

최 중  
연구보고서

## 벼 시비 진단 및 처방 기기 개발

Development of the Application Prescription and  
Diagnosis machine System of the Rice culture

주관연구기관 : 전라북도농업기술원

협동연구기관 : 경북대학교

농 립 부



# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “벼 시비 진단 및 처방 기기 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008년 4월 일

주관연구기관명 : 전라북도농업기술원

총괄연구책임자 : 권영립

세부연구책임자 : 권영립

연 구 원 : 권석주, 송영은, 조종현

세부연구책임자 : 최동철

연 구 원 : 이덕렬, 조승현, 이재홍

협동연구기관명 : 경북대학교

협동연구책임자 : 조래광

연 구 원 : 서상현, 홍파, 김효현,

김선동

참여기업 : 스펙트라



# 요 약 문

## I. 제 목

벼 시비 진단 및 처방 기기 개발에 관한 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 목적

질소시비량 및 재식밀도에 따른 수비시용량별 수량 반응 시험을 통하여 벼 질소 이용율 향상을 위한 최적 수비시용 추정식을 작성한다. 벼 비과과 생체엽신 질소함량 측정법을 이용한 벼 식물체의 근적외 스펙트럼수집 및 질소검량식을 작성하고 작성된 질소검량식을 이용하여 벼 영양진단에 필요한 질소성분을 측정한다. 질소시비량 추정을 위해 벼 수비시용 프로그램을 작성한다. 시비진단과 처방이 가능한 휴대형 기기를 개발하여 현장에서 진단 및 처방서를 발행하여 농민들에게 실질적인 지도가 되도록 한다. 수비시용 자동화를 통하여 밥맛과 수량이 좋은 벼농사를 보급 지도 시켜 나가고자 한다.

### 필요성

- 현재의 벼 식물체 질소농도 측정법은 식물체를 48 ~ 72시간 동안 건조 후 분쇄하여 킬달 장치나 근적외선 분광광도계를 이용하여 측정하고 있음.
- 근적외선 분광분석법은 시료의 외부로부터 입력되는 에너지와 방출되는 에너지의 차이로부터 시료의 이화학적 특성에 관계되는 정보를 얻는 방법으로 식물체 및 식품의 일반성분 정량분석에 널리 이용되고 있음.
- 농가의 작황에 따른 도체의 질소농도를 신속하고 정확히 진단하기 위해서는 건조와 분쇄 시간이 소요되어 현장에서 이용하기에 어려움이 있음.
- 작물 생체 영양진단 정보에 의해 벼의 고품질 최대안정 생산을 위한 정밀처방 프로그램을 이용하는데 보다 발전적인 기술이 요구됨.

## III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 우리나라 쌀의 고품질 안정생산을 위하여 영양진단에 필요한 벼 식물체의 질소농도를 측정하기 위해 건조기에 48시간 이상 건조하는 과정을 생략한다. 또한 분쇄기로 분쇄하는 과정을 생략하여 현장에서도 질소를 생체로 측정이 가능하게 한다. 벼 비과과 생체엽신 질소함량 측정법을 개발하여 식물체의 근적외선 스펙트럼의 질소함량 값과 습식분석값의 오차를 최대로 줄여 정확도를 높인다. 벼 수

비시용시기인 영화분화기에 식물체의 영양을 진단해서 이들 영양과 수량과의 관계를 조사하고 밥맛에 미치는 영향을 조사한다. 영양진단에 필요한 간이 측정 방법의 적합성을 검증한다. 토양 중 질소 비파괴 측정과 수비사용량 처방 프로그램의 연동 가능성을 개발한다. 신속하고 정확하게 측정된 질소농도 값은 고품질 쌀 생산 처방 프로그램에 의해 현장에서 영농규모와 비료형태에 따라 시비량이 처방되도록 한다. 영농현장에서 진단된 영양정보는 직접 입력하면 자동으로 수비사용량이 단비와 복비로 계산되어 면적에 맞게 계산되며, 30% 증량, 표준량, 500% 감비, 또는 수비생략 등으로 표시하여 농가에서 쉽게 이용되도록 한다.

### 가. 연구개발 목표와 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 ( 2005 )	○ 벼 생육단계별 생체엽신 질소함량과 수량과의 관계 구명	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벼 생육단계 차이에 따른 영화 분화기와 최고분얼기의 생체엽신질소함량 차이 조사</li> <li>- 최고분얼기, 영화분화기 식물체영양진단</li> <li>- 생육시기별 영양진단결과와 벼 수량관계 조사</li> </ul>
	○ 벼의 생태형 및 재배환경에 따른 수량과의 관계 요인 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벼의 생태형별로 엽신질소함량 차이와 수량과의 관계 요인 도출</li> <li>- 벼 재배면적이 많은 품종별로 관계 요인 도출</li> <li>- 다양한 재배환경에 따른 질소 시비 효율 조사</li> </ul>
	○ 벼 엽신 질소 비파괴 측정기 개발을 위한 요소 기술 확립 및 시험제작	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벼 엽신중 질소의 비파괴 측정에 적합한 근적외파장영역 선정</li> <li>- 엽신 고정 및 스펙트 및 측정부 설계</li> <li>- 토양 중 질소 비파괴측정치의 활용방안조사</li> <li>- 엽신 질소 비파괴측정과 수비사용량 처방 프로그램 연동 가능성 조사</li> </ul>

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차 년도 ( 2006 )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 벼 시비량, 재식밀도, 수비 사용량에 따른 벼 생체엽신질소 함량 변화구명</li> <li>○ 벼 수비추정 및 질소검량식의 보완 및 객관성 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벼 식물체의 근적외 스펙트럼 수집 및 추적</li> <li>- 식물체의 비과피 질소함량 측정용 검량식 작성</li> <li>- 벼 영화분화기 수비사용량에 따른 쌀 수량 반응조사</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 벼 식물체 생체엽신질소함량과 타 성분과의 관계 구명</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 생체엽신 질소함량과 엽록소 함량의 상관관계조사를 통한 모델작성</li> <li>- 생체엽신질소함량과 밥맛의 관계구명</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수비 처방전 자동 발급 기능을 갖춘 휴대형 엽신 질소 자동측정기 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토양중 질소 및 엽신 질소 측정 겸용 장치 제작</li> <li>- 질소 자동 측정후 수비처방 및 쌀 수확량 예측 프로그램 설계 제작</li> <li>- 질소 측정대상시료에 적합한 보조장치 제작</li> </ul>
3차 년도 ( 2007 )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 벼 수비사용량 결정을 위한 처방 프로그램 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 생체엽신질소함량과 엽록소농도와의 혼합관계 작성</li> <li>- 벼 적정 수비추정을 위한 프로그램 구성도 작성</li> <li>- 연차간 변이정도, 시비처방의 정확도 향상 시험</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 벼 질소시비처방 프로그램 이용 수비사용실증시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발된 처방 프로그램을 이용한 수비 사용검증시험</li> <li>- 시, 군의 농업기술센터에 신기술 투입 접목실증</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 벼 질소시비처방 자동장치의 프로그램이용 수비사용 실증시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수비사용 검증실증</li> <li>- 농업 생산현장 및 시군농업기술센터에 신기술 투입 접목 실증</li> <li>- 밥맛, 수확량 조사</li> <li>- 전용 장치의 보완점 개선</li> <li>- 질소농도 측정후 수비사용처방 정확도 검증</li> <li>- 질소비료사용 감량효과 조사</li> </ul>

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

##### 1. 연구개발 결과

벼 영양진단에서 중요한 성분인 생체엽의 질소함량을 NIRS를 이용하여 신속하고 정확하게 분석하기 위해 최적의 검량식 작성에 관한 일련의 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

익산, 부안, 정읍, 진안지역 시료에서 벼 생체엽 질소함량 검량식의 정확도는 각각 99.4, 98.9, 98.9, 99.1%였다. Outlier를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 정확도가 각각 3.0, 2.0, 1.0, 2.0% 씩 향상되었다. 머지 기능을 이용하여 검량식을 합병한 후 검량식을 다시 작성한 결과 99.7%로 정확도가 더욱 향상되었다. 이와 같은 결과로서 건조와 분쇄과정을 생략하기 때문에 시료의 변질을 막을 수 있고 시간과 비용을 줄일 수 있는 벼 생엽의 질소농도 측정이 근적외분석기술에 의해 가능할 것으로 판단되었다.

벼의 재배환경이 다른 지역에서 생육형질과 질소농도 등이 쌀 수량성의 관련 형질에 미치는 정도를 조사 분석하여 벼 시비진단 및 처방기기 개발에 필요한 자료로 이용하고자 시험을 실시한 결과는 다음과 같다. 4개 지역 10a당 평균 쌀수량은 503kg이었다. 지역별 10a당 쌀 수량은 부안이 544kg으로 가장 높았고 익산(521) > 진안(484) > 정읍(461) 순이었다. 시험품종 중 운광, 대평, 청호, 평안 등 4품종은 시험지역 모두에서 평균단수 이상의 높은 수량성을 보였다. 품종과 생육 시기별 벼 생체엽의 질소농도는 생육시기가 경과할수록 3.066, 2.936, 2.666, 2.562%로 각각 낮아졌다. 품종별 질소농도는 7월 11일 2.924 ~ 3.319%, 7월 20일 2.718 ~ 3.104%, 7월 25일 2.378 ~ 2.999%, 7월 29일 2.311 ~ 2.787%의 분포를 나타냈다. 생태형에 따른 벼 생체엽의 질소농도는 조생종>중생종>중만생종 순으로 높았으며, 2.784 ~ 2.954% 사이로 0.17%의 차이를 나타냈다. 생태형에 따른 단백질 함량은 조생종>중생종>중만생종 순으로 높았으며, 6.58 ~ 7.322% 사이로 0.502%의 차이를 나타냈다. 지역별 벼 품종의 단백질 함량은 익산 6.51, 부안 6.497, 정읍 7.42, 진안 6.618%로 나타났다. 생태형에 따른 식미치는 중만생종>중생종>조생종 순으로 높았으며, 68 ~ 73 포인트 사이로 5포인트의 차이를 나타냈다. 지역별 벼 품종의 식미치 값은 익산 74, 부안 75, 정읍 69, 진안 71로 나타났다.

벼 식물체의 건조와 분쇄과정을 생략한 생체엽신 질소함량 측정법을 개발하여 재배방법에 따른 벼 생체엽신 질소함량의 변화를 구명하고 생체엽신 질소농도와 관련된 형질의 관련성을 구명하여 현장에서 시비진단 및 처방에 활용 하고자 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

질소시비량에 따른 생육 시기별 생체엽신의 질소함량 변화는 질소시비량이 증가 될수록 높았다. 질소시비량에 따른 재식밀도별 생체엽신의 질소함량은 재식밀도가 증가할수록 질소함량이 낮았다. 질소농도는 최고분얼기에 3.371%와 영화분화기에 2.561%를 나타내 최고분얼기에 비해 영화분화기에 0.81% 포인트가 낮게 나타났다. 질소시비량에 따른 수비사용량별 생체엽신의 질소함량은 수비사용량이 증가할수록 높은 경향이였다. 생육단계에 따른 질소시비량별 생체엽신의 질소영양지수는 질소시비량의 증가와 생육과정이 경과할수록 높았다. 질소함량은 2.677%를 나타냈으며, 질소영양지수는 27.1을 나타냈다.

벼 영양진단에서 중요한 성분인 생체일의 질소함량을 NIRS를 이용하여 신속하고 정확하게 분석하기 위해 최적의 검량식 작성에 관한 일련의 시험을 실시한 결과는 다음과 같다. 남평벼 일미벼 신동진벼 3품종의 품종별 벼 생체엽 질소함량 검량식의 상관계수는 각각 0.944, 0.941, 0.947이었다. Outlier를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 정확도가 향상되었다. 품종별로 구분치 않고 머지 후 검량식을 다시 작성한 결과 상관계수는 0.982로 정확도가 더욱 향상되었다. 이상의 결과로서 건조와 분쇄과정, 화학분석과정을 생략하기 때문에 시간과 비용을 줄일 수 있는 벼 생일의 질소농도 측정이 근적외분석기술에 의해 가능한 것으로 판단되었다.

최고급 쌀 생산을 위하여 조성된 단지의 토양분석 결과와 생체엽신 질소농도와의 관계를 구명하여 고품질 쌀 생산에 적합한 식물체의 영양정보를 얻고자 시험을 실시하였다. 2005년과 2006년에 전라북도 익산시 용포단지에서 95농가가 102ha, 군산시 대야단지에서 79농가가 100ha 규모로 조성되어 있는 단지에서 신동진벼를 조사하였다. 2006년에는 김제시 성덕단지와 정읍시 영원단지에서 일미벼를 조사하였다.

최고쌀 생산단지 벼 생체일의 질소농도는 정읍 2.44, 김제 3.607, 익산 3.044, 군산 3.488%였다. 최고쌀 생산단지의 우수형성기 벼 생체일의 질소함량은 전년대비 익산단지에서 0.301, 군산단지에서 0.583% 높았다. 최고쌀 생산단지의 토양 중 유기물 함량은 익산 22.2, 군산 26.2, 김제 17.8, 정읍 20.3g/kg이었다. 토양중 유기물함량의 년차간 차이는 전년 대비 익산에서 2, 군산에서 3.2g/kg 높았다. 익산단지의 쌀 단백질함량은 5.8%, 아밀로스 19.0%, 기계적 식미값 75.9점, 완전미율은 84.7%였다.

벼 식물체의 건조와 분쇄과정을 생략한 생체엽신 질소함량 측정법을 개발하여 재배방법에 따른 벼 생체엽신 질소함량의 변화를 구명하고 생체엽신 질소농도와 관련된 형질의 관련성을 구명하여 현장에서 시비진단 및 처방에 활용 하고자 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

질소시비량에 따른 생육 시기별 생체엽신의 질소함량 변화는 질소시비량이 증가 될수록 높았다. 질소농도는 최고분얼기에 3.371%와 영화분화기에 2.561%를 나타내 최고분얼기에 비해 영화분화기에 0.81% 포인트가 낮게 나타났다. 품종별 질소농도는 동진1호벼에서 가장 높았으며, 운광벼에서 가장 낮았다. 보통기 보비 이양재배시 영화분화기 질소시비량과 질소 농도의 관계는  $Y = -0.0111X^2 + 0.2618X + 1.5708$ 이었으며 95.4%의 정확도를 보였고 고도의 유의성을 나타냈다. 영화분화기 엽신 질소농도에 의한 수비량 추정 회귀식은  $Y = 0.1491X^2 - 2.7493X + 7.7838$ 였으며 97.7% 정확도를 보였으며 고도의 유의성을 나타냈다.

벼의 재배환경이 다른 지역에서 생육형질과 질소농도 등이 쌀 수량성의 관련 형질에 미치는 정도를 조사 분석하여 벼 시비진단 및 처방기 개발에 필요한 자료로 이용하고자 시험을 실시한 결과는 다음과 같다. 질소시비량이 많을수록 초장이 크고, 경수가 많았으며, 식물체 내의 질소농도가 높았다. 품종별 잎질소 농도는 운광벼>남평벼>청호벼 순이었다. 생육단계에 따른 질소시비량별 생체일의 질소농도는 생육과정이 경과 할수록 낮았다. 질소시비량이 많을수록 수수가 많았으나, 등숙비율은 낮았다. 품종별 기계

적 식미값은 질소시비량이 높을수록 낮았으며, 품종별로는 청호벼(74.7)>남평벼(65.5)>운광벼(63.0) 순이었다.

벼의 영양진단에 따른 정확한 질소시비 프로그램 개발로 시비효율을 향상시키고, 그 결과 질소시용량 절감으로 친환경보전 농업수행에 기여할 수 있도록 벼 식물체의 질소함량을 기준으로 한 적정 수비시용량 결정을 위한 프로그램을 개발한 결과는 다음과 같다.

벼 질소시비진단 프로그램은 Visual basic 6.0을 이용하여 Windows 95이상의 환경에서 구동이 가능하도록 하였다. 프로그램의 구성화면은 메인화면, 표준시비량 계산 화면, 토양검정에 의한 시비량 계산 화면, 질소수비시용량 계산 화면 등으로 각 화면들은 하이퍼링크 되어있어 화면이동이 용이하도록 하였다. 질소수비시용량 계산 화면은 재배유형과 재배면적을 입력하고 NIR분석 또는 킨달법에 의한 질소함량, 엽록소 함량, SPAD치 등을 입력하면 자동으로 수비시용량이 단비와 복비로 계산되도록 하였다. 표준시비량과 토양검정에 의한 시비량 계산 화면은 「작물별 시비처방기준(이기상 등, 1999)을 참조하여 재배면적당 소요되는 시비량을 자동으로 계산할 수 있도록 하였다.

작물체의 영양진단 정보를 빠르고 쉬운 방법으로 얻고자 생체잎의 질소농도를 영농 현장에서 분석하고, 벼의 고품질 최대안정 생산을 위해 작성된 처방 프로그램을 이용하여 수비를 시용하며, 시비효율을 향상시키고자 시험을 실시한 결과는 다음과 같다. 표준시비량에 따른 관행수비 방법은 질소시비량이 많을수록 질소수비량도 많았으나, 프로그램에 의한 질소수비방법은 식물체의 질소농도가 낮을수록 질소 수비량이 많았다. 최고분얼기와 유수형성기의 생육 상황은 질소시비방법간에 차이가 없었다. 유수형성기 이후의 엽질소농도는 관행수비 방법에서 질소시비량이 많을수록 엽질소농도도 높았으나, 프로그램 질소수비방법은 질소시비량간 차이가 적었다. 질소시비량이 증가할수록 수당립수도 증가하였으나, 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에서는 관행에 비해 수당립수 증가의 차이가 적었다. 질소시비량이 증가할수록 포장도복도 증가하였으나, 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에 있어서는 관행에 비해 도복발생이 적었다. 쌀수량은 질소시비량이 증가함에 따라 쌀수량도 증가하는 경향이였으나, 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에서는 질소시비량간에 차이가 적었다.

벼 엽신의 질소함량을 생체 상태로 측정하기 위한 컴팩트한 사이즈의 근적외 분광장치를 제작하였다. 제작된 장치의 측정 소요 시간은 10초 정도로서 현장 적용성이 확보된 것으로 판단되었다. 비파괴 측정된 질소 함량 측정 오차는 0.13%로서 기존의 연구용 근적외 장치에 대한 측정 정확도와 비교할 때 지도 현장에서 수비 시용 처방을 할 수 있는 정확도를 가진 것으로 판단되었다.

### 3. 활용에 대한 건의

현재 농가에서 처리하고 있는 질소비료 시비처방방법은 농촌진흥청 벼 표준영농기술지침에 의하여 품종, 지역, 토양비옥도, 기상, 필지 등을 정밀하게 고려하기 않고 10a당 11kg을 권장하고 있지만 실제 농

가에서는 질소비료사용당시 달관에 의한 벼 잎의 엽색정도를 보아 눈대중에 의한 질소비료를 처리하고 있다. 따라서 대부분 농가에서는 필요량 이상의 많은 비료를 줌으로써 도복, 미질저하, 병해충발생 조장, 수로, 하천 등의 오염, 여러 가지 경영비 증대요인을 가져오게 하고 있다. 따라서 본 연구개발을 통한 질소비료의 정밀한 시비처방 및 관리로 친환경, 고품질 쌀 및 농산물생산기술정착이 요구되어져 다음과 같은 활용에 대한 건의를 하고자 한다.

- 가. 벼 시비 진단 및 처방 기기의 전국적인 시범농가사업추진으로 질소비료사용의 정밀성, 중요성, 과학화, GAP농산물 생산수단의 기반사업으로 채택이 요구되어짐.
- 나. 타 작물(옥수수, 콩, 채소류, 과수 등)에도 응용이 가능하도록 연구개발 및 현장점목연구사업이 요구되어짐.
- 다. 본 시작기의 성능향상으로 국외 정밀, 친환경 농산물재배, 생산기술보급이 이루어 질 수 있도록 후속적인 연구개발이 요구되어짐.

# SUMMARY

## I. Theme

### Development of Application Prescription and Diagnosis Machine System on Rice Culture

## II. Purpose and its Importance

It was developed the total nitrogen contents in fresh leaf measurement method which omits a drying of the rice plant and a course of pulverization and it was investigated the change of nitrogen contents in fresh leaf on rice culture method. To investigation the relation of the character which related with the nitrogen contents in fresh leaf, it develops the portable machinery and tools where the application diagnosis and prescription are possible and in order it presentation from a diagnosis and a prescription from field and to become the substantial guide in the farmers.

## III. Contents and Results

Nitrogen content in fresh rice leaves collected from three locations was measured by near infrared spectroscopy. Using all samples, the determination coefficients ( $R^2$ ) of calibration equations were 0.994, 0.989, 0.989 and 0.991 for samples collected from Iksan, Buan Joungup and Jinan, respectively. After the removal of outlier, the improvement of calibration equation could be obtained.

The effect of cultivated district on rice yield was high in order of Buan (544kg) > Iksan(521kg) > Jinan(484kg) > Joungup(461kg). The fresh leaf nitrogen content of rice by varieties by maturing ecotype was high in order of early maturing variety > medium maturing variety > mid-nate maturing variety.

The total nitrogen contents in fresh leaf showed a decrease as a time goes by growth stage, but increased after the nitrogen application at panicle stage. The total nitrogen contents in fresh leaf was increased as the nitrogen application amount of panicle stage. The nitrogen application amount, as a planting time, nitrogen application amount at panicle

stage were significance by year. The NNI(Nitrogen Nutrition Index) of fresh leaf were increased as a time goes by growth stage, but decreased at panicle and heading stage.

Nitrogen content in fresh rice leaves collected from three variety was measured by near infrared spectroscopy. Using all samples, the determination coefficients ( $R^2$ ) of calibration equations were 0.944, 0.941, and 0.947 for samples collected from three variety respectively. After the removal of outlier, the improvement of calibration equation could be obtained.

This study was conducted for the will get the nutritional information of the rice plant which is suitable in high quality rice producing to the relationship with soil analysis result and nitrogen content of fresh leaf at the top rice production area. 2005 and 2006 years investigated the Sindongjinbyeo from chollabuk-do Iksan and Kunsan. 2006 year it investigated the ilmybyeo from the Kimje and Chongup. The results are as follows; The nitrogen contents in fresh rice leaves was Chongup 2.44, Kimje 3.607, Iksan 3.044, Kunsan 3.488% at Top rice producing area. The nitrogen contents in fresh rice leaves of panicle formation stage was high more 2006 better 2005 year from Iksan 0.301 and Kunsan 0.583%, The organic matter content in the soil of the Top rice-producing area was Iksan 22.2, Kunsan 26.2, Kimje 17.8, Chongup 20.3g/kg. The organic matter content in the soil was high more 2006 better 2005 year from Iksan 2, Kunsan 3.2g/kg. Protein contents of rice was 5.8%, Amylose 19.0%, Toyo machine test value 75.9, Head rice ratio 84.7% at Iksan top rice production in 2005. Protein contents of rice was 5.7%, Amylose 18.9%, Toyo machine test value 78.2, Head rice ratio 81.2% at Iksan top rice production in 2006. Average value of the whiteness was 37.7%, the standard deviation 1.54, maximum value 39.8, minimum value 34.4%.

The nitrogen application amount and the total nitrogen contents of the leaf were  $Y = -0.0111X^2 + 0.2618X + 1.5708$  and 95.4 percentage significant tendency. The total nitrogen contents of the leaf and the nitrogen application of panicle stage were  $Y = 0.1491X^2 - 2.7493X + 7.7838$  and 97.7 percentage significant tendency.

Visual Basic 6.0 was used for tools and languages in program for an estimating of nitrogen fertilization volume for panicle of rice. This program consist of 4 composition, which are main screen, output of standard fertilization volume, output of fertilization volume on the ground of soil authorization, output of nitrogen fertilization volume for panicle in rice. It was calculated automatically fertilization volume per cultivation area

based on fertilization diagnosis of rice in standard fertilization volume and fertilization volume on the ground of soil authorization. In output of nitrogen fertilization volume for panicle in rice, it was calculated automatically of a straight fertilizer and a complex fertilizer volume by input nitrogen contents by NIRS(nearinfrared spectroscopy) or kjeldahl method, chlorophyll contents or value of SPAD.

For producing of high quality rice, effects of nitrogen levels and diagnostic application at panicle initiation stage were investigated in japonica rice. After critical effective tillering stage, the growth index increased growth stage, but it was not significantly different between custom and program application. The total nitrogen content in leaf showed a decreased trend by matured growth stage, and it was not significantly different between custom and program application. In the diagnostic application at panicle initiation stage, brown rice quality and yield was not different among application methods. Head rice ratio in diagnostic application using program was higher than in custom application. Protein content was gradually increased with nitrogen levels, but Toyomidometa value was decreased





# CONTENTS

<b>Chapter 1. Outline of research project</b> .....	<b>19</b>
Section 1. Aim of research project .....	19
Section 2. Demand of research project .....	19
<b>Chapter 2. Recent technology development in Korea and abroad</b> .....	<b>22</b>
Section 1. Technology development in Korea .....	22
Section 2. Technology development in abroad .....	23
<b>Chapter 3. Results and discussion</b> .....	<b>25</b>
Section 1. Materials and methods .....	25
1. First year .....	25
2. Second year .....	28
3. Third year .....	32
Section 2. Results and discussions .....	38
1. First year .....	38
2. Second year .....	75
3. Third year .....	107
<b>Chapter 4. Attainment of research project</b> .....	<b>151</b>
Section 1. Attainment of research project .....	151
Section 2. Contribution of research output in agriculture .....	152
Section 3. Patent registration .....	153
Section 4. Report to the newsmedia .....	155
Section 5. Exhibition to the outstanding scientific technology in agriculture .....	155
<b>Chapter 5. Utilization of research output</b> .....	<b>156</b>
Section 1. Needs of further research .....	156
Section 2. Application of other research area and industrialization .....	156

<b>Chapter 6. Technology information from abroad during research Activities</b> .....	<b>157</b>
Section 1. Information of technology abroad .....	157
Section 2. Prospect of science in this area .....	159
Section 3. Utilization and future development .....	160
<b>Chapter 7. References</b> .....	<b>162</b>

# 목 차

<b>제 1</b>	<b>장</b>	<b>연구개발과제의 개요</b> .....	<b>19</b>
제1절	연구개발의	목적.....	19
제2절	연구 개발의	필요성.....	19
<b>제 2</b>	<b>장</b>	<b>국내외 기술개발 현황</b> .....	<b>22</b>
제1절	국내	기술개발현황.....	22
제2절	국외	기술개발현황.....	23
<b>제 3</b>	<b>장</b>	<b>연구개발수행 내용 및 결과</b> .....	<b>25</b>
제1절	이론적, 실험적	접근방법.....	25
1.	1차년도	.....	25
2.	2차년도	.....	28
3.	3차년도	.....	32
제2절	연구개발	내용 및 결과.....	38
1.	1차년도	.....	38
2.	2차년도	.....	75
3.	3차년도	.....	107
<b>제 4</b>	<b>장</b>	<b>목표달성도 및 관련분야에의 기여도</b> .....	<b>151</b>
제1절	연구개발	목표 및 달성도.....	151
제2절	관련분야의	기술 발전 기여도.....	152
제3절	학술활용	.....	153
제4절	언론홍보	및 보도.....	155
제5절	2007년	농업과학기술 우수기술전시회 전시.....	155
.			
<b>제 5</b>	<b>장</b>	<b>연구개발결과의 활용계획</b> .....	<b>156</b>
제1절	추가연구의	필요성.....	156
제2절	타연구에의	응용 및 기업화 추진방안.....	156

제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보.....	157
제1절	주요국의 관련 과학기술 정보.....	157
제2절	국내외 관련분야의 전망.....	159
제3절	기대효과 및 활용방안.....	160
제 7 장	참고문헌.....	162

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발의 목적

질소시비량 및 재식밀도에 따른 수비시용량별 수량 반응 시험을 통하여 벼 질소 이용율 향상을 위한 최적 수비시용 추정식을 작성한다. 벼 비과과 생체엽신 질소함량 측정법을 이용한 벼 식물체의 근적외 스펙트럼수집 및 질소검량식을 작성하고 작성된 질소검량식을 이용하여 벼 영양진단에 필요한 질소성분을 측정한다. 질소시비량 추정을 위해 벼 수비시용 프로그램을 작성한다. 시비진단과 처방이 가능한 휴대형 기기를 개발하여 현장에서 진단 및 처방서를 발행하여 농민들에게 실질적인 지도가 되도록 한다. 수비시용 자동화를 통하여 밥맛과 수량이 좋은 벼농사를 보급 지도 시켜 나가고자 한다.

## 제2절 연구 개발의 필요성

### 1) 기술적 측면

벼는 우리나라의 기후와 토양에 알맞은 작물로서 농가의 가장 큰 소득원이면서 주식으로 역할을 하여 왔다. 또한 쌀의 지속적 다수확 위주의 안정생산은 주곡의 자급도 유지와 함께 식량안보차원의 안전망 구축 그리고 국가경제발전의 원동력이 되어 왔던 것이 사실이다. 현재의 벼 질소시비체계는 성분량으로 11 kg/10a 수준으로 기비-분얼비-수비를 사용하고 있으며 수비는 30% 수준이나 달관적 염색정도에 따라 가감하고 있는 실정이다.

현재 우리나라 농촌 노동력의 노령화와 부녀화로 영농 편의주의가 필요하며, 생산비절감 측면에서 기비와 수비 두 번 만 사용하는가 하면 기비 한번만 사용하는 농가가 증가하고 있다. 수도작 부분에서는 영농후계자가 적고, 시비부분에서는 과학적인 방법이 이루어지지 않은 시점에서 특히 질 좋은 쌀을 생산한다는 것은 기술적으로 매우 어려운 부분이라고 생각한다.

이런 국내외 상황을 극복하고 우리 쌀을 경쟁력 있는 산업으로 탈바꿈시키기 위해서는 기술적 대안으로 외국산 쌀과 차별화됨으로써 가격이 다소 높더라도 우리 쌀을 소비자가 믿고 찾을 수 있도록 함과 동시에 쌀농사의 근본적인 기반이라 할 수 있는 재배환경과 조화를 이루는 친환경 농법으로 발전시키는 것이라고 할 수 있다.

벼 질소시비진단 프로그램을 Visual basic을 이용하여 재배유형과 재배면적을 입력하고 근적외 분광분석법 또는 켈달 법에 의한 벼 식물체 질소함량을 입력하면 자동으로 벼 질소수비 사용량이 단비와 복비로 계산되며, 표준시비량에 비해 30%증량, 50%감량, 표준시비량, 수비생략 등으로도 표시되도록 개발한 적이 있다.

선행연구에서는 벼 식물체를 건조기에 48시간 이상 건조하여 분쇄기로 분쇄한 후 켈달이나 근

적의 분광분석법으로 질소농도를 측정된 후 이용하였다. 선행 연구에 비해 보다 더 신속하고 간편하며, 현장에서 처방 할 수 있는 비과피 생체엽신 질소함량 측정법을 본 연구에서 개발하여 수비사용처방자동화를 통한 밥맛과 수량이 좋은 벼농사를 보급시켜 나가고자하다.

## 2) 경제·산업적 측면

현재 논 농업 직불제와 관련하여 과비 상태를 모니터링 하기 위하여 시군 농업기술센터에서 토양검사를 수행하고 있으나 유기물, 인산, 칼리에 한정되어 있고, 가장 많이 사용되는 질소에 대한 모니터링은 실시되지 않고 있으며, 질소비료의 과비 상태를 모니터링 하기 위하여 식물체의 엽분석은 필연적이며, 논 농업 직불제가 시행되고 있는 상황에서 질소비료 사용량의 모니터링에 대한 연구의 수행은 시급한 상황이다. 따라서 생육 시기별 적정 생체엽신 질소농도를 설정하여 많은 량의 시료도 신속 정확한 방법으로 수비사용 시기와 방법을 결정할 수 있는 기준마련이 긴급한 사항이다.

근래 농촌에는 대형 농기계들이 증가하고 있고 영농 편의주의와 생산비절감 측면에서 기비와 수비 두 번만 사용하는 생력적인 시비방법을 시행하는 농가가 증가하고 있는 추세이다. 기비 사용은 마지막 로타리를 하기 직전에 금비를 고루 뿌리고 로타리 한 후 물을 대고 써레질하여 비료분이 전층에 혼합되도록 권장하고 있으나 일부 농가에서는 4월경에 밀거름을 사용하고 경운작업을 하는 농가가 있는가 하면 기비를 이양 후에 시비하는 농가도 또한 있다. 이러한 시비방법과 더불어 토양중의 유기물이나 비옥도 또한 고려되지 않고 시비되는 경우가 빈번한 실정이다. 농업용수도 영양화의 차이가 또한 많은 실정이다. 과거 우리나라의 높은 시비수준은 식량증산정책의 유산으로 수량 극대화를 위한 높은 시비 추천량에 영향을 받은바 크고 이러한 경향은 아직도 높게 분포한다. 달관적 엽색정도에 따라 가감하고 있는 주관적 방법은 특히 앞으로의 벼농사를 담당하게 될 후계자들에게는 무엇보다도 어려운 영농부분이 될 것으로 전망된다. 벼 식물체의 영양진단을 통한 객관적이고 합리적인 새로운 시비 체계의 확립이 필요하며 이 방법이 실용화되면 고품질 쌀 생산으로 농가 및 국가정책발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

시비처방 프로그램의 개발이 완성되어 질소질 비료의 사용량이 절감될 경우 농업인 소득증대와 친환경농업의 결과를 가져와 환경에 보탬이 될 것으로 예상된다. 품질향상으로 농가 수취가격이 높아지고 동남아 등 미작국가로 적용이 확대 될 경우 국가 위상이 한층 높아질 것으로 기대된다.

질소시비량을 10a당 15kg에서 11kg으로 4kg 줄어드는 효과를 가져 올 경우 2008년 현재 우리나라 벼 재배면적에서 질소비료의 88,347톤이 절감되어 비료비용이 273억 원 정도 절감 될 것으로 전망된다.

### 3) 사회·문화적 측면

IMF체제 이후 귀농 인구가 증가하던 시점에도 벼 재배를 선호하는 사람은 매우 적었다. 이것은 육체노동을 경시하는 사회 관념과 경제성의 영향도 있겠으나 비과학적이고 생략화되지 않은 재배 기술이 가장 큰 이유로 생각된다. 선진국의 경우 친환경 및 질소시비 효율 향상을 위해 파종량 조절과 함께 기비와 수비 두 번만을 사용하고 있으며 수비시용은 벼의 생육정도 및 영양상태를 정확히 진단한 후 질소를 시비하고 있는 나라도 있다. 일부 선진국에서 이 방법과 다른 방법을 사용하고 있으나 나라마다 기후와 풍토 품종 등이 각각 달라 기술을 도입하여 그대로 사용 할 수는 없어도 우리나라에 적합한 친환경적이면서 실용적인 기술의 개발이 필요하다. 외국산 쌀과 차별화 전략으로 시비진단 및 처방방법은 각기 다른 토양과 시비방법의 상태가 식물체의 영양진단에 의해 표현되기 때문에 무엇보다 앞선 기술이며 이에 대한 연구가 필요하다.

시비처방 프로그램의 개발이 완성되어 질소질 비료의 사용량이 절감될 경우 도복이 방지되어 매년 여러 차례 발생하는 태풍피해와 벼 세우기 일손 돕기 행사 또한 감소될 것으로 예상된다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제1절 국내 기술개발현황

벼 재배관리의 기본목표는 안정적인 쌀 생산과 더불어 고품질 쌀 생산에 있다. 이러한 관계는 품종 선택, 물 관리, 시비방법, 병해충 및 잡초관리 등 많은 재배적 요인이 작용하고 있지만 이중 시비방법 특히 질소질 비료의 사용은 사용량이 부족하면 감산으로 사용량이 과다하면 벼 식물체의 질소함량이 과도하게 축적되어 과번무되고 식물체가 연약하게 자라 병해충 및 재해에 약하게 될 뿐만 아니라 수확 후 쌀의 외관 특성을 저하시키고 단백질 함량을 증가시켜 미질을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다. 따라서 벼농사에 있어 질소질 비료의 시비는 안정적인 수량을 확보하면서도 미질을 증가시키는 방향으로 적기에 적량을 사용 하는 것이 바람직하다.

벼의 질소 시비는 10a당 11kg을 사용하고 이양전 밀거름으로 40%, 생육 중 새끼칠 거름으로 30% 그리고 이삭이 형성되는 시기에 30%를 사용하는 것이 적절한 방법으로 되어 있다. 그러나 대부분의 농민들이 전체적인 투입 시비량은 권장량의 30 ~ 40%이상 과용하고 있는 것이 현실이다. 벼는 눈에 살포된 질소비료의 30~40%만을 흡수 할 정도로 흡수 능력이 매우 낮은 편이며 미처 흡수하지 못한 질소 성분은 질산태 질소로서 용출되어 버리거나 암모니아 가스로 휘산되며 나머지는 질소 가스나 아질산태 질소로써 지하로 스며드는데 이때 지하로 용출 되거나 배수로를 따라 하천으로 방출된 잔여 비료 성분은 하천과 호수, 연 근해의 부영양화를 유발하는 주요 원인이 되고 있다. 따라서 질소비료를 토양특성과 벼의 생육에 맞춰 사용 하고자 하는 노력, 즉 표준시비량을 준수하되 이양전 밀거름부터 토양검정을 통해 사용하고 벼가 생육하여 이삭이 형성되는 과정에서 관행적이고 경험에 의존하는 방법을 지양하고 벼의 영양상태에 따라 적정량을 사용 할 수 있는 연구가 필요하다.

쌀은 우리 국민의 주식이자 단일 작물로써 재배면적이 가장 많은 105~110만ha 수준으로 연간 생산량도 500만톤 이상을 꾸준히 유지하고 있는 중요한 식량작물이자 농가의 주 소득원이다. 그러나 이렇게 쌀의 생산량은 꾸준한데 비해 국민의 식생활이 점차 인스턴트화 되고 육류소비가 증가하면서 연간 쌀 소비량이 1990년 119.6kg에서 2007년 76.7kg으로 급격히 감소추세를 보임으로써 2001년도 기준으로 약 936만석의 재고가 발생하고 있다.

이렇게 쌀이 남아도는 실정임에도 불구하고 국내에서 유통되고 있는 쌀의 품질은 싸라기 및 분상질립, 피해립, 이물질 등 불완전립의 비율이 8.59~10.69%로 매우 높아 일본산이나 미국산에 비해 미질이 떨어지는 실정으로 경쟁력 제고를 위해서는 하루빨리 고품질 가공을 통한 부가가치 창출과 차별화가 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

쌀 품질 및 밥맛에 영향을 주는 요인은 품종, 기상, 토양, 재배, 수확시기, 건조, 도정, 저장 및 취반 조건 등 여러 가지가 있는데, 재배관리에서는 질소사용량과 추비시기, 물대는 방법과 등숙기의 물때는 시기, 수확시기 등이 식미에 주된 영향을 미치는 요인으로 특히 질소사용량이 많게 되면 쌀의

심복백미율 증가에 따른 외관품위의 저하와 더불어 외층 부위에 단백질 함량이 많이 축적되어 취반 시 전분입자내의 투수성이나 호화팽창에 나쁜 영향을 미쳐, 밥의 질감이 약간 딱딱하게 느껴지고, 찰기와 탄력이 떨어지는 경향을 나타낸다.

현재 우리나라 대부분의 논토양에는 유효 인산함량이 그전보다 상당히 높은 상태로 유지되고 있는 것으로 알려져 있기에 인산이나 칼리질 비료도 토양분석 결과를 통해서 적정량을 넘지 않도록 시비량을 조절해 주어야 한다.

높은 시비수준은 과거 식량증산정책의 유산으로서 수량 극대화를 위한 높은 시비 추천량에 영향을 받은 바 크다. 그러나 경제적인 적정시비 수준을 초과하는 시비량은 농민의 소득을 저하시킬 뿐만 아니라 환경오염을 가중시키는 요인이 된다.

이양재배 조건에서 투입된 화학비료는 기비 22~27%, 분얼비 36%, 유수형성기와 2차지경분화기 50%, 감수분열기 44~46%, 출수기 25~36%의 질소회수율을 갖는다고 하며, 이러한 회수율은 대체로 질소시비량이 증가할수록 더욱 감소하게 된다. 결국 회수하지 못한 부분은 토양에 잔류 하던가 용탈 또는 탈질의 형태로 유실되어 경제적인 손실뿐만 아니라 하천, 지하수 등을 오염시키는 원인이 되고 있다.

질소의 이용효율을 높이기 위해서는 먼저 각 시기별 최적 질소영양상태를 알아야 하며, 다른 한편으로는 그것을 진단 또는 추정할 수 있어야 한다. 따라서 환경보전적 농업을 발전시키기 위해서는 최적 시비량을 계산하여 적정량만을 사용할 수 있도록 하는 방법을 만들어야만 한다.

농업인이 재배하고 있는 벼의 적정 시비량을 알려면 시비량 관련 자료를 일일이 찾아보아야 하며, 찾은 시비량도 비료성분량으로 표기되어 있어 사용할 비료의 종류에 따라 실제 사용할 비료량으로 환산해야 하는 어려움이 있다. 그리고 10a 기준으로 환산된 비료량은 재배하고 있는 면적에 따라 실제로 사용할 비료량으로 계산해야 하는 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 그리하여 농업인이 표준시비량을 잘 알지도 못하고 과거의 경험이나 인근농가의 시비량에 맞추어 시비하고 있는 실정이다.

최근 고품질 안전농산물에 대한 소비자 요구도가 높아지고 있다. 이에 대비하여 벼의 영양진단에 따른 정확한 질소시비 프로그램 개발을 수행하여 시비효율을 향상시키고, 그 결과 질소시비량 절감으로 친환경보전 농법수행이 가능할 수 있도록 기여하게 될 것으로 기대된다. 또한 벼농사 재배시 단위면적, 재배양식 및 토양특성에 따른 시비량 계산을 용이하게 수행하여 정밀농업을 실현할 수 있는 토대가 마련될 것으로 예상된다.

## 제2절 국외 기술개발현황

일부 선진국에서 본연구의 주제와 다른 방법을 사용하고 있으나 나라마다 기후와 품종 품종 등이 각각 달라 기술도입을 하여 그대로 사용할 수는 없으며 우리나라의 농업 현실에 적합한 친환경적이면서 정밀 농업에 실용적인 기술의 개발이 필요하다.

기존의 엽록도계는 광원에서 나온 빛이 한쪽방향으로 빛의 세기가 편중되어 있기 때문에 빛이 작물의

있을 통과할 때 두 종류의 발광다이오드에서 나오는 빛의 경로가 잎의 다른 부분을 지날 수 있으나 디지털질소측정기는 확산 장치를 부착하여 측정효율을 최대화 시킨 기계이다. 또한 광원에서 조사하는 빛의 과장영역이 기존의 경우 650nm와 940nm로서 거리가 멀어 빛의 산란이 많아 정밀도가 떨어지는데 비하여 디지털질소측정기는 광원의 측정영역이 크게 줄어 빛의 산란으로 인한 정확도를 크게 높였다.

본 연구에서 개발하는 기기는 앞에서 개발한 기계와 같이 질소 측정에 그치지 않고 영양진단 결과와 재배면적에 대해서 고품질에 맞는 비료를 성분량과 실양으로 계산하여 현장에서 농민들에게 제시 할 수 있는 기계로 그동안의 연구 개발한 결과와 크게 다르다고 할 수 있다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제1절 이론적, 실험적 접근방법

#### 1. 1차년도

##### 가. 벼 수비추정 및 생체 엽신 질소함량의 검량식 작성 및 농가 실증

#### 1) 벼 수비추정을 위한 생체엽신 질소함량의 검량식 작성

시험품종은 2005년에 동진1호벼 등 34품종, 2004년에 31품종을 평야부인 익산, 정읍, 부안 지역과 중산간부인 진안 지역에서 재식거리를 평야부는 30×14cm로 5월 30일, 중산간부는 30×12cm로 5월 20일에 품종당 3반복으로 이앙하였다. 시비량은 질소-인산-카리를 평야부는 11-4.5-5.7kg/10a, 중산간부는 12-6.4-7.5kg/10a로 하였으며, 질소는 기비-분얼비-수비를 50-20-30%로 분시하였고, 칼리는 기비-수비로 70-30%, 인산은 모두 기비로 사용하였다.

잡초방제는 씨레질과 동시 oxadiazon을 토양 처리하였으며, 이앙 후 30일에 pyrazosulfuron - ethyl + molinate를 처리하였다. 기타는 전북 농업기술원 표준 재배방법에 준하였다.

질소분석은 벼 식물체를 최고분얼기와 출수기 사이에 품종당 3반복으로 1주씩 4회(7월 11일, 20일, 25일, 29일) 채취하여, 생체잎을 가시광선/근적외선 영역의 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 스펙트럼은 하프킵과 풀킵을 사용하여 400~2500nm의 파장영역에서 2nm 간격으로 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 Infracore International Software(WinISI Ver. 1.5 USA)를 이용하였다. 기준 스펙트럼(Reference)은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 ceramic plate를 이용하였다. 회귀분석 방법은 다중회귀분석법(multiple linear regression: MLR)과 부분최소자승법(partial least square method: PLS)을 적용하였다.

질소의 습식분석방법은 NIRS를 이용하여 측정할 시료를 90℃에서 2시간 70℃에서 24시간 건조하여 사용하였는데, 황산으로 습식분해한 후 micro-kjeldahl법(Kjeltec 1,035모델이용)으로 측정하였다. 수분함량은 건조중량법, SPAD값은 minolta 502(Japan) model을 이용하여 측정하였다.

2) 재배환경이 다른 지역에서 벼 생육형질 · 질소농도 · 미질 · 수량 및 수량구성요소의 관계

시험품종은 신규품종을 대상으로 평야지인 익산과 정읍(표고 10m), 해안지역인 부안, 중산간지역인 진안(표고 275m) 등 4지역에서 시험을 실시하였다. 조생종은 태성벼 등 3품종, 중생종은 금안벼 등 6품종, 중만생종은 주남벼 등 11품종 등 20품종을 각각 이양하였다. 이양일은 익산, 정읍, 부안에서는 2005년 5월 30일, 진안에서는 5월 20일에 이양하였다. 재식거리는 익산, 정읍, 부안에서는 30×15cm, 진안에서는 30×12cm로 이양하였다. 시비량은 익산, 정읍과 부안에서는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 9-4.5-5.7, 진안에서는 10-6.4-7.8kg/10a로 질소는 3회(40:30:30), 가리는 2회(70:30) 분시, 인산은 전량 기비로 사용하였다.(표1) 시험구배치는 분할구배치 3반복으로 수행하였다. 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 조사기준(1995)에 따랐다. 질소분석은 벼 식물체를 최고분열기와 출수기 사이에 품종당 3반복으로 1주씩 4회(7월 11일, 20일, 25일, 29일) 채취하여, 생체잎을 가시광선/근적외선 영역의 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다.

표1. 재배 지역에 따른 재배법 개요

지역	파종기 (월.일)	이양기 (월.일)	재식거리 (cm)	주당묘수 (개)	시비량(kg/10a)			못자리 방법
					N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
익산	4. 30	5. 30	30×15	3	9	4.5	5.7	부식포 못자리
정읍	4. 30	5. 30	30×15	3	9	4.5	5.7	
부안	4. 30	5. 30	30×15	3	9	4.5	5.7	
진안	4. 20	5. 20	30×12	3	10	6.4	7.8	

## 나. 재배환경에 따른 벼 생체 엽신 질소함량 변화 구명 및 프로그램 작성

### 1) 재배환경에 따른 벼 생체엽신 질소함량의 변화 구명

시험품종은 남평벼를 사용하였으며, 재식거리는 30×11, 30×13, 30×15cm으로 2005년 5월 27일에 이앙하였다. 질소시비량은 성분량으로 0, 7, 11, 15kg/10a, 질소 수비 사용량은 실량으로 10a당 0, 4, 8, 12kg을 사용하였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O는 각각 4.5 - 5.7kg/10a을 사용 하였다. 질소는 기비-분얼비-수비로 50-20-30%를, 칼리는 기비-수비로 70-30%, 인산은 모두 기비로 사용하였다. 육묘는 4월 30일에 기계이앙 상자를 이용하여 상자당 130g을 파종하여 30일간 육묘하였다. 이앙시 주당묘수는 3~4본으로 하였다.

잡초방제는 씨레질과 동시 oxadiazon을 토양처리 하였으며, 이앙후 30일에 pyrazosulfuron-ethyl+molinate를 처리하였다. 기타는 전복농업기술원 표준 재배방법에 준하였다.

질소분석방법은 이앙후 30일후부터 10~14일 간격으로 벼 1주를 채취하여 생체잎을 가시광선/근적외선 영역의 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 스펙트럼은 하프캡을 사용하여 400~2500nm의 파장영역에서 2nm 간격으로 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 Infrasoft International Software(WinISI Ver. 1.5 USA)를 이용하였다. 기준 스펙트럼(Reference)은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 ceramic plate를 이용하였다. 회귀분석 방법은 부분최소자승법(partial least square method: PLS)을 적용하였다. 질소의 습식분석방법은 NIRS를 이용하여 측정된 생체시료를 90℃에서 2시간, 70℃에서 24시간 건조하였고, 건조된 시료를 분쇄 후 근적외선분광분석법으로 측정하였다. 질소영양지수(Nitrogen Nutrition Index, NNI)는 한계질소농도(Nc, %)에 대한 실측질소농도(Nact)의 비로 계산하였다.

### 다. 벼 엽신 질소의 간이형 비파괴 측정기기에 적합한 분광기 선정

잎 질소의 주요성분인 아미노산, 펩타이드 및 단백질의 특징적인 관능기에 해당하는 -NH<sub>2</sub> 또는 -CONH 유래의 흡광도를 생육이 왕성하여 수분함량이 많은 시기에 살아있는 채로 재배 현장에서 벼 엽신 질소를 측정키 위해서는 수분유래의 흡광도가 장파장(1100-2500nm)에 비해 상대적으로 적고 측정 소요시간이 10초이내로 짧아야 할 필요가 있으므로 700nm에서 1100nm까지의 극단파장 근적외 영역을 선택하였다.

연구에서 채택한 다이오드 어레이 분광기는 소형(65×65×130mm)이며 약 500g미만의 경량장치 일뿐만 아니라 벼엽신의 성분정보를 내포한 광선을 광섬유 도관을 자유로이 장착시킬 수 있는 콤팩트한 특징이 있어서 선정하였으며 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치로서 알아낸 질소량을 표준 수비 사용량과 비교하여 단위 면적당 추가할 질소 비료량을 계산할 수 있는 개념은 시료검지 및 광선차단, 개폐부, 계측부, 측정공정컨트롤박스, 측정후 시료 보호부, 측정결과를 토대로 수비 사용량을 계산하는 컴퓨터 출력부로 구

성되어 진다.

단파장 근적외 영역에서 생체 엽 시료 측정 스펙트럼을 측정한 결과 생체 조직의 구성 물질 중 수분 이외에는 뚜렷한 신호를 관측할 수 없었다. 따라서 당초 예상한 계획을 수정하여 1100nm이상의 장파장 근적외 영역에서 농산물 중의 단백질 함량에 민감한 파장영역(2056,2180nm)이 있는 것으로 널리 알려져 있으므로 이 영역에서 현장용으로 가능하면서 신속성을 지닌 근적외 분광기를 설계하기로 결정하였다.

시료창에 벼 엽신을 놓고 제어 시스템을 가동시키면 이 제어신호에 따라 측광부의 광shutter가 열리면서 분광기에서 벼 생체 엽신의 분광 데이터를 취득하게 되고 취득된 분광 데이터는 컴퓨터로 전송되어 저장되는 시스템으로 설계를 기획하였다.

근적외 광학계 기초는 3방향 스프링으로 잡아 당겨 3점을 지지하는 즉, 기계적으로 고정시키지 않고 독립시켜 비틀림이나 진동의 영향을 받지 않는 구조로 설계하였다. 근적외 분광장치는 할로겐 램프에서 발생된 광선이 슬릿을 지나 회절격자(웨르니터너형 광학계)를 지나고 시료쪽으로 광선이 조사되며 조사된 광선은 시료에서 확산 반사된 이 광선 에너지를 PbS검출기가 검출하는 방식으로 설계 하였다.

근적외 분광장치의 광학계는 할로겐 램프, pulse motor, 회절격자, 슬릿, 시료창(석영창), PbS검출기 등으로 구성되어 시료의 분광특성을 측정할 수 있도록 설계하였다.

## 2. 2차년도

### 가. 벼 품종별 검량식 작성 및 고품질 쌀 생산단지의 실증 연구

#### 1) 벼 품종별 생체엽의 질소함량 비파괴 측정 검량식 작성

2006년에는 남평벼, 일미벼, 신동진벼를 대상으로 조사하였다. 시비량은 질소-인산-칼리를 7-4.5-5.7kg/10a로 사용하였다. 질소분석은 벼 식물체를 최고분열기와 유수형성기 사이에 1주씩 채취하여, 생체잎을 가시광선/근적외 영역의 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 스펙트럼은 하프컵을 사용하여 400~2500nm의 파장영역에서 2nm 간격으로 측정하였으며, 근적외 분광 분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 Infracsoft International Software(WinISI Ver. 1.5 USA)를 이용하였다. 기준 스펙트럼(Reference)은 일정한 흡광도를 나타내는 세라믹 판을 이용하였다. 근적외선분광 분석기를 이용하여 균질화된 벼 시료의 전대역 파장(400~2500nm,700~2500nm)에서 확산반사모드로(diffuse reflectance)를 구하고, 그 중 259개의 파장에서의 반사도(Log 1/R)를 성분함량분석이 요구되는 검량식에 대입하여 벼 식물체의 생체 잎에 대한 총질소 함량을 분석하였다. 회귀분석 방법은 부분최소

자승법(partial least square method: PLS)을 적용하였다. 질소의 습식분석방법은 NIRS를 이용하여 질소 농도를 측정된 시료를 90°C에서 2시간 동안 건조한 후 70°C에서 24시간 건조하여 사용하였는데, 황산으로 습식분해한 후 micro-kjeldahl법(Kjeltec 1,035모델이용)으로 측정하였다.

SEC, SEP, Bias는 다음 식으로 나타낸다.

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - p - 1}}$$

여기에서

$X_i$  : 각각의 화학성분값,     $n$  : 시료수

$Y_i$  : 각각의 NIR 측정값     $p$  : 보정계수에 이용한 Filter 의 수

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1}}$$

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \mathbf{H}$$

$x$  : 화학분석에 의한 평균값

$y$  : 근적외선분석에 의한 평균값

## 2) 생체엽신 질소농도에 의한 고품질쌀 생산 지도단지의 실증 연구

본 시험은 2005년과 2006년에 전라북도 익산시 용포면 용포단지에서 95농가가 102ha, 군산시 대야면 대야단지에서 79농가가 100ha 규모로 조성되어 있는 단지에서 신동진벼를 대상으로 조사되었다. 2006년에는 김제시 성덕면 성덕단지와 정읍시 영원단지에서 일미벼를 대상으로 조사되었다. 질소시비량은 10a 당 7kg을 사용하였으며, 인산과 카리는 4.5kg과 5.7kg이 사용되었다.

질소분석방법은 이양후 30일후부터 10~14일 간격으로 벼 1주를 채취하여 생체잎의 스펙트럼 데이터는 가시광선/근적외선 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 스펙트럼은 하프컵을 사용하여 400~2500nm의 파장영역에서 2nm 간격으로 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 Infracsoft International Software(WinISI Ver. 1.5 USA)를 이용하였다. 기준 스펙트럼(Reference)은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 ceramic plate를 이용하였다.

회귀분석 방법은 부분최소자승법(partial least square method: PLS)을 적용하였다.

생산단지에서 채취한 시료의 토양화학성은 농업과학기술원 토양화학분석법(1988)에 준하여 분석하였다. pH(istec 460CP) 및 EC(TOACM-40S)는 토양과 증류수의 비율을 1 : 5로 하여 측정하였으며, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법을 이용한 비색법(HP 8452A)으로 하였고 치환성 양이온( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ )은  $1N-NH_4OAC$  침출액으로 침출한 여액을 ICP(Thermo Jarrell Ash IRIS Advantage)로 측정하였다.

## 나. 생태형과 질소시비량에 따른 벼 생체엽신의 질소함량 변화 구명

### 1) 생태형과 질소시비량에 따른 벼 생체엽신의 질소함량 변화 구명

#### 시험1. 재배환경이 다른 지역에서 생태형별 벼 생체잎의 질소농도

시험품종은 신규품종을 대상으로 평야지인 익산과 정읍, 해안지역인 부안(표고 10m), 중산간지역인 진안(표고 275m) 등 4지역에서 시험을 실시하였다. 익산은 34품종, 정읍과 부안은 19품종, 진안은 26품종을 각각 이양하였다. 이양일은 익산, 정읍, 부안에서는 2006년 5월 30일, 진안에서는 5월 20일에 이양하였다. 재식거리는 익산, 정읍, 부안에서는  $30 \times 15cm$ , 진안에서는  $30 \times 12cm$ 로 이양하였다.

시비량은 익산, 정읍과 부안에서는  $N-P_2O_5-K_2O$ 를 9-4.5-5.7, 진안에서는 10-6.4-7.8kg/10a로 질소는 3회(40:30:30), 가리는 2회(70:30) 분시, 인산은 전량 기비로 사용하였다.(표1) 시험구 배치는 분할구 배치 3반복으로 수행하였다. 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 조사기준(1995)에 따랐다. 질소분석은 벼 식물체를 유수형성기에 품종 당 3반복으로 1주씩 채취하여, 생체잎을 가시광선/근적외선 영역의 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다.

표1. 재배 지역에 따른 재배법 개요

시험지	품종수	파종기 (월.일)	이양기 (월.일)	재식거리 (cm)	주당 묘수	시비량(kg/10a)		
						N	$P_2O_5$	$K_2O$
익산	34	4.30	5.30	30X15	3	9	4.5	5.7
정읍	19	4.30	5.30	30X15	3	9	4.5	5.7
부안	19	4.30	5.30	30X15	3	9	4.5	5.7
진안	26	4.20	5.20	30X12	5	10	6.4	7.8

## 시험2. 생태형과 질소시비량에 따른 벼 생체잎의 질소함량 변화 구명

시험품종은 남평벼, 동진1호벼, 동안벼, 일미벼, 신동진벼, 간척벼, 운광벼를 사용하였으며, 재식거리는 30×15cm으로 2006년 5월 27일에 이앙하였다. 질소시비량은 성분량으로 0, 5, 9, 13kg/10a, 질소 수비 사용량은 실량으로 10a당 0, 4, 8, 12kg을 사용하였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O는 각각 4.5 - 5.7kg/10a을 사용 하였다. 질소는 기비-분얼비-수비로 50-20-30%를, 칼리는 기비-수비로 70-30%, 인산은 모두 기비로 사용하였다. 육묘는 4월 30일에 기계이앙 상자를 이용하여 상자 당 130g을 파종하여 30일간 육묘하였다. 이앙시 주당묘수는 3~4본으로 하였다. 잡초방제는 씨레질과 동시 oxadiazon을 토양처리 하였으며, 이앙후 30일에 pyrazosulfuron-ethyl+molinate를 처리하였다. 기타는 전복농업기술원 표준 재배방법에 준하였다.

질소분석방법은 이앙후 30일후부터 10~14일 간격으로 벼 1주를 채취하여 생체잎을 가시광선/근적외선 영역의 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 스펙트럼은 하프킵을 사용하여 400~2500nm의 파장영역에서 2nm 간격으로 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 Infrasoftware International Software(WinISI Ver. 1.5 USA)를 이용하였다. 기준 스펙트럼(Reference)은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 ceramic plate를 이용하였다. 회귀분석 방법은 부분최소자승법(partial least square method: PLS)을 적용하였다. 질소의 습식분석방법은 NIRS를 이용하여 측정된 생체시료를 90℃에서 2시간, 70℃에서 24시간 건조하였고, 건조된 시료를 분쇄 후 근적외선분광분석법으로 측정하였다.

### 다. 벼 생체 엽신 질소 함량 비파괴 측정 장치의 제작

비파괴 측정 장치의 외관은 각종 시스템이 집약된 형태이며 전면에 측광부가 있어 벼 생체 엽신 시료를 도입하면 비파괴 측정 시스템의 근적외 분광기가 작동하여 벼 생체 엽신에 대한 분광 데이터를 취득하게 되며 취득된 분광 데이터는 노트북으로 그 데이터가 전송되게 되며 또한 각종 제어장치, 전원공급장치, 제어board 등이 일체화된 시스템으로 제작하였다.

장치에서 보내져오는 데이터는 그대로 1nm간격의 데이터로서 되어 있지 않다. 파장기준 검출용 데이터, 스펙트럼 신호데이터, 암전류데이터의 3개의 데이터가 0.5000의 데이터로서 연속하여 보내져 온다.

측정할 때 마다 이 암상태신호를 얻어서, 스펙트럼 측정치에서 빼줌으로서 안정된 제로레벨의 신호를 얻을 수가 있다. 분광장치에서 보내온 데이터 그대로의 상태를 「생데이터」로 표현한다. 이 생데이터에서 1nm간격의 데이터로 변환하는데에는 크게 다음과 같은 단계가 필요하다.

- ★ 다크레벨을 빼주기
- ★ 제로점을 검출함
- ★ 출력신호의 펄스수를 제로점에서의 펄스수로 변환함
- ★ 1nm간격으로 데이터를 변환함

표준물질로서 디브로모메탄의 스펙트럼을 측정하면 흡수 피크와 펄스미터의 위치 관계를 알 수 있는데 디브로모메탄의 흡수 스펙트럼을 측정하여 분광 정확도를 확인하였다. 유기물을 갖지 않은 백색판을 시료로하여 반복측정하였을 때의 재연성과 광선이 입사하지 않는 상태에서 반복 측정한 결과로서 분광 장치로 가능하는지를 조사하였다.

시료상에 벼 생체 엽신을 놓고 근적외 스펙트럼을 측정하면 장치 측면에 위치한 컴퓨터에 분광데이터로서 기록되게 되며 이 데이터를 분석하여 그 결과 값을 출력 또는 화면에 디스플레이하게 된다.

벼 엽신 비파괴 측정 장치를 이용해 벼 엽신의 근적외 분광 스펙트럼을 측정한 결과와 벼 엽신 시료 질소 함량을 자동 껍달 분석 장치로써 분석하여 이들 데이터간에 다변량계산을 통하여 최적의 비파괴 검량식의 도출을 시도하였다.

### 3. 3차년도

#### 1) 벼 생체엽신의 질소함량 변화

시험장소는 전라북도농업기술원 답작 포장에서, 토양은 전북통인 식양토에서 수행되었다. 품종은 운광벼, 청호벼, 남평벼를 사용하였으며, 재식거리는 30×14cm으로 2007년 5월 27일에 이앙하였다. 질소소비량은 성분량으로 0, 5, 9, 13kg/10a을 사용하였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O는 각각 4.5 - 5.7kg/10a을 사용 하였다. 질소는 기비-분얼비-수비로 50-20-30%를, 칼리는 기비-수비로 70-30%, 인산은 모두 기비로 사용하였다. 육묘는 4월 30일에 기계이앙 상자를 이용하여 상자당 130g을 파종하여 30일간 육묘하였다. 이앙시 주당 수는 3~4본으로 하였다. 잡초방제는 썩레질과 동시 oxadiazon을 토양처리 하였으며, 이앙후 30일에 pyrazosulfuron-ethyl+molinate를 처리하였다. 기타는 전북농업기술원 표준 재배방법에 준하였다.

질소분석방법은 이앙후 30일후부터 10~14일 간격으로 벼 1주를 채취하여 생체잎을 가시광선/근적외선 영역의 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 스펙트럼은 하프컵을 사용하여 400~2500nm의 파장영역에서 2nm 간격으로 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 Infracore International Software(WinISI Ver. 1.5 USA)를 이용하였다. 기준 스펙트럼(Reference)은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 ceramic plate를 이용하였다.

회귀분석 방법은 부분최소자승법(partial least square method: PLS)을 적용하였다. 질소의 습식분석방법은 NIRs를 이용하여 측정한 생체시료를 90℃에서 2시간, 70℃에서 24시간 건조하였고, 건조된 시료를 분쇄 후 근적외선분광분석법으로 측정하였다.

## 2) 고품질 쌀 생산을 위한 벼 시비처방 프로그램작성

### (가) S/W개발 및 사용환경

벼 질소시비진단 프로그램 개발을 위한 운영시스템은 Windows 98에서 개발 프로그램으로 Microsoft 회사의 Visual basic 6.0을 이용하였다. 프로그램의 사용 환경은 IBM 호환기종 PC 중 Pentium이상, 시스템 사용자 환경을 위한 프로그램 운영시스템은 한글Windows95 이상의 운영체제로, 모니터 해상도는 1,024×768이상일 때 가장 적합하다. 컴퓨터 시스템은 IBM PC 호환기종 pentium, 주기억장치는 32MByte, 디스크 용량은 20MByte이상일 때 사용이 가능하다.

### (나) 입출력시스템

입력시스템은 재배면적과 재배방법을 기준으로 토양성분 및 수비사용량 계산에 필요한 질소함량, 엽록소, SPAD치를 사용자가 직접 입력하고 수정하여 입력 내용을 관리하도록 되어 있다.

출력시스템은 질소, 인산, 칼리의 비중에 따른 시용량 계산과 토양분석 및 질소함량, 엽록소, SPAD치에 따른 결과 계산치를 실행한 후 화면과 프린터로 출력하는 시스템으로 구성되어 있다.

### (다) DB구조

비중에 따른 데이터 파일에는 요소별 비료, 비료종류, 성분비율, 성분량 등의 항목들이 포함되어었는데 (그림 1), 그 요소들은 표1, 2, 3과 같다.

데이터별 구조는 질소의 경우 필드를 질소구분번호, 밀거름, 밀거름율, 새끼칠거름, 새끼칠거름율, 이삭거름, 이삭거름율, 알거름, 알거름율로 구분하고 데이터 형식은 숫자 4자리로 표시하였다. 인산의 경우는 인산구분번호, 밀거름, 밀거름율을 숫자 4자리로 나타내었고, 칼리의 경우는 칼리구분번호, 밀거름, 밀거름율, 새끼칠거름, 새끼칠거름율, 이삭거름, 이삭거름율, 알거름, 알거름율로 구분하고 데이터 형식은 숫자 4자리로 표시하였다.

성분구분은 각각의 필드를 성분구분번호, 비료구분 명칭, 성분별 구분 명칭, 성분별 함량, 성분별 비율로 구분하고, 성분구분번호는 숫자 3자리로 표시하고, 나머지 요소들은 문자 20자리로 표시하였다.

파일명	전용코드	작기코드	도움말명	
100,	"질소질 비료"	"요소"	"4"	1.46
101,	"질소질 비료"	"유아"	"21"	1.21
102,	"질소질 비료"	"질산암모"	"95"	1.95
103,	"인산질 비료"	"중성인비"	"17*23"	1.29
104,	"인산질 비료"	"용과린"	"17,24"	1.29
105,	"인산질 비료"	"과린산석회"	"16.5,24"	1.16
106,	"인산질 비료"	"중과린산석회"	"48"	1.48
107,	"칼리질 비료"	"염화칼리"	"60"	1.60
108,	"칼리질 비료"	"포상합산가리"	"50"	1.50
109,	"칼리질 비료"	"염상합산가리"	"45"	1.45

그림 1. 비종에 따른 데이터 파일

표 1. 재배방법별 S/W 구성항목

메뉴	구 성 항 목
재 배 면 적	숫자 직접 기입
단 위	m <sup>2</sup>
재 배 방 법	이양재배, 직파재배
재 배 지 역	I : 평야·중간지, 중산간지, 산간고냉지, 간척지 II : 건답줄뿌림, 무논골뿌림
토 양 유 형	I : 보통논·미숙논, 모래논·고논 II : 보통논·미숙논, 사질논
이 양 시 기	적기이양, 만기이양
인 쇄	화면인쇄

※ I : 이양재배, II : 직파재배

표 2. 비중에 따른 시비추천 분시비율의 구성항목

메뉴		구 성 항 목 (밑거름 - 새끼칠거름 - 이삭거름(%))	
비 종	질 소	50 - 20 - 30,	70 - 0 - 30
		60 - 20 - 20,	80 - 20 - 0
		20 - 40 - 40	
	인 산	100 - 0 - 0	
	칼 리	70 - 0 - 30,	40 - 30 - 30

표 3. 비중에 따른 비료사용량 계산의 구성항목

메뉴		구 성 항 목	
단 비 시 용	질 소	요소, 용성인비, 질산암모늄	
	인 산	용성인비, 용과린, 과린산석회, 중과린산석회	
	칼 리	연화가리, 분상황산가리, 입상황산가리	
복 비 시 용	질 소	성분량(%) 직접 입력	
	인 산	성분량(%) 직접 입력	
	칼 리	성분량(%) 직접 입력	

### 3) 개발 기기 이용 질소시비 처방 실증시험

- (가) 질소시비진단 프로그램의 자료를 얻고자 2007년에 전라북도농업기술원 답작시험포장(전북통, 식양토)에서 '남평벼'를 시험품종으로 하였으며, 질소비료는 10a당 0, 5, 9, 11, 13kg을 사용하였다. 질소수비는 관행과 프로그램으로 산출된 사용량을 각각 살포 하였다. 인산-카리는 4.5 - 5.7kg/10a을 사용 하였으며, 질소비료는 기비-분얼비-수비로 50-20-30%를 기준으로 사용하였다. 프로그램을 이용한 질소수비사용은 유수형성기에 엽신질소농도를 근적외선분광분석법으로 측정하여 질소농도 값을 시비처방 프로그램에 입력하여 출력된 결과에 의해서 사용하였다. 칼리는 기비-수비로 70-30%, 인산은 모두 기비로 사용하였다. 4월 30일에 파종하여 5월 27일에 손이앙 하였으며, 육묘는 기계이앙 상자를 이용하였고, 상자 당 130g을 파종하여 30일간 육묘하였다. 이앙시 주당묘수는 3~4본 재식밀도는 30 × 14cm로 하였다.
- (나) 잡초방제는 씨레질과 동시 톤스타를 토양처리 하였으며, 이앙후 30일에 노난매를 처리하였다. 기타는 전북농업기술원 표준 재배방법에 준하였다. 조사는 이앙후 30일후부터 10~14일 간격으로 초장,

경수를 조사하였고, 전질소 함량을 분석하였다. 식미치는 윤기가 많을수록 밥맛이 좋다는 원리에 근거하여 밥의 윤기를 측정할 수 있는 식미계 토요미도매터인 MA-90B형을 이용하여 측정하였다.

#### 4) 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치의 정확도 및 활용도 증진

시험 제작한 벼 엽신 질소 비파괴 측정장치를 시료창에 잎을 놓고 차광용 두껍을 놓고 스펙트럼을 측정할 경우 측정환경에 따라 외부 광선이 영향을 줄 우려가 예상되어 장치 상단부에 보조시트 및 두껍을 설계하여 측정 작업이 쉽도록 개선하여 측정정확도 향상을 조사하였다.

벼 엽신 측정에는 토양중 이화학적분지를 참고를 시비량을 가감 수정할 필요가 있으므로 벼 엽신용으로 개발된 장치를 수정개선하여 논 토양시료 측정이 가능하게 하였다. 논 토양의 질소, 인산, 칼륨, 유기물, pH 등 함량 자료와 비파괴 측정기를 통해 취득한 근적외 분광 스펙트럼 데이터를 이용해 다변량 해석방법으로 비파괴 검량식을 작성하여 측정정확도를 조사하였다.

하나의 조작마다 컴퓨터의 키를 눌러서 각각 따로 조작명령을 단계적으로 내려주었지만, 이러한 불편을 해소시키기 위해 시료를 넣은뒤 단순한 키조작을 하더라도 연속적으로 측정이 전개되고 결과가 자동으로 정리되어 나오도록 일관화 프로그램을 제작하였다.

토양 이화학적 분석에 사용한 방법은 아래와 같다.

##### ● T-N 분석

벼 생체 엽신의 약 0.5g을 측정된 후 촉매( $\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$ ) 2g 및 98% 황산 15ml를 넣고 먼저 360°C에서 30분 탄화시키고 410°C에서 1시간 가열 분해하여 상온에서 냉각시킨 후, 자동 Kjeldahl증류장치(Büchi 323, Büchi, 스위스)에 옮겨서 증류수 20ml와 NaOH 65ml를 첨가하고 증류하였다. 증류한 용액은 2%  $\text{H}_3\text{BO}_3$  용액 10ml와 혼합지시약 두 방울이 들어 있는 250ml 삼각플라스크에 4분 동안 증류한 후 0.1N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 으로 적정 (Dosimat 715, Metrohm, 스위스)하여 질소 함량을 계산하였다.

##### ● K 분석

1g 정도의 시료를 단 후 kjeldahl 패스튜브에 넣고 황산 15ml를 가한 후 kjeldahl 분해 장치에 20분간 1차 분해하여 적당히 식히고  $\text{H}_2\text{O}_2$ 를 10ml 넣어 준다(무색). 다시 40분 정도 2차 분해를 한 뒤 완전히 식힌후 무색의 시료를 100ml mass flask에 fill up 한다. K-standard 용액을 만든다(0, 1, 3, 5ppm). sample을 분석하고자 하는 standard 용액의 희석수준으로 희석한다. 균일한 희석을 위하여 30분간 실온에서 방치한후 AAs를 사용하여 정량하여 계산한다.

● 유효인산

1g정도의 시료 단후 kjeldahl패스튜브에 넣고 황산 15ml를 가한 후 kjeldahl분해 장치에 20분간 1차분해를 한다. 적당히 식히고 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 10ml넣어 준다(무색). 다시 40분정도 2차분해를 한 뒤 완전히 식힌다. 무색의 시료를 100ml mass flask에 fill up한다. sample 10ml와 ammonium vanadate 10ml를 mass flask에 넣어 증류수로 50ml fill up한다. spectrophotometer로 흡광도(470nm)를 측정한다. standard curve만들고 이용하여서 정량하여 계산한다. 계산식: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ppm) = ppm X 희석배수 X 2.29(환산계수)

● pH 적정

H<sub>2</sub>O : 풍건토 5g을 50ml 비커에 취하여 증류수 25ml를 가하고 때때로 유리봉으로 저어 주면서 1시간 지시약 pH meter를 buffer용액으로 잘 맞춘 다음 깨끗하게 씻은 초자 및 표준전극을 넣고 60초이내에 읽는다.

KCl : 풍건토 5g에 1N KCl액 25ml를 가하여 pH(H<sub>2</sub>O)의 경우와 동일하게 조작하여 pH를 측정한다.

H<sub>2</sub>O 및 0.01M CaCl<sub>2</sub> : 풍건토 5g을 50ml비커에 넣고 5ml를 가하여 5초동안 저은 다음 10분간 1M CaCl<sub>2</sub> 0.05ml를 토양현탁액에 넣고 간헐적으로 30분간 저은 다음 토양 pH를 측정한다.

● 유기물(Walkley - Black 법)

적정법: 토양시료(80mesh) 0.5~1.0g을 250ml 삼각플라스크에 칭취하고 잘 섞이도록 조용히 흔들어 준 다음 20ml의 conc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 빨리 넣고 1분간 서서히 흔들어 섞어준 후 20~30분간 방치후 물 200ml를 가하고 10ml의 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>(85%)과 0.2g의 NH<sub>4</sub>F분말을 섞은 다음 지시약 약 3방울을 가하여 적정한다. 적정의 종말점은 Tyurin법에서와 같다. blank 적정도 동일 요령으로 한다.

계산: Blank 적정치를 B, 시료적정치를 T, 중크롬산칼리의 용량을 D, 중크롬산칼리용액의 정도를 N, 시료칭취량(g)을 W라고 하면 황산제1식의 규정도는 DN/B로 된다. 한편 탄소의 1mg당량은 12/4=3mg이고, 각종의 토양을 실험한 결과, 본법의 산화분해에 의해 유기탄소의 평균 77%가 되므로 시료의 유기탄소함량을 구하였다.

## 제2절 연구개발 내용 및 결과

### 1. 1차년도

#### 가. 벼 수비추정 및 생체 엽신 질소함량의 검량식 작성 및 농가 실증

##### 1) 벼 수비추정을 위한 생체엽신 질소함량의 검량식 작성

벼의 수비추정을 위해서는 영양진단을 하여야 하는데 식물체의 영양진단법은 SPAD에 의한 엽록도를 측정하는 방법과 질소농도를 측정하여 정보를 알아내는 방법이 있다. SPAD에 의한 엽록도의 측정방법은 측정이 간편한 장점이 있으나 측정값의 변위가 크고, 정확도가 낮아 실용화를 위해서는 개선이 요구되고 있다(Park 등, 2004). 식물체의 질소농도를 측정하여 정보를 알아내는 방법은 SPAD 방법에 비하여 비교적 정확한 방법으로 여겨지나 식물체를 채취하여 건조와 분쇄 후 정량하는 과정을 거쳐야 하기 때문에 시료를 준비하는데 상당한 시간과 과정이 필요하다.

이러한 단점을 개선하기 위한 비파괴 생체엽신 질소영양 진단법은 건조와 분쇄과정을 생략하기 때문에 간편하게 성분함량을 측정할 수 있으며, 영농현장에서도 측정이 가능하기 때문에 벼 식물체의 영양진단에 응용하여 시비처방에 활용할 수 있다고 생각한다. 또한 현재 논농업직불제에서 과비담을 구분하기 위해서 엽 질소 농도 측정과 토양검정을 시행하고 있다. 현장에서 실행되기 때문에 측정자와 경작자 그리고 지도사 사이에 투명하게 되어 정책실행 및 현장지도에 신뢰도와 효과를 높일 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 기술은 다른 작물에도 확대 적용될 수 있는 선진 기술로 이 분야의 연구가나 지도 관련자들에게 매우 용이하고 편리하게 응용할 수 있는 기술이라고 생각된다. 그러나 이러한 기술이 현장에서 실용화되기 위해서는 먼저 해결해야 할 소프트웨어나 하드웨어 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 근적외선분광분석기를 이용하여 벼 시비 진단 및 처방 기기 개발에 필요한 자료로 활용하고자 벼 생체엽신 질소함량의 측정을 위한 검량식 작성을 실시하였다.

분광분석법은 시료 내외부의 상태에 따른 광학적 특성을 분석하여 농도를 비파괴적으로 분석하는 방법이다. 비파괴분석은 시료의 추출, 여과, 희석, 시약의 반응, 가열 등의 조작이 필요하지 않으며, 측정된 시료는 무손상 상태로 회수가 가능하다(Clarke *et al.*, 1992; Williams *et al.*, 1991). 또한 동일 시료의 저장 및 가공 중의 변화상태를 관찰할 수 있고 시간이 절약되며 화학약품을 사용하지 않기 때문에 환경오염을 방지할 수 있는 장점이 있다.

근적외선분광광도계를 이용하여 균질화된 벼 시료의 전대역 파장(400~2500nm)에서 확산반사도(diffuse reflectance)를 구하고, 그 중 259개의 파장에서의 반사도(Log 1/R)를 성분함량분석이 요구되는 검량식에 대입하여 벼 식물체의 생체잎에 대한 총질소 함량을 분석하였다.

벼 생체잎에 대한 흡광도를 그림 1(A)에 나타내었다. 가시광선의 적색부위에서 흡광도의 피크와 차이가 크게 나타내었으며, 근적외선 영역에서는 흡광도가 급격하게 감소하는 경향을 나타냈다. 가시광선의 적색부위에서 흡광도의 피크와 차이가 크게 나타난 결과는 벼 식물체의 표피색이 적색의 보

색인 녹색인 원인이라고 생각된다.

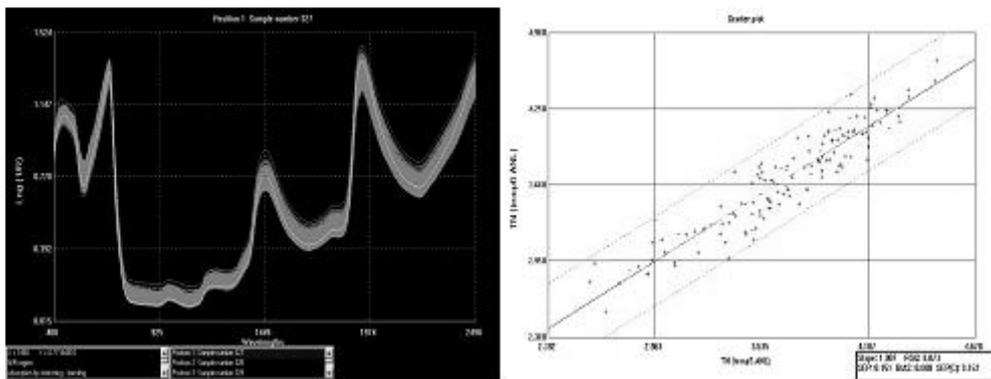
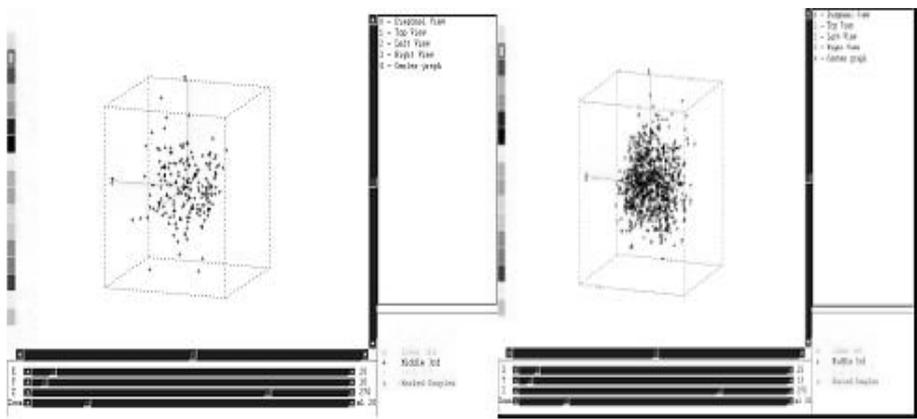


그림 1. 벼 생체엽의 근적외선 스펙트럼 양상, 미지샘플의 추정치와 실측치의 관계

벼 식물체에서 얻어진 스펙트럼을 이용하여 기본요소분석을 수행했다. 각 기본요소를 중심으로 거리를 구해 모집단을 해석한 결과 수집된 모집단의 시료 분포는 그림 2와 같은 3차원 도식을 얻을 수 있었다. 시료의 모집단을 구성하고 Spectrum의 다양성을 설명하려면 많은 시료가 필요하다. 또한 올바른 시료로 calibration하는 것이 중요하다. 품종과 지역 변이의 검량식(calibration equation)이 완성된 후 다양성을 구성하기 위해 각 group의 file을 추가하여 검량식 model을 갱신한 결과 시료 모집단이 현저하게 다양해졌다(그림 2).



1, 2, 3 - principle component element  
그림 2. 수집된 벼 생체엽의 시료분포.

수집샘플의 질소함량 범위를 그림 3에서 살펴보면 질소함량이 품종간의 차이를 나타내고 있는데, 이러한 결과는 벼 품종간 질소흡수능력 차이에서 기인된 결과라고 사료된다. 객관적인 시료의 모집단을 구성하고 spectrum의 다양성을 설명하려면 많은 시료가 필요한데, 각 그룹별로 작성한 검량식은 merge 기능을 이용하기 전에 작성한 것으로 품종별로 구별되는 현상은 자연적인 결과라고 사료된다. 그러나 익산, 정읍, 부안지역의 시료를 merge 기능을 이용하여 합병한 결과는 그림 3에서 보는 바와 같이 비교적 정규분포에 가까운 양상을 나타내고 있으며, Lee 등(2001)도 이와 같은 결과를 보고한 바 있다.

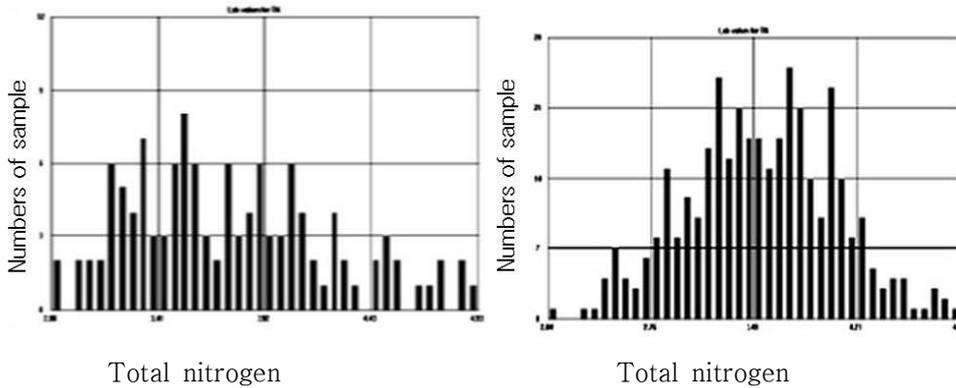


그림 3. 벼 생체엽의 질소함량 분포범위.

벼 생체엽의 질소함량 측정을 위해 검량식을 작성하여 검증한 결과 모든 시험지역에서 SEC, SECV, 1-VR값이 비슷하였다. 성분 예측 회귀모델에 대한 정밀도의 척도는 표준오차(SEC: standard error of calibration)와 결정계수( $r^2$ : coefficient of determination)로 나타냈다. SEC는 작고  $r^2$ 는 1에 가까울수록 개발된 회귀모델의 정밀도가 높음을 의미한다.

회귀모델의 검정은 예측 값의 표준오차(SEP; standard error of prediction), 결정계수, 회귀모델에 의한 예측 값의 평균과 화학분석 값의 평균과의 차이인 Bias로 나타냈다. 검정의 척도인 SEP 및  $r^2$ 는 개발된 회귀모델의 SEC 및  $r^2$ 에 가까울수록, Bias는 0에 가까울수록 회귀모델이 정확함을 의미한다.

벼 생체엽 질소함량 검량식의  $r^2$ 는 익산지역에서 0.994, 부안지역에서 0.989, 정읍지역에서 0.989, 진안지역에서 0.991를 나타냈다(표 1). Blanco(1995)등은 클로버와 라이그라스에서 생체 시료는 0.964~0.953을 보고하였으며, 건조시료는 0.988~0.972을 보고했다. 생체시료에 비해 건조시료에서 0.02 정도 높은 결과를 나타냈다. Berardo(1995) 등은 생체 사료종의 영양가 측정에서 0.85~0.98을 보고하였다. Dardenne(1995)등은 생체 사료 분석에서 성분에 따라 0.78에서 0.98까지 보고하여 성분에 따라 큰 차이를 나타냈다. 익산지역에서 Outlier 10개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과  $r^2$ 가 0.997, 부안지역에서 2개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.991, 정읍지역에서 1개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.990, 진안지역에서 3개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.993으로 각각 향상되었다. 또한 검량식을 작성하고 Outlier를 제거한 후에 예측값의 표준오차값과 검량식의 표준오차값이 향상되었

다(표 2). 이와 같은 결과는 Zhang(2004) 등의 사과 건조 잎과 생잎분석에서 PLS(부분최소제곱법)방법의 0.748 ~ 0.818을 보고한 결과에 비해서 높게 나타났으며, PCR(주성분분석법)방법의 0.640~0.864에 비해서 보다 높은 결과를 나타냈다.

표 1. 벼 생체엽의 질소함량 검량식

지역	시료수	R <sup>2</sup>	SEC	평균값	최대값	최소값
익산	195	0.994	0.012	2.758	3.543	1.974
부안	139	0.989	0.020	2.779	3.414	2.143
정읍	140	0.989	0.020	2.933	3.555	2.311
진안	160	0.991	0.018	2.691	3.340	2.042

R<sup>2</sup> : RSQ, SEC : Standard Error of Calibration

표 2. 벼 생체엽 질소함량 검량식의 Outlier 처리별 차이

지역	Outlier treatment	Bias	Slope	S. D	SEP	No. of Sample	R <sup>2</sup>
익산	Before	0.001	0.998	0.263	0.021	204	0.994
	After	-0.001	0.997	0.258	0.013	194	0.997
부안	Before	-0.001	0.999	0.221	0.023	144	0.989
	After	0.000	1.002	0.216	0.021	142	0.991
정읍	Before	0.000	0.999	0.211	0.022	144	0.989
	After	-0.001	1.004	0.211	0.021	143	0.990
진안	Before	0.000	0.997	0.217	0.022	166	0.991
	After	0.000	0.996	0.205	0.020	163	0.993

SEP(C) : Standard Error of Prediction(Calibration)

표 3. 벼 생체엽중 질소함량 검량식의 검증.

지역	No. of sample	Mean	Range	1-VR	SECV
익산	195	2.758	1.97 ~ 3.54	0.995	0.019
부안	139	2.779	2.14 ~ 3.41	0.983	0.028
정읍	140	2.933	2.31 ~ 3.55	0.981	0.028
진안	160	2.691	2.04 ~ 3.34	0.986	0.026

SEC : Standard Error of Calibration,

SECV : Standard Error of Cross Validation, 1-VR : 1-Variance Ratio

표 4는 PLS방법에 의한 미지 샘플의 질소함량 검정결과이다. 습식분석 평균값과 NIR분석 평균값이 익산에서는 차이가 없었고 부안에서는 0.009%, 정읍에서는 0.004%, 토탈에서는 0.001%로 나타났으며, 전체적으로 0 ~ 0.009%의 차이로 매우 작은 변이 폭을 나타내었다. 이러한 결과는 NIR분석값이 습식분석 값과 같이 정확성이 높다는 것을 의미한다.

표 4. 벼 생체엽 질소함량 검량식의 분석 방법별 차이

지역	Lab	NIR	Different
익산	3.583	3.583	0.000
부안	3.215	3.226	0.009
정읍	3.751	3.747	0.004
Total	3.531	3.532	0.001

근적외선에서는 흡광도의 변위가 화학적, 물리적 성질의 변위에 비해 극히 미약하기 때문에 다양한 다변량 회귀분석법이 사용되고 있는데, MLR(다중선형회귀법)은 보통 시료의 구성이 단순할 때 유용하며 측정성분이 독특한 흡수봉우리가 있을 때 장점이 있다.

PLS(부분최소제곱법)방법으로 작성된 검량식은 흡수대들의 중첩으로 스펙트럼이 복잡하고 분석이 어려운 경우 많이 사용된다. MLR 방법과 PLS 방법을 비교한 결과 PLS 방법으로 작성된 검량식은 MLR 방법보다 좀더 정확도가 높은 경향이였다.

표 5. 벼 생체엽신 질소함량 검량식의 방법간 차이

구분	Calibration	No. of Sample	SEC	R <sup>2</sup>
익산	PLS	153	0.156	0.878
	MLR	153	0.254	0.715
부안	PLS	103	0.173	0.858
	MLR	103	0.275	0.686
정읍	PLS	120	0.170	0.819
	MLR	120	0.288	0.630
Total	PLS	376	0.153	0.889
	MLR	376	0.315	0.636

분광분석법 중 근적외분광분석법은 다른 비파괴검사법에 비하여 품질 평가의 시스템을 구성하기 쉽고, 분석시 숙련된 기술을 요하지 않으며, 결과의 해석이 간편할 뿐만 아니라 저비용으로 측정시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다(Hymowitz *et al.*, 1974; Marten *et al* 1983; Rubenthaler & Bruinsma 1979; Shenk *et al* 1981). 근적외선 영역에서의 스펙트럼은 유기분자의 광에너지 흡수에 의해 얻어지는데 이들

흡수대에서는 O-H, C-H, N-H, C=O 등의 관능기는 화학결합이 다양하게 나타나며 이를 응용함으로써 수분, 단백질, 전분, 지방 등 복수의 성분을 동시에 신속하게 측정할 수 있다(Abrams *et al.*, 1987; Clarke *et al.*, 1992). NIRS의 분석방법은 시료의 추출, 여과, 회석, 시약의 반응, 가열 등의 조작이 필요하지 않으며, 측정된 시료는 무손상 상태로 회수가 가능한 장점이 있지만, 1차적인 실험실의 습식분석값에 의존하여 분석하는 2차적인 방법이기 때문에 정확도가 무엇보다 중요하다고 생각한다. 그림 1(B)는 검량식 작성시 질소함량의 일반분석법에 의한 분석치(실측치)와 NIRS에서 도출해낸 분석치(미지 시료의 추정치)의 상관을 나타낸 것이다. 결정계수값이 0.998을 나타냄으로서 실용 가능성을 나타내었다. 하프컵과 풀컵의 정확도 차이는 91.1%와 99.8%로 풀컵에서 8.7% 포인트의 정확도가 향상되었다.

수처리는 일반적으로 시료에 조사된 빛의 산란효과를 일차적으로 보정 해주며, 회귀분석의 변수를 줄이고, 검량선을 안정하게 하는 필수적인 도구로서 시료를 전처리 해주는 효과와 크로마토그래프의 컬럼처럼 분리해 주는 효과를 발휘할 수 있다. 파장설정과 스펙트럼 전처리는 최적의 조건에 따라 변화시킬 수 있는 부분으로 자주 사용되는 1,4,4,1과 2,4,4,1 그리고 2,10,10,1을 실행했다(표 6 ~ 8). 익산지역의 1차 미분 0.832, 2차 미분 0.855를 나타내 0.013의 차이를 보였다. 부안지역의 1차 미분 0.878, 2차 미분 0.805, 0.809를 나타내 0.073~0.069의 차이를 보였다. 정읍지역은 1차 미분 0.813, 2차 미분 0.833, 0.844를 나타내 0.02~0.031의 차이를 보였다. Total에서는 1차 미분 0.863, 2차 미분 0.865, 0.855를 나타내 0.002~0.008의 차이를 보였다. 미분법은 스펙트럼을 미분하여 흡수대의 변화를 강조함으로써 스펙트럼의 변화는 증폭되고, 동시에 변화만 보기 때문에 미분법으로 바탕선 변화가 제거된다.

표 6. 벼 생체엽의 검량식 작성을 위한 1차 미분 수처리(1-4-4-1).

지역	시료수	Mean	Range	SEC	1-VR	SECV
익산	150	3.583	2.58 ~ 4.47	0.156	0.832	0.193
부안	101	3.229	2.37 ~ 4.04	0.173	0.878	0.199
정읍	116	3.748	2.91 ~ 4.80	0.170	0.813	0.206
Total	367	3.532	2.16 ~ 4.76	0.153	0.863	0.195

SEC : standard error of calibration,

SECV : standard error of cross validation, 1-VR : 1-variance ratio

표 7. 벼 생체엽의 검량식 작성을 위한 2차 미분 수처리(2-4-4-1).

지역	시료수	Mean	Max	SEC	1-VR	SECV
익산	148	3.581	4.986	0.143	0.855	0.178
부안	102	3.223	4.683	0.169	0.805	0.214
정읍	116	3.745	5.180	0.138	0.833	0.195
Total	366	3.533	5.084	0.150	0.865	0.190

표 8. 벼 생체엽의 검량식 작성을 위한 2차 미분 수치리(2-10-10-1).

지역	시료수	Mean	Range	SEC	1-VR	SECV
익산	148	3.581	4.986	0.143	0.855	0.178
부안	102	3.223	4.683	0.192	0.809	0.212
정읍p	115	3.739	5.164	0.159	0.844	0.187
Total	369	3.532	5.101	0.163	0.855	0.199

## ○ 결과요약

벼 영양진단에서 중요한 성분인 생체엽의 질소함량을 NIRS를 이용하여 신속하고 정확하게 분석하기 위해 최적의 검량식 작성에 관한 일련의 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

익산, 부안, 정읍, 진안지역 시료에서 벼 생체엽 질소함량 검량식의 정확도는 각각 99.4, 98.9, 98.9, 99.1%였다. Outlier를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 정확도가 각각 3.0, 2.0, 1.0, 2.0% 씩 향상되었다. 머지 기능을 이용하여 검량식을 합병한 후 검량식을 다시 작성한 결과 99.7%로 정확도가 더욱 향상되었다. 이와 같은 결과로서 건조와 분쇄과정을 생략하기 때문에 시료의 변질을 막을 수 있고 시간과 비용을 줄일 수 있는 벼 생잎의 질소농도 측정이 근적외분석기술에 의해 가능할 것으로 판단되었다.

## 2) 재배환경이 다른 지역에서 벼 생육형질 · 질소농도 · 미질 · 수량 및 수량구성요소의 관계

기온은 식물의 대사과정에 직접적인 영향을 끼침으로서 성장과 발육을 결정하는 중요한 환경요인이며, 식물은 개체 및 군락 수준에서 기온의 일변화, 계절변화 혹은 영년변화에 반응한다. 표고는 벼 재배에 있어 기온과 관계가 있으며 표고가 낮은 지역에서는 중만생종, 표고가 높은 지역에서는 중생종, 또는 조생종의 벼 재배가 바람직하나 작부체계나 미질 등을 고려하여 다양한 생태형의 벼 재배가 이루어지고 있는 실정이다. 生態型(ecotype)은 동일종이 다른 환경에서 생육하기 때문에 각각의 환경조건에 적응하여 분화된 형질이 유전적으로 고정되어 생긴 형이다. 벼의 수량은 1차적으로 출수기 이전에 형성되는 단위면적당 영화수에 의하여 결정되며, 2차적으로는 출수기 전후의 광합성량과 동화산물에서 이삭으로의 전류에 의해 결정되는 등숙율로 최종 결정된다. 영화수와 등숙율은 벼의 생태형과 표고에 의해 반응이 달라진다고 생각한다(Yoshida and Hara, 1977). 수량구성요소별 수량에 대한 기여도는 단위면적당 영화수가 60%, 등숙비율과 현미천립중이 21%이고(Yoshida, 1981), 단위면적당 영화수는 벼의 수량의 약 80% 이상의 변이를 설명할 수 있다(Yoshida and Parao, 1976). 벼의 수량은 광합성에 의해서 생성된 탄수화물이 이삭에 집적된 총량이며, 전분곡물의 전분구성은 수확량과 밀접

한 상관관계가 있다(Crafts-Brandner and Egli, 1987). 본 연구는 벼의 재배환경이 다른 지역에서 생육형질과 질소농도 등이 쌀 수량성의 관련 형질에 미치는 정도를 조사 분석하여 벼 시비진단 및 처방기기 개발에 필요한 자료로 이용하고자 시험을 실시하였다.

식물은 일반적으로 각 식물에 대한 최적의 기온 또는 지온이 있다. 최적온도를 벗어나면 뿌리의 발달이 저조하며 특히 신근의 발달과 신장이 억제된다. 양분흡수는 뿌리의 호기호흡 대사활성과 밀접한 관계가 있어 온도변화는 뿌리의 호흡속도를 변동시켜 양분흡수에 영향을 미친다.

출수기는 조생종 7월 27 ~ 29일, 중생종 8월 2 ~ 11일, 중만생종 8월 10 ~ 15일로 조생종, 중생종, 중만생종 순으로 빨라지는 경향을 나타냈다. 간장은 조생종 74cm, 중생종 78cm, 중만생종 76cm로 중생종, 중만생종, 조생종 순으로 길었다. 수장은 조생종과 중생종이 21cm, 중만생종이 20cm를 나타내 조생종과 중생종에 비해 중만생종에서 1cm 작아졌다. **주당수수**는 조생종과 중만생종에서 14개로 중생종에 비해서 1개가 적었다. 품종에 따라 12개에서 18개까지 주당 6개의 차이를 나타냈다. 입수는 조생종 92개와 중생종에서 93개, 중만생종에서 89개를 나타내 중생종에서 수당 입수가 많았다. 등숙비율은 중만생종, 중생종, 조생종 순으로 높았다. 현미 1,000립중은 중만생종, 조생종, 중생종 순으로 무거웠다.

벼의 수량은 환경에 의해 영향을 크게 받는다. 재배지역에 따라 수량 및 수량구성요소에 차이가 있는데, 전북 4개 지역 10a당 평균 쌀수량은 503kg이었다. 지역별 10a당 쌀수량은 부안이 544kg으로 가장 높았고 익산 > 진안 > 정읍 순이었다. 정읍지역이 다른 지역에 비해 수량이 감소한 원인은 도복으로 인하여 수량이 큰 폭 감소하였다. 10a당 쌀수량이 시험지역별 평균단수 이상인 품종은 익산지역의 경우 운광, 상옥, 삼덕, 대평, 호평, 주남, 삼광, 신동진, 청호, 평안, 일미 등 11품종, 정읍지역은 운광, 태성, 대평, 품미, 일미, 평안, 남평, 화랑, 신동진, 서평, 청호 등 11품종, 부안지역은 조생종 운광, 대평, 상옥, 일미, 주남, 삼광, 삼덕, 청호, 평안, 신동진, 서평 등 11품종, 진안지역은 운광, 태성, 삼덕, 상옥, 대평, 평안, 남평, 삼광, 청호 등 9품종이었다. 시험품종 중 운광, 대평, 청호, 평안 등 4품종은 시험 지역 모두에서 평균단수 이상의 높은 수량성을 보였다.

질소는 단백질의 구성원소이며, 핵산, 생장조절물질, 비타민 등과 같은 필수화합물의 구성원소이기도 하다. 또한 유전정보 저장, 효소활성, 구조형성 등 생명현상에 없어서는 안 될 주요성분이다. 따라서 식물체 내에 있어서의 질소의 생리적인 역할은 극히 범위가 넓으며 생리현상과 밀접한 관계를 가지고 있다(농촌진흥청, 1997). 익산지역의 품종과 시기별 벼 생체엽의 질소농도는 생육시기가 경과 할수록 3.066, 2.936, 2.666, 2.562%로 각각 낮아졌다. 생태형별로는 조생종 2.954, 중생종 2.842, 중만생종 2.780%로 조생종>중생종>중만생종 순이었다. 품종별 질소농도는 운광벼가 3.011%로 가장 높았고 남평벼가 2.587%로 가장 낮았다.

생태형에 따른 벼 생체엽의 질소농도는 조생종>중생종>중만생종 순으로 높았으며, 2.682 ~ 2.892% 사이로 0.21%의 차이를 나타냈다. 이처럼 조생종>중생종>중만생종 순으로 질소농도가 높은 원인은 생육기간이 짧고 긴 차이의 유전적인 영향으로 생각된다. 지역별 벼 생체엽의 질소농도는 익산 2.666,

부안 2.524, 정읍 2.996, 진안 2.742%로 나타났다. 지역별로 질소농도의 차이를 나타내는 결과는 토양 비옥도의 차이라고 생각된다. 생체엽의 질소농도는 생태형에 비해 지역별 차이가 큰 것을 알 수 있다.

표 2. 익산지역의 품종에 따른 벼 생육 특성과 수량 및 수량구성요소

품종명	출수기 (월/일)	간장 (cm)	수장 (cm)	주당 수수 (개)	수당 립수 (개)	등숙 비율 (%)	현미 천립중 (g)	정현 비율 (%)
태성	7.30	76	20	14	81	86.4	23.1	82.7
고운	7.27	75	20	13	86	88.4	23.0	82.6
운광	7.30	71	22	14	108	81.2	23.5	82.7
평균	7.29	74	21	14	92	85.3	23.0	82.7
금안	8.10	76	20	15	83	91.8	20.6	81.4
대평	8.10	83	22	14	110	85.9	21.8	81.9
삼덕	8.10	80	21	15	95	90.6	22.4	82.2
상옥	8.10	80	22	15	82	87.4	21.4	80.9
풍미	8.02	72	20	15	89	84.7	21.1	81.1
고품	8.11	77	20	14	99	90.6	21.2	82.0
평균	8.09	78	21	15	93	88.5	21.4	81.6
남평벼	8.13	73	19	15	83	94.1	21.4	81.4
주남벼	8.12	64	21	12	98	91.7	24.6	82.4
일미벼	8.13	77	20	14	96	91.7	22.5	82.5
신동진	8.11	81	20	13	88	87.8	28.2	83.2
서간	8.12	73	19	15	73	89.2	24.1	81.5
삼광	8.11	79	18	14	100	89.2	22.8	82.7
호평	8.15	78	19	18	78	92.5	21.4	82.5
평안	8.11	77	19	12	84	88.1	28.0	82.5
서평	8.10	70	21	15	99	84.9	25.6	81.2
화랑	8.15	72	19	14	86	88.9	23.4	80.7
청호	8.13	76	21	14	90	88.3	22.6	81.2
평균	8.12	75	20	14	89	89.7	24.1	82.0
총평균	8.09	76	20	14	90	88.7	23.1	82.0

표 3 . 지역별 생태형에 따른 수량 반응

품종명	익산	부안	정읍	진안	평균
태성	491	517	464	492	491
고운	484	483	432	463	466
운광	562	583	477	496	530
<b>평균</b>	<b>512</b>	<b>528</b>	<b>458</b>	<b>484</b>	<b>495</b>
금안	475	484	416	457	458
대평	556	581	466	520	531
삼덕	537	571	440	491	510
상옥	522	548	385	497	488
풍미	471	500	489	475	484
고품	481	537	455	473	487
<b>평균</b>	<b>507</b>	<b>537</b>	<b>442</b>	<b>486</b>	<b>493</b>
남평	511	517	492	509	507
주남	539	559	416	472	497
일미	522	547	478	483	508
신동진	547	581	499	478	526
서간	485	518	396	467	467
삼광	544	567	435	510	514
호평	539	535	459	479	503
평안	566	577	483	496	531
서평	508	557	518	449	508
화랑	519	550	497	463	507
칭호	558	573	522	512	541
<b>평균</b>	<b>531</b>	<b>553</b>	<b>472</b>	<b>483</b>	<b>510</b>
<b>총평균</b>	<b>521</b>	<b>544</b>	<b>461</b>	<b>484</b>	<b>503</b>

표 4. 익산지역의 품종과 시기별 벼 생체엽의 질소농도

품종명	질소농도(%)				
	7월 11일	7월 20일	7월 25일	7월 29일	평균
태성	3.069	2.992	2.711	2.644	2.923
고운	3.097	3.000	2.999	2.655	2.929
운광	3.126	3.104	2.861	2.778	3.011
평균	3.097	3.032	2.877	2.692	2.954
금안	3.164	2.975	2.727	2.787	2.904
대평	3.074	3.002	2.660	2.751	2.923
삼덕	3.087	3.056	2.378	2.593	2.915
상옥	3.106	2.939	2.587	2.482	2.829
풍미	2.924	2.862	2.627	2.531	2.709
고품	3.082	2.918	2.817	2.465	2.773
평균	3.073	2.959	2.633	2.602	2.842
남평벼	2.952	2.823	2.465	2.396	2.587
주남벼	3.116	2.952	2.707	2.393	2.777
일미벼	3.047	2.718	2.571	2.411	2.651
신동진	3.024	2.856	2.560	2.311	2.622
서간	3.219	2.967	2.745	2.683	2.921
삼광	3.135	2.984	2.699	2.779	2.947
호평	2.959	2.884	2.570	2.379	2.737
평안	2.992	2.885	2.513	2.393	2.784
서평	3.05	3.021	2.711	2.615	2.916
화랑	3.034	2.938	2.659	2.561	2.843
청호	3.06	2.849	2.699	2.635	2.835
평균	3.053	2.898	2.627	2.505	2.784
총평균	3.066	2.936	2.666	2.562	2.827

표 5. 영화분화기의 벼 품종과 지역별 생체엽의 질소농도

품종명	익산	부안	정읍	진안	평균
태성	2.711	2.888	2.776	2.986	2.855
고운	2.999	2.582	3.062	2.963	2.902
운광	2.861	2.820	2.964	3.035	2.920
평균	2.877	2.763	2.934	2.995	2.892
금안	2.727	2.627	3.174	2.689	2.804
대평	2.66	2.318	3.062	2.863	2.726
삼덕	2.378	2.643	3.071	2.923	2.754
상옥	2.587	2.575	3.008	2.788	2.740
풍미	2.627	2.513	3.091	2.519	2.688
고품	2.817	2.430	3.122	2.625	2.749
평균	2.633	2.518	3.088	2.735	2.743
남평	2.465	2.414	3.071	2.175	2.531
주남	2.707	2.581	3.057	2.648	2.748
일미	2.571	2.424	2.897	2.428	2.580
신동진	2.56	2.511	2.802	2.296	2.542
서간	2.745	2.489	3.085	2.813	2.783
삼광	2.699	2.562	2.963	2.888	2.778
호평	2.57	2.640	3.091	2.726	2.757
평안	2.513	2.550	2.913	2.867	2.711
서평	2.711	2.233	2.942	2.978	2.716
화량	2.659	2.057	2.886	2.84	2.611
청호	2.699	2.613	2.877	2.795	2.746
평균	2.627	2.461	2.962	2.678	2.682
전체평균	2.666	2.524	2.996	2.742	2.732

표 6. 벼 품종과 지역별 단백질 함량

품종명	익산	부안	정읍	진안	평균
태성	7.166	7.921	8.916	7.408	<b>7.853</b>
고운	6.752	7.283	7.043	6.714	<b>6.948</b>
운광	6.591	6.603	7.841	6.681	<b>6.929</b>
<b>평균</b>	<b>6.836</b>	<b>7.269</b>	<b>7.933</b>	<b>6.934</b>	<b>7.243</b>
금안	7.304	7.196	7.921	7.058	<b>7.370</b>
대평	6.869	6.636	7.560	6.340	<b>6.851</b>
삼덕	6.726	6.546	7.924	6.734	<b>6.983</b>
상옥	6.867	6.572	7.769	6.456	<b>6.916</b>
풍미	6.591	6.919	8.179	6.362	<b>7.013</b>
고품	6.362	6.273	7.696	8.202	<b>7.133</b>
<b>평균</b>	<b>6.787</b>	<b>6.690</b>	<b>7.842</b>	<b>6.859</b>	<b>7.044</b>
남평	6.553	6.472	7.948	7.248	<b>7.055</b>
주남	5.798	6.027	5.912	5.886	<b>5.906</b>
일미	6.307	6.324	7.277	6.910	<b>6.705</b>
신동진	6.235	5.810	7.107	5.840	<b>6.248</b>
서간	6.281	6.637	7.464	6.892	<b>6.819</b>
삼광	6.136	6.242	6.718	6.161	<b>6.314</b>
호평	6.765	6.273	6.324	6.043	<b>6.351</b>
평안	5.955	5.513	6.876	5.985	<b>6.082</b>
서평	6.773	6.559	7.610	6.707	<b>6.912</b>
화랑	6.177	5.867	6.953	6.319	<b>6.329</b>
청호	6.665	6.270	7.362	6.415	<b>6.678</b>
<b>평균</b>	<b>6.331</b>	<b>6.181</b>	<b>7.050</b>	<b>6.401</b>	<b>6.491</b>
<b>전체평균</b>	<b>6.540</b>	<b>6.497</b>	<b>7.420</b>	<b>6.618</b>	<b>6.770</b>

쌀의 단백질함량이 높으면 단백질 공급 측면에서는 유리하나 취반, 가공이용 관점에서는 색깔, 흡수성의 저하, 전분의 호화, 팽화가 억제되기 때문에 단백질함량이 적은 쌀이 미질에서는 우수하다고 볼 수 있다. 생태형에 따른 단백질 함량은 조생종>중생종>중만생종 순이었으며, 6.492 ~ 7.243% 사이로 0.751%의 차이를 나타냈다. 이처럼 조생종>중생종>중만생종 순으로 단백질함량이 높은 원인은 생육기간이 짧고 긴 차이의 환경적인 영향으로 생각된다. 지역별 벼 품종의 단백질 함량은 익산 6.54, 부안 6.497, 정읍 7.420, 진안 6.618%로 나타났다. 지역별로 단백질 함량의 차이를 나타내는 결과는 토양 비옥도의 차이라고 생각된다. 생태형에 따른 지역별 벼 품종의 단백질 함량이 생태형에 비해 지역별 차이가 큰 것을 알 수 있다.

사람이 밥을 먹을 때 느끼는 맛을 식미라 지칭한다. 식미라는 기호성은 절대적인 것이 아니며, 식미를 검정하는 기계적인 방법도 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 밥의 윤기가 많을수록 밥맛이 좋다는 원리에 근거하여 밥의 윤기를 측정하여 수치화한 방식의 기기를 이용했다. 생태형에 따른 식미치는 중만생종> 중생종>조생종 순으로 높았으며, 68 ~ 73 포인트 사이로 5포인트의 차이를 나타냈다. 이처럼 중만생종> 중생종>조생종 순으로 식미치 값이 높은 원인은 생육기간이 짧고 긴 차이의 유전적인 영향으로 질소농도가 높아 단백질 함량이 높기 때문으로 생각된다. 지역별 벼 품종의 식미치값은 익산 74, 부안 75, 정읍 69, 진안 71로 나타났다. 지역별로 식미값의 차이를 나타내는 결과는 벼 식물체의 질소농도 차이라고 생각된다. 생태형에 따른 지역별 벼 품종의 식미값이 생태형에 비해 지역간에 차이가 큰 것을 알 수 있다.

표 7. 벼 품종과 지역별 식미치

품종명	익산	부안	정읍	진안	평균
태성	70	70	72	72	71
고운	62	74	60	72	67
운광	61	76	65	67	67
<b>평균</b>	<b>64</b>	<b>73</b>	<b>66</b>	<b>70</b>	<b>68</b>
금안	74	75	72	74	74
대평	71	76	61	69	69
삼덕	72	76	63	69	70
상옥	75	74	70	70	72
풍미	75	73	74	67	72
고품	75	78	69	76	75
<b>평균</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>68</b>	<b>71</b>	<b>72</b>
남평	80	74	69	70	73
주남	78	69	68	72	72
일미	76	78	73	73	75
신동진	76	77	71	73	74
서간	71	78	64	65	70
삼광	79	76	79	72	77
호평	80	74	69	72	74
평안	78	78	73	76	76
서평	72	75	68	69	71
화랑	74	75	66	66	70
칭호	76	74	76	70	74
<b>평균</b>	<b>76</b>	<b>75</b>	<b>71</b>	<b>71</b>	<b>73</b>
<b>전체평균</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>69</b>	<b>71</b>	<b>72</b>

## ○ 결과요약

벼의 재배환경이 다른 지역에서 생육형질과 질소농도 등이 쌀 수량성의 관련 형질에 미치는 정도를 조사 분석하여 벼 시비진단 및 처방기기 개발에 필요한 자료로 이용하고자 시험을 실시한 결과는 다음과 같다. 4개 지역 10a당 평균 쌀수량은 503kg이었다. 지역별 10a당 쌀 수량은 부안이 544kg으로 가장 높았고 익산(521) > 진안(484) > 정읍(461) 순이었다. 시험품종 중 운광, 대평, 청호, 평안 등 4품종은 시험지역 모두에서 평균단수 이상의 높은 수량성을 보였다. 품종과 생육 시기별 벼 생체엽의 질소농도는 생육시기가 경과할수록 3.066, 2.936, 2.666, 2.562%로 각각 낮아졌다. 품종별 질소농도는 7월 11일 2.924 ~ 3.319%, 7월 20일 2.718 ~ 3.104%, 7월 25일 2.378 ~ 2.999%, 7월 29일 2.311 ~ 2.787%의 분포를 나타냈다. 생태형에 따른 벼 생체엽의 질소농도는 조생종>중생종>중만생종 순으로 높았으며, 2.784 ~ 2.954% 사이로 0.17%의 차이를 나타냈다. 생태형에 따른 단백질 함량은 조생종>중생종>중만생종 순으로 높았으며, 6.58 ~ 7.322% 사이로 0.502%의 차이를 나타냈다. 지역별 벼 품종의 단백질 함량은 익산 6.51, 부안 6.497, 정읍 7.42, 진안 6.618%로 나타났다. 생태형에 따른 식미치는 중만생종>중생종>조생종 순으로 높았으며, 68 ~ 73 포인트 사이로 5포인트의 차이를 나타냈다. 지역별 벼 품종의 식미치값은 익산 74, 부안 75, 정읍 69, 진안 71로 나타났다.

### 나. 재배환경에 따른 벼 생체 엽신 질소함량 변화 구명 및 프로그램 작성

#### 1) 재배환경에 따른 벼 생체엽신 질소함량의 변화 구명

벼의 생육기간중 분얼기에 질소영양이 결핍하게 되면 분얼수가 감소하고, 유수형성기에 질소영양이 부족하게 되면 퇴화영화수의 증가로 수당영화수가 감소하게 된다(松島, 1957, 1965; 和田 등, 1968; Yoshida, 1981). 유수영화분화기의 질소흡수량 및 이 시기의 건물중과 단위면적당 영화수 사이에는 유의한 상관이 있으며, 이러한 상관정도는 지역 및 품종에 따라 달라진다고 한다(Hasegawa, *et al.*, 1994; Kropff, *et al.*, 1994; 村山, 1967). 우리나라에서 현재까지 알려진 질소이용률은 약 30%에 불과하며, 근년 들어 자원절약이나 환경보전 측면에서 질소이용률은 재배방법에 따라 상이할 것이라고 했다(柳 등, 1996). 단위면적당 영화수와 유수형성기 건물중 증가 간에는 유의한 상관관계가 있고, 또한 이 기간 중의 질소영양상태와 밀접한 관계가 있다(이와 김, 2002).

질소영양지수란 각 시기에 작물의 최적 생육상태 즉, 최대 건물중 증가를 위한 작물체내 최소 질소농도에 대비한 실제 작물이 가지고 있는 질소농도의 비를 의미하는데, 유수분화기의 질소영양지수는 다른 질소영양관련 지수들과 고도의 유의한 상관이 있었지만, 그 중에서도 유수분화기까지 질소결핍 일수 및 출수기까지의 질소결핍일수간의 상관정도가 가장 유의하였으며, 출수기의 질소영양지수는 유수분화기간(유수형성기 ~ 출수기)의 질소결핍 일수와의 상관이 유의하였다고 보고하였다(이와 김, 2002). 유수분화기에 경엽중의 높은 질소농도 조건에 의해 영화의 형성효율이 높아지는데( 박 등, 2002 ), 이러한 이

유로 현재 우리나라의 벼 질소시비체계는 성분량으로 11 ~ 15kg/10a 수준으로 기비-분얼비-수비의 분시방법을 사용하고 있으며, 농가에서는 표준시비량을 준수하지 않고 과비하는 경향이 많다. 이중 수비는 30% 수준이나 달관적 엽색 정도에 따라 가감하고 있는 형편이다.

따라서 벼 식물체의 건조와 분쇄과정을 생략한 생체엽신 질소함량 측정법을 개발하여 현장에서 벼 시비 진단 및 처방 기기 개발에 필요한 자료로 활용 할 목적으로 시험을 실시하였다.

질소는 단백질의 구성원소이며, 핵산, 생장조절물질, 비타민 등과 같은 필수화합물의 구성원소이기도 하다. 또한 유전정보 저장, 효소활성, 구조형성 등 생명현상에 없어서는 안 될 주요성분이다. 따라서 식물체 내에 있어서의 질소의 생리적인 역할은 극히 범위가 넓으며 생리현상과 밀접한 관계를 가지고 있다(농촌진흥청, 1997). 질소시비량에 따른 생육시기별 생체엽신의 질소함량 변화는 질소시비량이 증가될수록 높았으며, 생육시기가 경과될수록 감소하는 경향이었다(표 1). 이와 같은 결과는 엽신의 질소함량은 초기에 기비의 양에 따라 차이가 있었으며 생육후기에는 전체 시비량 및 수비사용량에 영향을 받았다고 하는 결과와 같은 경향이었다(이 등, 1980).

표 1. 질소시비량에 따른 벼 생육 시기별 생체엽신의 질소함량 (단위 :%)

질소시비 (kg/10a)	최고 분얼기	생식 생장전	유수 형성기	영화 분화기	감수 분열기	출수기	평균
0	2.973	2.492	2.399	2.393	2.327	2.367	2.540c
7	3.262	2.495	2.488	2.469	2.339	2.410	2.585bc
11	3.509	2.683	2.633	2.569	2.488	2.483	2.728ab
15	3.681	2.771	2.761	2.612	2.795	2.526	2.858a
평균	3.440	2.610	2.570	2.511	2.487	2.447	2.677

질소시비량에 따른 재식밀도별 생체엽신의 질소함량은 시비량이 증가하고 재식거리가 증가 할수록 질소함량이 증가하였다. 질소의 사용은 엽면적을 확대시키고 초기의 전엽수를 증가시켜 엽면적의 확대에 의한 종실비대에 필요한 탄수화물을 충분히 공급함으로써 수량을 증가시킨다. 따라서 질소가 부족하면 도체생장도 약하고, 개화가 되더라도 결실률이 낮으며, 종실의 발육이 불량하여 수량도 적고 품질도 좋지 못하다. 반면에 질소를 과다 사용하면 줄기와 잎의 생장에만 동화양분이 대부분 소비되어 도체가 도장되고 등숙이 불량하게 된다.(표 2) 벼 잎의 생육단계별 평균 질소농도는 최고분얼기에 3.371%와 영화분화기에 2.561%를 나타내 최고분얼기에 비해 영화분화기에 0.81% 포인트가 낮게 나타났다.

질소시비량에 따른 수비사용량별 생체엽의 질소함량도 표3에서와 같이 시비량이 증가할수록 증가하였다. 그러나 증가폭은 역시 수비량에 비해 시비량이 증가할수록 큰 차이를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 생육단계별 질소농도는 앞에서 기술한 바와 같다.

상관계수는 어떤 관측대상 집단에서 각각의 관측단위를 갖는 어떤 2가지 속성에 주목하여 그 값을 관측했을 때, 양쪽 사이에 존재하는 직선적인 관련의 강약을 나타내는 지표를 의미하는데, 질소시비량과

수량과의 상관관계는 70% 이상을 설명할 수 있으며, 질소시비량이 증가할수록 수량은 증가하였으나, 13kg/10a 이상에서는 오히려 감소하였다. 질소시비량이 증가할수록 식미값은 감소하는 경향이었으며, 상관계수는 -0.679를 나타냈다.(그림1) 질소시비량에 따른 벼 생체엽중의 질소농도는 시비량이 증가할수록 증가하였으나, 최고분얼기에 비해 영화분화기에 0.81% 포인트 낮았다.(그림 2) 최고분얼기와 영화분화기의 질소농도와 수량과의 관계는 정의 상관관계를 보였으며, 상관계수가 최고분얼기에 0.6557과 영화분화기에 0.6068을 나타내 60% 이상을 설명할 수 있었다.(그림 3)

표 2. 벼 생육단계와 재식거리별 생체엽중 질소함량 (단위 :%)

생육시기	재식거리 (cm)	질소시비량(kg/10a)				평균
		0	7	11	15	
최고 분얼기	30×11	2.964	3.238	3.431	3.731	3.341
	30×13	2.987	3.317	3.544	3.910	3.440
	30×15	3.033	3.365	3.552	3.988	3.485
	평균	2.973	3.262	3.509	3.741	3.371
영화 분화기	30×11	2.286	2.442	2.556	2.576	2.465
	30×13	2.330	2.484	2.558	2.636	2.502
	30×15	2.348	2.517	2.672	2.726	2.566
	평균	2.387	2.488	2.633	2.735	2.561

표 3. 벼 생육단계별 수비량에 따른 생체엽신의 질소함량 (단위 : %)

생육시기	질소시비량 (kg/10a)	질소수비량(kg/10a)				평균
		0	4	8	12	
최고 분얼기	0	2.846	2.989	3.024	3.119	2.973
	7	3.182	3.192	3.314	3.538	3.262
	11	3.172	3.501	3.609	3.754	3.509
	15	3.682	3.864	3.879	4.080	3.741
	평균	3.221	3.387	3.457	3.623	3.371
영화 분화기	0	2.224	2.325	2.350	2.385	2.387
	7	2.436	2.472	2.478	2.537	2.488
	11	2.758	2.825	2.864	2.868	2.633
	15	2.489	2.535	2.735	2.792	2.735
	평균	2.477	2.539	2.609	2.646	2.561

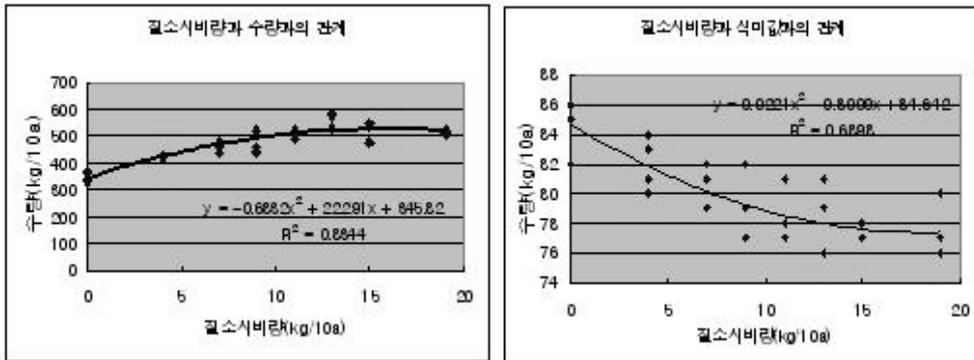


그림 1. 질소시비량이 다른 조건에서 수량과 식미값과의 관계

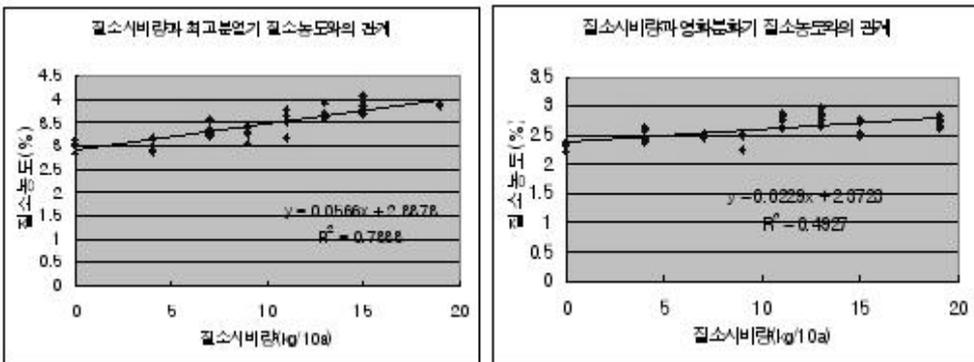


그림 2. 질소시비량이 다른 조건에서 최고분얼기와 영화분화기의 질소농도 관계

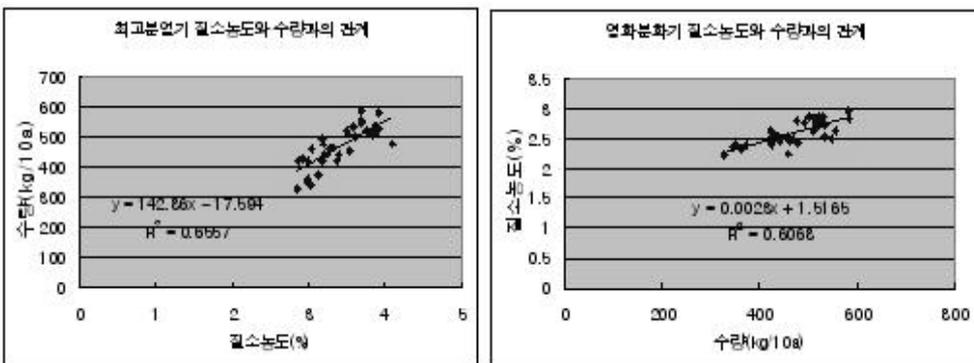


그림 3. 질소농도가 다른 조건에서 최고분얼기와 영화분화기의 질소농도와 수량과의 관계

질소영양지수(Nitrogen Nutrition Index: NNI)는 한계질소농도(Nc, %)에 대한 실측질소농도(Nact)의 비로 계산된다. 질소시비량에 따른 생육시기별 생체엽의 질소영양지수 변화는 표 4에서와 같이 최고 분얼기부터 출수기까지 증가하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 영양생장기에 지상부가 무성하여 광합성을 수행하는 엽면적이 늘기 때문에 유수형성기를 거치면 전분, 셀룰로오스, 리그닌 등의 탄수화물, 세포벽질의 집적을 가져오고 그로 인하여 질소영양지수가 증가하는 결과라고 생각된다. 질소시비량에 따른 재식거리별 생체엽의 질소영양지수도 질소농도와 같이 시비량이 증가할수록 증가하였다.

표 4. 생육단계에 따른 질소시비량별 생체엽의 질소영양지수

질소시비량 (kg/10a)	최고 분얼기	생식 생장전	유수 형성기	영화 분화기	감수 분열기	출수기	평균
0	19.4	20.3	20.8	25.5	28.3	30.3	24.1
7	20.3	21.6	24.0	26.8	29.8	31.6	25.7
11	22.2	24.0	25.7	29.0	32.3	36.1	28.2
15	24.7	26.2	27.4	30.6	36.4	37.7	30.5
평균	21.7	23.0	24.5	28.0	31.7	33.9	27.1

표 5. 질소시비량에 따른 재식거리별 생체엽의 질소영양지수

재식거리 (cm)	질소시비량(kg/10a)				평균
	0	7	11	15	
30×11	26.6	26.8	27.0	27.2	26.9
30×13	26.8	27.0	27.2	27.3	27.1
30×15	26.9	27.1	27.3	27.5	27.2
평균	26.8	27.0	27.2	27.3	27.1

질소시비량에 따른 수비시용량별 생체엽의 질소영양지수도 질소농도와 같이 시비량과 수비량이 증가할수록 증가하였다. 증가폭도 수비량에 비해 시비량에서 큰 차이를 나타내었다(표 6). 표 1에서 질소함량은 2.677%를 나타냈으며, 표 5에서 질소영양지수는 27.1을 나타냈다. 벼 식물체에서 질소함량은 생육시기가 경과할수록 낮게 나타나나 질소영양지수는 높게 나타나기 때문에 작물에 대한 이용성이 다르다고 생각된다.

표 6. 질소시비량에 따른 수비사용량별 생체엽의 질소영양지수

질소수비량 (kg/10a)	질소시비량(kg/10a)				평균
	0	7	11	15	
0	26.5	26.7	26.9	27.1	26.8
4	26.7	27.0	27.2	27.4	27.1
8	26.8	27.1	27.3	27.6	27.2
12	26.9	27.2	27.5	27.7	27.3
평균	26.7	27.0	27.2	27.5	27.1

생육시기에 따른 연도별 질소함량은 2001년 2002년 2004년에 비해 2003년도가 높은 경향을 보였으며, 이들 연도와 2003년과는 유의성이 인정되었다. 질소시비량에 따른 연도별 질소함량은 2001년 2002년 2003년 모두 년차간의 차이가 인정되었다. 수비사용량에 따른 연도별 질소함량 변화는 수비사용 연도 별의 차이가 인정 되었다.

표 7. 생육시기에 따른 조사 연도별 질소함량 (단위 : %)

조사 년도	무효 분얼기	최고 분얼기	생식 생장전	생식 생장후	유수 형성기	영화 분화기	감수 분열기	출수기	평균
2001	4.769	3.456	3.190	2.755	2.426	2.397	2.332	2.300	2.953b
2002	4.527	3.454	3.296	2.727	2.581	2.526	2.490	2.597	3.025b
2003	4.627	3.790	3.501	3.150	2.846	2.902	2.851	2.491	3.270a
2004	4.082	3.915	3.218	2.921	2.518	2.604	2.291	2.210	2.970b
평균	4.501	3.654	3.301	2.888	2.593	2.607	2.491	2.400	3.055

표 8. 질소시비량에 따른 조사 연도별 질소함량 (단위 : %)

조사년도	질소시비량(kg/10a)				평균
	11	15	19	22	
2001	2.729	2.859	3.006	3.026	2.905c
2002	2.658	2.715	2.787	2.850	2.753b
2004	2.976	3.117	3.207	3.353	3.163a
평균	2.788	2.897	3.000	3.076	2.940

표 9. 수비사용량에 따른 조사 년도별 질소함량

(단위 : %)

수비실량 (kg/10a)	조사년도			평균
	2001	2002	2004	
4	2.324	2.525	2.354	2.401b
8	2.471	2.599	2.449	2.506a
평균	2.398	2.562	2.402	2.454

벼의 수량에 관련된 형질들은 환경에 의해 영향을 크게 받는다. 질소시비량에 의해서도 수량 및 수량 구성요소에 영향을 미치는데, 수량구성요소에서 수수는 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향으로 0kg에서 주당 8.6개, 15kg에서 17.1개를 보였다. 입수는 시비량이 증가함에 따라 감소하는 경향으로 7kg에서 수당 89.8개로 많았고 15kg에서 86.9개로 적었다. 등숙률은 질소시비량이 증가할수록 적어지는 경향이였다. 천립중은 21.5 ~22.0 그램으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 쌀 수량은 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향이였다.

표 10. 수량구성요소와 수량

질소량 (kg/10a)	수수(개/주)	입수(개/수)	등숙율(%)	천립중(g)	쌀수량 (kg/10a)
0	8.6	82.6	84.4	22.0	352
7	13.6	89.8	81.8	21.8	459
11	15.8	88.9	77.7	21.7	511
15	17.1	86.9	73.6	21.5	523

질소시비효율은 시비구 수량에서 무비구 수량을 제외한 다음에 질소 시비량으로 나눈 값으로 계산한다. 질소 시비량 및 재식 밀도에 따른 질소시비효율은 질소 시비량이 감소할수록 높았으며, 재식 밀도 간에는 일정한 경향을 찾을 수 없었다(표 11).

표 11. 질소시비량 및 재식거리에 따른 질소시비 효율 (단위 : kg/10a)

재식밀도 (cm)	질소시비량(kg/10a)			평 균
	7	11	15	
30×11	14.9	13.0	10.5	12.8
30×13	16.3	14.5	12.0	14.3
30×15	15.4	12.7	11.7	13.3
평 균	15.5	13.4	11.4	13.4

분산분석은 2 표본 이상의 평균치에 대한 차이를 검정하는 통계적인 방법으로 표본들이 동일한 평균을 가진 모집단에서 추출된 것인지의 여부를 추론 할 수 있는 방법이다.

시비량, 수비량, 재식거리, 시비량 × 재식거리 등에서 차이가 인정되어 고도의 유의성을 나타냈고 시비량 × 재식거리는 상호교호작용이 있음을 인정할 수 있었다. 그러나 시비량 × 수비량, 수비량 × 재식거리, 시비량 × 수비량 × 재식거리 등에 있어서는 교호작용이 인정되지 않았다.(표 12) 이러한 결과로 보아 시비량과 수비시용방법의 차이가 수량에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

표 12. 질소시비량, 수비량, 재식거리가 다른 조건에서 수량에 대한 분산분석

요 인	SS	MS	F-Value
시비량	34691.3	12163.8	6.11**
수비량	78472.5	26157.5	13.14**
재식거리	136996.0	68498.0	34.4**
시비량×수비량	25793.1	2865.9	1.44
시비량×재식거리	52294.0	8715.7	4.38**
수비량×재식거리	15815.9	2636.0	1.32
시비량×수비량×재식거리	23708.8	1317.2	0.66

미질은 쌀알이 갖는 물리적·화학적 성질을 종합하는 것으로서 미질을 구성하는 요인은 크게 네 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 쌀의 외형적인 품위로서 쌀알의 크기·모양·투명도·색·윤기 및 동할미 또는 이물질의 혼입비율 등 쌀의 상품성을 좌우하는 1차적인 특성들이 이에 속한다. 질소시비량에 따른 현미품위는 소비에서 완전미율은 높고 청미율은 낮았다(표 13). 이러한 결과로 보아 과비 상태에서는 수비량을 줄이고, 소비상태에서는 수비량을 늘려 미질을 향상시켜야 된다고 생각된다.

표 13. 수비시용방법에 따른 현미품위

(단위 : %)

구 분	완전미	동할미	청미	피해립	사미
0	78.3	4.5	10.6	4.8	1.8
7	76.6	4.7	11.7	4.9	2.1
11	74.9	4.9	12.5	5.0	2.7
15	70.3	5.5	15.2	6.2	2.8

표14. 수비시용방법에 따른 질소시비량별 식미치와 단백질 함량

구분	질소시비량(kg/10a)			
	0	7	11	15
식미치	84.4	80.0	78.0	77.3
단백질함량(%)	5.5	6.0	6.2	6.5

식미치는 윤기가 많을수록 밥맛이 좋다는 원리에 근거하여 밥의 윤기를 측정 할 수 있는 장치가 개발되어 이를 이용하여 조사한 결과이다. 식미치는 질소시비량이 증가함에 따라 감소하였고, 수비시용방법에서는 프로그램 이용한 시용방법에서 높았다. 이러한 결과도 프로그램을 이용한 시용방법에서 과비상태에서는 감비, 소비상태에서는 증비를 처방하여 미질을 향상시켜야 한다고 생각한다. 쌀의 단백질함량이 높으면 단백질 공급 측면에서는 우수하나 취반, 가공이용 관점에서는 색깔, 흡습성의 저하, 전분의 호화, 팽화가 억제되기 때문에 단백질함량이 적은 쌀이 미질에서는 우수하다고 볼 수 있다. 질소시비량이 증가함에 따라 단백질함량이 증가하였는데(표 14), 이러한 결과는 식미치와 같은 원인이라고 생각된다.

### ○ 결과요약

벼 식물체의 건조와 분쇄과정을 생략한 생체엽신 질소함량 측정법을 개발하여 재배방법에 따른 벼 생체엽신 질소함량의 변화를 구명하고 생체엽신 질소농도와 관련된 형질의 관련성을 구명하여 현장에서 시비진단 및 처방에 활용 하고자 시험을 실시하였다.

질소시비량에 따른 생육 시기별 생체엽신의 질소함량 변화는 질소시비량이 증가 될수록 높았다. 질소시비량에 따른 재식밀도별 생체엽신의 질소함량은 재식밀도가 증가할수록 질소함량이 낮았다. 질소농도는 최고분얼기에 3.371%와 영화분화기에 2.561%를 나타내 최고분얼기에 비해 영화분화기에 0.81% 포인트가 낮게 나타났다. 질소시비량에 따른 수비시용량별 생체엽신의 질소함량은 수비시용량이 증가

할수록 높은 경향이였다. 생육단계에 따른 질소시비량별 생체엽신의 질소영양지수는 질소시비량의 증가와 생육과정이 경과할수록 높았다. 질소함량은 2.677%를 나타냈으며, 질소영양지수는 27.1을 나타냈다.

#### 다. 벼 엽신 질소의 간이형 비파괴 측정기기에 적합한 분광기 선정

벼 엽신 질소는 엽 단백질을 지칭하고 있는데, 잎 질소의 주요성분인 아미노산, 펩타이드 및 단백질의 특징적인 관능기에 해당하는 2056nm 및 2180nm에서  $-NH_2$  또는  $-CONH$  유래의 흡광도가 벼 잎 단백질의 함량과 높은 상관관계를 가지는 원리를 응용하고자 하는 것이다.

연구용 근적외 분광기를 사용하여, 벼 엽신 질소성분을 정확도 높게 측정하기 위해서는 벼 잎 시료를 절취, 건조, 분쇄, 차광 성분이 불균일한 여러 잎 부위를 측정하는 수단을 구사할 필요가 있다.

그러나 생육이 왕성하여 수분함량이 많은 시기에 벼 잎 한 가닥마다의 농도차이를 극소화시키고 살아있는 채로 재배 현장에서 벼 엽신 질소를 측정하기 위해서는 시료 중 수분유래의 흡광도가 장파장(1100~2500nm)에 비해 상대적으로 적고 측정 소요시간이 10초 내로 짧아야 할 필요가 있으므로 본 연구에서는 700nm에서 1100nm까지의 극단파장 근적외 영역을 채택하였다.

간이형 측정기의 개발 목적에 가장 적합한 후분광, 즉 자외선, 가시적외선 영역 광선이 모두 포함된 백색광을 발광시켜 살아있는 벼 한 묶음 전체에 광선을 투과시켜 700nm에서 1100nm 까지 센서소자가 병렬로 배치된 다이오드 어레이에 바로 입력되어서 얻어지는 스펙트럼자료를 증폭시켜 파장별 흡광 데이터를 취득하는 방식을 채택함이 가장 이상적인 것으로 판단되었다.

연구에서 채택한 다이오드 어레이 분광기는 소형(65×65×130mm)이며 약 500g미만의 경량장치 일뿐만 아니라 벼 엽신의 성분정보를 내포한 광선을 광섬유 도관을 자유롭게 장착시킬 수 있는 컴팩트한 특징이 있어서 선정하였는데 근적외 분광장치의 개요를 그림1과 2에 나타내었다.

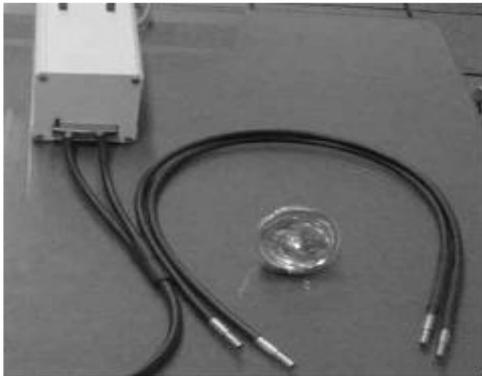


그림 1. 다이오드 어레이형 분광기

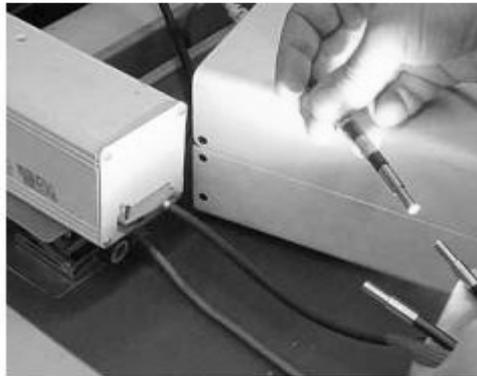


그림 2. 근적외 분광장치의 개요

### 1) 엽신 및 토양 스펙트럼 취득을 위한 최적 시스템 및 측광부 알고리즘설계

근적외 분광법을 구사하여 벼 엽신 중의 질소를 비파괴 측정하기 위해서는 우선 전력을 적정량 공급 (A)시켜 할로겐램프(B)를 발광시킬 필요가 있다. 광량을 밝게, 어둡게 조정할 수 있는 슬라이더스(C)로서 최적 밝기를 결정하고 광선이 일정방향으로만 유도되어 나갈 수 있고 여분의 빛은 차단시킬 수 있는 구조물(D)로 거쳐 출구로 나올 때, 광섬유가닥이 수백가닥 집약된 광파이버홀더(E)는 연구 목적에 따라 한 가닥으로 또는 두 가닥으로 분리시켜서 제작한 광원장치의 구조는 그림4과 같으며 뚜껑을 씌워서 사용할 때의 모습을 그림3에서 나타내었는데 본 연구에서는 한 가닥으로 나온 광선을 두 가닥으로 각각 분리시켜 한 가닥을 시료측정용으로, 다른 한 가닥은 벼 엽신 과는 달리 질소를 전혀 함유하지 않았으나 측정시점과 동일한 시간 내에 광원의 상태, 즉 잡광, 기계 전기적 노이즈를 파악하기 위한 리퍼런스 용으로 사용한다.



그림 3. 비파괴 측광기의 광원 장치

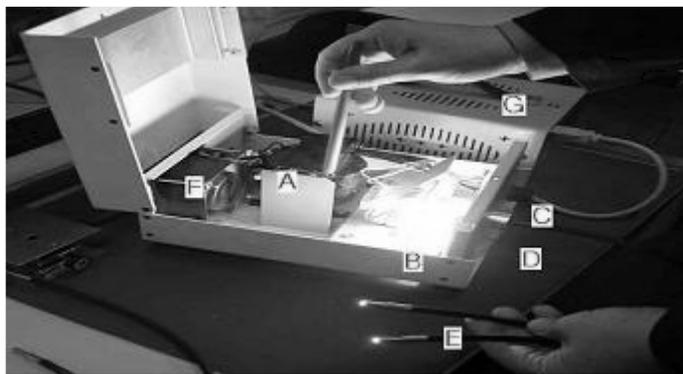


그림 4. 비파괴 측광 부 광원장치의 요소별 명칭

- A) 전원 공급 장치, B) 할로겐램프 C) 광량조절장치 D) 광선출구  
E)광파이버 F) 램프 냉각 팬 G)트랜스

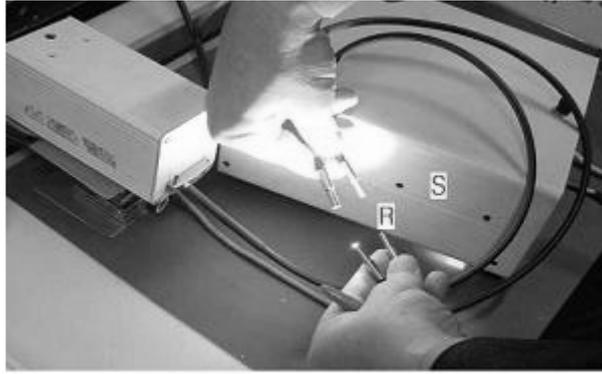


그림 5. 벼 엽신 비파괴 측정을 위한 광원 발생 장치 개념도

상기 그림3의 광원 발생장치로부터 나온 광선이 두 가닥으로 나뉘어져 있는 것 중 하나는 벼 엽신 측정 시료(S)용으로, 다른 하나는 리퍼런스 측정용(R)으로 사용되는 측정 개념을 그림5에 나타낸 것으로 실제 현장용 장치로서 응용하는 과정에서는 그림5에서 광파이버 가닥 간의 거리가 더욱 띄워져서 그 사이에 생육중인 벼 엽신의 다발이 파이버에 닿지 않게 하여야 하며, 또한 지나가는 광선의 열에 건조되어 열 변성되지 않도록 주변장치를 설정해주어야 한다.

논에서 생육중인 벼의 잎은 여러 가닥으로 분열되어 한 다발로 거의 밀착되어서 있는 상태인데 그 중에서 어떤 다발을 측정하려면 우선 장치가 대상물을 인식할 필요가 있다.

그림6의 윗부분에 날개를 양쪽으로 폭 15mm정도 벌리고 있는 송수광 센서의 A와 B 사이를 지나가면 A와 B사이를 연속으로 지나가는 빛이 일시적으로 차단되었다가 즉, 어두워졌다가 다시 밝아지는 신호로서 측정할 시료가 벼엽신 질소 계측기 안에 들어왔음을 인식하게 된다.

시료감지용 송수광 포토 센서가 벼단을 가진 후 약 5초 경과되면 그림5에서 광파이버로 유도되어온 광선이 그림6의 광서터(C)로 가려져 있다가 열리면 광선이 벼단을 투과하여 벼 잎에 함유된 구성 물질들의 정보를 수집한 후, 즉 투과된 빛이 D에 장착된 광파이버로 들어가서 그림1에서 설명한 근적외분광기 속으로 유도되어 들어가서 근적외 스펙트럼을 측정할 수 있게 한다.



그림 6. 벼 엽신 질소 계측기의 main Frame

그림6에서 광선통과를 차단하고 있던 광셔터(C)가 송수광 포토센서가 시료 통과 신호를 받고 3초간 뒤에 셔터가 열린 상태(A)를 그림6에 나타내었다.

광셔터가 광원으로부터 유도되어 시료 감지 유무에 따라 열리고, 닫힐 때 장치가 과열됨을 막기 위한 부착된 냉각팬(B)을 보여주고 있다. 이때 과열된 온도 감지 센서가 부착되어 작동되는 온도 설정이나 셔터의 개폐 등 이러한 몇 단계의 신호 순차적으로 실행하기 위한 알고리즘의 개념은 거의 구상되어 있으며 이를 실행할 프로그램 및 장치화를 2차 년도에서 수행할 계획이다.

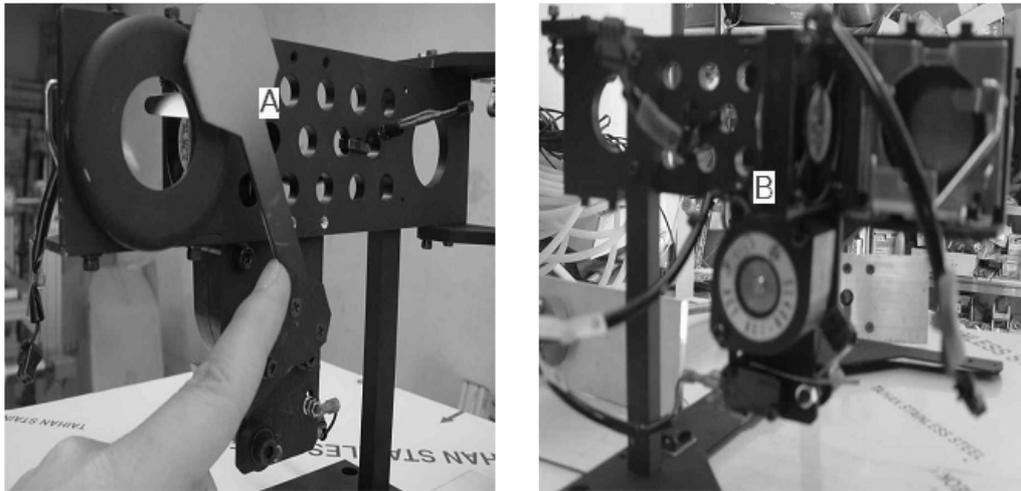


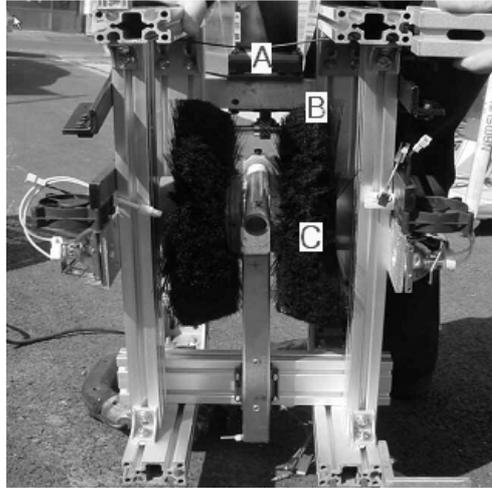
그림 7. 송수광 포토센서의 시료 측광 부 알고리즘 모델  
A: 개폐 솔레노이드 장치, B: 냉각팬

## 2) 엽신과 토양 중 질소 측정의 비파괴 측정 가능성 및 활용방안 조사

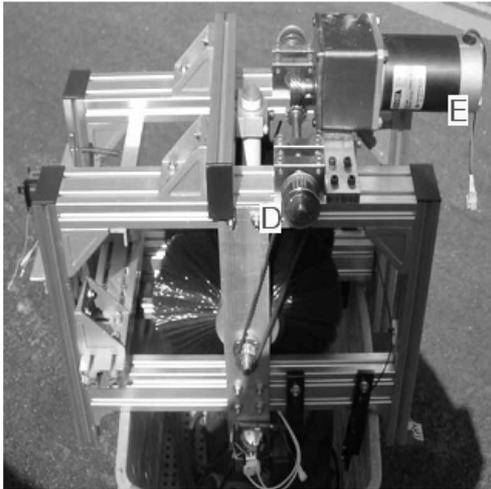
논에서 벼 엽신 중 질소 측정을 하기 위한 예비 제작 상태를 나타낸 그림8은 벼 시료의 모델로, 알루미늄 판을 모델로 하여 앞의 그림7까지의 장치들을 조합시킨 것인데 그림8-A에 보이는 두툼한 좌우 두 장의 인조 나일론으로 만든 슬은 벼단이 송수광 감지 센서를 거쳐서 들어왔을 때 일시적으로 회전되어 외부의 태양광선등 잡광을 차단시켜 실전에서 측정 정확도를 향상시키기 위한 것이다.

알루미늄 판의 위에 보이는 청색 파이프는 테프론이 부착된 것으로서 그림2에서 설명한 두 가닥의 광선 중 벼 시료에 대한 리프런스(R)데이터를 취득할 때 사용할 목적으로 제작한 것인데 벼단이 들어와 측정할 때는 공간이나 작동에 지장을 주지 않는 상단 후방부에 설치되어 있다가 데이터 취득이 필요한 시간 때가 되면 신호를 받아 자동적으로 소형 솔레노이드모터의 작동에 의해 약 15cm하강 하였다가 복귀되는 기능을 하계끔 설계되어 있다.

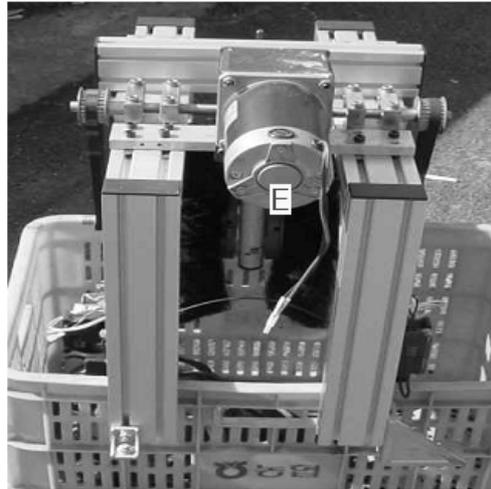
그림8의 C는 실제 현장인 논가에 쉽게 내렸다가 올릴 수 있도록 바퀴 및 커버가 장착되지 않았지만 송수광센서, 리퍼런스 및 시료 측정용 광파이버 설치위치 설정, 필요에 따라 광파이버를 생략하고 직접 모두 설치된 상태인데 차후 연구에서 전원 공급 문제, 소형 PC의 도입 등을 연구 내용으로 생각하고 있다.



(8-A)



(8-B)



(8-C)

그림 8. 벼 엽신 비파괴 측정기의 시제품 모델

- A: 회전 브러쉬(나일론재질), B: 리퍼런스 측정용(테프론) C: 벼 시료(모델)  
 D: 브러쉬 회전기어, E : 소형 모터(브러쉬 회전용)

### 3) 엽신 질소 비파괴 측정과 수비 시용량 처방 연동프로그램 구상

벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치로서 알아낸 질소량을 표준 수비 시용량과 비교하여 단위 면적당 추가할 질소 비료의 량을 계산할 수 있는 개념은 SYS-K040 I/O 보드를 이용하여 컴퓨터와 시스템간의 운영 및 제어를 가능하게 하였고, RS-232C SERIAL 인터페이스를 사용하여 근적외 분광기 장치로 측정된 데이터 획득 및 가공처리가 가능하다.

시스템의 구성은 시료검지 및 광선차단, 개폐부, 계측부, 측정공정컨트롤박스, 측정 후 시료 보호부, 측정결과를 토대로 수비 사용량을 계산하는 컴퓨터 출력부로 구성된다. 금번 과제의 이 부분의 연구는 실제 모델 측정기 제작과 연계된 부분이 많은데 진행되는 개념은 그림9와 같다.

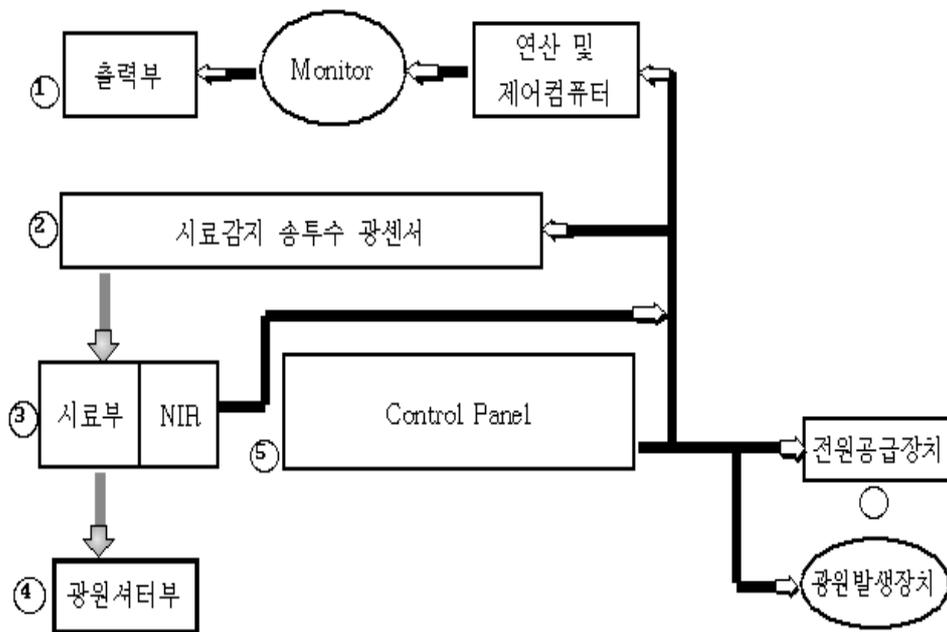
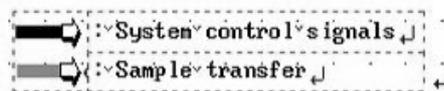


그림 9. 벼 엽신 질소함량 비파괴 측정기의 데이터 흐름 모식도



단파장 근적외 영역에서 생체 엽 시료 측정 스펙트럼을 측정한 결과 그림10과 같다. 이 스펙트럼 자료로는 생체 조직의 구성 물질 중 수분 이외에는 뚜렷한 신호를 관측할 수 없었다. 질소화합물의 관능기 즉 아미드 또는 펩타이드 유래의 정보가 뚜렷하지 않아 질소 함량 정량 분석용도로 채택되기 어렵다고 판단을 내렸다.

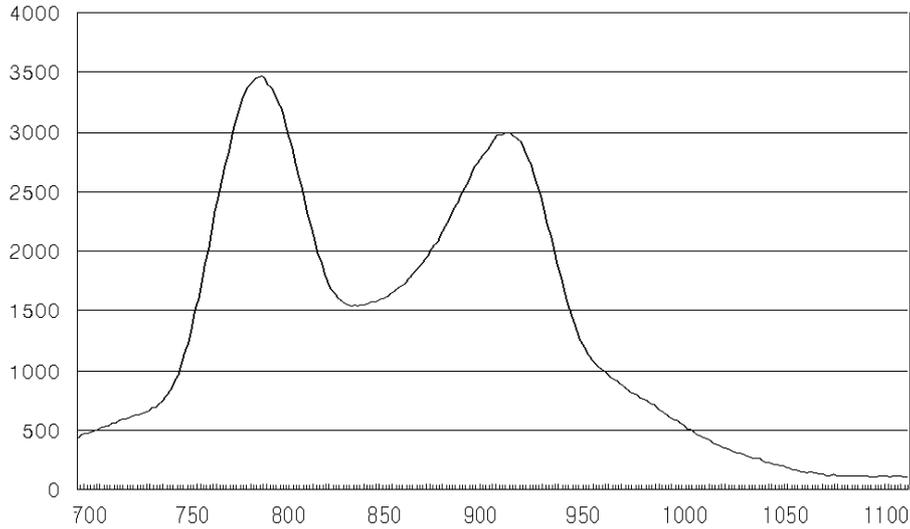


그림 10. 비 엽신 근적외 스펙트럼

따라서 당초 예상한 계획을 수정하여 1100nm이상의 장파장 근적외 영역에서 농산물 중의 단백질 함량에 민감한 파장영역(2056,2180nm)이 있는 것으로 널리 알려져 있으므로 이 영역에서 현장용으로 가능하면서 신속성을 지닌 근적외 분광기를 설계하기로 결정하였다.

### 5) 비 엽신 질소 함량을 비파괴 측정하기 위한 근적외 분광장치의 구성개요

비 엽신 질소는 잎의 주요성분인 아미노산, 펩타이드 및 단백질의 특징적인 관능기 정보를 가지고 있는 2056nm 및 2180nm에서  $-NH_2$  또는  $-CONH$  유래의 흡광도가 비 엽신의 단백질 함량과 상관관계를 가지는 원리를 응용하여 비파괴 측정을 하고자 하는 비 엽신 질소 측정용 근적외 분광장치의 구성개요는 그림11과 같다. 비

생체 엽신 시료가 시료 측광부로 도입되면 시료유래의 광학 정보가 감지되고 제어시스템부에서는 수광 신호를 감지하여 연산과정을 거쳐 질소 함량 측정결과를 출력할 수 있게 할 계획에 근거하여 장치의 설계, 제작, 성능 시험을 2차년도 연구에서 수행하고자 한다.

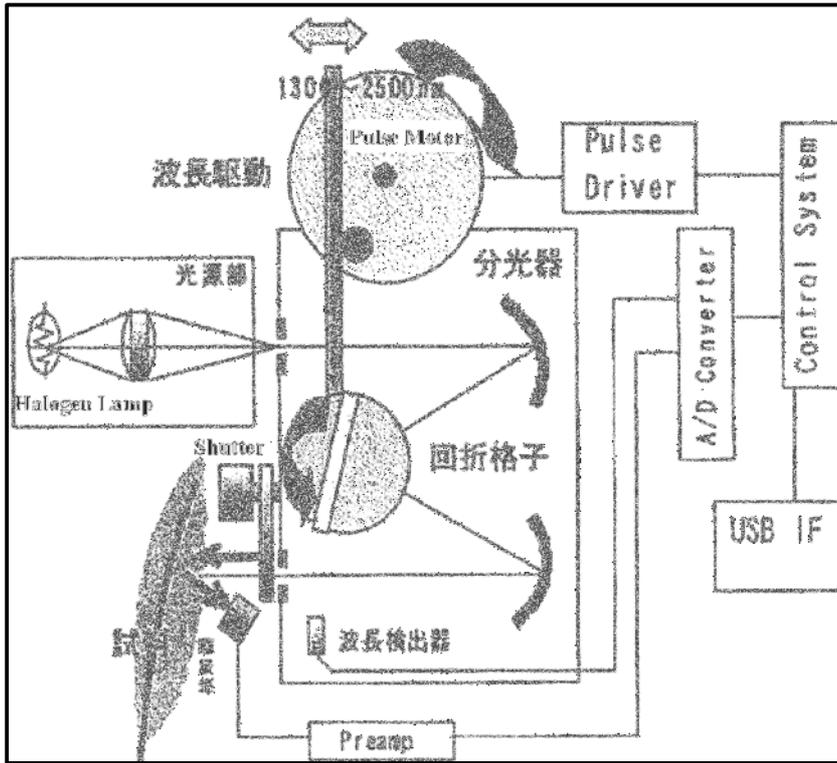


그림 11. 벼 생체 엽신 질소 함량 비파괴 측정기의 분광장치 모식도

#### 6) 벼 엽신 질소함량을 비파괴 측정하기 위한 근적외 분광장치의 모식도

시료 창에 벼 엽신을 놓고 제어 시스템을 가동하면 이 제어신호에 따라 측광부의 광 shutter가 열리면서 분광기에서 벼 생체 엽신의 분광 데이터를 취득하게 되고, 취득된 분광 데이터는 컴퓨터로 전송되어 저장되는 시스템으로 설계를 기획하였다.

근적외 광학계 기초는 3방향 스프링으로 잡아 당겨 3점을 지지하는 즉, 기계적으로 고정시키지 않고 독립시켜 비틀림이나 진동의 영향을 받지 않는 구조로 설계하였다. 시료는 눌러 붙여서 그 표면이 측정 되도록 하였으며 시료를 눌러 붙이는 측면으로부터 백색 판이 나타날 수 있게 하여 잡광이나 기계적 또는 전기적 노이즈를 파악하기 위한 리퍼런스를 측정하도록 하였다.

근적외 분광장치는 할로겐 램프에서 발생된 광선이 슬릿을 지나 회절격자(쉐르니터너형 광학계)를 지나고 시료 쪽으로 광선이 조사되며 조사된 광선은 시료에서 확산 반사된 이 광선 에너지를 PbS 검출기가 검출하는 방식으로 설계 하였다(그림12).



8) 벼 엽신 생체 계측용 근적외 분광장치의 설계도면

(연구내용의 보안 유지를 위해 구체적인 설명은 생략함)

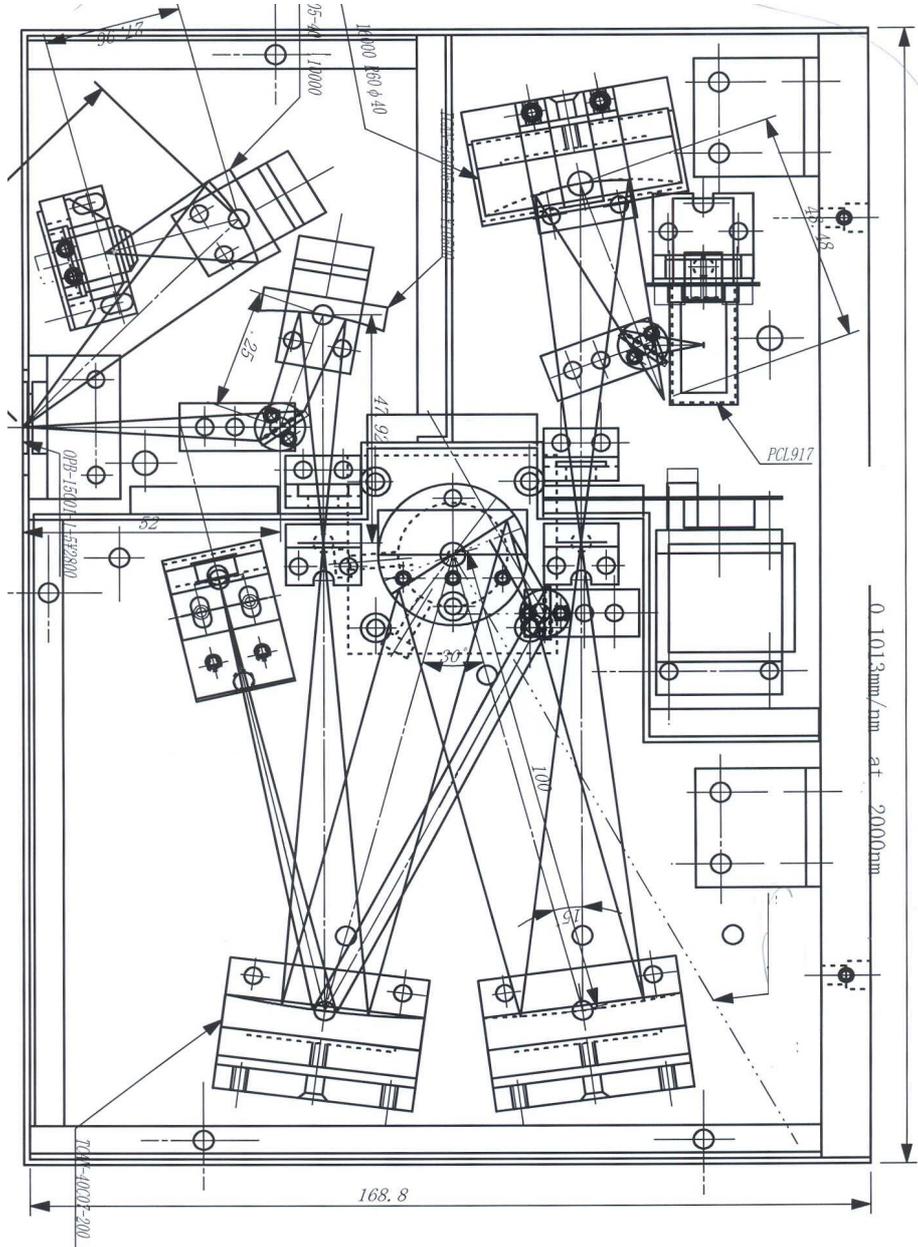


그림 14. 벼 엽신 질소 측정용 근적외 분광장치의 광학계 배치도면

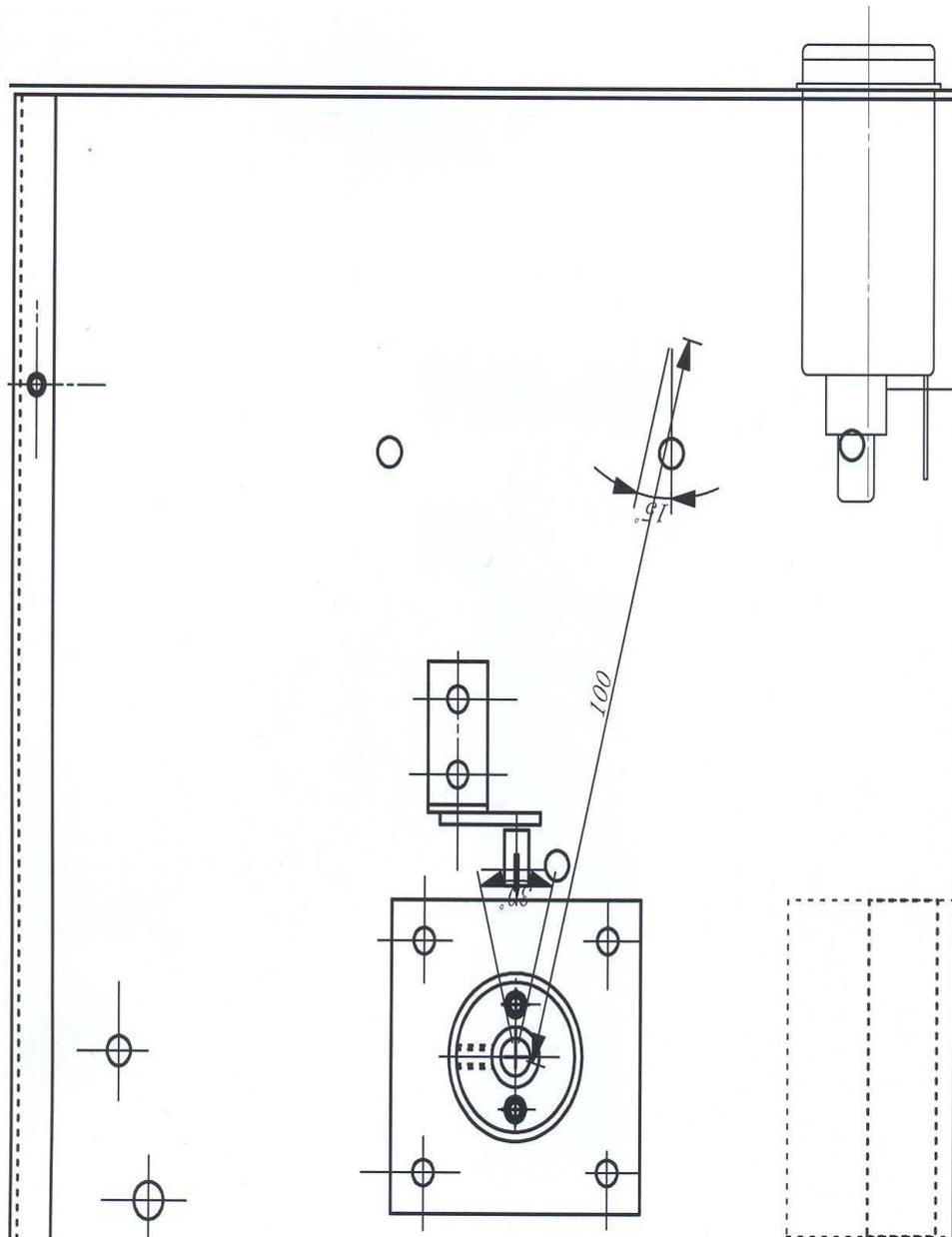


그림 15. 벼 엽신 질소 측정용 근적외 분광장치의 바닥도면

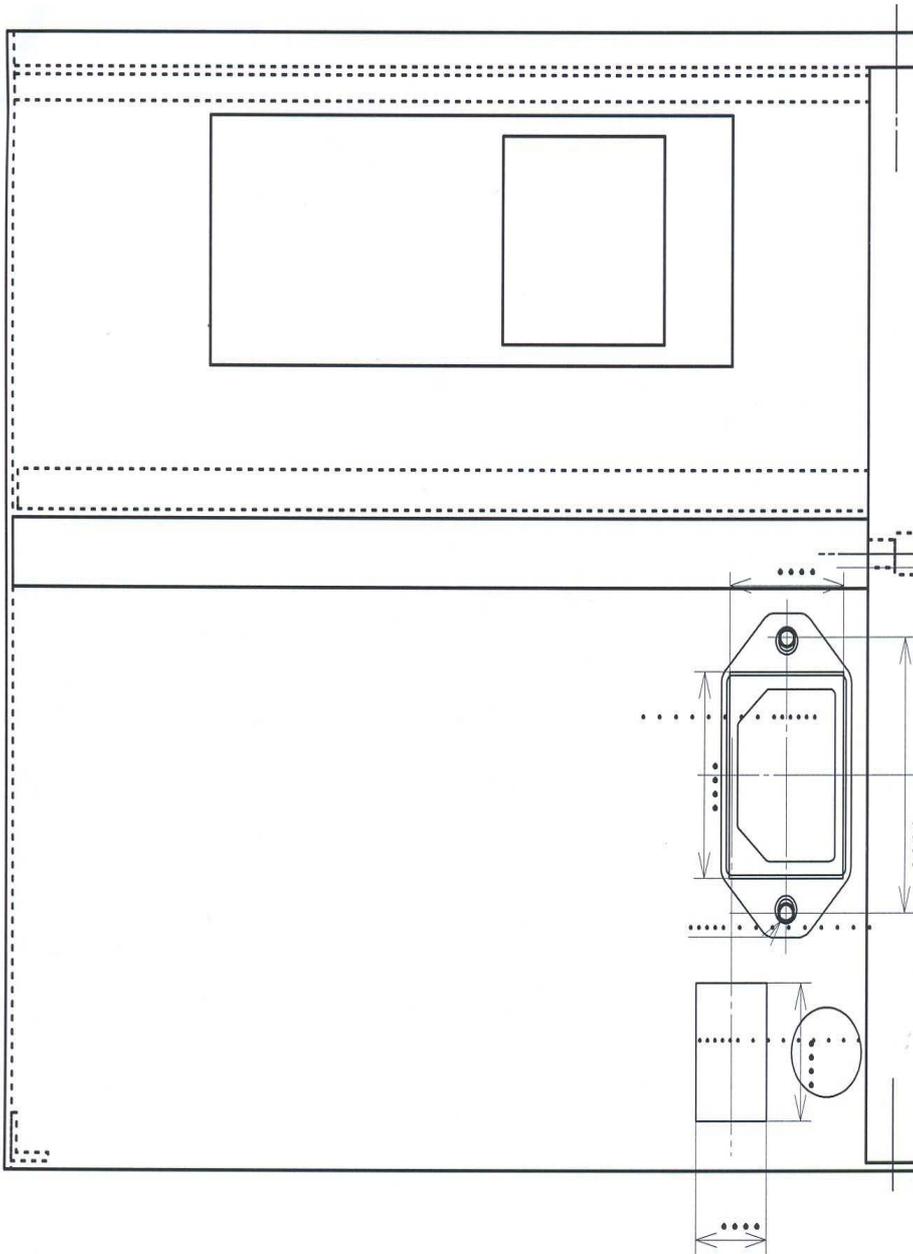


그림 16. 비 임신 질소 측정용 근적외 분광장치의 측면도면

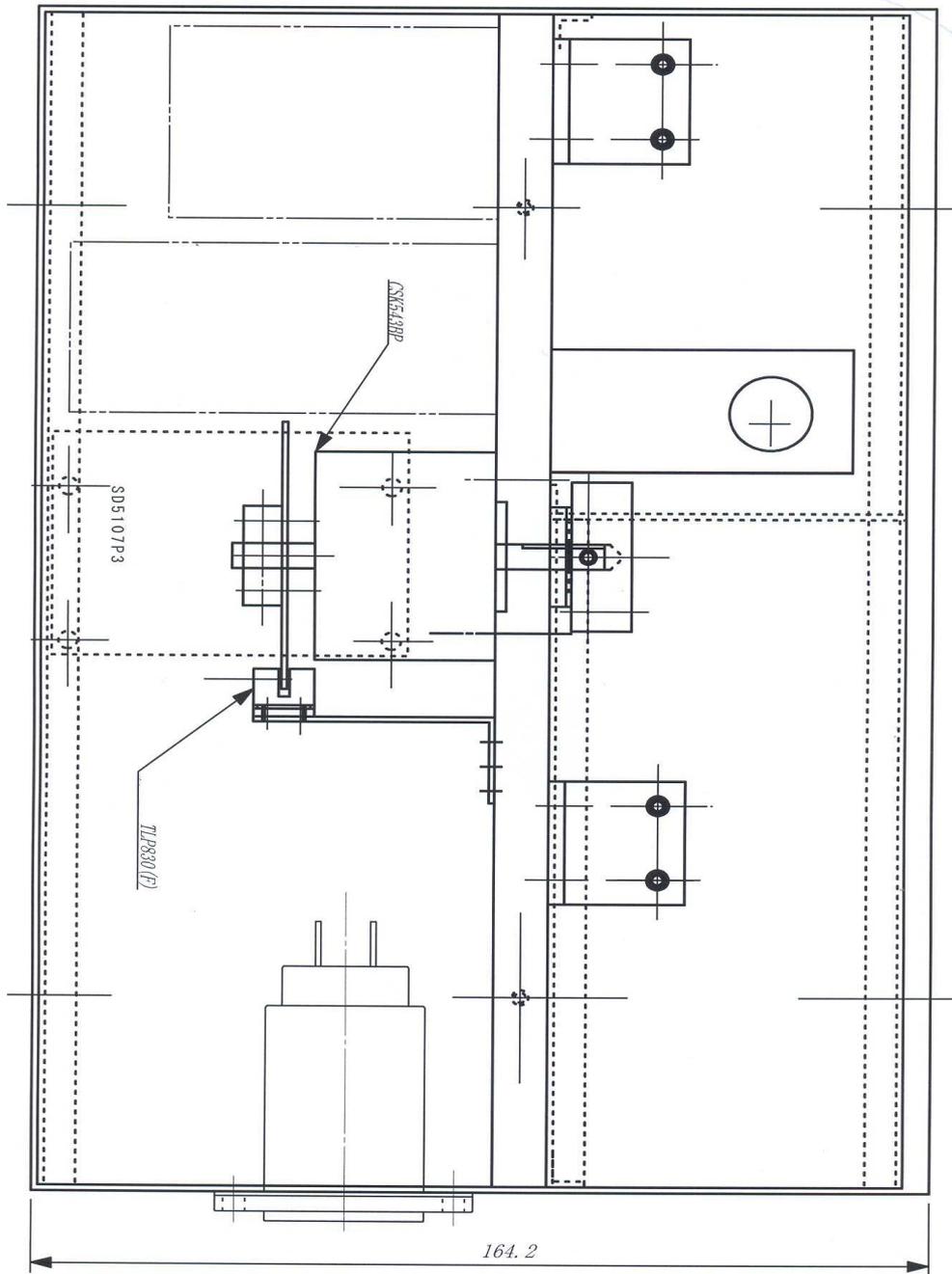


그림 17. 베타 업신 질소 측정용 근적외 분광장치의 상면도면

## 2. 2차년도

### 가. 벼 품종별 검량식 작성 및 고품질 쌀 생산단지의 실증 연구

#### 1) 벼 품종별 생체엽의 질소함량 비파괴 측정 검량식 작성

##### (가) 배경

수확량과 품질에 대한 질소 공급량의 영향을 이해하기 위해서는 실제 작물이 흡수한 질소량 등 정확한 모니터링이 필수적이다(Sinclair and Muchow, 1995). 벼의 경우 유수분화기의 질소영양상태에 따라서 벼가 흡수 이용하는 수비질소량은 크게 달라질 수 있음에도, 지금까지 대부분의 연구는 수비 질소 시비량 자체에 대한 수량 반응에 중점을 두어왔다. 정확한 수비 처방을 하기 위해서는 유수분화기 생육 및 질소영양 상태 등 생체정보에 따른 수량의 수비 반응 변화 양상이 파악 되어야만 한다(Ntamatungiro *et al.*, 1999; Hung *et al.*, 2006a; Hung *et al.*, 2006b).

##### (나) 필요성

시비진단 및 처방을 실시하기 위해서는 식물체의 영양을 진단할 수 있는 기술이 필요하다. 식물체의 영양진단법은 SPAD에 의한 엽록도를 측정하는 방법과 질소농도를 측정하여 정보를 알아내는 방법이 있다. 식물체의 질소농도를 측정하여 정보를 알아내는 방법은 SPAD에 의한 엽록도를 측정하여 정보를 알아내는 방법에 비하여 상대적으로 정확한 방법으로 여겨지나 질소농도의 정보를 알기 위해서 식물체를 채취하여 건조와 분쇄 후 과학적인 정량분석 과정을 거쳐야 하기 때문에 시료를 준비하는데 상당한 시간과 과정이 필요하다. 따라서 비파괴 생체엽신 질소영양 진단법은 건조와 분쇄과정을 생략하기 때문에 간편하게 벼 생체엽신의 질소 성분함량을 측정할 수 있으며, 영농현장에서도 질소농도의 측정이 가능하기 때문에 벼 식물체의 영양진단에 응용하여 시비처방에 활용할 수 있다고 생각한다. 또한 현재 논농업 직물체에서 과비답을 구분하기 위해서 엽 질소 농도 측정과 토양검정을 시행하고 있다. 이 제도는 재배현장에서 실행되기 때문에 측정자와 경작자 그리고 지도사 사이에 객관적이고 수치적으로 투명하게 제시 될 때에만 정책실행 및 현장지도에 신뢰도와 효과를 높여갈 수 있을 것으로 생각한다. 그러나 이러한 기술이 현장에서 실용화되기 위해서는 먼저 해결해야 할 소프트웨어나 하드웨어 연구들이 있다.

##### (다) 비파괴 측정법의 도입 장점

분광분석법은 시료 내외부의 상태에 따른 광학적 특성을 분석하여 성분농도를 비파괴적으로 분석하는 방법이다. 비파괴분석은 시료의 추출, 여과, 회석, 시약의 반응, 가열 등의 조작이 필요하지 않으며, 측정된 시료는 무손상 상태로 회수가 가능하다(Clarke *et al.*, 1992; Williams *et al.*, 1991). 또한 동일 시료의 저장 및 가공 중의 변화상태를 관찰할 수 있고 시간이 절약되며 화학약품 사용하지 않기 때문에 환경친화적이라는 장점이 있다. 분광분석법 중 근적외분광분석법은 다른 비파괴검사법에 비하여 품질 평가의 시스템을 구성하기 쉽고, 분석시 숙련된 기술을 요하지 않으며, 결과의 해석이 간편할 뿐만 아니라

비교적 저비용으로 측정시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다(Hymowitz *et al.*, 1974; Marten *et al.* 1983; Rubenthaler & Bruinsma 1979; Shenk *et al.* 1981).

### (라) 기 제출한 성과

벼 생체엽신 질소함량의 측정을 위한 검량식을 34품종을 대상으로 작성하여 전년도에 보고하였다. 검량식의 실용성을 검토하기 위하여 가장 많이 재배되는 품종별로 검량식을 작성하여 전년도 정확도와 비교하였다.

벼의 시비량에 대한 수량반응 곡선은 질소시비량이 증가할수록 단위질소량 증가에 의한 수량의 증가분은 감소하게 되고, 작물의 질소 요구도를 넘어서는 과잉 시비시에는 병충해 증가, 도복 및 작물내적 생리적 독성등으로 인하여 수량은 감소하게 된다(Fischer, 1998; Sasahara and Itoh, 1989). 수량증가를 위해서는 시비시기가 중요한데, 과거 1960~1970년대에 분얼비에 의한 수수증가와 수비에 의한 수증증가에 대한 연구가 크게 진척되어 지금까지도 분얼비는 이양후 12~14일경, 수비는 출수전 25일경에 주고 있다. 과거 여러 품종을 대상으로 실험한 결과, 질소시비량이 10~12kgN/10a까지는 수량증가효과가 컸지만 그 이후 20kgN/10a까지는 수량증가효과가 매우 적었기 때문에 질소의 추천시비량이 11kgN/10a 내외로 정해졌으나, 유선벼는 질소시비량이 20kgN/10a정도까지 증가함에 따라 수량이 560kg/10a정도로 증가하는 것으로 나타났다(Oh and Park, 1993). 이처럼 semi-dwarf 유전자를 도입한 근래의 벼 품종들은 높은 질소시비까지 수량이 현저히 증가하는 특징이 있기 때문에 벼의 수량성을 극대화시킬 수 있으면서 품질을 감안한 질소시비 및 벼의 질소흡수량은 다시 검토되어야 한다.

벼 생체잎에 대한 근적외스펙트럼을 그림 1(A)에 나타내었다. 벼 식물체에서 얻어진 스펙트럼을 이용하여 기본요소분석을 수행했다. 각 기본요소를 중심으로 거리를 구해 모집단을 해석한 결과 수집된 모집단의 시료 분포는 그림 1(B)과 같은 3차원 도식을 얻을 수 있었다. 시료의 모집단을 구성하고 Spectrum의 다양성을 설명하려면 많은 시료가 필요하다. 또한 올바른 시료로 calibration하는 것이 중요하다.

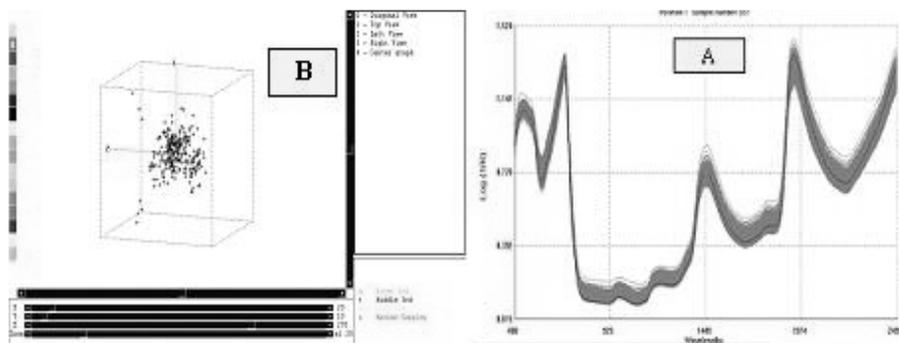


그림1. 벼 품종별 생체엽의 근적외선 스펙트럼과 3차원 그래프 양상

벼 품종별 생체엽 질소함량 검량식의 상관계수는 남평벼에서 0.944, 일미벼에서 0.941, 신동진벼에서는 0.947, Total 여기서는 0.946을 나타냈다(표 1). 선행실험에서 벼 생체엽 질소함량 검량식의  $r^2$ 는 익산 지역에서 0.994, 부안지역에서 0.989, 정읍지역에서 0.989, 진안지역에서 0.991를 나타냈다.

객관적인 시료의 모집단을 구성하고 spectrum의 다양성을 설명하려면 많은 시료가 필요한데, 남평벼, 일미벼, 신동진벼의 시료를 merge 기능을 이용하여 합병한 결과는 표 1에서 보는 바와 같이 검량식의 정확도가 더욱 향상되었는데, Lee 등(2001)도 이와 같은 결과를 보고한 바 있다. Blanco(1995)등은 클로버와 라이그라스에서 생체 시료는 0.964~0.953을 보고하였으며, 건조시료는 0.988~0.972을 보고했다. Berardo(1995) 등은 생체 사료종의 영양가 측정에서 0.85~0.98을 보고하였다. Dardenne(1995)등은 생체 사료 분석에서 성분에 따라 0.78에서 0.98까지 보고하여 성분에 따라 큰 차이를 나타냈다.

표1. 근적외분광분석법을 응용한 벼 품종별 생체엽 질소함량의 비파괴측정 검량식

품종명	시료수	$R^2$	SEC	평균값	1-VR	SECV
남평	177	0.944	0.027	3.229	0.930	0.034
일미	358	0.941	0.021	3.583	0.932	0.030
신동진	172	0.947	0.169	3.748	0.913	0.035
Total	665	0.946	0.153	3.531	0.963	0.195

★  $R^2$  : Correlation coefficient, SEC : Standard Error of Calibration

NIRS의 분석방법은 1차적인 실험실의 습식분석값에 의존하여 분석하는 2차적인 방법이기 때문에 측정정확도가 무엇보다 중요하다고 생각한다. 수분, 단백질, 전분, 지방 등 복수의 성분을 동시에 신속하게 측정할 수 있다.

남평벼에서 Outlier 27개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과  $r^2$ 가 0.972, 일미벼에서 40개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.971, 신동진벼에서 30개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.974, Total에서 63개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.982으로 각각 향상되었다. 또한 검량식을 작성하고 Outlier를 제거한 후에 예측값의 표준오차값과 검량식의 표준오차값이 향상되었다(표 2). 이와 같은 결과는 Zhang(2004) 등의 사과 건조 잎과 생잎분석에서 PLS(부분최소제곱법)방법에 의한 정확도 결과가 PCR(주성분분석법)방법으로 구한 것에 비해서 보다 높은 결과를 나타냈다.

벼 생체엽의 질소함량 측정을 위해 검량식을 작성하여 검증한 결과 모든 시험품종에서 SEC, SECV, 1-VR값이 비슷하였다. 선행시험에서도 익산지역에서 Outlier 10개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과  $R^2$ 가 0.997, 부안지역에서 2개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.991, 정읍지역에서 1개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 0.990, 진안지역에서 3개를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과

0.993으로 각각 향상되었다. 또한 검량식을 작성하고 Outlier를 제거한 후에 예측값의 표준오차값과 검량식의 표준오차값이 향상되었다는 결과를 보고한바 있다.

표2. 벼 품종별 생체엽 질소함량 검량식의 Outlier 처리별 차이

품종명	Outlier treatment	Bias	Slope	S. D	SEP	No. of Sample	R <sup>2</sup>
남평	Before	0.002	0.972	0.806	0.191	217	0.944
	After	0.006	0.995	0.791	0.066	190	0.972
일미	Before	-0.005	0.983	0.481	0.078	432	0.941
	After	0.001	1.000	0.478	0.026	392	0.971
신동진	Before	-0.019	0.981	0.717	0.173	215	0.947
	After	0.001	1.002	0.710	0.031	185	0.974
Total	Before	-0.039	0.998	0.880	0.303	864	0.946
	After	0.007	1.004	0.865	0.144	767	0.982



SEP : Standard Error of Prediction

그림2. 벼 품종별 생체엽 미지샘플의 추정치와 실측치의 관계

A : Outlier 처리 전

B : Outlier 처리 후

## ○ 결과 요약

벼 영양진단에서 중요한 성분인 생체인의 질소함량을 NIRS를 이용하여 신속하고 정확하게 분석하기 위해 최적의 검량식 작성에 관한 일련의 시험을 실시한 결과는 다음과 같다. 남평벼 일미벼 신동진벼 3 품종의 품종별 벼 생체인 질소함량 검량식의 상관계수는 각각 0.944, 0.941, 0.947이었다. Outlier를 제거한 후 검량식을 다시 작성한 결과 정확도가 향상되었다. 품종별로 구분치 않고 머지 후 검량식을 다시 작성한 결과 상관계수는 0.982로 정확도가 더욱 향상되었다. 이상의 결과로서 건조와 분쇄과정, 화학분석 과정을 생략하기 때문에 시간과 비용을 줄일 수 있는 벼 생인의 질소농도 측정이 근적외분석기술에 의해 가능한 것으로 판단되었다.

## 2) 생체업신 질소농도에 의한 고품질쌀 생산 지도단지의 실증 연구

수입쌀 시판과 중국산 찌쌀 유통 등에 적극 대응하지 않으면 쌀 산업에 어려움이 가중될 것이기 때문에 우리 쌀의 품질고급화로 최고의 쌀이 생산 판매되도록 최선을 다할 목적으로 최고쌀 브랜드 ‘탑다이 스퀘어’를 개발해 공동브랜드로 사용할 계획을 2005년에 농촌진흥청에서 수립하여 추진되고 있다. 포장관리와 품질관리 문제만 해결된다면 단백질함량 6.5% 이하, 완전미 비율 95% 이상의 최고품질의 쌀 생산이 가능할 것으로 목표를 세우고 있다. 쌀의 생산, 수확 후 관리, 가공, 유통 등 전 과정에 있어 최첨단 기술의 전수와 철저한 품질 관리를 하게 된다. 첨단 재배기술을 총 투입하여 저 비료·저 농약 등 친환경적으로 생산하고, 고품질을 유지토록 최적 상태로 수확하여 적정 건조 및 저장 후, 일년 내내 햅쌀과 같은 신선미를 유지하도록 저온저장하고, 가공 후 즉시 공급함은 물론 최고 맛 유지를 위해 시중 유통은 상미기간(여름 15일, 겨울 30일)으로 한정되는 쌀을 생산하려는 노력과 시비분야의 첨단과학기술이 결합되어야만 얻을 수 있는 산물이다.

재배는 단지별로 최고쌀 생산 재배법에 의해 공동작업 중심으로 이뤄졌으며, 전북 군산시 대야면 금반리 최고쌀 생산단지는 소형무인헬기 5대를 이용한 병해충 항공방제가 실시되기도 했다. 항공방제로 살포비용과 살포시간 절약은 물론 약제 소요량도 기존 방제기의 1/3정도로 절감되는 효과가 있다. 목표를 달성하기 위해서 충남 아산단지에서는 감시 카메라를 설치하여 실시간 포장관리 상황을 확인했었고, 충남 당진은 국제표준화기구(ISO) 인증마크를 획득, 전남 강진은 대형 홍보탑 설치, 전북 군산과 익산은 컨테이너 박스를 설치해 현장상황실을 운영하는 등 단지별로 특색 있게 실시하고 있다. 최고쌀 생산단지는 최고쌀을 생산하기 위해 질소시비량을 10a당 표준시비량보다 2kg 적은 7kg을 사용하고 있다. 7kg은 표준시비량이 조정 되기 전의 11kg에 비해 4kg이 감소되었기 때문에 분시비율도 조정 되기 전의 50 - 20 - 30%의 비율을 지켜야 되는지 하는 등의 문의가 많은 실정이다. 또한 최고쌀 생산단지에서는 최고쌀을 생산하기 위해서 기비만 사용하고 분얼비와 수비를 생략하는 단지가 있는가 하면 기비와 수비만 이용하는 단지도 있다. 대부분의 단지에서는 고품질쌀 생산과 생력화 등으로 분얼비는 생략되어 시비하고 있는 실정이다. 고품질의 시비방법은 기비와 수비를 토양과 작물을 진단해서 시비하는 진단시비가

가장 합리적이다 라고 하는 데는 이견이 없는 것으로 판단된다. 따라서 최고급 쌀 생산을 위하여 조성된 단지의 토양분석 결과와 생체엽신 질소농도와의 관계를 구명하여 고품질 쌀 생산에 적합한 식물체의 영양정보를 얻고자 본 연구를 수행하였다.

논에 사용된 질소의 손실과정은 크게 나누어 암모니아화에 의한 휴산과 용탈이다(Lee et al., 1997). 담수토양에서 질소의 손실은 질산화 속도에 의하여 지배되는데, 무기태 질소는 발토양 조건보다 논토양 조건에서 매우 불안정하여 토층의 분화가 일어나면 산화층에서는 질산화작용, 환원층에서는 탈질작용이 일어난다(Patrick and De Laune 1972; Ponnampuruma, 1972). 담수토양에서 표면에 사용된 요소의 가수분해는 표면수와 토양의 경계면에서 일어나고(De Laune and Patrick 1970), 표면수에 사용된 요소는 빠른 속도로 토양 내로 확산된 후에 토양에서 가수분해 된다(Hongprayoon et al., 1991).

최고쌀 생산단지의 2006년도 토양중 pH는 익산 5.607, 군산 6.17, 김제 6.2, 정읍 5.9로 군산과 김제에서는 적정범위였는데, 익산과 정읍은 미달되었다. 유기물 함량은 익산 22.2, 군산 26.2, 김제 17.8, 정읍 20.3g/kg으로 군산에서는 적정범위였는데, 그 외 지역에서는 미달되었다. 김제와 군산에서의 차이는 8.4g/kg을 나타냈다. 유효인산은 정읍에서만 89.4로 적정범위였으며, 3지역에서는 적정범위를 상회했다. 칼리는 익산에서 적정범위를 나타냈고, 군산에서 적정범위 이하였으며, 김제와 정읍에서는 적정범위 이상이었다. 칼슘은 정읍에서 적정범위였으며, 그 외의 지역은 미달되었다. 마그네슘은 군산과 정읍에서 적정범위를 나타냈고, 익산은 이하를 김제는 이상을 나타냈다. 유효규산은 정읍에서 가장 높았다.

토양중 산도의 년차간 차이는 2005년에 비해 2006년에 높았으며, 유기물함량은 전년에 비해 익산에서 2.2, 군산에서 3.2g/kg 높았다. 유효규산, 칼리는 익산에서 2005년도에 높았는데, 군산에서 낮았다. 칼슘은 2006년에 높았다. 마그네슘은 2005년에 높았다. 유효규산은 익산에서는 2005년도에 높았고, 군산에서는 2006년도에 높았다.

표3. 최고쌀 생산단지 지역별 토양화학성

지역	통계값	pH (1:5)	OM (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	K (cmol+kg)	Ca (cmol+kg)	Mg (cmol+kg)	유효규산 (mg/kg)
익산	평균	5.607	22.172	126.3	0.292	4.943	0.57	142.5
	평균편차	0.461	5.9737	32.58	0.074	1.390	0.15	25.49
	최대값	7.5	36	191	0.583	10.31	1.14	216
	최소값	4.9	10	58	0.153	1.91	0.3	96
군산	평균	6.17	26.2	122	0.21	4.84	1.87	129
	평균편차	0.44	3.39	38.25	0.09	0.95	0.51	93.64
	최대값	7.22	36	248	0.55	8	3.4	633
	최소값	5.23	17	55	0.07	3.1	0.2	12
김제	평균	6.2	17.8	192.4	0.56	4.7	3.3	142.6
	평균편차	0.712	6.18	116.4	0.25	2.184	1.201	65
	최대값	7.8	41	545	1.92	9.9	6.4	484
	최소값	4	1	51	0.01	0.1	1.3	37
정읍	평균	5.9	20.3	98.4	0.4	5.5	2	202.8
	평균편차	0.381	4.9292	47.038	0.16	0.801	0.42	83.6
	최대값	7.5	36	293	1.082	7.8	3.35	563
	최소값	4.7	7	11	0.16	3.11	1.12	66
비고	적정범위	6.0~6.5	25~30	80~120	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	130~180

표4. 최고쌀 생산단지 토양화학성의 년차간 차이

지역	년도	pH (1:5)	OM (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	유효규산 (mg/kg)
익산	'05	5.3	20.0	153	0.36	4.4	2.4	157
	'06	5.6	22.2	126.3	0.29	4.9	0.6	143
군산	'05	5.9	23.0	117	0.10	4.7	2.2	83
	'06	6.2	26.2	122	0.21	4.8	1.87	129

일반적으로 벼의 수량은 영양생장기간의 발육 및 질소영양정도와 유수분화기의 시비량에 의해 결정되는데, 이는 영양생장에서 생식생장으로 상 전환이 이뤄지는 유수분화기 수비비용에 따른 질소영양상태의 변화에 의해 sink size가 결정되기 때문이다(Schnier *et al.*, 1990; Guindo *et al.*, 1994). 생식생장이 시작되는 유수분화기는 질소요구도가 가장 큰 시기으로써, 이 시기의 질소부족은 결국 성장량 감소뿐만 아니라 퇴화영화수 증가로 인하여 potential sink size를 저하시키고, 엽의 노화를 촉진시키며 이는 다시 등숙기 광합성능력의 감소로 이어져 결국 등숙률과 천립중을 저하시켜 수량을 크게 감소시킨다(Hinzman *et al.*, 1986, Diker and Bausch, 2003). 또한 군락하부에 있는 엽신이나 엽초내에 있는 질소의 재분배를 가져와 무효분얼의 퇴화뿐만 아니라 유효분얼의 무효분얼화를 일으킨다. 반면, 질소과다시비는 영양생장기간을 늘리고, 성숙을 늦춤으로써 도복의 위험성을 증가 시킬뿐만 아니라, 줄기의 신장을 촉진시켜 줄기를 연약하게 만들고 도열병 및 벼멸구 등에 의한 병충해의 피해를 가져올 수 있다(Mills and Jones, 1979; Diker and Bausch, 2003). 그러나 일반적으로 유수분화기부터 출수기사이에는 벼의 생육량에 비해 저력질소의 공급이 충분하지 못한 경우가 많으며(Schnier *et al.*, 1990), 유수분화기의 질소과다 시비로 인해 질소흡수량이 어느 정도로 많아진다 하더라도 극단적으로 영화수가 증가하거나 수광태세가 악화되는 경우는 거의 없다고 한다(조 등, 1995).

식물체 내에 있어서의 질소의 생리적인 역할은 범위가 극히 넓으며 생리현상과 밀접한 관계를 가지고 있다. 질소는 단백질의 기본적인 구성원소이며, 핵산, 성장조절물질, 비타민 등과 같은 필수화합물의 구성원소이기도 하다. 또한 유전정보저장, 효소활성, 구조형성 등 생명현상에 없어서는 안될 주요성분이다.(R.D.A., 1997). 벼의 생육기간중 유수형성기의 엽신질소농도가 2.9%이상시 쌀의 단백질함량이 상승하고, 벼엽신의 질소 농도가 높을시 단백질 함량이 높아 미질의 저하를 초래한다는 보고가 있다(신 등 2005). 2006년도 최고쌀 생산단지의 질소농도는 정읍 2.44, 김제 3.607, 익산 3.044, 군산 3.488%였다. 정읍에서 2.9% 이하의 질소농도를 나타냈으나, 기타 3지역에서는 2.9% 이상의 질소농도를 나타냈다. 정읍에서 2.44%로 낮게 나타났는데, 이러한 원인은 시비방법이 타 지역에 비해서 기비로 단 한번만 사용했던 차이가 있었기 때문으로 생각된다.

최고쌀 생산단지인 유수형성기 벼 생체엽의 질소함량은 전년대비 익산단지에서 0.301, 군산단지에서 0.583% 높았다. 2005년도에 비해서 2006년도에 질소농도가 높은 원인은 2005년도에 비해 2006년도에 강우일수가 많고, 강우량이 많았기 때문인 것으로 생각된다.

표1. 지역별 유수형성기 벼 엽신 질소농도 (단위 : %)

지역	시료수	평균값	표준편차	최대값	최소값
정읍	26	2.440	0.468	3.490	1.620
김제	97	3.607	0.240	4.208	3.029
익산	192	3.044	0.345	3.923	2.150
군산	217	3.488	0.362	4.391	2.329

표2. 유수형성기 벼 엽신 질소농도의 년차간 차이 (단위 : %)

지역	년도	시료수	평균값	표준편차	최대값	최소값
익산	'05	124	2.743	0.426	4.262	2.046
	'06	192	3.044	0.345	3.923	2.150
군산	'05	192	2.905	0.373	4.679	1.969
	'06	217	3.488	0.362	4.391	2.329

단백질은 약 50개 이상의 L- $\alpha$ -아미노산이 펩티드결합으로 연결된 고분자질소함유화합물의 총칭이라고 말할 수 있다. 단백질 함량은 쌀의 품질과 밥의 텍스처에 영향을 미쳐 단백질이 많을수록 밥이 단단하고 부착성이 떨어져 식미가 저하된다(Ishima *et al.*, 1974). 현미의 단백질 함량은 질소비료의 증가에 따라 단백질 함량이 현저한 증가를 보인다(Honjo 등 1980, Heu 등 1969.) 현미 단백질 함량의 환경변이에 따른 증가는 주로 glutelin의 증가에 기인된다(Cagampang 등 1966). 쌀의 성분인 전분은 아밀로스과 아밀로펙틴으로 구성되어 있다. 아밀로스는 글루코오스가  $\alpha$ -1, 4결합으로 중합(重合)한 노르말사슬 모양의 다당류를 말한다. 쌀 중의 아밀로스 함량이 7~20%이면 저아밀로스, 20~25%이면 중간 아밀로스, 25% 이상이면 고아밀로스 함량으로 분류한다. 쌀의 품질관련 특성 중 외관특성은 쌀알의 크기, 모양, 균일도, 투명도, 심복백, 색택, 신선도, 완전미율 등을 들 수 있다. 사람이 밥을 먹을 때 느끼는 맛을 식미라 지칭한다. 식미라는 기호성은 절대적인 것이 아니며, 식미를 검정하는 기계적인 방법도 여러 가지가 있으나, 본 실험에서는 밥의 윤기가 많을수록 밥맛이 좋다는 원리에 근거하여 밥의 윤기를 측정하여 이를 수치화한 방식으로 조사했다.

익산단지의 2006년 쌀 단백질함량은 5.8%, 아밀로스 19.0%, 기계적 식미값 75.9점, 완전미율은 84.7%였다. 단백질함량은 목표치 6.5% 이하였으나, 완전미율은 95%에 미달되었는데 시료조제과정에서도 하락의 원인이 있는 것 같다. 년차간에는 단백질값이 0.1%, 아밀로스는 차이가 없었으며, 식미치 2.3점의 차

이를 나타냈다.

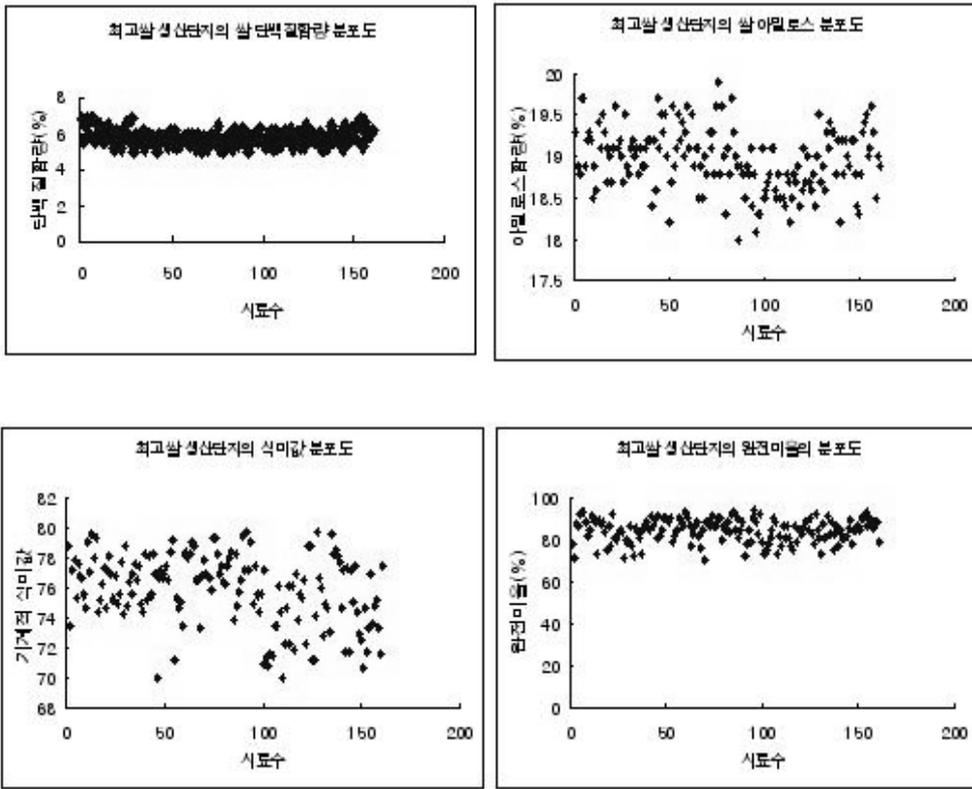


그림1. 옥수수 전분의 미질분석 결과

표3. 옥수수 전분의 미질분석 결과

년도	구분	단백질 (%)	아밀로스 (%)	식미치 (점)	완전비율 (%)
2005	평균	5.8	18.97	75.9	84.7
	표준편차	0.45	0.38	2.35	5.53
	최대값	6.9	19.9	79.8	94.4
	최소값	5.0	18.0	70.0	70.3
2006	평균	5.7	18.9	78.2	81.2
	표준편차	0.32	0.55	2.06	45.1
	최대값	6.5	20.9	82.4	91.6
	최소값	5.5	18.4	73.4	75.9

색택은 투명도와 백도로 나타내는데 백도의 농산물 검사기준은 현미의 경우 22%이고, 백미의 경우는 41%이다(김 1989). 건조온도에 따른 현미와 백미의 백도는 현미의 경우 건조온도가 높을수록 더 높았으며, 품종별로는 추청, 봉광, 화성벼 순으로 높았다고 보고한바가 있다. 백미의 경우는 건조온도가 높아질수록 백도가 낮아져서 60℃이상에서 건조했을 때 유의하게 낮았으며, 봉광벼의 백도가 다른 두 품종에 비해 더 높았다고 보고한바 있다(전 등 1991). 한편 長戶 等(1974)은 쌀의 백도는 품질에 영향을 미치지만, 백도가 높다고 품질이 좋은 것은 아니며 투명도를 고려해야 쌀의 품질을 정확히 파악할 수 있다고 하였다. 백도는 쌀의 흰 정도를 나타내는데 일본 곡물검정협회에서 쌀의 등급을 분류하는데 지표로 활용되고 있다(Kim et al., 2005). 품종간 백도를 보면 대야벼, 호평벼, 고시히까리가 가장 높았고 신동진벼, 일품벼가 높았으며 호안벼, 운광벼가 낮았는데 Kim(2002)은 밥맛에 영향을 주는 인자 중에 가장 중요한 것이 백도라 하였으며 일반적으로 백도 38이상을 요구한다고 하였다. 백미 색도에 있어서는 쌀의 밝기는 고시히까리가 가장 높았으며 대야벼, 일품벼, 신동진벼 순으로 높았으나 호안벼와 운광벼가 낮았다고 보고한바 있다(하 등 2006).

본 시험에서는 단백질과 백도와는 부의 상관관계를 나타냈다(그림 2, 표4). 이러한 결과로 보아 쌀의 단백질 함량은 식미를 떨어뜨리며 백도값도 떨어뜨리는 것으로 생각된다.

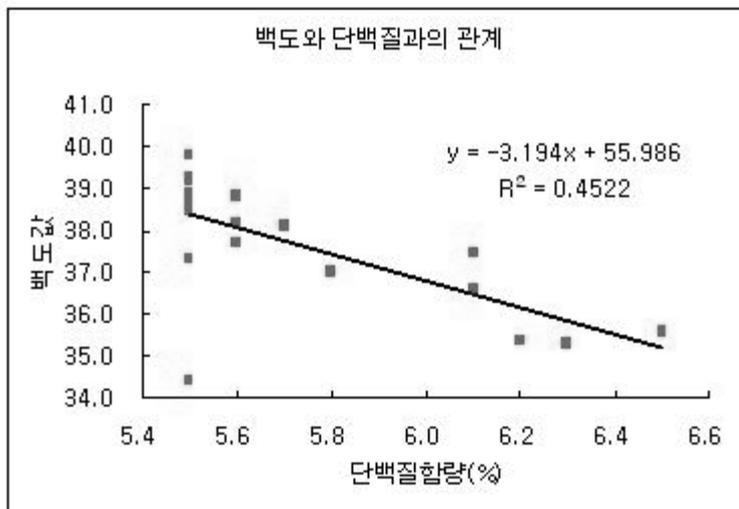


그림2. 단백질값과 백도값과의 관계

표4. 단백질값과 백도값과의 관계

구분	평균값	표준편차	최대값	최소값
단백질(%)	5.7	0.324	6.5	5.5
백도	37.7	1.540	39.8	34.4

## ○ 결과요약

최고급 쌀 생산을 위하여 조성된 단지의 토양분석 결과와 생체엽신 질소농도와의 관계를 구명하여 고품질 쌀 생산에 적합한 식물체의 영양정보를 얻고자 시험을 실시하였다. 2005년과 2006년에 전라북도 익산시 옹포단지에서 95농가가 102ha, 군산시 대야단지에서 79농가가 100ha 규모로 조성되어 있는 단지에서 신동진벼를 조사하였다. 2006년에는 김제시 성덕단지와 정읍시 영원단지에서 일미벼를 조사하였다.

최고쌀 생산단지 벼 생체잎의 질소농도는 정읍 2.44, 김제 3.607, 익산 3.044, 군산 3.488%였다. 최고쌀 생산단지의 유수형성기 벼 생체잎의 질소함량은 전년대비 익산단지에서 0.301, 군산단지에서 0.583% 높았다. 최고쌀 생산단지의 토양중 유기물 함량은 익산 22.2, 군산26.2, 김제 17.8, 정읍 20.3g/kg 이었다. 토양중 유기물함량의 년 차간 차이는 전년에 비해 익산에서 2, 군산에서 3.2g/kg 높았다. 익산 단지의 쌀 단백질함량은 5.8%, 아밀로스 19.0%, 기계적 식미값 75.9점, 완전미율은 84.7%였다.

### 가. 생태형과 질소시비량에 따른 벼 생체엽신의 질소함량 변화 구명

#### 1) 생태형과 질소시비량에 따른 벼 생체엽신의 질소함량 변화 구명

벼의 생육기간중 분얼기에 질소영양이 결핍하게 되면 분얼수가 감소하고, 유수형성기에 질소영양이 부족하게 되면 퇴화영화수의 증가로 수당영화수가 감소하게 된다(松島, 1957, 1965; 和田 등, 1968; Yoshida, 1981). 유수영화분화기의 질소흡수량 및 이 시기의 건물중과 단위면적당 영화수 사이에는 유의한 상관성이 있으며, 이러한 상관정도는 지역 및 품종에 따라 달라진다고 한다(Hasegawa, *et al.*, 1994; Kropff, *et al.*, 1994; 村山, 1967). 우리나라에서 현재까지 알려진 질소이용률은 약 30%에 불과하며, 근년들어 자원절약이나 환경보전 측면에서 질소이용률은 재배방법에 따라 상이할 것이라고 했다(柳 등, 1996). 단위면적당 영화수와 유수형성기 건물중 증가간에는 유의한 상관관계가 있고, 또한 이 기간중의 질소영양상태와 밀접한 관계가 있다(이와 김, 2002). 유수분화기에 경엽중의 높은 질소농도 조건에 의해 영화의 형성효율이 높아지는데( 박 등, 2002), 이러한 이유로 현재 우리나라의 벼 질소시비체계는 성분량으로 11 ~ 15kg/10a 수준으로 기비-분얼비-수비의 분시방법을 사용하고 있으며, 농가에서는 표준시비량이 9kg/10a로 하향 조정되었는데 이를 준수하지 않고 과비하는 경향이 많다. 이중 수비는 30% 수준이나 달관적 엽색 정도에 따라 가감하고 있는 형편이다,

기온은 식물의 대사과정에 직접적인 영향을 끼침으로서 생장과 발육을 결정하는 중요한 환경요인이며, 식물은 개체 및 군락 수준에서 기온의 일변화, 계절변화 혹은 영년변화에 반응한다. 生態型(ecotype)은 동일종이 다른 환경에서 생육하기 때문에 각각의 환경조건에 적응하여 분화된 형질이 유전적으로 고정되어 생긴 형이다. 벼의 수량은 1차적으로 출수기 이전에 형성되는 단위면적당 영화수에 의하여 결정되며, 2차적으로는 출수기 전후의 광합성량과 동화산물에서 이삭으로의 전류에 의해 결정

되는 등속율로 최종 결정된다. 영화수와 등속율은 벼의 생태형과 표고에 의해 반응이 달라진다고 생각한다(Yoshida and Hara, 1977). 수량구성요소별 수량에 대한 기여도는 단위면적당 영화수가 60%, 등속 비율과 현미척립중이 21%이고(Yoshida, 1981), 단위면적당 영화수는 벼의 수량의 약 80% 이상의 변이를 설명할 수 있다(Yoshida and Parao, 1976). 벼의 수량은 광합성에 의해서 생성된 탄수화물이 이삭에 집적된 총량이며, 전분곡물의 전분구성은 수확량과 밀접한 상관관계가 있다(Crafts-Brandner and Egli, 1987). 본 연구는 벼의 재배환경이 다른 지역에서 생육형질과 질소농도 등이 쌀 수량성의 관련 형질에 미치는 정도를 조사 분석하여 벼 시비진단 및 처방기기 개발에 필요한 자료로 이용하고자 시험을 실시하였다.

질소의 사용은 엽면적을 확대시키고 초기의 전엽수를 증가시켜 엽면적의 확대에 의한 종실비대에 필요한 탄수화물을 충분히 공급함으로써 수량을 증가시킨다. 따라서 질소가 부족하면 도체생장도 약하고, 개화가 되더라도 결실률이 낮으며, 종실의 발육이 불량하여 수량도 적고 품질도 좋지 못하다. 반면에 질소를 과다 사용하면 줄기와 잎의 생장에만 동화양분이 대부분 소비되어 도체가 도장되고 등속이 불량하게 된다. 지역별 유수형성기의 조생종 벼 엽신 질소농도는 익산 2.861, 정읍 2.9021, 부안 2.7860, 진안 3.3432%였다. 중생종 벼 엽신 질소농도는 익산 2.7454, 정읍 2.7681, 부안 2.8041, 진안 3.5051%였다. 중만생종 벼 엽신 질소농도는 익산 2.8256, 정읍 2.8905, 부안 2.7353, 진안 3.2526%였다. 평야지에 비해 중산간지에서 질소농도가 높았는데, 이러한 원인은 평야지에 비해 중산간지에서 생육기간이 짧기 때문인 것으로 생각된다. 생태형별로는 조생종 2.9734, 중생종 2.9557, 중만생종 2.9260%를 보여 조생종>중생종>중만생종 순으로 질소농도가 높았는데 이러한 결과도 생태형별로 생육기간이 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다.

표1. 유수형성기 조생종의 지역별 질소농도

구분	익산	정읍	부안	진안	평균
평균값	2.8621	2.9021	2.7860	3.3432	2.9734
표준편차	0.1355	0.2581	0.2231	0.1678	0.1961
최대값	3.0584	3.1204	3.0494	3.5338	3.1905
최소값	2.7581	2.5294	2.5091	3.1638	2.7401

표2. 유수형성기 중생종의 지역별 질소농도

구분	익산	정읍	부안	진안	평균
평균값	2.7454	2.7681	2.8041	3.5051	2.9557
표준편차	0.1239	0.1705	0.1437	0.0803	0.1296
최대값	2.8628	3.2008	3.0338	3.5051	3.1506
최소값	2.5291	2.7681	2.6354	3.3298	2.8156

표3. 유수형성기 중만생종의 지역별 질소농도

구분	익산	정읍	부안	진안	평균
평균값	2.8256	2.8905	2.7353	3.2526	2.9260
표준편차	0.2567	0.1915	0.1931	0.1714	0.1115
최대값	3.2938	3.2468	3.0738	3.6068	3.1180
최소값	2.5134	2.6458	2.4954	2.9591	2.6859

벼의 품종(생태형)별 유수형성기는 조생종인 고운벼와 운광벼가 7월 9일과 10일이었으며, 중생종인 간척벼는 7월 14일, 중만생종인 신동진벼와 동진1호벼, 남평벼, 일미벼, 동안벼는 7월 21일과 24일 사이였다. 출수기는 조생종인 고운벼와 운광벼가 7월 30일과 31일이었으며, 중생종인 간척벼는 8월 8일, 중만생종인 신동진벼와 동진1호벼, 남평벼, 일미벼, 동안벼는 8월 15일과 18일 사이였다. 질소시비량에 따른 최고분얼기의 품종별 생체엽신질소함량은 질소 무시용에서 3.291%, 반당 5kg 시용에서 3.557, 9kg에서 3.834, 13kg에서 4.125%를 나타내 시비량이 많을수록 질소농도가 높게 나타났다. 품종별로는 3.449에서 3.975% 사이를 나타냈다. 유수형성기에는 질소 무시용에서 1.227%, 반당 5kg 시용에서 2.533, 9kg에서 2.817, 13kg에서 3.224%를 나타내 시비량이 많을수록 질소농도가 높게 나타났다. 품종별로는 2.211에서 2.867% 사이를 나타냈다. 벼 생체엽의 생육단계별 평균 질소농도는 최고분얼기에 3.701%와 영화분화기에 2.450%를 나타내 최고분얼기에 비해 영화분화기에 1.251% 포인트가 낮게 나타났다.

표4. 벼 생태형별 생육 단계 차이

품종명	유수형성기 (월.일)	출수기 (월.일)	품종명	유수형성기 (월.일)	출수기 (월.일)
고운벼	7 . 9	7 . 30	동진1호벼	7 . 22	8 . 16
운광벼	7 . 10	7 . 31	남평벼	7 . 23	8 . 17
간척벼	7 . 14	8 . 8	일미벼	7 . 23	8 . 17
신동진벼	7 . 21	8 . 15	동안벼	7 . 24	8 . 18

표5. 질소시비량에 따른 최고분얼기의 품종별 벼 생체엽의 질소함량 (단위 : %)

품종명	질소시비량(kg/10a)				평균
	0	5	9	13	
운광벼	2.974	3.229	3.269	4.323	3.449
고운벼	3.347	3.480	3.735	4.186	3.687
간척벼	3.091	3.100	3.884	3.936	3.503
신동진벼	2.781	3.318	3.826	4.022	3.487
동진1호벼	3.632	3.934	3.973	4.361	3.975
남평벼	3.404	3.814	4.082	4.186	3.871
일미벼	3.501	3.879	3.999	4.052	3.858
동안벼	3.605	3.702	3.908	3.938	3.788
평 균	3.291	3.557	3.834	4.125	3.701

표6. 질소시비량에 따른 유수형성기의 품종별 엽신 질소함량 (단위 : %)

품종명	질소시비량(kg/10a)				평균
	0	5	9	13	
운광벼	1.215	2.491	2.546	3.540	2.448
고운벼	1.244	2.365	3.052	3.203	2.466
간척벼	1.129	2.232	2.812	2.953	2.282
신동진벼	1.183	2.535	2.843	3.439	2.500
동진1호벼	1.536	3.149	3.151	3.633	2.867
남평벼	1.120	2.614	2.672	2.981	2.347
일미벼	1.296	2.562	2.783	3.286	2.482
동안벼	1.091	2.318	2.681	2.755	2.211
평 균	1.227	2.533	2.817	3.224	2.450

영화분화기 질소농도에 대해서 律野와 清水(1959)는 질소농도가 높을수록 건물생산량은 증가하지만 저장탄수화물은 적어지며, 이에 따라 2차지경의 퇴화가 많아진다고 하였다. 보통기 보비 이양재배시 영화분화기 질소시비량과 질소 농도의 관계는  $Y = -0.0111X^2 + 0.2618X + 1.5708$ 이었으며 95.4%의 정확도를 보였고 고도의 유의성을 나타냈다. 벼 재배에 있어서 질소영양의 공급은 벼의 생산성 향상의 주요 제한요소이며, 질소는 벼의 전 생육기간에 걸쳐 영향을 미친다. 생체엽신의 질소농도와 수비량간에는 유의한 상관성이 있으며, 이러한 관계 이용하여 단위면적당 수비량을 추정하는 회귀모델을 작성하였다. 영화분화기 엽신 질소농도에 의한 수비량 추정 회귀식은  $Y = 0.1491X^2 - 2.7493X + 7.7838$ 이었으며 97.7% 정확도를 보였으며 고도의 유의성을 나타냈다.

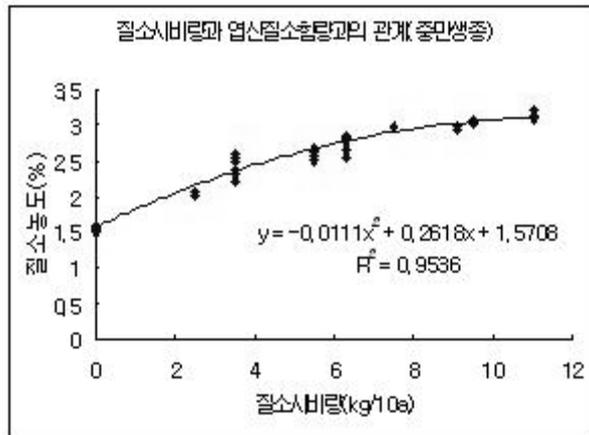


그림 1. 영화분화기 시비질소량과 엽신질소함량의 관계

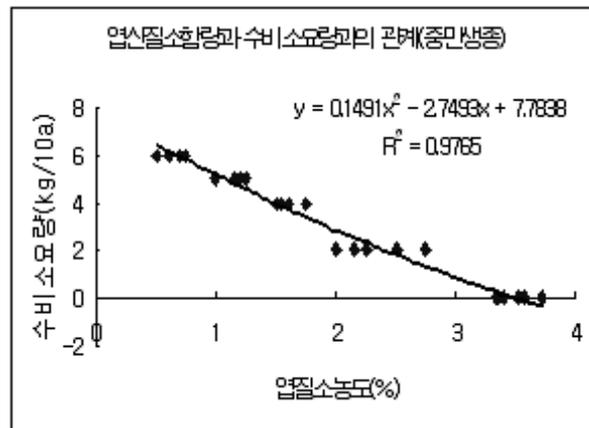


그림 2. 보통기 보비 이양재배시 영화분화기 엽신질소함량에 의한 수비량 추정

적정 질소시비량과 수비량은 품종과 재배되는 해의 기상에 따라 달라지겠지만 본 시험에서 사용되어 졌던 경우 추정식에 의한 수량으로 본 적정 질소 수비량은 요소비료 실량으로 3.1kg/10a였으며, 적정 질소시비량은 9.2kg/10a였다. 이러한 결과는 표준시비량이 줄어들었던 기존 시비량에서 적정 수비량이 요소 실량으로 7.2kg/10인 것에 비하면 4.2kg/10a 감소하는 결과를 나타냈고, 질소시비량도 9.24kg/10로 나타나 표준시비량인 11kg/10a에 비해서 감소되는 것으로 나타났다.

표7. 추정식에 의한 고품질쌀 생산을 위한 적정 질소 시용량

구 분	추 정 식	비고
시 비 량	$Y = -0.0111X^2 + 0.2618X + 1.5708$	
수 비 량	$Y = 0.1491X^2 - 2.7493X + 7.7838$	

벼의 수량에 관련된 형질들은 환경에 의해 영향을 크게 받는다. 벼의 품종별 수량구성요소에서 수수는 고운벼에서 주당 13.5개, 간척벼에서 15.8개를 보여 8개 품종에서 2.3개의 차이를 나타냈다. 입수는 간척벼에서 수당 84.4개로 적었고 동진1호벼가 98.8개로 많았다. 등숙률은 78.5%에서 92.5% 사이의 차이를 나타냈다. 천립중은 20.9~26.4 그램으로 품종간의 큰 차이를 나타냈다. 쌀 수량은 품종간에 482에서 513kg/10a의 차이를 나타냈다. 질소시비량에 의해서도 수량 및 수량구성요소에 영향을 미치는데, 수량구성요소에서 수수는 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향으로 0kg에서 주당 12.8개, 5kg에서 13.9개, 9kg에서 14.8개, 13kg에서 16.6개를 보였다. 입수는 시비량이 증가함에 따라 감소하는 경향으로 무시용에서 수당 102.2개로 많았고 13kg에서 86.0개로 적었다. 등숙률은 질소시비량에 따라 일정한 경향이 없었다. 천립중은 22.1 ~22.6 그램으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 쌀 수량은 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향이었다.

표8. 품종별 수량구성요소 및 수량

품종명	수수 (개/주)	립수 (개/수)	등숙비율 (%)	현미천립중 (g)	백미수량 (kg/10a)
신동진벼	14.0	96.8	89.3	26.4	507
동안벼	15.0	93.7	89.2	23.2	513
일미벼	15.0	98.3	92.5	21.2	496
남평벼	14.5	94.3	90.5	20.9	495
운광벼	13.8	98.3	85.5	21.7	494
고운벼	13.5	94.8	85.6	21.0	482
동진1호벼	14.5	98.8	78.5	21.7	491
간척벼	15.8	84.5	90.5	22.8	502

표9. 시비량별 수량구성요소 및 수량

시비량 (kg/10a)	수수 (개/주)	립수 (개/수)	등숙비율 (%)	현미천립중 (g)	백미수량 (kg/10a)
0	12.8	102.2	93.9	22.3	479
5	13.9	95.1	91.1	22.6	493
9	14.8	92.3	85.8	22.1	499
13	16.6	86.0	82.3	22.6	507

○ **결과 요약**

벼 식물체의 건조와 분쇄과정을 생략한 생체엽신 질소함량 측정법을 개발하여 재배방법에 따른 벼 생체엽신 질소함량의 변화를 구명하고 생체엽신 질소농도와 관련된 형질의 관련성을 구명하여 현장에서 시비진단 및 처방에 활용 하고자 시험을 실시하였다.

질소시비량에 따른 생육 시기별 생체엽신의 질소함량 변화는 질소시비량이 증가 될수록 높았다. 질소 농도는 최고분얼기에 3.371%와 영화분화기에 2.561%를 나타내 최고분얼기에 비해 영화분화기에 0.81% 포인트가 낮게 나타났다. 품종별 질소농도는 동진1호벼에서 가장 높았으며, 운광벼에서 가장 낮았다. 보 통기 보비 이양재배시 영화분화기 질소시비량과 질소 농도의 관계는  $Y = -0.0111X^2 + 0.2618X + 1.5708$  이었으며 95.4%의 정확도를 보였고 고도의 유의성을 나타냈다. 영화분화기 엽신 질소농도에 의한 수비량 추정 회귀식은  $Y = 0.1491X^2 - 2.7493X + 7.7838$  이었으며 97.7% 정확도를 보였으며 고도의 유의성을 나타 냈다.

## 다. 벼 생체 엽신 질소 함량 비파괴 측정 장치의 제작

협동 연구과제에서는 현장에서 직접 사용할 수 있는 콤팩트한 모델의 간이형 비파괴 자동 측정기 개발에 중점을 두고, 본 장치를 개발하는데 중점을 두었으며 1차년도 수행한 설계를 근거로 하여 제작한 벼 엽신 질소 비파괴 측정기의 모습은 그림1과 같다.

비파괴 측정 장치의 외관은 각종 시스템이 집약된 형태이며 전면에 측광부가 있어 벼 생체 엽신 시료를 도입하면 비파괴 측정 시스템의 근적외 분광기가 작동하여 벼 생체 엽신에 대한 분광 데이터를 취득하게 되며 취득된 분광 데이터는 노트북으로 그 데이터가 전송되며 또한 각종 제어장치, 전원 공급 장치, 제어 board 등이 일체화된 시스템으로 제작하였다.

### 1) 근적외 분광장치의 사양 내역

본 연구에서 개발된 벼 엽신 질소함량 비파괴 측정 장치(그림1)의 상세제원은 아래와 같다.

- 광 원 : 할로겐램프
- 광 학 계 : 前분광방식, 확산반사측정(기준 반사판 채택)
- 분 광 기 : 회절격자 주사방식, 웨르니터너형 광학계
- 파장 범위 : 1300 - 2500nm
- 파장분리능 : 15nm
- 측정 시간 : 10초
- 광 검 지 기: 온도제어 PbS검지기
- 인터페이스 : USB interface type
- 전 원: AC220V, 50Hz
- 중 량: 4.5kg
- 사 이 즈: 165mm X 240mm X 190mm

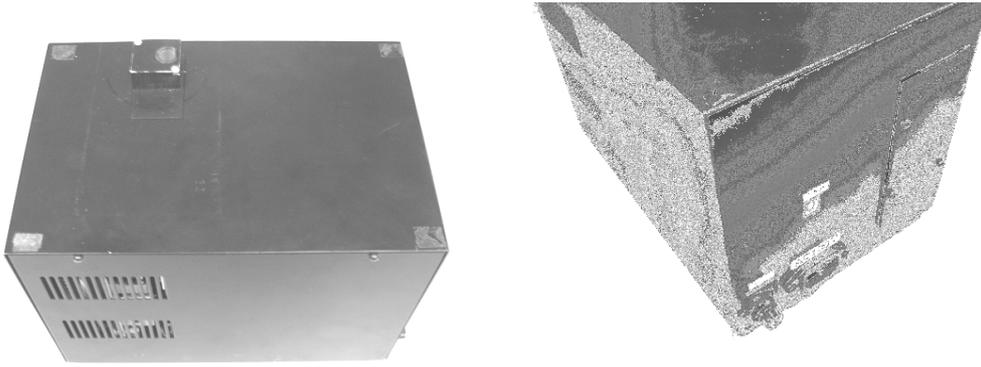


그림 1. 비 엽신 질소 비파괴 측정기의 모습

## 2) 스펙트럼 측정을 위한 장치의 기초 설정 작업

장치로부터 받은 데이터는 그대로 1nm간격의 데이터로서 되어 있지 않다. 파장기준 검출용 데이터, 스펙트럼 신호데이터, 暗전류데이터의 3개의 데이터가 0~5000의 데이터로서 연속하여 보낸다.

### ① 장치로부터 받는 데이터의 개요

장치에서 얻어지는 신호파형과 타이밍은 아래 그림2에서 보이는 바와 같다. 1회 측정이 실시되면, 아래 그림에서 보이는 펄스코터위치에 대응하는 5000데이터가 USB를 경유하여 보내진다. 최초의 0~500펄스까지의 데이터(그림A)는 제로次광검출기 신호가 된다.

두 개의 검지 엘레먼트 差動신호이고, 이 두 개의 중간점에 제로次광이 위치 한때에 출력이 피크가 아무것도 존재치 않은 때와 같은 레벨이 된다. 이 제로 크로스점을 소프트웨어로서 검출함에 의해, 원점위치를 매번 검출할 수 있다. 다음의 500~4950(그림중 B)이 근적외 분광기의 신호출력이 된다. 이 데이터를 사용하여 스펙트럼을 얻을 수가 있다. 4950~5000(그림 중 C)사이는 셔터가 닫힌 상태이어서, 暗상태의 검지기 신호레벨인 것이다.

측정할 때 마다 이 암상태 신호를 얻어서, 스펙트럼 측정치에서 빼줌으로서 안정된 제로레벨의 신호를 얻을 수가 있다.

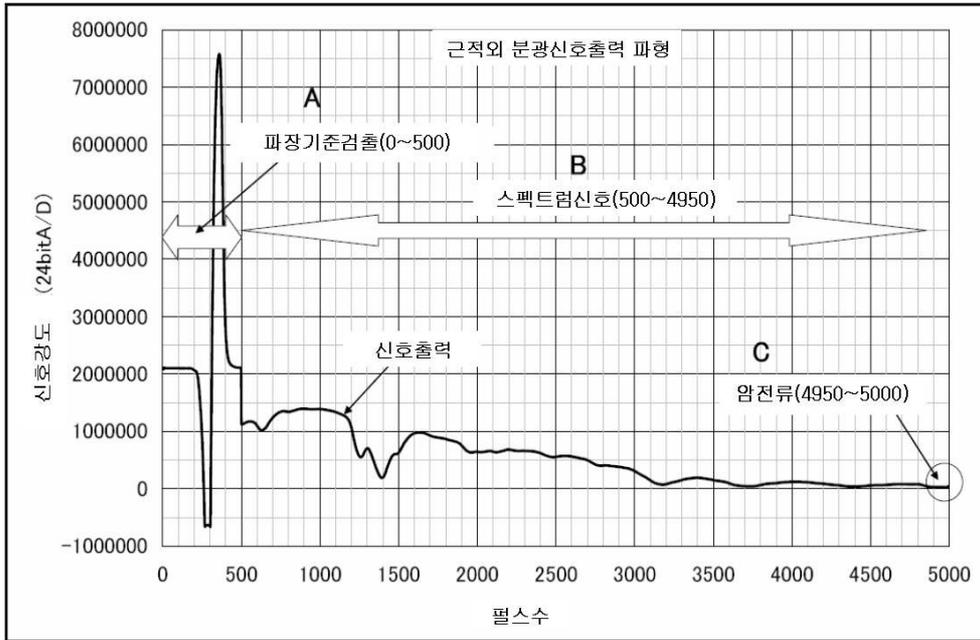
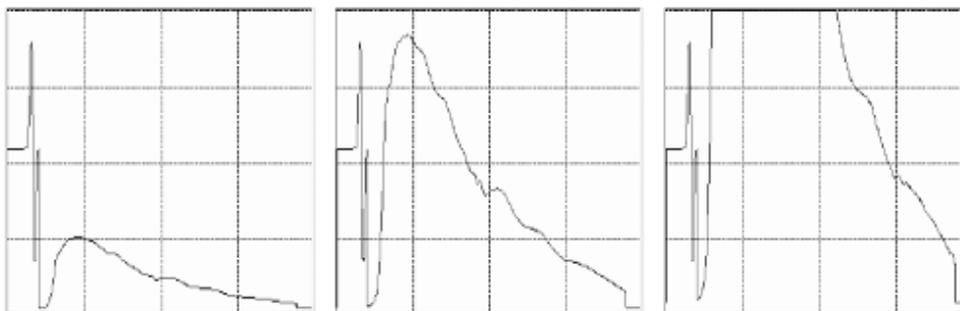


그림 2. 근적외 분광신호출력 파형

## ② Gain설정

파장 데이터를 안정화하기 위해서 본 장비의 Gain설정은 x1, x2, x3, x4 등 4단계로 조절될 수 있게 설계하였다(그림3).



Gain제일 낮은 경우

Gain제일 적합한 경우

Gain제일 높은 경우

그림 3. Gain의 설정

### ③ 1nm간격의 데이터로 변환시키는 순서

분광장치에서 보내온 데이터 그대로의 상태를 「生데이터」로 표현한다. 이 생데이터에서 1nm간격의 데이터로 변환하는 데에는 크게 다음과 같은 단계가 필요하다.

- ★ 다크레벨을 빼주기
- ★ 제로 점을 검출함
- ★ 출력신호의 펄스수를 제로 점에서의 펄스수로 변환함
- ★ 1nm간격으로 데이터를 변환함

### ④ 다크레벨 빼주기

우선, 장치로부터 전송된 생데이터에서 다크레벨분의 값을 빼줌으로서, 제로 레벨의 오프셋을 행하여, 전체를 바른 레벨로 보정한다. 생데이터의 [4950~5000] 값이 다크레벨이기 때문에 이 범위 중 임의의 데이터를 다크레벨로 간주하고 각 픽셀에서 빼준다(그림4).

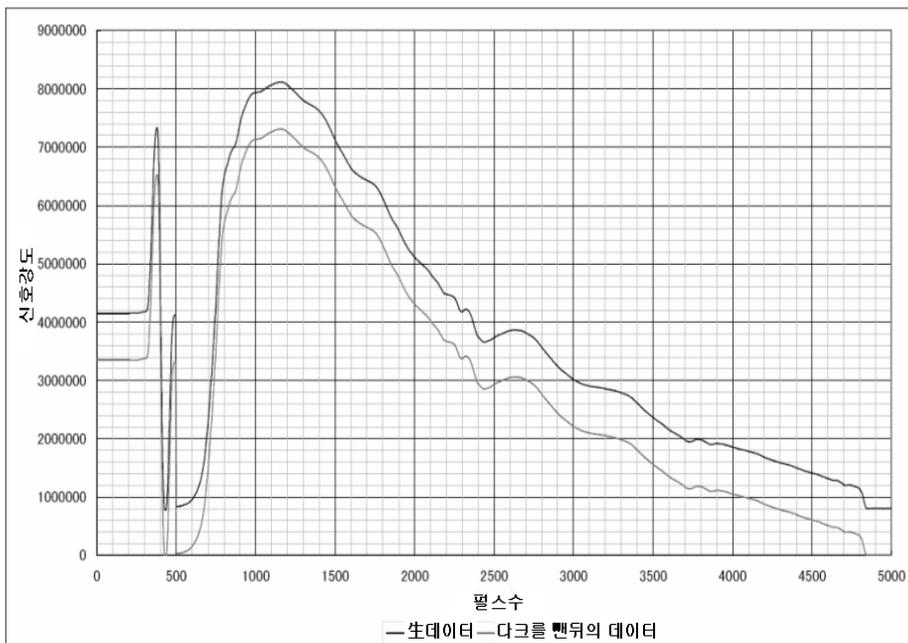


그림 4. 생데이터에서 다크레벨을 빼줌

## ⑤ 제로점 검출 방법

다크레벨이 빠진 데이터의 제로점을 검출하는 처리를 행한다. 데이터의 최초 500포인트 점은 과장기준 검출용 영역이어서 제로점차광검출데이터가 된다. 제로점이란 출력신호의 개시위치를 나타낸다. 제로점검출은

- ★ 제로 크로스레벨을 설정
- ★ 스레숀드를 넘는 신호변화가 있었던 것을 감지
- ★ 신호강도가 한번 증가하여 하강한 후, 제로크로스레벨과 교차한 점을 검출
- ★ 그 때의 위치를 제로 점으로 정한다(그림5).

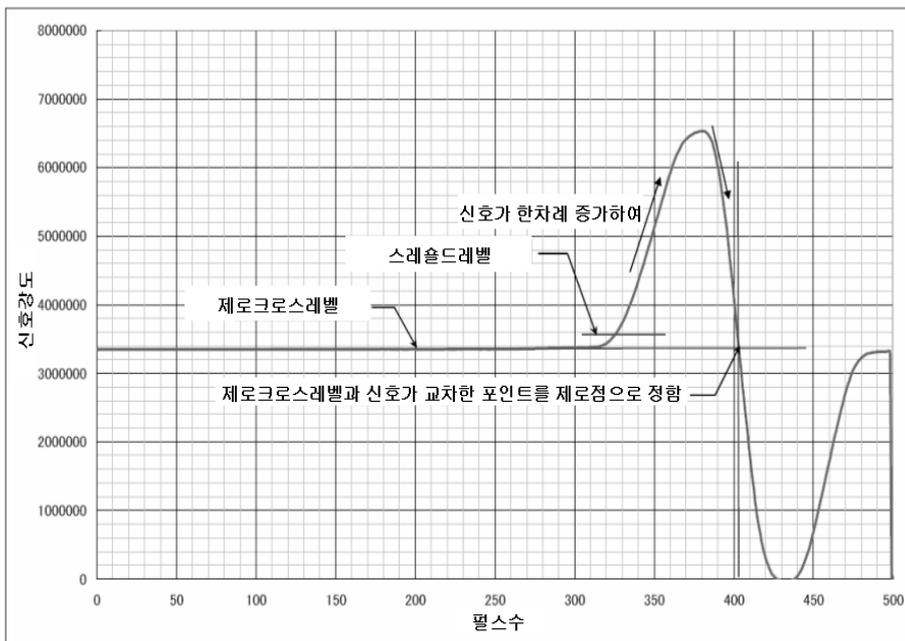


그림 5. 제로점의 검출

### ⑥ 출력신호 펄스 수 변환

전항에서 얻은 제로점이, 측정데이터의 개치위치가 된다. 제로점보다도 앞의 데이터는 측정 데이터로서는 불필요한 부분이므로 제로점이 최초의 포인터가 되도록 전체를 시프트 시킨다(그림6).

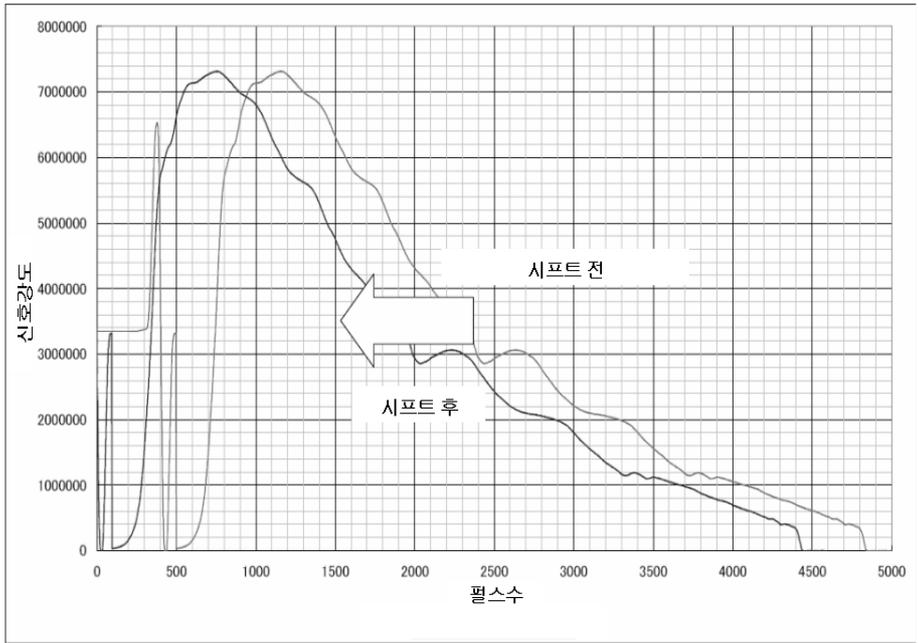


그림 6. 출력신호 펄스수 변환

⑦ 출력신호 부분만을 빼냄

데이터에서 파장기준 검출용 영역과, 암전류 영역을 뺀 영역이 측정데이터로서 유효한 데이터가 된다(그림 7).

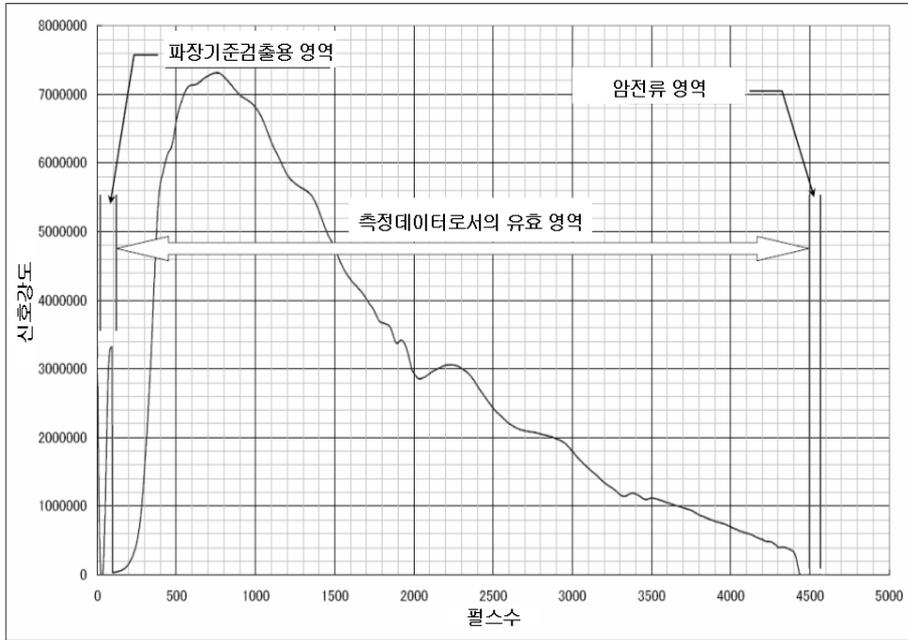


그림 7. 측정 유효 데이터 영역

### ⑧ 1nm간격의 데이터로 변환

상기까지의 처리에 의해 측정 데이터로서 유효한 영역을 정확한 펄스수로 얻을 수 있다. 이 대로는 x축이 모터 펄스수로서 밖에 취급되지 않으므로 파장 계산을 하기 위해 중회귀 계산을 한다. 중회귀계산을 하면 1nm간격의 데이터로 변환시킬 수 있다. 중회귀계산에 필요한 파라미터는 참여기업에서 준비하고 있으니 그 값을 계산처리에 적용함으로써 필요한 파장의 신호강도를 얻을 수가 있다. 이 중회귀계산의 파라미터는 장치고유의 것이기 때문에 모든 장치에 공통으로 사용할 수는 없다.

먼저 제작한 장치의 파라미터 값은 아래와 같다.

- 옵세트=1224.79650615048
- 제1파라미터=0.3425861872099732
- 제2파라미터=0.0000067558263362486
- 제3파라미터=-0.00000000351767671151945

중회귀계산을 행하면 최초의 5000포인트의 데이터를 1nm간격의 1200포인트의 데이터로 변환시킬 수 있게 된다(그림8).

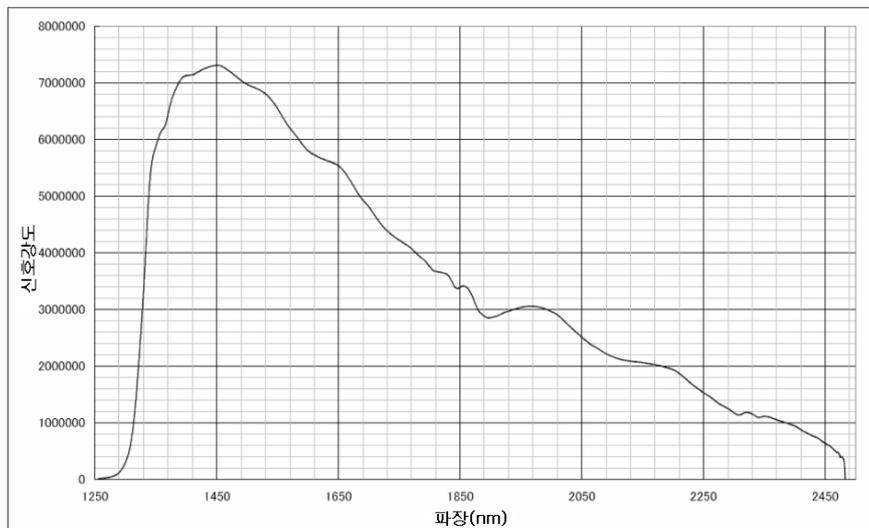


그림 8. 1nm간격으로 변환된 데이터

⑨ 표준물질을 사용한 측정

디브로모메탄(CH<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>, 액체 샘플)의 스펙트럼을 측정하면 흡수 피크와 펄스미터의 위치 관계를 알 수 있다. 디브로모메탄의 -CH관련 흡수 스펙트럼의 파장 값은 이미 알고 있는 값이고, 그 값과 펄스수 사이의 관계를 중회귀분석에 의하여 펄스위치과 파장사이의 상관 관계식을 얻을 수 있다. 이 관계식에 의하여 측정한 디브로모메탄의 흡수 스펙트럼(그림9)에서 1700nm부근과 2300nm부근에 고유의 피크가 나타남을 확인할 수 있었다.

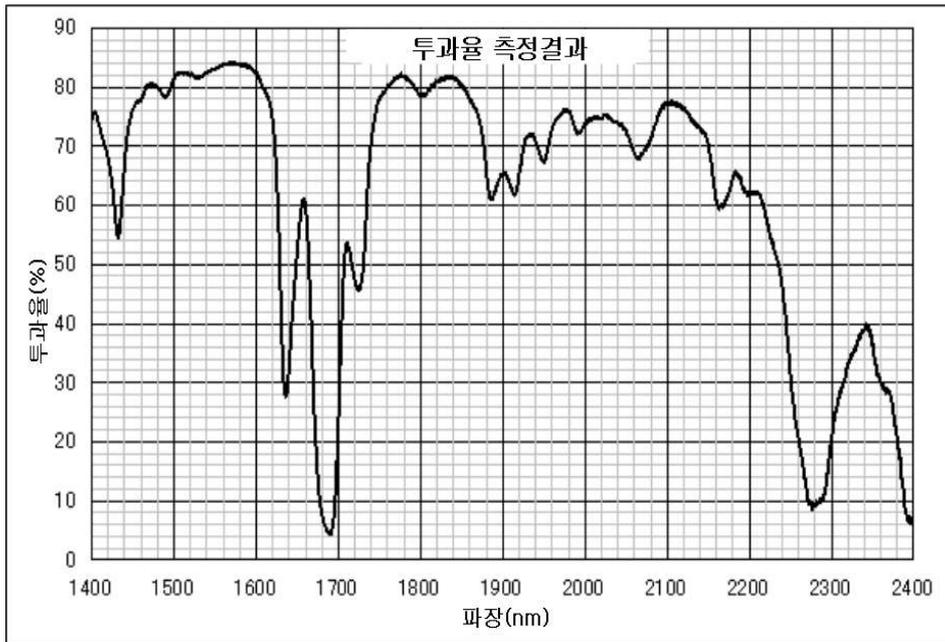


그림 9. 디브로모메탄의 스펙트럼 측정

$$\lambda = 1295.58 + 0.231895 \times p + 4.67 \cdot 10^{-5} \times p^2 - 7.8 \cdot 10^{-9} \cdot p^3$$

⑩ 스펙트럼 안정도 확인

그림10은 아무런 유기물을 갖지 않은 백색관을 시료로 하여 6회 반복측정(100%)했을 때의 재연성을 나타냈고, 그림11은 광선이 입사하지 않는 상태(0%)에서 반복 측정한 결과로서 투과율이 0.3% 이하를 나타내어 분광장치로 활용할 수 있다고 판단되었다.

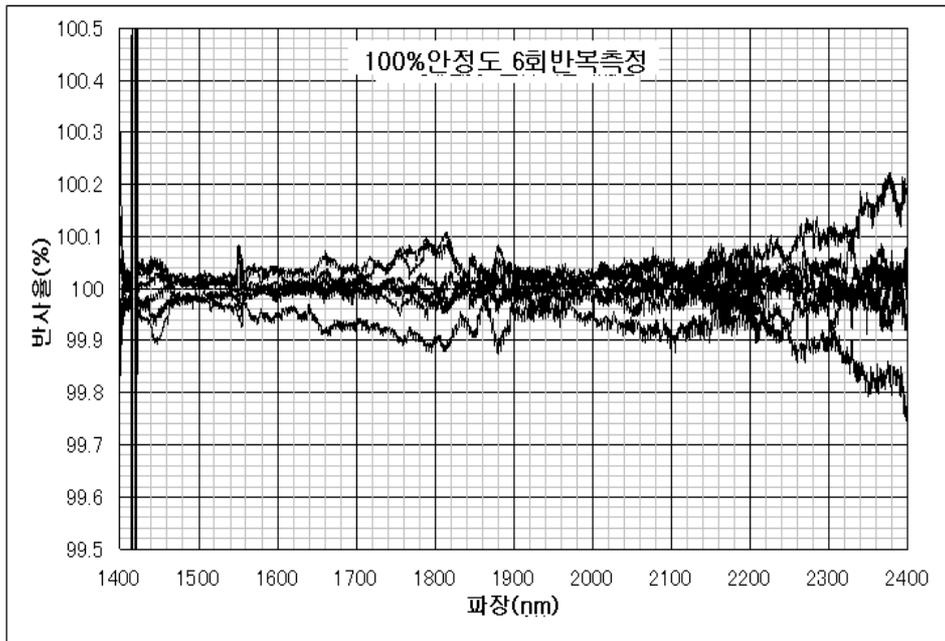


그림 10. 백색판으로 반복 측정(100%)했을 때의 재연성

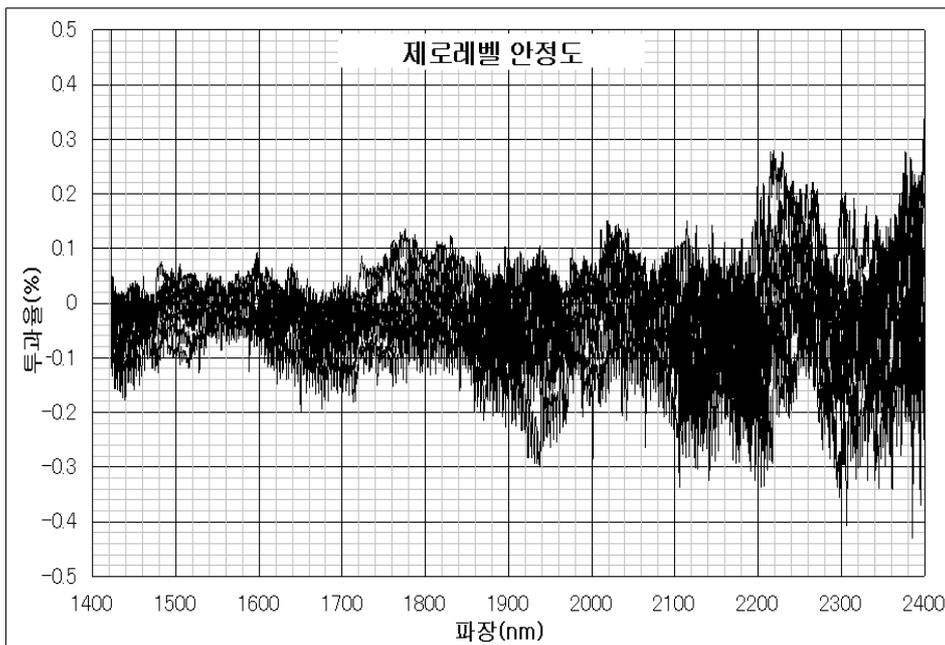


그림 11. 광선이 입사하지 않는 상태(0%)에서 반복 측정한 결과

### 3) 벼 엽신의 근적외 스펙트럼 취득

시료 창에 벼 생체 엽신을 놓고 근적외 스펙트럼을 측정(그림12)하면 장치 측면에 위치한 컴퓨터에 분광데이터로서 기록되며 이 데이터를 분석하여 10초 이내에 그 결과 값을 출력 또는 화면에 디스플레이하게 된다.

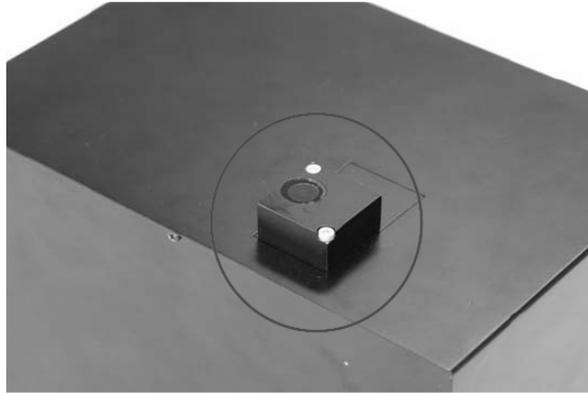


그림 12. 벼 엽신 질소 비파괴 측정기의 시료창

앞에서 소개한 벼 엽신 비파괴 측정 장치를 이용해 벼 엽신의 근적외 분광 스펙트럼을 측정한 결과는 그림13과 같다.

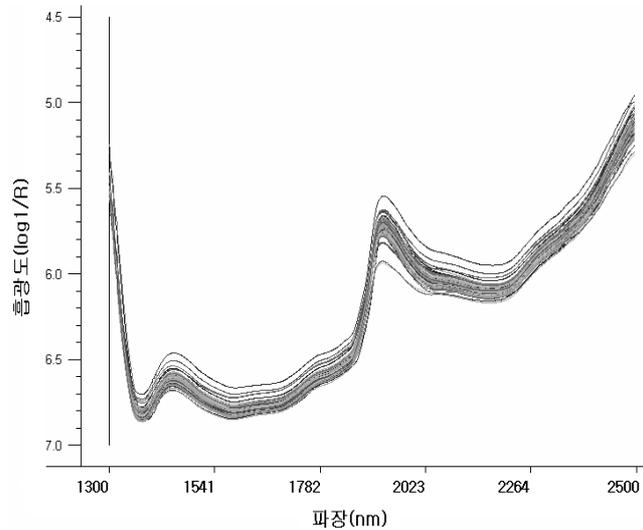


그림 13. 벼 엽신 질소 비파괴 측정기를 이용해 측정한 근적외 스펙트럼

#### 4) 벼 엽신 시료의 근적외 파장별 흡광도 데이터

표1은 근적외 스펙트럼 데이터의 일부를 예시로 나타낸 것으로, 이 파장별 흡광도 데이터를 다양한 chemometrics에 적용함으로써 벼 엽신의 질소함량을 구하는 비파괴 측정 검량식을 작성하는데 사용된다.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1300	380675.2	344032.6	343823.1	325395.1	330334.7	347629.2	351803.9	326791.5
1301	405037.7	367064.9	366150.4	346977.7	351336.1	370444.8	375255.2	347197.6
1302	430774.7	391398.8	389920	369693.3	373597.6	394642.5	400082.4	368746.8
1303	458125.8	417205.8	415331	393722.8	397159.7	420364	426367	391532.3
1304	487143.5	444649	442368.1	419212.1	422284.6	447630.1	454284.8	415682.7
1305	517968.8	473944.7	471069.1	446371.2	449068.2	476603.3	483976.2	441446.4
1306	550969.5	505149.6	501643.5	475442	477608.3	507394	515458.8	469032.6
1307	586366.8	538618.2	534393.9	506661.4	508141	540342.5	549312.2	498602.2
1308	624306.4	574564.7	569449.5	540228.9	540965.4	575763.4	585656.6	530315
1309	665119.8	613235.1	607132.2	576340.7	576333.4	613895.2	624823.2	564349
1310	709008	654958.5	647882.4	615259.3	614514.9	654980	666821.6	601011.7
1311	756206.8	700059.2	691749.1	657221.6	655694.2	699292.5	712177.8	640621.5
1312	807040	748712.6	738921.7	702638.9	700096.5	747120.7	761232.5	683452.4
1313	861893.8	801181	789666.4	751689	748123.2	798723.3	814206.9	729710.4
1314	921097.6	857735	844432.6	804572.7	800013.1	854565	871448.4	779715.5
1315	985003.9	918542.3	903623.2	861587.8	856033.8	914809.4	933216.8	833670.7
1316	1053798	984168.9	967516.1	922856	916515	979862.9	1000009	891906.3
1317	1127678	1054794	1036198	988676.5	981610.2	1049904	1071891	954651.5
1318	1206807	1130457	1109778	1059168	1051239	1124862	1148860	1022005
1319	1291362	1211340	1188465	1134341	1125703	1205014	1231073	1094115
1320	1381480	1297487	1272240	1214301	1205073	1290396	1318859	1170942
1321	1477253	1388825	1361316	1299083	1289372	1381082	1411969	1252490
1322	1578708	1485494	1455760	1388588	1378612	1477020	1510432	1338731
1323	1685553	1587375	1555462	1482751	1472643	1578304	1614206	1429712
1324	1797627	1694330	1660191	1581522	1571297	1684517	1723056	1525301
1325	1914640	1806249	1769569	1684651	1674376	1795592	1836905	1625255
1326	2036445	1922843	1883508	1792094	1781753	1911393	1955491	1729343

표 1. 근적외 분광 스펙트럼 데이터 자료의 일부

#### 5) 벼 생체 엽신의 질소 함량 비파괴 측정을 위한 검량식 작성 및 다변량 해석

본 실험에 사용된 벼 엽신 시료 질소 함량은 자동 켈달 분석 장치를 이용하여 분석하였다. 벼 생체 엽신 시료 96점으로 비파괴 측정을 위한 검량식을 작성하고 29점의 미지시료를 대입하여 비파괴 측정정확도를 조사하였다. 검량식 작성을 위해 사용한 다변량 해석 기법으로는 기본적으로 PLSR을 사용했으며 정확도 향상을 위해 다양한 chemometrics를 적용하여 최적의 비파괴 검량식의 도출을 시도하였으며 그 결과는 아래 표2 및 그림14, 그림15와 같다.

표 2. 벼 생체 엽신의 질소함량 비파괴 측정을 위한 근적외 분광데이터와 켈달방법으로 측정한 질소함량 데이터 사이의 다변량 해석결과

Number of PC	Range(%)	Mean(%)	R	SEP(%)
2	0.38~1.86	0.87	0.51	0.18
3			0.51	0.17
4			0.59	0.16
5			0.74	0.14
6			0.85	0.11
7			0.87	0.10
8			0.89	0.09
9			0.89	0.09
10			0.91	0.08
11			0.88	0.10
12			0.87	0.10
13			0.87	0.10

PC(주성분)의 수를 증가시키면 전반적으로 그 측정 정확도와 오차는 줄어드는 경향이 있었으며 주성분이 10인 경우 중상관계수(R)가 0.91 이며 미지시료에 대한 측정오차(SEP)가 0.08%로 나타나 벼 생체 엽신의 질소함량을 비파괴 측정가능하다고 판단되었으며 그 측정 정확도 향상 및 범용성의 확보를 위한 장치의 개선 등을 3차 년도에서 수행할 예정이다.

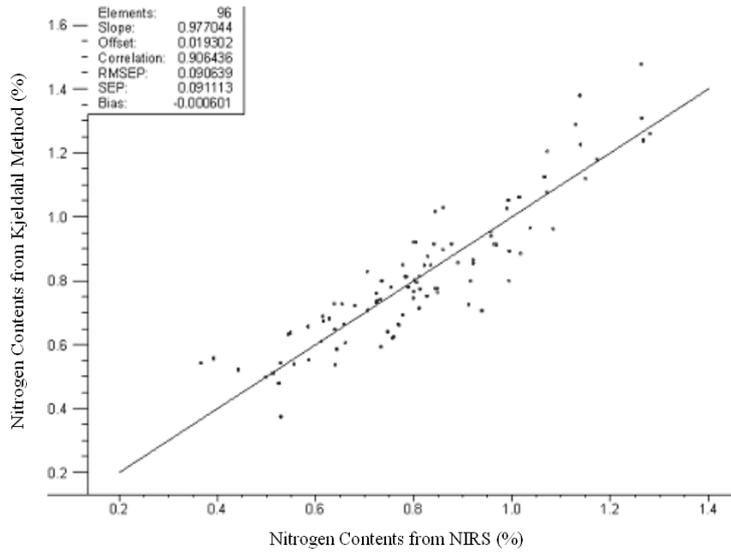


그림 14. PC가 10인 경우의 검량식

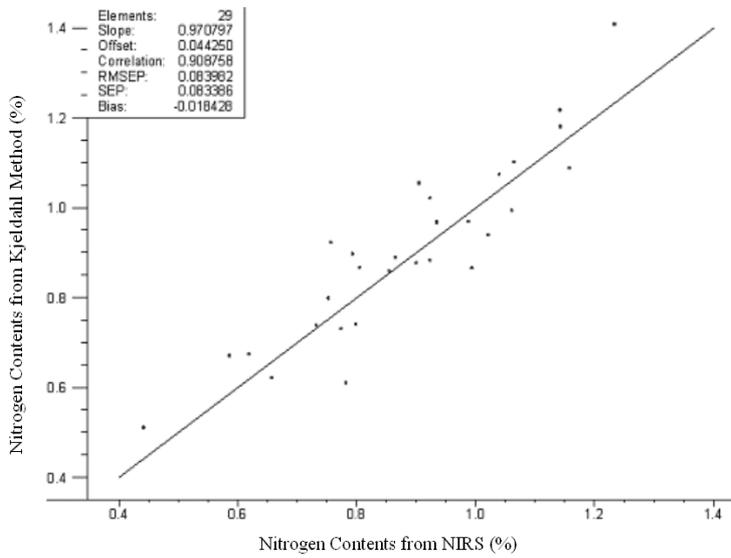


그림 15. PC가 10인 경우의 검량식으로 미지시료를 예측한 결과

### 3. 3차년도

#### 1) 벼 생체엽신의 질소함량 변화

벼의 수량은 영양생장기간의 발육 및 질소영양 정도와 유수분화기의 시비량에 의해 결정되는데 (Norman et al., 1992; Guindo et al., 1994), 특히 영양생장기에서 생식생장기로의 상 전환이 이루어지는 유수분화기는 새로운 조직과 기관형성을 위한 핵산 · 단백질 · 아미노산 등 유기화합물을 구성하는데 필수적인 질소에 대한 요구도가 가장 큰 시기로 알려져 있다(Mae and Ohira, 1981). 또한 벼의 단백질 함량은 품종, 재배환경 및 기상환경에 따라서 달라지는데(Heu et al., 1969; Gomez and De Datta, 1975; Zhai et al., 2001), 품종이나 기상환경 보다는 주로 이앙시기, 지역 토양비옥도, 질소시비 수준, 재식밀도 등 재배여건에 의해 더 큰 영향을 받는다고 한다(허 등, 1974). 그 중에서도 질소시비 수준은 단백질 함량에 가장 크게 영향한다고 한다(Islam et al., 1996 Perez et al., 1996). 유수분화기를 전후한 질소영양상태는 수량 sink의 형성과 충진에 크게 영향할 뿐만 아니라 미립의 단백질함량, 맛 등 품질을 좌우하는 요인이기 때문에 질소영양진단과 이에 따른 적절한 수비처방기술이 확립되어야 한다(Hinzmn et al., 1986; Schneider 2003).

작물의 생육 및 영양상태에 따른 수비사용량을 결정하기 위해서 비과과적인 방법으로써 시비량 결정 등 재배관리를 하는 추세에 있다. 그 방법 중의 하나가 생체정보를 이용하여 시비량을 결정하는 것으로써 정밀한 재배관리를 하기 위해서는 작물의 생체정보를 정확하게 파악하여야 하고, 그 정보를 바탕으로 적절히 처방을 하여야 한다(Hinzmn et al., 1986; Schneider 2003). 시비진단을 하는 이유는 질소가 부족할 경우 작물의 잠재 생장이나 수량이 크게 저해되기 때문이다. 따라서 생체정보를 이용한 시비처방은 이 생체 정보 이외에도 목표수량, 목표품질, 토양의 질소 기용도 등을 고려하여 결정되어야 한다. 본 연구는 벼의 재배환경이 다른 지역에서 생육형질과 질소농도 등이 쌀 수량성의 관련 형질에 미치는 정도를 조사 분석하여 벼 시비진단 및 처방기기 개발에 필요한 자료로 이용하고자 시험을 실시하였다.

그동안 질소 수비 실험들은 주로 질소 시비량에 대한 수량이나 단백질함량을 고찰하였는데, 실제 벼에 의해 흡수된 질소량은 토양의 비옥도나 재배기상환경 차이가 있기 때문에(Cassman et al., 1993; Muchow & Sinclair, 1995), 보다 보편성을 갖기 위해서는 실제로 작물에 축적된 질소량을 정확히 모니터링 함으로서 그 결과 얻어지는 수량, 단백질 함량 등을 기준으로 시비진단을 하여야하며 (Kropff et al., 1993; Sinclair & Muchow, 1995), 이를 실제 시비 처방에 이용하기 위해서는 실시간으로 간편하게 추정할 수 있어야 한다.

질소의 시용은 엽면적을 확대시키고 초기의 전엽수를 증가시켜 엽면적의 확대에 의한 종실비대에 필요한 탄수화물을 충분히 공급함으로써 수량을 증가시킨다. 따라서 질소가 부족하면 도체생장도 약하고, 개화가 되더라도 결실률이 낮으며, 종실의 발육이 불량하여 수량도 적고 품질도 좋지 못하다. 반면에 질소를 과다 시용하면 줄기와 잎의 생장에만 동화양분이 대부분 소비되어 도체가 도장되고 등

숙이 불량하게 된다. 최고분얼기의 품종 및 질소시비량별 생육 반응을 살펴보면(표 1~4) 질소시비량이 많을수록 초장이 크고, 경수가 많았으며, 식물체 내의 질소농도가 높았다. 품종별 잎질소 농도는 운광벼>남평벼>청호벼 순이었다. 생태형별로는 조생종 2.9734, 중생종 2.9557, 중만생종 2.9260%를 보여 조생종>중생종>중만생종 순으로 질소농도가 높았는데 이러한 결과도 생태형별로 생육기간이 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다.

표 1. 최고분얼기의 품종 및 질소시비량별 생육 반응

품종명	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
남평벼	0	54.4	23.1	3.236
	5	65.6	29.6	3.301
	9	70.8	30.8	3.551
	13	70.9	31.1	3.597
청호벼	0	56.3	22.5	2.773
	5	65.7	28.6	3.076
	9	71.8	30.2	3.314
	13	74.2	31.2	3.428
운광벼	0	61.9	19.3	2.963
	5	65.9	22.2	3.549
	9	71.4	24.5	3.595
	13	73.6	26.5	3.816

벼의 품종(생태형)별 유수형성기는 조생종인 운광벼가 7월 10일이었으며, 남평벼와 청호벼는 7월 23일과 22일 이었다. 출수기는 조생종인 운광벼가 7월 31일이었으며, 남평벼와 청호벼는 8월 15일과 13일 이었다. 질소시비량에 따른 최고분얼기의 품종별 생체엽신 질소함량은 질소 무시용에서 3.291%, 반당 5kg 시용에서 3.557, 9kg에서 3.834, 13kg에서 4.125%를 나타내 시비량이 많을수록 질소농도가 높게 나타났다. 품종별로는 3.449에서 3.975% 사이를 나타냈다(표 1). 유수형성기에는 질소 무시용에서 1.227%, 반당 5kg 시용에서 2.533, 9kg에서 2.817, 13kg에서 3.224%를 나타내 최고분얼기와 같이 질소시비량이 많을수록 질소농도가 높게 나타났다. 품종별로는 2.211에서 2.867% 사이를 나타냈다(표 2). 벼 생체잎의 생육단계별 평균 질소농도는 최고분얼기에 3.701%와 영화분화기에 2.450%를 나타내 최고분얼기에 비해 유수형성기에서는 1.251% 포인트가 낮게 나타났다.

표 2. 유수형성기의 품종 및 질소시비량별 생육 반응

품종명	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
남평벼	0	65.6	20.4	2.385
	5	75.9	24.2	2.589
	9	82.5	24.3	2.906
	13	84.6	24.7	2.923
청호벼	0	68.8	20.6	2.126
	5	76.4	23.4	2.427
	9	86.1	24.3	2.662
	13	86.6	24.6	2.771
운광벼	0	72.7	16.9	2.315
	5	75.5	20.3	2.892
	9	81.1	20.9	2.947
	13	86.2	22.7	3.163

표 3. 출수전의 품종 및 질소시비량별 생육 반응

품종명	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
남평벼	0	82.0	15.4	2.248
	5	92.1	18.9	2.287
	9	97.0	19.9	3.432
	13	98.1	20.5	3.546
청호벼	0	84.5	15.9	2.526
	5	95.7	18.6	3.463
	9	101.8	19.9	3.491
	13	102.9	20.7	3.753
운광벼	0	90.0	14.3	2.515
	5	91.8	16.4	3.193
	9	97.3	18.0	3.442
	13	101.3	20.4	3.788

표 4. 출수기의 품종 및 질소시비량별 생육 반응

품종명	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
남평벼	0	93.2	15.0	2.33
	5	111.5	18.9	3.00
	9	116.6	19.4	3.26
	13	119.6	19.9	3.27
청호벼	0	95.3	15.6	2.06
	5	113.8	18.7	2.88
	9	121.1	19.4	2.95
	13	121.2	19.8	3.38
운광벼	0	88.8	14.0	1.81
	5	91.3	15.2	2.20
	9	97.2	17.1	2.71
	13	103.5	19.7	2.99

표 5. 생육시기에 따른 질소시비량과 품종별 잎 질소 농도 (단위 : %)

품종명	질소시비량 (kg/10a)	최고분얼기	유수형성기	출수전	출수기
남평벼	0	3.24	2.39	2.52	2.33
	5	3.30	2.59	3.29	3.00
	9	3.55	2.91	3.43	3.26
	13	3.59	2.92	3.55	3.27
청호벼	0	2.77	2.13	2.53	2.06
	5	3.08	2.43	3.46	2.88
	9	3.31	2.66	3.49	2.95
	13	3.43	2.77	3.75	3.38
운광벼	0	2.96	2.32	2.52	1.81
	5	3.55	2.89	3.19	2.20
	9	3.56	2.95	3.44	2.71
	3	3.82	3.16	3.79	2.99

표 6. 품종 및 질소시비량별 생육 반응 및 식미값

품종명	질소시비량 (kg/10a)	유수형성기 (월.일)	출수기 (월.일)	간장 (cm)	수장 (cm)	토요식미값 (점)
남평벼	0	7. 23	8. 15	69.4	18.3	75.8
	5			80.6	19.2	64.8
	9			85.1	19.3	61.6
	13			86.1	19.5	59.8
청호벼	0	7. 22	8. 13	71.9	19.8	76.0
	5			83.0	21.3	69.2
	9			88.9	21.7	62.9
	13			90.6	22.2	60.7
운광벼	0	7. 10	7. 31	67.5	19.2	67.1
	5			68.3	19.5	63.9
	9			72.8	20.0	60.9
	3			78.2	21.3	60.2

벼의 수량에 관련된 형질들은 환경에 의해 영향을 크게 받는다. 벼의 품종별 수량구성요소에서 수수는 운광벼에서 주당 15.3개, 청호벼에서 17.7개, 남평벼는 17.5개를 보여 2.2~2.55개의 차이를 나타냈다. 입수는 운광벼에서 수당 95.2개, 청호벼가 90.4, 남평벼가 83.9개로 적었다. 등숙률은 운광벼가 74.9%, 청호벼 76.6%, 남평벼 78.9%를 나타냈다. 친립중은 운광벼가 23.0, 청호벼 22.4, 남평벼 20.8 그램으로 품종간의 차이를 나타냈다. 쌀 수량은 운광벼가 525, 청호벼 518, 492 kg/10a의 차이를 나타냈다(표 7). 질소 시비량에 의해서도 수량 및 수량구성요소에 영향을 미치는데, 수량구성요소에서 수수는 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향으로 0kg에서 주당 14.4개, 5kg에서 16.7개, 9kg에서 18.0개, 13kg에서 18.2개를 보여 시비량이 증가할수록 증가하였다. 입수는 시비량이 증가함에 따라 감소하는 경향으로 무시용에서 수당 78.8개, 5kg에서 87.7개, 9kg에서 93.1개, 13kg에서 99.8개로 많았다. 등숙률은 질소시비량이 많을수록 낮았다. 친립중은 22.6 ~21.5 그램으로 시비량이 많을수록 낮았다. 쌀 수량은 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향이었으나, 13kg에서는 낮아졌다(표8).

표 7. 품종 및 질소시비량별 수량과 수량구성요소

품종명	질소시비량 (kg/10a)	수수 (개/주)	립수 (개/수)	등숙비율 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)
남평벼	0	14.9	70.7	87.7	21.3	422
	5	17.8	81.7	83.6	20.9	501
	9	18.5	91.3	76.3	20.7	562
	13	18.7	92.0	68.1	20.2	482
청호벼	0	15.2	77.3	85.5	22.9	463
	5	18.2	92.0	81.8	22.7	506
	9	18.4	94.7	73.3	22.1	551
	13	18.8	97.7	65.6	21.7	550
운광벼	0	13.0	88.3	84.0	23.6	504
	5	14.0	89.3	80.5	23.3	532
	9	17.0	93.3	71.1	22.6	557
	13	17.1	109.7	63.8	22.6	506

벼의 단백질 함량은 품종, 재배환경 및 기상환경에 따라서 달라지는데 (Gomez and De Datta, 1975), 품종이나 기상환경보다는 주로 이앙시기, 지역, 토양비옥도, 질소 시비수준, 재식밀도 등 재배여건에 의해 더 큰 영향을 받는다(Heu et al., 1969; 허 등, 1974). 그 중에서도 질소시비수준은 단백질 함량에 가장 크게 영향 한다고 한다(Heu et al., 1996; Perez et al., 1996). 쌀의 단백질 함량은 질소시비량이 많을수록 동일한 시비량이라도 수비중점 시비일 경우나 알거름을 줄 경우(De Datta et al., 1972; Perez et al., 1996), 그리고 수비시기가 늦을수록(Islam et al., 1996; Nguyen et al., 2006a) 증가한다고 한다. 질소추비에 따른 단백질 함량 증가는 자포니카보다는 인디카에서 현저하다고 한다(허와 박, 1973; Islam et al., 1996).

사람이 밥을 먹을 때 느끼는 맛을 식미라 지칭한다. 식미라는 기호성은 절대적인 것이 아니며, 식미를 검정하는 기계적인 방법도 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 밥의 윤기가 많을수록 밥맛이 좋다는 원리에 근거하여 밥의 윤기를 측정하여 수치화한 방식의 기기를 이용했다. 품종별 기계적 식미값은 질소시비량이 높을수록 낮았으며, 품종별로는 청호벼(74.7)>남평벼(65.5)>운광벼(63.0) 순이었다.

표 8. 품종 및 질소시비량별 수량과 수량구성 요소

질소시비량 (kg/10a)	립수 (개/수)	등숙비율 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)	토요식미값 (점)
0	78.8	85.7	22.6	463	73.0
5	87.7	82.0	22.3	513	66.0
9	93.1	73.6	21.8	557	61.8
13	99.8	65.8	21.5	513	60.2

### ○ 결과요약

질소시비량이 많을수록 초장이 크고, 경수가 많았으며, 식물체 내의 질소농도가 높았다. 품종별 잎질소 농도는 운광벼>남평벼>청호벼 순이었다. 생육단계에 따른 질소시비량별 생체잎의 질소농도는 생육과정이 경과 할수록 낮았다. 질소시비량이 많을수록 수수가 많았으나, 등숙비율은 낮았다. 품종별 기계적 식미값은 질소시비량이 높을수록 낮았으며, 품종별로는 청호벼(74.7)>남평벼(65.5)>운광벼(63.0) 순이었다.

### 2) 고품질 쌀 생산을 위한 벼 시비처방 프로그램작성

우리나라 농가의 시비 형태에 대한 문제점은 화학비료 의존도가 높고 권장 시비량에 비하여 많은 양을 사용하고 있다는 것과 전통적인 시비관행을 버리지 못하는 것으로, 경험에 의해 시비량을 결정하는 농민의 비율이 57.4%이고 과거의 시비량을 계속해서 지키는 농민이 20.2%, 지도기관의 추천 시비량에 따라 시비하는 농민의 비율이 12.5%, 환경영향을 고려하여 시비하는 농민은 2.6%에 불과 한다고 하여 과거의 다수확 위주 시비기준을 아직도 시행하고 있는 것으로 알려져 있다(권 등, 1999).

벼농사에 있어서 질소질비료 사용에 의한 환경오염 부담을 비용으로 예측한 결과 10a당 1kg의 질소질 비료를 추가 사용함으로써 4,835원의 사회적 비용이 발생하는 것으로 추정되었다. 모델을 통하여 수량극대화 최적시비수준, 농가 수익극대화 최적시비수준, 환경을 감안한 최적시비수준을 예측한 결과 10a당 질소 시비량은 각각 15.9kg, 15.5kg, 11.9kg으로 나타남으로써 현재 농민들이 사용하고 있는 시비 수준은 수량극대화를 위한 시비 수준으로 농가의 수익을 높이기 위해서는 질소질 비료의 사용량을 다소 줄여야 하며 과다 시비로 인한 환경오염 가능성을 줄이고 경영의 안전성을 고려한다면 시비량을 더욱 낮은 수준으로 낮추는 노력이 필요하다(권 등, 1999) 하였다.

시비량에 대한 프로그램의 개발은 작목별, 작형별, 토양조건별 표준시비량에 대한 자료를 수집하고, 농업인이 사용하고 있는 비료종류를 제조회사별로 비료명과 가격, 비료성분을 수집하여 엑셀 프로그램의 함수식과 매크로 기능을 이용한 분석결과에 대한 적정 시비량을 산출하게 하는 프로그램(송 등, 2003;

조 등, 2000)이 개발되었다.

근적외선 분광분석법에 의한 결과를 이용한 농업적 이용이 광범위하게 이루어지고 있음에 기초하여, 벼 생육시기별로 식물체의 생체질소함량을 신속, 정확하게 측정하여 최소의 질소시비량으로 고품질 쌀을 생산할 수 있는 효율성이 높은 벼 질소수비사용량 계산 프로그램을 개발할 필요가 대두되었기에 본 시험을 실시하였다.

본 프로그램은 벼 영화분화기에 근적외선분광분석기(NIR) 또는 길달법에 의해 분석한 벼 식물체의 질소함량, 실험법에 의한 엽록소 함량 또는 SPAD치를 이용한 엽록소 함량에 의하여 적정량의 벼 질소 수비사용량을 추정하기 위하여 개발되었다.

이를 위해서는 근적외선분광분석기를 이용한 벼 질소함량 분석치에 대한 정확도를 높이고, 또한 식물체 질소함량과 수량과의 관계식을 도출하여 최대의 수량을 낼 수 있도록 하는데 그 목적이 있다 하겠다.

### (가) 벼 질소 시비처방 프로그램 설치 및 사용방법

본 프로그램은 Microsoft사의 Visual Basic 6.0 개발툴을 이용하여 작성하였으며, 사용자의 설치를 편리하게 하기 위하여 setup package를 제작하여 사용자는 쉽게 설치할 수 있게 하였다. 그림 2와 3은 벼 질소 시비처방 프로그램의 설치 화면이다.

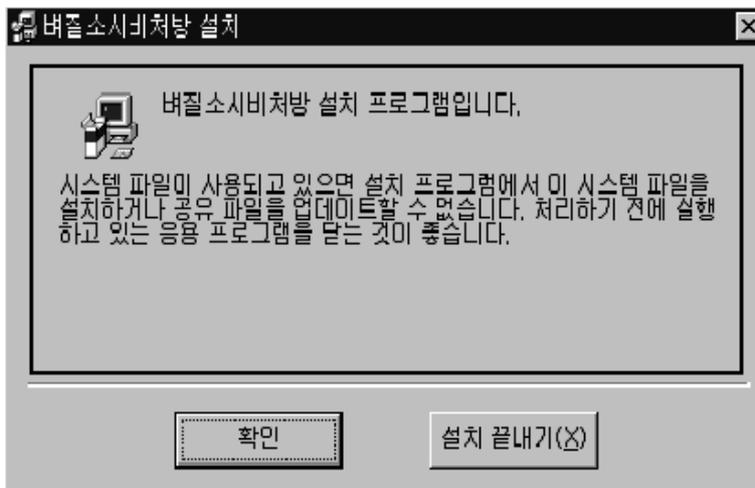


그림 2. 벼 질소시비처방 설치 프로그램 초기 화면

먼저, 벼 질소 시비처방 프로그램의 setup 파일을 클릭하면 그림 2의 화면이 나타나게 되는데 설치하고자 하면 확인 버튼을, 설치를 희망하지 않을 때는 설치끝내기를 클릭한다.

다음으로 그림 3과 같이 구동 프로그램의 설치 디렉터리를 설정하는 화면이 나타나는데, 이때 디렉터리를 변경할 경우는 '디렉터리 변경' 버튼을 클릭하여 설치하고자 하는 특정 디렉터리를 기입하

면 되고, 설정된 기본 디렉터리에 프로그램을 설치하고자 할 경우는 설치아이콘을 클릭하면 프로그램 설치가 시작된다. 모든 설치가 완료되면 그림 3의 하단과 같은 메시지가 뜨게 된다.

만일 Window XP 환경에서 setup시 'file & path not found'라는 오류메세지가 뜰 경우에는 설치 전에 Windows의 환경을 변경해 주어야 한다. 먼저 내컴퓨터의 속성에 있는 고급의 환경변수에서 TEMP 파일의 경로를 'C:\TEMP'로 바꾸고 TMP파일을 삭제해 버리면 문제없이 설치가 가능하다.

사용하던 프로그램을 제거하고자 할 경우에는 제어판의 '프로그램 추가/제거'에서 '벼 질소시비처방'을 선택하여 제거버튼을 클릭하면 된다. 이와 같이 프로그램의 설치와 제거과정을 쉽게 만들어 컴퓨터를 사용하는 초보자들도 쉽게 사용할 수 있도록 프로그램을 제작하였다.

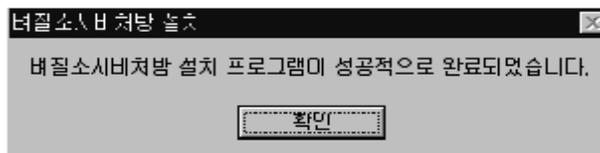
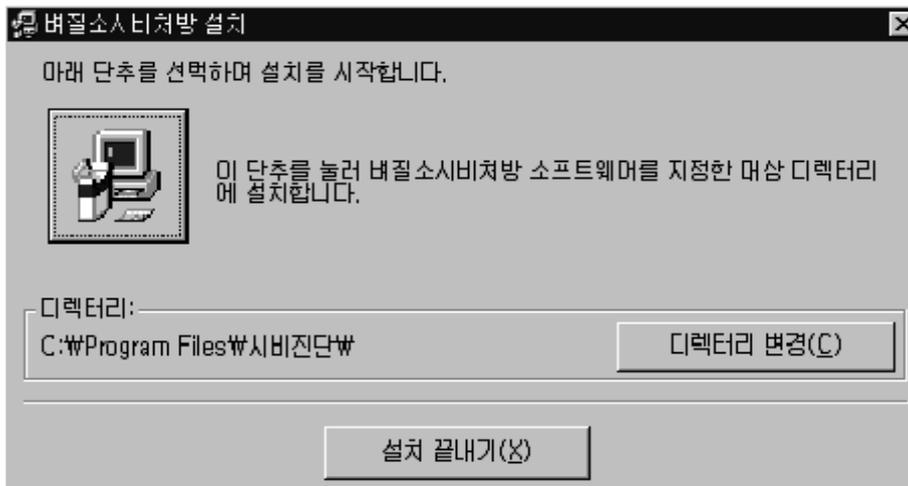


그림 3. 벼 질소시비처방 프로그램 설치 아이콘과 설치완료 알림 화면

표준시비량 계산, 토양검정에 의한 시비량 계산, 질소 수비사용량 계산에서 공통적으로 입력해 주어야 할 소프트웨어 구성항목으로는 재배면적, 단위, 재배방법, 재배지역, 토양유형, 이앙시기, 인쇄 등으로 구분된다.

재배면적은 직접 숫자를 입력하고, 단위로는 국제 기준인 m<sup>2</sup>를 기준으로 하며, 재배방법은 이앙재배 또는 직파재배중에서 선택하면 된다. 각각의 재배방법에 따른 재배지역은 이앙재배는 평야중간지,

중산간지 및 냉조풍지, 산간고냉지, 간척지로 구분되고, 직파재배는 건답줄뿌림과 무논골뿌림으로 나뉘어진다.

토양유형은 이양재배의 경우 보통논·미숙논, 모래논·고논으로 구분되고, 직파재배의 경우 보통논·미숙논, 사질논으로 구분되어지며, 이양시기는 평야·중간지의 보통논·미숙논에서 적기이양과 만기이양의 두 시기로 나뉘어지게 된다.

#### (나) 메인화면

메인화면은 ‘표준시비량 계산’, ‘토양검정에 의한 시비량 계산’, ‘질소수비사용량 계산’의 각 화면을 연결하는 기본화면으로 해당아이콘을 클릭하면 각 화면으로 이동하게 되고 각각의 화면은 하이퍼링크 되어 있어 각각의 화면에서 작업후에 ‘닫기’를 선택하면 메인화면으로 다시 돌아오게 된다. 즉 메인화면은 각 화면을 연결하는 중심 연결화면인 것이다. 최종적으로 프로그램 실행을 종료하고자 할 때는 종료아이콘을 클릭하면 프로그램이 닫히게 된다(그림 4).



그림 4. 벼 질소시비처방 프로그램의 메인화면

**(다) 표준소비량 계산 화면**

표준소비량 계산화면은 「작물별 시비처방기준」(이기상 등, 2006)을 기본으로 하여 작성하였다. 그림 5의 프로그램 모델 개요에서 보듯이 재배면적과 개별농가의 재배정보를 입력하게 되면 질소, 인산, 칼리의 사용량을 단비와 복비로 나누어 각각 계산하여 그 결과를 화면으로 표시하고 이를 프린트할 수도 있다.

재배면적과 재배정보는 표 4, 5와 같다.

재배면적은 직접 사용자가 숫자로 입력하고 이의 단위를 m<sup>2</sup>로 표시할 수 있다. 재배방법은 이양재배와 직파재배로 나누어지고, 이양재배는 재배지역을 평야지 및 중간지, 중산간지 및 냉조풍지, 산간고랭지, 간척지로 나누어 구분한다.

요소별 비료는 질소질비료, 인산질비료, 칼리질비료로 구분하는데 비료종류로는

질소질비료 : 요소, 유안, 질산암모늄

인산질비료 : 용성인비, 용과린, 과린산석회, 중과린산석회

칼리질비료 : 염화가리, 분상황산가리, 입상황산가리

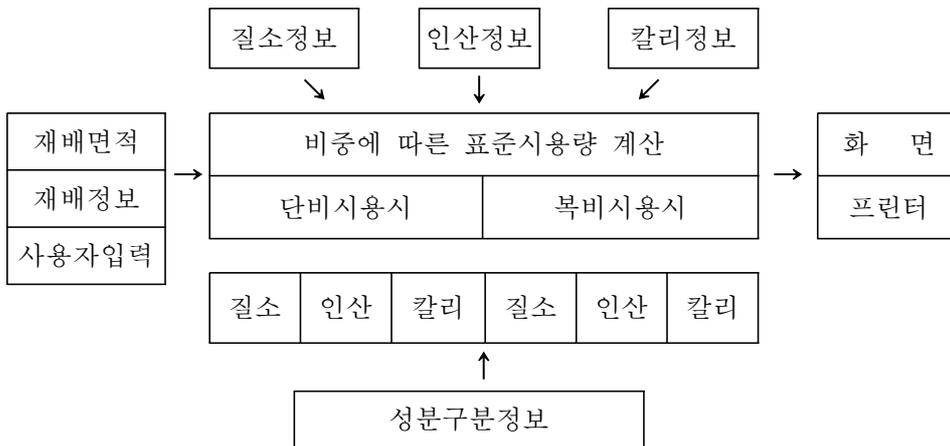


그림 5. 표준소비량 계산의 프로그램 모델 개요

성분비율은

질소질비료 : 46, 21, 35      인산질비료 : 17~23, 17·20, 16.5·20, 40

칼리질비료 : 60, 50, 45

성분량은 질소질비료 : 0.46, 0.21, 0.33      인산질비료 : 0.20, 0.20, 0.16, 0.40

칼리질비료 : 0.60, 0.50, 0.45이었다.

로 표시하였다.

단비를 사용할 경우에는 사용할 단비종류를 성분별로 선택하면, 입력한 재배면적에 맞게 단비의 실제 사용량이 비료량으로 각각 계산되어 출력되고, 복비를 사용할 경우에는 사용할 복비의 비료성분 함량(%)을 각각 입력하면 밑거름을 기준으로 필요한 비료성분중 최소 비료성분을 충족시키는 복비량이 계산되어 나타난다.

그림 6은 표준시비량 계산 결과를 표시할 수 있는 기본화면으로 필요한 데이터를 얻은 후에 프린터를 하고 나서 '단기'아이콘을 클릭하면 표준시비량 계산 화면에서 메인화면으로 이동하게 된다.

표준시비량 계산							
재배면적	300	실행	단위	평	화면인쇄	단기	
재배방법	이랑재배	재배지역	평야중간	토양유형	보통미속	이앙시기	적기이앙
비중에 따른 시비추천량							
비료종류	질소	분시비율(%)	인산	분시비율(%)	칼리	분시비율(%)	
합 계	9.0	100	4.5	100	5.7	100	
밑 거 림	4.5	50	4.5	100	4	70	
웃 거 림	새끼칠거름	1.8	20		0	0	
	이 삭 거 림	2.7	30		1.7	30	
비중에 따른 표준시비량 계산 결과							
비료종류	단비사용(kg)			복비사용(kg)			
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	
비료성분	요소	용성인비	영화가리	21	17	17	
밑 거 림	9.8	22.5	6.7	21.4	26.5	23.5	
웃 거 림	새끼칠거름	3.9		8.6		0.0	
	이 삭 거 림	5.9		12.9		10.0	
유의점							

그림 6. 표준시비량 계산 화면

표 4. 이앙재배에 있어서의 벼의 표준시비량

(성분량, kg/10a)

비종	구분			합계	기비	추비		
						분얼비	수비	
질소	평야지 및 중간지	보통답	적기이앙	9.0	5.0(56)	2.0(22)	2.0(22)	
			만기이앙	8.0	5.6(70)	-	2.4(30)	
		사질답 습답 미숙답	9.0 8.5 10.0	5.65(56)	2.2(22)	2.2(22)		
	중산간지 및 냉조풍지 산간고랭지				9.0	5.4(60)	1.8(20)	1.8(22)
					9.0	7.2(80)	1.8(20)	-
	염해답			11.0	기비3.3, 분얼비2회 2.2, 2.2, 수비2회 2.2, 1.1			
인산칼리	평야지 및 중간지	보통답, 사질답		3.0	3.0(100)	-	-	
		습답		4.1	5.1(100)	-	-	
		미숙답		5.4	5.4(100)	-	-	
	중산간지 및 냉조풍지 산간고랭지			6.4 7.7	6.4(100) 7.7(100)	- -	- -	
염해답			5.1	5.1(100)	-	-		
칼리	평야지 및 중간지	보통답, 사질답		3.0	2.1(70)	-	0.9(30)	
		습답		7.1	5.0(70)	-	2.1(30)	
		미숙답		6.8	4.8(70)	-	2.0(30)	
	중산간지 및 냉조풍지 산간고랭지				7.8 9.3	5.5(70) 6.5(70)	- -	2.3(30) 2.8(30)
		염해답			5.7	2.3(40)	1.7(30)	1.7(30)

※ ( )내는 분시비율(%)임

표 5. 직파재배에 있어서의 벼의 질소시비량

(성분량, kg/10a)

구분	논 유형	질소	인산	칼리	질소분시방법
건답 줄뿌림	보통논·미숙논	15~18	4.5	5.7	○ 밀거름-3엽기-5~7엽기-수비 : 10-30-30-30% 또는 0-40-30-30%
	사질논	17~20	4.5	5.7	
무논 골뿌림	보통논·미숙논	11~13	4.5	5.7	○ 밀거름-3엽기-5엽기-수비 : 40-0-30-30% 또는 0-40-30-30%
	사질논	13~15	4.5	5.7	

※ 인산 및 칼리 분시는 이앙재배시와 동일함

### (라) 토양검정에 의한 시비추천량 계산 화면

환경을 보호하면서 작물생육에 필요한 적정량의 시비량을 정하기 위하여 실시하는 토양검정에 의한 시비추천량을 토대로 만든 토양검정에 의한 시비추천량 계산 화면은 「작물별 시비처방기준」(이기상 등, 2006)을 기본으로 하여 작성하였다.

그림 7의 프로그램 모델 개요에서 보듯이 재배면적과 개별농가의 재배정보를 입력하고, 토양분석한 성분값을 입력하게 되면 질소, 인산, 칼리의 시용량을 단비와 복비로 나누어 각각 계산하여 그 결과를 화면으로 표시하고 이를 프린트할 수도 있다.

분석성분의 값은 pH, OM(유기물), 유효인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘, CEC(치환성염기) 및 EC(전기전도도), 규소 등이 있다. 이들 중 질소는 유기물과 질소함량에 의하여 계산하고, 인산과 칼리는 토양 측정치를 기본으로 계산하게 된다. 성분함량별 적정범위를 표시해 두었는데, 만일 적정범위 이상의 분석 결과가 나오면 시용을 생략해야 함을 의미한다.

·  
질소는 토양의 유기물(OM) 및 규산(SiO<sub>2</sub>)함량에 의하여 산출하게 되는데 이의 계산식은

$$\text{일반논} : N(\text{kg}/10\text{a}) = 9.14 - 0.109 \cdot \text{OM} + 0.020 \cdot \text{SiO}_2$$

(단 최고시비량은 15, 13, 11kg/10a)

$$\text{염해논} : N(\text{kg}/10\text{a}) = 9.05 - 0.108 \cdot \text{OM} + 0.020 \cdot \text{SiO}_2$$

(단 최고시비량은 18kg/10a)

이었고,

인산은 토양인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 100mg/kg 조절량을 기준으로 한 것으로 그 계산식은

$$P_2O_5(\text{kg}/10\text{a}) = (100 - \text{토양}P_2O_5) \times 0.1$$

(단 최저시비량은 3kg/10a)

이며,

칼리는 토양칼리(K) 포화도 3% 조절량을 기준으로 한 계산으로

$$K_2O(\text{kg}/10\text{a}) = (0.03 \times \text{토양}CEC - \text{토양}K) \times 47.1$$

(단 최저시비량은 3kg/10a)

과 같다. 또한 CEC를 모를 때는 우리나라 평균치인 10.0을 적용하면 된다.

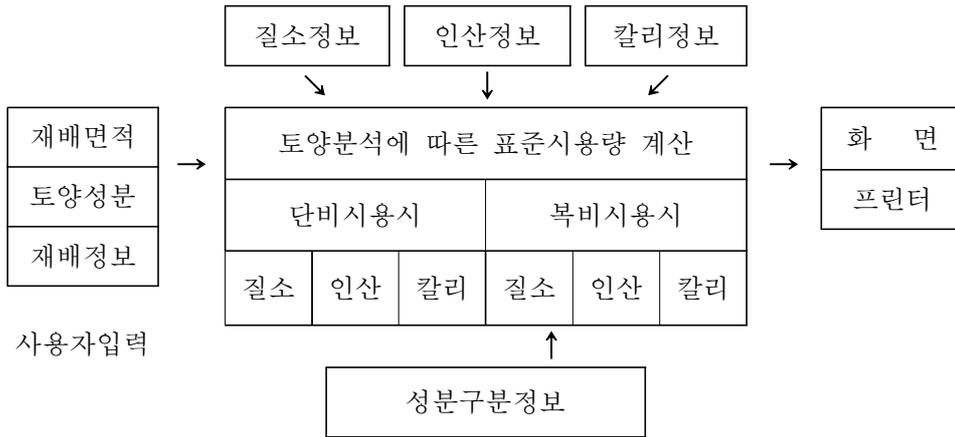


그림 7. 토양검정에 의한 시비추천량 계산의 프로그램 모델 개요

토양검정에 의한 시비량 계산									
재배면적	300		실행	단위	평	화면인쇄	닫기		
재배방법	미일재배	재배지역	평야중간	토양유형	보통미속	이양시기			
분석성분	pH (1:5)	OM (%)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	(cmol <sup>+</sup> /kg)	(cmol <sup>+</sup> /kg)	(cmol <sup>+</sup> /kg)	(cmol <sup>+</sup> /kg)	EC (ds/m)	Av.SiO <sub>2</sub> (mg/kg)
성분함량	5.6	2.5	128.0	0.23	4.0	1.2	10.0	1.0	72.0
적정범위	6.0~6.5	2.3~3.0	80~120	0.25~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0	10~15	-	130~180
비중에 따른 시비추천량									
비료종류	질소	분시비율(%)	인산	분시비율(%)	칼리	분시비율(%)			
합계	9.0	100	5.1	100	3.3	100			
밀거름	4.5	50	5.1	100	2.3	70			
웃거름	새끼칠거름	1.8	20		0.0	0			
	이삭거름	2.7	30		1.0	30			
비중에 따른 시비추천량 계산 결과									
비료종류	단비사용(kg)			복비사용(kg)					
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리			
비료성분	요소	용성인비	영화가리	21	17	17			
밀거름	11.9	54.8	12.8	26.1	64.4	45.1			
웃거름	새끼칠거름	4.8		0.0	10.4	0.0			
	이삭거름	7.1		5.5	15.7	19.3			

그림 8. 토양검정에 의한 시비추천량 계산 화면

### (마) 질소수비사용량 계산 화면

기비나 분얼비의 시비시기의 결정에 있어서는 어려움이 없지만, 수비의 경우 벼의 발육이 기상환경이나 이앙 및 직파파종 일자의 변화에 따라 달라지기에 경험이나 고정된 날자 등으로는 정확한 시비시기의 결정에 어려움이 있다. 또한 시비량의 결정에 있어서도 목표수량이 높을수록 시비량도 상대적으로 증가되어야 하겠지만 토양조건, 기상조건 및 재배방법 등 요인들의 복합적인 작용을 고려한 조건에서 결정되어야 한다.

이러한 데 기초하여 본 시스템에서는 질소함량, 엽록소 함량, SPAD치 등의 항목에 의하여 목표수량이나 목표수익을 위한 최적의 수비 사용량을 결정하는 것에 그 개발의 목적이 있다 하겠다.

그림 9의 질소 수비사용량 계산의 프로그램 모델 개요와 같이 입력요인으로는 재배면적과 재배정보 및 벼 영화분화기의 식물체의 정보를 입력하면 이삭형성을 위한 수비사용량이 질소질 비료와 칼리질 비료로 각각 단비와 복비의 사용량이 계산되어 출력된다.

벼 질소수비 사용량을 계산하기 위한 입력내용으로는 질소함량, 엽록소 함량, SPAD치가 있는데, 이러한 요인을 통한 수비사용량 계산식은 세부과제명 ‘질소시비량 및 재식밀도에 따른 수비사용량별 수량반응’에 의하여 생성된 계산식에 의하여 수행하였다.

보통기 보비 이앙재배시 영화분화기 엽 질소농도와 시비질소량과의 관계에 의하여 생성된 수비사용량 추정회귀식은 다음과 같다.

$$Y=0.1491X^2 - 2.7493X + 7.7838(R^2 = 0.977)$$

또한 엽의 엽록소 함량과 수비사용량과의 관계에 의하여 생성된 영화분화기 엽의 엽록소 함량에 의한 수비사용량 추정회귀식은

$$Y = - 0.0003X^2 + 0.0443X + 15.1 (R^2 = 0.9593) \text{ 이다.}$$

현재 포장에서 주로 사용하는 소형 엽록소 측정기인 SPAD-502는 광학농도차측정방식으로 농작물 엽내 엽록소 함량을 SPAD(Soil and Plant Analyzer Development)라는 객관적 수치로 표시해 준다. 그러나 이 수치는 엽록소 함량의 정량적인 수치가 아니므로 SPAD값과 국내에서 재배되고 있는 벼 품종별 실제 엽록소 함량과의 상관관계를 구명하여야 할 필요가 있다.

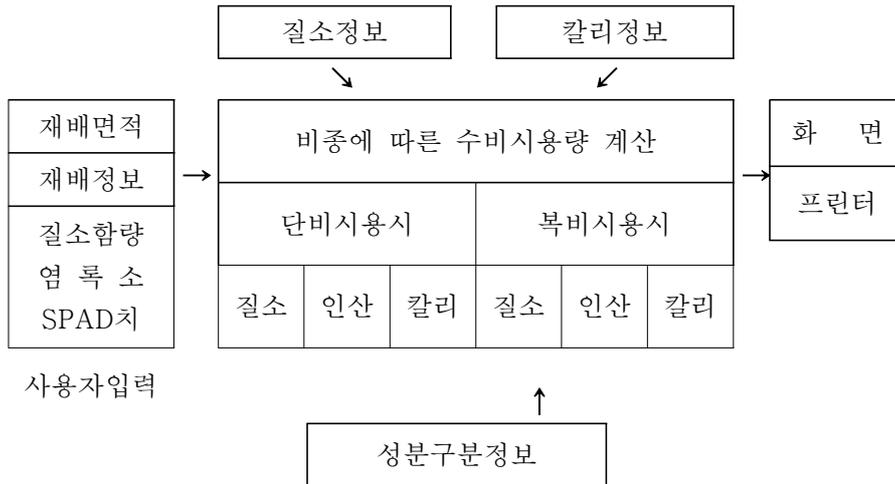


그림 9. 질소 수비사용량 계산의 프로그램 모델 개요

질소수비사용량					
재배면적	300	실행	단위	평	화면인쇄
재배방법	미양재배	재배지역	평야중간	토양유형	보통미숙
		이양시기	적기미양		
<input checked="" type="radio"/> 질소함량(%) <input type="radio"/> 염록소(%) <input type="radio"/> SPAD치		2.0			
비중에 따른 시비추천량					
비료종류	질소	문시비율(%)	칼리	문시비율(%)	
합 계	9.0	100	5.7	100	
밀 거름	4.5	50	4	70	
웃거름	새끼칠거름	1.8	20	0	0
	이삭거름	2.7	30	1.7	30
비중에 따른 표준시용량 계산 결과					
비료종류	단비사용(kg)		복비사용시(kg)		
	질소	칼리	질소	칼리	
비료성분	요소	영화가리	21	17	
수비(이삭거름)	13.5	2.8	29.5	10.0	
수비사용량	30% 증		30% 증		
유의점					

그림 10. 질소 수비사용량 계산 화면

SPAD측정값은 실제 엽록소함량이 아니므로 성 등(1999)에 의해 보고된 아래 수식을 이용하여 실제 엽록소 함량으로 바꾸어 표시하면

$$\begin{aligned} \text{엽록소량(Total chlorophyll content)} &= 18.893 \times \text{SPAD치} - 337.24(R^2 \\ &= 0.834) \text{ 이 된다.} \end{aligned}$$

이와 같이 질소함량, 엽록소 함량, SPAD치 값에 의하여 계산된 질소 수비사용량은 그림 10과 같이 그 범위에 따라서 30% 증량, 표준량, 50% 감량, 수비 생략 등으로 표시되고, 칼리질 비료의 사용량은 표준시비량에 근거하여 계산된 값이 표시된다.

추후 자료를 더 추가함으로써 질소수비 추정회귀식의 정확도가 높아진다면 프로그램 모델에 의한 최소 시비에 따른 최고 수량예측의 정확도를 어느 정도 높일 수 있게 되고, 따라서 시비처방의 현실성도 그 만큼 더 높아질 것으로 예상된다.

## ○ 결과요약

벼의 영양진단에 따른 정확한 질소시비 프로그램 개발로 시비효율을 향상시키고, 그 결과 질소사용량 절감으로 친환경보전 농업수행에 기여할 수 있도록 벼 식물체의 질소함량을 기준으로 한 적정 수비사용량 결정을 위한 프로그램을 개발한 결과는 다음과 같다.

벼 질소시비진단 프로그램은 Visual basic 6.0을 이용하여 Windows 95이상의 환경에서 구동이 가능하도록 하였다. 프로그램의 구성화면은 메인화면, 표준시비량 계산 화면, 토양검정에 의한 시비량 계산 화면, 질소수비사용량 계산 화면 등으로 각 화면들은 하이퍼링크 되어있어 화면이동이 용이하도록 하였다. 질소수비사용량 계산 화면은 재배유형과 재배면적을 입력하고 NIR분석 또는 킨달법에 의한 질소함량, 엽록소 함량, SPAD치 등을 입력하면 자동으로 수비사용량이 단비와 복비로 계산되도록 하였다. 표준시비량과 토양검정에 의한 시비량 계산 화면은 「작물별 시비처방기준(이기상 등, 1999)을 참조하여 재배면적당 소요되는 시비량을 자동으로 계산할 수 있도록 하였다.

## 3) 개발 기기 이용 질소시비 처방 실증시험

일반적으로 벼의 수량은 영양생장기간의 발육 및 질소 영양정도와 유수분화기의 시비량에 의해 결정되는데, 이는 영양생장에서 생식생장으로 상 전환이 이뤄지는 유수분화기 수비사용에 따른 질소 영양상태의 변화에 의해 sink size 가 결정되기 때문이다.(Schnier et al., 1990; Guindo et al., 1994). 생식생장이 시작되는 유수분화기는 질소요구도가 가장 큰 시기으로써, 이 시기의 질소부족은 결국 생장량 감소뿐만 아니라 퇴화영후수 증가로 인하여 potential sink size를 저하시키고, 엽의 노화를 촉진시

키며 이는 다시 등숙기 광합성능력의 감소로 이어져 결국 등숙률과 천립중을 저하시켜 수량을 크게 감소시킨다 (Hinzman et al., 1986, Diker and Bausch, 2003). 또한 근락하부에 있는 엽신이나 엽초내에 있는 질소의 재분배를 가져와 무효분얼의 퇴화뿐만 아니라 유효분얼의 무효분얼화를 일으킨다. 반면 질소과다시비는 영양생장기간을 늘리고, 성숙을 늦춤으로써 도복의 위험성을 증가시킬 뿐만 아니라, 줄기의 신장을 촉진시켜 줄기를 연약하게 만들고 도열병 및 벼멸구 등에 의한 병충해의 피해를 가져올 수 있다 (Mills and Jones, 1979; Diker and Bausch, 2003). 그러나 일반적으로 유수분화기로부터 출수기 사이에는 벼의 생육량에 비해 지력질소의 공급이 충분하지 못한 경우가 많으며(Schnier et al., 1990), 유수분화기의 질소과다 시비로 인해 질소흡수량이 어느 정도로 많아진다 하더라도 극단적으로 영화수가 증가하거나 수광태세가 악화되는 경우는 거의 없다고 한다(조 등, 1995).

쌀 품질 및 밥맛에 영향을 미치는 요인은 품종, 기상, 토양, 재배, 수확시기, 건조, 도정, 저장 및 취반조건 등 여러 가지가 있는데, 재배관리에서는 질소사용량과 추비시기, 물대는 방법과 등숙기의 물때는 시기, 수확시기 등이 식미에 주된 영향을 미치는 요인이다. 특히 질소사용량이 많게 되면 쌀의 심복백미율 증가에 따른 외관품위의 저하와 더불어 외층 부위에 단백질 함량이 많이 축적되어 취반 시 전분 입자내의 특수성이나 호화·팽창에 나쁜 영향을 미쳐, 밥의 질감이 약간 딱딱하게 느껴지고, 찰기와 탄력이 떨어지는 경향을 나타낸다. 높은 시비수준은 과거 식량증산정책의 유산으로서 수량 극대화를 위한 높은 시비 추천량에 영향을 받은 바 크다. 그러나 경제적인 적정시비 수준을 초과하는 시비량은 농민의 소득을 저하시킬 뿐만 아니라 환경오염을 가중시키는 요인이 된다. 이양재배 조건에서 투입된 화학비료는 기비 22~27%, 분얼비 36%, 유수형성기와 2차지경분화기 50% 감수분열기 44~46%, 출수기 25~36%의 질소회수율을 갖는다고 하며, 이러한 회수율은 대체로 질소시비량이 증가할수록 더욱 감소하게 된다. 결국 회수 하지 못한 부분은 토양에 잔류하던가 용탈 또는 탈질의 형태로 유실되어 경제적인 손실뿐만 아니라 하천, 지하수 등을 오염시키는 원인이 되고 있다. 질소의 이용효율을 높이기 위해서는 먼저 각 시기별 최적 질소영양상태를 알아야 하며, 다른 한편으로는 그것을 진단 또는 추정할 수 있어야 한다.

따라서 환경보전적 농업을 발전시키기 위해서는 최적 시비량을 계산하여 적정량만을 사용할 수 있도록 하는 방법을 만들어야만 한다. 농업인이 재배하고 있는 벼의 적정 시비량을 알려면 시비량 관련 자료를 일일이 찾아보아야 하며, 찾은 시비량도 비료성분량으로 표기되어 있어 사용할 비료의 종류에 따라 실제 사용할 비료량으로 환산해야 하는 어려움이 있다. 그리고 10a 기준으로 환산된 비료량은 재배하고 있는 면적에 따라 실제로 사용할 비료량으로 계산해야 하는 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 그리하여 농업인이 표준시비량을 잘 알지도 못하고 과거의 경험이나 인근농가의 시비량에 맞추어 시비하고 있는 실정이다.

최근 고품질 안전농산물에 대한 소비자 요구도가 높아가고 있다. 이에 대비하여 벼의 영양진단에 따른 정확한 질소시비 프로그램 개발을 수행하여 시비효율을 향상시키고, 그 결과 질소시비량 절감으로 친환경보전 농업수행이 가능할 수 있도록 기여하게 될 것으로 기대된다. 또한 벼농사 재배 시 단위면적, 재배양식 및 토양특성에 따른 시비량 계산을 용이하게 수행하여 정밀농업을 위한 토대를 마련

련하게 될 것으로 예상된다. 그리하여 벼 식물체의 질소함량을 기준으로 한 적정 수비사용량 결정을 위한 프로그램을 개발하고 프로그램을 이용하여 시비할 필요성이 증대되는 시점이다. 우리나라 농가의 시비 형태에 대한 문제점은 화학비료 의존도가 높고 권장 시비량에 비하여 많은 양을 사용하고 있다는 것과 전통적인 시비 관행을 버리지 못하는 것으로, 경험에 의해 시비량을 결정하는 농민의 비율이 57.4%이고 과거의 시비량을 계속해서 지키는 농민이 20.2%, 지도기관의 추천 시비량에 따라 시비하는 농민의 비율이 12.5%, 환경영향을 고려하여 시비하는 농민은 2.6%에 불과하다고 하여 과거의 다수확 위주 시비기준을 아직도 시행하고 있는 것으로 알려져 있다. 벼농사에 있어서 질소질비료 사용에 의한 환경오염 부담을 비용으로 예측한 결과 10a 당 1kg의 질소질비료를 추가 사용함으로써 4,835원의 사회적 비용이 발생하는 것으로 추정되었다. 본 연구는 작물체의 영양진단 정보를 빠르고 쉬운 방법으로 얻고자 생체잎의 질소농도를 영농 현장에서 분석하고, 벼의 고품질 최대안정 생산을 위해 작성된 처방 프로그램을 이용하여 수비를 사용하며, 시비효율을 향상시키고자 시험을 수행하였다.

정확한 질소수비처방을 하기 위해서는 유수분화기 생육 및 질소 상태 등 생체정보에 따른 수량의 질소수비 반응 변화 양상을 파악하고 있어야 한다(Ntamatungiro et al., 1999; Hansen et al., 2002). 수비 사용 전 유수형성기의 엽질소농도는 기비와 분얼비의 시비를 10a당 5kg 수준으로 사용시 2.28%였으며, 13kg에서는 3.12%를 나타냈다. 이러한 결과로 프로그램 처방의 수비사용량은 2.28%에서는 3.63kg, 2.56%에서는 2.76kg, 2.77%에서는 2.39kg, 3.12%에서는 1.56kg이 사용되었다. 관행수비에서는 각 시비량에 대해서 30%에 해당되는 수비사용량을 살포하였다(표 1). 질소시비량이 증가할수록 엽질소 농도도 증가하여 프로그램 진단방법에서는 수비사용량이 감소하는 경향으로 처방하였으나, 표준재배방법에서는 증가하는 방향으로 나타내 상반된 결과를 초래했다.

질소의 사용은 엽면적을 확대시키고 초기의 전엽수를 증가시켜 엽면적의 확대에 의한 종실비대에 필요한 탄수화물을 충분히 공급함으로써 수량을 증가시킨다. 따라서 질소가 부족하면 도체생장도 약하고, 개화가 되더라도 결실률이 낮으며, 종실의 발육이 불량하여 수량도 적고 품질도 좋지 못하다. 반면에 질소를 과다 사용하면 줄기와 잎의 생장에만 동화양분이 대부분 소비되어 도체가 도장되고 등숙이 불량하게 된다.

질소는 식물의 모든 부분에서 다량으로 함유되는 성분으로서 주요한 많은 유기화합물을 구성하는 가장 필수적인 원소중의 하나이다. 식물이 필요로 하는 질소의 대부분은 생육초기에 주로 토양에서 흡수되어 분열조직에 저장된다. 질소는 단백질의 기본적인 구성요소이며, 핵산, 성장조절물질, 비타민 등과 같이 필수화합물의 구성요소이기도 하다. 식물체 내에 있어서의 질소의 생리적인 역할은 범위가 극히 넓으며 생리현상과 밀접한 관계를 가지고 있다. 또한 유전정보 저장, 효소활성, 구성형성, 등 생명현상에 없어서는 안 될 주요성분이다.

엽신의 질소함량은 질소시비량이 증가될수록 증가되었으나, 생육시기가 경과될수록 감소하는 경향이었고, 유수형성기 이후의 엽질소농도는 관행수비 방법에서 질소시비량이 많을수록 엽질소농도도 높았으나, 프로그램 수비방법은 질소시비량간 차이가 적었다(표 2 - 6). 벼에 있어 흡수 이동되는 질소의 양은 sink 크기와 엽면적 감소율(source의 감소율)과 각각 정의 상관이 있어 앞으로부터 이삭으로 이

동되는 질소의 양에 따라 엽면적이 감소되는 양이 달라지고, 연계하여 광합성률도 변화한다 (Wada et al., 1986; Wada & Wada, 1991).

표 1. 유수형성기의 질소시비량별 엽질소 농도와 질소수비사용량

질소시비량 (kg/10a)	0	5	9	11	13	수비방법
질소농도 (%)	2.25	2.28	2.56	2.77	3.12	-
수비사용량 (kg/10a)	0	1.52	2.71	3.31	3.91	관행수비
	4.00	3.63	2.76	2.39	1.56	프로그램

표 2. 최고분얼기의 질소시비량에 따른 생육 상황

수비구분	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
관행	0	69.0	22.1	2.957
	5	66.3	24.1	3.149
	9	65.7	27.7	3.245
	11	59.9	27.8	3.465
	13	59.7	28.5	3.567
프로그램	0	54.0	20.1	2.899
	5	59.7	24.1	2.930
	9	64.9	25.0	3.214
	11	67.0	27.3	3.424
	13	67.3	28.8	3.768

표 3. 유수 형성기의 질소시비량에 따른 생육 상황

수비구분	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
관행	0	68.3	21.0	2.307
	5	69.9	22.0	2.499
	9	76.2	23.7	2.595
	11	76.5	24.7	2.915
	13	78.3	24.8	2.917
프로그램	0	66.0	17.6	2.249
	5	69.7	21.9	2.280
	9	75.5	22.6	2.564
	11	78.2	23.6	2.774
	13	78.5	24.7	3.118

표 4. 출수전의 시비방법과 질소시비량별 생육상황

수비구분	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
관행	0	84.2	16.3	2.287
	5	90.1	17.5	3.124
	9	94.5	20.2	3.248
	11	95.0	20.4	3.432
	13	99.5	21.2	3.546
프로그램	0	85.0	14.4	2.526
	5	90.2	18.3	3.463
	9	94.6	19.7	3.491
	11	97.1	19.9	3.652
	13	97.6	21.5	3.753

표 5. 출수기의 시비방법과 질소시비량별 생육상황

수비구분	질소시비량 (kg/10a)	초장 (cm)	경수 (개/주)	질소농도 (%)
관행	0	102.2	16.7	2.06
	5	108.6	16.8	2.88
	9	112.6	19.9	2.95
	11	113.9	20.2	3.25
	13	117.9	20.3	3.38
프로그램	0	103.4	14.2	2.33
	5	109.0	18.3	3.00
	9	113.0	19.2	3.10
	11	115.9	19.8	3.20
	13	117.4	21.9	3.27

표 6. 생육시기에 따른 시비방법과 질소시비량별 잎질소농도

수비구분	질소시비량 (kg/10a)	최고분얼기	유수형성기	출수전	출수기
관행	0	2.96	2.31	2.29	2.06
	5	3.15	2.50	3.12	2.88
	9	3.25	2.61	3.25	2.95
	11	3.47	2.91	3.43	3.25
	13	3.57	2.92	3.55	3.38
프로그램	0	2.81	2.25	2.53	2.33
	5	2.90	2.28	3.46	3.01
	9	3.21	2.56	3.49	3.16
	11	3.42	2.78	3.55	3.20
	13	3.77	3.12	3.65	3.27

벼의 수량에 관련된 형질들은 환경에 의해 영향을 크게 받는다. 질소시비량에 의해서도 수량 및 수량구성요소에 영향을 미치는데, 수량구성요소에서 수수는 질소시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향으로 5kg에서 주당 16.9개로 가장 적었으며 13kg에서 20.2개로 많았다. 입수는 질소시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향으로 5kg에서 수당 76.3개로 많았고 13kg에서 91.4개로 많았다. 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에서는 관행에 비해 수당립수 증가의 차이가 적었다. 등숙율은 질소시비량이 증가할수록 감소하였다. 친립중은 20.2 ~21.7 그램으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 쌀수량은 질소시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향이었으나 질소시비량 9~11kg/10a 이상에서는 감소하였다. 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에서는 질소시비량간에 차이가 적었다. 질소시비량이 증가할수록 포장도복도 증가하였으나, 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에 있어서는 관행에 비해 도복발생이 적었다.

출수기 식물체내 질소함량과 단백질 함량 간에는 매우 밀접한 관련이 있다. 출수기 이삭수를 흡수 질소량으로 나눈 흡수 질소량당 이삭수와 단백질 함량간, 그리고 1립중과 단백질 함량간에는 부의 상관관계가 있으며(Matsue et al., 1994; Mastuda et al., 1997), 1수 이삭수 및 영화 1립내의 질소함량과 단백질함량 간에는 정의 상관관계가 존재한다(Matsue et al., 1994; Matsuda et al., 2000), 단백질 함량은 한 이삭내의 위치에 따라서도 6~8%의 변이를 보여 상위에 있는 1차지경에서의 단백질 함량은 하위의 2차지경에 비해 낮다(Matsue et al., 1994).

식미치는 윤기가 많을수록 밥맛이 좋다는 원리에 근거하여 밥의 윤기를 측정 할 수 있는 장치가 개발되어 이를 이용하여 조사한 결과이다. 식미치는 질소시비량에 증가함에 따라 감소하였고, 질소수비 시용방법에서는 프로그램 이용한 시용 방법에서 높았다. 이러한 결과도 프로그램을 이용한 시용방법에서 과비상태에서는 감비, 소비상태에서는 증비를 처방하여 미질을 향상시켰다고 생각한다.

표 7. 질소수비시비방법과 질소시비량별 생육형질

수비구분	질소시비량 (kg/10a)	간장 (cm)	수장 (cm)	수수 (개/주)	립수 (개/수)	포장도복 (0~9)
관행	0	75.6	19.3	15.6	72.5	0
	5	79.1	19.8	16.9	76.3	0
	9	81.1	19.9	19.3	81.6	3
	11	82.4	20.0	19.8	87.5	5
	13	84.9	20.4	20.2	91.4	5
프로그램	0	75.3	19.2	13.7	73.1	0
	5	79.3	19.8	18.0	78.5	0
	9	81.7	19.9	18.1	86.5	1
	11	82.8	20.0	19.3	83.5	3
	13	83.9	20.9	19.7	87.6	5

표 8. 질소수비시비방법과 질소시비량별 수량 및 수량구성요소

수비구분	질소시비량 (kg/10a)	영화수 (개/m <sup>2</sup> )	등숙비율 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)	토요식미값 (점)
관행	0	26,918	84.5	21.7	406	72.7
	5	30,678	73.1	21.6	457	68.3
	9	37,485	66.3	21.3	504	67.0
	11	41,245	65.6	20.5	463	64.7
	13	43,935	65.6	20.2	422	61.4
프로그램	0	23,824	85.3	21.6	444	72.7
	5	33,629	79.6	21.1	462	70.9
	9	37,271	76.3	20.9	481	70.7
	11	38,366	73.9	20.7	524	68.1
	13	41,055	70.5	20.6	432	66.9

○ **결과요약**

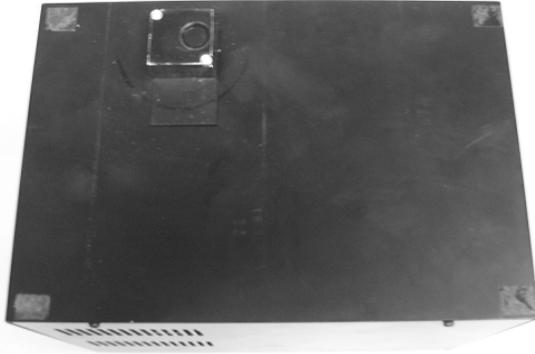
표준시비량에 따른 관행수비 방법은 질소시비량이 많을수록 질소수비량도 많았으나, 프로그램에 의한 질소수비방법은 식물체의 질소농도가 낮을수록 질소 수비량이 많았다. 최고분얼기와 유수형성기의 생육 상황은 질소시비방법간에 차이가 없었다. 유수형성기 이후의 엽질소농도는 관행수비 방법에서 질소시비량이 많을수록 엽질소 농도도 높았으나, 프로그램 질소수비방법은 질소시비량 간 차이가 적었다. 질소시비량이 증가할수록 수당립수도 증가하였으나, 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에서는 관행에 비해 수당립수 증가의 차이가 적었다. 질소시비량이 증가할수록 포장도복도 증가하였으나, 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에 있어서는 관행에 비해 도복발생이 적었다. 쌀 수량은 질소시비량이 증가함에 따라 쌀수량도 증가하는 경향이었으나, 프로그램에 의한 질소수비 시용방법에서는 질소시비량 간에 차이가 적었다.

**4) 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치의 정확도 및 활용도 증진**

협동연구 3차 년도에서는 2년차에서 시험 제작한 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치를 개선하여 측정 정확도 향상과 장치의 활용도를 넓히는 연구를 수행하였다.

### (1) 장치의 개선

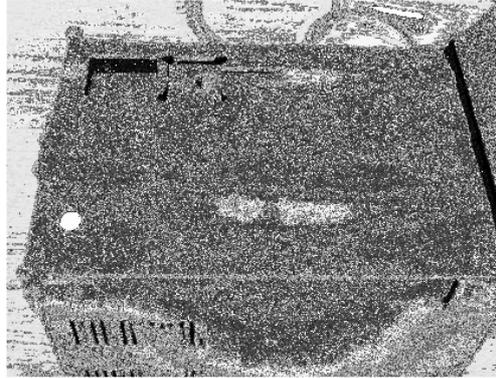
벼 엽신 계측을 위해 시료 챔에 잎을 놓고 차광용 뚜껑을 놓고 스펙트럼을 측정할 경우 측정환경에 따라 외부 광선이 영향을 줄 우려가 예상되어 장치 상단부에 그림1과 같이 보조시트 및 뚜껑을 설계하여 측정 작업이 쉽도록 개선하여 측정정확도 향상을 조사하였다.



A (원래 모습)



B (뚜껑 부착)



C (뚜껑 OPEN)

그림 1. 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치의 개선

(2) 장치 개선에 의한 정확도 향상 실험

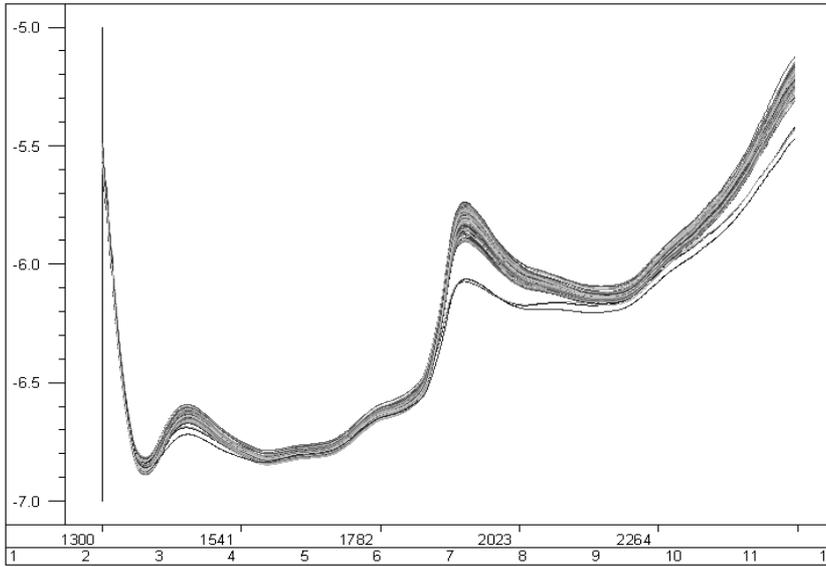


그림 2. 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치를 개선한 후 측정된 스펙트럼

표 1. 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치를 개선한 후 원(raw) 스펙트럼으로 계산한 검량식 결과

PC	Range(%)	R	SEP(%)
1	0.415~2.002	0.2566	0.1256
2		0.2879	0.1238
3		0.4388	0.1181
4		0.7054	0.0920
5		0.7277	0.0894
6		0.6896	0.0943
7		0.7901	0.0793
8		0.7557	0.0846
9		0.8282	0.0730
10		0.8157	0.0753
11		0.8406	0.0712
12		0.8420	0.0701
13		0.8472	0.0694
14		0.8834	0.0620
<b>15</b>		<b>0.8877</b>	<b>0.0604</b>
16		0.8642	0.0656

표1에서 본 것과 같이 PC가 15인 경우 상관이 0.89이고 오차(SEP)가 0.06%로 2차년도 0.08%보다

정확도가 0.02% 향상되었다.

표 2. 벼 엽신 질소 비파괴 측정 장치를 개선한 후 smoothing처리한 스펙트럼으로 계산한 결과

PC	Range(%)	R	SEP(%)
1	0.415~2.002	0.2565	0.1256
2		0.2879	0.1238
3		0.4388	0.1181
4		0.7054	0.092
5		0.7277	0.0894
6		0.6897	0.0944
7		0.7899	0.0793
8		0.7556	0.0847
9		0.8280	0.0731
10		0.8154	0.0754
11		0.8405	0.0712
12		0.8416	0.0702
13		0.8465	0.0695
14		0.8827	0.0621
<b>15</b>		<b>0.8874</b>	<b>0.0605</b>
16		0.8600	0.0656

\* Moving average smoothing (3)

표2에서 나타난바와 같이 smoothing처리함 으로서 상관이 0.89, 오차(SEP)가 0.06%으로 원 스펙트럼으로 분석할 때와 같은 정확도를 나타내었다.

표 3. 스펙트럼을 전처리한 후 계산한 검량식 결과

Data pretreatment	PC	R	SEP(%)
Reflectance	15	0.8877	0.0604
Smoothing	15	0.8874	0.0605
Normalization	9	0.8790	0.0616
1st Deriv.	4	0.7884	0.0795
Smoothing Normalization 1st Deriv.	9	0.7565	0.0853

스펙트럼을 전처리하지 않거나 스프징만 하였을 때 정확도가 높았으며, 장치를 개선한 후 많이 안정화 되었다고 판단되었다.

(3) 벼 엽신 및 논토양 성분 측정을 겸하기 위한 장치 개조

벼 엽신 측정에는 토양 중 이화학적 분석치를 참고로 하여 시비량을 가감 수정할 필요가 있으므로 벼 엽신 용으로 개발된 장치를 수정 개선하여 논 토양시료 측정이 가능하게 하였다(그림3, 4, 5, 6).

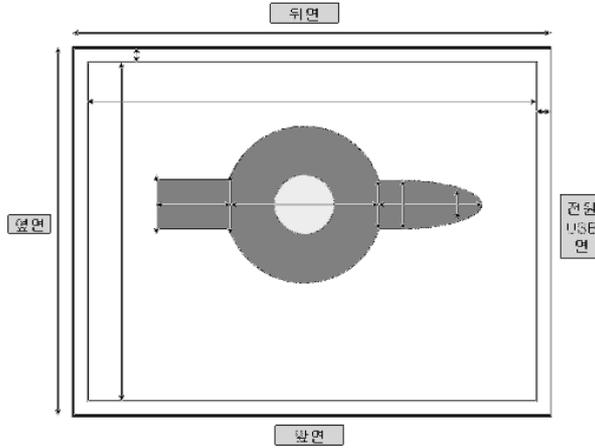


그림 3. 잎 시료 측정부위를 개선한 개략 도면

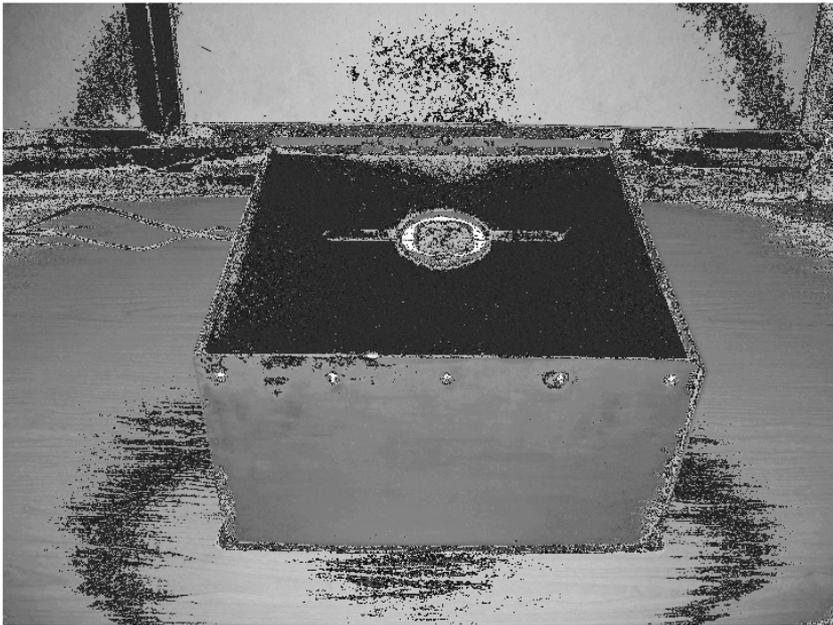


그림 4. 개선 후 벼 엽신 질소 및 토양 검용 비과피 측정 장치 외관

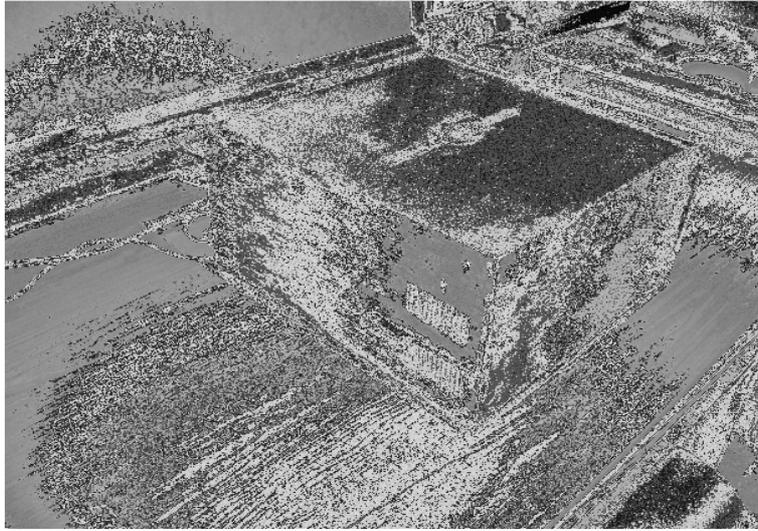


그림 5. 개선 후 벼 엽신 질소 및 토양 겐용 비파괴 측정 장치의 측면

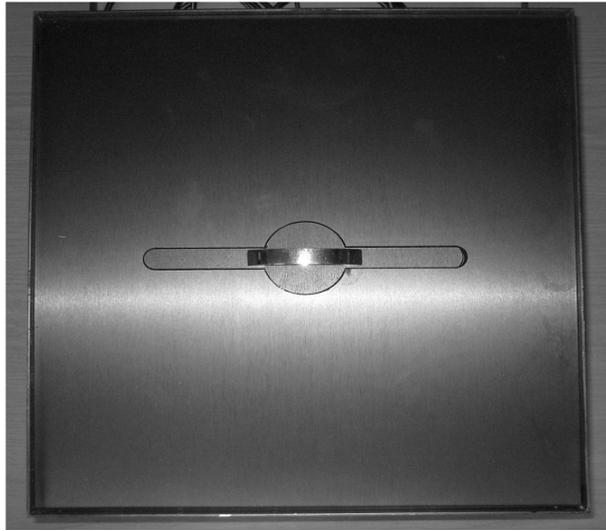


그림 6. 개선 후 벼 엽신 질소 및 토양 겐용 비파괴 측정 장치의 윗면

(측정 뚜껑이 달려있을 때)

(4) 벼 엽신 질소 비파괴 측정에 활용한 결과

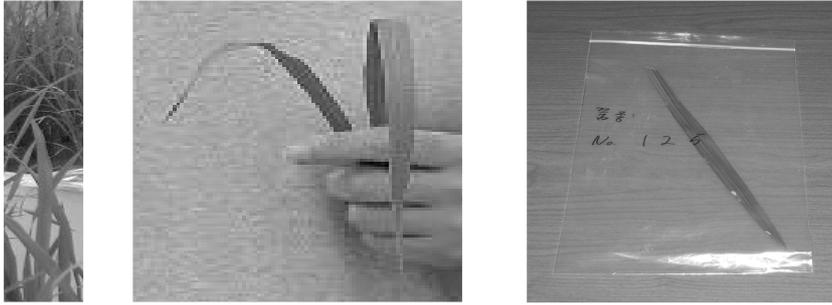


그림 7. 벼 엽신 채취 및 시료 조정

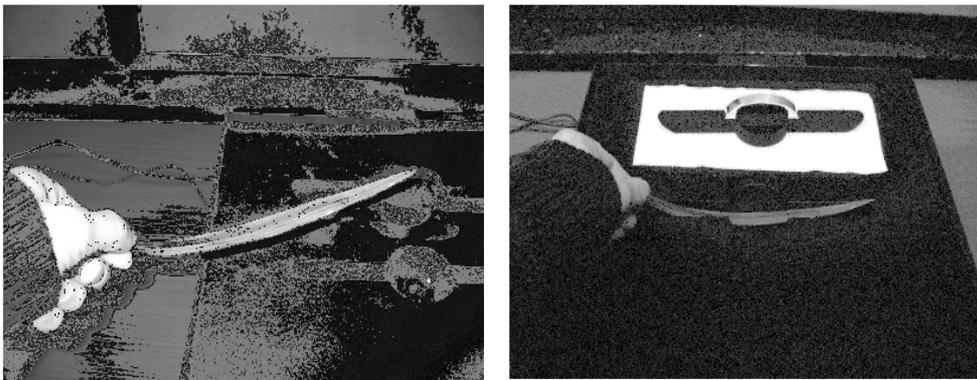
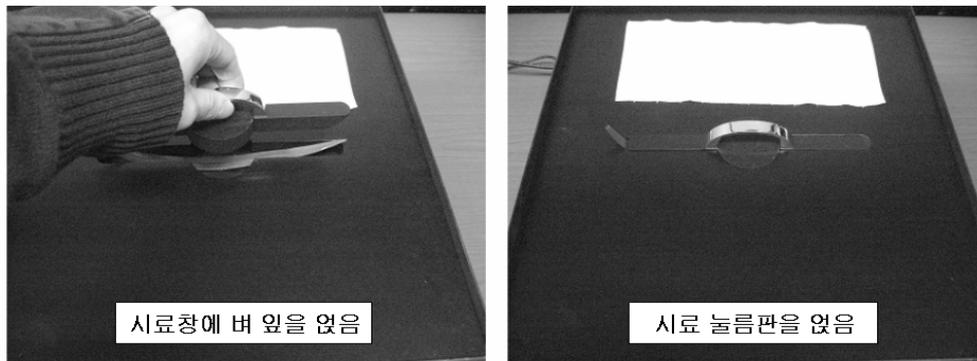


그림 8. 벼 엽신 시료의 비파괴 측정 준비



(놀림 판은 측정시 반사고정판의 역할을 함)

그림 9. 벼 엽신 시료의 비파괴 측정 준비

(5) 토양 이화학성분 비파괴 측정을 위한 시료 측정 및 검량식 작성

논토양 각 성분을 측정하기 위해서는 아래 그림10 및 그림11과 같은 순서로 시료 조작 준비가 필요하다.

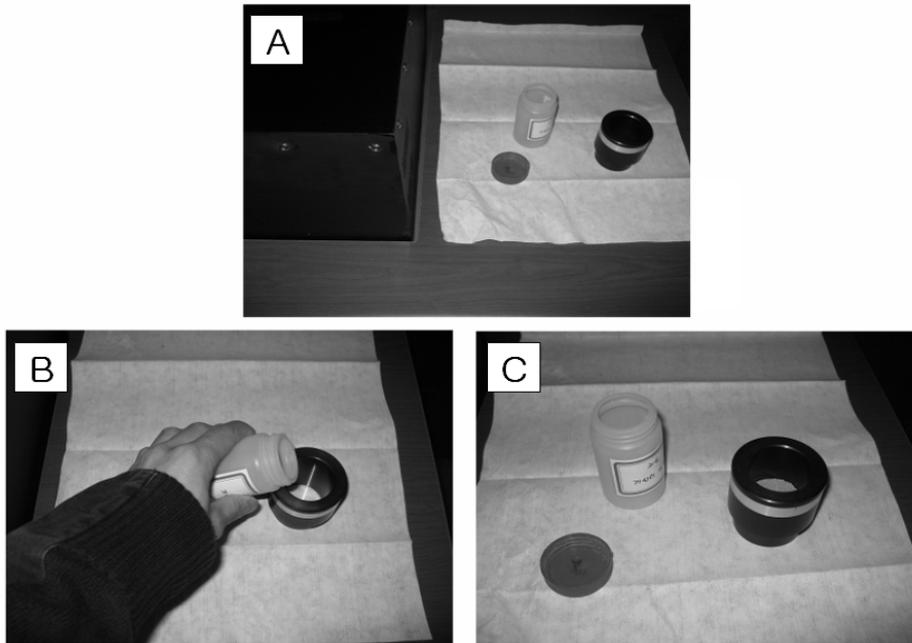


그림 10. 논토양 성분을 비파괴 측정하기 위한 시료 준비(A), 측정 컵에 담기 전(B), 담은 후(C)

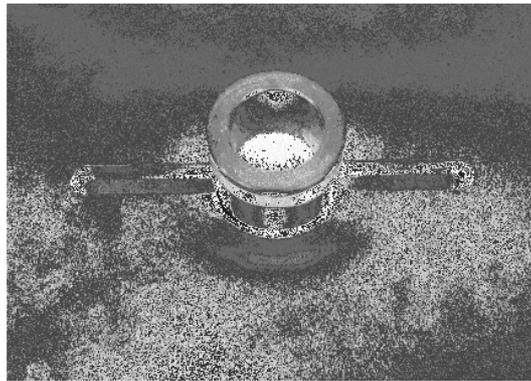


그림 11. 비파괴 측정 장치에 토양 시료를 장착한 모습

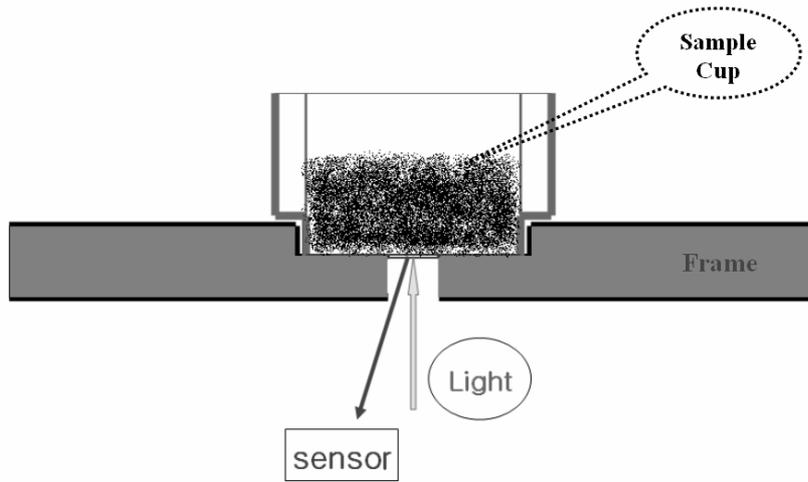


그림 12. 토양 시료의 측정 단면도

토양을 측정 할 때에는 토양 자체가 광선 반사에 의하여 측정하는 동시에 뚜껑의 역할도 하기 때문에 별도의 뚜껑이 필요 없으며 토양 시료를 일정량(컵의 2/3)씩 담아주면 된다(그림12). 이렇게 측정한 토양 시료의 반사 스펙트럼을 흡수 스펙트럼으로 변환하여 그림13과 같이 나타내었다.

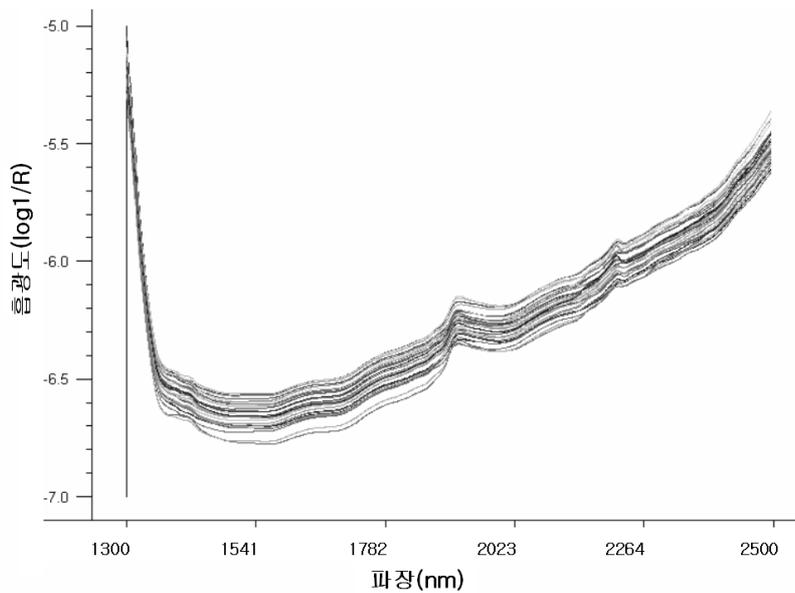


그림 13. 비파괴 측정 장치로 토양 시료를 측정한 스펙트럼

화학분석결과로 취득한 농토양의 질소, 인산, 칼륨, 유기물, pH 등 함량 자료와 비파괴 측정기를 통해 취득한 근적외 분광 스펙트럼 데이터를 이용해 다변량 해석방법으로 비파괴 검량식을 작성하였다.

농토양 시료 71점으로 비파괴 측정을 위한 검량식을 작성하고 25점의 미지시료를 대입하여 비파괴 측정정확도를 조사하였다. 검량식 작성을 위해 사용한 다변량 해석기법으로는 기본적으로 PLSR을 사용했으며 정확도 향상을 위해 다양한 chemometrics 중 스무징처리 등을 적용하여 최적 비파괴 검량식의 도출을 시도하였으며 그 결과는 아래 표4와 같다. 벼 재배현장에서 토양성분의 간이 측정 장치로는 만족할 만 정확성이 얻어졌다고 생각되었다.

표 4. 벼 엽신 질소 함량 및 토양 성분 비파괴 측정 장치로 측정한 토양의 각 성분 예측한 결과

Components	Range	R	SEP
T-N	0.0~0.21%	0.88	0.02%
OM	0.0~2.37%	0.82	0.41%
P	28~4100ppm	0.94	197ppm
K	0.42~17.79cmol/kg	0.72	0.67cmol/kg
pH	4.45~8.02	0.80	0.45

#### (6) 벼 생체 엽신 질소 함량 비파괴 측정 일괄화 프로그램 개발 및 프로그램 응용

앞에서는 하나의 조작마다 컴퓨터의 키를 눌러서 각각 따로 조작명령을 단계적으로 내려주었지만, 이러한 불편을 해소시키기 위해 시료를 넣은 뒤 단순한 키 조작을 하더라도 연속적으로 측정이 전개되고 결과가 자동으로 정리되어 나오도록 일괄화 프로그램을 제작하였다.

장비에서 측정된 5000개의 파장데이터 중 유효한 1200개의 실제데이터를 프로그램에서 취합하여 자체 검량식으로 연산 처리함과 더불어 측정하고자 하는 원소의 검량식을 사전준비단계에서 제어할 수 있도록 구성한다. 이에 검량식을 생성할 수 있는 모든 원소를 측정할 수 있으며, 한번에 분석할 수 있는 원소의 수량은 15개로 제한을 둔다.

해당원소에 최적화된 보고서 생성을 위해 기능별로 토양의 원소측정모드와 토양질소대비 잎 질소 측정 모드로 분할하여 구성하였다. 이에 측정모드에 따라 독립된 보고서생성이 가능하며, 측정인터페이스도 달라진다. 이는 동일 시료에 대한 다양한 원소를 측정할지 아니면 이중시료에 대한 특정 원소를 측정비교할지에 따라 변경되는 인터페이스로서 측정하고자하는 상황에 맞게 선택하면 된다. 그리고 각각 측정된 결과 값을 비교검토가 가능하도록 결과비교영역에서 이중시료 간 변화추이도 파악하도록 구성하였다.

## ① 시료 측정 진행 과정

### ㉠ 장비 환경설정

- A. 환경설정메뉴에서 장비의 고유 파라미터와 유효측정 영역, 동일 시료의 반복 측정횟수 및 측정 속도 등을 프로그램 최초 시작 시 설정 확인한다. 최초 설정이후 재설정은 필요 없으며, 장비가 변경될 경우 중회귀 계산파라미터만 재설정한다.

### ㉡ Calibration 관리

- A. 시료 측정 시 필요한 Calibration 별 연산 정보 값 관리한다.
- B. 사전설정 기능임으로 차후 반복적인 사용을 할 수 있다.
- C. 장비의 유효파라미터가 1200개임으로 개별원소 검량식의 상수 값도 1200개임을 확인한다.

### ㉢ 시료측정

- A. 장비의 상태확인 : 측정 장비에 대해 사전에 설정한 환경설정값으로 장비와의 통신을 수행하여 초기화 시킨다.
- B. 시료 형태 선정 : 수신된 1200개의 데이터와 연산할 검량식의 선정한다.
- C. 측정 시료 정보입력 : 시료의 정보를 차후 보고서등에서 구분할 수 있도록 미리 입력한다.
- D. 시료 측정 : 장비의 상태를 파악한 후 준비가 되었으면 측정을 시작하여 수신된 데이터 중 유효데이터 1200개를 Sampling한다.
- E. 측정데이터와 연산결과 데이터 표시 : Sampling데이터와 선택검량식의 상수와 연산하여 원소의 값을 추출한다.
- F. 보고서 출력 : 측정모드에 따른 보고서를 작성한다.

② 진행과정 도표



시료 측정 과정

위 그림과 같이 시료측정이 종료되어 결과 값 산출과 데이터 저장 및 보고서 출력 등의 과정을 수행한 후 동일 시료형태일 경우 반복적으로 측정을 할 수 있도록 구성되었으며, 만약 이종 시료일 경우 측정그룹을 실시간으로 변경하여 다시 수행할 수 있다.

측정모드 선택 이전 단계 중에서 장비 초기화는 측정모드 진입 시 반드시 자동으로 작동되며 이후의 단계는 필요에 의해서 개별적으로 수행할 수 있다.

### ③ 메뉴 구성안

#### ㉠ 기능

- 로그인 및 로그아웃 : 프로그램 관리자 인증을 수행하도록 한다.
- 프로그램 종료 : 모든 작업을 종료하고 프로그램을 종료하도록 제공한다.

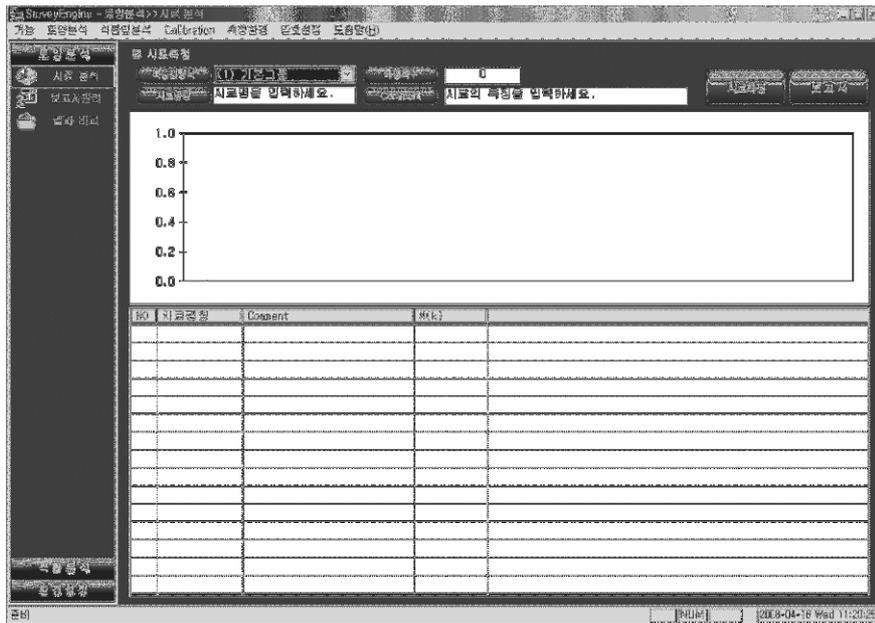


#### ㉡ 시료측정-모드1(토양 각 성분 함량 측정시)

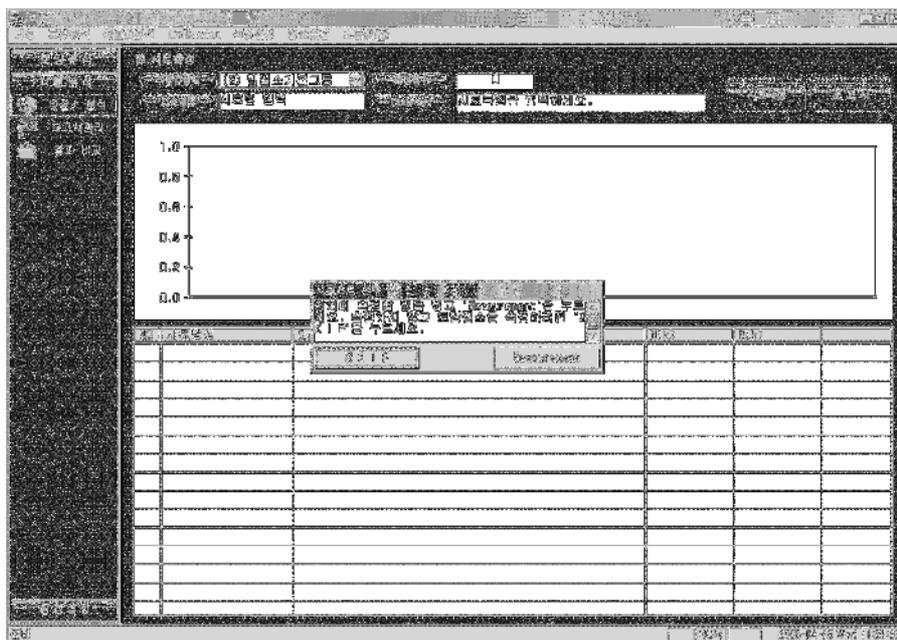
- 시료측정 : 장비의 초기화 후 시료의 제반 정보를 입력하고, 시료를 측정한다. 모든 결과는 자동 저장되며, 환경설정에 따라 보고서가 자동으로 로딩될 수 있다. 저장된 정보는 보고서, 결과비교영역에서 측정모드에 맞는 보고서출력 및 측정원소간의 변위를 파악하는데 사용된다.

#### ㉢ 시료측정-모드2(생체 잎 질소 및 해당 토양 질소 함량 측정시)

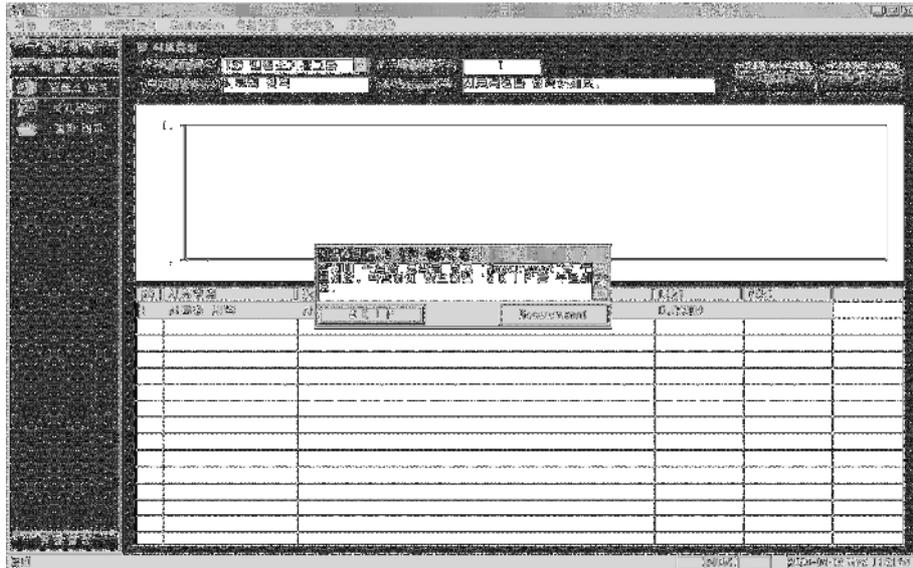
- 시료측정 : 장비의 초기화 후 시료의 제반 정보를 입력하고, 시료를 측정한다. 측정형태는 2개의 시료를 순차 측정하여 비교 검토되도록 구성되어 있어, 측정시마다 원하는 시료를 넣으라는 메시지 창에 로딩되며, 불필요 시 SKIP처리로 '0' 데이터로 간주된다. 나머지는 기존 모드1과 동일한 기능을 수행한다.



로그인 후 측정 모드 선택화면



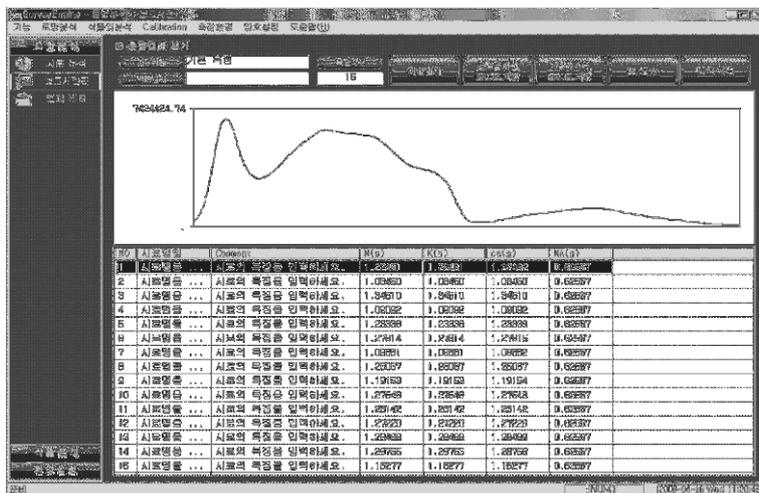
모드2에서 베타생체 및 질소 함량 측정시의 화면



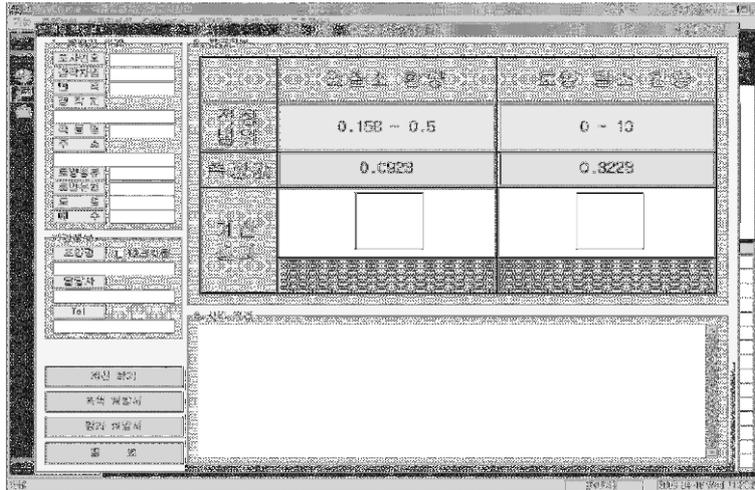
모드2에서 토양 질소 함량 측정시의 화면

㉔ 보고서

- 측정보고서 : 과거 측정 자료의 결과 값을 대상으로 보고서 및 재평가과정을 수행하는 기능으로 측정모드에 맞는 보고서가 표시되며, 용지 출력을 제공한다.
- 파장데이터 및 결과저장 : 측정된 유효데이터 및 연산된 원소의 값을 Excel파일형태로 저장할 수 있도록 기능을 제공한다.



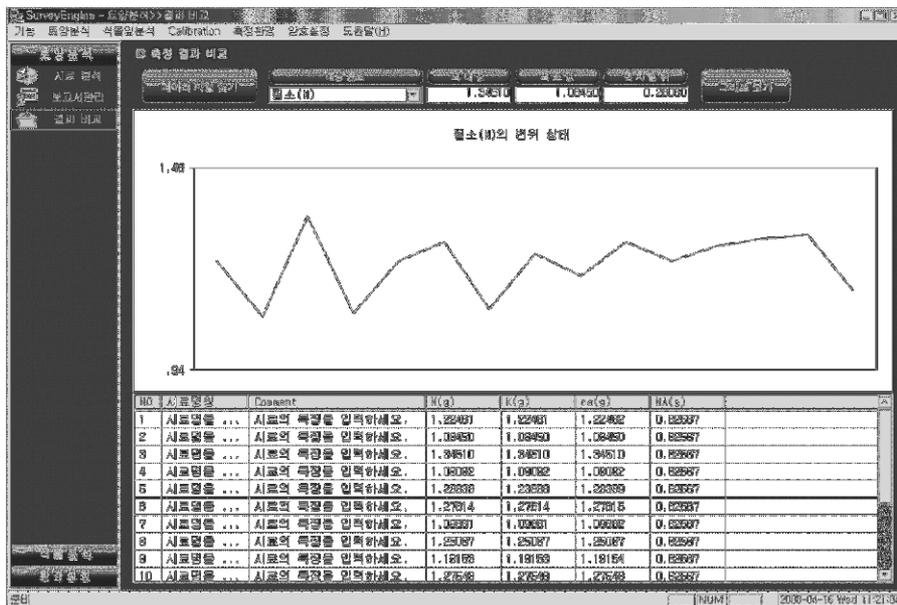
측정 결과 화면



모드2에서 생체 및 질소 및 토양 질소 함량 측정결과가 보고서로 전환된 화면

㉔ 결과비교

- 측정된 이중시료들의 변위를 파악할 수 있도록 구성되어 있어, 여러 원소들 중에서 특정원소가 측정동안 변화한 추이를 파악하게 그래프로 구현되어져 있다.



측정결과 중 단 성분 시료별 측정값의 변화 관찰 화면

㉞ Calibration

- Calibration : 시료 측정 시 필요한 각종 원소의 기본정보와 연산 파라미터 시료형 태별로 관리할 수 있도록 구성한다.
- 측정환경 : 장비의 고유설정값 및 측정에 따른 운영환경의 정보를 관리한다.

④ 시료 분석 시 사용되는 연산식

㉟ 그룹에서 개별 원소 값 설정

- NORMALIZE : 원소의 연산방식 결정

NORMALIZE	연산식	설명
NONE	기본연산 수행 $TOTAL = TOTAL + CONSTANT$ $TOTAL = TOTAL + BIAS$ $TOTAL = TOTAL * SLOPE$	모든 연산식의 기본
RANGE	기본연산 수행 $TOTAL = TOTAL / (Max\ Limit - Min\ Limit)$ $TOTAL = TOTAL + CONSTANT$ $TOTAL = TOTAL + BIAS$ $TOTAL = TOTAL * SLOPE$	기본연산 후 최대값과 최소값의 차만큼 나누기
MEAN	기본연산 수행 $TOTAL = TOTAL / (IND\ 총합 / 19)$ $TOTAL = TOTAL + CONSTANT$ $TOTAL = TOTAL + BIAS$ $TOTAL = TOTAL * SLOPE$	기본연산 후 수신값의 평균값으로 다시 나누기
MAX	기본연산 수행 $TOTAL = TOTAL / Max\ Limit$ $TOTAL = TOTAL + CONSTANT$ $TOTAL = TOTAL + BIAS$ $TOTAL = TOTAL * SLOPE$	기본연산 후 최대값으로 나누기

- ㉠ 개별 원소 상수값
  - COEF.1 ~ COEF.1200 : 기본 연산 상수값 1200개
  - 상수값의 등록은 정해진 포맷의 Excel파일을 통해서 등록한다.
- ㉡ 장비 유효과장영역
  - PURs.1300 ~ PURs.2500 : 총 1200개의 유효과장 값을 가진다.
- ㉢ 연산식
 

기본연산 : COEF와 PURs의 동일 순위 값끼리 곱한 값을 모두 합산한 값.

$$TOTAL = (COEF1 * PURs1) + (COEF2 * PURs2) \dots\dots + (COEF1200 * PURs 1200)$$

측정과정 프로그램 흐름은 아래 그림 14와 같다.

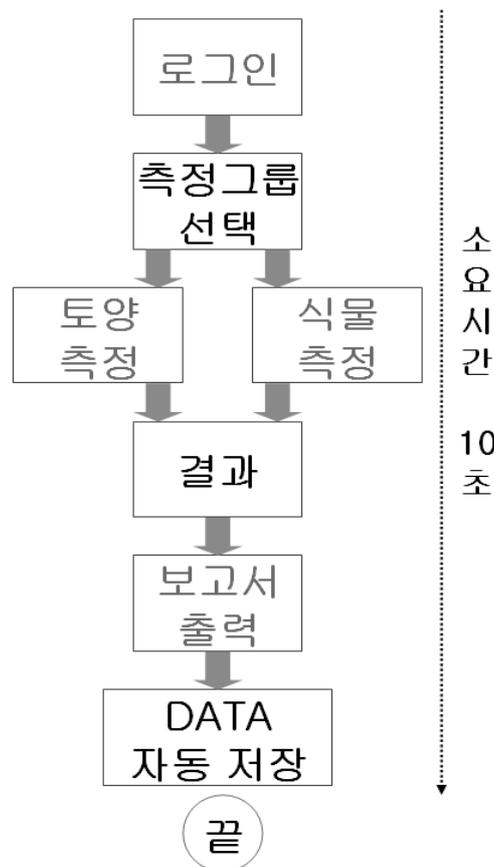


그림 14. 벼 엽신 또는 논토양 성분 비파괴 측정 일괄화 프로그램 흐름도

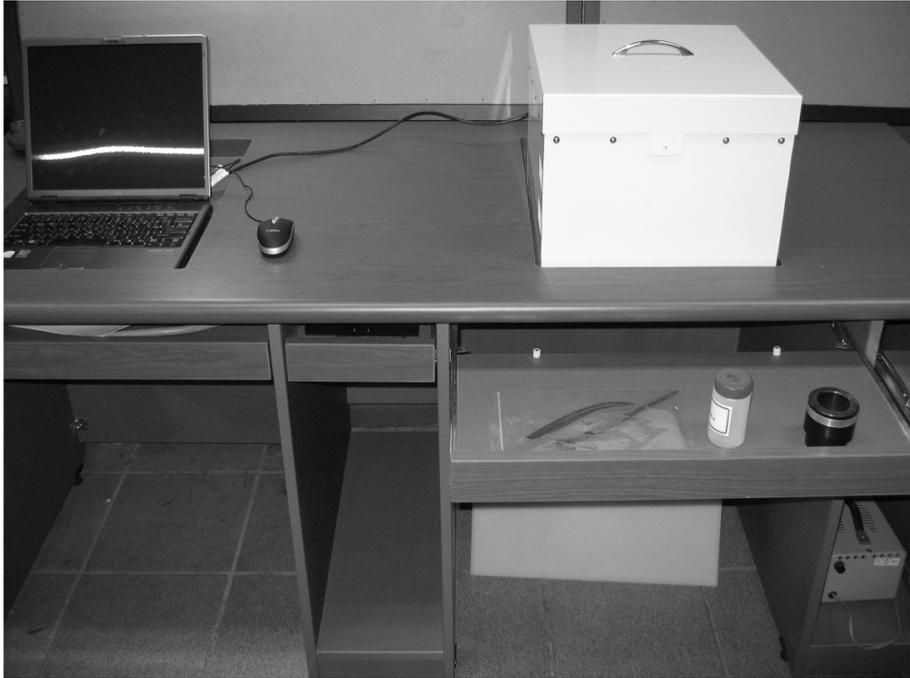
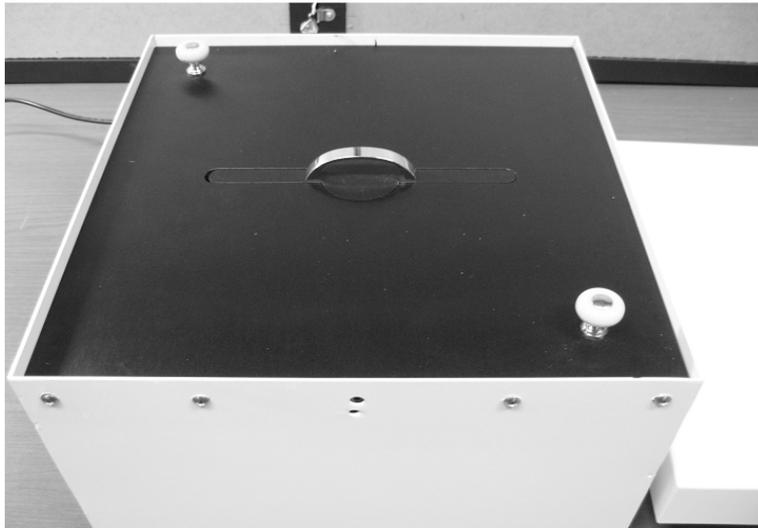


그림 15. 벼 생체 엽신 질소 함량 비파괴 시비처방기기의 전체 시스템 모습



## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제1절 연구개발 목표 및 달성도

#### 가. 연구개발 목표의 달성도

- 1) 벼 재배환경 차이에 따른 생체엽신질소함량과 수량과의 관계 구명
  - 벼 생육단계별 생체엽신질소 함량과 수량과의 관계 구명
    - 벼 재배환경 차이에 따른 최고분얼기 생체엽신질소 함량과 수량과의 관계
    - 벼 재배환경 차이에 따른 영화분화기 생체엽신질소 함량과 수량과의 관계
  - 벼 생육단계별 생체엽신질소 함량의 생태형별, 품종별 차이와 수량과의 관계 구명
    - 조생종, 중생종, 중만생종(재배면적이 많은 품종)
- 2) 시비량, 재식밀도, 수비사용량에 따른 벼 생체엽신질소 함량 변화 구명
  - 질소시비량(kg/10a) : 0, 7, 11, 15
  - 수비사용량(kg/10a) : 0, 4, 8, 12(실량)
  - 재식밀도(cm) : 30 × 11, 13, 15
- 3) 벼 수비추정 및 생체엽신질소 함량의 검량식 작성
  - 벼 식물체 근적외 스펙트럼 수집 및 추적
  - 식물체의 생체엽신질소함량 측정용 검량식 작성
- 4) 벼 수비사용량 결정을 위한 프로그램 작성
  - 벼 적정 수비추정을 위한 프로그램 구성도 작성
    - 연차간 변이정도, 시비처방의 정확도
      - 생체엽신질소함량 과 밥맛과의 관계 구명
- 5) 벼 엽신 질소자동 측정기 개발
  - 엽신 질소를 비파괴 측정할 수 있는 전용장치개발
  - 수비 처방전 자동 발급기능을 갖춘 이동형 엽신 질소자동 측정기 개발
  - 토양 중 질소량 자동측정기능을 부가하여 엽신질소측정 및 수비처방의 관련 자료로 활용되게 함.
- 6) 벼 질소시비처방 프로그램이용 수비사용 실증시험
  - 벼 질소시비 처방 프로그램이용수비사용 검증 실증
  - 시, 군 농업기술센터에 신기술투입 접목실증

나. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가

- 수비추정식 작성을 위한 요인(질소함량, 쌀 수량)의 변이 정도
- 수비추정식 유도를 위한 충분한 시험요인 설정 여부
- 벼 엽신질소 비파괴 측정기 개발을 위한 요소기술 확립
- 검량식 작성시 근적외 스펙트럼 수집 및 작성된 검량식의 객관성
- 검량식 작성 접근 방법, 검량식의 타당성 검토 여부
- 벼 엽신질소 자동 측정기 개발 및 실증 실험
- 수비 처방 프로그램의 활용 간편성
- 휴대형 수비 진단 처방 장치 완성 및 현장 실증시험
- 수비추정식 작성을 위한 적정성 여부
- 휴대형 벼 엽신질소 자동 측정기 개발 성공 여부
- 수비처방 프로그램의 개발 및 정확성 여부
- 농가 실증 후 고품질 쌀 생산 여부

## 제2절 관련분야의 기술 발전 기여도

가. 기여도

산업화 이후 화학비료 과다 · 연용시용으로 양분종합관리(INM-Integrated nutrient management)시스템 도입이 제기되고 있으며 본 기술개발을 통한 기술적 기대효과로서는

첫째. 적정 질소시비의 정밀관리가 가능

둘째. 적정 질소시비관리로 인한 병해충예방, 도복방지, 미질저하 예방, 단백질함량저하 등으로 고품질 쌀 생산 실현 기대

셋째. 논 필지별 작물이 필요로 하는 최적시비관리로 질소비료의 지하수 침출, 수로·하천 등 유입을 방지 할 수 있어 친환경 벼 재배기술 정착기대

넷째. 질소비료의 과다·연용시용방지로 지속적 농업 (SA-Sustainable agriculture)실천 등을 기대할 수 있다.

나. 활용방안

본 기술이 추진계획에 의거 개발된 후 참여기업을 통한 장치의 생산 · 보급으로 정밀질소비료시비 관리 기술이 정착되어 질 것이며 산업체 기술이전과정에서 연사회 개최 등을 통한 홍보와 지도사업, 시책건의, 친환경 정밀농업 신기술 정책자료로 활용성이 매우 높으며 국외 기술보급 가능성도 있어 벼 시비 진단 및 처방 기기 개발의 활용성이 크게 기대된다.

구체적인 활용방안으로는 소형 자동차에 본 연구에서 개발한 벼 엽신 질소 자동측정기를 탑재하고 자동차 전원을 12V로 조정시켜 전원공급 문제를 해결하고 논농사 가능한 토지에 이동하면서 잎을 채

취하여 현장에서 측정하고 채취농지의 위치는 GPS를 연결시키는 방법으로 자동 확인될 수 있는 활용 방안을 추가로 연구할 계획이다.

### 제3절 학술활용

○ 학회지 논문 게재

년 도	제 목	게 재 학회지	참여 비율
2007	○ 최고쌀 생산단지에서 토양 화학성과 벼 생체엽신의 질소농도가 미질에 미치는 영향	생명자원 과학연구	1/6
2006	○ 질소 시비량이 다른 조건에서 벼 생체엽신 질소 함량과 질소 영양지수 변화	"	1/5
	○ 질소 시비량 및 진단 수비 시용이 벼의 생육, 수량 및 미질에 미치는 영향	"	1/5
	○ Growth and yield to application of basal fertilization in rice	"	1/6
	○ Varietal difference in growth, yield and grain quality of rice grown at different altitudinal locations	한국작물학회	1/6
	○ 정조 상태에서 투과법과 반사법을 이용한 백미 및 현미성분의 비과과 측정	"	1/5
2005	○ 벼 생체엽신 질소함량 측정을 위한 근적외선 분광분석의 검량식 작성	한국작물학회지	1/5

○ 학술활동 실적

년 도	제 목	발 표 학회지	참여 비율
2008	o Non-destructive Prediction of Total Nitrogen Contents in Fresh Rice Leaves and Chemical Compositions using NIR Spectra from the Hulled rice condition	세계작물학회	1/3
	o Non-destructive Prediction of the Rice Milling Process using NIR Spectra from the Hulled Rice condition	"	1/5
2006	o Determination of total nitrogen contents analysis in fresh rice leaves using visible and near infrared spectroscopy	한일NIR학회	1/5
	o Nondestructive measurement of chemical compositions in polished rice and brown using NIR spectra of paddy rice acquired in transmittance and reflectance modes	"	1/5
	o 정조상태에서 투과법과 반사법을 이용한 백미 및 현미 성분의 비파괴 측정	작물학회	1/4
	o The discrimination on the variety and geographical origin of the hulled and the polished rice using the near infrared	"	1/6
2005	o The relation with the total nitrogen contents in fresh rice leaf and NNI	작물학회	1/5
	o 질소 시비량과 생태형에 따른 쌀 수량 및 품질의 지역간 비교	"	1/5
	o 최고쌀 생산단지외의 벼 생체 영양 진단	"	1/5
	o 유통 브랜드 쌀의 품위, 식미, 화학성분과의 관계	"	1/5
	o Comparison the milling characteristics to different rice varieties and altitude using automatic robot head rice milling process system with the micro computer	"	1/5

○ 국제 세미나 발표 실적(한·일 공동 : 2005년 ~ 2007년)

대상국	내 용	장 소
일본(이시카와현)	○ 벼 생육(영양)진단 기술 개발	일본, 한국
제1회 아시아 NIR 심포지움	○ 벼엽신 질소 자동 측정 시스템 개발	일본(즈크바)

#### 제4절 언론홍보 및 보도

○ 국제 정기 간행물 홍보실적(인포커스)

년 도	제 목	수 량	홍보일
2006	Determination of total nitrogen content in fresh rice leaves using visible and near infrared spectroscopy	90개국 25,000부	2006 10.30

#### 제5절 농업과학기술 우수기술전시회 전시

- 한국 농업 근대화 100년 기념행사 화판전시
  - 일시 : 2006년 8월 30 ~ 9월 1일
  - 장소 : 농촌진흥청
- 농업연구 종합평가회 화판전시
  - 일시 : 2006년 12월 21일
  - 장소 : 농촌진흥청
- 제 10회 대한민국농업과학기술상 시상식
  - 일시 : 2007년 11월 8일
  - 장소 : SETEC

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제1절 추가연구의 필요성

DDA 협상이후의 세계농업기술 방향은 생산비절감과 친환경, 고품질, 기능성 농산물 생산에 의한 국제 경쟁력을 높여 나가는 것이다. 아울러 정밀농업을 통한 농자재 투입관리로 국토생태계를 보전하는 것이다. 따라서 앞으로의 농업은 환경에 부하를 주지 않고 작물이 필요로 하는 정확한 비료, 농약 등의 처리로 안전농산물을 생산하는 기술개발이 요구 되어 진다. 따라서 전 세계적으로 개발된 기술의 농업적 활용가치가 인정된 근적외선분광분석법을 통한 정밀한 질소비료 처방기술은 최근 급속도로 발전하고 있는 IT 기술의 접목으로 기술개발 가능성은 매우 높아지고 있다. 따라서 지금까지 벼농사 농가에서 적용하여 온 눈대중에 의한 질소비료시비처방으로는 지역, 품종, 수분상태, 병해충 발생 조건등 여러 가지 요인에 의한 정밀한 질소비료 요구량산출과 처리가 힘든 실정이다. 따라서 향후 농업행위를 위한 질소비료 진단 및 처방은 매우 정밀한 최첨단 기술을 농업포장현장에 응용하여 작물 생육시기별 필요로 하는 적정량을 처리하여 주는 것이다. 이는 적정영분 공급으로 작물 생육을 건전하고 양호하게 해줄 뿐만 아니라, 병, 잡초발생 및 번식, 도장을 저해 해주며 태풍 등으로 인한 쓰러짐 방지로 미질을 양호하게 해준다. 아울러 벼 시비 진단 및 처방 기기에 의한 정밀한 시비처방으로 질소비료남용을 막을 수 있을 뿐만 아니라 타 작물에도 적용할 수 있어 그 활용도는 매우 크다고 할 수 있다.

### 제2절 타연구에의 응용 및 기업화 추진방안

본 기술 개발의 핵심은 근적외선분광분석을 이용하여 질소 함량을 얻는 기술로서 타 작물(옥수수, 통, 채소류, 과수 등)응용 수단으로서 그 활용성이 매우 높다.

근적외선을 이용하여 질소측정방법으로서는 농업인이 현지포장에서 직접 이용할 수 있도록 한 세계 최초 기술개발이다. 따라서 본 연구결과물은 참여기업 또는 산업체 기술이전을 통하여 국내외 농업분야 이용성 및 기업화기 가능할 것으로 사료되어 진다.

2008년 7월부터 시작되는 ‘과실 수출 연구사업단’ 연구 과제에서 재배환경 설정 자동화를 위해 본 연구에서 시험 개발된 벼 잎 질소 자동측정장치를 활용함으로써 고품질 과실 생산 기술 개발에 크게 이바지 할 수 있을 것으로 예상되어 상기 연구사업단에 본 기술을 활용될 수 있도록 협조할 계획임.

참여기업에서 개발된 장치를 재배 현장에서 보다 활용하기 쉽고, 효율적으로 가동될 수 있도록 소형 자동차에 장치를 탑재하여 현장에 이동하면서 측정 업무가 실행되도록 보급할 계획이며 대상처는 시군 농업 기술센터, 농협 등을 예상하고 있다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 제1절 주요국의 관련 과학기술 정보

#### 1. 미국

##### 가. 옥수수

최근 미국에서 관련기술의 활용은 주로 재배면적이 많은 옥수수에 적용하고 있다. 미국 네브라스카주(Nebraska)에서 질소비료 처리에 의한 질산태 질소가 지하수를 오염시킨다는 보도가 있는 후 이 분야 연구에 관심이 많아지고 있다. 효율적인 질소비료 관리는 작물재배 농가로부터 가장 중요한 관심사로 알려져 있다. 옥수수 잎의 엽록소 함량과 질소농도는 매우 높은 점의 상관관계를 가지고 있으며, 특히 엽색도계(SPAD502) 옥수수잎의 엽록소 농도에 영향을 주는 잎의 녹색정도를 측정하는데 매우 빠르고 손쉽게 측정할 수 있는 수단으로 알려지고 있다. 미국 농가에서 사용한 엽색도 측정기술은 작물체의 질소 분석을 위하여 시료를 실험실로 가져 갈 필요가 없으며 시간이 매우 절약되며 경제적이다. 또한 원하는 잎에 반복적으로 측정할 수 있다는 것이다. 또한 본 방법은 품종, 생육시기, 온도, 수분, 광선, 식물병, 영양결핍 등에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 측정시 고려하여야 한다. 실제 포장에서 측정기를 사용할 경우 다음 사항을 주의하여야 한다.

엽색도계를 이용한 옥수수잎의 엽색도 측정에서 개체간의 측정값 15%정도 차이가 있었으나 30개체 평균값을 대표 값으로 산정할 경우 큰 문제는 없는 것으로 나타났다. 또한 본 방법에서 측정값 오류 및 오차를 줄이기 위해서는 특이한 재식거리(넓은 조간에 심어져있는 옥수수, 그 줄로 동시에 심어져 있는 옥수수, 결주가 있는 부위등)의 측정은 피하여야 한다.

아울러 측정오차를 줄이기 위하여 유의하여야 할 사항은 첫째, 동일한 생육단계의 잎을 각 개체로부터 측정하여야 한다. 둘째, 너무 어리거나 오래된 잎은 피하여야 한다. 셋째, 옥수수의 경우 6번째 잎과 옥수수 자루사이 부위에 나온 잎 가운데 가장 최근에 전개된 잎을 측정하는 것이 가장 좋은 것으로 나타났다. 엽색도 측정값의 해석은 대상 포장의 중간마다 표준재배(시비)법으로 재배한 옥수수와 함께 심어 놓은 후 N 충족지수 값을 얻으면 된다. N 충족지수값은 평균엽색도값/평균 엽색도값(표준재배)×100으로 나타낼 수 있다. 여기서 N 충족지수 값을 101, 98, 97, 96%로 각각 얻었을 경우 95%보다 낮은 포장에서는 질소가 부족하다는 것으로 해석되어진다. 즉 추가적인 질소비료 사용이 요구되어지며 추비는 10a당 2,268g을 처리하여야 한다. 아울러 처리 후 4-6일경 처리한 질소비료에 대한 효과를 알아보기 위하여 다시 N 충족지수 값을 측정하는 것이 좋다.

#### 나. 벼

벼 농사의 질소비료 과용은 질소이용효율을 낮게 하고 지하수의  $\text{NO}_3$ , 오염 질소농도 측정은 매우 간단한 방법이며 작물의 질소흡수 이용 상태를 휴대용 측정기로 측정하고 진단하는데 매우 유효한 수단이다. 본 측정기를 이용하여 얻어진 엽색도계 값이 37.5 이하인 경우 10a 당 3kg의 질소를 추가로 처리하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 벼에 있어서 엽색도 측정법도 질소 외 다른 요인에 의하여 영향을 받을 수 있다 즉, 이병정도, 양분 결핍, 품종차이 등이며 이 경우 병반, 잎의 영분결핍으로 인한 생육저해반점 부위는 측정을 피하여야 한다. 본 측정기의 특징은 잎의 엽색정도만 수치적으로 알려주는 하지만 질소시비량을 처방하지는 못한다. 따라서 향후 본 측정기술과 더불어 비교적 정확한 질소시비량을 알 수 있는 기술개발이 요구 되어 진다.

#### 다. 밀

밭 토양조건에서 밀을 재배하여 엽색도계를 사용하여 잎의 질소농도, 토양의  $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$  수준과 수량간의 비교실험을 하였다. 토양의 질소분석과 잎의 질소농도는 분얼후기에 측정하였으며, 밀의 질소결핍과 질소비료 추천 시비량을 계산 하였다. 엽색도계는 작물의 질소상태를 측정, 평가하는 중요한 수단으로 판단되었으며 추비 질소 사용량 계산에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료되어 진다. 특히 엽색도계는 엽색도 수치와 수량, 잎의 질소농도 토양의  $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$  간의 매우 유의적인 상관관계를 보였다. 하지만 지역, 품종, 토양수분, 토양질소 함유 특성 등에 따른 차이에 대한 추가적인 요인 분석연구가 요구 되어진다.

## 2. 일본

일본에서의 엽색에 의한 질소비료 시비처방은 개체 엽의 엽록소와 군락 잎의 엽록소간의 고도의 상관관계( $Y=1.00x-1.01$ ,  $r=0.960^{**}$ )가 있다는 연구결과 보고와 더불어 수도용 엽색도판을 이용하여 왔지만 최근에는 엽색도계를 많이 이용하고 있다. 일본에서 주로 사용하고 있는 엽색도계(SPAD502)를 이용하여 ( $Y=0.232x-3.632$ ,  $r=0.946^{**}$ ) 엽색도계이용가치가 크게 인정되었다. 아울러 벼 품종간(4개 품종)의 엽색도와 질소함유율 분석에서도 모두 높은 유의성이 ( $Y=0.062x+0.522$ ,  $r=0.828^{**}$ ) 인정되었다.

특히 벼의 유수형성기 측정에서 년 차간(1984~1987) 비교 실험에서도 매우 높은 통계적 유의성이 인정되어 ( $Y=0.076x+0.073$ ,  $r=0.815^{**}$ ) 매우 유용성이 높은 것으로 알려지고 있다.

농가에서 엽색도판을 이용할 경우에는 개체엽 10~20매를 측정하여 평균 엽색도를 얻어 시비처방을 하며 최근 엽색도계 (SPAD501)를 이용하여 질소추비의 정확한 계산을 통한 정밀한 시비처방을 하고 있다.

## 제2절 국내외 관련분야의 전망

### 1. 국내

우리나라 농업 농촌의 쌀 산업 환경변화로서는 크게 다음과 같이 전망하고 있다.

- 쌀 소비량은 육류 및 밀가루 소비 증가 추세에 따라 지속적인 감소 추세를 보이고 있으며 이는 1인당 쌀 소비량 1990년 119.6kg 수준에서 2007년 76.7kg으로 줄어듦.
- 쌀 생산농가의 고령화 부녀화가 확대되고 농업노동력 부족현상이 심화되고 있으며 농업인구도 크게 감소하여 1990년 15.5%에서 2000년 8.7%로 감소하였음.
- 농가경영자중 40세 미만이 차지하는 비중은 1990년 15% 수준에서 2000년 7% 수준으로 감소한 반면 65세 이상의 비중은 같은 기간 중 21%에서 33%로 증가하였음.
- 전체 농가 중 3ha 이상 대농의 비중은 1990년 2.5% 수준에서 2000년 6.1% 수준으로 증가하였고 0.5ha 미만 영세농의 비중은 같은 기간 중 27%에서 32% 수준으로 확대되었음.
- 국내 사용되고 있는 화학비료 사용량은 연간 95만 톤(성분량 기준)으로서 이는 작물별 적정시비량 70만 톤보다 25만 톤이나 더 사용되고 있어 이를 위한 적정 사용에 관한 기술개발이 요구되고 있음.
- 최근 친환경, 정밀 농업의 중요성이 증대함에 따라 고품질 쌀 생산, 공급에 관한 쌀 생산농가들이 의식수준이 크게 증가하고 있으며 이를 위한 실천방안으로서 「질소비료 적게 주기」 등 본 연구과제 와 매우 관련이 깊은 벼 재배관리 기술이 추진되고 있으나 벼 시비 진단 및 처방 기기와 같은 과학적인 기술접근방법이 없는 실정임.

### 2. 국외

- 농업분야 친환경농업은 1992년 6월 리우선언, OECD 농업, 환경회의에서 작물양분관리, 농약사용, 농업용수사용, 농지이용 및 보전 등 농업부분 13개 환경지표를 개발하여 중, 장기적으로는 일정지표 이상으로 환경농업이 유지되도록 현행 농업을 지속가능한 친환경농업정책을 추진하고 있음.
- 도하개발아젠다(DDA) 협상의 진행, 자유무역협정(FTA)추진, 중국의 세계무역기구(WTO)가입 등으로 우리나라 쌀 시장 개방 압력은 더욱 커질 것으로 기대

되어져 쌀을 포함한 국내산 농산물의 국제경쟁력 특히 품질경쟁력 제고와 수입 농산물의 안전성이 큰 연구과제로 대두되고 있으며 특히 품질경쟁력, 안정성 등을 위한 비료, 농약 등의 적정량 시용을 위해서는 본 연구과제를 통하여 개발하고 있는 『벼 시비 진단 및 처방 기기』 등이 매우 유용한 연구성과로서 기대되고 있음.

### 제3절 기대효과 및 활용방안

벼의 영양진단에 따른 정확한 질소시비 프로그램 개발로 시비효율을 향상시킨다. 논 농업 직불제 과비답 엽분석 적정성을 판단하여 기준을 설정한다. 균형시비로 수량을 증대하고, 노력을 절감하며, 도복절감으로 품질을 향상시킨다. 기존 질소함량 분석시 소용되는 비용 절감 및 환경보전에 기여하도록 한다. 습식분석에 비해 시약을 사용하지 않고 비파괴 신속분석으로 시간절약 및 비용을 절감하도록 한다. 목표달성후 개발기술의 벼 재배농민, 농업기술센터 분석지도사, 연구원 등 농가지도를 용이하도록 한다. 달관적 업적정도에 따라 가감하고 있는 주관적 방법으로 앞으로 벼농사를 담당하게 될 후계자들에게 도움이 되도록 한다.

#### 가. 기술적 측면

- 벼의 영양진단에 따른 정확한 질소시비 프로그램 개발로 시비효율 향상
- 논농업 직불제 과비답 엽분석 자료의 적정성 판단 기준 설정
- 균형시비로 수량증대, 도복절감으로 품질향상

#### 나. 경제·산업적 측면

- 기존 질소함량 분석시 소용되는 비용 절감 및 환경보전에 기여
- 습식분석에 비해 시약을 사용하지 않고 비파괴 신속분석으로 시간절약 및 비용절감
- 목표 달성후 개발기술의 벼 재배농민, 농업기술센터 분석지도사, 연구원 등 농가지도용이

#### 다. 활용방안

- 질소시비량과 재식밀도에 따른 수비시용량별 벼 수량반응
- 근적외분광분석기를 이용한 벼 식물체 생체엽신 질소함량의 신속한 측정
- 질소 과비 억제로 농업인에게 친환경 농업 유도 및 직불제 혜택 제공
- 비파괴 방법으로 영농현장에서 생육기간 중에 실질적인 과비와 소비 판정이 이루어져 고품질쌀 생산지도.

- 질소성분 등 여러 가지 화학성분에 대해서 많은 량의 시약을 사용하지 않고 신속, 정확하게 분석하기 때문에 환경오염 방지 및 경비절감.
- 한국의 기상은 빈번한 태풍으로 도복이 많이 발생되는데 도복이 경감되어 미질 향상, 노동시간 감소로 농가소득 증대.
- 향후 시군 농업기술센터 와 농가를 대상으로 확산하여 지속적으로 기술을 보급할 계획임.
- 관련기술의 특허출원 및 학술지 게재 등 지속적인 홍보와 개발기술의 기술 이전 희망업체에 대한 기술지도.

## 제 7 장 참고문헌

1. Abrams, S. M., Shenk, J. S., Westerhaus, M. O. and Barton, F. E. 1987. Determination of forage quality by near infrared reflectance spectroscopy : Efficiency of broad-based calibration equations. *J. Dairy Sci.* 70 : 806-813.
2. Berardo, N., Cunico, C., Tava, A. and Odoardi, M. 1995, Broad calibration for measuring nutritive value of fresh forage species. Leaping ahead with near infrared spectroscopy. 231-234.
3. Blanco, A., Alomar, D. and Fuchslocher, R. 1995, Prediction by near infrared spectroscopy of the content of white clover(*Trifolium repens*) and perennial ryegrass(*Lolium perenne*) in fresh or dry mixtures made up from pure botanical samples. Proceedings of the 10th international conference. 299-302.
4. Clarke, M. A., Arias, E. R. and McDonald-Lewis, C. 1992. Near infra-red analysis in the sugarcane factory. Sugary Azucar. pres. at Ruspam Commun. Inc. USA.
5. Dardenne, P., Agneessens, R. and Sinnaeve, G. 1995, Fresh forage analysis by near infrared spectroscopy. Near infrared spectroscopy : The future waves. 531-536.
6. Hymowitz, T., Dudley, J. W., Collins, F. I. and Brown, C. M. 1974. Estimation of protein and oil concentration in corn, soybean, and oat seed by near infrared light reflectance. *Crop Sci.* 14 : 713-715.
7. Lee, H. B., Choi, B. R., Kang, C. S., Kim, Y. H. and Choi, Y. J. 2001. Determination of seed protein and oil concentration in kidney bean by near infrared spectroscopic analysis. *Korean J. crop sci.* 46 : 248-252.
8. Marten, G. C., Halgerson, J. L. and Cherney, J. H. 1983. Quality prediction of small grain forage by near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Sci.* 23 : 94-96.
9. Park, K. H., Pyun, C. H. and Han, J. P. 2004, Development of a digital chlorophyll meter II. Manufacturing of digital chlorophyll meter. *Korean J. crop sci.* 49 : 198-199.
10. Rubenthaler, G. L. and Bruinsma, B. L. 1979. Lysine estimation in cereals by near infrared reflectance. *Crop Sci.* 19 : 1039-1042.

11. Shenk, J. S., Landa, I., Hoover, M. R. and Westerhaus, H. O. 1981. Description and evaluation of a near infrared reflectance spectro-computer for forage and grain analysis. *Crop Sci.* 21 : 355-358.
12. Williams, P. C., Corderiro, H. M. and Harnden, M. F. T. 1991. Analysis of oat bran products by near infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Foods World.* 36 : 571-574.
13. Zhang, G. C., Seo, S. H., Kang, Y. B., Han, X. R. and Park, W. C. 2004. Determination of nitrogen in fresh and dry leaf of apple by near infrared technology. *Korean soc. of soil science and fertilizer.* 37 : 259-265.
14. Crafts-Brandner, S. J. and D. B. Egli, 1987, Sink removal and leaf senescence in soybean. Cultivar effects. *plant physiol.* 85 : 662-666.
15. 농촌진흥청. 1995. 농사시험연구 조사기준. 농촌진흥청. 603p.
16. Yoshida, S. and T. Hara, 1977, Effects of air temperature and light on grain filling of an indica and a japonica rice(*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions. *Soil Sci. Pant Nutr.* 23:93-107.1
17. Yoshida, S., and Parao, F. T., 1976, Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. in: Climatic and rice. International rice research institute, Los Ba os, Philippines, pp: 471-494.
18. Yoshida, S. 1981, Fundamentals of rice crop science. International rice research institute, Los Baos, Philippines.
19. Hasegawa, T., Koroda, Y., Seligman, N. G., and Horie, T., 1994. Response of spikelet number to plant nitrogen concentration and dry weight in paddy rice. *Agron. J.* 86 : 673-676.
20. Kropff, M. J., Cassman, K. G., Peng, S., Matthews, R. B., and Setter, T.L., 1994, Quantitative understanding of yield potential. In : Cassman, K. G(Eds.), *Breaking the Yield Barrier.* International Rice Research Institute, Los Ba os, Philippines. pp : 21-38
21. 이변우, 김경옥. 2002. 벼농사 정밀재배관리 전문가 시스템 개발. 농촌진흥청. 227PP.
22. 村山 登. 1967. 水稲收量水準の停帯とその向上に関する一考察. *植物生理* 6 : 25-31
23. 松島省三. 1957. 水稲收量の成立と豫察に関する作物學的研究. *農技研報* A5 : 1-271
24. 松島省三. 1965. 稻作 理論 技術. 養賢堂.
25. 和田源七, 松島省三, 松崎昭夫. 1968 水稲收量成立原理とその應用に関する作

- 物學的研 究. 第86報. 穎化數の成立内容におよぼす窒素の影響. *日作紀*. 37 : 417-422.
26. 박동화, 최일선, 이변우. 2002. 벼의 영화수와 생식 생장기 경엽중, 질소함량 및 비구조 탄수화물함량과의 관계. *한국작물학회지* 47(6) : 486~491.
  27. 農村振興廳. 1997. 作物栽培生理의 理論과 實驗. 文榮堂. 1083pp.
  28. 10. Yoshida, S., 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Ba os, Philippines.
  29. 柳喆鉉, 申福雨, 李相馥, 曹國鉉, 李景洙. 1996. 무논 골뿌림에서 窒素 穗肥 時期 및 施用量에 따른 벼의 生育과 收量性. *韓土肥誌* 29(1) : 3~7.
  30. Abrams, S. M., Shenk, J. S., Westerhaus, M. O. and Barton, F. E. 1987. Determination of forage quality by near infrared reflectance spectroscopy : Efficiency of broad-based calibration equations. *J. Dairy Sci.* 70 : 806-813.
  31. Berardo, N., Cunico, C., Tava, A. and Odoardi, M. 1995, Broad calibration for measuring nutritive value of fresh forage species. Leaping ahead with near infrared spectroscopy. 231-234.
  32. Blanco, A., Alomar, D. and Fuchslocher, R. 1995, Prediction by near infrared spectroscopy of the content of white clover(*Trifolium repens*) and perennial ryegrass(*Lolium perenne*) in fresh or dry mixtures made up from pure botanical samples. Proceedings of the 10th international conference. 299-302.
  33. Clarke, M. A., Arias, E. R. and McDonald-Lewis, C. 1992. Near infra-red analysis in the sugarcane factory. Sugary Azucar. pres. at Ruspam Commun. Inc. USA.
  34. Dardenne, P., Agneessens, R. and Sinnaeve, G. 1995, Fresh forage analysis by near infrared spectroscopy. Near infrared spectroscopy : The future waves. 531-536.
  35. Fischer, K. S. 1998. Toward increasing nutrient -use efficiency in rice cropping systems: the next generation of technology. *Field Crops Research* 56 : 1-6
  36. Hung The Nguyen, Min-Ho Kim, and Byun-Woo Lee. 2006a. Response of grain yield and milled-rice protein content to nitrogen topdress timing at panicle initiation stage of rice. *Korean J. crop sci.* 51 : 1-13.
  37. Hung The Nguyen, Min-Ho Kim, Lan Thi Nguyen, and Byun-Woo Lee.

- 2006b. Response of grain yield and milled-rice protein content to nitrogen rates applied at different growth stage of rice. *Korean J. crop sci.* 51 : 14-25.
38. Hymowitz, T., Dudley, J. W., Collins, F. I. and Brown, C. M. 1974. Estimation of protein and oil concentration in corn, soybean, and oat seed by near infrared light reflectance. *Crop Sci.* 14 : 713-715.
  39. Lee, H. B., Choi, B. R., Kang, C. S., Kim, Y. H. and Choi, Y. J. 2001. Determination of seed protein and oil concentration in kidney bean by near infrared spectroscopic analysis. *Korean J. crop sci.* 46 : 248-252.
  40. Marten, G. C., Halgerson, J. L. and Cherney, J. H. 1983. Quality prediction of small grain forage by near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Sci.* 23 : 94-96.
  41. Ntamatungiro, S., R. J. Norman, R. W. McNEW, and B. R. Wells. 1999. Comparison of plant measurements for estimating nitrogen accumulation and grain yield by flooded rice. *Agronomy Journal* 91 : 676-685
  42. Oh, Y. J. and K. H. Park. 1993. In : Low input sustainable crop production systems in Asia. KSCS(Korean Journal of Crop Science) symposium in Seoul Nat.'l Univ.pp. 125-139.
  43. Rubenthaler, G. L. and Bruinsma, B. L. 1979. Lysine estimation in cereals by near infrared reflectance. *Crop Sci.* 19 : 1039-1042.
  44. Sasahara, T. and Y. Itoh. 1989. Comparison of the effect of fertilizer application at and after the stage of panicle-base initiation on yield components of semi-dwarf and standard rice cultivars. *Field Crops Research.* 20 : 157-164
  45. Sinclair, T. R. and R. C. Muchow. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield : I. Modeling physiological responses. *Agronomy J.* 87 : 632-641
  46. Shenk, J. S., Landa, I., Hoover, M. R. and Westerhaus, H. O. 1981. Description and evaluation of a near infrared reflectance spectro-computer for forage and grain analysis. *Crop Sci.* 21 : 355-358.
  47. Williams, P. C., Corderiro, H. M. and Harnden, M. F. T. 1991. Analysis of oat bran products by near infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Foods World.* 36 : 571-574.
  48. Zhang, G. C., Seo, S. H., Kang, Y. B., Han, X. R. and Park, W. C. 2004. Determination of nitrogen in fresh and dry leaf of apple by near infrared

- technology. *Korean soc. of soil science and fertilizer*. 37 : 259–265.
49. Cagampang, G. B., L. J. Cruz, S. G. Espiritu, R. G. Santiago and B. O. Juliano, 1966, Studies on the extraction and composition of rice proteins. *Cereal Chem.* 43 : 145–155
  50. DeLaune. R, D. and W. H. Patrick. Jr. 1970. Urea conversion to ammonia in waterlogged soils. *Soil Sci. Soc. Am Proc.* 34: 603–607.
  51. Diker, K. and W. C. Bausch 2003. Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen *Biosystems Engineering* 86(4) : 411–420.
  52. Guindo, D., B. R. Wells, and R. J. Norman. 1994. Cultivar and nitrogen rate influence on nitrogen uptake and partitioning in rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 : 840–845
  53. Heu, M. H., C. Y. Lee, Z. R. Choe and S. I. Kim, 1969, Variability of protein content in rice grown at several different environments. *Jour. Korean Scai. Crop Science* 7 : 79–84.
  54. Hongprayoon, C., C. M. Lindau, W. H. Patrick. Jr., D. R. Bouldin and K. R. Reddy. 1991. Urea transformations in flooded soil columns : Experimental results. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1130–1134.
  55. Hinzman, L. D., M. E. Bauer, and C. S. T. Daughtry. 1986. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. *Remote Sensing of Environment* 19 : 47–61
  56. Honjo, K., Hirano and K. Fujise 1980. Studies of protein content in rice grains. 5. Effects of the topdressing of ammonium sulfate and the foliar application of urea at full heading time on the translocation of nitrogen to panicles and the protein content of brown rice. *Japan. Jour. Crop Sci.* 49:467–474.
  57. Ishima, T., H. Taira, H. Taira and K. Mikoshiba 1974. Effects of nitrogenous fertilizer and protein content in milled rice on organoleptic quality of cooked rice. *Rep. Nat. Food Res. Inst.* 29:9–15.
  58. Kim K. H., J. C. Chae, M. S. Lim, S. H. Cho, and R. K. Park. 1988. Research status and prospects in rice quality. *Korean J. Crop Sci.* 33(S) : 1–17
  59. Kim J. U., K. H. Lee, and D. Y. Kim. 1972. Studies in the Quality of Korean Rice. *Korean J. Agric. Chem. Soc.* 15(1) : 65–75
  60. Kim S. K., S. J. Jeong, K. Kim, J. C. Chae, and J. H. Lee. Tentative

- Classification of Milled Rice by Sorption Kinetics. Korean J. Agric.
61. Lee, K. B., S. K. Kim, J. G. Kang, D. B. Lee and J. G. Kim. 1997. Effect of rice straw treatment and nitrogen split application on nitrogen uptake by direct seeding on dry paddy rice. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. vol. 30(4) : 309~313.
  62. Mills, H. A. and J. B. Jr. Jones. 1979. Nutrient deficiencies and toxicities in plants : nitrogen. Journal of plant Nutrition 1 : 101-122
  63. Patrick, W. H. Jr., and R. D. DeLaune. 1972. Characterization of the oxidized and reduced zones in flooded soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36 : 573 -576.
  64. Ponnamperna, F. N., 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24:29-96.
  65. RDA 1997. Theory and experimentation of crops culture physiology. myoungdang. Korea. p595 - 616.
  66. 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, photo-synthesis, growth, and yield. Crop Sci. 30 : 1276-1284.
  67. 全遇滂, 明乙在, 李殷雄, 權容雄. 1991. 벼의 乾燥溫度가 米質과 食味에 미치는 影響. 韓作誌. 36 : 345-350.
  68. 金行夏. 1989. 穀物貯藏의 理論과 實際. 平和社. 483PP.
  69. 長戶一雄, 鈴木清太, 佐渡敏弘. 1974. 米の白度に關する研究. 日作紀. 43(4) : 550-556.
  70. 신진철, 초민규, 김영국, 이충근, 김민호, 이변우. 2005. 유수형성기 엽신질소 농도에 의한 질소 과용답 판단기준 설정. 작물과학연구논총. 6 : 218-238.
  71. 하기용, 최윤희, 정진일, 노광일, 고재권, 이재길, 김정근. 2006. 쌀의 외관, 호화특성 및 물성 차이에 따른 품종별 분류. 한작지 51(S) : 21-24.
  72. Crafts-Brandner, S. J. and D. B. Egli, 1987, Sink removal and leaf senescence in soybean. Cultivar effects. *plant physiol.* 85 : 662-666.
  73. Hasegawa, T., Koroda, Y., Seligman, N. G., and Horie, T., 1994. Response of spikelet number to plant nitrogen concentration and dry weight in paddy rice. Agron. J. 86 : 673-676.
  74. Kropff, M. J., Cassman, K. G., Peng, S., Matthews, R. B., and Setter, T.L., 1994, Quantitative understanding of yield potential. In : Cassman, K. G.(Eds.), Breaking the Yield Barrier. International Rice Research

- Institute, Los Ba os, Philippines. pp : 21-38.
75. Yoshida, S., 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Ba os, Philippines.
  76. Yoshida, S., and Parao, F. T., 1976, Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. in; Climatic and rice. International rice research institute, Los Ba os, Philippines, pp; 471-494.
  77. Yoshida, S. and T. Hara, 1977, Effects of air temperature and light on grain filling of an indica and a japonica rice(*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions. Soil Sci. Pant Nutr. 23 : 93-107.
  78. 津野幸人, 清水强. 1959. 主要作物收量豫測關研究. 第5報水稻群落乾物生産體 內窒素並日 射量關係. 日作紀 28 : 188-190.
  79. 村山 登. 1967. 水稻收量水準の停滯とその向上に關する一考察. 植物生理 6 : 25-31
  80. 박동화, 최일선, 이변우. 2002. 벼의 영화수와 생식 생장기 경엽중, 질소함량 및 비구조 탄수화물함량과의 관계. 한국작물학회지 47(6) : 486~491.
  81. 柳喆鉉, 申福雨, 李相馥, 曹國鉉, 李景洙. 1996. 무논 골뿌림에서 窒素 穗肥 時期 및 施用量에 따른 벼의 生育과 收量性. 韓土肥誌 29(1) : 3~7.
  82. Cassman, K.G., M.J. Kropff, J. Gaunt, and S. Peng. 1993. Nitrogen use efficiency of rice reconsidered : What are the key constraints. Plant and Soil. 156 : 15-32.
  83. De Datta, S. K. W. N. Obcemea, and R. K. Jana. 1972. Protein content of rice grain as affected by nitrogen fertilizer and some triazines and substituted ureas. Agron. J. 64 : 785-788.
  84. Gomez, K.A. and S.K. De Datta, 1975. Influence of environment on protein content in rice. Agronomy Journal 67 : 565-568.
  85. Guindo,D.,B.R. Wells, and R.J. Norman. 1994. Cultivar and nitrogen rate influence on nitrogen uptake and partitioning in rice .Soil Science Society of American Journal 58 : 840 - 845.
  86. Heu, M.H., C.Y. Lee, J.Y. Choe, and S.I. Kim. 1969. Variability of protein content in rice grown at several different environments. Korean Journal of Crop Science 7 : 79-84.
  87. 허문회, 김광호, 서학수. 1974. 수도 고단백 계통육성을 위한 기초적 연구 : III. 질소, 인산, 가리의 시용이 미립내 단백질 함량에 미치는 영향. 한국작물학회 15: 123-128
  88. .허문회, 박형직. 1973. 수도 고단백 계통육성을 위한 기초적 연구 : II. 성숙

- 기간중의 잎·줄기·현미 내의 단백질함량 변이. 한국작물학회. 13 : 69-72.
89. Hinzaman, L.D., M.E. Bauer, and C.S.T. Daughtry. 1986. Effect of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. *Remote Sensing of Environment* 19 : 47-61.
  90. 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 Chemistry*. 42 : 225-235
  91. Kropff, M.J., Cassman, M.H. Vanlaar, and S. Peng. 1993. Nitrogen and yield potential of irrigated rice. *Plant and Soil*. 156 : 391-394.
  92. Mae, T. and K. Ohira. 1981. The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence on rice plants. *Plant Cell Physiology*. 22 : 1067-1074.
  93. Muchow, R.C. and T.R. Sinclair. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield : II. Field and model analysis. *Agronomy Journal* 87 : 642-648.
  94. Nguyen, T. H., M. H. Kim, and B. W. Lee. 2006a. Response of grain yield and milled-rice protein content to nitrogen topdress timing at panicle initiation stage of rice. *Korean. J. Crop Sci.* 51(1) : 14-25.
  95. Norman, R.J., D. Guindo, B.R. Wells, and C.E. Wilson Jr. 1992. Seasonal accumulation and partitioning of nitrogen - 15 in rice. *Soil Science Society of American Journal*. 56 : 1521-1527.
  96. Peng, S., F.V. Garcia. R.C. Laza, A.L. Sanico, m.i. Samson, R.M. Visoeras, and K.G. Cassman. 1996. Nitrogen use efficiency of irrigated tropical rice established by broadcast wet seeding and transplanting. *Fertilizer Research*. 45 : 123-134.
  97. Perez, C.M., B.O. Juliano, S.P. Liboon, J.M. Alcantara, and K.G. Cassman. 1996. Effects of late nitrogen fertilizer application in head rice yield, protein content, and grain quality of rice. *Cereal Chemistry*. 73 : 556-560.
  98. Scgneider, K. 2003. Assimilating remote sensing data into a land-surface process model. *International Journal of Remote Sensing* 24 : 2959-2980.
  99. Schnier. M.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, photo-synthesis, growth, and yield. *Crop Science* 30 : 1276-1284.
  100. Sinclair, T. R. and R. C. Muchow. 1995. Effect of nitrogen supply on

- maize yield : I. Modeling physiological responses. *Agronomy J* 87 : 632-641.
101. Zhai, C.K., C.M. Lu, X.Q. Zhang, G.J. Sun, and K.j. Lorenz. 2001. Comparative study on nutritonal value of Chinese and North American wild rice. *Journal of Food Composition and Analysis* 14 : 371-382.
  102. 권태진외 2인. 1999. 환경친화적 벼농사의 적정 시비 수준과 정책방향. *농촌경제* 22(2) : 1~21.
  103. 송은주, 권영립, 송영주, 최정식. 2003. 질소시비량 추정을 위한 프로그램 작성. *농촌진흥청*, 59~80.
  104. Sung, J. H., Chung, S. O. and S. Y. Hong. 1999. Site-Specific Rice Crop Fertilizing Based on Chlorophyll Content - Describing Chlorophyll Content variation. 99 International conference on agricultural engineering. China Agricultural University.
  105. 이기상 외 6인. 2006. 「작물별 시비처방기준」. 농촌진흥청 농업과학기술원. 250 PP.
  106. 조재규외 3인. 2000. 「작물별·재배유형별 표준시비량과 시비추천량」 프로그램. *농업정보과학* 2(1) : 1~8.
  107. Diker, K, and W. C, Bausch. 2003. Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen *Biosystems Engineering* 86(4) : 411-420.
  108. Guindo, D., B. R. Wells, and R. J. Norman. 1994. Cultivar and nitrogen rate influence on nitrogen uptake and partitioning in rice. *Soil Sci. AM. J.* 58 : 840-845.
  109. Hansen, P. M., J. R. Jorgensen and A. Thomsen. 2002. Predicting grain yield and protein content in winter wheat and spring barley using repeated canopy reflectance measurements and partial least squares regression. *Journal of Agricultural Science.* 139 : 307-318.
  110. Hinzman, L. D., M. E. Bauer, and C. S. T. Daughtry. 1986. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. *Remote Sensing of Environment* 19 : 47-61.
  111. Matsuda, H., H, Fujii, H. Ando, S. Mori, C. Kominami and Y. Shibata. 2000. Protein content of milled rice as affected by number of grain per panicle . *Jpn, J. Soil Sci. Plant Nutr.* 71 : 697-699.
  112. Matsuda, H., H, Fujii, Y. Shibata, C. Kominami, S. Hasegawa, K. Oobichi, and H. Andou. 1997. Effect of number of grains per amount of

- N at Heading and amount of N in grain on the protein content of milled rice. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 68 : 501–507.
113. Matsue, Y., K. Odahara, and M. Hiramatsu. 1994. Differences in protein content, amylose content and palatability in relation to location of grain within rice panicle. *Jpn. J. Crop Sci.* 63 : 271–277.
114. Mills, H. A. and J. B. Jr. Jones. 1979. Nutrient deficiencies and toxicities in plants : nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 1 : 101–122.
115. Ntamatungiro, S., R. J. Norman, R. W. McNew, and B. R. Wells. 1999. Comparison of plant measurements for estimating nitrogen accumulation and grain yield by flooded rice. *Agronomy Journal* 91 : 676–685.
116. 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, photo-synthesis, growth, and yield *Crop Sci.* 30 : 1276–1284.
117. 조동삼 외 14인 공저. 1995. 벼의 생리와 생태. 향문사.
118. Wada G., S. Shoji, and T. Mae. 1986. Relationship between nitrogen absorption and growth and yield rice plants. *JARQ.* 20 : 135–145.
119. Wada, Y., and G. Wada. 1991. Varietal difference in leaf senescence during ripening period of advanced indica rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 60(4) : 529–536.