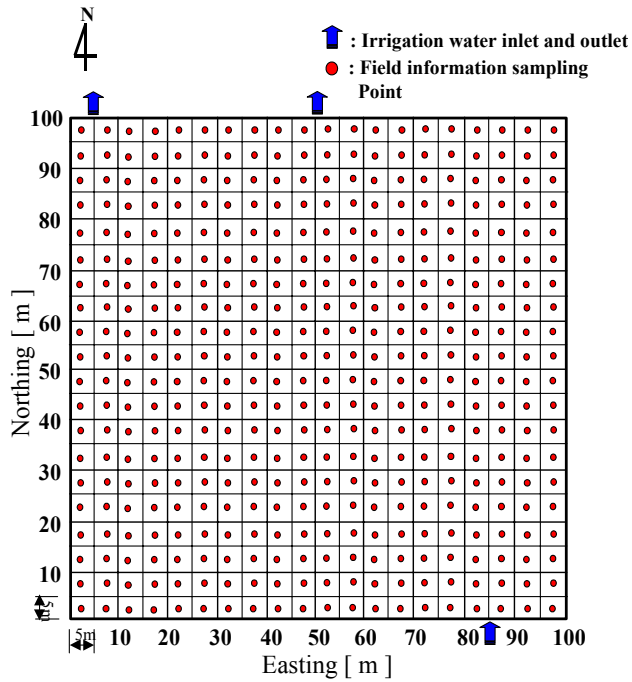
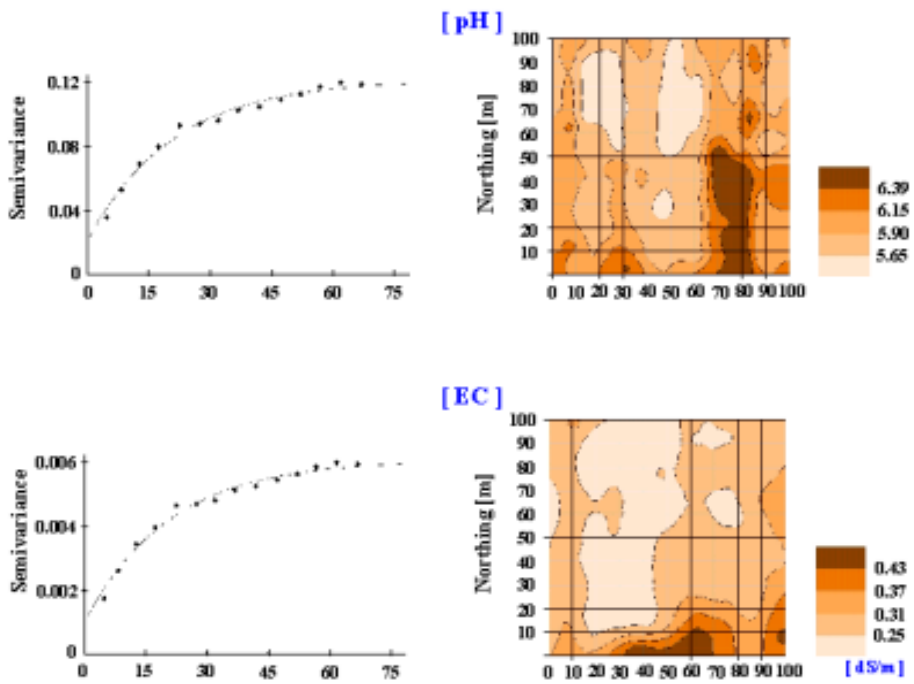


그림 2-12. 1ha포장에서 시료 채취를 위한 공간 분할

표 2-1. 공간의존도 분석

조사항목	Nugget	Sill	Range (m)	Q Value
pH	0.019	0.122	62.7	0.84
EC	0.002	0.006	95	0.67
Available P <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0	2151	56.4	1.0
Available SiO <sub>2</sub>	469	2329	21	0.80
Organic Material	1.13	7.29	66.7	0.85



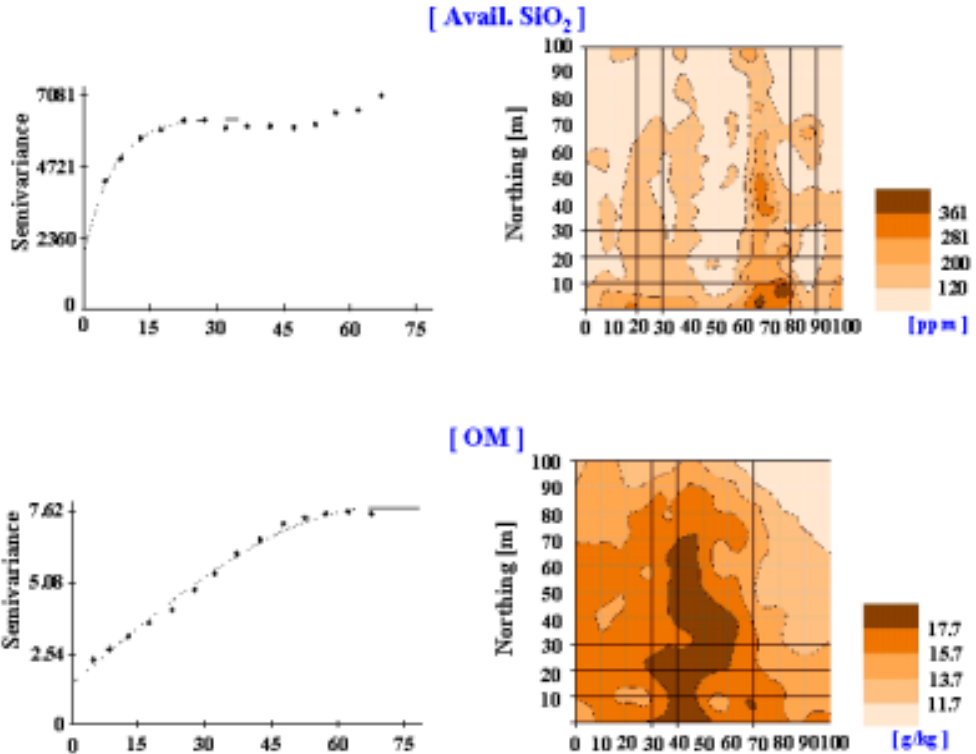


그림 2-13. 토양 비료성분의 공간 분포

샘플링 밀도는 다음과 같이 계산되었다.

샘플링 간격  $D = \text{range}(a)$

샘플링 개수  $N = (L/\text{range}(a)) \times (W/\text{range}(a))$

Ex1) 토양 중 유효태 규산의 농도를 위한 샘플링 밀도 계산

Sol.) 포장크기: 100×100m

Available SiO<sub>2</sub>의 sill 2,329

range(a) 21m

샘플링 간격: 21m

샘플링 개수:  $(100/21) \times (100/21) = 25$ 개

GS+ 공간통계 소프트웨어를 이용하여 분석한 결과 각 성분의 공간의존거리는 약 20m에서부터 60여m 정도로 나타나 효율적인 토양해석과 샘플링을 위한 모델로 평가되었다.

### 3. 토양 경도를 이용한 토양특성의 간이 분석 기술

가. 토양 경도와 토양 물리성

## 1) 토양 경도와 토양물리성의 상관관계

토양 경도의 정의는 토양 다짐(soil compaction)의 정도라고 할 수 있다. 토양 다짐은 토양에 작용하는 외력에 의하여 토양의 공극률과 체적이 감소되고, 밀도가 증가되는 현상을 말한다. 토양 다짐은 농기계 사용으로 발생하는 경우가 많으나, 건조, 강우 등 자연적인 힘에 의하여 일어나기도 한다. 토양의 경도를 나타내는 데는 다음과 같은 물리량이 사용된다.

- 가) 공극률(porosity)
- 나) 공극비(void ratio)
- 다) 건 단위 중량(dry unit weight)
- 라) 겉보기 밀도(bulk density)
- 마) 원추 지수(cone index)

공극률, 공극비, 건 단위 중량, 겉보기 밀도 등은 정밀 농업에서 필요한 실시간 측정이 어려우며, 전처리 등 측정 과정이 복잡하다. 그러나 원추 지수는 실시간 측정이 가능하며, 토양의 기계적 성질, 특히 토양 경도 또는 다짐의 정도를 나타내는 데 편리한 값이다. 그러나 원추 지수는 절대값이 아니고 토양 경도를 상대적으로 나타낼 수 있는 값이다.

토양의 성질과 원추 지수의 상관 관계를 구명하기 위한 다수의 연구가 수행된 바 있으며, 최근 한 연구(Sudduth et al., 2002)에 의하면 지역에 따라 원추 지수와 토양의 전기 전도성은 선형적인 상관 관계가 있는 것으로 나타났다.

## 2) 작물 생육에 대한 토양 경도의 영향

토양 경도는 작물 생산을 위한 토양의 물리적 환경을 변화시킨다. 경도는 토양의 투수성을 감소시켜 표토의 유실을 초래하며, 지하수 흡수를 방해한다. 경도는 토양 중의 공기 유통을 저하시켜 작물 뿌리의 신진 대사 활동을 방해한다. 또한 토양 다짐은 토양의 기계적 강도를 증가시켜 뿌리의 성장을 방해한다. 이러한 영향은 모두 작물의 수량뿐만 아니라 품질을 저하시킨다.

점토에서 트랙터에 의한 토양 다짐의 영향을 조사한 한 연구(Raghavan et al., 1979)에 의하면 기후가 습하였던 해에는 사료용 옥수수의 수량이 약 50% 감소하였으며, 건조하였던 해에는 약 30%가 감소하였다고 하였다. 또한, 건조한 해에는 약간의 표토 다짐이 수량 증대에 기여할 수 있으나, 습한 기후에서는 트랙터에 의한 토양 다짐을 최소화하여야 한다고 하였다. 옥수수의 경우 10-22%의 수량 감소는 다른 연구에서도 보고된 바 있다 (Morris, 1975). Saini and Lantagne (1974)에 의하면 감자의 수량은 토양의 밀도가 증가함에 따라 22%까지 감소하였다. 밀의 경우에도 유사한 연

구 결과가 발표된 바 있다(Feldman and Domier, 1970). 이러한 연구 결과는 토양의 다짐에 의하여 작물의 생산이 감소할 수 있다는 것을 나타낸 것이다.

#### 나. 토양 경도 측정 장치 개발

##### 1) 개발 목표

토양의 경도는 작물의 성장 특히, 뿌리의 성장에 큰 영향을 미친다. 토양 경도의 정밀 농업의 제어 변수로서 그 가능성을 연구할 필요가 있다. 즉, 작물의 생육 기간 중 토양의 경도 변화를 조사하고, 이러한 경도 변화가 작물의 수량에 미치는 영향을 구명하여, 최대 수량을 얻을 수 있는 적절한 토양의 경도 및 비료, 농약 등의 효과를 최대로 지속시킬 수 있는 토양의 경도를 구명할 필요가 있다. 또한, 포장 내의 경도 차이를 구명하고, 적절한 경도 수준을 균일하게 유지하기 위한 방안을 강구하여야 한다. 이는 곧, 토양의 경도가 정밀 농업에서 유용한 제어 변수 즉, 포장 내에서 가변 처리가 가능한 변수로 활용될 수 있음을 가정한 것이다.

개발목표는 정밀 농업을 위한 토양 분석용 시료를 채취할 때, 시료 채취 지점의 토양 경도를 측정할 수 있는 장치와 측정 결과를 분석하고 경도 지도를 작성할 수 있는 시스템을 개발하기 위한 것이다.

##### 2) 재료 및 방법

###### 가) 설계 조건

원추 지수를 토양의 경도를 나타내기 위한 변수로 사용하였다. 경도 측정 장치는 기본적으로 트랙터 부착형으로 하였으며, 한 지점에서 트랙터를 정지하여 경도를 측정하고 다시 다른 지점으로 이동하여 측정할 수 있도록 하였다. 한 지점에서는 30 cm 간격으로 일직선상에 있는 3점의 원추 관입 저항을 측정하여 원추 지수를 측정할 수 있도록 하였다. 이러한 토양 경도 측정 시스템을 개발하기 위하여 기본 설계 조건을 다음과 같이 설정하였다.

최대 관입 저항: 2450 N

최대 관입 깊이: 450 mm

원추 관입 속도: 10 mm/s, 30 mm/s, 50mm/s 선택

원추 형상: ASAE 표준형(ASAE S313.3 Soil cone penetrometer)

Soft soil: 저면적=323  $mm^2$ , 원추각= 30°

Hard soil 저면적=130  $mm^2$ , 원추각= 30°

원추 관입 동력: 트랙터 유압

트랙터 부착 3점 히치 마스트: 카테고리 I

계기판 표시 내용: 원추 관입 속도, 원추 관입 깊이, 작용 하중, 원추 지수



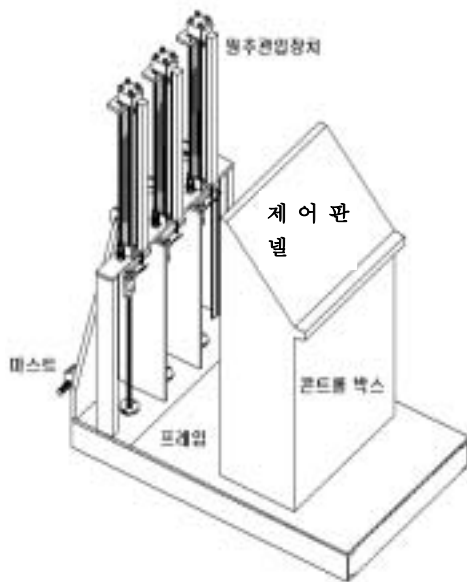


그림 2-14. 원추관입 경도 측정 시험장치

원추 관입 장치는 토양에 원추를 관입하는 장치로서, 관입 깊이를 측정하기 위한 리니어 포텐쇼미터, 관입력을 측정하기 위한 로드셀, 원추를 관입하기 위한 유압 실린더로 구성하였다. 측정 시스템의 하부 프레임에 300 mm 간격으로 3개의 원추 관입 장치를 설치하였으며, 로드셀은 각 원추 관입 장치의 유압 실린더 하단에 부착하였다.

유압 장치는 다음 그림에서와 같이 1개의 3위치 4포트 방향 밸브, 3개의 ON/OFF 밸브, 3개의 유량 제어 밸브, 3개의 단동 유압 실린더, 1개의 릴리프 밸브로 구성하였으며, 유압 동력은 트랙터의 원격 유압 동력을 이용하도록 하였다. 제어 회로는 입력부, 출력부, 전원부로 구성하였다. 입력부는 제어 판넬의 스위치 작동에 의해 인가된 PC817 칩의 신호를 입력 포트 확장 칩인 74HC597을 통하여 마이크로 프로세서로 전달하며, 출력부는 마이크로 프로세서에서 출력된 신호를 출력 포트 확장 칩인 74HC595를 통하여 PC817 칩으로 전달한 후, 출력 신호에 따라 스위치의 LED와 솔레노이드 밸브를 작동시킨다. 마이크로 프로세서로 전달된 명령은 작동 실린더, 최대 관입 깊이, 관입 속도, 실린더의 작동 모드를 선택하기 위한 것이다. 전원부는 트랙터 배터리의 12V를 5V로 변환하여 제어 회로에 전원을 공급한다. 제어 회로의 제어 프로그램은 Comfile사의 PICBasic 언어를 사용하였다.

표 2-2. 로드셀 및 포텐서미터 제원

구분	제원
로드셀	최대 압력: 50 MPa 비선형성: 0.1% 여자 전압: 10 ~ 15 V 온도: -20 ~ 80℃
리니어 포텐쇼미터	최대 행정: 500 mm 오차율: 0.05% 제한 속도: 5 m/s 온도: -30 ~ 100℃

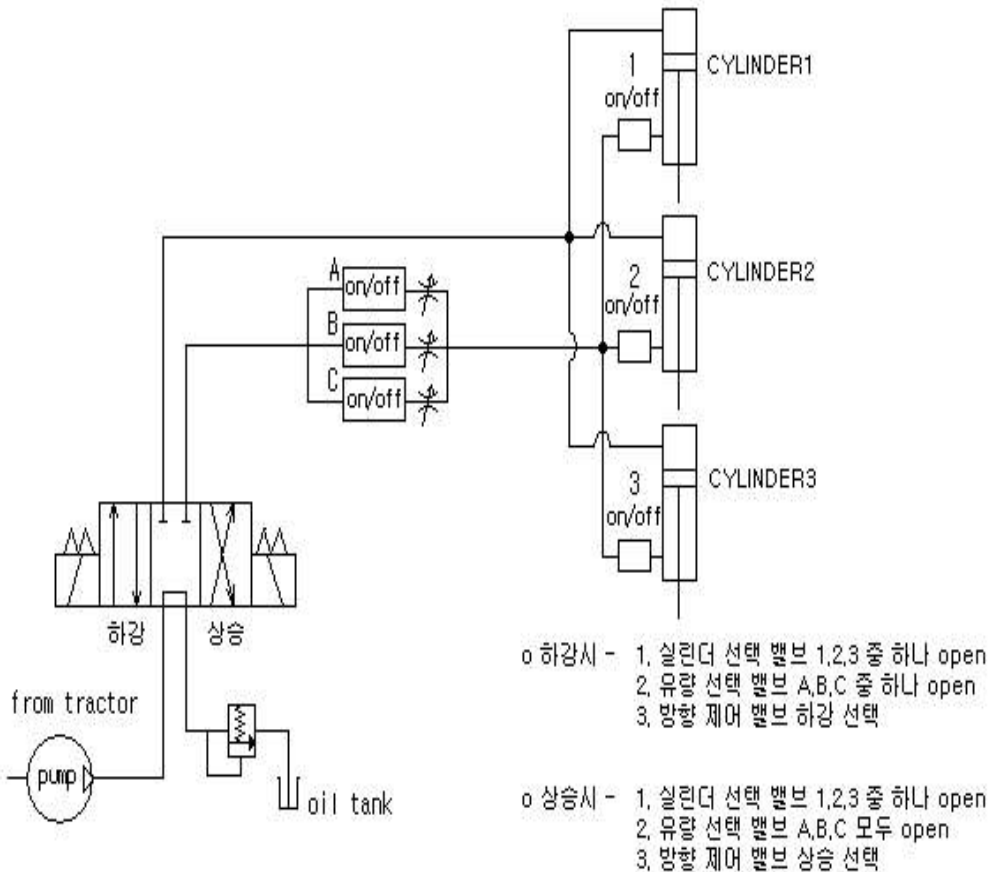


그림 2-15. 관입장치 구동 유압회로

### 3) 시험 성적

#### 가) 로드셀 검증

실제 토양에서 측정된 원추지수 값의 신뢰성을 확보하기 위해서 측정시 사용되는 로드셀을 검증하였다. 실험을 위한 검증 장치는 다음 그림과 같이 관입봉, 스프링, 검증 로드셀로 구성되었다. 토양 경도 측정 시스템에서 가해진 관입력은 관입봉, 스프링을 통해 검증 로드셀로 전달되는 형태를 취하도록 하였으며 측정 로드셀과 검증 로드셀의 관입력 비교를 통해 토양 경도 측정 시스템의 로드셀을 검증하였다.

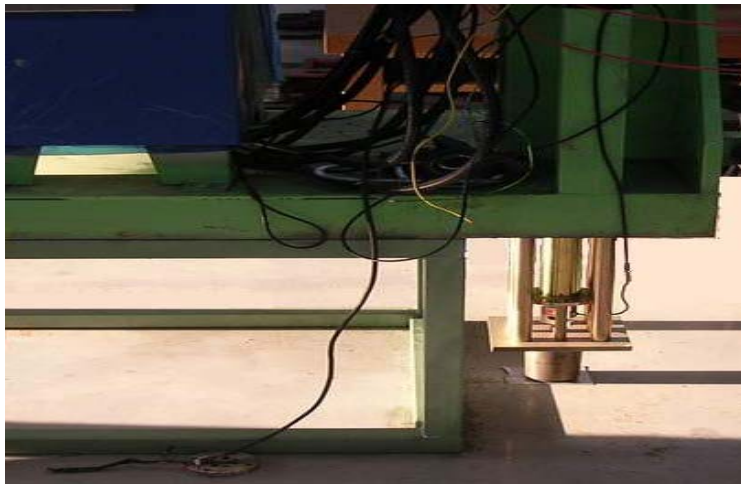


그림 2-16. 로드셀 검증 실험

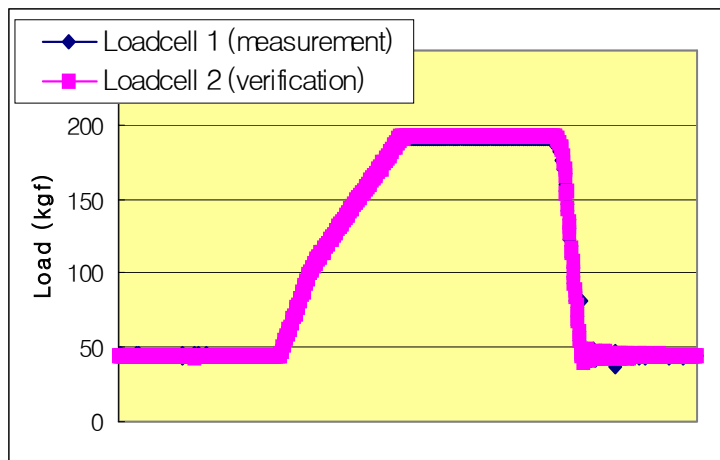


그림 2-17. 측정/검증 로드셀 비교

#### 나) 원추 지수 측정 및 지도 작성

측정 대상으로 한 실험 포장의 크기는 20x20 m이었으며, 미농무성 분류법

에 의한 포장의 토성은 점토, 실트, 모래의 비율이 각각 9%, 51.2%, 39.8%인 미사질 양토(silt loam)이었다. 실험 포장은 매년 4월 말에서 5월 중순 사이에 경운한 이력이 있으며, 경도 측정은 벼를 수확한 후 19일이 경과한 2004년 10월 30일 오전에 실시하였다. 경도 측정 시 그림 2-31에서 표시된 포장 내 5 지점에서 시료를 채취하여 10 5℃ 오븐에서 24시간 건조한 후 측정된 토양의 평균 함수율은 21.5% (d.b.)이었다.

실험 포장을 가로 세로 각각 2 m 간격으로 나누어 다음 그림에서와 같이 총 100개의 2×2 m 셀을 만들고 각 셀 내의 중앙 지점에서 3지점의 원추지수를 결정하여 그 평균값을 셀의 토양 경도로 나타내었다. 또한 각 측정 지점에서 원추의 관입 깊이에 따라 관입 깊이가 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm일 때의 토양 경도를 측정하였다. 측정 시 원추의 관입 속도는 30 mm/s, 최대 관입 깊이는 450 mm로 하였으며, 원추는 저면적이 130 mm<sup>2</sup>인 단단한 토양용 원추를 사용하였다.

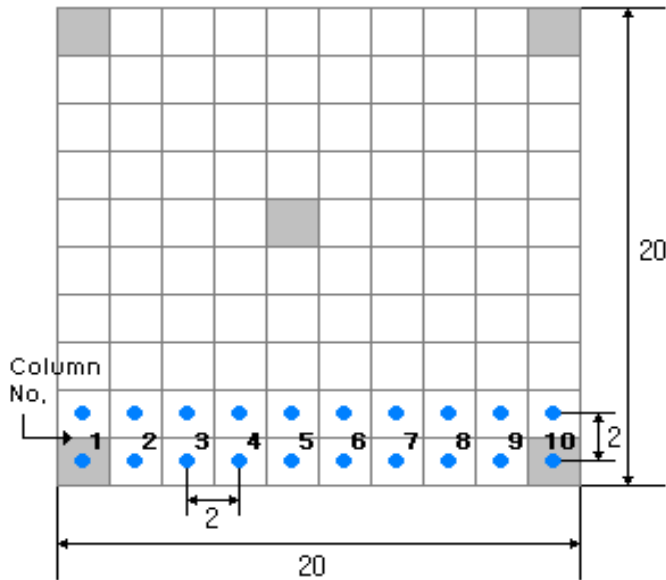


그림 2-18. 토양 경도/ 함수율 측정 지점(실험 포장 II)

토양 경도 측정은 다음과 같은 순서로 실시하였다.

- (1) 트랙터를 정차한 후, 3점 히치에 장착된 측정 시스템을 토양 표면에 내려 단단히 고정시킨다.
- (2) 작동시킬 유압 실린더, 최대 관입 깊이, 관입 속도를 지정한다.
- (3) 원추를 관입시켜 측정을 시작하고 관입 깊이와 관입력을 저장한다.
- (4) 최대 관입 깊이까지 측정이 끝나면 다음 측정을 위하여 원추를 원 위치시킨다.
- (5) 나머지 2개의 원추도 같은 순서로 작동시킨다.

(6) 한 지점에서 경도 측정이 끝나면, 측정 시스템을 들어 올린 후, 다른 지점으로 트랙터를 이동하여 위의 과정을 반복한다.

다음 그림은 좌표가 (1,1)인 지점에서 토양 경도 측정 시스템으로 결정한 원추지수와 SR-2(Daiki, 1998) 수동형 원추 관입기를 이용하여 결정한 원추지수를 비교하여 나타낸 것이다. 수동형 원추 관입기의 경우에는 관입 속도가 일정하지 않았기 때문에 이에 따른 오차가 발생한 것으로 판단된다. 그러나 관입 깊이에 따른 원추지수의 변화는 유사한 경향을 나타내었다.

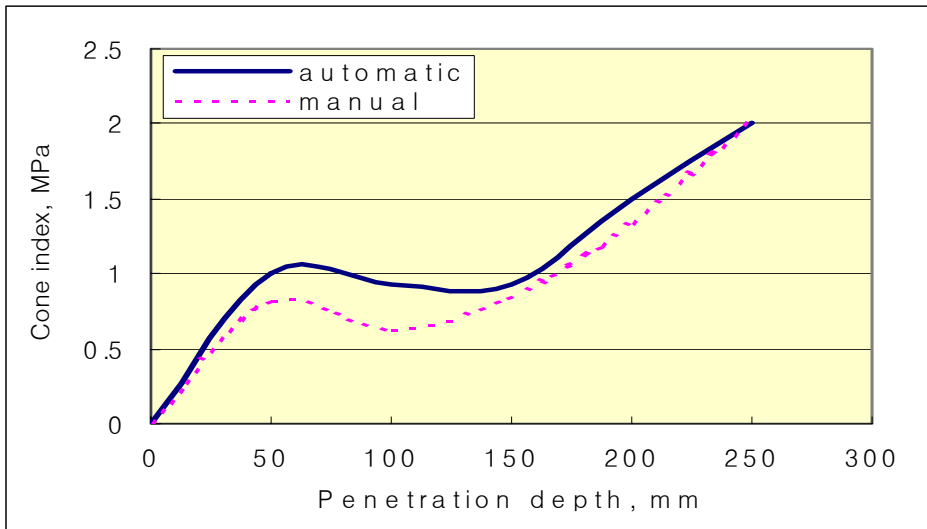


그림. 2-19. 수동 원추 관입기(SR-2)와 토양 경도 측정 시스템 비교

다음 표는 실험 포장 II의 첫째 열의 셀에서 결정한 원추지수를 관입 깊이에 따라 나타낸 것이다. 0~30 cm 관입 깊이에서 원추지수의 범위는 0.33~4.03 MPa 정도이었으며, 대체로 관입 깊이에 따라 원추지수가 증가하였으나 부분적으로 지면 아래 10 cm 깊이의 토양은 연약한 상태인 것으로 나타났다.

표 2-3. 토양 경도 측정 시스템으로 측정한 원추지수 결과

관입 깊이 (cm)	원추 지수 (MPa)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0.823	0.874	0.650	0.561	0.941	0.330	0.496	0.400	1.755	0.670
10	0.623	0.690	0.685	0.432	0.774	0.560	0.489	0.231	1.030	0.452
15	0.834	1.054	1.579	0.627	0.732	0.360	0.943	1.074	0.932	1.359
20	1.332	1.740	1.780	1.337	1.664	0.743	1.230	1.248	1.751	2.567
25	2.020	1.331	1.900	1.795	1.953	0.961	1.275	0.981	3.177	3.306
30	1.933	1.753	1.517	1.922	1.944	1.319	0.990	1.413	4.029	3.773

다음 그림은 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm의 토양 깊이에 대한 실험 포장의 원추지수 지도를 나타낸 것이다. 토양 깊이가 5 cm일 때 대부분의 원추지수는 0~1 MPa 수준이었으며 실험 포장의 우측 하단 지역의 원추지수가 타 지역에 비해 크게 나타났다. 토양 깊이가 10 cm일 때도 대부분의 원추지수는 0~1 MPa 범위의 값으로서 5 cm일 때의 원추지수와 현저한 차이는 나타나지 않았지만 원추지수가 큰 지역은 토양 깊이가 5 cm일 때보다 증가하였다. 토양 깊이가 15 cm일 때는 원추지수가 증가하여 우측 하단 지역의 원추지수는 1~2 MPa의 범위로 나타났으며, 토양 깊이가 20 cm일 때는 원추지수가 더 증가하여 우측 하단 지역의 원추지수는 2~2.5 MPa의 범위로 나타났다. 그러나 토양 깊이가 25 cm일 때는 원추지수가 컸던 지역은 오히려 감소하였으며, 최대 원추지수는 3 MPa 정도이었다. 토양 깊이가 30 cm일 때도 원추지수가 컸던 지역은 감소하였으며 원추지수는 1~2 MPa의 범위로 나타났다.

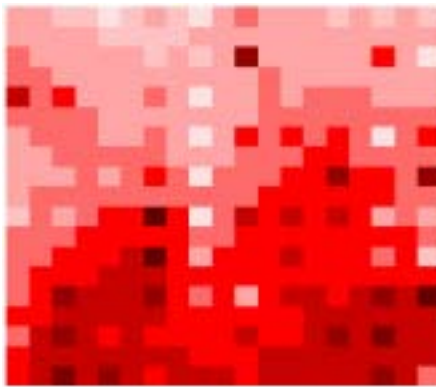
원추지수 지도는 토양 깊이별 포장의 경도 정도를 평가하는데 활용할 수 있으며 또한 이를 이용하여 경운이 필요한 지역과 적절한 경심을 결정하는 데 활용할 수 있다.



(a) 토양 깊이 5cm



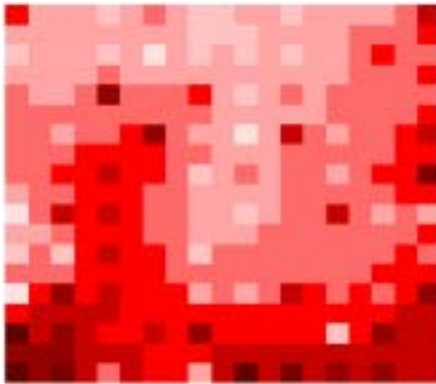
(b) 토양 깊이 10cm



(c) 토양 깊이 15cm



(d) 토양 깊이 20 cm



(e) 토양 깊이 25cm



(f) 토양 깊이 30 cm



그림 2-20. 실험 포장 II의 원추 지수 지도

#### 4) 결과 요약

본 시험에서는 정밀 농업을 위한 토양 경도 측정 장치와 측정 결과를 분석하

고 원추지수 지도를 작성할 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발된 토양 경도 측정 시스템은 세 개의 원추 관입 장치와 이를 제어하기 위한 유압 제어 장치로 구성하였으며, 한 지점에서 트랙터를 정지하여 토양 관입 깊이와 관입력을 측정하고 다시 다른 지점으로 이동하여 측정할 수 있도록 하였다. 측정 지점의 토양 경도는 세 개의 원추 관입 장치로 측정한 관입력을 평균하여 구한 원추지수로 나타내었으며, 이 값을 이용하여 토양 깊이에 따른 포장의 원추지수 지도를 ArcView로 작성하였다. 개발한 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템의 작동 상태는 우수하였으며, 원추지수 지도도 경운 지도를 작성하기 위한 기초 자료로서 충분한 것으로 판단되었다.

또한 원추지수 지도를 바탕으로 경운이 필요한 지역과 적절 경운 깊이를 제공하는 경운 지도를 작성하였다. 하지만 본 연구에서 작성된 경운 지도는 토양 변수 중 하나인 원추지수를 바탕으로 작성되었기 때문에 앞으로의 연구에서는 더욱 정밀한 경운 지도를 작성하기 위하여 작물, 재배 지역, 토성 등에 따른 적절한 토양 경도를 정립하고, 경운지도에 따라 자동으로 경심을 조절할 수 있는 자동 제어 장치가 개발되어야 할 것이다.

본 시험에서는 토양 경도의 정밀 농업 제어 변수로서의 가능성을 확인하고자 토양 경도 측정 시스템을 개발하였고, 경운 에너지를 최소화하고 토양 파괴로 인한 토양 유실 방지 및 환경 보존의 새로운 방안인 정밀 경운을 행하기 위한 원추지수 지도 작성 방안을 제시하였다.

#### 4. 토양 EC를 이용한 토양특성의 간이 분석 기술

##### 가. 토양의 전기 전도도(EC)와 이화학적 특성

토양의 전기 전도도(EC)는 정보기반 농업에서 토양의 특성을 나타낼 수 있는 중요한 지표로서 간주되고 있다. 토양 염류, 점토 함량, 양이온 치환능력(CEC), 점토 광물, 토양 공극 크기와 상태, 토양 수분함량, 수분 등이 토양 EC에 영향을 미친다 (McNeill, 1992; Rhoades et al., 1999). Williams과 Baker(1982)는 염기가 용해되어 염류가 집적된 토양의 65%에서 70%의 토양 변이를 EC를 이용하여 설명할 수 있음을 보였다. 그러나, 염류가 없는 토양에서 전기 전도도의 변이는 주로 토양 조직, 수분함량, 양이온 치환능력에 반응한다. 토양의 전도도는 점토함량과 수분함량이 많을 때 증가하는 것을 Rhoades 등(1976)과 Kachanoski 등(1988)에 의해 밝혀졌다. Rhoades 등(1989)은 EC와 토양 물리성간의 이론적 상관관계에 근거한 이론적 모델을 발표하였다. 이 모델에서 EC는 토양수분 함량(이동이 가능한 것과 불가능하지 않은 것 모두), 토양 수분의 전기전도도, 토양 용적 밀도, 고형상태 토양의 전기전도도의 작용을 나타낸다.

EC가 다양한 토양 특성에 대한 함수이므로, EC 측정치에 대한 다른 토양 특성들의



영향이 알려지거나 혹은 측정될 수 있다면, EC 측정치는 토양 특성들에 대한 간접적인 측정치를 제공하는데 사용될 수 있다. 어떤 상황에서는 포장내 하나의 성분 변화의 기여가 다른 성분들의 변이에 비해 충분히 커 EC가 그 주성분의 직접적인 측정치로서 보정될 수 있다. Lesch 등(1995a,b)은 직접적인 방법으로 일정한 경영과 일정한 수분 함량, 용적비, 토양 특성에서 직접적으로 측정한 포장내 염류의 변이는 거의 균질하다는 것을 밝혀냈다. 미조리대의 초기 연구(Doolittle et al., 1994; Sudduth et al., 1995; Kitchen et al., 1999; Sudduth et al., 2001)를 분석하여 포장내 EC와 작토층 깊이간에도 직접적인 상관관계가 있음을 밝혀내었다.

따라서 EC를 측정하여 지도화하면 정보기반의 농업에서 이용할 수 있는 다수의 토양 물리성을 발견할 수 있다. Williams과 Hoey(1987)는 포장내 토양 점토 함량을 예측하기 위해 EC를 사용하였다. McBride 등(1990)은 EC 측정과 CEC와 치환가능한 Ca, Mg와의 상관을 분석하였다. 토양조직, 수분 유효성과 EC간의 상관이 밝혀지면서, 생산량에 영향을 미치는 대부분의 포장 변이 모두가 EC와 관련이 있는 것으로 보고하고 있다. (e.g., Sudduth et al., 1995; Jaynes et al., 1993; Kitchen et al., 1999).

#### 나. 토양 전기전도도 측정 장치 개발

포장 내 토양 EC 센서는 농업에서 토양의 염류 변이를 평가하는데 가장 처음 사용되었던 것으로 보이며 두가지 측정방법이 주로 이용되고 있다. 토양 접촉식 전극 센서와 토양에 닿지 않는 전자기유도방식의 EM센서가 쓰인다. 이 연구에서는 토양 EC를 보다 빠르고 간편하게 측정할 수 있는 방법으로 토양의 임피던스 변화량을 계측하고자 했다. 일정 간극의 전극사이에 위치한 토양의 전기전도도를 계측할 수 있도록 이중나선구조의 전극(Fig. 2-21)과 포인트 구조의 전극(Fig. 2-22)을 설계 제작하였다. 송수신 전극이 토양과 접촉한 상태에서 일정한 주파수를 갖는 고주파를 송신안테나에 인가한 후 수신 안테나를 통하여 수신된 주파수의 전계강도를 측정하고 전파 감쇄량으로부터 매질의 임피던스와 유전율을 추정하여 전기전도도인 토양 EC와 상관도를 구하였다.

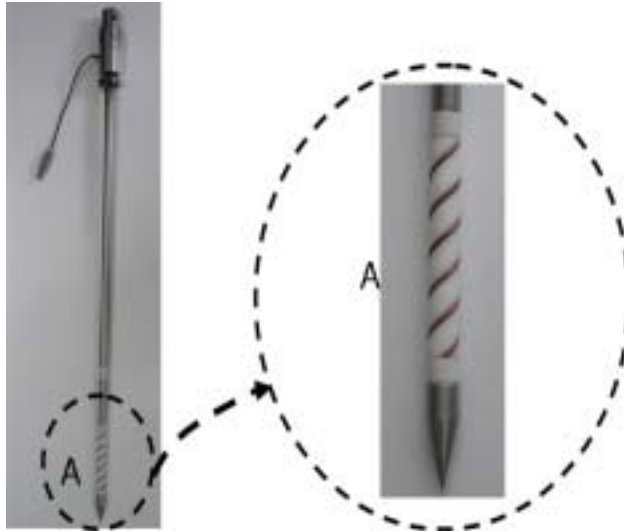


그림 2-21. 이중나선 전극형 EC센서

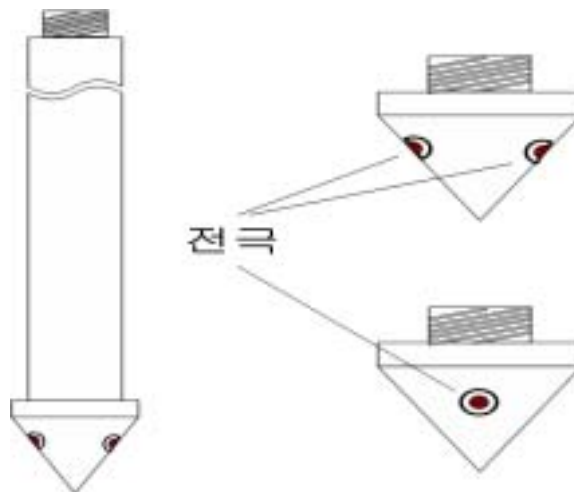


그림 2-22. 점 전극형 EC센서

다. 토양 전기전도도(EC) 측정 장치 시험

1) 시험장소

- 수원시 입북동에 위치한 농업공학연구소 시험 포장
- 토성 : 미사질 양토 - 점토(9%), 실트(51.2%), 모래(39.8%)

2) 시험포장의 경도 분포

- 작업 조건 : 관입속도 30mm/s, 최대 관입깊이 450mm, 원추 저면적 130mm<sup>2</sup>

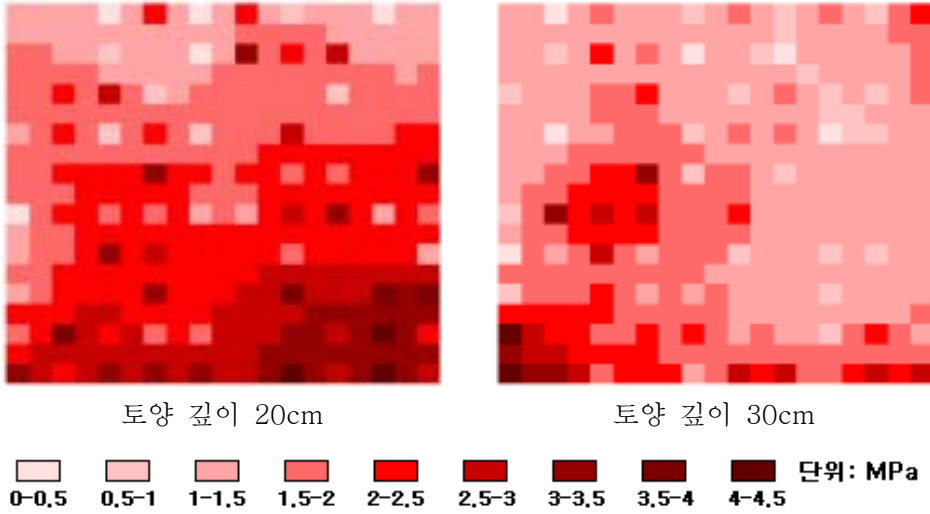
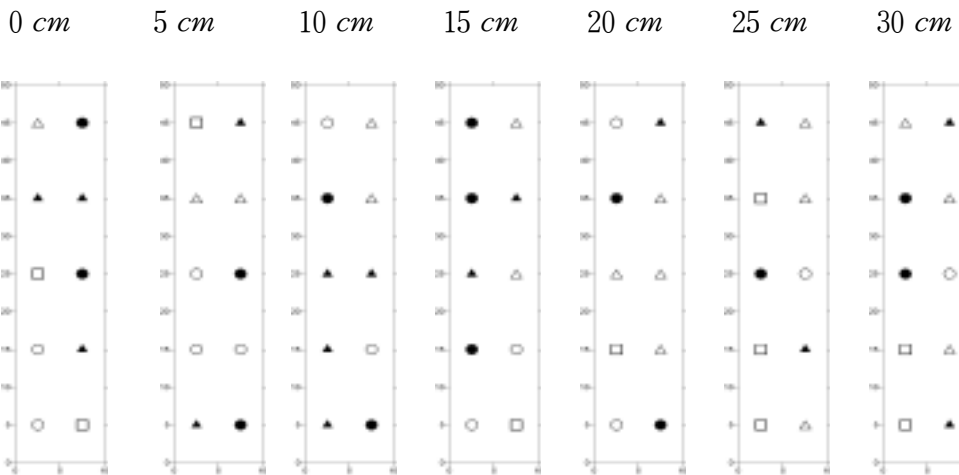


그림 2-23. 시험 포장의 토양 경도 지도

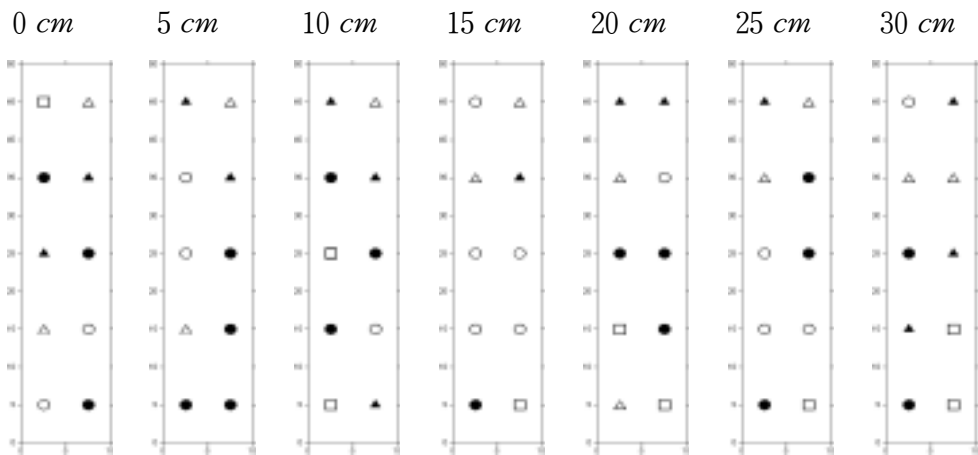
3) EC 측정 시험

- 표토 수분 함량 : 논 37%, 밭 : 23%
- 논에서 EC 범위 : 80~240mS/cm
- 밭에서 EC 범위 : 10~390mS/cm



( △: 80~112, ▲: 112~144, ○: 144~176, ●: 176~208, □: 208~240 )

그림 24. 논에서의 깊이별 EC 측정 결과 (단위 :mS/cm)



( △: 10~86, ▲: 86~162, ○: 162~238, ●: 238~314, □: 314~390 )

그림 2-25. 밭에서의 깊이별 EC 측정 결과 (단위 :mS/cm)

## 5. 토양시료채취기의 채취부 구조결정을 위한 요인 시험

### 가. 다점 채취 방식(수직 관입형)

#### 1) 연구 목적

일정 지점에서, 일정량의 토양 시료를 채취할 수 있는 토양 시료 채취 장치의 기능 및 성능을 검토하기 위하여 수직 관입형 토양 시료 채취 장치를 제작, 성능 시험을 수행하였다.

#### 2) 재료 및 방법

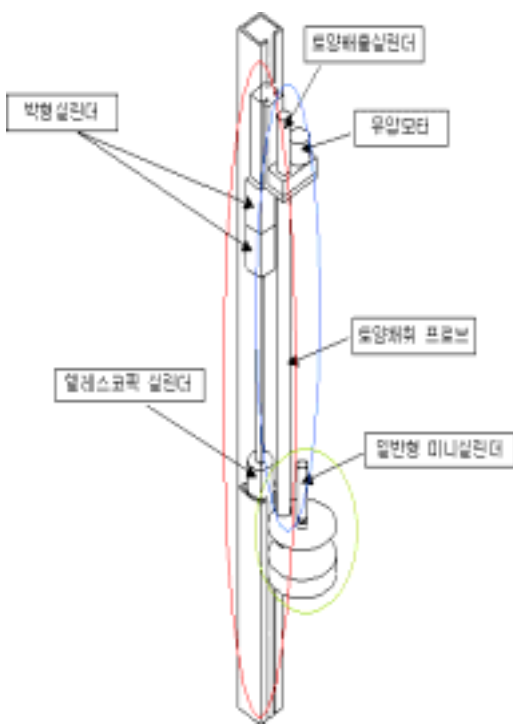


그림 2-26. 수직관입형 토양시료 채취 시험장치

수직 관입형 토양 시료 채취 장치는 트랙터의 3점 히치에 장착되어 트랙터가 일정한 위치에 정착한 후 채취프로브를 유압실린더의 가압력과 유압모터의 회전절삭에 의해 토양 속으로 관입하여 20cm 깊이까지의 작토층 흙을 샘플링 튜브에 충전하여 지상으로 이송할 수 있도록 설계되었으며, 특히 샘플링 튜브의 장착과 분리가 용이하도록 튜브가이드를 설치하였다.

시료 채취 장치에 장착된 토양경도 측정장치는 수직원추 관입방식을 사용하고 깊이 별로 3조의 원추관입장치가 동시에 유압실린더에 의해 토양속으로 관입되도록 하였으며, 관입 저항은 로드셀에 의해 측정하며, 각각 원추관입 프로브의 관입속도를 LVDT를 이용하여 측정할 수 있는 구조로 설계하였다.

토양 관입장치는 관입 프루브를 상, 하강시키는 리프트 실린더와 프로브를 회전시켜 프로브 선단의 절삭날로 토양의 코어를 형성하는 유압모터, 샘플링 튜브를 장착하고 토양속으로 관입되는 프루브로 구성되며 일련의 작업 공정에 따라 연속적으로 혹은 동시에 각각의 기기들이 작동될 수 있도록 설계하였다.

작동 제어용 유압장치는 트랙터의 외부인출 유압포트를 유압동력원으로 하여 유압실린더와 비례 제어 밸브 및 유압모터를 구동하며, 실린더의 자연하강방지를 위하여 파일럿 체크 밸브 라인을 구성하며, 유압동력은 트랙터 후방의 유압 인출 포트에서 인출하여

사용하도록 설계 제작하였다.

부하의 계측은 트랙터 후방 유압인출 포트와 시험장치의 유압블록을 연결하는 유압라인의 중간부분에 유량과 압력을 동시에 측정할 수 있는 센서를 장착하여 수직관입장치의 작동시 시험장치로 공급되는 유량과 압력을 측정하여 소요동력을 추정토록 하였다.

### 3) 시험 성적

수직 관입형 토양 시료 채취 장치의 작동 중 유압라인의 압력은 약 6.0MPa이었고, 유압 실린더와 유압모터를 위해 공급되는 작동유체의 유량은 42ℓ/min 정도로 측정되어 아래의 식에 따라 계산하면 작동 중 부하는 약 4.2kW 이하로 추정할 수 있다.

$$W = p \times Q = 60 \times 10^5 (Pa) \times (42 \div 60) \times 10^{-3} (m^3/s) = 4.2KW$$

여기서, $W$	=	소요동력( $W = N \cdot m/s$ )
$p$	=	유압 라인 압력( $Pa$ )
$Q$	=	유량( $m^3/s$ )

작동시 유압라인 이하이며 토양 경도가 증가함에 따라 다소 관입 저항이 증가하는 경향이 있었으나 회전 절삭방식으로 시료 코어를 생성함으로 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 작동자가 장치에 작용하는 과부하를 직접 감지하여 장치를 조작할 수 있기 때문에 장치에 대한 안전성 확보가 유리하다. 반면 채취되는 시료는 토성, 수분 함량 등에 따라 달라지므로 이점의 보완이 이루어질 경우 안정적인 토양 시료 채취 장치로서의 기능을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

### 4) 결과 요약

다음은 수직 관입형 토양 시료 채취 장치의 특징을 나타낸 것이다.

표 2-4 수직관입형 토양시료 채취기의 작업특징

구분	특징	비고
작동 방식	수직 관입형	
샘플링 방식	정지 채취식	
관입부하	4.2kW 이하	토양 경도 비례
구동장치의 복잡성	간단	
샘플의 양	가변적	토성, 수분 함량에 의존
작업 편의성	속련도에 의존	
과부하 방안	안정적	작업자의 조작

위의 특징이 있는 수직 관입형 토양 시료 채취장치는 안정적인 토양 시료의 분석을 위하여 114cc의 토양 시료를 채취할 수 있으며, 작업의 신속성을 담보할 수 있는 1분 이내의 채취 시간이 소요될 수 있도록 시작기를 제작하였다.

#### 나. 연속 채취 방식(수평 견인형)

##### 1) 연구 목적

연속적인 토양 시료 채취로 토양 시료 채취 시간을 단축하고 작업의 편리함을 확보하기 위하여 수평 견인형 토양 시료 채취 장치를 제작, 성능 시험을 수행하였다.

##### 2) 재료 및 방법



그림 2-27. 수평견인형 토양 시료채취 시험 장치

수평 견인형 토양 시료 채취 장치는 트랙터의 3점 히치에 장착되어 트랙터가 진행하고 있는 동안 연속적으로 지표로부터 토양을 분리하여 지상으로 이송하기 위한 장치로, 토양 절삭 및 흡입장치, 이송오거, 동력전달장치로 구성되며, 지측관 하부에는

토양 경도 측정을 위한 센서를 부착하는 구조로 설계 제작하였다. 또한 작동을 위한 동력은 PTO 및 트랙터 외부인출 유압포트로부터 취출하여 사용하도록 하였다.

고안된 토양 경도 측정 장치는 통쟁기의 지축한 하단부에 조립 설치되도록 하였으며, 원추관입기와 여기에 전달되는 저항력을 검출하는 로드셀로 구성되고 트랙터가 주행할 때 실시간으로 측정될 수 있도록 구성하였다.

또한, 토양 관입장치는 쟁기부를 리프트 실린더에 의해 상, 하강시키는 장치에 의해 토양의 채취깊이를 설정할 수 있으며, 쟁기부의 토양 흡인관에 의해 유입된 토양을 유압모터에 의해 구동되는 스크류 장치에 의해 이송되어, 분석을 위한 용기에 담아지도록 하였다.

작동 제어 유압장치는 유압실린더와 비례제어 밸브 및 유압모터, 또한 실린더의 자연하강방지용 체크밸브로 구성되며, 유압동력은 트랙터의 후방 유압 인출 포트에서 인출할 수 있도록 구성하였다.

포장시험은 농업공학연구소의 구내포장에서 수행하였다. 토질은 사질양토이며 40cm 깊이까지의 평균경도는 약500kPa로 표토층 10cm를 제외하고 특별한 경반층은 나타나지 않았다. 토양 수분은 약 25%정도로 표토층 5cm 까지는 약간 건조한 성상이었지만 이후 40cm 까지는 27~30%범위의 고른 토양 함수율을 나타내었다.

표 2-5. 수평면인 시험포장의 경도 및 함수율 조건

토성	평균 경도(kPa)				평균 함수율(%d.b)			
	10cm	20cm	30cm	40cm	10cm	20cm	30cm	40cm
사질양토	80	480	760	680	16	28	27	30

작업속도는 공시트랙터의 엔진 정격회전수에서 1단 저속 기어단의 차속인 0.2m/s에서부터 저속 3단인 0.68m/s까지 시험 했으며, 그 이상의 속도에서는 과도한 주행 슬립이 발생하거나 주행 할 수가 없었다.

부하 추정을 위해 사용된 트랙터 휠 토크 계측장치 제원은 다음과 같다.



표 2-6. 부하측정을 위한 휠 토크메터 제원

모델명	입력신호범위	토크측정 범위 (Nm)	회전수 측정 범위 (rpm)
DEWE-LOG (DEWETRON 사)	$\pm 10\text{mV} \sim \pm 50\text{V}$ $\pm 2\text{mA} \sim \pm 80\text{mA}$	0~1200	2000

### 3) 시험 성적

수평 견인형 토양 시료 채취 장치의 작동 중 부하는 최저 차속인 0.2m/s에서 평균 견인 소요동력이 6.4kW정도였으나 차속의 증가에 따라 견인 부하가 급격히 증가하는 양상을 나타 내었으며 약 0.8m/s이상의 속도에서는 과도한 주행슬립으로 시험이 어려운 상태가 되었다. 또한 토양 경도와 차량의 주행 속도가 증가함에 따라 관입 저항이 증가하는 경향이었으나 증가하는 관입 저항에 대해 운전자가 능동적으로 대처하여 부하를 제어하거나 과부하를 해소할 수 없었기 때문에 더 넓은 주행 범위의 시험을 하기 어려운 점이 있었다.

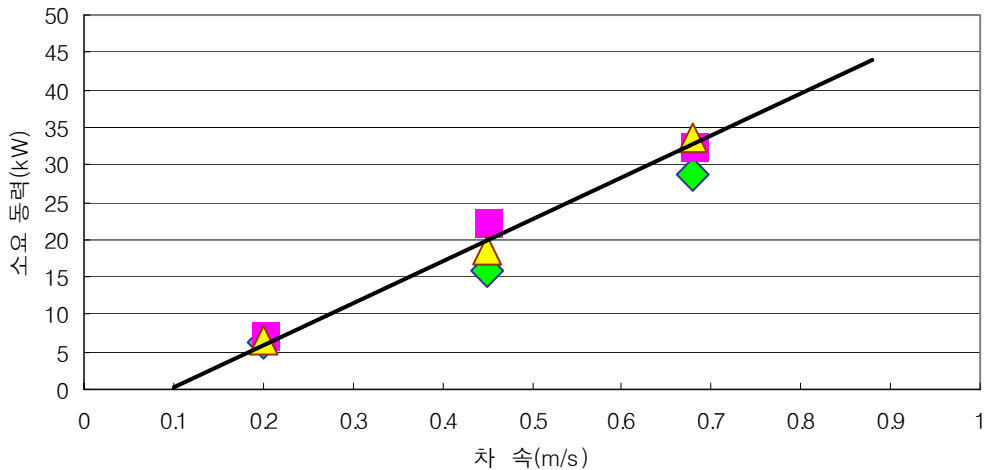


그림 2-27. 수평 견인형 토양 시료 채취 장치의 차속별 소요동력

반면, 수평 견인형 토양 시료 채취 장치는 연속적으로 일정량의 토양 시료 채취가 가능하며, 조작의 편의성도 수직 관입형에 우수하였다. 그러나 장치의 구조가 복잡하

고, 자갈, 수확 후 잔유물 등의 이물질이 혼입되어 토양 흡입구가 막히는 현상 등이 발생하기 때문에 안정적 시료 채취가 곤란한 단점도 있는 것으로 나타났다.

다음은 수평 견인형 토양 시료 채취 장치의 특징을 나타낸 것이다.

표 2-8. 수평 견인형 토양 시료 채취 장치의 작업특성

구분	특징	비고
작동 방식	수평 견인형	
샘플링 방식	연속 채취식	
관입부하	6.4kW 이상	토양 경도, 차량 속도 비례
구동장치의 복잡성	복잡	
샘플의 양	일정량 확보	자갈, 이물질이 없는 경우
작업 편의성	비교적 편리	
과부하 방안	불안정	작업자의 조작

#### 4) 결과 요약

수평 견인형 토양 시료 채취 장치는 관입 부하가 수직 관입형에 비하여 과대하고, 구조가 복잡하며, 과부하 대응 능력이 저조하며, 이물질에 의한 토양 흡입구의 입힘 현상 등이 발생하여 본 연구에서 개발하는 토양 시료 채취기는 수평 견인형 토양 시료채취 장치 대신 수직 관입형을 채택하기로 하였다.

수직 관입형 토양 시료 채취 장치와 수평 견인형 토양 시료 채취 장치의 특징을 비교하면 다음과 같다.

표 2-8. 수직 관입형 및 수평 견인형 토양 시료 채취 장치의 작업특성 비교

구분	수직 관입형	수평 견인형
샘플링 방식	정지 채취식	연속 채취식
관입부하	4.2kW 이하	6.4kW 이상
구동장치의 복잡성	간단	복잡
샘플의 양	가변적	일정량 확보
작업 편의성	숙련도에 의존	비교적 편리
과부하 방안	안정적	불안정

## 6. 토양 시료 채취기의 설계 제작

### 가. 트랙터 부착형 토양시료 채취기

#### 1) 연구 목적

정밀농업 실현의 가장 원초적 자료가 되는 토양정보는 정밀농업의 변량처방을 위한 필수적인 의사결정 요인이지만 현행의 토양분석방법은 많은 노력과 시간을 필요로 하며 정밀농업실현의 제약이 되고 있다. 따라서, 구조가 단순하고 간단한 조작으로 단기간내 토양성분을 계량화 할 수 있는 기계장치의 개발이 필요하다.

이를 위하여 이동성이 우수하며, 채취한 시료를 충분히 적재할 수 있으며 측위정보와 함께 토양의 특성을 측정할 수 있는 트랙터 부착형 토양시료채취 장치를 개발하였다.

#### 2) 재료 및 방법

토양 시료 채취 장치와 토양 경도 측정 장치를 통합하여 토양 분석용 시료 채취기를 구성하였다.

#### 가) 토양 분석용 시료 채취기의 Hardware 구성

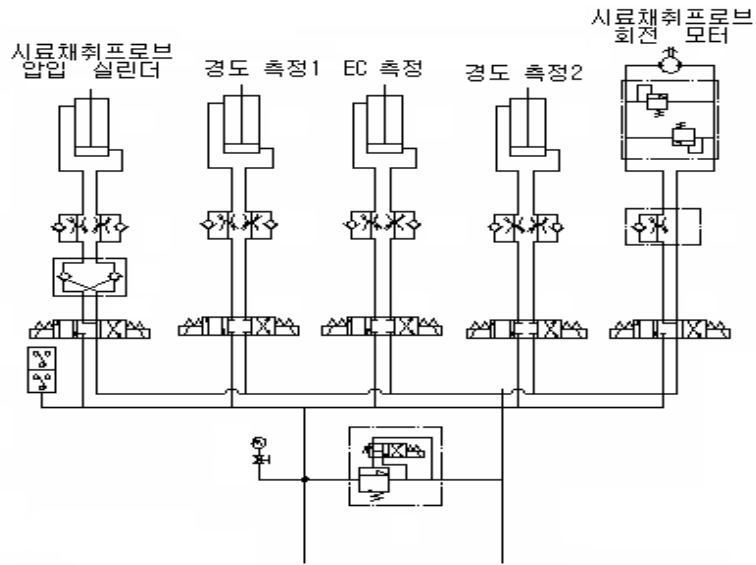


그림 2-28. 토양시료채취기의 유압회로 구성



그림 2-29. 토양 분석용 시료 채취기의 유압 블록 구성>

토양 분석용 시료 채취기의 유압 제어 회로는 5부분의 작동부로 구성되어 있다.

첫째, 토양 시료 채취부는 유압 실린더로 구동되는 관입부와 유압 모터로 구동되는 회전부의 두 부분을 구성되며, 둘째, 토양 경도 측정부는 좌우의 두 유압 실린더로 관입되고, 마지막으로 EC 측정부는 토양 경도 측정부와 동일한 유압 실린더로 관입되도록 설계되었다.

경도 측정 장치의 최대 관입 속도는 50mm/s로 설정하였으며, 토양 시료 채취 프로브의 관입 속도와 프로브 회전 모터는 사용자가 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 또한 시료 보관함은 최대 204개의 토양 시료를 적재할 수 있도록 설계 제작하였다.

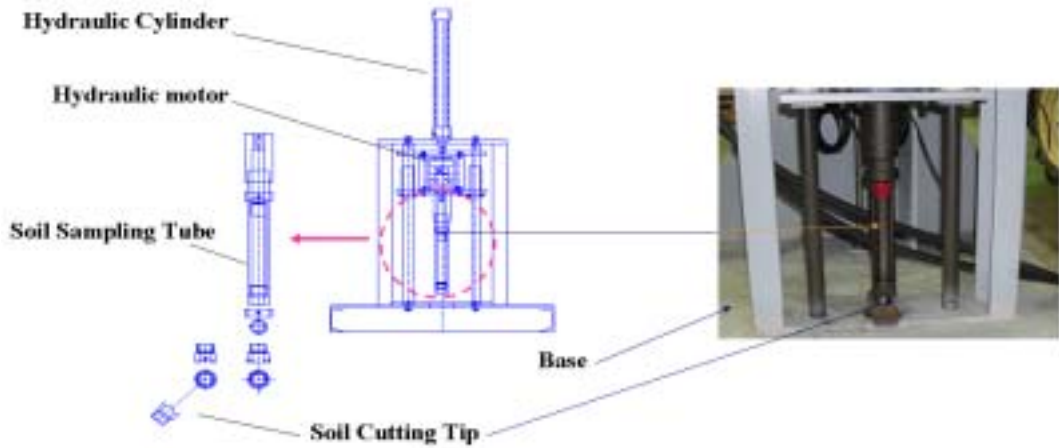


그림 2-30 토양 시료 채취부의 각부 구성과 명칭

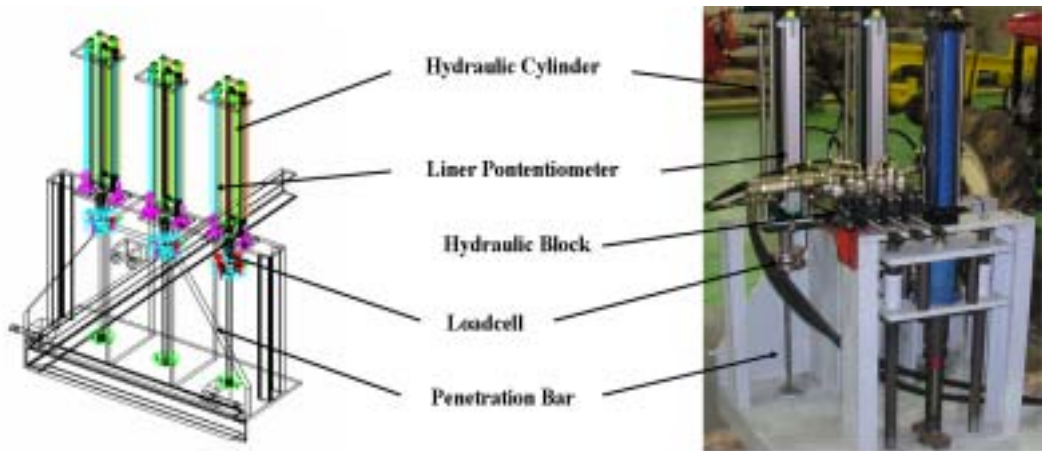


그림 2-31 토양 경도 측정부의 각부 구성과 명칭

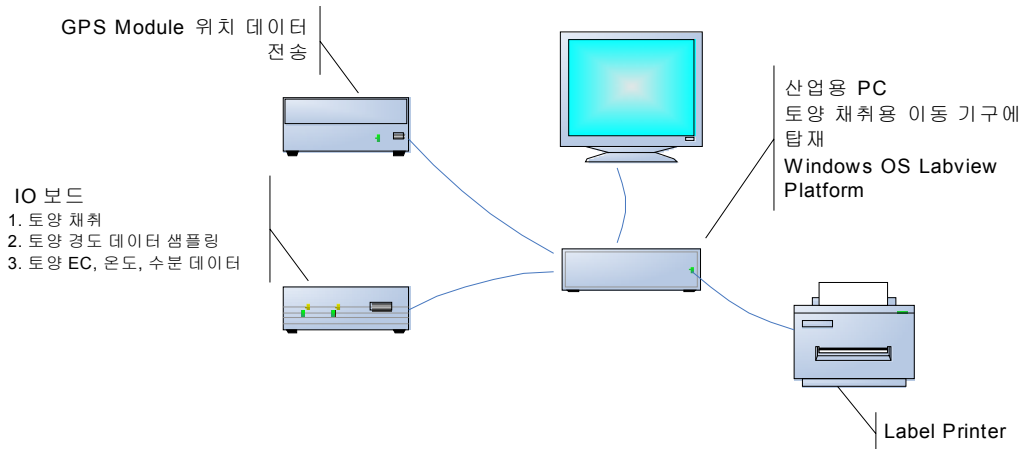


그림 2-32. 토양 분석용 시료 채취기 제어 장치 구성도



그림 2-33. 토양 분석용 시료 채취기 제어 장치

토양 분석용 시료 채취기의 전자 전기적 제어 및 구동부는 위의 그림과 같으며, GPS 측위 정보 획득부, 아날로그 신호의 입출력부, 라벨 출력부로 구성되며, 이들은 모두 Pentium 1.4G Mobile Processor가 내장된 산업용 PC에 의해 구동되고 LabVIEW 프로그램에 의해 동작이 제어될 수 있도록 하였다.

자료의 입력은 모두 7채널로 이루어지며, GPS 신호 입력, 관입 깊이 측정 각 3개와 토양 경도 측정용 로드셀 2개와 EC 센서 하나의 입력이 가능하다.

각각 설계 시험된 장치를 통합하여 제작함으로써 트랙터 부착형 토양시료 채취 장치를 완성했으며 개략적 구조와 제원은 아래와 같다.



그림 2-34. 토양 분석용 시료 채취기 통합 완성도

표 2-9. 토양 분석용 시료 채취기의 제원

구분	특징
샘플링 코어	$\phi 27 \times 200 \text{mm}$ , 114cc
릴리프 압력	$80 \text{kg}_f / \text{cm}^2$
최대 관입 속도	$5 \text{cm} / \text{sec}$
경도 측정 로드셀	Range: $0 \sim 200 \text{kg}_f / \text{cm}^2$
관입 방식	가압회전 수직 관입방식
측위 정도	$1 \text{m rms}$ 오차 이내

나) 토양 시료 채취 시스템 운용 Software 개발

토양경도 측정 및 시료채취 시스템 제어 프로그램의 알고리즘은 5단계로써 기본 설정 단계, 영점 조정 단계, 시료 인출 및 라벨링 단계, 측정 단계, 초기 상태 복귀 단계로 구성된다.

다음은 각 단계에 대한 작동 단계를 나타낸다.

□ 기본 설정

- (1) 컴퓨터와 통신 여부를 설정.
- (2) 실린더 번호를 설정.
- (3) 원추의 형상을 설정.
- (4) 최대 측정 깊이를 설정.
- (5) 하강 속도를 설정.

□ 영점 조정

- (1) 작동 전의 Load Cell 정보를 읽기.
- (2) 미리 설정한 리니어 포텐쇼미터의 영점까지 유압 실린더를 작동시킨 후 유압 실린더를 정지시켜 영점을 조정.
- (3) 영점 조정이 이루어진 위치에서 리니어 포텐쇼미터의 출력을 관입 깊이가 0m 인 상태로 설정.

□ 측정

- (1) 마이크로 프로세서의 내부 시계를 이용하여 현재 시간을(t) 측정.
- (2) 원추의 관입 깊이(D)를 측정한다. 관입 깊이가 최대 설정 깊이 이상이면 초기 상태 복귀 단계로 이동.
- (3) 관입력(F)을 측정한다. 관입력이 최대 설정 힘 이상이면 초기 상태 복귀 단계로 이동.
- (4) 컴퓨터와 통신이 설정되어 있으면 t, D, F 값을 컴퓨터로 전송.
- (5) 원추 지수를 계산.

$$CI=F/A, A\text{는 원추의 저면적}$$

- (6) 관입 속도(V)를 계산.

$$V=\Delta D/\Delta t$$

- (7) 시료 ID, 측정지점 좌표, D, F, CI, V를 화면에 출력하고 저장.

□ 시료인출 및 라벨링 단계

- (1) 샘플링 프로브에서 시료인출.
- (2) 시료 ID부여 및 라벨출력
- (3) 라벨 부착 및 시료 저장

□ 초기 상태 복귀

- (1) 솔레노이드 작동 방향 제어 밸브를 이용하여 유압 실린더를 상승.
- (2) 리니어 포텐쇼미터의 출력을 이용하여 초기 유압 실린더 상태가 될 때까지 유압 실린더를 상승시킨 후 정지하여, 대기 상태를 유지.
- (3) 마이크로 프로세서의 제어 프로그램의 실행 위치를 초기 위치로 이동.



다음은 측정 및 제어 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

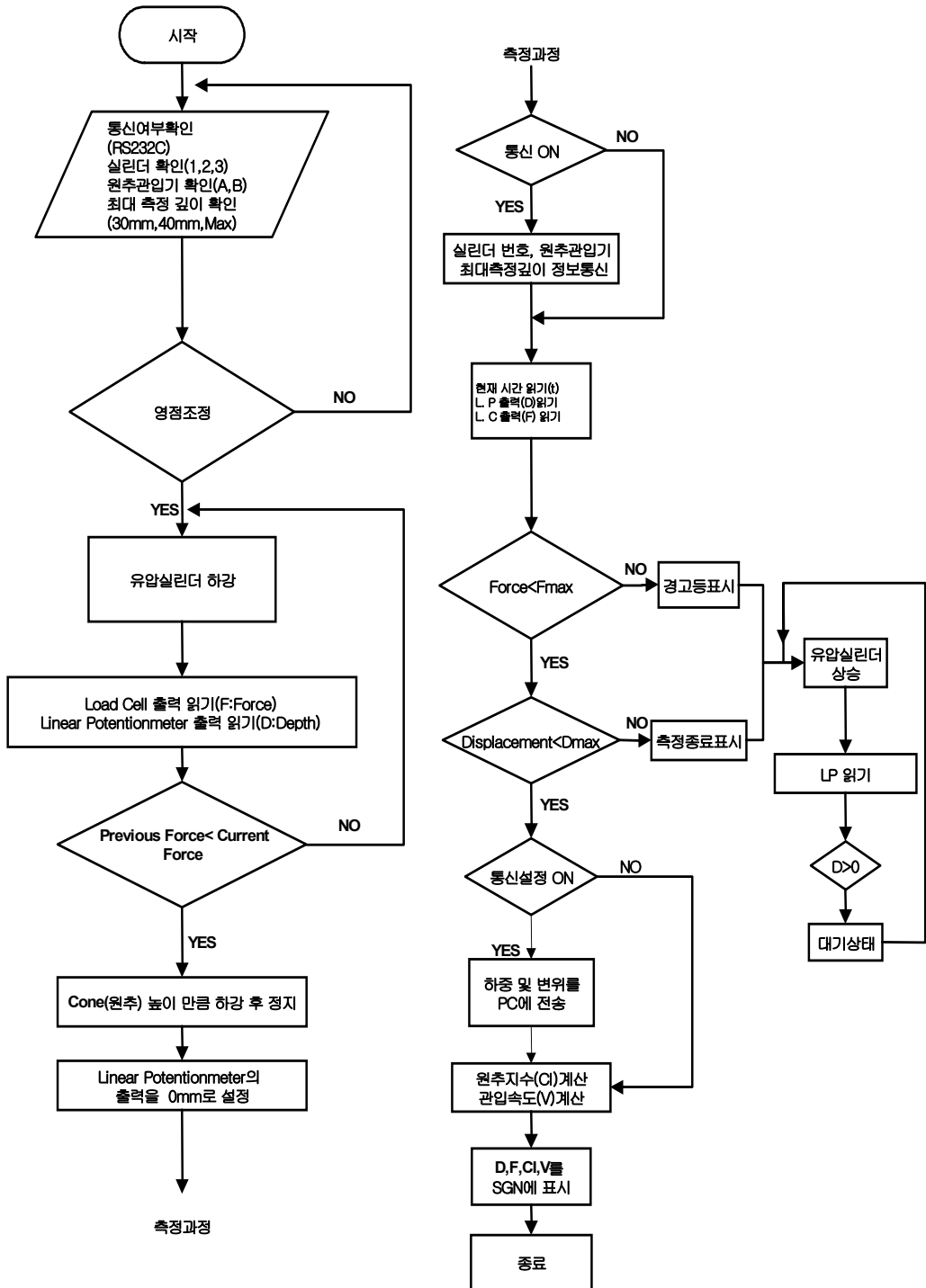


그림 2-35. 측정 및 제어 알고리즘의 흐름도

다) 시스템 제어 및 모니터링 프로그램 개발

최초 개발된 토양 분석용 시료 채취기의 시스템 제어 및 모니터링 프로그램은 다음과 같다.

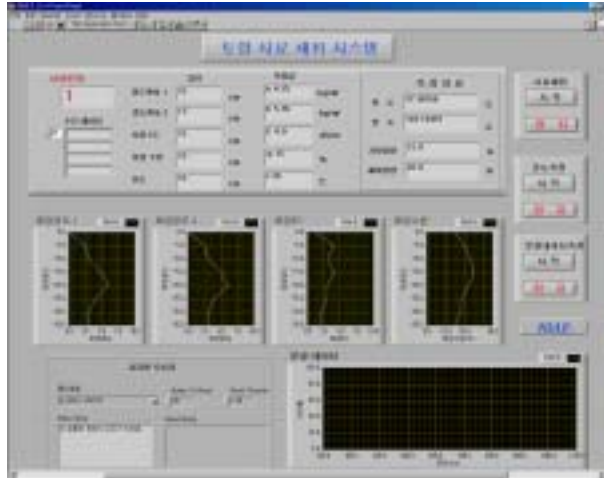


그림 2-36. 토양 분석용 시료 채취기의 시스템 제어 및 모니터링 프로그램

한 화면에 측정 자료를 모두 표시하며, 측정 지점의 측위 정보도 함께 표시할 수 있도록 프로그램을 작성하였으며, 위의 그림은 인쇄 기능은 아직 추가되지 않은 상태를 보여주고 있다.

수정된 최종 구동 프로그램의 경우 LabVIEW의 Tab Control을 이용하여 화면을 주요 모듈별로 분리하여 사용자가 보다 쉽게 접근할 수 있도록 하였다.



그림 2-37. GPS 수신 모니터링 프로그램 모듈

위의 그림은 GPS 신호의 테스트 및 GPS 수신기로부터의 신호를 처리하는 모듈이다. GPS 수신기로부터 입력되는 가공되지 않은 시리얼 통신 신호를 화면에 표시하고, 위도 및 경도 좌표만을 추출하여 화면에 표시하도록 하였으며, 자료에 문제가 있을 경우 Status의 색이 빨간색으로 바뀌도록 고안하여 프로그램하였다.

측정 자료 처리 모듈은 자료를 수집하고, 수집된 자료를 화면에 그래프 및 수치 자료로 표시하며, 파일로도 저장할 수 있는 기능을 담당한다. 여기서는 입력 포트의 설정과 입력 신호의 범위 등의 지정이 가능하도록 하였다.

라벨 프린터 제어 모듈은 측정한 자료 중 위도와 경도를 포함한 주요한 몇 개의 자료를 출력하여 토양 시료 채취통에 부착할 리벨을 출력하는 기능을 담당한다.

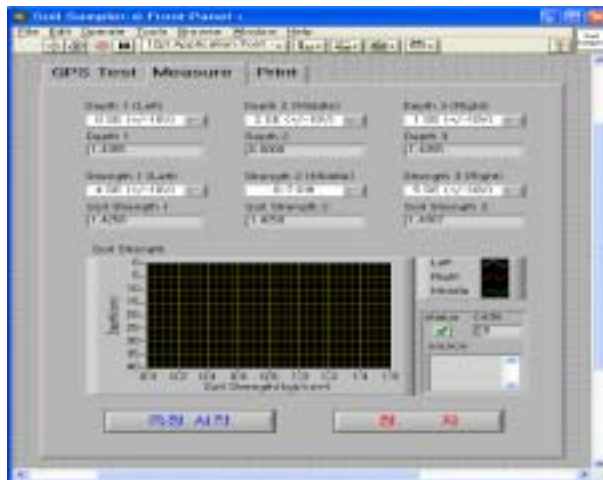


그림 2-38. 계측신호 입력 및 모니터링 프로그램 모듈

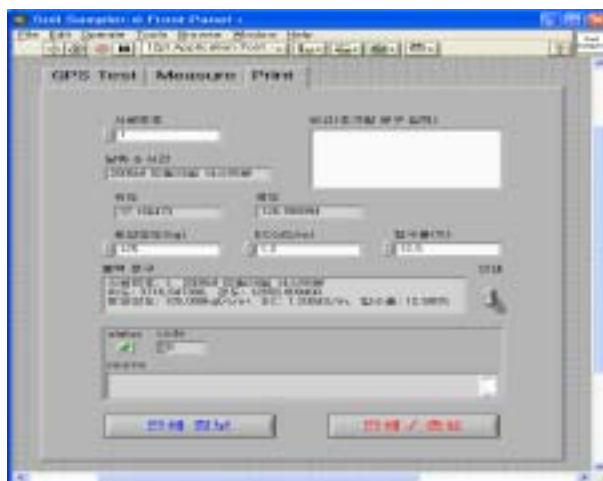


그림 2-39. 라벨프린터 제어 프로그램 모듈

### 3) 토양분석용 시료채취기의 작동시험

토양 시료 채취기에 장착된 센서는 교정 시험을 수행하였으며 결과는 다음과 같다. 관입 깊이를 측정하는 리니어 포텐쇼미터는 다음 그림과 같이 관입 깊이와 출력 신호 사이에 선형적인 관계가 있으며, 그 관계는 다음식과 같다.

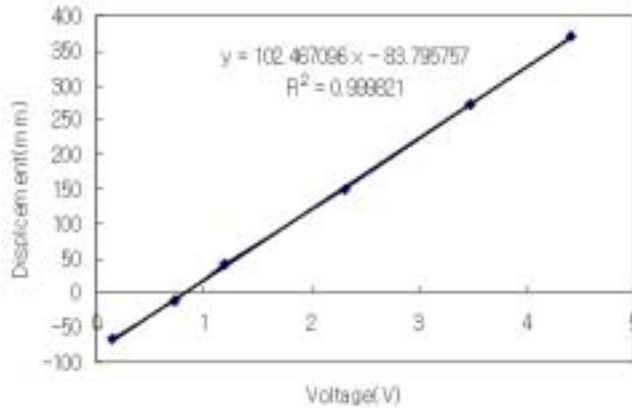


그림 2-40. 리니어포텐쇼미터의 출력 vs. 변위

$$\text{변위(mm)} = 102.467 \times \text{출력(V)} - 83.796$$

토양 경도 측정 장치의 관입 저항을 측정하는 로드셀은 다음 그림과 같이 관입 저항과 출력 신호 사이에 선형적인 관계가 있으며, 그 관계는 다음식과 같다.

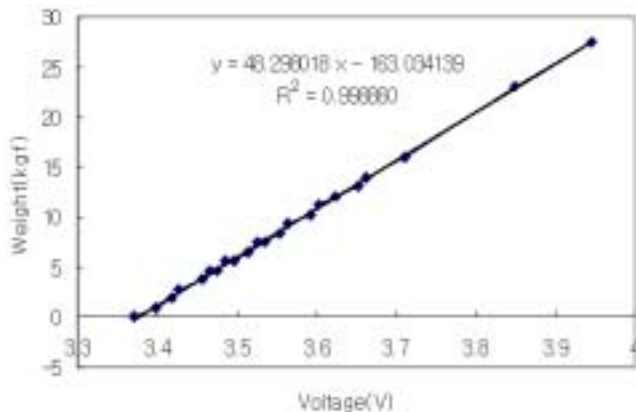


그림 2-41. 로드셀의 출력 vs. 하중

$$\text{하중(kg}_f\text{)} = 48.298 \times \text{출력(V)} - 163.034$$

토양의 전기전도도를 측정하는 EC센서는 다음 그림과 같이 전기전도도와 출력 신호 사이에 선형적인 관계가 있으며, 그 관계는 다음식과 같다.

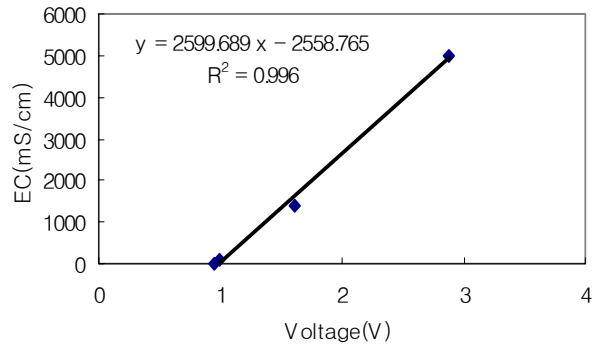


그림 2-42. EC 센서의 출력 vs. EC

$$EC(mS/cm) = 2599.689 \times \text{출력}(V) - 2558.765$$



그림 2-43. 토양 분석용 시료 채취기의 포장시험 광경

개발한 토양 시료 채취장치를 이용하여 수원시 입북동에 위치한 농업공학연구소 시험 포장에서 시료 채취 및 토양 경도 측정시험을 하였다. 시험포장은 미농무성 분류법에 의한 포장의 토성은 점토, 실트, 모래의 비율이 각각 9%, 51.2%, 39.8%인 미사질 양토(silt loam)이다. 시험 포장을 가로 세로 각각 2 m 간격으로 나누어 각 셀 안의 중

양 지점에서 시료채취와 동시에 3지점의 원추지수를 측정하여 그 평균값을 셀의 토양 경도로 나타내었다. 또한 각 측정 지점에서 원추의 관입 깊이에 따라 관입 깊이가 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm일 때의 토양 경도를 측정하였다. 측정 시 원추의 관입 속도는 30 mm/s, 최대 관입 깊이는 450 mm로 하였으며, 원추는 저면적이 130 mm<sup>2</sup>인 단단한 토양용 원추를 사용하였다.

토양 경도 측정은 다음과 같은 순서로 실시하였다.

- 가) 트랙터를 정차한 후, 3점 히치에 장착된 측정 시스템을 토양 표면에 내려 단단히 고정시킨다.
- 나) 작동시킬 유압 실린더, 최대 관입 깊이, 관입 속도를 지정한다.
- 다) 원추를 관입시켜 측정을 시작하고 관입 깊이와 관입력을 저장한다.
- 라) 최대 관입 깊이까지 측정이 끝나면 다음 측정을 위하여 원추를 원 위치시킨다.
- 마) 나머지 2개의 원추도 같은 순서로 작동시킨다.
- 바) 한 지점에서 경도 측정이 끝나면, 측정 시스템을 들어 올린 후, 다른 지점으로 트랙터를 이동하여 위의 과정을 반복한다.

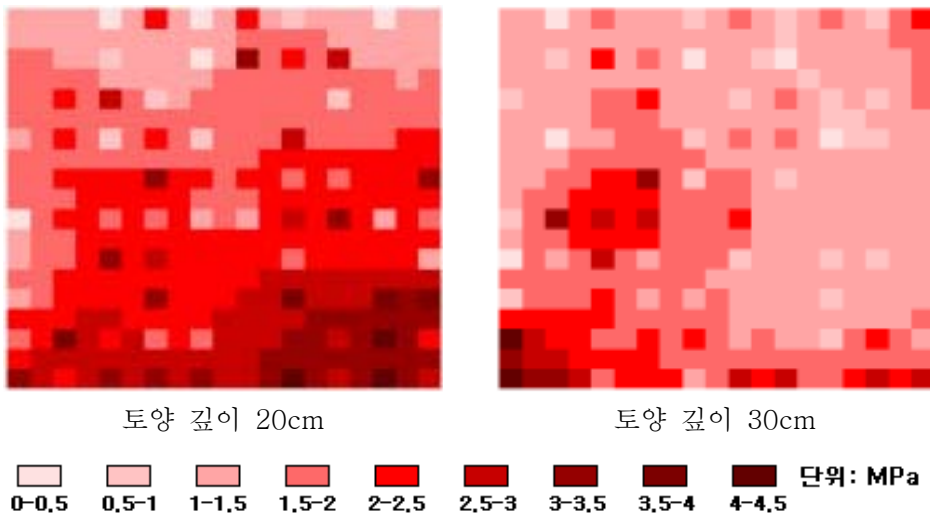


그림 2-44. 시험 포장의 토양 경도 지도

토양 시료채취부는 원통형의 수직식 토양관입장치가 유압 실린더에 의해 고속으로 관입하여 일정량의 토양시료를 플라스틱 튜브에 충전하는 방식으로 하였다. 이를 위해 시료 채취부는 토양관입장치를 가압하는 유압실린더, 관입장치를 회전시키는 유압 모터, 플라스틱 채취 튜브를 장착하여 토양 속으로 관입하여 시료를 채취하는 토양 관입 장치로 구성되어 있다. 트랙터가 시료채취 위치에 정차한 후 약 110cc의 플라스

틱 채토 원통이 삽입된 토양관입 프로브가 유압실린더의 가압력과 유압모터의 회전절삭에 의해 토양 중으로 관입하여 깊이 20cm 까지 작토층 흙을 채토 원통에 충전하여 지상으로 이송할 수 있도록 설계되었다. 가압 실린더의 상단부에는 시료 채취지점을 검출하기 위해 GPS 안테나를 설치했으며, 채취된 시료는 운전자가 채취 프로브의 커버를 열고 채취원통을 인출하여 제어기가 출력한 라벨을 부착하여 시료 저장고에 옮겨 담을 수 있도록 했다. 제어기가 출력한 라벨에는 일련번호와 GPS좌표를 기본 정보로 표시하고 깊이별 토양경도와 토양EC, 토양 수분에 대한 정보는 선택적으로 표시할 수 있도록 하였다. 유압 실린더는 수동방향제어밸브로 유로를 형성하면 관입 장치에 약 3040kN의 하중을 부가하도록 했으며, 샘플러가 토양속을 관입하는 동안 암석에 의한 파손을 막기 위하여 릴리프 밸브를 설치하고 약 4.5MPa의 압력에서 동작하도록 했다. 관입장치를 회전시키는 유압모터는 유압실린더와 병렬로 연결하여 동시에 구동되도록 했고 회전속도는 약 100~180rpm정도가 되도록 했다. 관입장치의 앞부분에는 톱날모양의 토양절삭 날을 부착하여 관입장치가 회전하는 동안 토양이 원통모양으로 절삭되어 용이하게 플라스틱 튜브 안에 충전 되도록 했다.

시료 채취장치가 트랙터 운전자에 의해 계획된 지점으로 이동하여 지면에 고정된 후 장치 조작자가 유압 핸들을 조작하여 시료 채취 프로브가 토양 중에 관입하여 프리스틱 채취원통에 시료를 충전하여 지상으로 복귀할 때까지 걸리는 시간은 25~30초 정도가 소요 되었으며 토양경도에 따라 큰 차이가 나타나지는 않았다. 시료 채취원통 담겨지는 토양의 충전상태는 토성과 함수율에 따라 약 30%~100%의 범위로 큰 차이를 나타냈으며, 함수율이 10%이하의 건조한 사질 토양의 경우 프로브가 복귀하는 동안 원통속의 채취된 시료가 다시 토양 속으로 떨어져 시료 충전율이 30%이하가 되는 경우도 있었다. 토성과 함수율에 관계없이 시료의 일정한 충전률을 확보할 수 있도록 시료 채취부를 개량해야 할 것으로 판단되었다.

시험포장에서 토양 경도 측정 시스템으로 결정한 원추지수와 SR-2(Daiki, 1998) 수동형 원추 관입기를 이용하여 결정한 원추 지수를 비교한 결과 시작기와 SR-2를 이용하여 측정한 원추 지수가 모두 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 시료채취 지점의 토양특성을 판단하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단되었다.

논토양과 밭토양에서의 전기전도도(EC)의 특성을 파악하기 위하여 토양 경도를 측정할 때와 같은 지점에서 EC를 측정하였다. 측정 당시의 표토 수분 함량은 논토양에서는 37%db이고 밭토양에서는 23%db이었다. 측정된 EC의 범위는 논토양과 밭토양에서 각각 80~240mS/cm, 10~390mS/cm의 범위로 측정되었다.

## 나. 휴대형 토양 시료채취기

### 1) 개발목표

채취할 토양 시료의 수가 적고, 채취할 지점 사이의 거리가 멀어 차량에 의해 작동되는 토양 시료 채취의 활용성이 낮을 때 토양 시료의 효율적인 수집 분석에 대한 지원이 가능하도록 하기 위하여 휴대가 간편하고 작업공정의 간단한 휴대형 토양 시료 채취 장치를 개발하였다. 또한, 측위 시스템과 토양 센서를 결합하여 현장에서 포장의 주요 토양 특성을 측정, 저장할 수 있는 시스템을 구성하였다.

종래의 휴대형 토양시료 채취기는 인력 혹은 기계적 장치를 이용하여 토양으로부터 일정량의 시료를 채취하고 이를 일정한 방법에 따라 건조하고, 화학용액을 사용하여 시료로부터 유효 성분을 추출한 후 분석함으로써 토양상태를 파악하는데 수 시간에서 수 일 정도의 오랜 시간이 소요될 뿐 아니라 지반을 중심으로 한 채취지점의 파악은 한 필지 내에서도 변량적인 처방이 가능한 정밀농업 기술을 적용하는데 필요한 정보를 제공하기 어려운 단점을 가지고 있었다. 특히 인력으로 시료를 채취하는 경우는 시료 채취기를 단단한 토양속에 관입시키고 인출하는데 어려움을 겪어 왔다.

이 연구에서는 인력으로 토양시료를 채취할 때 발생하는 이러한 문제점을 해소하기 위하여, 토양 시료를 채취할 때 채취장치가 토양속으로 관입하는데 필요한 힘을 용이하게 전달할 수 있는 관입장치와 시료 채취와 동시에 토양 특성 정보와 위성항법장치를 기반으로 채취지점에 대한 정확한 지리정보를 제공할 수 있는 토양 특성 정보검출장치를 가진 즉답형 토양시료 채취기를 개발하고자 했다.

### 2) 설계 및 제작

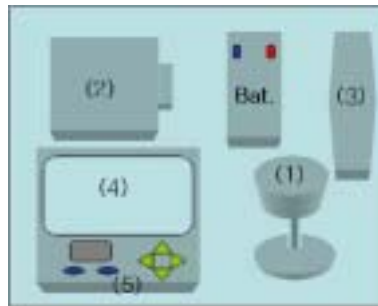
인력 휴대형 토양 샘플러는 표준 100cc의 토양 시료 채취통을 사용하여 밀도, 함수율 등의 측정도 용이하게 할 수 있도록 하였으며, 관입을 용이하게 하기 위하여 즉답형으로 설계하였으며, 토양 시료 채취 장소의 측위 정보를 획득하여 라벨을 출력하여 측정 정보를 쉽게 기록 보관할 수 있도록 하였다. 다음은 인력 휴대형 토양 시료 채취기 구성도이다.





그림 2-45. 휴대형 토양 분석용 시료 채취기의 구성도

휴대형 토양시료 채취기는 크게 8개의 구성요소로 되어 있다. 즉 DGPS를 이용하여 시료채취 지점의 경위도 좌표를 확정하는 지리위치 측정부, 센서로부터 입력된 아날로그 신호를 정제하고 디지털 신호로 바꾸어 주는 신호변환기, 전기적 특성을 이용하여 토양의 EC, 수분, 온도등을 측정하는 토양특성검출센서, 원통관을 토양속에 관입시켜 시료를 채취하는 토양시료채취부, GPS 수신기와 통신, 센서자료의 입력과 연산, 데이터의 이송 관리 저장을 담당하는 연산 및 데이터 저장부, 시료를 채취하는 동안 채취지점의 지리좌표, 시료의 여러 가지 토양 특성, 일련번호 등을 표시하는 데이터 표시부, 측정된 자료를 인쇄하여 채취시료에 붙일 수 있도록 하는 라벨 인쇄기로 구성되어 있다.



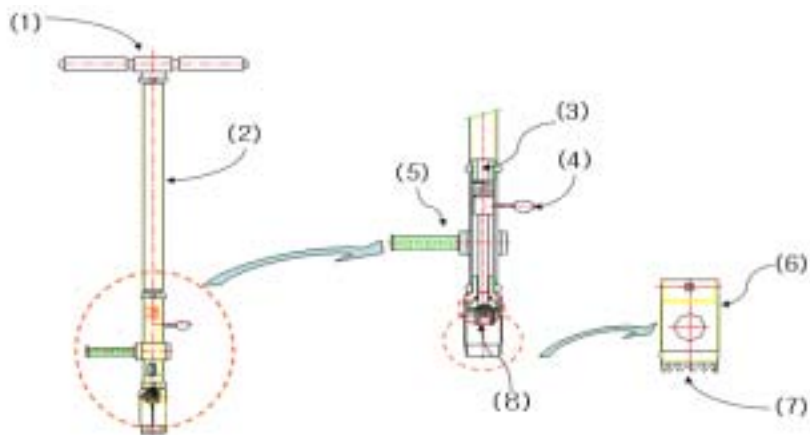
- (1) 지리위치 측정부(DGPS) (2) 신호변환기 (3) 라벨 프린터  
 (4) 데이터 표시부 (5) 연산 및 데이터 저장부  
 그림 2-46. 휴대형 토양 분석용 시료 채취기의 부품구성



그림 2-47. 휴대형 토양 분석용 시료 채취기의 제작

작업자가 토양시료를 채취하기 위해 채취기 핸들을 잡고 족답봉을 밟고 채중을 채취 장치 쪽으로 옮기면 시료가 담겨지는 캔이 들어있는 실린더 모양의 시료캔 장착구가 토양속으로 관입되면서 시료캔에 토양이 충전되게 된다. 토양이 단단해서 관입이 잘 되지 않을 경우는 채취기 핸들을 좌우로 돌리면 튕날모양의 토양 절삭부가 토양을 절삭하여 시료캔 장착구가 토양속으로 관입되기 쉽게 한다. 시료캔 장착구 내의 시료캔에 충전된 토양시료들은 시료캔 상단부에 위치한 센서 전극봉 및 온도 센서봉과 접촉하게 되어 토양 수분, 토양EC, 토양 온도 등에 대한 정보가 센서 어셈블리의 신호 출력선을 따라 신호변환기로 전달된다. 신호변환기는 전달된 아날로그 신호를 필터링하고 증폭하여 디지털 신호로 변환한 다음 프로세서가 있는 연산 및 데이터 저장부로 전달하면, 연산 및 데이터 저장부는 전달된 디지털 신호를 토양 EC, 함수율, 온도등의 값으로 변환한다. 변환된 데이터 들은 지리위치 측정부로부터 수신한 지리좌표 데이터와 결합하여 시료를 채취한 지점의 데이터 셋으로 저장, 관리되며 데이터 표시부의 화면에는 글자 및 그림으로 데이터의 상태가 표시된다. 충분한 시료가 충전된 후 작업자는 시료캔 장착구를 토양 밖으로 뽑아내어 토양이 충전된 시료캔을 분리해 낸 다음 라벨 인쇄기가 출력한 토양 특성 데이터가 기록된 라벨을 캔에 부착하여 운반용가방에 보관하면 1지점에서의 채취공정이 종료 된다.

족답식 토양 시료 채취장치는 마치 사람이 삽질을 하는 동작과 유사하므로 종래의 손으로 눌러 넣거나 망치로 때리는 방법에 비해 빠르고, 많은 시료를 채취하더라도 큰 힘이 들지 않는다. 또한 이렇게 실시간으로 측정하여 저장된 데이터는 시료 채취작업이 끝난 후 별도의 분석작업이 없이도 토양의 개략적 특성을 파악할 수 있게 해주며 즉시 비료나 퇴비를 변량적으로 살포하는 정보로 활용할 수 있다.



- (1) 채취기 핸들
- (2) 연결봉
- (3) 스프링 고정 나사
- (4) 시료채취통 고정 핸들
- (5) 족답봉
- (6) 시료채취통 장착구

(7) 토양 절삭부

(8) 센서

그림 2-48. 휴대형 토양 분석용 시료 채취기의 상세 구조

다음은 입력 휴대형 토양 시료 채취 장치의 운용 프로그램이다. GPS 신호를 수신하여 채취지점의 좌표를 표시하고 저장하며 토양경도 프로브 및 EC센서가 휴대형 시료채취장치에 연결될 경우, 전압 또는 전류신호를 디지털 신호로 변환하여 센서의 물리량으로 캘리브레이션된 값으로 표시할 수 있도록 하였으며 운용프로그램은 모듈형 그래픽툴 프로그래밍 언어인 LabVIEW를 이용하여 작성하였다.

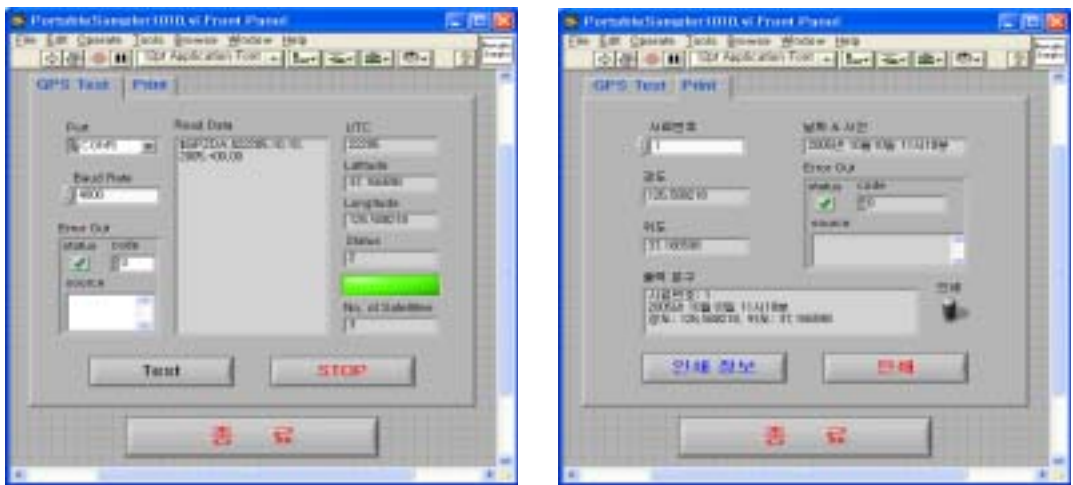


그림 2-49. 휴대형 토양 분석용 시료 채취기의 구성도

### 3) 시험 성적

휴대형 토양 시료 채취 장치는 차량 구동용 시료 채취 장치인 수직 관입형과 수평 견인형과는 달리 토양의 조건에 관계없이 표준 100cc 토양 시료 채취통이 100% 충전되었으며, 축압형 구조로 시료 채취 속도가 빨라 라벨을 출력하여 부착하는 데까지 소요되는 시간이 기존 시료 채취 시간인 2분보다 빠른 1분30초가 소요되었다.

다음은 포장에의 한 지점에 관입된 입력 휴대형 토양 시료 채취 장치의 모습과 토양에서 인출된 후의 토양 시료 채취통에 충전된 토양의 모습을 나타낸다.



<관입된 인력 휴대형 토양 시료 채취 장치>



<시료 채취통에 충전된 토양>

그림 2-50. 휴대형 토양 분석용 시료 채취기의 포장시험

#### 7. 토양 분석용 시료 채취기의 경제성 분석

휴대형 토양시료 채취기를 이용할 경우 관행의 인력식 토양시료채취기에 비해 작업능률은 16%이상 향상되고 소요비용의 상승은 거의 없는 것으로 나타나 시료채취 간격이 멀거나 포장단위의 시료채취에 매우 유용하게 이용할 수 있는 것으로 나타났다.

표 2-10. 토양 시료 채취기의 경제성 분석표

구분	관행(인력)	휴대형 (시작기)	트랙터용 토양시료 채취기		
			트랙터(45마력)	토양시료 채취기	
구입가격(원)	143,000	1,000,000	17,000,000	9,000,000	
내용연수(년)	8	8	8	8	
연간사용시간(시간/대)	120	120	202	120	
연 간 고정비 (월/년)	감각상각비	17,875	125,000	2,125,000	1,125,000
	수리비	8,580	60,000	1,020,000	540,000
	이 자	3,575	25,000	425,000	225,000
	소 계	30,030	210,000	3,570,000	1,890,000
시간당고정비(원/시간)	250	1,750	17,673	15,750	
시간당 유동비 (원/시간)	인건비	7,354	7,354	10,296	
	유류비	-	-	7,261	
	소 계	7,354	7,354	17,557	
시간당비용(원/시간)	7,605	9,104	50,980		
작업성능(시간/ha)	5.0	4.2	3.3		
소요비용(원/ha)	38,023	38,238	168,235		

※ 휴대형 토양시료 채취기는 GPS 장비와 제어용 컴퓨터를 제외하였음.

※ 휴대형 토양시료 채취기 / 관행(인력) = 0.84(작업성능), 1.01(소요비용)

트랙터용 토양시료 채취기 / 관행(인력) = 0.66(작업성능), 4.42(소요비용)

▶ 내용연수 : 트랙터 8년, 돌 수집기 8년

▶ 잔존율 0%, 수리비계수 6%, 연이율 5%

▶ 연료비 : 면세유 574원/ℓ(경유), 윤활유비는 연료비의 15%

▶ 연료소모량 : 트랙터 11ℓ/시간

▶ 인건비 : 농협조사월보 2005 평균

남자 - 58,834원/일, 여자 - 40,111원/일

기계운전자 인건비 - 82,368원/일(남자 인건비의 1.4배)

※ 1ha(100m×100m) : 10m×10m 1점 채취 기준 총 100개소

표 2-11. 토양 시료 채취기의 경제성 분석을 위한 성적 적용표

	1점 시료채취(초)	경도측정(초)	총 소요시간(시간)	비고
관행	120	60	5.0	경도 측정은 SR-2 이용
휴대형	90	60	4.2	
트랙터용	90	30	3.3	

특히 기존의 인력식 채취기는 손의 힘만을 이용하여 채취하도록 한 구조인 반면 시작기는 발의 힘을 이용하여 채취부가 토양속을 관입하도록 하여 채취자의 작업피로가 적고 장시간 작업도 가능하였다

관행의 시료 채취작업에 비해 트랙터 부착형의 경우 약 34%정도 작업능률이 향상되었으나 소요비용이 4.4배나 증가하는 것으로 나타났다. 관행 인력 시료 채취도구들이 매우 저가인 반면, 유압동력을 이용하도록 트랙터 부착 작업기로 설계된 시작기는 제조원가가 상대적으로 고가이고 이에 따른 고정비 및 유동비가 상승하여 소요 비용이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 짧은 간격으로 다량의 시료를 채취할 경우에는 인력으로는 한계가 있으므로 기계식 시료채취장치의 사용은 불가피하다 할 수 있다.

## 제 4절 요약 및 결론

지속적 농업생산기반으로서 토양을 작물이 생육하기에 적합한 상태로 유지하는 것은 현재뿐 아니라 농업의 미래를 위해서도 매우 중요한 일이다. 정밀농업은 정보를 기반으로 지리적 위치에 따라 변량적 처방을 통해 농업 생산의 목표를 달성하고자 하는 것이며 토양에 관한 정보의 취득은 정밀농업에 필수적이며 기본적인 정보이다. 토양 정보를 바탕으로 대부분의 작물의 생육환경과 시비를 위한 의사결정이 행해지기 때문이다. 그러나 현재의 토양분석방법은 시료채취와 분석에 많은 노력과 시간을 필요로 하기 때문에 정밀농업실현에 제약이 되고 있다.

이러한 문제 해결을 위해 단기간내 토양성분을 계량화 할 수 있도록 토양 시료 채취 기계화 기술 개발과 구조가 단순하고 간단한 조작으로 토양특성과 변이를 추정할 수 있는 추정할 수 있는 기술을 개발하고자 했다.

개발 목표의 달성을 위해 정밀농업에 필요한 토양 데이터를 효율적으로 수집하고 분석할 수 있도록 토양시료 채취 공정을 간소화하고 GPS를 통해 샘플링 지점의 정확한 측위정보 제공하는 기능을 가지며 시료채취와 동시에 시료 채취지점의 토양물리성에 대한 정보를 파악하는 기능을 부여하는데 설계의 중점을 두었다. 1회 시료 채취량은 100cc 이상으로 하고 표토층 20 cm 까지를 채취할 수 있도록 하였다. 토양 경도 측정

시스템의 기본 설계 조건은 최대 관입 저항을 2450 N, 최대 관입 깊이를 450 mm, 관입 속도를 10, 30, 50 mm/s중에서 선택할 수 있도록 했으며 원추 형상은 ASAE 표준(ASAE, 2003)을 따랐다. 시스템 제어장치는 토양 시료채취 장치와 경도 측정장치의 작동을 제어하고, GPS와 인터페이스, 위치정보 및 실시간 측정자료의 저장용 용이하게 수행 할 수 있도록 신호 입출력, 연산, 자료 저장 등의 기능을 가지도록 설계하였다.

## 1. 장치의 설계 및 제작

토양 시료 채취기는 시료 채취부, 경도 측정부, EC 및 함수율 측정용 전극부로 구성되며, 트랙터 3점 히치에 장착될 수 있도록 하였음.

### 가. 토양 시료 채취부

토양 시료채취부는 원통형의 수직식 토양관입장치가 유압 실린더에 의해 고속으로 관입하여 일정량의 토양시료를 플라스틱 튜브에 충전하는 방식으로 하였다. 이를 위해 시료 채취부는 토양관입장치를 가압하는 유압실린더, 관입장치를 회전시키는 유압모터, 플라스틱 채취 튜브를 장착하여 토양 속으로 관입하여 시료를 채취하는 토양 관입장치로 구성하였다.

트랙터가 시료채취 위치에 정차한 후 약 110cc의 플라스틱 채토 원통이 삽입된 토양관입 프로브가 유압실린더의 가압력과 유압모터의 회전절삭에 의해 토양 중으로 관입하여 깊이 20cm 까지 작토층 흙을 채토 원통에 충전하여 지상으로 이송할 수 있도록 설계되었다

가압 실린더의 상단부에는 시료 채취지점을 검출하기위해 GPS 안테나를 설치했으며, 채취된 시료는 운전자가 채취 프로브의 커버를 열고 채취원통을 인출하여 제어기가 출력한 라벨을 부착하여 시료 저장고에 옮겨 담을 수 있도록 하였다.

제어기가 출력한 라벨에는 일련번호와 GPS좌표를 기본 정보로 표시하고 깊이별 토양경도와 토양EC, 토양 수분에 대한 정보는 선택적으로 표시할 수 있도록 하였다.

유압 실린더는 수동방향제어밸브로 유로를 형성하면 관입 장치에 약 3040kN의 하중을 부가하도록 했으며, 샘플러가 토양속을 관입하는 동안 암석에 의한 파손을 막기 위하여 릴리프 밸브를 설치하고 약 4.5MPa의 압력에서 동작하도록 하였다.

관입장치를 회전시키는 유압모터는 유압실린더와 병렬로 연결하여 동시에 구동되도록 했고 회전속도는 약 100~180rpm정도가 되도록 함. 관입장치의 앞부분에는 톱날모양의 토양절삭 날을 부착하여 관입장치가 회전하는 동안 토양이 원통모양으로 절삭되어 용이하게 플라스틱 튜브 안에 충전 되도록 하였다.

## 나. 토양 경도 측정부

본 연구에서는 토양 경도를 토양이 단단한 정도로 정의하고, 이를 원추지수로써 나타낼 수 있도록 유압식 토양 경도 측정 시스템을 개발하였음. 토양 경도 측정 시스템은 토양 시료 채취장치가 시료를 채취하는 동안 시료 채취부 주변의 토양경도를 측정할 수 있도록 하였다. 토양 경도 측정 시스템은 원추 관입 장치, 유압 장치, 관입깊이 측정센서 및 제어 장치로 구성하였다.

### 1) 기본 설계 조건

트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템의 기본 설계 조건은 다음과 같이 설정하였다.

최대 관입 저항: 2450 N

최대 관입 깊이: 450 mm

관입 속도: 10, 30, 50 mm/s 선택

원추 형상: ASAE 표준(ASAE, 2003)

### 2) 원추 관입 장치

원추 관입 장치는 토양에 원추를 관입하는 장치로서, 관입 깊이를 측정하기 위한 리니어 포텐쇼미터, 관입력을 측정하기 위한 로드셀, 원추를 관입하기 위한 유압 실린더로 구성하였다. 측정 시스템의 하부 프레임에 300 mm 간격으로 3개의 원추 관입 장치를 설치하였으며, 로드셀은 각 원추 관입 장치의 유압 실린더 하단에 부착하였다. 유압 피스톤이 하강할 때 원추에 작용하는 관입 저항을 로드셀로 측정하고, 동시에 관입 깊이를 리니어 포텐쇼미터로 측정할 수 있도록 하였다. 원추는 ASAE 표준 S313.3 (ASAE, 2003)에 따라 제작하였다.

### 3) 유압 장치

유압 장치는 그림 2에서와 같이 1개의 3위치 4 포트 방향 밸브, 3개의 ON/OFF 밸브, 3개의 유량 제어 밸브, 3개의 복동 유압 실린더, 4개의 릴리프 밸브로 구성하였으며, 유압 동력은 트랙터의 원격 유압 동력을 이용하도록 하였다. 3위치 4포트 방향 밸브는 밸브의 위치에 따라 유압 실린더의 피스톤이 상승, 정지, 하강할 수 있도록 하였다. 그러나 원추가 최대 관입 깊이에 도달한 후에는 3개의 밸브를 모두 열어 원추가 빠른 속도로써 초기 위치로 돌아갈 수 있도록 하였다. 원추의 관입속도는 ASAE의 경도 측정방법에 따라 최대 관입속도를 제한하기 위해 실린더의 입구와 출구에 오리피스를 부가하였다. 오리피스의 설계는 다음의 식을 따랐다.

$$Q_1 = C_f f(\theta) \sqrt{\Delta P_1} \quad , \quad Q_2 = C_f f(\theta) \sqrt{\Delta P_2}$$



Q1과 Q2는 오리피스를 통하여 공급되는 유량이며, Cf는 유량 저항계수, f(θ)는 오리피스 단면과 입력 θ각 사이의 비선형 함수이다.

$$\sqrt{\Delta P_1} = \begin{cases} \sqrt{P_1 - P_r} & \text{if } \theta \geq 0 \\ \sqrt{P_s - P_1} & \text{if } \theta < 0 \end{cases}$$

$$\sqrt{\Delta P_2} = \begin{cases} \sqrt{P_s - P_2} & \text{if } \theta \geq 0 \\ \sqrt{P_2} & \text{if } \theta < 0 \end{cases}$$

오리피스의 적정성을 확인하기 위하여 시뮬레이션 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션 프로그램은 AMESIm 3.5(Imagine Ltd)를 사용하였다. 시뮬레이션 조건은 릴리프 압력을 45bar로 설정하고 적정의 오리피스 직경을 찾은 다음 무부하와 2MN의 부하에서 원추의 관입속도에 대해 시뮬레이션 하였다.

## 2. 기능 설계

시스템의 전원 공급은 Main S/W를 통해 이루어지며, 동작 이상이 발생하거나 긴급히 작동을 멈추어야 할 경우 현재 위치에서 시스템의 긴급 정지기능과 토양 샘플링 및 경도 측정을 위한 시작 지점으로 시스템을 복귀하는 원점 복귀기능을 설계하였음. 또한 시스템 제어 컨트롤러는 지리적 위치 모니터링, 경도 측정 속도 제어, 시료채취 제어, 토양 EC 및 함수율 측정, 측정 및 관측데이터의 저장과 표시 기능을 갖도록 하였다.

### ○ 위치 모니터링

실시간 수신된 GPS좌표를 모니터에 표시하고 저장하며 라벨에 표시함

### ○ 경도측정 제어

경도 측정 프로브의 관입속도를 5cm 이하로 제어하도록 관입속도를 검출하고, 유량을 제어하도록 유압 방향 제어 밸브에 PWM 신호를 출력함. 경도는 로드셀의 신호부터 콘의 단면적에 따라 캘리브레이션 된 데이터를 사용하며, 온도 및 경사 보정, 예러검출 및 대응 등에 관한 알고리즘으로 구성함.

### ○ 토양 시료 채취

시료 채취 프로브의 회전 및 관입속도를 제어하도록 유압 방향제어 밸브에 신호를 출력함. 포텐서 메터의 신호를 입력받아 관입 깊이와 속도를 측정함.

### ○ 토양 EC 및 함수율 측정

토양 경도측정 프로브의 일부를 전극으로 사용하여 토양 경도와 EC를 측정하도록 센서를 개발함. 경도측정을 위해 프로브가 관입될 때 접촉되는 토양의 유전율을

계측하여 EC 및 함수율 추정토록 함.

○ 데이터의 저장 및 표시

지정된 파일에 시료번호, GPS위치좌표, 토양경도, 토양EC, 함수율, 토양 온도 순으로 저장되도록 함. 측정된 데이터는 사용자의 선택에 의해 화면에 표시됨.

3. 시료 채취 및 경도 측정 시험

개발한 토양 시료 채취장치를 이용하여 수원시 입북동에 위치한 농업공학연구소 시험 포장에서 시료 채취 및 토양 경도 측정시험을 하였다. 시험포장은 미농무성 분류법에 의한 포장의 토성은 점토, 실트, 모래의 비율이 각각 9%, 51.2%, 39.8%인 미사질 양토(silt loam)이다. 시험 포장을 가로 세로 각각 2 m 간격으로 나누어 각 셀 안의 중앙 지점에서 시료채취와 동시에 3지점의 원추지수를 측정하여 그 평균값을 셀의 토양경도로 나타내었다. 또한 각 측정 지점에서 원추의 관입 깊이에 따라 관입 깊이가 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm일 때의 토양 경도를 측정하였다. 측정 시 원추의 관입 속도는 30 mm/s, 최대 관입 깊이는 450 mm로 하였으며, 원추는 저면적이 130 mm<sup>2</sup>인 단단한 토양용 원추를 사용하였다.

4. 성능시험 결과

가. 관입속도 제어를 위한 오리피스 시뮬레이션 결과

최대 40ℓ/min유량을 공급하는 유압원을 가정하고 릴리프 압력을 45bar로 설정하여 적정오리피스 직경을 찾은 후, 가변 부하에 대해 실린더의 변위와 속도에 대해 시뮬레이션 했다. 관입저항이 무부하에 가까운 100N일때 원추의 관입 속도는 0.042m/s로 ASAE의 측정한계인 0.05m/s이하이며, 관입저항이 2kN일때도 0.038m/s 크게 속도의 저하 없는 것으로 나타났다. 0.5m 관입시 소요시간은 관입부하가 100N일때 13.6초, 관입부하가 2kN일때는 17.9초로 나타나 지중 0.5m까지 관입에 필요한 시간은 대체로 20초 이하였다.

나. 토양 시료 채취시험

시료 채취장치가 트랙터 운전자에 의해 계획된 지점으로 이동하여 지면에 고정된 후 장치 조작자가 유압 핸들을 조작하여 시료 채취 프로브가 토양중에 관입하여 프라스틱 채취원통에 시료를 충전하여 지상으로 복귀할 때까지 걸리는 시간은 25~30초 정도가 소요 되었으며 토양경도에 따라 큰 차이가 나타나지는 않았다. 시료 채취원통 담겨지는 토양의 충전상태는 토성과 함수율에 따라 약 30%~100%의 범위로 큰 차이를 나타냈으며, 함수율이 10%이하의 건조한 사질토양의 경우 프로브가 복귀하는 동안

원통속의 채취된 시료가 다시 토양속으로 떨어져 시료 충전율이 30%이하가 되는 경우도 발생하였다.

#### 다. 토양 경도측정 시험

수동형 원추 관입기의 일종인 SR-2 경우에는 사용자에 따라 관입 속도, 측정치 판독 등이 일정하지 않기 때문에 측정 오차가 크고, 측정에 많은 시간이 소요되는 단점이 있고 이에 따른 오차의 수준도 더욱 커질 가능성이 있지만 관입 깊이에 따른 원추 지수의 변화는 시작기와 SR-2 모두가 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 시료채취 지점의 토양특성을 판단하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단되었다.

### 5. 경제성 분석 및 실용성

개발한 토양시료 채취시스템의 경제성을 분석한 결과 휴대형 토양시료 채취기를 이용할 경우 관행의 인력식 토양시료채취기에 비해 작업능률은 16%이상 향상되고 소요비용의 상승은 거의 없는 것으로 나타나 시료채취간격이 멀거나 포장단위의 시료채취에 매우 유용하게 이용할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 기존의 인력식 채취기는 손의 힘만을 이용하여 채취하도록 한 구조인 반면 시작기는 발의 힘을 이용하여 채취부가 토양속을 관입하도록 하여 채취자의 작업피로가 적고 장시간 작업도 가능하였다

트랙터 부착형의 경우 관행의 시료 채취 작업에 비해 약 34%정도 작업능률이 향상되었으나 소요비용이 4.4배나 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 비용증가의 원인은 관행 인력 시료 채취도구들이 매우 저가인 반면, 유압동력을 이용하도록 트랙터 부착 작업기로 설계된 시작기는 제조원가가 상대적으로 고가이고 이에 따른 고정비 및 유동비가 상승하여 소요 비용이 증가하는 것으로 파악되었다. 그러나 짧은 간격으로 다량의 시료를 채취할 경우는 인력으로는 한계가 있으므로 기계식 시료채취장치의 사용은 불가피하다 할 수 있다.

개발된 시료채취기는 정밀농업 뿐아니라 시비처방을 위한 간이토양 분석에도 유용하게 쓰일수 있으므로 시범사업을 통한 이용확대와 정부 융자지원기종에 포함하여 보급할 수 있도록 시책 반영을 건의할 예정이다.

### 6. 금후 연구를 위한 제언

토양 정보를 바탕으로 작물의 생육환경과 시비를 위한 대부분의 의사결정이 행해지기 때문에 토양에 관한 정보의 취득은 정밀농업에 필수적이며 기본적인 정보이다. 그러나 현재의 토양분석방법은 시료채취와 분석에 많은 노력과 시간을 필요로 하기 때문에 정밀농업실현에 제약이 되고 있어 이러한 문제 해결을 위해 단기간 내 토양성분

을 계량화 할 수 있도록 토양 시료 채취 기계화 기술 개발과 구조가 단순하고 간단한 조작으로 토양특성과 변이를 추정할 수 있는 추정할 수 있는 기술을 개발하고자 했다

그러나 개발과정을 통해 해결하지 못한 문제점과 포장시험을 통해 발견된 미흡한점들은 이후 지속적인 개량 보완을 통해 안정된 시스템으로 정착해 가기 위한 노력이 필요하며 샘플링 밀도나 채취방법에 대해서는 변화하는 현장의 요구를 신속히 수용하고 유연하게 대처하여 현장에서 용이하게 이용할 수 있는 구조로 개선 발전 되어야 한다.

특히 토양특성의 신속한 계량화를 위한 토양 경도 및 EC 센서는 토성, 수분, 작업여건 등 보다 다양한 조건의 포장에서 검증되어야 하며 토양의 이화학성과의 상관관계도 지속적으로 구명할 필요가 있다. 또한 트랙터 부착형 시료 채취기의 경우 포장간 이동의 불편함과 토양 수분에 관계없이 일정양의 시료를 확보하는 채토 자동화 기술, 기구적 단순함을 위해 2인이 작업하도록 설계하여 인력 의존도가 큰 점은 금후 연구를 통해 개선해야 할 필요가 있다

## 참고 문헌

1. 최선주. 1999. Graphical Programming LabVIEW 입문. 통일출판사.
2. ASAE. 2003. ASAE Standards 50th Ed. S313.2 Soil cone penetrometer. St. Joseph, MI.
3. Daiki. 1998. Soil Penetrometer SR-2. Japan.
4. ESRI. 1997. ArcView GIS Version 3.1. Redland CA.
5. Feldman and Domier. 1970. Wheel traffic effects on soil compaction and growth of wheat. Canadian Agricultural Engineering 12(1): 8-11.
6. Gill, W. R. and G. E. Vanden Berg. Soil dynamics in tillage and traction. Agricultural Handbook No. 316. ARS, US Department of Agriculture.
7. Koolen, A. J. and H. Kuipers. 1983. Agricultural soil mechanics. Springer-Verlag.
8. Larney, F. J., R. L. Huffman, R. T. Schuler, D. R. Taylor, E. J. Kladivko and B. Lowery. 1989. A portable, self-leveling, constant-rate cone penetrometer with computer-controlled data acquisition for tillage studies. Soil & Tillage Research 14: 231-239.
9. Miyazawa, F. and T. Yoshida. 1986. Development of cone penetrometer using the microcomputer. JSAM Vol. 48(2) : 247-251.
10. Morris, D. T. 1975. Interrelationships among soil bulk density, soil moisture and the growth and development of corn. MS thesis, University of Guelph.
11. Ohmiya, K. 1998. Cone resistance measuring system. JSAM Vol. 60(5) :126-129.
12. Olsen. H. J. 1988. Technology showcase electronic penetrometer for field tests. Journal of Terramechanics 25(4): 287-293.
13. Phillips, R. E. and D. Kirkham. 1962. Soil compaction in the field and corn growth. Agronomy Journal 54: 29-34.
14. Raghavan, G. S. V., E. McKyes, F. Taylor, P. Richard and A. Watson. 1979. The relationship between machinery traffic and corn yield reductions in successive years. Trans. of the ASAE
15. Raper, R. L., B. H. Washington and J. D. Jarreell. 1999. A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer. Applied Engineering in Agriculture 15(4) 287-290.
16. Sani, G. R. and H. M. Lantagne. 1974. Le tassement du sol. Actualite Agricole

34(2): 11-13.

17. Sawamura, A., F. Miyazawa, J. Sato and N. Ishizuka. 1988. Development of plate penetrometer with the microcomputer. JSAM Vol. 50(1) : 91-96.
18. Smith, L. A. and W. T. Dumas. 1978. A recording soil penetrometer. Trans. of the ASAE
19. Wiliford, J. R., O. B. Wooten and F. E. Fulgham, 1972. Tractor mounted field penetrometer. Trans. of the ASAE

## 제 3장 실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정 시스템 개발

### SUMMARY

In order to develop of yield monitoring system for head-feeding combine, grain flow-rate measuring sensor, grain total mass measuring sensor, grain moisture content measuring sensor, system operating program etc. were developed. These each components of yield monitoring system attached at the four-rows head feeding combine. The results obtained were as follows ;

The grain flow-rate measuring sensor showed high interrelation between sensor output and measured value as coefficient of determination of 0.9949 and standard error calibration of 11.1kg in test.

In basal performance tests, the grain total mass measuring sensor showed that the coefficients of determination with respect to the accumulated grain mass within grain tank were 0.998, 4.09kg of standard error coefficient.

In addition, field tests were conducted to estimate the total grain mass by the combine with the total grain mass measuring system. The sensor could determine the total grain mass at the coefficients of determination 0.999, 4.46kg of standard error prediction, -1.93kg of bias. Results of the field test showed a reliable performance of the total grain mass measuring sensor and it was considered that this system would be useful to detect the variation of

yield in paddy field.

The grain moisture content measuring sensor was consisted electronic input part, oscillation part, impedance matching part, sensing part, high-frequency to current transform part, amplify part of current and output part of voltage. The sensor for grain moisture content measurement designed to detect the impedance change within grain.

To between the grain moisture measurement sensor and grain moisture content was shown high interrelation as coefficient of determination of 0.994 ~ 0.998 and standard error calibration of 0.256 ~ 0.446% in inner test.

10°C to 20°C range of grain temperature, grain moisture content increased 0.092% of Nampung, 0.024% of Dongjin, 0.043% of Junam and 0.017% of Chuchung per 1°C.

20°C to 30°C range of grain temperature, grain moisture content increased 0.009% of Nampung, 0.035% of Dongjin, 0.037% of Junam and 0.019% of Chuchung per 1°C.

To between the measured grain moisture content and predicted grain moisture content was shown high interrelation as coefficient of determination of 0.986 ~ 0.997, standard error of prediction of 0.394 ~ 0.659% and bias of -0.180 ~ -0.154% for prediction.

In these results, this sensor the structure was simple, the setting was convenient and it was thought with the fact that the application of head-feeding combine will be use.

The sensor was shown high interrelation between the measured grain moisture content and predicted grain moisture content as coefficient of determination of 0.9065, standard error of prediction of  $\pm 0.73\%$  and bias of 0.05% for prediction in field test. Results of the field test showed a reliable performance of the grain moisture content measuring sensor.

An operating program that provided automatic acquisition, processing, mapping, and storage of grain yield data and operation parameters of head-feeding combines in paddy field. The developed program supported acquisition and processing of both digital and analog data streams. The

software consisted of five modes: calibration mode, field information input mode, harvesting mode, GPS mode and sensor interface mode.

The program of a rice yield monitoring system was developed and tested. The program provided not only basic functions for commercially available yield monitoring systems, but also other functions for Korean users. Results of the field test showed a reliable performance of the operating program.

In field test of this system, grain yield measurement error was shown 2.3%, grain moisture content measurement error was 0.2%. Results of the field test showed a reliable performance of this yield monitoring system for head-feeding combine in paddy field.

However, this yield monitoring system will be tested in various rice paddy fields, and revised to ensure better performance.

## 제 1절 연구개발과제 개요

포장내·포장별 곡물의 수확량을 정확하게 조사하고 공간변이를 파악하는 것은 정밀농업을 구현함에 있어서 중요한 요소의 하나이다. 왜냐하면, 각 포장 및 포장내 정확한 수량정보는 당해연도의 포장관리 결과에 대한 평가자료가 될 수 있고, 차년도 포장관리 계획에 있어서 기초정보를 제공하기 때문이다. 이러한 이유로 인해 밭작물(밀, 옥수수, 콩, 면화) 중심의 농업경영을 하고 있는 구미에서는 콤바인에 곡물유량계측센서, 곡물수분계측센서, 속도센서 그리고 GPS(지구측위시스템) 등을 탑재하여 수확 동시 수량계측을 할 수 있는 수확량 계측시스템을 개발하여 실용화 하였다<sup>1)</sup>. 벼 농사 중심의 아시아 지역에서도 정밀농업을 현장에 도입하기 위해서 기존에 개발되어 있는 구미의 시스템을 구입하여 벼 재배지역에 주로 이용되고 있는 자탈형 콤바인에 적용해 보기 위해 여러 가지 시험을 해 보았다. 그 결과, 곡물유량계측센서와 곡물수분계측센서를 적절히 설치할 수 있는 공간 확보에 대한 제약성과 자탈형 콤바인에서는 주로 곡물 유량이 1kg/s 전후로서 이 정도에서는 계측 정밀도가 떨어진다는 점 등이 지적되었다<sup>2)~5)</sup>.

따라서, 자탈형 콤바인에 부착 가능한 수확량 계측 시스템의 독자 개발에 대한 필요성이 강조되어 개발을 위한 노력들이 이루어지고 있다. 수확량 계측 시스템 구성에 필요한 핵심기술은 크게 포장내 위치별 수량의 공간적 변이를 계측하기 위한 곡물유량계측센서, 포장별 또는 구간별 곡물의 총량을 계측하기 위한 곡물총량계측센서, 수확된 벼의 곡물 수분을 측정할 수 있는 곡물수분계측센서, 데이터 수집, 처리 및 가시화 장치 그리고 이러한 시스템을 운영할 수 있는 운영프로그램 등의 개발이 필요하다.



따라서, 본 연구에서는 주로 미작 중심의 소규모 지역에서 사용되고 있는 자탈형 콤바인 부착용 수확량 계측시스템을 개발하기 위해서 이 시스템의 핵심구성요소들의 개발을 목적으로 수행되었다.

## 제 2절 국내외 기술개발 현황

### 1. 국외 기술개발 현황

우리와 농업환경이 다른 발작물 중심의 구미지역에서는 수확량 모니터링 시스템이 그림 3-1과 같이 개발되어 사용되고 있다. 그러나, 논 농사 중심의 지역에 적합한 자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템은 핵심구성요소 들을 중심으로 개발하고 있다. 수확작업 공정별 곡물 저장통 내에 수확된 벼의 총량을 계측하는 기능과 곡물유량 계측센서를 보정하는 기능인 곡물총량계측센서를 살펴보면, Chosa(2004) 등은 곡물저장통 내 하단부에 로드셀을 설치하여 곡물이 로드셀에 가해지는 하중을 계측하여 곡물총량을 계측하고자 하였다. Eiji(2001) 등은 곡물저장통의 하단부에 로드셀을 설치하여 곡물이 곡물저장통에 투입될 때마다 로드셀에 가해지는 하중을 검출하여 곡물유량을 계측하고자 하였다. 그러나, Chosa의 방식은 곡물저장통 내부의 하단부에 로드셀을 설치하였기 때문에 수량을 정확하게 계측하기 위해서는 항상 일정량의 곡물이 유입되었을 때만 가능하다. 그리고, Eiji의 방식은 수확 후 곡물을 배출오거로 배출하고 다시 수확작업을 할 경우 Zero점이 흔들리는 현상과 곡물저장통 하단부에 설치된 로드셀과 곡물저장통과의 접촉 불량에 발생했을 경우 정밀도가 낮아질 가능성을 지니고 있다.

곡물유량계측센서의 경우 포장내 위치별 수량을 실시간적으로 측정하여 수량지도를 작성하기 위해 주로 이용되고 있다. Lee(1999) 등은 자탈형 콤바인의 양곡오거에서 곡물통으로 배출되는 사이에 충돌판과 로드셀이 결합된 장치를 이용하여 충격력을 수량으로 환산하는 원리의 곡물유량계측센서를 개발하여 포장시험을 했다. 그러나, 이 센서를 단독으로 사용할 경우, 작물의 품종, 포장의 조건, 기후 등의 영향에 따라 측정값이 오차가 다소 발생한다.

곡물수분계측센서는 Makino(1999) 등이 전기저항식 방식의 곡물수분계측센서를 개발하여 곡물 저장통 내부의 양곡오거 끝단 아래쪽에 설치하여 콤바인으로 수확작업할 때 소량의 곡물을 채취하여 곡물의 수분을 측정하는 기술을 개발중에 있다. 그러나, 이 방법의 경우 곡물 저장통 내부에 설치가 되기 때문에 곡물 저장통의 공간을 비효율적으로 이용하는 측면이 있으며 파괴적 측정법이기에 때문에 곡물의 손실이 발

생한다는 단점을 지니고 있다. 또한, 전기 저항식 수분 측정법은 곡물온도, 외기온도, 곡물의 청결 및 작황상태, 채취량 등에 따라 곡물 수분 값이 약간씩 달라지기 때문에 보정이 필요하다.

그림 3-2는 일본 생연센터에서 개발하고 있는 수확량 모니터링 시스템으로서 포장 내 수량변이는 계측할 수 없고 포장별 수량은 계측할 수 있는 시스템이며, 그림 3-3은 일본 교토대학에서 개발하고 있는 수확량 모니터링 시스템으로서 포장내 수량변이와 포장별 수량을 계측할 수 있는 시스템이지만, 작물의 품종, 포장상태, 기후 등에 따라서 오차가 다소 발생하는 단점이 있다.



Fig. 3-1 Yield monitoring system using in U.S.A and EU



Fig. 3-2 Yield monitoring system for head-feeding combine (BRAIN in Japan)

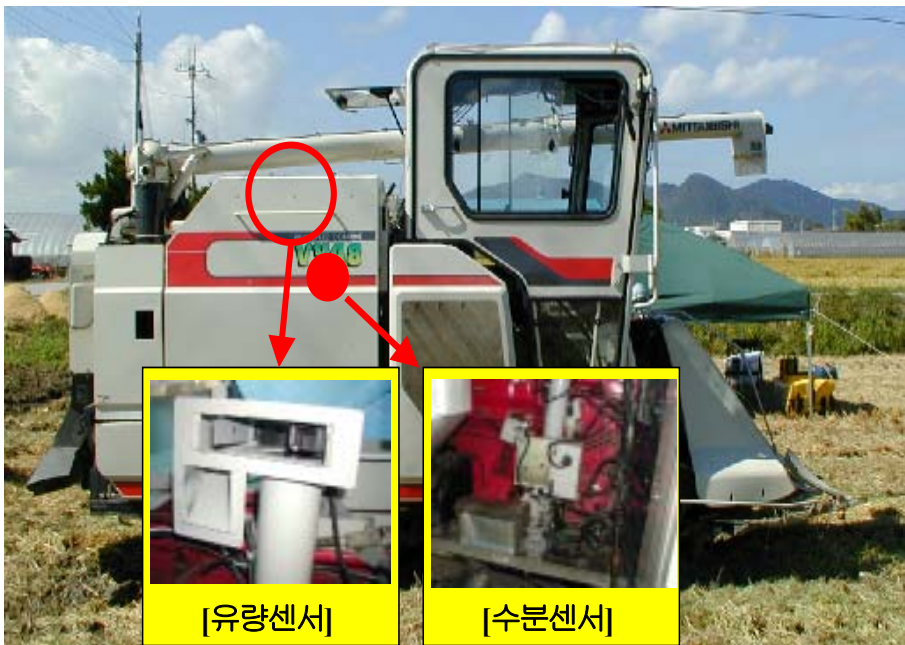


Fig. 3-3 Yield monitoring system for head-feeding combine (Kyoto Univ. in Japan)

## 2. 국내 기술개발 현황

국내에서는 수확량 모니터링 시스템에 대한 연구 사례는 미진하며, 정밀농업 개념

을 현장에 적용하기 위해서는 우리나라에서 주로 사용하고 있는 자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템에 대한 연구가 진행되어야 한다. 특히, 핵심구성요소인 곡물 총량 계측센서, 곡물 유량 계측 센서, 곡물 수분 계측 센서, 데이터 수집, 처리, 가시화 장치 그리고 마지막으로 시스템을 운영할 수 있는 운영 프로그램 등에 대한 우리의 독창적인 기술 확보를 위해 집중적인 연구가 필요하다. 또한, 이러한 단위 기술들이 축적되어 콤바인에 적용된다면 지금까지의 단순 수확기계가 아닌 수확 동시 정보 수집을 할 수 있는 지능형 수확기계로의 한 단계 발전된 모습으로 발전할 수 있어 정밀농업 뿐만 아니라 농업 전 분야에 기여를 할 것으로 판단된다.

### 제 3 절 곡물 유량 계측센서 개발

#### 1. 재료 및 방법

##### 가. 설계 및 제작

곡물유량을 계측하는 방법에는 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 양곡컨베이어로부터 배출되는 곡물이 센서에 충돌할 때, 발생하는 충격력이 배출되는 곡물의 질량에 비례한다는 가정하에 단위시간당 콤바인이 예취한 곡물의 질량을 추정하는 방법을 이용하였다. 곡물 유량 계측 센서는 로드셀, 충돌판, 고정대 등으로 구성하였다. 그림 3-4은 곡물유량계측센서의 구성요소를 도식화 한 것이다. 그림 3-5는 자탈형 콤바인내부에서 곡물의 흐름과 곡물유량계측센서의 위치를 표시한다. 그림 3-6은 곡물 유량 계측 센서 구성요소들의 개략적인 치수를 나타낸 것이다. 이 센서는 자탈형 콤바인의 양곡오거 끝단에 설치한다는 것을 전제로 길이, 폭, 높이 등을 고려하였으며, 밴딩 로드셀(CAS BCL-6L, 정격용량 58.86N(6kgf), 정격출력 2mV/V)을 이용했다. 충돌판의 재질은 곡물의 마찰로 인한 마모증대와 녹이 생기는 것을 방지하기 위해서 강화 플라스틱 판을 이용하였다. 자탈형 콤바인 전 기종에 적용 가능하도록 하기 위해 구조를 단순화하였으며 고정부를 좌·우, 앞·뒤로 조절이 가능하게 설계를 하였다. 개발한 곡물 유량 센서는 4조 예취 자탈형 콤바인(KC 575G-CP, 산물형)에 탑재했다. 콤바인은 엔진정격출력 40.3kW/2,800rpm, 작업시 주행속도는 0 ~ 1.35m/s이다.

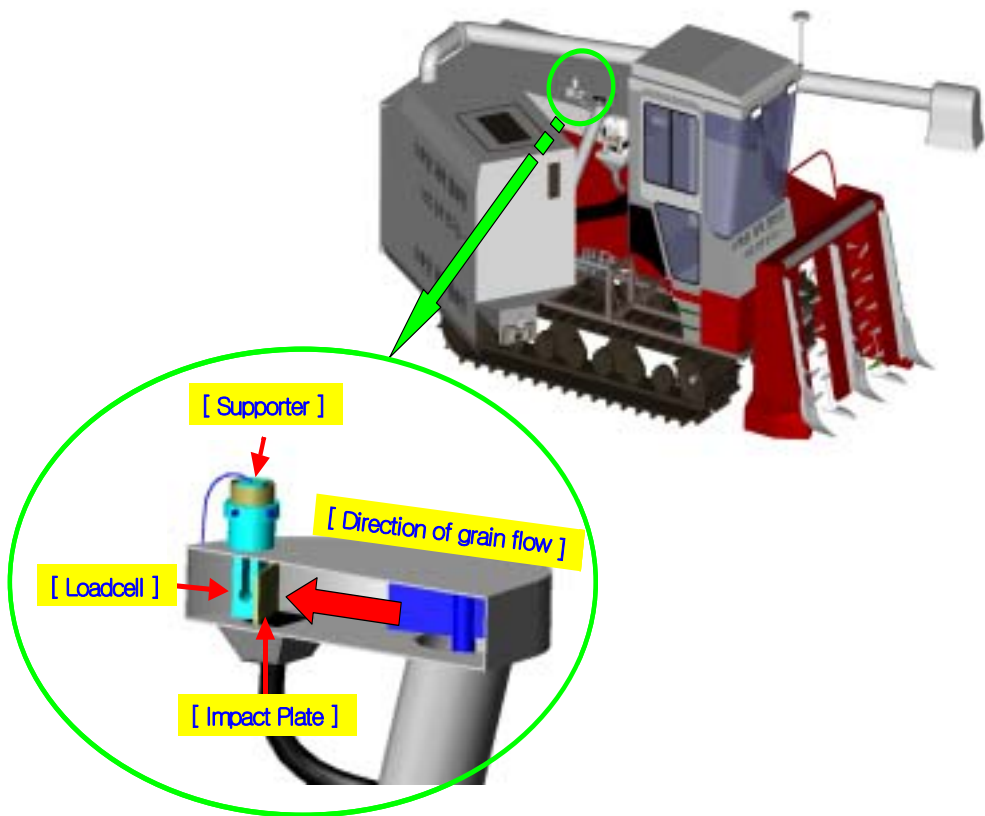


Fig. 3-4 The grain flow sensor for head-feeding combine.

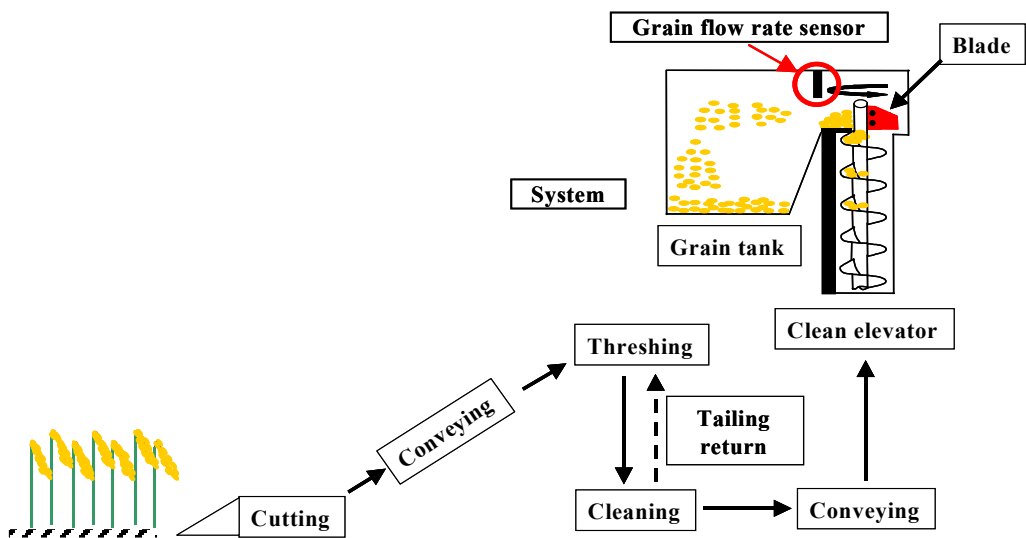


Fig. 3-5 Schematic diagram of grain flow in combine and the grain flow sensor position.

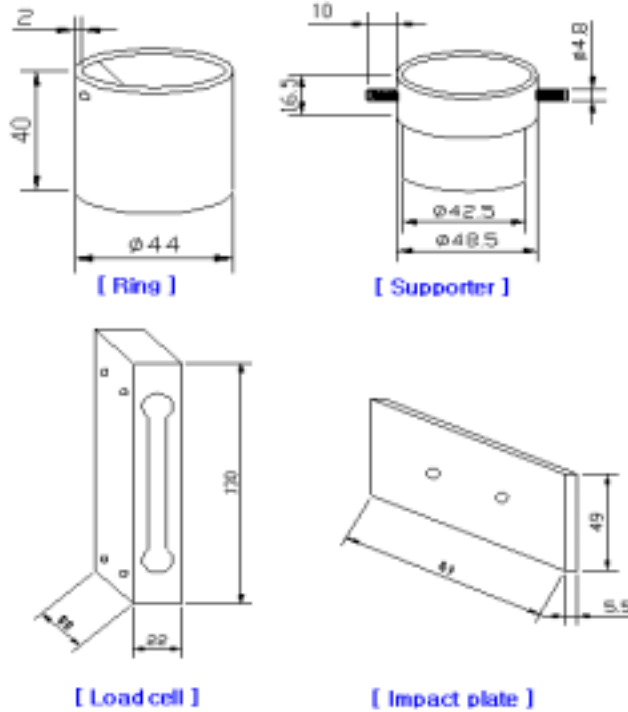


Fig. 3-6 The size and components of grain total mass measuring system.

#### 나. 기초시험

곡물 유량 계측 센서의 기초시험을 위해 그림 3-7와 같이 센서를 설치한 후, 2005년 10월 27일에 경기도 수원시 입북동 소재 일반농가포장에서 추청벼를 대상으로 시험을 실시하였다. 실내에서 기초시험을 실시하지 않고 포장에서 시험을 실시한 이유는 실내시험에서는 곡물공급의 한계성과 곡물 흐름자체가 포장시험에서와 근본적으로 차이가 있는 한계성을 극복하기 위해서다. 대상포장의 크기는 약 0.4ha(40\*100m)로서 관행적인 재배방법으로 농사를 짓고 있는 포장이다. 데이터 취득방법은 그림 3-8와 같이 곡물총량계측센서에서 출력되는 신호를 신호증폭기를 통해서 수신한 다음 A/D변환을 통해서 주 제어기로 입력한 다음 RS232로 출력시켜 컴퓨터에서 실시간으로 신호를 측정하는 방식을 취했다. 신호 샘플링 주기는 30Hz로 하였다. 기초 성능시험을 위해 실시한 시험횟수는 총 13회이며, 곡물의 수분범위는 17.2%~19.5%였으며, 관행 수확작업과 동일하게 작업을 하였으며 센서에 걸리는 충격력 변화 및 적산량의 변화를 주기 위해 수확작업 면적을 조절하였다. 기초시험에 있어서 각 1회씩 곡물저장통에 배출되는 곡물의 질량은 28.8kg~588.8kg이었으며, 이 값과 곡물유량계측 센서로 취득한 최종값과의 비교를 통해서 곡물유량계측센서의 성능을 시험해 보았다.



Fig. 3-7 Grain flow rate measuring sensor.

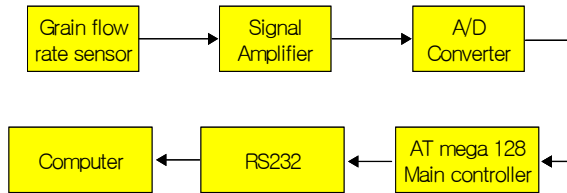


Fig. 3-8 Block diagram for signal treatment.

## 2. 결과 및 고찰

### 가. 포장시험

그림 3-9은 곡물 유량 계측 센서를 콤바인에 설치하여 곡물 유량을 측정하기 전에 포장상태, 작업기기, 엔진 등으로부터의 노이즈가 얼마정도 발생이 되어 센서에 전달되는지를 알아보기 위해 취득한 신호이다. 즉, 콤바인의 예취부, 탈곡부, 선별부 등의 작업기기들을 정상작동 시키면서 수확작업만 하지 않고 포장을 수행했을 때 곡물 유량 계측 센서로부터 발생하는 신호이다. 이 신호를 받아 이동평균을 구해보면 A/D값이 약 140전후를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 고유 진동값은 곡물 유량을 측정할 때 제거할 필요가 있으므로 문턱값을 140으로 하여 140이상의 값만 적산하여 최종적인 곡물의 총 양과 비교하여 곡물 유량을 구하는 검량선을 작성했다. 그림 3-10은 곡물 유량 계측 센서를 콤바인에 설치하여 관행적인 방법과 동일하게 수확작업을 1회 수행했을 때의 곡물 유량 센서로부터 획득한 신호의 결과를 나타낸 그래프이다. 즉, 예취, 탈곡, 선별된 곡물이 곡물 저장통으로 가기 전에 곡물 유량 센서의 충돌판에 부딪쳐 발생하는 힘이 신호로 잘 출력되고 있음을 알 수 있다. 그림 3-11은 문턱값 140

이상의 A/D값만을 적산해서 구한 값, 즉, 곡물 유량 계측 센서 출력값을 Y축에 표시하고, X축에는 수확된 곡물의 양을 실제 측정한 값을 표시하여 곡물 유량 계측 센서의 기초 시험을 실시했다.

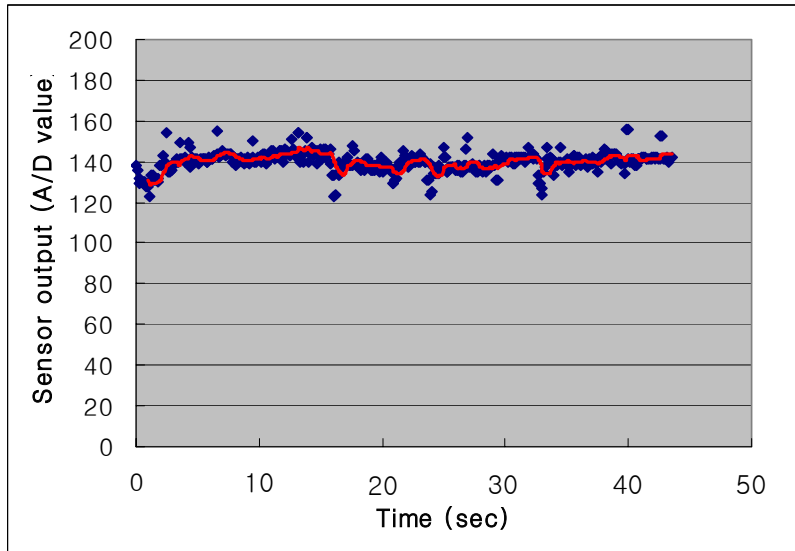


Fig. 3-9 The raw signal of grain flow rate measuring sensor.

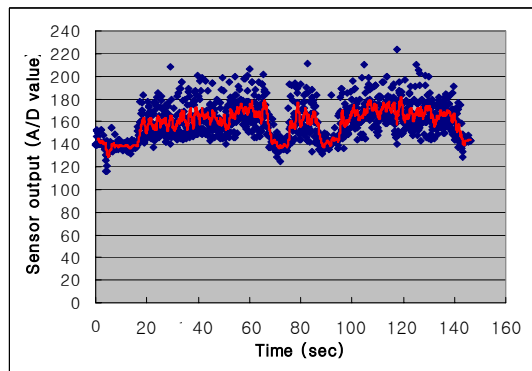


Fig. 3-10 The raw signal in harvesting of grain flow rate measuring sensor.

#### 나. 시험결과

곡물 저장통에 배출된 곡물 총량을 측정한 실제값과 곡물 유량 계측 센서로 측정한 값과는 결정계수가 0.9949로서 아주 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차는



11.1kg으로서 수확 작업시 포장내 위치별 벼의 수량을 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.

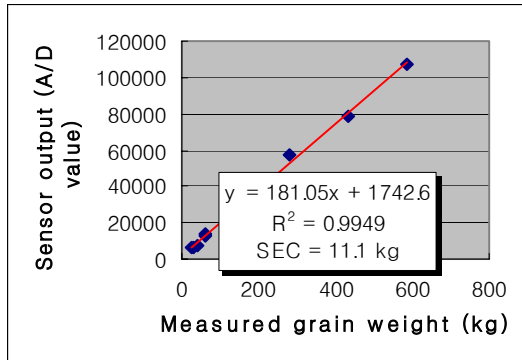


Fig. 3-11 Relationship between the measured grain weight and sensor output.

### 3. 요약 및 결론

자탈형 콤바인용 곡물 유량 측정 센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 당시 곡물의 유량을 계측할 수 있는 곡물 유량 측정 센서를 개발하였다.
- 기초시험에 있어서 곡물 유량 측정 센서의 출력신호와 실질적으로 곡물 저장통에 배출된 곡물 총량을 측정한 실제값과 결정 계수가 0.9949로서 아주 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차는 11.1kg으로서 수확 작업시 포장내 위치별 벼의 수량을 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 제 4절 곡물 총량 계측 센서 개발

### 1. 재료 및 방법

#### 가. 설계 및 제작

곡물총량을 계측하는 방법에는 앞에서 언급하였듯이 여러 가지가 방법이 있지만, 본 연구에서는 양곡컨베이어로부터 배출되는 곡물의 곡물저장통내에 배출되는 양이 곡물의 질량에 비례한다는 가정하에 콤바인이 예취한 곡물의 질량을 추정하는 방법을 이용하였다. 그림 3-11는 곡물 저장통에 담겨진 곡물의 총 양을 측정하는 원리를 나타낸 것이다. 그림 3-12는 콤바인에 있어서 곡물의 흐름과 곡물총량계측센서의 설치 위치를 나타내고 있다. 곡물 총량 계측 시스템은 곡물 저장통을 상방향으로 들어올려

측정하는 방식이기 때문에 로드셀 설치를 위해 곡물저장통 측면에 로드셀의 하단부가 안착 결합되는 지지브라켓, 콤바인의 베이스 프레임에 로드셀의 상단이 체결되는 지지대 그리고 로드셀로 구성하였다. 그림 3-13은 곡물총량계측시스템의 구성요소를 도식화 한 것이다. 이 시스템은 자탈형 콤바인에 설치한다는 것을 전제로 길이, 폭, 높이, 용량 등을 고려하였으며, 인장 로드셀(CAS SBA-500L, 정격용량 4905N(500kgf), 정격출력 3mV/V)을 이용했다.

본 장치가 산물형 자탈형 콤바인 전 기종에 적용 가능하도록 하기 위해 구조를 단순화 하였으며 곡물 저장통을 자유롭게 열고 닫을 수 있게 설계·제작하였다. 설계·제작된 곡물 총량계측센서는 4조 예취 자탈형 콤바인(KC 575G-CP, 산물형)에 탑재했다. 콤바인은 엔진정격출력 40.3kW/2,800rpm, 작업시 주행속도는 0~1.35m/s이다.

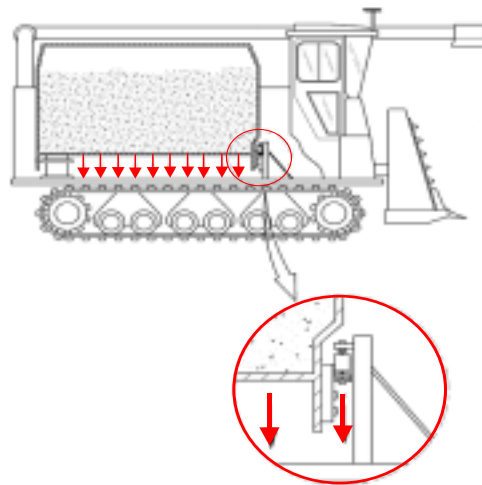


Fig. 3-11 The principle of grain total mass measuring method for head-feeding combine.

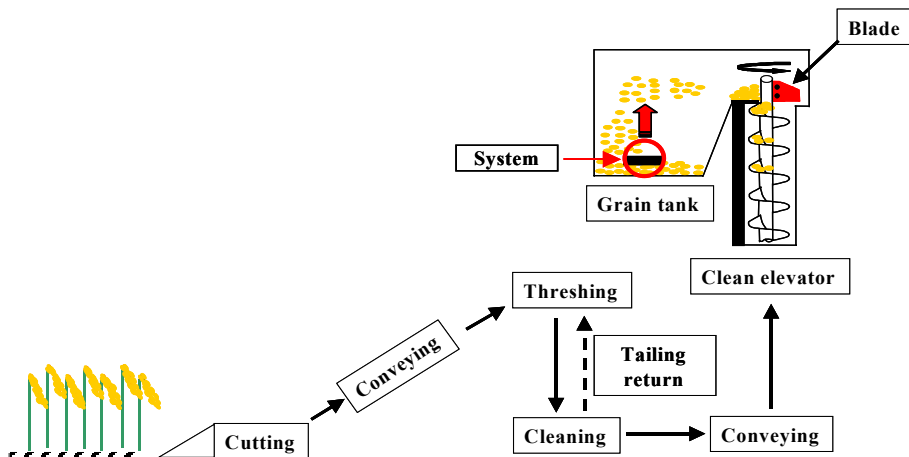


Fig. 3-12 Schematic diagram of grain flow in combine and the grain total mass measuring system position.

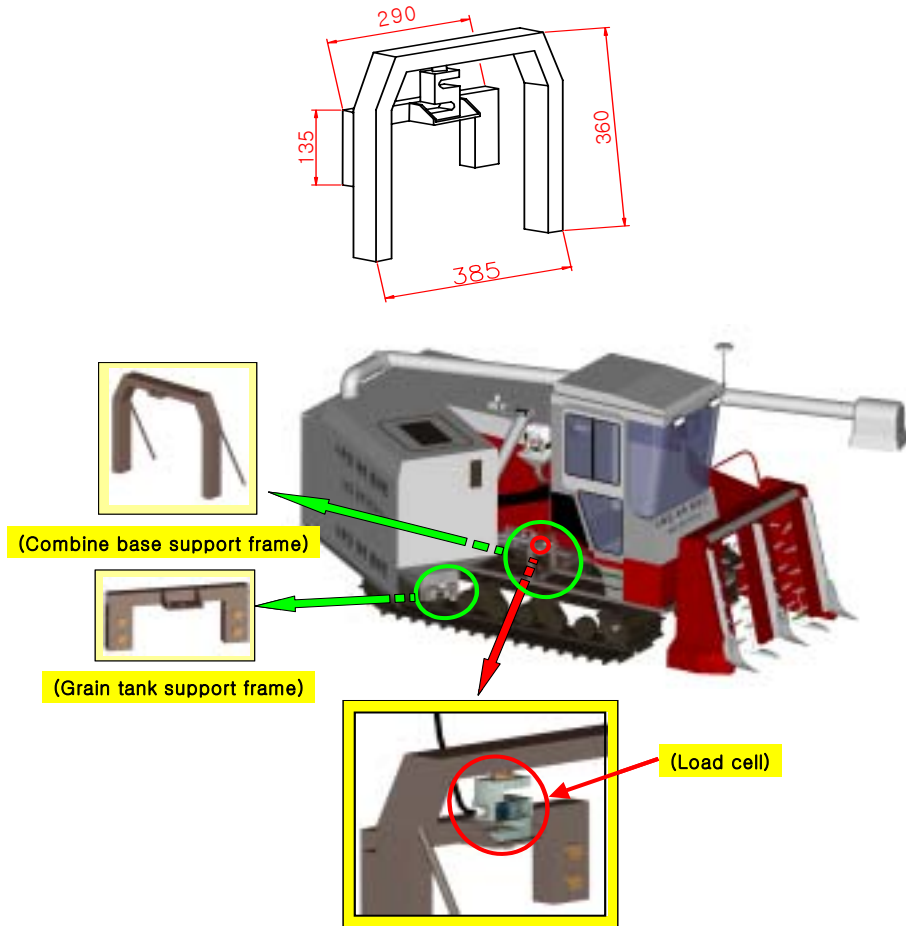


Fig. 3-13 The size and components of grain total mass measuring system.

## 나. 기초시험

### 1) 시험방법

곡물총량계측시스템의 기초시험을 위해 그림 3-14와 같이 시스템을 콤바인에 설치한 후, 2005년 10월 27일에 경기도 수원시 입북동 소재 일반농가포장에서 추청벼를 대상으로 시험을 실시하였다. 실내에서 기초시험을 실시하지 않고 포장에서 시험을 실시한 이유는 실내시험에서는 곡물공급의 한계성과 곡물 저장통에 투입되는 곡물의 흐름자체가 포장시험에서와 근본적으로 차이가 있는 한계성을 극복하기 위해서다. 대상포장의 크기는 약 0.4ha(40\*100m)로서 관행적인 재배방법으로 농사를 짓고 있는 포장이다. 데이터 취득방법은 그림 3-15과 같이 곡물총량계측센서에서 출력되는

신호를 신호증폭기를 통해서 수신한 다음 A/D변환을 통해서 주 제어기로 입력한 다음 RS232로 출력시켜 컴퓨터에서 실시간으로 신호를 측정하는 방식을 취했다. 신호 샘플링 주기는 30Hz로 하였다. 기초 성능시험을 위해 실시한 시험횟수는 총 13회이며, 곡물의 수분범위는 17.2%~19.5%였으며, 관행 수확작업과 동일하게 작업을 하였으며 센서에 걸리는 하중변화를 주기 위해 곡물저장통에 쌓이는 곡물의 양을 순차적으로 증가시키기 위해 수확작업 면적을 조절하였다. 기초시험에 있어서 각 1회씩 곡물저장통에 배출되는 곡물의 질량은 28.8kg~588.8kg이었으며, 이 값과 시스템에서 취득한 최종값과의 비교를 통해서 곡물총량계측시스템의 성능을 시험해 보았다.



Fig. 3-14 The scene of grain total mass measuring system attached at combine.

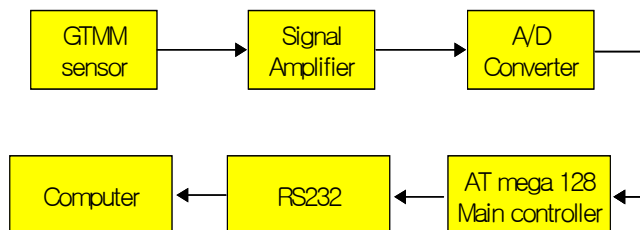


Fig. 3-15 Block diagram for signal treatment.

## 2) 시험결과

그림 3-16는 곡물총량계측시스템을 콤바인에 설치하여 관행적인 방법과 동일하게 수확작업을 1회 수행했을 때의 곡물총량시스템으로부터 획득한 결과를 나타낸 그래프이다. 곡물 저장통에 수확된 곡물이 누적됨에 따라 시스템의 출력값이 순차적으로 증가함을 나타내고 있다. 이러한 각각의 데이터들을 취득한 후 노면의 진동과 노이즈 등의 영향을 최소화하기 위해 이동평균값을 취했다. 그 이동평균값 중에 각 시험에 있어서 최종 평균값과 곡물 저장통에 배출된 곡물질량과의 비교를 수행한 결과가 그림 3-17이다.

이 결과, 곡물 저장통에 배출된 곡물질량을 측정된 실제값과 시스템으로 측정된 값과는 0.9983의 결정계수를 보였으며, 검량선 표준오차는 4.09kg으로서 수확작업시 포장내 수확된 벼의 총량을 측정할 수 있을 것으로 판단되었으며, 곡물유량센서의 보정에 있어서도 충분히 응용이 가능하리라 판단되었다.

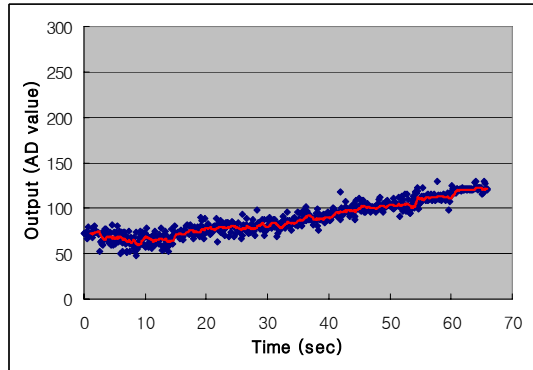


Fig. 3-16 System output in inner test.

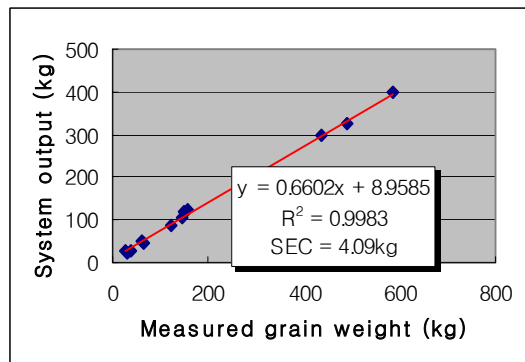


Fig. 3-17 Relationship between the system output and measured grain weight.

## 2. 결과 및 고찰

### 가. 포장시험 방법

기초시험에서 얻어진 곡물총량계측시스템의 시험결과를 토대로 포장시험을 실시하였다. 포장시험은 2005년 10월 31일 경기도 수원시 입북동 소재 일반 농가포장에서 실시하였다. 대상포장의 크기는 0.35ha(100×35m)로서 관행적인 재배방법으로 농사를 짓고 있는 포장이다. 데이터 취득방법은 기초시험 때와 동일하게 하였으며, 포장 성능시험을 위해 실시한 시험횟수는 총 7회이며, 곡물의 수분범위는 16.5%~18.7%였

으며, 관행 수확작업과 동일하게 작업을 하였으며 센서에 걸리는 하중변화를 주기 위해 즉, 곡물 저장통에 쌓이는 곡물의 양을 순차적으로 증가시키기 위해 수확작업 면적을 조절하였다. 포장 성능시험에 있어서 각 1회씩 곡물 저장통에 배출되는 곡물의 질량은 183kg ~ 502.5kg이었으며, 이 값과 시스템으로부터 취득한 최종값과의 비교를 통해서 곡물총량계측센서의 포장성능을 검토해 보았다. 그림 3-18의 왼쪽사진은 포장시험 광경이며 오른쪽 사진은 곡물 저장통에서 배출한 벼의 질량을 현장에서 측정하는 장면을 나타내고 있다.



Fig. 3-18 A field test scenes.

#### 나. 결과 및 고찰

곡물총량계측시스템의 출력신호와 실질적으로 곡물저장통에 배출된 곡물질량과의 관계를 정리한 것이 그림 3-19과 3-20이다. 포장시험 결과 예측 곡물총량과 실측 곡물총량과의 관계가 결정계수로 0.999를 보였으며, 예측표준오차는 4.46kg, 편이는 -1.93kg을 보였다. 이 결과, 포장시험에 있어서도 개발한 곡물총량계측시스템의 계측정밀도가 확보되었으며 이 방식을 이용한다면 곡물의 총량을 계측할 수 있을 것으로 판단되었다.

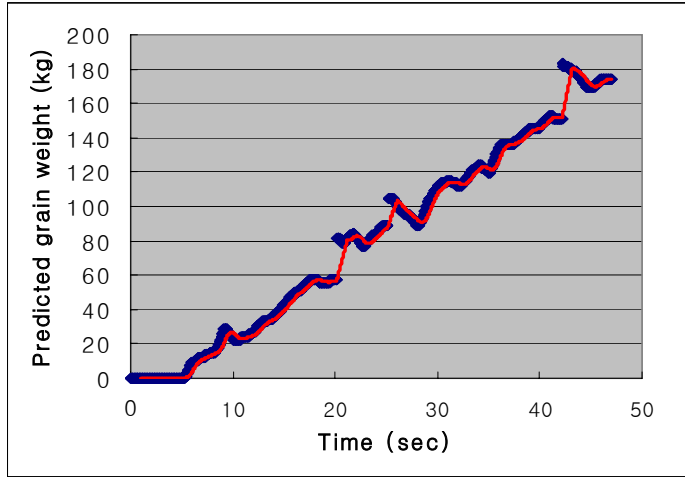


Fig. 3-19 Sensor output in field test

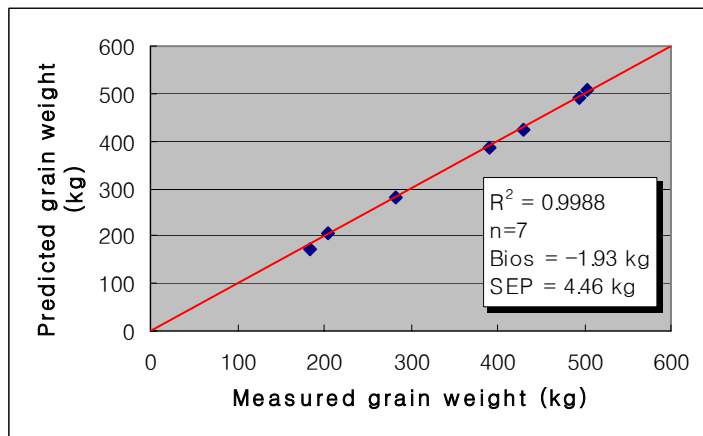


Fig. 3-20 Relationship between the predicted grain weight and measured grain weight

### 3. 요약 및 결론

자탈형 콤바인용 곡물 총량 계측시스템을 개발하여 기초시험과 포장시험을 실시한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 당시 곡물의 총 양을 계측할 수 있는 곡물총량계측시스템을 개발하였다.
- 기초시험에 있어서 곡물총량계측시스템의 출력신호와 실질적으로 곡물 저장통에 배출된 곡물질량과의 관계가 결정계수로 0.998을 보였으며, 검량선 표준오차는

4.09kg으로서 수확작업시 포장내 수확된 벼의 총량을 측정할 수 있을 것으로 판단 되었다.

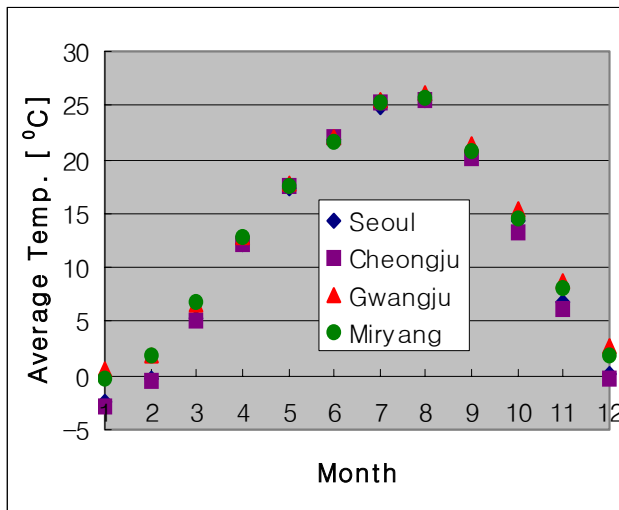
- N포장시험에서 예측 곡물총량과 실측 곡물총량과의 관계가 결정계수로 0.999를 보였으며, 예측표준오차는 4.46kg, 편이는 -1.93kg을 보였다. 이 결과, 포장 시험에 있어서도 개발한 곡물총량계측시스템의 계측정밀도가 확보되었으며 이 방식을 이용한다면 곡물의 총량을 계측할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 제 5절 곡물 수분 계측 센서 개발

### 1. 재료 및 방법

#### 가. 기초자료

곡물 수분 계측센서의 적정 시험조건을 설정하기 위해 최근 30년간의 서울, 청주, 광주, 밀양 등 국내 대표적인 4개 지역의 월별 평균기온과 상대습도 자료를 분석해 보았다. 그 결과, 그림 3-21에서 보는 바와 같이 벼의 증점적인 수확시기인 9월과 10월의 지역별 평균기온은 약 15℃ ~ 20℃ 전후이며, 상대습도는 약 60% ~ 80% 전후였다. 따라서, 본 시험에 있어서 시험환경을 이 범위에 만족하는 수준으로 결정하면 될 것으로 판단되었다.





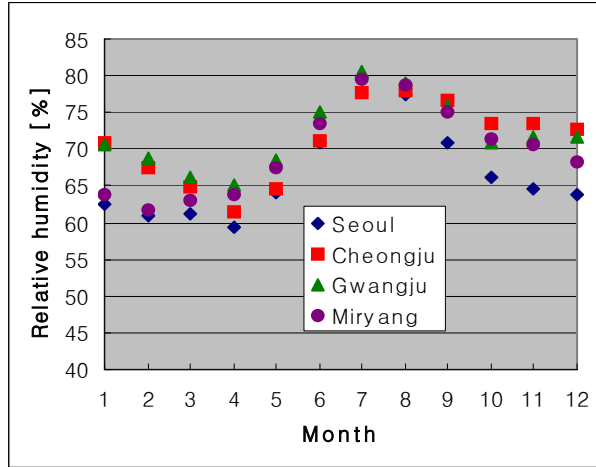


Fig. 3-21 Average temperature and relative humidity each areas.

나. 수확시기 벼 수분 변이

곡물 수분 계측 센서의 적정 수분 계측 범위를 설정하기 위해 농업공학연구소 정밀 농업 시험포장으로 이용되고 있는 입북동 포장(품종 : 추청벼)에서 수집된 벼의 수분정보 3년간 자료와 안성(품종 : 추청벼) 시험포장에서 수집된 수분정보 1년 자료를 분석해 보았다. 그 결과, 표 3-1과 그림 3-22에 나타난 바와 같이 입북동 포장에서는 평균 수분은 22.5~24.3%를 보였으며, 수분 분포의 범위는 18.1~29.0%를 보였다. 안성포장에서는 평균 수분은 20%를 보였으며, 수분 분포의 범위는 15.7~29.2%를 보였다. 따라서, 곡물 수분 계측센서를 개발함에 있어서 기초시험 범위는 조사내용에 있어서 품종이 다양하지 못했고 지역별 대표성을 충분히 확보하지는 않았지만, 최소한 곡물 수분 범위는 15%~30%정도 범위를 만족시키는 수준에서 결정되어야 할 것으로 판단되었다.

Table 3-1 Descriptive statistics of grain moisture content variability in harvest season.

Field name	Ipbuk			Ansung
Investigation year	1999	2001	2002	2002
Minimum(%)	18.1	18.3	20.3	15.7
Maximum(%)	27.2	29.0	28.0	29.2
Mean(%)	22.5	24.3	23.6	20.0
C. V.*(%)	9.9	10.1	6.7	11.0

\* C. V. : coefficient of variation

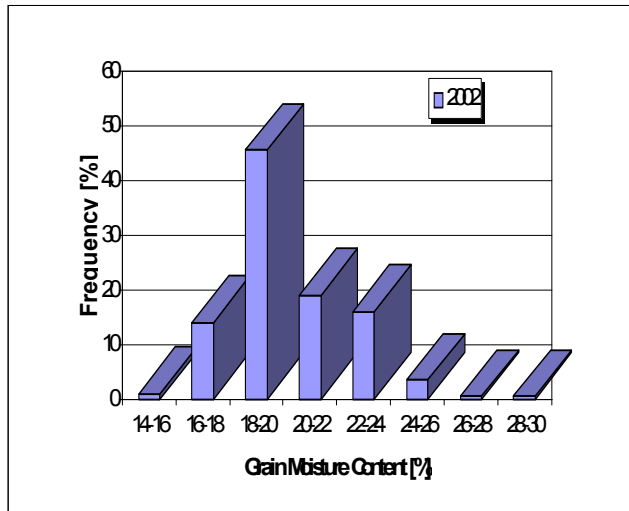
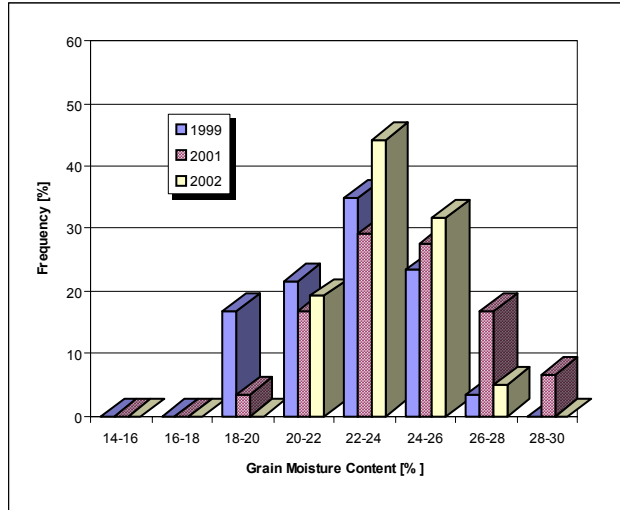


Fig. 3-22 Paddy rice grain moisture content variation in harvest season.

#### 다. 곡물 수분 계측센서 설계 및 제작

##### 1) 설계

곡물 수분 계측센서는 고주파 임피던스 측정방식이며, 회로구성은 그림 3-23과 같이 전원필터부, 교류직류변환부, 고주파 차단 필터부, 발진부, 고주파 감쇄부, 고주파 트렌드 유도부, 임피던스 매칭부, 센싱부, 고주파 직류 변환부, 직류전류 증폭부 그리고 전압출력부 등으로 구성하였다. 수분 측정 가능범위는 13% ~ 30% 전후로 하였으며, 측정 정밀도 목표는  $\pm 0.5\%$ 로 하였으며, 주 대상 측정물은 벼로 하였다.

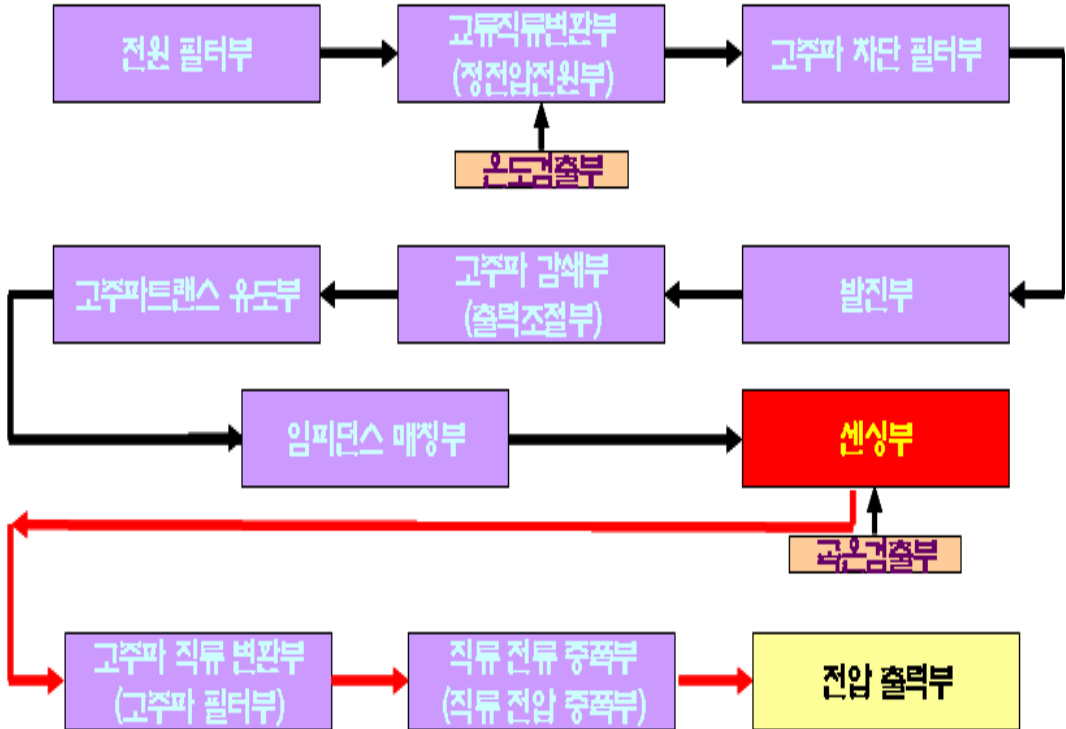


Fig. 3-23 The diagram of circuit for grain moisture content measuring sensor.

## 2) 측정원리

곡물 수분 측정원리의 핵심은 센싱부의 임피던스 비매칭에 의한 전류량의 변화를 측정하는 것이다. 즉, 그림 3-24에서 표시하는 것과 같이 센싱하지 않은 상태에서 센싱부의 임피던스와 센싱부와 연결된 선로 RG58 자체의 임피던스가 매칭이 되어 일정한 전류  $I_4$ 가 흐른다. 그러나 센싱부 사이에 물체가 들어와 센싱부의 유전율이 변하게 되어 임피던스 매칭이 깨지게 되면 반사파가 발생하게 되어 선로 RG58에 인가되는 전압이 변하게 되며(선로에 인가되는 전압  $V = V_+$ (입사파) -  $V_-$ (반사파)), 그로 인해 선로 RG58에 흐르는 전류  $I_4$ 가 변하게 되어 최종적으로 구하고자 하는  $I_5$ 가 변하게 되어 최종적으로 출력값을 획득할 수 있다. 수식 (1)과 (2)는 그 값들을 구하기 위한 수식을 나타내고 있다.

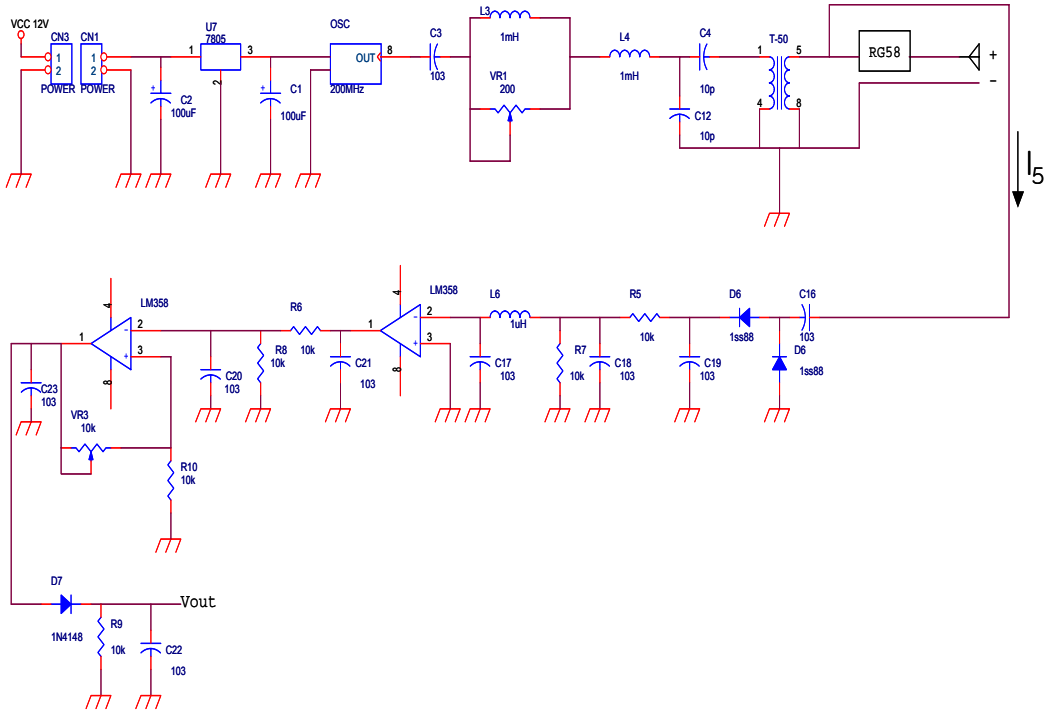


Fig. 3-24 Design circuit

$$V_5 = 2 \times (I_5 \times \frac{1}{j\omega C_4})$$

$$V_{out} \approx (1 + \frac{R_6}{R_7}) (\frac{R_5}{R_5 + R_4}) (\frac{X_C}{|X_L - X_C|}) (\frac{R_3 \times \frac{1}{j\omega C_6}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_6}}) (2 \times (I_3 - I_4) \times \frac{1}{j\omega C_4})$$

$$\frac{R_3 \times \frac{1}{j\omega C_6}}{R_2 + \frac{R_3 \times \frac{1}{j\omega C_6}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_6}}}$$

### 3) 제작

곡물 수분 측정센서는 센싱부 재질을 내마모성이 강한 스텐레스 봉으로 하였으며 센싱부가 고정되어 있는 부분은 측정 안정성과 전파방해를 최소화시키기 위해 강화 플라스틱으로 제작하였다. 그리고, 측정을 위한 시료의 안정적인 산물밀도 유지 및 반복적인 측정에 있어서 산물밀도 변화를 최소화시키기 위해서 4각의 가이드를 설치하였다. 회로의 안정성과 내구성을 확보할 수 있도록 회로부는 강화 플라스틱 소재로 제작

을 하였으며, 습기 및 자연환경으로부터의 불순물 침투 등으로부터 보호하고 견고성을 유지할 수 있도록 에폭시 등으로 밀봉하였다. 또한, 자탈형 콤바인에 탈부착이 용이하게 하기 위해 볼트 고정이 원만히 이루어질 수 있도록 제작하였으며, 센서의 전체적인 크기도 가능한 한 최소화 하였다. 그림 3-25은 제작한 곡물 수분 계측센서를 나타내고 있다.

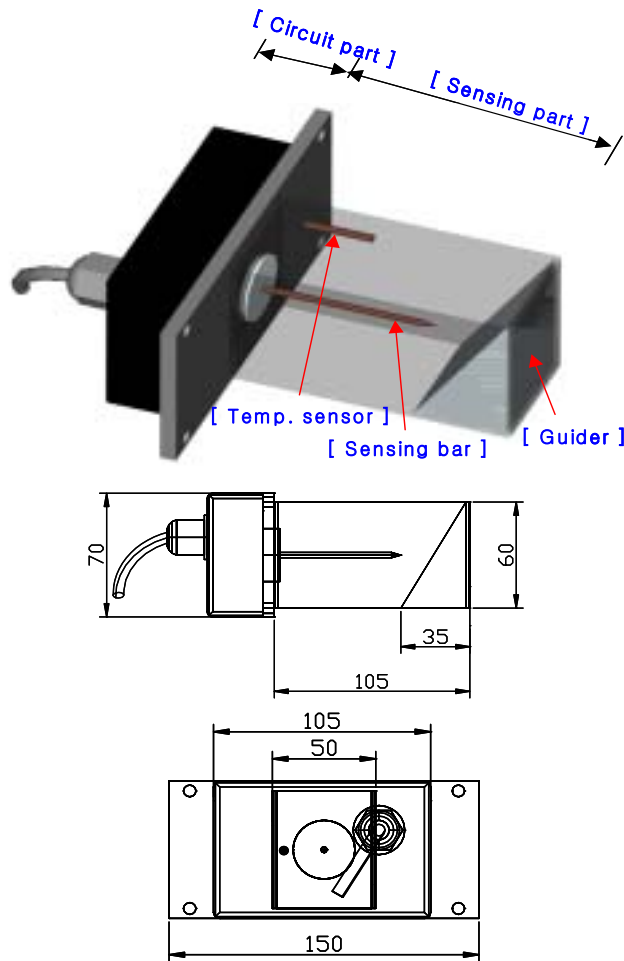


Fig. 3-25 Schematic diagram of grain moisture content measuring sensor.

라. 공시 재료 및 시험방법

1) 공시재료

공시재료로 이용된 벼 품종은 재배면적, 생산량, 고품질 정도 그리고 지역적인 특성을 고려하여 남평벼, 동진벼, 주남벼 그리고 추청벼를 선정하였다. 사용된 공시재

료의 곡물 수분 범위는 일반적으로 벼를 수확했을 때 예상되는 벼 수분 범위를 만족시킬 수 있는 14~32% 전후로 하였으며, 각각 11단계로 조제하였으며, 조제된 벼의 산물밀도는 609~749kg/m<sup>3</sup>이었다. 시험에 사용될 시료의 조제방법은 2004년 수확한 벼를 품종별로 구입하여 약 30~35kg씩 샘플링하여 품종별로 냉장실 물속에 3일간 정도 담가 두었다가 꺼내어 물기 제거 후 건조시간을 조절하면서 목표 수분 범위를 맞추었다. 그리고 각 수분별 평형수분을 맞추기 위해 진공 비닐팩에 약 3kg씩 샘플링하여 냉장실에 약 10일간 보관하였으며, 매일 2회 이상 교반작업을 해 주었다. 또한 각 시료는 135°C건조법을 이용하여 수분 측정을 한 후 센서의 기초시험에 활용되었다.

## 2) 시험방법

시험시 측정 안정성 확보와 반복 시험에 따른 불안정성 최소화 그리고 외기환경 변화에 따른 영향을 최소화하기 위해 항온 항습실 내에서 곡물온도가 각각 10°C, 20°C, 30°C 일 때, 그리고 상대습도가 약 60%전후일 때 센서의 기본시험을 실시하였다. 시험방법은 그림 3-26에 표시된 것과 같이 시료를 일정한 샘플링 하여 센서에 투입하고 디지털 전압계, 온·습도계, 노트북 등이 조합을 이루는 시험장치로 센서의 출력전압을 읽었다. 각 시료에 대해서 5회 반복시험을 하였으며 그 값들의 평균값을 각 실험의 대표값으로 하였다.



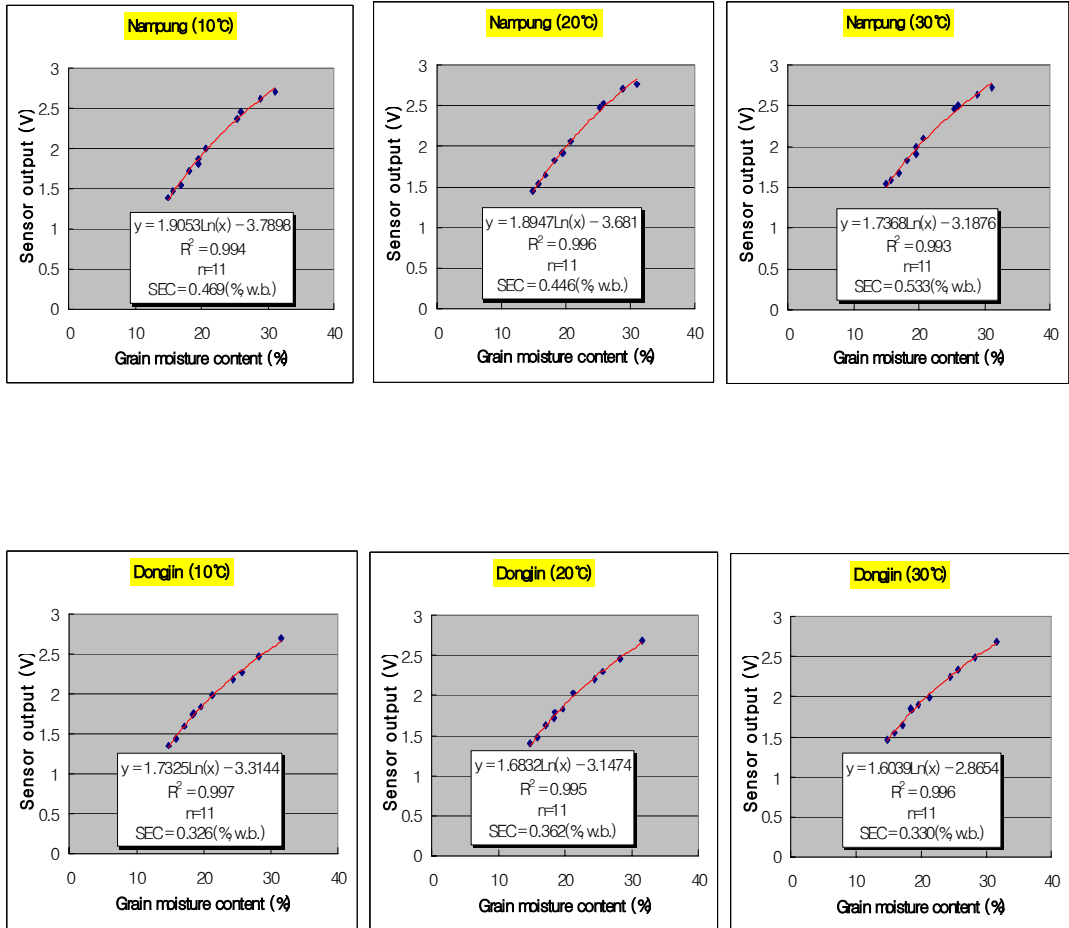
Fig. 3-26 Scenes of inner test.

## 2. 결과 및 고찰

### 가. 품종별 모델

개발한 곡물 수분 계측센서의 성능을 파악하기 위해 품종, 수분 그리고 곡물 온도에 따른 검량선과 결정계수 그리고 검량선 표준오차 등을 측정하였다. 그림 3-27은 각

단계에 있어서 곡물 수분과 센서출력과의 관계를 나타낸 결과이다. 시험결과 표 3-2와 같이 개발한 수분 측정센서는 곡물 수분과 센서 출력값과는 높은 상관관계를 보였으며, 20℃에서 시험한 결과를 살펴보면, 결정계수의 범위가 0.994 ~ 0.998의 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차를 살펴보면 0.256 ~ 0.446으로서 높은 정밀도를 보였다.



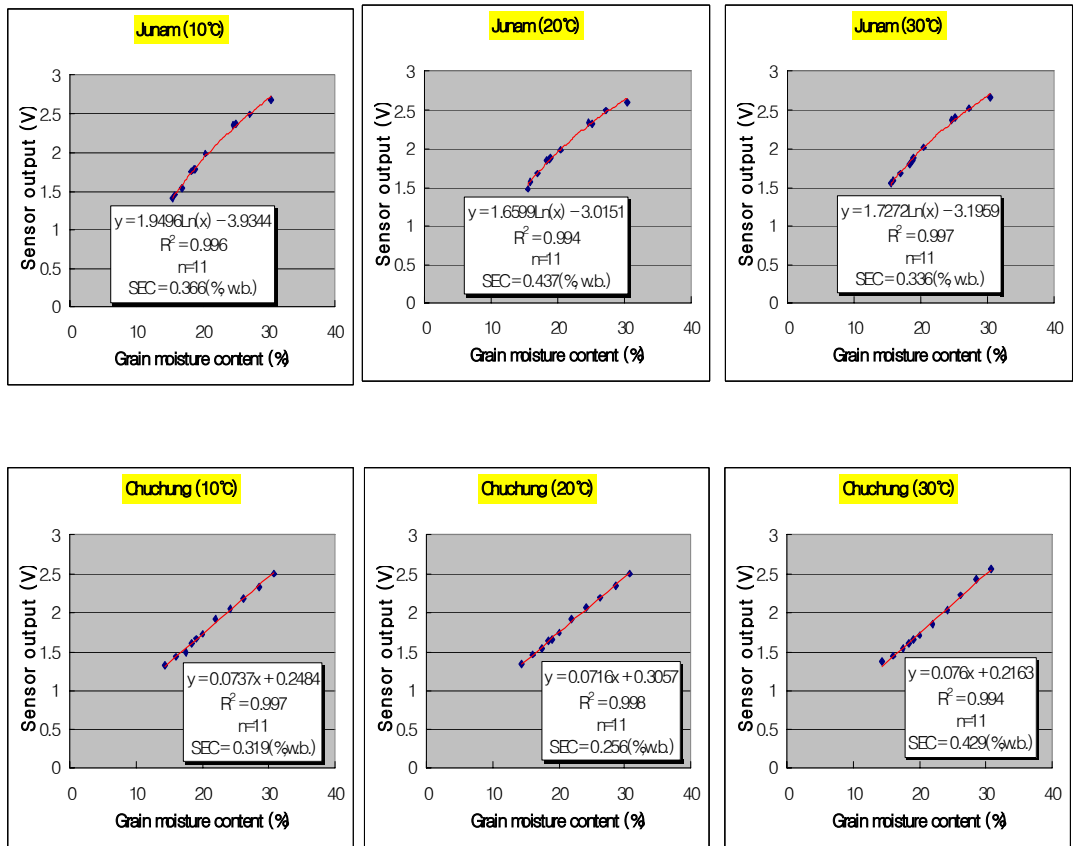


Fig. 3-27 Relationship between grain moisture content and sensor output.

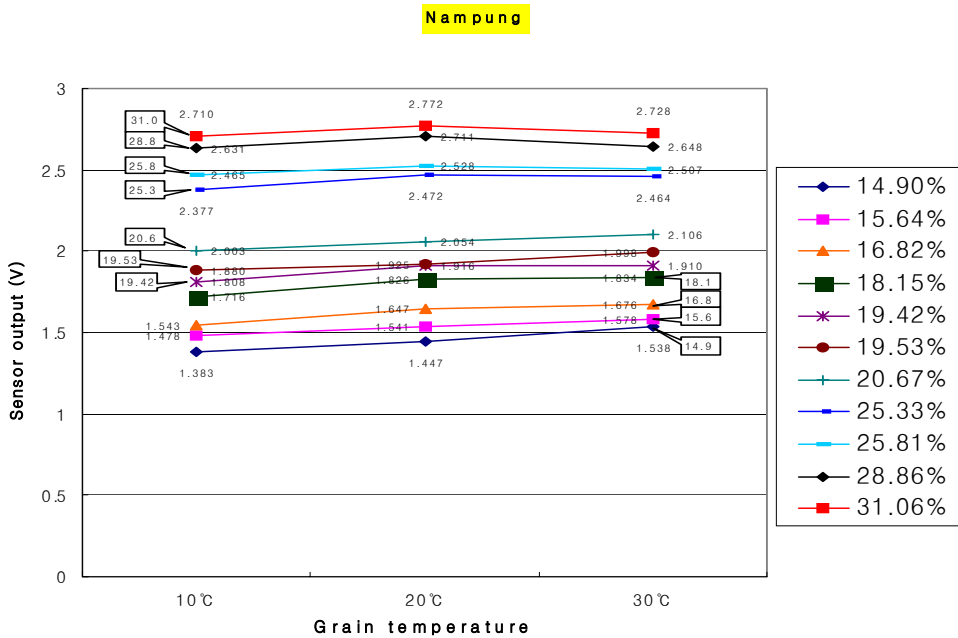
Table 3-2 Regression equation, coefficient of determination and standard error coefficient as variety(20°C)

Variety	Regression equation	Coefficient of determination ( $R^2$ )	Standard error coefficient (% w.b.)
Nampung	$y = 1.8947 \ln(x) - 3.681$	0.996	0.446
Dongjin	$y = 1.6832 \ln(x) - 3.1474$	0.995	0.362
Junam	$y = 1.6599 \ln(x) - 3.0151$	0.994	0.437
Chuchung	$y = 0.0716x + 0.3057$	0.998	0.256

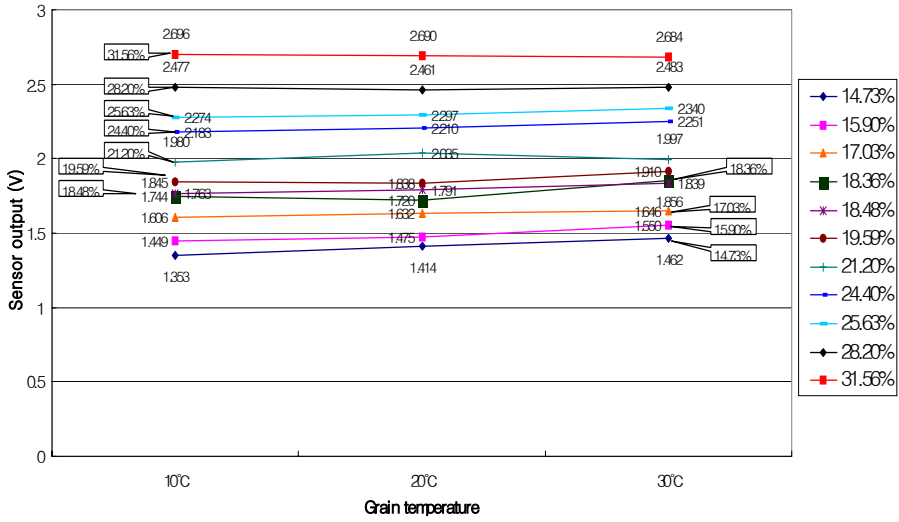
나. 온도보정계수



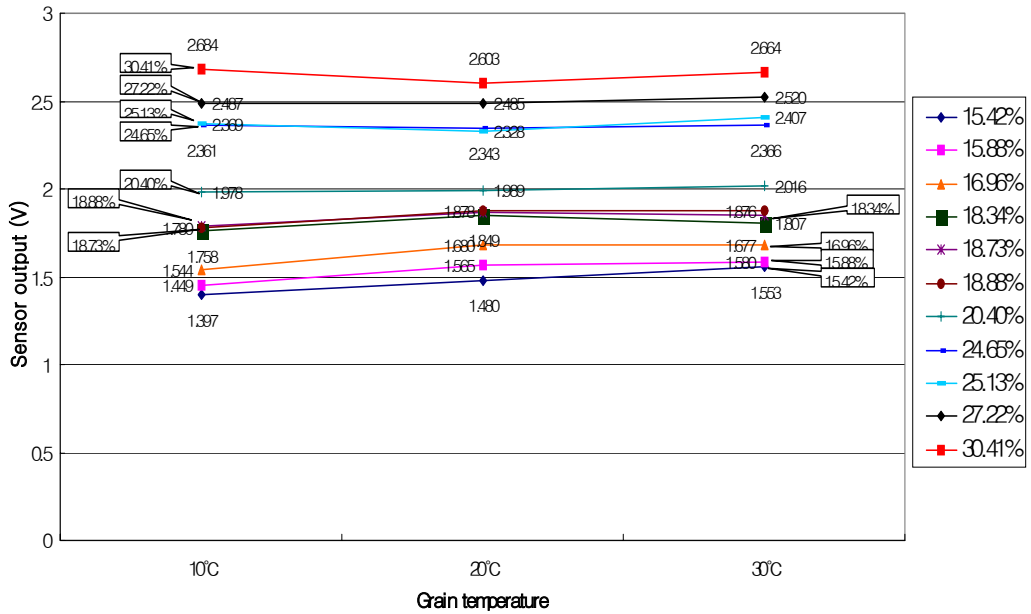
곡물 수분 계측센서는 곡물온도 변화에 따라 출력값이 변화하기 때문에 온도에 변화에 따른 보정이 필요하다. 따라서, 온도에 따른 보정계수를 산출하기 위해 곡물온도 10℃, 20℃, 30℃에서 각 품종별, 수분별로 센서의 출력변화를 측정하였다. 그림 3-28은 품종, 수분 그리고 곡물온도 변화에 따른 센서 출력값의 변화를 나타내고 있다. 표 3-3은 곡물온도가 10℃에서 20℃로 변화할 때, 20℃에서 30℃로 변화할 때 곡물수분의 변화량을 곡물온도 1℃로 환산하여 정리한 것이다. 이를 살펴보면 전체적으로 곡물온도가 상승하면 곡물 수분 값도 증가하지만 경우에 따라서 곡물온도 변화에 따라 센서 출력값의 변화가 아주 미미하여 일부 구간에서는 약간 감소하는 경우도 있었다. 따라서, 곡물온도가 10℃에서 20℃로 증가할 때, 20℃에서 30℃로 증가할 때의 값들을 곡물수분 구간별로 나누어 살펴보고, 각 구간들의 값들을 평균해서 살펴보면 남평벼가 10℃에서 20℃구간에서는 1℃당 0.092% 증가하였으며, 동진벼는 0.024%, 주남벼는 0.043% 그리고 추청벼는 0.017% 증가하였다. 또한, 20℃에서 30℃구간에서 남평벼는 0.009%, 동진벼는 0.035%, 주남벼는 0.037% 그리고 추청벼는 0.019% 증가를 보였다. 따라서, 곡물온도 변화에 따른 센서의 출력값 보정은 표 3-3의 결과를 활용하면 될 것으로 판단되었다.



### Dongjin



### Junam



**Chuchung**

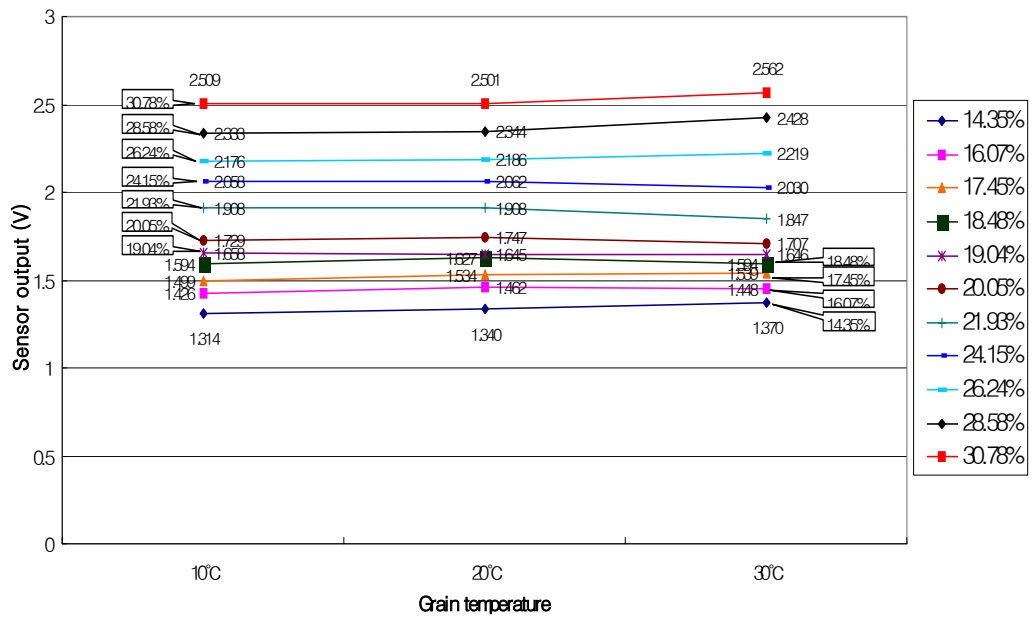


Fig. 3-28 Relationship between grain temperature and sensor output.

Table 3-3 Variation of grain moisture content as grain temperature change

Grain moisture content (%)	Variety							
	Nampung		Dongjin		Junam		Chuchung	
	10->20 °C	20->30 °C	10->20 °C	20->30 °C	10->20 °C	20->30 °C	10->20 °C	20->30 °C
14 ~ 16	0.077	0.078	0.058	0.084	0.133	0.059	0.037	0.042
16 ~ 18	0.126	0.036	0.034	0.019	0.181	-0.004	0.050	-0.006
18 ~ 20	0.107	0.031	-0.001	0.115	0.121	-0.027	0.014	-0.022
20 ~ 22	0.062	0.064	0.075	-0.051	0.014	0.036	0.013	-0.071
22 ~ 24	-	-	-	-	-	-	-	-
24 ~ 26	0.096	-0.018	0.034	0.056	-0.039	0.068	0.007	-0.046
26 ~ 28	-	-	-	-	-0.002	0.046	0.014	0.048
28 ~ 30	0.097	-0.077	-0.021	0.030	-	-	0.015	0.120
30 ~ 32	0.075	-0.053	-0.008	-0.009	-0.108	0.081	-0.011	0.087
Average (%)	<b>0.092</b>	<b>0.009</b>	<b>0.024</b>	<b>0.035</b>	<b>0.043</b>	<b>0.037</b>	<b>0.017</b>	<b>0.019</b>

다. 모델검증

### 1) 공시재료

공시재료로 이용된 벼 품종은 남평벼, 동진벼, 주남벼 그리고 추청벼였다. 사용된 공시재료의 곡물 수분 범위는 14~32% 전후로 하였으며, 각각 11단계로 조제하였으며, 조제된 벼의 산물밀도는  $609 \sim 749 \text{kg/m}^3$ 이었다. 시험에 사용될 시료의 조제방법은 앞에서 언급한 방법과 동일하다.

### 2) 시험방법

시험시 측정 안정성 확보와 반복 시험에 따른 불안정성 최소화 그리고 외기환경 변화에 따른 영향을 최소화하기 위해 향온 항습실 내에서 모델검증시험을 실시하였다. 시험방법과 시험장비는 앞에서 언급한 것과 동일하며, 각 시료에 대해서 5회 반복시험을 하였으며, 그 값들의 평균값을 각 시험의 대표값으로 하였다. 이러한 대표값을 이용하여 제작한 센서의 모델검증을 실시하였으며, 평가항목으로서는 결정계수, 품종별 예측표준오차(SEP)의 산출과 각 시험에 있어서 편이(Bios)를 산출하였다.

### 3) 시험결과

개발한 곡물 수분 계측센서의 성능을 파악하기 위해 기 작성된 품종별, 수분별 모델을 검증하기 위해 예측표준오차, 편이, 결정계수 등을 측정하였다. 그림 3-29는 각 단계에 있어서 실제 측정한 곡물 수분 값과 예측한 곡물 수분 값과의 관계를 나타낸 것이다. 시험결과 표 3-4와 같이 개발한 곡물수분 측정센서는 실측값과 예측값과는 높은 상관관계를 보였으며, 결정계수의 범위가 0.986~0.997을 나타냈으며, 예측표준오차는 0.394~0.659%를 나타내었으며, 편이는 -0.180~-0.154%를 보였다.

따라서, 본 연구에서 개발한 센서를 자탈형 콤바인에 부착해 곡물의 수분을 연속적으로 측정 할 수 있을 것으로 판단되었다.

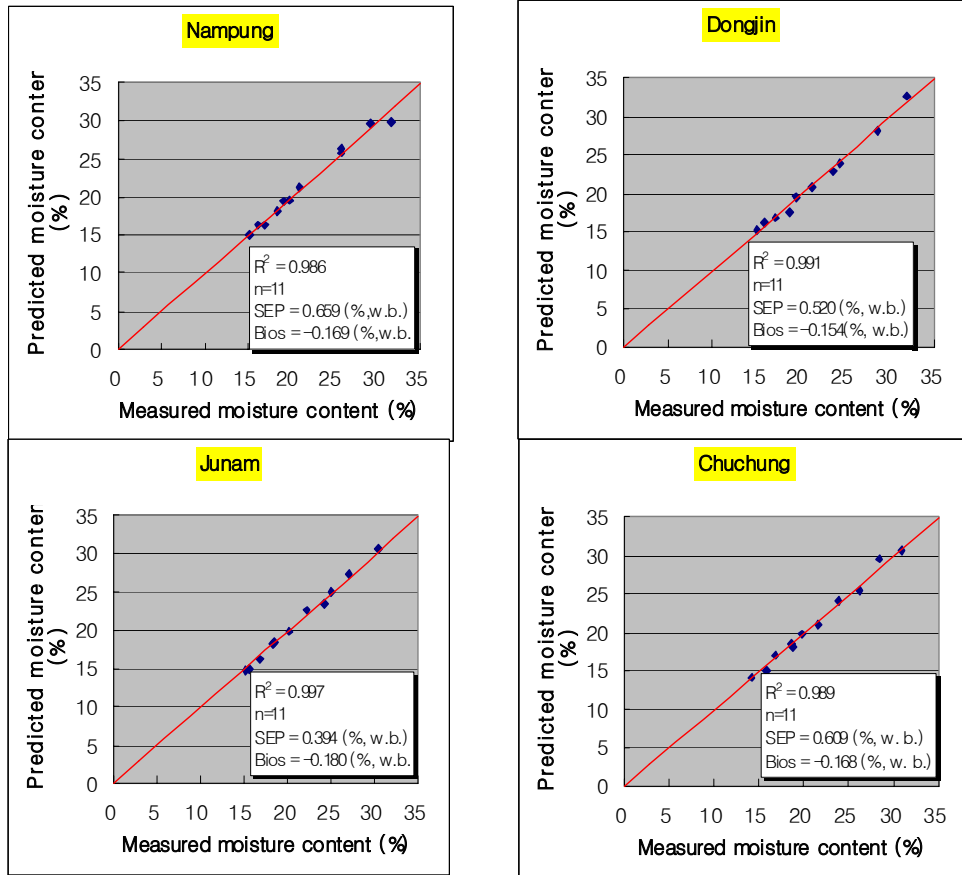


Fig. 3-29 Relationship between measured moisture content and predicted moisture content.

Table 3-4 The coefficient of determination, standard error prediction and bios of each variety model

Variety	Coefficient of determination ( $R^2$ )	Standard error prediction (% w.b.)	Bios (% w.b.)
Nampung	0.986	0.659	-0.169
Dongjin	0.991	0.520	-0.154
Junam	0.997	0.394	-0.180
Chuchung	0.989	0.609	-0.168

### 3. 요약 및 결론

자탈형 콤바인을 이용하여 수확과 동시에 곡물의 수분을 실시간으로 예측할 수 있는 시스템을 개발함에 있어서 선행되어야 할 곡물 수분 예측센서 개발 연구를 수행하

여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 임피던스 비매칭에 의한 전류량 변화를 측정하는 방식의 고주파 임피던스 측정 방식의 곡물 수분 계측센서를 개발하였다.
- 개발한 센서를 이용하여 기초시험을 실시한 결과, 곡물 수분과 센서 출력값과는 높은 상관관계를 보였으며, 곡물온도가 20℃에서 시험한 결과를 살펴보면, 결정계수의 범위가 0.994~0.998의 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차를 살펴보면 0.256~0.446으로서 높은 정밀도를 보였다.
- 곡물 수분 계측센서는 곡물온도 변화에 따라 출력값이 변화하기 때문에 온도에 따른 보정이 필요하여 시험한 결과, 10℃에서 20℃구간에서는 1℃당 납땜비가 0.092%, 동진비는 0.024%, 주납땜비는 0.043%, 그리고 추청땜비는 0.017% 증가하였다. 또한, 20℃에서 30℃구간에서 납땜비는 0.009%, 동진비는 0.035%, 주납땜비는 0.037% 그리고 추청땜비는 0.019%증가를 보였다.
- 개발한 곡물 수분 계측센서 모델검증을 위하여 실제 측정한 곡물 수분과 예측한 곡물 수분과는 높은 상관관계를 보였으며, 결정계수 범위가 0.986~0.997을 나타냈으며, 예측표준오차는 0.394~0.659%를 나타내었으며, 편이는 -0.180~-0.154%를 보였다.

따라서, 본 연구에서 개발한 센서를 자탈형 콤바인에 부착해 곡물의 수분을 연속적으로 측정 할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 제 6절 곡물 수분 계측 시스템 개발

### 1. 재료 및 방법

#### 가. 설계

곡물 수분 계측센서를 자탈형 콤바인에 탑재하여 실시간으로 곡물의 수분을 측정하기 위한 시스템의 구조적인 설계기준으로서는 수확작업과 동시에 곡물을 일정량 채취하여 수분을 측정하고 그 정보를 제어부로 전송해야 하는 점, 수분을 측정한 곡물은 다시 콤바인 내부로 환원시켜야 하는 점, 관행의 수확작업에 지장을 초래하지 않는 구조로 구성되어야 하는 점, 그리고 수질립, 지경 부착립, 건물 등의 유입으로 인해 수분 측정을 위한 곡물 채취구 및 환원구 등의 막힘 현상 등을 방지할 수 있는 크기로 설계되어야 하는 점 등이 고려되었다. 그리고, 본 시스템이 산물형 자탈형 콤바인 전 기종에 적용 가능하도록 하기 위해 구조를 단순화하였으며 곡물 저장통을 자유롭게 열고 닫을 수 있게 설계·제작하였다. 설계·제작된 곡물 수분 계측 시스템은 4조 예취 자탈형 콤바인(KC 575G-CP, 산물형)에 탑재되며, 콤바인은 엔진정격출력 40.3kW/2,800rpm, 작업시 주

행속도는 0~1.35m/s이다.

또한, 성능적인 측면에 있어서 목표 측정오차 범위는  $\pm 1\%$  이내로 하였으며, 측정 빈도는 콤팩트 5~10m 정도 작업을 했을 때 수분을 1회 측정할 수 있도록 곡물 채취구와 곡물 보관통 등을 설계하였다.

#### 나. 제작

##### 1) 곡물 채취부

곡물의 수분을 측정하기 위해서 가장 중요한 것이 곡물을 일정량 채취하고 채취된 곡물을 수분 계측센서가 있는 곡물 보관통까지 이송시키는 것이다. 그림 3-30은 곡물채취부로서 곡물채취를 위한 채취구와 수분 측정부까지 안전하게 곡물을 이송하는 인입 이송관으로 구성되어 있다. 곡물채취구의 크기는 가로 9cm, 세로 5cm이며, 인입 이송관은 유연성을 향상시키기 위해 고무성분이 많이 포함된 재질의 관을 사용하였으며 내경은 7.5cm이다.

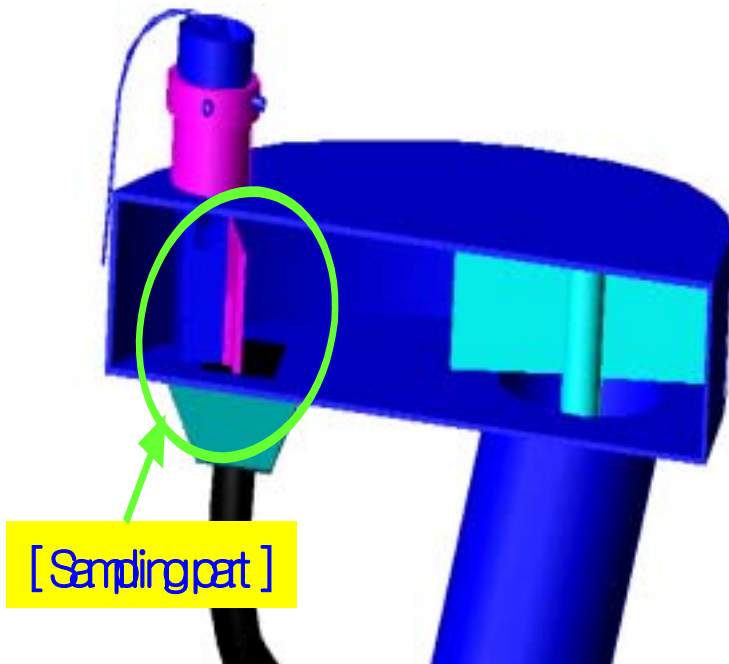


Fig. 3-30 A schematic diagram of grain sampling part.

##### 2) 수분 측정부

수분 측정부는 상기 인입 이송관으로부터 인입된 곡물이 임시로 저장되고 하부에 회전 가능한 배출구가 형성된 보관통, 보관통의 측부에 설치되어 보관통에 인입

된 곡물이 소정의 높이까지 채워졌는지를 검출하여 소정의 높이까지 곡물이 채워진 경우 채워짐 신호를 발생하는 곡물 높이 검출 센서, 보관통의 소정 위치에 설치되어 곡물 높이 검출 센서에서 채워짐 신호를 발생하면 보관통 내부의 곡물에 포함된 수분을 측정하는 수분 계측센서, 수분 계측센서에서 수분 측정이 완료되면 보관통의 배출구를 회절시키는 회전 모터 등으로 구성되어 있다. 그림 3-31는 수분 측정부를 나타내고 있다. 보관통의 크기는 측정주기 및 설치공간 등을 고려하여 가로 160mm, 세로 130mm, 높이 170mm로 제작되었다. 곡물 높이 검출센서는 정전 용량형 근접센서(CR18-8DN, Autronics사)를 사용하였으며, 보관통의 배출구를 회절시키는 회전 모터는 서보모터(HS-5645MG, Hitec사)를 사용하였으며 주요 사양은 표 3-5과 같다.

Table 3-5 Specifications of the used capacitive type proximity sensor and servo motor

Proximity sensor		Servo motor	
Detecting distance	8mm±10%	Pulse duration	0.9ms to 2.1ms (1.5ms center)
Standard detecting target	50×50×1mm(Iron)	Torque	11 ~ 13(kg-cm)
Setting distance	0 to 5.6	Direction of rotation	Clockwise(CW)
Power supply (Voltage range)	12 ~ 24V DC (10 ~ 30V DC)	Power supply	4.8 ~ 6V DC
Response frequency	50Hz	Weight	59g
Ambient temperature	-25 to +70℃ (non-freezing condition)	Size(L×W×H)	40.6×19.8×37 mm



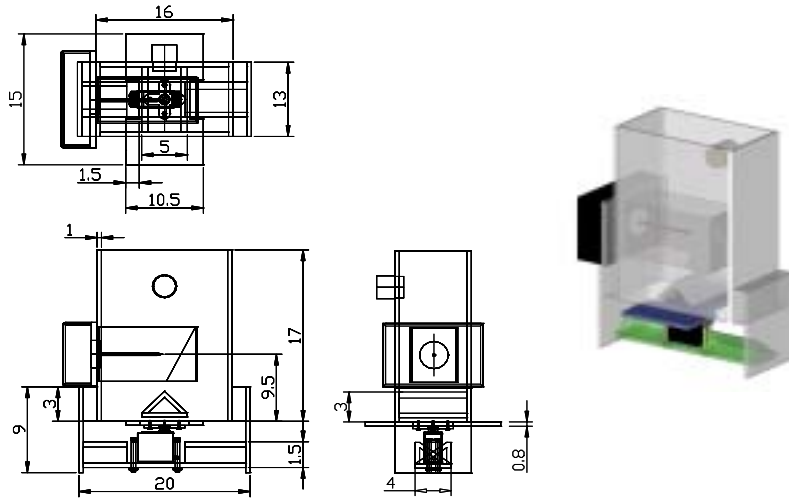


Fig. 3-31 A schematic design of the grain moisture content measuring part.

### 3) 곡물 환원부

곡물의 수분을 측정 후 측정된 곡물은 콤바인 내부로 환원을 시켜야 한다. 따라서, 곡물 환원부는 회전 모터와 배출구의 동작에 따라 배출된 곡물을 수집하는 배출용 보관통과 배출용 보관통에 수집된 곡물을 콤바인 내로 환원시키는 환원 이송관으로 구성되어 있다. 배출용 보관통은 곡물의 손실방지와 진동 최소화를 위해 수분 측정부와 일체화시켰으며 환원 이송관은 배출된 곡물이 신속히 콤바인 내로 환원될 수 있도록 직경이 75mm인 호스를 사용하였다. 그림 3-32은 곡물 환원부를 나타내고 있다.

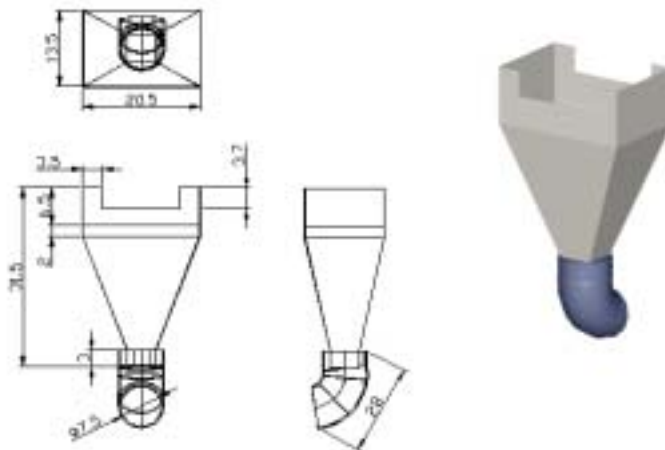


Fig. 3-32 A schematic design of grain return part.

#### 4) 제어부

제어부는 곡물 수분 계측시스템을 전체적으로 제어하는 부분으로서 곡물 높이 검출 센서로부터 곡물 보관통에 곡물이 일정량 채워져 있는가에 대한 신호를 수신하여, 곡물 수분 계측센서에 수분 측정을 지시하고, 수분 계측 센서로부터 측정된 수분 정보를 수신하고, 수분 계측센서로부터 수분 정보를 수신한 이후 회전 모터를 회전시켜 측정된 곡물을 콤바인 내로 환원시키는 역할을 수행하고 있다. 그림 3-33는 곡물 수분 측정 시스템의 신호처리 방법을 나타내고 있으며, 그림 3-34는 곡물 수분 계측 시스템의 순서도를 나타내고 있다.

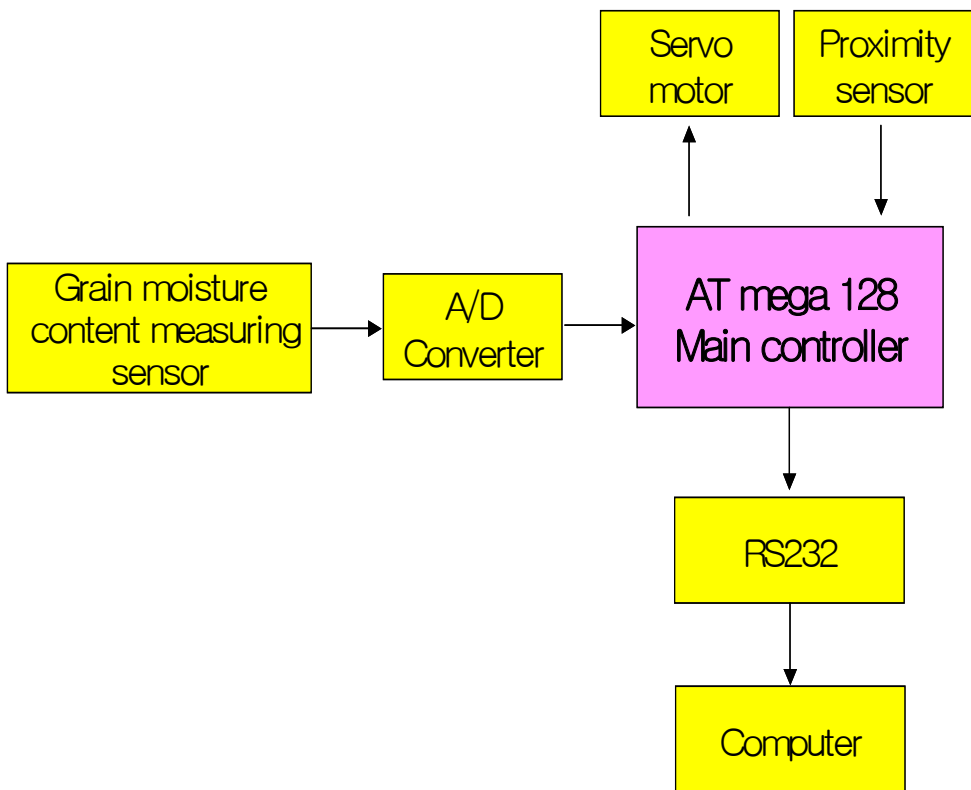


Fig. 3-33 Block diagram for signal treatment.

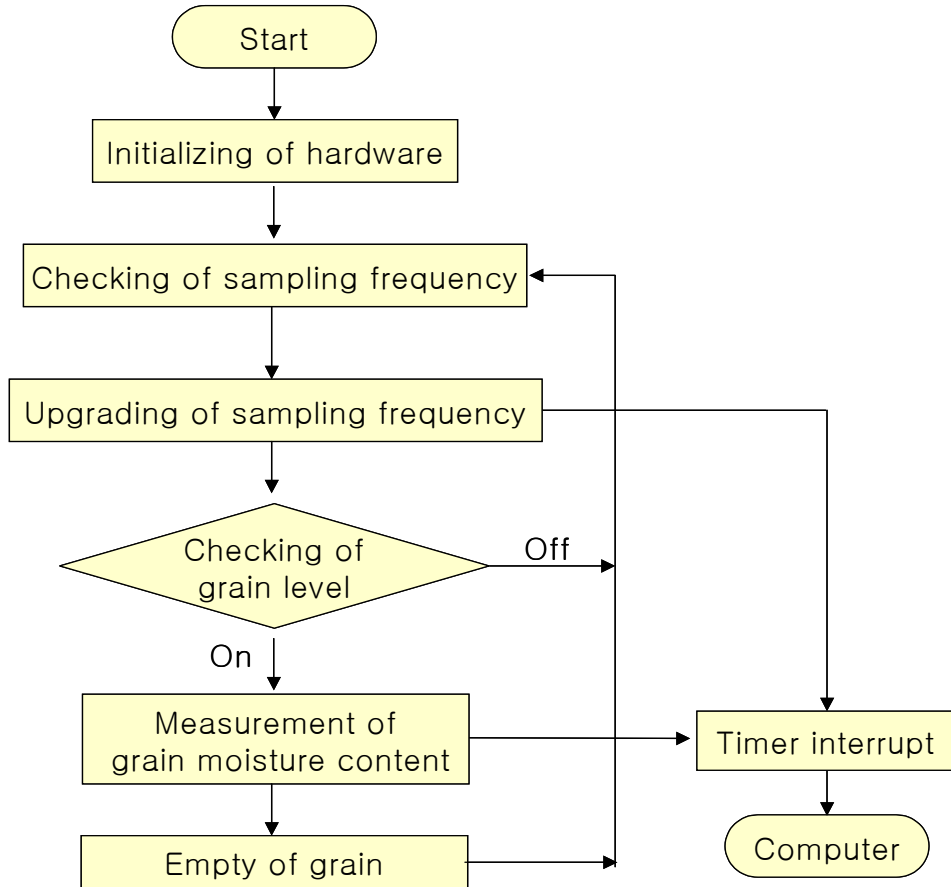


Fig. 3-34 A Flowchart of the grain moisture content measuring system

## 2. 결과 및 고찰

### 가. 포장시험

곡물 수분 계측 시스템의 성능시험을 위해 그림 3-35과 같이 시스템을 콤팩트에 설치한 후, 2005년 10월 19일과 31일 2차례에 걸쳐 그림 3-36과 같이 포장시험을 실시하였다. 첫 번째 포장시험은 수원시 서둔동 소재 농촌진흥청 작물과학원 시험포장에서 실시하였으며, 필지크기는 0.44ha(44×100m)였으며, 품종은 일품벼였다. 두 번째 포장시험은 수원시 입북동 소재 일반 농가 포장에서 실시하였으며 필지크기는 0.35ha(35×100m)였으며, 품종은 추청벼였다. 데이터 취득방법은 그림 3-36과 같이 곡물 수분 계측센서에서 출력되는 신호를 수신한 다음 A/D변환을 통해서 주 제어기로 입력한 다음 RS232로 출력시켜 컴퓨터에서 실시간으로 신호를 취득하는 방식을 취했으며, 신호 샘플링 주기는 30Hz로 하였다. 성능시험을 위해 실시한 시험횟수는 첫 번째 포장에서 6회, 두 번째 포장에서 7회해서 총 13회였다. 수확작업은 관행작업과

동일하게 진행하였다. 본 시스템을 이용한 곡물 수분 계측은 실시간으로 실시를 하였으며, 각 1회 수확작업 완료 후 취득한 수분 전 정보의 평균을 각 작업별 대표값으로 하였다. 또한, 각각의 작업의 완료되었을 때 수확된 벼를 대상으로 5kg정도를 채취하여 5개의 측정용 시료를 만들어 건조법에 의해 각 수분을 측정하고 그 값의 평균값을 대표값으로 하고 센서값과 비교를 통한 성능평가를 하였다. 즉, 그림 3-37과 같이 수확작업 1회 작업시 획득되는 곡물의 수분 정보를 평균한 값을 각 1회에 있어서 대표값으로 한 것이다. 본래 취지는 구간별 수분 계측센서값과 구간별 채취한 곡물의 수분과 비교를 통한 성능평가가 필요하나, 구간별 수분 계측을 위해서 콤바인에서 순간 순간 변화하는 곡물을 채취해야 하는데 그 부분에 있어서 어려움이 있어 금회 시험에서는 1회 수확작업을 완료한 후 곡물 수분 값과 수분 센서값과의 비교평가를 실시하였다.

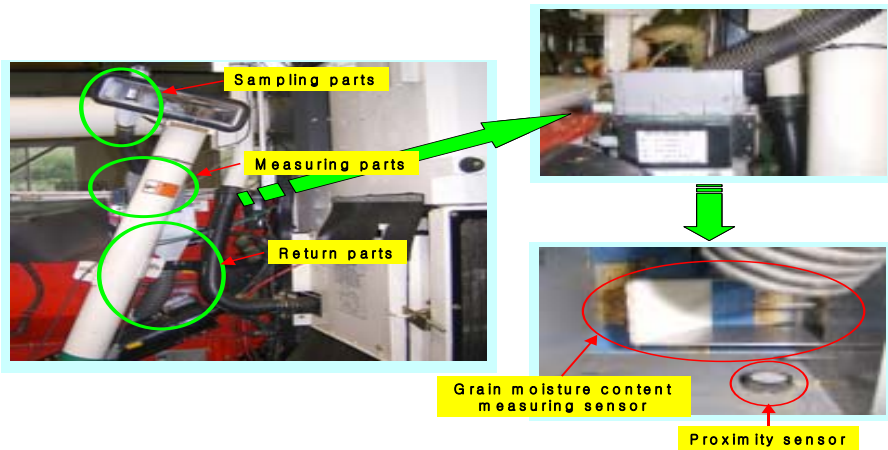


Fig. 3-35 A view of the grain moisture content measuring system.



Fig. 3-36 A field test scene.

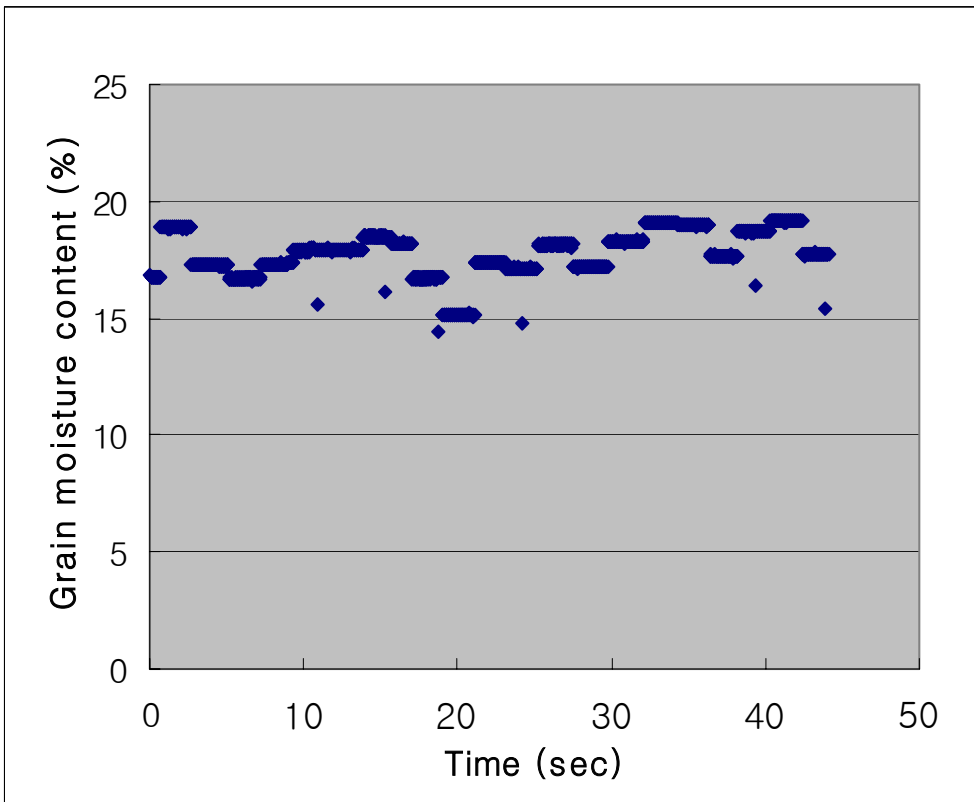


Fig. 3-37 Grain moisture content from sense in field test.

나. 시험결과

그림 3-38는 실제로 측정한 곡물 수분과 곡물 수분 센서로 측정한 값과의 비교를 나타내고 있다. 그 결과 실제값과 측정값과는 결정계수가 0.9065를 보였으며, 예측

표준오차는  $\pm 0.73\%$ 를 보였으며, 편이는  $0.05\%$ 를 보였다. 이것은 전보에서 보였던 수분 센서 자체의 성능에는 미치지 못하지만 포장내·포장별 곡물의 수분 변이를 수확과 동시에 측정 가능함을 나타낸 것으로 판단되었다.

또한, 본 시험은 일품벼와 추청벼를 대상으로 실시한 2차례에 걸친 시험으로서 좀더 많은 포장에서 계속적인 검증이 필요할 것으로 판단되었다.

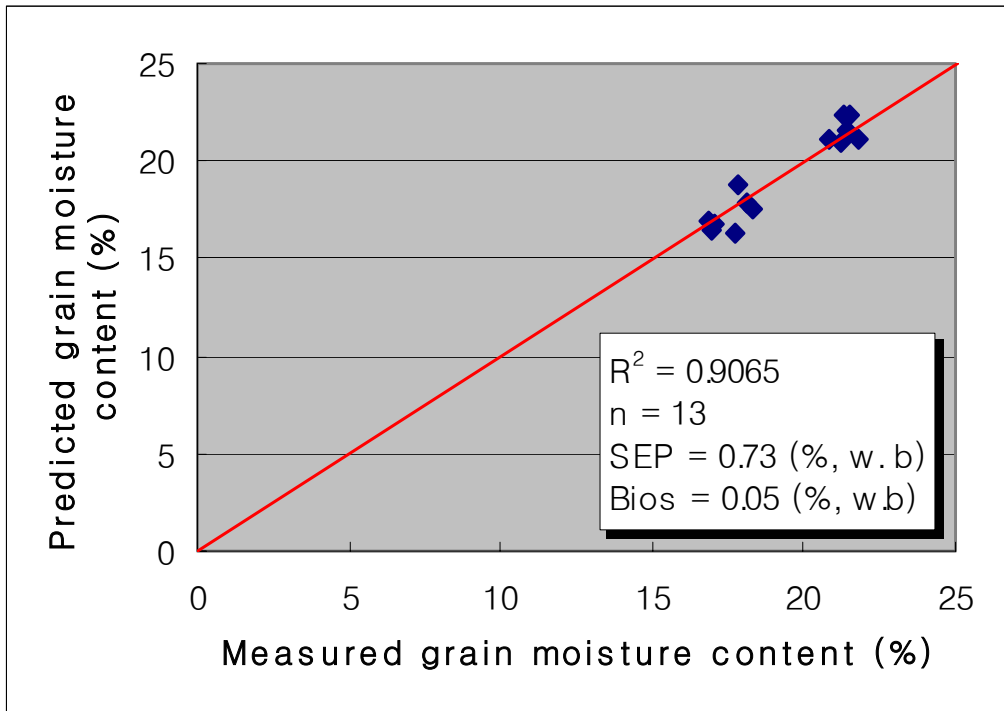


Fig. 3-38 Relationship between the measured grain moisture content and predicted grain moisture content.

### 3. 요약 및 결론

자탈형 콤바인용 곡물 수분 계측시스템을 개발하여 콤바인에 장착후 포장시험을 실시한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 자탈형 콤바인에 적용 가능하며 수확과 동시에 곡물의 수분을 계측할 수 있는 곡물 수분 계측시스템을 개발하였다.
- 실제 측정한 곡물 수분과 개발한 시스템으로 측정한 값 사이에 결정계수가  $0.9065$ 를 보였으며, 예측표준오차는  $\pm 0.73\%$ 를 보였으며, 편이는  $0.05\%$ 를 보여 포장내·포장별 곡물의 수분 변이를 수확과 동시에 측정 가능함을 나타낸 것

으로 판단되었다.

○ 품종 및 시험포장을 다양화하여 지속적인 검증이 필요할 것으로 판단되었다.

## 제 7절 시스템 통합 및 포장 성능시험

### 1. 데이터 수집, 처리 및 가시화 장치 개발

#### 가. 시스템 구성요소

본 시스템은 곡물 유량 계측 센서, 곡물 총량 계측 센서, 곡물 수분 계측 센서, 작업유무 검출 센서, 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 GPS 등을 메인으로 하는 장치와 각 센서들의 원활한 동작을 위한 주변 장치 등으로 구성된다.

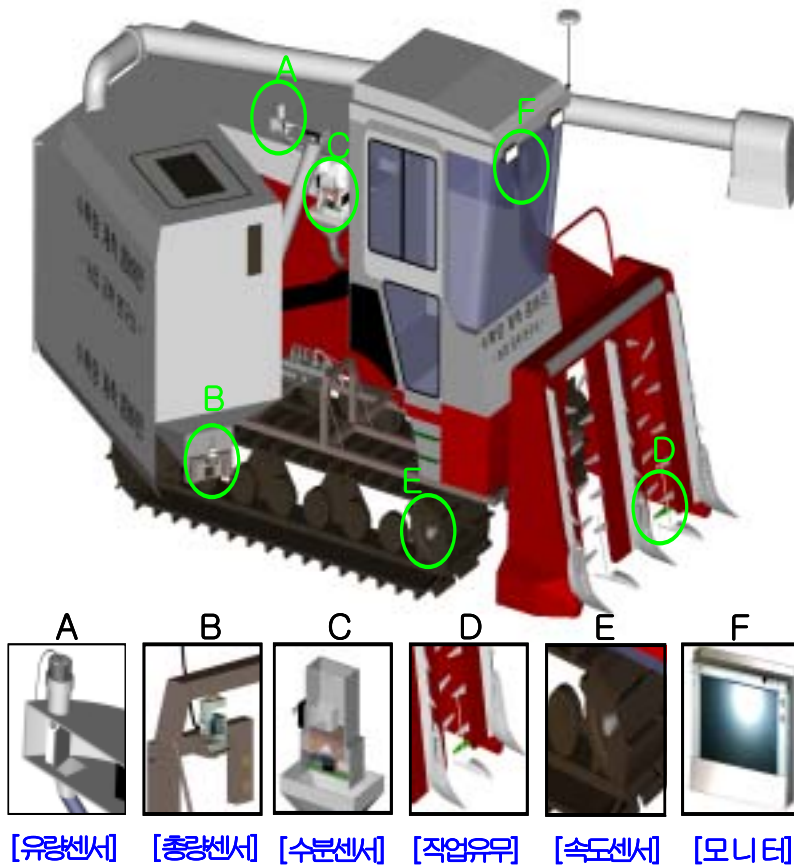


Fig. 3-39 Yield monitoring full system for head-feeding combine.

#### 나. 데이터 수집, 처리 통합 보더 설계 및 제작

앞 절에서 설명한 각 센서들이 통합되어 수확량 모니터링 시스템으로 운영되기 위해서는 각 센서들의 특성과 요구조건에 맞게 보더가 설계되어야 한다. 따라서, 본 시스템에서는 아래의 요소들을 기본으로 하여 시스템 통합을 위한 보더 설계를 하였다. 그림 3-40은 본 시스템의 데이터 수집, 처리 등과 관련된 일련의 신호처리회로를 통합적으로 도식화 해 놓은 것이다. 그리고 그림 3-41은 실제 설계된 회로 도면을 나타내고 있다. 그림 3-42은 실제 설계된 회로에 의해 제작된 보더를 나타내고 있다.

- 프로세서 : AVR Atmega 128
- 채널수, 분해능, 속도 : ADC 8ch, 10bit, 16MHz
- 입력범위 : 0 ~ 5V
- 샘플링 속도 : 30Hz
- 디지털 입·출력 : PORT B, PORT D, PORT E, PORT F(ADC 0-7)
- 타이머/카운터 : 8bit Timer/Counter 2개, 16bit Timer/Counter 2개
- 메모리 : Flash ROM(128Kbytes), EEPROM(4Kbytes), SRAM(4Kbytes)
- 시리얼 통신 : 2ch(UART0, UART1)
- 시리얼 통신속도 : 115200(baud), 8bit data



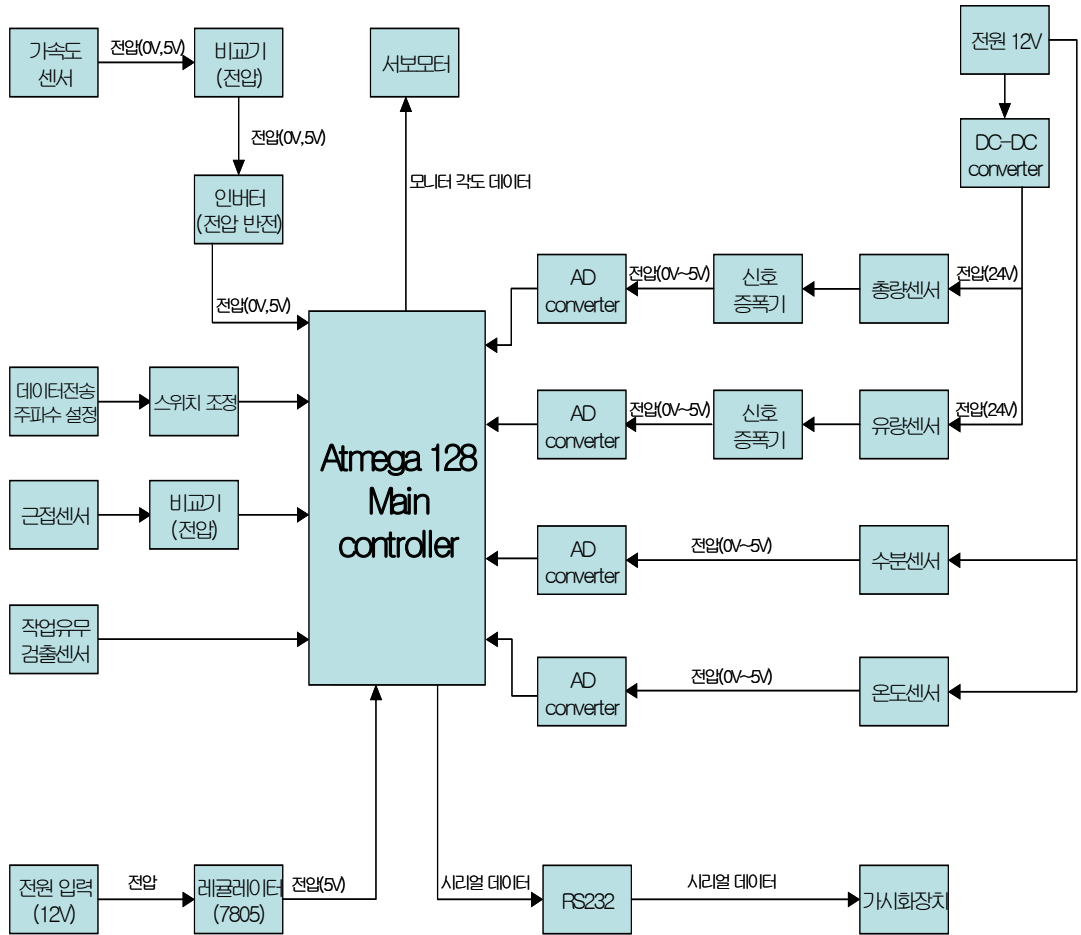


Fig. 3-40 Data acquisition board concept.

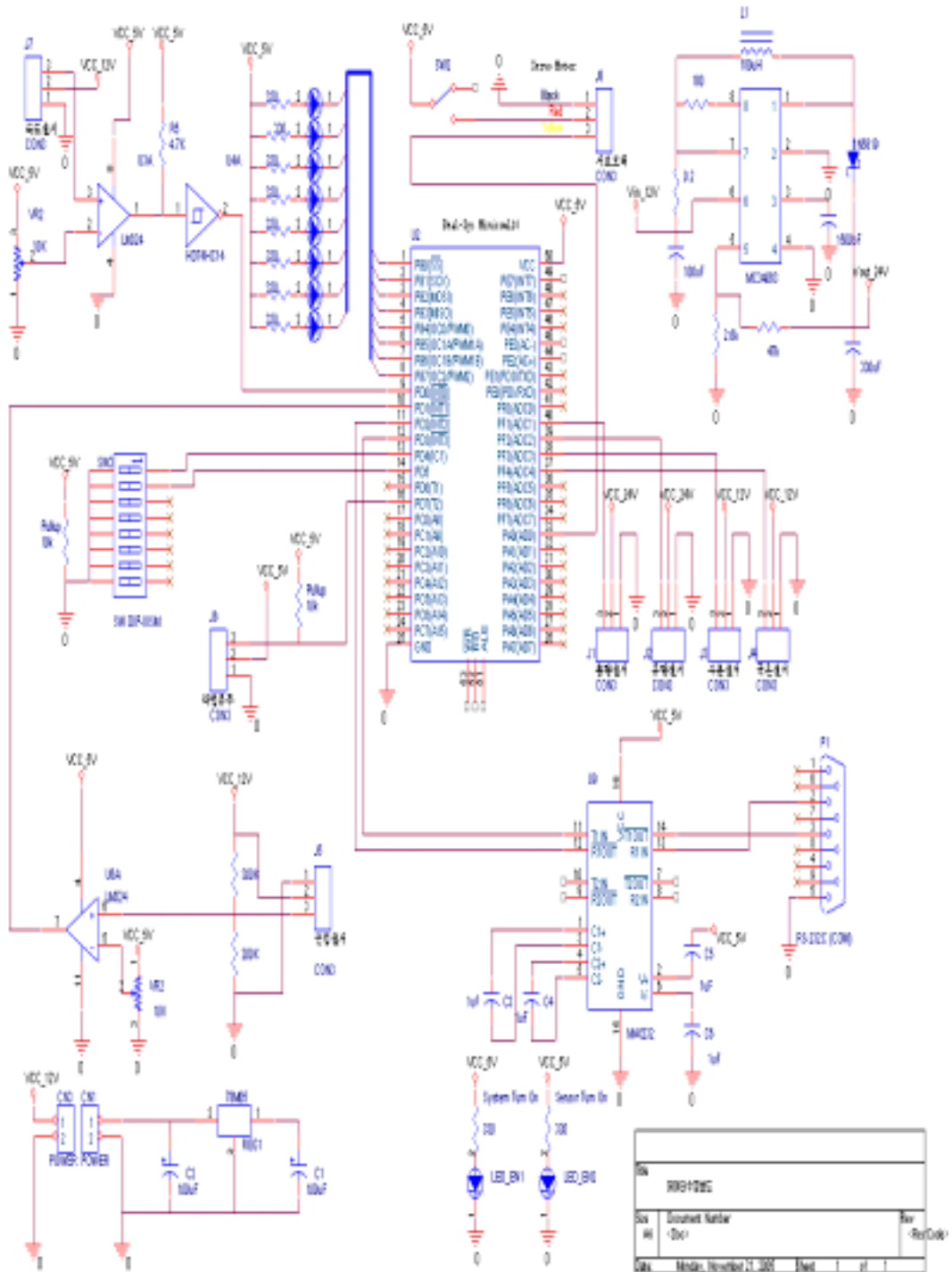


Fig. 3-41 Data aquisition board circuit.



Fig. 3-42 Data acquisition board.

#### 다. 가시화 장치 및 기타 장치 설계 및 제작

##### 1) 가시화 장치

수확량 모니터링 시스템의 장점은 작업자가 수확작업을 하면서 동시에 포장별 또는 포장내 수량정보를 실시간으로 시각적인 맵 정보와 디지털 정보로 확인할 수 있다는 것이다. 이를 실현하기 위해서는 앞 항에서 통합된 센서 정보들이 가시화 장치를 통해서 표현이 되어야 한다. 이를 위해 아래의 요소들을 기본으로 하여 가시화 장치를 구성하였다. 그림 3-43의 왼쪽은 구성된 가시화 장치를 나타내며 오른쪽은 콤비인에 장착되어 있는 가시화 장치를 나타내고 있다.

- 구성장치 : 모바일 PC, 표시 모니터
- 주요사양
  - Memory 512MB
  - Hard Drive 150GB
  - Size 175\*211\*68mm,
  - 8" 터치 기능 포함 모니터
- DC-DC 컨버터 : 12V (8A Max)

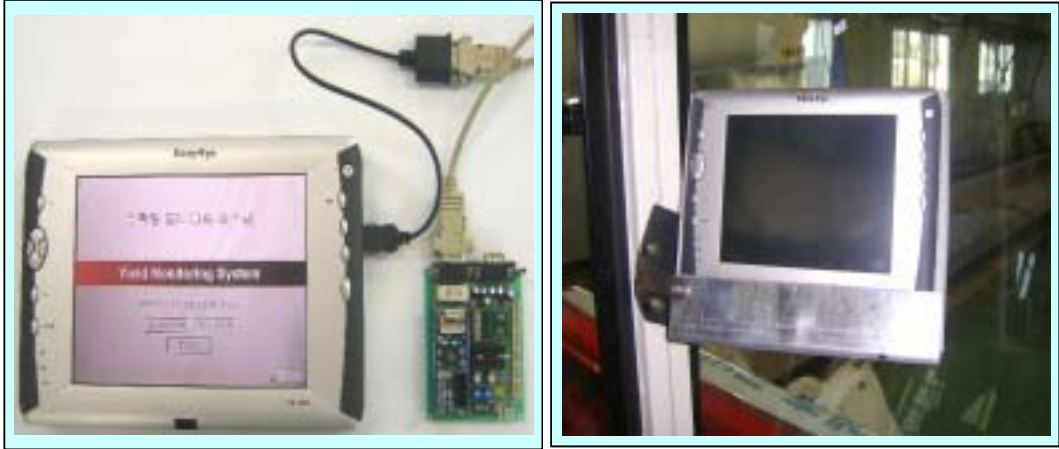


Fig. 3-43 Visualizing equipment of yield information.

## 2) GPS

수확량 모니터링 시스템의 핵심 구성요소의 하나가 바로 포장내 혹은 포장별 콤바인이 수확 작업할 때 콤바인의 위치를 알려 주는 것이 GPS이다. 본 연구에서 이용된 GPS는 Micro-Track사의 비이컨 타입 DGPS인 T-150pro를 이용하였다. 이 GPS의 구성요소는 위치정보 수신을 위한 안테나, 수신기 그리고 밧테리로 구성되어 있다. 위치 정보의 출력주기는 최대 5Hz이며 측정정밀도는 1m이내이다. 입력전원은 DC4.9~13V이며, 크기는 200(W)×250(D)×50(H)mm이다. 이 GPS의 특징은 이동이 편리하며, 1대의 수신기로 DGPS로 운용할 수 있으며 가격에 비해 안정적인 정밀도를 얻을 수 있다. 그림 3-44은 본 연구에 사용된 GPS의 안테나와 수신기를 나타내고 있다.



Fig. 3-44 GPS

## 3) 속도센서

### 가) 속도센서 설계 및 제작

수확량 모니터링 시스템의 구성요소 중에 또 하나가 수확 작업 면적을 계산할 때 필요한 속도센서이다. 기존에 보급되고 있는 속도센서를 설치할 경우 경제적으로 부담이 되기 때문에 본 연구에서는 콤바인에서 자체적인 제어를 위해 부착한 차속센서를 이용하는 방법을 채택하

였다. 그러나, 이 차속센서는 출력신호 파형이 일정하지 않았고, 콤팩트 고속주행시 출력전압이 낮아져 적정신호 취득이 불가능하여 슈미트 트리거, OP AMP, 가변저항 등을 이용하여 비교기를 만들어 출력신호의 보정과 출력전압의 보상을 하여 문제점을 해결하였다. 속도측정은 차속센서에서 발생하는 펄스수를 측정하여 속도를 계산하는 원리이다. 그림 3-45은 기존의 속도센서를 나타내며 그림 3-46은 본 연구에서 이용한 콤팩트에 부착되어 속도신호를 발생하는 차속센서와 제작한 비교기를 나타내고 있다.



Fig. 3-45 Speed sensor.

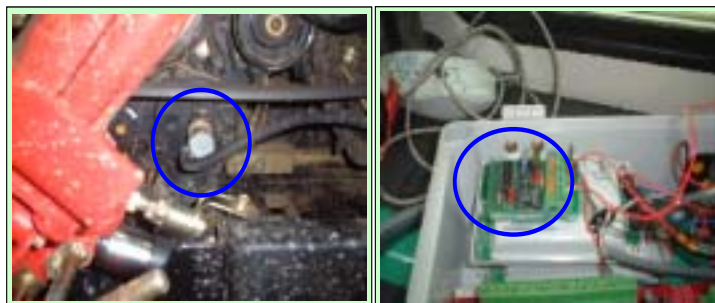


Fig. 3-46 Speed sensor and circuit board.

#### 나) 실내시험

속도측정을 위한 실내시험은 농업공학연구소 내 콘크리트 바닥에서 2003년 3월 29일에 실시하였으며, 그림 3-47은 콤팩트 자체에서 발생하는 출력펄스수와 속도의 관계를 나타낸 것이며, 그림 3-48은 콤팩트의 주행 중 속도를 연속적으로 측정한 결과를 나타내고 있다. 이 결과 펄스수와 속도의 관계가 결정계수 0.9999로서 높은 상관관계가 있어 수량계측시 콤팩트의 속도측정을 함에 있어서 문제점이 없을 것으로 판단되

었다.

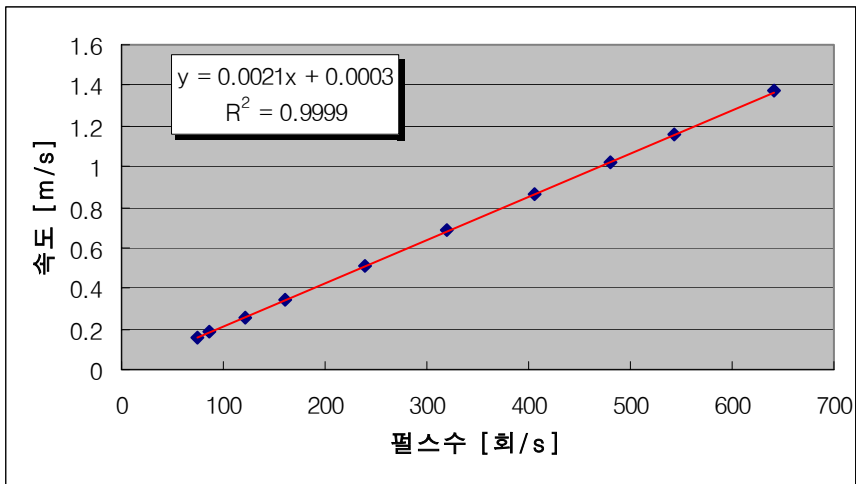


Fig. 3-47 Relationship between pulse number and speed.

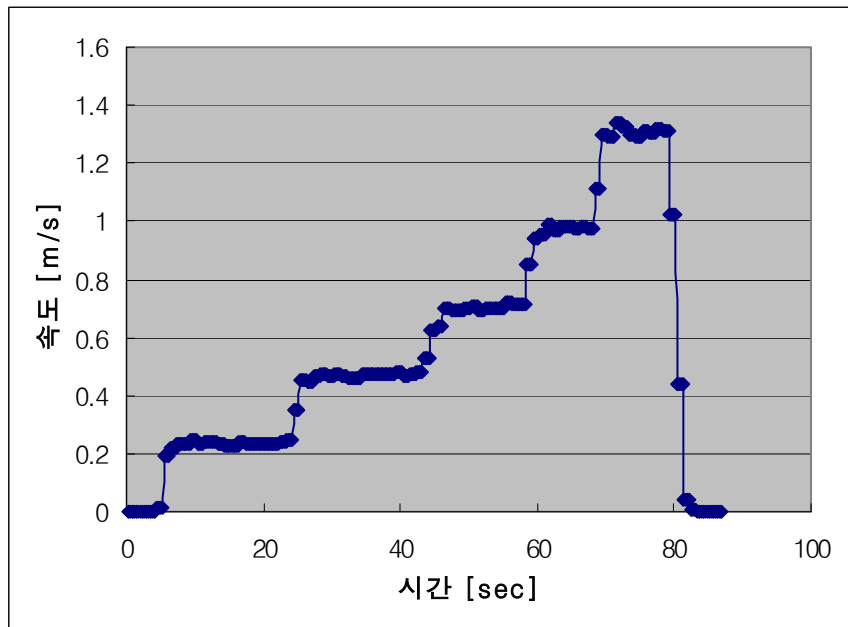


Fig. 3-48 Combine speed.

다) 포장시험

콤바인을 이용하여 포장에서 실질적으로 작업을 할 경우, 포장면의 수분상

태 등에 따라서 미끄럼 현상이 일어날 것으로 판단되었으며, 무한궤도 러그의 포장내 삽입에 따른 속도차이가 예상되어 포장시험을 실시하여 펄스수와 속도와의 보정식을 구하고자 하였다. 포장시험은 2003년 10월 23일에 수원소재 임북동 포장에서 시험을 실시하였으며, 실측속도와 센서로 측정한 속도를 비교했을 때, 콤팩트 주행부가 무한궤도식이라 미끄럼 현상에 의한 속도측정의 오차보다는 주행부 무한궤도의 러그가 아스팔트와 달리 포장에서는 땅속으로 파고들기 때문에, 동일 거리를 이동함에 있어서 포장시험시 펄스발생횟수가 증가함으로써 센서로 측정한 속도값이 실내시험보다 약 0.07m/s로 빨리 나타났다. 따라서, 포장시험 결과를 속도계산 알고리즘에 적용함으로써 속도를 양호하게 측정할 수 있었다. 그림 3-49은 포장시험시 센서로 측정한 속도와 실제 측정한 속도와의 관계를 나타내고 있다.

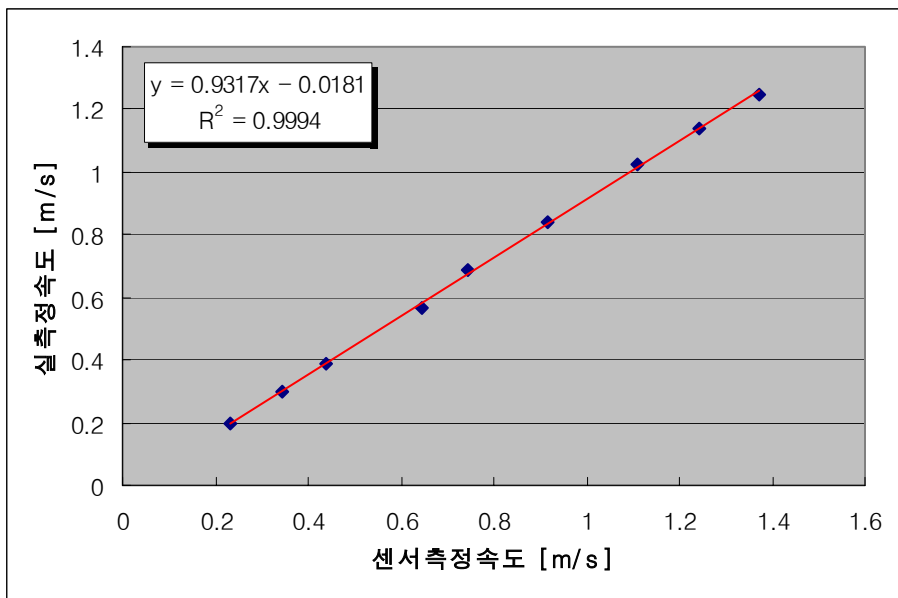


Fig. 3-49 Relationship between predicted speed and measured speed.

#### 4) 작업유무 검출센서

수확량 모니터링 시스템의 구성요소 중에 또 하나가 수확작업의 유무 검출하는 센서이다. 이 센서는 수량 계측을 할 경우, 작업의 시작과 끝을 알려 주는 역할을 하며, 수량정보의 보상 및 저장 등에 필요한 외부 신호로서 활용이 가능하다. 그림 3-50은 예취부에 부착되어 있는 센서의 위치 및 형상을 나타낸 것이며, 그림 3-51은 포장작업시 수확작업의 유무에 따른 센서 신호의 출력을 나타내고 있다.

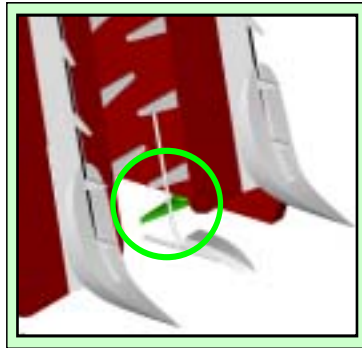


Fig. 3-50 On/Off switch.

2. 시스템 운영 프로그램 개발  
가. 프로그램 구비 조건

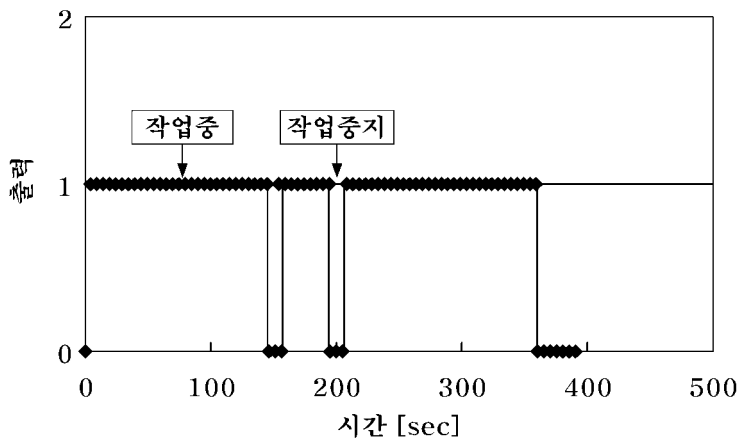


Fig. 3-51 The results of signal On/Off status as harvesting.

본 연구에서는 수량 모니터 운영 프로그램이 갖추어야 할 조건을 아래와 같이 설정했다.

- 곡물 유량, 곡물 총량, 곡물 수분, 위치정보 등으로부터 취득하는 데이터를 수집하고 처리하고 저장하며 이와 관련된 장치를 제어할 수 있을 것.
- 곡물 유량 측정 센서의 출력값과 곡물 총량 센서의 출력값의 상호 보정을 할 수 있을 것.
- 포장내 위치별 곡물의 수량과 수분을 실시간으로 디지털 정보와 지도정보로 제공할 것.
- 수확종료 후, 포장의 수량, 면적, 10a당 수량, 수분, 수량지도 등을 표시할 수 있을 것.
- 통신설정이 가능하고, 기본적인 방식은 시리얼 형식을 지원할 것.



- 포장의 생산이력정보(생산자명, 포장정보, 재배관리이력 등)를 저장할 수 있을 것.
  - 수량지도의 편집과 수정, 포장간 거리계산, 확대·축소 등의 기능이 가능할 것
- 나. 시스템 권장 사양

수량 모니터는 Windows 운영체제의 그래픽 자원을 많이 사용하기 때문에 펜티엄급 컴퓨터에 256MB 이상의 메모리를 사용해야 한다. 본 시스템은 1024 X 768의 True color 해상도를 요구하며, 시스템의 구동을 위해서는 최소 두 개의 시리얼 통신 포트 (데이터 수집장치 센서 신호 수신, GPS 위치 정보 수신)를 필요로 한다. DAQ 장비는 수량 모니터를 위해 특별히 제작된 장비를 사용하며, DAQ 장비는 콤팩트 각 부위의 수확량 정보를 수신하여 하나의 시리얼 신호로 모니터링 시스템에 전달한다. GPS 수신 장비는 GPS 혹은 DGPS 급의 NMEA 표준 형식을 사용하는 시리얼 통신이 가능한 장비를 사용한다. 벼의 생산이력정보, 작업파일명 그리고 작업선택 등의 효율성을 높이기 위해서는 가급적 문자, 숫자 그리고 마우스 등의 기능이 포함된 입력기기가 있어야한다.

#### 다. 시스템 구조

##### 1) 신호처리 알고리즘

작업시작 버튼이 클릭 되어 작업이 시작되면 그림 3-52에 표시되어 있는 것처럼 메인 루프에서는 센서 초기화를 하며, 샘플링 주파수를 체크하고, 먼저 곡물 수분 측정 시스템의 곡물 수위 검출센서쪽에 곡물이 일정한 높이로 차 있는지 검출을 하게 된다. 센서에서 신호가 도달할 때 마다 0~5까지의 센서 채널신호 값이 생성된다. 곡물이 차 있다면 곡물의 수분과 곡물의 온도를 측정하고 측정한 후에는 DC모터를 돌려 곡물을 배출시키는 연속적인 루프로 돌아간다. 인터럽트 루프에서는 일단, 각 센서의 초기 상태를 체크하고, 샘플링 주기마다 타이어 인터럽트가 발생하면 그때마다 각 센서값을 읽어 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치로 신호를 보내게 된다.

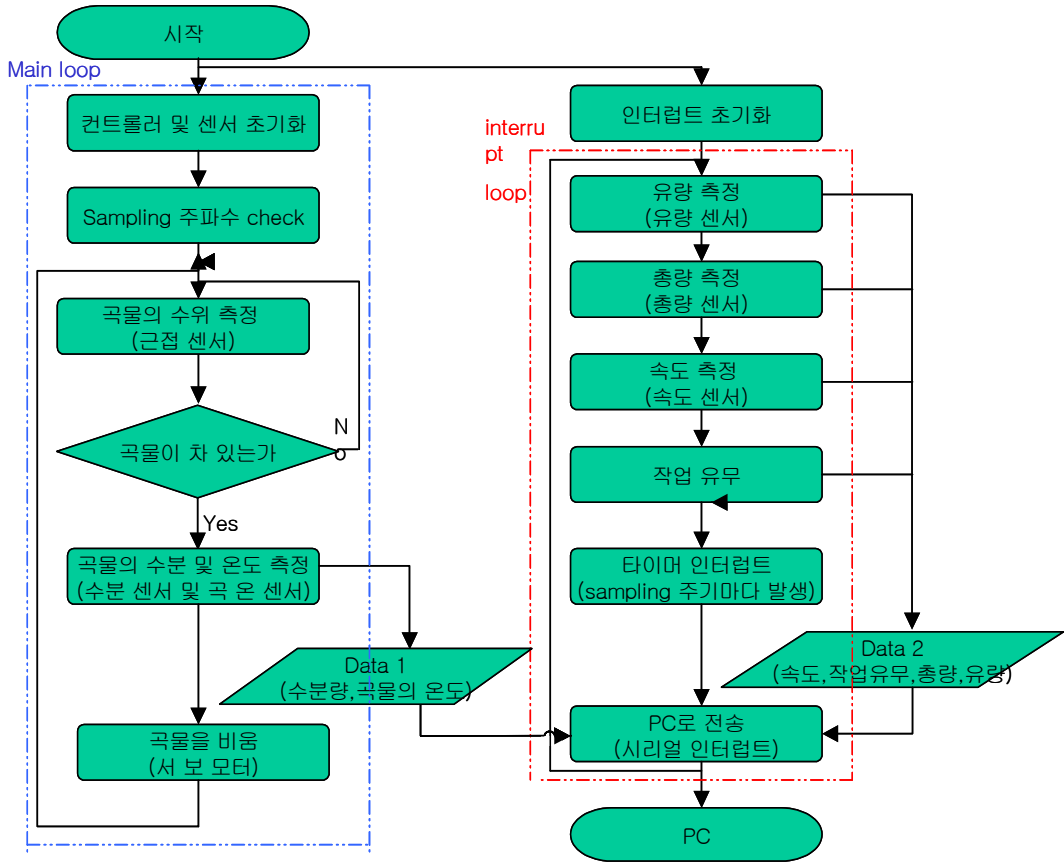


Fig. 3-52 Signal treatment flow chart of yield monitoring system.

## 2) 센서 신호 형식

센서에서 입력되는 신호는 시리얼 텍스트 형식으로 내용은 그림 3-53과 같다. 입력된 데이터는 0~6까지의 채널 형태로 메모리에 저장되며, 각 채널은 순서대로 유량, 총량, 수분, 속도, 작업유무, 샘플링 속도에 대한 A/D 값을 의미하며 레코드의 시작은 \$로 구분된다.

\$0429 0175 0801 0000 0x01 [0149:0005 hz]					
유량	총량	수분	속도	작업유무	샘플링속도
[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]

Fig. 3-53 Sensor signal type.

## 3) 작업상태 판별

작업상태는 그 위치에서 작물의 유무에 따라 판별된다. 그러나, 많은 경우 작

물 사이에 비어있는 부분으로 인해 작업중임에도 불구하고 작업 상태를 잘못 판단하게 되는 경우도 있다. 따라서 예취 상태를 판별하는 방법으로 그림3-54과 같이 이전과 다음 작업 상태 값을 비교해 두 번 연속으로 신호가 도달하지 않으면 작업중이 아니라고 판단하도록 알고리즘을 구현하였다.

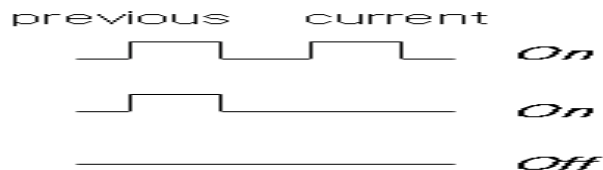


Fig. 3-54 On/Off switch for harvesting operation check.

#### 4) 단위수량 계산 알고리즘

단위면적당 수량을 실시간으로 계산하기 위해서는 기본적으로 필요한 정보는 단위 시간당 곡물유량센서로부터 발생하는 전압, 곡물 수분, 예취폭, 속도 등과 본 시스템의 가장 큰 특징인 조정계수이다. 즉, 조정계수라 함은 포장조건, 즉, 품종, 기후, 작업시간대 등에 따라 변화하는 포장의 조건들에 따라 변화하는 유량 계측 센서의 오차를 최소화 하여 정밀도 높은 수량정보를 얻기 위해 이용되는 계수로서, 유량 계측센서로 측정한 값과 총량 계측센서로 측정한 값을 현장에서 상호 비교하여 도출하는 계수이다. 그림 3-55은 조정계수를 산출하여 단위수량을 계산하는 알고리즘을 나타내고 있다.

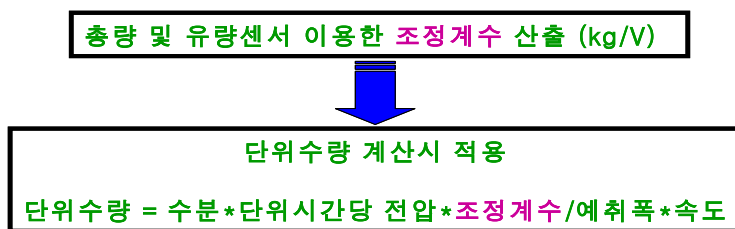


Fig. 3-55 The method of yield calibration.

#### 라. 사용자 인터페이스

##### 1) 초기화면

초기 화면은 포장정보를 입력할 수 있는 보정 모드, 포장정보입력 모드, 수확모드, GPS 통신설정모드, 센서통신설정 모드 등으로 구성되어 있다.



Fig. 3-56 The initial mode.

## 2) 통신설정

GPS의 전송속도는 일반적으로 9,600bps를 사용하며 센서전송속도는 센서의 전송률에 맞게 입력하되 기본은 115,200bps로 지정되어 있다. 데이터 저장은 DAQ 장비로부터 데이터가 입력되는 시점에 실시되고, 화면 업데이트는 GPS 신호가 수신되는 시점에 이루어진다. 따라서 데이터 저장 횟수에 비해 화면 업데이트 횟수가 적다.



Fig. 3-57 GPS and Sensor interface setting mode.

## 3) 보정 모드

보정 모드는 이 시스템만의 독창적인 부분으로서 곡물 유량 계측 센서의 현장 적응성을 향상시키기 위해 고안된 모드로서 곡물 총량 계측 센서를 이용하여 현장에서 곡물 유량 계측 센서를 보정하는 모드이다. 즉, 곡물 유량 계측 센서를 이용해 포장내

수량을 측정하기 전에 곡물 유량 계측 센서와 곡물 총량 계측 센서를 이용해 예비 시험을 2-3회 반복한 후 두 센서간의 조정계수를 구해 수량을 계산하는 알고리즘에 반영하는 원리이다. 수치보정 아이콘과 초기화 아이콘은 곡물 유량 계측센서, 곡물 총량 계측 센서, 곡물 수분 계측 센서 등의 값들을 보정하거나 초기화 하고자 할 때 사용하는 아이콘이다.



Fig. 3-58 Calibration mode.

### 3) 포장정보 입력모드

포장정보 입력모드는 크게 포장 기본정보, 포장정보, 그리고 재배관리이력 등 3부분으로 구성되어 있다. 포장 기본정보에는 생산자명, 주소, 전화번호, 작목명 등을 입력하게 되어 있고, 포장정보에는 포장크기, 포장주소, 토성, 활용연수, 포장구분 등을 입력하게 되어 있고, 재배관리이력에는 파종, 시비, 방제, 기타 특이 사항 등을 입력하게 되어 있다. 작목명에는 현재 벼, 보리, 밀 등을 기본적으로 입력을 해 두었으며, 각 작목에 있어서 품종은 현재 농촌진흥청에서 추천한 고품질과 관련되는 대표 품종들만 입력해 두었다.

### 포장 정보 입력

모집기본정보		재배관리이력		
생산자명	농진청 작물과학팀	작업일	품종	양분
주 소	경기도수령시영선구서리	비율	2004-10-28	30대배
관할번호	0312901055	작업일	비율	시비량
작 목 명	배	2004-05-30	백합	5.0 Kg
		2004-06-22	갈소	5.1 Kg
		2004-08-05	갈소	5.2 Kg
모집정보		작업일	양분	삽포량
모집크기	31.0 ha	2004-07-08	이화명종	10.1 L
모집주소	수령시영선구	2004-08-28	이화명종	10.1 L
도 성	사당포	2004-08-31	배달구	10.1 L
활용연수	3년	발생일	내용	비고
모집구분	은	기타	2004-08-28	갈수
				재기

종으로    수확모드    확인

Fig. 3-59 Field information input mode.

#### 4) 수확

수확 모드에는 기본 작업정보, 상태표시, 작업파일 등 3부분으로 구성되어 있다. 기본 작업 정보란에는 생산자명, 작목명, 품종, 작업일, 예취폭 등을 입력할 수 있고, 상태표시란에는 속도센서, 작업유무, GPS 상태 등을 자동적으로 표시하게 되어 있고, 작업파일란에는 수확작업시 입력하고자 하는 파일이름을 원하는 장소에 입력할 수 있다. 또는 작업파일 선택이라는 아이콘을 눌러 선택을 할 수도 있다. 열기 아이콘은 이전에 작업한 내용을 지도정보와 디지털 정보로 확인 하고자 할 때 저장된 파일을 불러 올 수 있다. 작업시작 아이콘은 수확 모드의 기본 입력 사항들을 입력 완료했을 때 작업시작을 누르면 지도보기 모드로 바로 전환된다.

### 수확

기본작업정보		상태 표시	
생산자명	농진청 작물과학팀	속도센서	
작목명	배	작업유무	
품 종	30대배	GPS상태	
작업일	2004-10-27		
예취폭	31.0		
작업 파일			
C:\Wiseact\W\CF9\W\dear\Wcombine\W2004\W2005\WCS_ym			
작업 파일 선택		열기	
작업 시작			

종으로    입력모드    확인

Fig. 3-60 Harvesting mode.

### 5) 포장 지도 보기 모드

포장 지도 보기 모드는 왼쪽에는 수확정보와 관련된 위치별 지도정보를 표시해주며, 오른쪽에는 디지털 정보를 표시해 준다. 그 외에도 현재 작업 중인 GPS 상태, 작업 유무, 품종, 방위 및 거리, 포장명, 포장 정보의 평균 값, 범례, 수량정보 샘플 개수, 회전 버튼, 이동 버튼, 확대 축소 버튼, 홈으로 이동 버튼, 범례 변경 버튼, 현재 열린 파일에 중복해서 다른 파일을 여는 버튼, 현재 열린 파일들을 다른 이름으로 합쳐서 저장하는 버튼 등의 기능이 제공되고 있다.

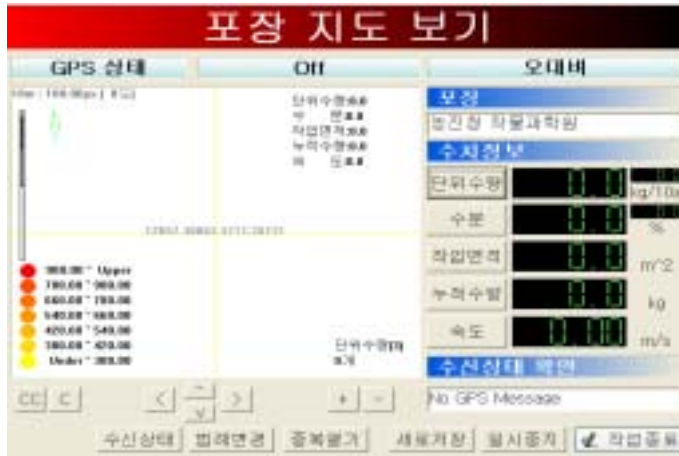


Fig. 3-61 Field map mode.

## 3. 포장성능시험

### 가. 포장시험

포장시험은 2005년 10월 19일 경기도 수원시 농촌진흥청 작물과학원에서 시험포장으로 활용되고 있는 포장을 대상으로 1회, 2005년 10월 31일 경기도 수원시 입북동 소재 일반 농가포장에서 1회해서 총 2회를 실시하였다. 작물과학원 시험포장은 포장의 크기는 0.44ha(100×44m)로서 줄 곧 벼 시험포장으로 이용되고 있는 포장이며, 품종은 일품벼였다. 입북동 소재 포장의 크기는 0.35ha(100×35m)로서 관행적인 재배 방법으로 농사를 짓고 있는 포장이며, 품종은 추청벼였다. 데이터 취득방법은 각 센서 및 주변장치에서 발생하는 신호를 통합보더로 받아 처리한 다음 가시화 장치로 전송하여 실시간적으로 수량정보를 표시하고 데이터는 저장하였다. 신호 샘플링 주기는 30Hz로 하였으며, 성능시험을 위해 실시한 시험횟수는 첫 번째 포장에서 6회, 두 번째 포장에서 7회해서 총 13회였다. 수확작업은 관행작업과 동일하게 진행하였다. 각각의 작업이 완료되었을 때 수확된 벼의 전체 양을 측정하였으며, 각각에 대해 5kg정도의 시료를 채취하여 5개의 측정용 시료를 만들어 건조법에 의해 각 수분을 측정하고, 그 값들의

평균값을 대표값으로 하여 센서값과 비교를 통한 성능평가를 하였다. 그림 3-62는 각각의 포장시험에서 포장지도보기 모드로서 수량정보가 맵 정보와 디지털 정보로 표현되고 있음을 확인할 수 있다.



Fig. 3-62 Mapping and digital information for yield.

#### 나. 성능평가

수량 모니터링 시스템의 성능 평가를 위해 수량 및 수분지도를 작성하여 검증해 보았다. 수량 및 수분 지도 작성 방법은 포장에서 취득한 수량 및 수분정보를 토대로 각 값의 하한값과 상한값을 정해 필터링을 하고, GPS로부터 측정된 위치정보를 좌표전환하고 m단위로 거리계산을 한 다음 5m×5m 단위로 구획을 설정하여 각 구획별 평균값을 산출하고 산출된 값을 이용하여 지도화 프로그램인 GS+를 이용하여 지도를 작성하였다. 그 결과 수량에 있어서 작물과학원 포장에서는 센서로 측정한 값과 실제 측정한 값과는 2.3%의 오차를 보였다. 입북동 포장에서는 센서로 측정한 값과 실제 측정한 값과는 0.37%의 오차를 보여 양호한 결과를 얻었다. 수분에 있어서 작물과학원 포장에서는 센서로 측정한 값과 실제 측정한 값과는 0.1%의 오차를 보였으며, 입북동 포장에서는 0.2%의 오차를 보여 양호한 결과를 얻었다. 그림 3-63은 작물과학원과 입북동 포장에서 획득한 수량정보를 지도화 한 것이며, 그림 3-64는 작물과학원과 입북동 포장에서 획득한 수분정보를 지도화 한 것이다.



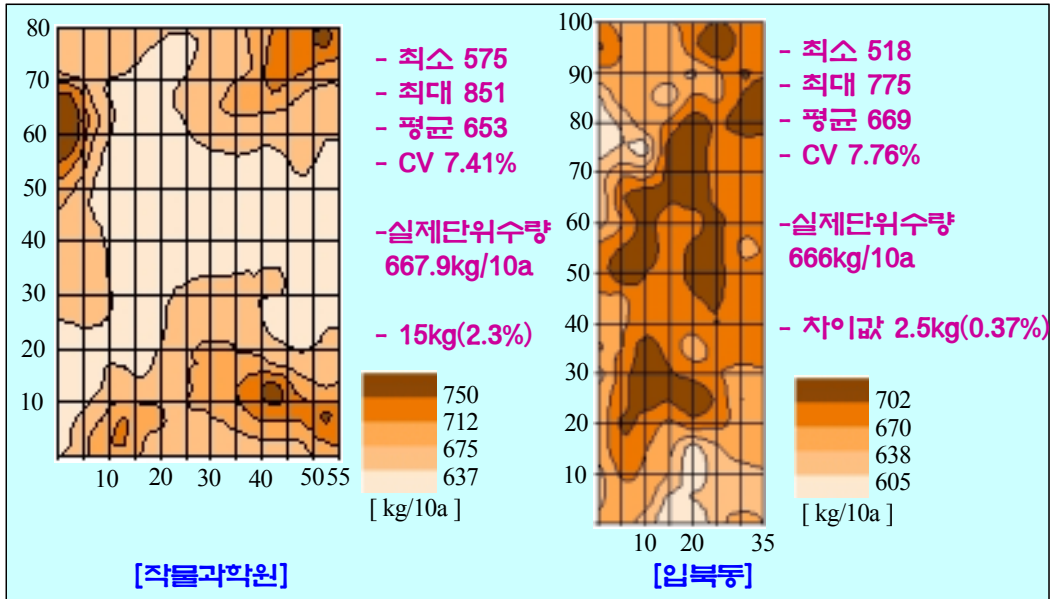


Fig. 3-63 Grain yield maps.

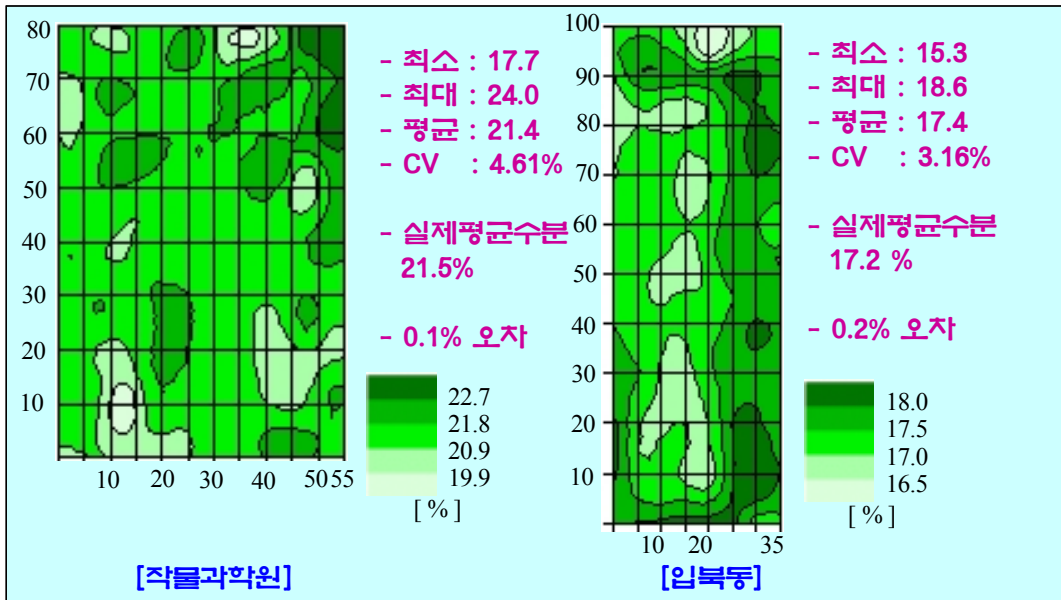


Fig. 3-64 Grain moisture content maps.

#### 4. 요약 및 결론

자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템을 구성하기 위해 각 센서 및 주변기기들을 통합하고 포장 성능시험을 실시한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 수량정보 계산을 함에 있어서 필요한 곡물 유량 계측 센서, 곡물 총량 계측 센서, 곡물 수분 계측 센서, 작업유무 검출 센서, 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 GPS 등을 메인으로 하는 장치와 각 센서들의 원활한 동작을 위한 주변 장치 등의 신호를 통합적으로 입력받고 처리할 수 있는 통합 보더를 작성하였다.
- 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 작업유무 검출센서 등을 개량하거나 개발하여 본 시스템이 원활하게 동작될 수 있도록 하였다.
- 수확량 모니터링 시스템을 운영하기 위해 필요한 운영 프로그램의 주요 모드는 보정모드, 포장정보입력모드, 수확모드, GPS 및 센서모드 등 5개의 모드로 표현 할 수 있었다.
- 수량 측정 오차는 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 2.3%의 오차를 보여 높은 정밀도를 보였으며, 수분 정보도 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 0.2%의 오차를 보였다.
- 수확과 동시에 수확정보를 수치와 지도로 가시화 할 수 있었으며, 필지내 수확량 변이를 포장에서 확인할 수 있었다.

## 제 8절 종합결론

자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템을 개발하기 위해 각 구성센서들에 대한 단위기술들의 개발과 통합보더의 개발, 운영 프로그램의 개발 그리고 주변기기들의 개발하여 포장 성능시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

자탈형 콤바인용 곡물 유량 측정 센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 유량을 계측할 수 있는 곡물 유량 측정 센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과 곡물 저장통에 배출된 곡물 총량과 측정한 실제값과 결정 계수가 0.9949로서 아주 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차는 11.1kg으로서 수확 작업시 포장내 위치별 벼의 수량을 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.
- 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 총 양을 계측할 수 있는 곡물 총량계측센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과, 곡물 총량 계측 센서의 출력 신호와 실제 곡물질량과의 관계가 결정계수로 0.998을 보였으며, 검량선 표준오차는 4.09kg을 보여 포장시험을 실시한 결과, 예측 곡물총량과 실측 곡물총량과의

관계가 결정계수로 0.999를 보였으며, 예측표준오차는 4.46kg, 편이는 -1.93kg을 보였다. 따라서, 이 방식을 이용한다면 곡물의 총량을 계측할 수 있을 것으로 판단되었다.

- 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 당시 곡물의 수분을 계측할 수 있는 곡물 수분 계측센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과, 곡물 수분과 센서 출력값과는 높은 상관관계를 보였으며, 곡물온도가 20℃에서 시험한 결과를 살펴보면, 결정계수의 범위가 0.994~0.998의 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차를 살펴보면 0.256~0.446으로서 높은 정밀도를 보였다. 개발한 곡물 수분 계측센서 모델검증을 위하여 실제 측정한 곡물 수분과 예측한 곡물 수분과는 높은 상관관계를 보였으며, 결정계수 범위가 0.986~0.997을 나타냈으며, 예측표준오차는 0.394~0.659%를 나타내었으며, 편이는 -0.180~-0.154%를 보였다. 따라서, 개발된 센서를 콤바인에 부착하여 포장시험을 실시한 결과, 실제 측정한 곡물 수분과 개발한 센서로 측정한 값 사이에 결정계수가 0.9065를 보였으며 예측표준오차는  $\pm 0.73\%$ 를 보였으며, 편이는 0.05%를 보여 포장내·포장별 곡물의 수분 변이를 수확과 동시에 측정 가능함을 나타낸 것으로 판단되었다.
- 수량정보 계산을 함에 있어서 필요한 곡물 유량 계측 센서, 곡물 총량 계측 센서, 곡물 수분 계측 센서, 작업유무 검출 센서, 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 GPS 등을 메인으로 하는 장치와 각 센서들의 원활한 동작을 위한 주변 장치 등의 신호를 통합적으로 입력받고 처리할 수 있는 통합 보더를 작성하였다. 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 작업유무 검출센서 등을 개량하거나 개발하여 본 시스템이 원활하게 동작될 수 있도록 하였다. 그리고, 수확량 모니터링 시스템을 운영하기 위해 필요한 운영 프로그램의 주요 모드는 보정모드, 포장정보입력모드, 수확모드, GPS 및 센서모드 등 5개의 모드로 표현할 수 있었다. 이 시스템을 이용하여 포장시험을 실시했을 때 수량 측정 오차는 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 2.3%의 오차를 보여 높은 정밀도를 보였으며, 수분정보도 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 0.2%의 오차를 보였다. 끝으로 수확과 동시에 수확정보를 수치와 지도로 가시화 할 수 있었으며, 필지내 수확량 변이를 포장에서 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. BRAIN. 2000. Investigation reporter for precision agricultural mechanization technology in USA.
2. Reyns, P. B. Missotten, H. Ramon and J. D. Baerdemaeker. 2002. A review of combine sensors for precision farming. Precision agriculture 3 : 169~182.
3. Makino E., T. Sugiyama. T. Ichikawa, I. Kitagishi, M. Kawanaka, K. Hamada and H. Kato. 2001. Development of the yield information monitoring unit. Proceedings of 60th Annual Meeting of JSAM : 391~392. (in Japanese)
4. Nelson S. O., K. C. Lawrence, C. V. K. Kandala. 1990. Comparison of impedance and DC conductance sensing for single-kernel moisture measurement in corn. Transactions of ASAE 33(2), 637-641
5. Zaigui Li, Tokumi Fujiki and Susumu Uchida, 1997. Measuring grain moisture using high frequency coil. Bull. Fac. Agri. Saga Univ. 82 : 91-99
6. Kim K. B., J. H. Kim, S. H. Noh. 1999. Development of moisture content measurement device for paddy rice using microwave free space transmission. KSAM24(3) : 235-242(in Korean)
7. Kim K. B., J. H. Kim, S. H. Noh. 2000. A 2×2 microstrip patch antenna array for moisture content measurement of paddy rice. KSAM 25(2) : 97-106(in Korean)
8. Kato K., Takao S., Eigi M., Tomohiko I., 2002. Basic Study of Precision Moisture Measurement for High Moisture Grain (Part 1)- Accuracy Factors and the Bulk Density Correction Electrode of Moisture Meter by Radio Frequency Dielectric Method for Combine Harvester(in Japanese). Journal of JSAM 64(5),68-75(in Japanese)
9. Chosa, T. K. Kobayashi and M. Daikoku. 1998. Investigation of the deviation of the yield in a direct sowing paddy field. Japanese J. of Farm works research 33 Extra Issue 1 : 27~28. (in Japanese)
10. Kobayashi, T. Y. Kanetani. Y. Ogura. Y. Sasaki and K. Tasaka. 1998. Prototype yield monitoring combines(head-feeding type). Japanese J. of Farm Work Research 33 Extra Issue 1 : 29~30. (in Japanese)
11. 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. J. of KSAM. 24(2) : 135 ~ 144.  
(in Korean)

- 12.Chosa, T. Shibata. Y. Omine. M. Toriyama, K and Araki. K. 2004. A study on yield monitoring system for head-feeding combine(part 3) - Systemmization of data acquisition, analysis and mapping -, JSAM 66(2) : 137-144 (in Japanese)

## 제 4장 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수 확량 지도 작성 기법 개발

### SUMMARY

#### 1. Analysing spatial variability of information related by yield

Development of yield monitoring system has developed gradually because is begun from the United States of America, and is one of an precision agriculture technology that is used most vigorously. It is spatial variability analysis of yield information that should be attained with yield monitoring system development. This experiment served and is achieved that spatial variability and limit yield and moisture content of yield in rice paddy field effect getting to yield.

October, 2002, investigated and analyze quantity change in package through statistical analysis by each field after acquire yield information by division with two machine planting cultivation paddy field(0.2ha) of Seoul National University attachment pilot farm site and in two direct seeding cultivation packages (0.4ha) of Cholla-bukdo Gimje vast plain site. And when works harvesting of

each field, before after measure moisture content acquiring sample by division moisture content revision and quantity after revision comparative analysis and moisture content and comparative analysis about yield and moisture content map make and investigated relation between moisture content and yield through comparison with yield map.

Will have to control considering that it is effective that minimise sampling interval for correct yield map making or cutting width and field area of combine.

Width of division at yield information statistics will be available control according to field area, but according to width and length, was judged that below 15m more than 5m.

Yield is similar than field 2 cultivated in same condition in occasion of field 1 that variable rate fertilization processing is enforced but could know that change appears little. Change of yield by point in package can judge that is fair because size of change in each package is shown deviation more than half of average yield usually. When saw as value that appear over in yield measurement that use Sensor, will have to be designed so that measurement may be available more than maximum 1000kg/10a in minimum 300kg/10a low.

Variation of moisture content in same field was not big and spatial dependance did not appear greatly. But, variation between different field is appeared difference according to weather circumstance before harvesting. Change of spatial dependence of yield was not big, because of field variation of moisture content is not big,

## 2. Developing yield mapping technique based on yield monitoring sensor

Yield information that is gotten by yield monitoring system is appeared to set of yield by point data usually. To use displaying yield by map in field, contour map and map of divided by lattice is the most suitable. This experiment was achieved to manufacture by map estimating performance in field of yield monitoring system, and corrects and pigeonhole gotten yield data.

Did first yield information acquisition through yield monitoring system for Sensor-based map creation. For moisture content revision through manual processing cereal of fixed rate by each division using seasoning because do

sampling moisture content measure . Made map after revision using various softwares after that.

Yield per unit area is gotten through grain flow rate and going, cutting width per unit time and this can get unhulled rice yield through water revision. But, early yield information need arrangement again for mapmaking because is consisted of many point data. If must correct error that is corrected time lag that appear until is reached at flow sensor from cutting after in case of combine progresses cutting work preferentially, and appears because cutting width is indefinite, and flux is appeared nearly to almost 0 yield information of when correct value fewer than significance level remove and correct .

### 3. Fitness analysis of yield monitoring sensor in paddy field

Because this experiment is block to given interval in reclaimed land field of Seosan scale than general rice paddy field, execute plant growth investigation, and was achieved to investigate relation of middle growth and yield that is gotten installing yield monitoring system to American large size combine and executes yield monitoring, and utilizes this to basic data of precision agriculture introduction.

Achieved yield monitoring in large size capital field of 1.4ha of possession that install Grain-Trak yield monitoring system that turn in American Micro-Trak company to John Deere 9660 CTS general-type combines and is Seosan reclaimed land. And rice-barley double cropping system cultivation field of Gimje general farmhouse investigates difference with barley field and rice field, and investigated fidelity about barley field of monitoring system achieving harvesting work to use monitoring system developing in agricultural engineering research institute. Made contour map to use each yield information.

When occasion of head-feed combine works general harvesting, there is advantage that loss and damage of cereal are less, but making large size is difficult relatively, and work is difficult in case cereal falls, and there is shortcoming that must arrange entry part manually in the advance. Because conventional combine are big grain loss and damage, and usually are large size, because pressure is big, there is shortcoming that bring hard currency of field but making large size is possible and there is advantage that work efficiency is

finer.

When work harvesting, because cutting width used wide large size combine, number of information by point that is gotten from monitoring system could when enforced harvesting work after establishes same monitoring system to domestic combine, knew that number of data per area decreases remarkably comparing, and when threads and use sensor that error in flow sensor is same to domestic combine because there are a lot of cereal amounts that is flowed in to combine, that compare and decreases. But, because hard to control cutting width changelessly, if do not attach apart cutting width sensor, error can happen much in calculated yield by cereal amount per worked unit area using progress and cutting width.

Leaf area index and number of tillers in large scale reclaimed field were smaller than general field. But, decrease of plant height and yield were not significant. Correlation between yield and LAI appeared, and this shows that we can predict yield by LAI.

## 제 1절 연구개발과제의 개요

수확량 모니터링 시스템의 개발은 미국에서부터 시작되어 점차 발전되어 왔으며, 현 시점에서 가장 활발하게 이용되고 있는 정밀농업 기술 중 하나이다. 수확량 모니터링 시스템은 포장 내의 지점별 수확량을 GPS신호를 이용해 지점정보를 얻고, 곡물 유량 센서를 이용해 시간별 수확량을 측정하고, 속도 센서를 이용해서 이동속도를 측정하고, 추가적으로 수분함량 센서를 이용해 지점별 곡물의 수분함량을 측정 결합하여, 이동속도별 유량을 이용해 지점별 수확량을 GPS의 위치신호와 함께 지도에 표시하며, 수분함량의 보정까지 한 번에 이루어지게 하는 종합적인 프로세스이다. 현재 실제로 많은 수확량 측정 시스템이 미국에서 출시되고 이용되고 있지만 미국에서 이용하는 시스템의 경우는 국내에서 주로 이용하는 자탈형 소형 콤바인과는 맞지 않으며, 곡종의 경우도 옥수수, 콩, 밀 등에 맞추어서 제작이 되고 있다. 또한 소형 콤바인에서 들어오는 곡물 유입량의 신호가 너무 작아서 미국에서 제작된 시스템을 국내 콤바인에 사용 시 오차도 크게 나타난다. 이로 인해 국내 콤바인에 적합한 수확량 모니터링 시스템의 개발이 필요한 것이다.

수확량 모니터링 시스템 개발과 함께 이루어져야 할 것이 수확량 정보의 공간변이성 해석이



다. 이는 수확량이 전체 논 포장에서 어느 정도의 변이나 나타나며, 최소 유입량과 최대 유입량이 어느 정도 편차를 유지하는지를 알아야 센서 개발 시 적합한 측정범위를 알아낼 수 있으며, 추후 수확량 모니터링 시스템을 이용한 정보를 바로 지도로 제작 하는데도 이용할 수가 있다. 이를 위해서는 모니터링 시스템을 이용하지 않고 수작업을 이용해 수확한 포장에서의 지점별 수확량을 측정한 후에 샘플링 격자 크기에 따른 수확량의 공간변이성을 확인하고 이를 이용해 수확량 지도 작성 시 최소 샘플링 격자 크기를 결정하며, 일정 포장 내에서의 수확량의 기술 통계학적, 공간통계학적 변이 해석을 통해 필지별 한계 수확량 변이를 확인해야 하며, 특히 수분 함량이 수확량에 미치는 영향을 측정 및 조사해야 할 필요가 있다.

수확량 모니터링 시스템으로 얻어진 수확량 정보는 일반적으로 지점별 수확량의 집합으로 나타나게 된다. 이는 포장 면적과 콤바인의 진행속도, 콤바인의 작업 면적, 모니터링 시스템의 차이에 따라서 값의 변화가 나타나게 되지만 일반적인 0.4ha포장에서 4조식 자탈형 콤바인을 이용하여 수확할 경우에 수만 개의 지점별 데이터가 얻어지게 된다. 이는 지도로 표현할 경우 포장별로 수많은 점 데이터로 나타나게 되는데 이를 보고 지점별 수확량을 바로 예측하는 데는 한계가 있다. 또한 수확량 모니터링 시스템을 통해 들어오는 데이터는 모든 데이터가 정확하지 않으며, 수확작업이 이루어지지 않는 상황이나 곡물 유입량이 매우 적은 상태 등의 여러 상황에서 그 값에 오차가 발생하게 된다. 포장 내의 수확량을 지도로 나타내서 이용하기 위해서는 격자별로 나누어진 지도나 우리가 흔히 볼 수 있는 등고선 지도인 contour map이 가장 적합하다고 볼 수 있다. 격자별 지도나 등고선 지도 작성을 위해서는 포장의 일정 간격의 지점별 수확량 데이터가 나타나는 것이 데이터를 종합하여 지도를 작성하는데 있어서 유리하다. 그렇기 때문에 수확량 모니터링 시스템을 통해 얻어진 수많은 점 데이터들 중에서 오차가 나타나는 값들을 제거하고, 일정 격자별 수확량을 종합하여 원하는 지점별 데이터로 변환할 필요가 있다. 원하는 지점별 데이터로 변환 후에 이를 이용해서 격자형 지도 또는 등고선 지도로 나타내어 포장내의 수확량 변이를 확인할 수 있다.

본 실험은 위와 같은 논 포장에서의 수확량의 공간변이성과 한계수확량 및 수분함량이 수확량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었으며, 수확량 모니터링 시스템의 포장에서의 성능 평가를 위해 GPS의 오차 및 센서의 보정 기법을 개발하고, 실시간 수확량 센서를 통해 얻어진 데이터를 이용해 등고선 형태의 수확량 지도를 작성하기 위한 데이터 프로세싱 기법을 개발하며, 이를 이용해 작성된 Sensor based map과 Manual based map의 공간변이성을 해석하여 적합도를 검증하기 위해 수행되었다. 그리고 이를 통해서 포장 내 수량에 대한 contour map을 작성할 수 있도록 하였다. 또한 일반 논 포장보다 규모가 큰 서산의 간척지 포장에서 일정 간격으로 구획을 나누어 생육조사를 실시하고, 미국산 대형 콤바인에 수확량 모니터링 시스템을 장착하여 수확량 모니터링을 실시하여 얻어진 중간생육과 수량의 관계를 조사하고, 이를 정밀농업 도입의 기초 자료로 활용하기 위해 수행되었다.

## 제 2절 국내외 기술개발 현황

정밀농업은 1990년대부터 주목받기 시작한 농법으로 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. 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 일정 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.

국내의 정밀농업기계 기술은 농촌진흥청 농업공학연구소와 농업과학기술원을 중심으로 개발하고 있다. 농업공학연구소에서는 1999년부터 미국 미주리 주립대학과 공동으로 정밀농업에 필요한 포장정보 검출 기계기술 개발 연구를 시작하여 정밀농업에 활용되는 수확량, 엽록소, 병해충, 토양 정보 등의 포장 정보 중에서 우선 수확량을 계측하기 위한 기초기술과 벼의 건강도 식별을 위한 엽록소 계측기초기술을 확보하였다. 변량작업기의 제어정보 제공을 위한 경작지 각 지점의 위치에 따른 국부적 작물 생육 정보나 토양 속성에 관한 지리정보기반 의사결정 지원시스템의 구축이 요구되나 국내에서는 이러한 연구가 아직 미진한 형편이다.

미국은 1990년대 초부터 정밀농업이 농업현장에 보급되기 시작하여 정밀농업을 실천하고 있는 면적은 1998년도에 주요곡물재배 면적의 11%인 1천만ha에 달하였다. 곡물수확량모니터는 1992년경부터 보급되기 시작하여 1998년에는 약 23,500대(보급 콤바인의 약 25%)가 보급되어 미국 전체 작물 재배면적의 약 25%에서 사용되고 있다. 이 중 50%이상의 콤바인(면적으로 보면 40%정도)에 수확량정보를 해석하고 전자지도를 작성하는데 기반이 되는 GPS장치가 부착되어 있다. 즉, 작물 재배면적의 10%이상, 전체농가의 13%정도에서 수확량모니터링 장치를 장착한 콤바인으로 농사를 짓고 있다. 전 세계에서 사용되고 있는 곡물수확량 모니터링장치의 약 80%가 미국에서 생산되고 있고, 미국 내에서 가장 많이 보급되고 있는 지역은 중서부 옥수수 생산벨트지대이다. Case Corp.(현재 CNH Gloval N. V.)가 오스트리아, 아르헨티나, 브라질에서 판매하고 있는 콤바인에는 거의 100%가 수확량 모니터링 장치를 부착하여 시판하고 있다.

덴마크는 약 8년 전에 정밀농업 기술의 하나인 수확량 모니터 부착 콤바인을 처음으로 도입하였고 일부 정밀농법을 채용한 농가는 ISO9002(품질관리의 국제기준)과 ISO14001(환경관리 국제기준)의 인증을 받았을 정도로 정밀농업의 인프라가 잘 구축된 상태이다. 유럽의 1999년 수확량모니터 보급대수는 영국이 400대, 덴마크 400대, 독일 150대, 스웨덴 150대, 프랑스 50대, 네덜란드 6대, 벨기에 5대이며, 영국은 Massey Ferguson의 지원으로 Silsoe 대학에서 수확량 모니터링을 개발하였다.

일본은 수도작 중심으로 1997년부터 정밀농업관련 연구가 본격적으로 진행되어 오고 있다. 교토대학, 호쿠리쿠 농업시험장, 생연기구, 농림수산성에서는 외국의 수확량센서를 도입해 기초시험을 실시하고 자탈형 콤바인에 최적의 수확량 센서를 개발하기 위해 박차를 가하고 있으나 아직까지 실용화에는 성공하지 못했다.

### 제 3절 연구개발 수행 방법

#### 1. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석

##### 가. Manual-based Map의 공간변이성 해석

2002년 10월 서울대학교 부속 실험농장 소재 중묘 기계이앙 재배 답작포장(0.2ha) 두 포장을 포장 주위의 3m가량의 보더를 제외한 후 4.5m×4.5m로 총 6×11=66개의 구획으로 구분하였다. 구획 구분을 완료한 후 각 구획별로 콤바인을 이용해 전예한 후 수작업을 통해 무게를 측정하였다. 구획별로 측정된 수확량 정보를 4.5m×4.5m, 6×11=66구획, 4.5m×9m, 3×11=33구획, 9m×4.5m, 6×6=36구획, 9m×9m, 3×6=18구획으로 각각 조정한 후 GS+ 소프트웨어를 이용해 공간의존도 해석 및 지도 작성을 하여 각각의 결과를 비교분석 하였다.

##### 나. 한계 수확량 변이의 공간 해석

2002년 10월 서울대학교 부속 실험농장 소재의 두 기계이앙 재배 답작 포장(0.2ha)과, 전북 김제 만경평야 소재의 두 직파재배 포장(0.4ha)에서 구획별 수확량 정보를 획득한 후 각 포장별로 통계분석을 통해서 포장 내의 수량변이를 조사 및 해석하였다.

##### 다. 곡물수분함량의 수량기여도 공간 해석

각 포장의 수확작업 시 구획별로 샘플을 획득하여 수분함량을 측정한 후 수분함량 보정 전과 보정후의 수량을 비교 분석하고, 수분함량과 수확량에 대한 비교 분석과, 수분함량 지도를 작성하여 수확량 지도와의 비교를 통해 수분함량과 수확량간의 관계를 조사하였다.

#### 2. 수확량 모니터링 센서에 기초한 수확량 지도 작성 기법 개발

Sensor-based map 작성을 위해서 우선 수확량 모니터링 시스템을 통한 수확량 정보 획득

득을 하였다. 2003년 10월 전북 김제 만경평야 소재의 3개의 0.4ha 넓이의 답작포장에서 주 관기관인 농업공학연구소에서 제작한 실시간 수확량 모니터링 시스템 시작기를 이용한 수확 작업이 이루어졌다. 실험포장에 공시된 품종은 남평벼였고, 벼-보리 이모작 포장이었으며, 기계 이앙을 통한 재배가 이루어졌다. 시비는 2개 포장의 경우는 기비와 분얼비 수비에 있어서 타 실험에 연관된 변량시비가 이루어졌으며, 1개 포장은 농가 관행에 따라서 시비처리 되었으며, 이외의 관리는 농가의 관행에 따랐다.

세 포장을 각각 포장 1, 2, 3으로 나누었을 때, 포장1은 그림 4-1과 같이 10m×10m의 단위로 총 30개의 구획으로 나누어 각 구획을 전부 예취한 후에 하역하고 무게를 측정하여 보정을 하였으며, 포장 2, 3의 경우는 그림 4-2와 같이 농가에서 일반적으로 행해지는 수확작업과 유사한 형식으로 작업하고 일회 하역시마다 곡물의 무게를 측정하여 보정에 이용하였다. 수작업을 통한 수분함량 보정을 위해서 각 구획별로 일정량의 곡물을 샘플링 하여 건조법을 이용해 수분함량을 측정하였다.

모니터링 시스템을 통해 얻어진 수확량 정보를 엑셀의 스프레드시트 파일로 변환하고, 엑셀을 이용해 계산 및 보정을 수행하였다. 보정된 data는 Golden software Surfer 8.0을 이용해 Classed post map과 Contour map을 작성하였다.

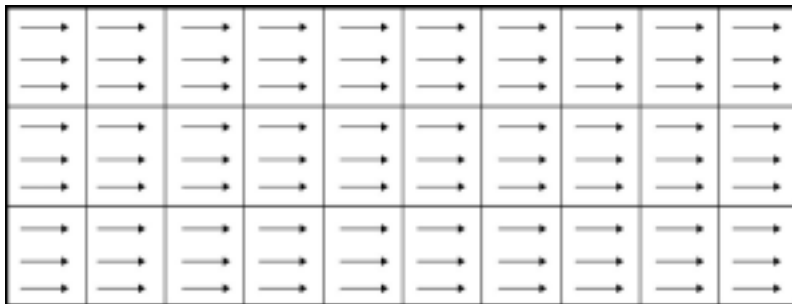


그림 4-1. 포장 1에서의 콤바인 작업 경로

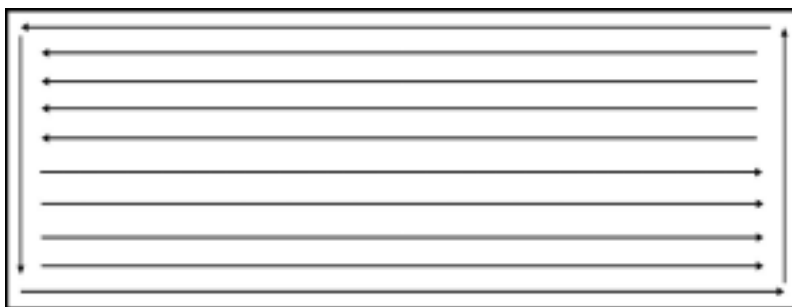


그림 4-2. 포장 2, 3에서의 콤바인 작업 경로

### 3. 수확량 모니터링 센서의 포장에서의 적합도 검정

수확량 모니터링 시스템의 보다 다양한 정보를 얻기 위해 미국 Micro Trak 사에서 나온 Grain-Trak 수확량 모니터링 시스템을 일반적으로 국내에서 사용하는 자탈형 콤바인이 아닌 미국에서 제작된 John Deere 사의 9400 CTS 일반형 (투입식) 콤바인에 장착하고 충남 서산 간척지의 현대서산영농법인 소유의 240m×60m의 1.4ha의 대형 수도 포장에서 수확량 모니터링을 수행하였다. 총 3개의 포장을 사용하였으며, 1개 포장에서 센서의 캘리브레이션 작업을 수행하였으며, 1개 포장에서는 중간생육 정보와 수확량 정보를 함께 획득하였고, 다른 한 개 포장에서는 수확량 정보만을 획득하였다. 이를 통해 투입식 콤바인과 국내에서 사용하는 자탈형 콤바인의 비교 및 수확량 모니터링 시스템 설치시의 장단점에 대해서 조사하였으며, 추가적으로 대규모 간척지 포장에서의 수도 생육과 수량과의 관계성 및 재배 품종인 백진주 벼가 수량성이 일반계에 비해 약간 낮은 중간찰성 품종으로 품종별 차이에 대해서도 조사하였다. 또한 수확 작업 시 운전자는 평소 일반적인 수확작업 시와 같은 작업 경로로 작업을 수행함으로써 농민들이 일반적인 형태로 작업할 시에도 수확량 모니터링에 문제가 없는지에 대해서도 조사하였다.

전북 김제 일반농가의 2모작 보리재배 포장에서는 농업공학연구소에서 개발 중인 모니터링 시스템을 이용해 수확작업을 수행하여 보리포장과 벼 포장과의 차이를 조사하고, 모니터링 시스템의 보리 포장에 대한 적합도를 조사하였다. 작업 수행은 한 개 포장에서 모니터링 시스템의 캘리브레이션을 수행하였으며, 다른 한 개 포장에서 지도 작성을 위한 수확작업을 수행하였다.

수확작업 후 kriging기법을 이용한 contour map 작성은 Gamma design software의 GS+ 3.1 소프트웨어를 이용하였으며, 최초 수확량의 점 데이터를 이용한 Classed post map은 Golden software사의 Surfer 8.0을 이용하였다.

서산에서의 재배는 공시 품종으로는 백진주벼 (*Oryza sativa* cv. Baekjinjubyeo)를 사용하였으며, 중묘 기계이앙 재배하였다. 6월 2일에 이앙되었으며 이앙 전에 기비를 살포하였으며, 분얼비를 생략하고 수비를 살포하였다. 시비에는 항공기를 이용하였으며, 총 시비량은 질소량 기준으로 약 13.2kg/10a이었다. 재배포장의 위치는 충남 서산에 위치한 현대서산영농법인 소유의 포장으로 간척지 포장이며, 간척된 후 10년 이상이 지나서 염해는 거의 나타나지 않는다고 보고되었으나, 토양이 무르고 습해서 수량이 약간 감소되거나 농작업이 어렵다는 보고가 있었다. 포장 위치는 위도 : 36° 36'경도 : 126° 25'이었으며, 면적은 60×240m = 약 1.4ha 로 총 2포장을 이용하였다(그림 4-3). 그중 포장1은 출수기에 생육조사로 초장, 분얼수, 엽면적 지수를 측정하고, 수확 전 각 구획별로 벼 이삭을 샘플링 한 후에 건조법을 이용해 수분함량을 측정한 후 수확량 모니터링을 수행하였으며, 포장2의 경우는 수확량 모니터링만 실시하였다. 각 포장은 20×20m 간격의 36개 격자로 분할하여 (그림 4-4) 조사 및 수확량 지도를 작성하였다.

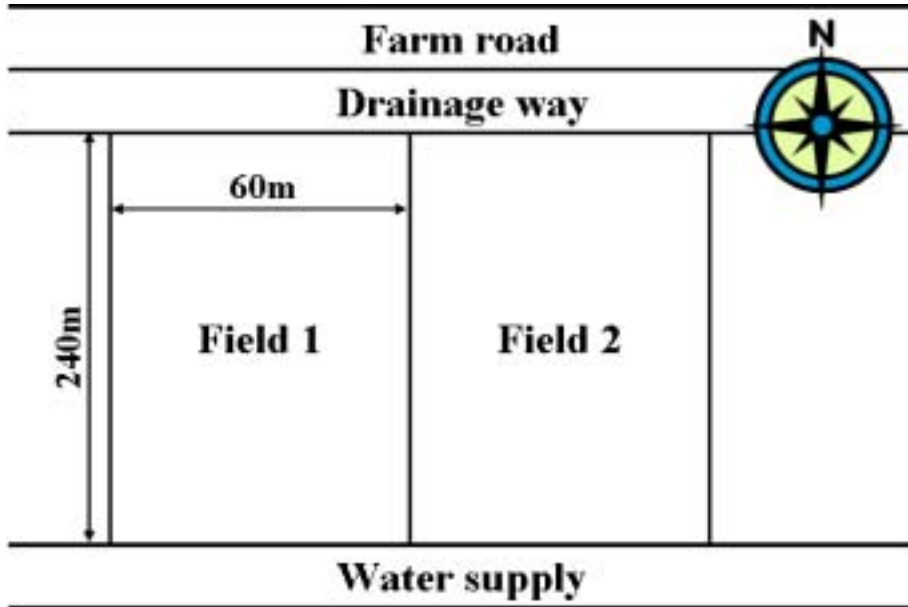


그림 4-3. 포장배치도.

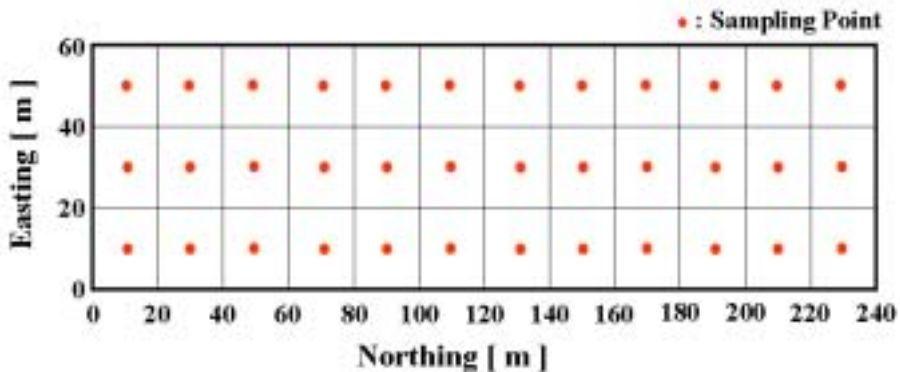


그림 4-4. 실험포장의 데이터 수집 지점.

수확 작업은 현대서산영농법인이 소유하고 있는 미국 John Deere사 9400 CTS 콤바인을 이용하였으며 수확량 모니터링 시스템은 미국 Micro Trak사의 Grain-trak yield monitoring system을 콤바인에 장착하여 이용하였다. 엽면적지수의 측정은 미국 Decagon사의 AccuPAR Model LP-80을 이용하였다. 이 기기는 작물 군락 상·하부의 광합성 유효 파장(PAR: Photosynthetically active radiation)을 측정하여 엽면적지수를 산출하는 기기이다.

## 제 4 절 연구개발 수행 결과

### 1. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석

#### 가. Manual-based Map의 공간변이성 해석

실험에 이용된 포장은 서울대학교 부속 실험농장에 소재한 답작 포장으로 55.5m×35m로 약 0.2ha의 면적으로 두포장이 실험에 사용되었다. 2002년 5월 기계이앙 하였고, 포장1은 기비에서 토양 검정에 따른 변량처리로 비료살포가 되었으며, 기비 이외의 분얼비와 수비, 그 외 재배에서는 작물시험장 수도표준재배법에 준하였다. 포장2는 작물시험장 표준재배법에 준하여 재배하였으며, 공시품종은 추정벼였다. 수확작업은 4.5m×4.5m로 구획을 총 66구획으로 나누어 실시하였으며, 콤바인을 이용해 구획별로 수확 후 전부 하역하여 무게 측정과 수분함량 측정이 이루어졌다.

6×11 구획으로 얻어진 수확량 정보를 세로 방향으로 2구획을 하나로 묶어 평균하여 4.5m×9m로 3×11구획으로 정리하고, 가로 방향으로 2구획을 하나로 묶어 평균하여 9m×4.5m로 6×6구획으로 정리하였으며, 좌우로 인접한 4구획을 통합 평균하여 9m×9m로 3×6구획으로도 정리하였다. 각각에 정리된 수확량정보를 GS+ 를 이용해 정리한 결과 표4-1과 같은 공간통계 지수를 나타냈고, 그림4-5는 포장1에서의 수확량 지도를 나타내고 있다. .

Q값은 공간변이의 연속성을 나타내는 지표로  $Q=(Sill-Nugget)/Sill$ 로서 1에 가까울수록 공간변이의 연속성이 강하고, 0에 가까울수록 공간변이의 연속성이 없다고 판단할 수 있으며, R2값은 결과의 신뢰성을 나타내 준다. 결과를 검토하여보면 두 포장 모두 샘플링 면적이 가장 작은 4.5m×4.5m 구획일 경우가 Q값과 R2값을 함께 비교했을 때 가장 공간의존도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 짧은 방향으로 두 개의 구획을 통합한 4.5m×9m의 경우도 높은 공간의존도 값을 나타내는 것을 알 수 있으며, 4.5m×4.5m 샘플링 시와 Sill값과 range 값에서도 어느 정도 유사성을 나타냈고, 지도에서 보았을 때도 가장 유사한 형태를 나타내고 있다. 긴 방향으로 두 개의 구획을 통합한 9m×4.5m로 샘플링 된 경우는 두 포장에서 모두 R2값이 0이 나왔으며, Range 값이 크게 감소하는 경향을 나타내고 있지만 Q값은 높게 나타나고 있으며, 지도에서도 공간의존도가 적게 나타나고 있지만 4.5m×4.5m로 샘플링 한 경우와 어느 정도 유사한 수확량 분포를 나타내고 있다. 9m×9m로 샘플링 된 경우는 두 포장에서 차이가 나타나고 있지만 공간의존도가 나타남을 알 수 있으며, 지도의 형태도 4.5m×4.5m일 때와 유사하게 나타났다.

결과를 검토하여 보았을 때 우선 샘플링 결정에 이용되어야 할 것이 Range 값인데 Range 값은 대부분 10이상의 값을 나타냈으며, 실험포장보다 넓은 포장에서 실험을 수행한 경우는 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 정확한 수확량 지도 작성을 위해서는 샘플링 간격을 최소화 하는 것이 효과적일 것이나 콤바인의 예취 폭과 포장면적을 고려하여 조절해야 할 것이다. Range 값을 기초로 유추하여 볼 때 포장구획이 10m내외에서 결정되면 신뢰성 있는 수확량 지도를 획득할 수 있다고 볼 수 있으며, 가로와 세로의 구획길이는 차이가 나도 무관하다고 볼 수 있다. Sensor를 통해 얻어지는 수확량 정보는 일반적으로 수많은 점으로 이루어지기 때문

에 추후에 일정넓이의 수확량을 통합하여 통계를 낼 수 있도록 조절하면 정확한 지도 작성을 이룰 수 있을 것으로 판단되었다. 수확량 정보 통계시의 한 구획의 넓이는 포장 면적에 따라서 조절이 가능하겠지만 가로 세로 길이로 봤을 때 5m이상 15m이하가 적당할 것으로 판단되었다.

표 4-1. 각각 다른 샘플링 크기에 따른 쌀 수량의 공간통계 수치

	Sampling size	Nugget	Sill	Range	Q	R <sup>2</sup>	Model
Plo	4.5×4.5m	0.425	1.005	13.30	0.577	0.741	Spherical
	4.5×9m	0.001	0.998	12.51	0.999	0.494	Spherical
t1	9×4.5m	0.022	0.915	4.50	0.976	0.000	Spherical
	9×9m	0.105	1.005	10.65	0.896	0.008	Spherical
Plo t2	4.5×4.5m	0.270	1.025	11.97	0.737	0.712	Exponential
	4.5×9m	0.007	0.988	11.49	0.992	0.562	Exponential
	9×4.5m	0.001	0.957	4.5	0.999	0.000	Spherical
	9×9m	0.267	0.929	17.88	0.713	0.998	Spherical



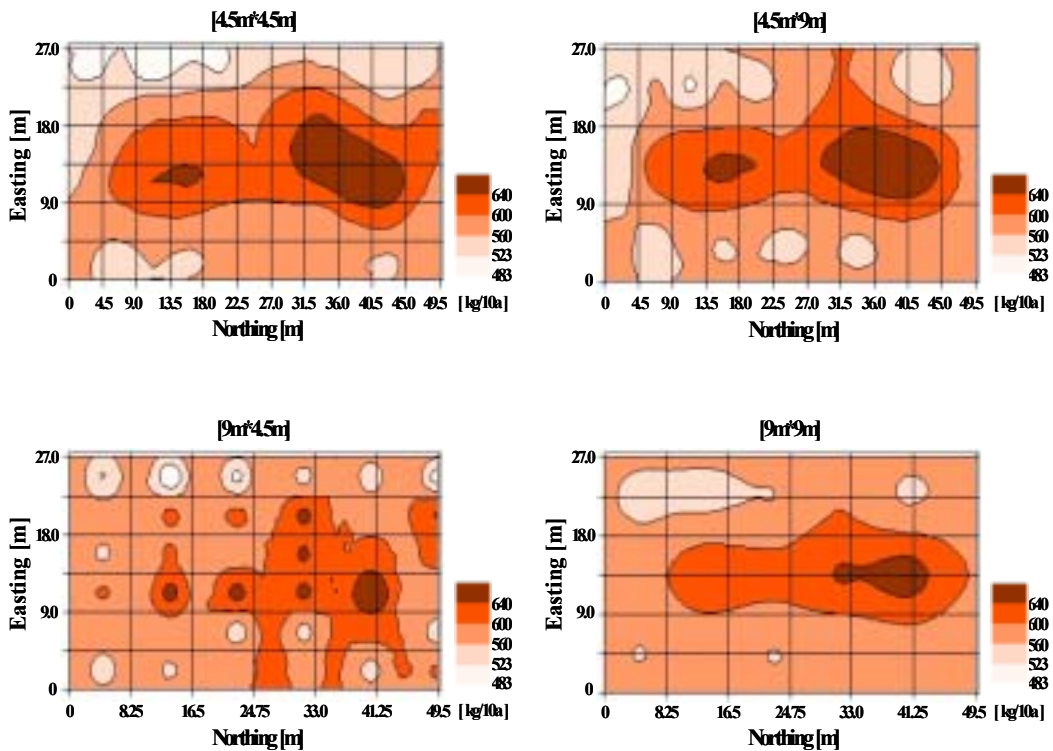


그림 4-5. 각각 다른 샘플링 사이즈에 따른 쌀 수량 지도

#### 나. 한계 수확량 변이의 공간 해석

한계 수확량 변이의 공간해석을 위해 총 4개 포장의 수확량 정보를 획득하였다. 서울대학교 부속 실험농장의 0.2ha 답작 포장 2개(포장 1, 2)에서 2002년도에 공시품종 추청벼로 이앙재배가 이루어졌으며, 포장 1에는 기비 시용 시 토양검정에 의한 변량시비 처리를 하였다. 전북 김제 만경평야 소재의 0.4ha 답작 포장(포장3)에서는 2001년도에 공시품종 삼천벼를 이용한 이앙재배가, 2002년에는 공시품종 남평벼를 이용한 답수직파재배가 이루어졌으며, 2002년 재배 시는 수비 시용 시 토양검정에 따른 변량시비 처리를 하였다. 포장 1, 2는 4.5m×4.5m, 6×11=66구획으로, 포장 3은 8.9m×9.8m, 4×11=44구획으로 분할하여 수확량을 측정하였다. 구획별로 수집된 수확량 정보를 분석하여 각각의 포장에 대한 최대, 최소, 평균값과, 표준편차와 변이계수를 계산하였고(표 4-2), GS+ 를 이용해 공간의존도 분석 후 지도 작성을 실시하였다. (표 4-3, 그림4-6)

표 4-2. 쌀 수량에 대한 통계 수치

Plot	Maximum	Minimum	Average	S. D.	C. V.
Plot 1 transplanting	748.82	376.91	583.68	67.17	11.51
Plot 2 transplanting	722.78	352.20	585.80	73.00	12.46
Plot 3 transplanting	1020.56	750.56	861.90	68.29	7.92
Plot 3 direct seeding	872.61	587.44	660.64	60.72	9.19

표 4-3. 쌀 수량에 대한 공간통계 수치

Plot	Nugget	Sill	Range	Q	R <sup>2</sup>	Model
Plot 1 transplanting	0.425	1.005	13.30	0.577	0.741	Spherical
Plot 2 transplanting	0.270	1.025	11.97	0.737	0.712	Exponential
Plot 3 transplanting	0.707	1.903	48.4	0.628	0.657	Exponential
Plot 3 direct seeding	0.457	0.915	32.10	0.501	0.870	Spherical

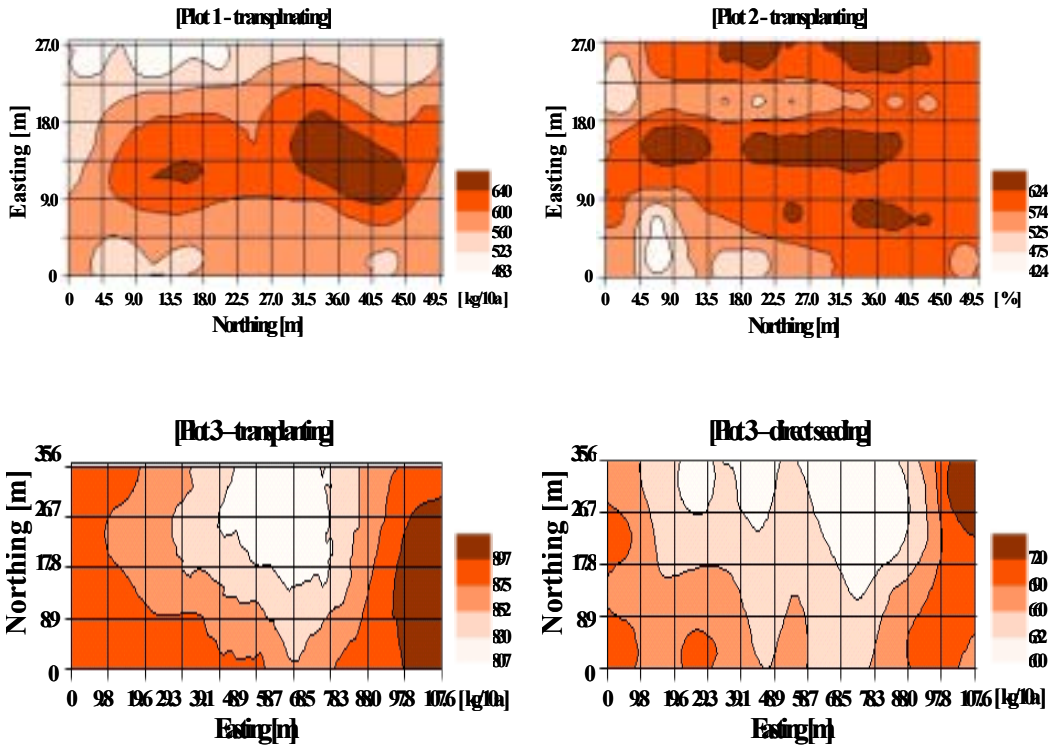


그림 4-6. 쌀 수량 지도

각 포장의 측정값을 보면 R2값이 0.6이상이고 Q값도 0.5이상을 나타내고 있으므로 공간의 존재는 존재한다고 볼 수 있다. Range값은 규모가 작고 한 구획 넓이가 좁은 포장 1, 2의 경우는 10이 조금 넘는 수치를 나타냈고, 포장 3의 경우 30 이상의 값을 나타냈다. 각 포장 수확량의 최대, 최소값을 비교해보면 모두 300kg/10a이상의 변이가 나타남을 알 수 있으며, 표준편차도 60이상이 나타났다. 포장 내 수량의 변이를 나타내기 위해 구한 변이계수를 보면 토질이 좋은 김제에서 포장 내 변이가 비교적 적게 나타나는 이양재배를 한 2001년의 경우가 편차가 가장 적어서 7.92라는 가장 적은 값을 나타냈으며, 변량시비 처리가 된 직파포장인 2002년의 경우도 수원에서 재배된 이양재배 포장보다 적은 9.19로 나타났다. 변량시비 처리가 실시된 포장1의 경우 같은 조건에서 재배된 포장2에 비해서 수량은 비슷하나 변이는 적게 나타남을 알 수 있었다.

각 포장내의 변이의 크기는 일반적으로 평균 수확량의 절반이상의 편차를 보이고 있으므로 포장내의 지점별 수확량의 변이는 상당하다고 판단할 수 있다. 특히 기상재해나 병해충, 백수 현상 등 이상 현상이 발생할 경우는 포장내의 변이가 더욱 증가하게 된다. Sensor를 이용한 수확량 측정에서는 위에서 나타난 값으로 보았을 때 최소 300kg/10a 이하에서 최대 1000kg/10a 이상까지 측정이 가능하도록 설계되어야 할 것이다. 이는 도정하지 않은 정조 수

량 기준이며, 공시품종으로 이용된 품종들은 일반계 품종이기 때문에 초다수성 품종의 경우는 일반계에 비해 1.2배 이상의 수량이 나타나기 때문에 최대 1300kg/10a 이상의 측정이 필요하다.

다. 곡물수분함량의 수량기여도 공간 해석

정조 수량은 14%의 수분함량시의 수량으로 환산하여 이용하게 된다. 그러므로 수분함량은 수확량 정보 획득에 있어서 매우 중요한 사항이다. 곡물 수분함량의 수량기여도에 대한 해석은 위에서 기술했던 서울대학교 부속농장의 포장1과 김제에서 2002년에 포장 3, 직파재 배포장에서 얻어진 수량과 수분함량 데이터를 이용하였다. 우선 수분함량 보정 이전의 수량과 수분함량에 대한 분석 및 지도화를 한 후, 수분함량 보정 후의 정조 수량과 비교하여 수분함량이 수확량에 미치는 영향에 대해서 조사하였다.

표 4-4는 수분함량 보정 전후의 수량과 수분함량에 대한 통계수치를 나타내고 있으며, 표 4-5는 공간통계 수치를 나타내고 있다. 그리고 그림 4-7에서는 각각의 지도를 나타내고 있다. 수분함량은 한 포장 내에서의 변이가 큰 편은 아니었고 공간의존성도 크게 나타나지 않았다. 그러나 포장간의 변이는 수확 전의 기상상황에 따라서 차이가 나타나게 된다. 수원의 실험포장에서는 수확 전 매우 건조한 기상상태가 계속되어 건조도가 매우 높아서 낮은 수분함량 분포를 보였으며, 이로 인해 수분함량 보정 전후의 수확량이 평균적인 수치와 공간적으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 김제의 농가포장에서는 수확 전에 잦은 강우로 인해서 수분함량이 24%이상으로 나타났으며, 이로 인하여 수확량 평균이 수분함량 보정 후 10a당 100kg가까이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그러나 수분함량 자체의 포장 내 변이가 크지 않으므로 수확량의 공간의존도에 대한 변화는 크지 않았다.

표 4-4. 건조 전후 수량과 수분함량의 통계치

Plot		Maximum	Minimum	Average	S. D.	C. V.
Suwon	Wet yield	735.80	370.37	575.47	65.91	11.45
	Dry yield	748.82	376.91	583.68	67.17	11.51
	M. C.*	14.41	11.10	12.77	0.61	4.75
Kimje	Wet yield	996.17	668.54	753.94	69.78	9.26
	Dry yield	872.61	587.44	660.64	60.72	9.19
	M. C.*	27.40	22.57	24.63	0.99	4.03

\* moisture content

표 4-5. 건조 전후 수량과 수분함량의 공간통계 수치

Plot		Nugget	Sill	Range	Q	R <sup>2</sup>	Model
Suwon	Wet yield	0.434	1.009	13.39	0.570	0.739	Spherical
	Dry yield	0.425	1.005	13.30	0.577	0.741	Spherical
	M. C.*	0.680	1.037	24.70	0.344	0.460	Linear
Kimje	Wet yield	0.478	0.957	40.10	0.501	0.915	Spherical
	Dry yield	0.457	0.915	32.10	0.501	0.870	Spherical
	M. C.*	0.089	1.023	8.90	0.913	0.000	Spherical

\* moisture content

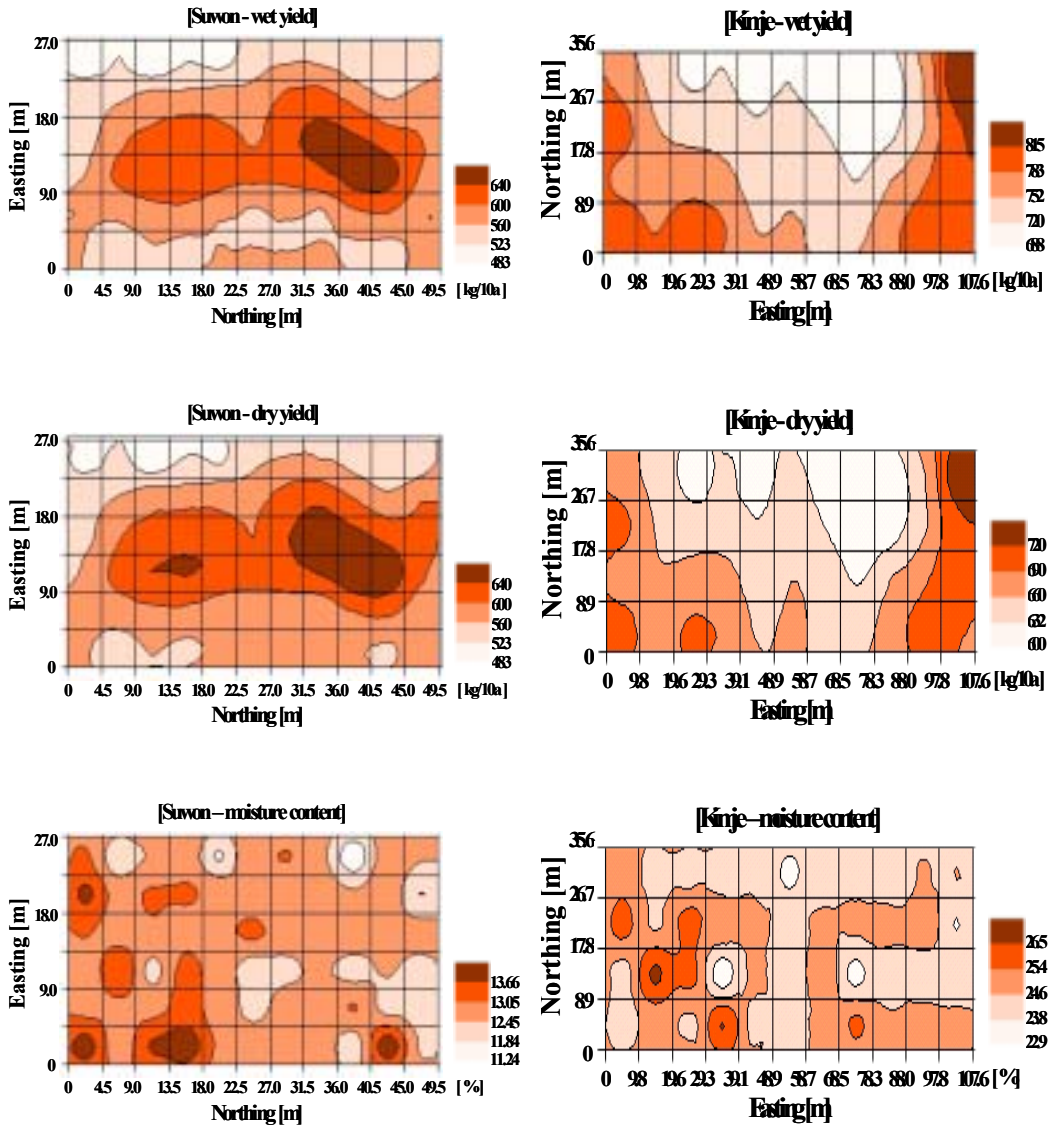


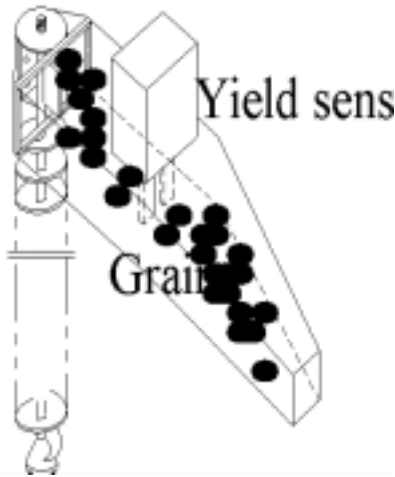
표 4-7. 건조 전후 수량과 수분함량 지도

## 2. 수확량 모니터링 센서에 기초한 수확량 지도 작성 기법 개발

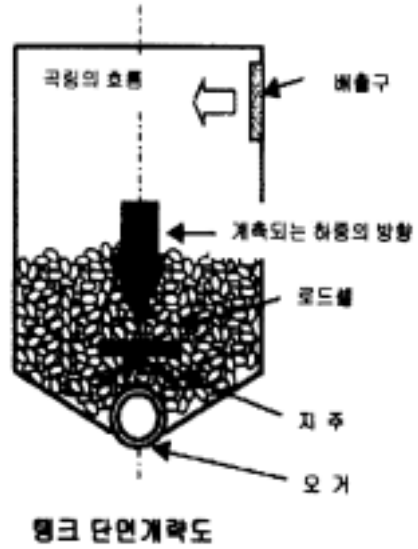
### 가. Sensor-based map 작성 기법 개발

수확량 모니터링 시스템에서 곡물의 유량을 측정하는데 이용되는 센서는 Flow sensor를 이용한 방식과, Load cell을 이용하는 방법이 주로 사용되고 있다. 이외에도 light barrier나 X-ray를 사용해 곡물 유량을 측정하는 방법에 대한 보고들이 있지만 현재 가장 흔하게 쓰이는 방법이 flow sensor와 load cell을 이용하는 것이다(그림4-8).

## Grain elevator



a. Flow sensor



b. Load cell

그림 4-8. 유량 센서와 로드셀을 이용한 곡물 유량의 측정.

Flow sensor의 경우는 곡물이 흘러가는 통로 혹은 곡물 저장 통으로 튀어나오는 곳에 충돌 센서를 설치하여 곡물이 흐르면서 일으키는 충돌의 전기신호를 유량으로 환산해 사용하는 것으로 미국에서 활용되는 많은 수확량 모니터링 기기에 이 방법이 사용되고 있다. Flow sensor 사용시의 장점은 충격량이 유량으로 환산되기 때문에 load cell을 이용할 때처럼 시간별 중량을 빼주는 보정이 필요가 없으므로 유량에 대한 보정이 간단하고, 작업 초기의 진행시작과 센서로의 최초 유입까지의 시간차가 비교적 적게 나타난다. 또한 기존 콤바인에 장착이 용이하다는 장점도 있다. 그러나 작물과 곡종에 따라서 충격량이 달라지기 때문에 작업 초기에 반드시 calibration 과정을 거쳐야만 하며, 곡물 유입이 너무 적거나 많을시, 곡물 통에 곡물이 가득 차갈 때에 오차가 크게 나타나게 된다는 단점이 있다. 또한 충돌센서의 위치에 따른 고장위험이 있다.

Load cell을 이용한 수확량 측정은 곡물 저장 통 하부에 전자저울에 이용되는 load cell을 장착하고 시간별로 증가하는 하중을 이용해 수확량을 측정하는 방법이다. 이 방법은 정확한 센서를 사용할 시에는 곡물을 하역해 무게를 측정해 calibration 하는 과정을 생략할 수 있고, 하중을 이용하기 때문에 곡종의 변화에 따른 차이가 거의 없다. 그러나 수확량 정보를 가공할 때 이전 측정값과 현 측정값을 차를 계산해야 수확량으로 이용이 가능하고, 작업초기 센서까지의 도달시간이 약간 더 길며, 진동에 의한 오차가 나타나게 된다.

수확량 모니터링 시스템을 이용해 얻어진 수확량 정보의 경우 일반적으로 상당히 많은 수의 점 data가 얻어지게 된다. 그러므로 이러한 점 data를 그대로 이용하여 수확량 지도를 작성하

기에는 무리가 있다. 수확량 모니터링으로 얻어진 수량정보를 가공하기 위해서는 우선 단위시간당 곡물유량을 계산해야 한다. Flow sensor를 이용해 측정된 수확량 정보의 경우 유량이 수치화 되어서 표시되게 되며, 초기에 일정량의 작업 후 하역하여 무게를 측정한 후 그 자료를 이용해 calibration하게 되면 일반적으로 자신이 원하는 단위의 수확량으로 표시가 가능하다 (예시: kg/10a 또는 kg/ha등의 단위). 이렇게 되면 단위시간당 곡물 유량을 얻을 수 있다. Load cell을 이용한 경우는 일정시간 경과후의 중량 증가를 수량으로 환산해야 한다. 증가량을 수량으로 환산할 때에는 수작업으로 중량을 측정하거나, 하역 직전 정지 상태에 얻어진 load cell의 중량을 기준으로 환산이 가능하다.

단위시간당 곡물 유량이 결정된 후에는 이론적으로 다음과 같은 식에 의해 수량이 계산되게 된다.

$$Y_G(t) = \frac{m_G(t)}{v(t) \times w_c(t)} \times (1 - U_G(t))$$

$Y_G$ : yield,  $m_G$ : grain mass flow,  $v$ : velocity ,  
 $w_c$ : actual cutting width,  $U_G$ : grain moisture content

단위시간당의 곡물유량과 진행속도, 예취 폭을 통해 단위 면적당의 수량이 얻어지고 이를 수분보정을 통해 정조 수량을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 이론적인 과정을 거쳐도 수확량 정보는 수많은 점 data로 이루어지게 되므로 지도 작성을 위해 다시 정리가 필요하다. 우선은 센서의 오차 및 포장오차에 의해서 나타나는 수확량들의 오차를 제거해 준 후에 필요에 따라서 GPS data를 포장내의 위치좌표로 변환하도록 한다. 수확량 지도에 주로 사용되는 contour map의 경우는 일정 간격의 지점별 data가 있어야 작성이 가능하므로 수량정보를 일정구획별로 나누어 정리한 후에 각 구획별 평균값을 그 구획의 대푯값으로 정한 후에 contour map을 작성하면 보다 수월하게 지도 작성이 가능하다. 여기서 구획의 설정은 공간변이가 존재하는 간격이어야 하며, 농업적인 사용이 용이하도록 정해야 할 것이다.

#### 나. 포장 적응 시 sensor 보정기법 개발

수확량 모니터링 시스템을 이용해 수량을 측정할 경우 수많은 오차가 발생하게 된다. 이러한 오차를 최대한 정확하게 보정하고 사용 불가능한 수치를 제거하는 과정을 통해야만 보다 정확한 수확량 지도를 얻을 수 있다.

우선적으로 수확량 모니터링 시스템에서 나타날 수 있는 오차는 콤바인이 예취작업을 진행



하게 될 경우 예취 후부터 유량센서까지 도달하게 될 때까지 나타나는 시간차가 있다. 즉, 측정된 유량과 위치좌표가 일치되지 않는 것이다. 이는 예취부에서 유량을 측정하지 않는 한은 계속적으로 나타나게 되는 오차이며, 센서 및 콤바인에 따라서 시간차가 10초 이상 나타나기 때문에 이러한 시간오차의 보정이 이루어지지 않는다면 정확한 지점별 수확량을 획득할 수가 없다. 이러한 시간오차의 보정은 수확량 정보 획득 후 예취 시작부터 유량센서 도달까지의 시간을 계산하여 곡물 유량 data를 그 시간만큼 위치정보와 맞추어 주면 보정이 가능하다.

다음으로는 예취폭이 일정하지 않기 때문에 나타나게 되는 오차이다. 현재 국내에서 개발 중인 모니터링 시스템의 경우는 예취 폭 센서를 장착하지 않고 있다. 예취폭이 달라질 경우 그 지점의 수량이 많거나 적게 기록되게 되기 때문에 오차가 발생하게 된다. 이 경우는 수확 작업 시에 작업자가 주의하여 작업을 하게 되면 오차를 줄일 수 있으며, 예취폭이 적을 경우 위치 data에서 차이가 나타나게 되므로 구획별 대포값을 구해 수확량 지도를 작성하게 되면 오차가 줄어들게 된다.

콤바인이 예취를 하지 않고 이동하는 경우에도 수확량 정보가 수집되어 오차가 발생하기도 하는데 이 경우는 콤바인에 run/hold sensor를 장착하여 예취부가 내려가 수확작업을 수행하는 상황에서만 수량정보를 획득할 수 있도록 조정하면 해결이 가능하다. 또는 이 경우에 유량이 거의 0에 가깝게 나타나게 되므로 수확량 정보의 보정 시에 유의수준 이하의 값을 제거해 주면 보정이 가능하다. 이외에 flow sensor를 사용할 경우는 콤바인의 속도가 급격히 변하거나, 너무 천천히 진행할 경우에 실제 유량에 비해서 수확량이 적게 측정되게 되는데 이는 작업 시 일정속도를 유지해서 오차를 줄일 수 있으며, 속도센서를 통해 측정된 속도가 급격히 변하거나 너무 느릴 경우의 수량 정보를 제거해 줌으로써 보정이 가능하다.

이외에 기계적인 오차로써 센서의 정확도 및 calibration 문제, GPS의 wandering 문제, 콤바인에서의 곡물유실 등이 발생하게 되는데 이 경우는 기계의 정밀도를 높이고, 작업시 calibration을 정확히 해주는 등의 대책이 필요하다. Calibration이 되지 않은 수확량 정보는 제거해 주는 것이 좋으며, 얻어진 수확량 정보가 충분하다면 표준편차에서 일정수준 이하를 벗어나는 값들을 제거해줄 경우 보다 정확한 포장 내 수확량 변이를 알 수 있다. 이러한 수량정보의 보정은 최대한 실시간으로 이루어질 수 있어야 하므로 프로그래밍을 통한 일괄처리가 가능해질 경우 수확량 모니터링 시스템의 실용화가 빨라질 것으로 예상된다.

#### 다. Real time yield에 기초한 contour map 작성기법 개발

전북 김제에서 수확량 모니터링 시스템을 통해 얻어진 수량 데이터를 이용해 실제 contour map을 작성하였다. 농업공학연구소에서 개발한 시제품의 경우 flow sensor를 이용한 곡물유량센서와 load cell을 이용한 곡물총량센서를 병용할 수 있도록 설계되어서 실제 수확량 측정과 보정에서 유리하게 사용할 수 있을 것으로 예상되나 이번 실험에서는 flow sensor가

높은 수분함량에 의해 작동되지 않았기 때문에 곡물총량센서로 얻어진 정보를 기초로 하여 수확량 지도를 작성하였다.

1) 포장 1

포장 1의 경우는 10m×10m로 나누어진 구획별로 수확작업을 하였다. 그래서 수량에 대한 보정도 각 구획별로 수작업을 통해 측정된 수량을 이용해서 수행하였다. 각 구획별로 얻어진 중량을 통해 보정을 하였으므로 보다 정확한 보정이 이루어졌다고 볼 수 있다. 그러나 작업시에 예취 후 후진하고 다시 예취 후 후진을 반복하였기 때문에 버려지는 수량정보가 많아서 전체적인 유량의 측정이 낮게 나타나게 되었다. 그래서 최대 최소값의 차이가 크게 나타나게 되었다.

표 4-6. 포장 1에서 수집된 데이터 수와 각각의 통계치

	Initial data	1st corrected	2nd corrected	Final data
No. of data	53910	541	189	30
Minimum	-	3.98	553.64	657.24
Maximum	-	2479.34	1140.71	766.88
Average	-	848.06	843.77	711.62
S. D.	-	519.04	155.05	29.2042
C. V.	-	61.20	18.37	4.103917

각 단계별 data 수와 최대, 최소, 평균, 표준편차, 변이계수는 표 4-6과 같다. 최초에 5만개가 넘는 data는 1차 보정에서 각 구획별로 음의 값을 제거하고, 편차가 ±5이상의 값을 제거해서 나온 값을 10a당 수량으로 환산한 값이다. 최소값과 최대값을 보면 수량정보로 사용이 힘들 정도로 차이가 크게 나타났음을 알 수 있고 표준편차와 변이계수도 매우 크게 나타난다(그림 4-9). 2차 보정에서는 구획별 data를 전체로 통합한 후에 편차가 ±300이상인 값들을 버렸으며 이를 통해 편차 및 변이를 줄일 수 있었다(그림 4-10). 최종적으로는 10m×10m의 30개 구획으로 나누어 평균값을 구해 정리한 후에 지도를 작성하였다(그림 4-11).

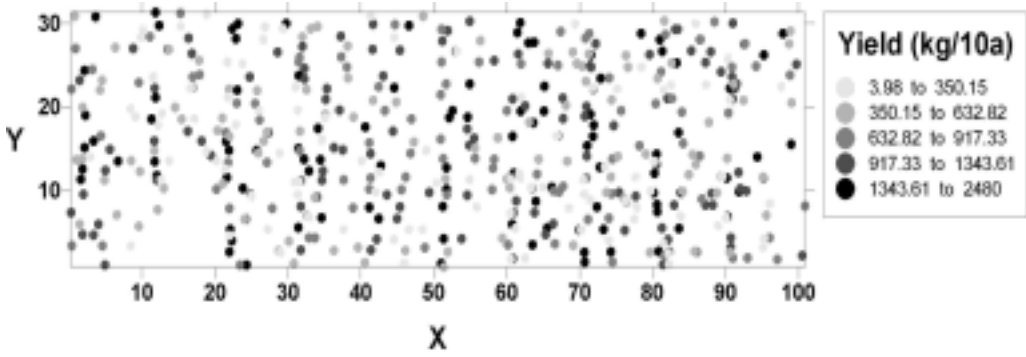


그림 4-9. 포장 1의 1차 보정 후 수확량지도.

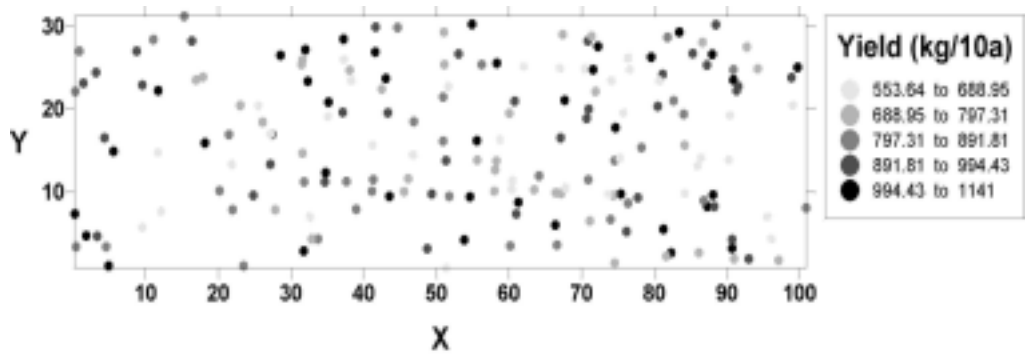


그림 4-10. 포장 1의 2차 보정 후 수확량 지도

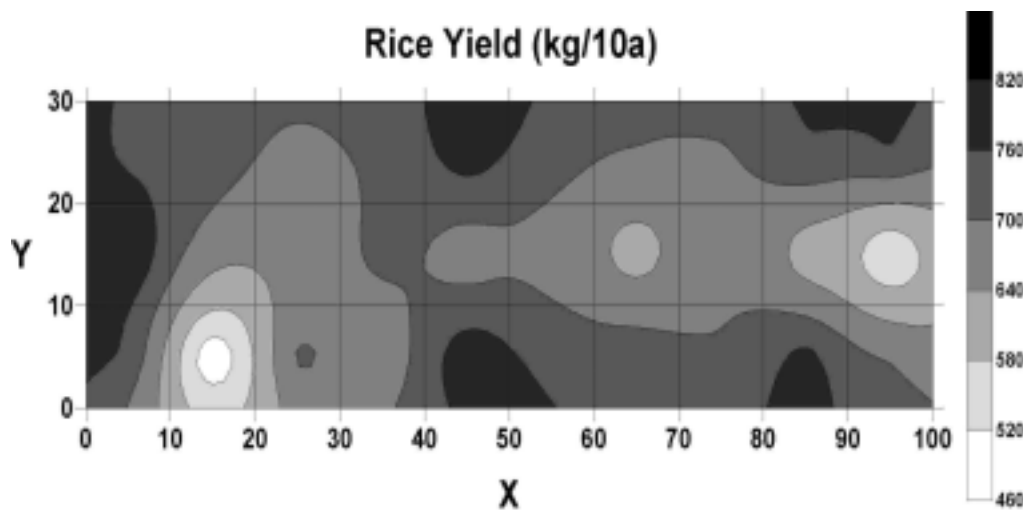


그림 4-11. 포장 1의 쌀 수확량 등고선 지도

2) 포장 2, 3

포장 2, 3의 경우는 구획별로 나누어 작업하지 않고 포장 주변을 예취한 후에 남북 방향으로 길게 예취하는 작업을 반복했다. 보정수치는 하역시마다 중량을 측정하여 포장 내 전체 수량을 구한 후 이 정보를 기준으로 수확량 보정을 실시하였다. 우선 50개 수량정보를 묶어 평균하여 대표값으로 사용하고 이들의 차를 이용해 최초 수량 정보를 구했다. 이후 4 이하의 값을 나타내는 수량 data를 제거해 1차 보정을 했다(그림 4-12, 4-15). 2차 보정으로 추가적으로 오차범위가 큰 값들을 제거해 준 후에(그림 4-13, 4-16) 3×10으로 총 30개의 구획으로 나누어 각 구획에 속한 수량 값들을 정리한 후에 평균을 구해서 그 구획의 수량 대푯값으로 이용하였다. 이후에 수분함량 보정을 거친 후에 contour map을 작성하였다(그림 4-14, 4-17). 표 4-7, 4-8은 각각 포장 2, 3의 보정과정별 data 수와 최소, 최대, 평균값과 표준편차, 변이계수를 나타내고 있다.

표 4-7. 포장 2에서 수집된 데이터 수와 각각의 통계치

	Initial data	1st corrected	2nd corrected	Final data
No. of data	15591	333	254	30
Minimum	-	336.78	336.78	371.91
Maximum	-	2281.35	2213.86	976.83
Average	-	828.94	800.75	704.95
S. D.	-	334.26	302.00	112.75
C. V.	-	40.32	37.71	15.99

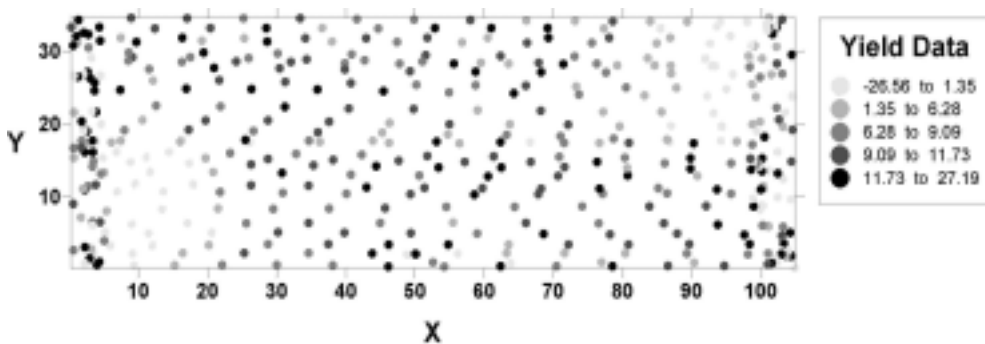


그림 4-12. 포장 2의 1차 보정 후 수확량 지도.

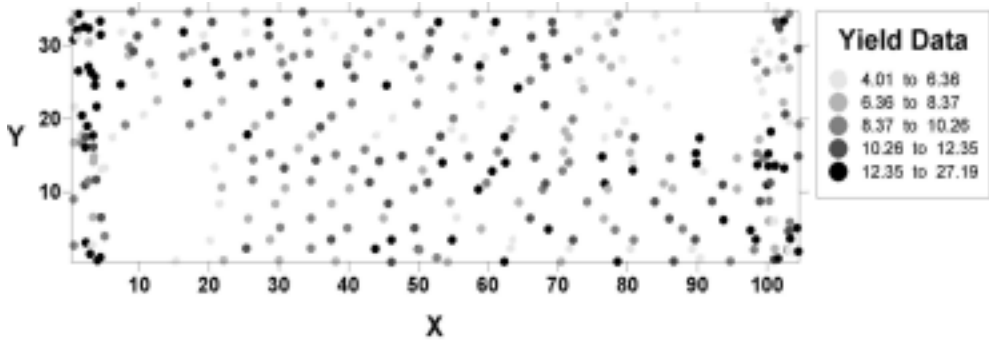


그림 4-13. 포장 2의 2차 보정 후 수확량 지도.

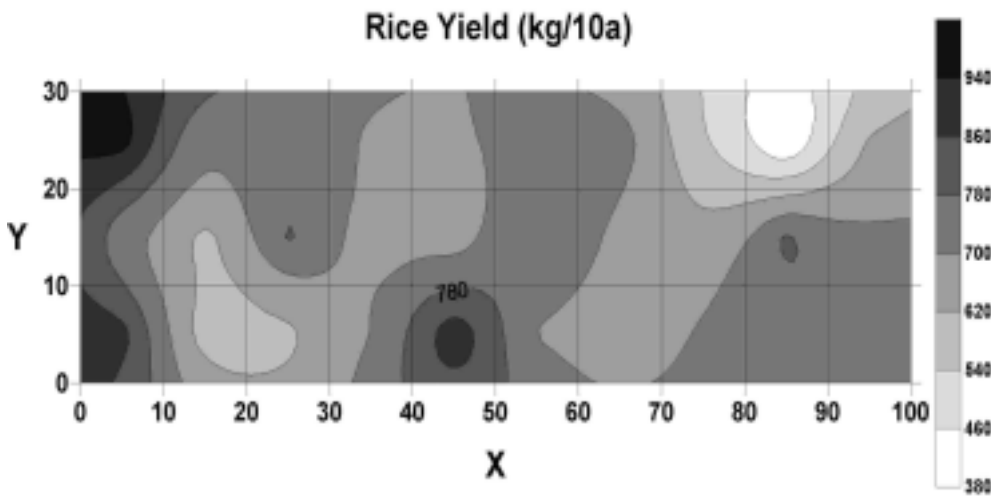


그림 4-14. 포장 2의 쌀 수확량 등고선 지도

표 4-8. 포장 3에서 수집된 데이터 수와 각각의 통계치

	Initial data	1st corrected	2nd corrected	Final data
No. of data	23837	343	269	30
Minimum	-	341.91	340.14	433.67
Maximum	-	2295.68	2283.43	1017.99
Average	-	840.90	843.67	719.19
S. D.	-	352.24	349.77	114.77
C. V.	-	41.89	41.46	15.96

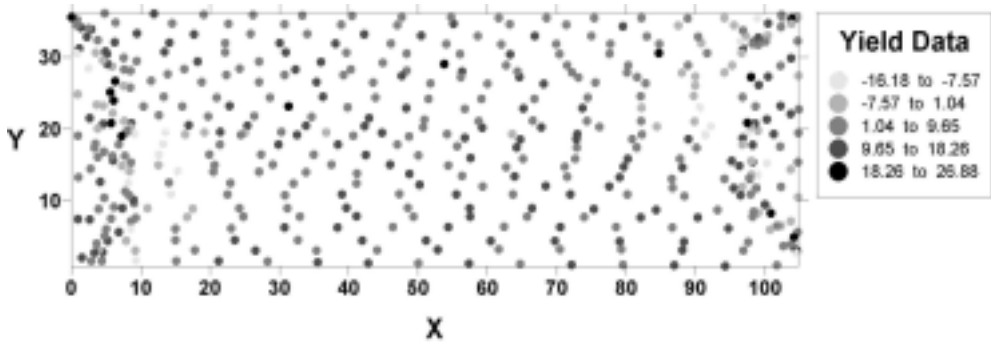


그림 4-15. 포장 3의 1차 보정 후 수확량 지도.

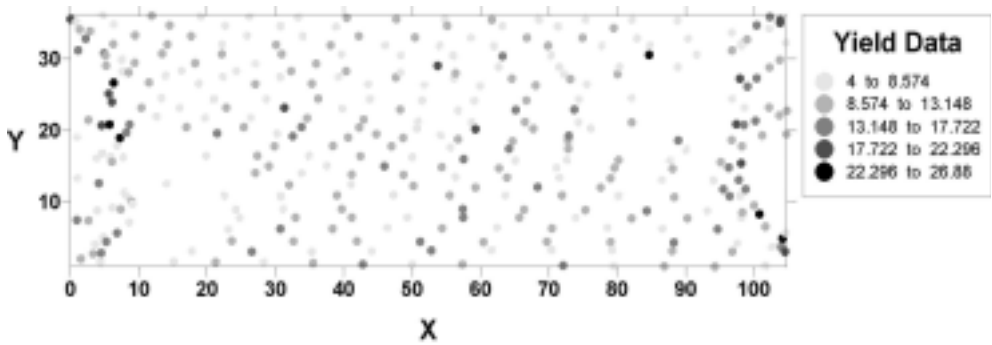


그림 4-16. 포장 3의 2차 보정후 수확량 지도.

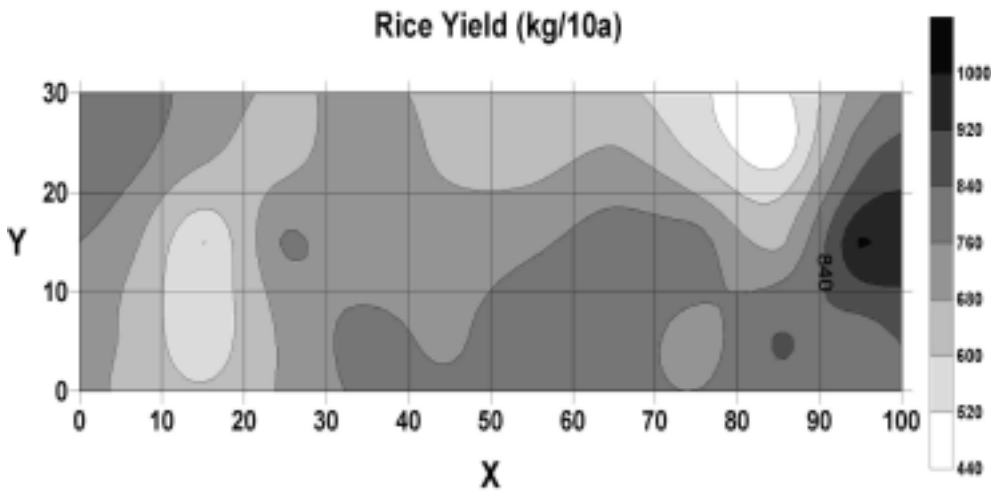


그림 4-17. 포장 3의 쌀 수확량 등고선 지도.

포장 1과 같이 수확작업을 실시한 경우는 예취를 하지 않고 진행하는 시간이 매우 많기 때문에 오히려 보정하기가 힘들었으며, 버려야 하는 값이 많이 나타나게 되었다. 포장 2, 3의 경우도 예취를 하지 않고 진행하게 되는 양쪽 끝에 data 수가 물리는 경향이 나타났고 버려지는 값도 많았다. 실제 수확량 모니터링 시스템을 농가에서 직접 이용하게 되면 포장 2, 3에서의 작업과 유사한 방향으로 진행하게 되고, 예취하지 않고 진행되는 면적이 적기 때문에 오히려 보정시에 버려지는 값은 적어지게 될 것이다. 그러나 이양된 방향을 따라서 진행시는 예취폭을 조절하기가 비교적 수월하지만 이양된 방향에 직각으로 진행시에는 예취 폭을 일정하게 유지하기가 힘들게 되므로 이에 대한 대책도 마련되어야 할 것이다.

### 3. 수확량 모니터링 센서의 포장에서의 적합도 검정

#### 가. 자탈형 콤바인과 일반형 콤바인 비교

국내에서 흔히 사용되는 자탈형(산물형) 콤바인(그림 4-18)은 작물의 밑동까지 베지만 이삭만을 탈곡기에 공급하는 콤바인이다, 그 구조는 쓰러진 작물을 일으켜 세워서 왕복날로 베는 예취부(刈取部), 곡류를 벨트나 체인에 의해서 탈곡부로 운반하는 수송 장치, 자동탈곡기의 구실을 하는 탈곡 선별부 및 콤바인의 몸체를 이동시키는 주행부(보통 무한궤도가 사용된다)로 이루어져 있다. 베는 폭은 60~120cm이고, 이는 조수에 따라서 다르며 2조용(베는 폭 60cm)은 15PS 내외의 내연기관을 장비하고 있으며, 1~2명이 작업한다. 길이는 2~2.5m, 무게는 500~800kg이고, 주행속도는 1~2km/h이다. 작업능률은 콤바인의 진입로, 선회부분 등 낮으로 베어야 하는 면적의 크기에 영향을 받는다. 10a 정도로 구획된 농장에서는 약 6%의 면적을 낮으로 베어야 하며, 이 경우 베는 폭 60cm 정도의 콤바인으로 6a/h, 120cm의 것은 12a/h의 능률로 작업할 수 있다. 그러나 작물이 30°이상 넘어져 있으면 작업능률이 저하되고, 곡식알의 손실과 손상이 증가한다.

보통형(투입식) 콤바인(그림 4-19)은 서양에서 주로 사용되는 대형콤바인이다. 줄기와 이삭을 동시에 탈곡기에 넣는 형식으로 되어 있다. 구조는 자탈형과 비슷하며, 베는 폭은 2~10m이고, 트랙터로 견인되거나 30~90PS의 내연기관에 의해서 작동된다. 길이 7~10m, 무게 3~6t이고, 1~2명이 조작한다. 주행속도는 벼를 수확할 때는 1~2km/h, 맥류를 수확할 때는 3~4km/h이다. 작업능률은 농장·재배조건·작물의 수분, 탈립성(脫粒性), 기계의 조정, 운전기술 등에 따라 달라지나, 보통 베는 폭 2.5m인 콤바인의 작업능률은  $15 \pm 5$  a/h이고, 곡식알 손실은  $6 \pm 2\%$ , 곡식알 손상은  $4 \pm 2\%$  정도이다.



그림 4-18. 자탈형 콤바인. (Kukje KC575G)



그림 4-19. 보통형 (투입식) 콤바인. (John Deere 9400CTS)

자탈형의 경우는 일반적인 수확작업 시 곡물의 손실과 손상이 적다는 장점이 있으나, 대형화가 상대적으로 어렵고, 곡물이 쓰러진 경우에 작업이 어려우며, 사전에 진입부분을 수작업으로 정리



해야 하는 단점이 있다. 보통형의 경우는 곡물 손실과 손상이 크고, 일반적으로 대형이기 때문에 압력이 커서 포장의 경화를 가져오는 단점이 있지만 대형화가 가능하고 작업효율이 더 좋다는 장점이 있다. 국내 실험에서 이용되고 있는 국제종합기계의 콤바인과 이 실험에서 이용된 John Deere사 콤바인의 비교는 표 4-9과 같다.

표 4-9. 국내 콤바인과 미국 콤바인의 비교

Combine type	Kukje KC575G	John Deere 9400CTS
Combine type	Head-feed type	Conventional type
Cutting width	1.44m	6.4m
Grain tank size	1200L	8500L

나. 대규모 포장에서 대형 콤바인을 이용한 수확량 모니터링

실험포장 이외의 한 포장에서 사전에 수확작업을 실시하여 센서의 캘리브레이션이 이루어졌다. 100m 진행을 3회 가량 반복하여 스피드 센서의 보정을 완료하였고, 곡물 유량은 저장 통이 찰 때 까지 진행 후 하역하여 곡물의 총량을 측정하여 보정을 수행하였다. GPS의 경우는 특별한 문제없이 정상 작동하였다.

콤바인에는 각각 진행 속도 측정을 위한 스피드 센서와 투입되는 곡물 량을 측정하는 곡물 유량 센서, 그리고 위치좌표를 얻기 위한 GPS가 장착되었으며, 각 센서는 중앙 모듈에 연결되며 중앙 모듈에 모니터링 시스템을 조절하는 조절부와 저장장치를 연결하여 사용하게 된다. 스피드 센서는 진행속도에 따라서 회전속도가 달라지는 부위에 마그네틱 바를 부착하고 마그네틱 바에서 1cm가량 떨어진 위치에 센서를 부착하여 마그네틱 바가 센서와 접촉하는 주기를 이용해 속도를 측정하는 원리로 (그림 4-20) 구동된다. 단순한 원리이지만 100m 진행시 오차가 1m 이내로 정확한 속도측정을 할 수 있었다. 곡물 유량 센서의 경우는 국내 콤바인에서는 곡물이 저장 통으로 튀어나오는 부위에 장착하게 되어있으나 이번에 이용된 콤바인은 Grain elevator에 장착을 할 수 있었다. 이는 (그림 4-21)통로를 통해 올라오는 곡물의 충격정도를 유량으로 환산하기 때문에 투입되면서 흩어지는 부위에 장착되는 국내형 콤바인에 이용될 때 보다 유량의 변이가 적어지는 효과를 볼 수 있었다. GPS의 경우는 예취부에 가까운 쪽으로 장착하여 최대한 오차를 줄이도록 하였다.

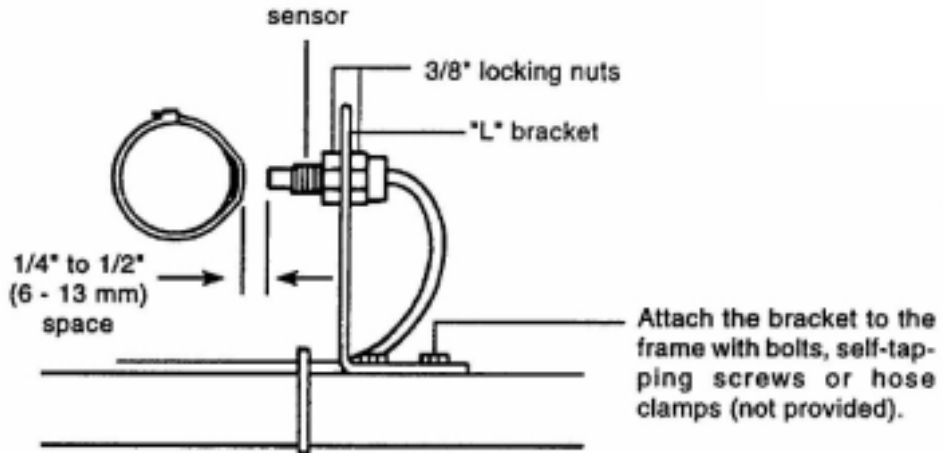


그림 4-20. 자석형 속도 센서.

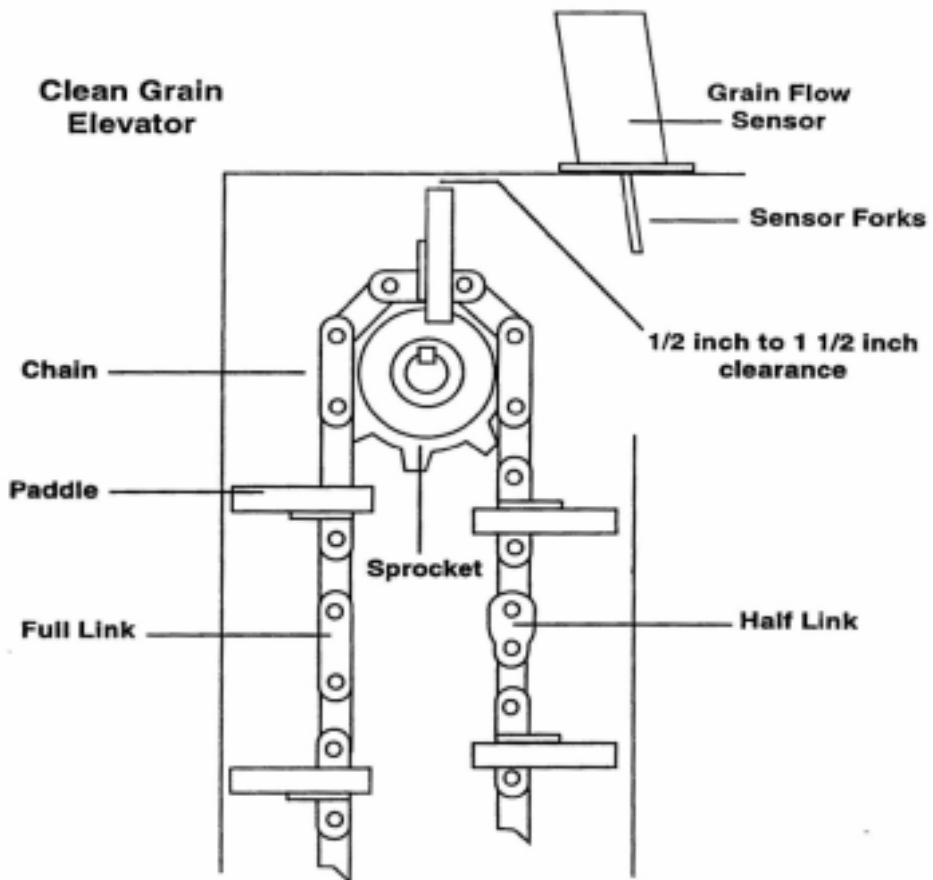


그림 4-21. 곡물 유량 센서.

다. 수확량의 보정

수확량의 보정은 2년차에 개발한 방법을 그대로 이용하였으며, 초기 수확량 정보의 지점별 정보는 예취 폭이 넓은 관계로 포장면적에 비해서 상당히 적게 나타났다. 최초로 얻어진 지점별 수확량 정보 지도는 그림 4-22, 4-23과 같다. 포장 1의 경우는 초기 한 바퀴를 추가 보정에 이용하여 획득한 수량정보가 적게 나타났으며, 두 포장 모두 예취 없이 진행되는 부분에서 0값이 많이 나타남을 볼 수 있다. 이 데이터는 보정 과정 및 좌표변환을 거친 후 신뢰성 있는 수량정보만을 남긴 후에 초기에 구획한 36개의 구획별로 수량정보를 종합하였다.

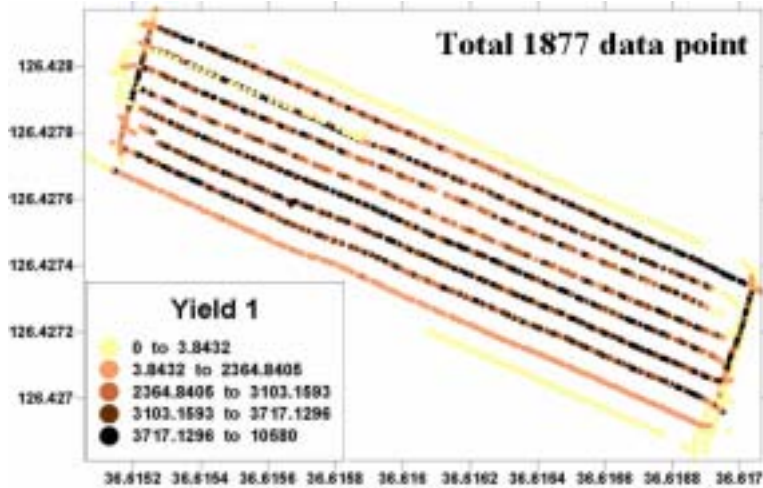


그림 4-22. 포장 1의 지점별 수확량 지도.

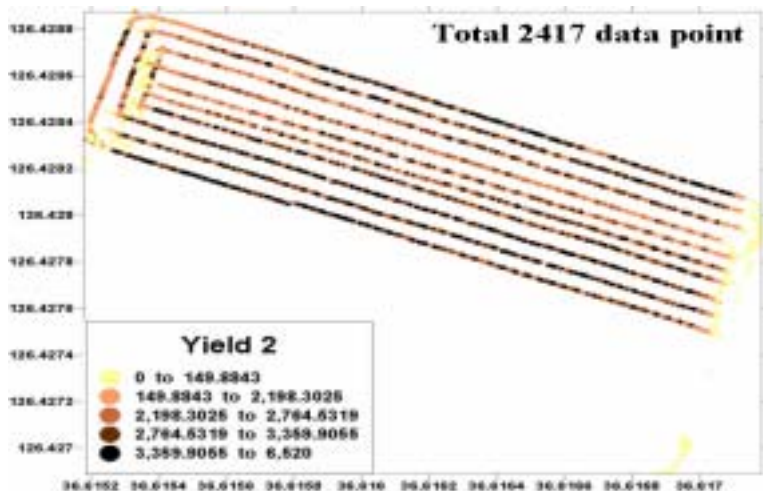


그림 4-23. 포장 2의 지점별 수확량 지도.

구획별로 종합된 수량정보를 이용해 등고선 지도를 작성할 수 있었다. 포장 1의 경우는 수확 전에 측정된 수분함량 데이터를 이용해 14%수분함량으로 보정한 정보를 이용했으며, 포장 2의 경우는 수분보정이 없는 순수 정조수량 정보를 이용했다. (그림 4-24, 4-25)

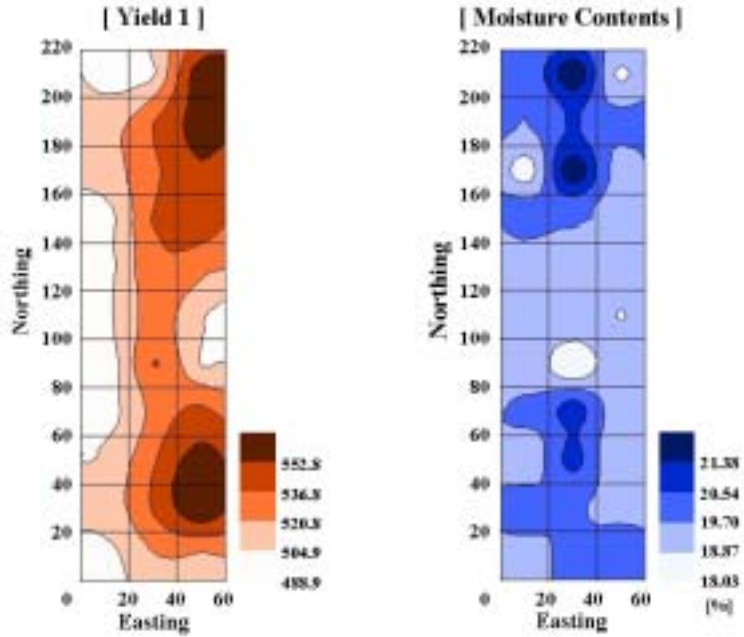


그림 4-24. 포장 1의 수분함량과 수확량 지도.

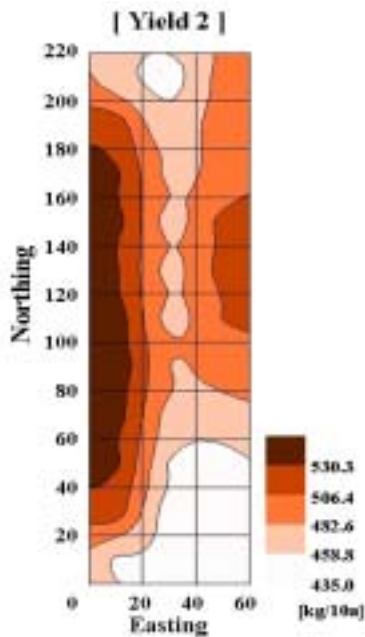


그림 4-25. 포장 2의 수확량 지도.

라. 간척지 포장에서의 생육 및 수량 특성

엽면적지수의 경우는 특히 엽면적지수의 경우 측정기기인 AccuPAR LP-80의 측정치가 일괄적으로 낮게 나타나는 것을 확인했으며, 이에 대해서는 추후 AccuPAR LP-80의 측정치와 실제 포장의 엽면적 지수를 비교하는 실험을 통해 이용 효율을 높이고 보정을 수행할 수 있을 것으로 보인다. 분얼의 경우는 백진주벼의 생육 특성상 일반계에 약간 적은 편이긴 하지만 평균치가 13가량으로 일반 포장에서의 백진주벼의 평균치에 못 미치는 값을 보였다. 이는 생육 중 물 관리 및 영양관리에 따른 문제로 추정되지만 정확한 원인은 찾을 수 없었다. 또한 초장의 경우는 일반적인 백진주벼에 비해 오히려 커지는 경향을 보였는데 이 또한 정확한 원인은 알 수 없었다. 그러나 수량에 있어서는 백진주벼의 일반수량이 520kg/10a 정도로 평균수량을 봤을 때 포장 1의 경우 524kg/10a정도를 나타내 차이가 나타나지 않았다. 이는 관리가 일반 포장보다 어려운 대규모 포장에서도 수량의 큰 감소 없이 재배가 가능함을 보여주는 것이다. 그러나 포장2의 경우는 평균 수량이 490kg/10a를 나타내 수량이 적게 나타났는데 이는 수량 지도에서 수량이 낮게 나타나는 남쪽 부분의 포장에 수분이 많아 질척거림이 수확 시까지 유지되었는데 이런 현상이 등숙 후 황숙기와 수확기까지 계속적으로 유지됨으로써 낱알의 충실도를 낮추어 그 지역의 수량이 크게 낮아지기 때문에 포장 전체 수량을 감소하게 되는 것으로 확인되었다.

수량의 포장 내 변이는 포장 1이 변이계수 5.22, 포장 2가 변이계수 7.63으로 상당히 낮은 값을 나타냈으며, 이는 일반적인 이양포장의 변이계수가 10에 가까운 값을 보이는 것에 비해 포장 내 변이가 크지 않음을 보여주는 결과라 할 수 있다. 그러나 모니터링 후 수확량 지도 작성 시에 보정과정에서의 실수가 나타날 수 있기 때문에 이에 대한 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 중간생육 정보에서는 분얼이 포장 내 변이가 크게 나타남을 알 수 있으며, 초장과 엽면적지수는 포장 내 변이가 크지 않음을 알 수 있었다.(표 4-10)

표 4-10. 생육과 수량의 통계 수치

	Plant height(cm)	No. of tillers	Leaf area index	yield(kg/10a)
Minimum	94	10.7	2.06	485.1
Maximum	111	18.3	2.83	581.4
Average	101.3	13.9	2.41	524.3
S. D.	3.90	1.99	0.21	27.37
C. V.	3.85	14.27	8.87	5.22

표 4-11. 생육과 수량에 대한 공간통계학적 수치

Field	Characteristic s	Nugget	Sill	Range(m)	Q	R <sup>2</sup>	Model
	Plant height	0.436	1.480	199.0	0.705	0.967	Spherical
	No. of tillers	0.182	0.981	26.30	0.814	0.031	Spherical
1	LAI	0.175	1.116	51.50	0.843	0.841	Spherical
	Grain moisture	0.177	0.979	20.00	0.819	0	Spherical
	Yield	0.169	1.039	52.80	0.837	0.880	Spherical
2	Yield	0.039	1.278	111.3	0.969	0.993	Exponential

표 4-11에서 각 중간생육과 곡물 수분함량, 수확량의 공간의존도를 나타내는 지표들을 살펴 보면 공간의존도 정도를 나타내는 Q값이 모두 0.7 이상으로 높은 값을 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 분얼수와 곡물 수분함량의 경우 R<sup>2</sup>값이 낮게 나타나 신뢰할 수 없기 때문에 초장, 엽면적지수, 수량의 공간의존도가 높음을 확인할 수 있었다. 또한 각 수치의 range 값은 20 이상을 나타냈기 때문에 더 세분화된 구획으로 나누어 측정이 힘들 경우에 20m 정도의 간격으로 측정을 실시해도 포장 내 공간변이 측정을 통한 정밀농업의 도입이 가능할 것으로 판단하였다. 이는 그림 11과 이전에 있던 수량지도에서도 영향을 주는 것을 볼 수 있는데 공간의존도가 높은 수치일수록 지도상에서 등고선이 부드럽고 공간의존이 낮을 경우에 부분 부분에 튀는 값들이 나타나는 현상을 관찰할 수 있었다.

표 4-12에서는 각각의 생육지수와 수량간의 상관분석을 실시하였는데 초장과 분얼, 초장과 LAI에서 높은 상관성이 나타났으나 이는 지금까지 알려진 자료와 비교할 경우 큰 의미가 없으며, 수량과 LAI 간의 상관성이 나타남을 알 수 있었다. 이는 곧 LAI가 수량을 예측할 수 있는 지표로 사용할 수 있음을 보여주는 것이라 할 수 있다. 이는 지도상에서도 같은 경향을 보여서 그림 4-26의 엽면적지수 지도와 그림 4-24의 수량지도를 비교할 경우에 어느 정도 비슷한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

표 4-12. 중간 생육과 수량의 상관관계 분석

	Plant height	No. of tillers	LAI	Grain moisture	Yield
Plant height	1				
No. of tillers	0.4477**	1			
LAI	0.4431**	0.3339	1		
Grain moisture	0.0581	-0.1232	-0.2150	1	
Yield	0.2762	0.1839	0.3536*	-0.2380	1

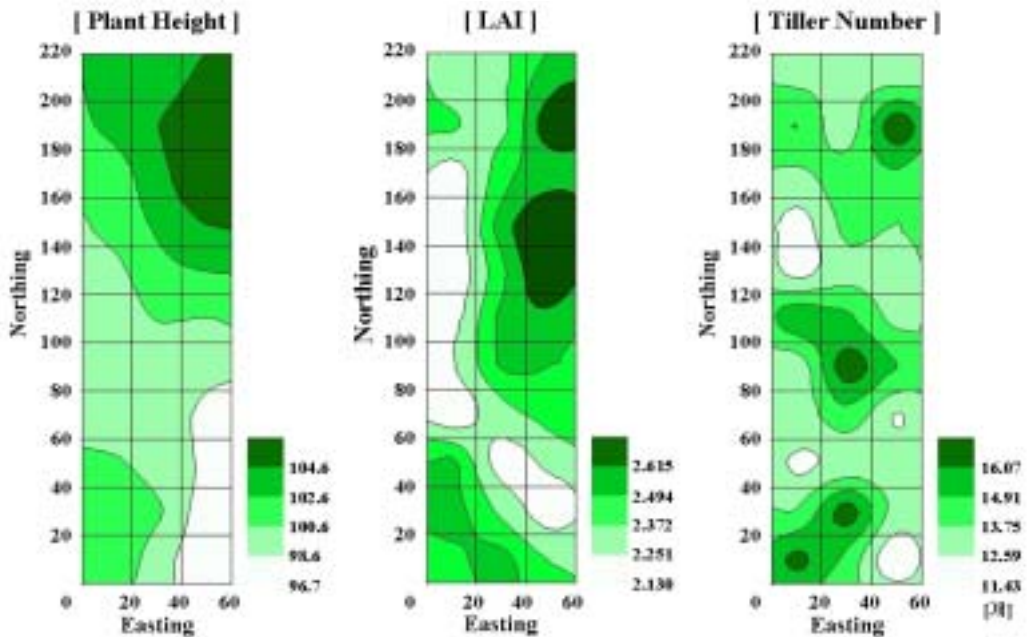


그림 4-26. 포장 1의 초장, 분얼, 엽면적지수 지도.

마. 보리포장에서의 수확량 모니터링

T-150 GPS가 설치된 자탈형 콤바인을 이용하여 전북 김제시 만경평야에서 시험을 실시하였다. GPS의 안테나 설치위치는 예취부의 중심과 예취 날이 정렬된 위쪽에 정확하게 위치하도록 설치부를 제작 부착하여 콤바인의 작업위치를 정확하게 측정할 수 있도록 하였다. 이 포장의 주변에는 큰 건물이나 GPS신호를 방해할 장애물이 없었음에도 불구하고 신호에 에러가 포함된 것을 보았다. 이것은 포장면의 불규칙성에 영향을 받아 GPS안테나가 상·하로 많이 움직였기 때문으로 판단된다. 따라서 GPS안테나가 되도록 요동을 치지 않게 견고하게 설치해야 할 것으로 판단되었다. 그리고 우리가 눈으로 보았을 때 보기 쉽고 m단위로 표시되는 데

이더로 출력하기 위해서는 GPS위치정보의 좌표회전과 좌표변환 그리고 좌표이동이 필요하여 좌표이동을 실시하였다.

다음으로는 O'Conner Engineering사에서 생산한 속도센서(Ground Speed Sensor, Doppler Effect 24GHz)를 콤바인에 부착하여 속도를 측정해 보았다. 그 결과 그림 4-27와 같은 결과를 얻었다. 즉, 이 센서를 이용하여 속도를 측정함에 있어서는 크게 문제가 없었음을 알 수 있었다. 그러나 전진에서 후진으로 바뀔 때 속도가 이상하게 나오고 있으며, 후진을 할 때는 속도가 -로 나오기 때문에 이 부분은 프로그램을 수정 완료한 상태이다.

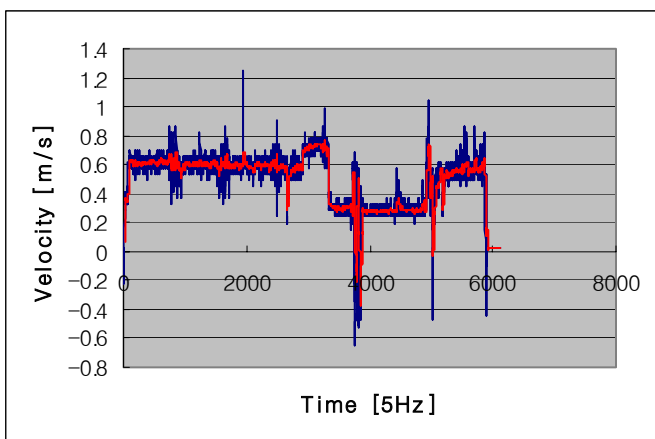


그림 4-27. 속도측정 결과.

실내시험에서 얻어진 곡물유량센서의 시험결과를 토대로 포장시험을 실시하였다. 조사한 포장의 크기는 100×40m(0.4ha)의 2필지를 이용했다. 1필지에서는 센서의 캘리브레이션용으로 사용하였으며, 다른 1필지는 실제로 포장작업을 수행할 때 발생하는 여러 문제점들을 파악하고, 보리수확량 지도를 작성하기 위해서 사용을 하였다. 곡물유량센서의 설치와 신호처리는 실내시험과 동일하게 하였으며, 콤바인의 작업속도는 0.1 ~ 0.9m/s였다. 대상 보리 품종은 신찰쌀보리이며, 측정항목은 유량센서에 의한 출력 값, 곡물탱크에 축적된 곡물질량, 수분 등을 측정하였다. 즉, 곡물탱크가 가득차면 배출시켜 질량과 수분을 측정하였다. 그림 4-28은 포장시험의 광경을 나타내고 있다. 그림 4-29는 포장시험 결과를 나타내고 있다. 이 결과, 포장시험에서는 포장으로부터 발생하는 노이즈에 의해 실내시험보다는 낮지만, 센서로서의 기능을 충분히 할 수 있다는 것을 확인하였다. 그림 4-30는 이 센서의 결과 값과 GPS로부터 취득한 데이터를 이용하여 지도를 작성한 것이다. 그러나 포장시험에서는 이러한 노이즈를 제거할 수 있는 50Hz 정도의 LPF(Low Pass Filter)를 걸어주는 것이 필요할 것으로 생각되었다.

수확량계측시스템을 구성하는 GPS 장치, 속도센서, 곡물유량센서는 신호가 정상적으로 나오



고 있으며, 몇 가지 점만 보완한다면 좋은 결과를 얻을 것으로 생각되었다. 첫째, GPS신호가 중복되어서 나오지 않게 할 것, 둘째로 유량센서의 신호처리에 있어서 노이즈를 제거하기 위해 필터를 걸어줄 것, 셋째로 작업시작과 끝을 알려서 작업방향 조정 시 중복되는 위치좌표를 제거할 것, 넷째로 작업방향 전환 시 수량이 감소되는데 그때의 보정방법 고안 등이다.

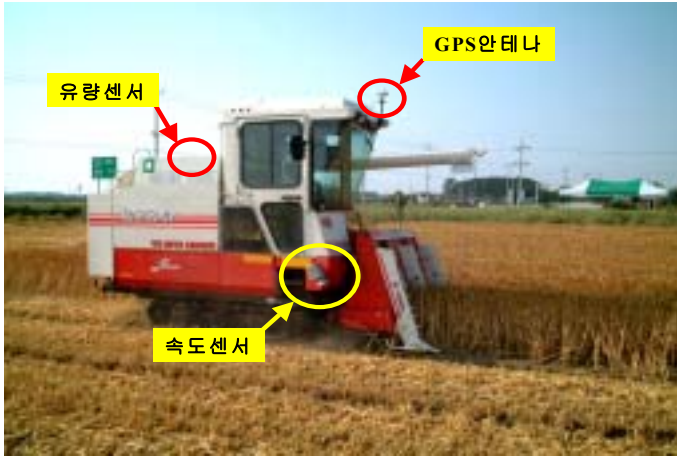


그림 4-28. 포장실험.

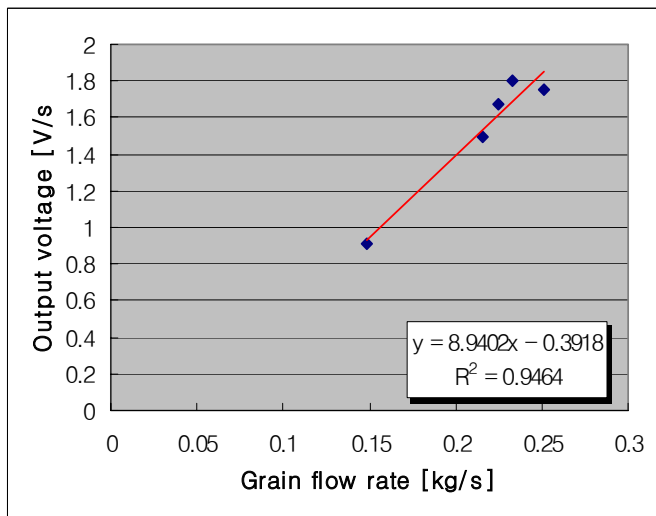


그림 4-29. 곡물 유량과 출력 값의 관계.

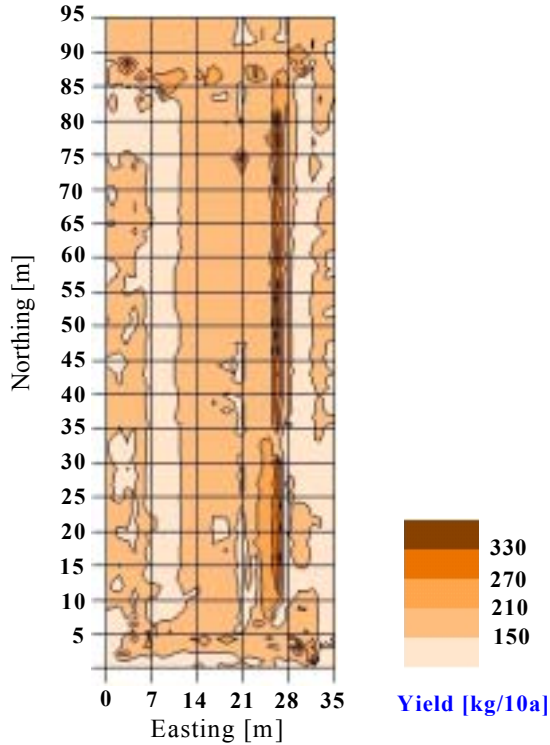


그림 4-30. 수확량 센서를 통해 얻어진 보리 포장의 수량 지도.

## 제 5 절 종합고찰

일반적으로 콤바인으로 수확한 경우의 수분함량은 24%정도를 나타내게 되는데 이는 14% 수분함량 보정 시에 건조 전 수량보다 12%가량 수치가 감소하기 때문에 수확 시 정확한 수분함량 측정은 정확한 수확량 정보 획득을 위해 필수적인 것이라고 할 수 있다. 센서를 통한 수확량 정보 획득시마다 동시에 수분함량 측정이 되는 것이 최선이겠으나, 기술적으로 어려움이 있다면 수분함량의 포장 내 변이는 크지 않기 때문에 수확량 정보 획득과 약간의 시간적 오차가 있더라도 보정이 가능할 것이라고 생각되며, 수확량 정보 가공 시에 구획별 대푯값을 얻어서 이용하는 것도 가능할 것으로 추정된다. 단, 구획별 대푯값으로 이용될 경우는 몇 번의 반복 측정이 이루어져서 오차를 최소화 하여야만 보다 정확한 수확량 정보를 획득하는데 도움이 될 것이다.

수확량 보정 시 각 과정을 거치게 되면서 data 수가 줄어들고 유효한 수량 값이 아닌 부분을 제거하게 되므로 분포의 편차가 줄어들게 되고 변이도 줄어들게 된다. 이렇게 정리된 수확량 정보를 기초로 하여 contour map을 작성할 수 있었다. 그러나 수확량 분포를 보면 최소값과 최대값의 차이가 매우 크게 나타남을 볼 수 있다. 이는 실제 수량에 비해서 모니터링 시스템을

통해 수확량 정보를 얻을 경우 보다 크거나 작은 값이 많이 나타나기 때문인데 보다 정확한 지도 작성을 위해서는 신뢰할 수 없는 값을 제거해야 하지만 그렇게 되면 전체 획득한 수확량 data 수가 점차 줄어들게 되므로 구획 내 대푯값을 얻는데 있어서 문제가 발생할 수 있다. 결과적으로 수확량 보정 과정에서 잘못된 수량 data를 제거할 때 기준을 어디에 두느냐가 가장 중요한 문제이다.

수확작업 시 예취 폭이 넓은 대형 콤바인을 이용했기 때문에 모니터링 시스템에서 얻어진 지점별 정보의 수는 같은 모니터링 시스템을 국내 콤바인에 설치 후 수확작업을 시행했을 때에 비해서 면적당 데이터수가 현저하게 감소하는 것을 알 수 있었으며, 콤바인에 유입되는 곡물량이 많기 때문에 flow sensor에서의 오차가 국내 콤바인에 같은 센서를 장착해 이용할 때에 비해 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 이는 농업공학연구소에서 개발된 flow sensor 및 로드셀을 이용한 센서와는 다른 것으로서 두 가지 센서의 적합도를 직접적으로 비교할 수는 없었다. 또한 보통형 콤바인의 경우는 예취 폭을 일정하게 조절하기가 자탈형에 비해 어렵기 때문에 예취폭 센서를 따로 장착하지 않으면 진행거리와 예취폭을 이용해 산출된 단위면적당 곡물량으로 계산되는 수확량에서 오차가 많이 발생할 수 있었다.

대규모 간척지 포장에서의 시험 결과 국내 타 지역의 일반적인 포장에 비해 엽면적지수와 분얼이 낮은 값을 보였으나, 초장과 수량의 감소는 거의 나타나지 않았다.

## 참고 문헌

1. Agricultural Primer: The Precision Farming Guide for Agriculturists. 1997 John Deere Publishing Dept.
2. Akira Sasao. 1999. Highlights of symposium 「Exploring Precision Farming in Japan」. Special Edition: Technology in the 21st century precision agriculture -trend in USA, Europe and Japan-. Journal of the Japanese society of agricultural machinery 61(1): 30-35.
3. Blackmore, S. 1998 A yield map primer, 日本機械學會 Seminar 23-37 Burrough, P. A. and J. Swindell. 1997. Optimal mapping of site-specific multivariate soil properties. In Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality. p. 208-220. John Wiley & Sons Ltd.
4. Groffman, P. M. 1997. Ecological constraints on the ability of precision agriculture to improve the environmental performance of agricultural production systems. In Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality. p. 52-67. John Wiley & Sons Ltd.
5. Tatsuya Inamura. 1999. Research prospects of precision agriculture in crop science. Special Edition: Technology in the 21st Century precision agriculture. Journal of the Japanese society of agricultural machinery 61(4): 12-13.
6. Youichi Sihbata. 1999. Site-specific crop management for large size paddy field in Japan. Special Edition: Technology in the 21st Century precision agriculture. Journal of the Japanese society of agricultural machinery 61(4): 14-19.
7. 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 Sci. Plant Nutr. 47(2): 291-301.
8. Isaaks, E. H. and R. M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press. New York.
9. Reitz, P., Kutzbach, H.D., 1996. Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. Comput. and Electron. Agric. 14: 137-150
10. Sudduth, K. A. 2001. Precision agriculture data acquisition, analysis, and interpretation: a Missouri perspective. Proceedings of the 3rd Precision Agriculture Seminar. NAMRI, RDA, Suwon, Korea. p. 45-86.
11. Arslan, S., Inanc, F., Gray, J.N., Colvin, T.S., 2000. Grain flow measurements with

- X-ray techniques. Comput. and Electron. Agric. 26: 65-80
12. Clay, D.E., Carlson C.G., et al., 2001. Cleaning yield data. Unpublished.
  13. 野口 伸, 1999. 米國穀倉地帶에서 precision agriculture. 농업기계학회지 61:1 12-16  
<http://www.gpsk.co.kr>
  14. 이춘수. 1998. 토양 검정에 의한 작물별 시비량 결정. 토양 검정과 시비 처방에 관한 심포지움. 제주대학교: 139-151.
  15. 서준한, 이호진, 정영상, 이승훈. 2002. 수도 포장의 토양 및 수량 지도작성과 변량시비 추천. 친환경정밀 농업연구회지. 1(1): 51-60
  16. 이호진, 정지훈, 서준한, 이승훈, 이창환. 2003. 질소 변량시비가 직파재배 벼 수량에 미치는 영향. 친환경 정밀농업연구회지. 2(1): 37-41
  17. 성락춘, 이호진 1997 작물생리학. 번역서 P. 505, 고려대학교출판부
  18. 정선옥. 1999. 정밀농업을 위한 GPS 이용기술. 농업기계화연구소:217-241 홍석영, 1999. 작물 및 경지관리를 위한 RS 및 GIS 이용기술. 정밀농업과 기계기술 전략. 농업기계화 연구소:187-216

## 제 5장 농약 및 비료의 변량제어 시스템 개발

### SUMMARY

This study was accomplished to develop a variable rate granule applicator for paddy production in Korea as a part of development of precision agriculture technology. In this study the granule included granule chemical fertilizer(compound fertilizer) and granule type pesticides.

Precision farming technology is not a fixed technology. It has been developing in many advanced countries in various shape with various purposes. By now, precision farming technology, particularly variable application technology can be divided into two; one is map based, the other is on-line sensor based. In this study, map based variable application was adopted because this method is technically easy to develop as well as we Korea had few research experiences about the precision agriculture technology.

To develop the machine, 3 teams worked together, one team developed hardware such as applicator frame and applicator itself, the other team developed a control system that could control metering device to apply granule at variable rate based on the granule application map and real working speed. The last team developed a DGPS system and a program that could calculate working speed based on the position information from the DGPS system.

Specifications of the granule applicator were decided by conceptual design process. Information on precision farming technology and agronomy, rice cultivation practices, characteristics of available prime movers were considered.

The developed granule applicator was composed of a prime mover(riding type cultivator), a frame mounted on the read of the cultivator, a fan and pneumatic conveying system that was driven by P.T.O. of the cultivator, boom and blow heads, hopper and metering system, controller, DGPS system, and an industrial computer with a monitor that showed field and working path etc.

The developed granule applicator could apply granule fertilizer and chemicals based on the application map, with 10 m of application swath. It could be operated at 0.2 to 0.6 m/s of working speed in paddy fields, regardless of

existence of rice plants. The application rate per unit area could be continuously controlled, but to make matters simple fertilizer application rate was divided into 5 levels. Uniformity of fertilizer application(C.V. value was within 15%) was also satisfactory.

## 제 1절 연구개발과제의 개요

본 연구는 정밀 농업을 기반으로 하는 벼 재배에서 시비지도를 기반으로 작동되는 변량입제살포기를 개발하기 위해 살포 균등도가 고른 분형 입제 살포기와 시비 지도 정보에 의한 제어되는 입제 배출기를 설계·제작하고, GPS 시스템을 도입함으로써 제작된 시스템의 위치 및 속도 정보를 추출할 수 있는 가변 시비 처방 기술개발 및 가변 시비 처방기계 제작을 목표로 한다.

기존 우리나라의 식량정책은 비료 다 투입에 의한 양질미 다수확 정책이었으나, 환경과 최적 조건을 고려하지 않아 논에 투입되는 비료량과 농약량은 갈수록 늘어만 갔다. 이는 식물체가 이용한 비료량 이외의 과다 시비는 부영양화 및 지하수 오염 등을 일으켰고, 질소 과다 시비로 인한 병충해 발생은 농약 등의 화학제 사용을 증가시켜 농업생태계는 많이 훼손되었다. 또한 화학비료와 농약 등 화학제의 과다사용은 식품안정성 문제를 야기할 여지가 있다.

2006년 현재, FTA 협상과 관련하여 우리 농산물, 특히 쌀의 시장 개방에 대한 압박을 조율하고 있는 상황에 직면해 있다. 쌀 시장 개방에 대비하여 값 싼 외국 쌀의 유입에 국산 쌀이 경쟁에 이겨내기 위해서는 소비자 중심의 고품질 부가가치 쌀 재배를 통해 미질 중심의 경쟁력을 갖추어야만 한다. 이는 쌀 생산을 위해 적정 투입과 최대 생산을 도모해야 하며, 이를 통해 친환경적이며 고품질 쌀 생산 기술을 개발하여야 한다. 이를 위해 쌀 생산에 투입되는 화학성분의 정밀처방이 요구된다.

정부는 벼 재배에 논지 크기 당 추천 시비량을 정하여 일률적으로 적용하고 있는데, 지역과 토양의 비옥도를 무시한 시비 획일화로 인하여 비옥한 토양에서는 비료의 과다 사용과 도복의 문제를 야기하고, 척박한 토양에서는 부족한 양분에 기인한 낮은 수량성의 문제점을 발생시켰다.

과거 농업이 농업생태계를 살리고 식량의 지속적인 생산을 목적으로 하였다면, 근래 정밀농업은 농업에 투입되는 농업보조재를 최대한 효율적으로 사용하는데 그 목적이 있다. 특히 우리나라와 같이 벼농사가 주를 이루는 나라에서는 정밀농업의 발전가능성이 매우 크다.

이를 위해 논지의 위치별 작물생산에 필요한 최적의 시비 지도를 바탕으로 일정 구획별 시비량을 결정하여 입제 투입제를 살포하는 입제 변량 시비기 개발이 필요하다.

본 연구를 통해 개발될 작업기는 승용 관리기의 후방에 부착할 수 있도록 개발되며, 송풍식으로 분대를 이용하여 입제를 살포하는 시스템을 개발한다. 작업기의 구성은 원동기, 호퍼, 분배 장치 프레임, 입제 배출 장치, 송풍기, 좌·우·중앙 분과 분두, 시스템 제어박스, GPS 및 레디도 주파수 수신기, 데이터 처리 컴퓨터로 구성된다.



작업기의 살포 폭은 10m이며, 시비 지도의 최소 셀(cell)의 크기는 10m×10m로 결정한다. 시비 작업에서 10cm 간격의 비료 배출 균등도는 10% 이내를 목표로 하며, 이는 분두의 수, 분두 간 거리, 분관 내의 충돌판의 관입 길이 및 분두의 높이와 비료의 물리적 특성을 바탕으로 최적 조건을 시스템에 적용한다.

시스템 제어박스는 시비 지도를 바탕으로 GPS로부터 수신되는 위치 및 속도데이터를 수신하여 작업기의 실시간 위치와 속도에서 살포될 시비량을 결정하여 입제 배출 장치의 모터 회전수를 제어함으로써 입제 배출량을 제어하게 된다. 또한 각 위치에서 입제 배출 장치를 통해 배출된 비료의 양을 저장하여 실제로 각 위치에 뿌려진 비료의 양을 지도화 할 수 있도록 개발한다. 이때 시비량은 5단계로 나누어 균등 시비작업을 하게 된다.

GPS로부터 수신되는 위치와 속도 신호의 오차를 계산하여 비교적 저속으로 시비 작업을 하게 되는 실제 환경에서 나타나는 신호의 오차율을 실험을 통해 분석하여 시스템 적용 가능성을 판단한다. GPS로부터 임의의 농지 윤곽 데이터를 획득하고 시비 지도를 적용하는 소프트웨어 프로그래밍을 통해 개발된 프로그램의 개발을 하게 된다.

## 제 2절 국내외 기술개발 현황

### 1. 국외 기술개발 현황

GIS 소프트웨어와 GPS 수신기를 이용한 경작지 내의 생산량 지도 작성(Starfford 등, 1996)과 비료 및 농약 투입량을 결정하기 위한 속성지도 작성(Yule 등, 1996)에 관한 연구를 기반으로 실제 제초 방제 시스템 개발에 응용하여 성능 검증과 정확도에 대한 연구를 수행(AI-Gaadi, 1999)하였다. 이어서 경작지 내에서의 토양 비옥도, 토양의 물리적 특성, 그리고 생산량 데이터의 공간적 변이를 로 데이터(raw data)로 이용하여 농작물 반응 패턴에 대한 예측과 처방량 산출을 위한 회귀모델 개발에 관한 연구를 전문가 시스템을 이용하여 수행하였다(Fink 등, 2001).

Iida 등(2001)은 0.5ha 규모의 논에 대한 가변 살포용 시작기를 개발하여 경작지내 각 위치에 따른 작업기의 성능을 평가하고 벼 경작에 있어 가변 살포 가능성을 보여주었고, Pokrajac 등(2001)은 경작지내의 국부적인 비료 살포를 위한 의사결정에 신경망을 이용한 추천 시비량 결정에 관한 연구를 수행하였다. 일본에서는 우리나라와 경작 환경과 비슷한 논둑으로 둘러싸이고 평균 면적인 0.3ha 논에 대하여 가변 살포 효과에 대한 연구를 통해 가변 시비의 효과를 설명하였고(Umeda 등, 2001), 두 종류의 액제 비료 살포량 제어를 위한 가변 살포기를 개발하고 작업기의 정적 및 동적 성능평가와 정확도 평가에 대한 연구를 수행하여(Yang, 2001) 정밀 시비 및 방제에 대한 그 효과와 가능성에 대한 제시를 하였다.

## 2. 국내 관련 기술 현황

국내에서는 정밀 살포 기술에 관한 연구 사례가 미진하며, 농업의 세계적인 추세인 정밀농업 구현을 위해서는 우리나라 규모에 맞는 변량 살포기의 설계와 제어 알고리즘 개발 및 제어기 설계에 대한 연구가 진행되어야 한다. 이를 위해 변량 작업기 제어정보 제공을 위한 경작지 각 지점의 위치에 따른 국부적 작물 생육 정보나 토양 속성에 관한 의사결정 지원시스템으로서의 지리정보시스템 구축이 요구되나 이러한 연구에 대한 인식과 진행이 미진하다. 또한 범용 지리정보시스템(GIS) 소프트웨어의 활용은 실용화되고 있으나 농지 정보의 누락 혹은 정밀 농업에서 요구하는 정보의 제공은 불가능하기 때문에 정밀농업에 활용하기는 적절하지 못하다.

정선옥 등(1997)은 승용이앙기의 부착용 작업기로써 송풍식 입제살포기를 개발하기 위한 연구로써 송풍식 입제살포기에 채택된 입제 배출부의 배출특성을 구명하여, 분두의 형태와 크기, 붐의 배치간격, 살포높이 등, 송풍식 입제살포기의 최적살포조건을 결정하였고, 정선옥 등(1998)은 원관 회전식, 송풍식 입제살포기의 적정설계를 위해 주요 설계인자로서 입제비료, 입제농약의 물성을 실험적으로 측정하였다.

이성호(1998)는 입제의 공기역학적 성질에 관여하는 지름, 밀도, 구형률 등의 기초적인 물리적 성질을 측정하고 입제의 크기별, 밀도별, 이송관의 직경별로 부양속도와 약동속도를 측정하여 각 요인이 미치는 영향을 분석하였고 종말속도를 실험식을 통하여 계산하여 부양속도, 약동속도, 종말속도를 비교하였으며 농업용 입제의 부양속도 약동속도의 예측식을 개발하였다.

## 제 3절 입제 농약 및 비료의 물성

### 1. 수도작에서의 표준시비량/ 시비방법 조사

#### 가. 표준 시비량

현재 논에 사용되는 지대 및 논 유형별 표준시비 기준은 표 5-1과 같다. 염해지를 제외한 일반지역에서 10a당 시비량은 질소 11~13kg, 인산 4.4~7.7kg, 칼리 5.7~9.3kg의 범위인데, 인산/ 칼리는 평야지보다 산간 고랭지에서 사용량이 많다.

Table 5-1 The standard of fertilizer application according to area and soil(kg/10a)

지 대	논 유 형	거름주는 양(성분량)		
		질 소	인 산	칼 리
평야지 및 중간지(표고 250m 이하)	보통논, 미숙논	11	4.5	5.7
	모래논, 고논	13	5.1	7.1
중산간지 및 냉조풍지(250 ~ 400m)	-	11	6.4	7.8
	-	11	7.7	9.3
산간 고냉지(400m 이상) 간척지	염해논	20	5.1	5.7

※ 보통논, 미숙논은 밀거름을 전층 시비하는 경우의 시비 기준임

※ 표층 시비할 때는 기준량보다 16 ~ 21% 더 줌. (출처 :표준영농교범 - 76 벼 생력재배)

나. 시비방법(분시율)

비료는 밀거름과 웃거름으로 나누어 준다. 밀거름은 반드시 전층시비(全層施肥)를 하여 비료의 손실을 방지함과 동시에 지속적인 비료공급이 이루어지도록 하여야 한다. 전층시비 방법은 논갈기 직전 또는 썩레질 전에 비료를 골고루 살포하고 썩레질하여 토양 전층에 퍼지도록 한다. 평야지 보통답에서 적기 재배할 때, 질소는 밀거름으로 전량의 50%를 사용하고 새끼칠 거름은 20%로서 모넨 후 12~14일에, 이삭거름은 이삭 패기 전 25일에 20%를 주고, 나머지 10%는 여름울과 벼 알무개를 높이기 위하여 이삭이 썩 때 알거름으로 준다. 인산은 밀거름으로 전량 주고, 칼리는 밀거름으로 70%, 이삭거름으로 유수형성기에 30%를 사용한다. 3요소의 지대별 밀거름과 웃거름을 나누어 주는 방법은 표 5-2와 같다.

Table 5-2 The standard of fertilizer application ratio according to area and soil

지 대			밀거름 (%)	웃 거 림(%)		알거름 (%)
질 소	평야지논 중간지논	보통논 제때 모내기	50	20	20	10
		미숙논 늦 모내기	70	-	20	10
		모래논, 고논	50	20	20	10
	중산간 및 냉조풍지논		60	20	20	-
	산 간 고 랭 지 논		80	20	-	-
	만 기 재 배 논		80	-	20	-
	염 해 논		20	20.20	20.10	10
인 산			100	-	-	-
칼 리	일 반 논		70	-	30	-
	염 해 논		40	30	30	-

(출처 : 표준영농교범 - 76 벼 생력재배)

## 2. 입제 비료와 농약의 물성 조사

국내에 유통되고 있는 비료는 표 5-3, 농약은 표 5-4와 같으며, 본 실험에서는 국내에서 판매량이 많은 제품인 입제 비료 4가지와 입제 농약 3가지를 선정하여, 각 입제의 물성을 분석하여 대표치를 선정하고 이를 입제살포기 개발에 필요한 물성특성을 분석하였다.

Table 5-3 Test materials(Fertilizer)

복 합 비 율	상 품 명	브 랜 드	용 도	
21-17-17	슈퍼 21	남해화학	밀 거 림	
17-21-17	-			
22-12-12	신세대비료			
21-9-14	흙사랑비료			
12-10-9	-			
요소(질소 46%)	슈퍼 알알이			
15-10-10	도우미	경기화학	벼 밀거름용	
18-0-15	NK-마그		이삭거름	
21-12-11	플러스 3	동부한농	밀 거 림	
12-7-6	알찬들			
21-17-17	-			
16-10-10+3	-			수도본답용, 밀거름
17-21-17	-			밀 거 림
10-16-10	-			보리전용, 밀거름

Table 5-4 Test materials(Pesticides)

상 품 명	브 랜 드	용 도	사용량(내용량)	비 고
만드리	동부한농	제초	30kg/ha	육묘상자에 살포
마세트			30kg/ha	
명 가	(주) 미성	살충	50g/육묘상자	
코니도			75g/육묘상자	

가. 입도분석

입제의 입도분석은 체 분석법(ASAE standard)을 이용한다. 체번호 4에서 20까지 9단계의 선별체와 pan을 이용하여 공시재료의 입도분석을 한다. 체 분석시 사용할 샘플량은 500g으로 하고 진탕시간은 5분으로 한다. 이 실험은 추후에 측정하여 국내에서 생산된 입제비료 및 농약에 크기를 측정하였다.

나 산물밀도

입제 비료 및 농약의 산물밀도를 측정하기 위하여 산물밀도 측정에 사용하는 기기를 이용하며, 재료를 낙하시켜 용기에 넘치게 한 다음 산처럼 높게 쌓인 부분은 용기의 입구 높이에서 측면으로 밀어낸 후에 무게를 측정한다. 그림 5-1은 산물밀도 측정 장치의 모습과 치수를 나타낸 것이다.

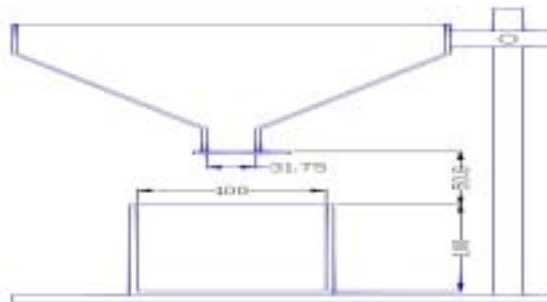


Fig. 5-1 Schematic shape of bulk density measuring device

다. 진밀도

그림 5-2와 같이 비료 50g을 칭량하여 비료와 톨루엔의 총 부피가 200ml가 될 때까지 톨루엔을 부어서 무게를 측정하고, 알려진 톨루엔의 비중(0.87160)을 이용하여 구하였다.

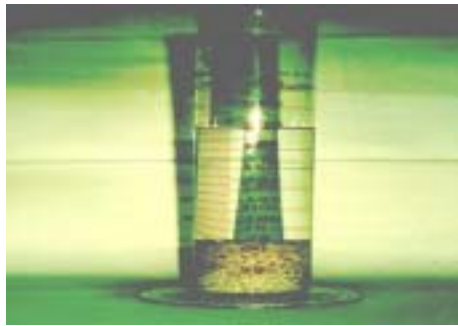


Fig. 5-2 Measurement of particle density

라. 안식각

안식각은 그림 5-3과 같이 측정 장치를 평형하게 위치시키고, 차단판을 느리게 제거하여 비료의 무너진 모양이 X자형이 되도록 하여 무너진 각 2개와 쌓인 각 2개를 측정한 평균값을 취한다.

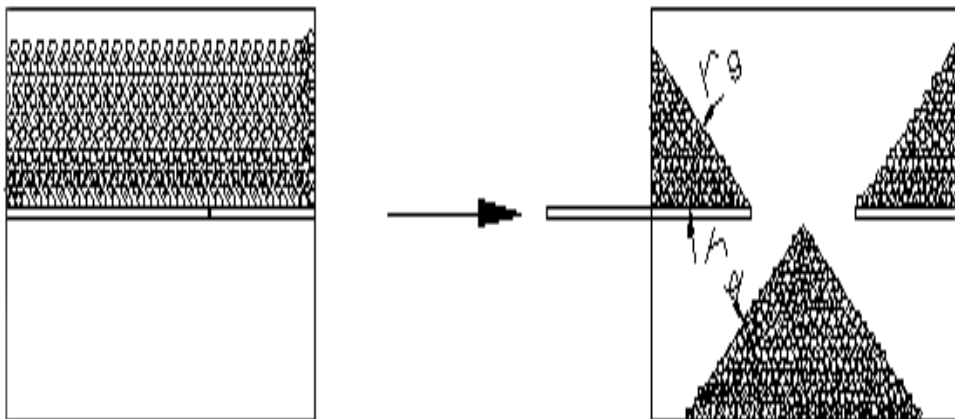


Fig. 5-3 Schematic presentation of experimental process

마. 마찰계수

마찰계수 측정장치를 이용하여 측정한다. 경사각을 키우면서 재료가 미끄러지기 시작하는 순간의 각( $\theta$ )을 측정하고 마찰계수( $\mu = \tan\theta$ )의 값을 결정하였다. 실험 시 입자가 미끄러질 때 구름운동을 방지하기 위하여 그림 5-4와 같이 비료를 청테이프(20mm×20mm)로 고정하였으며, 이 재료를 대상으로 그림 5와 같은 방법으로 기울기 변화를 주면서 측정하였다. 경사각( $\theta$ ) 측정은 디지털 수평계를 이용하였는데 0.1°까지 측정이 가

능하였다.

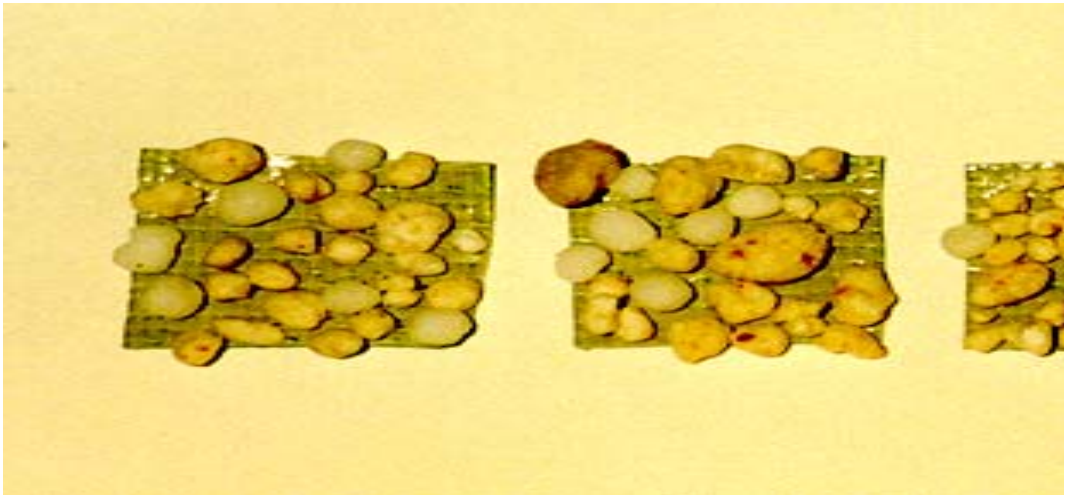


Fig. 5-4 Sample for friction coefficient measurement

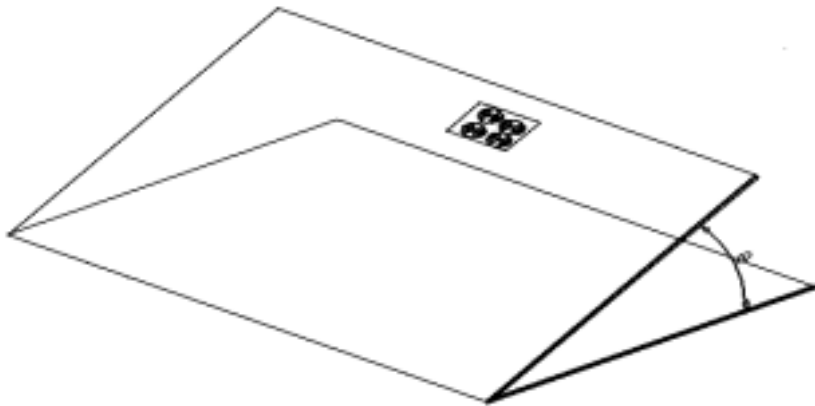


Fig. 5-5 Measurement of friction coefficient

바. 수분흡습률

비료의 살포 작업 시기는 고온다습한 여름에 이루어지고 있으면 종종 비료가 굳어져서 덩어리로 있는 상태를 볼 수 있다. 이는 비료를 대기 중에 장시간 방치하면 대기

중의 수분을 흡수하였다가 고결되어 입체가 덩어리지는 현상으로 살포 작업 시에 방해가 되므로 시간에 따른 수분 흡습률을 알아보았다. 완전건조(100℃/76시간 이후)후 항온흡습기(35℃, 85%)에 넣어 시간 간격으로 실험하여 완전건조 상태를 함수율 0%로 가정하여 수분 흡습하는 정도를 함수율로 정하여 구하였다.

#### 사. 종말속도

물체가 자유 낙하할 때 물체의 항력과 물체의 순수한 중력이 같게 되는 순간의 속도를 종말속도라고 하는데 이 종말속도는 입체가 수직 이동에 관계되는 물리적 특성이다.

공시 재료를 ASAE Standard 319.2에 규정된 체 분석법에 의거하여 중량비 상위 5%에 해당하는 입체가 수거된 체의 직경을 이용하여 입체의 최대 직경값을 얻고, 입체를 완전한 구라고 가정한 후 식 5-1을 이용하여 항력계수와 Reynolds number와의 관계를 구한 후 종말속도를 구하는 공식(Srivastava, 1993)인 식 2를 이용하여 값을 구하였다. 상위 5%의 입체의 직경과 부피는 입도분석에서 mesh No.를 고려하여 충분히 큰 4mm로 정의하였으며, 입체를 구형으로 가정하여 부피를 산출하였다.

$$kRe^2 = \frac{8}{\pi} \frac{G\rho_a(\rho_p - \rho_a)}{g\rho_p\eta_a^2} \quad (\text{식 5-1})$$

$$V_T = \frac{R_e\eta_a g}{d_p\rho_a} \quad (\text{식 5-2})$$

Where,  $V_T$  = Terminal velocity(m/s)

$k$  = drag coefficient

$Re$  = Reynolds number

$G$  = theoretical mass of tested granule × mass density

$d_p$  = diameter of tested granule(m)

$\rho_a$  = mass density of air(kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_p$  = mass density of tested granule(kg/m<sup>3</sup>)

$\eta_a$  = viscosity coefficient of air



$$(1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{sec})$$

$$g = \text{gravity acceleration}(\text{m/s}^2)$$

아. 부양속도

종말속도는 입제의 수직운동과 관계되는 값이며, 관내에서의 입제의 수평운동 관련되는 부양속도는 관내 유속이 증가함에 따라 관 벽에 놓인 입제가 부양될 때의 순간의 속도로 정의되며, 부양속도는 관내에서 입제 이송에 필요한 송풍량을 결정할 주요한 인자임을 알 수 있다. 수평으로 되어있는 분관을 지나는 입제의 이송속도를 구하고자 식 5-1의 부양속도 구하는 공식(이성호, 1997)을 이용하여 구하였으며 구형도는 1로 가정하였다.

자. 반발계수

반발계수( $\epsilon$ )는 출력속도( $V_{Af}$ )에 대한 입력속도( $V_{Ai}$ )의 비로써 입제비료와 충돌판 재료에 따라 값이 달라진다. 속도를 직접 측정하지 않고 충돌할 재질을 바닥에 고정시키고 일정높이( $h_i$ )에서 입제 비료를 자유낙하시켜 튀어 오른 수직높이( $h_o$ )와 튕 수평거리( $d$ )를 고속카메라를 이용하여 측정하고 이를 식 5-3에 적용하여 구하였다. 이 때 공기저항은 무시하였다.

$$\epsilon = - \frac{V_{Af}}{V_{Ai}} = \sqrt{\frac{h_o}{h_i}} \times \frac{1}{\sin(\tan^{-1}(\frac{4h_{out}}{d}))} \quad (\text{식 5-3})$$

3. 입제 비료와 농약의 물성 조사 결과

그림 5-6에서 같이 국내의 입제비료와 농약과 일본에서 생산된 비료에 대해서 진밀도와 산물밀도를 분석한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 국산 비료의 진밀도는  $1\text{g/cm}^3$ 값보다 작았으며, 산물밀도도  $1.5\text{g/cm}^3$ 이하의 값을 보이고 있다. 그러나 입제 농약인 명가는 진밀도와 산물밀도는  $2.35\text{g/cm}^3$ ,  $1.31\text{g/cm}^3$ 으로 다른 것에 비해 크게 나타는 것을 볼 수 있었다. 일본에서 생산된 비료도 국내에서 생산된 것과 큰 차이가 없었다. 설계에 필요한 물성을 평균입경, 밀도, 안식각, 마찰계수 등으로 보았으며, 실험을 통하여 비료의 물성치를 얻은 결과는 표 5-5와 같다.

Table. 5-5 Property of tested fertilizers and pesticides

	Shinsedae	Super 21	Super	Plus 3	Mandri	Maset	Myounga
--	-----------	----------	-------	--------	--------	-------	---------

Materials Property	(22-12-12 )	(21-17-17)	Alali (N 46%)	(21-12-11)			
Geometric mean length (mm)	2.62	1.90	2.75	2.15	-	-	-
Standard deviation (GML)	1.27	1.39	1.43	1.38	-	-	-
Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	1.507	1.405	1.241	1.452	1.756	1.901	2.353
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	0.901	0.781	0.755	0.892	0.855	1.000	1.310
Stable angle of repose (°)	37.7	37.5	36.6	41.6	49.9	40.2	39.9
Active angle of repose (°)	32.0	34.3	33.9	33.4	35.0	33.6	35.7
Terminal velocity (m/s)	11.60	11.26	10.25	11.50	-	-	-
Pickup velocity (m/s)	12.56	14.18	14.19	13.14	-	-	-

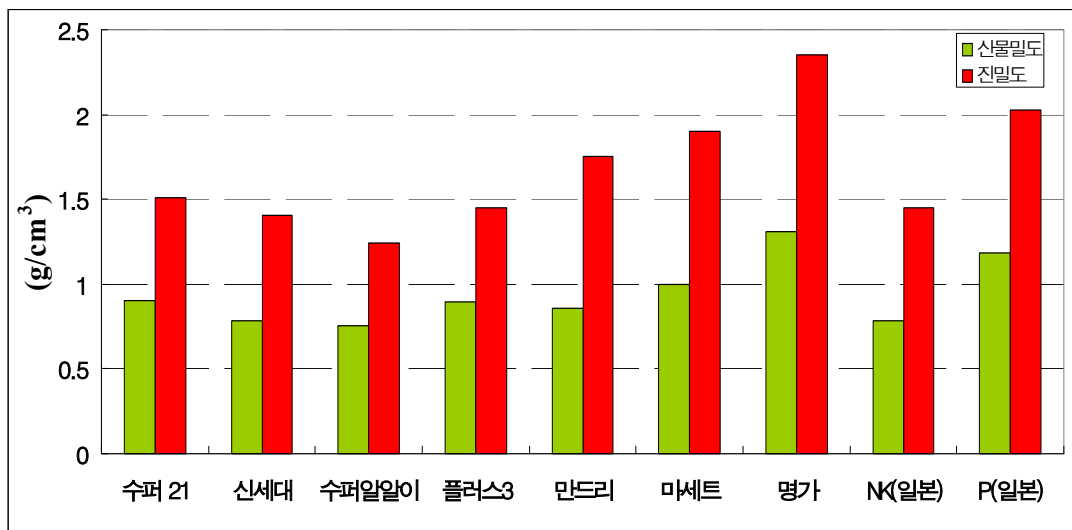


Fig. 5-6 Density of tested materials

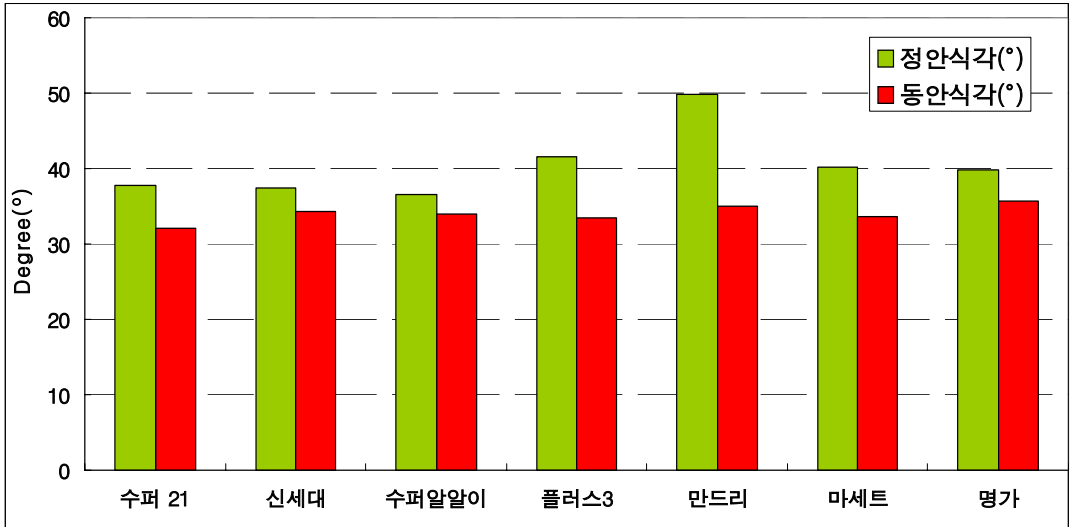


Fig. 5-7 Repose angle of tested materials

그림 5-7에서 같이 정안식각과 동안식각을 측정하였다. 대부분의 입제의 안식각은 40°이하의 값을 나타남을 볼 수 있었으나, 만드리의 정안식각은 50°의 값을 나타내고 있다. 안식각을 측정하여 호퍼를 설계함에 있어서 기초 자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5-6 Coefficient of friction of tested materials

종 류 재 질	Fertilizer				Pesticide		
	Shinsedae (22-12-1 2)	Super 21 (21-17-1 7)	Super Alali (N 46%)	Plus 3 (21-12-1 1)	Mandri	Maset	Myounga
Acrylic	0.33	0.34	0.39	0.43	0.48	0.37	0.37
Steel	0.46	0.48	0.46	0.51	0.42	0.44	0.41
Aluminum	0.45	0.41	0.36	0.38	0.44	0.43	0.39
Rubber	0.85	0.69	0.52	0.75	0.81	0.82	0.77
Paper	0.52	0.57	0.35	0.48	0.47	0.68	0.54
FRC	0.57	0.65	0.51	0.69	0.74	0.83	0.61
PVC	0.39	0.45	0.38	0.37	0.50	0.54	0.44

그림 5-8에서 같이 마찰계수는 고무와 FRP에서 대부분의 재료에서 값이 크게 나타남을 알 수 있었으며 FRP의 안은 표면이 거칠어져 있어서 값이 크게 나타났으리라 판단된다. 이로써 호퍼를 설계함에 있어서 재료의 마찰계수를 줄이고자 한다면, 안쪽 면에 표면처리를 하여 주어야 할 것으로 판단된다.

그리고 실험을 통하여 얻어진 입제 비료의 물성값을 종말속도와 부양속도를 구하는 식에 대입하여 값을 구한 결과 종말속도는 12m/s, 부양속도는 14.5m/s를 넘지 않았으며, 이 결과 값은 송풍기 선정에 중요한 요인으로 작용하였다.

공시 입제 비료의 시간 경과에 따른 수분 흡습도를 측정하고자 직경 90mm인 용기에 각각 50g씩 담아 35℃, 85%의 온·습도 조건의 항온항습기에 넣어 1시간 간격으로 12시간동안 수분흡습량을 측정한 결과, 그림 5-8과 5-9와 같이 나타남을 볼 수 있었다. 시간 경과에 따른 입제 비료의 수분 흡습량은 신세대는 0.66g/hr의 수분을 흡수하였고, 슈퍼21은 0.62g/hr의 수분을 흡습함을 볼 수 있었다.

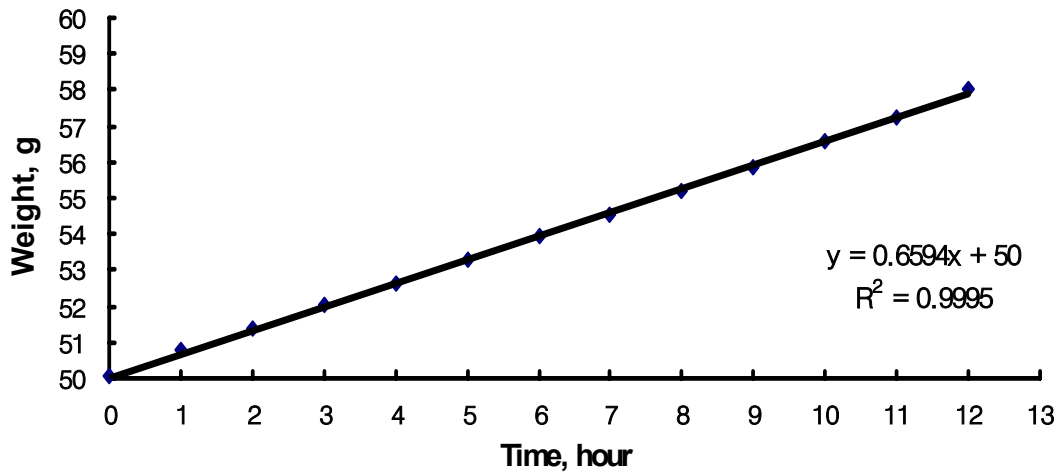


Fig. 5-8 Moisture absorption of granular fertilizer (Shinsedae)

#### 4. 국외 개발된 입제 살포기와 공시 개발기의 비교

##### 가. 국내외 입제 살포기 비교

ISEKI 사의 송풍식 입제살포기를 분석하여 입제 비료 및 농약의 변량살포기의 설계함에 있어서 기초 자료를 삼고자 하였다. 다음에 나오는 값들은 ISEKI 사의 송풍식 입제살포기의 배출장치에 대해서 요인실험을 측정한 값이며 이 과제에서 개발하고자 하는 변량살포기의 비교분석하였으며, 국내에서 제시된 수도작에서 표준시비량/시비 방법에 따라 새로이 배출장치 및 각부를 설계하였다.

Table 5-7 Comparison of granule applicator's specification

작업기 spec	송풍식 입제살포기 (ISEKI 1HB-181LP)	입제 변량살포기 (연구과제)
팬	원심팬 : (터보팬 깃 12개 깃 각도 45°) 3000rpm 이상으로 회전 PTO 회전축에서 이중벨트로 구동	원심팬
송풍량조절	1. PTO 속도로 조절 2. 팬의 출구에서 8단 조절(수동)	PTO축의 속도조절
송풍방식	두 개의 관은 좌우 배출장치 뒤쪽으로 연결 주 이송관은 배출장치를 지나오는 두 개의 관과 다시 만남	좌우 두개씩 총 4개의 분지관을 설치하여 입제배출장치 뒤쪽에서 불어나오도록 설계
분두개수	18개	12개
봄길이	8.6m	7.2m
살포폭	15m	10m
미터링 디바이스 (배출장치)	한 개의 DC모터가 체인으로 배출장치에 연결되어 회전수로 조절(1 ~ 10 단계)	두개의 DC모터를 각각 좌우 하나씩 연결하여 RPM을 조절할 수 있도록 함
비료/ 농약 시비능력	1 ~ 60 kg/10a 0.4 ~ 16 kg/분	비료 : 6 ~ 50 kg/10a 제초제 : 1 ~ 5 kg/10a
호퍼용량	180 L	약 200 L

나. ISEKI 사의 송풍식 입제살포기의 배출장치

- 형상 : 8개의 별 모양의 가지를 가진 모양 (도면 별첨)
- 1회전 당 이론적인 부피 :  $0.000345m^3$   
  - ※ 도면에 의한 이론적인 단면적과 장축의 길이로 구함.
- 10회전 당 배출된 실제 복합비료(21-17-17)의 중량이 2.93kg이므로  
  - ※ 배출 투입구를 대(大)일 때 물러를 10회전하고 실험회수를 4회 반복 측정하였고, 소(小)작일 때는 물러를 30회전으로 4회 반복하여 실험하여 배출량 구하였다.
- 복합비료(21-17-17)의 산물밀도 측정  $D_b = 901kg/m^3$   
  - ※ 산물밀도 실험장치로 5회 실험 후의 평균값으로 구함
- 산물밀도를 고려한 1회전 당 부피

$$\Delta \text{ 1회전당부피} = \frac{\text{1회전당배출량}(kg)}{\text{산물밀도}(kg/m^3)} = \frac{0.293}{901} = 0.000325 m^3 \quad (\text{충전률 } 94.2\%)$$

- 작은 홈 부분의 부피 : 전체 홈부피의 16.7%임

Table 5-8 Measurement of required motor power(ISEKI. CO.)

	회 수	무게(kg)	토크(Kgf-cm)	토크(N·m)
공회전시 (비료 없이 실험)	1	0.3966	4.84	0.48
	2	0.3913	4.78	0.47
	3	0.3970	4.85	0.48
	평 균	0.3950	4.82	0.47
비료살포시 (비료공급)	1	0.9056	11.06	1.08
	2	0.9115	11.13	1.09
	3	0.9174	11.20	1.10
	평 균	0.9115	11.13	1.09

다. 표준시비량/시비방법에 따른 비료의 살포량 결정(1ha당 기준)

- 표준시비량과 분시율을 참고하여 복합비료(21-17-17)의 질소성분 1ha당 최소 살포량을 산정해보면

$$\begin{aligned} \text{살포량} &= \text{표준권장량} \times \text{분시율} \times 100/\text{성분비율} \times \text{토성등급} \\ &= 110 \times 0.1 \times 100/21 \times 0.6 = 31.43\text{kg} \end{aligned}$$

- 요소비료를 이용하여 질소성분을 살포한다면

$$\begin{aligned} \text{살포량} &= \text{표준권장량} \times \text{분시율} \times 100/\text{성분비율} \times \text{토성등급} \\ &= 110 \times 0.1 \times 100/46 \times 0.6 = 14.35\text{kg} \end{aligned}$$

- 복합비료(21-17-17)의 인산성분을 분시율을 고려하여 살포시 최소 살포율을 20%라고 가정하면 1ha당 최소 살포량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{살포량} &= \text{표준권장량} \times \text{분시율} \times 100/\text{성분비율} \times \text{토성등급} \\ &= 45 \times 0.2 \times 100/17 \times 0.6 = 31.76\text{kg} \end{aligned}$$

- 표준시비량과 분시율을 참고하여 복합비료(21-17-17)의 칼리성분 1ha당 최소 살포량을 산정해보면

$$\begin{aligned} \text{살포량} &= \text{표준권장량} \times \text{분시율} \times 100/\text{성분비율} \times \text{토성등급} \\ &= 57 \times 0.3 \times 100/17 \times 0.6 = 60.35\text{kg} \end{aligned}$$

라. 입제 농약의 최대, 최소 살포량 결정

- 살포량 = 표준권장량 × 토성등급
- 마세트 입제를 살포한다고 가정하면 1ha당 최대 살포량은  
△ 표준권장량 × 토성등급 = 30 × 1.4 = 42kg
- 마세트 입제를 살포한다고 가정하면 1ha당 최소 살포량은  
△ 표준권장량 × 토성등급 = 30 × 0.6 = 18kg

마. 배출 롤러의 적정 회전속도 결정

- ha당 비료 살포량 결정  
△ 부피( $m^3$ ) = 살포량(kg)/산물밀도( $kg/m^3$ )
- 살포 폭과 작업 속도에 따른 롤러의 초당 회전속도 결정

$$\text{롤러회전수} = \frac{1\text{ha에 살포할 입제의 양(kg)}}{\text{롤러1회전당부피}(m^3) \times \text{산물밀도}(kg/m^3)} \times \frac{1000 \times \text{작업폭}(m) \times \text{작업속도}(km/h)}{10000 \times 3600}$$

- 비료의 성분별 살포에 따른 롤러의 회전속도 결정

△ 최대량 살포와 최소량 살포를 나누어서 롤러의 회전속도를 예측

△ 배출장치의 롤러는 ISEKI사의 것으로 가정 → 1회전 당 부피 :

$$0.000325m^3$$

△ 롤러 1회전당 부피는 이론값에 충전률(94.2%)을 곱하여 구함

(1 ~ 2rps에서의 실험치)

△ 복합비료(21-17-17)와 요소비료의 산물밀도는 각각  $901kg/m^3$ ,  $700kg/m^3$

△ 1ha당 살포되는 비료의 양은 표준시비량과 분시율을 참고하여 구한 값으로 정함



Table 5-9 Roller speed by maximum application amount according to working speed and spread width

작업속도 (km/h)	작업폭(m)	비료성분	분시율	살포비료	롤러회전속도(rps)
2	8	질 소	0.8	요소	0.523
		질 소	0.8	21-17-17	1.146
		인 산	1	21-17-17	1.239
		칼 리	0.7	21-17-17	1.047
	10	질 소	0.8	요소	0.654
		질 소	0.8	21-17-17	1.433
		인 산	1	21-17-17	1.549
		칼 리	0.7	21-17-17	1.309
3	8	질 소	0.8	요소	0.785
		질 소	0.8	21-17-17	1.719
		인 산	1	21-17-17	1.859
		칼 리	0.7	21-17-17	1.571
	10	질 소	0.8	요소	0.981
		질 소	0.8	21-17-17	2.150
		인 산	1	21-17-17	2.324
		칼 리	0.7	21-17-17	1.964
4	8	질 소	0.8	요소	1.046
		질 소	0.8	21-17-17	2.292
		인 산	1	21-17-17	2.478
		칼 리	0.7	21-17-17	2.094
	10	질 소	0.8	요소	1.308
		질 소	0.8	21-17-17	2.866
		인 산	1	21-17-17	3.098
		칼 리	0.7	21-17-17	2.618

Table 5-10. Roller speed by minimum application amount according to working speed and spread width

작업속도 (km/h)	작업폭(m)	비료성분	분시율	살포비료	롤러회전속도 (rps)
2	8	질 소	0.1	요소	0.028
		질 소	0.1	21-17-17	0.048
		인 산	0.2	21-17-17	0.048
		칼 리	0.3	21-17-17	0.092
	10	질 소	0.1	요소	0.035
		질 소	0.1	21-17-17	0.060
		인 산	0.2	21-17-17	0.060
		칼 리	0.3	21-17-17	0.115
3	8	질 소	0.1	요소	0.042
		질 소	0.1	21-17-17	0.072
		인 산	0.2	21-17-17	0.072
		칼 리	0.3	21-17-17	0.138
	10	질 소	0.1	요소	0.053
		질 소	0.1	21-17-17	0.090
		인 산	0.2	21-17-17	0.090
		칼 리	0.3	21-17-17	0.173
4	8	질 소	0.1	요소	0.056
		질 소	0.1	21-17-17	0.096
		인 산	0.2	21-17-17	0.096
		칼 리	0.3	21-17-17	0.184
	10	질 소	0.1	요소	0.070
		질 소	0.1	21-17-17	0.120
		인 산	0.2	21-17-17	0.120
		칼 리	0.3	21-17-17	0.230

## 제 4절 입제 변량 살포기 개발

정밀농업은 개념상으로 변량형 농법(Variable rate agriculture)임과 동시에 과거의 정보를 토대로 최적의 수익을 얻을 수 있도록 농자재를 처방(Prescription farming)한다는 측면에서 농업의 정보·전산화와 시스템화를 내포하는 개념이라 하겠다. 또한 위치별 특성에 맞는 관리(site-specific management)를 통하여 미래의 포장상태 및 수확량을 조절하기 때문에 정밀농업은 환경보전이라는 선진 사회의 요구에 부합되는 개념이기도 한다. 정밀농업은 포장 내·포장 간 위치별로 토양, 작물의 생육상태, 수확량 등을 측정 분석하여 위치별로 필요한 양의 비료, 농약, 종자를 살포하는 친환경 과학영농이며, 화학비료와 농약의 사용량을 과학적으로 저감하여 환경오염 문제를 최소화하고 농업생산도 줄이지 않는 획기적인 농법이다. 우리나라의 벼 재배에 있어서 표준 적정 시비량은 10a당 질소 11kg, 인산 4.5kg, 칼리 5.7kg인 반면 실제 농민들이 사용하는 시비량은 기준시비량보다 적게는 1.5배에서 많게는 2배에 이르는 등 비료를 남용하고 있는 실정이다. 우리나라의 벼의 재배면적이 1053천 ha인 점을 감안하면, 질소를 기준으로 10a당 1 kg을 줄일 경우 전국적으로는 10,530톤이 절약하게 된다(농업기계연감, 2002).

본 절은 입제 변량살포기 개념설계를 위한 것으로 입제 변량살포기의 구성은 원동기로서 승용관리기, 볏장작 프레임, 좌·우 붐, 입제의 적재부, 붐관 및 배출량 조절 장치, 송풍기, 공기와 입제의 이송부, 이송부의 마지막에 장착된 분두, 제어박스(입력 : 위치·속도 데이터, 처방지도, 입제 배출장치 feedback 데이터/ 출력: 입제 배출장치 조절 신호), GPS 수신기로 구성된다. 실제로 벼 재배에 사용될 처방지도에 의해 작동되는 입제 변량살포기를 개발하여 변량 살포 성능을 평가하였다.

### 1. 개념설계

개발하는 입제 변량살포기는 승용관리기 탑재형으로 기비, 분얼비, 수비, 입제 제초제 등이 살포 가능한 송풍식 붐형 입제 변량살포기를 설계하고 작업속도에 상관없이 5단계의 처방량이 조절 가능하도록 한다. 벼의 재배 기간동안 시비·방제 작업이 가능토록 입제 변량살포기의 설계 방향은 다음과 같이 정하였다.

- 붐의 구역을 좌·우 두 부분으로 나누고 살포 균등도를 높이기 위해 각각을 2등분하여 4개의 구역으로 나눈다.
- 붐은 전동모터를 이용하여 접을 수 있도록 하고, 살포폭을 10m로 하며 벼의 성장에 따라 살포높이를 두 단계로 조절하여 거치할 수 있도록 볏장작 프레임을 설계한다.
- 배출장치는 좌·우 1개씩 총 2set를 제작하여 한 개의 송풍기로 작동하도록 한다.
- 송풍분관은 송풍기의 토출구 앞에 부착하여 공기가 4개로 나누도록 한다.

- 호퍼 프레임과 히치부의 탑재대를 설계한다.
- 균등살포가 가능하며 제작이 간편한 분두와 충돌판을 설계한다.

## 2. 공시기

공시기 원동기는 승용관리기(CFM1200, 아세아 종합기계)로써 4륜 구동이며 전륜 조향, 후륜 조향, 전후륜 조향 방식 중에서 선택스위치로 조향을 선택할 수 있다. 이 중에 전후륜 조향 방식은 전륜의 바퀴궤적을 후륜의 바퀴궤적이 따라 이동하여 시비·방제 작업 시 벼의 손상이 적다는 장점이 있고, 또한 최저지상고가 높다. 공시 관리기의 제원은 표5-11과 같다.

Table 5-11 The specifications of tested cultivating tractor(CEM-1200, ASIA)

Model		CFM-1200
Dimension	Overall Length(mm)	2,240
	Overall Width(mm)	1,455
	Overall Height(mm)	1,390
	DRY Weight(kg)	600
Engine	Model	VANGUARD 351777
	Type	Air Cooled 4Cycle 2Cylinder Vertical Gasoline
	Max Output(ps/rpm)	20/3,600
	Fuel Tank Capacity(ℓ)	15
	Starting System	Electric Starting Type
Tire		6.00-12-4PR
Clutch System		DRY Multi-Plate Clutch
Steering System		Hydrostatic Power Steering
Brake System		Wet Type Disk Mechanical
Transmission System		Both Type : Continuance, Selection
Main Transmission		forward:8 , Reverse:4
P.T.O Rotation(rpm)		Low:627, High:779
Wheel Base(mm)		1,180
Wheel Tread(mm)		1,200
Ground Clearance(min)(mm)		Standard(580), Wheel for Transplanter(660), Wheel For Sprayer (740)
MIN Turning Radius(m)		2.0
Implement Lifting Type	Control Type	Setting Type
	Position Control Type	2P Linkage(Quick-Hitch)

### 3. 공시 입제 변량살포기

#### 가. 탑재 방식

붐과 비료통은 승용관리기의 후방에 부착하는 것을 기준으로 하여 설계하였다. 붐의 접기와 펴기의 조작은 축전지 전원으로 하는 전동모터로 구동하도록 하였다.

붐대는 그림 5-10에서 보는 바와 같이 4개의 부분으로 하였으며 하나의 붐대에 4개의 분두가 설치하여 1set를 이루게 하였고, 각각의 붐대에 주는 조건은 같도록 하였다. 분두의 간격은 60cm로 배치하여 총 살포폭이 10m가 되도록 하였다. 또한 붐은 벼가 성장함에 따라 살포에 영향을 받지 않도록 살포높이를 2단계로 하여 장착 가능하도록 거치대를 설계하였다.

송풍기는 관리기의 PTO에 증속장치에 연결하여 회전수를 5000rpm이 되도록 제작하였다. 송풍기의 토출구에는 분관을 장착하여 각각의 배출장치로 공기가 나누어지도록 하였다.

그림 5-10은 붐장착 프레임, 붐, 호퍼, 배출장치, 송풍기 등을 장착한 입제 변량살포기의 전체적인 모습이다.

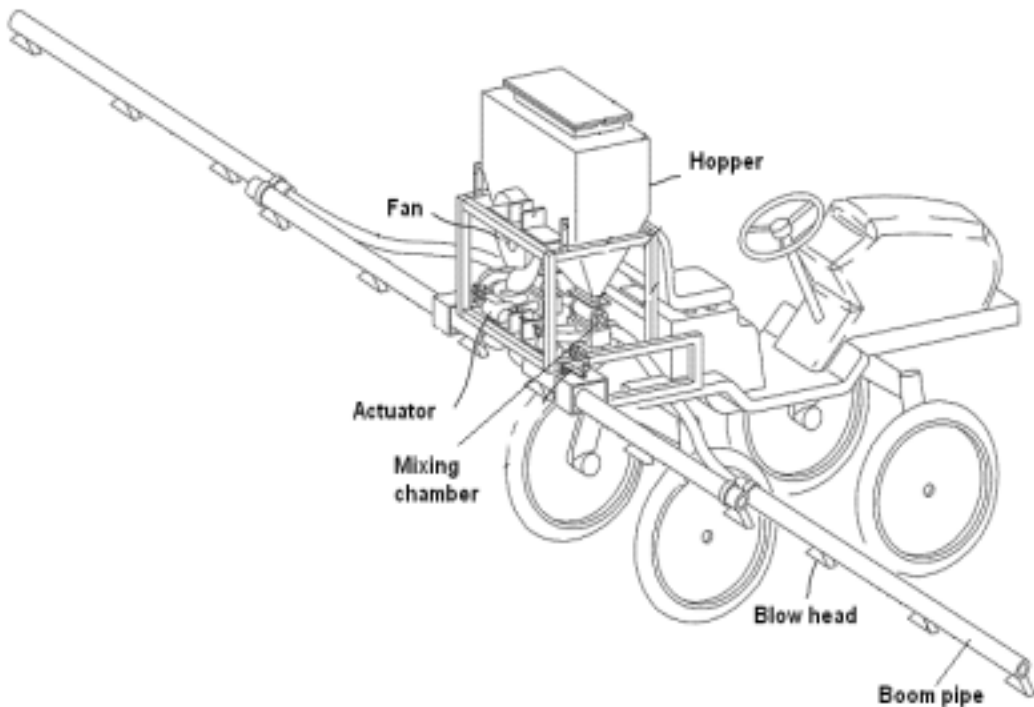


Fig. 5-10 View of prototype Variable Rate Granule Applicator.

### 나. 입제 배출장치 설계

입제비료 및 농약의 부서짐을 적게 하고 모터의 회전으로 배출량을 조절이 용이한 홈 롤러방식이 적당하다고 판단하여 그림 5-11은 홈 롤러의 외형 및 단면 모양이며 보는 바와 같이 롤러 외곽에 홈이 생기도록 하였고, 단면의 모양은 별 모양의 격벽을 가진 입제 배출장치를 설계하였다. 모터축을 감싸는 부분의 직경은 25mm, 롤러의 외경은 55mm가 되도록 하였다. 한 개의 홈단면적은  $195.2\text{mm}^2$ 였으며 홈의 길이는 150mm로 중간의 벽을 제외한 롤러의 1회전 시 배출체적은  $232.86\text{mm}^3$ 이었으며, 롤러의 재질은 입제의 부서짐을 적게 하고자 재질을 고무로 제작하였다. 또, 입제농약의 경우는 입경이 비료에 비해서 작고 살포하는 양이 적기 때문에 배출되는 부피를 작게 제작하여 배출공간을 이원화되게 제작하였다. 또한 벼의 재배기간 동안 분시율, 성분비율이 따라 다양한 살포량을 모터회전수와 롤러 홈의 부피만으로 제어하기가 어려움으로 호퍼와 배출장치 사이에 열림판을 설치하여 입제 투입량을 홈의 열림 정도로 조절가능하도록 하였다. 그림 5-12는 입제가 롤러의 회전에 의하여 배출되어 아래 부분에서 송풍기에서 나온 공기와 혼합되어지는 배출장치의 모습이다.

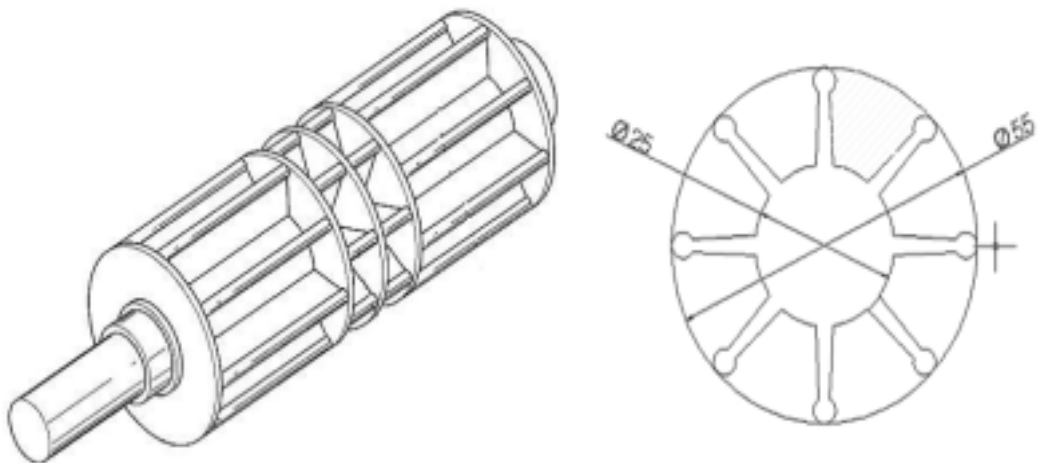


Fig. 5-11 Schematic of roller and view of cross section(Unit : mm)

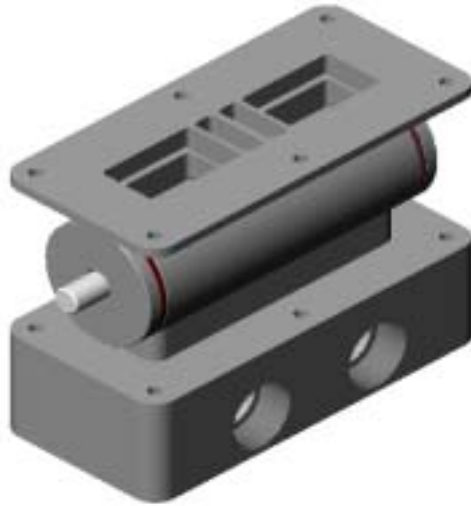


Fig. 5-12 Schematic of mixing chamber

#### 다. 입제 비료통 설계

개발하고자 하는 입제 변량살포기는 무논 내에서 사용되므로 입제 살포기 장착에 따른 바퀴의 침하와 후방전도 등 기체의 안전성을 고려하여 호퍼의 크기와 붐장착 프레임을 경량이어야 한다. 따라서 그림 5-13과 같이 비료통은 경량이면서 강도가 큰 유리섬유강화플라스틱(Fiber glass Reinforced Plastic, FRP) 재질로 제작하였으며 표준시비량 중 최대 살포량과 원동기의 안전성을 고려하여 한 번의 적재해서 0.5ha의 작업면적을 위하여 용량은 200 L로 제작하였으며, 두개의 배출구를 두어 배출장치와 연결하여 좌우의 붐관에 입제 비료를 공급되도록 하였다. 비료통 입구는 외부의 공기 유입을 막도록 덮개의 가장자리에 고무로 덧대어 공기의 유입에 의한 비료의 수분 흡습을 차단하도록 제작하였다. 또한 입제 비료의 퇴적고에 의해서 배출장치를 누르는 압력을 분산하고자 호퍼 내에 스크린을 설치하여 배출장치의 롤러에 누르는 압력이 분산되도록 제작하였다.

#### 라. 입제 배출장치의 구동 모터 선정

변량 제어용 모터는 포장에 살포되는 입제의 배출량을 조절할 수 있도록 제어기의 신호에 반응하여 전기에너지를 기계에너지로 변환하는 장치이다. 배출장치에 부착하여 사용할 모터로 130kg·cm 와이퍼 모터, 180kg·cm 와이퍼 모터를 선정하여, 각각의 토크 및 회전 속도 특성을 실험을 통해 알아보았다. 그러나 130 kg·cm 와이퍼모터의 경우 배출장치에서 요구하는 토크를 발생시키지 못하여 회전력이 발생하지 않았으며, 180kg·cm

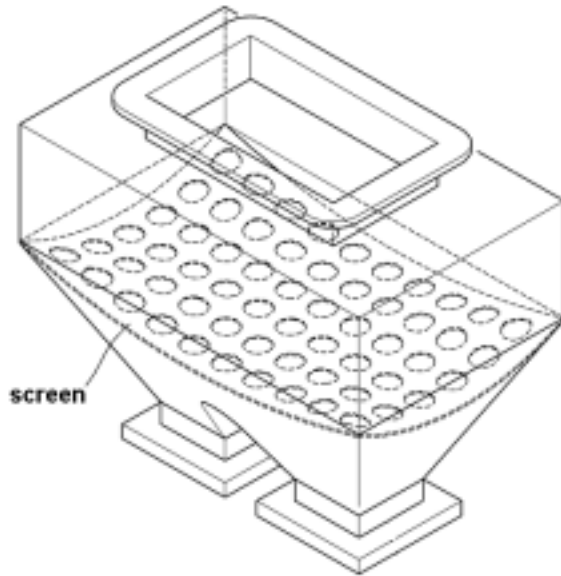


Fig. 5-13 Schematic of hopper

의 와이퍼 모터를 공시모터로 선정하였다. 또한 180kg·cm의 와이퍼모터는 차량용 와이퍼 모터로서 간단한 부속장치를 부착하여 배출장치에 간편하게 연결 가능하며 대량생산을 통해 가격이 저렴하다는 이점도 있다.

#### 마. 송풍기의 선정과 성능

입제가 배출장치에서 공기와 혼합되어 입제이송의 형태가 균질형(Homogeneous type)으로 살포되는 분두까지 원활히 이송되기 위해서는 송풍속도가 부양속도보다 커야 함으로 입제의 물리적 성질을 분석하여 송풍량이 충분한 송풍기를 선정하여야 한다.

본 연구에서는 설계를 통한 팬의 제작은 배제하고 현재 시판되고 있는 동력살분무기에 사용되는 원심식 송풍기 중 회전수 대비 풍량과 풍속이 우수한 것을 선정하여 입제 변량살포기에 부착하여 사용하였다. 실험에 사용된 두 가지의 송풍기는 J사의 3WF-550과 K사의 K-59였다. 이들 팬은 간단한 개량작업을 통해 원동기의 PTO에 연결 가능하다는 것과 제작하는 비용이 적다는 장점이 있어 선정하였다. 송풍성능은 송풍기의 회전속도에 따른 송풍량을 측정하여 판단하였으며, 송풍기를 설치하고 지름 90mm의 관을 충분히 길게 설치하여 관의 단면을 6등분한 다음 그 경계점 5곳의 풍속을 측정하여 평균값을 취한 다음 VFR의 값을 계산하였다. 토출구에서 이어진 관의 수평을 유지시키기 위하여 지지대를 제작하였다. 각각의 송풍기의 성능시험은 한국산업규격(KS)의 『송풍기의 시험 및 검사 방법』인 KSB6311의 시험 방법에 따라 90mm의 원형관의



토출구에서 630mm 떨어진 거리에서 풍압과 풍속을 측정하였는데 그림 5-14는 성능시험 장치를 나타낸 개요도이다. 풍속의 측정은 Digital Micro-manometer(Model ZEPHER DIGITAL MANOMETER, Solomat사)로 측정하였는데, 이 압력계는 Pitot static tube을 이용하여 풍속, 풍압 등을 측정하는 계측기로서 구체적인 제원은 표 5-12와 같다.

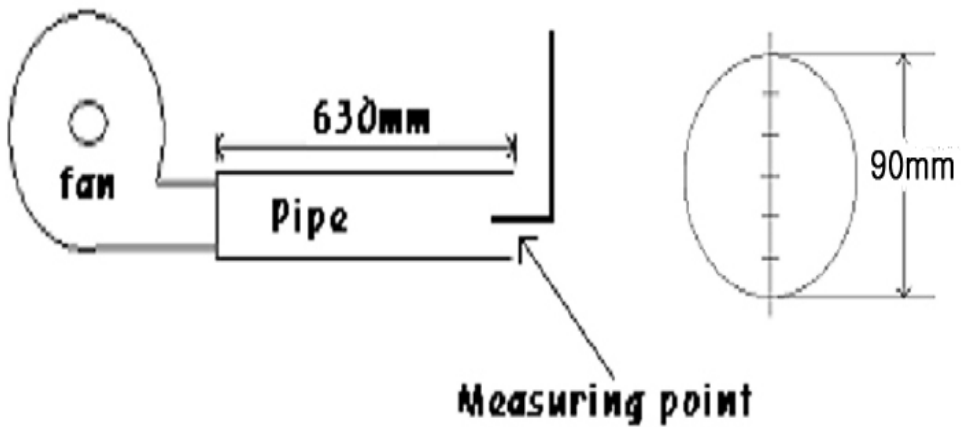


Fig. 5-14 Air velocity measurement point for fan performance test

Table 5-12 Specification of the digital manometer

Item		Specification
Pitot tube	Type	TC-500
	Material	Stainless steel, type 304
	Head diameter	8mm
	Fixed length	500mm
Main body	Display	Dot matrix(100×32 pixels)
	Applied pressure	Max. difference between ports : 15kPa Max. line pressure : 100kPa
	Measurement accuracy	Better than $\pm 1\%$ of indication ( $\pm 1$ count)
	Power Supply	Three C-size alkaline cells

#### 바. 입제 이송시스템과 각 지점별 송풍속도와 송풍량 측정

입제 이송시스템은 원동기의 PTO에 연결되어 송풍기가 구동되면 토출구 앞에 분관을 연결하여 공기가 4개로 분배되고 주름관을 통하여 배출장치의 하단에 연결되어 입제비료와 혼합되어 다시 주름관을 통하여 각각 붐으로 이송되면 충돌관에 의해 부딪혀 분두를 통하여 살포되는 시스템의 개략도는 그림 5-15와 같다.

이와 같이 입제 이송시스템에서 처음 팬에서 발생한 송풍량이 모두 입제를 이송하는데 이용되지는 않으며, 송풍기에서 불어나온 공기가 분관에 의해 각 주름관으로 나눌 때 관로의 직경이 줄어들어 손실이 발생하게 되고, 주름관을 지나면서도 관내의 송풍저항으로 인하여 다시 손실이 발생하게 된다. 따라서, 구간별 송풍속도와 송풍량을 계산하여 입제를 이송할 수 있는 충분한 압력이 관내에서 손실정도를 측정하였다. 송풍공기가 송풍기에서 발생하여 4부분의 붐의 분두까지 이송되는 과정에서 동일한 조건에서 2가지 형태의 분관을 설치한 후 주름관을 연결하여 각 지점에서의 송풍속도와 송풍량을 측정하였다. 그림 5-15는 송풍속도와 송풍량을 측정한 각 지점의 위치를 나타낸 것이다.

그림 5-16과 5-17은 두 가지 형태의 분지관의 외형을 나타내고 있으며, 그림 5-16에서 볼 수 있듯 분지관 A형은 에어탱크를 설치하여 송풍 공기를 분배하는 방식이며, 그림 5-17은 분지관 B형으로 직경이 38mm인 주름관 4개를 지름이 90mm인 투명 아크릴 관에 연결하여 다른 쪽 끝을 송풍기의 토출구와 연결하는 방식인데, 주름관이 연결된 부분의 중앙에는 주름관 사이로 공기를 유출이 되는 것을 막고 송풍저항을 줄이기 위하여 사각뿔 모양의 구조물을 설치하여 바람의 안내판 역할을 하도록 하였다. 각각의 붐으로 연결되는 순서는 좌측 상부부터 1~4까지의 번호로 나타내었다.

Fig. 5-15 Schematic of pneumatic granule application system

#### 사. 분두 형상 설계

분두 형상은 살포폭의 크기와 살포폭 내에서의 살포균일성이 우수하며, 구조가 간단하면서도 균등성이 높게 나타도록 기존의 연구 결과의 바탕으로 설계하였다. 공기

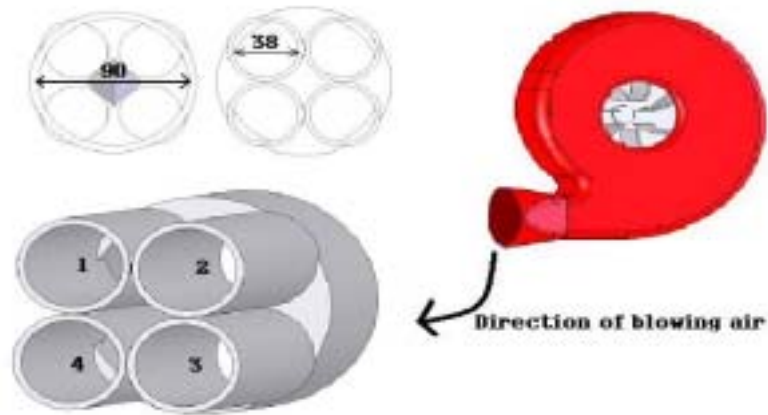


Fig. 5-16 Schematic of air distributing manifolds(Type A)  
 Fig. 5-17 Schematic of air distributing manifolds(Type B)

와 혼합된 입체 비료가 수평하게 장착한 분관을 통해 수평하게 이동함으로써 폭 35mm, 두께 0.6mm의 합석판으로 만든 충돌판을 설치하여 입체 비료가 분두내로 이동될 수 있도록 하였으며, 분관에서 부유하여 날아가는 입체 비료는 충돌판의 관입길이를 조절하여 분두내로 살포되는 비료량을 조절 가능한 형태로 제작하였다. 충돌판을 제외한 다른 부분은 두께 3mm의 투명 아크릴 판을 이용하여 제작하였다. 그림 5-18은 분두의 형상을 나타내는 것으로 분두 상부의 우측에는 입체가 부딪혀 반대쪽으로 튀어 분산될 수 있도록 반사판을 부착하였고 분두의 살포각은 120°로 하였다.

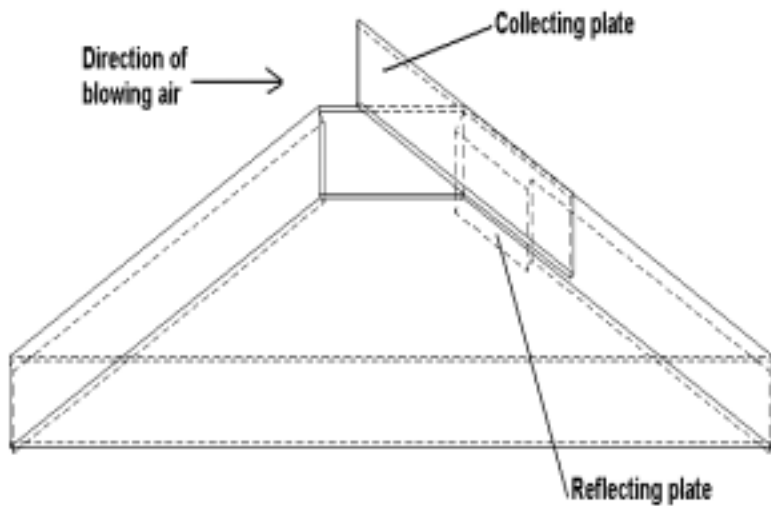


Fig. 5-18 Schematic of blow head

#### 4. 입제 변량 제어 시스템의 개발

##### 가. 입제 변량 제어기의 개발

입제 변량 살포 제어기는 작업 대상이 되는 포장내의 위치별 변위 및 토성정보를 바탕으로 작성된 시비처방지도를 기반으로 GPS(Global Positioning System) 시스템을 통해 분석된 포장 내 작업기의 위치 정보와 속도센서를 통해 제어시스템으로 인입되는 속도정보를 취합하여 작업기의 위치를 산출하고 이를 시비 처방량 지도와 비교함으로써 작업기의 주행상태 및 위치 정보에 따라 입제 비료를 변량 살포하는 제어기를 말한다.

따라서 이러한 입제 변량살포기의 입제 시비량을 결정짓는 알고리즘 및 제어시스템을 개발하기 위해서 제어시스템은 크게 신호처리부와 제어부로 구성되며, 입제 변량살포기는 앞에서 신호처리부 및 제어부 외에 실제 작업기 및 구동부를 통합한 시스템을 말하는 것이다.

입제 변량 제어기를 개발하기에 앞서 제어기는 크게 세 가지의 요구를 만족시켜야 한다. 첫 번째는 입제 변량제어기는 대용량의 시비처방 정보 및 위치 정보를 처리하기 위하여 고용량의 데이터 처리에 적합한 대용량의 데이터 저장소가 필요하며, 두 번째는 데이터 저장소에 저장되는 대용량의 정보를 실시간으로 취합 비교 분석하기 위하여 빠른 처리 속도를 요구한다. 세 번째는 실시간으로 처리된 정보를 바탕으로 작업기의 구동부를 제어할 때 작업기의 실제 작업이 시비 처방정보에 효율적으로 대응하기 위해서는 제어시스템 자체의 기본적인 신뢰도가 높아야 한다는 것이다.

##### 나. 입제 변량 살포 제어기의 신호처리

입제 변량 살포 제어기의 신호 처리부와 제어부에서 처리되어야 하는 신호는 시비 처방량 정보에 해당하는 GIS 맵과 위치정보에 해당하는 GPS 신호, 작업기의 작업 형태를 지정해 주는 작업형태 정보와 구동부의 작동상태 정보에 해당하는 궤환신호 및 작동 오차정보가 있다. 이러한 다수의 신호는 크게 제어신호와 궤환신호로 구분될 수 있고, 이러한 신호의 흐름은 작업의 효율을 재고할 수 있는 실제 제어기의 구성 및 처리 알고리즘의 개발을 위해 적절히 조합할 필요가 있으며, 그 흐름은 그림 5-19와 같으며, 입제 변량 제어기 시스템 전체의 구성을 흐름도로 나타낸 것이다. GIS의 정보와 GPS로부터 처방지도, 살포 대상인 입제의 정보, 작업 정보 등이 중앙처리부에 입력되면 정보를 처리하여 제어신호를 만들어 작업기의 구동부에 전달한다. 이때 입력신호와 작업기의 구동부에 부착된 F/G(frequency generator)에서 작동상태 신호와 오차 신호가 구동부와 중앙처리부에 입력되어 작업기의 작동 상태를 확인하고 작업기의 작동 오차를 보정하는 역할을 수행하도록 구성하였다.

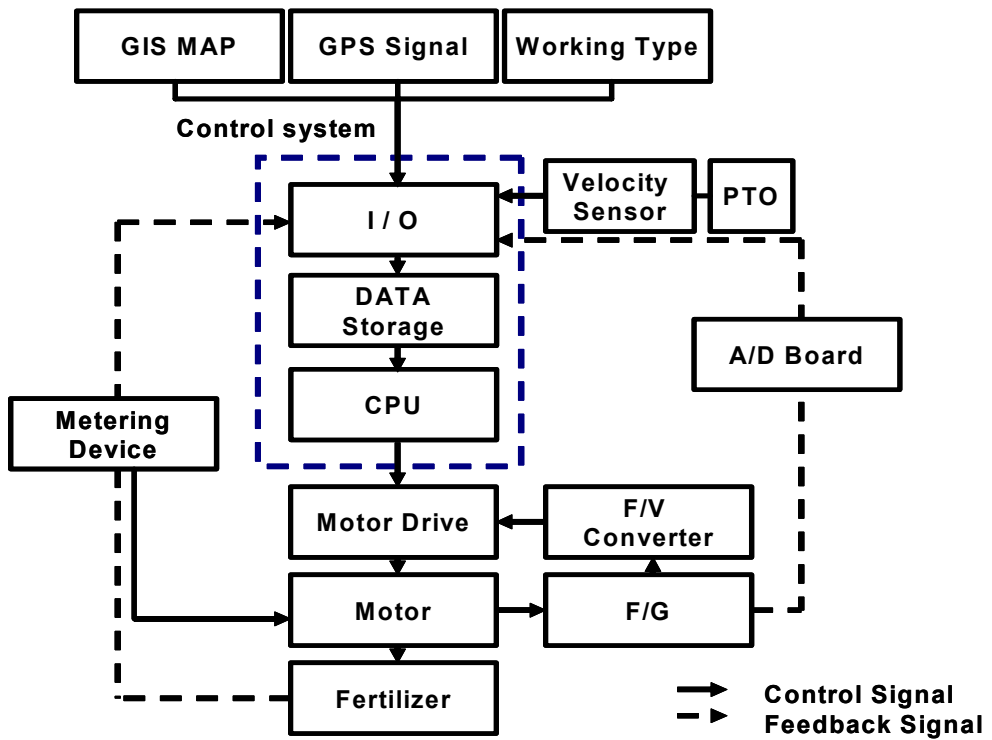


Fig. 5-19 Flow chart of the control system for variable-rate application of granule applicator

다. 입제 변량 제어 시스템의 설계

본 연구에서 개발할 입제의 변량 살포를 위한 제어 시스템은 그림 5-20과 같이 포장내의 작업기의 위치분석 신호를 신호처리부에 송출하는 DGPS 및 위치 신호 보정용 자이로 센서, 속도 센서 등으로 구성된 입력부분과 변량 살포를 위해 입제배출장치를 제어하는 변량 제어기, 입제 배출장치의 모터 구동부 및 구동 모터, 구동부의 회전 속도 오차 신호를 송출하는 F/G(frequency generator)로 구성된 입제 변량살포기 구동부, 그리고 배출장치를 통해 배출되는 입제의 배출량 및 배출장치의 입제 배출 오차를 계량하고 궤환신호를 송출하는 배출장치와 모든 신호를 종합하여 제어 신호를 송출하는 중앙처리부로 구성되었다. 이처럼 실제 구성된 제어시스템은 총 4개의 부분(신호 입력부, 변량살포기 구동부, 배출장치(metering device 및 중앙처리부)으로 구성되었으며, 4개의 각부는 직 간접적으로 나머지 부분과 관련된 신호 및 정보를 송수신하여 제어기의 최종 목적인 변량제어가 가능하도록 구성하였다.

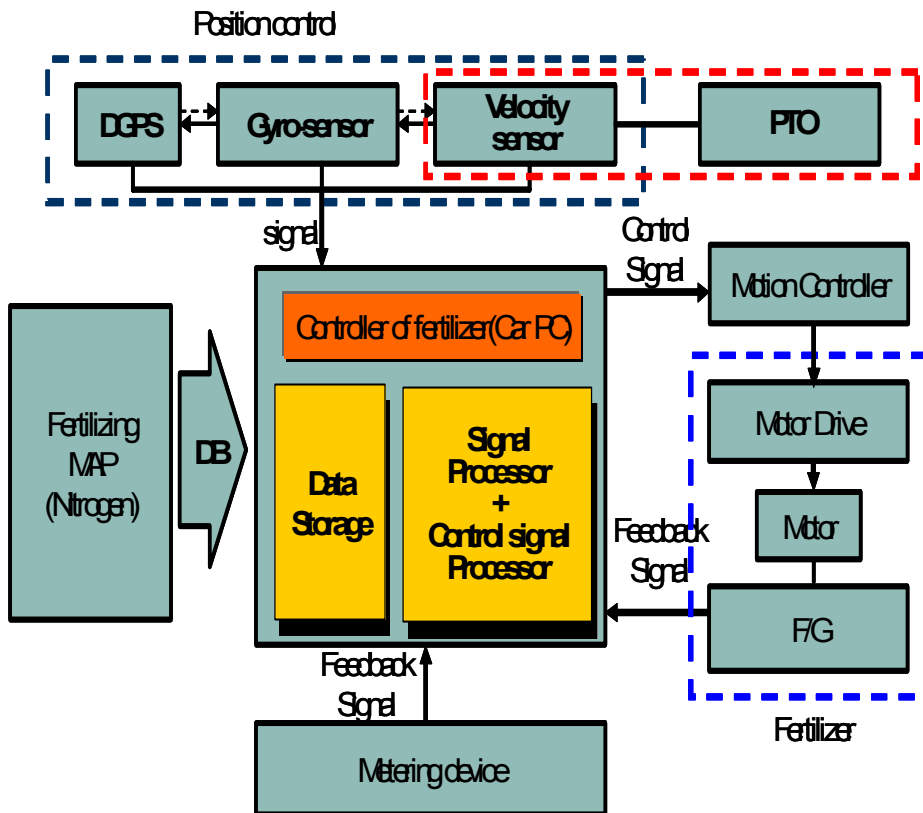


Fig. 5-20 Schematic diagram of the control system for variable-rate application of granule applicator using control computer for automobile

그리고 설계된 제어시스템의 4개 구성부는 시스템 내부적으로 독립성을 확보할 수 있도록 구성하였으며, 각 독립부의 개별적인 동작이 시스템 내의 나머지 구성 부분의 외란요소로 작용하지 않도록 설계되었으며, 각 부분의 동작은 높은 정확성과 신뢰성을 유지하도록 컴퓨터에 의하여 통합 제어되도록 설계하였다.

## 5. 실험 결과

### 가. 송풍기의 선정

동력살분무기에서 사용되고 있는 J사의 3WF-550과 K사의 K-59의 원심식 송풍기를 선정하여 회전수에 따른 풍량과 풍속을 측정하였다. 송풍기의 최대 회전수는 측정해 본 결과 3WF-550이 약 6000rpm이며, K-59는 약 7000rpm 이었다. 그림 21과 22는 회전수에서 따른 풍량과 풍속을 볼 수 있으며, 5000rpm에서 J사의 3WF-550은 15cm, 39.3m/s였으나, K사의 K-59는 10.91cm, 28.6m/s를 나타내고 있다. 원동기의 PTO축을 연결을 통한 회전수 증속에는 한계가 있고, 회전수에 비해 송풍 능력이 우수한 송풍기가 본 연구에 적합하기 때문에 J사의 3WF-550이 선정하였다.

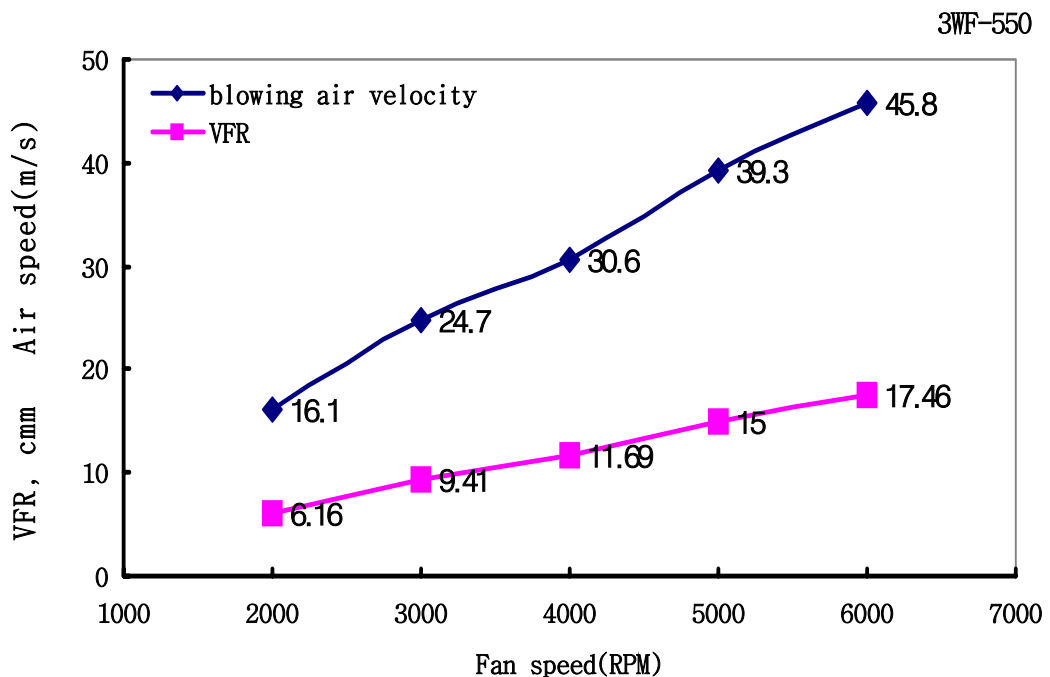


Fig. 5-21 Volume flow rate and blowing velocity of 3WF-550

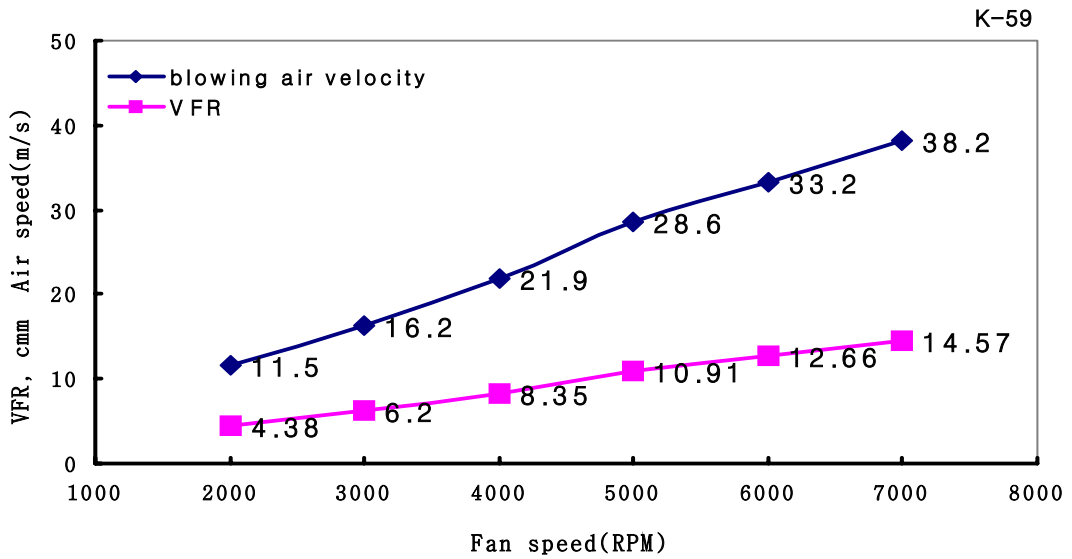


Fig. 5-22 Volume flow rate and blowing velocity of K-59

나. 입제 이송시스템에서 송풍특성

입제 이송시스템에서 송풍기에서 보낸 송풍량과 풍속이 두 가지 형태의 분지관을 이용하여 각 구간별 통과 시 송풍특성은 측정하였다.

송풍손실이 적은 형태의 분지관을 선정하였고 시작기에 장착하였다. 표 5-13은 분지관의 형태에 따른 각 구간을 지날 때 송풍 속도와 이를 바탕으로 계산한 송풍 손실 정도를 나타낸 것이다. 송풍기를 관리기의 PTO에 부착하여 증속된 회전수인 5000rpm에서 작동하였을 때 발생한 송풍량은 15.44cmm였으며, 이 값을 이용하여 구간별 강아되는 것을 비교분석하였다. 원심식인 송풍기에서 불어나온 공기는 원심력을 가지고 있기 때문에 그림 5-16과 5-17에서 3, 4번의 출구의 송풍량이 1, 2번의 출구보다 큰 값이 측정되었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 붐대를 연결할 때 좌우측 붐대에서 관리기의 중앙으로부터 먼 쪽에 위치한 붐대에 3, 4번을 연결하여 호스의 길이로 인해서 발생하는 풍량이 감소되는 것을 줄여지도록 하였다. 즉, 분관 3번의 출구를 좌측 붐대 2set 중 먼 쪽의 붐대에 연결하였고 분관 4번의 출구는 우측 붐관의 2 섹션 중 먼 쪽의 붐관에 연결하였다.



Table 5-13 VFR and blowing air velocity at distribution manifold according to type

Type	Position		NO. of tube				VFR (cmm)	Accumulate d loss (%)
			1	2	3	4		
A	after passing air distributing manifold	air velocity (m/s)	22.42	24.19	27.13	23.02	6.58	57.4
		VFR (cmm)	1.528	1.645	1.844	1.564		
	before passing mixing chamber	air velocity (m/s)	23.44	22.72	23.66	24.64	6.43	58.4
		VFR (cmm)	1.595	1.546	1.610	1.676		
	before passing pipe with blow heads	air velocity (m/s)	21.02	21.62	21.78	22.88	5.94	61.5
		VFR (cmm)	1.430	1.471	1.482	1.557		
	passing in a pipe with blow heads	air velocity (m/s)	10.64	10.56	10.62	11.34	5.93	61.6
		VFR (cmm)	1.462	1.451	1.459	1.558		
B	after passing air distributing manifold	air velocity (m/s)	40.5	45.36	50.66	48.64	12.60	18.4
		VFR (cmm)	2.76	3.09	3.45	3.31		
	before passing metering unit(B)	air velocity (m/s)	45.6	44.86	37.68	38.08	11.31	26.7
		VFR (cmm)	3.10	3.05	2.56	2.59		
	before passing pipe with blow heads(C)	air velocity (m/s)	34.18	36.36	31.86	30.46	9.04	41.4
		VFR (cmm)	2.33	2.47	2.17	2.07		
	passing in a pipe with blow heads(D)	air velocity (m/s)	16.9	17.14	15.6	15.0	8.88	42.5
		VFR (cmm)	2.32	2.36	2.14	2.06		

표 5-13에서 알 수 있듯이 분지관 A형을 송풍기와 결합하여 실험한 결과, 분지관의 공기실이 오히려 송풍 저항이 많이 발생하여 결과적으로 분두가 설치된 관내에서의 풍속이 입체가 부양할 수 있는 부양속도보다 작아져 입체의 관내의 유동이 잘 안되고 또한 입체 배출량이 증가할수록 관내에서 입체가 쌓이는 현상이 발생하였다. 이는 분지관 A형이 그림 5-6에서 볼 수 있듯 송풍기에서 발생한 송풍공기가 공기실을 통하여 4개의 출구로 나누어질 것을 판단하였으나 공기실이 공기의 적절히 배분하지 못하는 형

태로 원활히 유동하는데 방해물로 작용하여 이곳에서의 송풍손실이 50% 이상 발생하여 분지관 A형은 입제가 살포되는 분두가 부착된 붐관에서 충분한 풍량과 풍속을 얻을 수 없었다.

그림 5-17과 같은 분지관 B형은 공기가 나뉘는 공간에서 저항이 최소화될 수 있도록 공기분배기 내부에 사각뿔 모양의 구조물을 설치한 결과 팬에서부터 송풍량 손실이 약 20%가 감소함을 볼 수 있었으며 이는 분지관 A형보다 풍량이나 풍속이 감소가 적음을 알 수 있었다. 분지관 B형을 분두가 설치된 변량살포기의 시작기에 장착하여 붐관에서 송풍속도를 측정해 본 결과, 실험을 통하여 얻어진 입제 비료의 물성값을 부양속도 구하는 실험식(이성호, 1998)에 대입한 부양속도 14.5m/s보다 큰 28m/s로 입제의 부양속도보다 컸기 때문에 입제의 이송에는 적합하다고 판단하여 분지관 A형과 B형 중에서 분지관 B형을 선정하여 시작기에 장착하여 송풍식 입제 변량살포기를 구성하였다.

## 6. 요약 및 결론

국내에서 시비작업은 대부분 원심식 입제살포기를 사용하고 있으며, 정밀 입제살포 기술에 대한 연구사례가 없었으며, 송풍식 입제 살포기에 대한 기초 연구만 이루어졌으나 실용화되지는 않았다.

본 연구는 승용관리기 탑재형으로 기비, 분얼비, 수비, 입제 제조제 등이 살포 가능한 송풍식 붐형 입제 변량살포기의 설계를 위해 수행되었으며, 작업속도에 무관한 5단계의 시비 처방량의 조절 가능하도록 설계하였다.

주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 붐과 호퍼는 승용관리기의 후방에 부착되도록 설계하였다. 그리고 붐의 접기와 펴기의 조작은 축전지 전원으로 전동모터를 구동하도록 설계하였다.
- 바퀴의 침하와 후방전도 등 기체의 안전성을 고려하여 호퍼의 크기와 붐장착 프레임을 경량으로 설계하였다. 호퍼는 경량이면서 강도가 큰 FRP 재질이며 200L로 제작하였다.
- 내경 54mm의 아크릴 관에 3개의 분두를 장착하여 1set의 붐이 이루도록 하여 총 4set의 붐대를 구성하였고, 분두의 간격은 75cm로 12개를 배치하여 총 살포 폭이 10m가 되도록 제작하였다.
- 입제 배출장치는 입제비료 및 농약의 부서짐을 적게 하고 모터의 회전으로 배출

량을 조절이용이한 홈 롤러방식으로 제작하였다.

- 입제 변량 제어기는 포장내의 작업기의 위치분석 신호를 신호처리부에 송출하는 DGPS 및 속도센서 등으로 구성된 입력부분과 변량 살포를 위해 입제배출장치를 제어하는 변량 제어부, 입제 배출장치의 모터 구동부 및 구동 모터, 구동부의 회전속도 오차신호를 송출하는F/G (frequency generator)로 구성된 입제 변량살포기 구동부, 그리고 배출장치를 통해 배출되는 입제의 배출량 및 배출장치의 입제 배출 오차를 계량하고 케환신호를 송출하는 살포장치와 모든 신호를 종합하여 제어 신호를 송출하는 중앙처리부로 구성하였다.
- 송풍기는 동력살분무기에서 사용되고 있는 J사의 3WF-550을 선택하였고, 관리기의 PTO에 증속장치에 연결하여 회전수를 5000rpm에서 작동되도록 제작하였다.
- 송풍기에서 토출된 송풍량이 분관을 통과 시 송풍량 손실이 20%의 감소를 보인 분지관 B형을 선정하여 시작기에 부착하였다.

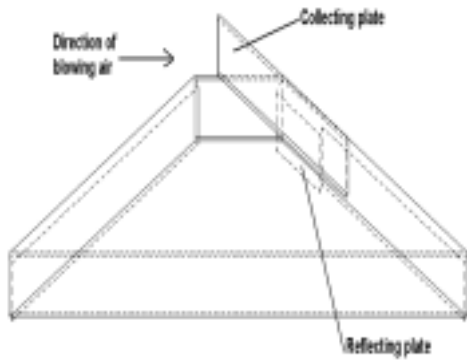
## 제 5절 입제 변량 살포장치 개발

변량 시비는 정밀농업의 중요한 부분으로서, 이제까지 농촌에서는 인력살포와 원심식 살포기나 동력살분무기를 이용한 기계 시비를 수행하였기 때문에 우리 실정에 적합한 변량살포기의 개발이 필요하다. 본 절에서는 송풍식 입제 변량살포기 개발을 위한 기초 연구로써 분두의 충돌판의 삽입길이에 따라 살포형이 달라지는 특성이 있어 10m의 폭을 균등하게 살포하려면 분두마다 조절하는 것이 어려워지므로 하나의 붐섹션을 한조로 하여 균등도가 높은 삽입길이를 결정하고 살포높이에 따른 균등도를 분석하였다.

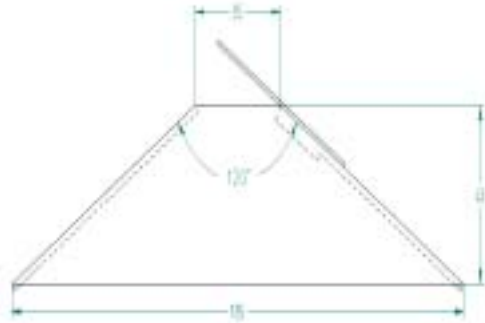
### 1. 입제 비료 살포 분두와 붐섹션

분두는 입제와 입제를 이송하는 공기가 저항을 받아 분두내로 안내될 수 있도록 폭 35mm, 두께 0.6mm의 함석판으로 만든 충돌판을 설치하였고, 충돌판은 관입길이를 조절 가능하도록 하였다. 충돌판은 배출되는 입제 비료량을 분두내로 안내되는 양이 조절되도록 하였으며, 충돌판을 제외한 다른 부분은 두께 3mm의 투명 아크릴 판을 이용하여 제작하였다. 또한 반사판을 부착하여 입제가 분두 중심에서 좌우로 균등한 살포되도록 하였다. 분두의 살포각은 120°가 되도록 하였다. 그림 5-23은 분두의 형상이며, 그림 5-24는

분두가 뿔관에 결합된 모습으로 마지막 분두는 그림5-24-(b)와 같이 결합되게 하였다.

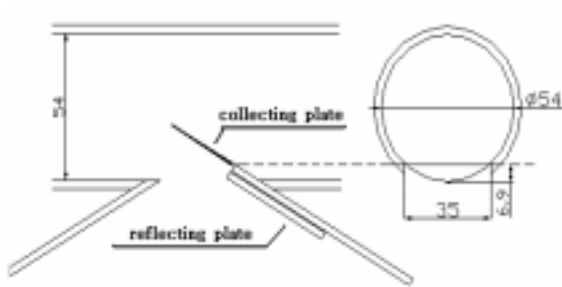


(a) Structure of blow head.

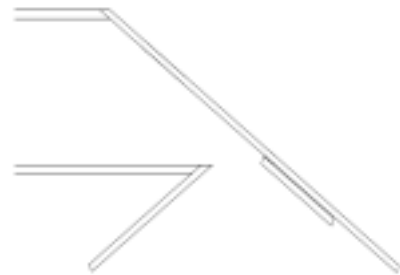


(b) Front view of blow head(unit : mm)

Fig. 5-23 Schematic of blow head



(a) First and second a blow head(Unit :mm)



(b) The last blow head

Fig. 5-24 Blow head assembled with pipe

## 2. 공시 입제 비료

공시 입제 비료로 상표명이 신세대(Shinsedea, N : P : K = 22 : 12 : 12)와 슈퍼

21(Super21, N : P : K = 21 : 17 : 17)인 두 종류의 복합비료를 선정하여 물성을 측정  
한 결과는 다음의 표 5-14와 같다.

Table 5-14 Property of tested fertilizers

	Shinsedea (22-12-12)	Super21 (21-17-17)
Geometric mean length (mm)	2.62	1.90
Standard deviation (GML)	1.27	1.39
Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	1.51	1.41
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	0.90	0.78
Stable angle of repose (°)	37.7	37.5
Active angle of repose (°)	32.0	34.3

### 3. 충돌판 삽입길이별 살포균등도 실험

10m의 붐은 동일한 구조를 가진 4개의 섹션으로 구성되어 있으므로 한 섹션에 대  
하여 적절한 살포 균등도를 얻을 수 있는 삽입길이를 정하고자 하였다.

붐에 분두를 설치하는 시스템에서는 분두에 의하여 압력 강하가 발생한다. 좌우 두  
개의 붐으로 각각 5m에 해당하는 범위를 담당하려면 6~8개 정도의 분두가 필요하며,  
마지막 분두에서 공기에 의한 비료 이송이 가능하려면 송풍기의 용량이 커져야 한다.  
또한 각 분두의 충돌판을 배열하는 것 역시 복잡해진다. 기계의 조정을 쉽게 하고 공  
기의 압력강하를 줄이기 위하여 좌우붐을 다시 2개의 영역으로 나누었다. 즉 붐섹션에  
3개의 분두가 설치되고 이중에 두개는 충돌판을 두어 조절하도록 하였다. 그림 5-25  
는 하나의 붐섹션의 구성을 나타낸 것이다. 하나의 붐섹션에서 바람이 불어오는 쪽의  
첫 분두를 1번, 관의 마지막에 설치된 분두를 3번이라고 정하였다. 이 실험의 살포높  
이는 80cm로 하였고, 살포시간은 30초로써 3반복 실험하였다.

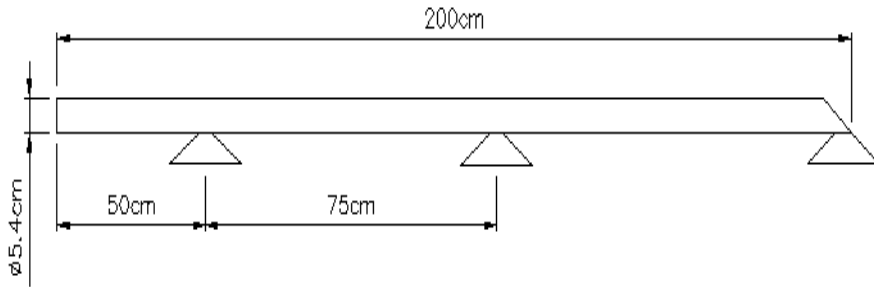


Fig. 5-25 Placement of blow head a boom section

Table 5-15 Adjustment if inserting length of collecting plates of a blow head set

Type	No. of blow head (No.)	Inserting length of collecting plate (mm)	width (mm)
A	1	20	35
	2	30	
B	1	20	
	2	40	
C	1	30	
	2	40	
D	1	30	
	2	50	

표 5-15는 세 개의 분두 중 충돌판의 깊이 조절이 가능한 1번과 2번 분두의 충돌판 삽입길이의 조건을 나타낸 것이다.

살포 균등도 분석은 변이계수(Coefficient of Variation, CV)를 사용하여 평가하였

다. 변이계수는 살포형에서 단위폭 당 살포량의 표준편차를 평균으로 나눈 값으로 완전히 균일한 경우 변이계수는 0이다.

입제 비료의 살포 균등도 분석을 위해 그림 5-26과 같이 패터네이터를 이용하여 30cm 간격으로 수집통에 수집된 입제 비료량을 측정하여 측정값의 평균과 표준편차를 구한 다음, 식 5-4를 이용하여 CV값을 구하여 균등도를 분석하였다.

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{Y}} \times 100 \quad (\text{식 5-4})$$

여기서,  $S$  : 측정값의 표준편차

$\bar{Y}$  : 측정값의 평균

#### 4. 살포높이별 살포균등도 실험

충돌판 삽입길이별 실험을 결과를 바탕으로 적정한 충돌판 길이를 정하고 살포높이는 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm로 하였다. 마찬가지로 살포시간은 30초, 3회 반복하여 살포 실험을 하였다.

그림 5-26은 살포되는 입제의 양을 수집할 패터네이터의 모습이며, 한 칸의 수집통의 크기는 가로, 세로, 높이가 30cm × 90cm × 30cm 였다.



Fig. 5-26 View of fertilizer application patternator

#### 5. 결과 및 고찰

가. 충돌판 삽입길이에 따른 입제배출 특성

충돌판 삽입길이 조건별로 살포 특성을 실험한 결과 그림 5-27~5-30과 같은 결과가 나타남을 알 수 있었다. 그림 5-27은 신세대 비료를 대상으로 실험한 결과, C 조건의 살포특성을 나타낸 것으로 비료 살포량이 23.5g/s일 때 30cm 간격의 수집한 CV값은 23.4%로 가장 좋은 균등할 살포였고, 111.4 g/s일 때 57.8%의 값으로 가장 균등도 낮았다. 그림 5-28과 같이 슈퍼21을 사용하여 살포 실험의 결과로 23.5g/s를 살포할 때는 CV값은 23.3%, 114g/s는 63.3%를 보였다. C조건의 충돌판 삽입길이 조합에서는 CV값이 크게 나타남을 볼 수 있었는데, 이는 균등한 살포가 되지 않음을 알 수 있었다. 또한 다른 충돌판 삽입길이 조합인 A나 B의 조건에서는 균등한 살포가 더욱 좋지 않게 나타났다.

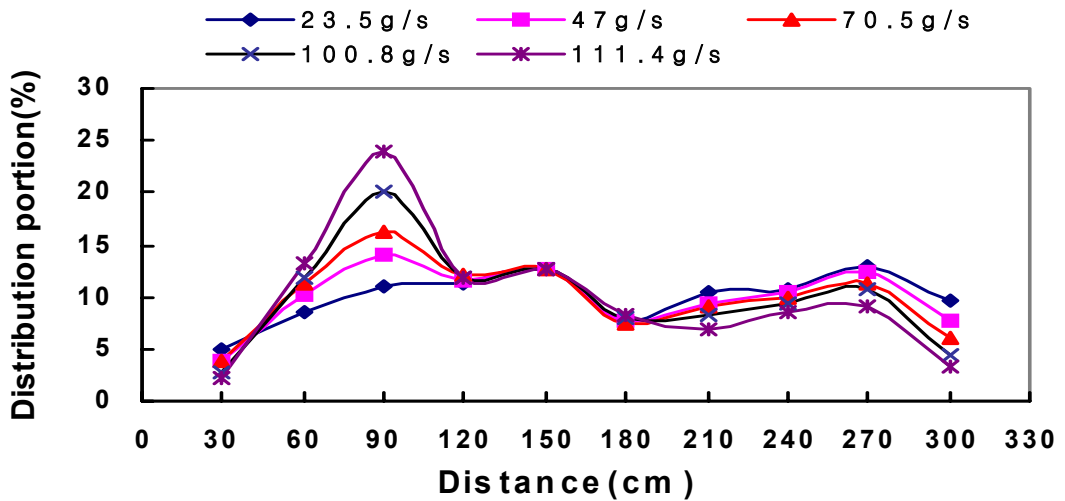


Fig. 5-27 The distribution patterns of type-C (shinsedae)



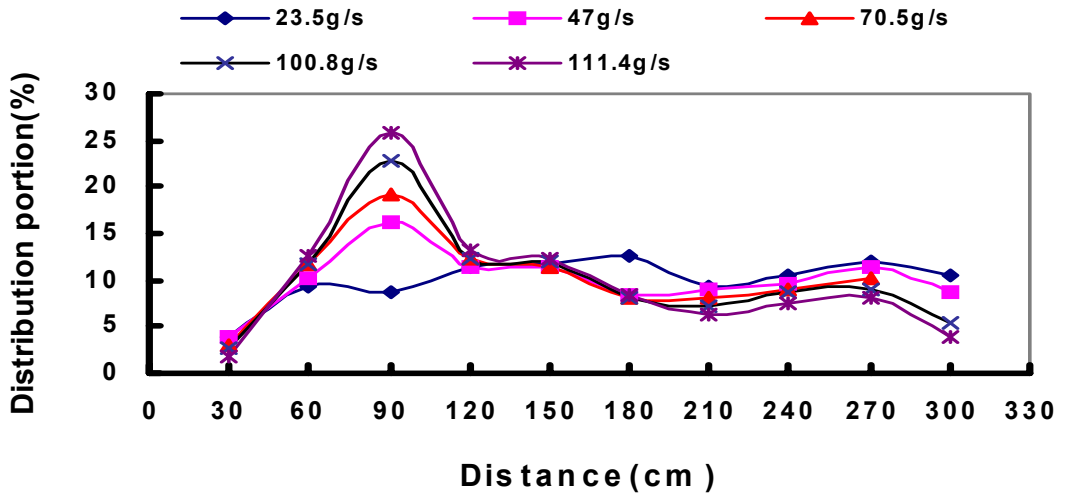


Fig. 5-28 The distribution patterns of type-C (Super21)

D조건에서 살포 실험은 그림 5-29, 5-30과 같은 결과를 보였다. 그림 5-29는 신세대 비료를 대상으로 실험한 결과로, 비료 투입량이 47g/s일 때 CV값은 29.8%로 가장 균등한 살포였고, 111.4g/s일 때 37.6%의 값으로 가장 균등도가 낮았다. 그림 5-30과 같이 슈퍼21을 사용하여 살포 실험의 결과로 23.5g/s을 살포할 때는 CV값은 28.6%, 114g/s은 37.7%를 보였다.

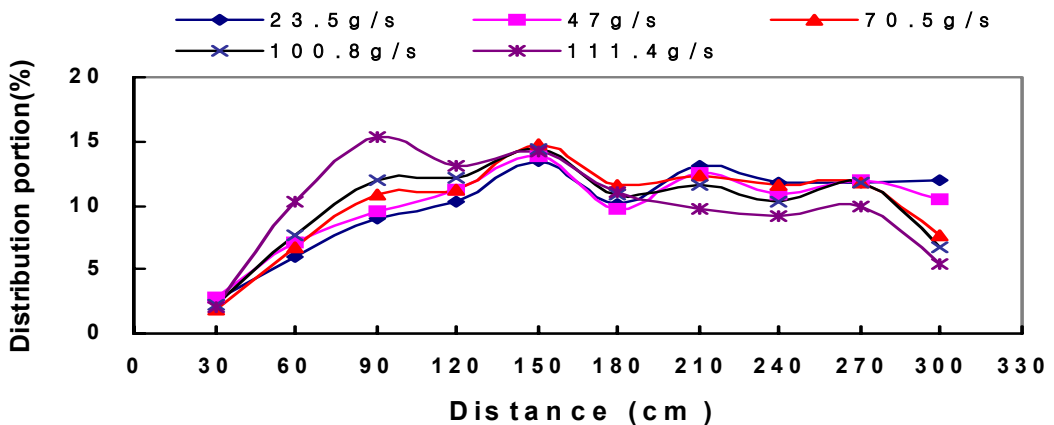


Fig. 5-29 The distribution patterns of type-D (Shinsedae)

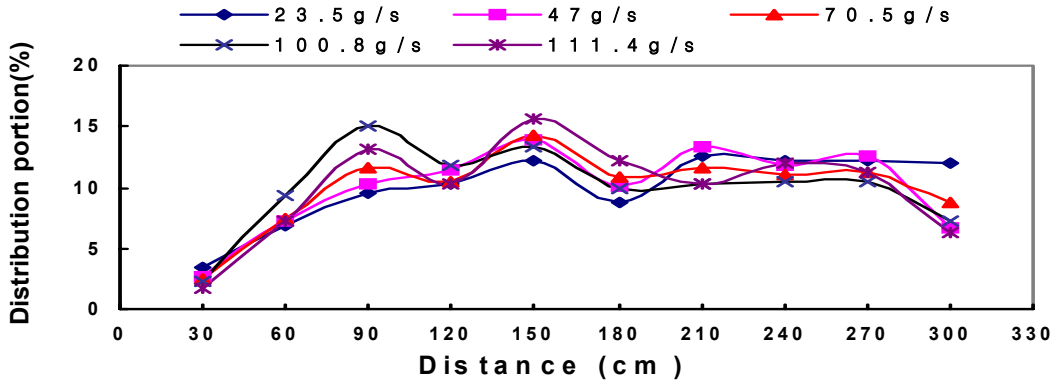


Fig. 5-30 The distribution patterns of type-D (Super21)

실험 자료들을 통계처리 프로그램인 MINITAB(MINITAB inc. V14.1)을 이용하여 비료 두 종류와 살포량 증가와 충돌판 삽입길이별에 따른 CV값과의 관계를 분석하고 3차 삼원변량분석(three-way ANOVA)을 하였다. 비료 살포량의 증가에 따른 CV값 변화는  $p=0.006$  으로 유의수준을  $\alpha=0.1$ 로 잡을 때  $\alpha=0.1$  보다 작으므로 유의함을 알 수 있었다. 그러나 충돌판 삽입길이조건에 따른 CV값 변화는  $p=0.056$  으로 유의함을 알 수 있었다. 그리고 비료 종류에 관계없이 충돌판 삽입길이 조건 D가 C보다 CV값이 작게 나옴을 알 수 있었고, 비료 살포량에 따른 CV값 또한 25.5g/s가 제일 작음을 알 수 있다. 한편, 비료 살포량과 충돌판 삽입길이 조건의 조합에서 비료의 종류에 관계없이 살포량 23.5g/s, D조건에서 가장 낮은 CV값이 나타남을 알 수 있었다.

하나의 분석선에 분두를 3개 부착하여 충돌판 삽입길이의 조합에서 살포 균등도를 분석한 결과, 좋은 균등도를 얻을 수가 없었다. 이중 충돌판 삽입길이 조합들 조건에서 D의 조건이 비료 살포량에 변화에 따라 가장 좋은 균등도를 보였으나, 균등한 살포가 되지 않았다. 따라서 각 분두의 충돌판 삽입길이 조합을 달리 하기보다는 분석선에 분두의 부착수를 늘려야 할 것으로 판단되었다.

#### 나. 살포높이별 살포균등도

충돌판의 삽입길이별 실험 결과를 바탕으로 삽입 길이를 각각 분두1에서는 30mm, 분두2에서는 50 mm로 고정하였고, 살포높이를 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm로 달리하여 살포 균등도를 측정하였다. 공시 재료로 선정한 두 종류의 입체 비료는 같은 살포 특성이 나타남을 볼 수 있었으며 살포높이가 증가할수록 이웃한 분두에서 중첩이 이루어져 살포높이가 낮을 때 보다 균등성은 좋아짐을 볼 수 있었다. 그림 5-31~5-34은 살포높이가 40cm에서 70cm까지의 살포 형태를 나타낸 것으로 살포높이 40cm 일때 신세대 비료의 CV값은 57%, 슈퍼21은 57.1%의 균등도를 보였다.

살포높이 70cm 일때 신세대 비료의 CV값은 48.1%, 슈퍼21은 44.3%의 균등도를 보였다.

살포높이별에 따른 CV값을 이원변량분석(two-way ANOVA)을 하였더니 비료 종류의 변화에 따른 p값이 0.985 로 유의수준  $\alpha=0.1$ 로 잡을 때  $\alpha$ 보다 크므로 유의하지 않았으며, 비료 종류와 비료 살포높이 간의 교호작용은 유의하지 않다. 비료 종류에 따른 CV값의 평균과 신뢰구간은 신세대와 슈퍼21의 수율이 거의 비슷함을 알 수 있고, 비료 살포높이 80cm에서 CV값이 가장 작은 값을 보였는데 균등도가 가장 좋음을 알 수 있었다.

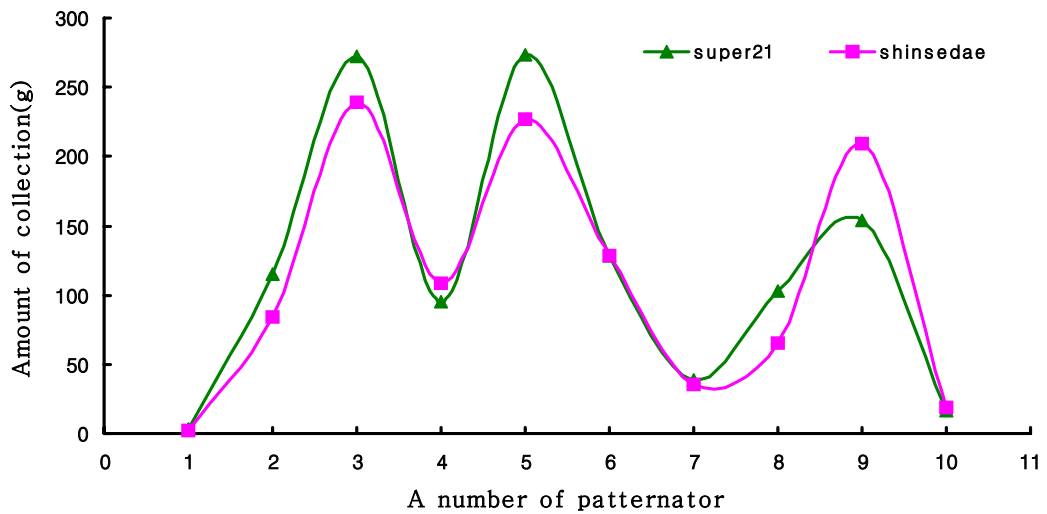


Fig. 5-31 Application patterns of a boom section at 40cm application height

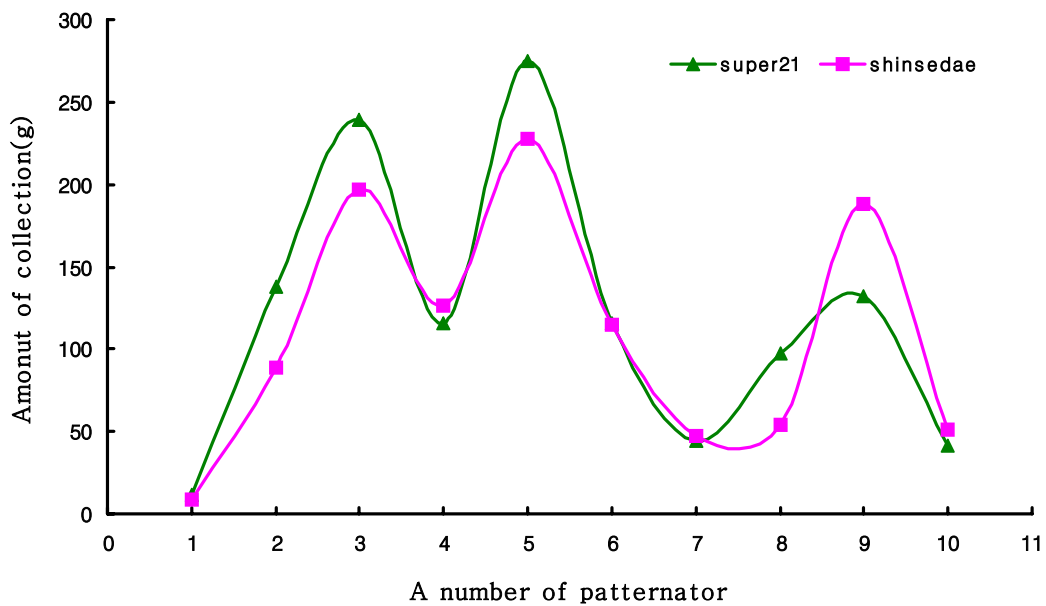


Fig. 5-32 Application patterns of a boom section at 50cm application height

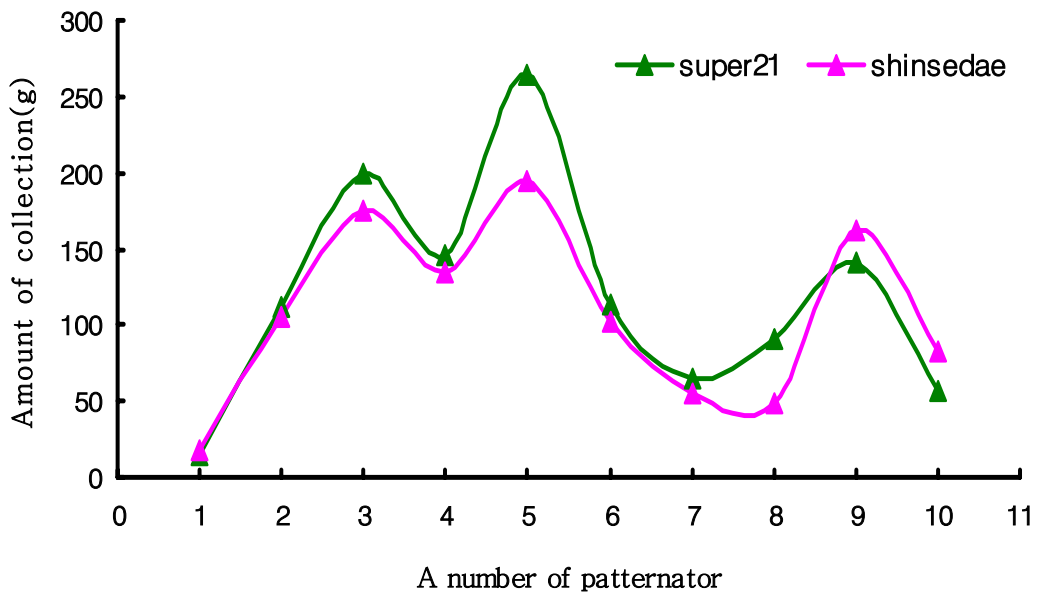


Fig. 5-33 Application patterns of a boom section at 60cm application height

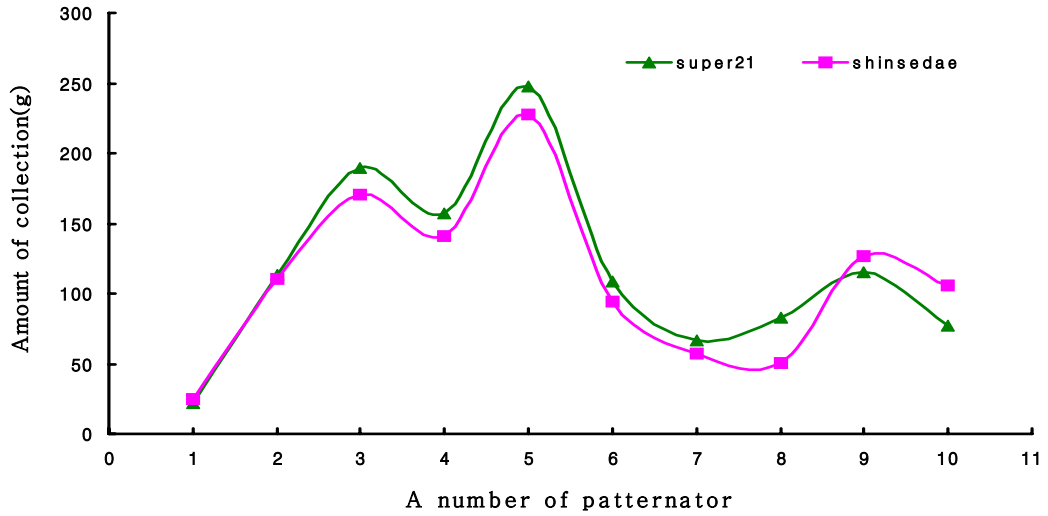


Fig. 5-34 Application patterns of a boom section at 70cm application height

그림 5-35와 같이 살포높이에 따른 각각의 CV값을 보면 살포높이가 증가할수록 CV값은 낮아지는 것을 볼 수 있는데 이는 균등한 살포가 됨을 알 수 있었다. 그러나 살포높이가 증가 할수록 살포되는 비료가 중첩이 되더라고 균등도가 좋지 않다고 판단 된다.

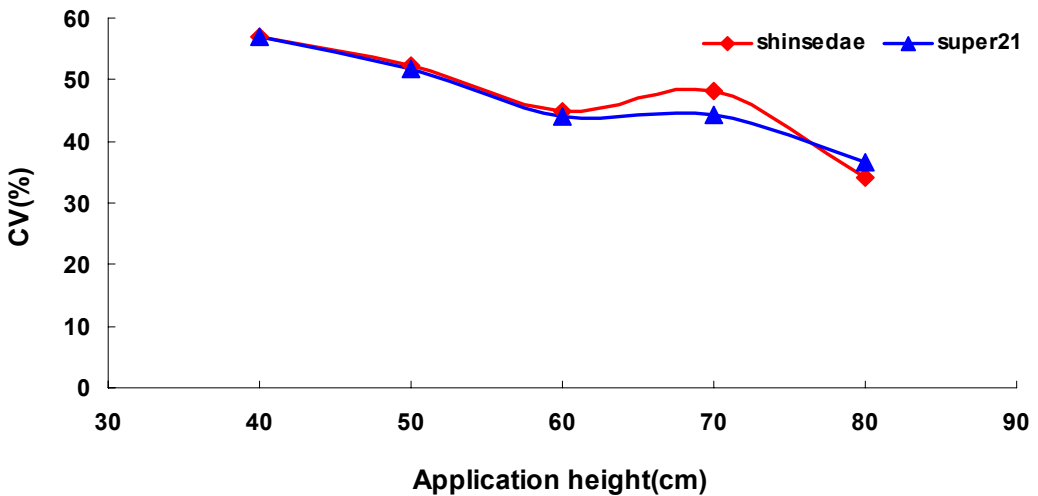


Fig. 5-35 CV-value with 3-blow heads boom according to height of application

## 6. 요약 및 결론

본 절에서 송풍식 입제 변량살포기 개발을 위한 기본 연구로서 살포장치를 구성하여 입제 비료에 대해 충돌판 삽입길이 조건과 살포높이별에 따른 살포 특성과 균등도

를 분석하고자 수행하였다.

- 10m의 볏은 동일한 구조를 가진 4개의 섹션으로 구성하였고, 하나의 볏섹션에 3개의 분두를 설치하였다.
- 분두는 입제와 입제를 이송하는 공기가 저항을 받아 분두내로 안내될 수 있도록 충돌판을 설치하였고, 충돌판은 삽입길이를 조절 가능하도록 하였다. 또한 충돌판은 배출되는 입제 비료량을 분두내로 안내되는 양이 조절되도록 하였다.
- 신세대 비료의 경우 D의 조건에서 다른 조건보다 살포 균등도 전반적으로 좋았으며, 비료투입량이 47g/s일 때 CV값은 29.8%로 가장 균등한 살포였고, 111.4g/s일 때 37.6%의 값으로 가장 균등도가 낮았다.
- 비료 살포량과 충돌판 삽입길이별에 따른 CV값과의 관계를 분석하고자 삼원변량분석(three-way ANOVA)을 하였다. 변량분석 결과로 비료 살포량의 증가에 따른 CV값 변화는  $p = 0.001$ 로 유의수준을  $\alpha = 0.05$ 로 잡을 때  $\alpha$  보다 작으므로 유의함을 알 수 있었다. 또한 충돌판 삽입길이조건에 따른 CV값 변화도  $p = 0.000$ 으로 유의함을 알 수 있었다. 그리고 비료 살포량의 변화와 충돌판 삽입길이 조건들 간에 교호작용이 유의한 것으로 나타났다.
- 살포높이별 균등도를 실험한 결과, 살포높이가 증가할수록 중첩되어 CV값은 낮아지는 것을 볼 수 있으나, CV값이 20% 이하로 떨어지지 않는 것을 볼 수 있었다.

따라서 하나의 볏섹션에 분두 3개를 부착한 입제 변량 살포장치는 균등한 살포가 되지 않으므로 균등도를 높이기 위해서는 살포장치의 개선이 필요하다고 판단되었다.

## 제 6절 입제 변량 살포장치 개선

본 절에서는 송풍식 입제 변량살포기 개발을 위한 기본 연구로써 한 개의 볏관에 분두를 3개 장착하여 입제 비료의 살포 실험한 결과, 균등한 살포가 이루어지지 않으므로 인해 살포장치의 개선이 필요하다고 판단하였다. 이에 입제 변량 살포장치를 개선하여 충돌판 삽입길이별과 살포높이별에 대한 비료 살포 특성의 분석하고 살포 균등도를 높이고자 수행하였다. 이에 앞서 분두의 부착수를 늘려 4개를 장착하더라도 볏관내에서 입제의 이송을 고속카메라를 이용하여 볏관에서 입제 비료의 이송 유형을 파악하고 입경별 이송속도와 살포패턴을 분석하고자 수행하였다.

### 1. 고속 카메라를 이용한 입제 비료의 이송 유형 분석

#### 가. 실험 장치 구성

풍속에 따라 입제 이송현상에 대해서 입제의 이송 유형을 균질형(Homogeneous type), 균질층형(Stratified type), 불연속형(Blowing dunes type), 침전층형(Settled

layer type)의 네 가지로 분류한다.

한 개의 붐관에 분두 3개를 부착하여 살포 균등도를 실험한 결과 좋은 균등도를 얻을 수 없다고 판단하여 분두의 부착수를 4개로 늘려 입제 변량 살포장치를 개선하였다. 따라서 그림 5-36과 같이 길이 200cm의 원형 아크릴 붐관에 첫 번째 분두는 18cm 되는 지점에 부착하였고, 각 분두는 60cm의 간격으로 부착하여 한 개의 붐관에 4개의 분두를 부착하여 1색선을 구성되도록 개선하여 실험 장치를 구성하였다.

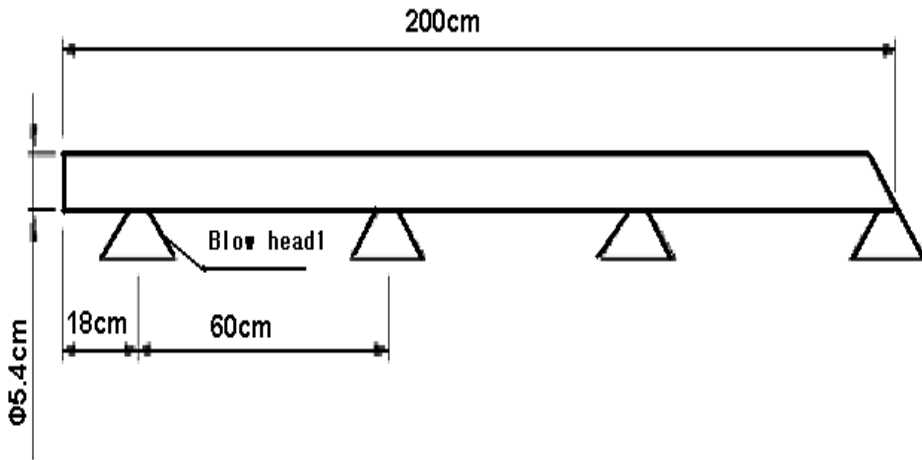


Fig. 5-36 Placement of blow head a boom section

원형 붐관에 분두를 4개를 부착하였고 각각 충돌판 관입깊이는 분두 1번은 25mm, 분두 2와 3번은 35mm로 삽입하였으며 각 분두의 간격은 60cm로 하였다.

고속 운동하는 입제 비료의 운동을 분석하고자 고속카메라( EKTAPRO-EM, KODAK, USA)와 MAW 운동해석 프로그램(KODAK, USA)을 이용하여 붐관에서 입제의 운동 패턴과 입제비료의 속도를 분석하였다. 그림 5-37과 같이 고속카메라를 설치하여 먼저 붐관에서 입제비료의 이송 유형을 관찰하였고, 각 분두에서 입경별로 충돌판에 충돌전과 충돌후의 운동 패턴을 분석하여 입경의 속도를 분석하였다. 또한 분두를 4구간으로 나누고 충돌 후 입제비료의 살포되는 방향으로 분산되는 입제의 개수를 측정하여 각 구간별로 살포되는 경향을 통계적으로 처리하였다. 고속카메라를 초당 5000 frame 촬영하였는데 이는 1 frame당 1/5000s의 시간이 소요됨으로 이를 이용하여 입경별 속도는 10 frame당 평면적인 진행거리를 측정하여 입경별 속도를 측정하였다.



Fig. 5-37 View of high speed camera system

#### 나. 입제 비료의 이송 유형 분석

분관에서 입제비료의 이송현상을 관찰한 결과 Shrinkant 등(1992)이 제시한 네 가지 이송현상 중 균질층(Homogeneous type)의 형상을 보였다. 입제비료가 원형 분관의 바닥에 굴러가는 것은 없었으면 고루 분포하여 부양하는 것을 관찰할 수 있었다.

그림 5-38과 5-39은 분두1과 분두4에서 입제비료의 이송현상은 나타난 것으로 균질층 형상임을 알 수 있었으며, 분두2와 분두3의 경우도 분두1과 같이 균질층 이송현상을 보였다. 이때 각 분두에서 풍속은 Digital Micromanometer(ZEPHYR DIGITAL MANOMETER, Solomat Co, USA)이용하여 측정한 결과, 분두1에서 분두4까지의 풍속은 각각 25m/s, 12m/s, 8m/s, 4m/s였다.

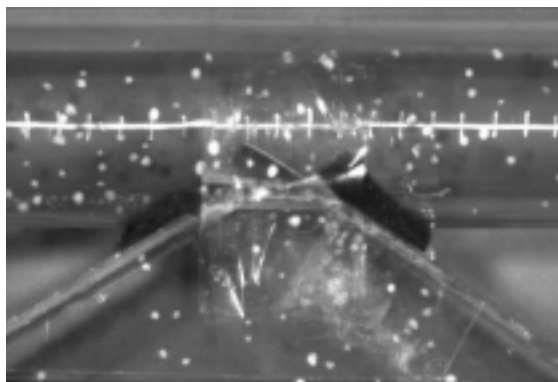


Fig. 5-38 The feature of 1st blow head



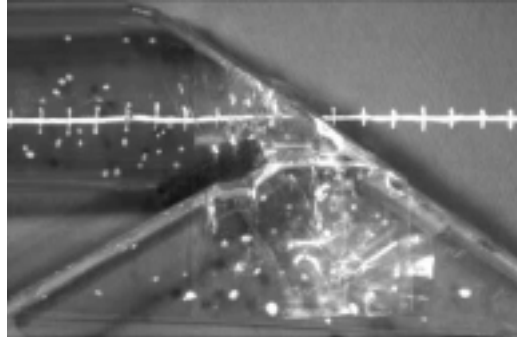


Fig. 5-39 The feature of 4th blow head

분 입제비료의 입경별로 충돌 전과 충돌 후의 속도를 측정하고자 MAW 운동해석 프로그램(KODAK, USA)을 이용하였다. 입제비료가 10 frame의 시간이 진행되는 동안 이동한 거리를 계산하여 2mm, 3mm, 4mm, 5mm의 입경별로 5개의 입제를 선택하여 각 분두에서 측정된 평균속도 구한 결과 그림 5-40과 같이 나타났다. 분두1에서 입경별 속도는 7.3m/s에서 7.9m/s의 값을 보였으며, 분두4에서는 3.7m/s에서 3.2m/s의 속도가 나타남을 알 수 있었다.

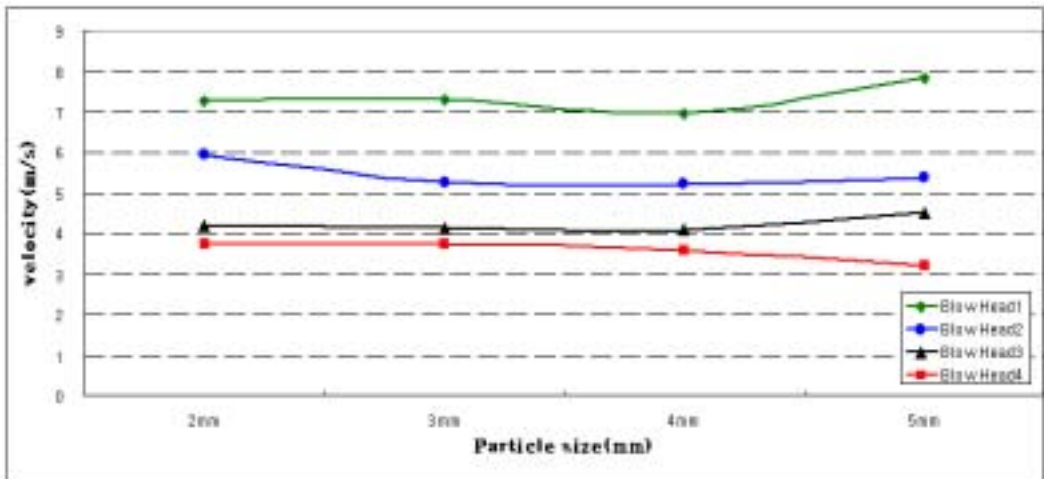


Fig. 5-40 The speed of particle in each blow head before impact

그림 5-41은 입제비료의 충돌 후의 각 입경별로 속도를 나타낸 것으로 분두2에서 속도가 다른 분두보다 조금 높게 나타남을 볼 수 있었다. 충돌 전의 속도보다 충돌 후의 입제비료는 많이 줄어들었으며, 분두2에서 대부분의 입제 속도는 2.4m/s의 속도를 보였으며 다른 분두에서는 1.2m/s에서 2.1m/s 범위의 속도가 나타남을 볼 수 있었다.

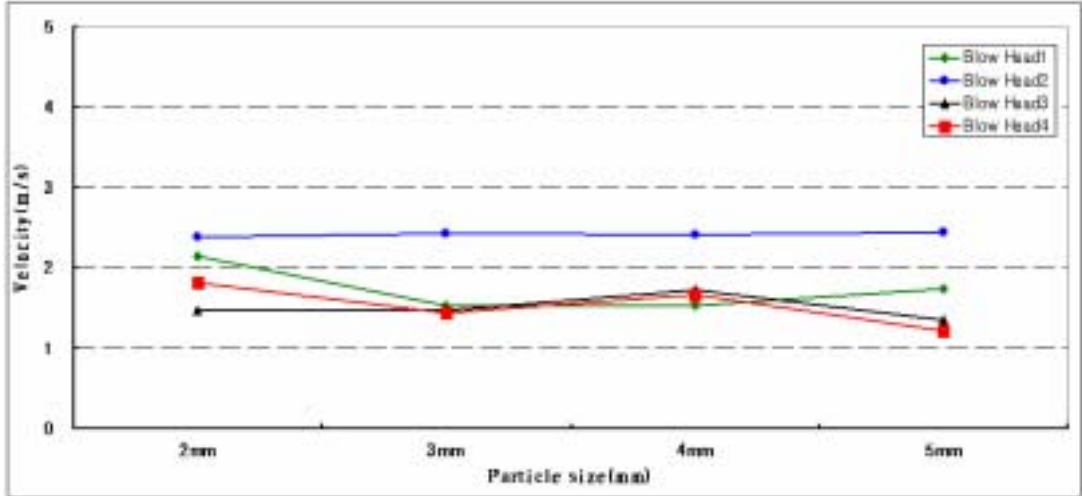


Fig. 5-41 The speed of particle in each blow head after impact

그림 5-42는 입체비료의 각 분두를 지나면서 속도 강하를 나타남을 볼 수 있다. 분두1에서 입체비료의 속도는 입경별로 7~8m/s 범위의 속도에서 출발하여 긴 분관의 길이를 지나면서 속도가 감소하며 또한 분두마다 풍량이 배출되면서 속도가 감소하여 분두4의 위치에서는 속도가 3.2~3.8m/s까지 강하함을 알 수 있었다.

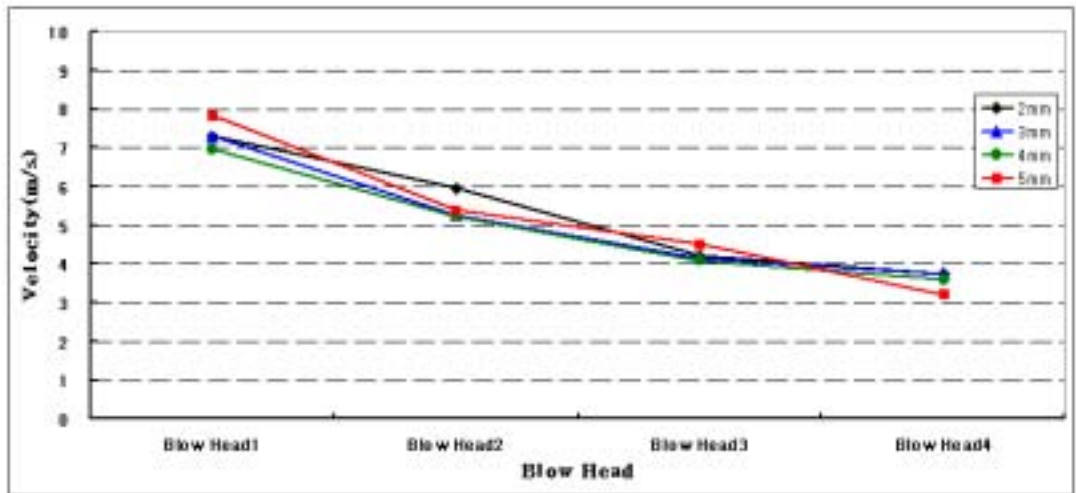


Fig. 5-42 The speed of particle in each blow head before impact

각 분두에서 속도를 가지고 날아온 입체비료는 충돌판과 반사판을 지나면서 살포되는 현상을 각각 다르게 나타냈다. 그림 5-43~5-46은 각 분두에서 입체비료가 충돌 후 살포되는 것으로 분산되는 방향이 다름을 볼 수 있었으며 화살표로 표시한 방향은 입체가 주로 분산되는 방향을 나타낸 것이다.

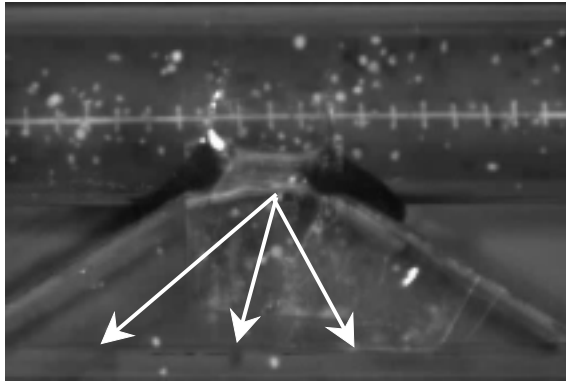


Fig. 5-43 The feature of 1st blow head

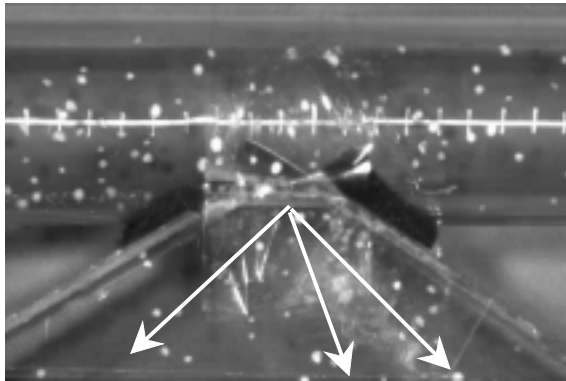


Fig. 5-44 The feature of 2nd blow head

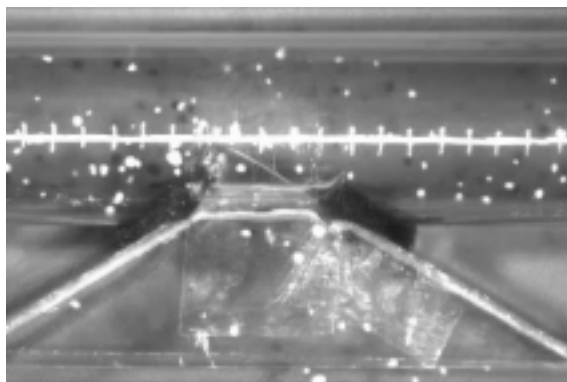


Fig. 5-45 The feature of 3rd blow head

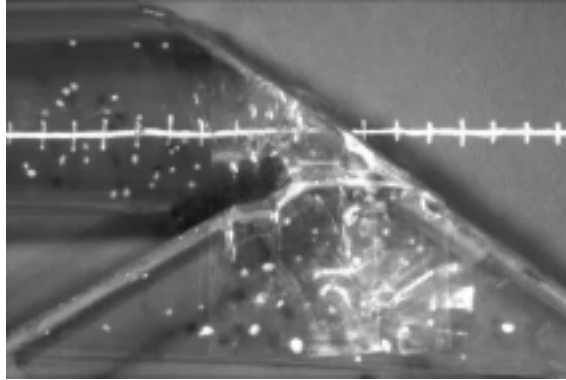


Fig. 5-46 The feature of 4th blow head

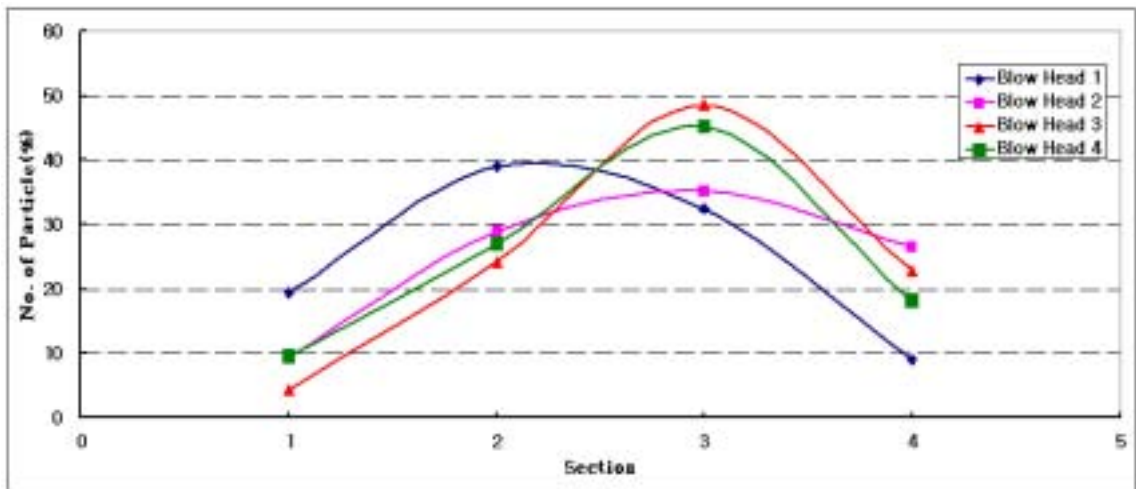


Fig. 5-47 The graph showing the numbers of the particle of sector in each blow head

통계적 사고 하에 집단의 규칙성을 찾는 방법으로 통계적 기법을 이용하였는데 각 분두마다 4구간으로 나누고 입제비료가 충돌 후 살포되는 방향의 입제비료의 개수를 측정한 결과 그림 5-47과 같이 나타났다.

## 2. 입제 살포장치 개선

그림 5-48과 같이 분두는 충돌판 삽입길이의 조절이 보다 용이하게 개선하여 제작하였다. 분두의 위쪽에 35mm × 35mm의 크기의 입구를 내어 원형 볼관에 부착하였으며, 배출장치에서 배출한 입제 비료를 분두내로 살포되는 양을 조절하는 충돌판은 폭 35mm, 두께 0.6mm의 스테인레스판으로 제작하였으며, 이는 충돌판의 삽입길이를

조절하여 배출되는 입제 비료량을 각각의 분두내로 안내되는 양이 조절이 가능하도록 하였다.

한 개의 붐관에 분두 3개를 부착하여 살포 균등도를 실험한 결과 좋은 균등도를 얻을 수 없다고 판단하여 분두의 부착수를 4개로 늘려 입제 변량 살포장치를 개선하였다. 따라서 그림 36과 같이 길이 200cm의 원형 아크릴 붐관에 첫 번째 분두는 18cm 되는 지점에 부착하였고, 각 분두는 60cm의 간격으로 부착하여 한 개의 붐관에 4개의 분두를 부착하여 1섹션을 구성되도록 개선하였다.

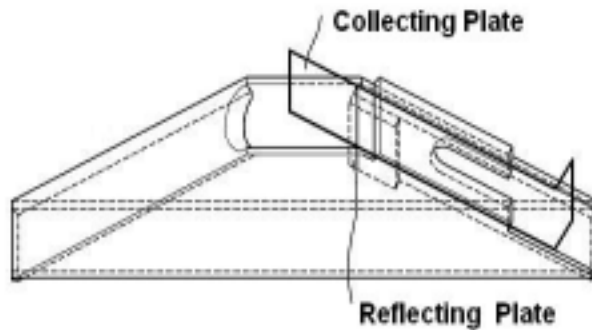


Fig. 5-48 View of blow head

### 3. 충돌판 삽입길이별 살포균등도 실험

그림 5-36과 같이 한 개의 붐섹션에 분두 4개를 부착하여 한 섹션을 구성하여 살포 유형을 분석하였다. 한 개의 붐섹션에 부착한 분두 4조를 하나의 단위로 하여 분두 하나하나의 살포유형이 아닌 하나의 붐섹션의 살포유형을 분석하였다. 하나의 붐섹션을 기준으로 바람이 불어오는 쪽의 첫 분두를 1번, 붐관의 마지막에 설치된 분두를 4번이라고 정의하고 마지막 분두를 제외한 1번, 2번 3번 분두의 충돌판 삽입길이를 표 5-16과 같이 각각 4가지의 조건에서 살포 균등도가 높은 조건을 찾는 실험을 하였다. 살포 높이는 80cm로 하였고, 살포시간은 30초씩 3회 반복 실험하였다. 살포 균등도 분석은 살포가 균등하지 않으므로 변이계수(Coefficient of Variation, CV)를 사용하여 균등한 정도를 평가하였다. 이에 입제 비료의 살포 균등도 분석을 위해 그림 5-26과 같은 패터네이터를 이용하여 30cm 간격으로 수집통에 수집된 입제 비료량을 측정하여 측정값의 평균과 표준편차를 구한 다음, 식을 이용하여 CV값을 구하여 균등도를 분석하였다.

Table 5-16 Description of a blow head for the 4 blow heads boom

Type	No. of blow head	Length of collecting plate (mm)	width (mm)
BH4-A	1	20	35
	2	30	
	3	30	
BH4-B	1	20	
	2	35	
	3	35	
BH4-C	1	25	
	2	35	
	3	35	
BH4-D	1	30	
	2	30	
	3	30	

#### 4. 살포높이별 살포 균등도 실험

충돌판 삽입길이별 실험 결과를 바탕으로 살포 균등도 좋은 BH4-C 조건인 분두 1번은 25mm, 분두 2번과 3번은 35 mm로 충돌판 삽입길이를 고정하여 살포높이를 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm로 높이별로 살포 유형과 패터네이터에 수집된 비료량으로 살포 균등도를 측정하였다. 복합비료인 신세대와 슈퍼21의 입제 비료 두 종류에 대해서 살포시간은 30초, 3회 반복하여 살포 실험을 하였다. 위의 실험결과를 바탕으로 살포높이별로 입제 비료의 살포균등도가 좋은 값에서 봄 4세트로 구성된 살포폭이 10 m가 되는 전체 시스템에서 살포특성을 분석하였다.

#### 5. 결과 및 고찰

##### 가. 충돌판 삽입길이에 따른 입제 살포특성

분두 4개 부착하여 충돌판 삽입길이 조건별 살포 특성은 그림 5-49와 같은 결과를 보였으며 신세대 비료를 대상으로 실험한 결과, BH4-D 조건을 제외한 다른 조건에서는 비슷한 CV값이 나타남을 볼 수 있었다. 또한 BH4-C의 조건에서 30cm 간격으로 살포된 비료를 수집하여 분석한 결과 CV값이 12.8%로 균등성이 가장 좋았으며 BH4-B 조건은 14.5%, BH4-A형태는 15.9%였으며, BH4-D 조건에서는 43.7%의 값으로 가장 살포 균등성이 낮음을 알 수 있었다.

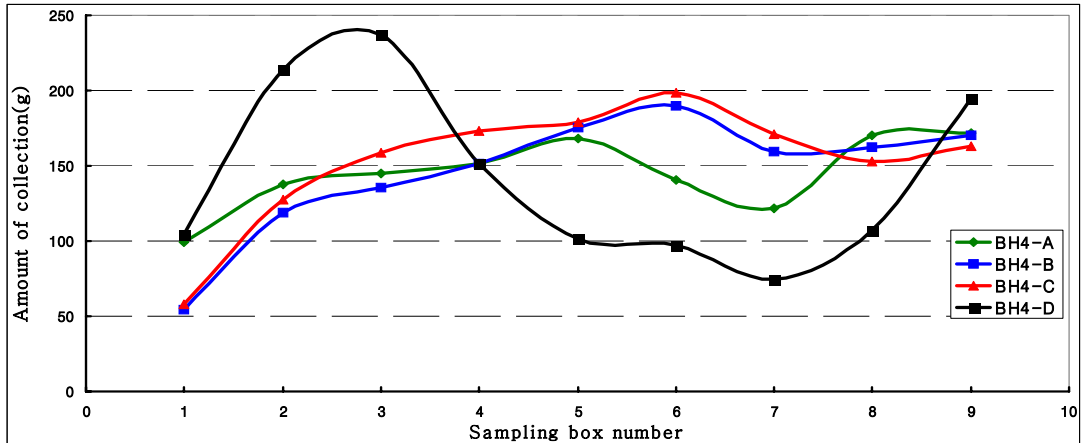


Fig. 5-49 Application ratio according to length of collecting plate  
 (\*width of sampling box = 30 cm)

나. 살포높이별 살포균등도

충돌판의 삽입길이별 살포 실험의 결과를 바탕으로 분두 4조 각각의 충돌판 삽입길이를 정하였고, 살포높이를 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm로 달리하여 살포 균등도를 측정하였다. 공시 재료로 선정한 두 종류의 입제 비료는 같은 살포 특성이 나타남을 볼 수 있었으며 살포높이가 증가할수록 이웃한 분두에서 중첩이 이루어져 살포높이가 낮을 때 보다 균등성은 좋아짐을 볼 수 있었다. 그림 5-50은 살포높이가 40 cm에서 분두 4조에 대해 30cm 간격으로 수집통에 수집된 양을 나타낸 것이며, 그림 5-54는 살포높이가 80 cm일 때를 나타낸 것이다.

그림 5-55와 같이 살포높이에 따른 각각의 CV값을 보면 살포높이가 높아질수록 CV값은 낮아지는 것을 볼 수 있는데 이는 균등하게 살포됨을 알 수 있었다. 살포높이 40cm에서 CV값은 분두 4조를 장착한 붐에서 슈퍼21을 살포했을 때는 33.5%의 값을 보였으며, 신세대를 살포했을 때는 33.6%였다. 살포높이 80cm에서는 분두 4조를 장착한 붐에서 신세대를 살포했을 때 CV값은 12.8%, 슈퍼21을 살포했을 때는 15.3%가 나타남을 알 수 있었다. 따라서 입제 변량살포기의 시작기는 한 개의 붐섹션 4개의 분두를 장착하여 좌우 붐 각각 2섹션씩이며, 살포높이가 80cm로 붐을 제작하였다.

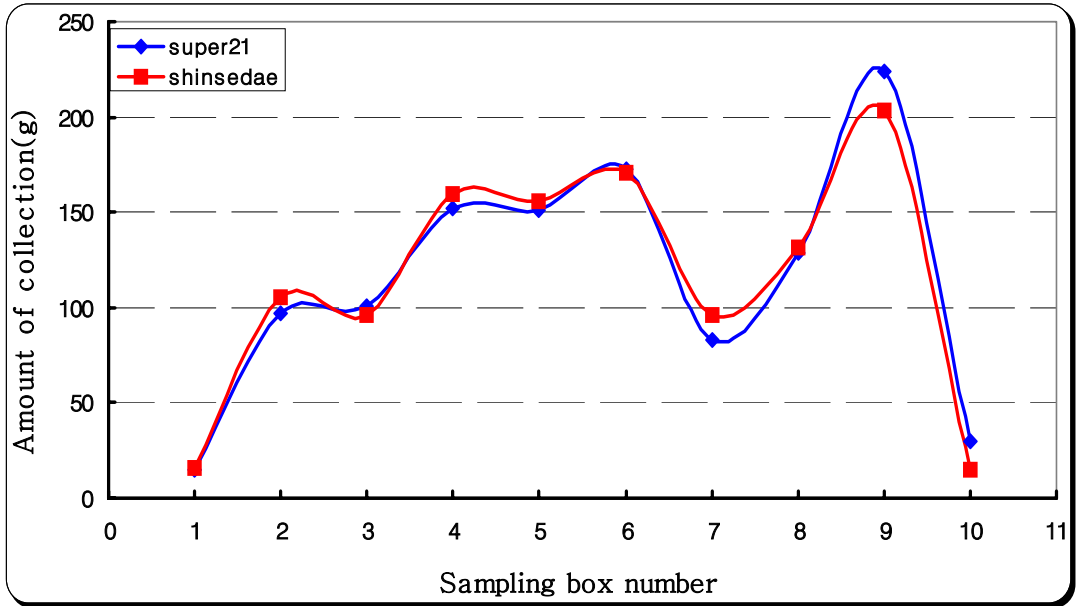


Fig. 5-50 Application patterns of a boom section at 40cm application height (\*width of sampling box = 30 cm)

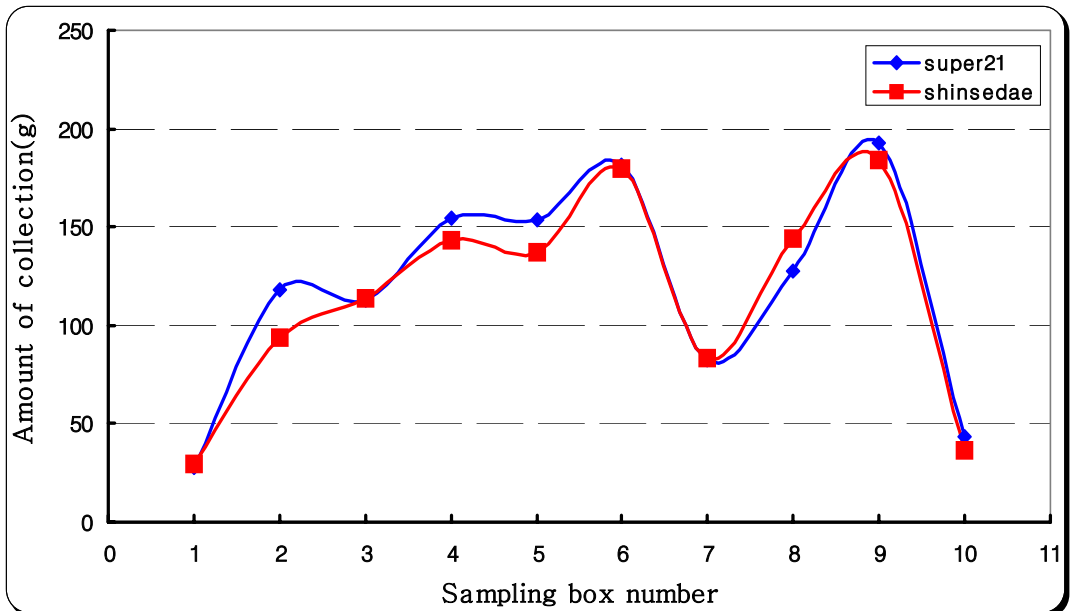


Fig. 5-51 Application patterns of a boom section at 50cm application height (\*width of sampling box = 30 cm)



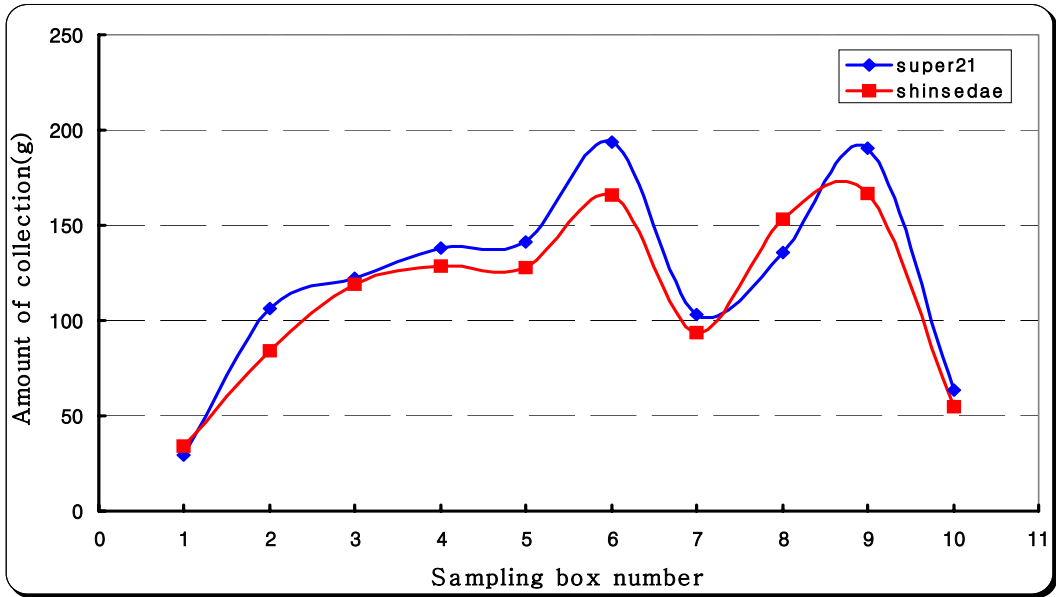


Fig. 5-52 Application patterns of a boom section at 60cm application height (\*width of sampling box = 30 cm)

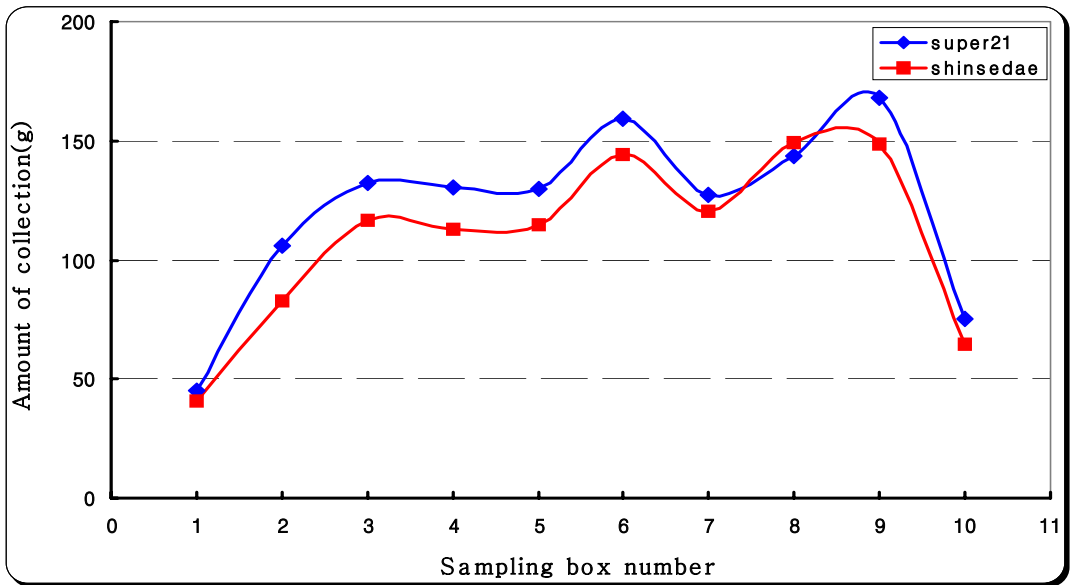


Fig. 5-53 Application patterns of a boom section at 70cm application height (\*width of sampling box = 30 cm)

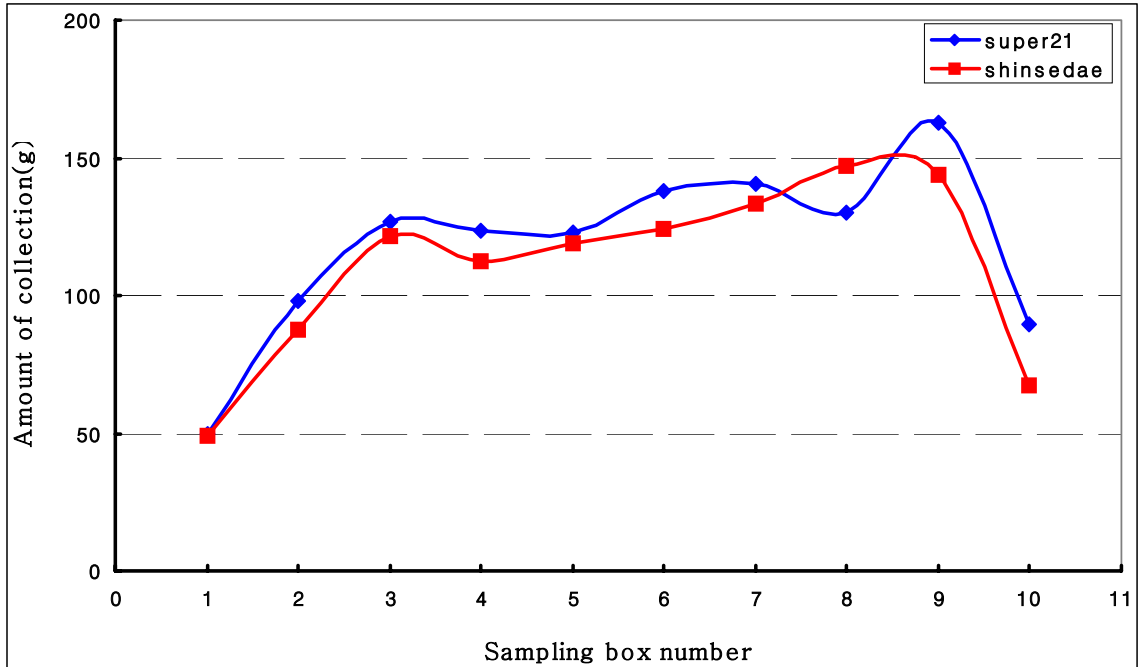


Fig. 5-54 Application patterns of a boom section at 80cm application height (\*width of sampling box = 30 cm)

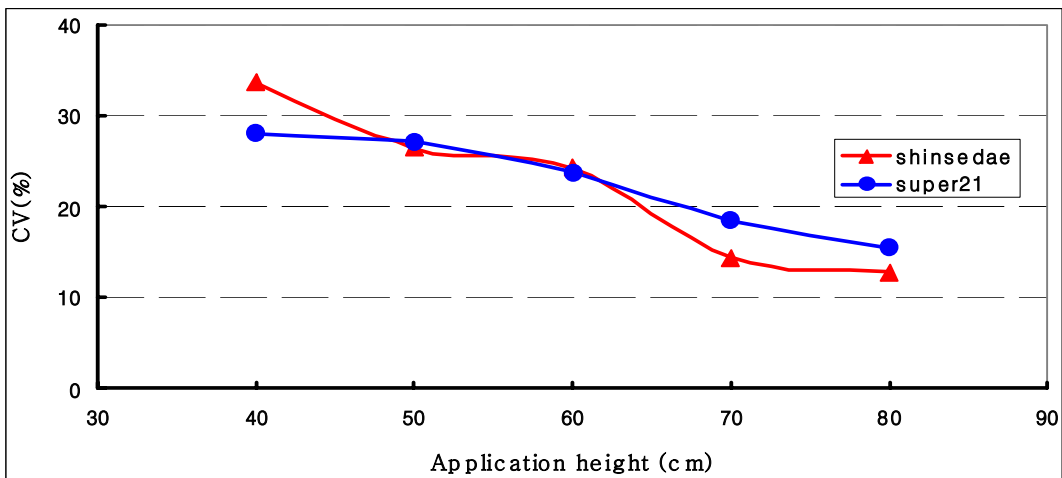


Fig. 5-55 CV values of a boom section according to application height

그림 5-56은 4개의 붐섹션으로 10m의 살포특성을 분석한 결과이다. 한 개의 붐섹션에 각 분두 1번, 2번, 3번의 충돌판 삽입길이는 각각 25, 35, 35mm하고, 살포높이는 80cm, 분두간격은 60 cm로 총 살포폭 10m에서 신세대와 슈퍼21 입제 비료를 가

지고 살포특성을 실험한 결과 그림과 같이 나타났다. 실험결과 30cm 간격으로 수집한 비료의 CV값은 신세대가 12.9%, 슈퍼21은 14.3%였으며, 90cm로 수집 간격을 늘렸을 때 CV값을 구한 결과 신세대는 7.11%, 슈퍼21은 8.06%로 10m의 살포구간에 대해 균등하게 살포되는 것을 알 수 있었다.

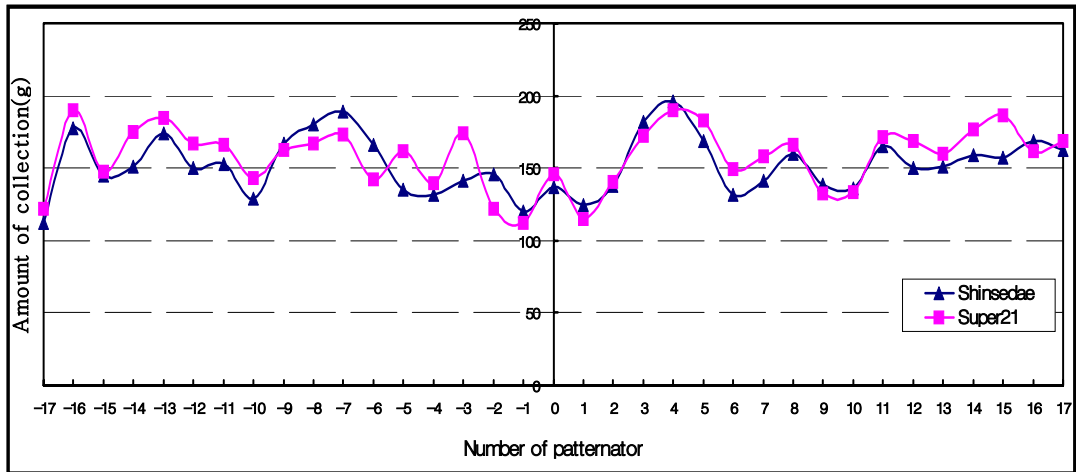


Fig. 5-56 The amount of collection of 4-blow heads booms  
(\*width of sampling box = 30 cm)

## 6. 요약 및 결론

본 절에서는 송풍식 입제 변량살포기 개발을 위한 기본 연구로써 한 개의 붐관에 분두를 3개 장착하여 입제 비료의 살포 실험한 결과, 균등한 살포가 이루어지지 않으므로 인해 살포장치의 개선이 필요하다고 판단하였다. 이에 입제 변량 살포장치를 개선하여 충돌판 삽입길이별과 살포높이별에 대한 비료 살포 특성의 분석하고 살포 균등도를 높이고자 수행하였다. 이에 앞서 분두의 부착수를 늘려 4개를 장착하더라도 붐관 내에서 입제의 이송을 고속카메라를 이용하여 붐관에서 입제 비료의 이송 유형을 파악하고 입경별 이송속도와 살포패턴을 분석하고자 수행하였다.

- 입제비료의 2mm, 3mm, 4mm, 5mm의 입경별로 5개의 입제를 선택하여 각 분두에서 측정된 평균속도 구한 결과, 분두 1번에서 입경별 속도는 7.3m/s에서 7.9m/s의 값을 보였으며 분두 4번에서는 3.7m/s에서 3.2m/s의 속도가 나타남을 알 수 있었다. 분두의 부착수를 4개로 늘리더라도 입제 이송은 원활하게 이루어짐을 알 수 있었다.
- 입제비료가 각 분두를 지나면서 속도 강하를 살펴본 결과, 분두 1번에서 입제비료의 속도는 입경별로 7~8m/s 범위의 속도에서 출발하여 분두 4번의 위치에

서는 속도가 3.2~3.8m/s까지 강하함을 알 수 있었다.

- 입제 비료의 살포 균등도를 높이고자 하나의 붐관에 분두의 부착수를 4개로 늘려 입제 변량 살포장치를 개선하였다. 길이 200 cm의 원형 아크릴 붐관에 첫 번째 분두는 18 cm되는 지점에 부착하였고, 각 분두는 60 cm의 간격으로 배치하였다.
- 신세대의 경우 분두 4조의 경우는 BH4-C조건의 경우가 CV값이 12.8%로 가장 좋은 살포 균등도를 나타냈고, BH4-B 조건은 14.5%, BH4-A 조건은 15.9%, BH4-D 조건에서는 43.7%의 값으로 가장 살포 균등성이 낮아짐을 알 수 있었다.
- 살포높이별 균등도를 실험한 결과, 살포높이가 높아질수록 CV값은 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 살포높이가 80 cm에서 신세대를 살포시 CV값이 12.8%, 슈퍼21을 사용하였을 때는 15.3%임을 알 수 있었다.
- 분두 4조에서 충돌판의 삽입 길이는 각각 25, 35, 35 mm이고, 살포높이는 80 cm, 분두간격은 60 cm, 실패된 비료를 30 cm 간격으로 수집하여 균등도를 분석한 결과, CV값은 신세대가 12.9%, 슈퍼21은 14.3% 보였다. 또한 90 cm로 수집 간격을 늘렸을 때 CV값을 계산한 결과, 신세대는 7.11%, 슈퍼21은 8.06%로 10m의 살포구간에 대해 균등하게 살포된다고 판단된다.

## 제 7절. 입제 변량 살포를 위한 변량 제어기 개발

### 1. 입제 변량 살포기 제어를 위한 제어기 설계 및 구성

#### 가. 입제 변량 살포기의 설계

입제 변량살포기의 제어시스템은 크게 신호처리부와 제어부로 구성된다. 작업정보를 취합할 수 있는 신호처리부 내부에서 처리되어야 할 정보는 작업기의 작업 상태와 관련된 GPS 신호와 속도정보와 같은 다수의 상태 변수 및 시비 방제 작업의 종류와 같은 선택적인 작업 정보가 있고 이러한 변수들을 하나의 시비 처방지도와 통합하여 분석하는 것이 신호처리부의 역할이 된다.

제어부는 신호처리부에서 결정된 최적의 작업 상태에 대응하는 입제 변량살포기의 제어신호를 살포기의 구동부에 전달하고 실제 구동부의 작동상태에 관한 제환 신호를 받아들여 작업기의 동작 상태가 시비처방 정보에 부합되도록 하며, 작업기의 작업효율이 항상 최대화 될 수 있도록 하는 역할을 수행하게 된다.

#### 1) 신호처리부

신호처리부는 시비처방지도에 해당하는 GIS 지도와 GPS의 위치 신호 및 속도 센서에서 송출되는 속도 신호를 취합하여 비교 분석할 수 있어야 하며, 또한 기비, 분

얼비, 기수 분얼비와 같은 시비 방제 작업의 형태 및 사용 입제의 종류를 지정하여 제어부에 작업 정보를 전달할 수 있어야 하기 때문에 높은 처리 속도가 요구된다. 또한 실시간 비교 분석이 필요한 GIS 데이터와 GPS 신호의 경우 처리해야 할 데이터의 양이 비교적 많으므로 고용량의 데이터를 처리할 수 있는 제어기의 성능이 요구된다.

## 2) 제어기 제어부

실시간으로 비교 분석되어 송출되는 작업정보에 따라 작업기의 구동부를 제어하며 구동부의 작동상태를 모니터링 하고 작업오차를 보정할 수 있어야 하기 때문에 실시간 제어를 위하여 높은 작업정보 처리 속도와 작동에 있어서 제어부에 처리되는 제어신호의 높은 신뢰성이 요구된다.

## 3) 살포기 구동부

입제 변량 살포기의 구동부는 입제 배출장치를 구동하는 부분으로서 모터와 모션 컨트롤러, 모터드라이브를 포함하는 부분을 말한다. 구동부의 경우 제어부에서 전달되는 제어신호에 대한 빠른 응답성이 요구되며, 제어신호에 따른 작동 오차가 작아야 한다.

## 나. 제어 시스템의 구성

### 1) 제어용 PC

입제 변량 살포 제어 시스템에서 제어용 PC는 신호처리부와 제어부의 통합부이다. 제어용 PC는 신호 처리부와 제어부의 요구 조건에 해당하는 대용량의 저장용량과 빠른 처리속도 및 제어기 자체의 신뢰도를 만족시킬 수 있는 성능, 공간적 제약을 극복할 수 있도록 소형화 및 장탈착의 용이성, 작업기의 진동에 견딜 수 있는 내진성이 요구된다. 또한, PC가 사용하는 전원은 작업기의 배터리와 발전기를 이용하여 공급되어야 하므로 전력의 소비가 일반적인 PC보다 낮아야 한다는 점과 제어용 프로그램의 이식성이 높아야 한다. 표 5-17은 제어용 PC에 대한 세부사항이며, 그림5- 57은 실제 모습이다.



Fig. 5-57 The control PC for variable-rate fertilizer control system

Table 5-17 Specification of control PC for variable-rate fertilizer control system

Item	Specification
CPU	·C3 Nehemia 1GHz
Main board	·EPIA-M 10000n
Memory	·256MB
Data storage	·30GB HDD
I/O connector	·USB 2.0 (2EA: front, 2EA: rear) ·RS-232C (1EA, 9-Pin) ·LPT-1 (1EA, 25-Pin) ·CRT Port(1EA,15-Pin) ·PS/2 (2EA) ·LAN (1EA, RJ45) ·IEEE 1394 (2EA, 6-pin/4-pin)

## 2) 모션 컨트롤러

모션 컨트롤러는 제어용 PC에서 전달된 제어 신호를 입제 배출장치에 장착되어 있는 모터 및 모터드라이브에 전달하여 최종적으로 모터를 구동시켜 입제의 배출량을 조절하는 부분으로서 제작된 입제 변량살포기의 경우 2개의 입제 배출 장치가 장착되므로 2개의 모터를 동시에 제어 할 수 있어야 한다. 2축 이상의 제어가 가능하며 제어용 PC와의 빠른 통신이 가능하며 멀티태스킹(multi-tasking) 능력이 높을 것을 우선으로 삼았으며 이에 National Instrument사의 FW-7344를 입제 변량 살포 제어기의 모션 컨트롤러로 선정하였다.

표 5-18은 모션 컨트롤러 FW-7344의 상세이며 그림 5-58은 제어기에 사용된 모션 컨트롤러와 Universal Motion Interface UMI-7764이다.



Fig. 5-58 The motion controller FW-7344 and UMI-7764

Table 5-18 Specification of motion controller FW-7344 and UMI-7764

Item	Specification
Service	•4-axis controller
Application	•Each axis configurable as stepper or servo
Configurable control method	•PID and velocity/acceleration feed forward-loop control
Update rate	•62 $\mu$ s PID loop update rate
Controller architecture	•Dual processor : 32bit, DSP •FPGAs for high speed motion I/O •Event Driven onboard multitasking RTOS
I/O connector	•68 pin
Communication with host PC	•Fire-Wire IEEE 1394

### 3) 입제 배출장치

구동부에 해당하는 모터를 이용하여 입제의 배출량을 변량 제어하기 위하여 홈플러 방식의 배출장치를 이용하였다. 입제 변량 살포기의 2개의 입제 배출장치가 필요하므로 홈플러 방식의 입제 배출장치를 1조로 구성하였고, 홈플러 방식의 입제 배출장치에는 배출장치를 구동시키기 위한 모터가 연성 커플링으로 연결되었다. 그림 5-59는 입제 배출장치가 장착된 호퍼를, 그림 5-60은 연성 커플링을 이용하여 모터를 장착한 입제 배출장치이다.



Fig. 5-59 The hopper which an granule discharge device is installed



Fig. 5-60 Discharger which is adjusted to the motor using the flexible coupling

#### 4) 입제 배출장치 구동부

입제 변량살포기는 입제 배출장치의 구동부의 모터의 회전속도를 제어함으로써 배출장치의 회전속도를 제어하고 이에 따라 홈롤러 방식의 배출장치에서 배출되는 입제의 양을 가변시키는 방식을 취하고 있다. 입제 배출 장치 구동부는 크게 모터 드라이브와 모터로 구성되어 있으며 모터 드라이브에서 사용된 제어 방식은 PWM(Pulse Width Modulation)방식이다. 또한 사용된 구동 모터는 12V 40W의 DC 모터를 사용하였다.

입제 배출 장치를 구동하기 위해 PWM 제어 방식을 이용 할 경우 모터의 출력 토크를 유지하면서 전력 안정화가 가능하고 모터 소비 전력을 절감시킬 수 있다는 장점이 있다. 따라서 구동부의 모터 드라이브는 PWM 제어방식을 이용하여 구성하였다. 그림 5-61은 PWM 제어 회로를 이용하여 구성한 모터 드라이브이다.



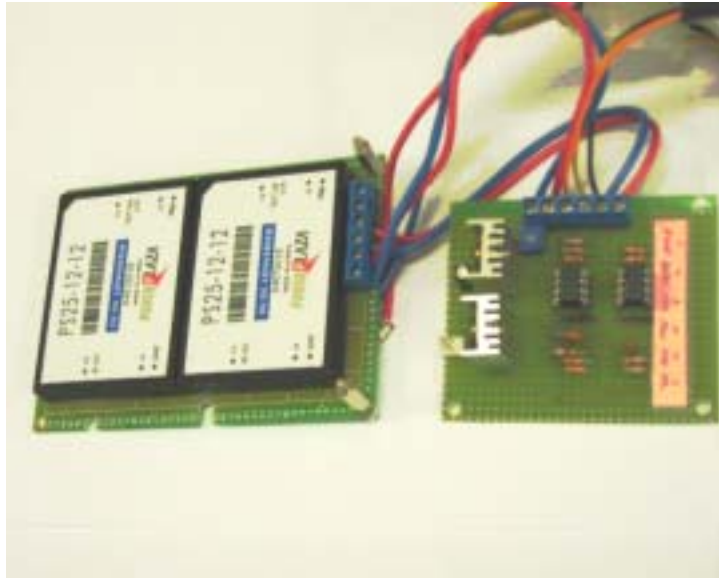


Fig. 5-61 The motor drive using PWM control

#### 5) 입제 변량살포 제어기 조작부

입제 변량살포 제어기동작을 조작하기 위해서는 제어기 조작부가 필요하다. 제어기 조작부는 작업자가 손쉽게 제어기를 조작할 수 있도록 운전석에 설치되어야 하므로 그 크기가 소형이어야 하며 작업자가 손쉽게 조작할 수 있도록 그 구성이 간단하여야 한다. 그림 5-62는 조작부의 회로도이다.

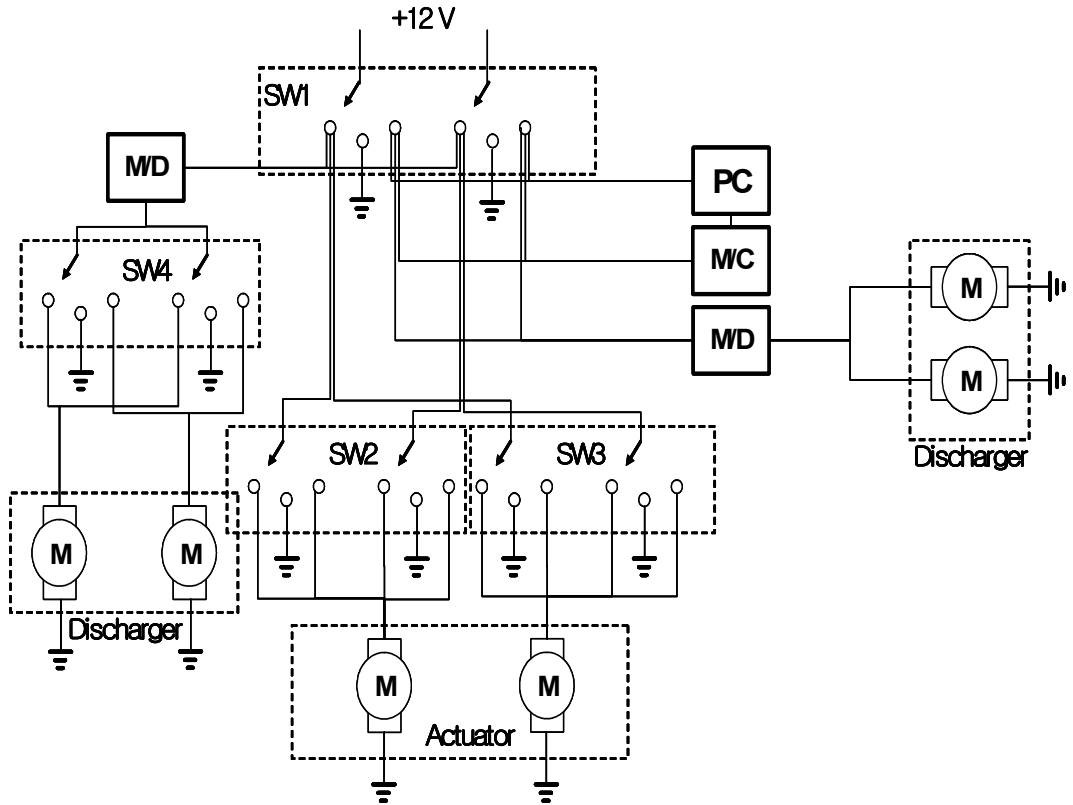


Fig. 5-62 The circuit diagram of operating part for variable-rate fertilizer controller

6) 입제 변량살포 제어기 상태 표시부

상태 표시부는 차량용 소형 LCD 모니터를 사용하였으며, 10.2인치 크기로 작업기의 운전석에 탈착이 용이하며 주간 시인성이 높아 작업자가 높은 가독성을 보일 수 있도록 선정하였다. 그림 5-63은 제어기의 상태 표시부의 외관과 작업기에 장착한 모습이다.



Fig. 5-63 The display part of variable-rate fertilizer controller

다. 입제 배출장치의 제어방식과 구성

1) 입제 배출장치의 속도 제어 시스템

설계된 입제 배출장치에서 배출되는 입제의 양을 조절하기 위해서는 입제 배출 장치를 구동하는 모터의 회전속도의 제어를 통하여 배출되는 입제의 양을 가변시키는 것이 필요하다. 입제 배출 장치를 구동하기 위한 용도는 초당 요구 회전수와 같은 제어 성능이 요구되고 그 안정성이 제어의 목적이 되므로 회전수를 일정하게 유지하면서 원하는 회전수에 안정적으로 도달하는 것이 필요하다. 입제 배출장치의 제어방식은 아날로그 비례 제어 방식의 속도 제어 시스템을 사용하였으며, 그림 5-64는 F/G(frequency generator)를 이용한 아날로그 비례 제어방식에 대하여 나타낸 개략도이다.

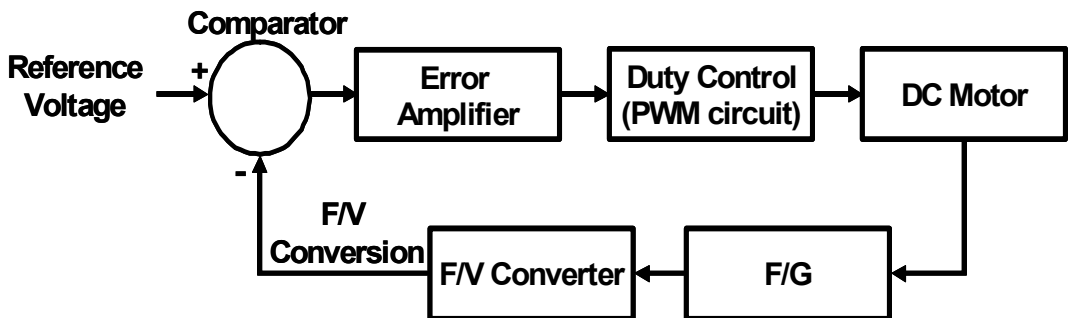


Fig. 5-64 Schematic of analog proportional control method using F/G

구성된 아날로그 비례제어 방식의 작동원리는 PWM 방식으로 구동된 DC모터와 연결된 F/G에서 발생한 주파수 신호는 F/V 컨버터를 통하여 전압신호로 변환되며 이렇게 변환된 전압 신호는 모터의 회전 속도를 결정하는 기준전압 신호와 비교기를 통하여 비교 된다. 이때 비교기를 통하여 비교된 전압신호는 비교기를 통하여 오차 신호로 출력되며, 오차 증폭기를 통하여 증폭되며 증폭된 오차 신호는 최종적으로 PWM 회로에 입력되어 모터를 On/Off 시키는 트랜지스터의 스위칭 시간 및 듀티(duty) 사이클을 변화시켜 입제 배출장치의 회전속도를 제어하게 된다.

## 2) F/G 서보 시스템의 구성

일반적으로 모터의 회전수를 검출하는 방법으로서 가장 이상적인 방법은 회전수를 주파수로 변환하여 계측하는 방법이다. 이는 회전수(RPM)와 주파수는 동일한 차원에서 다루지게 되므로 기본적인 신호 처리에서의 오차는 이론적으로는 발생하지 않기 때문이며 따라서 구성된 F/G 서보는 그림 5-65에서 볼 수 있는 것처럼 모터의 회전수를 주파수로 검출하고 제어하게 된다.

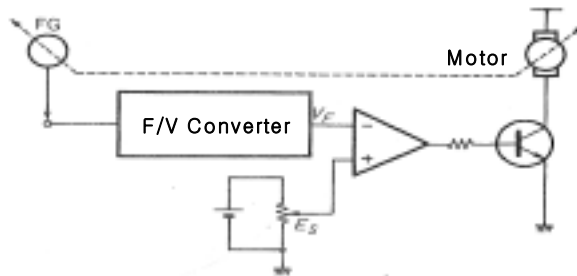


Fig. 5-65 Basic organization of F/G servo system

## 3) PWM을 이용한 배출 장치의 속도 제어 회로의 구성

F/G 서보 시스템에서 입제 배출장치의 속도를 제어하는 부분은 PWM(Pulse Width Modulation) 회로로서 PWM 회로란 반도체 소자를 고주파로 스위칭시켜 스위칭 펄스의 폭을 변화시킴으로써 모터에 인가되는 전압 및 전류를 제어하는 방식을 말하는 것이다. 실제 구성된 F/G 서보 시스템에서 PWM의 회로는 모터 구동회로에서 발생하는 듀티 사이클을 제어하는 역할을 수행하며 이러한 PWM회로는 모터에 전류를

인가하는 역할을 수행하는 스위칭 트랜지스터의 베이스 부분에 입력되는 펄스의 듀티 사이클(Duty Cycle: 펄스폭의 H와 L의 비)을 변화시킴으로써 스위칭 트랜지스터의 On/Off 간격을 변화시키게 된다. PWM 회로의 간단한 제어부, 저렴한 가격, 모터의 출력 토크는 유지하면서도 모터에 사용되는 소비전력은 절감시키는 장점을 바탕으로 PWM 회로를 이용하여 속도 제어 회로를 구성하였다.

구성된 F/G 서보 시스템에서는 입체 배출장치의 구동회로로 그림 5-66과 같은 PWM 회로를 사용하였다. 실험에서 구성된 PWM 회로의 실제 소비 전력을 구하면 15.54W로 PWM 회로를 구성하지 않았을 때의 소비전력인 22.2W 보다 대략 6W정도 절감되도록 구성하였다.

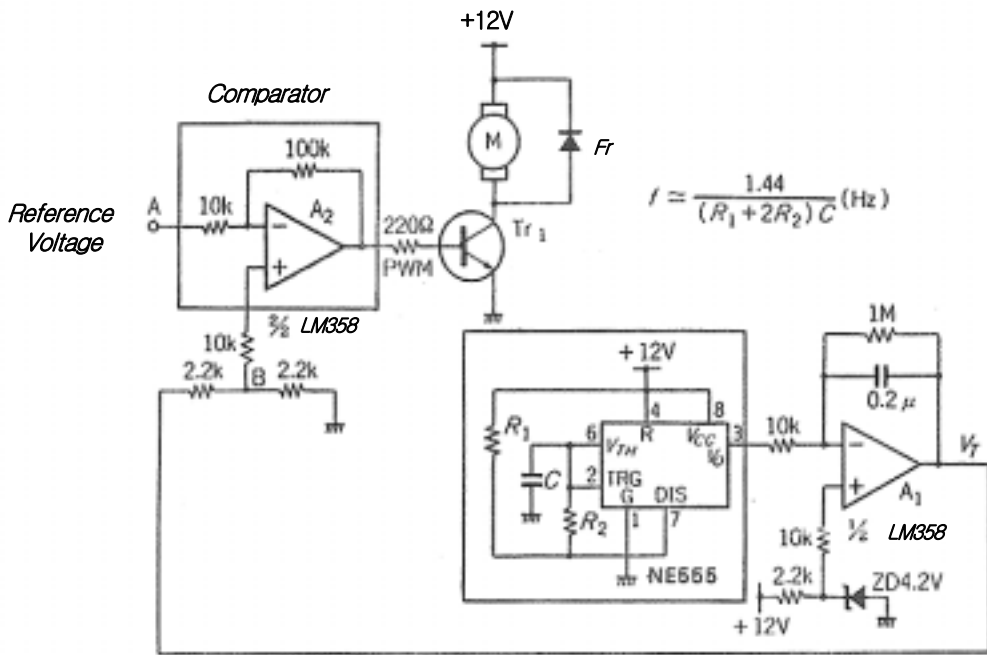


Fig. 5-66 Circuit diagram of PWM to control granule discharger

#### 4) F/G와 F/V 컨버터를 이용한 케환 회로의 구성

구성된 입체 배출 장치의 속도 제어 시스템에서 F/G 서보계의 회전 속도 검출을 위하여 사용된 F/G의 경우는 입력 전압 5V, 1000P/rev의 A사의 E40H8-1000-3-2-5를 사용하였다. 표 5-19는 속도 제어 시스템에서 사용된 F/G의 명세이며, 그림 5-67은 본 실험에서 사용된 F/G의 모습이다.



Fig. 5-67 F/G used in RPM control system

Table 5-19 Specification of F/G used in RPM control system

Item	Specification
Max. Response Frequency	180KHz
Input Voltage	5V DC $\pm$ 5%(Ripple P-P below:5%)
Operating torque	Below 50gf-cm(0.005N-m)
Consumption of current	Below 60mA
Moment Inertia	Below 40gf-cm
Axial yield load	Below Radial: 2Kgf Thrust: 0.2mmm
Max. yield RPM	5000rpm
Resolution	1000p/rev

한편 배출장치의 속도 제어 시스템에서 사용된 F/V 컨버터는 입력주파수에 비례한 직류 전압을 얻는 회로를 말한다. 컨버터 회로는 F/G에서 발생된 주파수 출력은 슈미트 회로에서 파형으로 정형화 된 후 단안정 회로에 의하여 일정한 펄스폭으로 변환되게 되며 이 펄스 신호는 적분 회로를 통과한 후 입력 주파수에 비례한 전압으로 출력되게 된다. F/V회로를 구성하기 위해 LM 331을 사용하였으며, LM 331의 경우 소자의 구동 전압인 10V를 소자에 인가하고 주파수 신호를 입력 시킬 경우 입력된 주파수에 비례하여 전압 신호가 출력되도록 구성하였다. 그림 5-68은 본 실험에서 구성한 F/V회로이다.

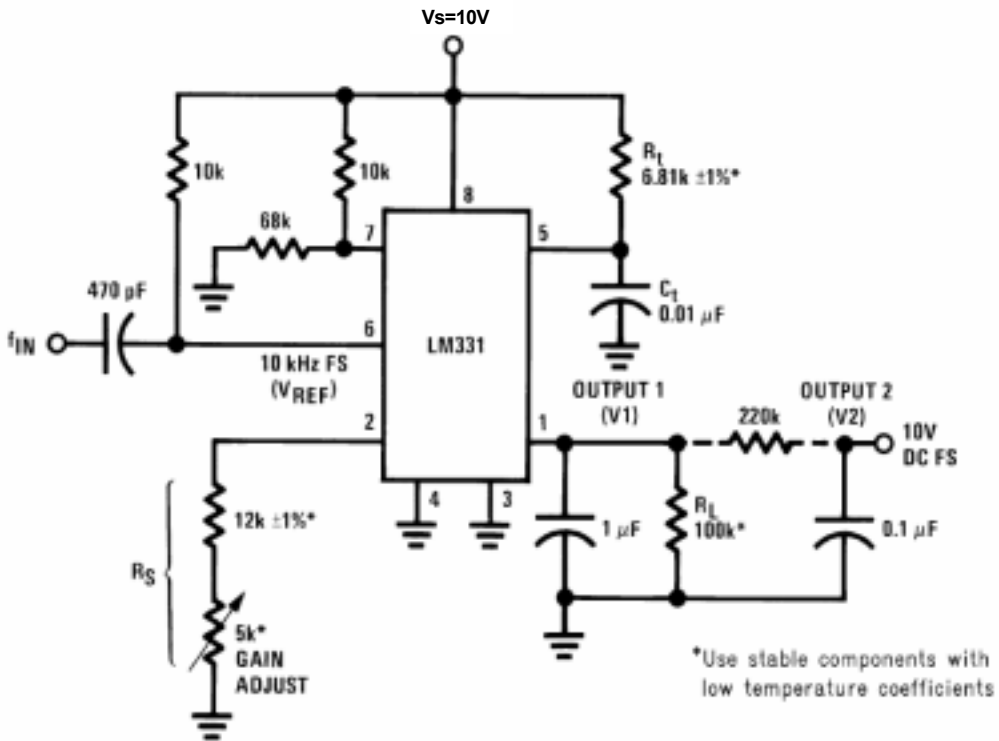


Fig. 5-68 Circuit diagram of F/V converter in discharger speed control system

## 2. 입제 변량 살포 제어 시스템 시뮬레이션 모델 설계 및 분석

### 가. 입제 배출기의 회전 속도별 응답 특성

그림 5-69는 각각 입제 변량 제어시스템에 실제 입제 배출시 각 단계별 임의의 입력 전압을 가했을 경우 시간에 따른 배출기의 회전 속도 및 단계별 상승 시간을 나타낸 것이다. 제어시스템은 과도 감쇠(overdamping)이며 따라서 오버슈트(overshoot)는 존재하지 않지만, 정상 상태 값의 10%에서 90%의 값을 지나가는데 걸린 시간 즉, 상승 시간(rise time)이 비교적 큰 편이며 외란의 영향으로 인해 정상 상태 속도가 일정하지 못한 편이다. 작업기의 진행 속도를 0.3~0.6m/s라고 하면 단계 5의 0.73초의 상승 시간은 배출기가 원하는 회전 속도에 도달하는 시간 동안 주행한 0.219~0.438m 만큼의 거리를 일정하게 살포할 수 없다는 것을 의미한다. 또한 초기 0.1초 정도의 시간 지연 또한 존재하므로 이러한 거리는 더욱 증가할 것이다. 이러한 오차 거리를 줄이기 위하여 토양의 영향, 생육 지도에 따라 작업기가 구획된 셀의 경계를 지나갈 때 작업기의 속도를 줄이는 방법이 하나의 대안이 될 수 있겠으나 작업자가 셀의 경계 지점의 정확한 위치를 파악해야만 하며 작업기의 속도를 줄임으로 인해 전체 작업 시간

이 늘어날 수 있는 단점이 있다.

따라서 작업 시 발생할 수 있는 외란과 모터의 특성 및 응답성, 효율을 고려한 정밀한 제어기의 제어 프로그램과 시뮬레이션 모델 개발 및 제어 성능의 향상에 대한 연구가 필요하다.

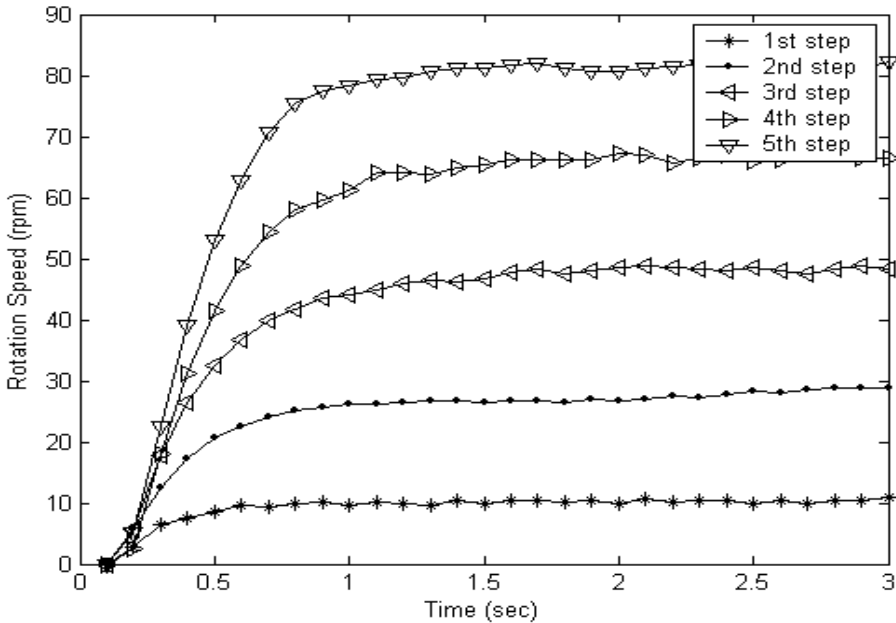


Fig. 5-69 Responses of the current controller for variable-rate application of granular fertilizers

나. 입제 변량 살포 제어시스템의 제어용 모터 특성 분석

1) 제어용 모터의 특성

입제 변량 제어시스템의 제어 성능 향상을 위해 배출기의 구동에 사용되는 직류 모터의 수학적 모델을 확립할 필요가 있다. 영구 자석형(PM, permanent magnet) 직류 모터는 그림 5-70과 같은 등가 회로로 나타낼 수 있으며 이 그림에서  $V_a$ 는 인가 전압,  $R_a$ 는 모터의 단자 저항,  $L_a$ 는 전기자 인덕턴스,  $I_a$ 는 모터에 흐르는 전류,  $E$ 는 역기전력,  $J$ 는 모터의 질량 관성 모멘트,  $T$ 는 모터의 발생 토크,  $w$ 는 모터의 회전 속도,  $T_L$ 은 모터의 작용하는 외란,  $B$ 는 점성 마찰 계수를 나타낸다.



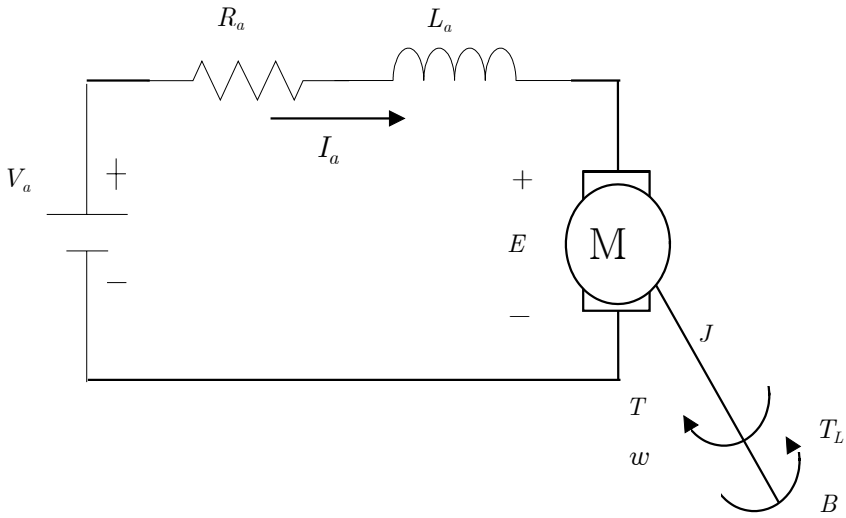


Fig. 5-70 Equivalent circuit of a PM DC motor

모터가 회전하면 회전을 방해하는 방향으로 역기전력  $E$ 가 발생하는데, 이 유도 전압은 모터의 속도와 계자 전류에 의해 발생된 자속에 비례한다. 계자전류가 일정하다고 가정하면 자속이 일정하다. 따라서 역기전력은 단지 회전속도에 비례한다고 할 수 있고, 다음 식으로 표현된다.

$$E(t) = K_e w(t) \quad (\text{식 5-5})$$

여기서  $K_e$ 는 역기전력 상수( $V/\text{rad}/\text{sec}$ )이다.

위의 회로에 키르히호프의 법칙을 적용하면 전압 방정식은 다음과 같다.

$$V_a(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + E(t) \quad (\text{식 5-6})$$

한편, 모터에서 발생한 토크  $T(t)$ 는 계자전류에서 발생한 자속, 전기자 전류, 도체의 길이의 함수이다. 계자 전류는 일정하다고 가정하기 때문에 발생 토크  $T(t)$ 는

$$T(t) = K_t I_a(t) \quad (\text{식 5-7})$$

여기서  $K_t$ 는 토크 상수( $N \cdot m/A$ )이다.

발생한 토크는 기계적 부하를 구동하므로 토크 방정식은

$$T(t) = J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t) + T_L(t) \quad (\text{식 5-8})$$

식 5-5를 식 5-6에 대입하고 라플라스 변환하면

$$V_a(s) = (R_a + L_a s) I_a(s) + K_e \Omega(s) \quad (\text{식 5-9})$$

또한 식 5-6을 식 5-7에 대입하고 라플라스 변환하면

$$K_t I_a(s) = Js\Omega(s) + B\Omega(s) + T_L(s) \quad (\text{식 5-10})$$

식 5-9와 식 5-10에서  $I_a(s)$ 를 소거하고  $T_L(s)$ 를 무시하면 시스템의 전달함수는 다음 식과 같다.

$$\frac{\Omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(L_a s + R_a)(Js + B) + K_c K_t} \quad (\text{식 5-11})$$

식 5-11의 전달함수를 이용하고 외란  $T_L$ 의 영향을 추가하여 시스템의 블럭 선도를 나타내면 그림 5-71과 같다.

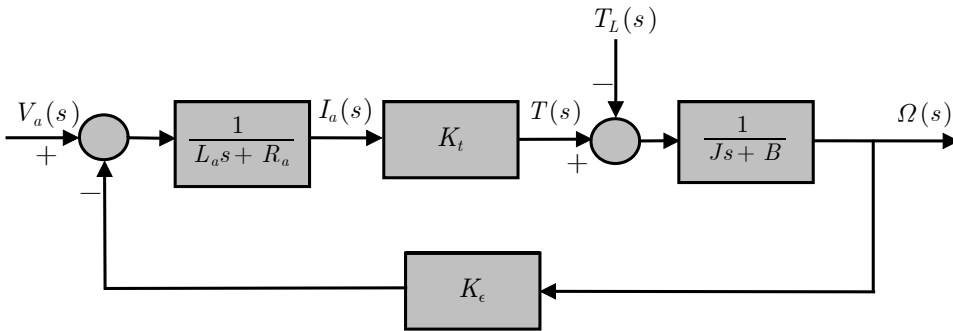


Fig. 5-71 Block diagram of a PM DC motor

## 2) 제어용 모터의 매개변수 측정

일반적으로 모터는 구입당시 명세가 자세히 주지지만 제어기에 사용된 모터는 가격이 저렴하므로 모터의 매개변수의 명세가 주어지지 않거나 정확하지 않다는 단점이 있다. 모터의 매개변수는 모터의 속도 제어에 필요하므로 본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 모터의 매개변수를 측정하였다.

### 가) 모터 내부저항의 측정

모터의 내부저항을 측정하기 위해 그림 72와 같은 회로를 구성하였으며 모터측은 회전하지 않도록 고정시킨 상태에서 전압의 변화를 가했을 때 전류의 변화를 측정하였다. 측정된 전압과 전류의 그래프에서 기울기로서 내부저항( $R_a$ )을 결정하였다.

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} \quad [\Omega] \quad (\text{식 5-12})$$

여기서  $R_a$  = 내부저항( $\Omega$ )  
 $I_a$  = 모터의 전기자에 흐르는 전류(A)  
 $V_a$  = 인가전압(V)

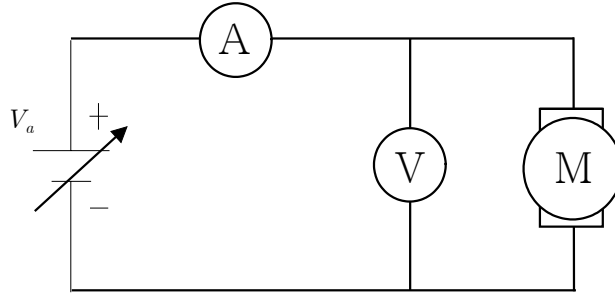


Fig. 5-72 Circuit for measuring internal resistance

나) 질량 관성 모멘트의 측정

질량 관성 모멘트의 측정에는 모터의 시상수를 측정해서 결정하는 방법 또는 suspension method 등의 방법이 있다. 그러나 시상수 측정법을 이용할 경우 모터 배출기 롤러에서의 마찰이 롤러의 상태에 따라 달라지므로 배출기 롤러에 따라 측정값이 달라지는 경우가 있으며, suspension method의 경우에는 진동 주기 측정이 힘들며 또한 진동 접촉점에서 마찰력이 없다고 가정하고 진동폭을 작게 하여야 하므로 질량이 작은 모터의 경우에는 적용이 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 모터 회전자, 엔코더, 감속기, 커플링, 배출기 롤러를 그림 5-73과 같이 3차원으로 모델링 하여 물리량을 지정하는 방법으로 결정하였다.

그림 5-74로 부터  $N_a$ ,  $N_b$ ,  $N_c$ ,  $N_d$ ,  $N_e$ ,  $N_f$  를 각각의 기어 잇수라고 하고,  $J_m$ ,  $J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$  를 각각 모터 회전자, 기어 1, 기어 2, 기어 3의 질량 관성 모멘트라고 한다면 전체의 질량 관성 모멘트  $J$ 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$J = J_m + J_1 \left(\frac{N_a}{N_b}\right)^2 + J_2 \left(\frac{N_c}{N_d}\right)^2 + J_3 \left(\frac{N_e}{N_f}\right)^2 \quad (\text{식 5-13})$$

또한 실제로 모터는 엔코더, 기어 3은 커플링과 롤러에 연결되어 있으므로 식 5-13은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$J_{equal} = J_{(m+encoder)} + J_1 \left(\frac{N_a}{N_b}\right)^2 + J_2 \left(\frac{N_c}{N_d}\right)^2 + J_{(3+coupling+roller)} \left(\frac{N_e}{N_f}\right)^2 \quad (\text{식 5-14})$$

- 여기서  $J_{equal}$  = 전체 등가 질량 관성 모멘트
- $J_{(m+encoder)}$  = 모터 회전자와 엔코더의 질량 관성 모멘트
- $J_{(3+coupling+roller)}$  = 기어 3, 커플링, 롤러의 질량 관성 모멘트

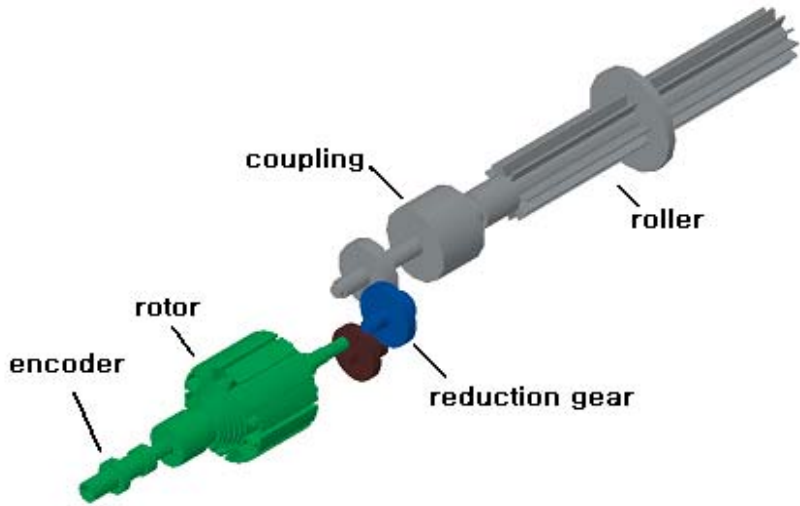


Fig. 5-73 3D modeling of rotation parts

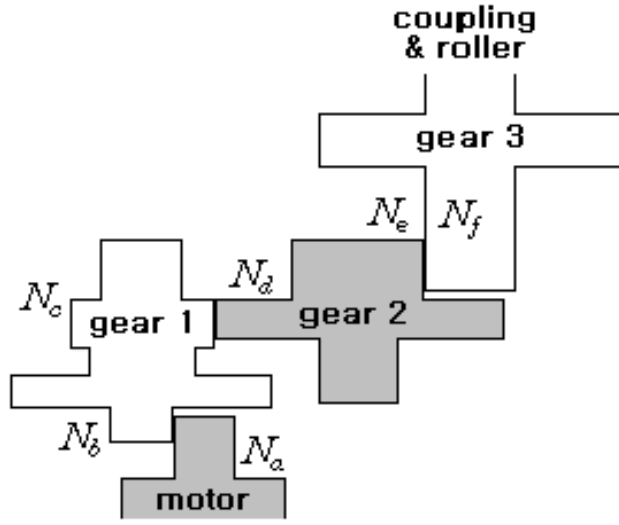


Fig. 5-74 Schematic diagram of the reduction gear

다) 전기자 인덕턴스의 측정

모터는 저항과 코일이 직렬로 연결된 것으로 간주할 수 있다. 따라서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$V_a = I_a \times \sqrt{R_a^2 + X_{La}^2} \tag{식 5-15}$$

여기서  $V_a =$  인가전압( $V$ )  
 $I_a =$  모터의 전기자에 흐르는 전류( $A$ )  
 $R_a =$  내부저항( $\Omega$ )  
 $X_{La} =$  리액턴스( $\Omega$ )

또한 전기자 인덕턴스를  $L_a$ 라 할 때,

$$X_{La} = 2\pi \times 60 \times L_a \quad (\text{식 5-16})$$

이므로 식 5-15와 식 5-16으로부터

$$L_a = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_a}{I_a}\right)^2 - R_a^2}}{2\pi \times 60} \quad [H] \quad (\text{식 5-17})$$

라) 점성 마찰계수의 측정

외란의 효과를 무시한다면 식 5-7과 식 5-8에서 모터의 토크  $T$ 는

$$T = K_t I_a = J \frac{dw}{dt} + Bw \quad (\text{식 5-18})$$

또한 정상상태의 역기전력  $E$ 는 식 5-5와 식 5-6으로부터 다음과 같다.

$$E = K_e w = V_a - I_a R_a \quad (\text{식 5-19})$$

여기서  $K_t =$  토크 상수( $N \cdot m/A$ )  
 $I_a =$  모터의 전기자에 흐르는 전류( $A$ )  
 $J =$  질량 관성 모멘트( $kg \cdot m^2$ )  
 $B =$  점성 마찰 계수( $N \cdot m/sec$ )  
 $w =$  회전 각속도( $rad/sec$ )  
 $K_e =$  역기전력 상수( $V/rad/sec$ )  
 $V_a =$  인가전압( $V$ )  
 $R_a =$  내부저항( $\Omega$ )

정상상태, 즉  $w$ 가 일정할 때 식 5-18의 우변 첫째항이 0이므로

$$K_t I_a = Bw \quad (\text{식 5-20})$$

SI 단위계에서  $K_t = K_e$ 이므로 식 5-18, 식 5-19, 식 5-20에서 점성 마찰 계수  $B$ 는 다음과 같다.

$$B = \frac{I_a}{w} (V_a - I_a R_a) \quad (\text{식 5-21})$$

마) 모터 상수의 측정

SI 단위계에서는  $K_t = K_e$ 이므로 토크 상수( $K_t$ )와 역기전력 상수( $K_e$ )를 같이

모터 상수( $K$ )라고 한다.

식 5-19에서  $K_\epsilon = \frac{V_a - I_a R_a}{w}$  이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = K_t = K_\epsilon = \frac{V_a - I_a R_a}{w} \quad (\text{식 5-22})$$

다. 입제 변량 제어시스템의 시뮬레이션

1) 2차 반복 학습 제어 알고리즘

일반적으로 DC 서보 모터 제어는 전문가에 의해서 파라미터 이득들이 정해질 수 있으며 시행착오에 의해 반복 조절해야 하는 불편함이 있다. 따라서 변량 제어시스템의 이득을 설정하는데 있어서 자동 조종 방법을 적용하였다. 2차 반복 학습 제어 알고리즘의 형태는 그림 5-75와 같으며 이득 결정에 있어서 상승시간에 따른 비례제어계수(P) 이득의 학습 알고리즘을 부가함으로써 시스템의 외란에 대한 강인성에 관심을 두었다(이, 2000).

처음에 초기 PID 이득 값에 의해 실행된 결과를 분석하여 부족제동인지 과제동인지 판단하여 과제동이면 응답을 빠르게 하기 위하여 비례제어계수(P) 이득 학습 알고리즘을 적용한다.

$$K_{P,k+1} = P_1 K_{P,k} + P_2 K_{P,k-1} + Q_1 e_{rt,k} + Q_2 e_{rt,k-1} \quad (\text{식 5-23})$$

계수  $P_1, P_2, Q_1, Q_2$ 는 반복 시뮬레이션을 통해 제어 목적(입상시간의 개선, 오버슈트의 감소, 정정시간의 개선)에 부합하는 가장 적절하게 시스템을 개선할 수 있는 값으로 택한 것이며,  $e_{rt,k}$ 는 목표 상승시간과  $k$ 번째 시뮬레이션으로 얻어진 상승시간의 차이를 의미한다.

이렇게 처음 학습을 실시한 결과 부족제동으로 판단이 되면 정착시간을 판단한다. 만약 정착시간이 목표값을 만족시키지 않는다면 오버슈트를 판단한다. 만약 오버슈트 값이 목표 오버슈트 이상일 경우 미분제어계수(D) 이득 학습 알고리즘을 적용한다.

$$K_{D,k+1} = P_1 K_{D,k} + P_2 K_{D,k-1} + Q_1 e_{pos,k} + Q_2 e_{pos,k-1} \quad (\text{식 5-24})$$

$e_{pos,k}$ 는 이상적인 응답비(=1)와  $k$ 번째 시뮬레이션에서의 최저속도와 최고속도 비와의 차를 나타낸다.

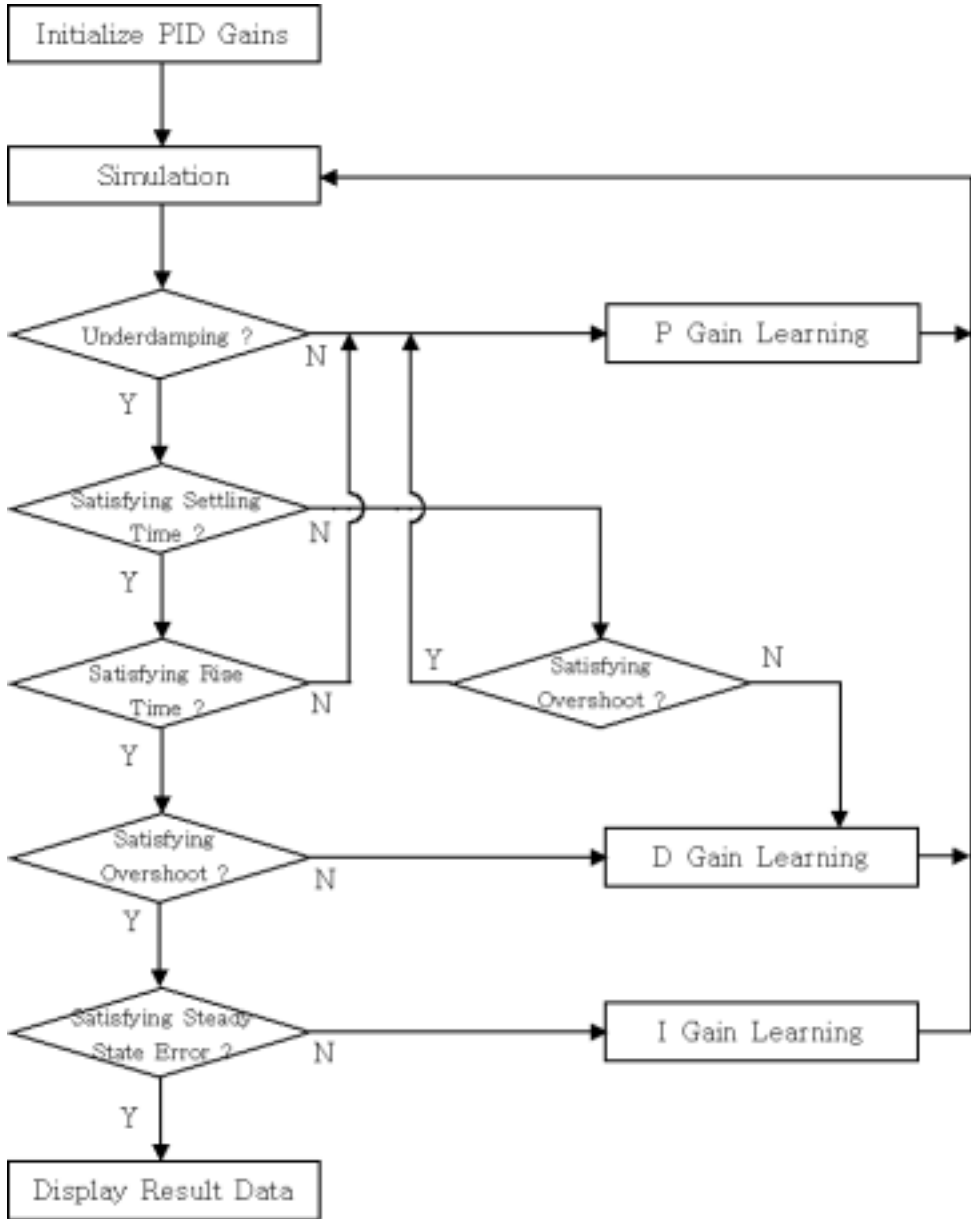


Fig. 5-75 Flow chart of the 2nd order PID gain learning algorithm

이러한 과정을 반복 수행하여 정착시간이 목표 성능 사양에 만족하면 상승시간을 판단한다. 상승시간의 변화가 있을 경우 P 이득 학습을 반복 수행한다. 이 과정은 시스템의 강인성을 개선시켜 준다. 상승시간의 변화가 없다고 판단이 되면 오버슈트를 판단하게 된다. 이렇게 하여 반복하여 수행한 결과가 위의 조건들을 모두 만족할 시에는 마지막으로 정상상태 오차가 목표 성능에 도달하는 가를 판단하게 된다. 정상상태오차를 판단 대상으로 하여 적분제어계수(I)의 이득 학습 알고리즘을 적용하였다.

$$K_{I,k+1} = P_1 K_{I,k} + P_2 K_{I,k-1} + Q_1 e_{sse,k} + Q_2 e_{sse,k-1} \quad (\text{식 5-25})$$

$e_{sse,k}$ 는 목표로 하는 정상상태오차와 시뮬레이션의 정상상태오차와의 차를 나타낸다.

## 2) 시뮬레이션 프로그램 개발

Mathworks사의 Matlab/Simulink 프로그램 이용하여 작성한 시뮬레이션 프로그램 개략도는 그림 5-76과 같다. 단위 계단 입력을 가하면 단위 입력 신호와 현재의 모터 속도와의 차이를 PID제어

기에 가하고 이 신호는 PWM(Pulse width modulation) 블럭에 의해 PWM 신호로 바뀌게 된다. 이렇게 생성된 PWM 신호가 모터에 가해지게 되며 모터의 속도는 다시 피드백 된다. PWM 블럭을 넣은 이유는 실제로 모터가 PWM 방식으로 구동되기 때문에 보다 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위함이며, 모터 블럭 역시 모터 드라이버의 특성을 최대한 반영하도록 설계하였다.

그림 5-76의 PID controller 블럭의 내부는 그림 5-77과 같이 이루어져 있다. 원하는 목표 속도와 실제 모터 속도의 차가 오차 신호가 되어 PID controller의 입력이 된다. 또한 비례, 적분, 미분 제어의 과정을 통한 출력의 합이 PID controller의 출력이 된다. 미분 제어기에 필터를 위치시킨 이유는 미분 제어기의 출력에는 고주파 노이즈가 많이 포함되어 있어 시뮬레이션 계산량이 많아지는 것을 피하기 위함이다. 필터의 전달함수는  $\frac{100000}{s+100000}$ 이다. 또한 PID controller의 출력 전압이 실제 출력 전압보다 높아지는 것을 제한하기 위해 saturation 블럭을 추가하여 출력 전압이 0V~12V가 되도록 제한하였다.

그림 5-76의 PWM 발생기 내부는 그림 5-78와 같이 이루어져 있다. 지정한 PWM 스위칭 주파수를 기준으로 PWM 신호를 출력으로 내보내게 된다. 이때 입력은 PID controller의 출력이 되며 적분기를 통한 삼각파와 비교하여 입력이 높으면 PWM 신호를 출력하고 낮으면 PWM 신호를 출력하지 않는다.

그림 5-76의 DC Motor 블럭은 그림 5-79와 같이 이루어져 있으며 PWM 출력 신호를 입력으로 하여 모터의 속도를 계산 후 출력하도록 되어 있다. 또한 모터에 흐를 수 있는 전류에는 한계가 있으므로 saturation 블럭을 추가하여 0 A~6 A의 전류를 흐를 수 있도록 하였다.



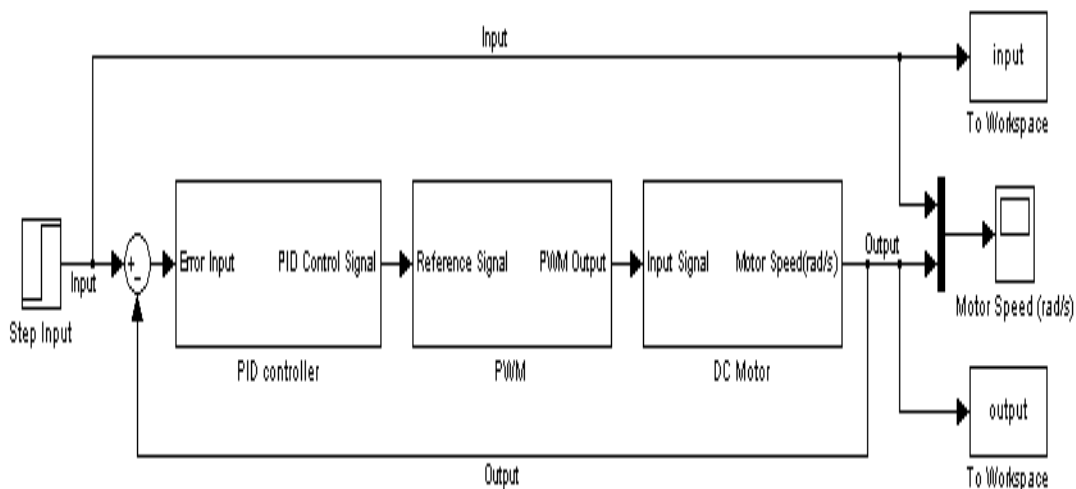


Fig. 5-76 Simulink program of a DC servo motor speed controller

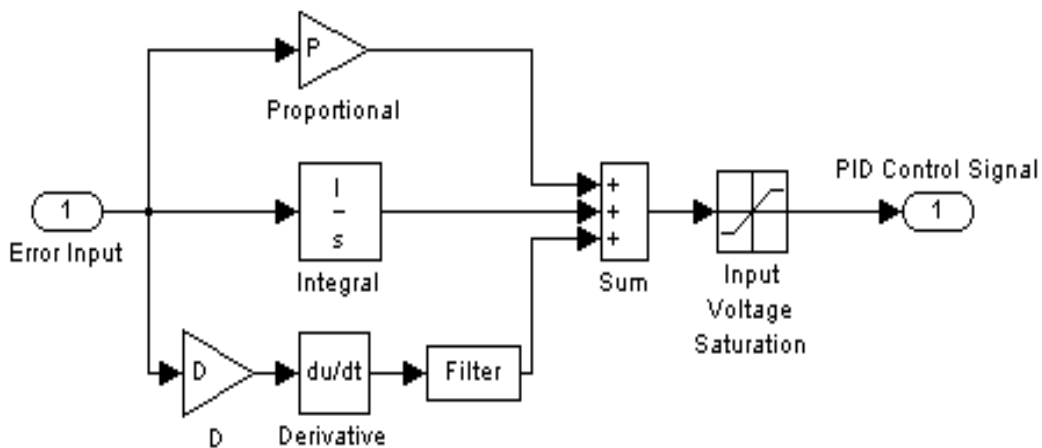


Fig. 5-77 Block diagram of a PID controller

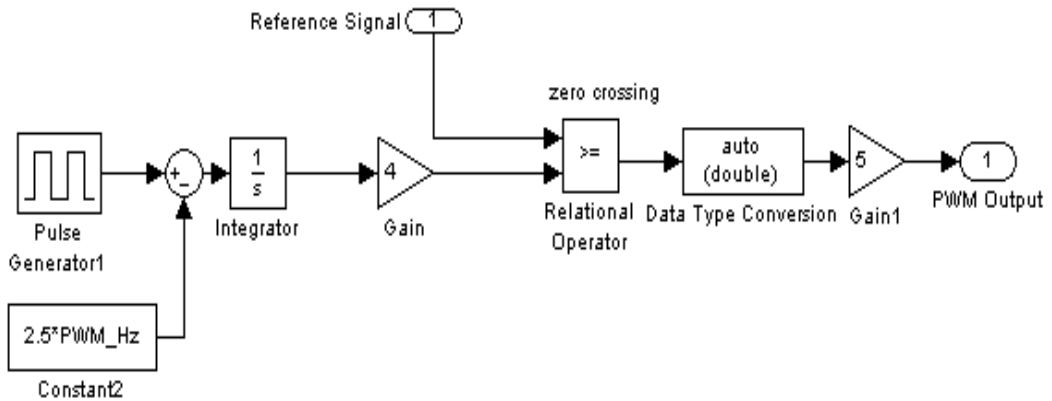


Fig. 5-78 Block diagram of a PWM signal generator

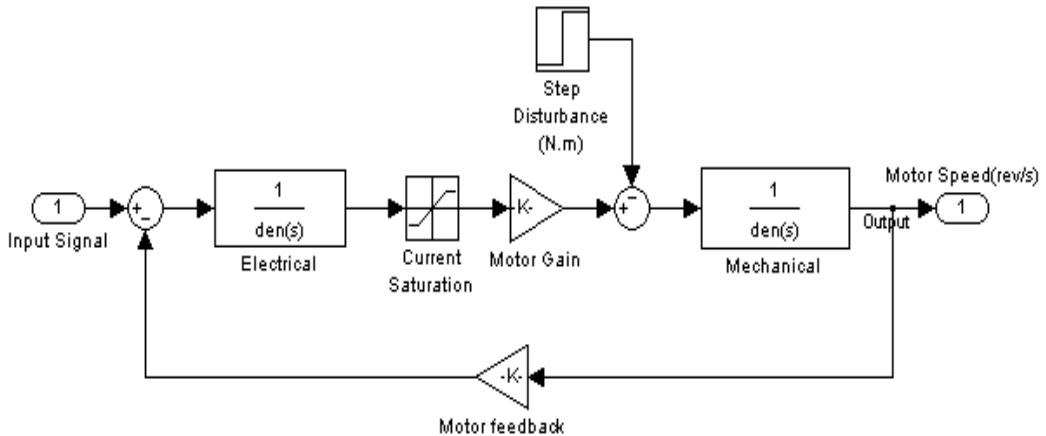


Fig. 5-79 Block diagram of the DC motor including a motor driver

라. 시뮬레이션 모델의 성능 검증 및 결과

시뮬레이션 모델의 성능을 검증하기 위하여 입제 변량 살포 제어시스템이 장착된 작업기를 0.3 m/s~0.6 m/s 사이의 속도로 주행시키면서 동시에 입제 변량 제어시스템을 작동시켜 입제비료를 노지에 투입함으로써 시뮬레이션 모델의 검증 실험을 하였다. 이때 제어시스템의 입력 회전 속도의 범위는 입제배출장치의 회전속도로 8 rpm~64 rpm이며 기어비 25 : 1의 감속기를 통해 입제 배출장치의 배출 롤러가 회전하므로 실제 배출장치를 구동하는 모터의 회전 속도는 200 rpm 부터 1600 rpm까지에 해당되는 속도로 200 rpm 간격으로 속도를 세분하여 각 회전속도 단계별로 최대 오버슈트, 상승 시간, 정착 시간, 정상상태 오차 등을 측정하였다.

Matlab/Simulink를 이용하여 2차 학습 제어 알고리즘을 사용하여 주어진 제어목표를 만족시키도록 시뮬레이션을 하였다. 총 28번의 반복 계산에 의해 결과가 도출되었으며 비례, 적분, 미분제어계수는 각각 228.2, 8.1, 16.8이었으며 최대오버슈트, 상승시간, 정착 시간, 정상상태오차는 그림 5-80에서 나타난 것과 같이 각각 1.96%, 0.05 초, 0.06 초, 0.2%였다.

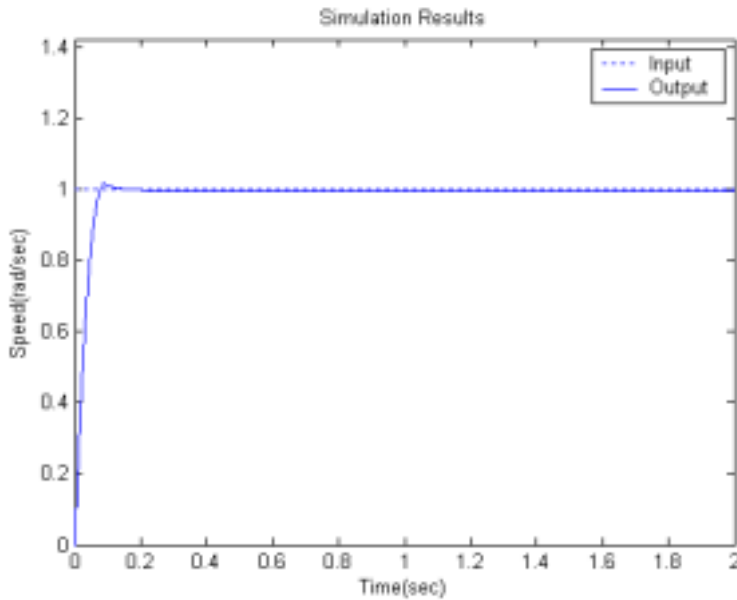


Fig. 5-80 Step response by simulation

#### 1) 부하외란실험

앞에서 결정한 비례제어계수, 적분제어계수, 미분제어계수를 시스템에 적용하여 변량 제어시스템의 현장 실험을 통해 부하에 대한 실험을 하였다. 그림 5-81에서 볼 수 있듯이 노이즈로 인해 오버슈트, 정상 상태 오차 등의 제어 성능에 영향이 있는 것으로 나타났다. 이는 작업기의 엔진 및 PTO 축의 회전, 송풍팬의 회전에 따른 진동, 토양으로부터의 가진 등이 노이즈를 발생시킨 것으로 분석된다.

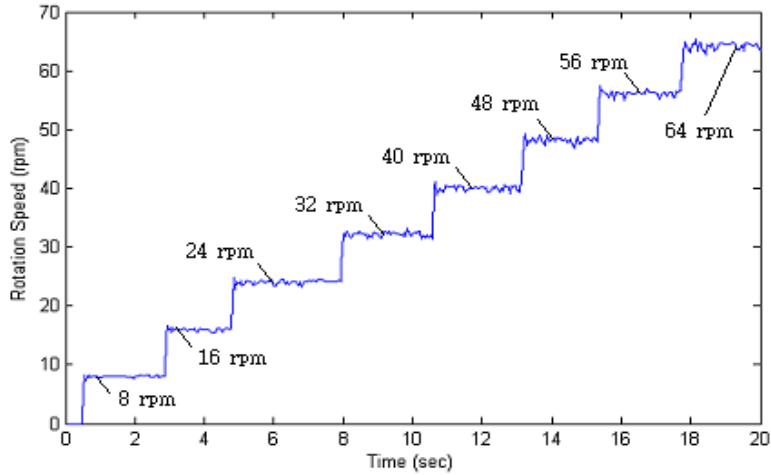


Fig. 5-81 Results of the actual tests.

## 2) 시뮬레이션 모델의 검증

작업기를 주행하면서 동시에 변량 제어시스템을 작동시켜 화학재를 토양에 투여하여 시뮬레이션 모델의 검증 실험을 하였다. 입력 회전 속도는 8 rpm~64 rpm 이며 기어비 25 : 1의 감속기를 통해 입제 배출장치가 회전하므로 이러한 입력 회전 속도는 모터의 회전 속도가 200 rpm 부터 200 rpm 간격으로 1600 rpm까지에 해당된다. 시뮬레이션 결과와 실제 실험의 결과를 보여주고 있는 표 5-20을 참조하면 입력 회전 속도가 낮은 경우 시뮬레이션 결과 보다 실제 실험 결과의 상승 시간(rise time)이 작은 경향을 보이는 것을 알 수 있으며, 반대로 입력 회전 속도가 높아질수록 시뮬레이션의 상승 시간이 작은 것을 알 수 있다. 정착 시간(settling time)과 최대 오버슈트(maximum overshoot), 정상 상태 오차(steady state error)의 경우 시뮬레이션의 결과 보다 실제 실험의 값이 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시뮬레이션 모델은 무부하 상태를 기준으로 결과를 얻은 것이기 때문에 실제로 배출기 호퍼에 담긴 화학재로 인하여 배출장치에 작용하는 부하의 영향 때문에 실제 실험에서의 응답성이 전반적으로 시뮬레이션 모델의 그것보다 느려졌기 때문이다.

Table 5-20 Results of simulation and experiment

Input (rpm)	Maximum Overshoot(%)		Rise Time (sec)		Settling Time (sec)		Steady State Error(%)	
	Simulatio n	Experime nt	Simulatio n	Experime nt	Simulatio n	Experime nt	Simulatio n	Experime nt
8	0.06	6.8880	0.0635	0.0419	0.0908	0.0978	0.0041	5.1778
16	0.08	4.0780	0.0807	0.0874	0.1272	0.1103	0.0058	1.5815
24	0.03	7.7142	0.0947	0.0930	0.1459	0.2075	0.0090	8.0645
32	0.01	7.3930	0.1047	0.1063	0.1599	0.2106	0.0111	6.8070
40	0.07	9.7446	0.1142	0.1626	0.1730	0.2683	0.0127	6.2212
48	0.07	10.6060	0.1251	0.1917	0.1872	0.4682	0.0159	5.5408
56	0.19	9.5702	0.1390	0.2224	0.2042	0.6249	0.0206	4.4547
64	3.44	6.3572	0.1520	0.2604	0.2127	0.4076	0.0450	4.3712

그러나 이러한 부하의 영향에도 정상 상태 오차의 경우 약 8% 이내로 안정되므로 이 오차 내에서 입제 변량 살포 시스템의 배출장치의 회전속도를 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 입력 회전 속도가 24 rpm, 48 rpm의 경우의 시뮬레이션과 실제 실험의 응답에 대한 비교는 각각 그림 5-82와 5-83에 나타난 것과 같다.

배출 롤러의 정지 상태에서부터 최대 64 rpm의 속도로 회전시킬 때 상승 시간이 0.26 초로 나타났으며, 이는 기존 제어시스템의 상승 시간 0.73 초 보다 약 1/3로 줄어든 것이다. 작업기의 주행속도가 0.3~0.6 m/s라고 한다면 배출 롤러를 64 rpm으로 회전시킬 때 약 0.26 초의 회전 속도 상승 시간 동안 작업기가 진행한 거리는 기존의 0.21~0.43 m보다 줄어든 0.07~0.15 m이며, 정착 시간 이내로 들어오는데 약 0.4 초가 소요되고 이 시간동안 작업기는 0.12~0.24 m 정도 진행하게 된다. 토양의 영양, 생육 지도에 따라 작업기가 구획된 셀의 경계를 지나갈 때 배출 롤러는 64 rpm 이하의 속도에서 변동하므로 결국 작업기의 진행 거리가 더욱 짧아지게 되며 기존 시스템 보다 더욱 정밀하게 입제를 배출할 수 있을 것이다.

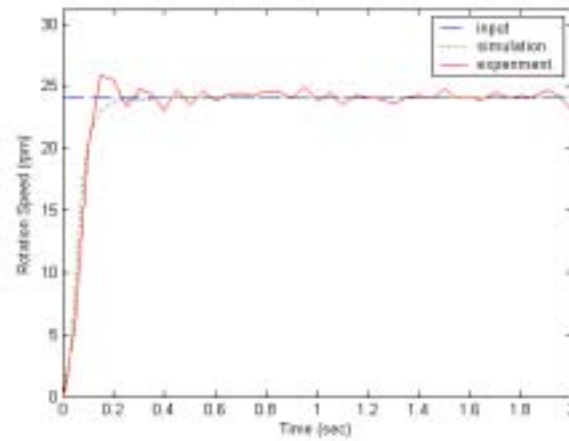


Fig. 5-82 Controller responses of 24rpm input.

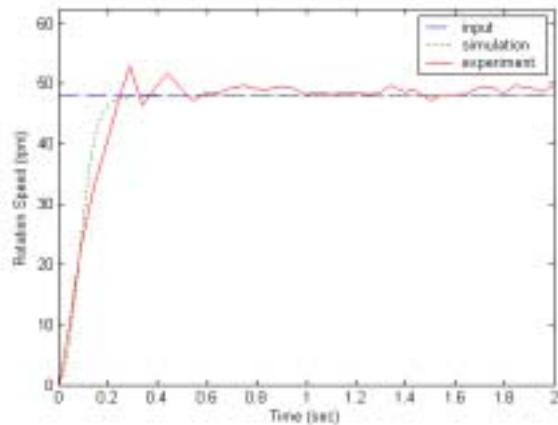


Fig. 5-83 Controller responses of 48rpm input.

### 3. 입제 변량 제어기의 성능평가

#### 가. 입제 변량살포기 배출장치의 입제 배출 경향 분석

##### 1) 공시 비료의 선정

입제 변량살포기 배출장치의 입제 배출 경향을 분석하기 위하여 선정된 공시 비료는 신세대(N:P:K=22:12:12)와 슈퍼 21(N:P:K=21:17:17) 두 종류이며, 신세대의 경우 산물밀도는 1.405g/cm<sup>3</sup>, 진밀도는 0.781g/cm<sup>3</sup>이었으며, 슈퍼 21의 경우 산물밀도는 1.507g/cm<sup>3</sup>, 진밀도는 0.901g/cm<sup>3</sup>이다.

##### 2) 테스트 프로그램의 제작

입제 변량살포기 배출장치의 배출 경향 분석을 위하여 기 설계된 입제 변량

살포 제어 시스템 및 입제 배출장치의 속도제어 시스템을 사용하였으며, Labview 7.1 및 Measurement & Automation을 이용하여 테스트 프로그램을 제작하였다.

제작된 프로그램은 배출장치의 속도 제어 회로에 입력되는 Reference 전압인  $V_{ref}$  값을 간단하게 조절함과 동시에 배출장치의 회전속도를 시각적으로 확인 할 수 있도록 구성되어 있으며, 회전속도의 변화는 수치와 함께 그래프의 형태로 출력되도록 구성하였다. 그림 5-84와 5-85는 제작된 테스트 프로그램을 보여주고 있다.

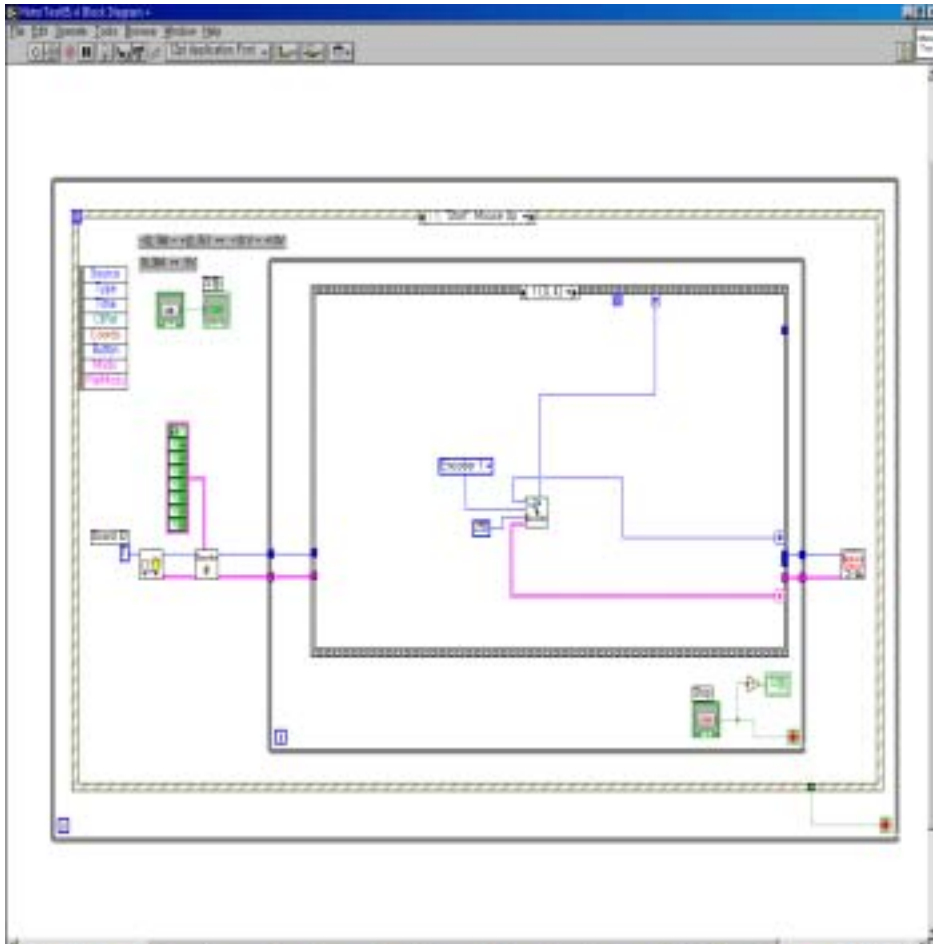


Fig. 5-84 View of test program

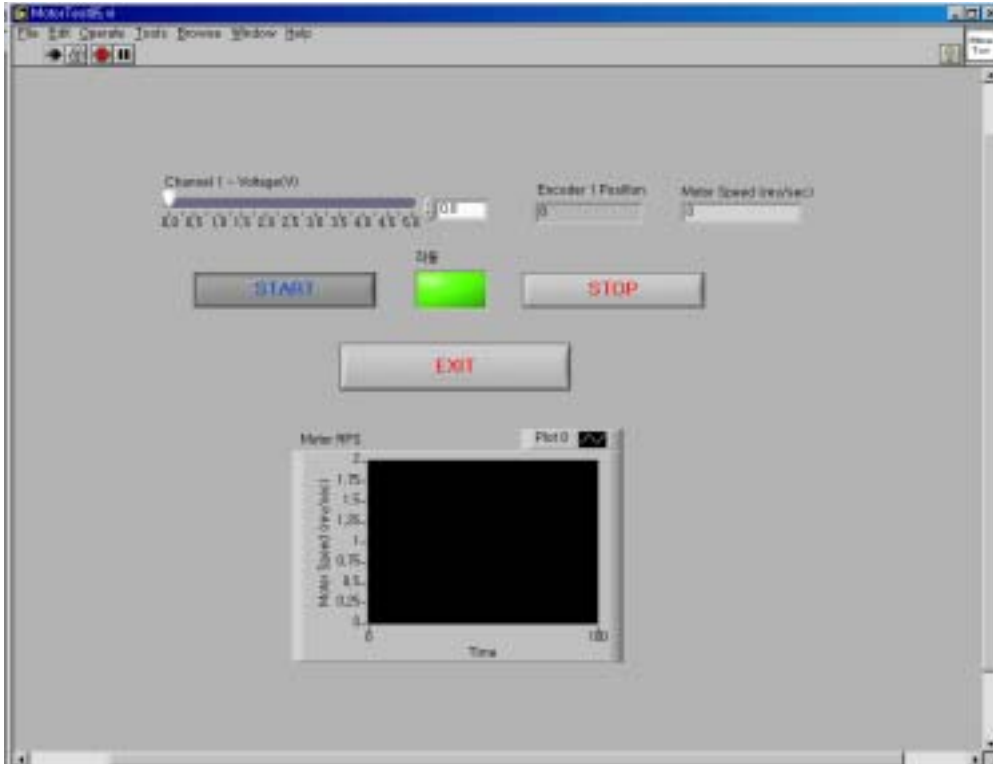


Fig. 5-85 Test program of analysis to discharge pattern of granule

### 3) 입제 변량살포기 배출장치의 회전속도에 따른 배출량 측정

호퍼 내의 퇴적고에 따른 홈롤러식 배출장치의 충전율에 대한 측정이 완료되면 배출장치의 회전속도와 배출 시간에 따른 입제의 배출 특성을 측정한다. 설계된 입제 배출 장치의 경우 홈롤러 방식을 채택하여 입제 배출장치를 구성하였고 입제의 끼임으로 인한 배출장치의 막힘 현상을 방지하기 위하여 롤러의 직경이 배출장치의 내경보다 약간 크게 설계 되어 있어 배출장치의 회전 시 롤러 날의 쓸림 현상으로 인하여 입제의 배출량이 맥동성을 가지고 변화하게 된다.

따라서 회전속도에 따른 입제의 배출량이 일정한 균등도 안에서 유지되기 위해서는 본 실험을 통하여 배출장치의 시간 및 회전 속도에 따른 입제의 평균 배출량과 CV(Coefficient of Variation: 변동계수)값을 분석하여 입제 배출량의 균등도를 분석하여 하며, 결국 이러한 분석 자료는 시비 처방 지도의 처방단계에 따라 입제의 배출량을 변화시킬 때 배출장치의 회전속도에 따라 배출되는 입제의 양이 어느 정도의 오차 범위 내에서 유지되는지 확인 할 수 있는 비교 자료를 제공하며, 최종적으로 입제 변량살포기를 제어할 때 시비 처방정보에 대응하는 입제 배출장치의 적절한 회전속도를 예측하는 모델을 개발을 가능하게 한다.



본 실험에서 배출장치의 회전속도와 배출 시간에 따른 입제의 배출량의 균등도를 나타내는 CV(Coefficiency of Variation)값은 식 5-26을 이용하여 산출하였다.

$$CV(\%) = \frac{S}{M} \times 100 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 f_i / \sum_{i=1}^n f_i}}{\sum_{i=1}^n x_i f_i / \sum_{i=1}^n f_i} \times 100 \quad (\text{식 5-26})$$

S : 표준편차  
M : 평균값  
 $x_i$  : 변량  
 $f_i$  : 도수

배출장치의 구동 모터는 12V 40W의 DC 모터를 사용하였으며, 구동회로는 설계된 PWM회로를 사용하였고 배출장치의 회전속도는 제작된 테스트 프로그램을 이용하여 모니터링 하였다. 또한 호퍼 내의 퇴적고를 10cm, 20cm, 30cm, 40cm의 4단계로 구도 모터의 회전속도는 0.2rps ~ 2.0rps 범위에서 0.2rps 단위로 10단계로 세분하였고 10cm/s의 속도로 이동하는 컨베이어 벨트 위에 150(H)×300(W)×100(D)mm 크기의 입제 수집통을 22개 배치하여 초당 배출량을 측정하였다. 그리고 각 단계별로 4회의 측정을 실시하여 데이터를 분석하였다. 그림 5-86에 본 실험의 방법을 도식하였다.

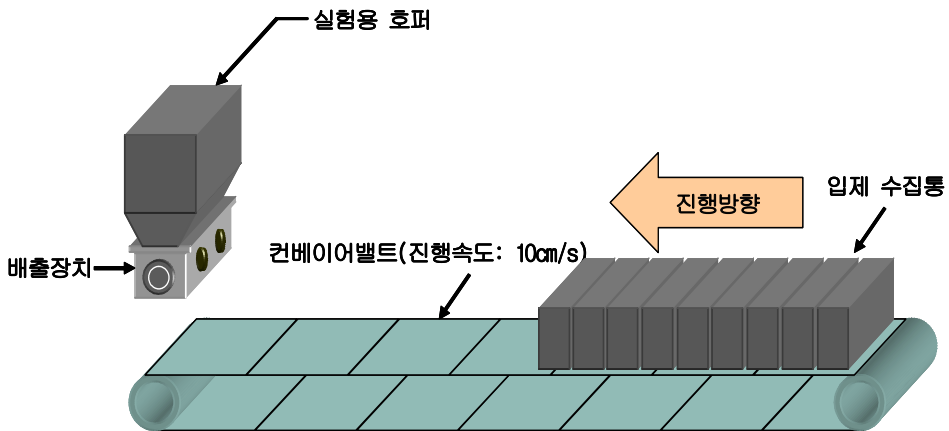


Fig. 5-86 Testing method designed for measuring discharge volume according to change of RPM

4) 입제 변량살포 제어기의 성능 분석

입제 변량 살포 제어기의 성능 분석을 위해서 예측된 입제 배출장치의 회전속

도를 시비처방정보에 따른 시비 단계로 가정하여 실제 구성된 제어기에 제어 신호를 송출하고 이에 따라 변화하는 배출장치의 회전속도를 측정한다.

이때 제어 신호가 전달된 후 입제 배출 장치가 구동하기 시작하는 시간을 측정 장치를 통하여 분석하고 입제 변량 살포 제어기의 응답 시간을 분석하며 또한 예측된 회전 속도와 실제 배출장치의 회전 속도를 비교하여 그 오차를 분석한다.

#### 나. 입제 변량살포 제어기의 제어 기준 결정

##### 1) 입제의 성분별 입제 살포량 기준

현재 수도작에서 사용되는 논외의 유형별 표준 시비 기준에 따르면 일반 논에서 10a당 시비해야하는 성분별 표준 시비량은 질소성분은 1.1~1.3kg, 인산 성분은 4.4~7.7kg, 칼륨 성분은 5.7~9.3kg이다.

제작한 입제 변량살포 제어기가 포장 내에서 시비 처방 정보에 따른 입제 살포 작업을 실시할 때 사용되는 입제로는 N, P, K 성분이 복합되어 있는 슈퍼 21(N:P:K = 21-17-17)과 신세대(N:P:K = 22-12-12)를 사용하였다.

입제 변량살포 제어기는 시비 처방 정보에 따라 입제 배출장치에 제어 신호를 전달할 때 어떤 성분을 기준으로 하느냐에 따라서 실제 포장 내에 살포되는 입제의 양이 달라지도록 구성되어 있다. 따라서 N, P, K 성분 중 표준 시비 기준에 따라 1ha의 포장 내에 살포되는 입제의 양을 각 성분을 기준으로 하였을 때 투입되는 성분별 시비량 기준 입제 투입오차 투입량을 계산함으로써 포장 내에 입제가 과다 투입되지 않도록 적절한 성분별 시비 처방 기준을 마련하여야 한다. 표 5-21은 전체 시비량의 50%를 사용하는 밀거름을 기준으로 한 성분별 입제 투입오차를 계산한 것이다.

Table 5-21 Application amount error according to ingredient ratio of Granular

Item	Application amount (kg)		Application amount error(kg)		
	Min.	Max.	Standardize N	Standardize P	Standardize K
Super21 (21-17-17)	26.19	30.95	0.00	13.25	9.43
	12.94	22.65	-13.25	0.00	-3.82
	16.76	27.35	-9.43	3.82	0.00
Shinsedae (22-12-12)	25.00	29.55	0.00	6.67	1.25
	18.33	32.08	-6.67	0.00	-5.42
	23.75	38.75	-1.25	5.42	0.00

위의 계산에 따르면 질소 기준으로 시비량을 결정하였을 경우 투입 오차의 총량이 상대적으로 다른 성분을 기준으로 하였을 때보다 큰 것을 알 수 있지만, 질소 시비량을 기준으로 하였을 경우 인산이나 칼륨 성분을 시비 기준으로 선정하였을 경우보다 상대적으로 기준 성분을 제외한 다른 성분의 부족이 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 일반적으로 질소질의 경우 부족으로 인한 생물 성장 장애가 인산이나 칼륨성분의 과다로 인한 성장 장애보다 상대적으로 심각하므로 위의 계산을 기준으로 하였을 때 입제 변량살포 제어기의 질소 성분을 시비 처방 기준으로 하여 입제의 투입량을 산출하는 것이 적절할 것으로 분석되었다.

## 2) 시비 처방 기준에 따른 회전 속도

질소 성분을 입제 변량살포 제어기의 시비 처방기준으로 선정하였을 경우 실제 시비 처방 기준에 따른 입제 배출장치의 회전속도 범위를 산출하기 위해서 표 5-22와 같이 공시비료의 질소 성분비 기준 10a의 면적당 입제 총 살포량을 산출하였다.

Table 5-22 Total application amount of granular per 10a according to ingredient ratio of N

Item	Basal fertilizer (kg/10a)		1st side dressing (kg/10a)		2nd side dressing (kg/10a)		For grain (kg/10a)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Super21 (21-17-17)	26.19	30.95	10.48	12.38	10.48	12.38	5.24	6.19
	12.94	22.65	5.18	9.06	5.18	9.06	2.59	4.53
	16.76	27.35	6.71	10.94	6.71	10.94	3.35	5.47
Item	Basal fertilizer (kg/10a)		1st side dressing (kg/10a)		2nd side dressing (kg/10a)		For grain (kg/10a)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Shinsedae (22-12-12)	25.00	29.55	10.00	11.82	10.00	11.82	5.00	5.91
	18.33	32.08	7.33	12.83	7.33	12.83	3.67	6.42
	23.75	38.75	9.50	15.50	9.50	15.50	4.75	7.75

표 5-22의 입제 총 살포량을 기준으로 입제 변량살포 제어기의 입제 배출장치의 회전속도를 산출하였으며 그 결과는 다음의 표 5-23, 5-24와 같다. 산출된 회전속도 범

위는 입제 배출장치를 구성함에 있어서 구동부의 최소 요구 성능을 설정하는 기준이 되며, 구동부의 성능이 요구 성능을 충족하는지에 대한 판단 근거가 된다. 표 5-23은 공시비료인 슈퍼21을 사용하였을 경우의 입제 배출장치의 요구 회전속도이며, 표 5-24는 신세대를 사용하였을 경우의 요구 회전속도이다.

Table 5-23 Using super21, yield rps of discharger according to work speed

Work Speed (m/s)	Basal fertilizer (rps)		1st side dressing (rps)		2nd side dressing (rps)		For grain (rps)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
0.1	0.130	0.154	0.052	0.062	0.052	0.062	0.026	0.031
0.2	0.260	0.308	0.104	0.123	0.104	0.123	0.052	0.062
0.3	0.391	0.462	0.156	0.185	0.156	0.185	0.078	0.092
0.4	0.521	0.616	0.208	0.246	0.208	0.246	0.104	0.123
0.5	0.651	0.769	0.260	0.308	0.260	0.308	0.130	0.154
0.6	0.781	0.923	0.312	0.369	0.312	0.369	0.156	0.185
0.7	0.911	1.077	0.365	0.431	0.365	0.431	0.182	0.215
0.8	1.042	1.231	0.417	0.492	0.417	0.492	0.208	0.246
0.9	1.172	1.385	0.469	0.554	0.469	0.554	0.234	0.277
1.0	1.302	1.539	0.521	0.616	0.521	0.616	0.260	0.308
1.1	1.432	1.693	0.573	0.677	0.573	0.677	0.286	0.339
1.2	1.562	1.847	0.625	0.739	0.625	0.739	0.312	0.369
1.3	1.693	2.000	0.677	0.800	0.677	0.800	0.339	0.400
1.4	1.823	2.154	0.729	0.862	0.729	0.862	0.365	0.431
1.5	1.953	2.308	0.781	0.923	0.781	0.923	0.391	0.462
1.6	2.083	2.462	0.833	0.985	0.833	0.985	0.417	0.492
1.7	2.213	2.616	0.885	1.046	0.885	1.046	0.443	0.523
1.8	2.344	2.770	0.937	1.108	0.937	1.108	0.469	0.554
1.9	2.474	2.924	0.990	1.169	0.990	1.169	0.495	0.585
2.0	2.604	3.078	1.042	1.231	1.042	1.231	0.521	0.616

공시 비료인 슈퍼 21의 경우 작업기의 속도에 따른 요구 입제 배출장치의 요구 회전 속도는 밀거름의 경우 최소 살포 시에는 0.13~2.604 rps의 범위를 가지며 최대 살포 시에는 0.154~3.078 rps의 범위를 가지는 것으로 분석되었다. 웃거름 및 알거름의 경우 요구 회전속도는 표 5-23의 결과와 같다.

마찬가지로 공시 비료인 신세대의 경우 작업기의 속도에 따른 요구 입체 배출장치의 요구 회전속도는 밀거름의 경우 최소 살포 시에는 0.113~2.207rps의 범위를 가지며 최대 살포 시에는 0.13~2.608rps의 범위를 가지는 것으로 분석되었다. 웃거름 및 알거름의 경우 요구 회전속도는 표 5-24의 결과와 같다.

Table 5-24 Using shinsedae, yield rps of discharger according to work speed

Work Speed (m/s)	Basal fertilizer (rps)		1st side dressing (rps)		2nd side dressing (rps)		For grain (rps)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
0.1	0.110	0.130	0.044	0.052	0.044	0.052	0.022	0.026
0.2	0.221	0.261	0.088	0.104	0.088	0.104	0.044	0.052
0.3	0.331	0.391	0.132	0.156	0.132	0.156	0.066	0.078
0.4	0.441	0.522	0.177	0.209	0.177	0.209	0.088	0.104
0.5	0.552	0.652	0.221	0.261	0.221	0.261	0.110	0.130
0.6	0.662	0.782	0.265	0.313	0.265	0.313	0.132	0.156
0.7	0.772	0.913	0.309	0.365	0.309	0.365	0.154	0.183
0.8	0.883	1.043	0.353	0.417	0.353	0.417	0.177	0.209
0.9	0.993	1.173	0.397	0.469	0.397	0.469	0.199	0.235
1.0	1.103	1.304	0.441	0.522	0.441	0.522	0.221	0.261
1.1	1.214	1.434	0.485	0.574	0.485	0.574	0.243	0.287
1.2	1.324	1.565	0.530	0.626	0.530	0.626	0.265	0.313
1.3	1.434	1.695	0.574	0.678	0.574	0.678	0.287	0.339
1.4	1.545	1.825	0.618	0.730	0.618	0.730	0.309	0.365
1.5	1.655	1.956	0.662	0.782	0.662	0.782	0.331	0.391
1.6	1.765	2.086	0.706	0.834	0.706	0.834	0.353	0.417
1.7	1.876	2.217	0.750	0.887	0.750	0.887	0.375	0.443
1.8	1.986	2.347	0.794	0.939	0.794	0.939	0.397	0.469
1.9	2.096	2.477	0.838	0.991	0.838	0.991	0.419	0.495
2.0	2.207	2.608	0.883	1.043	0.883	1.043	0.441	0.522

다. 입체 변량살포 제어기의 배출장치 회전특성 분석

1) 제어 신호에 따른 배출장치 회전속도 예측식 산출

공시비료의 성분비와 작업기의 작업속도에 따른 요구 회전속도에 대한 분석을

바탕으로 입제 변량살포 제어기의 배출장치 구동을 위해 구성된 PWM회로에 입력되는 제어 신호에 따른 배출장치의 회전속도 변화 예측식을 산출하기 위하여 구성된 회로에 0~5V범위의 제어 신호를 0.1V씩 총 50단계로 나누어 입력하여 배출장치의 회전속도를 측정하였다. 이렇게 측정된 결과를 바탕으로 산출된 예측식은 시비치방단계에 따른 배출장치 회전속도 제어 신호를 결정하는 기준이 된다.

실험을 위하여 DC 12V 40W의 DC 모터에 25:1의 감속기를 부착하여 입제 배출장치에 장착하였으며, 입제 배출장치의 회전속도는 입제가 투입되지 않은 무부하 상태에서 측정하였다. 표 5-25는 제어 입력 신호에 따른 입제 배출장치의 측정된 회전속도를 나타내고 있다.

실험에서 입제 배출장치는 1.14V 이상의 제어 신호에 대하여 회전을 시작하였으며 3.3V를 초과한 제어 신호가 입력될 경우 더 이상의 속도 증가하지 않았다. 그림 5-87은 회전속도 측정 결과를 RPS값으로 보여주는 그래프로 배출장치의 회전속도는 제어 신호에 비례하여 선형적으로 증가하고 있음을 보여준다. 또한 산출된 제어 신호에 대한 회전속도의 예측식은  $Y = 0.9331X - 1.3286$ 이고 약 98.6% 신뢰도를 보인다.

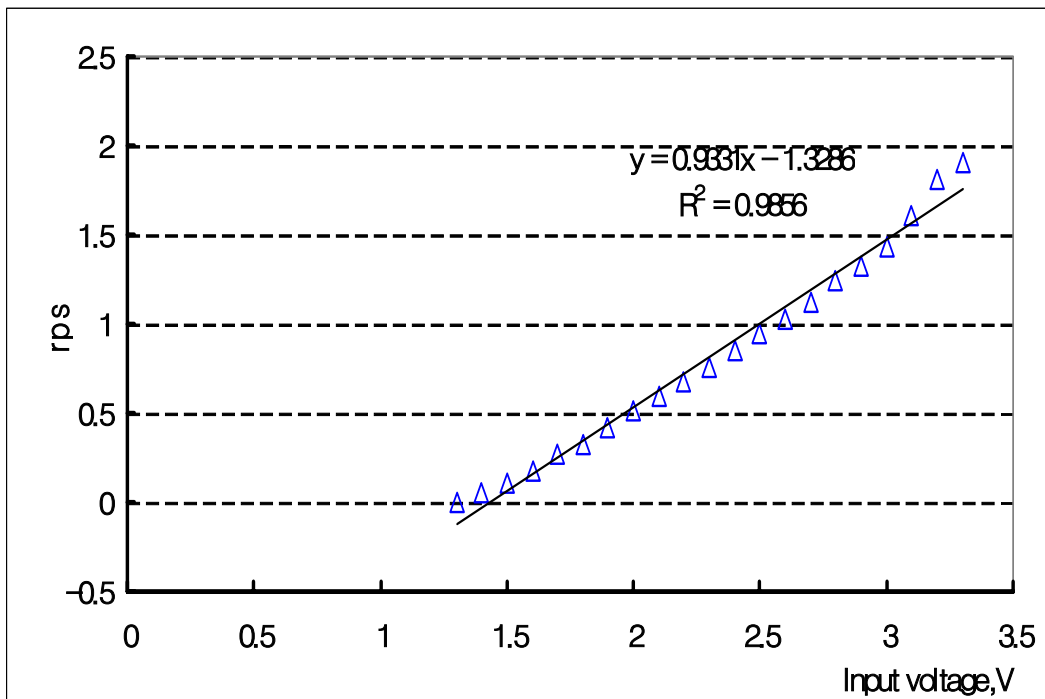


Fig. 5-87 RPS of discharger according to control signal

Table 5-25 RPS of discharger according to control signal from 1.13V to 3.3V

Control signal (V)	Approval Voltage (V)	Approval current (A)	RPS of discharger (rps)
1.3	0.424	0.76	0
1.4	0.806	0.93	0.053
1.5	1.24	1.133	0.105
1.6	1.651	1.219	0.172
1.7	2.085	1.301	0.264
1.8	2.532	1.371	0.329
1.9	2.955	1.417	0.417
2	3.436	1.431	0.516
2.1	3.93	1.44	0.6
2.2	4.36	1.475	0.682
2.3	4.92	1.486	0.755
2.4	5.38	1.501	0.845
2.5	5.87	1.528	0.952
2.6	6.36	1.553	1.032
2.7	6.9	1.564	1.127
2.8	7.35	1.566	1.248
2.9	7.85	1.567	1.322
3	8.45	1.57	1.432
3.1	9.43	1.584	1.604
3.2	10.45	1.605	1.807
3.3	11.1	1.631	1.905

2) 제어 신호에 따른 속도 오차 분석

산출된 입제 배출장치의 회전속도에 따른 예측식을 기준으로 하여 배출장치의 구동부에 제어 신호를 송신할 경우, 입제가 투입되지 않은 무부하시와 입제가 투입된 부하시의 입제 배출장치의 회전속도는 차이를 보이게 된다. 이는 입제가 투입될 경우 적층된 입제의 하중으로 인한 출구 압력이 실제 입제 배출장치의 회전속도를 저하시키는 오차 요인으로 작용하기 때문이며, 이러한 오차를 보정하지 않을 경우 부하시 실제 입제 배출장치의 회전속도와 제어기 상의 예측식을 바탕으로 한 회전속도는 차이를 보이게 된다. 따라서 제어 신호에 따른 속도 오차를 분석하여 이러한 오차를 보정해 주어야만 입제의 정확한 변량살포가 가능하다.

본 실험을 위하여 공시 비료 2종에 대한 입제의 퇴적고와 배출장치의 회전속도의 변

화에 따른 배출장치의 회전속도 오차를 측정하였으며, 그 결과는 표 5-26과 같다.

Table 5-26 Error of rps according to accumulation height and rps change)

Accumulation height (cm)	rps setting	Super21		Shinsedae	
		real rps	error(%)	real rps	error(%)
20cm	0.2	0.105	47.50	0.125	37.50
	0.4	0.285	28.75	0.320	20.00
	0.6	0.500	16.67	0.515	14.17
	0.8	0.690	13.75	0.705	11.88
	1	0.895	10.50	0.945	5.50
	1.2	1.100	8.33	1.115	7.08
	1.4	1.300	7.14	1.325	5.36
	1.6	1.465	8.44	1.520	5.00
	1.8	1.685	6.39	1.705	5.28
	2	1.890	5.50	1.960	2.00
30cm	0.2	0.105	47.50	0.150	25.00
	0.4	0.275	31.25	0.330	17.50
	0.6	0.500	16.67	0.530	11.67
	0.8	0.680	15.00	0.700	12.50
	1	0.930	7.00	0.955	4.50
	1.2	1.075	10.42	1.095	8.75
	1.4	1.285	8.21	1.295	7.50
	1.6	1.450	9.38	1.485	7.19
	1.8	1.670	7.22	1.730	3.89
	2	1.915	4.25	1.915	4.25
40cm	0.2	0.095	52.50	0.130	35.00
	0.4	0.310	22.50	0.300	25.00
	0.6	0.465	22.50	0.515	14.17
	0.8	0.680	15.00	0.730	8.75
	1	0.865	13.50	0.925	7.50
	1.2	1.055	12.08	1.080	10.00
	1.4	1.275	8.93	1.335	4.64
	1.6	1.480	7.50	1.505	5.94
	1.8	1.695	5.83	1.710	5.00
	2	1.910	4.50	1.925	3.75



측정 결과 20cm의 퇴적고 및 0.2rps에 해당하는 속도 설정값에서 슈퍼21을 사용할 경우 회전속도의 오차는 대략 47.5%에 달하였으나 2rps에서 해당하는 속도 설정값에서는 회전속도의 오차는 대략 5.5%로 신세대의 경우 0.2rps에 해당하는 속도 설정값에서 회전속도 오차는 37.5%, 2rps에서는 2%의 속도 오차를 보였다.

따라서 분석결과를 통해서 설정된 회전속도 값이 높아질수록 회전속도의 오차는 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 입제 배출장치에서 입제의 퇴적고에 따른 회전속도의 오차는 그리 크지 않았으며, 이는 실질적으로 입제의 퇴적고 보다는 입제 배출장치의 회전속도가 회전속도의 오차 발생에 있어서 직접적인 요인이 됨을 보여주고 있다.

라. 입제 변량 살포 제어기의 배출성능 분석

#### 1) 퇴적고에 따른 충전율 분석

시비 처방단계에 따라 입제 변량살포기 제어기의 회전속도를 제어하여 입제의 배출량을 가변시키기 위해서는 작업기의 작업속도에 따른 입제 배출장치의 회전속도를 정확히 예측하여 적절한 제어 신호를 입제 배출장치의 구동부에 전달해 주어야 한다. 그러나 이처럼 입제 배출장치의 회전속도를 정확히 예측하기 위해서는 입제의 퇴적고 및 배출장치의 회전속도에 따른 홈롤러의 충전율을 측정하여 퇴적고 및 회전속도의 변화에 따라 발생할 수 있는 오차를 보정해 주는 것이 필요하다.

20cm, 30cm, 40cm의 입제 퇴적고의 변화에 따른 rps별 홈롤러의 충전율을 측정하였으며, 이때의 입제 배출장치의 입제 평균 배출량을 측정하였다. 그림 5-88은 공시비료인 슈퍼21의 퇴적고에 따른 홈롤러의 충전율을 나타내고 있으며, 그림 5-89는 공시비료인 신세대의 퇴적고에 따른 홈롤러의 충전율을 나타내고 있다.

공시비료 2종 모두 입제 배출장치의 rps 값이 증가하면 홈롤러의 충전율은 점차 감소하는 양상을 보여주고 있으며, 입제의 퇴적고가 높아짐에 따라 홈롤러의 충전율은 다소 감소하는 양상을 보여준다. 그러나 측정결과와 분석을 통해 rps 값의 변화에 따른 충전율의 변화는 퇴적고의 변화에 따른 충전율의 변화보다 상대적으로 큰 것을 알 수 있으며, 충전율의 변화에 있어서 가장 큰 요인은 호퍼내의 입제의 퇴적고가 아니라 배출장치의 회전속도의 변화임을 알 수 있다.

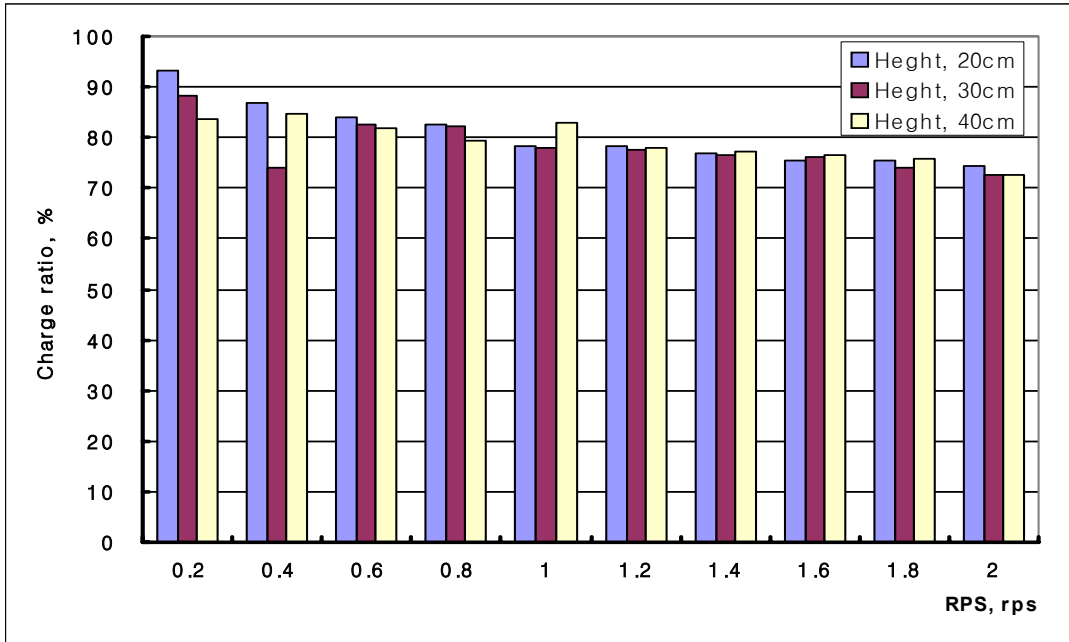


Fig. 5-88 Charge ratio of discharger according to accumulation height(super21)

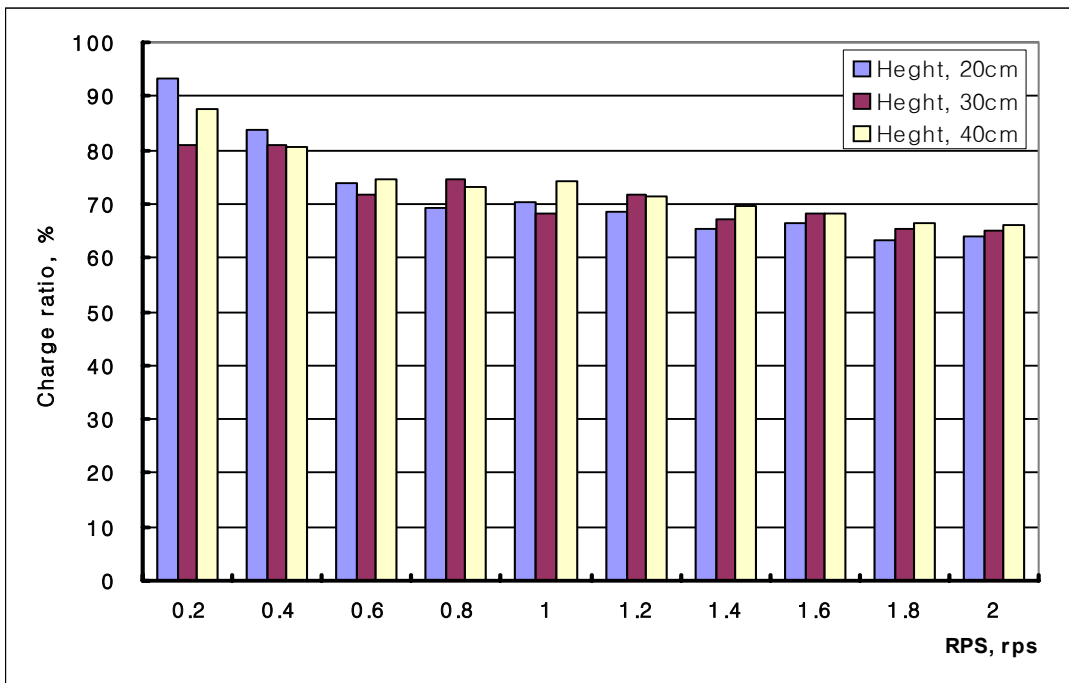


Fig. 5-89 Charge ratio of discharger according to accumulation height(shinsedae)

또한 측정결과를 바탕으로 하여 호퍼내의 스크린망의 최적의 설치 위치는 충전율의 변화가 퇴적에 의하여 받는 영향이 상대적으로 적은 것을 감안하여 호퍼의 설계 요건상의 최대 설치 높이에 해당하는 40cm에 위치하는 것이 적절한 것으로 분석되었다.

2) 입제 변량 살포기 배출장치의 회전속도에 따른 배출량 분석

본 연구에서는 입제 배출장치를 설계함에 있어서 홈롤러 방식을 선택하였기 때문에 입제 배출장치의 구동 시 롤러의 쓸림 현상이 발생하게 되며, 이러한 원인으로 인하여 입제를 배출할 경우 입제의 배출량은 맥동성을 가지고 변화하게 된다. 또한 이러한 맥동성은 입제 배출장치의 회전 시 부하변동의 요인으로 작용하여 입제의 배출량은 입제 배출 장치의 회전 시간에 따라 변동 특성을 보이게 되는 원인으로 작용한다. 따라서 정확한 제어 신호가 입력된다 하더라도 배출량의 변동으로 인하여 시비 처방단계와 상이한 입제량이 포장 내에 살포될 수 있으며 이런 입제 배출량의 변동은 입제 변량살포 제어기의 오차 요인으로 작용할 수 있을 것으로 분석되었다.

그러므로 입제 배출장치의 시간 및 회전 속도에 따른 입제의 배출량이 일정한 균등도 안에서 유지되는지 확인하기 위하여 입제 배출장치의 작동시간에 따른 입제의 평균 배출량과 CV(coefficient Variation: 변동계수)값을 분석하여 회전속도에 따른 입제 배출량의 균등도를 분석하였으며, 이러한 분석자료는 최종적으로 시비 처방지도의 처방 단계에 따라 입제의 양이 어느 정도의 오차 범위 내에서 유지되는지 확인 할 수 있는 비교 자료 및 시비 처방 단계에 따른 입제 배출장치의 회전속도를 예측하는 모델의 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

배출장치의 회전속도와 배출시간에 따른 입제 배출량의 균등도를 산출하기 위해서 입제의 배출 균등도를 나타내는 CV값은 식 27을 이용하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$CV(\%) = \frac{S}{M} \times 100 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 f_i / \sum_{i=1}^n f_i}}{\sum_{i=1}^n x_i f_i / \sum_{i=1}^n f_i} \times 100 \quad (\text{식 5-27})$$

그림 5-90~5-92은 공시비료인 슈퍼 21의 배출시간 및 회전속도에 따른 입제의 배출량을 나타낸다.

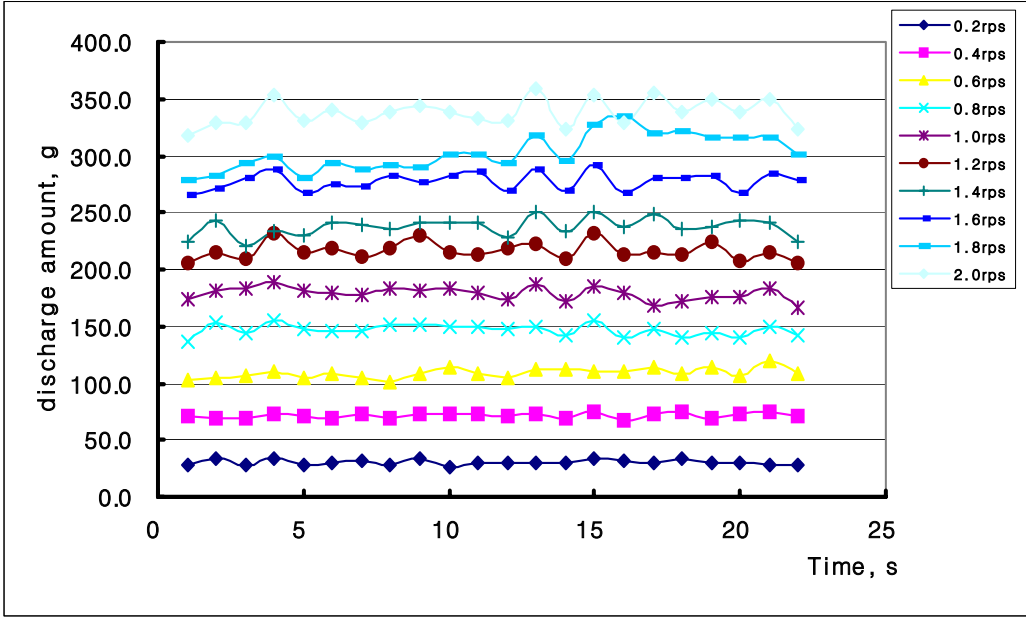


Fig. 5-90 Pattern curve of discharge amount according to time (super21, accumulation height: 40cm)

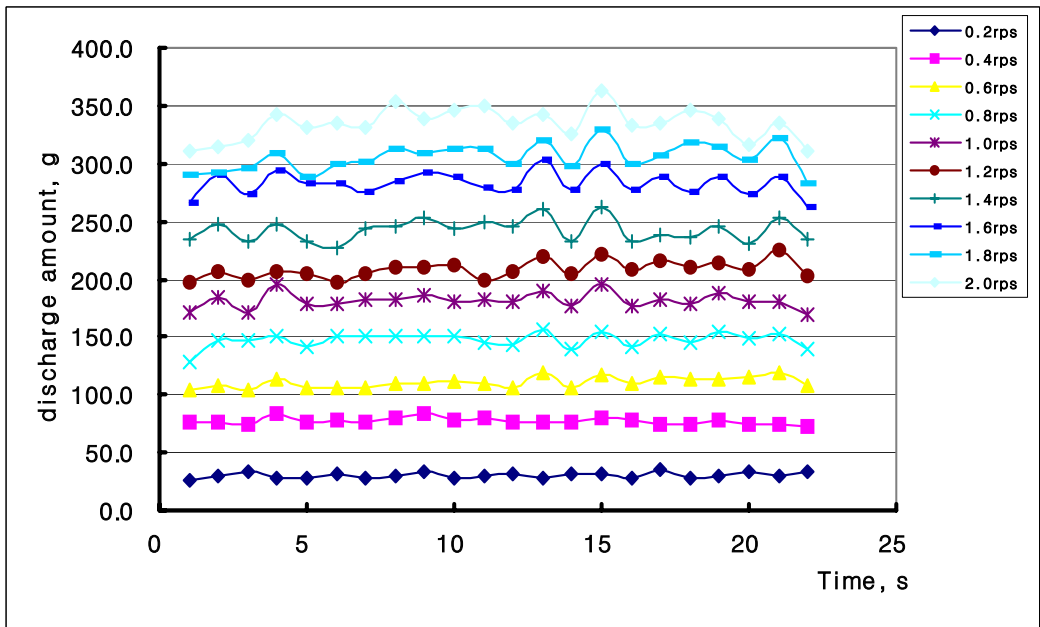


Fig. 5-91 Pattern curve of discharge amount according to time (super21, accumulation height: 30cm)

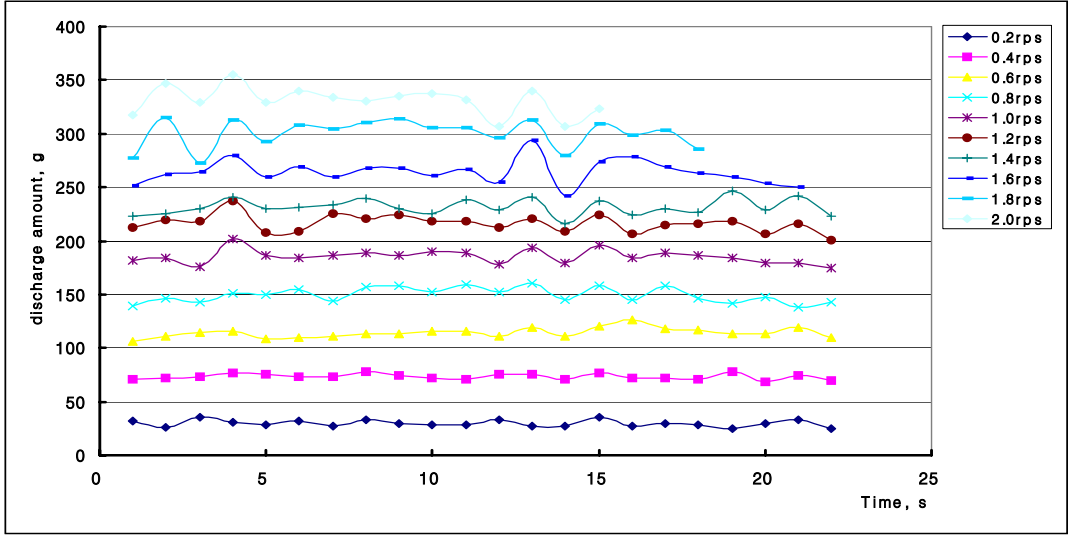


Fig. 5-92 Pattern curve of discharge amount according to time  
(super21, accumulation height: 20cm)

그림 5-93~5-95은 공시비료인 신세대의 배출시간 및 회전속도에 따른 입체의 배출량을 나타내고 있다. 그래프에서 볼 수 있는 것과 같이 입체 배출기를 통하여 배출되는 입체 배출량은 일정한 시간 간격으로 유사한 파형을 형성하며 변화 하는 것을 알 수 있고, 배출시간의 변화에 따라 비교적 균등하게 배출됨을 알 수 있다.

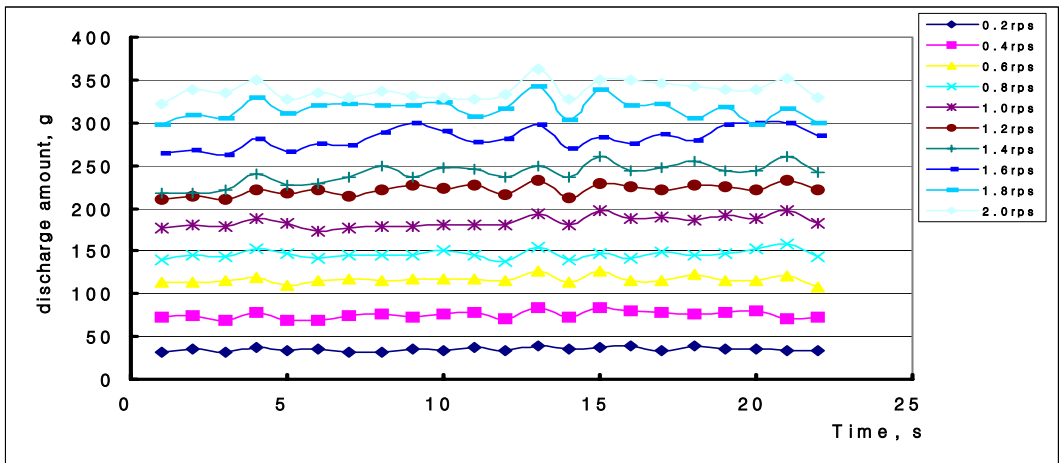


Fig. 5-93 Pattern curve of discharge amount according to time  
(shinsedae, accumulation height: 40cm)

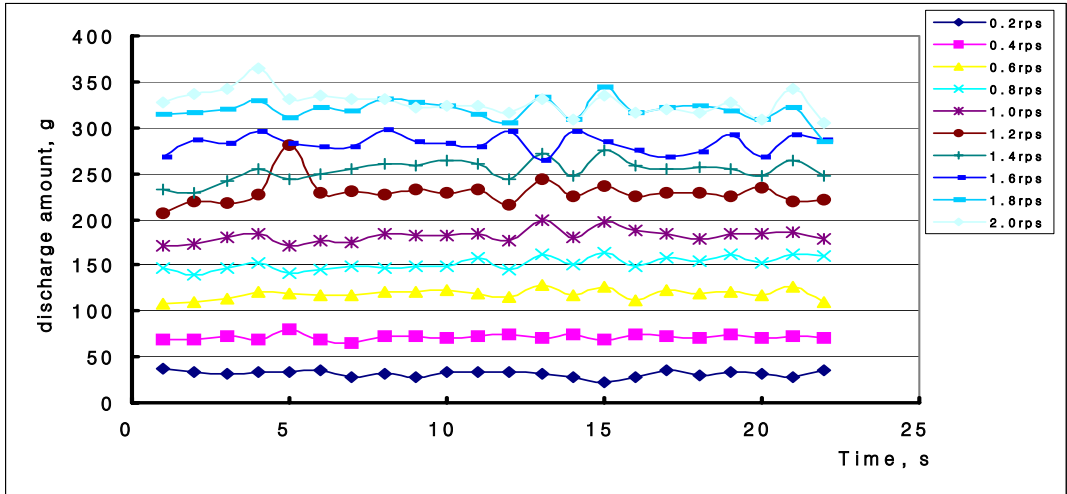


Fig. 5-94 Pattern curve of discharge amount according to time  
(shinsedae, accumulation height: 30cm)

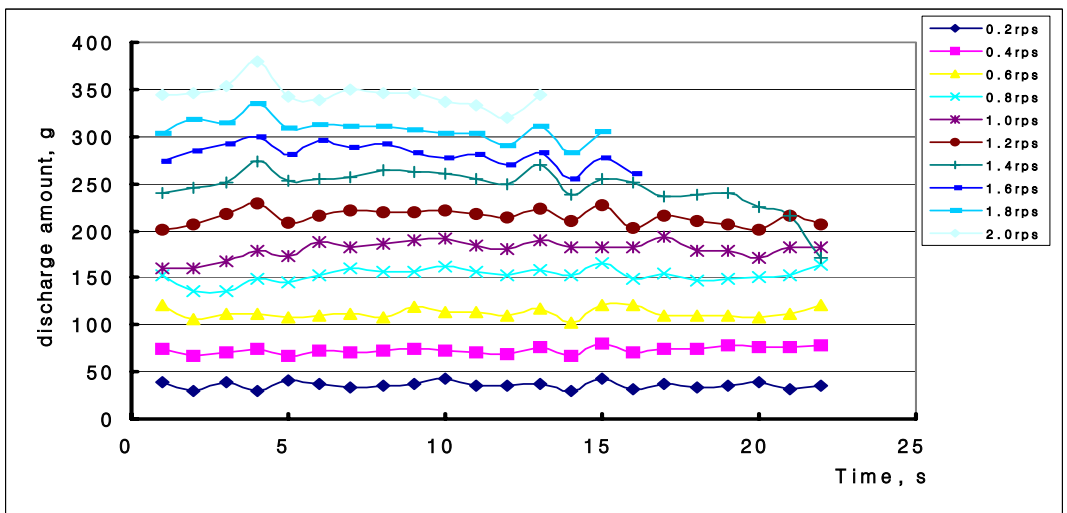


Fig. 5-95 Pattern curve of discharge amount according to time  
(shinsedae, accumulation height: 20cm)

입체 변량살포기 배출장치의 회전속도에 따른 배출량 분석을 통해서 얻은 배출되는 입체량의 자세한 배출 균등도는 표 5-27에 명시한 것과 같다. 입체 배출장치가 저속으로 회전할 경우 배출량의 균등도를 나타내는 CV값이 높아지는 것을 확인할 수 있으나, 입체 배출장치의 회전속도 및 배출시간에 따른 입체 배출량의 균등도를 분석한 결과

각 회전속도 별 입제 배출량의 균등도는 CV값을 기준으로 하여 공시 비료인 슈퍼21의 경우는 CV값은 11.23~2.94%의 범위 내에서, 신세대의 경우 CV값은 10.80~2.82%의 범위 내에서 변화하였다.

Table 5-27 Charge ratio of charger and CV(%) of charge amount by accumulation height and rotational speed

Item	RPM	Accumulation height (40cm)		Accumulation height (30cm)		Accumulation height (20cm)	
		Charge ratio(%)	CV (%)	Charge ratio(%)	CV (%)	Charge ratio(%)	CV (%)
Super21 (22-12-12)	12.00	83.76	6.68	88.11	11.23	93.23	10.62
	24.00	66.73	5.63	74.18	4.34	86.79	4.95
	36.00	82.02	3.96	82.69	4.65	83.93	4.51
	48.00	79.37	3.66	82.14	4.76	82.71	4.90
	60.00	82.80	3.61	77.90	3.87	78.43	5.00
	72.00	88.66	2.94	77.52	6.09	78.30	3.87
	84.00	77.15	5.02	76.40	4.51	76.81	8.77
	96.00	76.44	4.27	76.16	3.62	75.27	5.05
	108.00	75.75	3.78	73.91	3.77	75.58	3.80
	120.00	72.58	3.04	72.62	4.08	74.26	3.94
Shinsedae (21-17-17)	12.00	87.77	7.60	80.89	8.98	93.42	10.80
	24.00	80.60	3.18	81.02	3.48	83.71	3.58
	36.00	74.65	3.98	71.56	4.13	73.72	3.96
	48.00	73.29	3.53	74.42	4.43	69.14	4.60
	60.00	74.32	3.25	68.30	3.69	70.23	3.47
	72.00	71.46	3.55	71.79	3.56	68.62	3.75
	84.00	69.63	3.44	67.25	3.99	65.35	3.27
	96.00	68.30	2.82	68.19	3.62	66.38	4.35
	108.00	66.52	5.29	65.37	3.92	63.14	4.70
	120.00	65.99	3.41	65.16	4.11	63.85	3.61

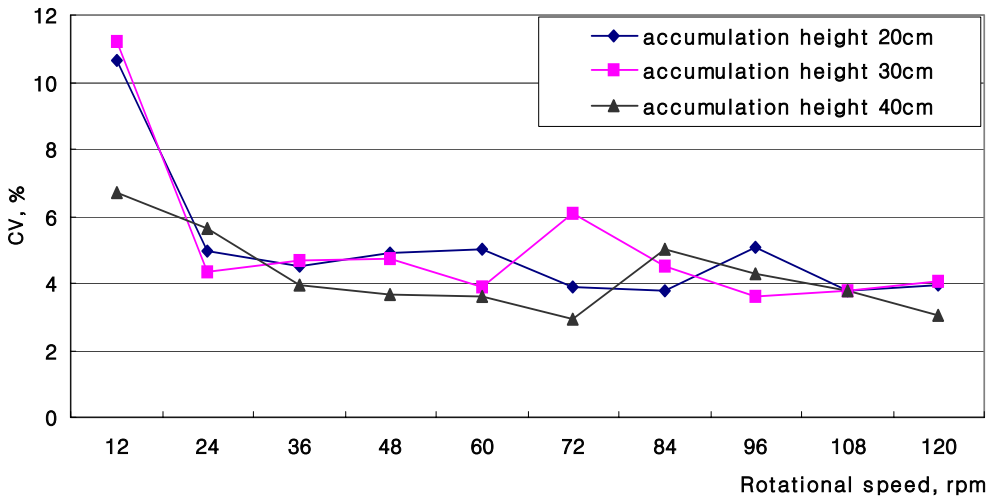


Fig. 5-96 Changes of CV(%) by accumulation height in hopper and discharger speed

그림 5-96은 입제 배출장치의 회전속도 변화에 따른 CV값의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 배출장치의 회전속도가 12rpm일 때를 제외한 나머지의 경우 입제 배출량의 균등도는 4% 내외로 안정되는 경향을 보였고 입제 퇴적고가 40cm일 경우 CV값이 가장 안정적이며 낮은 것으로 분석되었으며 회전속도가 증가함에 따라서 CV값은 감소함을 알 수 있다.

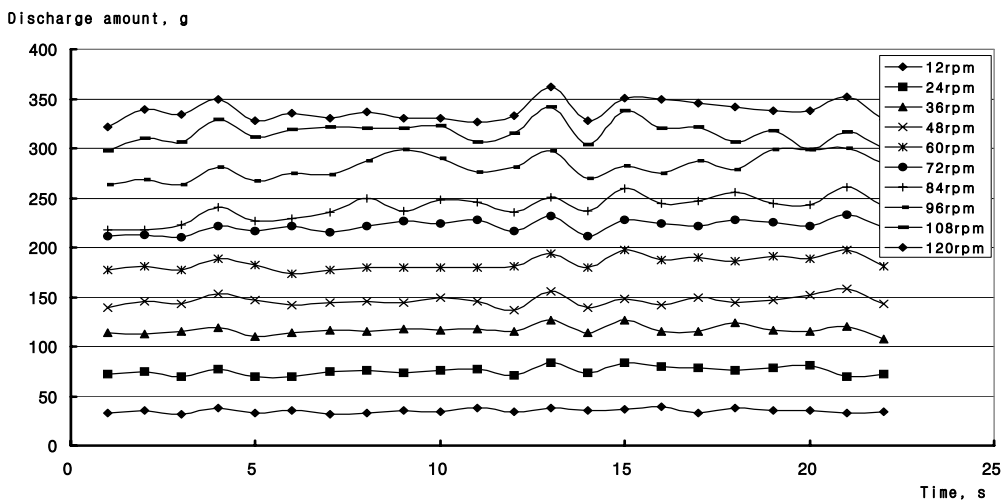


Fig. 5-97 Change in discharge amount by discharger speed



실제 입제 배출기를 통하여 배출되는 입제 배출량은 일정한 시간 간격으로 유사한 파형을 형성하며 변화하며 대체적으로 균등한 것을 그림 5-97을 통하여 확인 할 수 있다.

### 3) 입제 변량 살포 제어기의 성능분석

공시비료의 성분비와 작업기의 작업속도에 따른 요구 회전속도에 대한 분석을 바탕으로 구성된 PWM회로에 입력되는 제어 신호에 따른 배출장치의 회전속도 변화 예측식을 산출하기 위하여 구성된 회로에 0~5V범위의 제어 신호를 0.1V씩 총 50단계로 나누어 입력하여 배출장치의 회전속도를 RPM 단위로 측정하였다.

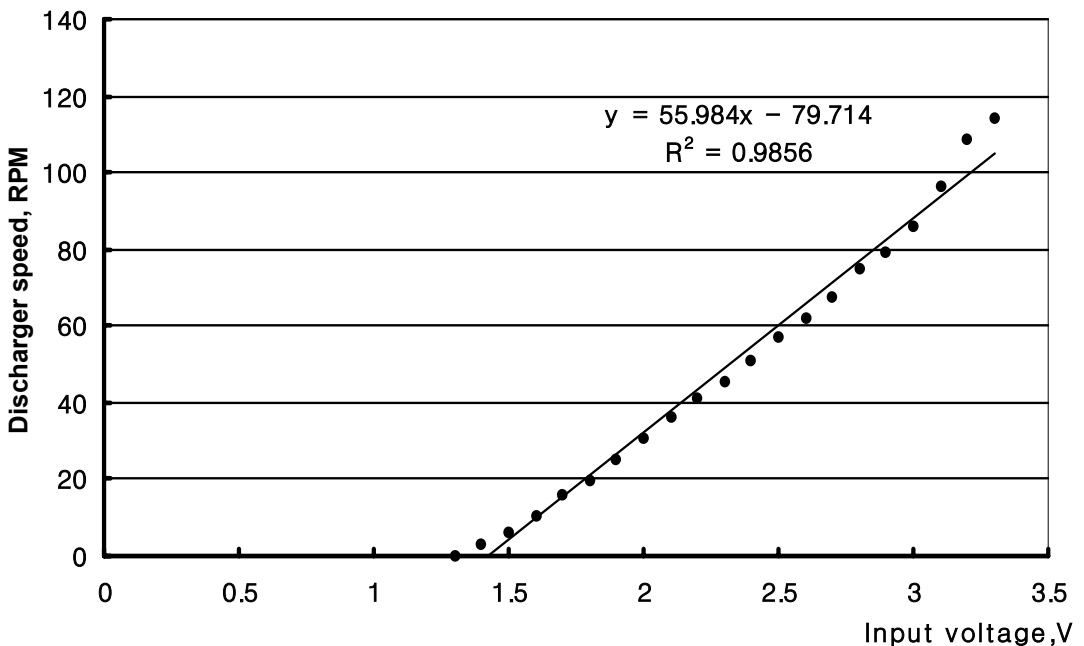


Fig. 5-98 Discharger speed versus control signal

그림 5-98는 회전속도 측정 결과를 보여주는 그래프로 배출장치의 회전속도는 제어 신호에 비례하여 선형적으로 증가하고 있음을 보여준다. 또한 산출된 제어 신호에 대한 회전속도의 예측식은  $Y = 55.984X - 79.174$  (X: input voltage, V, Y: Discharger speed, RPM)이고  $R^2$  값은 0.99으로 산출되었다.

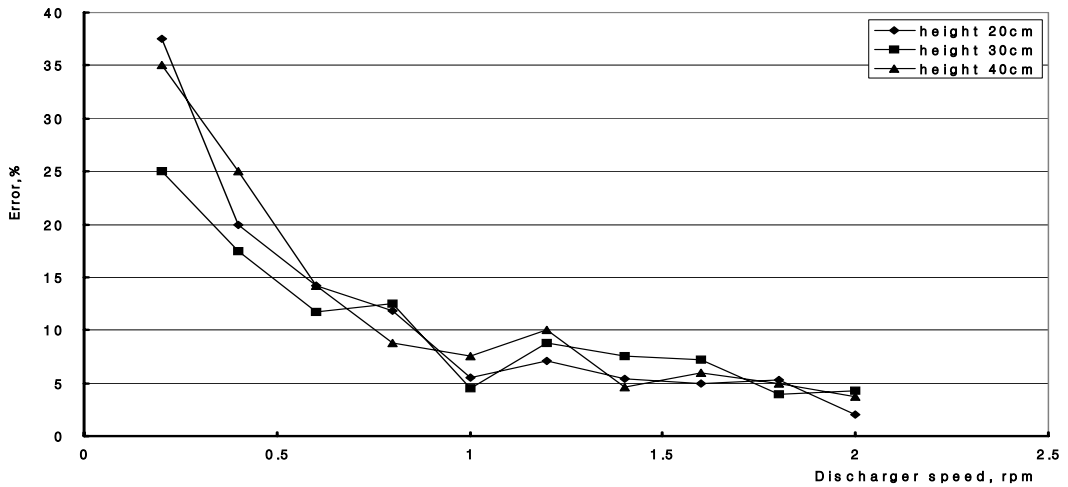


Fig. 5-99 Errors in discharger speed by accumulation height in hopper

산출된 입체 배출장치의 회전속도에 따른 예측식을 기준으로 하여 배출장치의 구동부에 제어 신호를 송출한 후 입체가 투입되지 않은 무부하시와 입체가 투입된 부하시의 입체 배출장치의 회전속도의 차이를 측정하였다. 그림 5-99는 퇴적고에 따른 배출장치의 회전속도 오차를 나타낸 그래프로서 퇴적고에 관계없이 배출장치의 회전속도의 오차는 일정한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

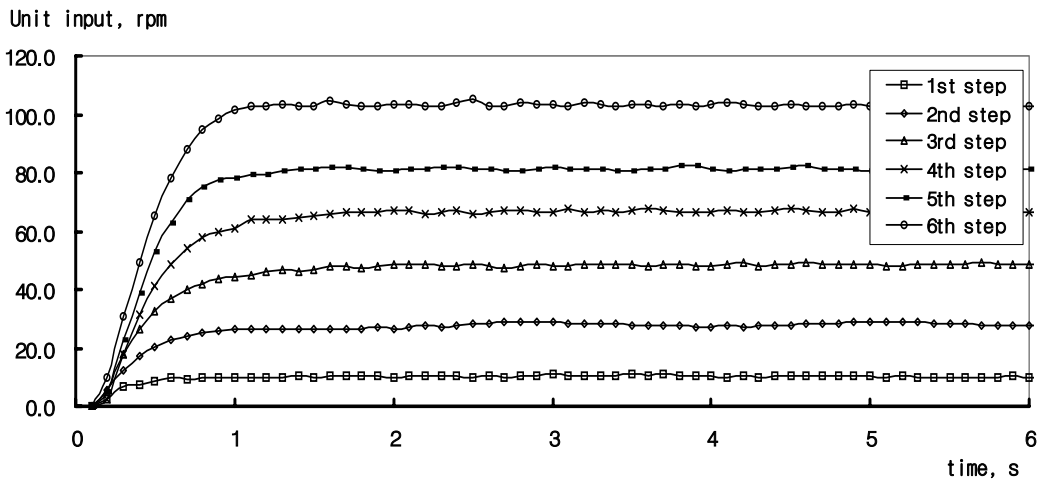


Fig. 5-100 Discharger speeds by unit input of controller for variable-rate application

마지막으로 입체 변량살포 제어기의 응답특성을 분석하기 위하여 입체 배출장치가 회전하기 시작하는 1.14V부터 속도변화가 나타나지 않는 3.3V까지의 범위를 6단계로 세분한 계단 입력 값에 대하여 단위계단 입력값에 대한 출력값의 95~105% 지점에 도

달하는 정정시간을 측정한 결과 정정시간의 경우 0.8~1.4sec의 범위 내로 나타났으며, 단위 입력에 대하여 배출장치의 회전속도가 안정되는 정정시간 이후에 대한 입체 배출장치의 회전속도 균등도를 분석한 결과는 표 5-28과 같았다. 입체 배출장치의 회전속도는 CV값 기준 0.51~3.06%의 범위 내에서 안정되었다, 또한 단위 입력신호가 1단계에서 6단계까지 점차 높아짐에 따라 회전속도의 균등도가 더욱 향상되었다.

그림 5-100은 정정시간을 측정하기 위하여 배출 장치의 회전속도를 시간변화에 따라 측정한 그래프 이다.

Table 5-28 CV of discharger speed by unit input of controller for variable-rate application

Step	Settling time (sec)	95% of unit input (rpm)	mean discharger speeds (rpm)	St. Dev	CV(%)
1st	0.80	9.79	10.20	0.54	3.06
2nd	1.40	26.62	28.20	0.54	2.16
3rd	1.30	46.07	48.60	1.55	0.76
4th	1.10	63.46	66.60	4.36	0.70
5th	0.90	77.23	81.00	8.26	0.59
6th	0.70	97.96	103.20	12.63	0.51

#### 4. 요약 및 결론

- 기존 변량 제어시스템의 구성과 원리를 이론적으로 구명하였다.
- PID 제어를 이용한 시뮬레이션 모델을 Matlab/Simulink를 사용하여 개발하였으며 이 모델을 이용하여 2차 학습 제어 알고리즘을 사용하여 비례, 적분, 미분 제어상수를 자동으로 결정하는 프로그램을 작성하였다.
- 결정된 비례, 적분, 미분제어상수로 시뮬레이션 모델을 이용하여 단위계단 응답을 예측한 결과, 최대오버슈트 1.97%, 상승시간 0.052초, 정착시간 0.066초, 정상상태오차 0.21%등 양호한 제어 성능을 얻었다.
- 현장 실험을 통해 시뮬레이션 모델을 검증한 결과, 외란 및 부하로 인해 시뮬레이션 결과와 는 달리 최대오버슈트 10%, 상승시간 0.11초, 정착시간

0.4초, 정상상태오차 8%로서 차이를 나타내었으나 기존 제어시스템의 성능과 비교할 때 상승 시간과 정착시간은 약 1/3로크게 감소하는 제어성능의 향상이 있었다.

- 작업기를 0.3 ~ 0.6m/s로 주행하고 배출 롤러를 64rpm으로 회전시킬 때 0.26초의 상승 시간동안 작업기의 진행 거리는 기존의 0.219 ~ 0.438m에서 0.078 ~ 0.156m로 감소하였으며, 0.4초의 정착시간 동안 작업기는 0.12 ~ 0.24m 정도 진행하게 된다. 배출 롤러의 회전 속도는 64rpm 이하에서 변동하므로 결국 작업기의 진행 거리는 더욱 짧아지게 되므로 기존 시스템보다 더욱 정밀한 살포가 가능하다.
- 입제 변량살포기 배출장치의 퇴적고에 따른 충전율을 분석한 결과 입제 배출장치의 충전율은 슈퍼 21과 신세대의 경우 각각 72.58 ~ 93.23%와 63.14 ~ 93.42%의 범위 내에서 회전속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.
- 입제 배출장치의 회전속도 및 배출시간에 따른 입제 배출량의 균등도를 분석한 결과 각 회전속도별 입제 배출 균등도는 슈퍼21과 신세대의 경우 각각 CV값 기준으로 11.23 ~ 3.94% 와 10.80 ~ 3.61%의 범위 내에서 변화하였으며, 입제 배출량의 균등도는 4% 내외로 안정되는 경향을 보였다.
- 제어 신호에 따른 입제 배출장치의 회전속도 예측식을 산출한 결과 예측식은  $Y = 55.984X - 79.174$  (X: input vitage, V, Y: Discharger speed, RPM)이고  $R^2$  값은 0.9856 으로 산출되었다.
- 입제 변량살포 제어기의 응답특성을 분석한 결과 배출장치의 회전속도 설정값에 해당하는 6단계의 각 단계별 단위 입력값에 대한 정정시간은 0.8 ~ 1.4 sec의 범위 내로 나타났으며, 2단계 입력부터는 회전속도가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다.

## 제 8절 시비 처방 지도 데이터베이스 및 GPS와 시스템 인터페이스

### 1. 시비 처방 지도 데이터베이스

#### 가. 처방지도 작성을 위한 시비량 결정

연간 10a에 대해 질소, 인, 칼륨의 표준 시비량(11: 4.5: 5.7 kg)에 의한 시비를

위해 기비의 분할 시비율을 적용하여 복합 비료 ‘슈퍼 21’(21-17-17)을 사용하였을 때, 표 5-29와 같이 표준 시비량에 미치지 못하는 인과 시비 기준을 초과하는 칼륨의 살포량을 확인할 수 있다. 질소는 벼의 수량이나 품질에 지대한 영향을 미치는 요소로서 인이나 칼륨보다 비중이 크다. 질소의 양이 부족하면, 알곡의 수량이나 질이 떨어지게 되고, 그 과다하면 수량은 늘어나지만, 알곡의 질은 떨어진다. 따라서 질소의 표준 시비 기준을 따라서 시비하는 것이 옳바르다.

표 5-29는 질소, 인, 칼륨의 표준시비량과 기비 분할 시비율에 대한 시비량을 나타낸다. 기비 때, 10a당 5.5kg의 질소, 4.5kg의 인, 3.99kg의 칼륨을 살포하는 것이 표준 시비량에 의한 추천량인 것이다. 이때, 복합비료 슈퍼 21을 사용한다면, 기비에 사용되는 슈퍼21의 총 사용량은 질소의 살포량을 기준으로 했을 때, 26.2kg이 된다. 이때 질소, 인, 칼륨의 26.2kg내의 함량은 각각 5.5, 4.454, 4.454kg이 된다.

질소 시비량을 기준으로 하였을 때, 발생할 수 있는 인과 칼륨의 초과량 혹은 부족한량은 10a당 인은 0.046kg 초과, 칼륨은 0.464kg 부족의 현상을 나타낼 것임을 알 수 있다. 하지만, 확인된 차이는 작물에 큰 영향을 주지 않을 것이라는 분석 때문에 본 연구에서 시비량 기준은 복합비료의 질소 비율에 따라 결정한다. 표 5-30은 국내 시판되는 4종의 비료의 N, P, K 성분비를 나타낸다.

Table 5-29 Standard fertilizer amount versus actual fertilizing amount by each fertilizing units

	N	P	·K
표준 시비량 (kg/10a)	11	4.5	5.7
기비 분할 시비율 (%) / 시비량 (kg/10a)	50 / 5.5	100 / 4.5	70 / 3.99
복합비료 슈퍼 21의 조성 (%)	21	17	17
표준시비량의 질소시비량 기준, 슈퍼 21의 연간 살포 요구량 (kg/10a)	52.4		
표준시비량의 질소시비량 기준, 기비의 슈퍼 21의 살포 요구량 (kg/10a)	26.2		
표준 시비량의 질소 시비량 기준, 기비의 슈퍼 21의 각 성분의 살포량 (kg/10a)	5.5	4.454	4.454
표준 시비량에 의한 기비 분할 시비요구량과 질소 시비량 기준에 의한 슈퍼 21 각 성분의 살포량과 차이 (kg/10a)	0	0.046	-0.464

Table 5-30 Component ratio of commercial fertilizer

	N	P	K
슈퍼 21	21	17	17
신세대	22	12	12
슈퍼 알알이	46	-	-
플러스 3	21	12	11

균등 살포를 했을 때의 총 비료 사용량을 계산하기 위해 표준 시비량에 의해 사용되는 총 비료를 면적으로 나누어, 한 cell(100m<sup>2</sup>)당 살포할 양을 결정하였다. 또한 변량 살포를 했을 때의 총 사용되는 비료의 양을 계산하기 위해 1 cell당 표준시비량을 1N으로 계산하여, 0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N으로 5단계로 나누어 살포되는 비료의 중량을 계산하였다. 이때 임의의 비료의 변량 시비 지도를 작성하여(그림 5-101) 변량 시비의 결과를 계산하였다. 특정 비료를 사용했을 때의 1N의 계산 방법은 다음과 같다.

10a당 11kg의 질소를 시비한다면 (표준 시비량에 의함), 질소 함유 21%의 슈퍼 21은 10a당 52.38kg이 사용. (by 11kg : 52.38kg = 0.21kg : 1kg @10a)

1ha에서는 523.8kg의 슈퍼 21이 사용. (by 10a : 52.38kg = 100a : 523.8kg)

표준 시비를 했을 때, 1cell(100m<sup>2</sup>)당 5.24kg의 슈퍼 21이 사용됨. (1N=5.24kg)

$$1N \text{ 구하는 방법} : \frac{11kg(10a\text{당표준시비량})}{0.21(\text{비료의질소성분}) \times 10}$$

$$\text{예) 신세대} : \frac{11kg}{0.22 \times 10} = 5$$

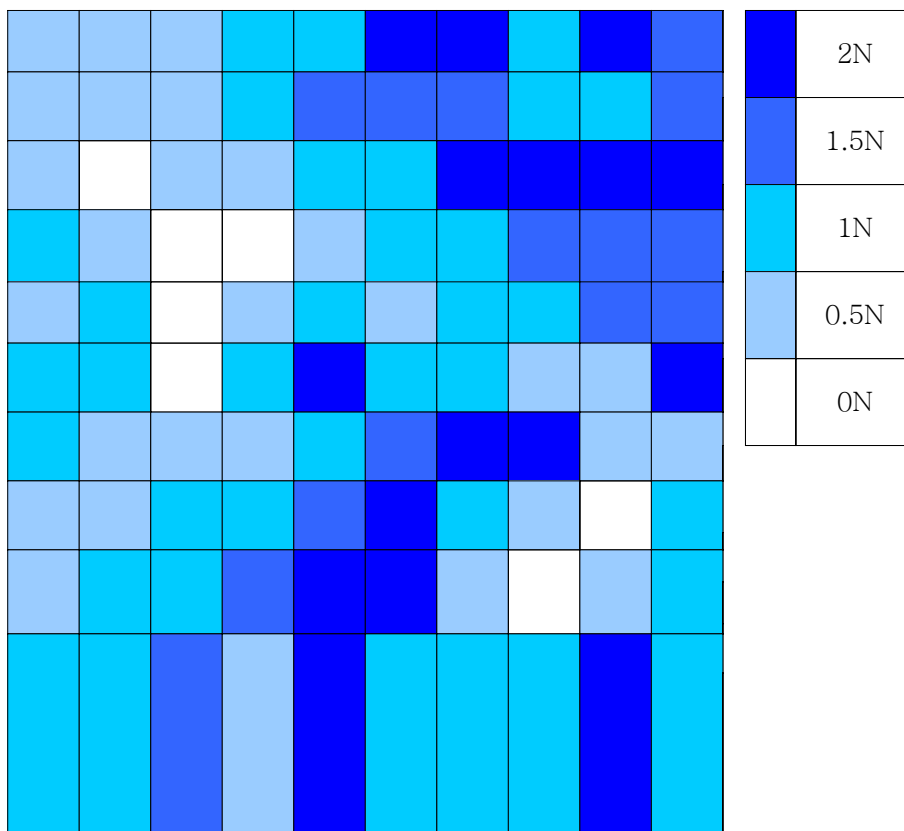


Fig 5-101. Map to fertilize Nitrogen on specific paddy field

Table 5-31 Difference of total fertilizing amount between bulk fertilizing and precision fertilizing

		Number of pixel	Basal Fertilizer	
			Bulk (kg)	Precision(kg)
5 level	2N	16	83.84	167.68
4 level	1.5N	14	73.36	110.04
3 level	1N	35	183.4	183.4
2 level	0.5N	28	146.72	73.36
1 level	0N	7	36.68	0
Total		100	524	534.48

표 5-31은 비료를 변량 살포하는 것이 균등 살포(Bulk)하는 것보다 비료 사용량이 많음을 알 수 있다. 이는 질소를 표준 시비량(1N)보다 더 많이 살포되어야 하는 cell의 수가 더 많기 때문이다. 이와 같은 경우, 필지 내에서 고품질의 미질의 많은 량의 미곡을 생산하기 위해서는 표준 시비량에 의한 시비량 보다 많은 양이 소요되지만, 균등 살포를 했을 때 보다 수확했을 때의 수량과 품질 면에서 보다 효과적인 시비를 하게 되는 경우로 판단된다.

변량 시비를 한 이후의 년도에도 토양의 특성은 변하지 않는다. 이는 필지 내의 토성(土性)이 그러하기 때문이다. 변량 시비를 통해 살포되는 비료는 작물의 생육과 생산량 및 품질과 관련이 있는 사항이지 토양의 특성을 바꿀 수 있는 요소가 아니기 때문이다.

#### 나. 의사결정 지원을 위한 E-R diagram과 schema

그림 5-102는 정밀 방제의 의사결정 지원을 위한 데이터베이스 설계를 위한 Schema이다. 협동 2세부에서 진행 중인 필지 내의 특정 위치에서의 CEC (cation exchange capacity), OM (organic matters), clay content에 의해 시비량을 도출하는 rule-base를 바탕으로 위치별 시비량은 결정된다. 필지 내의 위치별로 결정된 시비량은 10m×10m (1cell)의 살포 폭과 살포 길이를 갖는 처방 지도로 작성되며 각각의 cell에는 각각의 요구량에 따른 균등 시비를 하도록 한다. 처방 지도를 바탕으로 하여 각 cell의 지리상 위치, 시비량 그리고 작업기의 작업 경로가 결정된다. 작업기의 위치는 오차범위 2cm를 갖는 DGPS를 탑재하여 획득하며 오차의 보정을 위해 지자기 센서를 사용한다. 작업기의 위치와 처방 지도상의 위치가 일치할 때, 처방 지도상의 살포량을 기준으로 살포하도록 한다. 작업기의 속도에 따라 시비량은 달라져야하는데, 속도는 DGPS의 시간(초 단위)에 따른 위치의 차를 이용하여 산출한다. 속도에 따른 살포량은 실험을 통하여 작업기의 속도에 비례하도록 설계하며, 결정된 살포량은 제어기로 신호를 보내어 살포에 직접 관여하는 모터를 제어하도록 한다. 실제 살포된 시비량은 다음 년도의 자료로서 활용하기 위해 시비지도를 작성한다.



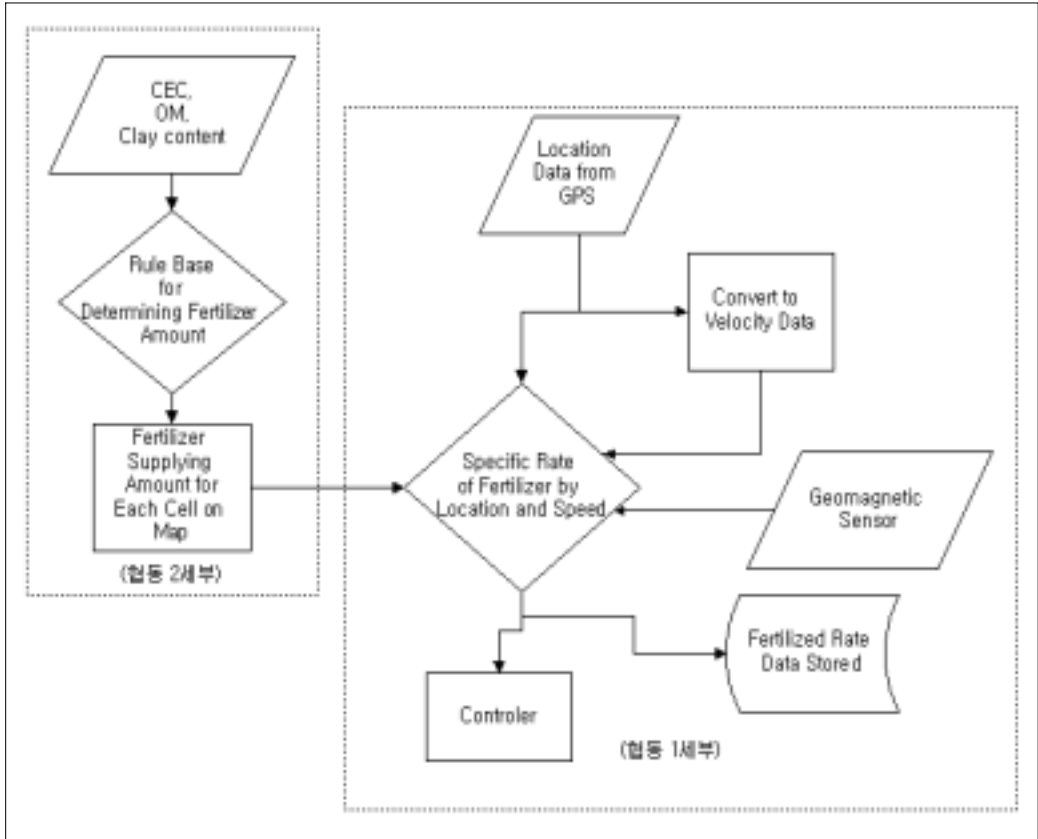


Fig. 5-102 Designed schema to build data base on decision-making support

그림 5-103은 Entity-Relation diagram으로서 의사결정 지원을 위한 데이터베이스 설계에 관계되는 인자들 간의 관계를 나타낸다. 정밀 시비를 목표로 하고 있는 본 과제에서 중요한 부분으로서 적재적소에 필요한 만큼의 시비를 하고자 하는 입장에서 수확량, 토양의 영양분, 비료 그리고 위치정보는 중요 요소이다. 이를 바탕으로 각각의 요소에 관련된 인자들의 관계를 나타낸다.

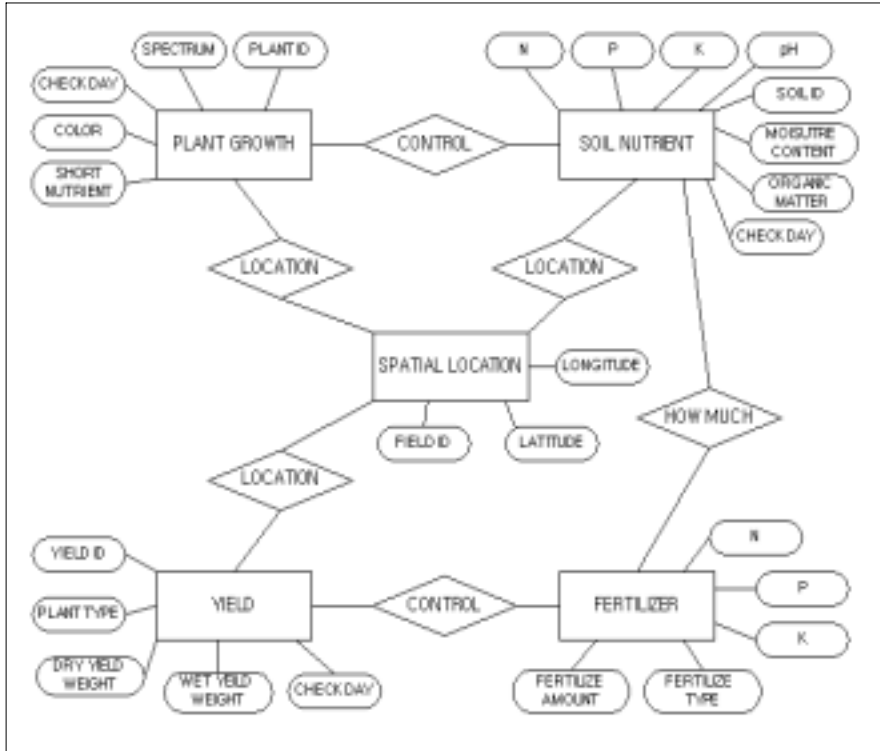


Fig. 5-103 E-R diagram on data base for decision-making support

다. 시비 처방지도 데이터베이스 작성

변량 시비를 위한 처방 지도는 직사각형 모양의 1ha(100m X 100m)의 포장을 대상으로 하여 포장을 10m X 10m 크기의 단위 cell로 나누고, 각 단위 면적당 질소 비료의 시비량을 표시하도록 하였다. 각 단위 cell의 위치는 좌표 기준점을 기준으로 한 2차원 평면 좌표(열, 행)로 표시하였다. 표 5-32는 작성된 시비 처방지도 데이터베이스의 schema를 나타낸다. 그림 5-104는 작성된 시비 처방지도 데이터베이스의 모습을 나타낸다.

Table 5-32 Schema of the database for digital fertilizing map

속성	의미
ID_X	셀의 열 좌표 index
ID_Y	셀의 행 좌표 index
N	질소 시비량

	A	B	C
1	0	0	1.4
2	0	1	1.6
3	0	2	1.2
4	0	3	1
5	0	4	1.1
6	0	5	0.8
7	0	6	0.7
8	0	7	0.6
9	0	8	0.5
10	0	9	0.7
11	1	0	0.8
12	1	1	0.9
13	1	2	0.7
14	1	3	0.9
15	1	4	1.1
16	1	5	1
17	1	6	1.3
18	1	7	0.9
19	1	8	1.2

Fig. 5-104 Database for digital fertilizing map

라. 처방지도 시스템 인터페이스 구축

처방지도 시스템 인터페이스는 DGPS 시스템으로부터 작업기의 현재 위치 정보를 얻고 시비처방 지도 데이터베이스로부터 현재 위치에 해당하는 cell의 질소 시비량의 정보를 추출하여, 시비량에 대응하는 제어 신호를 출력한다. 출력된 제어 신호는 변량 시비 장치의 비료 배출장치 모터의 회전수를 제어한다. 처방지도 시스템 인터페이스의 작업 순서는 그림 5-105와 같다. 그림 5-106은 개발된 처방지도 인터페이스의 모습을 나타낸다.

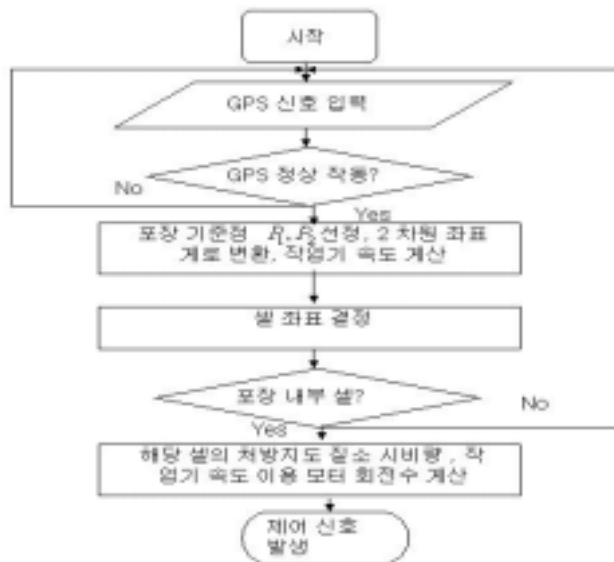


Fig. 5-105 Flowchart of the fertilizing map interface program

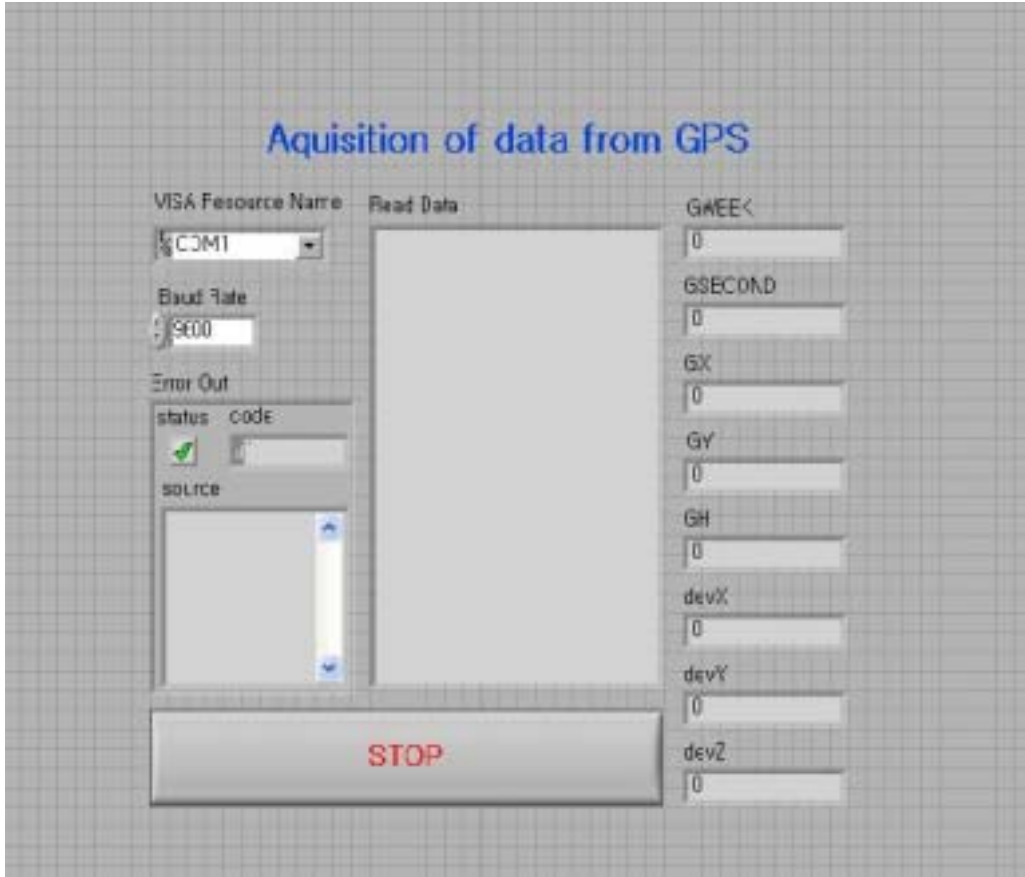


Fig. 5-106 Fertilizing map interface program

## 2. DGPS 시스템

### 가. DGPS 시스템의 구성과 DGPS의 정상 작동 여부 판단

DGPS는 크게 기지국(reference station)과 이동국(rover)으로 구성된다. 기지국은 한 지점에 고정되어 수신된 GPS신호의 오차 변화를 무선 모뎀을 통해 이동국에 전달하고, 이동국에서는 이 오차신호를 이용하여 보다 정밀하게 위치를 결정하는 방법이다. 실험에 사용된 DGPS장비는 RTK(Real time kinematics) 모드로 사용될 때 2cm(CEP) 이내의 정밀도를 가진 Novatel 사의 Propak II RT-2 모델과 19200baud의 전송 속도를 가진 GLB사의 SNRDS모델이다. 두 대의 Propak II RT-2 GPS를 사용하여 DGPS 시스템을 구성하였다. 그림 5-107은 실험에 사용된 Propak II RT-2 GPS 수신기(왼쪽)와 SNRDS 라디오 모뎀(오른 쪽)을 나타낸다.



Fig. 5-107 GPS receiver and radio modem.

DGPS의 정상 동작여부는 Propak II RT-2 GPS 수신기의 데이터 포맷인 PRTKA 신호에서 DGPS의 정상 작동 여부와 관계되는 데이터를 추출하여 판단한다. DGPS의 정상 작동 여부와 관계되는 데이터는 PRTKA 신호의 16번째 항인 solution status, 17번째 항인 rtk status, 18번째 항인 position type 등이다. 표 5-33은 PRTKA log의 데이터 포맷을 나타낸다. 표 5-34, 5-35, 5-36은 각각 solution status, position type, rtk status에 따른 DGPS의 동작 상태를 나타낸다.

Table 5-33 PRTKA data log format of Propak II RT-2 GPS

Field No.	Field type	Data description
1	\$PRTKA	Log header
2	week	GPS week number
3	sec	GPS time in the week(in seconds)
4	age	age of differential correction(in seconds)
5	#sv	Number of matched satellites ; may differ from the number in view
6	#high	Number of matched sateellites above RTK mask angle; observations from satellites below mask are heavily de-weighted
7	L1L2#high	Number of matched satellites above RTK mask angle with both L1 and L2 available
8	lat	Latitude position in current datum, in decimal fraction format.
9	lon	Longitude position in current datum, in decimal fraction format.
10	hgt	Height of position, in meters, above mean sea level
11	undulation	Geoidal separation, in meters
12	datum ID	Current datum
13	lat $\sigma$	Standard deviation of latitude solution element, in meters
14	lon $\sigma$	Standard deviation of longitude solution element, in meters
15	hgt $\sigma$	Standard deviation of height solution element, in meters
16	soln status	Solution status
17	rtk status	RTK status
18	posn type	Position type
19	idle	Percent idle time, percentage
20	stn ID	Reference station identification
21	*xx	Checksum
22	[CR][LF]	Sentence terminator

Table 5-34 Solution status of Propak II RT-2 GPS

value	Description
0	Solution computed
1	Insufficient observations
2	No convergence
3	Singular $A^T P A$ matrix
4	Covariance trace exceeds maximum
5	Test distance exceed
6	Not yet converged from cold start
7	Height or velocity limit exceeded

Table 5-35 Position type of Propak II RT-2 GPS

Type	Definition
0	No position
1	Single point position
2	Differential pseudo range positon
3	RT-20 position
4	RT-2 position
5	WAAS position solution

Table 5-36 RTK status (RT2 mode) of Propak II RT-2 GPS

Status	Definition
0	Narrow lane solution
1	Wide lane derived solution
2	Floating ambiguity solution(converged)
3	Floating ambiguity solution(not ye converged)
4	Modeling reference phase
5	Insufficient observations
6	Variance exceeds limit
7	Residuals too big
8	Delta position too big
9	Negative variance
10	RTK position not computed
11	Narrow lane solution-high standard deviation
12	Wide lane solution-high standard deviation

나. 위치정보의 정확도

그림 5-108은 GPS장치에서 보내주는 위치정보의 정밀도가 실제로 2cm에 들어 오는지를 확인하기 위해서 실시한 실험의 결과이다. 임의의 세 지점을 설정하고, 각 지점에 GPS 장치를 이동시켜 순회하면서 동일한 지점에서 동일한 위치 정보를 얻을 수 있는지를 테스트한 것이다. 결과를 표준편차로 표현하였는데 다음과 같다.



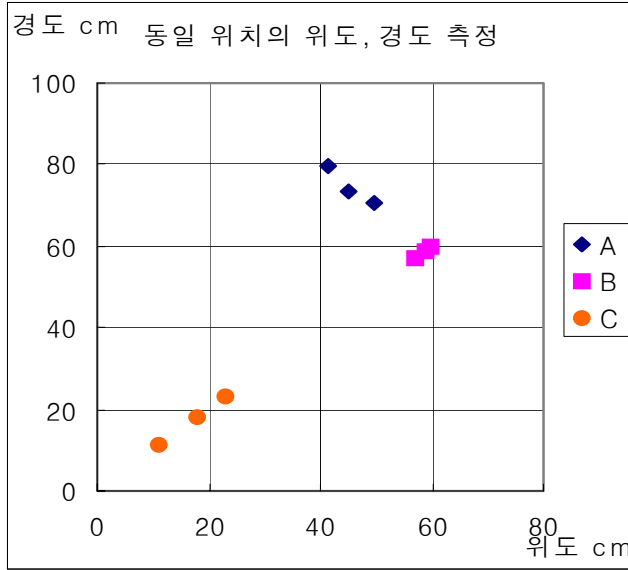


Fig. 5-108 GPS position accuracy test on 3 points

표준편차벡터의 크기

A : 6.141 cm B : 2.336 cm C : 7.258 cm

GPS장치를 움직이고 있는 실험자의 미세한 움직임으로 인해 오차가 발생한 것으로 판단되며, GPS장치를 이용해서 10m×10m의 셀 하나에 대한 정보를 얻는 데 있어서는 거의 무시할 만한 오차라고 판단된다.

#### 다. 속도정보의 정확도

변량시비 작업 시 작업기의 주행속도를 고려하여, 소형 경운기를 이용하여 대략 0.2m/s에서 1.2m/s까지 0.2m/s간격으로 10m를 각 속도별로 등속도로 3번씩 주행하였고, 초시계로 걸린 시간을 측정하였다. 동시에 DGPS 이동국을 소형 경운기에 설치하고, DGPS를 이용하여 주행하는 소형 경운기의 속도 값을 1초에 한번씩 출력하도록 하였다. DGPS의 속도는 RTK(Real Time Kinematic) 모드에서 "VLHA"형식의 로그(log)로부터 획득하였다.

각 속도에 따른 DGPS 속도 데이터를 그림 5-109에 나타내었다. 각 그래프는 시간에 따른 DGPS 속도의 변화를 보여준다.

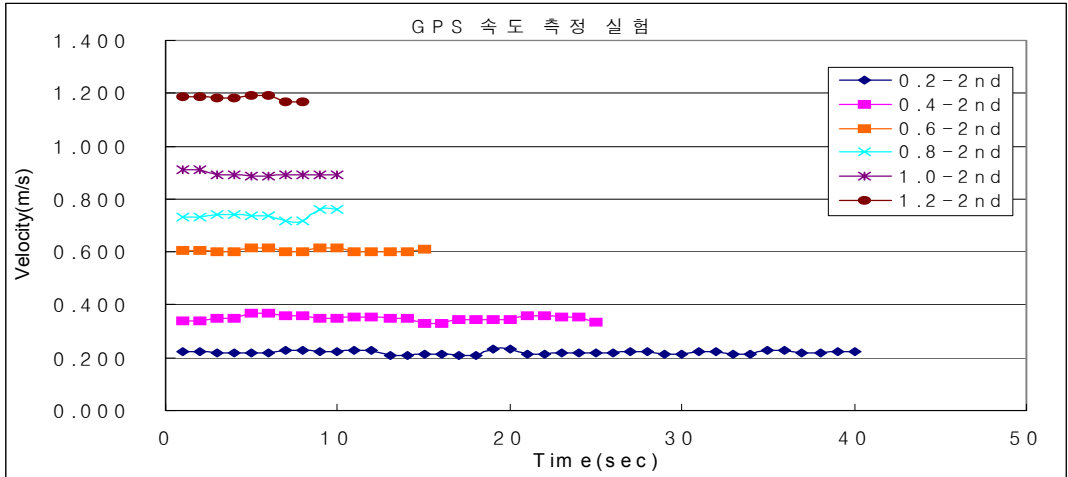


Fig. 5-109 GPS velocity data comparison data

작업기가 등속도로 주행하였을 때, DGPS로부터 획득한 속도가 평균속도에 얼마나 근접하게 그리고 안정적으로 나오는 지를 알아보기 위해 각 속도별로 속도의 표준편차를 계산하였다. 결과는 아래의 그림 5-110에서 보는 바와 같이 주행속도에 무관하게 평균속도에 근접하고 안정적인 속도 값이 나오는 것을 알 수 있다.

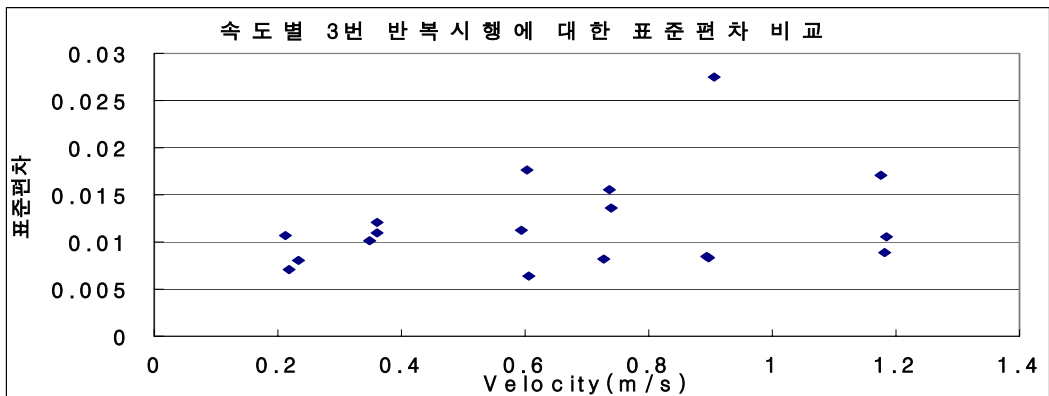


Fig. 5-110 Standard derivation of DGPS velocity data

DGPS로부터 획득한 속도가 실제의 속도와 얼마나 일치하는 지를 알아보기 위해, 10m를 주행하는 동안 걸린 시간을 초시계로 측정하여 계산한 평균속도와 DGPS로부터 획득한 CV계수를 각 속도별로 나타내었다.

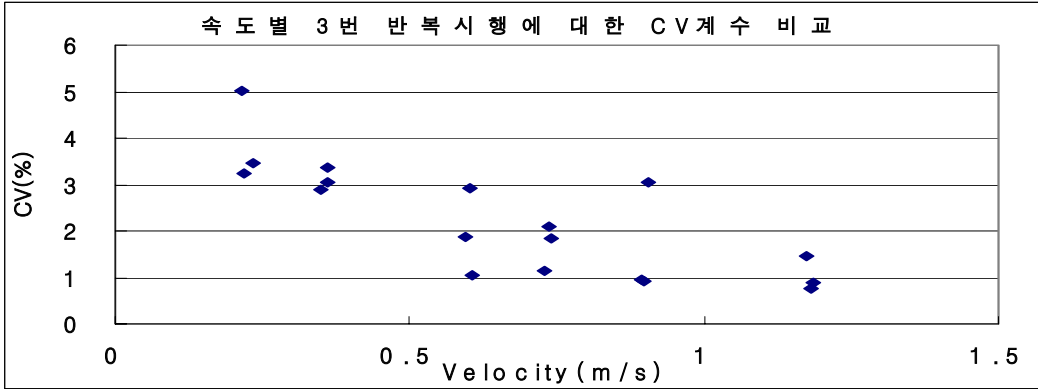


Fig. 5-111 Data difference between DGPS velocity and calculated velocity

그림 5-110과 그림 5-111 그래프의 "속도의 표준편차"와 "속도 차"는 각 속도별로 3번씩 실험한 결과의 평균값이며, 정확한 값은 표 5-37에 나타내었다.[Unit : m/s]

Table 5-37 Velocity error from DGPS by traveling speed(velocity)

속도 (초시계)	속도 (GPS)	표준 편차	속도 차
0.2222	0.2225	0.0086	-0.0035
0.3564	0.3565	0.0111	-0.0001
0.6016	0.6006	0.0117	0.0010
0.7315	0.7344	0.0124	-0.0029
0.8894	0.8987	0.0148	-0.0093
1.1710	1.1808	0.0122	-0.0097

DGPS로부터 획득한 속도 값은 주행속도와 무관하게 평균속도와 근접하면서 안정적(평균 표준편차: 0.0118)으로 나왔고, 실제 속도와 오차(평균 속도차: -0.0041m/s)가 작았다. 따라서 변량시비 작업기의 속도를 구하기 위해 DGPS 속도 값을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

라. GPS 신호 수신 간격 결정

GPS신호를 받는 간격을 0.5초로 2회, 1초 간격으로 3회를 주행 속도에 대해 GPS 신호를 수신하였다. 시작점에서 도착점 까지 10m의 직선주로를 측정하여, 시작점

전 50cm정도에서 작업기를 움직이기 시작하여 시작점에서는 정속으로 주행하도록 하였다.

“관능측정속도”는, 바퀴의 지면과의 접점이 시작점을 통과할 때 스톱위치를 직접 동작시키고 도착할 때 중지시켜서 측정한 값이다. “GPS측정속도”는, GPS프로그램에서 실시간으로 기록되는 데이터 중 0초에서부터 정지 전까지의 데이터들의 평균값이다(출발 및 정지시의 데이터는 제외시킴).

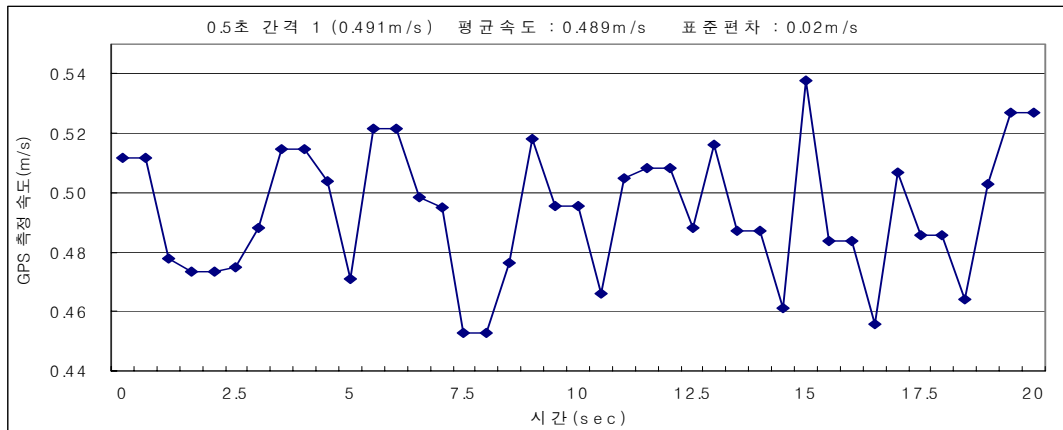


Fig. 5-112 Velocity data acquired by 0.5sec interval

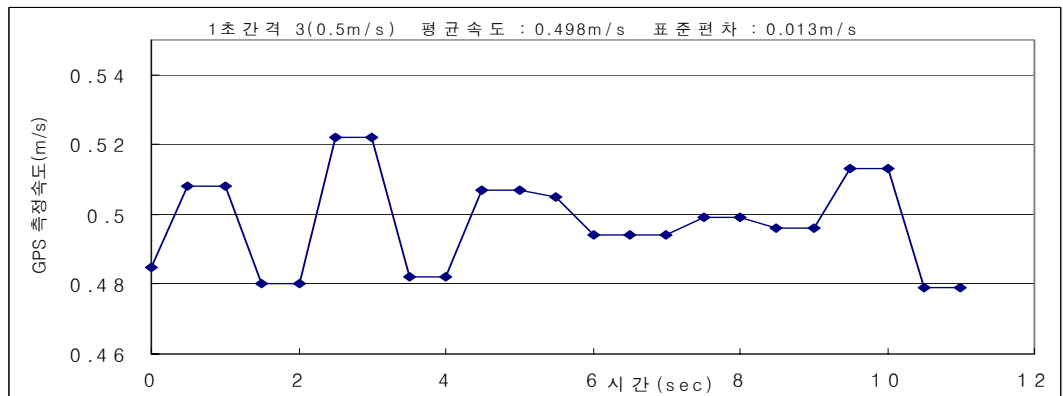


Fig. 5-113 Velocity data acquired by 1 sec interval

그림 5-112와 5-113은 0.5초 간격으로 했을 경우와 1초 간격으로 했을 경우의 실시간 속도 데이터 그래프이다. 측정에 이용한 작업기의 진동으로 인해 GPS안테나가 흔들렸기 때문에, 0.5초 간격으로 했을 경우 그 진동의 오차가 데이터에 포함되지만, 1초 간격으로 했을 경우는 그러한 진동의 오차가 거의 감지되지 않았다. 표준편차도 평

균 1.3cm/s 정도로 GPS 장치의 공식 표준편차인 2cm 내의 범위에 해당하는 값이다. 따라서 1초 간격으로 데이터를 수신하는 것이 적당하다고 판단하였다. 표 5-38은 각 실험의 실제 데이터와 계산된 표준편차 및 오차율을 나타낸다.

Table 5-38 Velocity data comparison by GPS data acquisition interval.

간격 회차	0.5초 간격		1초 간격		
	1	2	1	2	3
관능측정속도 (Timewatch)(m/s)	0.491	0.441	0.345	0.345	0.5
GPS측정속도(m/s)	0.490	0.446	0.340	0.331	0.498
표준편차	0.022	0.025	0.013	0.013	0.014
관능과 GPS의 오차율(%)	0.2	-1.1	1.4	4.1	0.4

### 3. 처방지도 시스템 인터페이스 구축

#### 가. 좌표 변환, 셀 좌표 결정 알고리즘

변량 시비를 위한 작업기의 위치는 GPS수신기로부터 WGS84좌표계의 경도, 위도 값으로 수신된다. 이 값들은 실시간 처리에 유리하나 데이터 처리에는 적합하지 않다. 따라서 수신된 경도, 위도 값을 포장 내의 한 점을 기준으로 하는 2차원 평면 좌표 값으로 변환하여 사용하였다. 좌표의 변환 절차는 다음과 같다.

1) 2차원 평면 좌표의 기준이 되는 기준점  $P_1$ 과  $P_2$ 를 선정한다. 두 점을 선정하는 절차는 다음과 같다.

가) 포장 근처에 DGPS 시스템의 기준국을 설정하고, 이동국의 좌표를 수신할 수 있도록 한다.

나) DGPS를 사용하여 포장의 네 모서리의 경도, 위도 값을 획득한다.

다) 위에서 획득된 위도, 경도 값을 기준으로, 가장 위도가 작은 값 중, 경도가 가장 작은 점을  $P_1$ 으로 선정한다.

라)  $P_1$ 과 이웃한 두 점들 중에서 경도가 큰 점을  $P_2$ 로 선정한다.

2) 기준점  $P_1$ 과  $P_2$  를 잇는 직선과 기준점  $P_1$ 을 기준으로 한 위선이 이루는 각  $\theta$ 를 계산한다.

그림 5-114에서  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{P_1Q}{QP_2}\right)$  (식 5-28)

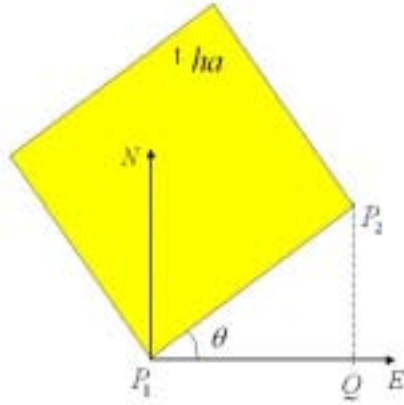


Fig. 5-114 Schematic of coordinate transformation

- 3) 기준점  $P_1$ 을 기준으로 하여 작업기의 현재 위치와의 경도, 위도 차이를 측정한다.
- 4) 측정된 위도 경도 차이를 경도, 위도 1"당 m로 환산하여,  $P_1$ 과의 거리(m)를 구한다.

표 379는 AutoCAD2000을 사용하여 구한 위도, 경도 1"당 거리 값을 나타낸다.

Table 5-39. Distance(m) per 1" for latitude and longitude

구분	1"당 거리 값(m)
위도	30.88416667
경도	24.57568556

- 5) 나)에서 구한  $\theta$ 만큼 시계 방향으로 회전 변환하여 현재 위치가 포장 내의 몇 번 째 단위 구역에 해당하는지 결정한다. 식 5-4는 회전 변환 행렬을 나타낸다.

$$R = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \quad (\text{식 5-29})$$

6) 마)에서 구해진 좌표 (x,y)가  $x > 9$ ,  $y > 9$ 이면 포장내의 셀이 아니므로 작업을 중단한다.

나. 개발 소프트웨어 소개

### 1) GPS 상태 확인

그림 5-115는 GPS Interface 프로그램의 첫 번째 메뉴의 모습이다. GPS 장치로부터 신호가 정상적으로 들어오는지를 확인하기 위한 메뉴이다. Start 버튼을 누르면 컴퓨터의 COM1포트로 들어오는 GPS PRTKA TYPE의 신호를 이용하여 GPS날짜, GPS시간, 위도, 경도, 고도 등의 정보를 디스플레이 해주며 테스트가 끝난 후 STOP을 클릭하고 다음 메뉴로 넘어간다.



Fig. 5-115 GPS Interface program - GPS Test tab

### 2) 시비 지도 불러오기

그림 5-116은 작성된 시비처방지도를 파일로 읽어 들이는 Read Map 메뉴 탭에 대한 화면이다. 엑셀로 작성된 DB 파일의 경로를 상단에 입력해 주고 Read DB를 클릭하여 읽어 들이면 Map data 부분에 표시된다.

### 3) 작업 필지의 경계 설정

그림 5-117은 작업 필드의 모서리 좌표를 입력해 주는 Reference Coordination 메뉴 탭의 화면이다. 일단 시작 버튼을 누르고 GPS장치를 이동시켜 모서리 부분에 위치시킨 후 좌표 일기 버튼을 클릭한다. 이 과정을 통해서 시비처방지도와 GPS의 위치 정보를 연동시켜 실제 작업하게 될 영역에 대한 정보를 GPS제어 프로그램으로 알려주는 것이다. 입력완료 후 완료버튼을 꼭 클릭해 주고 마지막 탭으로 넘어간다.



Fig. 5-116 GPS Interface program - Read Map tab

### 4). 시비 작업

그림 5-118은 실제 작업 영역에 대한 정보를 디스플레이 해주는 화면이다. 작업이 끝나지 않은 셀은 녹색으로 표시되며, 이미 비료를 뿌린 셀은 초록색으로 변하게 된다. 우측에는 현재 작업기의 주행 속도를 표시해 주며, 이 속도와 시비처방지도의 값에 따라 계산된 모터회전속도와 실제 모터회전속도를 비교해 보여준다. 그리고 이 작업에 대한 정보를 파일로 저장해 둘 수 있어, 이후에 작업영역에 대한 평가를 할 수 있다.



Fig. 5-117 GPS Interface program - Ref. Coord. tab





Fig. 5-118 GPS Interface program - Fertilize tab

## 제 9절 입제 변량살포기 포장실험

### 1. 개발한 입제 변량살포기

#### ○ 공시 변량살포기

그림 5-119와 5-120은 개발한 입제 변량살포기의 모습으로, 입제 적재부인 200 L 용량의 호퍼, 배출부인 2개의 배출장치, 공기와 입제 이송부인 분지관과 붐관, 이송부의 마지막인 분두, 위치정보와 작업속도 파악하기 위한 DGPS, 처방량에 따른 가변 살포량을 조절 가능한 변량제어기, 송풍기 등으로 구성하여 폭 10 m의 살포 가능하며 균등도가 우수한 개발하였다. 좌우 붐은 기계의 옆에 거치가 가능하도록 하였고, 붐을 접고 펼 때 전동실린더를 간편하게 작동되게 하였다. 또한 벼의 생육에 따라 붐의 거치대는 2단계의 높이 조절이 되도록 하였다. 습도가 높은 상태에서 시비작업은 입제 비료가 수분을 흡습하기 쉬워져 비산거리가 떨어지는 현상이 있다. 이에 외기의 습기와의 접촉을 최소화 하도록 호퍼를 제작하여 습기와의 접촉을 방지하였다.



Fig. 5-119 View of prototype Variable Rate Granule Applicator.



Fig. 5-120 Side view of prototype Variable Rate Granule Applicator.

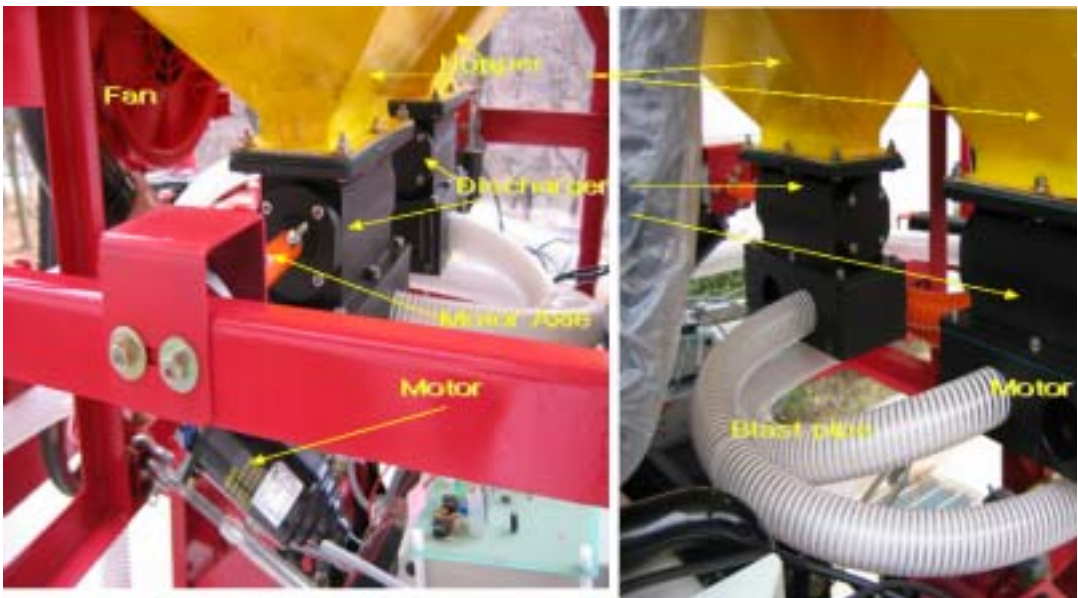


Fig. 5-121 View of the discharger

그림 5-121은 호퍼 밑에 입체배출장치가 부착된 모습으로 호퍼에서 배출된 비료는 고속 공기와 혼합되어 각각 두 개의 연결호스를 통해 분관으로 이동하여 분두를 거쳐 최종적으로 포장에 살포되게 하였다. 각각 두 개의 배출장치를 설치함으로써 살포폭이 10 m를 담당하게 되었으나, 공간변이의 변화에 따라 좌우 배출장치의 모터 회전수를 달리하여 5 m의 살포폭으로 작업이 가능하도록 제작하였다.

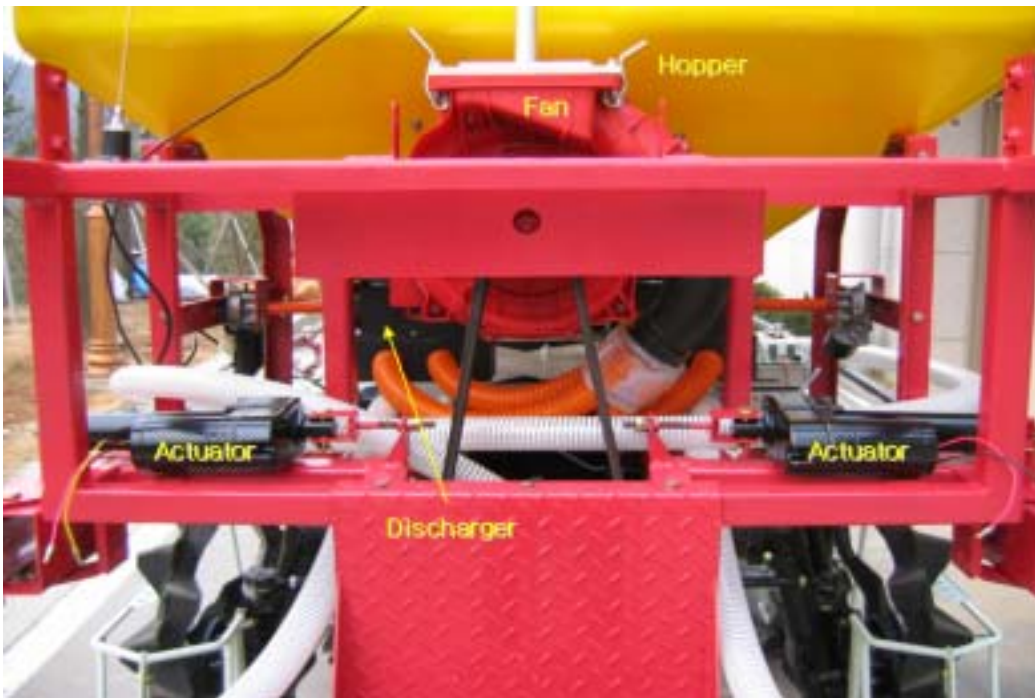


Fig. 5-122 Rear view of variable rate granule applicator

그림 5-122는 살포기의 후면으로 송풍기, 전동실린더, DGPS 안테나와 송풍기로부터 불어나오는 고속 공기를 나누어주는 분지관을 볼 수 있다. 승용관리기에 장착한 거치대는 간편하게 탈부착이 가능하도록 하였고 장기 보관시에는 탈착하여 이동이 편하도록 우레탄 바퀴를 설치하였다.

그림 5-123은 변량제어기의 종합적인 정보를 눈으로 볼 수 있도록 운전석 오른쪽에 모니터를 설치하였다. 또한 수동으로 변량 살포기 가능하도록 수동 변량 조절 스위치도 오른쪽에 설치하여 사용 하도록 하였다. 모니터에는 포장의 정보가 입력되어 있어 작업속도, 시비 처방량, 작업기의 위치, 살포된 비료의 양 등을 한 눈에 볼 수 있도록 하였다.



Fig. 5-123 View of variable rate controller

## 2. 무게 중심 측정

무게중심은 물체를 어떻게 놓느냐 하는 것과 관계가 있다. 무게중심이 높은 곳에 있을수록 물체는 놓임새가 불안정하며, 무게중심에서 그은 연직선이 물체가 놓인 바닥에서 벗어나면 물체는 쓰러진다. 즉, 무게중심이 낮고, 어떤 방향으로 기울이더라도 무게중심이 위로 올라가도록 놓인 물체의 경우는 기울었던 물체에서 손을 떼었을 때 무게중심이 원래 상태로 되돌아가므로 잘 쓰러지지 않지만 기울이면 무게중심이 아래로 내려가도록 놓인 물체는 조금만 기울여도 쓰러진다.

입제 변량살포기의 운동을 표현하기 위해서는 일반적으로 입제 변량살포기의 병진 운동과 회전 운동에 대한 운동 방정식을 유도하고 그 해를 구하여야 한다. 그러나 입제 변량살포기의 운동이 횡전도에만 국한될 경우에는, 몇 가지 가정을 기초로 하여 횡전도축에 대한 회전 운동 방정식으로 표현할 수 있다. 입제 변량살포기의 횡전도는 1차 횡전도와 2차 횡전도로 나눌 수 있다. 1차 횡전도는 입제 변량살포기의 곡측 후륜의 접지점과 앞차축의 히치점을 연결하는 1차 횡전도축을 중심으로 일어나며, 2차 횡전도는 곡측 후륜의 접지점과 곡측 전륜의 접지점을 연결하는 2차 횡전도축을 중심으로 일어난다. 따라서 입제 변량살포기의 횡전도에 대한 운동 방정식은 1차 횡전도축에 대한 회전 운동 방정식과 2차 횡전도축에 대한 회전운동 방정식으로 구성된다. 경사지에서 입제 변량살포기가 주행할 때 전도가 일어날 수 있는 가장 높은 경우는 입제 변량살포기의 산측 후륜이 장애물과 충돌하거나 또는 통과하는 경우이다. 따라서 입제 변량살포기의 산측 후륜이 장애물과 충돌하여 전도될 때의 횡전도를 대상으로 알아보고자 한다.

개발한 입체 변량살포기의 무게중심, 정적 횡전도 각을 측정하였다. 시험조건은 변량 살포기에 부가중량을 부착하지 않은 상태에서 운전석에 운전자 대신 75kg의 중량을 적재하고, 연료탱크에 연료를 가득 채우고, 또한 윤활유, 작동유 등을 규정량을 채웠다. 그림 5-124는 무게중심을 측정하는 모습이고 그림 5-125는 횡전도 각을 측정하는 모습으로 농업공학연구소의 의뢰하였다.



Fig. 5-124 View of measuring gravity center



Fig. 5-125 View of measurement of angle static falling down sidelong

실험 결과 기체 총중량은 942 kg, 최저 지상고 740 mm이며 무게 중심점은 뒷차축 중심에서 기체 중심까지의 수평거리 598 mm, 중심 위치의 지상고 1,117 mm, 기체 종방향 중앙면에서 중심까지의 수평 거리 6 mm로 임을 알 수 있었다. 또한 정적 회전도각은 좌우측 정적 회전도각 각각 29°로 었다.

### 3. 비료 살포량에 변화에 따른 살포 균등도 실험

작업속도와 분시율과 처방량에 따라 비료의 살포량은 표 5-40과 같이 변한다. 작업속도를 0.2 m/s ~ 0.8 m/s에서 분시율은 기비, 분얼비, 수비의 살포비율을 50% : 25% : 25%로 하였고 처방량의 단계는 표준시비량을 1N을 기준을 하여 0.25N, 0.5N, 0.75N, 1.0N, 1.5N, 2N의 단계를 두었다. 비료 살포량과 CV값과의 관계는 통계처리를 통해 분석한 결과 서로 유의하다고 하였으므로 입제 변량살포기를 개발함에 있어 살포량에 변화더라도 균등한 살포를 요구함으로써 살포량 변화에 대한 균등도를 실험하였다. 하나의 봄색선에서 신세대 비료에 대해서 살포량을 증가시키면서 살포시간은 30 초, 3회 반복하여 살포 실험을 하였다. 살포된 비료는 패터네이터를 이용하여 30 cm 간격으로 수집통에 수집된 입제 비료량을 측정하여 측정값의 평균과 표준편차를 구한다음, 식을 이용하여 CV값을 구하여 균등도를 분석하였다.

Table 5-40 Fertilizer spraying amount considering velocity and prescribed amount

작업속도 (m/s)	0.25 N		0.5 N		0.75 N		1.0 N		1.5 N		2N	
	기비	분얼비/수비	기비	분얼비/수비	기비	분얼비/수비	기비	분얼비/수비	기비	분얼비/수비	기비	분얼비/수비
0.1	6.8	3.4	13.6	6.8	20.5	10.2	27.3	13.6	40.9	20.5	54.5	27.3
0.2	13.6	6.8	27.3	13.6	40.9	20.5	54.5	27.3	81.8	40.9	109.1	54.5
0.3	20.5	10.2	40.9	20.5	61.4	30.7	81.8	40.9	122.7	61.4	163.6	81.8
0.4	27.3	13.6	54.5	27.3	81.8	40.9	109.1	54.5	163.6	81.8	218.2	109.1
0.5	34.1	17.0	68.2	34.1	102.3	51.1	136.4	68.2	204.5	102.3	272.7	136.4
0.6	40.9	20.5	81.8	40.9	122.7	61.4	163.6	81.8	245.5	122.7	327.3	163.6
0.7	47.7	23.9	95.5	47.7	143.2	71.6	190.9	95.5	286.4	143.2	381.8	190.9
0.8	54.5	27.3	109.1	54.5	163.6	81.8	218.2	109.1	327.3	163.6	436.4	218.2
0.9	61.4	30.7	122.7	61.4	184.1	92.0	245.5	122.7	368.2	184.1	490.9	245.5
1	68.2	34.1	136.4	68.2	204.5	102.3	272.7	136.4	409.1	204.5	545.5	272.7

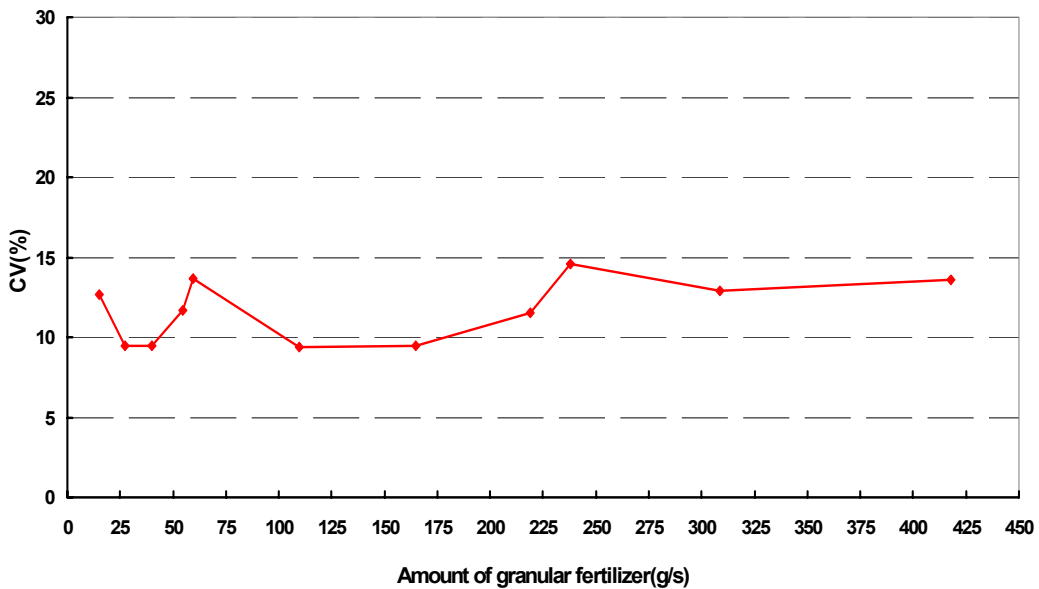


Fig. 5-126 CV-value according to amount of granular fertilizer



작업속도, 분시율과 처방량에 따라 변하는 비료 살포량에 따라 살포 균등도를 실험한 결과 그림 126과 같이 나타났다. 살포량이 15 g/s에서 420 g/s까지 증가하더라도 30 cm 간격으로 수집한 양을 CV값을 구하였더니 15%이하의 균등한 살포를 보였다. 하나의 붐섹션에서 각각 분두 1, 2, 3번의 충돌판 삽입길이를 고정하여서는 그림과 같은 CV값을 얻지 못함으로 살포량에 증가함에 따라 각각의 분두의 삽입길이를 다르게 조정하여 15%이하의 CV값이 나오는 삽입길이 조건을 구하였다. 즉, 살포량이 15 g/s에서 420 g/s까지 증가함에 따라 충돌판 삽입길이는 세 가지의 조건의 조합에서 모두 만족되는 결과를 얻었다. 따라서 비료의 살포량이 변화에 따라 각 분두의 충돌판 삽입길이를 조절함으로써 균등한 살포가 가능함을 알 수 있었다.

#### 4. 입제 변량살포기의 실외 실험

입제 변량살포기의 실내실험 결과 여러 조건(작업속도, 분시율, 살포량)에서 30 cm 간격으로 수집한 비료의 살포균등을 분석하였더니 15%이하의 CV값을 보임을 알 수 있었다. 이에 10 m의 살포가 가능한 붐과 변량제어기 및 작업기의 위치정보 수집을 위한 DGPS를 승용관리기에 장착하여 입제 변량살포기 작동 성능을 실외실험을 통하여 분석 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 그림 5-127과 같이 기계 진행 방향에 수직하게 90cm의 등 간격으로 pan(입제 수집통)을 11개소에 배치하였고, 진행방향에 대해서는 100cm의 등 간격으로 5열이 되게 배치하여 입제의 포장 살포 실험을 실시하였으며, 설정된 각 살포량 별로 3회 반복실험을 실시하여 CV값으로 살포 균등도를 분석하였다. 그림 5-128은 본 연구에서 실시한 입제의 포장 살포 실험의 모습이며 본 실험은 콘크리트 포장에서 실시되었다.

입제 비료의 살포량은 작업속도 0.33m/s와 분시율과 처방량 단계에 따라 44g/s, 88.5g/s, 131g/s, 177g/s으로 세분하였으며, 이렇게 세분된 살포량에 따라 입제를 포장에 살포한 결과는 그림 5-129과 같이 분석되었다. 분석결과 입제의 포장 내 살포량의 균등도를 나타내는 CV값은 25%이하로 나타났으며, 이는 실제 포장 실험에서 입제 비료가 pan에 수집된 양이 극 미소량(1~6g 내외)이라는 점과, 입제의 살포시 바람의 영향으로 인하여 입제가 포장면에 균등하게 살포되지 않는다는 점을 고려하더라도 CV 값 기준 균등도로 25% 내외로 나타났으며, 그림 5-129에서와 같이 각 살포량에 대하여 10m의 폭에 살포되는 비료의 살포유형을 파악 할 수 있었다.

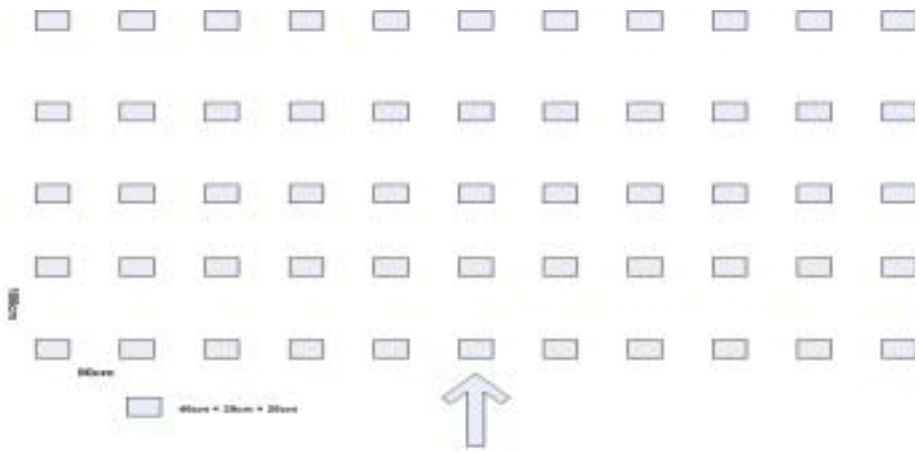


Fig. 5-127 View of collection pan matrix for test



Fig. 5-128 View of field test

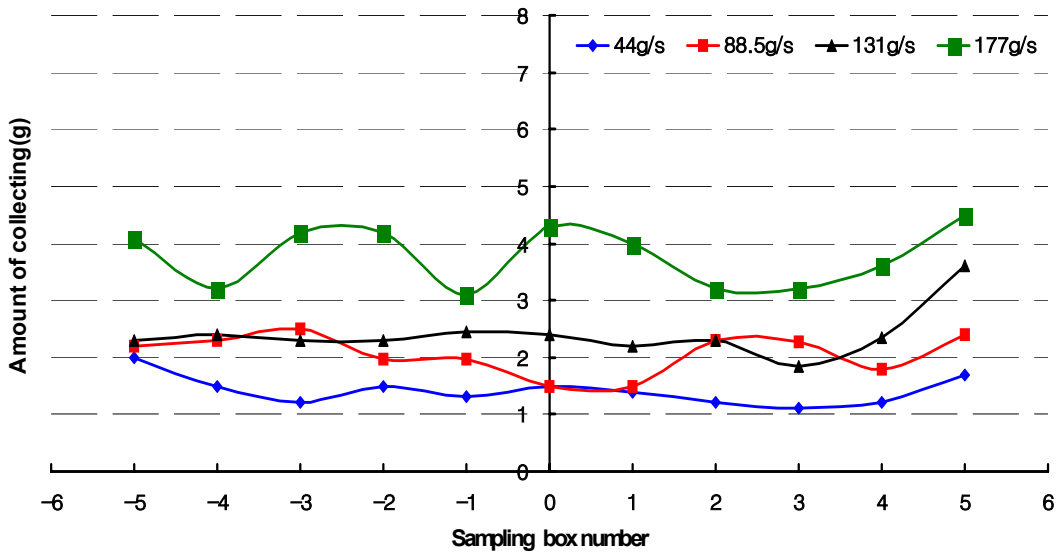


Fig. 5-129 Application patterns of 4 booms (\* width of sampling box = 90 cm)

Surfer(Golden software co., ver 8.0)는 contouring map 및 3D surface plotting 프로그램으로 이 소프트웨어를 사용하여 pan에 수집된 자료를 바탕으로 실제 살포되는 바닥내의 형태를 예측하여 보았다. 그림 5-130에서 5-133까지 각 살포량에 대해서 10m×5 m의 면적의 표면에 살포되는 형태를 나타내었다.

## 제 10절 종합결론

화학 농약과 비료 사용을 포장과 작물의 요구에 맞추어 변량으로 처방하는 정밀농업 기술에 대한 연구는 우리나라의 경우 1990년대 후반부터 수행되었다. 기존의 연구들은 포장 내 토양이나 작물의 불균일성과 정밀농업기술의 필요성을 확인하거나, 변량

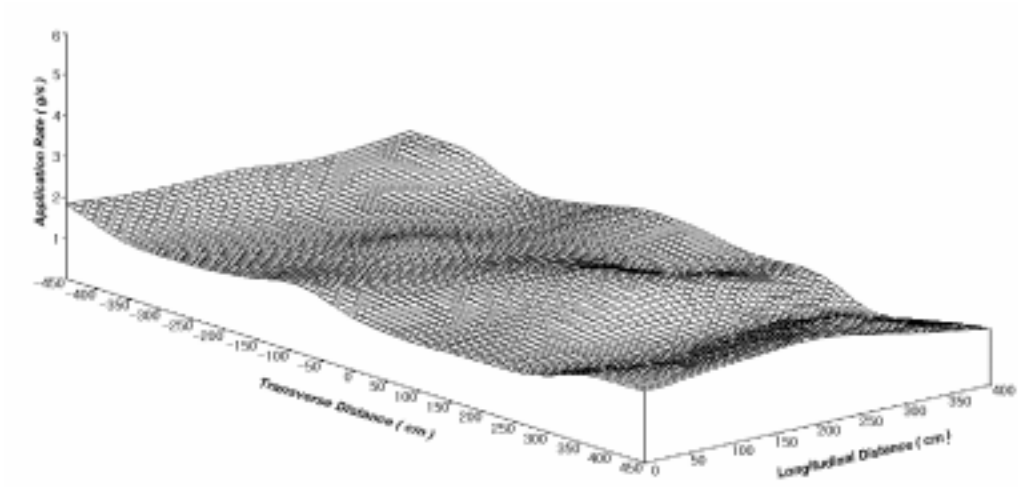


Fig. 5-130 Actual uniform 44g/s application surface

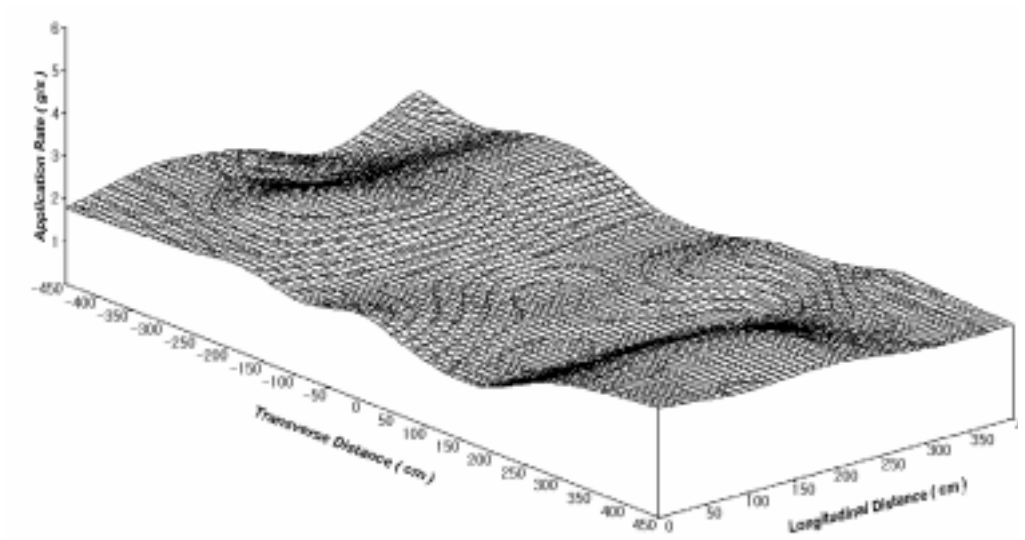


Fig. 5-131 Actual uniform 88.5g/s application surface

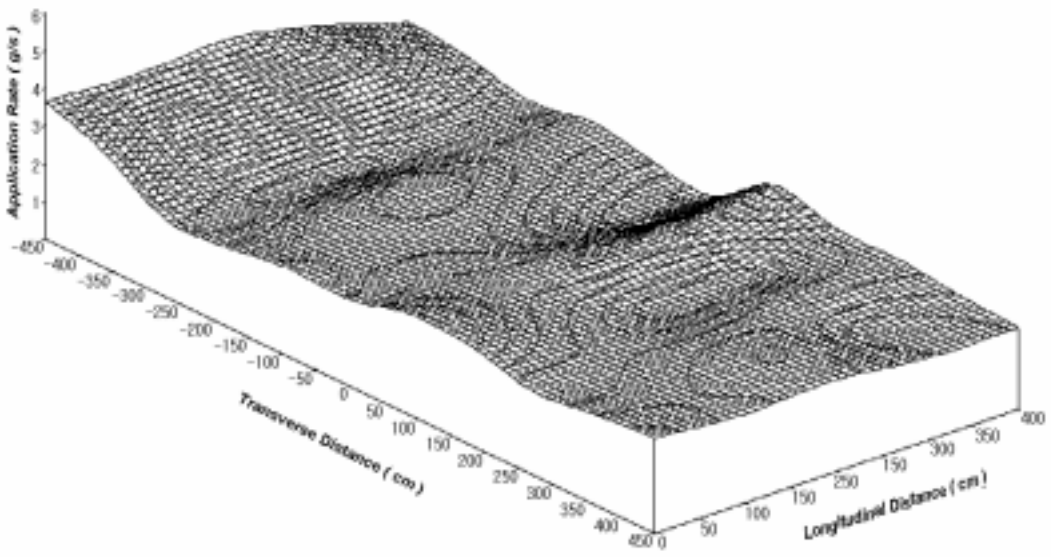


Fig. 5-132 Actual uniform 131g/s application surface

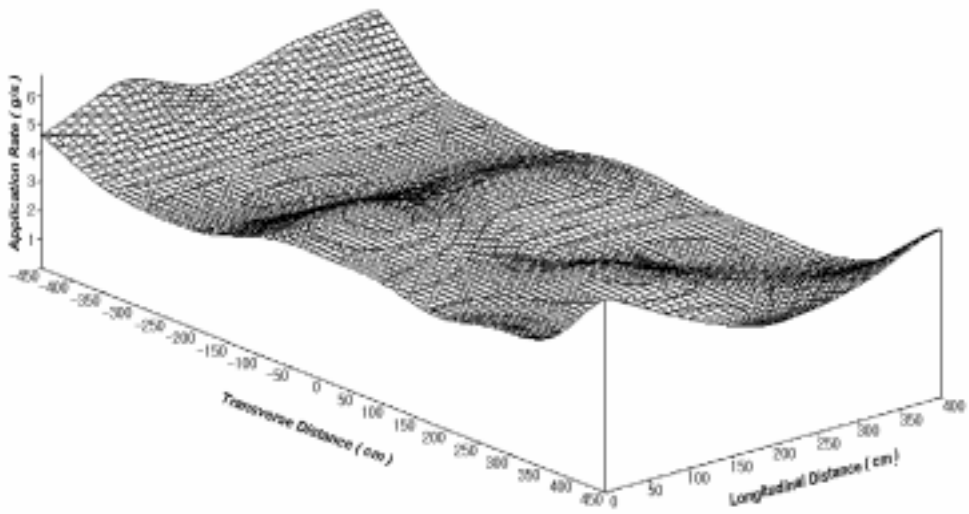


Fig. 5-133 Actual uniform 177g/s application surface

처방에 필요한 계측 및 센서 기술, GPS나 GIS 응용기술에 집중되었으며 실제로 작업에 필요한 변량작업기에 대한 연구는 활발하지 못하였다. 변량시비는 정밀농업의 중요한 부분으로서, 이제까지 농촌에서는 인력살포와 원심식 살포기나 동력살분무기를 이용한 기계 시비를 수행하였기 때문에 본 과제에서 목표로 하는 다단계 변량시비를 하기 위해서는 우리 설정에 적합한 변량살포기의 개발이 필요하였다.

입제 변량살포기의 구성은 원동기로서 승용관리기, 붐장착 프레임, 좌·우 붐, 입제의 적재부, 붐관 및 배출량 조절 장치, 송풍기, 공기와 입제의 이송부, 이송부의 마지막에 장착된 분두, 제어박스(입력 : 위치·속도 데이터, 처방지도, 입제 배출장치 feedback 데이터/ 출력: 입제 배출장치 조절 신호), GPS 수신기로 구성하였다. 시비 처방지도에 의해 작동되는 입제 변량살포기를 개발하였고, 10 m의 살포폭에 0.2 ~ 06 m/s의 작업속도에 따라 연속적인 변량 살포 가능하지만 처방량을 5단계로 구분하여 살포되게 하였으며 살포 균등도는 15% 이내의 CV값을 보였다.

## 1. 입제 변량 살포기 개발

국내에서 시비작업은 대부분 원심식 입제살포기를 사용하고 있으며, 정밀 입제살포 기술에 대한 연구사례가 없었으며, 송풍식 입제 살포기에 대한 기초 연구만 이루어졌으나 실용화되지는 않았다.

본 연구는 승용관리기 탑재형으로 기비, 분얼비, 수비, 입제 제조제 등이 살포 가능한 송풍식 붐형 입제 변량살포기의 설계를 위해 수행되었으며, 작업속도에 무관한 5단계의 시비 처방량의 조절 가능하도록 설계하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 붐과 호퍼는 승용관리기의 후방에 부착되도록 설계하였다. 그리고 붐의 접기와 펴기의 조작은 축전지 전원으로 전동모터를 구동하도록 설계하였다.
- 바퀴의 침하와 후방전도 등 기체의 안전성을 고려하여 호퍼의 크기와 붐장착 프레임을 경량으로 설계하였다. 호퍼는 경량이면서 강도가 큰 FRP 재질이며 200 L로 제작하였다.
- 내경 54 mm의 아크릴 관에 3개의 분두를 장착하여 1set의 붐이 이루어도록 하여 총 4set의 붐대를 구성하였고, 분두의 간격은 75 cm로 12개를 배치하여 총 살포폭이 10 m가 되도록 제작하였다.
- 입제 배출장치는 입제비료 및 농약의 부서짐을 적게 하고 모터의 회전으로 배출량을 조절이 용이한 홈 롤러방식으로 제작하였다.

- 입제 변량 제어기는 포장내의 작업기의 위치분석 신호를 신호처리부에 송출하는 DGPS 및 속도센서 등으로 구성된 입력부분과 변량 살포를 위해 입제배출장치를 제어하는 변량 제어부, 입제 배출장치의 모터 구동부 및 구동 모터, 구동부의 회전속도 오차신호를 송출하는 F/G (frequency generator)로 구성된 입제 변량살포기 구동부, 그리고 배출장치를 통해 배출되는 입제의 배출량 및 배출장치의 입제 배출 오차를 계량하고 궤환신호를 송출하는 살포장치와 모든 신호를 종합하여 제어 신호를 송출하는 중앙처리부로 구성하였다.
- 송풍기는 동력살분무기에서 사용되고 있는 J사의 3WF-550을 선택하였고, 관리기의 PTO에 증속장치에 연결하여 회전수를 5000 rpm에서 작동되도록 제작하였다.
- 송풍기에서 토출된 송풍량이 분관을 통과 시 송풍량 손실이 20%의 감소를 보인 분지관 B형을 선정하여 시작기에 부착하였다.

## 2. 입제 변량 살포장치 개발

송풍식 입제 변량살포기 개발을 위한 기본 연구로서 살포장치를 구성하여 입제 비료에 대해 충돌판 삽입길이 조건과 살포높이별에 따른 살포 특성과 균등도를 분석하고자 수행한 주요 연구 결과는 아래와 같다.

- 10 m의 붐은 동일한 구조를 가진 4개의 섹션으로 구성하였고, 하나의 붐섹션에 3개의 분두를 설치하였다.
- 분두는 입제와 입제를 이송하는 공기가 저항을 받아 분두내로 안내될 수 있도록 충돌판을 설치하였고, 충돌판은 삽입길이를 조절 가능하도록 하였다. 또한 충돌판은 배출되는 입제 비료량을 분두내로 안내되는 양이 조절되도록 하였다.
- 신세대 비료의 경우 D의 조건에서 다른 조건보다 살포 균등도 전반적으로 좋았으며, 비료 투입량이 47 g/s일 때 CV값은 29.8%로 가장 균등한 살포였고, 111.4 g/s일 때 37.6%의 값으로 가장 균등도가 낮았다.
- 비료 살포량과 충돌판 삽입길이별에 따른 CV값과의 관계를 분석하고자 삼원변량분석(three-way ANOVA)을 하였다. 변량분석 결과로 비료 살포량의 증가에 따른 CV값 변화는  $p = 0.001$ 로 유의수준을  $\alpha = 0.05$ 로 잡을 때  $\alpha$  보다 작으므로

유의함을 알 수 있었다. 또한 충돌판 삽입길이조건에 따른 CV값 변화도  $p=0.000$ 으로 유의함을 알 수 있었다. 그리고 비료 살포량의 변화와 충돌판 삽입 길이 조건들 간에 교호작용이 유의한 것으로 나타났다.

- 살포높이별 균등도를 실험한 결과, 살포높이가 증가할수록 중첩되어 CV값은 낮아지는 것을 볼 수 있으나, CV값이 20% 이하로 떨어지지 않는 것을 볼 수 있었다.

따라서 하나의 붐섹션에 분두 3개를 부착한 입제 변량 살포장치는 균등한 살포가 되지 않으므로 균등도를 높이기 위해서는 살포장치의 개선이 필요하다고 판단되었다.

### 3. 입제 변량 살포장치 개선

한 개의 붐관에 분두를 3개 장착하여 입제 비료의 살포 실험한 결과, 균등한 살포가 이루어지지 않으므로 인해 살포장치의 개선이 필요하다고 판단하였다. 이에 입제 변량 살포장치를 개선하여 충돌판 삽입길이별과 살포높이별에 대한 비료 살포 특성의 분석하고 살포 균등도를 높이고자 수행하였다. 이에 앞서 분두의 부착수를 늘려 4개를 장착하더라도 붐관내에서 입제의 이송을 고속카메라를 이용하여 붐관에서 입제 비료의 이송 유형을 파악하고 입경별 이송속도와 살포패턴을 분석하고자 수행하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 입제비료의 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm의 입경별로 5개의 입제를 선택하여 각 분두에서 측정된 평균속도 구한 결과, 분두 1번에서 입경별 속도는 7.3 m/s에서 7.9 m/s의 값을 보였으며 분두 4번에서는 3.7 m/s에서 3.2 m/s의 속도가 나타남을 알 수 있었다. 분두의 부착수를 4개로 늘리더라도 입제 이송은 원활하게 이루어짐을 알 수 있었다.
- 입제비료가 각 분두를 지나면서 속도 강하를 살펴본 결과, 분두 1번에서 입제 비료의 속도는 입경별로 7~8 m/s 범위의 속도에서 출발하여 분두 4번의 위치에서는 속도가 3.2~3.8 m/s까지 강하함을 알 수 있었다.
- 입제 비료의 살포 균등도를 높이고자 하나의 붐관에 분두의 부착수를 4개로 늘려 입제 변량 살포장치를 개선하였다. 길이 200 cm의 원형 아크릴 붐관에 첫 번째 분두는 18 cm 되는 지점에 부착하였고, 각 분두는 60 cm의 간격으로 배치하였다.
- 신세대의 경우 분두 4조의 경우는 BH4-C조건이 CV값이 12.8%로 가장



좋은 살포 균등도를 나타냈고, BH4-B 조건은 14.5%, BH4-A 조건은 15.9%, BH4-D 조건에서는 43.7%의 값으로 가장 살포 균등성이 낮아짐을 알 수 있었다.

- 살포높이별 균등도를 실험한 결과, 살포높이가 높아질수록 CV값은 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 살포높이가 80 cm에서 신세대를 살포시 CV값이 12.8%, 슈퍼21을 사용하였을 때는 15.3%임을 알 수 있었다.
- 분두 4조에서 충돌판의 삽입 길이는 각각 25, 35, 35 mm이고, 살포높이는 80cm, 분두간격은 60 cm, 실편된 비료를 30 cm 간격으로 수집하여 균등도를 분석한 결과, CV값은 신세대가 12.9%, 슈퍼21은 14.3% 보였다. 또한 90 cm로 수집 간격을 늘렸을 때 CV값을 계산한 결과, 신세대는 7.11%, 슈퍼21은 8.06%로 10 m의 살포구간에 대해 균등하게 살포된다고 판단된다.

#### 4. 입제 변량 살포를 위한 변량 제어기 개발

- 기존 변량 제어시스템의 구성과 원리를 이론적으로 구명하였다.
- PID 제어를 이용한 시뮬레이션 모델을 Matlab/Simulink를 사용하여 개발하였으며 이 모델을 이용하여 2차 학습 제어 알고리즘을 사용하여 비례, 적분, 미분 제어상수를 자동으로 결정하는 프로그램을 작성하였다.
- 결정된 비례, 적분, 미분제어상수로 시뮬레이션 모델을 이용하여 단위계단 응답을 예측한결과, 최대오버슈트 1.97%, 상승시간 0.052초, 정착시간 0.066초, 정상상태오차 0.21%등 양호한 제어 성능을 얻었다.
- 현장 실험을 통해 시뮬레이션 모델을 검증한 결과, 외란 및 부하로 인해 시뮬레이션 결과와는 달리 최대오버슈트 10%, 상승시간 0.11초, 정착시간 0.4초, 정상상태오차 8%로서 차이를 나타내었으나 기존 제어시스템의 성능과 비교할 때 상승 시간과 정착시간은 약 1/3로 크게 감소하는 제어성능의 향상이 있었다.
- 작업기를 0.3~0.6m/s로 주행하고 배출 롤러를 64rpm으로 회전시킬 때 0.26

초의 상승 시간동안 작업기의 진행 거리는 기존의 0.219~0.438m에서 0.078~0.156m로 감소하였으며, 0.4초의 정착시간 동안 작업기는 0.12~0.24m 정도 진행하게 된다. 배출 롤러의 회전 속도는 64rpm이하에서 변동하므로 결국 작업기의 진행 거리는 더욱 짧아지게 되므로 기존 시스템 보다 더욱 정밀한 살포가 가능하다.

- 입제 변량살포기 배출장치의 퇴적고에 따른 충전율을 분석한 결과 입제 배출장치의 충전율은 슈퍼 21과 신세대의 경우 각각 72.58~93.23%와 63.14~93.42%의 범위 내에서 회전속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.
- 입제 배출장치의 회전속도 및 배출시간에 따른 입제 배출량의 균등도를 분석한 결과 각 회전속도별 입제 배출 균등도는 슈퍼21과 신세대의 경우 각각 CV값 기준으로 11.23~3.94%와 10.80~3.61%의 범위 내에서 변화하였으며, 입제 배출량의 균등도는 4% 내외로 안정되는 경향을 보였다.
- 제어 신호에 따른 입제 배출장치의 회전속도 예측식을 산출한 결과 예측식은  $Y=55.984X-79.174$ (X: input vitage, V, Y: Discharger speed, RPM)이고 R<sup>2</sup> 값은 0.9856 으로 산출되었다.
- 입제 변량살포 제어기의 응답특성을 분석한 결과 배출장치의 회전속도 설정값에 해당하는 6단계의 각 단계별 단위 입력값에 대한 정정시간은 0.8~1.4 sec의 범위 내로 나타났으며, 2단계 입력부터는 회전속도가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다.

## 5. 입제 변량살포기 포장실험

개발한 입제 변량살포기의 무게중심, 정적 횡전도각을 측정하였다. 시험조건은 변량살포기에 부가중량을 부착하지 않은 상태에서 운전석에 운전자 대신 75kg의 중량을 적재하고, 연료탱크에 연료를 가득 채우고, 또한 윤활유, 작동유 등을 규정량을 채웠다. 실험 결과 기체 총중량은 942kg, 최저 지상고 740mm이며 무게 중심점은 뒷차축 중심에서 기체 중심까지의 수평거리 598mm, 중심 위치의 지상고 1,117mm, 기체 종방향 중앙면에서 중심까지의 수평 거리 6mm로 임을 알 수 있었다. 또한 정적 횡전도각은 좌·우측 정적 횡전도각 각각 29° 였다.

작업속도, 분시율과 처방량에 따라 변하는 비료 살포량에 따라 살포 균등도를 실험

한 결과, 살포량이 15g/s에서 420g/s까지 증가하더라도 30cm 간격으로 수집한 양을 CV값을 구하였더니 15%이하의 균등한 살포를 보였다. 하나의 붐섹션에서 각각 분두 1, 2, 3번의 충돌판 삽입길이를 고정하여서는 균일한 살포가 되지 못함으로 살포량에 증가함에 따라 각각의 분두의 삽입길이를 다르게 조정하여 15%이하의 CV값이 나오는 삽입길이 조건을 구하였다. 즉, 살포량이 15g/s에서 420g/s까지 증가함에 따라 충돌판 삽입길이는 세 가지의 조건의 조합에서 모두 만족되는 결과를 얻었다. 따라서 비료의 살포량이 변화에 따라 각 분두의 충돌판 삽입길이를 조절함으로써 균등한 살포가 가능함을 알 수 있었다. 입제 변량살포기의 실내실험 결과 여러 조건(작업속도, 분시율, 살포량)에서 30cm 간격으로 수집한 비료의 살포균등을 분석하였더니 15%이하의 CV 값을 보임을 알 수 있었다.

10m의 살포가 가능한 붐과 변량제어기 및 작업기의 위치정보 수집을 위한 DGPS를 승용관리기에 장착하여 입제 변량살포기 작동 성능을 실외실험을 통하여 분석 하였다. 입제 비료의 살포량은 작업속도 0.33m/s와 분시율과 처방량 단계에 따라 44g/s, 88.5g/s, 131g/s, 177g/s로 세분하였으며, 이렇게 세분된 살포량에 따라 입제를 포장에 살포한 결과, 입제의 포장 내 살포량의 균등도를 나타내는 CV값은 25%이하로 나타났으며, 이는 실제 포장 실험에서 입제 비료가 pan에 수집된 양이 극 미소량(1~6g 내외)이라는 점과, 입제의 살포시 바람의 영향으로 인하여 입제가 포장면에 균등하게 살포되지 않는다는 점을 고려하더라도 CV값 기준 균등도로 25% 내외로 나타났으며, 각 살포량에 대하여 10m의 폭에 살포되는 비료의 살포유형을 파악 할 수 있었다

## 참고문헌

1. Chung, C. J., S. O. Chung, Y. C. Chang, Y. S. Choi, J. S. Choe. 1997. A Study on Development of a Pneumatic Granular Applicator for Paddy Field (I) -Granular Discharge Rate, Diffuser and Optimal Application Conditions-. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 22(2):127-136
2. Chung, S. O. 1997. Development of a Pneumatic Granular Applicator for paddy Field. M. S. Thesis. Seoul National University.
3. Lee, S. H., J. Y. Rhee, C. J. Chung and C. S. Lee. 1998. Aerodynamic of Granular Agrichemicals. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(2):105-115
4. Michihisa Iida. and Mikio Umeda. and P.A.S. Radite. 2001. Variable Rate Fertilizer Applicator for Paddy Field. Paper Number : 01-1115 An ASAE Meeting Presentation
5. Stafford, J. V., J. M. Le Bars and B. Ambler. 1996. A hand-held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. Computer and Electronics in Agriculture. Vol. 14(1):235-247.
6. J. P. Fulton, S. A. Shearer, G. Chabra, S. F. Higgins. 2001 Performance Assessment and Model Development of a Variable-Rate, Spinner-Disc Fertilizer Applicator. Transaction of the ASAE 44(5):1071-1081
7. J. P. Molin, L. A. A. Menegatti, L. L. Pereira, L. C. Dremonini, M. Evangelista. 2002. Testing a Fertilizer Spreader with VRT. Proceeding of the Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources: 232-237
8. Zhuang, S., Komatsu, M. 1996. Automatic Control of fertilizer Applicator and Seeder Based on Running Speed(Part 1)-Development of Control Device and Feeding Performances of Seed and Fertilizer-農業機械學會誌 58(1). p40-55
9. J. P. Fulton., S. A. Shearer, S. F. Higgins, M. J. Darr, T. S. Stombaugh. 2005. Rate Response Assessment From Various Granular Applicators. Transaction of the ASAE 48(6):2095-2103
10. J. P. Fulton., S. A. Shearer, S. F. Higgins, M. J. Darr, T. S. Stombaugh. 2005. Distribution Pattern Variability of Granular VRT Applicators .

Transaction of the ASAE 48(6):2053-2064

11. Lee, C-K., M. Umeda, J. Yanai, M. Iida, and T. Kosaki. 1999. Grain yield and soil properties in paddy field. ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting. Toronto Canada. Paper No. 991057
12. Murphy, D. P., E. Schnug and S. Haneklaus. 1995. Yield mapping A guide to improved techniques and strategies. ASA-CSSA-SSSA Site-Specific Management for Agriculture Systems : 33-47
13. Clark D. H., E.E.Cary, and H. F. Mayland, Analysis of Trace Elements in Forages by near Infrared Reflectance Spectroscopy, Agro. J 1989,81,91-95
14. Kutzbach, H. D. 1999. Yearbook Agricultural Engineering ( Combine harvester ).
15. Iida, M., T. Kaho, C-K. Lee, M. Umeda, and M. Suguri. 1998. Measurement of grain yield in Japanese paddy field. Proceeding of the 4th International Conference on Precision Agriculture. July 19-22. St. Paul, Minnesota. USA. pp : 1165-1176
16. Dalal R. C., and R. J. Hanry, Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry, Soil Sci. Soc. Am. J. 1987,79, 485-490
17. Bower S.A. and R.J. Hanks, Reflection radiant energy from soils, Soil Science, 1965, 100(2), 130-138
18. Moore, M. 1997. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management. Ph. D. Thesis
19. C-K Lee, 2001. Mapping of Field Information and Development of Yield Sensor for Precision Agriculture in Paddy Field. Ph. D. Thesis
20. Peterson, C. L., J. C. Whitcraft, K. N. Hawley, and E. A. Dowding. 1989. Yield mapping winter wheat for improved crop management. Quebec. PQ. Canada. June 25-28, ASAE paper No. 897034
21. Kang, C.K., J.S. Park, S.Y. Lee, and H.M. Kim. 2001. Effects of the site-specific nitrogen management on economic feasibility and environmental sustainability. Korean J. Soil Sci. & Fert. 34(1):42-54.
22. Sadler, E.J., B.K. Gerwig, D.E. Evans, W.J. Busscher, and P.J. Bauer. 2000. Site-specific modeling of corn yield in the SE coastal plain. Agricultural Systems. 64:189-207.

23. Basso, B., J.T. Ritchie, F.J. Pierce, R.P. Braga, and J.W. Jones. 2001. Spatial validation of crop models for precision agriculture. *Agricultural System*. 68:97-112.
24. Booltink, H.W.G., B.J. van Alphen, W.D. Batchelor, J.O. Paz, J.J. Stoorvogel, and R. Vargas. 2001. Tools for optimizing management of spatially-variable fields. *Agricultural Systems*. 70:445-476.
25. ASAE Standards. 2003. S319.3: Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving. St. Joseph, Mich: ASAE

# 제 6장 벼 생육 정보 비파괴적 수집 및 가변 시비처방 기술 개발 및 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사

## SUMMARY

The objectives are (i) to develop and apply hyper-spectral canopy reflectance for characterization of crop growth and nitrogen status around panicle initiation stage, (ii) to develop and assess the response models for grain yield and milled-rice protein content affected by not only soil physico-chemical characteristics but also panicle N rate in given rice growth and N-status, and (iii) to apply and evaluate applicability of panicle N prescription using developed models.

### **1. Spatial variability in filed and site-specific nitrogen prescription for the improved yield and grain quality**

Spatial variation in plant growth and yield was significantly dependent on soil variability regardless of fertilizer application, rice culture and years of cultivation. Multiple linear regression model based on plant growth parameters at PIS and heading stage explained an average of about 66% of spatial yield variability of rice crop, while model based on soil properties explained an average of about 55% of spatial yield variability. Overall analysis of fertilizer application, climate condition and soil properties were carried out using multiple regression model with stepwise procedure accounted up to 76% of spatial yield variability, and OM among stable soil properties was the most important soil property causing the spatial yield variability, followed by available Si, TN, and CEC.

Boundary line analysis and an application of the Law of the minimum were well applied for an analysis of spatial variation of rice yield response to soil properties. This procedure explained more than 50% of yield spatial variability. As this approach provide a best fit to the analysis of spatial variation of yield response to soil variables, it is thought that it could clearly address the common question in

precision agriculture: what and where yield-limiting factor is.

Rice yield and plant growth response to N fertilizer under variable soil conditions were shown to be highly varied within a field. Variation in applied N rate explained 58% of rice yield variation while the model's coefficient of determination was increased only to 0.62 by considering the spatial variation of one soil property, and also boundary line approach with soil limiting factor did not improve the model prediction power. However, obtained results suggested that boundary line approach would be applied for site-specific N prescription if sufficient soil database including spatial variation and distribution of soil limiting factors were available.

The prescription of N fertilizer requirement for management of spatial variation in rice yield and protein contents at PIS using basic spatial information from the previous study and in-situ prediction of variation in plant growth status was formulated successfully. Spatial variation of plant growth at VRT turned out to reduce slightly at HD after the prescription treatment of nitrogen topdressing and, especially, spatial variation of plant growth was significantly reduced at harvest stage. Design of experimental field for testing a possibility of management of spatial yield variability using prescription of nitrogen at PIS has successfully worked not only to reduce spatial yield and protein content variability but also increased rice yield in a paddy field of Korea. Although N use efficiency of VRT compared to UN was not quantified due to lack of no N control treatment, the procedure used in this paper for VRT estimation was believed as a reliable and promising method for managing within-field spatial variability of yield and protein content. However, the method should be received further study before it could be practically used for site-specific crop management in large-scale rice field.

## **2. Determination of panicle N based on non-destructive diagnosis of rice growth and N status**

Regardless of vegetative growth stage (VGS), vegetation indices (VI) had a significantly high correlation value with LAI, shoot dry weight, shoot N content and nitrogen nutrition index that had an increasing trend as rice grew up. Among the VI's at various growth and NNS around PIS, RVIgreen had significantly higher coefficients of determination ( $R^2$ ) than the other VI's:  $>0.64$



with leaf N concentration, shoot N concentration and shoot dry weight, and >0.8 with LAI, shoot N content, and NNI. When LAI > 2.5 at which canopy was fully developed and closed, high correlation was found between VI and LAI, shoot dry weight, shoot N content, and NNI.

SPAD reading had significantly high correlation with leaf N concentration and NNI at each given vegetative growth stage. In addition, it had a significant correlation ( $0.48 \leq r \leq 0.87$ ) with growth and NNS at PIS and booting stage, particularly, at booting stage  $r > 0.8$ . Though SPAD reading had a significantly high correlation value at a given VGS in each year, it showed very loose relationship with growth and NNS when pooled across growth stages and years, having much limitations for estimating growth and NNS in contrast to vegetation indices.

Plant N uptake does not match N inputs owing to different recovery efficiency derived from disease, lodging, soil nutrient availability, and N loss (leaching, denitrification, etc). So, we conducted multiple regression analysis (MRA) for those response equations which included parameters such as shoot N content, leaf N concentration, NNI at PIS and shoot N uptake from PIS to harvest (PNup). Yield was increased linearly until shoot N content at PIS (Nup\_PIS, BTNup) and PNup came up to 6~7, 5~6 kgN/10a and then the increment diminished. Regardless of the degree of BTNup and PNup, yield had a quadratic relationship with whole shoot N uptake until harvest. Protein content has closely-positively related with shoot N content at harvest ( $R^2 > 0.9$ ) and was found to be greatly affected by PNup.

To determine PN based on nondestructive diagnosis, yield and protein content were regressed to SPAD reading or RVIgreen at PIS and one week before PIS, and PNup. Acquired regression equation for yield and protein content via stepwise MRA had a high coefficient of determination ( $R^2 > 0.9$ ). PNup for maximizing yield (PNup<sub>Ymax</sub>) showed a negative correlation with RVIgreen at PIS, and was estimated to be 9~13.5 kgN/10a within RVIgreen range at PIS of this experiment. In this case protein content became up to 9% which might degrade the rice taste seriously. To take rice taste into account, PNup to control protein content below 7% (PNup<sub>protein<7%</sub>) was calculated as 6~8 kgN/10a. Therefore, PN should be determined not by PNup<sub>Ymax</sub> but by

PNup<sub>protein<7%</sub>.

### **3. Determination and assessment of panicle N prescription model for target yield and protein content in rice**

Partial least square regression (PLS) using hyperspectral canopy reflectance data to predict six plant variables (SDW, SN, SND, NNI, LDW, and LN) produced an acceptable model precision and accuracy. The model  $R^2$  and REP ranged from 0.81 to 0.88 and 10.0 to 23.8% for calibration and 0.76 to 0.85 and 11.1 to 24.6% for validation, respectively. The model  $R^2$  was reduced in the test data of year 2004 but the error in prediction (RMSEP and REP) was smaller. The PLS model using canopy reflectance data could be a promising method to predict within-field spatial variation of rice crop growth and N status and N fertilizer topdressing rate prescription if error sources occurring during canopy reflectance measurement were successfully controlled.

Earlier applied N at PIS resulted in lower protein content but the highest grain yield was obtained when N was applied at 28 days before heading. However, the optimum N timing for grain yield at PIS was at 30 days before heading for no N treatments at tillering stage and at 27 days before heading for 3.6 and 7.2 kg N/10a treatments, respectively while at 27 days and 29 days before heading for Hwaseongbyeo and Daeanbyeo, respectively.

Application models were used for N rate prescription for target grain yield and milled-rice protein content based on shoot N content (PNup) measured by canopy reflectance and partial least square regression method at PIS. PNup in combination with applied N rates at PIS were successful to predict grain yield, milled-rice protein content and N uptake from PIS to harvest in calibration dataset with  $R^2$  of 0.87, 0.73, 0.82 and REP of 5.5, 4.3, and 21.1%, respectively. Nitrogen rate prescription treatment (PRT) for target protein content reduced variation in protein content from 4.6% in the fixed rate treatment (FRT) to 2.4% in PRT and average milled-rice protein content of PRT was 6.78%, being very close to the target protein content of 6.8%. In addition, PRT increased grain yield by 42.1 kg/10a while applied N at PIS increased by 0.63 kgN/10a compared to the FRT, resulting in high agronomic N use efficiency of 68.8 kg grain from each additional kg N in comparison to FRT. The high agronomic N use efficiency might have resulted from

the higher response of grain yield to the applied N in the prescribed N rate treatment because N rate was prescribed based on the crop growth and N status of each plot.

Prescription of N topdressing at PIS for target yield and protein content based on shoot fresh weight (PFW) and SPAD value (PSPAD) measured by chlorophyll meters (SPAD-502, Minota Co. LTD, Japan) with the hypothesis that PSPAD and PFW could be alternatives for shoot N concentration and shoot dry weight, respectively. The result showed that the calibrated models using PFW, PSPAD, and applied N rates at PIS explained 85% and 87% variation in grain yield and milled-rice protein content in calibration dataset and 68% and 43% in validation dataset, respectively. The application of the prescribed N rates by the calibrated models obtained milled-rice protein content of 6.74% that was very similar to the target milled-rice protein content of 6.8%. On an average, the prescribed N rate treatment reduced the coefficient of variation in protein content to 2.5% as compared to 4.6% of the fixed rate treatment and increased the grain yield as well. In the prescribed N rate treatments for target 6.8% protein content, grain yields were highly dependent on fresh weights at PIS and the estimated optimum fresh weight at PIS for maximum yield was 2180 kg/10a.

## 제 1절 연구개발과제 개요

필지내 수량의 불균일성은 토양의 이화학적 특성, 병해충방제 및 재배관리(시비 및 물관리)에 많은 영향을 받는데, 이러한 불균일성을 극복하기 위해서는 정밀한 재배관리가 필수적이다(Anh, 2005). 시비처방의 정밀화를 위해서는 토양과 작물상태의 공간적 변이를 파악하고 적기에 적량을 적소에 시비해야 하는데, 이를 위해서는 신속하게 비파괴적인 측정방법이 개발되고 그에 따른 시비처방 기술 개발이 필요하다(Hung, 2004, 2006). 그 중에서도 정확한 수비처방은 매우 중요한데, 이는 벼 유수분화기가 절간신장과 화기형성이 이루어지는 상전환의 시기로써 질소요구도가 크며, 유수분화기 이후의 질소영양상태는 수량의 sink 형성과 충진에 크게 영향하고, 미립의 단백질함량, 맛 등 품질을 결정하는 요인이기 때문이다(김, 2004).

최근에 많이 연구되고 있는 정밀농업을 위해서는 토양과 작물의 공간적 변이를 고려해야만 한다. 그 중에서도 토양은 작물이 생육하는 가장 기본적인 환경인 동시에 작물 생육에 가장 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 토양의 이화학적 특성으로는 토성, pH, 유기물함량, 양이온치환능(CEC), 무기이온농도, 총질소함량, 유효인산 및 유효규산 함량 등으로 나타낼 수 있는데, 수량은 이러한 이화학적 특성 어느 한 요인보다는 복합적인 요인에 의해 제한되며 최소율의 법칙을 받는다. 비록 작은 면적의 논토양이라도 공간적인 변이는 여전히 존재하기 때문에 이에 대한 정밀한 재배관리는 필수적이다.

이처럼 토양의 이화학적 특성을 기반으로 질소가변시비를 하기 위해서는 먼저 토양의 이화학적 특성별 질소 가변시비의 수량반응을 살펴보아야만 한다. 지금까지 질소에 대한 벼의 생육이나 수량반응에 대한 연구는 많이 보고되었는데(Li *et al.*, 1991; Shen *et al.*, 2004), 토양의 양분유효도와 연관되어 작물의 수량반응을 살펴본 예는 매우 드물다(Delin *et al.*, 2002; Kahabka *et al.*, 2004). 그러나 수량결정에는 토양도 중요하지만 그보다는 물관리라든가 시비관리가 수량에 더 제한적인 요인이고, 토양비옥도와 시비에 따른 작물의 반응은 생육량과 질소영양상태로 나타나기 때문에 토양을 기반으로 이러한 요인을 고려해서 가변시비하는 것이 더 유효하다(Verhagen *et al.*, 1995; Delin *et al.*, 2004).

비록 토양의 이화학적 특성과 작물의 생육 및 질소영양상태에 따른 가변수비시 수량반응을 모델식으로 만든다 하더라도 실제 가변시비하는 데에는 많은 어려움이 있다. 토양의 이화학적 특성은 이양 전에 이미 조사와 분석이 끝나는 반면 작물의 생육이나 질소영양상태를 추정하는 데에는 많은 노력과 시간이 필요하고, 분석결과를 바탕으로 가변시비 할 시점에는 이미 상당한 시간이 흐른 뒤이기 때문이다.

최근 비파괴적이고 실시간 추정이 가능한 균락반사율이나 SPAD-meter 측정값을 시비진단의 지표로써 활용하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다(Hansen and Schjoerring, 2003; Nguyen and Lee, 2004). 그러나 균락반사율이나 SPAD-meter 측정값은 작물의 종, 품종, 재배환경, 토양특성, 기후조건, 측정방법 등에 따라서 측정값의 변이가 크기 때문에 타 연구결과를 그대로 우리나라의 벼 재배에 적용할 수 없으나 아직까지 국내의 연구는 빈약한 실정이다.

많은 연구자들이 시비량에 대한 수량이나 단백질함량의 변화를 보고하였으나 (Sasahara and Itoh, 1988; Islam *et al.*, 1996; Perez *et al.*, 1996), 시비한 질소 비료 중 실제로 벼가 흡수한 질소량은 토양비옥도나 재배 및 기상환경에 따라서 달라질 수 있기 때문에, 질소 시비에 대한 수량이나 단백질 반응을 검토함에 있어서 시비량보다는 실제로 흡수한 질소량을 가장 중요하게 고려하여야 한다(Kropff *et al.*, 1993; Demotes-Mainard and Jeuffroy, 2001).

따라서 본 연구는 토양의 이화학적 특성 및 벼의 생육 및 질소영양상태를 기반으로 한 가변시비처리 기술개발을 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. (i) 필지내 토양의 이화학적 특성, 벼 생육 및 수량 등의 공간적인 변이 및 이들 간의 상호관계를 조사하고, (ii) 토양의 이화학적 특성별 및 벼 생육 및 질소영양상태에 따른 가변수비시비 수량이나 단백질함량의 반응을 살펴 가변수비 처방모형을 만들고, (iii) 비파괴적으로 추정된 유수분화기 벼 생육 및 질소영양상태에 따른 가변수비시의 결과를 검토하여 가변수비처방에 대한 가능성을 살펴보았다.

## 제 2절 국내외 기술개발 현황

정밀농업은 미국 등의 선진국에서 처음 소개되었는데, 1인당 경지규모가 큰 미국에서는 대규모 필지의 일부에서 병충해가 발생할 경우 모든 면적을 대상으로 농약을 살포시 시간적, 경제적 손실이 클 뿐만 아니라 농업생태계 훼손 및 식품 안정성 문제가 야기될 수 있기 때문이다. 따라서 정밀농업은 처음에는 국소적인 처리를 목적으로 두었지만 점차 정밀한 재배관리 전반으로 확대되었다.

미국 등의 선진국에서는 이미 1990년대 초반부터 정밀농업과 관련된 기반기술 개발에 심혈을 쏟고 있으며, 정부의 지원아래 대학교나 연구소 뿐만 아니라 일반 농가 및 유수 벤처기업체도 참여하고 있다. 그에 따라 토양내 경도나 유기물함량, 수분함량, 질소함량 등 토양의 이화학적 특성을 비파괴적으로 측정할 수 있는 기술이 확보되어 있으며, 작물의 수분상태나 생육상태 뿐만 아니라 병충해 진단 또한 비파괴적으로 측정할 수 있는 기술을 갖고 있다. 더 나아가 위성체나 항공기를 이용한 원격탐사 기술이 상당히 축적되어 비파괴적 진단에 의한 가변시비 처방기술이 이미 개발되었다. 그러나 원격탐사기술로는 여러 요인

에 의한 작물의 생산량 변이를 효과적으로 예측하는 데에 많은 한계가 있기 때문에, 생육 모델링과 연계하여 생산량을 추정하고 이를 영농활용, 정책자료, 국제 곡물가 결정 등에 활용하고 있다.

일본에서는 1980년대 말 가시역(650nm)과 근적외역(940nm)의 파장대의 반사도를 측정하는 기계인 SPAD-meter(Minolta 社)를 개발하였는데, SPAD-meter는 전세계적으로 작물의 생육상태, 특히 엽의 질소농도를 진단하는 데에 많이 활용되고 있다. SPAD 값을 이용하여 질소영양상태를 파악하여 추비 질소비시량을 예측하려는 시도가 벼, 옥수수, 밀 등에서 있어왔으나 SPAD 값은 개엽의 특정부분의 엽록소 함량만을 나타내며, 품종과 생육시기에 따라 SPAD 값의 변이가 크고, 작물의 생육량을 추정하는 데에는 이용할 수 없는 한계가 있다. 비록 SPAD 측정값을 이용할 수 있다고 하더라도, 포장내 질소의 공간분포나 변이를 파악하기 위해서는 수많은 측정값이 필요한 단점이 있다(Diker and Bausch, 2003).

그래서 넓은 지역을 대상으로 직접 식물체에 접촉하지 않고 군락의 반사율을 이용하여 작물의 생육이나 질소영양상태를 추정하려는 연구가 많이 있어 왔으며, 일반적으로 GER 社에서 개발된 분광측정기(spectroradiometer)를 많이 이용하고 있다. 분광측정기가 넓은 영역에서 각각의 파장대별 반사도를 측정할 수 있는 장점이 있는 반면 가격이 고가이기 때문에 최근에는 가시역(670nm)와 근적외역(780nm)의 반사도를 측정하는 Green Seeker 등이 개발되어 시판중에 있다. 또한 네덜란드에서는 적색역 대신 황색역을 이용하는 Amber-sensor를 개발하였는데, 작물 생육 및 영양특성치 등과의 상관관계가 Green Seeker 보다 더 높았다고 한다.

미국에서는 GPS 위치시스템이 연계된 대형콤바인을 이용하여 수확과 동시에 수확량 지도를 만드는 기반기술이 개발되어 있으며, 최근에는 PDA 기반의 종합경영관리시스템이 개발되어 상용화 중에 있다.

이처럼 정밀농업이 가능하려면, 수확량 모니터링 및 변량시비가 가능한 농기계의 개발과 함께 토양특성 및 생육특성을 비파괴적으로 진단할 수 있는 센서시스템이 개발되어야 하고, 또한 종합적인 의사결정지원시스템이 개발되어야만 한다. 이처럼 정밀농업은 총체적인 기술집약적 분야이기 때문에 많은 투자와 비용이 소요되며, 비록 선진국이라고 하더라도 아직까지 보편화되지 못하고 있다. 특히 나라별로 작물과 품종이 다르고, 기상조건과 재배환경이 다르기 때문에 각각에 맞는 새로운 측정기술이 개발되어야 하기 때문에 더욱 많은 어려움이 있다.

우리나라에서는 1985년 대한원격탐사학회 1권 1호에 군락반사를 이용한 벼의 생육량과 수량 예측 연구가 처음 소개되었지만 분광측정기가 고가의 장비이기 때문에 그동안 활용하기 어려운 측면이 많았다. 1999년 농업과학기술원(홍석영 박사논문)에서 군

락반사를 이용한 벼의 생장량 추정연구를 하였고, 2000년 서울대학교 농업생명과학대학(김준환 석사논문, 지도교수 이변우)에서 근락반사를 이용하여 벼의 생장량을 추정하고 모델을 이용해서 수량을 예측하려는 연구를 하였다. 그 이후 서울대에서는 지속적으로 근락반사의 측정기술 뿐만 아니라 다양한 질소영양상태에서 근락반사를 이용할 수 있는지를 검토하였고, 품종간의 차이점에 대해서도 연구하였다.

과거 1990년대 일본에서 벼를 대상으로 분광특성을 이용하여 작물의 생육량이나 수량을 예측하려는 시도가 꾸준히 진행되었는데, 대체적으로 원격외선을 이용한 연구가 많이 진행되었다. 그러나 원격외선은 물이나 에어로졸 등에 의한 영향을 많이 받기 때문에 실제 작물 진단에 사용하기에는 미흡한 측면이 있다.

본 연구는 정밀농업에서 가장 중요한 진단-시비처방을 목적으로, 시비처방을 하기 위한 기본적인 틀을 (i) 이양전 토양의 이화학적 특성과 함께 (ii) 실제 작물의 생육 및 질소영양상태로 가정하여 살펴보았다. 그리고 토양특성의 공간적 변이를 해석할 수 있는 기술을 boundary line과 모델을 이용하여 살펴보았으며, 작물 생육 및 질소영양특성을 기반으로 한 가변수비모델을 질소흡수량을 기준으로 작성하였고, RMSEP와 REP를 이용하여 모델의 추정정확도를 검토하였다. 해외에서 15년 이상 정밀농업에 관련해서 연구한 바에 비하면 다소 늦은 감은 없지 않으나 현재 많은 연구성과를 거뒀다고 볼 수 있다. 본 연구결과 SCI급 논문 2편을 포함 총 10편의 논문을 발표하였으며, 22건의 학술대회 발표를 하였다.

많은 농업 선진국들이 앞다투어 비파괴적 작물생육 진단기기나 시스템을 개발하고 있는데, 이는 그만큼 막대한 부가가치가 있으며, 관련기술이 종합적으로 동원되기 때문에 전반적인 기술축적 향상에도 도움이 된다. 최근 몇몇 외국계 기업제품이 국내에 소개되었는데, 이는 우리나라 실정에 다소 맞지 않을뿐더러 장비 자체가 고가이기 때문에 운용하기 어려운 측면이 있다. 현재 우리나라는 IT 전반적으로 중흥기를 맞고 있는데, 본 연구팀은 현 연구결과를 바탕으로 우리나라 실정에 맞고 비용도 저렴한 새로운 진단기기 개발을 준비하고 있다. 이는 PDA 기반의 종합적인 의사결정지원이 가능한 종합적인 농업정보시스템 구축이 목표인데, 이를 시스템화하고 상업화하기 위해서는 체계적인 후속연구가 절실히 필요하다.

### 제 3절 연구개발 수행 방법

본 연구는 크게 토양의 이화학적 특성을 기반으로 하는 가변시비 연구와 벼의 생육 및 질소영양특성치를 기반으로 하는 가변시비 연구로 나뉜다.

토양의 이화학적 특성을 기반으로 하는 가변시비 연구는 2002년부터 2004년까지 농촌진흥청 작물과학원 답작포장내 대규모 필지에서 위탁연구과제 “토양의 이화학적 특성 및

수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사”로 수행하였다. 그리고 모델을 이용해서 이들 공간적 변이를 해석하는 기법과 모델에 의한 토양양분 특성별 가변수비 처방기술 개발은 협동과제에서 담당하였다.

벼의 생육 및 질소영양 특성치를 기반으로 하는 가변수비 연구는 비록 본 연구기간이 2002년 8월부터 2005년 8월까지 이지만, 실제 연구를 진행한 기간은 2001년부터 2005년까지이다. 2001년과 2002년은 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장에서 화성벼를 대상으로 다양한 생육 및 질소영양상태에서 군락반사를 통한 비과과적 진단이 가능한지와 이를 통한 가변수비처방이 가능한지에 대해 검토하였다. 2003년부터 2005년까지는 2001년과 2002년에 수행하였던 연구를 더욱 보완하여, 벼 품종을 5개로 확대시켰고, RMSEP와 REP에 기반한 PLS 모델을 이용하여 군락반사 추정기술을 더욱 향상시켰고, 목적하는 수량과 단백질함량을 최적으로 얻기 위한 가변수비 기술에 대해 연구하였다. 개별적인 연구의 재료 및 방법은 아래와 같다.

1. 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사

본 연구는 2002년부터 2004년까지 농촌진흥청 작물과학원 답작포장내 대규모 필지에서 수행되었다. 대규모 필지 A와 B는 각각 60m X 110m 이며, 2002년과 2003년 실험계획은 표 6-1과 같다. 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=11-7-8 kg/10a 이다. 질소는 기비-분얼비-수비=40-30-30%로 분시하였으며, 칼륨은 기비-수비=70-30%로 분시하였고, 인산은 전량 기비로 시용하였다.

표 6-1. 필지 A와 B의 실험처리 (2002년 및 2003년)

Field	년도	품종	재배양식	질소시비방법
A	2002	수라벼	이앙재배	균등시비
	2003	대안벼	이앙재배	균등시비
B	2002	수라벼	직파재배	균등시비
	2003	대안벼	이앙재배	무비

대규모 필지 A와 B는 조사의 편의성을 위하여 66개의 격자형(10m X 10m)으로 나누었다(그림 6-1). 이앙재배는 재식밀도 15cm X 30cm로 중묘 기계이앙하였고, 2002년 B 필지만 직파재배로 산파하였다. 이앙전 각 격자의 5곳에서 0~15cm 깊이의 토양샘플을 채취하여 분석하였다. 채취된 토양은 풍건후 2mm 체로 친 다음 토성, 전기전도도, pH, 유기



물함량, 총질소함량, 유효인산, 유효규산, 양이온치환능,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$  이온량 등을 분석하였다.

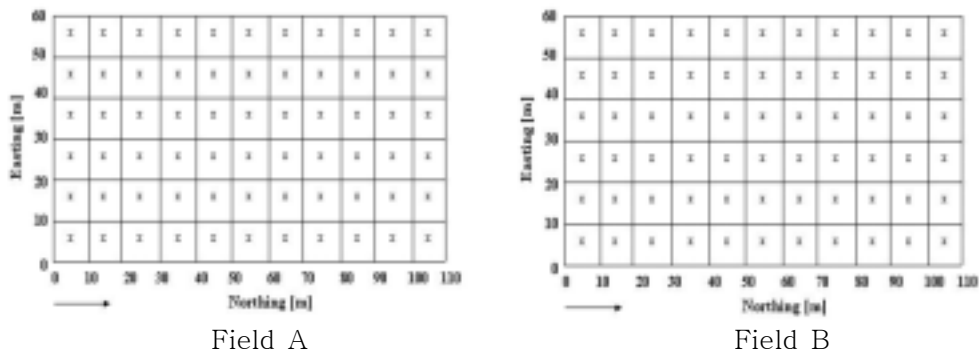


그림 6-1. 필지내 공간적 변이조사를 위한 작물과학원 답작포장 구획도

벼 생육조사는 유수분화기, 출수기, 수확기 등 중요 시기별로 분얼수, 지상부건물중, 지상부 질소농도, 지상부 질소함량, SPAD값 등을 조사하였다. 각각의 격자별로 5주의 벼를 예취하여 건조기에서 70℃ 48시간 건조후 건물중을 칭량하였으며, 분석을 위해 마쇄하였다. 식물체 분석은 CNS-2000 분석기를 사용하였다. 수확기때 수량 및 수량구성요소를 조사하였고, 백미의 단백질함량도 분석하였다.

실험결과 분석은 SAS(v. 8.1)를 이용하여 95% 신뢰수준에서 상관, stepwise 분석 및 boundary line 분석을 하였고, 공간변이는 ESRI의 Arcview(v. 3.2)를 이용하였다. Boundary line 분석에 사용된 수식은 식 6-1과 식 6-2 이다. 식 6-1은 필지내 토양양분의 수량에 대한 제한요인 분석을 위한 것이며, 식 6-2는 필지내 토양양분에 기반한 가변질소수비시 수량변화를 살펴보기 위한 것이다.

$$Y = Y_{\max} \{1 - a \exp(\beta X)\} \quad [\text{식 6-1}]$$

$$Y = Y_{\max} [(1 - a \exp(bFN))] * [(1 - a \exp(\beta X))] \quad [\text{식 6-2}]$$

## 2. 벼 유수분화기 질소영양상태의 비파괴적 진단에 의한 질소 수비량 결정 (2001~2002)

2001년과 2002년 2년에 걸쳐 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장에서 화성벼를 공시하여 실험하였다. 실험포장은 유기물함량이 2.0~2.1%로 비교적 낮고, CEC가 12.3~13.1cmol<sup>(+)</sup>/kg, pH가 5.5~5.7인 사질식양토(sandy clay loam)였다. 기계이앙상자에 최아시킨 종자를 파종, 출아, 녹화시킨 후 비닐보온절충못자리에서 육묘하였고, 재식밀도 15cm × 30cm로 1주 3분 손이양하였다.

N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=12-8-8kg/10a를 기준시비량으로 질소 시비처리 조건은 표 6-2와 같

다. 질소는 기비:분얼비:수비=40:30:30으로 분시, 인산은 전량기비, 가리는 기비:수비=70:30으로 분시하였다. 출수기는 두 해 모두 8월 12일이었다.

표 6-2. 질소시비처리 (2001~2002)

2001	Tillering N.					Panicle N.	Total (kgN/10a)
	Basal N.	10 DAT	20 DAT	30 DAT	Total		
T1	0N	0N			0N	0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N	0, 1.8, 3.6, 5.4, 7.2
T2	0.25N	0.25N			0.25N	"	2.1, 3.9, 5.7, 7.5, 9.3
T3	0.5N	0.5N			0.5N	"	4.2, 6, 7.8, 9.6, 11.4
T4	0.75N	0.75N			0.75N	"	6.3, 8.1, 9.9, 11.7, 13.5
T5	1N	1N			1N	"	8.4, 10.2, 12, 13.8, 15.6
T6	1.25N	1N	0.25N		1.25N	"	10.5, 12.3, 14.1, 15.9, 17.7
T7	1.5N	1N	0.5N		1.5N	"	12.6, 14.4, 16.2, 18, 19.8
T8	2N	1N	0.5N	0.5N	2N	"	16.8, 18.6, 20.4, 22.2, 24
T9	2.5N	1N	1N	0.5N	2.5N	"	21, 22.8, 24.6, 26.4, 28.2

2002	Basal N	Tillering N	Panicle N	Total (kgN/10a)
T1	0N	0N	0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N, 3N	0, 1.8, 3.6, 5.4, 7.2, 10.8
T2	1N	0N	"	4.8, 6.6, 8.4, 10.2, 12, 15.6
T3	1N	0.5N	"	6.6, 8.4, 10.2, 12, 13.8, 17.4
T4	1N	1N	"	8.4, 10.2, 12, 13.8, 15.6, 19.2
T5	1N	1.5N	"	10.2, 12, 13.8, 15.6, 17.4, 21
T6	1N	2N	"	12, 13.8, 15.6, 17.4, 19.2, 22.8

\* 기비, 분얼비, 수비 질소의 1N은 각각 4.8, 3.6, and 3.6 kgN/10a임.

생육조사는 이앙 후 7~14일 간격으로 처리당 3주를 예취하여 분얼수, 엽면적, SPAD, 건물중 등을 조사하였으며, 수확시 수량 및 수량구성요소를 조사하였다. 생육조사일에 군락반사와 SPAD를 측정하였다. 채취한 식물체는 부위별로 나누어 72℃ 건조기에서 72시간 건조한 후 건물중을 칭량한 후, 마쇄기로 분쇄하여 Kjeldahl법 (Auto-Kjeltec 1035 System, Tecator社, Swiss)으로 질소분석하였다. 질소영양지수 (NNI, nitrogen nutrition index)는 Cui 등(2002)에 따라서 계산하였다. SPAD 측정은 상위 2번째 엽(Y-leaf)에서 측정하였다. 군락반사는 GER-1500(GER社) 분광방사계를 사용하였다. GER사에서 제공된 Lambertian-panel(15×15cm)은 협소하여 BaSO<sub>4</sub>를 도포한 Lambertian-panel을 제작하여 사용하였는데, GER 것과는 약 2%내외의 반사율 오차가 발생하였다. 군락반사는 약 2m 높이에서 측정하였고, 반사율은 Lambertian-panel (reference panel)의 반사율에 대한 작물군락의 반사율의 비를 이용하였다. 군락의 반사특성에 사용된 파장역은 Landsat TM (Thermatic Mapper)의 7개의 파장역중 청색광(450~520nm, B), 녹색광(520~600nm, G), 적색광(630~690nm, R), 근적외선(760~900nm, NIR) 등 4개 파장역이었으며, 이들의 파장역에서 얻어진 BRf(bidirectional reflectance factor)의 평균치( $\rho$ )를 이용하였다. 각각의 파장역에서 얻어진 반사율을 조합하여 NDVI(normalized difference vegetation index)와 RVI(ratio vegetation index) 등의 식생지수를 다음과 같이 계산하였다.

$$RVI_{\text{blue}} = \frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{B}}} \quad RVI_{\text{green}} = \frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{G}}} \quad RVI_{\text{red}} = \frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{R}}}$$

$$\text{NDVI}_{\text{blue}} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{B}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{B}}} \quad \text{NDVI}_{\text{green}} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{G}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{G}}} \quad \text{NDVI}_{\text{red}} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}}$$

### 3. 벼 질소영양상태의 비과파적 진단방법 개선 및 목표 형질을 위한 질소수비량 결정 연구 (2003~2005)

본 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장에서 2003년부터 2005년까지 수행되었다. 2003년도는 화성벼, SNU-SG1, 주안벼, 수라벼 등 4개의 벼 품종과 10개의 질소처리를 하였고, 2004년과 2005년은 화성벼와 대안벼 등 2개의 벼 품종과 18개의 질소처리를 하였다(표 6-3). 인산은 성분량으로 8kg/10a를 전량기비로 처리하였고, 가리는 성분량으로 7.2kg/10a를 기비-수비=70-30%로 분시처리하였다. 2003년 5월 20일, 2004년 5월 23일, 2005년 5월 30일에 재식밀도 15cm × 30cm로 1주 3분 손이양하였다. 수비처리는 2003년은 7월 20일, 2004년은 7월 25일, 2005년은 7월 23일에 하였다.

표 6-3. 2003~2005년도 질소시비처리

	Applied N rate (kg/10a)			Rice variety <sup>a</sup>
	At transplanting	At tillering stage	At panicle initiation stage	
2003	0	0	0	V1, V2, V3, V4
	4.8	0	0, 3.6, 7.2	V1, V2, V3, V4
	4.8	3.6	0, 3.6, 7.2	V1, V2, V3, V4
	4.8	7.2	0, 3.6, 7.2	V1, V2, V3, V4
2004	4.8	0, 3.6, 7.2	0	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	3.6 at PIS 10 days	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	3.6 at PIS	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	3.6 at PIS+ 10 days	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	Variable N rates <sup>b1</sup>	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	Variable N rates <sup>b2</sup>	V1, V5
2005	4.8	0, 3.6, 7.2	0	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	3.6 at PIS 10 days	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	3.6 at PIS	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	3.6 at PIS+ 10 days	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	Prescribed N rates <sup>c1</sup>	V1, V5
	4.8	0, 3.6, 7.2	Prescribed N rates <sup>c2</sup>	V1, V5

<sup>a</sup> V1~V5 품종은 각각 화성벼, SNU-SG1, 주안벼, 수라벼, 대안벼 등이다.

<sup>b</sup> 질소가변 수비처리는 각각 1.51±1.67(b1)과 1.50 ±1.38(b2) kg/10a이다.

<sup>c</sup> 질소 수비 처방처리는 각각 4.23(c1)과 3.77(c2) kg/10a 이다.

실험구 배치는 세세구배치법 3반복으로 하였으며, 타 재배조건은 관행재배에 준하였다. 조사항목, 조사시기, 조사내용은 2001년도부터 2002년의 연구와 동일하며, PLS모델은 아래의 수식을 이용하였다.

$$RMSEP = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \widehat{y}_i)^2 \right]^{0.5} \quad [ \text{식 6-3} ]$$

$$REP(\%) = \frac{100}{\bar{y}} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \widehat{y}_i)^2 \right]^{0.5} \quad [ \text{식 6-4} ]$$

## 제 4절 연구개발 수행 결과

### 1. 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사

#### 가. 필지내 토양의 이화학적 특성의 공간적 변이조사

그림 6-2는 작물과학원 대규모 답작포장 A, B의 필지내 토양특성의 공간적 변이를 나타낸 것이다. 이양전의 C.E.C.와 점토함량(clay), 유기물(O.M.) 및 총질소함량(T.N.)은 포장 A와 B 모두 매우 불균일한 분포를 보였다.

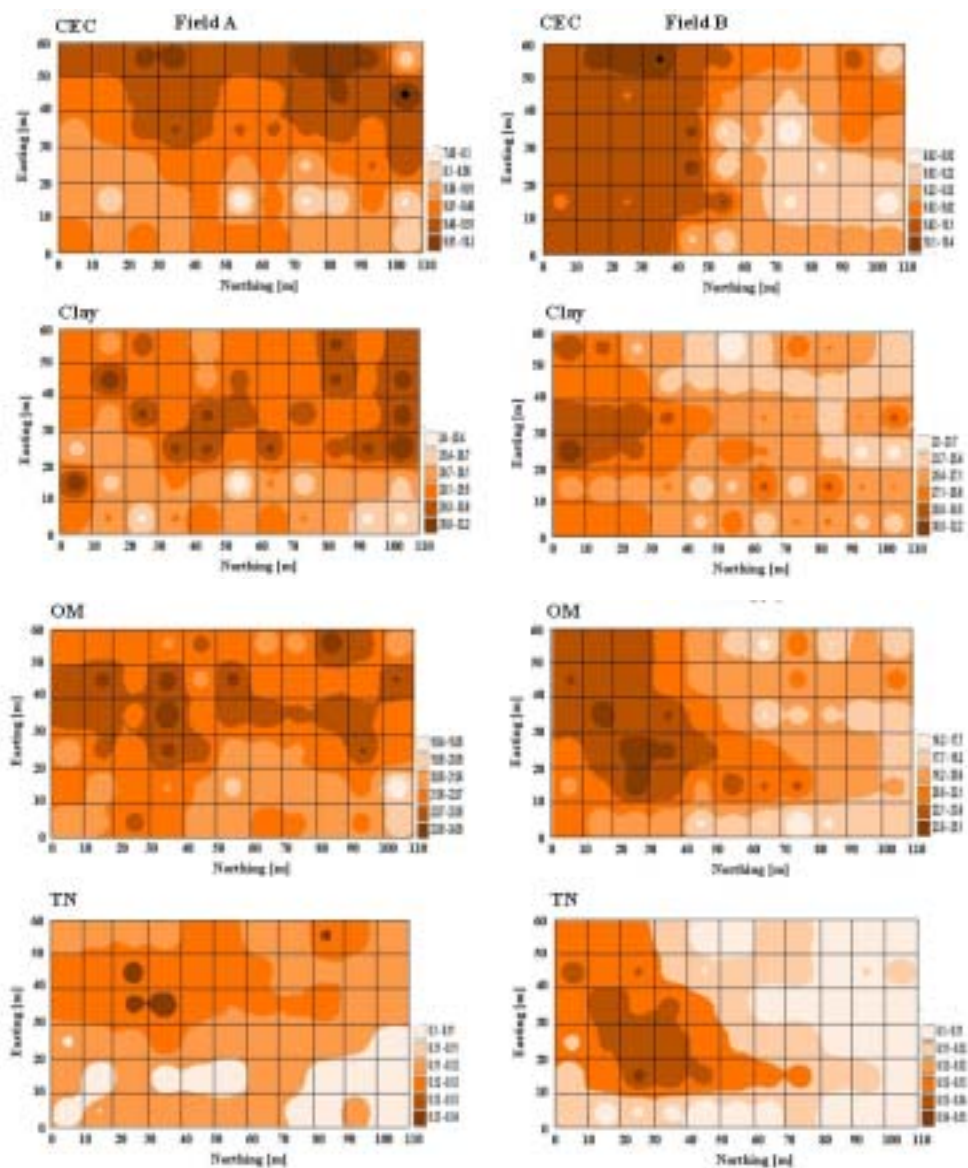


그림 6-2.. 포장 A와 B의 필지내 토양특성의 공간적 변이(2003년도 이양전)

정밀농업을 구현하기 위해서는 토양의 이화학적 특성에 대한 공간적 변이(그림 6-2) 뿐만 아니라 수량의 공간적 변이 또한 살펴보아야 한다. 필지내 수량의 공간적 변이를 살펴보기 위해서 A포장은 2002년과 2003년 시비처리를 하였고, B포장은 무질소로 처리하였다. B포장에 비해 시비처리한 A포장의 수량의 공간적 변이가 크게 나타났다(그림 6-3).

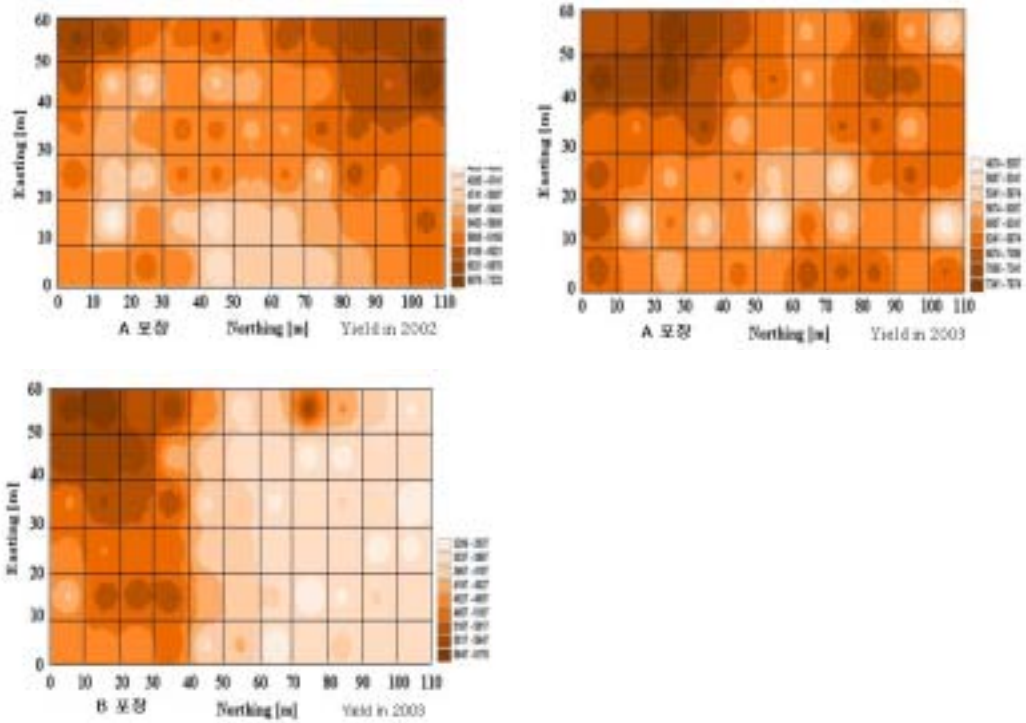


그림 6-3. 필지내 수량의 공간적 변이

수량 공간 변이의 원인을 해석하기 위하여 토양 총질소함량과 유기물함량, 유효인산 및 유효규산함량 등 각각에 대하여 수량반응의 boundary line 분석을 하였다. Boundary line 분석에 의하여 토양 특성 변이에 대한 수량 반응을 지수화(index) 하였는데, 이 지수는 0에서 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 대상 토양 특성이 수량에 제약인자로 작용하지 않음을 의미한다(표 6-4, 그림 6-4). 모델의 결정계수는 0.9 이상으로 적합도가 매우 높았다.

표 6-4. 토양 특성 변이에 대한 수량반응의 boundary line equation

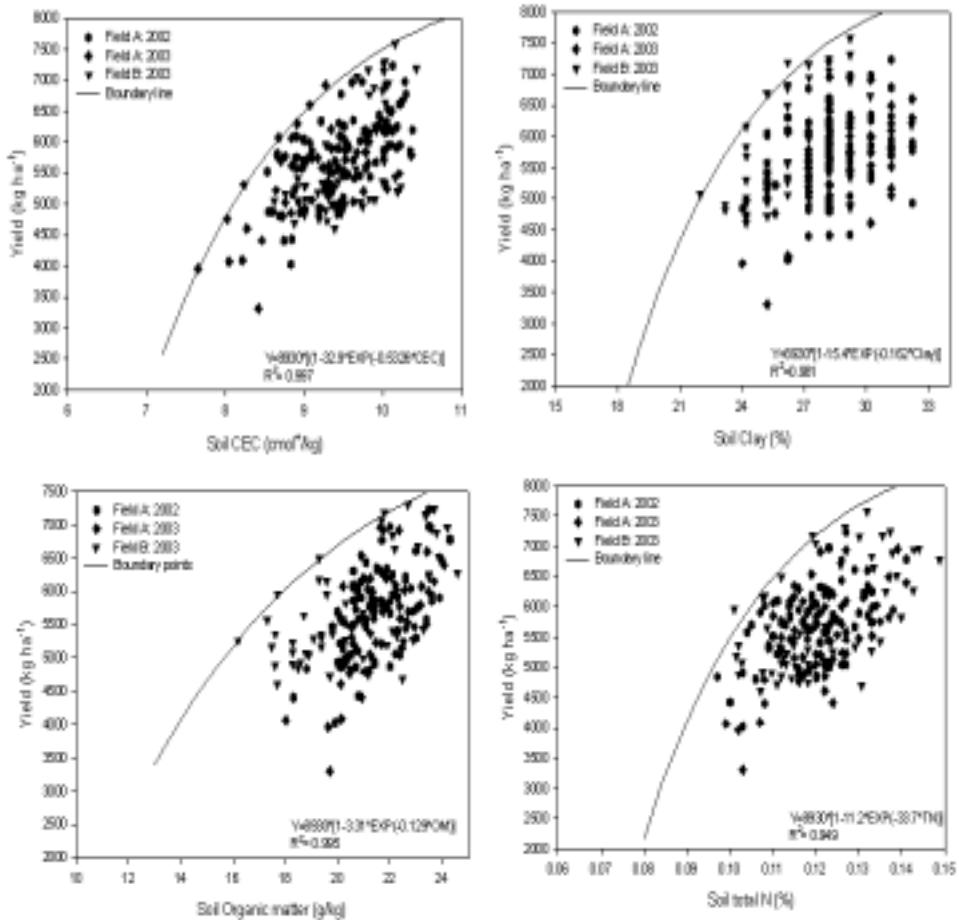
Boundary line equation	Index equation
$f(\text{CEC})=8930*[(1-32.9*\text{EXP}(-0.5326*\text{CEC}))]$	$I_{\text{CEC}}=1-32.9*\text{EXP}(-0.5326*\text{CEC})$
$f(\text{Clay})=8930*[1-15.4*\text{EXP}(-0.162*\text{Clay})]$	$I_{\text{Clay}}=1-15.4*\text{EXP}(-0.162*\text{Clay})$
$f(\text{TN})=8930*[1-11.2*\text{EXP}(-33.7*\text{TN})]$	$I_{\text{TN}}=1-11.2*\text{EXP}(-33.7*\text{TN})$
$f(\text{OM})=8930*[1-3.31*\text{EXP}(-0.129*\text{OM})]$	$I_{\text{OM}}=1-3.31*\text{EXP}(-0.129*\text{OM})$
$f(\text{Si})=8930*[1-2.65*\text{EXP}(-0.025*\text{Si})]$	$I_{\text{Si}}=1-2.65*\text{EXP}(-0.025*\text{Si})$

CEC: cation exchange capacity (cmol<sup>+</sup>/kg)

Si: available silica (mg/kg)

Clay: Soil clay (%)

TN: soil total nitrogen (%) OM: organic matter (g/kg)





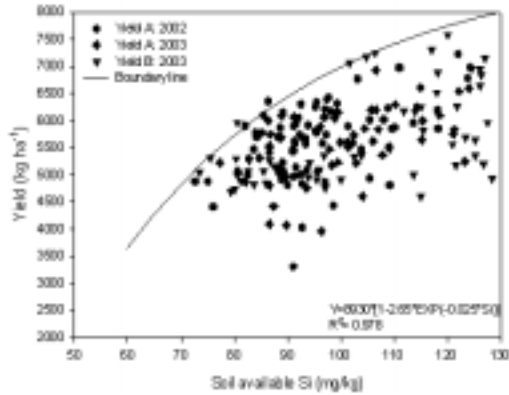
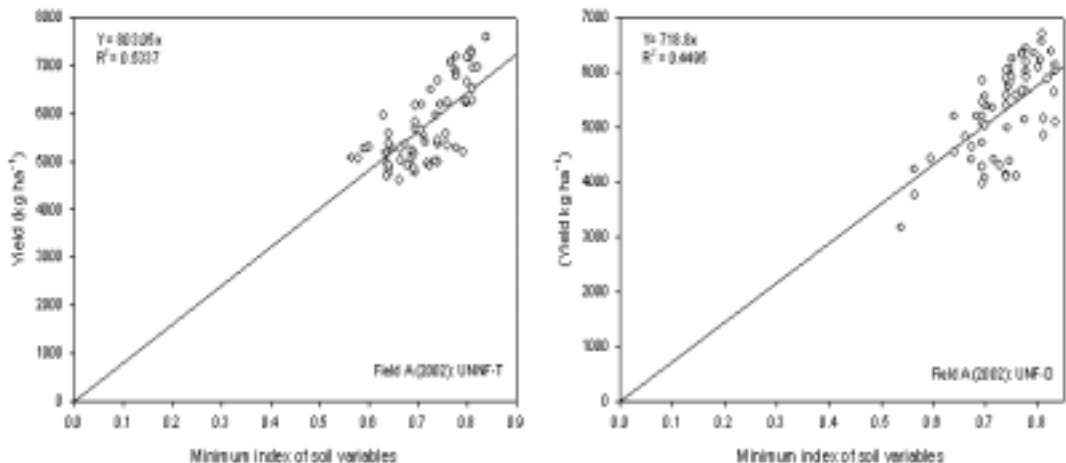


그림 6-4. 필지내 토양특성에 대한 수량반응의 boundary Line 분석  
(A, B포장, 2002~2003)

수량은 최소율의 법칙에 따르기 때문에(식 6-5), 표 6-4에서 구한 모형식을 이용하여 수량에 제한적으로 영향하는 토양의 이화학적 특성 요인의 강도(1-수량제한요인)와 수량과의 관계를 '02~'03년에 이양재배와 직파재배(표 6-1)에서 살펴보았다. 수량의 제한요인이 적어 강도가 클수록 수량 또한 증가하는 관계를 나타내었다(그림 6-5).

이를 바탕으로 수량에 제한적으로 영향하는 토양의 이화학적 특성을 통합하여 boundary line 분석을 하였고 이를 실제 수량과 비교한 결과(그림 6-6), 필지내 수량 공간변이의 약 50% 이상을 설명할 수 있었다. 따라서 토양의 이화학적 특성에 대한 boundary line 분석을 통해 수량의 제한인자를 동정하고, 수량의 공간적 변이를 해석할 수 있다고 판단된다.

$$Yield = a \min\{I_{OM}, I_{TN}, I_{AP}, \dots, I_{CEC}\} \quad [\text{식 6-5}]$$



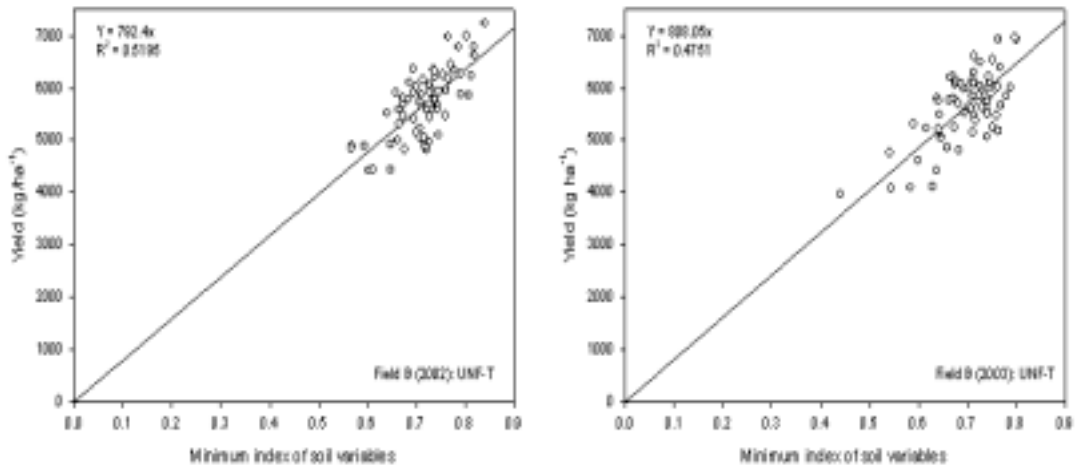


그림 6-5. 최소 토양지수(제한인자)와 수량과의 관계

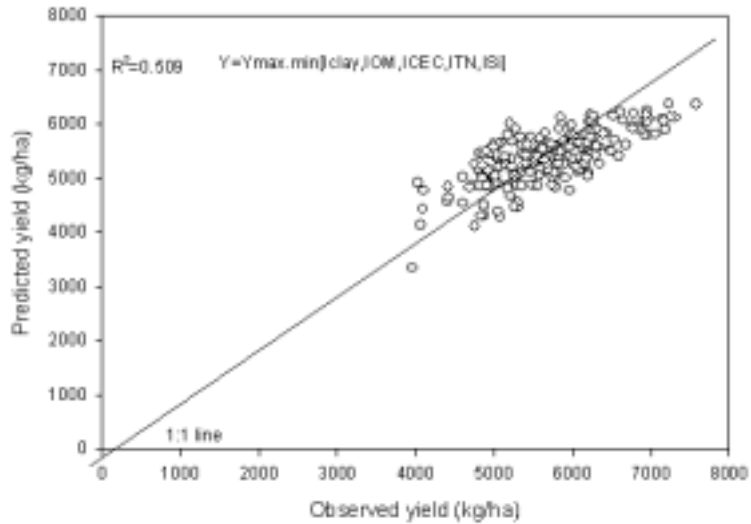


그림 6-6. 최소 토양지수를 이용한 예측수량과 실측 수량과의 관계

수량을 가장 제한하는 토양특성의 필지내 공간적 변이와 실측 수량의 공간적 변이를 비교 분석한 것이 그림 6-7이다. 정확히 일치하지는 않지만 대략적인 경향은 비슷한 분포를 나타내었다.

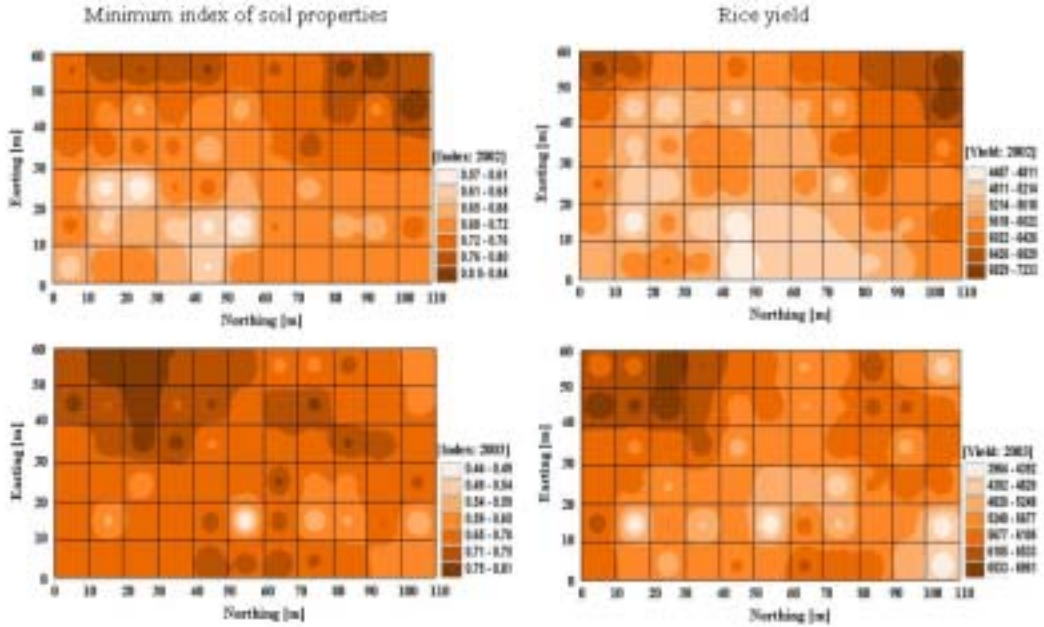


그림 6-7. 수량을 제한하는 토양요의 최소 토양지수(왼쪽)와 실측수량(오른쪽)의 공간 변이

나. 필지내 토양특성의 공간적 변이에 따른 가변시비시의 수량반응

토양을 기반으로 한 정밀시비처방을 위해서는 포장내 토양특성의 공간적 변이를 알아야 하고, 그에 따른 가변 질소시비처방을 해야 한다. 그러기 위해서는 토양특성별로 가변시비시의 수량반응을 살펴볼 필요가 있다.

일반적인 수량은 식 6-1과 같이 최대수량에서 최소율의 법칙에 의해 수량에 가장 제한적인 요인(X)에 의해 결정되며, 그에 따른 가변수비시(FN) 수량반응은 식 6-2로 나타낼 수 있다. 토양내 점토함량, 유기물함량, CEC, 총질소, 유효규산함량 등의 제한 요인에 대한 가변시비시의 수량반응을 살펴보았다. 본 연구에서 식 6-2의 계수를 구한 결과 식 6-6가 도출되었으며, boundary line 분석을 통한 제한요인별 가변시비시의 수량반응을 그림으로 나타낸 것이 그림 6-8이다.

$$Y = Y_{\max} \{1 - a \exp(\beta X)\} \quad \text{[식 6-1]}$$

$$Y = Y_{\max} [(1 - a \exp(bFN)) * (1 - a \exp(\beta X))] \quad \text{[식 6-2]}$$

$$Y = 10765 \{1 - 0.4704 * \text{EXP}(-0.0117 * FN)\} * \text{MIN}(I_{\text{clay}}, I_{\text{om}}, I_{\text{cec}}, I_{\text{TN}}, I_{\text{Si}})$$

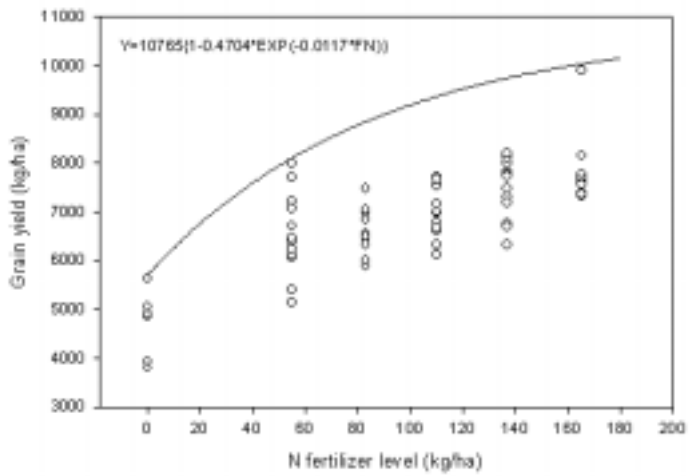


그림 6-8. Boundary line을 이용한 토양특성별 가변시비시 수량반응

그림 6-9는 점토함량, 유기물함량, 총질소, CEC 등 토양 특성별 질소시비량에 따른 수량반응을 검토하여 3차원 모형을 나타낸 것이다. 이를 통합하여 수량을 예측하는 모델을 작성하고 실측치와 비교한 결과 약 56%의 변이를 설명할 수 있었다(그림 6-10.)

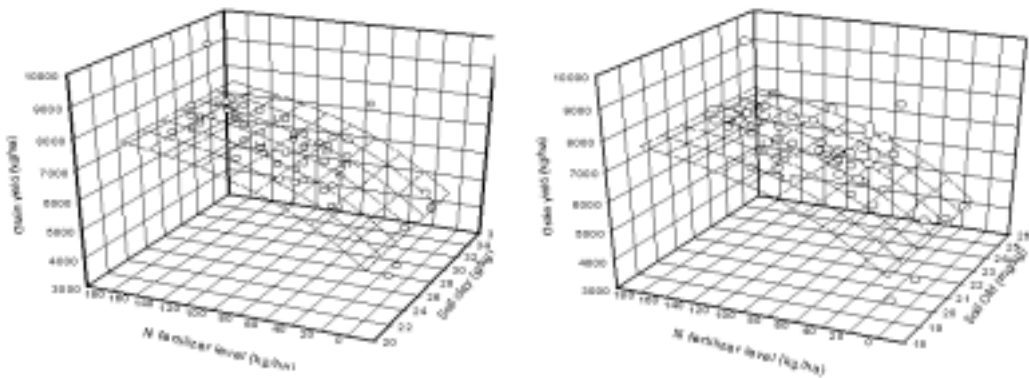


그림 6-9. 토양 특성별 질소시비량에 따른 수량반응

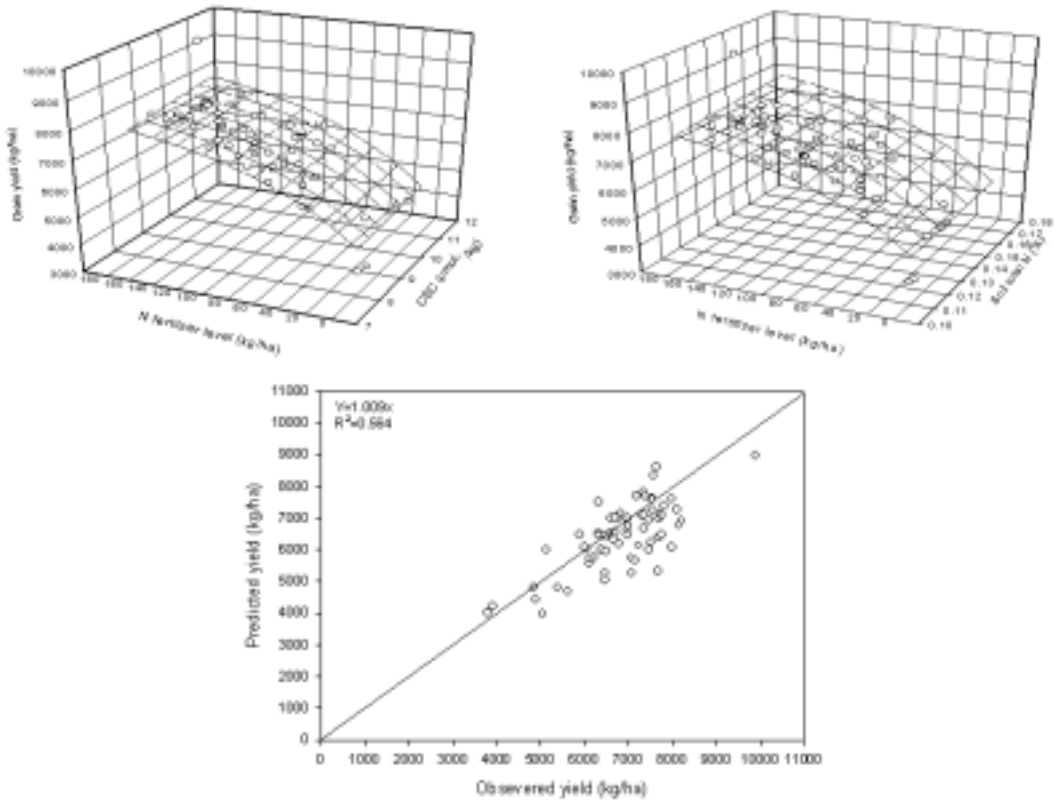


그림 6-10. 토양특성별 질소시비량에 따른 수량반응모델의 예측값과 실측값과의 관계

#### 다. 가변수비처방 모델의 검증

Boundary line 분석법에 의해 가변수비처방 모델(식 6-4)을 만들고, 이를 통해 가변시비한 결과를 검토하였다. 그림 6-11은 가변질소수비처방 이전에 필지내 지상부 건물중의 공간적 변이를 나타낸 것이다. 앞서 언급했듯이 가변질소수비처방을 위해서는 지상부 건물중이나 질소농도와 같은 생체정보를 신속하고 정확하게 얻어야만 가능한데, 본 연구에서 균락반사를 통해 건물중을 예측한 결과 실측치와 거의 일치하였다(그림 6-12). 또한 균락반사를 통해 수비시용 전 예측된 지상부 건물중과 지상부 질소농도를 기반으로 시비량을 도출한 결과 1:1 line에 거의 근접하여 지상부 건물중이나 지상부 질소농도 어떤 것을 기준으로 시비량을 결정하더라도 큰 무리가 없는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 지상부 건물중을 기반으로 가변시비를 하였다.

2004년도에는 2003년도 균등시비에 의해 얻어진 수량맵과 2004년 이양전 토양의 양분특성맵 그리고 2004년도 유수분화기 수비시용전에 균락반사로 예측된 건물중을 기본으로 해서 균등시비와 가변시비 처리를 하였는데(그림 6-13), 가변수비처방을 했을 경우 필지내 공간적 변이는 매우 줄어들었으며, 전체적인 생산량 또한 높게 나타났

다.

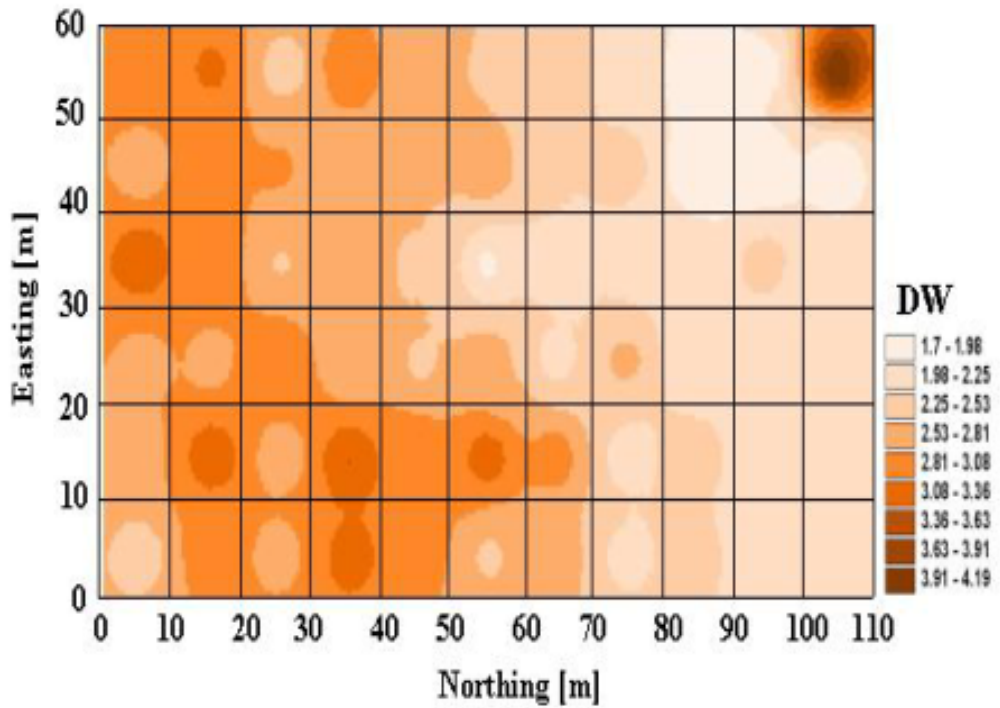
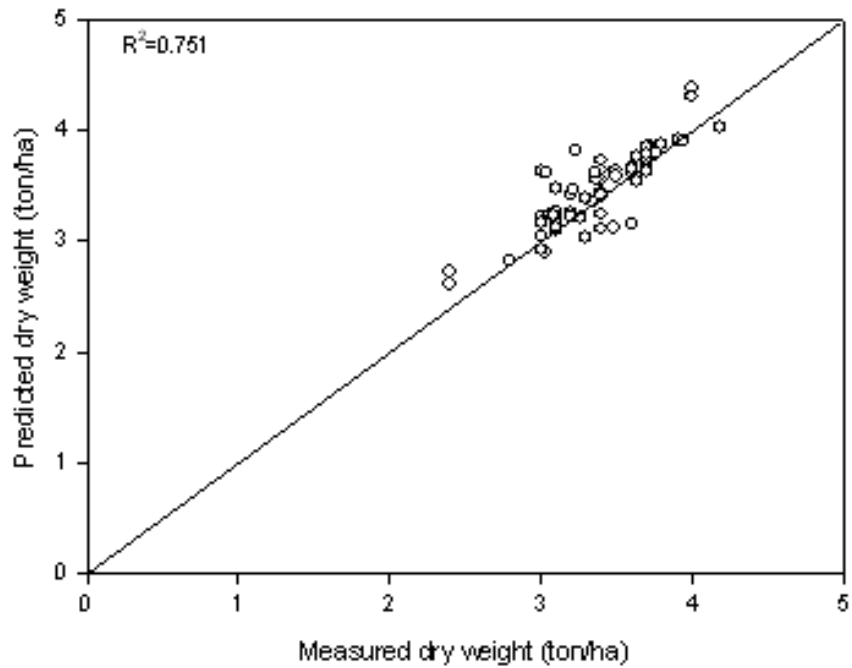


그림 6-11. 가변질소수비처방 전 지상부건물중의 공간적 변이



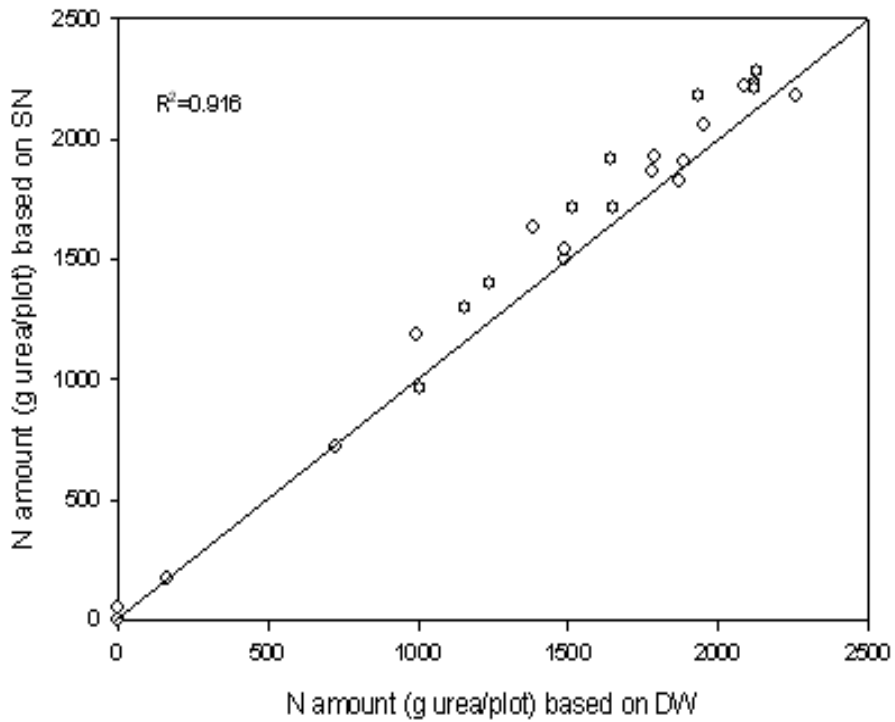
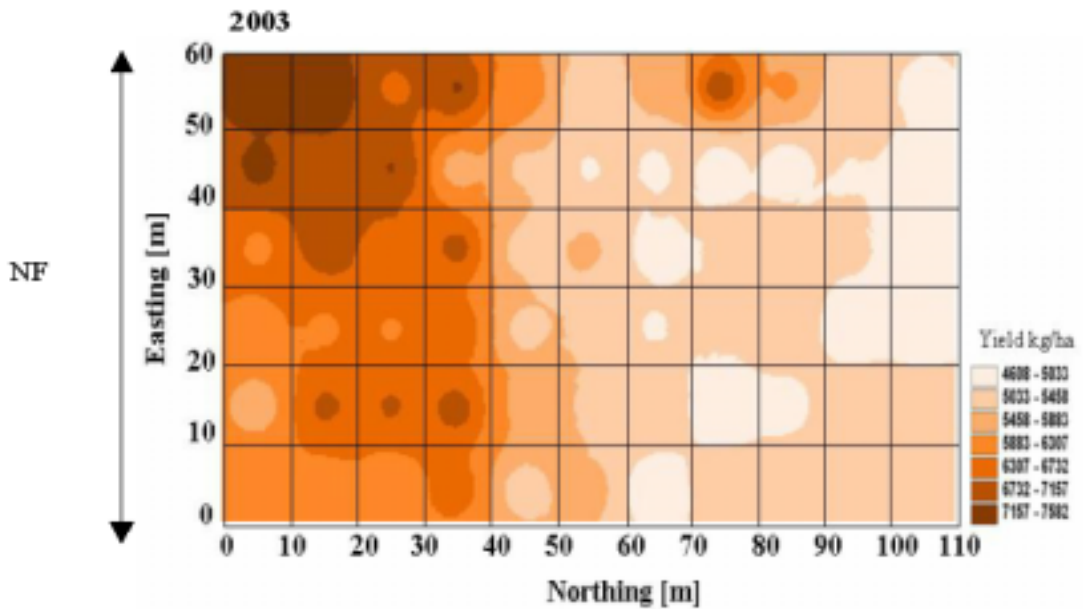


그림 6-12. 유수분화기 시비전 지상부 건물중의 예측값 비교(왼쪽) 및 지상부 건물중(DW) 및 지상부 질소농도(SN)에 의한 가변질소시비량 비교(오른쪽)



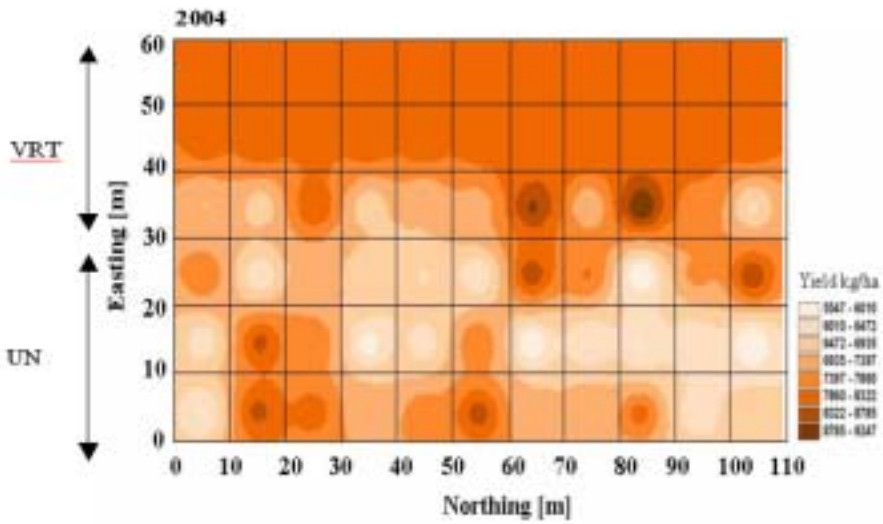
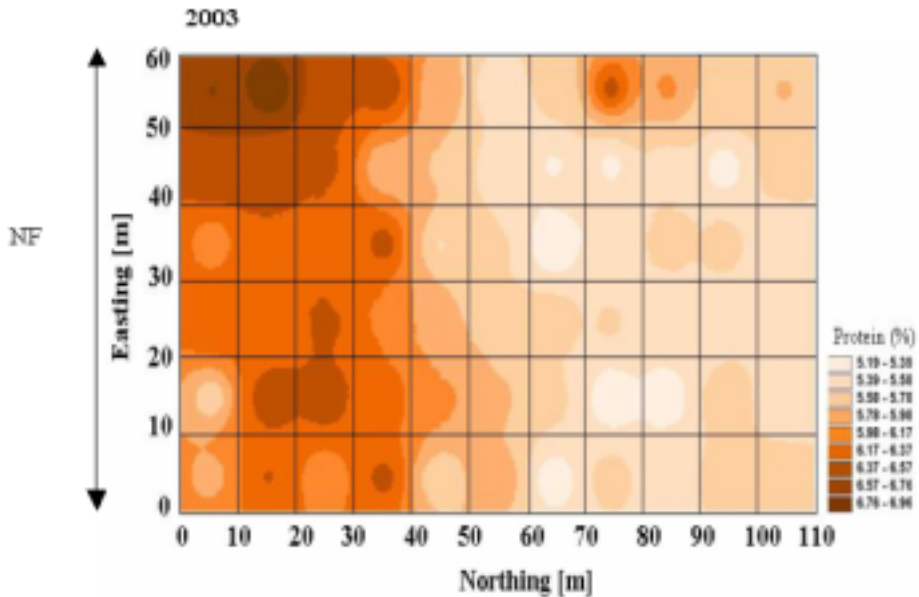


그림 6-13. 균등시비(UN)와 가변시비(VRT)를 했을 경우의 필지내 수량의 공간적  
변이

최근에는 쌀의 품질 고급화가 가장 큰 문제로 부각하고 있는 시점에 있기 때문에, 최대 수량을 목적으로 한 가변수비처방시 백미 단백질함량의 변화를 살펴보았다(그림 6-14). 수량을 목적으로 한 가변수비 처방시 백미의 단백질함량은 전반적으로 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 쌀의 단백질함량을 고려한 가변수비처방이 필요하다고 판단된다.





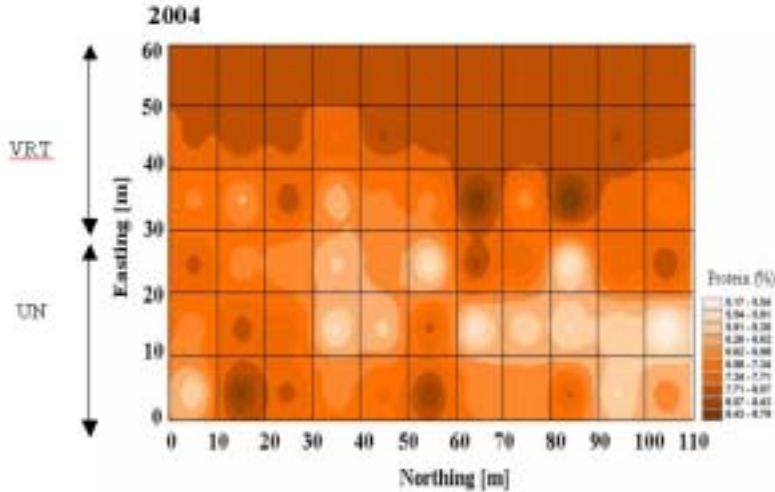


그림 6-14. 균등시비(UN)와 가변시비(VRT)를 했을 경우의 필지내 단백질함량의 공간적 변이

이와 같은 결과를 바탕으로 유수분화기 질소영양지수(NNI)나 유수분화기 건물중(DW), 그리고 유수분화기 지상부질소농도(SN)와 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량(Nup)에 근거한 수량 및 단백질함량 반응식을 구하였다(표 6-5). 각 모델식의 결정계수는 모두 0.94 이상으로 높았으며, 수량에 대한 모델의 결정계수가 다소 높게 나타났다. 따라서 유수분화기 질소영양지수나 건물중, 지상부 질소농도 어느 것이나 이용 가능하리라 판단된다.

표 6-5. 유수분화기 생육정보와 생식생장기 질소흡수량에 따른 수량 및 단백질함량 반응모델

Items	Regression equations	R <sup>2</sup>
Rice yield (Y)	$Y=2266+ 27.9Nup+ 1517NNI$	0.984
	$Y= 5.00+ 0.0144Nup-0.23SDW+ 0.081DW^2$	0.989
	$Y= 2304+ 28.1Nup+ 77.9SN^2$	0.979
Protein content (P)	$P=4.69+ 0.0144Nup+ 0.063NNI$	0.9499
	$P= 5.00+ 0.0144Nup-0.23SDW+ 0.081DW^2$	0.9560
	$P= 4.433+ 0.0180Nup-0.000Nup^2+ 0.235SN$	0.9419

P : 단백질함량(%)      Y : 벼 수량(kg/ha)      NNI : 유수분화기 질소영양지수  
 DW : 유수분화기 지상부건물중(ton/ha)      SN : 유수분화기 지상부 질소농도(%)

Nup : 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량(kgN/ha)

표 6-5를 바탕으로 유수분화기의 생육 및 질소영양상태를 진단한 상태에서 우리가 목적하는 수량이나 단백질함량에 필요한 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량(Nup)를 구할 수 있다(표 6-6). 그러나 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량은 작물의 시비량에 의해서 가장 크게 결정되지만, 식물체 생육 및 질소영양상태나 기상상황, 시비질소회수율, 천연공급량 등 고려해야 할 요인이 많기 때문에 실제 수비질소 시용량을 결정하기 위해서는 이들 요인을 충분히 고려해야 될 것으로 판단된다.

표 6-6. 목적하는 수량 및 단백질함량에 필요한 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량 모델

Items	Regression equations
	$Nup = (Y - 2266 - 1517NNI) / 27.9$
Rice yield (Y)	$Nup = (Y - 5.00 + 0.23DW - 0.081DW^2) / 0.0144$
	$Nup = (Y - 2304 - 77.9SN^2) / 28.1$
	$Nup = (P - 4.691 - 0.639NNI) / 0.0144$
Protein content (P)	$Nup = (P - 5.008 + 0.238DW - 0.0813SDW^2) / 0.0144$
	$Nup = (P - 4.433 + 0.000Nup^2 - 0.235SN) / 0.0186$

## 2. 벼 유수분화기 질소영양상태의 비파괴적 진단에 의한 질소 수비량 결정 (2001 ~ 2002)

### 가. 군락반사 및 SPAD값과 작물 생육 및 질소영양 특성치와의 관계

'01 ~ '02년 자료를 통합해서 군락반사와 작물 생육 및 질소영양 특성치와의 관계에 대해서 살펴보았다. 생육이 진전됨에 따라서 그리고 시비수준이 증가함에 따라서 군락반사율은 변화였는데, 가시역의 반사율은 낮아지고 근적외역의 반사율은 증가하는 경향이였다(그림 6-15). 영양생장 기간동안 가시역의 반사율은 10% 미만이었으며, 녹색역의 반사율이 적색역과 청색역보다 높았다.

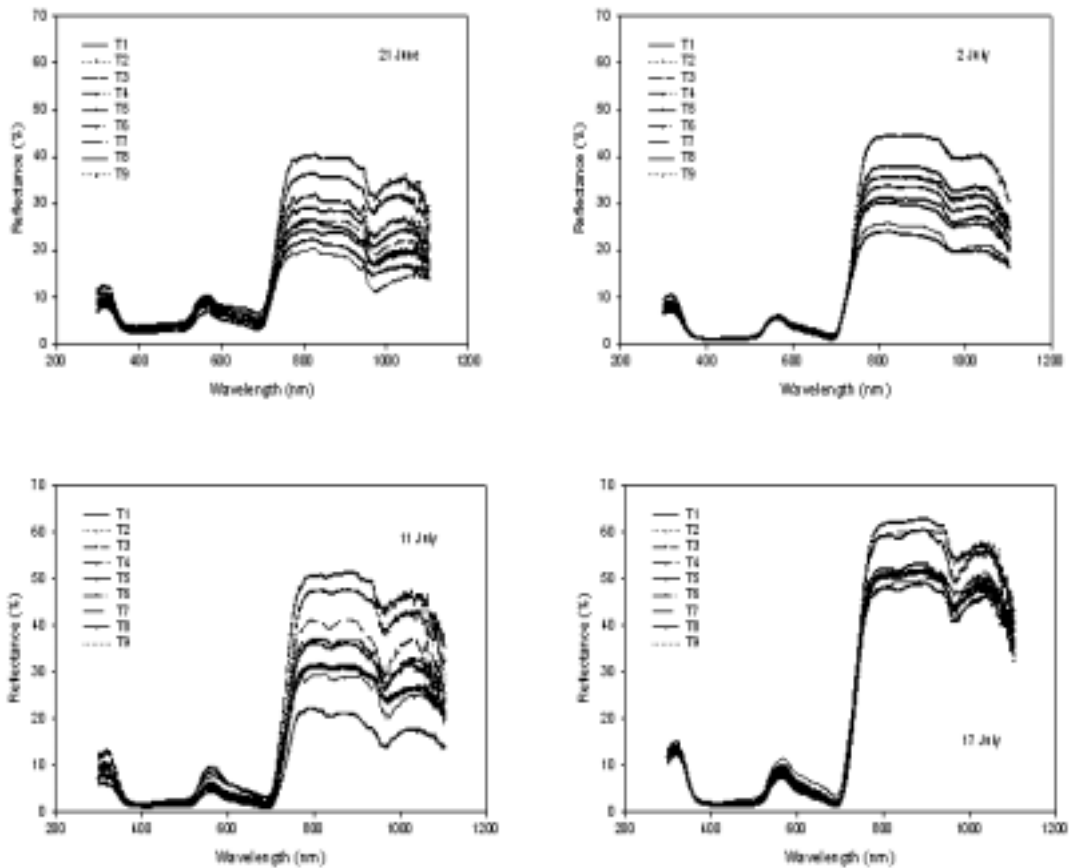


그림 6-15. 시기별 군락반사율의 변화

표 6-7은 군락반사에서 얻어진 식생지수인 RVI 및 NDVI와 유수분화기 벼 생육 및 질소영양 특성치와의 관계를 각 생육시기별로 나타낸 것이다. 영양생장기간 동안 생육 및 질소영양특성치 중에서 생육이 진전됨에 따라 증가하는 경향성을 지닌 엽면적지수, 지상부건물중, 지상부 질소함량 등과 비록 증가하는 경향성은 아니지만 질소영양상태를 잘 나타내는 질소영양지수와 식생지수간에 상관도가 높았으며, 특히 출수전 26~32일인 유수분화기를 전후해서 상관도가 매우 높았다. 유수분화기에는 모든 생육 및 질소영양특성치와 식생지수간에 유의한 상관관계가 존재하였다.

식생지수 중에서도 녹색역과 근적외역을 조합해서 얻은 RVIgreen과 NDVIgreen이 생육 및 질소영양특성치와 상관도가 높았으며, 적색역을 이용한 RVIred와 NDVIred가 그 다음이었고, 청색역을 이용한 RVIblue와 NDVIblue는 상관도가 가장 낮게 나타났다.

표 6-7. 식생지수와 벼 생육 및 질소영양특성치와의 상관관계

		Tiller (No./m <sup>2</sup> )	Leaf area index	Shoot dry weight (kg/10a)	Leaf N (%)	Shoot N (%)	Shoot N content (kgN/10a)	Nitrogen nutrition index
30DAT	Range	244.4 ~ 563.7	0.38 ~ 1.06	22.1 ~ 104.9	3.46 ~ 4.58	2.55 ~ 3.73	0.63 ~ 3.63	0.62 ~ 0.92
	RVI↑blue	0.890**	0.742**	0.803**	0.538*	0.616*	0.868**	0.616*
	RVIgreen	0.864**	0.841**	0.773**	0.458	0.721**	0.849**	0.721**
	RVIred	0.812**	0.838**	0.695**	0.364	0.758**	0.789**	0.758**
	NDVIblue	0.838**	0.811**	0.764**	0.463	0.653**	0.819**	0.653**
	NDVIgreen	0.823**	0.861**	0.741**	0.412	0.722**	0.808**	0.722**
	NDVIred	0.762**	0.897**	0.653**	0.277	0.787**	0.735**	0.787**
42DAT	Range	286.3 ~ 685.2	1.01 ~ 3.52	69.6 ~ 250.7	2.55 ~ 4.04	1.98 ~ 3.12	1.38 ~ 7.01	0.49 ~ 0.76
	RVIblue	0.556*	0.737**	0.719**	0.010	0.849**	0.839**	0.849**
	RVIgreen	0.477	0.691**	0.671**	-0.085	0.920**	0.823**	0.920**
	RVIred	0.422	0.635*	0.617*	-0.145	0.919**	0.773**	0.919**
	NDVIblue	0.557*	0.741**	0.711**	-0.029	0.828**	0.804**	0.828**
	NDVIgreen	0.507	0.723**	0.695**	-0.099	0.917**	0.825**	0.917**
	NDVIred	0.467	0.667**	0.634*	-0.146	0.858**	0.746**	0.858**
PIS (26 ~ 32 DBH)	Range	306.7 ~ 567.9	1.73 ~ 4.53	135.3 ~ 349.9	2.35 ~ 3.25	1.66 ~ 2.32	2.25 ~ 7.48	0.41 ~ 0.74
	RVIblue	0.513*	0.860**	0.718**	0.693**	0.675**	0.792**	0.805**
	RVIgreen	0.714**	0.931**	0.810**	0.818**	0.801**	0.909**	0.932**
	RVIred	0.606**	0.893**	0.748**	0.771**	0.752**	0.842**	0.866**
	NDVIblue	0.502*	0.814**	0.684**	0.682**	0.653**	0.749**	0.768**
	NDVIgreen	0.721**	0.908**	0.788**	0.818**	0.799**	0.881**	0.912**
	NDVIred	0.623**	0.832**	0.687**	0.784**	0.758**	0.780**	0.825**
Booting stage (19DBH)	Range	293.3 ~ 504.4	1.91 ~ 5.49	194.4 ~ 494.5	2.00 ~ 2.76	1.39 ~ 1.95	2.76 ~ 8.13	0.36 ~ 0.69
	RVIblue	0.956**	0.975**	0.976**	0.936**	0.833*	0.980**	0.977**
	RVIgreen	0.958**	0.959**	0.959**	0.924**	0.811	0.958**	0.964**
	RVIred	0.952**	0.970**	0.973**	0.937**	0.828*	0.977**	0.973**
	NDVIblue	0.985**	0.978**	0.970**	0.902*	0.803	0.964**	0.973**
	NDVIgreen	0.955**	0.946**	0.947**	0.889*	0.762	0.939**	0.943**
	NDVIred	0.974**	0.969**	0.967**	0.899*	0.781	0.959**	0.963**
19 ~ 32 DBH	Range	293.3 ~ 567.9	1.73 ~ 5.49	135.3 ~ 494.5	2.00 ~ 3.25	1.39 ~ 2.32	2.25 ~ 8.13	0.36 ~ 0.74
	RVIblue	0.573**	0.865**	0.739**	0.507**	0.468**	0.830**	0.797**
	RVIgreen	0.725**	0.935**	0.842**	0.444*	0.402*	0.896**	0.819**
	RVIred	0.651**	0.892**	0.764**	0.547**	0.506**	0.868**	0.840**
	NDVIblue	0.567**	0.834**	0.718**	0.489**	0.442*	0.792**	0.763**
	NDVIgreen	0.727**	0.909**	0.812**	0.447*	0.404*	0.864**	0.798**
	NDVIred	0.665**	0.845**	0.719**	0.539**	0.493**	0.809**	0.793**

DAT : 이앙 후 일수      DBH : 출수 전 일수      \*, \*\* : 각각 5%, 1% 유의수준

식생지수와 생육 및 질소영양특성치와의 관계를 엽면적지수에 따라 살펴보았는데(표 6-8), 엽면적지수에 관계없이 생육이 진전됨에 따라서 증가하는 경향성을 갖는 엽면적 지수, 지상부 건물중, 지상부 질소함량 등이 식생지수와 상관도가 높았으며, 생육시기에 관계없이 엽면적지수 2.5 이상에서 분얼과 엽중 및 지상부 질소농도를 제외한 생육 및 질소영양특성치와 상관도가 높게 나타났다.

표 6-8. 엽면적에 따른 식생지수와 벼 생육 및 질소영양특성치와의 상관관계

		Tiller (No./m <sup>2</sup> )	Leaf area index	Shoot dry weight (kg/10a)	Leaf N (%)	Shoot N (%)	Shoot N content (kgN/10a)	Nitrogen nutrition index
LAI>1	Range	286.3 ~ 685.2	1.00 ~ 5.49	46.7 ~ 494.5	2.00 ~ 4.58	1.39 ~ 3.73	1.38 ~ 8.13	0.36 ~ 0.92
	RVIblue	0.423**	0.886**	0.820**	-0.227	-0.297	0.865**	0.083
	RVIgreen	0.533**	0.849**	0.773**	-0.047	-0.115	0.892**	0.256
	RVIred	0.478**	0.810**	0.718**	-0.014	-0.085	0.861**	0.267
	NDVIblue	0.428**	0.807**	0.770**	-0.291	-0.377	0.804**	-0.088
	NDVIgreen	0.545**	0.826**	0.756**	-0.060	-0.137	0.871**	0.201
	NDVIred	0.501**	0.752**	0.677**	-0.037	-0.120	0.802**	0.170
	Range	293.2 ~ 685.2	1.52 ~ 5.49	103.3 ~ 494.5	2.00 ~ 4.04	1.30 ~ 3.12	2.25 ~ 8.13	0.36 ~ 0.76
LAI>1.5	RVIblue	0.366*	0.841**	0.741**	-0.016	-0.062	0.813**	0.427**
	RVIgreen	0.497**	0.798**	0.687**	0.193	0.156	0.854**	0.614**
	RVIred	0.430**	0.738**	0.605**	0.259	0.220	0.808**	0.649**
	NDVIblue	0.380*	0.793**	0.702**	0.014	-0.032	0.781**	0.419**
	NDVIgreen	0.507**	0.769**	0.653**	0.221	0.184	0.828**	0.621**
	NDVIred	0.458**	0.670**	0.533**	0.312*	0.272	0.745**	0.653**
	Range	311.1 ~ 685.2	2.02 ~ 5.49	140.8 ~ 494.5	2.06 ~ 4.04	1.42 ~ 3.12	2.76 ~ 8.13	0.36 ~ 0.76
LAI>2	RVIblue	0.199	0.802**	0.680**	0.044	0.002	0.769**	0.482**
	RVIgreen	0.356*	0.751**	0.629**	0.240	0.212	0.817**	0.653**
	RVIred	0.292	0.702**	0.552**	0.300	0.267	0.783**	0.680**
	NDVIblue	0.185	0.731**	0.628**	0.073	0.033	0.721**	0.461**
	NDVIgreen	0.357*	0.722**	0.604**	0.237	0.210	0.787**	0.627**
	NDVIred	0.320	0.648**	0.508**	0.298	0.264	0.728**	0.628**
	Range	333.3 ~ 685.2	2.50 ~ 5.49	173.9 ~ 494.5	2.11 ~ 4.04	1.42 ~ 3.12	3.71 ~ 8.13	0.44 ~ 0.76
LAI>2.5	RVIblue	0.573	0.865**	0.739**	0.507	0.468	0.830**	0.797**
	RVIgreen	0.725	0.935**	0.842**	0.444	0.402	0.896**	0.819**
	RVIred	0.651	0.892**	0.764**	0.547	0.506	0.868**	0.840**
	NDVIblue	0.567	0.834**	0.718**	0.489	0.442	0.792**	0.763**
	NDVIgreen	0.727	0.909**	0.812**	0.447	0.404	0.864**	0.798**
	NDVIred	0.665	0.845**	0.719**	0.539	0.493	0.809**	0.793**

\*, \*\* : 각각 5%, 1% 유의수준

생육시기별로 SPAD값과 생육 및 질소영양지표간의 관계를 살펴보면(표 6-9), 이앙 후 30일때에는 생육 및 질소영양 특성과 유의한 상관값을 보였지만, 이앙 후, 42일 때에는 엽중 및 지상부 질소농도와 NNI 등 질소영양특성치하고만 유의한 상관값을 나타내었다. 이후 유수분화기때 생육 및 질소영양지표와 유의한 상관관계를 보이다가 수잉기때에 가장 높은 상관치를 나타내었다.

그러나 SPAD값은 특정년도 특정시기의 질소영양상태 및 생장량과 매우 높은 상관을 보였으나, 유사한 생육단계일지라도 연도가 다르거나, 같은 연도일지라도 조사일이 다를 경우 매우 상이한 결과를 나타내었다(그림 6-16). 이는 SPAD값이 생육단계와 환경조건에 따라 달라지기 때문에 질소영양결핍의 지표로만 고려해야 된다는 보고(Takebe and Yoneyama, 1989; Piekielek *et al.*, 1995)와 비슷한 결과이다.

표 6-9. SPAD값과 벼 생육 및 질소영양 특성치와의 상관관계

		Tiller (No./m <sup>2</sup> )	LAI	DW (kg/10a)	Leaf N (%)	Shoot N (%)	Shoot N content (kgN/10a)	Nitrogen nutrition index
30DAT	Range	244.4 ~ 563.7	0.38 ~ 1.06	22.1 ~ 104.9	3.46 ~ 4.58	2.55 ~ 3.73	0.63 ~ 3.63	0.62 ~ 0.92
	SPAD	0.592*	0.951**	0.440	0.893**	0.912**	0.559*	0.912**
42DAT	Range	286.3 ~ 685.2	1.01 ~ 3.52	69.6 ~ 250.7	2.55 ~ 4.04	1.98 ~ 3.12	1.38 ~ 7.01	0.49 ~ 0.76
	SPAD	-0.162	0.099	0.059	0.757**	0.821**	0.286	0.821**
PIS (26 ~ 32 DBH)	Range	306.7 ~ 567.9	1.73 ~ 4.53	135.3 ~ 349.9	2.35 ~ 3.25	1.66 ~ 2.32	2.25 ~ 7.48	0.41 ~ 0.74
	SPAD	0.481*	0.870**	0.731**	0.642**	0.616**	0.783**	0.780**
Booting stage (19DBH)	Range	293.3 ~ 504.4	1.91 ~ 5.49	194.4 ~ 494.5	2.00 ~ 2.76	1.39 ~ 1.95	2.76 ~ 8.13	0.36 ~ 0.69
	SPAD	0.983**	0.996**	0.994**	0.920**	0.809*	0.991**	0.985**
19 ~ 32 DBH	Range	293.3 ~ 567.9	1.73 ~ 5.49	135.3 ~ 494.5	2.00 ~ 3.25	1.39 ~ 2.32	2.25 ~ 8.13	0.36 ~ 0.74
	SPAD	0.472**	0.676**	0.497**	0.691**	0.662**	0.711**	0.797**

DAT : 이앙 후 일수      DBH : 출수 전 일수      \*, \*\* : 각각 5%, 1% 유의수준

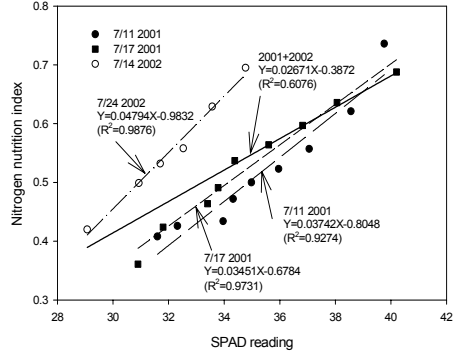
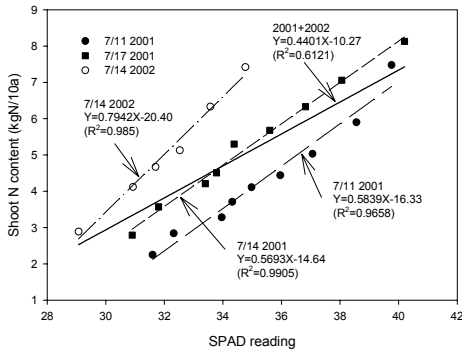
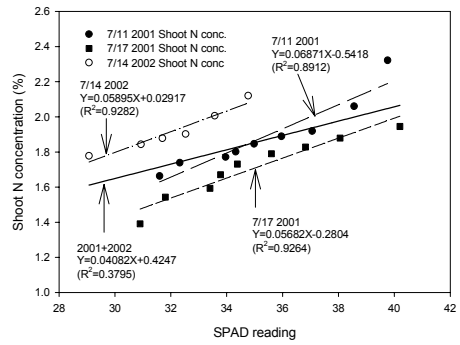
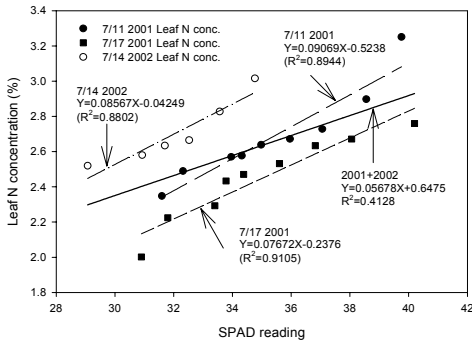


그림 6-16. 각 시기별 SPAD값과 벼 생육 및 질소영양 특성치와의 관계

#### 나. 가변수비시 질소흡수량에 따른 수량 및 단백질함량 반응

영양생장기 생체정보를 이용하여 유수분화기 시비진단을 하기 위해서는 생육 및 질소영양상태와 수비사용량에 따른 수량과 단백질함량의 변화 양상을 파악해야만 하는데, 지금까지는 질소시비량에 대해서만 파악하여 왔다. 그러나 질소시비량만을 가지고 파악할 경우에 매년 달라지는 기상상황이나 시비질소회수율, 그리고 천연공급량에 따라서 매우 많은 변이를 보이기 때문에 질소흡수량을 기준으로 살펴보았다(그림 6-17).

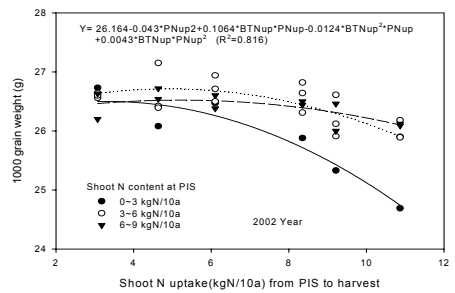
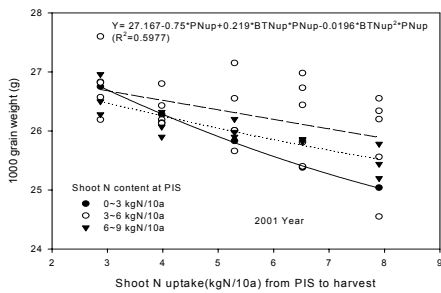
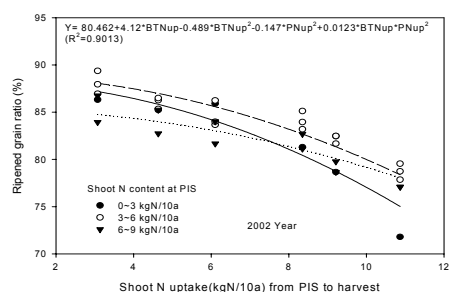
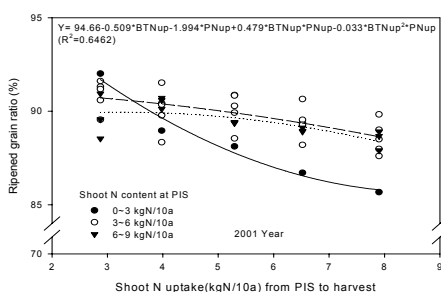
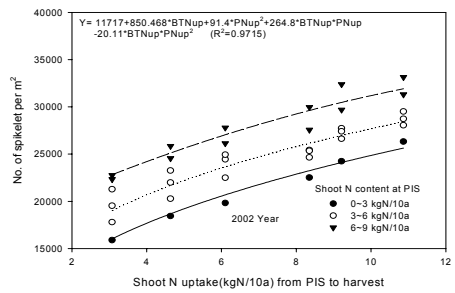
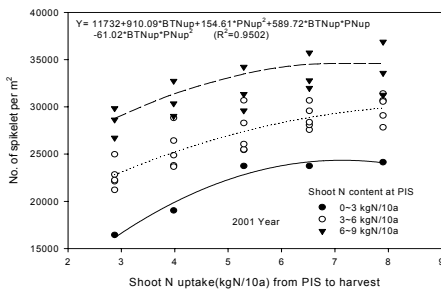
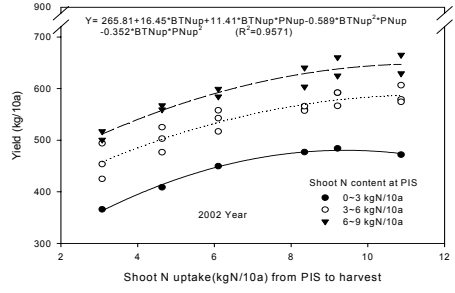
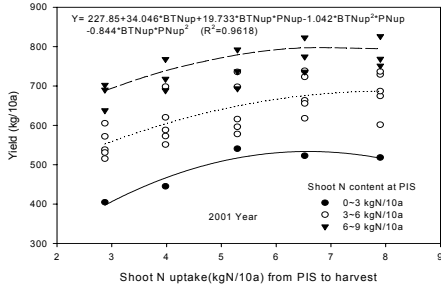


그림 6-17. 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량에 따른 수량 및 수량구성요소



## 반응

유수분화기 이후 수확기(생식생장기)까지의 질소흡수량이 5~6kgN/10a까지는 수량이 직선적으로 증가하였으나 그 이상에서는 수량증가가 둔화되었다. 총영양화수(/m<sup>2</sup>) 또한 수량반응과 비슷한 경향이었지만 질소흡수량이 많아질수록 총영양화수는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 반면 등숙률과 천립중은 유수분화기 이후 질소흡수량이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였는데, 영양생장기 질소흡수량이 적을수록 그 감소폭은 커지는 경향이였다. 영양생장기 질소흡수량이 적다는 것은 생육량이 그만큼 적다고 할 수 있는데, 생육량이 충분히 확보되지 못한 상황에서 질소흡수량이 과도하게 많아질 경우 등숙률과 천립중이 큰 폭으로 감소하기 때문에 수량은 오히려 감소하게 된다.

유수분화기 질소함량(BTNup)과 유수분화기 이후 질소흡수량(PNup)에 따른 수량 및 수량구성요소의 반응식을 가변수(Dummy-variable)을 두어 살펴보았는데(표 6-10), 모델의 결정계수는 높았으나 수량과 수량구성요소 모두 각 연차적 차이가 나타났다. 수량의 Dummy-variable의 계수 -127이 뜻하는 것은 동일한 질소흡수량 일지라도 2001년도가 2002년도에 비해 수량은 127kg/10a가 많다는 것이다.

이양 후 수확기까지의 질소흡수량에 따른 수량반응은 영양생장기 또는 생식생장기 질소흡수량의 다과에 관계없이 이들의 총합인 지상부 질소함량과 2차 곡선관계를 보여(그림 6-18), 특정 생육시기의 질소흡수량 보다는 생육기간 전반의 총 질소흡수량에 의해 수량이 결정되는 것으로 보인다. 질소흡수량에 따른 수량증가폭은 '01년도가 '02년도에 비해 컸는데, 이는 유수분화기 이후 등숙기까지의 기상여건이 '01년도가 '02년도에 비해 매우 좋았기 때문이었다.

표 6-10. 유수분화기 질소함량과 생식생장기 질소흡수량에 따른 수량 및 수량구성요소 반응모델

Parameters	Equation	R <sup>2</sup>
Yield (kg/10a)	Y = 96.54+ 84.02*PNup+ 56.33*BTNup-2.513*PNup <sup>2</sup> -2.512BTNup <sup>2</sup> -0.191*BTNupPNup <sup>2</sup> -127.37*Dummy <sup>†</sup>	0.943 7
No. of spikelet per m <sup>2</sup>	Y = 4500.38+ 2819.88*BTNup+ 2913.98*PNup-73.68*PNup <sup>2</sup> -185.23*BTNup*PNup+ 2.88*BTNup*PNup <sup>2</sup> -4369.55*Dummy	0.938 8
Ripened grain ratio (%)	Y = 90.24-0.139*BTNup-0.239*PNup <sup>2</sup> + 0.426*BTNup*PNup -0.049*BTNup <sup>2</sup> *PNup+ 0.021*BTNup*PNup <sup>2</sup> -4.86*Dummy	0.909 3
1000 grain weight (g)	Y= 27.7-0.228*BTNup-0.808*PNup+ 0.00186*BTNup <sup>2</sup> + 0.227*BTNup*PNup-0.017*BTNup <sup>2</sup> *PNup+ 0.372*Dummy	0.630 7

† Dummy variable : 2001년 0, 2002년 1

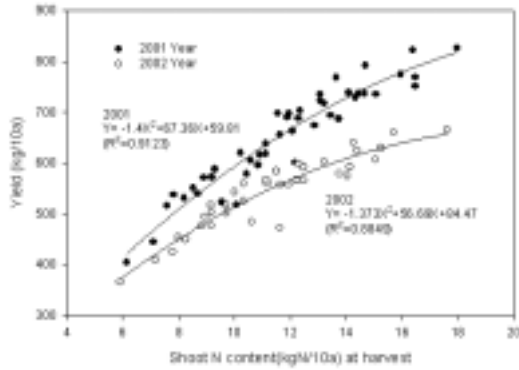


그림 6-18. 수확기 질소함량과 수량과의 관계

유수분화기 지상부 질소함량(BTNup)과 유수분화기 이후 질소흡수량(PNup)에 따른 미립단백질 함량의 변화를 중회귀 분석을 통하여 살펴보았는데, 미립단백질 함량은 유수분화기 이후의 질소흡수량에 의해 크게 증가하는 경향을 보였다(그림 6-19).

이양부터 수확까지의 총 질소흡수량과 백미 질소흡수량과의 관계를 살펴보면(그림 6-20), 고도로 유의한 직선회귀관계( $R^2 > 0.9$ )를 보였으나 연차간에 다소 차이가 있었는데, 이는 특히 등숙기 일조시간이 예년에 비하여 2001년은 현저히 많았으나 2002년은 현저히 적었기 때문으로 판단된다. 수확기 지상부 총 질소함량 중 약 38%가 백미 질소를 구성하는 것으로 나타났다.

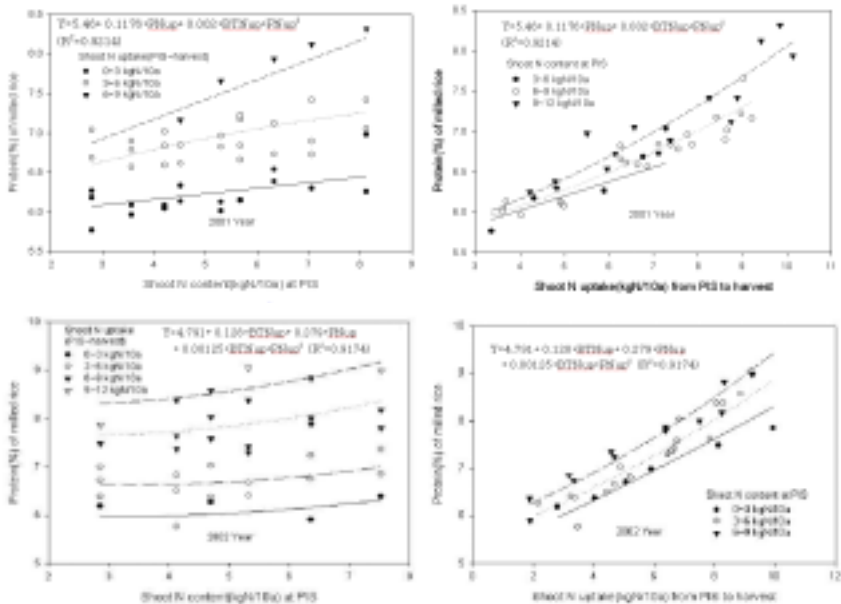


그림 6-19. 유수분화기 질소흡수량과 생식생장기 질소흡수량에 따른 백미 단백질반응

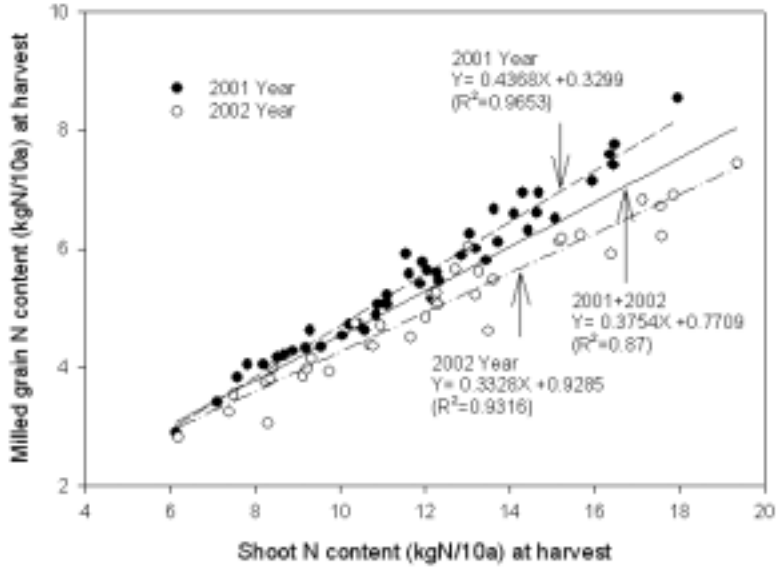


그림 6-20. 수확기 질소함량과 수확기 백미 질소흡수량과의 관계

다. 수량 및 미립단백질함량 예측 중회귀모형

군락반사나 SPAD 측정값을 이용해서 질소시비량을 결정하는 데에는 다소 시간이 걸리는 어려움이 있기 때문에 유수분화기 및 유수분화기 1주일전의 측정값으로 시비처방이 가능한지를 살펴보았다. 앞서 군락반사에서 RVIgreen이 작물 생체정보와 가장 밀접한 관련이 있었기 때문에, 유수분화기 및 유수분화기 1주일전의 RVIgreen과 SPAD값, 그리고 유수분화기 이후의 질소흡수량(PNup)을 이용하여 중회귀모형을 구한 결과 모델의 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상으로 매우 높았다(표 6-11).

표 6-11의 모형에서 유수분화기 이후의 질소흡수량이 증가해도 더 이상 수량이 증가하지 않는 질소흡수량( $\frac{\partial Y}{\partial PNup} = 0$ )을 구하였는데(표 6-12), RVI값이 증가할수록 PNup은 감소하는 경향이나 본 연구의 결과로 보면 PNup\_Ymax 는 9~13.5kg/10a 범위로 나타났다. 반면 SPAD값과는 무관하게 약 10~11kgN/10a로 나타났다.

그러나 수량은 유수분화기 이후의 질소흡수량이 5~6kgN/10a까지 직선적으로 증가하고 그 이후의 질소흡수량에 의해서는 수량증가폭이 매우 적은 경향을 보였기 때문에, 5~6kgN/10a 이상의 질소가 흡수될 경우 질소시비량이 증가로 인한 수량증가는 적은 반면, 환경오염문제가 발생하고 병충해, 풍수해, 도복 등으로 수량감소를 초래할 수 있다.

표 6-11. 유수분화기 및 1주일 전 RVIgreen, SPAD값, 생식생장기 질소흡수량에 따른 수량모형

Stage	Parameters	Equation	R <sup>2</sup>
PIS	RVIgreen	$\hat{Y} = 112.29 + 42.438 \cdot RVIg + 11.066 \cdot RVIg \cdot PNup - 0.5455 \cdot RVIg^2 \cdot PNup - 0.3098 \cdot RVIg \cdot PNup^2 - 110.28 \cdot Dummy$	0.9509
	SPAD reading	$\hat{Y} = -1754 + 98.615 \cdot SPAD + 50.805 \cdot PNup - 1.029 \cdot SPAD^2 - 2.362 \cdot PNup^2 - 29.19 \cdot Dummy$	
One week before PIS	RVIgreen	$\hat{Y} = 139.47 + 37.689 \cdot RVIg + 11.4 \cdot RVIg \cdot PNup - 0.54 \cdot RVIg^2 \cdot PNup - 0.341 \cdot RVIg \cdot PNup^2 - 81.27 \cdot Dummy$	0.9511
	SPAD reading	$\hat{Y} = -625.4 + 29.138 \cdot SPAD + 53.182 \cdot PNup - 2.539 \cdot PNup^2$	

표 6-12. 유수분화기 및 1주일전 RVIgreen과 SPAD값에 따른 최대 수량 확보 질소흡수량 결정식

Stage	Parameters	PNup_Ymax equation
PIS	RVIgreen	$Y = 17.86 - 0.88 \cdot RVIg$
	SPAD	$Y = 10.755$
One week before PIS	RVIgreen	$Y = 16.716 - 0.792 \cdot RVIg$
	SPAD	$Y = 10.473$

수량예측 중회귀모형과 마찬가지로 유수분화기 및 유수분화기 1주일전 RVIgreen, SPAD 측정값, 유수분화기 이후의 질소흡수량에 따른 미립 단백질함량 예측 중회귀모형을 표 6-13과 같이 구하였는데, 모델의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.9 이상으로 매우 높게 나타났다.

표 6-13. 유수분화기 및 1주일 전 RVIgreen, SPAD값, 생식생장기 질소흡수량에 따른 단백질모형

Parameters	Equation	R <sup>2</sup>
PIS	RVIgreen n $\hat{Y} = 5.439 + 0.0126*PNup^2 + 0.0133*RVIg*PNup + 0.398*Dummy$	0.920 2
	SPAD $\hat{Y} = 5.342 + 0.0116*PNup^2 + 0.0001*SPAD^2*PNup + 0.542*Dummy$	0.919
1 week before PIS	RVIgreen n $\hat{Y} = 5.028 + 0.1396*PNup + 0.0055*RVIg^2 + 0.01*PNup^2 + 0.459*Dummy$	0.921 9
	SPAD $\hat{Y} = 5.328 + 0.0117*PNup^2 + 0.00011*SPAD^2*PNup + 0.569*Dummy$	0.916 7

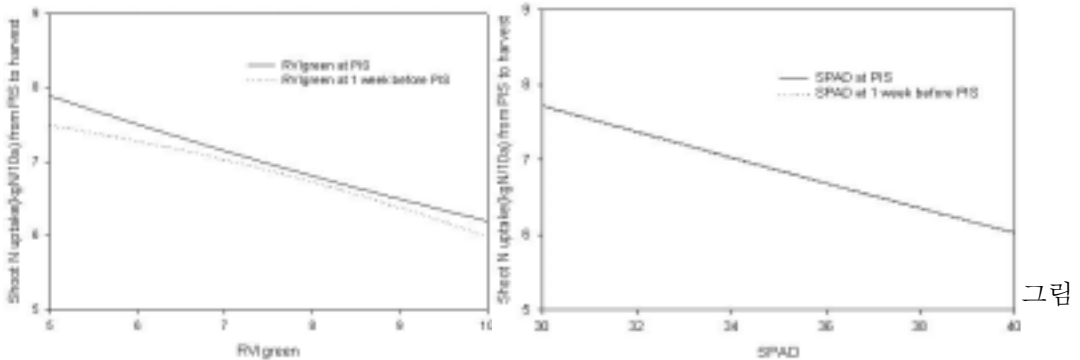
국내 양질미 선발기준은 현미 단백질함량이 7~9%이고 우리나라의 평균 단백질함량이 6.8%라고 하지만(손 등, 2002), 아직까지 고품질 쌀에 대한 백미의 단백질함량은 정해지지 않고 있다. 단백질함량의 경우 고품질쌀 미립의 단백질함량 기준을 7%이하로 가정하여 이보다 단백질함량이 낮도록 하는 유수분화기 이후의 질소흡수량을 표 6-13에 의해서 구할 수 있는데, 2차식이므로 근의 공식을 이용해서 질소흡수량의 한계치를 구하였다(표 6-14). 단백질함량을 7% 이하로 하는 PNup<sub>protein≤7%</sub>은 6~8kgN/10a로 추정되어 최대수량을 위한 생식생장기 질소흡수량(PNup<sub>Ymax</sub>) 9~13.5보다 크게 낮았다. 따라서 수비량 결정에는 수량보다도 단백질함량을 고려한 처방이 우선되어야 할 것으로 판단된다.

표 6-14. 백미 단백질함량을 7% 이하로 하는 유수분화기 이후 질소흡수량 결정식

Stage	Parameters	PNup <sub>protein≤7%</sub> Equation
PIS	RVIgreen n	$\hat{Y} \leq \frac{-0.0133*RVIg + \sqrt{(0.0133*RVIg)^2 - 4*0.0126*(5.493 + 0.398*D - 7)}}{2*0.0126}$
	SPAD	$\hat{Y} \leq \frac{-0.0001*SPAD^2 + \sqrt{(0.0001*SPAD^2)^2 - 4*0.0116*(5.342 + 0.542*D - 7)}}{2*0.0116}$
One week before PIS	RVIgreen n	$\hat{Y} \leq \frac{-0.1396 + \sqrt{0.1396^2 - 4*0.01*(5.028 + 0.0055*RVIg^2 + 0.459*D - 7)}}{2*0.01}$
	SPAD	$\hat{Y} \leq \frac{-0.0001*SPAD^2 + \sqrt{(0.0001*SPAD^2)^2 - 4*0.0117*(5.328 + 0.569*D - 7)}}{2*0.0117}$

미립의 단백질함량이 7% 이하가 되기 위한 생식생장기 질소흡수량과 유수분화기 및 유수분화기 1주일전 RVIgreen 및 SPAD값과의 관계를 나타낸 것이 그림 6-21이다.

Dummy-variable은 2001년과 2002년 모두 0.5로 계상하였다. 그림에서 보는 바와 같이 RVIgreen이나 SPAD값이 증가함에 따라서 미립단백질을 7% 이하로 하기 위한 유수분화기 이후 질소흡수량은 직선적으로 감소하였다. 그러나 RVIgreen 또는 SPAD로 유수분화기 또는 유수분화기 1주일 전에 필요흡수량을 예측한 결과는 큰 차이가 없어서 유수분화기 1주일전부터 유수분화기 사이의 시기에 RVIgreen이나 SPAD 측정값을 이용하여도 무방할 것으로 판단되었다.



6-21. 유수분화기 및 유수분화기 1주일전 측정값의 유용성 검증

위에서 얻어진 회귀식과 계산식을 바탕으로 유수분화기 군락반사특성치 RVIgreen이나 SPAD값, 그리고 유수분화기 이후의 질소흡수량을 인자로 가지는 질소수비시용량 결정모형을 설정할 수 있는데, 목적하는 수량과 목적하는 단백질함량을 얻기 위해서는 위에서 얻어진 수량 결정식과 단백질함량 결정식을 동시에 충족시키는 질소흡수량(PNup) 중에서 작은 것을 취하면 된다(식 6-7). 본 연구결과 수량을 최대로 하는 질소흡수량은 9~13.5kgN/10a로, 미립의 단백질함량을 7% 이하로 하는 질소흡수량은 6~8gN/10a로 추정되어 실제로 수비량 결정시에는 수량보다도 미립의 단백질 함량을 고려해야 되는 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 수량과 단백질 함량을 고려한 유수분화기 이후의 질소흡수량을 결정할 수 있었다. 하지만 결정된 질소흡수량만큼 벼가 흡수하기 위해서는 결국 질소수비시용량이 결정되어야만 한다. 시비량을 결정하는 보편적인 방법은 작물이 흡수한 비료성분의 총량에서 천연적으로 공급된 양을 제외하고, 이를 다시 비료성분의 흡수율(회수율)로 나누어서 계산하는 방식이다(식 6-8).

$$Nup, appl = \text{Min} \{Nup_{Ymax}, Nup_{\text{Protein} \leq 7\%}\} \quad [ \text{식 6-7} ]$$

$$\text{Panicle N(kg/10a)} = \frac{Nup, appl - \text{natural N supply from PIS to harvest}}{\text{Recovery efficiency of panicle N}} \quad [ \text{식 6-8} ]$$

시비질소회수율은 이앙재배에서 평균 20~40%로 알려져 있으며, 유수분화기가 가장 높고, 감수분열기, 분열기, 출수기, 기비 순이라고 한다(조 등, 1995). 본 실험에서 구해진 회수율을 살펴보면, 기비+분열비의 회수율은 2001년이 약 40%, 2002년이 약 34%였으며, 시비수준이 증가할수록 회수율은 감소하는 경향이였다. 평균적인 수비의 회수율은 2001년도가 약 70%, 2002년도가 약 66%였으며, 영양생장기에 시비수준을 증가하여 생육을 많이 확보한 시비처리구일수록 수비의 회수율은 높아지는 경향이였다.

2001년과 2002년에 강우나 관개, 또는 토양으로부터 천연적으로 공급된 질소량은 영양생장기에 2.7~2.9kgN/10a, 유수분화기 이후에 3~4.1kgN/10a 범위였는데, 이는 Schnier 등(1990)이 벼의 전생육기간동안 천연적으로 공급된 질소량은 5~7kgN/10a 라고 보고한 것과 비슷한 수치였다. 비료의 천연공급량은 토양자체가 지니고 있는 양분과 빗물, 관개수 등에 의하여 달라지는데, 우리나라에서 천연적으로 공급되는 질소량은 대략 4.5(4.2~7.0)kgN/10a 정도라고 한다(농촌진흥청, 1993).

이상의 결과를 살펴보면, 유수분화기 1주일전과 유수분화기 RVIgreen과 SPAD값과 유수분화기 질소흡수량을 이용한 수량 및 단백질함량의 모델 결정계수는 0.9 이상으로 매우 높게 나타나 비파괴적인 진단으로써 수비량 결정을 할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 지금까지 많은 연구자들이 보고한 바와 같이 군락반사의 SPAD 측정값은 품종, 지역, 재배·기상환경, 측정조건 등에 따라 많은 변이를 보이고, 특히 본 연구 결과에서 나타난 것처럼 유수분화기 이후의 기상조건에 따라 수량 및 단백질함량이 크게 변하기 때문에 다양한 벼 품종과 지역, 재배·기상환경, 측정조건 및 등숙기 기상조건 등에 대한 추가적인 고찰이 필요하며, 우리나라 벼 재배조건에 맞는 새로운 군락반사 측정시스템을 구축하는 것이 반드시 필요하다고 생각한다.

### 3. 벼 질소영양상태의 비파괴적 진단방법 개선 및 목표형질을 위한 질소 수비량 결정 연구(2005)

'01~'02년의 연구는 화성벼를 공시하여 350~1050nm의 군락반사와 유수분화기 생육 및 질소영양 특성치와의 관계를 추정하고, 유수분화기 시비량에 따른 수량 및 단백질함량의 반응을 살펴봄으로써 가변 시비진단의 가능성을 살펴보기 위함이었다. 벼농사를 대상으로 정밀농업을 구현하기 위해서는 여러 조건에서도 가변시기가 가능해

야 한다. 또한 시비진단기기를 만들기 위해서는 모든 파장대가 아닌 작물의 생육 및 질소영양 특성치에 가장 민감하게 반응하는 파장대를 알아야만 한다. 그러나 앞선 2년간의 연구는 그러한 여러 가지 조건에 대한 검토를 수행하지 못했다. 따라서 '01~'02년 연구가 단순히 상관관계에 근거한 관계를 추정한 반면에 본 연구에서는 새로운 RMSEP와 REP 모델을 도입하여 좀 더 정확한 관계분석을 하였으며, 4개 품종에 대해서 균락반사의 효용성에 대해서 살펴보았다.

그리고 유수분화기 생육 및 질소영양 특성치별 가변시비량에 따른 수량 및 단백질함량 반응은 앞선 2년간의 연구에서도 나타났듯이 등숙기 기상조건에 의해 크게 결정되기 때문에 연차적 변이에 대한 검토가 필요하였다. 따라서 본 '03~'05년 연구에서는 연차적인 변이를 다시한번 살펴보았고, 수비 시용시기에 따른 수량 및 단백질함량의 반응 및 이의 공간적 변이를 살펴보았으며, calibration과 validation을 통해 RMSEP 및 REP를 이용한 수량 및 단백질함량 예측 모델을 검증하였다.

#### 가. 벼의 생육 및 질소영양 특성치 추정에 적합한 파장대 검색

유수분화기 전후 벼의 생육 및 질소영양상태를 비파괴적으로 추정하기 위해서는 동일한 생육량 및 질소영양상태에 대해 균락반사 측정값의 연차적 변이가 적어야 한다. 또한 앞선 '01~'02년도의 연구는 화성벼만을 공시하여 살펴보았기 때문에 벼 품종 4개에 대해서 적용성을 검토하였다.

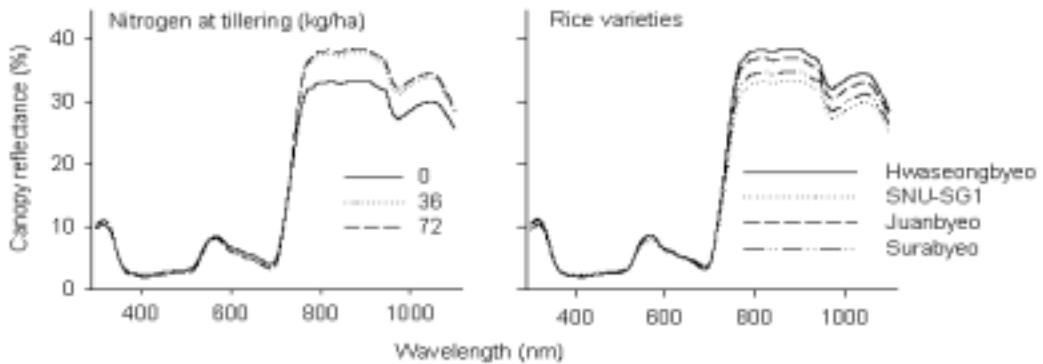


그림 6-22. 시비수준 및 품종에 따른 균락반사율의 차이

4개 품종 모두 가시역 특히 적외역(630~690nm)의 반사율은 낮아지고, 근적외역(>800nm)의 반사율은 커지는 경향이였다. 가시역의 반사율은 품종에 다르더라도 거의 차이가 없었던 반면, 근적외역에서는 REP(red edge position, 690~740nm)에서는 품종간에 차이가 없었고 대신 750nm 이상에서는 품종간 차이가 나타났다. 품종별로는 화성벼>주안벼>수라벼>SNU-SG1 순이였다.

추정치와 실측치와의 차이의 평균자승합을 구한 RMSEP(root mean square error



in prediction, 식 6-3)와 RMSEP 예측값의 상대적인 오차인 REP(relative error of prediction for RMSEP, 식 6-4)를 이용한 PLS 모델로 균락반사와 생육 및 질소영양 특성치와의 관계를 분석하였다.

$$RMSEP = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \widehat{y}_i)^2 \right]^{0.5} \quad [ \text{식 6-3} ]$$

$$REP(\%) = \frac{100}{y} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \widehat{y}_i)^2 \right]^{0.5} \quad [ \text{식 6-4} ]$$

전반적으로 가시역에서 부의 상관관계가 낮게 나타났으며, 근적외역에서 정의 상관도가 높게 나타났다. 근적외역에서는 지상부 질소흡수량 > 지상부 건물중 > 지상부 질소농도 순으로 상관도가 높았으며, 엽면적지수 > 엽건물중 > 엽질소농도 순으로 상관도가 높아 일반적으로 건물중이 질소농도보다는 균락반사와 상관도가 높았다(그림 6-23).

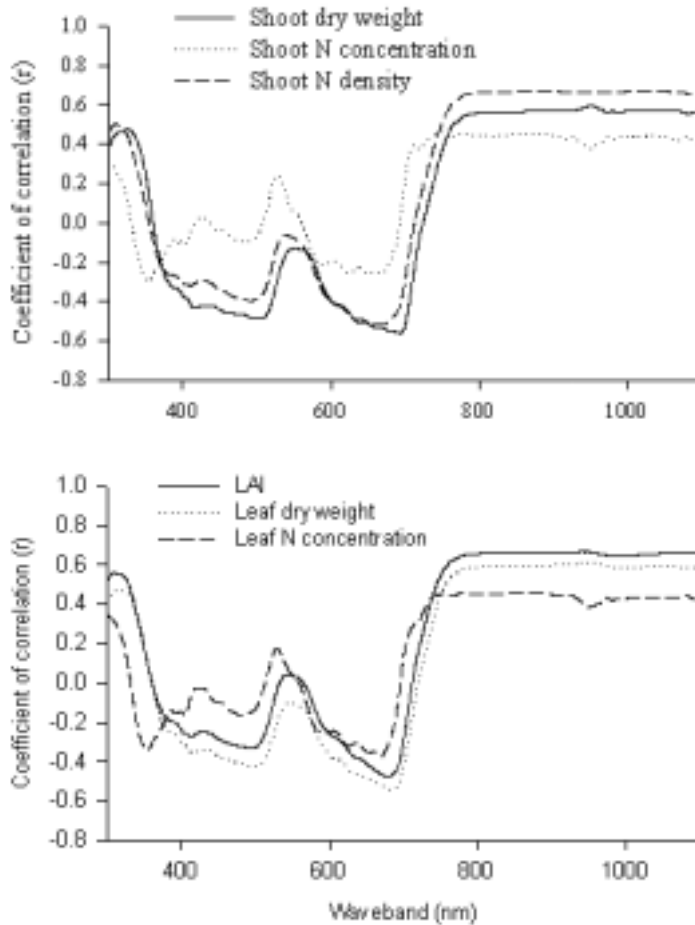


그림 6-23. 파장대별 작물 생육 및 질소영양특성치와의 상관관계

모델의 quality 지표인 RMSEP와 REP는 calibration을 할 경우에 다소 높아졌다. Calibration과 validation을 한 RMSEP와 REP를 이용하여 PLS(partial least square) 회귀모델을 작성하였고, 엽건물중, 지상부건물중, 엽질소농도, 지상부질소농도, 엽면적지수, 지상부 질소흡수량 등을 추정하였다. 추정결과 결정계수가 0.8 이상으로 매우 높게 나타났다(그림 6-24).

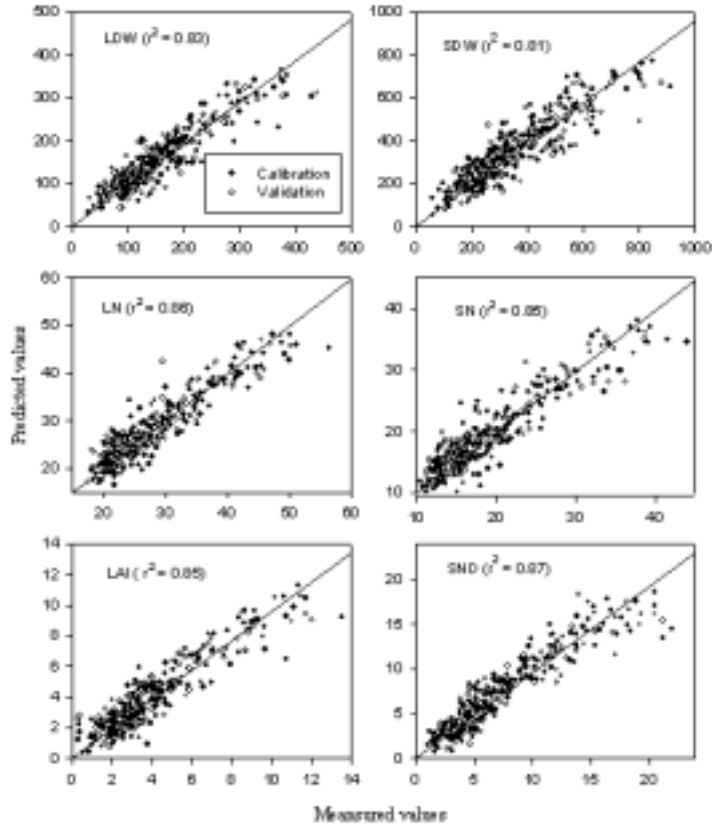


그림 6-24. 생육 및 질소영양 특성치의 PLS 회귀모델에 의한 예측값과 실측값과의 관계

(LDW : 엽건물중, SDW : 지상부건물중, LN : 엽질소농도, SN : 지상부질소농도, LAI : 엽면적지수, SND : 지상부 질소흡수량)

Calibration과 validation을 한 PLS 모델을 이용하여 포장의 지상부 건물중(SDW)과 지상부질소농도(SN), 지상부 질소흡수량(SND)에 대한 추정치와 실측치와의 비교하였는데, 변이계수는 지상부질소흡수량(24.3) > 지상부건물중(18.7) > 지상부질소농도(10.9) 순이었다(그림 6-25).

군락반사로써 벼의 생육이나 질소영양상태를 추정하는데 쓰이는 spectro-radiometer는 매우 고가이기 때문에 진단기기로서의 체대로 된 기능을 하기 어렵다. 모든 파장대에 걸쳐서 작물의 생육이나 질소영양상태와 관계있는 것이 아니기 때문에 실제 작물의 생육이나 질소영양상태와 가장 밀접한 관련이 있는 파장대를 검색하는 것이 필요하다. PLS 모델에서 가장 유용한 파장대를 검색해서 82개의 파장대를 이용한 결과 엽면적지수와 지상부건물중의 80%, 지상부질소농도와 지상부질소흡수량

의 84%의 변이를 설명할 수 있었다(그림 6-26).

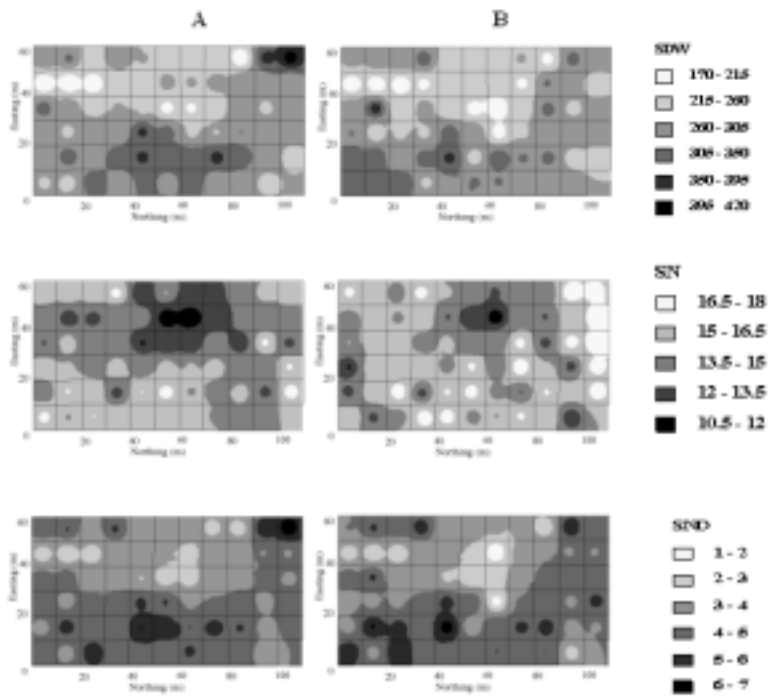


그림 6-25. PLS 회귀모델에 의한 지상부건물중(SDW), 지상부질소농도(SN), 지상부질소흡수량(SND) 추정치(B)와 실측치(A)의 공간적 변이

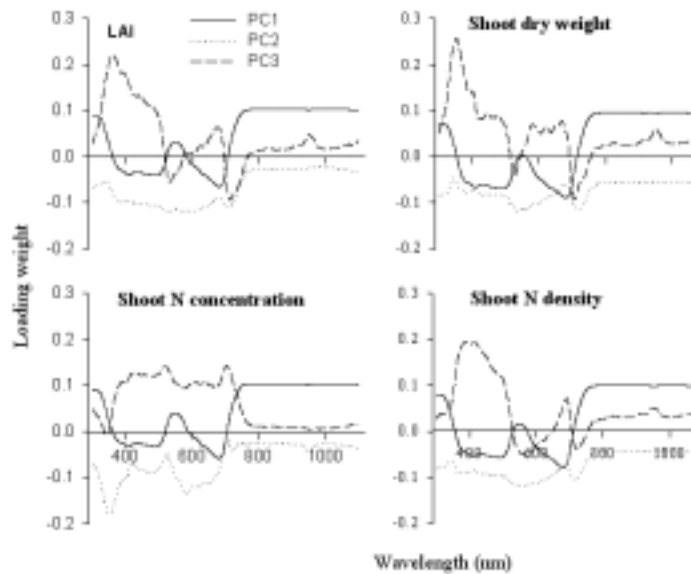


그림 6-26. PLS 모델의 제1(PC1), 제2(PC2) 및 제3(PC3) Latent 변수의 과장대별 Loading weight

나. 수비시용시기 및 지상부 질소흡수량에 따른 수량 및 단백질함량 변화

그림 6-27은 출수전 시비일에 따른 무비구 대비 시비구의 수량 및 단백질함량의 상대적인 수치를 나타낸 것이다. 최대의 수량을 얻을 수 있는 시기는 출수전 28일로 나타났으며, 단백질함량은 출수일자와 멀수록 낮게 나타났다. 이를 좀 더 세분해서 살펴보면, 분얼비 무시용시에는 출수전 30일에 수비시용한 것이 가장 수량이 높았고, 분얼비 시용(3.6N, 7.2N/10a)시에는 출수전 27일에 수비시용한 것이 가장 수량이 높게 나타났다(그림 6-28). 이는 현재 우리나라에서 추천하고 있는 수비시용시기인 출수전 25일보다 다소 빠르다.

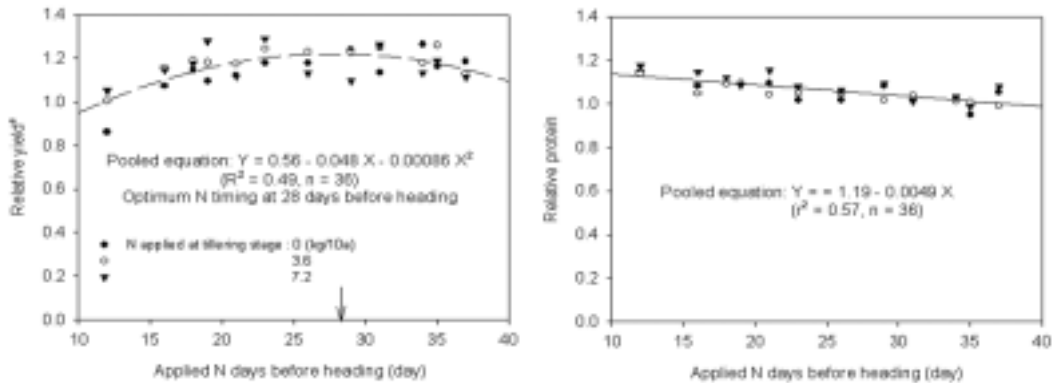
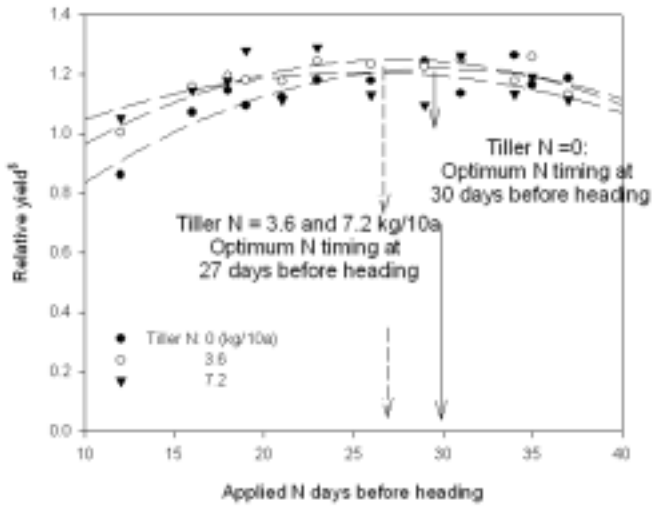


그림 6-27. 출수전 시비일에 따른 상대적 (수비 무시용 대비 시비구의 비)인 수량 및 단백질함량

그림 6-28. 분얼비 질소시비량과 출수전 수비시용시기에 따른 상대적인 수량

'03~'05년의 모든 자료를 사용하여 수확기까지의 질소흡수량과 수량 및 단백질함량과의 관계를 살펴보았는데(그림 6-29), 수량은 연차간에 다소 차이가 있지만 수확기까지의 질소흡수량과 직선적인 관계를 나타내었으며 77%의 변이를 설명할 수 있었다. 반면, 단백질함량은 연차 간에 큰 변이를 나타내었다. 이는 단백질함량은 수비 시용 이후의 여러 가지 환경조건에 의해 크게 영향받기 때문인 것으로 판단된다. 백미의 질소함량은 수확기 질소함량과 고도로 유의한 정의 상관관계( $R^2=0.86$ )를 보였으며(그림 6-30), 수확기 질소함량이 높아질수록 지상부 질소함량 대비 백미 질소함량은 낮아지



는 경향이였다. 지상부 질소흡수량 중에서 약 45% 내외가 백미로 전이되는 것으로 나타났다.

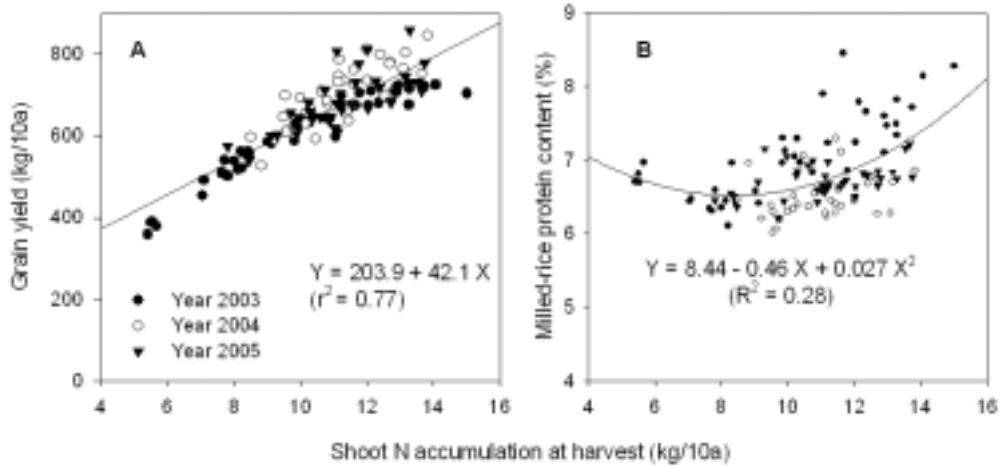


그림 6-29. 수확기까지의 질소흡수량과 수량 및 단백질 함량과의 관계

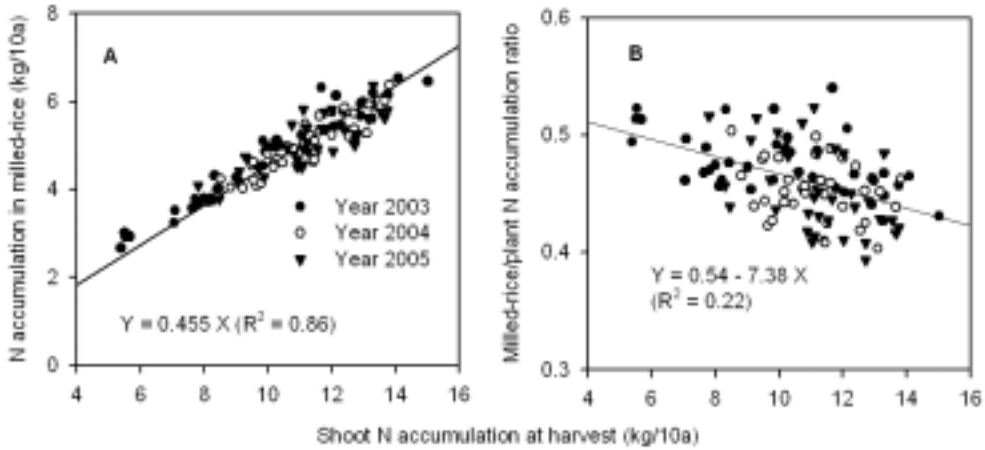


그림 6-30. 수확기 지상부 질소함량에 따른 단백질함량 및 지상부 대비 백미 단백질함량비 변화

다. 군락반사 PLS 모델에 의한 생육예측에 근거한 가변수비처방

앞선 '01 ~ '02년 연구에서와 마찬가지로 유수분화기 생육과 질소영양상태에 따른 가변 질소 수비 처리시 수량과 단백질함량의 반응에 대해서 '03년부터 '04년에 살펴보았다. 그 결과 유수분화기 질소함량과 수비시용량, 그리고 유수분화기이후 질소흡수량을 이용하여 다음과 같은 수량과 단백질함량의 반응식을 만들었는데(표 6-15), 모델의 결정계수는 0.73 이상으로 높게 나타났다.

표 6-15. 유수분화기 및 유수분화기 이후의 질소영양 특성에 따른 수량 및 단백질함량 반응식

Equations for yield, protein and PHNup prediction	R <sup>2</sup>
$PHNup = 3.31 + 0.692Npi + 0.678PNup - 0.105PNup^2$	0.82
$Yield = 75.4 + 82.57PNup - 2.96PNup^2 + 56.31PHNup - 1.92PHNup^2$	0.87
$Protein = 7.09 + 0.016PHNup^2 - 0.347PNup + 0.029PNup^2$	0.73

Npi : 유수분화기 질소시비량,

PNup : 유수분화기 지상부질소함량

PHNup : 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량

위의 표에서 구한 관계식을 이용하여 2005년 자료를 가지고 calibration과 validation을 하여 예측한 결과는 아래의 그림 6-31과 같다.

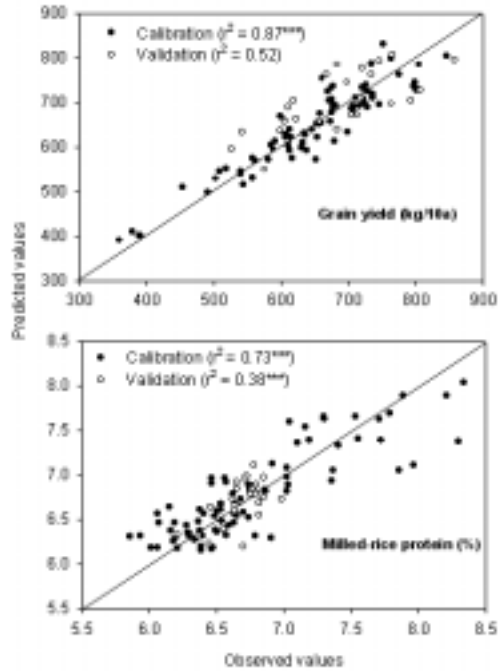


그림 6-31. 수량 및 백미단백질함량의 실측치와 예측치(표 6-15이용) 비교

수량은 1:1 line에 근접하였지만 단백질함량은 수량에 비해 다소 정확도가 낮았는데 (그림 6-31), 이는 수량에 가장 크게 영향을 주는 sink size는 유수분화기 질소영양상태와 질소흡수량에 의해 어느 정도 결정되지만, 단백질함량은 등숙기간중의 기상상황과 회수율에 따라서 매우 유동적이기 때문이다.

가변 수비 처방을 하기 위해서는 군락반사율로 유수분화기 질소 영양상태를 정확하게 파악하여야만 하는데, 실제 모델에 사용된 군락반사로 예측된 질소흡수량과 실제 질소흡수량을 비교해 본 결과(그림 6-32) 결정계수가 매우 높은 상관관계를 보여 모델에 충분히 사용가능하리라 판단된다.



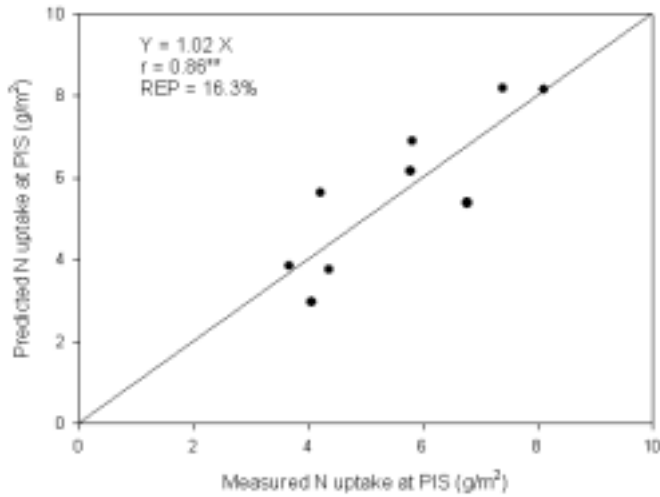


그림 6-32. 유수분화기 질소흡수량의 실측치와 군락반사에 의해 예측된 질소흡수량 비교

라. 벼 유수분화기 SPAD 측정값과 생체중을 이용한 가변수비질소처방

앞선 실험('01~'02)에서는 유수분화기 군락반사율중의 RVIgreen과 SPAD 측정값으로 가변 시비 처방을 할 수 있는지를 검토하였다. 앞선 연구에서는 군락반사로 측정하는 것이 SPAD 값보다 좀 더 정확하다는 결론을 얻었다. 그러나 아직까지 우리나라에 적합한 시비진단기기가 개발되어 있지 않은 상황이기 때문에, 현재 우리나라 현실에서 가장 손쉽게 사용할 수 있는 벼 유수분화기 SPAD 측정값과 생체중을 이용한 가변수비 질소 처방에 대해서 살펴보았다.

유수분화기 SPAD값과 생체중에 따른 가변수비시의 수량 및 단백질함량의 반응모델을 나타낸 것이 표 6-16이다. 모델의 결정계수는 0.85 이상으로 매우 높았다. 반응모델식을 calibration과 validation을 통해서 정확도를 검증하였는데, 대체적으로 1:1 line에 근접하였고, 수량에 대한 추정치가 높게 나타났다(그림 6-33).

표 6-16. 유수분화기 SPAD값과 생체중에 따른 수량과 단백질함량 반응모델

Model equations (n = 66)	R <sup>2</sup>
$\text{Grain yield (kg/10a)} = 59.03 + 54.5N_{pi}^a - 4.85N_{pi}^2 + 0.338PFW - 7.75 \times 10^{-5}PFW^2 + 6.24PSPAD \quad (\text{Eq. IV-3})$	0.85
$\text{Protein}^b = 6.47 + 0.112N_{pi} + 0.0115N_{pi}^2 - 0.00133PFW + 3.09 \times 10^{-7}PFW^2 + 0.035PSPAD \quad (\text{Eq. IV-4})$	0.87

N<sub>pi</sub> : 수비시용량(kgN/10a)

PFW : 유수분화기 생체중(g/m<sup>2</sup>)

PSPAD : 유수분화기 SPAD값

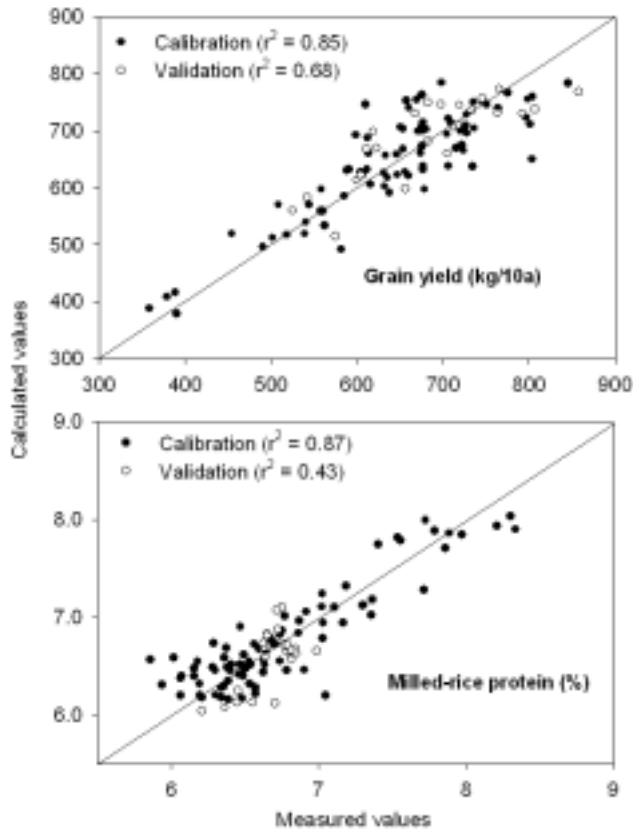


그림 6-33. 수량과 단백질 모델(각각 Eq. IV-3과 Eq. IV-4)의 정확도 검증

최근 우리나라의 고품질 쌀의 단백질함량에 대한 기준마련이 시급히 대두되고 있는 시점인데, 앞선 '01 ~ '02년 연구에서는 7.0%를 기준으로 삼았지만 본 연구결과 6.8%가 기준으로 적합한 것으로 나타났다. 따라서 백미단백질함량 6.8%를 기준으로 유수분화기 SPAD값과 생체중 조건에 따른 질소시비량 결정모델을 구하여 등치선 반응을 살펴본 결과(그림 6-34), 생체중이 많고 SPAD 수치가 높을 경우에는 다소 낮은 질소시

비량을 나타내었다. 또한 생체중이 2000 ~ 2200(g/m<sup>2</sup>) 이상에서는 과도한 질소시비량이 백미의 단백질함량이 높이는 결과를 보였기 때문에 수비시비량은 다소 적어져야만 하는 것으로 판단되었다.

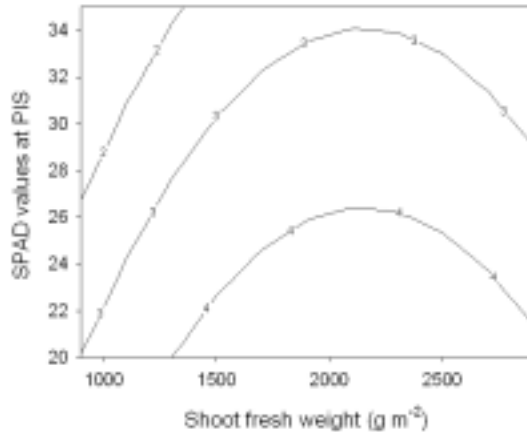


그림 6-34. 목표 단백질함량을 6.8%로 할 경우 유수분화기 생체중과 SPAD값에 따른 수비질소 요구량 변화

유수분화기 생체중과 SPAD값을 이용한 가변수비처방모델을 사용하여 가변수비 처리시 수량과 단백질함량의 공간적 변이를 살펴보았다(표 6-17).

표 6-17. 고정 수비시용량과 가변 수비시용량 처리시 수량과 단백질함량의 통계량 변화

Tillering N (kg/10a)	Panicle N treatment	Grain yield (kg/10a)				Milled-rice protein content (%)			
		Mean	CV (%)	Min	Max	Mean	CV (%)	Min	Max
0	No N	525.4	6.5	486.8	550.4	6.55	2.3	6.44	6.72
0	FRT	618.4	8.3	559.6	656.3	6.65	6.2	6.27	7.09
0	PRT	622.9	10.1	575.6	694.7	6.65	1.4	6.59	6.75
3.6	No N	542.2	9.3	492.5	592.8	6.36	5.0	6.02	6.65
3.6	FRT	667.8	5.3	627.7	695.3	6.64	5.9	6.22	7.01
3.6	PRT	697.7	4.5	673.3	733.1	6.77	3.8	6.58	7.07
7.2	No N	604.2	11.9	524.0	661.5	6.45	3.1	6.25	6.65
7.2	FRT	682.6	1.3	675.7	692.4	6.84	3.4	6.71	7.10
7.2	PRT	745.8	2.1	731.2	762.4	6.79	2.2	6.68	6.96
Pooled	No N	557.2	10.6	486.8	661.5	6.46	3.3	6.02	6.73
	FRT	656.3	6.6	559.6	695.3	6.72	4.6	6.23	7.10
	PRT	688.8	9.4	575.6	762.4	6.74	2.5	6.58	7.07

고정 수비처리(FRT)에 비해 가변 수비처리시(PRT) 분얼비 시용량에 관계없이 수량이 다소 증가하였으며 변이계수 또한 다소 증가하였다. 단백질함량은 고정 수비처리에 비해 가변 수비처리시 다소 증가하거나 감소하는 등 큰 차이가 없었고, 대신 변이계수는 크게 감소하여 공간적 변이가 크게 줄어들었다.

화성벼를 대상으로 백미 단백질함량 6.8% 기준 수비 질소처방시 유수분화기 생체중 및 SPAD값과 수확기 수확기 질소함량과의 관계를 살펴보았는데(그림 6-35), 아래와 같은 관계식이 도출되었다. 유수분화기 생체중은 수확기 지상부 질소함량보다는 수량과 더 밀접한 관련이 있었으며, SPAD값은 수량보다는 수확기 지상부 질소함량과 더 밀접한 관련을 나타내었다.

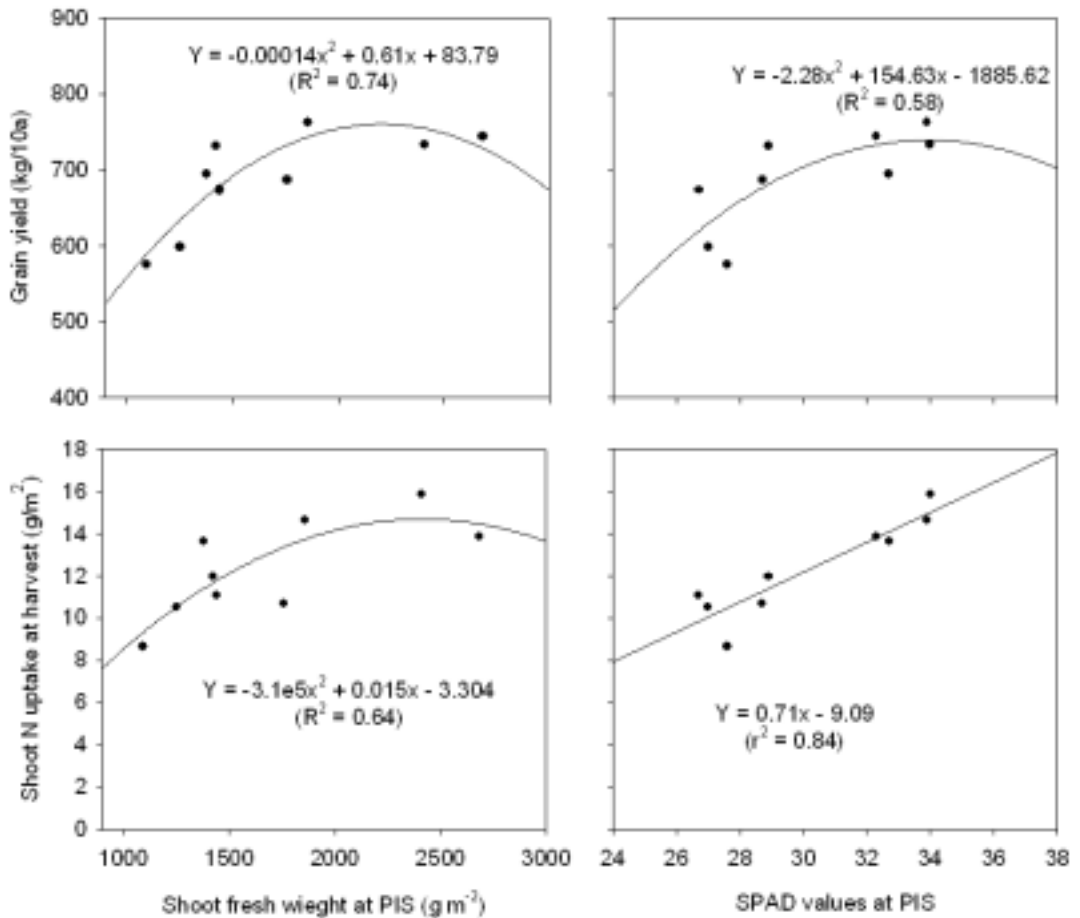


그림 6-35. 목표 단백질함량을 6.8%로 설정하여 질소 수비처방을 할 경우 수비 처방시 지상부 생체중 및 SPAD값과 수확기 수량 및 질소흡수량과의 관계

## 제 5절 종합고찰

“적기, 적소, 적량”에 대한 정밀 시비처방은 정밀농업의 핵심이다. 벼의 유수분화기는 수량 및 단백질함량과 가장 밀접한 관련이 있으며, 벼의 수량이나 단백질함량을 변화시킬 수 있는 가장 마지막단계이기 때문에 유수분화기 수비질소 정밀처방이 본 연구의 핵심이다.

필지내 공간적 변이의 가장 큰 요인은 토양의 이화학적 특성이며, 토양의 이화학적 특성에 기반하여 나타나는 결과물은 작물의 성장량이나 질소영양상태이기 때문에 본 연구는 크게 토양의 이화학적 특성에 기반한 가변수비처방과 작물의 성장량이나 질소영양상태에 따른 수비처방으로 나누어 살펴보았다.

토양의 이화학적 특성중에서 가장 수량에 밀접한 관련이 있는 요인들을 살펴본 결과, 수량은 어느 특정한 한 성분이 결핍될 시에 수량이 크게 감소하는 최소율의 법칙에 적용을 받았으며, 그 중에서도 가장 큰 요인은 토양내 점토함량과 유기물함량, CEC, 토양총질소 등으로 나타났다. 따라서 비파괴적으로 토양내 이화학적 특성을 조사할 경우 이들 요인이 가장 중요하다고 판단되었으며, 향후 비파괴적 진단기기 개발시 이들 요인을 충분히 고려해야만 된다고 판단된다.

토양 필지내 공간적 변이는 너무 많은 요인에 의해 영향을 받고 연차간에 달리 나타나기 때문에 이러한 공간적 변이를 해석하는 것이 가장 어려운데, 본 연구에서는 이러한 필지내 공간적 변이를 boundary line 모델과 생육모델을 이용하여 해석하였다. 또한 토양내 이화학적 특성을 기반으로 가변시비 처리를 했을 경우에 나타나는 작물 생육과 수량을 실측치와 비교하였는데 약 50% 이상의 변이를 설명할 수 있었다. 토양의 이화학적 특성과 유수분화기 작물생육을 기반으로 가변시비 처방을 하였는데, 수량은 증수되었고 공간적 변이는 줄어들었지만, 백미 단백질함량은 증가하였다.

토양내 이화학적 특성은 결국 작물생육으로 나타나고, 토양의 비옥도가 높다고 해도 생육이나 수량 또한 반드시 높은 것이 아니며, 또한 기비나 분얼비 등의 비배관리에 더 큰 영향을 받기 때문에 작물 생육 및 질소영양상태를 기반으로 가변 시비처리 하는 것이 더 효과적이다. 그러나 유수분화기 벼 생육 및 질소영양상태를 추정하는데에는 많은 시간과 노력이 들기 때문에 본 연구에서는 유수분화기 벼 생육 및 질소영양상태를 비파괴적으로 신속히 추정할 수 있는지를 검토하고 이를 토대로 가변수비시 벼의 수량이나 단백질함량의 변이를 살펴봄으로써 이를 모델로 만들고 검증하였다.

'01~'02년 실험에서는 유수분화기 벼의 성장량을 다양하게 만들고 이를 군락반사와 SPAD값으로 추정할 수 있는지를 살펴본 결과 충분히 추정할 수 있음을 알게 되었다. 군락반사에서는 RVIgreen이 유용한 지표로 밝혀졌으며, SPAD값은 유수분화기 전후해서는 질소영양상태에 따라 큰 변화가 없어 사용이 가능했으나 영양생장기 전반에 걸쳐

사용하기는 어렵다는 결론을 얻었다. '01~'02년 실험에서는 단지 화성벼만을 공시하였기 때문에 '03~'05년 실험에서는 4개의 벼 품종을 대상으로 균락반사를 측정하여 효용성을 살펴보았는데, 가시역부터 REP 영역까지는 품종간 차이가 없었으나 750nm 이상에서는 품종간 차이가 다소 있었다. 모든 과장대 대신에 몇 개의 과장대로써 작물의 생육이나 질소영양상태를 정확하게 추정할 수 있는지를 살펴보기 위해서 생육 및 질소영양 특성치와 과장대와의 상관관계를 살펴보고, 이를 통해 RMSEP와 REP의 PLS 회귀모델을 만들어 검증한 결과 약 80%의 변이를 설명할 수 있었다. 따라서 본 연구 결과를 바탕으로 시비 진단처방이 가능한 진단기기 개발을 추진하러 한다.

유수분화기 생육 및 질소영양상태별 수비시용량에 따른 수량 및 백미 단백질함량 반응을 5개년에 걸쳐서 살펴보았다. 그러나 시비질소회수율, 천연공급량 및 기상조건에 따라서 실제 벼가 흡수하는 질소량은 크게 달라질 수 있기 때문에 수비시용량에 따른 모델로 추정하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 많은 타 연구자들이 생각하지 못한 유수분화기 수비시용 이후 수확기까지의 질소흡수량을 이용하여 다양한 모델을 작성하였고, 이를 통해 시비진단 처방을 하였다. 연구 결과 벼의 수량은 영양생장기 질소흡수량이나 생식생장기 질소흡수량 어느 하나 보다는 생육 전반기에 걸친 질소흡수량에 의해 결정되는 것으로 나타났다. 수비시용시기는 지금까지 출수전 25일이 보편적으로 사용되고 있는데, 수비무시용시에는 출수전 30일, 수비시용시에는 출수전 27일이 수량이 가장 많았다.

수량은 연차간에 변이가 다소 적어 총 질소흡수량이 증가할수록 수량 또한 직선적으로 증가하였고, 백미 총 질소함량 또한 직선적으로 증가하는 경향을 보였으며, 식물체 총 질소흡수량의 약 38%가 이삭으로 전류되는 것으로 나타났다. 그러나 백미 단백질함량은 총 질소흡수량과 반드시 직선적인 관계를 보이지 않았는데, 이는 sink size와 등숙률, 천립중 등 수량구성요소의 변이가 등숙기 기상상태에 따라서 다소 달라지기 때문으로 판단된다.

'01~'02년 연구에서는 유수분화기 및 유수분화기 1주일전 RVIgreen과 SPAD 측정치, 그리고 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량을 기준으로 수량 및 백미 단백질함량 반응모델을 만들었는데, 유수분화기 1주일전의 측정치로도 시비진단이 가능할 것으로 나타났다. '03~'05년 연구에서는 RMSEP와 REP의 PLS 모델을 이용해서 이를 좀 더 구체화 시켰으며, 우리나라 환경에 맞게 유수분화기 SPAD값과 생체중을 이용해서 시비진단이 가능한 모델을 만들고 이를 검증한 결과 약 70%의 변이를 설명할 수 있었다.

지금까지 토양을 기반으로 한 가변시비 처방과 벼의 생육 및 질소영양 특성치를 기반으로 한 가변시비 처방에 관한 모델을 만들고 이를 검증하였는데, 수량 및 단백질함

량 반응은 유수분화기 이후의 질소흡수량에 의해서 크게 좌우되는 것으로 나타났으며, 수량을 기준으로 가변수비 처방할 경우 백미의 단백질함량은 높아질 수 있기 때문에 가변수비 처방은 백미의 단백질함량을 기준으로 해야 될 것으로 판단되었다. 또한 유수분화기 이후의 등숙기 기상상황에 의해 수량과 단백질함량은 크게 좌우될 수 있기 때문에 향후 정확도 향상을 위해서는 등숙기 기상모델에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

## 참고문헌

1. Anh Tuan Nguyen. 2005. Spatial yield variability and site-specific nitrogen prescribing for the improved yield and grain quality of rice. A dissertation for the degree of doctor of philosophy in Seoul National University.
2. Cui, R.X. M.H. Kim, J.H. Kim, H.S. Nam, and B.W. Lee. 2002. Determination of critical nitrogen concentration and dilution curve for rice growth. Korean Journal of Crop Science. 47:127-131.
3. Delin, S. and B. Lindén, 2002. Relations between net nitrogen mineralization and soil characteristics within an arable field. Acta Agr. Scand. 52: 7885.
4. Delin, S.B. and K. Berglund, 2004. Yield and protein response to fertilizer nitrogen in different parts of a cereal field: potential of site-specific fertilization. European J. of Agron., In Press,
5. Demotes-Mainard, S., and M.H. Jeuffroy. 2001. Partitioning of dry matter and nitrogen to the spike throughout the spike growth period in wheat crops subjected to nitrogen deficiency. Field Crops Research 70:153-165.
6. Diker, K., and W.C. Bausch. 2003. Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen. Biosystems Engineering 86(4):411-420.
7. Hansen, P.M., and J.K. Schjoerring. 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. Remote Sensing of Environment 86:542-553.
8. Hung T. Nguyen and Byun Woo Lee. 2004. Selection of the most sensitive waveband reflectance for normalized difference vegetation index(NDVI) calculation to predict rice crop growth and grain yield. Korean Journal of Crop Science. 49:394-406
9. Hung The Nguyen. 2006. Development of a non-destructive method for assessing N-nutrition status of rice plant and prescribing N-fertilizer rate at panicle initiation stage for the target yield and protein content of rice. A dissertation for the degree of doctor of philosophy in Seoul National



University.

10. Islam, N., S. Inanaga, N. Chishaki, and T. Horiguchi. 1996. Effect of N top-dressing on protein content in Japonica and Indica rice grains. *Cereal Chem.* 42:225-235.
11. Kahabka, J.E., H.M. Van Es, E.J. McClenahan, and W.J. Cox. 2004. Spatial analysis of maize response to nitrogen fertilizer in central New York. *Precision Agriculture* 5: 463-476.
12. Kropff, M.J., K.G. Cassman, H.H. Vanlaar, and S. Peng. 1993. Nitrogen and yield potential of irrigated rice. *Plant Soil.* 156:391-394.
13. Li, R.G., J.Z. Fan, K.W. Wang, and J. Shen, 1991. The development of fertilization models for rice. In: *Present and Future of Soil Sciences in China.* Science and Technology Press, Soil Science Society of China, Jiangsu, pp. 118-121.
14. Perez, C.M., B.O. Juliano, S.P. Liboon, J.M. Alcantara, and K.G. Cassman. 1996. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. *Cereal Chem.* 73:556-560.
15. Piekielek, W.P., R.H. Fox, J.D. Toth, and K.E. Macneal. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy J.* 87:403-408
16. Piekielek, W.P., R.H. Fox, J.D. Toth, and K.E. Macneal. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy J.* 87:403-408.
17. Sasahara, T., and Y. Itoh. 1989. Comparison of the effect of fertilizer application at and after the stage of panicle-base initiation on yield and yield components of semi-dwarf and standard rice cultivars. *Field Crops Research.* 20:157-164.
18. Schnier, H.F., M. Dingkuhn, S.K. De Datta, K. Mengel, and J.E. Faronilo. 1990. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth, and yield. *Crop Sci.* 30:1276-1284.
19. Shen, J., R. Li, F. Zhang, J. Fan, C. Tang, and Z. Rengel, 2004. Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil. *Field Crop Research* 86:

- 225-238.
20. Takebe, M., and T. Yoneyama. 1989. Measurements of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. JARQ 23:86-93.
21. Takebe, M., and T. Yoneyama. 1989. Measurements of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. JARQ 23:86-93.
22. Verhagen, J., H.W.G. Booltink and J. Bouma, 1995. Site specific management: balancing production and environmental requirements at farm level. Agric. Sys. 49: 369-384.
23. 김민호. 2004. 벼 유수분화기 질소영양 및 생육 상태의 비과괴적 진단에 의한 질소 수비량 결정에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
24. 김준환. 2001. 벼의 한계질소농도 구명 및 군락반사율에 의한 질소영양상태 추정연구. 서울대학교 석사학위논문.
25. 농촌진흥청. 1993. 벼 직파재배기술.
26. 손종록, 김재현, 이정일, 윤영환, 김제규, 황흥구, 문헌팔. 2002. 쌀의 품질평가 현황과 금후 연구방향. 한국작물학회지 47:33-54
27. 조동삼 외 14인 공저. 1995. 벼의 생리와 생태. 향문사
28. 홍석영. 1999. 원격탐사 자료를 이용한 벼 생육정보 분석 및 재배면적 추정. 경북대학교 박사학위논문.

## 제 7장 종합결론

본 연구는 수도작에서 벼의 수량은 같은 수준에서 생산하되 환경의 부담을 줄이기 위하여 토양, 생육, 수확량정보를 수집하여 GPS/GIS를 기반으로 꼭 필요한 위치에 꼭 필요한 농자재를 처방할 수 있는 친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업 시스템을 개발하는 목적으로 수행되었으며 구체적인 연구결과는 다음과 같다.

### 1. 토양분석용 시료 채취기 개발 및 분석 기술 확립

시료 채취를 위한 장치는 트랙터 장착형과 휴대형으로 나누어 개발하였으며, 수직 다점 채취방식인 트랙터 장착형 시료채취기는 깊이 20cm 까지 114cc의 시료를 1분이내에 채취하도록 하였으며, 족답식 수동관입 장치를 가진 휴대형 시료채취기는 100cc 표준 시료채취원통에 시료를 충전하여 라벨링을 완료하는데 까지 약 1분 30초 정도가 소요되었다.

트랙터 장착형 토양 시료 채취기는 토양 경도와 토양 EC를 동시에 측정할 수 있도록 설계되었으며, 휴대형 토양 시료 채취기는 센서 프로브를 교체 장착 함으로 토양 경도와 EC측정이 가능한 구조로 개발하였다.

트랙터 후방부착 토양시료채취 및 토양의 경도측정시스템을 설계제작하여 시험한 결과; 시료 채취장치가 트랙터 운전자에 의해 계획된 지점으로 이동하여 지면에 고정된 후 장치 조작자가 유압 핸들을 조작하여 시료 채취 프로브가 토양중에 관입하여 프리스틱 채취원통에 시료를 충전하여 지상으로 복귀할 때까지 걸리는 시간은 25~30초 정도가 소요 되었으며 토양경도에 따라 큰 차이가 나타나지는 않았다. 시료 채취원통 담겨지는 토양의 충전상태는 토성과 함수율에 따라 약 30%~100%의 범위로 큰 차이를 나타냈으며, 함수율이 10%이하의 건조한 사질토양의 경우 프로브가 복귀하는 동안 원통속의 채취된 시료가 다시 토양속으로 떨어져 시료 충전율이 30%이하가 되는 경우도 발생하였다.

토양 경도측정 시험경과는 수동형 원추 관입기의 일종인 SR-2경우에는 사용자에게 따라 관입 속도, 측정치 판독 등이 일정하지 않기 때문에 측정 오차가 크고, 측정에 많은 시간이 소요되는 단점이 있고 이에 따른 오차의 수준도 더욱 커질 가능성이 있지만 관입 깊이에 따른 원추지수의 변화는 시작기와 SR-2 모두가 유사한 경향을 나타내었음. 따라서 시료채취 지점의 토양특성을 판단하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단되었다.

트랙터 장착형과 휴대형 토양 시료 채취기 모두 GPS 수신 장비로부터 위치정보를

얻을수 있도록 하고, 토양 경도 및 토양 EC에 대한 정보를 위치정보와 함께 전용의 컴퓨터에 저장 될 수 있도록 하고 데이터가 라벨로도 출력되어 샘플에 부착되도록 설계 제작되었다.

한 포장내에서 작물생육에 영향을 미치는 이화학 성분들의 공간변이를 해석하여 적정 샘플링 밀도를 파악하여 시료채취장치의 설계기준 및 운용방법에 대한 기본자료를 얻기위해 공간통계학적 해석모형을 이용하여 최소 샘플링 밀도의 결정기법을 개발하고 개발된 모델의 유용성을 실제 포장성분 조사를 통해 검증하였다.

개발한 토양시료 채취시스템의 경제성을 분석한 결과 휴대형 토양시료 채취기를 이용할 경우 관행의 인력식 토양시료채취기에 비해 작업능률은 16%이상 향상되고 소요비용의 상승은 거의 없는 것으로 나타나 시료채취간격이 멀거나 포장단위의 시료채취에 매우 유용하게 이용할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 기존의 인력식 채취기는 손의 힘만을 이용하여 채취하도록 한 구조인 반면 시작기는 발의 힘을 이용하여 채취부가 토양속을 관입하도록 하여 채취자의 작업피로가 적고 장시간 작업도 가능하였다

트랙터 부착형의 경우 관행의 시료 채취작업에 비해 약 34%정도 작업능률이 향상되었으나 소요비용이 4.4배나 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 비용증가의 원인은 관행 인력 시료 채취도구들이 매우 저가인 반면, 유압동력을 이용하도록 트랙터 부착 작업기로 설계된 시작기는 제조원가가 상대적으로 고가이고 이에 따른 고정비 및 유동비가 상승하여 소요 비용이 증가하는 것으로 파악되었다. 그러나 짧은 간격으로 다량의 시료를 채취할 경우는 인력으로는 한계가 있으므로 기계식 시료채취장치의 사용은 불가피하다 할 수 있다.

## 2. 실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정시스템 개발

자탈형 콤바인 부착용 수확량 모니터링 시스템을 개발하기 위해 각 구성센서들에 대한 단위기술들의 개발과 통합보더의 개발, 운영 프로그램의 개발 그리고 주변기기들의 개발하여 포장 성능시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

자탈형 콤바인용 곡물 유량 측정 센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

○ 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 유량을 계측할 수 있는 곡물 유량 측정 센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과 곡물 저장통에 배출된 곡물 총량과 측정한 실제값과 결정 계수가 0.9949로서 아주 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차는 11.1kg으로서 수확 작업시 포장내 위치별 벼의 수량을 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.

○ 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 총 양을 계측할 수 있는 곡물 총량계측센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과, 곡물 총량 계측 센서의 출력신호와 실제 곡물질량과의 관계가 결정계수로 0.998을 보였으며, 검량선 표준오차는 4.09kg을 보여 포장시험을 실시한 결과, 예측 곡물총량과 실측 곡물

총량과의 관계가 결정계수로 0.999를 보였으며, 예측표준오차는 4.46kg, 편이는 -1.93kg을 보였다. 따라서, 이 방식을 이용한다면 곡물의 총량을 계측할 수 있을 것으로 판단되었다.

- 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확 동시 곡물의 수분을 계측할 수 있는 곡물 수분 계측센서를 개발하여 기초시험을 실시한 결과, 곡물 수분과 센서 출력값과는 높은 상관관계를 보였으며, 곡물온도가 20℃에서 시험한 결과를 살펴보면, 결정계수의 범위가 0.994 ~ 0.998의 높은 상관관계를 보였으며, 검량선 표준오차를 살펴보면 0.256 ~ 0.446으로서 높은 정밀도를 보였다. 개발한 곡물 수분 계측센서 모델검증을 위하여 실제 측정한 곡물 수분과 예측한 곡물 수분과는 높은 상관관계를 보였으며, 결정계수 범위가 0.986 ~ 0.997을 나타냈으며, 예측표준오차는 0.394 ~ 0.659%를 나타내었으며, 편이는 -0.180 ~ -0.154%를 보였다. 따라서, 개발된 센서를 콤바인에 부착하여 포장시험을 실시한 결과, 실제 측정한 곡물 수분과 개발한 센서로 측정한 값 사이에 결정계수가 0.9065를 보였으며 예측표준오차는  $\pm 0.73\%$ 를 보였으며, 편이는 0.05%를 보여 포장내·포장별 곡물의 수분 변이를 수확과 동시에 측정 가능함을 나타낸 것으로 판단되었다.
- 수량정보 계산을 함에 있어서 필요한 곡물 유량 계측 센서, 곡물 총량 계측 센서, 곡물 수분 계측 센서, 작업유무 검출 센서, 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 GPS 등을 메인으로 하는 장치와 각 센서들의 원활한 동작을 위한 주변 장치 등의 신호를 통합적으로 입력받고 처리할 수 있는 통합 보더를 작성하였다. 속도센서, 데이터 수집, 처리, 저장 및 가시화 장치 그리고 작업유무 검출센서 등을 개량하거나 개발하여 본 시스템이 원활하게 동작될 수 있도록 하였다. 그리고, 수확량 모니터링 시스템을 운영하기 위해 필요한 운영 프로그램의 주요 모드는 보정모드, 포장정보입력모드, 수확모드, GPS 및 센서모드 등 5개의 모드로 표현할 수 있었다. 이 시스템을 이용하여 포장시험을 실시했을 때 수량 측정 오차는 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 2.3%의 오차를 보여 높은 정밀도를 보였으며, 수분 정보도 포장에 따라 다소 차이는 있었지만 최대 0.2%의 오차를 보였다. 끝으로 수확과 동시에 수확정보를 수치와 지도로 가시화 할 수 있었으며, 필지내 수확량 변이를 포장에서 확인할 수 있었다.

### 3. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성 기법 개발

#### 가. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석

포장의 수확작업 시 구획별로 샘플을 획득하여 수분함량을 측정한 후 수분함량 보정전과 보정후의 수량을 비교 분석하고, 수분함량과 수확량에 대한 비교 분석과, 수

분함량 지도를 작성하여 수확량 지도와의 비교를 통해 수분함량과 수확량간의 관계를 조사해본 결과 정확한 수확량 지도 작성을 위해서는 샘플링 간격을 최소화 하는 것이 효과적일 것이나 콤바인의 예취 폭과 포장면적을 고려하여 조절해야 할 것이다. 수확량 정보 통계시의 한 구획의 넓이는 포장 면적에 따라서 조절이 가능하겠지만 가로 세로 길이로 봤을 때 5m이상 15m이하가 적당할 것으로 판단되었다.

수분함량은 한 포장 내에서의 변이가 큰 편은 아니었고 공간의존성도 크게 나타나지 않았다. 그러나 포장간의 변이는 수확 전의 기상상황에 따라서 차이가 나타나게 된다. 수분함량 자체의 포장 내 변이가 크지 않으므로 수확량의 공간의존도에 대한 변화는 크지 않았다.

#### 나. 수확량 모니터링 센서에 기초한 수확량 지도 작성 기법 개발

Sensor-based map 작성을 위해서 우선 수확량 모니터링 시스템을 통한 수확량 정보 획득을 하였다. 수작업을 통한 수분함량 보정을 위해서 각 구획별로 일정량의 곡물을 샘플링 하여 건조법을 이용해 수분함량을 측정하였다. 그 후 각종 소프트웨어를 이용해 보정 후 지도를 작성하였다.

단위시간당의 곡물유량과 진행속도, 예취 폭을 통해 단위 면적당의 수량이 얻어지고 이를 수분보정을 통해 정조 수량을 얻을 수 있다. 그러나 초기 수확량 정보는 수많은 점 data로 이루어지게 되므로 지도 작성을 위해 다시 정리가 필요하다. 우선적으로 콤바인이 예취작업을 진행하게 될 경우 예취 후부터 유량센서까지 도달하게 될 때까지 나타나는 시간차를 보정하고, 예취 폭이 일정하지 않기 때문에 나타나게 되는 오차를 보정해야 하며, 유량이 거의 0에 가깝게 나타나게 되면 수확량 정보의 보정 시에 유의 수준 이하의 값을 제거해 보정해 준다.

#### 4. 농약 및 비료 변량제어 시스템 개발

논용 승용 관리기 후방에 부착할 수 있도록, 송풍식으로 붐대를 이용하여 입제를 살포하는 시스템을 설계개발하였으며. 작업기의 구성은 원동기, 호퍼, 붐 장착 프레임, 입제 배출 장치, 송풍기, 좌·우·중앙 붐과 분두, 시스템 제어박스, GPS 및 레디도 주파수 수신기, 데이터 처리 컴퓨터로 구성된다.

작업기의 살포 폭은 10m이며, 시비 지도의 최소 셀(cell)의 크기는 10m×10m로 결정한다. 시비 작업에서 10cm 간격의 비료 배출 균등도는 10% 이내를 목표로 하며, 이는 분두의 수, 분두 간 거리, 분관 내의 충돌판의 관입 길이 및 분두의 높이와 비료의 물리적 특성을 바탕으로 최적 조건을 시스템에 적용하였다.

시스템 제어박스는 시비 지도를 바탕으로 GPS로부터 수신되는 위치 및 속도데이터를 수신하여 작업기의 실시간 위치와 속도에서 살포될 시비량을 결정하여 입제 배출 장치의 모터 회전수를 제어함으로써 입제 배출량을 제어하게 된다. 또한 각 위치에서 입제 배출 장치를 통해 배출된 비료의 양을 저장하여 실제로 각 위치에 뿌려진 비료의 양을 지도화 할 수 있도록 개발하여 시험한 결과 시비량은 5단계로 나누어 균등 시비

작업을 하게 되었다.

GPS로부터 수신되는 위치와 속도 신호의 오차를 계산하여 비교적 저속으로 시비 작업을 하게 되는 실제 환경에서 나타나는 신호의 오차율을 실험을 통해 분석하여 시스템 적용 가능성을 판단한다. GPS로부터 임의의 농지 윤곽 데이터를 획득하고 시비 지도를 적용하는 소프트웨어 프로그래밍을 통해 개발된 프로그램의 개발하였다.

작업할 포장정보 및 작업정보를 한 눈에 파악 가능하도록 모니터를 부착하여 시험한 결과 변량살포기의 핵심부인 공기운반 붐 살포에 적용할 분두를 개발되었고, 살포율의 변화에 크게 영향을 받지 않고 균등한 살포가 가능한 분두시스템을 개발하였다. 살포 실험을 통한 살포 균등도는 CV값이 15% 이내로 높은 살포 균등도를 보였다. 또한 변량제어기는 사용자의 편리를 도모하기 위해 완전 자동과 수동을 겸용 가능하도록 하였다.

#### 5. 벼 생육정보의 비파괴적 수집 및 가변시비처방기술 개발

토양특성 및 벼 생육상태의 공간적 변이를 고려한 가변시비처방 기술확립을 위하여 필지내 공간적 변이의 원인 구명 및 공간적 변이의 해석방법 개발하고 군락반사를 통한 유수형성기 벼 생육 및 질소영양상태의 비파괴적 측정기술 개발하여 유수형성기 벼 생육 및 질소영양상태별 목적하는 수량 및 미질을 위한 수비처방 모델 개발, 가변 수비처방 모델의 검증 및 효과를 분석한 결과는 아래와 같다.

- Boundary line 분석기법을 이용하여 공간적 변이의 해석기법을 개발하였고, 그에 따른 수량변이를 모델을 통해 살펴보았는데 약 50% 이상의 변이를 설명할 수 있었다. 또한 수량에 영향하는 토양내 요인을 검토한 결과 점토함량과 유기물함량, CEC, 토양총질소 등이 가장 중요한 요인인 것으로 파악 되었다.
- 토양 특성의 공간변이를 고려한 가변시비 처방을 한 결과 수량과 단백질 함량의 공간 변이를 크게 줄이고 또한 수량도 향상되는 결과를 얻었다. 수비 처방시 수량보다는 목표 단백질 함량을 기준으로 처방하여야 하는 것으로 파악되었다.
- '01~'05년의 5개년의 연구로 인해 군락반사로써 다양한 조건에 따른 벼 유수분화기 생육 및 질소영양 특성치를 비파괴적으로 측정할 수 있는 기반기술을 확보하였다.
- 유수분화기 다양한 생육 및 질소영양 상태별 질소시비량에 따른 수량 및 단백질함량 반응을 실제 작물이 흡수한 질소흡수량을 기준으로 검토하여 추정정확도와 그 효율성을 극대화 하였으며, 이를 모델로 만들고 검증하였다. 만들어진 모델의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 대체로 0.9 이상으로 매우 높았다. 이 모델들은 증생종벼에 대하여 시비 처방에 활용할 수 있을 것으로 보이며, 조생종과 중만생 내지 만생종에 대한 검토가 더 필요하다고 판단되었다.

- 유수분화기 및 유수분화기 1주일 전의 RVIgreen 및 SPAD 측정치에 대한 수량과 단백질함량 반응모델 유수분화기 지상부 질소 함량 및 생식생장기 질소흡수량에 대한 수량 및 단백질함량 반응 모델, SPAD값 및 생체중에 대한 수량과 단백질함량 모델을 작성하여 이를 검증하였다. 이들 반응 모델 식을 이용하여 목표 단백질을 얻기 위한 가변 수비처방을 한 결과 단백질함량이 목표치에 매우 가까웠을 뿐만 아니라 단백질 함량의 공간 변이를 줄여서 품질이 균질화 되었고, 수량도 향상 되었다.

## 제 8장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1절 목표달성도

본 연구는 작물과 토양환경 정보로부터 화학비료와 농약사용량을 감축하여, 농업생산량을 줄이지 않고 환경오염을 최소화하는 친환경 수도작 정밀농업 변량형 농작업시스템을 개발하고자 했다

정밀농업의 기술적 단계는 크게 3가지의 단계로 나누어 볼 수 있는데 첫 번째는 정보의 취득과 처방이 인력과 경험에 의존하는 관행농업과 유사한 초보적 정밀농업 기술 단계이며, 두 번째는 체계화 되지는 않았지만 개별적인 IT도구들을 활용하여 정보의 취득과 처방에 센서와 컴퓨터가 활용되는 단순한 모형의 정밀농업 기술단계, 세 번째는 정보의 취득과 처방에 이용되는 기계들이 지역형편이나 재배공정에 최적화 및 자동화된 고도 정밀농업 기술단계이다

본 연구는 두 번째 단계인 단순한 모형의 정밀농업을 우리나라에서 실현하는데 필요한 4개의 핵심기술 분야로 나누어 수행 되었다. 첫 번째 핵심기술 분야인 토양 분석용 시료 채취기는 힘든작업인 토양시료 채취공정의 기계화와 구조가 단순하고 간단한 조작으로 시료채취와 동시에 포장의 위치정보 및 토양 특성을 단기간 내 계량화 할 수 있도록 개발되었다. 두 번째 핵심기술 분야는 정밀 농업의 시비 의사결정과 처방을 위한 수확량정보를 제공할 수 있는 자탈형 콤바인에 부착 가능한 실시간 벼 수확량 모니터링 시스템을 개발하였다. 세 번째 핵심기술 분야는 토양의 공간적 변이를 파악하기 위한 방법을 강구하고, 군락반사를 이용하여 작물의 생육상태를 신속하고 비파괴적으로 측정할 수 있는 기술을 개발하며, 목적하는 수량과 목적하는 단백질함량을 위한 수비처방을 위해 벼 생육정보의 비파괴적 수집 및 가변시비처방기술 개발하였다. 네 번째 핵심기술 분야는 정밀 농업을 기반으로 하는 벼 재배에서 시비지도를 기반으로 작동되는 변량입제살포기를 개발하기 위해 살포 균등도가 고른 불형 입제 살포기와 시비지도 정보에 의한 제어되는 입제 배출기를 설계·제작하고, GPS 시스템을 도입함으로써 제작된 시스템의 위치 및 속도 정보를 추출할 수 있는 가변 시비 처방 기술개발 하였다.



그러나 본 과제를 통해 성공적으로 개발된 기술들은 정밀농업을 시작하는데 있어 필수불가결한 요소 이지만, 개발된 기술만을 적용하여 정밀농업적 농사 패러다임을 실현하는데는 한계가 있으며, 더욱이 수년이상이 소요되는 개발기술의 현장 적응능력이 검증되어야 기술보급이 가능하다. 특히 본 과제와 같은 영농시스템에 관한 연구는 핵심 기술 개발 이후에도 지속적인 현장적응연구와 농민의 새로운 요구를 수용한 시스템의 개선 보완과정이 필수적이다.

정밀농업은 우리나라가 당면한 농업문제 즉 농장의 규모화와 경쟁력 있는 영농시스템의 구축, 지속가능한 농업생산기반 유지를 위한 친환경 농업 패러다임, 농업인력의 감소와 경험적 농업지식 전수체계의 붕괴에 따른 사회적 지식공유체계의 필요성 증대와 같은 일련의 문제들을 해소할 수 있는 미래의 농업 패러다임이라 할 수 있다. 따라서 우리나라의 벼농사환경에서 정보의 취득과 처방에 대한 원리의 정립과 이론적 모델에 중점을 두어 개발된 본과제의 정밀농업 기술들은 후속연구를 통해 개발기술의 현장 적용시험과 시스템을 개량 발전시킴으로 성공적인 기술보급을 통해 한국형 정밀농업의 모델을 우리농업에 순조롭게 정착시키기 위한 노력이 필요하다.

## 제 2절 과제별 연구개발 목표의 달성도

1. 토양 분석용 시료채취기 개발 및 분석기술 확립 및 트랙터 부착형 토양 경도 측정시스템 개발

연 도	내 용	달성도
1차년도(2002)	○ 샘플러의 기계적 메카니즘 설계 ○ 토양 관입 장치 상세설계 ○ 토양 시료 추출장치 상세설계	100
2차년도(2003)	○ 토양시료 채취장치의 시작기 제작 ○ 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템 시작기 제작	100
3차년도(2004)	○ 채취시료의 마킹 및 저장 시스템 개발 ○ GPS 인터페이스 및 데이터 로깅 시스템 개발	100

2. 실시간 벼 수확량 모니터링 및 수분함량 측정 시스템 개발

연 도	내 용	달성도
1차년도 (2002년)	○ 계측방법에 대한 조사 및 장·단점 조사 ○ 유량 및 수분 계측 방법 도출 ○ 자탈형 콤바인에 최적의 독창적인 기술 개발	100
2차년도 2003년)	○ 시작 센서의 구조와 크기가 단순하고 소형으로 설계 ○ 자탈형 콤바인에 범용적으로 적용 가능성 제시 ○ 시작 센서의 평가 및 시작 센서의 문제점 도출	100
3차년도 (2004년)	○ 시작 센서를 이용한 포장시험 결과 측정방법 제시 ○ 개발 센서 산업체 기술이전 가능성 제시 및 포장시험 실시	100
4차년도 (2005년)	○ 품종별로 검량선을 작성 ○ 검량선을 확인 포장시험 및 시스템 도면화	100

### 3. 수확량 관련 정보의 공간변이성 해석 및 수확량 지도 작성기법 개발

연 도	내 용	달성도
1차년도(2002)	○ Manual-based Map의 공간변이성 해석 ○ 한계 수확량 변이의 공간 해석 ○ 곡물수분함량의 수량기여도 공간 해석	100
2차년도(2003)	○ 포장 적응시 Sensor 보정기법 개발 ○ Real time yield에 기초한 Contour Map 작성기법 개발	100
3차년도(2004)	○ 곡종별 Sensor 적합도 검정 ○ 벼 품종별 Sensor 적합도 검정	90

### 4. 농약 및 비료의 변량제어 시스템 개발

연 도	내 용	달성도
1차년도 (2002년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입제와 액제 제어기의 개념설계,</li> <li>○ 입제살포기 요인실험</li> <li>○ 입제살포기 설계</li> <li>○ 입제/액제 변량살포제어기 기초조사</li> </ul>	100
2차년도 2003년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입제살포기의 시작기 제작</li> <li>○ 시작기의 성능평가</li> <li>○ 입제와 액제 변량제어기 제작 및 실험실 성능평가</li> <li>○ 변량제어기 설계</li> <li>○ 의사결정 지원을 위한 데이터베이스설계</li> </ul>	100
3차년도 (2004년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입제살포기 평가(실험실 및 포장)</li> <li>○ 입제살포기의 성능개선</li> <li>○ 변량 살포기 통합</li> <li>○ 처방지도 통합</li> <li>○ 인터페이스 구축</li> <li>○ 데이터베이스 구축</li> </ul>	100
4차년도 (2005년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입제살포기의 성능개선</li> <li>○ 입제살포기 평가(포장)</li> <li>○ 변량제어기 시스템 완성</li> <li>○ 제어부 소형화 연구</li> <li>○ 의사결정 지원 시스템 구축</li> <li>○ 데이터베이스의 이용 확대를 위한 연구</li> </ul>	100

5. 벼 생육정보 비파괴적 수집 및 가변시비처방 기술 개발 및 토양의 이화학적 특성, 수량과 미질의 필지내 공간적 변이조사

연 도	내 용	달성도
1차년도(2002)	○ 필지내 공간적 변이조사와 생육모델을 통한 해석방법 개발 ○ 유수형성기 균락반사를 통한 비과과적 측정방법 개발 ○ 유수형성기 가변시비량에 따른 수량과 품질영향 평가	100
2차년도(2003)	○ 필지내 공간적 변이조사와 생육모델을 통한 가변시비 처방 기술 개발 ○ 유수형성기 가변시비량에 따른 수량과 품질영향 평가 ○ 가변 수비처방 모델의 개발 및 검증	100
3차년도(2004)	○ 모델에 의한 가변 시비처방의 효과분석 ○ 가변 시비처방의 경제성 및 환경오염 경감효과 분석	100

### 제 3절 관련분야에의 기여도

우리나라의 정밀농업기술에 대한 연구는 1990년대 후반부터 수행되었으나 체계적이고 종합적인 연구과제의 수행은 본과제가 시작이라 할 수 있으며, 토양, 작물 전문가와 농공학자, IT기술자 등의 유기적인 협력과 공동연구를 통해 한국형 벼농사 정밀농업 체계를 개발하는 계기가 되었다.

본 연구를 통해 관련분야에의 아래와 같은 기여를 하였다.

- 효율적인 토양정보의 수집과 분석기술, 생육정보 계측기술, 실시간 수량의 예측 기술 등 정밀농업의 기술을 독자 개발함으로써 미래 농업에서 농업선진국과의 경쟁력 제고에 기여.
- 포장정보 검출센서와 농작업기계와의 통합시스템을 구성함으로써 단순한 한가지 작업만 가능했던 농기계가 포장정보를 수집할 수 있는 기능을 가진 IT농기계로의 재탄생의 기틀을 확립하는데 기여.
- 변량시비기의 개발을 통해 우리나라와 같은 소규모 포장 및 고품질 쌀 생산단지에서도 토양정보에 기초한 비료의 변량처방이 가능해져 비료 사용량 감소로 인한 농업의 환경부담 경감과 농민의 소득향상에 기여.
- 본 연구에서 개발된 정밀농업 모델은 앞으로의 농업생산체계 재구성에 있어서 기초 기술 확립 및 자료를 제공하는데 기여를 하였으며, 포장정보의 검출기술과 변량처방기계 기술은 농산물의 품질 안전성의 확보와 고품질화에 기여하여 가격경쟁력을 제고하는데 기여.

## 제 9 장 연구개발결과의 활용계획

우리나라 수도작 중심에 적합한 친환경 정밀농업 변량형 농작업시스템을 개발함으로써 정밀농업에 대한 기반기술 확보와 IT의 농업기계 적용을 통해 복합형 농작업기계의 개발에 한층 가속도가 붙었다. 또한, 관련 기술의 국산화를 촉진하여 우리나라 농업환경 및 작업조건에 적합한 정밀농업기계의 자체설계 능력과 제작기술을 확보하였다.

현재, 고품질 안전 농산물 생산에 대한 소비자들의 요구증대와 농업분야에서의 환경 부담 절감에 대한 요구가 증가되는 시점에 본 시스템을 개발함으로써 현장의 요구조건을 만족시킬 수 있다. 동시에 본 시스템을 현장에 적용함으로써 쌀 생산에 있어서 작업비의 절감과 고품질 쌀의 안정적 생산기술 체계 확립 그리고 생산성 향상을 도모하여 수익성을 개선할 수 있으며, 토양, 생육, 수량 조사 및 시비처방 등에 있어서 센서 기술을 활용함으로써 생력화를 달성할 수 있어 노동력 부족에 대처하며 작업조건이 열악한 포장내 작업의 작업량을 획기적으로 단축시킴으로서 농작업의 효율성을 증대시켰다.

본 연구를 통해 개발된 기술에 대한 활용계획을 현장보급 방안, 산업화 계획 방안, 기술이전 방안 그리고 논문발표 등으로 나누면 다음과 같다.

### 제 1절 현장보급 방안

본 연구를 통해 개발된 개별 기술을 현장에 보급하기 위한 전략으로서는 개발된 기술을 활용하는 대상에 따라 달리 보급을 해야 할 것으로 판단된다.

즉, 본 연구를 통해서 개발된 전체 시스템의 보급은 영농단체나 대단위 영농을 하는 전업농 등을 대상으로 홍보를 하여 보급할 예정이며, 개별 기술에 대한 보급은 농가단위를 대상으로 홍보를 하여 보급할 예정이다. 즉, 수확량 모니터링 시스템만 필요로 하는 농가, 변량시비기만을 필요로 하는 농가, 토양샘플러만을 필요로 하는 농가 등 개별 농가 단위의 기술 보급 전략이 필요하다. 현재, 본 기술이 가장 시급한 지역은 상수원 보호지역에서 농작업을 수행하고 있는 곳, 지역별 고품질 쌀 재배단지 내 정밀 시비 살포를 하고 있는 지역 등을 1차 보급지역으로 선정하여 현장점목 연구 등을 통해 적극 홍보하여 보급해 나갈 예정이다.

### 제 2절 산업화 계획 방안

국내에서 개발된 농작업기계를 활용함으로써 수리 및 부품공급 등 유지 보수가 편리하고 생산비가 저렴할 것으로 기대되어 소규모 주문생산 방식에 의해 기업화가 가능하다. 따라서, 향후 공동연구를 실시한 기업에 기술이전을 실시하고 산업화를 추진함으로써 정밀농업기계의 국산화 및 보급을 촉진하고 현장토론회 및 기계 연·전시 등을 통해 정밀농업 필요성 및 효과를 제시하고 보급할 계획이다.

### 제 3절 기술이전 방안

본 기술은 참여기업에 기술을 이전하여 산업화로 정밀농업 현장에 생산 판매 할 계획이다.

### 제 4절 논문발표

연구성과에 대해서는 2002년부터 SCI급인 미국농공학회, 세계작물학회, 일본농업기계학회, 한국농업기계학회, 한국작물학회, 한국국제농업개발학회, 세계정밀농업학회, 아세아정밀농업학회 등에 논문을 발표하였다. 또한, 최종결과에 대해서는 논문을 국내 및 국회학술지에 투고하여 일부는 게재되었고, 일부는 산업재산권 출원전 논문 투고 및 게재가 불가하기 때문에 산업재산권 출원 후 논문을 투고할 예정이다.

# 부 록

## 1. 트랙터 부착 토양 분석용 시료 채취기의 취급 설명서

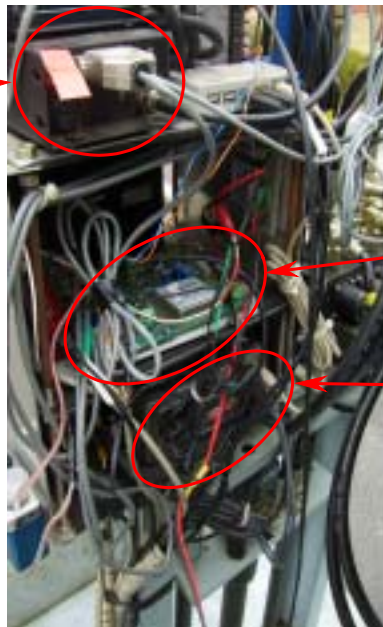
### 가. 각부의 명칭

#### 1) 트랙터에 부착된 토양 분석용 시료 채취기



#### 2) 제어 보드 및 배선

GPS 변환기



제어 보드

제어용 컴퓨터

3) EC 변환기

EC 변환기



4) GPS 수신기



5) 트랙터 유압 취출 포트



6) 관입 깊이 측정용 리니어 포텐쇼 미터



7) 유압 블럭





8) 토양 경도 및 EC 측정 프로브



9) 토양 시료 채취 장치



10) 토양 시료 채취통 수집함



#### 나. 작동 순서

##### 1) 토양 시료 채취기의 하강

토양 시료를 채취할 지점에 트랙터를 정차시킨 후 3점 히치의 상하 조절 아래로 작동하여 토양 시료 채취기를 하강시킨다.



2) 토양 시료 채취기의 측정 및 제어용 컴퓨터를 켜다.

토양 시료 채취기를 이용하여 측정한 토양의 경도, EC 등의 저장과 측정 지점의 측위 정보는 제어용 컴퓨터를 통하여 이루어지므로 토양 시료 채취기를 작동하기 전에 제어용 컴퓨터를 켜고 작동을 준비한다.



3) EC를 측정한다.

유압 레버의 제일 왼쪽에 있는 레버를 이용하여 중앙의 EC 측정 프로브를 토양 속으로 서서히 관입시키며 EC를 측정하고, 측정이 끝나면 상승하여 원위치로 복귀시킨다.



4) 토양경도를 측정한다.

유압 레버의 왼쪽 두 번째 레버를 이용하여 좌우측에 장착된 원추 관입기를 토양 속으로 서서히 관입시키며 토양 경도를 측정하고, 측정이 끝나면 상승하여 원위치로 복귀시킨다.



5) 토양 시료를 측정한다.

토양 시료 채취통을 토양 시료 채취 장치에 장착한 후 오른쪽 끝의 두 유압 레버를 동시에 작동하여 채취한다. 오른쪽 두 번째 유압 레버는 토양 시료 채취 장치를 토양 속으로 관입시키는데 사용하며, 오른쪽 끝의 유압 레버는 토양 시료 채취를 보다 용이하게 하기 위하여 유압 모터를 작동하는데 사용한다.





#### 6) 토양 시료 채취기의 상승

토양 시료 채취가 끝나면 3점 히치 상하 조절 레버를 위로 작동하여 토양 시료 채취기를 들어올린 후 다음 채취 지점으로 이동한다.



## 다. 제어 프로그램 사용 설명

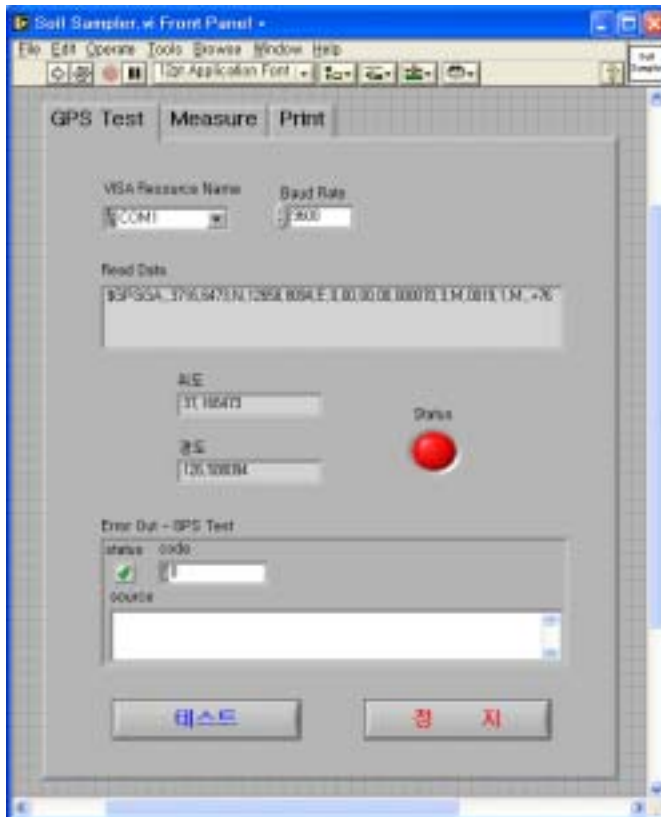
토양 시료 채취 장치의 제어 프로그램은 GPS 수신 모듈, 측정 자료 처리 모듈, 라벨 프린터 제어 모듈의 세부분으로 구성되어 있다.

각 모듈은 단계별, 또는 독립적 실행이 가능하며, 측정 자료는 화면 및 파일로 저장할 수 있도록 구성하였다.

### 1) GPS 수신 모듈

GPS 수신 모듈은 GPS 신호의 정상적인 수신 확인 및 설정 변경 등을 수행하는 모듈이다.

통신 포트는 RS232C의 시리얼 포트(COM 포트)를 이용하며, 보드레이트는 각 장비의 설정에 맞게 9600bps, 4800bps 등의 설정이 가능하다.



<GPS 수신 모듈>

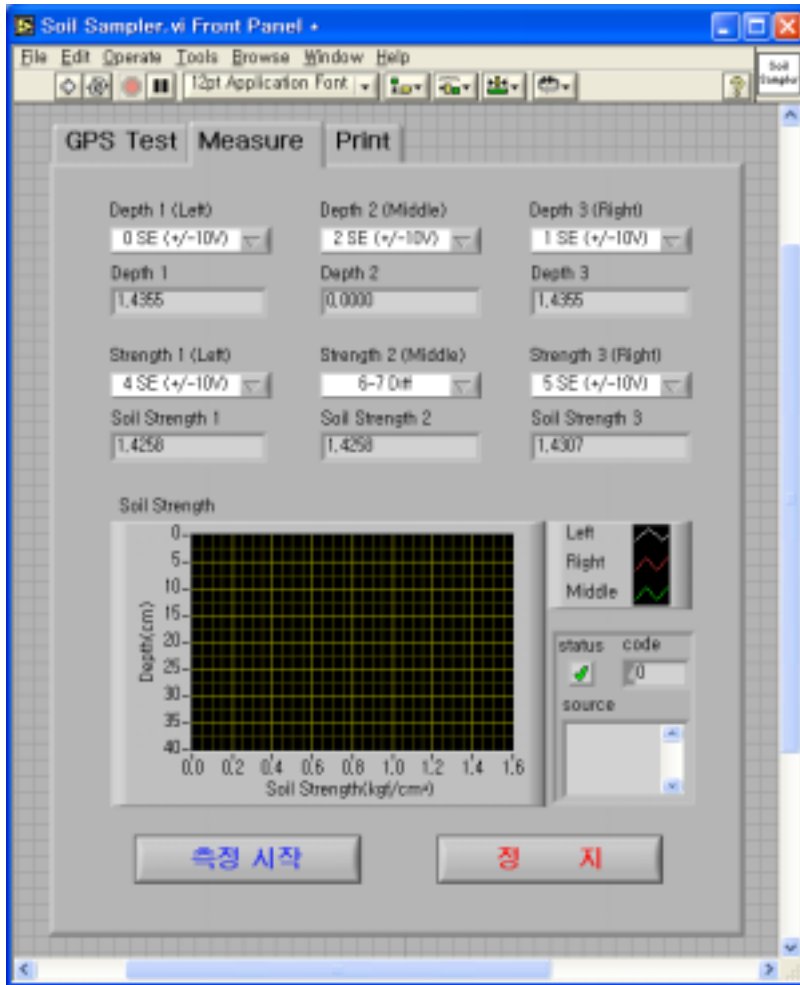
설정을 마친 후 **테스트** 버튼을 클릭하면, GPS 수신 모드 중 GPGGA를 검색하여 수신한 문자열을 화면에 표시하고, 경도와 위도의 좌표를 추출한다. GPS 신호의 수신이 정상적일 경우 상태(Status) 표시 LED에 초록색 점등이 되며, 비정상적일 경우 적색의

로 점등이 된다.

테스트 결과 정상적인 작동을 확인한 후 정지 버튼을 누른 후 다른 모듈로 이동할 수 있다.

## 2) 토양 경도 및 EC 측정 모듈

토양 경도 및 EC 측정 모듈은 본 운용 프로그램의 가장 핵심이 되는 모듈로서 계측 장치의 포트 설정, 입력 전압의 범위 설정이 가능하다.



### <측정 자료 처리 모듈>

본 모듈에는 트랙터가 일정 지점에 정차하고, 토양 시료 채취기가 안정적으로 놓여 있는 상태에서 실행되므로 GPS 모듈이 포함되어 있지 않았으며, 다음과 같은 절차에 의해 실행하면 된다.

- 관입 깊이 측정 3채널, 토양 경도 측정 2채널, EC 측정 1채널에 대한 입력

전압 범위를 설정한다. 이 때 제어 보드와 AD 보드를 연결할 때 이미 계측 포트의 설정하기 때문에 ‘프론트 패널’에는 포트 설정 화면을 내어놓지 않았으나 만약 아날로그 입력 포트가 바뀌었을 경우에는 ‘블록 다이어그램’에서 포트를 변경할 수 있다.

- **측정 시작**을 누르면 계측이 시작되며, 각각의 관입깊이와 측정값이 화면에 표시된다. 또한 측정된 값은 기본 설정에 의해 파일에 자동 저장되므로 추후 확인 및 이용이 가능하다.
- 측정이 종료되면 정지 버튼을 클릭하여 계측모듈을 종료한다.

### 3) 라벨 출력 모듈



<라벨 프린터 제어 모듈>

라벨 출력 모듈은 채취한 시료에 부착할 라벨을 출력을 담당하는 모듈이다. 라벨에는 시료번호, 채취 날짜와 시간, 채취 지점의 위도와 경도, 토양 경도, EC 등이 포함되며, 추가 문자열로 사용자가 필요한 문구를 추가할 수 있다.

**인쇄 정보**는 GPS 신호를 수신하여 위도와 경도 좌표를 추출하여 다른 기본 정보들과 함께 라벨에 출력할 문자열을 화면에만 표시하는 부분이며, **인쇄/종료**는 라벨을 출력하고 라벨 출력 모듈을 종료하고 운용 프로그램을 입력 대기 상태에 있게 한다.

프로그램 운용이 끝난 후에는 전체 프로그램 종료 버튼을 클릭하여 운용 프로그램을 종료한다.



## 2. 토양경도 측정 시스템 제어 프로그램 source code

'주의 사항'

' 최대 하중(250kgf) - 안전을 위해 설정

' LoadCell 용량은 300kgf

' CONST MAXLOAD = 3412    '3412 = 4095 \* 250 / 300

' LinearPotentiometer 최대 최소 출력

CONST DEVICE = 2H

CONST MINDEPTH = 409 ' 초기 Setting 출력: 50mm로 가정: 409 = 4095 \* 50 / 500

CONST MAXDEPTH = 3685 ' 최대 출력: 450mm로 가정: 3685 = 4095 \* 450 / 500

CONST TX\_PIN = 4    '시리얼 통신 포트

CONST BAUD = 103    '전송속도, 9600 보드레이트

DIM CHLOAD AS BYTE

DIM CHLIN AS BYTE

DIM ADLOAD AS INTEGER

DIM ADLIN AS INTEGER

DIM A AS BYTE    'A는 입력 상위부

DIM B AS BYTE    'B는 입력 하위부

DIM LA AS BYTE

DIM LB AS BYTE

DIM SOL AS BYTE    '솔레노이드밸브변수

DIM CYLNO AS BYTE                    '실린더 선택

DIM MAXDEPTH AS INTEGER            '최대 깊이 선택

DIM SPEED AS INTEGER                '속도 선택

DIM I AS BYTE     'I는 FOR문 변수

'솔레노이드 초기화부

SOL=0

FOR I=1 TO 3

OUT 18,0

SHIFTOUT 19,17,1,SOL

NEXT I

PULSE 18

'램프 초기화부

GOSUB LED\_OUTPUT

'입력부

10

OUT 12,0

OUT 13,1

PULSE 12

PULSE 13

B=SHIF TIN(11,10,1)

B=255-B     '반전

A=SHIF TIN(11,10,1)

A=255-A     '반전

IF A=0 AND B=0 THEN GOTO 10

DELAY 30     'Chattering 방지를 위한 Delay

OUT 12,0

OUT 13,1

PULSE 12

PULSE 13

B=SHIF TIN(11,10,1)

B=255-B

A=SHIFTIN(11,10,1)

A=255-A

IF A=0 AND B=0 THEN GOTO 10

IF A>0 or B>0 THEN

LA.0 = A.0

LA.1 = A.1

LA.2 = A.2

LA.3 = A.3

LA.4 = A.4

LA.5 = A.5

LA.6 = A.6

LA.7 = A.7

LB.2 = B.0

LB.3 = B.1

LB.4 = B.2

LB.5 = B.3

LB.6 = B.4

LB.7 = B.5

END IF

GOSUB LED\_OUTPUT

'실린더 선택

IF LA.5 = 1 THEN

CYLNO = 1 '1번 실린더

ELSEIF LA.4 = 1 THEN

CYLNO = 2 '2번 실린더

ELSEIF LA.3 = 1 THEN

CYLNO = 4 '3번 실린더

END IF

'최대 깊이 선택

```
IF LA.2 = 1 THEN           '300깊이인 경우
    MAXDEPTH = 2457      '최대깊이는 디지탈수로 표시하였음
ELSEIF LA.1 = 1 THEN
    MAXDEPTH = 3276
ELSEIF LA.0 = 1 THEN
    MAXDEPTH = 3685
END IF
```

'속도 선택

```
IF LB.7 = 1 THEN
    SPEED = 100
ELSEIF LB.6 = 1 THEN
    SPEED = 300
ELSEIF LB.5 = 1 THEN
    SPEED = 500
END IF
```

'실린더(상) 구동

```
IF LB.4=1 and LB.2=0 and LB.3=0 THEN GOTO CYLIN_UP
```

'실린더(하) 구동

```
IF LB.2=1 and LB.4=0 and LB.3=0 THEN GOTO CYLIN_DOWN
```

'실린더 정지

```
IF LB.3=1 THEN GOTO CYLIN_STOP
```

GOTO 10

LED\_OUTPUT:

```
FOR I=1 TO 3
    OUT 16,0
    SHIFTOUT 19,17,1,LA
```

```

NEXT I
PULSE 16

FOR I=1 TO 3
    OUT 20,0
    SHIFTOUT 19,17,1,LB
NEXT I
PULSE 20
RETURN

```

```

CYLIN_STOP:      '실린더 멈춤

```

```

SOL = 0
FOR I=1 TO 3
    OUT 18,0
    SHIFTOUT 19,17,1,SOL
NEXT I
PULSE 18

```

```

GOTO 10

```

```

CYLIN_UP:

```

```

SOL = 184+CYLNO      '184 = 128+ 32+ 16+ 8

```

```

FOR I=1 TO 3
    OUT 18,0
    SHIFTOUT 19,17,1,SOL
NEXT I
PULSE 18

```

```

IF LA.5=1 THEN
    CHLIN = 3      'LEFT LINEAR POTENTIOMETER

```

```

ELSEIF LA.4=1 THEN
    CHLIN = 4    'CENTER LINEAR POTENTIOMETER
ELSEIF LA.3=1 THEN
    CHLIN = 5    'RIGHT LINEAR POTENTIOMETER
END IF

```

'LINEAR POTENTIOMETER 출력 읽기

```
OUT 3, CHLIN.0
```

```
OUT 2, CHLIN.1
```

```
OUT 1, CHLIN.2
```

```
OUT 24, 0
```

```
SHIFTOUT 25, 26, 0, &B1011, 4
```

```
ADLIN = SHIFITIN(25, 26, 3, 12)
```

```
OUT 24, 1
```

'측정 깊이가 설정 깊이 이하일 경우 정지:초기 위치에 정지

```
IF ADLIN <=100 THEN    '우선 원점을 50으로 가정
```

```
    GOTO CYLIN_STOP
```

```
END IF
```

'정지 버튼이 눌러졌는지 검사

```
OUT 12,0
```

```
OUT 13,1
```

```
PULSE 12
```

```
PULSE 13
```

```
B=SHIFITIN(11,10,1)
```

```
B=255-B
```

```
A=SHIFITIN(11,10,1)
```

```
IF B.1 = 1 THEN
```

```
    GOTO CYLIN_STOP
```

```
END IF
```

GOTO 10

CYLIN\_DOWN:

'설정값 넘겨주는 프로그램 삽입!!!

SOL = 64 '방향제어 밸브 작동

IF CYLNO = 1 THEN

SOL = SOL + 1

ELSEIF CYLNO = 2 THEN

SOL = SOL + 2

ELSE CYLNO = 3

SOL = SOL + 4

END IF

IF SPEED = 100 THEN

SOL = SOL + 8

ELSEIF SPEED = 300 THEN

SOL = SOL + 16

ELSE SPEED = 500

SOL = SOL + 32

END IF

FOR I=1 TO 3

OUT 18,0

SHIFTOUT 19,17,1,SOL

NEXT I

PULSE 18

120

IF LA.5=1 THEN

```

CHLOAD = 0 'LEFT LOADCELL
CHLIN = 3 'LEFT LINEAR POTENTIOMETER

ELSEIF LA.4=1 THEN
CHLOAD = 1 'CENTER LOADCELL
CHLIN = 4 'CENTER LINEAR POTENTIOMETER
ELSEIF LA.3=1 THEN
CHLOAD = 2 'RIGHT LOADCELL
CHLIN = 5 'RIGHT LINEAR POTENTIOMETER
END IF

```

'LOADCELL 출력 읽기

OUT 3, CHLOAD.0

OUT 2, CHLOAD.1

OUT 1, CHLOAD.2

OUT 24, 0

SHIFTOUT 25, 26, 0, &B1011, 4

ADLOAD = SHIFTOIN(25, 26, 3, 12)

OUT 24, 1

'하중이 최대 설정 하중 이상일 경우 정지

IF ADLOAD >= 3412 THEN '3412 = 4095 \* 250 / 300

GOTO CYLIN\_STOP

END IF

'LINEAR POTENTIOMETER 출력 읽기

OUT 3, CHLIN.0

OUT 2, CHLIN.1

OUT 1, CHLIN.2

OUT 24, 0



SHIFTOUT 25, 26, 0, &B1011, 4

ADLIN = SHIFITIN(25, 26, 3, 12)

OUT 24, 1

'측정 깊이가 설정 깊이 이상일 경우 정지: 일단 맨위의 설정값으로

IF ADLIN >= MAXDEPTH THEN

    GOTO CYLIN\_STOP

END IF

'시리얼 통신을 하기 위한 설정

SEROUT TX\_PIN, BAUD, 0, 1, [DEC(ADLIN), DEC(ADLOAD)]

DELAY 1000

'정지 버튼이 눌러졌는지 검사

OUT 12,0

OUT 13,1

PULSE 12

PULSE 13

B=SHIFITIN(11,10,1)

B=255-B

A=SHIFITIN(11,10,1)

IF B.1 = 1 THEN

    GOTO CYLIN\_STOP

END IF

GOTO 120

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.