최 종
연구 보고서

디지털 질소측정기(벼, 마늘) 개발에 의한 정밀시비 관리시스템 연구

Study on Precision Nitrogen Management System Developed by a Digital Chlorophyll Meter

연 구 기 관
한 국 농 업 전 문 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “디지털 질소측정기(벼, 마늘) 개발에 의한 정밀시비 관리시스템 연구 ”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 8월 29일

주관연구기관명: 한국농업전문학교
총괄연구책임자: 박광호
연 구 원: 이정일, 김제규
(작물과학원)
자 문 위 원: 변종홍, 유병용
(한국과학기술원, KIST)
협동연구기관명: 건국대학교
협동연구책임자: 김재영
연 구 원: 신현만, 금송연
참 여 기 업: 한스시스템(주)

요 약 문

Ⅰ. 제목

디지털 질소측정기(벼, 마늘) 개발에 의한 정밀시비 관리시스템 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 목적

가. DDA협상으로인한 농산물 국제경쟁력 제고를 위한 국내 농산물 품질고급화 필요성이 요구됨.
나. 고품질 농산물 생산을 위한 질소비료 정밀시비기술개발을 하고자 함.
다. 친환경 농작업기술을 위한 필지별 적정화학비료 사용기술을 개발하고자 함.
라. 주변 첨단 디지털 산업기술의 농산업 접목으로 과학적인 농작업 기술을 개발하고자 함.
마. 벼 및 채소류(마늘) 엽색도 및 질소농도 상관식 설정으로 디지털 질소측정기 시스템 개발.
바. 품종, 토성별 엽색도 및 질소농도 상관식 설정으로 디지털질소측정기 개발 프로그램 구축에 있음.
사. 벼 및 채소류(마늘)에 이용가능한 디지털 질소측정기 시작기 개발 및 농가실증시험 추진에 있음.

2. 필요성

가. 벼 디지털질소측정기 개발 기술은 그동안 눈 대중으로 시비처방하여 온 웃거름 시비 시스템의 과학화, 정밀농업가능
나. 벼 주요생육시기 디지털질소측정시스템이용 필지별 벼농사 웃거름 시비관리로 화학비료사용절감 효과기대
다. 적정질소비료 관리시템 도입으로 벼 병해충발생 억제가능
라. 질소비료 적정시비에 의한 벼 도복발생 방지로 쌀품질 향상
마. 질소비료 적정시비처방으로 화학비료의 주변 수로, 지하수, 대기중 휘발 방지로 국토생태계 보전 가능
바. 디지털질소측정기의 타작목(옥수수, 콩, 채소류, 과수 등) 적용으로 전체 농산물의 화학 (질소) 비료 사용시스템개선
사. 첨단 디지털산업의 농산업접목으로 정밀농업(precision farming) 및 지속농업(sustainable agriculture) 시스템 정착가능

Ⅲ. 연구개발내용 및 범위

1. 연구개발내용 및 범위

가. 연구개발목표와 내용

구 분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (2001)	벼 및 채소류(마늘) 엽색도 및 질소농도 상관식 설정, 질소측정기 시작기시스템 회로 구축	- 디지털 질소측정기 개발관련 자료수집, 벼 질소수준별 생육시기, 엽위의 엽색도 측정, 질소분석 - 벼 장려품종의 엽색도 차이 구명Ⅰ, 질소분석 - 질소수준별에 따른 엽색도 측정, 질소분석 - 벼 및 채소류(마늘)의 엽색도 및 질소함량 상관식 설정 - 질소측정장치 시스템 회로 설계 - 질소측정기 시작기 설계도 작성
2차 년도 (2002)	품종, 토성별 엽색도 및 질소농도 상관식 설정, 질소측정기 시작기 프로그램 구축 및 시작기 제작	- 토성 및 질소수준별 벼의 생육시기, 엽위별 엽색도 측정 및 질소분석 - 벼 장려품종의 엽색도 차이 구명Ⅱ, 질소분석 - 토성 및 질소수준별 채소류(마늘)의 엽색도 측정 및 질소분석 - 토성 및 질소수준별 벼 및 채소류(마늘)의 엽색도 분석, 시비 요구량 분석 - 질소측정기 시작기 프로그램 구축 - 질소측정기 시작기 제작
3차 년도 (2003)	벼 및 채소류(마늘)에 이용가능한 질소측정기 시작기 개발 및 농가 실증시험	- 벼의 생육시기, 엽위별 엽색도, 질소함량, 질소 요구량 관계식 설정 - 벼 주요 장려품종별 엽색도, 질소함량, 질소요구량 관계식 설정 - 채소류(마늘)의 생육시기에 따른 엽색도, 질소함량, 질소 요구량 관계식 설정 - 벼 또는 채소류(마늘)의 질소수준, 생육시기, 품종별 엽색도와 질소함량간의 관계식 설정 - 질소측정기 시작기 개발 및 농가실증시험

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 디지털질소측정기 이용 벼 정밀시비관리시스템 개발
1) 벼 생육(초장, 경수)은 질소비료 처리수준별 정의 상관을 보였음.

2) 벼 품종 조만성(조생종, 중생종, 중만생종)별 벼 생육과정에서의 엽색도는 질소비료 처리수준별 높은 정의 상관관계가 있었음.

3) 벼 잎의 엽색도값과 질소함량간의 상관관계는 고도의 높은 정의 상관관계가 있었음.

4) 질소비료처리 수준에 따른 벼 잎의 엽색도값과 질소함량간의 상관관계는 매우 높은 통계적 유의성이 인정되었음.

5) 벼 잎의 엽색도 측정은 완전히 전개된 잎의 중앙부위의 잎 몸 부위를 측정하는 것이 비교적 정확한 엽색도값을 얻을 수 있었음.

6) 벼 잎의 엽색도 측정은 이삭거름 주기 전 유수형성기에 측정하는 것이 유리한 것으로 나타났음.

7) 질소비료 처리수준에 따른 벼의 수량성은 정의 상관관계가 있었음.

8) 벼 잎의 엽색도와 질소함량간의 상관관계는 연구소, 시험장, 농가포장 등 시험장소에 상관없이 높은 유의적인 정의 상관관계가 있었음.

9) 국제미작연구소에서는 엽색도판(LCC-leaf chlorophyll chart)을 연구개발하여 농가의 질소비료 시비량 처리수단으로 이용하고 있음.

10) 미국 캘리포니아대학에서도 자체 연구개발한 엽색도판을 이용한 벼의 질소비료처방기술로 활용하고 있음.

11) 디지털질소측정기 시작기의 성능은 기존의 SPAD 502(Minolta) 및 PPW 3000(Satake)와 비교한 결과 매우 우수한 것으로 나타났으며 특히 본 시작기의 특징은 농가에서 직접 사용할 수 있을 것으로 판단되었음.

나. 디지털질소측정기 시작기 개발

1) 디지털질소측정기 시작기의 전체적인 구성은 광원부, 흡광부, 증폭부, 중앙처리장치, 검출기로 되어 있음.

2) 시작기의 Block diagram은 관원, 검출기, 증폭회로, 마이크로프로세서, LCD 표시장치, 누름장치(Key

pad)로 구성되어 있음.

3) 광원은 두 종류의 발광다이오드로 되어 있으며 빨강색 즉 엽록소의 흡광도를 측정하는 스펙트럼과 적외선 즉 발광다이오드와 시료의 산란도를 효율적으로 측정하기 위한 특정 스펙트럼을 각각 사용하였음.

4) 발광 다이오드에서 발생한 빛은 시료(잎)를 통과하면서 시료에 흡수, 산란되고 남은 빛만 검출기인 실리콘 광 다이오드(Si photodiode)에서 전기신호로 변환됨.

5) 전기신호는 증폭기를 사용하여 측정가능한 세기의 신호로 만든 후 ADC를 통과하여 아나로그 신호를 디지털신호로 변환된 후 마이크로프로세서에서 받아들이고 처리하여 화면에 흡광도값을 표시한다.

6) 입력버턴(Key pad)에 의하여 시비 판정값을 구할 수 있도록 되어있음.

7) 시작기와 SPAD 502(Minolta) 기종을 비교한 결과 매우 높은 안정도와 정밀성이 인정되었음.

다. 디지털질소측정기 이용 마늘의 정밀시비관리시스템 개발

1) 마늘의 질소시비량증가에 따른 토양 내 NO_3-N는 정의 상관관계가 있었음.

2) 질소처리수준에 따른 마늘의 구중형성은 매우 높은 통계적 유의성이 있었음.

3) 마늘잎의 엽색도값과 엽록소함량 간에는 매우 높은 통계적 유의성이 인정되었음.

4) 마늘잎의 SPAD값과 질소함량 간에는 매우 높은 통계적 유의성이 인정되었음.

5) 마늘포장에서 엽색도 값을 이용한 질소비료 시비처방 수단으로 사용할 수 있었으며 본 시작기 개발로 그 활용성이 매우 높을 것으로 판단되었음.

2. 활용에 대한 건의

현재 농가에서 처리하고 있는 질소비료 시비처방방법은 농촌진흥청 벼 표준영농기술지침에 의하여 품종, 지역, 토양비옥도, 기상, 필지 등을 정밀하게 고려하지 않고 10a당 11kg을 권장하고 있지만 실제 농가에서는 질소비료처리당시 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 있음. 따라서 본 연구개발을 통한 질소비료의 정밀한 시비처방 및 관리로 친환경, 고품질 쌀 및 농산물생산기술정착이 요구되어져 다음과 같은 활용에 대한 건의를 하고자 함.

가. 디지털질소측정기의 전국적인 시범농가사업추진으로 질소비료사용의 정밀성, 중요성, 과학화, GAP농

산물 생산수단의 기반사업으로 채택이 요구되어짐.

나. 타 작물(옥수수, 콩, 채소류, 과수 등)에도 응용이 가능하도록 연구개발 및 현장접목연구추진사업이 요구되어짐.

다. 본 시작기의 성능향상으로 국외 정밀, 친환경 농산물재배, 생산기술보급이 이루어 질 수 있도록 후속적인 연구개발이 요구되어짐.

SUMMARY

This research project was conducted to develop a new digital chlorophyll meter to determine a precision nitrogen content of plant leaf which would make a major role to use as a criteria for the amount of top dressing in nitrogen fertilizer management. This technology was aimed to assumption of linear correlation between chlorophyll amount and nitrogen content of the plant leaf.

The following was summarized of the research results for the past 3 years in the above research project.

1. Application of a new digital chlorophyll meter in rice plant

- There was significantly different between nitrogen level and leaf chlorophyll in the rice plant.

- Among cultivars there was highly statistically significant difference at panicle initiation stage of the rice leaf.

- Over the 100% level of recommended nitrogen fertilizer rice yield was not significantly different.

- At 3 different field trials there was highly significantly different between SAPD value and total nitrogen content.

- A measurement of leaf chlorophyll content was right time at panicle initiation stage with fully developed leaf in the rice plant.

- There was significantly different among different soil textures with similar trend of chlorophyll content with nitrogen level.

- At 3 different field trials there was highly significantly different between SPAD value and total nitrogen content of the rice leaf.

- There was highly statistically different ($y=0.0656x + 0.3526$, $r=0.655^{**}$) at field trials which might be applied with a digital chlorophyll meter using correlative relationship between leaf chlorophyll content and nitrogen amount with top dressing at specific growing stage in the rice plant.

- Digital chlorophyll meter was so precious detection compared with commercial chlorophyll meters such as SPAD 502(Minolta) and PPW 3000(Satake).

2. Development of digital chlorophyll meter

- A digital chlorophyll meter was composed of 5 major parts with light illuminating system, light reception, amplifier, U-processor, and detection(display LCD).

- The MPU system of the digital chlorophyll meter was flash type which would easily remove the data.

- The amplifier was able to amplify up to 10,000 times and this capacity was detect to all samples.

- Date-logging was adopted of RS232 telecom function which was capable to link with PC with on-line.

- Digital chlorophyll meter was prevented from light scattering during measurement.

- The SPAD502 (Minolta, Japan) was determined to compare with a digital chlorophyll meter.

- The distance in between phot-diods was 0.6mm which caused to minimize error value during measurement.

- Digital chlorophyll meter was adopted two specific light spectrums such as red led-654nm and infrared led-845nm which was able to increase precision value during measurement unlike SPAD502.

- Digital chlorophyll meter was much improved light diffusion system using a diffuser.

- Tester I(digital chlorophyll meter) was manufactured to field trial and displayed at the international exhibition of machinery, science and technology for agriculture from Nov. 8 to 13, 2002, seoul, korea.

- TesterⅡ(digital chlorophyll meter) was manufactured with improvement of function and handling.

- TesterⅢ was demonstrated with commercial chlorophyll meters such as SPAD 502(Minolta) and PPW3000(Satake) and obtained a similar value and trend.

3. Application of digital chlorophyll meter in garlic

- There was highly significantly different between chlorophyll content and nitrate (NO_3-N) of the leaf in garlic.

- The higher amount of total nitrogen content in garlic leaf would be caused to higher bulb weight of the garlic

- There was highly significant difference between chlorophyll content and SPAD value in garlic leaf.

- The SPAD value of the garlic would be highly correlative relationship in nitrate of the soil.

- In a field trial there was highly significantly different between SPAD value of the garlic leaf and nitrate content in soil.

1) Establishment of optimum level of additional nitrogen fertilizer for garlic.

- With emphasis on adaption of cool area -

A high nitrogen dose gives rise higher vegetation growth such as secondary growth in garlic plant. There is need to quantify the amount of nitrogen fertilizer to be applied during the crop season to maintain normal vegetative growth in garlic. Therefore, this study was conducted to predict the sufficiency indices for nitrogen fertilizer as an indicator of in-season nitrogen status. It was appeared that SPAD value were gradually increased as the successive growth period at the first week of May thereafter, it was decreased with time. There was positive relation between SPAD value and nitrate nitrogen in field, pot soil. It showed a higher correlation coefficient of r=0.5421, r=0.5957 respectively. A positive relation was showed between total nitrogen contents in leaves and nitrate nitrogen in field soil. SPAD value. It showed a correlation coefficient of r=0.7463, r=0.6698 respectively. It was highly significant relation between fresh weight of garlic bulb and total nitrogen contents in leaves. It showed a higher correlation coefficient of r=0.8629.

2) Establishment of optimum level of additional nitrogen fertilizer for garlic.

- With emphasis on adoption of warm area -

Among the nitrogen treatments test, fourth level of nitrogen application showed high SPAD values, whereas the control did low values. Concentration of total nitrogen in leaves for each treatments in pot culture were closely maintenance for the first week of May. There was positive relation between total nitrogen contents in leaves and concentration of chlorophyll in leaves. It showed a higher correlation coefficient of r=0.5434. A positive relation was showed between chlorophyll contents in leaves and SPAD value. It range were lower in 40.06 to higher value in 68.7. It showed a higher correlation coefficient of R^2=0.5969.. There were significant differences between SPAD value and nitrate nitrogen contents in soil, total nitrogen contents in leaves. It showed a higher correlation coefficient of R^2=0.5384 for nitrate nitrogen contents in soil, r=0.4662 for total nitrogen contents in leaves.

Total yield was no significant differences among nitrogen treatment, when optimum, double, fourth level of nitrogen was applied during 2003. The total yield of garlic were 1174kg/10a in optimum, 1205kg/10a in double level, 1080kg/10a fourth level of nitrogen.

In the hydroponic culture, There were significant differences between SPAD value and total

nitrogen contents in leaves, chlorophyll contents in leaves. It showed a higher correlation coefficient of R^2=0.8943, R^2=0.8148 respectively. A positive relation was showed between SPAD value. and dry weight of above ground. It showed a higher correlation coefficient of R^2=0.5008.

SPAD value at the 3rd leaf were within 1 unit of the reference. Therefore, It value were stable and no difference to relative value.

3) Establishment of standard level of additional nitrogen fertilizer for garlic.

It was appeared that plant height, leaf length, sheath diameter, fresh weight of bulb, leaf width, leaf thickness, in the treatment of optimum level were observed in better growth than that of other nitrogen treatments and control.

we observed that SPAD value and chlorophyll contents in leaves were gradually increased as the successive growth period at the 24th of April. Thereafter, it was decreased with time. However, concentration of total nitrogen and dry weight of above ground were reached their maximum on 4th and 14th of May. respectively.

It showed that correlation between SPAD value and total nitrogen in leaves was positive and highly significant with R^2 value of 0.7386 for total nitrogen in leaves, 0.2028 for nitrate contents in soil, 0.4432 for chlorophyll content in the leaves. This has clearly indicated a closer relationship of this traits with SPAD value, i,e. higher the SPAD value, higher will be the chlorophyll contents in leaves and vice versa.

There was positive relation between total nitrogen contents in leaves and concentration of chlorophyll in leaves. It showed a higher correlation coefficient of R^2=0.4918. Based on regression analysis, relationship between the each rate of nitrogen treatments and SPAD value (the regression equation $Y = -0.1066X^2+12.509X-342.89$) was developed. The model provides a tool for the prediction of these rates for leaves growing in field cultivation for garlic. we recommended that optimum range of SPAD value in use of during the end of March through April was 58, 59 and 60unit. for optimum and 56~60unit for broad range. Our results suggest that field SPAD reading can readily identify severe nitrogen deficiency in garlic, have the potential to identify situations where supplementary top dressed N would not be necessary.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of research project 1
Section 1. Aim of research project 1
Section 2. Demand of research project 1
Chapter 2. Recent technology development in Korea and abroad 2
Section 1. Technology development in Korea 2
Section 2. Technology development in abroad 4
Chapter 3. Results and Discussion 5
Section 1. Materials and Methods 5
1. First year 5
2. Second year 8
3. Third year 10
Section 2. Results and Discussions 12
1. First year 12
2. Second year 47
3. Third year 78
Chapter 4. Attainment of research project 158
Section 1. Attainment of research project 158
Section 2. Contribution of research output in agriculture 159
Section 3. Patent registration 159
Section 4. Report to the newsmedia 159
Section 5. Exhibition to the outstanding scientific technology on agro-forestry 159
Chapter 5. Utilization of research output 160
Section 1. Needs of further research 160
Section 2. Application of other research area and industrialization 160
Chapter 6. Technology information from abroad during research activities 161
Section 1. Technology information from abroad 161
Section 2. Prospect of research activity on this area 162
Section 3. Future prospect and utilization 163
Chapter 7. References 164

목 차

제1장 연구 개발과제의 개요 1
제1절 연구개발의 목적 1
제2절 연구 개발의 필요성 1
제2장 국내외 기술 개발현황 2
제1절 국내기술개발현황 2
제2절 국외기술 개발현황 4
제3장 연구개발 수행내용 및 결과 5
제1절 이론적, 실험적 접근방법 5
1. 1차년도 5
2. 2차년도 8
3. 3차년도 10
제2절 연구개발 내용 및 결과 12
1. 1차년도 12
2. 2차년도 47
3. 3차년도 78
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 158
제1절 연구개발 목표의 달성도 158
제2절 관련분야의 기술 발전 기여도 159
제3절 특허출원 및 등록현황 159
제4절 언론홍보 보도 159
제5절 2004농림과학기술대전 우수기술 전시회 전시 159
제5장 연구개발결과의 활용계획 160
제1절 추가연구의 필요성 160
제2절 타 연구에의 응용 및 기업화 추진방안 160
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학 기술정보 161
제1절 주요국의 관련 과학기술정보 161
제2절 국내외 관련분야의 전망 162
제3절 기대효과 및 활용방안 163
제7장 참고문헌 164

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

1. 연구개발의 목적

디지털질소측정기를 개발하여 벼의 질소비료 추비시용 시 정밀시비진단 및 처방기술개발을 통한 정밀농업(precision farming)기술체계 확립과 아울러 마늘재배의 질소비료 과잉과 결핍의 상태를 제시 할 수 있고, 추비의 적정 시비량을 예측할 수 있으며, 마늘의 품질향상과 토양환경보전 및 수질 오염방지의 향상을 위해 노지포장에서 쉽게 진단하고 이용 결정할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

제2절 연구개발의 필요성

최근에는 환경농업(sustainable Agriculture)의 필요성이 강조되고 있어 농업환경보전을 위한 토양의 질을 향상시키기 위해 많은 노력을 하고 있다.

비파괴 디지털질소측정기를 이용한 질소표준시비량을 논, 밭, 시설작물재배에서 적용 할 경우 다음과 같은 측면에서 그 필요성이 매우 크다.

- 질소비료의 과다집적에 의한 마늘의 질산염 과잉흡수를 억제할 수 있어 국민건강에 이바지하여, 식품안정성을 증대시킨다.

- 벼농사 필지별 적정시비관리시스템 적용
- 정부의 양분종합관리(INM - inregrated nutrient management) 사업의 정책적인 지원
- 친환경 지속가능한 논, 밭농사 관리시스템 확립
- 고품질 농산물 재배생산관리시스템 확립
- 병해충 발생경감 재배적접근 가능성 확립
- 하천, 지하수 등 환경생태계보전 효과 기대
- 마늘의 생산성 향상으로 인한 농민소득증가와 시설채소의 품질향상
- 비료의 효율적 사용으로 생산원가 절감
- 염류직접억제

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내기술개발 현황

비파괴 엽록소 측정기를 이용하여 논, 밭농사의 시비표준화에 대한 연구는 아주 미비한 실정이다. 그러나 시설재배 조건하에서 토양의 질산태질소 함량과 시용질소에 대한 배추의 수량반응 및 시비 효율에 대한 곽 등(1997)의 보고에 의하면 토양의 NO_3-N의 함량은 배추의 수량 및 질소흡수량과는 유의한 정상관, 시비효율과는 유의한 부의 상관이 있어서 시험전 토양의 NO_3-N 310mg/kg 정도 있으면 질소 무비재배가 가능하다 하였다. 또한 질소시비량 추정 회귀식에서 시험전 토양의 질산태질소 함량에 따른 배추의 질소 시비량 추천식은 y=-1.424x+441.356이라 하였다. 여기에서 y는 질소시비량이며(kg/ha), x는 시험전 토양의 질산태질소이다. 홍 등(1998)에 의하면 시설재배 토양의 무기태질소 함량이 200mg/kg을 초과할 때 비료의 시용효과가 없다는 시비기준의 한계점을 제시하였다. 예를 들면 무기태 질소 100mg/kg에서 비료효과는 최고치 약 50%이므로 시비량을 50%줄이는 방법으로 시비량 추천이 가능하리라 생각된다. 또한 시설재배지 토양의 무기태질소(NO_3-N, NH_4-N)함량이 220mg/kg이상인 토양에서는 토마토를 무비재배로 추천하였고 기준치이하인 토양은 비료효과와 무기태질소 함량의 회귀식을 이용하여 시비기준의 추천이 가능하다고 홍(1998)이 제시하였다. 질소가 다량 축적된 시설재배지에서 송등(1996)은 작물재배기간중 질산태질소를 조사하였다. 즉 질산태 질소의 감소량은 시험전 토양중 질산태 질소함량이 370mg/kg인 조건에서 2작 재배전 85mg/kg, 3작 재배전 43mg/kg으로 작기별 감소율을 각각77%, 89%라 보고 하였고 작기별 토양질소의 수지는 1작재배 후 식물체가 흡수한 비율이 14.5%토양내 잔존율이 25.4%, 손실량이 60.1%이였고 2작 재배 후에는 식물체의 이용율이 25.3%, 토양내 잔존율이 51.8%, 손실량이 22.9%이였다. 국내 시설재배토양에서 많은 분포로 재배되는 오이와 토마토 등의 작물은 비교적 장기간 재배되기 때문에 기비량 결정뿐 아니라 추비량과 추비시기의 결정은 생산성 증대와 염류집적 방지를 위한 중요한 요인이 되고 있다. 작물재배기간중에 추비량을 결정하기 위한 검정방법은 국내에서는 아직 검토 되지 않고 있다.

1. 작물시비 관리기술의 변천

1) 1960년 이전

우리나라에서 비료의 사용은 1930년 흥남 비료공장 준공을 전후하여 크게 변화를 가져왔다. 1930년 이전에는 작물생육에 필요한 비료공급은 주로 퇴구비 등 유기질 비료가 대부분 농가에서 활용되었고 일부 수입된 화학 비료도 사용되었다.

1940년대 세계 2차 대전으로 인하여 화학비료사용은 감소하기도 하였으며 특히 1950년대 한국전쟁으로 국내비료생산은 더욱더 어려워져 대부분 화학비료를 수입하여 사용하였다. 하지만 우리나라 작물에 대한 비료 3요소 시비량이 1946~1950년도 처음으로 정해졌으며 이 당시 작물별 표준시비량은 벼의 경우

질소-인산-칼리가 80-80-80kg/10a로서 3요소 성분이 같은 양이었으며 쌀 수량도 10a당 307kg으로서 매우 낮았다.
한편 비료(3요소)를 주지 않을 경우 쌀 수량은 3요소 표준시비량 처리에 비하여 75% 수준이었으며 무질소처리에서는 77%, 무인산 및 무칼리 처리구에서는 95~96% 수준이었다.

가) 질소
질소적정시비량은 쌀 생산 목표수량에 따라 조절 하였으며 보통답, 미숙답, 숙답의 경우 통일계 품종은 10a당 15kg, 일반계 품종은 13kg으로 각각 정밀 조정하였으며 기타 논 유형에서는 통일계 품종은 18kg/10a, 일반계 품종은 16kg/10a 으로 제시하였다.

나) 인산
(1) 토양 중 인산 함량이 100ppm 이하일 경우에는 개량제 + 기본시비량으로하여 통일계 품종은 (100-토양중 인산함량) x0.1 + 6, 일반계 품종은 (100-토양중 인산함량)x0.1 +5 로 각각 정하였다.

(2) 토양 중 인산함량이 100~150ppm 일 경우
이 경우 기본시비량 적용으로 통일계 품종은 10a당 인산비료를 6kg, 일반계 품종은 5kg으로 각각 적정시비량으로 하였다.

(3) 토양 중 인산함령이 150ppm 이상일 경우
최저 시비량으로서 통일계 및 일반계 품종은 3kg/10a 처리량이 가장 적절한 시비처방이었다.

2) 1960-1970년
우리나라 작물에 대한 적정비료량 시험연구는 UNDP 사업에 의하여 1965년도에 추진 되어 적정시비량을 작물별로 얻을 수 있었으며 벼는 질소-인산-칼리 적정시비량 10.59-3.63-4.27kg/10a으로 1940년대 적정시비량에 비하여 크게 낮아졌다.

3) 1970-1980년
1960년대에 이어 1970년대에도 우리나라 주요 작물별 적정시비량 연구를 계속한 결과 벼의 경우 질소-인산-칼리가 13.7-6.6-6.9 kg/10a 으로서 다소 조정이 되었다.

4) 1980-1990
1980년대에는 우리나라 농토배양 10개년사업과 함께 작물수량중수에 목표를 두고 토양비옥도증진을 통한 최고 수량을 얻기 위한 농토배양사업을 하였다. 이 당시 3요소 적정시비량은 토성별, 벼 품종유형별 최고 수량을 얻을 수 있는 적정시비량을 제시 하였다.

5) 1990년 이후
통일계 품종이 없어지고 대부분 농가에서 일반계 벼품종을 재배함으로써 질소시비량도 10a당 11kg로표준시비량이 변하게 되었다.

6) 친환경, 고품질, 웰빙 산업시대
최근 우리나라 벼농사는 국제농산물 시장개방압력과 소비자의 유기농 농산물 선호에 따라 고품질 안전

높은 농산물을 크게 선호하고 있다. 따라서 주식인 쌀도 이와 같은 소비자 의 패턴에 맞게 친환경 재배 면적이 크게 늘어가고 있는 실정이다. 따라서 질소시비량이 크게 줄어드는 추세이며 벼 생육진단에 따른 정밀한 시비처방에 대한 기술개발이 활발히 연구되고 있다.

제2절 국외 기술개발 현황

식물체의 질소흡수량을 평가하는 방법으로 휴대용 반사계를 이용한 식물체내 질산태 질소함량을 측정(Bundy.etc, 1993; Fox, etc, 1993)하는 방법이 있으나 최근에는 식물체를 손상시키지 않고 엽록소 측정을 할 수 있는 엽록소 측정기(SPAD-502)가 개발되어 질소 표준 시비량 결정을 위한 지표로 활용되고 있다. 엽록소 측정은 식물체를 비파괴한 상태로 포장에서 간단하게 잎에만 갖다 대면 sensor에 의해 수치가 나오고 이것은 잎의 엽록소 함량은 질소 흡수량에 비례한다는 원리를 이용하는 방법으로서 측정의 간편성과 표본수가 제한된 실험구에서의 비파괴적으로 측정한다는 장점이 있다. 이 엽록소측정은 추비의 시비량과 시기를 결정하는데 중요한 결정법이다. 이 측정기를 이용하여 벼(*Ozyza sativa* L.)에서 질소시비를 예측하였으며 (Turner and Jurd, 1989) Wood etc,(1992)은 옥수수(*Zea mays* L.)를 이용하여 시기별 질소요구량을 잠정 평가하였다. minotti etc,(1994)에 의하면 감자(*Solanun tuberosum*)를 시험한 결과 SPAD측정값과 시장성이 있는 품질 좋은 감자 생산과의 사이에는 높은 유의성이 있는 상관관계를 인정하였고 그 측정값은 식물체의 엽령이 증가할수록 내려간다고 하였다. Piekielek and Fox(1990)는 3년동안 Pensylvania내 67개소를 선정하여 옥수수를 실험한 결과 5번째의 옥수수잎에서 SPAD측정값을 이용하여 옥수수의 질소 추비시용을 정확하게 예측하였다고 하였다. 그럼에도 불구하고 그들은 질소의 량과 토양질소 공급능력을 정확하게 예측하는데 충분치 못한 상관관계가 있다고 하였다. Scott등(1997)은 엽록소측정치의 직접 활용은 엽중 질소농도에 대한 작물의 연령과 품종효과로 인하여 적어도 잎의 두께 등의 영향을 받는다고 하였다.

제3장 연구개발 수행내용 및 결과

제1절 이론적·실험적 접근방법

1. 1차년도

1)시작기 설계 및 제작

(1) 디지털질소측정기(벼, 마늘) 시작기 설계

디지털질소측정기 1년차 연구수행으로 다음의 요건에 충족시키도록 설계상 기본을 정하였음.

① IR-LED 와 RED-LED 구동방식으로 설계하였다.

② Photo-Diode 출력효율을 높일 수 있도록 설계하였다.

③ IR-LED 와 RED-LED의 산란도를 보정할 수 있도록 설계하였다.

(2) 시작기 메카니즘 설계구상 및 제작

① MPU(미세처리장치)부분

MPU(Micro processor unit)는 pic16F877, A/D 10bit를 채택하였다.

② 검출기 및 증폭기부분

Operation amplifier는 TL062, ICL7611를 적용하였다.

Analog-Mux는 CD4066 4ch analog-switch와 MC14051 8ch analog-multiflexer를 사용하였으며 LCD display는 4 line *16 column으로서 글자 표기가 가능하도록 설계·제작하였다.

③ 광원부분

Photo-Diode는 TPS 721(최대파장 840nm), SP-1K1(최대파장900nm), TPS703(최대파장 940nm), HP3LR(최대파장 940nm)를 적용하였으며 IR-LED는 ID 3860(최대감도 850nm), TLN 201(최대감 도 880nm), TLN107(최대감도 940nm), TLN105(최대감도 950nm)를 각각 사용하였다.

(3) 회로도 작성

디지털 질소측정기 회로도의 구성에서 광원부는 IR-Led와 RED-Led의 두 종류의 LED를 사용하여 산란도를 보정하도록 하였다. 각각의 Led를 MPU에서 약50ms의 간격으로 스위 칭하여 광원을 조사하고 sample에 의하여 흡수와 산란되며, 투과한 광신호만 Photo-Diode를 통하여 광신호에 비례한 전류로 출력된다. 광전류의 세기가 약할 경우 증폭기를 통하여 배율을 조정하며 10배, 50배, 100배의 증폭율을 Analog-Mux를 사용하여 각각 증폭하도록 한다. 광전류는 증폭기를 통한 후 전압신호로 바뀌어 MPU에 내장되어있는 A/D로 입력되어 아날로그 신호를 디지틀 신호로 변경된다.

IR-Led와 Red-Led의 각각의 신호를 memory에 기억하고 있으며, 연산결과 각각의 입사광 I₀(λ1). I₀(λ2)과 투과광 Iᴛ (λ1), Iᴛ (λ2)를 LCD에 표시하며, 계산결과 흡광도 A를 LCD에 표시한다.

외부 조작Key는 실제 사용자 조작 Key가 아니며 본 실험을 위하여 조작하는 Key로서 다음과 같다.

- mode : mode 1회로와 mode 2회로의 변경을 한다.
- 10, 20, 50 : 증폭기의 배율을 선택한다.
- cal. : calibration을 행한다.

- 시작 : 측정시작 key로, 1회 측정하고 완료함.
- 연속 : 연속적으로 반복측정 한다.

2) 벼 재배용 디지털질소측정기개발 폿트시험

(1) 폿트시험 I

폿트시험은 총 2개소에서 각각 수행하였다. 시험 I 은 일품벼(중만생종)를 공시하였으며 질소수준은 표준시비량인 질소-인산-칼리(11-4.5-5.7kg/10a)를 기준하여 표 3-1과 같이 사각 폿트(36x51x30cm)에 처리하였으며 N분시비율은 기비-분얼비-수비(50-20-30%)로 나누어주었다

표 3-1. 질소비료 처리량

처리명 (N%)	$N-P_2O_5-K_2O$ (kg/10a)					비고
	11	-	4.5	-	5.7	
0	0	-	0	-	0	무비
0	0	-	4.5	-	5.7	무질소
25	2.75	-	4.5	-	5.7	
50	5.50	-	4.5	-	5.7	1/2배 시비량(N기준)
75	8.25	-	4.5	-	5.7	
100	11.00	-	4.5	-	5.7	표준시비량
125	13.75	-	4.5	-	5.7	
150	16.50	-	4.5	-	5.7	
175	19.25	-	4.5	-	5.7	
200	22.00	-	4.5	-	5.7	2배 시비량(N기준)

벼 잎의 엽색도 측정은 SPAD 502(Minolta, Japan)를 이용하여 7월10일부터 5일 간격으로 출수후 10일까지 측정하였으며 측정부위는 상단엽으로부터 최상위엽과 그이전엽을 선택하여 엽선단을 기준으로 하여 1/2지점 오른쪽부위 (그림3-1)를 각각 측정하였다

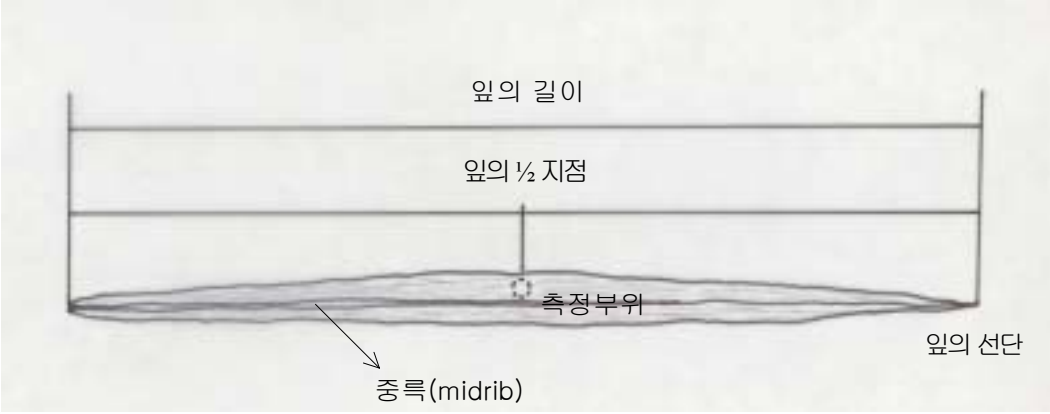


그림 3-1. 엽색도 측정 부위

벼 주요 생육시기별 생육량을 조사하였으며 수량 및 수량 구성요소 조사를 각각 하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 4반복으로 하였다.

(2) 폿트시험 Ⅱ

본 시험은 벼 주요 품종별 엽색도 특성차이 검정을 위하여 조생생-오대벼, 중생종-화성벼, 중만생종-새추청벼를 각각 공시하였으며 질소수준은 표준시비량인 질소-인산-칼리(11-4.5-5.7kg/10a)를 기준하여 사각폿트(36x51x30cm)에 처리하였으며 N분시비율은 기비-분얼비-수비(50-20-30%)로 각각 나누어주었다(표 3-2). 벼 잎의 엽색도 측정방법은 폿트시험 I 과 같은 방법으로 적용하였으며 주요시기별 생육 및 수량 조사도 각각 하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였다.

표 3-2. 벼 품종별 시험 질소비료 처리량

처리명 (N%)	N	-	P_2O_5	-	K_2O kg/10a	비고
	11	-	4.5	-	5.7	
0	0.0	-	4.5	-	5.7	무질소
50	5.5	-	4.5	-	5.7	1/2배 시비량 (N기준)
100	11.0	-	4.5	-	5.7	표준시비량
150	16.5	-	4.5	-	5.7	1.5배 시비량 (N기준)
200	22.0	-	4.5	-	5.7	2배 시비량 (N기준)

(3) 벼 재배용 디지털질소측정기 개발 포장시험

1년차 포장시험은 작물시험장, 경기도 농업기술원, 농가포장의 질소수준별 벼 주요 생육 시기별 엽색도 측정(SPAD 502, Minolta)을 하였다.

(4) 마늘재배의 질소측정기 이용연구

본 시험은 폿트 및 포장에서 각각 수행하였다. 시험 장소는 충북 단양, 충주에서 각각 이루어졌으며 공시 품종은 한지형 단양종(1개 품종만 국내농가에서 주로 재배되고 있음)을 처리하였다. 시험별 시비량은 표3-3에서 보는 바와 같이 질소를 기준으로 하여 처리량을 각각 다르게 하였다.

표 3-3. 마늘 시험의 처리별 질소시비량

처리명 (N기준)	폿트시험 N(kg/10a)	포장시험 N(kg/10a)	인산-칼리 P_2O_5-K_2O(kg/10a)
무비구	0	0	7.7-12.8
1/2배구	-	12.5	퇴비
표준구	25	25	2,000kg/10a
1.5배구	-	37.5	
2배구	50	-	
3배구	75	-	

재식밀도는 pot(51×36×30㎝-가로×세로×높이, 사각폿트) 시험에서는 pot당 1주씩 총 20개체를 처리하였으며 포장시험에서는 표준 재식거리 20×10㎝를 적용하여 난괴법 3반복 분할구 배치로 수행하였다. 포장시험의 시험구 면적은 1.5m^2(1.5×1m)로 하였다. N분시방법은 기비-추비(40-60%)로 2회로 나누어주었으며 인산은 전량기비, 칼리는 기비-추비(60-40%)로 2회에 걸쳐 각각 처리하였다. 주요 조사항목으로서는 시험전후 토양분석(pH, OM, Ec, T-N, P_2O_5, K2O, NO_3, NH_4, Ca, K, Mg) 엽록소 함량, 엽록소 측정, 식물체 총 질소 및 무기태 질소분석, 생육량, 질소 수준별 엽색도 상관 회귀분석 등을 각각 하였다.

2. 2차년도

1) 시작기 제작 및 개발

(1) 디지털질소측정기 시작기 제작

① 디지털질소측정기 개발에서 가장 중요한 엽록소계(Chlorophyll meter) 측정기능에서 LED(발광다이오드)의 광원은 빨강(Red)과 적외선(Infra red) 발광다이오드가 함께 있는 발광다이오드 모듈(module)을 선택하였다.

② LED의 크기는 측정오차를 최대한 줄일 수 있는 발광다이오드 소자의 거리를 0.6mm로 하였다.

③ 발광다이오드의 최대발광 피크는 빨강색은 654nm이었으며 적외선은 845nm에서 각 각 엽록소량을 측정하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

④ 2개의 위치에서 나오는 발광다이오드 빛의 분산과 산란을 최대한 줄이기 위하여 확산지(diffuser)를 사용하였다.

(2) 디지털질소 측정기 시작기 구성도

① 시작기의 외형

센서(LED, PD센서)를 기능, 성능, 기구 제작 면에서 기존의 센서보다 감도가 크며 우수한 것으로 개발하였다.

② Block diagram

시료를 측정부위에 삽입한 후 측정부를 눌러 측정을 시작하며 CPU는 LED1과 LED 2를 반복하여 교체동작을 하도록 하였다.

③ Flow-chart

LED 1과 LED 2의 조사한 투과 빛은 PD(Photo diode)로 투과량을 측정하게 되며 각 각의 값을 A/D(Analog→Digital)로 변환하여 CPU에서 연산한 후 측정값을표시하도록 하였다.

④ 회로도 제작

(3) 디지털질소측정기 시작기 개발

①시작기 Ⅰ

시작기 Ⅰ은 엽록소측정의 기본 원리, 기능, 성능, 평가를 위한 1차적인 시작기로서 제작하였다.

② 시작기 Ⅱ

시작기 Ⅱ는 1차 제작한 시작기Ⅰ의 기능과 조직성보다 기능과 성능이 우수하며 사용하기에 편리하도록 제작하였다.

2) 벼 재배용 디지털질소측정기 개발 폿트시험

(1) 질소시비수준별 벼 생육 및 엽색도 반응

사각폿트(36x51x30cm)에 일품벼(중만생종)를 공시하여 10질소수준(무비구, 질소표준량의 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150%, 175%, 200%)으로 처리하였다. 3요소 표준시비량은 11-4.5-5.7kg/10a으로, 질소는 기비-분얼비-수비(50-20-30%)로 분시하였고 칼리는기비-수비(70%-30%)로 처리하였으며 인산은 전량기비로 하였다.

벼 잎의 엽색도 측정은 1년차 시험에서와 같이 SPAD 502(Minolta, Japan)를 이용하여 유수형성기와 그 전후 5일 간격으로 측정하였으며 측정엽위는 최상위엽(불완전 전개엽)과 그 이전엽(완전 전개엽)을 선택하여 엽신 길이의 1/2지점 오른쪽부위를 각각 측정하였다.

벼 주요 생육시기별 생육량과 수량 및 수량 구성요소를 조사하였고 기타 관리 및 조사는 농촌진흥청 표준재배법 및 표준조사기준에 준하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 4반복으로 하였다.

(2) 벼 품종별 질소수준에 따른 생육 및 엽색도 반응

품종의 조・만성별로 14 품종(조생종 : 3, 중생종 : 5, 중만생종 : 6)을 1/2000a Pot에서 완전임의배치 3반복으로, 5질소수준(표준량의 0%, 50%, 100%, 150%, 200%)하에서 실시하였고 그 중에서 조・만성별 3대표품종(조생생 : 오대벼, 중생종 : 화성벼, 중만생종 : 새추청벼)을 선택하여 사각포트에서 같은 방법으로 실시하였다. 조사방법과 재배법은 시험1과 동일하였다.

(3) 토성별 질소수준에 따른 생육 및 엽색도 반응

1/2000a Pot에 일품벼를 공시하여 토성별(보통답, 사질답, 습답)로 5질소수준(0, 표준반량 : 5.5, 표준량 : 11, 표준 1.5배량 : 16.6, 표준 2배량 : 22kg/10a)으로 처리되었다. 질소는 3회 분시(기비-분얼비-수비 : 50-20-30%)하였고 칼리는 2회 분시(기비-수비:70-30%) 하였다. 3요소 표준시비량은 11-4.5-5.7kg/10a이었고 인산은 전량기비로 시용 되었다. 시험구배치는 토성별 완전임의배치 4반복으로 하였다. 생육 및 엽색도 조사는 시험 I 과 동일하였다.

3) 벼 재배용 디지털질소측정기 개발포장시험

2년차 포장시험은 작물시험장(사질양토), 경기도농업기술원(미사질양토), 농가포장(식양질)에 질소수준별 벼 주요 생육시기별 엽색도(SPAD 502, Minolta)와 엽신 질소함량을 측정하였다.

벼 재배 포장에서 유수형성기 엽색도를 측정하고 그 잎을 채취하여 건조시킨 후 질소 분석을 하였다.

4) 디지털질소측정기 시작기 농가실증시험

디지털측정기 시작기 농가실증시험은 경기도 수원시 고색동에 위치한 농가포장(750평) 을 임차하여 수행하였으며 공시품종은 새추청벼(중만생종)를 2003년 4월 17일에 파종하여 5월 26일 이앙하였다.

처리내용은 대조구와 디지털측정기 시작기 이용에 의한 2개 처리구로 두었으며 주요생육시기별 벼 생육, SPAD 측정, SPAD 측정에 의한 시비량 설정, 수량 및 수량구성요소를 각각 조사하였다.

5) 마늘재배의 질소측정기 이용연구

(1) 시험 I : 폿트시험

36×51cm Pot에 마늘품종 난지형을 공시하여 질소시비수준을 무비구, 표준구(250g/ha), 1.5배비구, 2배비구, 6배비구로 각각 처리하였다. 폿트당 1주씩, 처리당 20개씩 정식하여 완전임의배치 3반복으로 배치하였다. 질소는 기비(40%: 3월 30일)와 추비(60%: 4월 28일)로 2회분시 하였고 인산은 정식시에 전량 기비로 시용하였으며 칼리는 기비60%(3월 30일), 추비 40%(4월 28일)로 분시 하였다.
조사항목은 시험전후 토양 분석, 식물체 엽록소 분석, 엽색도 및 질소함량이었고 엽색도는 4월1일~4월26일까지 제4엽을, 5월 이후는 제5엽을 각각 측정하였다. 품종별, 질소시비수준별 생산성을 비교하였고 질소시비구와 무시비구 간의 엽록소 측정치 차이값의 상관관계를 분석하였으며 시비효율에 대 한 적정 질소시비량을 결정하였다.

(2) 시험Ⅱ : 노지포장시험
시험구를 1.5×1m 크기로 설정하여 질소시비수준을 무비구, 표준구(125kg/ha), 1.5배구(187.5kg/ha), 2배비구 및 4배비구로 처리하였고 인산은 77kg/ha, 칼리는128kg/ha, 퇴비 20,000kg/ha로 Pot 시험과 동일하게 처리하였다. 재식거리는 일반재배와 같이 20×10cm로 split-split plot design을 위하여 난괴법 3반복으로 처리하였다. 조사내용은 시험Ⅰ과 동일하였다.

(3) 농가 주산지 시험
농가 마늘 주산지(충남 서산, 태안)와 시험포장(호남농업시험장목포지장, 원예연구소남해출장소)에서 토양 및 식물체의 질산태질소, 엽색도 및 엽록소를 분석하여 상호 관련성을 검토하였다.

3. 3차년도

1) 벼 주요 장려품중 및 엽위별 엽색도와 질소함량
3년차 시험에서는 벼 주요장려품중의 생육시기에 따른 엽위별 엽색도와 질소함량을 분석하였다.
공시한 주요 벼 장려품종은 표3-4와 같다.

표 3-4. 시험에 사용한 주요 벼 장려품종

조중만성	품종
조생종	오대벼, 상미벼등 2품종
중생종	주안벼, 광안벼, 화영벼, 수라벼, 화성벼, 다산벼 등 6품종
중만생종	추청벼,남평벼,신동진벼,주남벼,새추청벼,동진벼,일품벼 등7품종
계	15품종

가, 엽색도 측정
엽색도 측정은 SPAD-502(Minolta, Japan) 와 PPW3000(Satake, Japan) 2개 기종을 사용하였으며 품종별 이삭거름 벼 우수형성기에 각각 측정하였다.
측정부위는 1, 2년차 시험결과에서 얻어진 효과를 기준으로 하여 최근 전개엽(1/2이상)과 그 이전엽을 각각 측정하였으며 잎의 1/2지점 선단을 기준으로하여 오른쪽 중앙(증륵부위 피함)부위를 측정하였다.

나. 질소분석

질소분석은 엽색도 측정을 하여 얻어진 측정값을 기록한후 동일한 잎을 시료로 채취하여 음건한후 분해장치(Buchi 435)를 이용하여 일분 킬달분해(Kjeldahl)과정을 통하여 시료를 분해한 후 자동질소분석기(Buchi 339)를 이용하여 N(%)값을 얻었다.

2) 마늘시험

가. 포장재배 시험

마늘 품종은 난지형 함안지방에서 재배된 것으로 시험구는 밭토양인 경우 처리구 1.5m x 1.5m의 구획을 나누었고 pot는 52cm x 36cm x 30cm의 plastic 사각통을 이용하여 토양을 그 pot의 7부까지 채웠다. 재식거리는 일반재배와 같이 20cm x10cm로 2002년 10월에 파종하였고 pot의 경우는 1 pot당 20개씩 재식하였다. 난괴법 3반복으로 수행하였다. 질소 시비수준은 밭토양의 경우 표준구(25kg/10a), 무비구, 반량구(12.5kg/10a), 1.5배구(37.5kg/10a), 2배구(25kg/10a),4배구(50kg/10a), 5수준으로 하였고 인산 7.7kg/10a, 칼리12.8kg/10a, 퇴비 2000kg/10a,로 시비하였다. pot의 경우는 무비구, 표준구, 2배구 (50kg/10a), 6배구(150kg/10a)의 4수준으로 질소는 기비 40%로, 2회는 추비 60%로 시비하였고 인산은 전량기비로 칼리는 기비 60% 추비2회40%로 시비하였다. 시험수행을 위해 엽색도 측정은 SPAD(Minolta 502)측정기를 이용하여 측정하였고 엽록소 분석은 Armor(1949)법으로 엽질소는 Kjeldahl법(ASA, 1982), NO_3-N분석은 Copperized cadium 환원법(ASA, 1982)으로 분석하였다.

나. 양액재배 시험

본 시험은 2004년 3월부터 5월말까지 충북농업기술원 단양마늘시험장내 PET온실에서 전년도 수확한 마늘로 월동한 단양마늘 재래종중 3~4g의 인편을 선별하여 3월 21일 파종하였다. 양액의 조성은 대량원소 N 15.0me・e^{-1}, P 3.0me・e^{-1}, K 6.0me・e^{-1}, Ca 8.0me・e^{-1}, Mg 4.0me・e^{-1} 미량원소는 Fe-EDTA 25ppm, H_3BO_3 3ppm, $MnSO_4・4H_2O$ 3ppm, $ZnSO_4・7H_2O$ 0.22ppm, $CuSO_4・5H_2O$ 0.05ppm, $Na_2MoO_4・2H_2O$ 0.02ppm으로 조성하였다. 무비구는 지하수단용, stock solution은 지하수와 혼합하였고 표준구는 혼합농도 2.0dS・m^{-1}, 2배구는 4dS・m^{-1}, 4배구는 8dS・m^{-1}로 조성하였다.

재배용 베드는 양액재배용 발포스티로폼 성형베드 (480mm(W) x 300mm(H) x 1200mm(L))로 된 것을 사용하였다. 각 처리별로 500ℓ의 FRP탱크 4개를 지상에 설치, 비순환식 점적관수 방법을 이용하여 1일 5회, 1회 급여량은 주당 100㎖씩 관수토록 하였으며 배지는 vermiculite를 사용하였다. 베드내 재식거리는 주간 20cm x 10cm의 거리로 베드당 28주, 완전임의배치법, 3반복으로 수행하였다. 생육조사는 초장, 엽초장, 건물중 등, 지상부 특성조사는 정식 35일후인 5월 14일부터 실시하였으며 전질소함량, 엽록소, SPAD측정은 4월 10일부터 10일 간격으로 5월 30일까지 6회 조사하였다. 엽록소 측정기(SPAD-502)를 이용하여 제 3엽을 측정하였고 엽색도는 색채색화계 1CR-200, Minolta, 엽록소 분석은 Arnon (1949)방법으로 엽질소는 Kjeldahl법(ASA 1982), NO3-N분석은 Copperized cadium 환원법(ASA ,1982)으로 분석하였다.

제2절 연구개발 내용 및 결과

1. 1차년도

1) 벼 재배용 디지털질소측정기 개발 폿트 시험 I

벼 질소수준별 중간 생육량은 육안으로도 뚜렷한 차이가 있었으며(그림 3-2) 특히 엽색의 차이도 다르게 나타났다.

그림3-2. 질소수준별 벼 생육차이

표 3-5는 벼품종 및 질소수준별 경시적인 벼 생육량을 조사하였으며 전반적으로 질소시용량 증가에 따라 초장, 경수 증가량이 일정한 증가를 보였으며 품종의 조만성(조생종-오대벼, 중생종-화성벼, 중만생종-새추청벼)에도 큰 차이가 없이 비슷한 경향을 보였다. 공시한 화성벼 및 새추청벼도 이와 비슷한 경향을 보였으며(그림 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8) 이는 벼 품종의 조만성간에도 일정한 경향이었다

표 3-5. 벼 품종 및 질소수준별 생육현황

품종	질소 시비율 (%)	6월 22일		7월 3일		7월 20일		출수기		성숙기	
		초장 (cm)	경수 (개)	초장 (cm)	경수 (개)	초장 (cm)	경수 (개)	간장 (cm)	경수 (개)	간장 (cm)	경수 (개)
오대벼 (조생종)	0	37.1	3.0	52.8 d	4.3 c	67.8	3.9	57.4 c	3.9 c	57.6	3.9
	50	40.2	5.2	58.4 cd	7.3 bc	71.7	6.4	59.9 c	6.1 bc	60.4	6.5
	100	43.9	7.1	62.3 bd	9.5 ab	76.7	9.0	65.2 b	7.9 b	64.4	8.8
	150	45.6	7.6	66.0 ab	11.1 a	82.3	11.0	69.3 ab	10.8 a	68.7	10.9
	200	49.2	9.0	69.6 a	12.3 a	84.4	14.3	71.7 a	11.6 a	71.8	12.1
화성벼 (중생종)	0	33.3	3.4	44.7	5.0	60.9 c	4.2 b	65.1 b	3.9 c	65.7	3.9
	50	35.4	6.9	48.3	8.8	63.3 c	6.6 b	66.7 b	5.3 c	67.8	5.8
	100	40.3	11.8	46.8	14.7	70.6 b	10.9 a	70.3 b	9.9 b	71.7	9.9
	150	40.1	11.5	55.4	14.8	75.9 ab	11.8 a	78.1 a	11.4 ab	79.0	11.5
	200	42.8	10.7	59.5	15.2	77.1 a	13.3 a	79.1 a	13.3 a	78.4	13.5
새추청벼 (중만생종)	0	35.1	4.0	46.9	5.9	60.4 c	5.3 c	64.2 c	5.3 c	64.6	17.0
	50	37.4	8.6	51.0	9.9	60.1 c	8.2 bc	61.5 c	7.9 bc	62.2	16.9
	100	41.4	9.5	52.6	13.0	63.0 bc	11.2 bc	66.2 bc	11.0 ab	66.6	17.9
	150	42.9	11.5	58.1	15.0	68.1 ab	12.3 ab	70.2 ab	11.9 ab	70.9	19.0
	200	44.7	12.4	61.6	18.0	70.4 a	15.9 a	71.3 a	14.6 a	71.7	19.4

벼 품종별 엽색도 값은 표 3-6에서 보는 바와 같이 조생종인 오대벼와 중생종(화성벼) 및 중만생종(일품벼) 간에 차이가 인정되었으며 조생종과 중생 · 중만생종간 차이는 큰 반면 중생종과 중만생종간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 주요 생육시기별 엽색도 값은 출수전 30일, 출수전 10일, 출수기에 따라 전반적으로 증가하는 경향이었다. 측정 부위의 잎에 따라 다소 다른 엽색도 값을 보였는데 최근엽에 비하여 그 이전엽이 전반적으로 높게 나타났다.

표 3-6. 벼 주요 품종별 질소 수준, 생육시기 및 엽위별 엽색도

품종	질소수준 (표준시비량, %) N-P_2O_5-K_2O	출수전 30일 (유수형성기)		출수전 10일		출수기	
		최근엽	그 이전엽	최근엽	그 이전엽	최근엽	그 이전엽
오대벼 (조생종)		6월27일	6월27일	7월17일	7월17일	7월27일	7월27일
	0-4.5-5.7	30.8	34.5	30.9	31.7	33.1	32.5
	50-4.5-5.7	34.7	38.8	31.8	32.4	32.9	32.2
	100-4.5-5.7	38.2	43.5	34.3	37.2	34.1	34.4
	150-4.5-5.7	40.8	45.6	35.7	38.6	34.2	35.8
	200-4.5-5.7	42.6	48.3	37.1	40.8	33.6	36.0
화성벼 (중생종)		7월22일	7월22일	8월11일	8월11일	8월21일	8월21일
	0-4.5-5.7	24.5	26.6	27.9	28.6	26.0	26.5
	50-4.5-5.7	25.4	27.9	27.9	29.0	26.7	26.5
	100-4.5-5.7	26.4	30.3	25.9	29.4	26.8	27.2
	150-4.5-5.7	27.5	32.2	29.2	32.5	28.5	29.6
	200-4.5-5.7	29.2	33.9	29.5	32.8	30.6	30.9
새추청벼 (중만생종)		7월20일	7월20일	8월9일	8월9일	8월19일	8월19일
	0-4.5-5.7	26.1	26.8	24.9	26.0	23.7	25.0
	50-4.5-5.7	24.9	26.2	27.1	27.8	24.7	24.6
	100-4.5-5.7	26.8	27.3	27.9	28.4	25.3	25.9
	150-4.5-5.7	27.1	28.7	28.2	30.4	27.2	27.5
	200-4.5-5.7	27.2	29.9	29.2	31.6	28.3	29.5

그림 3-3과 3-4는 오대벼의 질소시비량에 따른 SPAD 엽색도의 상관관계를 나타내었으며 수비처리시기인 유수 형성기의 최상위엽과 그 이전엽 모두 1%의 높은 통계적 유의성을 보인 직선적 상관을 나타내었다.

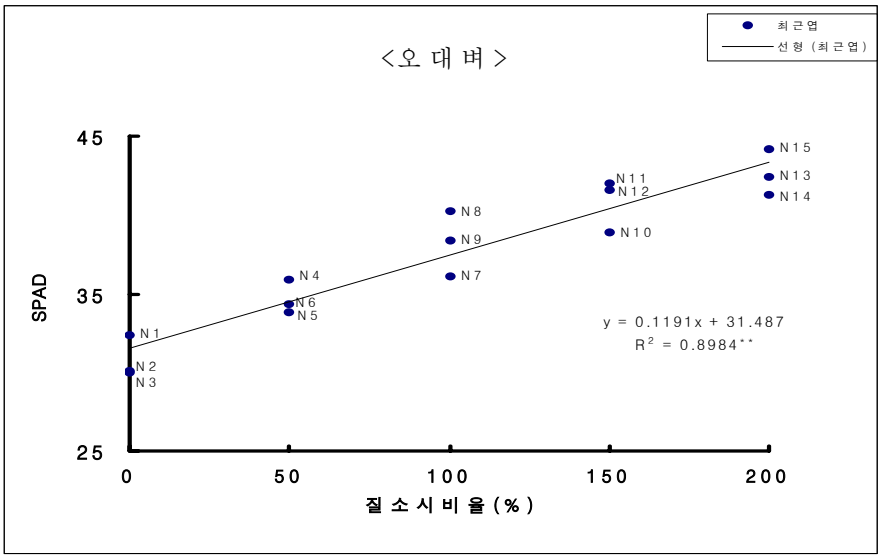


그림 3-3. 벼 잎의 질소시량과 SPAD값의 상관

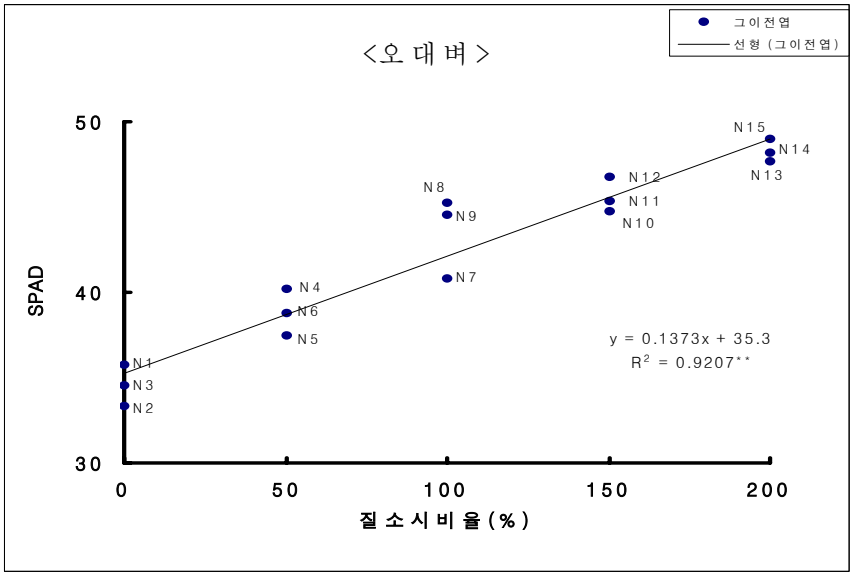


그림 3-4. 벼 잎의 질소시비량과 SPAD값의 상관

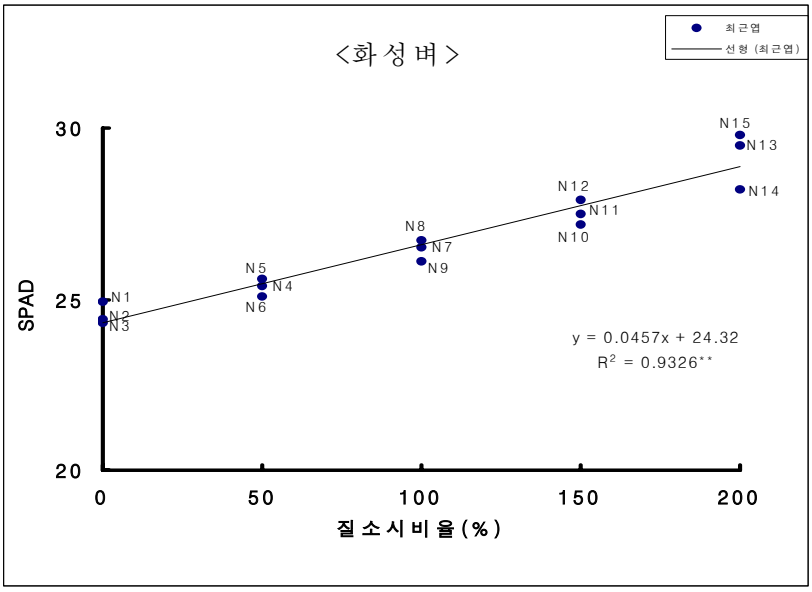


그림 3-5. 벼 잎의 질소시비량과 SPAD값의 상관

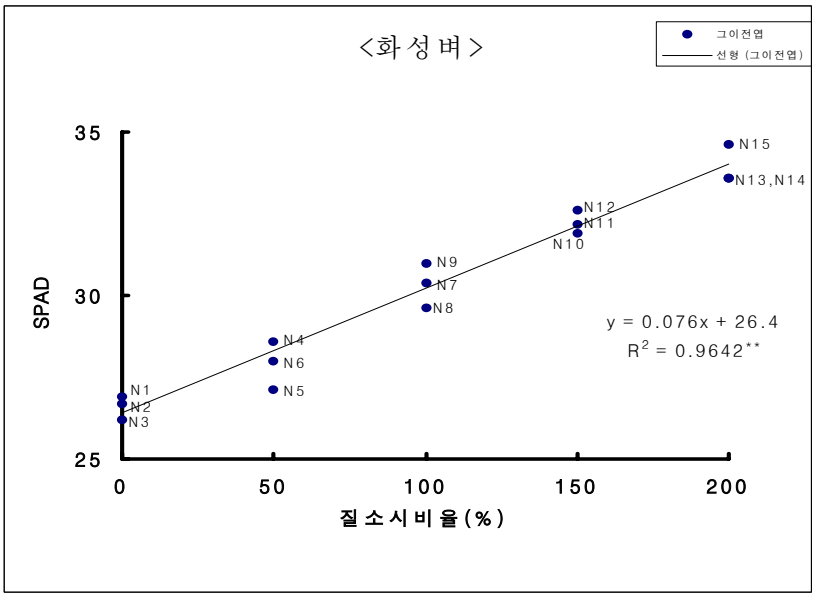


그림 3-6. 벼 잎의 질소시비량과 SPAD값의 상관

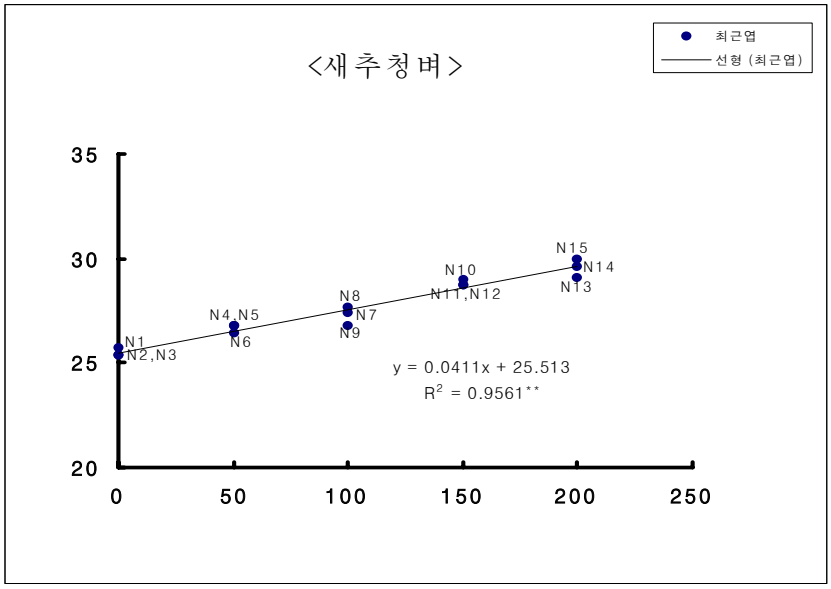


그림 3-7. 벼 잎의 질소시비량과 SPAD값의 상관

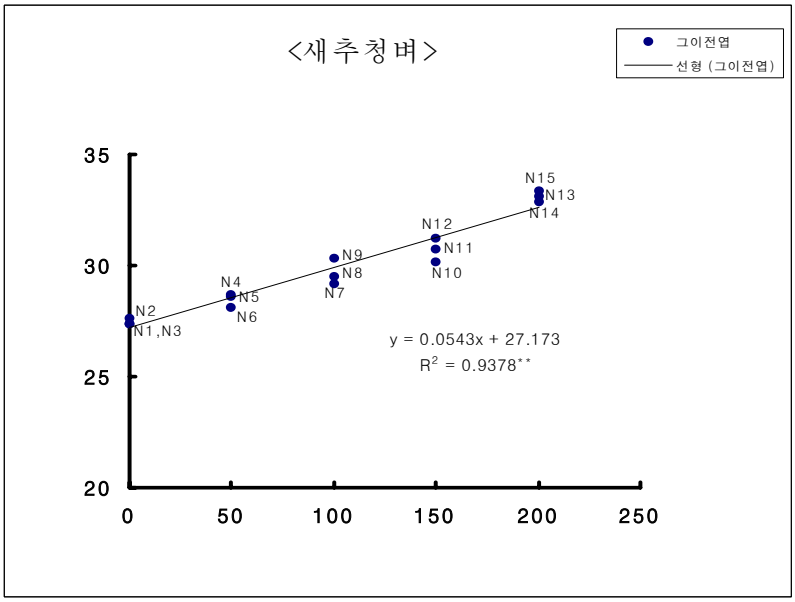


그림 3-8. 벼 잎의 질소시비량과 SPAD값의 상관

표 3-7은 벼 품종 및 질소수준별 수량비교를 하였으며 벼 수량에서도 질소시비량 증가에 따라 높은 수량을 각각 보였다.

표 3-7. 벼 품종 및 질소수준별 수량비교

품종벼	질소시비율(%)	출수기(월. 일)	등숙비율(%)	수량(g/pot)
오대벼	0	7.27	78.0	7.63 c
	50	7.26	71.8	10.89 bd
	100	7.27	77.9	17.33 b
	150	7.27	85.0	25.11 a
	200	7.27	81.3	28.72 a
화성벼	0	8.22	95.2	9.56 c
	50	8.22	95.1	12.80 c
	100	8.19	95.7	22.15 b
	150	8.22	96.1	29.39 ab
	200	8.21	95.5	35.87 a
새추청벼	0	8.22	94.4	10.09 d
	50	8.22	91.8	13.28 cd
	100	8.21	94.0	20.67 bc
	150	8.21	89.6	23.75 ab
	200	8.21	95.5	30.64 a

2) 벼 재배용 디지털질소측정기 개발 폿트 시험 Ⅱ

중부지방의 대표적인 장려품종 일품벼의 질소수준별 벼 주요생육시기에 따른 엽색도 측정에서도 질소시비량 증가에 따라 일정한 SPAD값 증가를 보였다(표 3-8).

표 3-8. 질소수준별 벼 주요생육시기의 엽색도 차이

품종	질소수준 (표준시비량,%) N-P_2O_5-K_2O	이앙후 45일 (7.10)		출수전 30일 (7.25)		출수전 10일 (8.14)		출수기 (8.24)	
		최근엽	그 이전엽	최근엽	그 이전엽	최근엽	그 이전엽	최근엽	그 이전엽
일품벼 (중만생종)	0-0-0	24.8	27.1	25.1	26.0	24.1	24.9	24.6	22.9
	0-4.5-5.7	25.6	28.0	25.7	27.5	26.3	26.5	24.0	22.9
	25-4.5-5.7	26.3	29.0	26.2	26.8	26.9	28.4	27.1	25.6
	50-4.5-5.7	26.9	30.2	25.5	26.9	26.3	27.8	27.2	26.3
	75-4.5-5.7	27.6	31.7	25.5	26.0	26.2	28.8	28.9	27.4
	100-4.5-5.7	30.2	34.1	26.5	27.4	27.1	28.4	29.1	28.5
	125-4.5-5.7	32.3	34.9	26.9	28.7	27.2	30.3	30.8	29.8
	150-4.5-5.7	31.9	35.2	26.5	28.3	29.8	31.8	31.6	30.2
	175-4.5-5.7	32.9	37.0	27.3	29.3	29.9	32.8	32.8	31.6
	200-4.5-5.7	33.3	37.4	28.6	30.6	32.9	34.7	34.2	33.3

그림 3-9와 3-10은 일품벼의 출수전 35일경 최상위엽과 그 이전엽의 엽색도를 측정한 결과 1~5% 통계적 유의성을 보였으며 직선적 상관을 각각 보였다. 특히 엽색도 측정시기는 수비 처리시기라고 할 수 있는 유수형성기경에는 최상위엽의 그 이전 잎을 측정하는 것이 유리할 것으로 판단되었다.

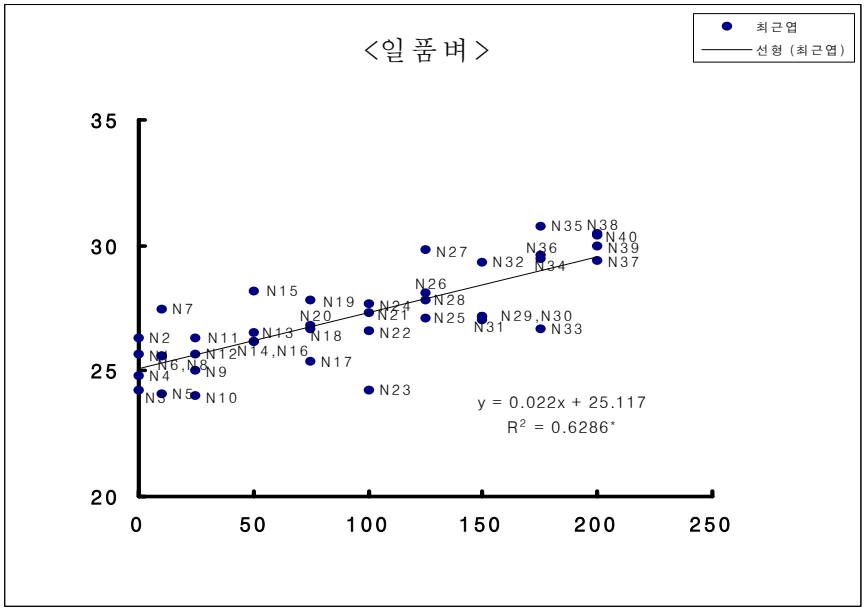


그림 3-9. 일품벼의 질소시비량과 SPAD값과의 상관

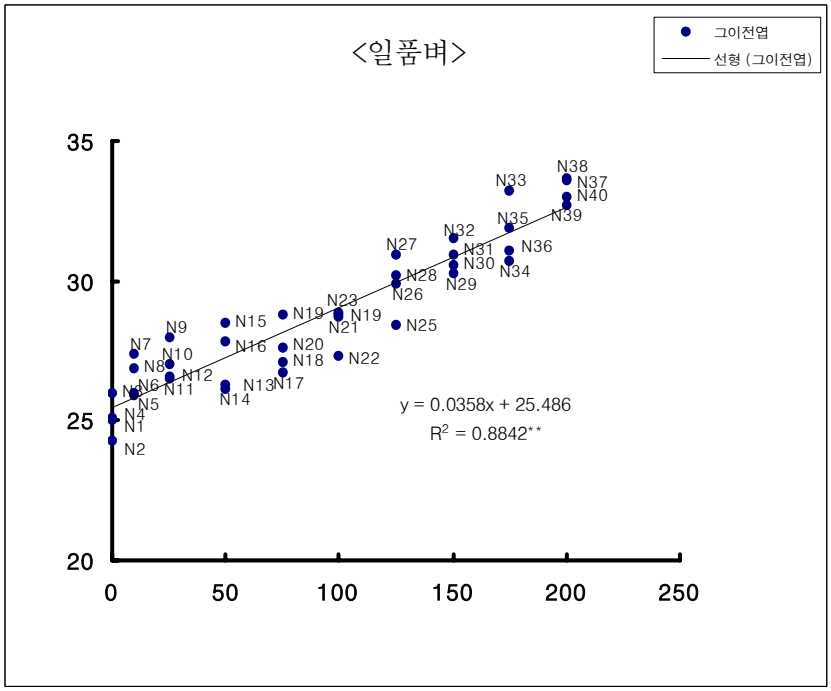


그림 3-10. 일품벼의 질소시비량과 SPAD값과의 상관

표 3-9는 일품벼의 질소처리수준별 벼 수량을 나타내었으며 질소처리량 증가에 따라 일정한 수량증가를 각각 보였다.

표 3-9. 일품벼의 질소처리증가에 따른 벼 수량차이

품종	질소시비율(%)	출수기(월. 일)	등숙비율(%)	수량(g/pot)
일품벼	N-P-K=0	8.25	87.9	9.36 d
	0	8.24	88.4	10.15 d
	25	8.25	89.6	10.30 d
	50	8.24	88.6	12.71 cd
	75	8.22	86.0	12.99 cd
	100	8.22	90.4	19.89 bc
	125	8.22	88.1	23.21 b
	150	8.24	90.4	26.43 ab
	175	8.21	90.9	31.36 a
	200	8.21	95.1	34.04 a

3) 벼 재배용 디지털질소측정기개발 포장시험

1차년도 포장시험은 작물시험장, 경기도농업기술원, 농가포장에서 질소수준에 따른 엽색도 측정 및 질소량 분석을 통한 상관분석을 하였다(그림 3-11). 벼 재배 포장에서 2001년 8월 19일 지엽(flag leaf)의 엽색도 값을 측정한 후 측정한 잎을 시료 채취하여 건조 시킨 후 실험실에서 질소 분석을 각각 하였다. F1~F15는 농가포장(경기 화성) 시료이며 N1~N15는 작물시험장 벼 연구포장, K1~K15는 경기도 농업기술원 벼 연구포장에서 얻은 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 엽색도 값(SPAD 값)과 잎의 전 질소 함량간에는 y=9.6351x +16.051의 직선식과 r^2=0.5515로서 1%의 고도의 유의성이 인정되었다. 특히 본 시료는 일정 지역내의 필지, 품종을 고려하지 않고 무작위로 잎의 엽색도 차이에 따라 엽색도 값 측정과 측정한 잎의 질소 함량을 분석 한 결과이므로 시사해 주는 바가 매우 크다.

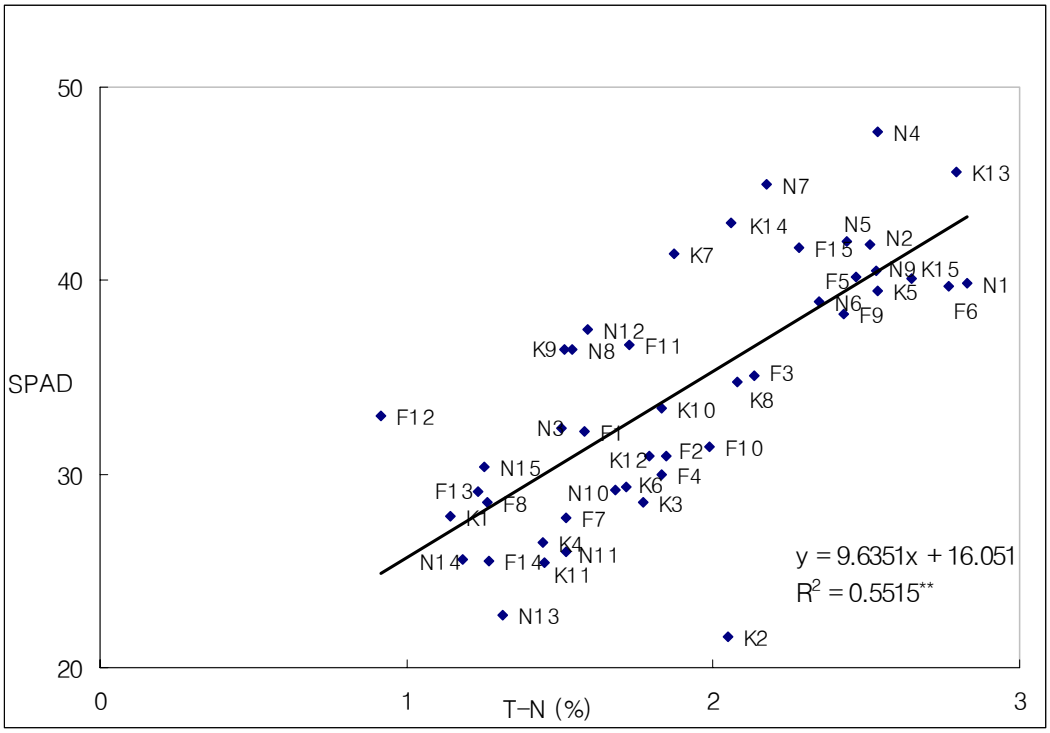


그림 3-11. 벼 잎의 엽색도 측정치와 질소 함량과의 상관관계

4) 마늘재배용 디지털질소측정기개발 폿트시험

폿트시험에서 질소시비량 증가에 따른 엽색도와 pot 토양내의 NO_3-N는 정의상관이 있었으며(그림 3-12), 1%의 높은 통계적 유의성이 인정되었다.

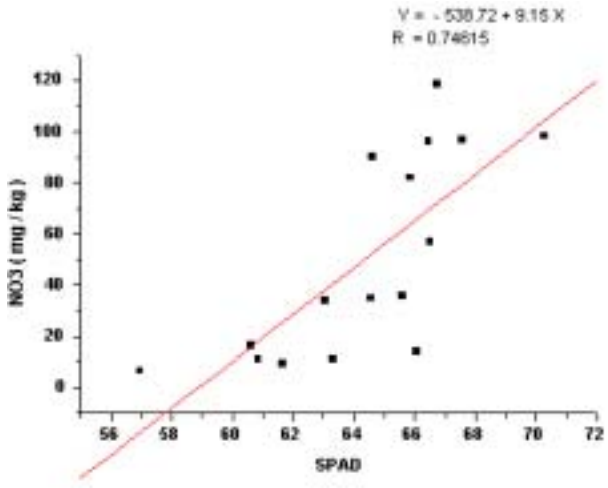


그림 3-12. pot토양의 NO3와 제5엽의 SPAD값과 전체처리 상관관계

또한 제 5엽의 SPAD값과 총 질소함량도 직선적 상관으로 나타났으며 통계적 유의성(1%)이 인정되었다(그림 3-13).

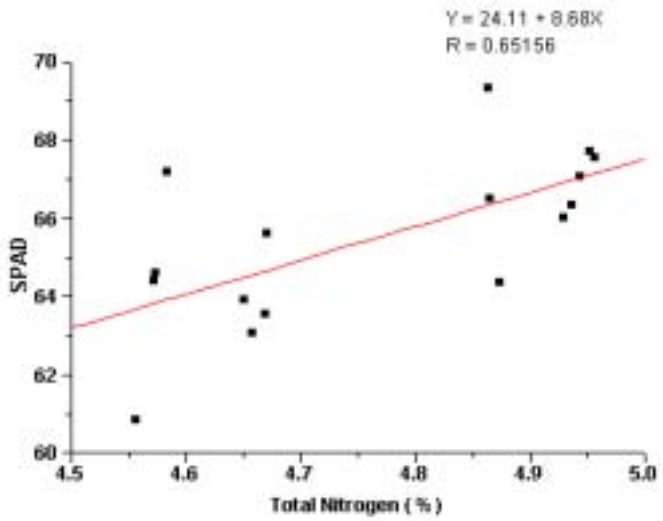


그림 3-13. pot토양에서 제5엽 SPAD값과 T-N의 전체처리 상관관계

그림 3-14는 토양내 NO_3의 함량과 마늘 제5엽의 총 질소함량도 높은 정의상관(γ=0.86211**)으로 나타났으며 마늘의 최종 수확물이라고 할 수 있는 구중과 마늘잎의 총 질소함량사이에도 높은 직선적 상관이 각각 인정되었다(그림 3-15).

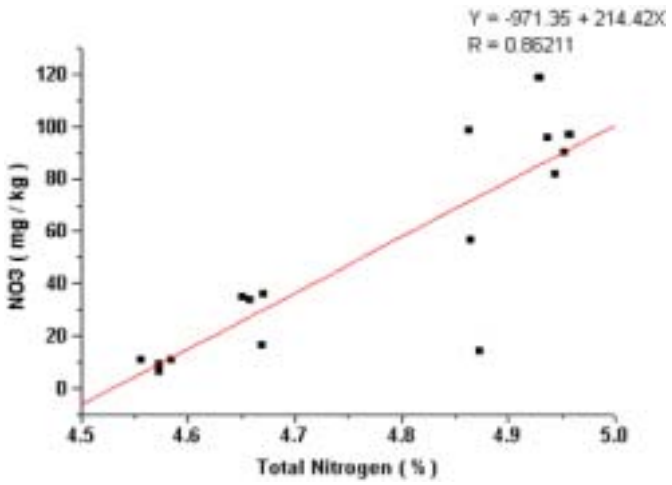


그림 3-14 pot토양의 NO3와 마늘 제5엽의 T-N과 전체처리 상관관계

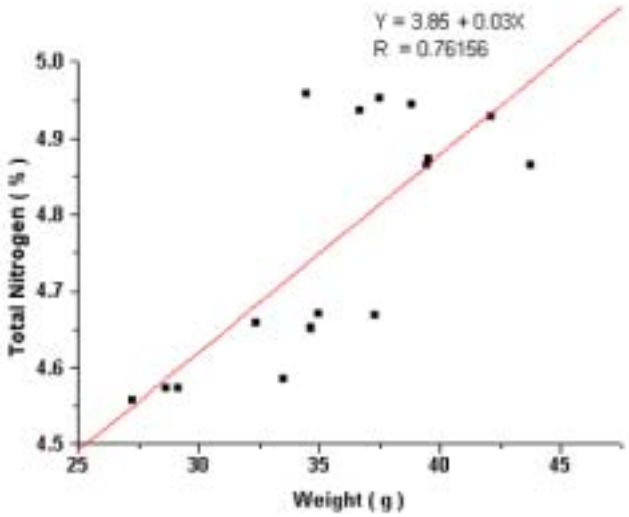


그림 3-15. pot토양 마늘의 구중과 마늘잎의 T-N값과 전체처리 상관관계

(2) 마늘재배용 디지털질소측정기개발 포장시험

밭 토양 마늘재배에서 마늘잎의 SPAD값과 토양내 NO_3-N 함량은 그림 3-16에서 보는바와 같이 정의 상관(₩=0.72245**)이 있었다.

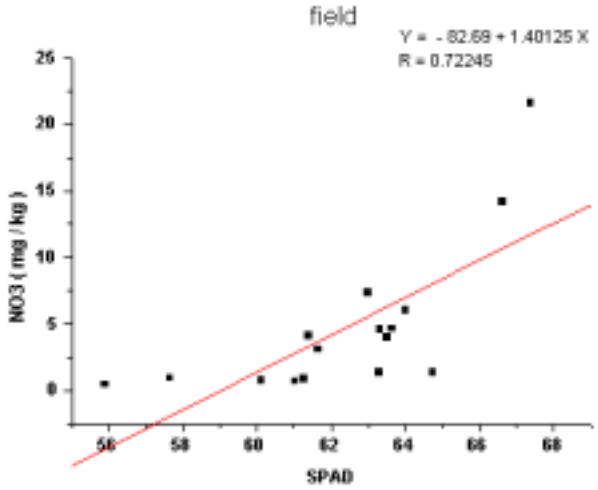


그림 3-16. 밭토양의 NO3와 제5엽 SPAD값과 전체처리의 상관관계

또한 밭 토양의 NO_3-N 함량과 마늘잎의 총 질소함량에서도 1%의 높은 통계적 유의성을 나타내는 직선적 상관을 보인 것으로 나타났다(그림 3-17).

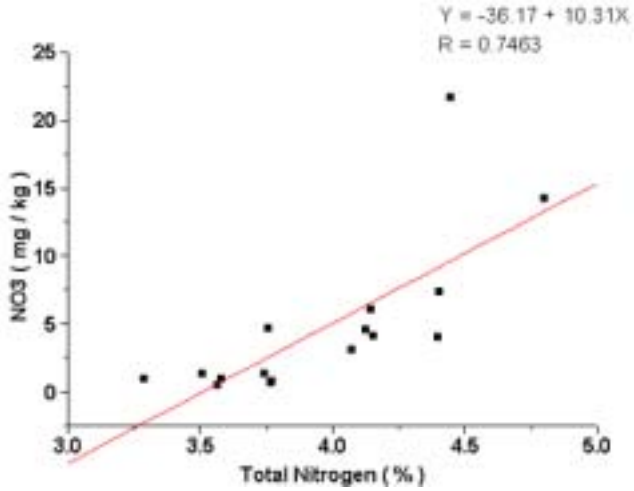


그림 3-17 밭토양의 NO3와 마늘 제5엽 T-N과 전체처리 상관관계

밭 토양 마늘재배에서 제5엽의 SPAD값과 총 질소함량간에도 그림 3-18에서와 같이 높은 정의상관이 있은 것으로 나나났다.

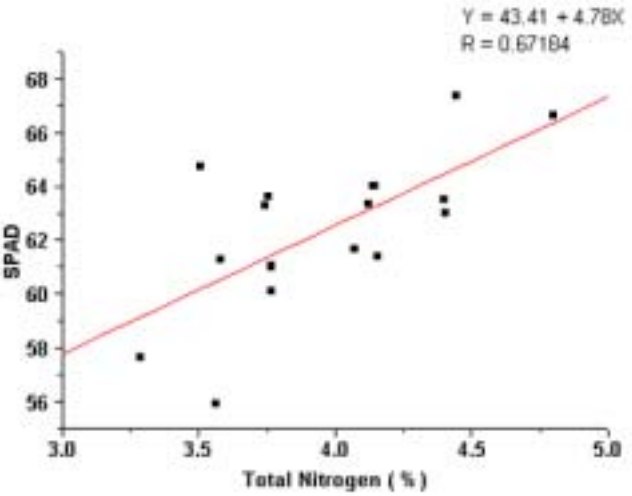


그림 3-18. 밭토양에서 제5엽 SPAD값과 T-N의 전체처리 상관관계

또한 마늘잎의 Chlorophyll 함량과 SPAD값 사이에도 그림 3-19에서 보는 바와 같이 1%의 통계적 유의성이 있는 높은 정의 상관관계로 각각 나타났다.

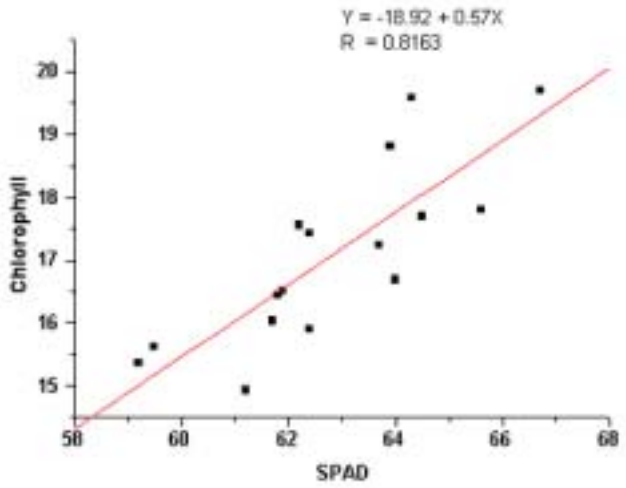


그림 3-19. 단양재배지에서 SPAD값과chlorophyll의 전체처리 상관관계

따라서 마늘재배에서 경제적 수확물이라고 할 수 있는 구중의 무게와 잎의 총 질소 함량간에도 높은 상관(r=0.72245**)이 인정되어(그림 3-20) 마늘재배에서도 생육 중 잎속의 질소함량을 측정할 수 있는 디지털질소측정기의 이용도 가능할 것으로 판단되어진다.

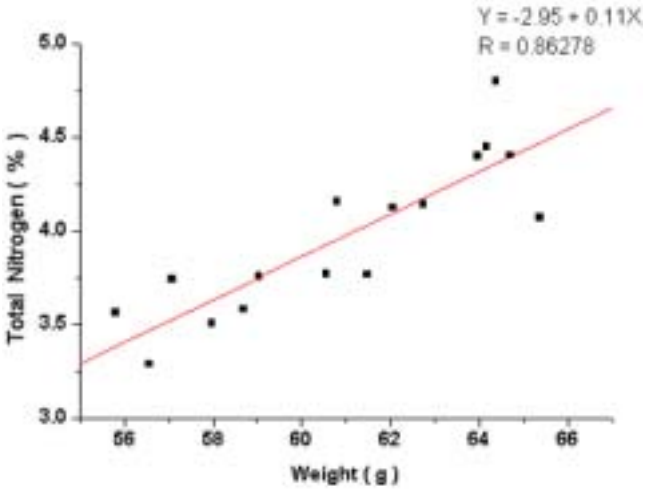


그림 3-20. 밭토양 마늘의 구중과 마늘잎의 TN값과 전체처리 상관관계

6) 디지털질소측정기 시작기 설계 및 제작

- 엽색도 측정 원리 구명을 하였다.
- 기존 측정기 (SPAD 502)의 구조 및 특징을 검토하였으며 전체적인 작동과정을 연구하였다.
- 디지털질소측정기 시작기 개발 시스템을 작성하였으며 본 연구개발 목표에 적합한 측정기 시스템으로 적용이 가능하도록 하였다.
- 디지털질소측정기 시작기 기본 구성도를 그렸으며 설계도를 작성하였다.
- 디지털질소측정기 시작기 회로도를 작성하여 벼, 마늘의 질소수준별 엽색도 측정이 가능하도록 하였다.
- 벼 잎의 SPAD값 측정과 질소함량 분석 성적을 통한 상관관계식을 얻어 분석한 결과 작물 잎속에 있는 질소량은 엽록소의 흡광도를 측정하면 쉽게 계산할 수 있는 것으로 나타났다.

(1) 회로도 작성 및 검정시험

디지털질소측정기의 회로도 Block Diagram은 그림 3-21과 같이 광원부, 흡광부, 증폭부, 중앙처리장치, 검출기 등으로 구성되어있다.

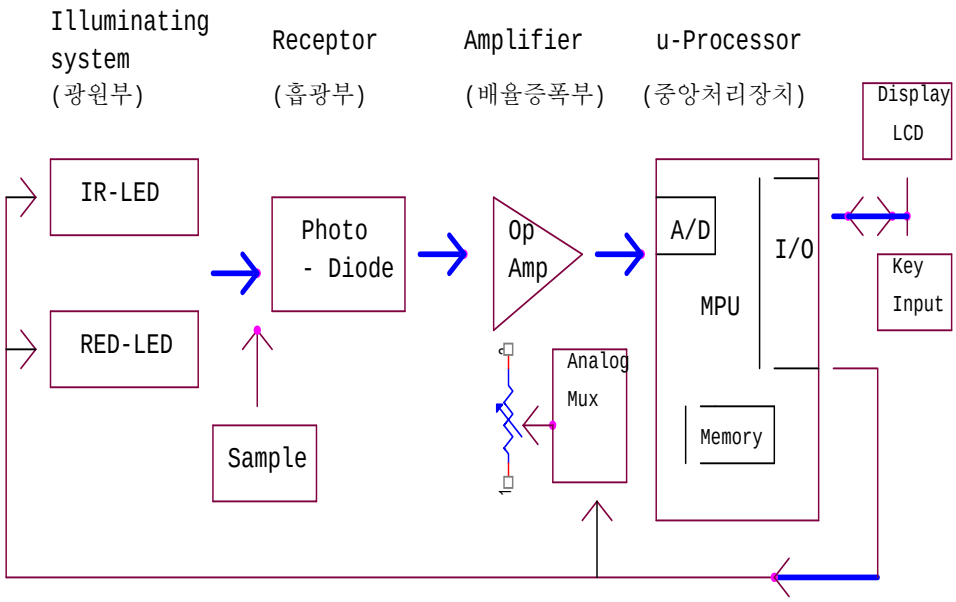


그림 3-21. 디지털질소측정기의 회로도 Block Diagram

회로도 기능별로 크게 2종류(회로도1, 2)로 구분할 수 있으며 각 기능은 다음과 같다(그림 3-22 및 3-23). 회로1은 광원부와 증폭부로 구성되어 있으며, 회로2는 MPU를 중심으로 A/D변환과 I/O제어부, Memory 등이 일체화 되어있는 구성이다. 최근에는 One-Chip Micom이 상당히 발전되어 A/D기능, Flash-memory 기능 등 종전에는 이러한 기능을 별도로 추가해야 했던 기능이 하나의 package로 통합되어 있어 회로설계의 간편함과 회로의 부피가 작아 질 수 있다. 또한 소모전력도 적은 Type이 있어 일반 건전지로 구동 할 수 있게 되었다. 차후 실제 제작하는 MPU는 Battery 구동용으로 Low-voltage형이며 외부LCD를 직접 동작시키는 형으로 사용할 것이다.

본 실험에서 사용하는 MPU는 Programing할 경우 손쉽게 지웠다 쓸 수 있는 기능을 할 수 있는 Flash 형이며 동작 전원을 5V로 사용하는 일반 Dip Type으로 사용하고 있다. IR-LED와 RED-LED의 공급전원

을 DC2.5V로 공급하며, Photo-Diode의 동작에 가장 적합한 최소의 구동전류를 계산하기 위하여 R3값을 각각 조정한다. IR-LED와 RED-LED를 각각 일정한 주기로 반복하여 동작하도록 하며, 이때 동작주기는 Photo-Diode의 동작에 가장 적합한 각각 주기가 되도록 결정하여야만 한다.
만일 IR-LED의 동작 주기에서 ON-Time을 길게하면 Photo-Diode는 출력이 포화되어 다음의 RED-LED를 동작할 경우 IR-LED가 완전히 방전하지 않은 상태에서 잔류전류가 남아있어 IR-LED와 RED-LED의 전류값이 혼합되는 현상이 발생하여 같은 측정을 반복할 경우 측정시 마다 그 값의 차이가 발생하여 올바른 측정값을 유출할 수 없다.
반면에 동작주기를 너무 짧게 하면 Photo-Diode가 동작할 수 있는 충분한 전류를 구동할 수 없어 정확한 측정값을 알 수 없게 된다. 이상과 같이 LED와 Photo-Diode를 동작시키는 방법에서 Battery로 동작할 수 있는 최소의 동작 전류와 최적의 측정값을 알 수 있는 동작주기를 결정하여야만 한다. Photo-Diode를 통한 광전류는 수㎂ 정도로 상당히 적은 출력전류이다. 따라서 이 값을 증폭하여야만 하므로 Op-amp와 Feed-back 저항을 사용하여 전류를 전압으로 변환하면서, Feed-back 저항의 값을 변경하여 증폭도를 조정하도록 했다. 콘덴서 C2는 Photo-Diode의 동작 시 발생하는 광전류 ripple을 제거하며 출력특성을 완만히 해주기 위한 적분용으로 사용하고 있다. 콘덴서 용량이 클 경우는 ripple은 많이 제거하는 역할을 할 수 있으나 응답 특성이 느려지는 현상이 발생하여 다음 동작에 영향을 준다. 용량이 너무 적을 경우는 ripple 제거의 영향은 그다지 효과는 없으나 응답특성을 빠르게 할 수 있는 효과가 있으며, 폴리스티롤 콘덴서 등을 사용할 경우는 전류와 온도특성이 우수하여 효과가 있다.
MPU에서 Analog-mux 14051을 동작하여 각각의 배율을 선택하며, 증폭된 신호는 MPU의 A/D단으로 입력된다. 본 MPU는 A/D 10bit의 분해능으로 동작특성이 우수하며, Vref를 2.5V로 함으로써 최하 2.4mV까지의 분해능을 구현할 수 있다.

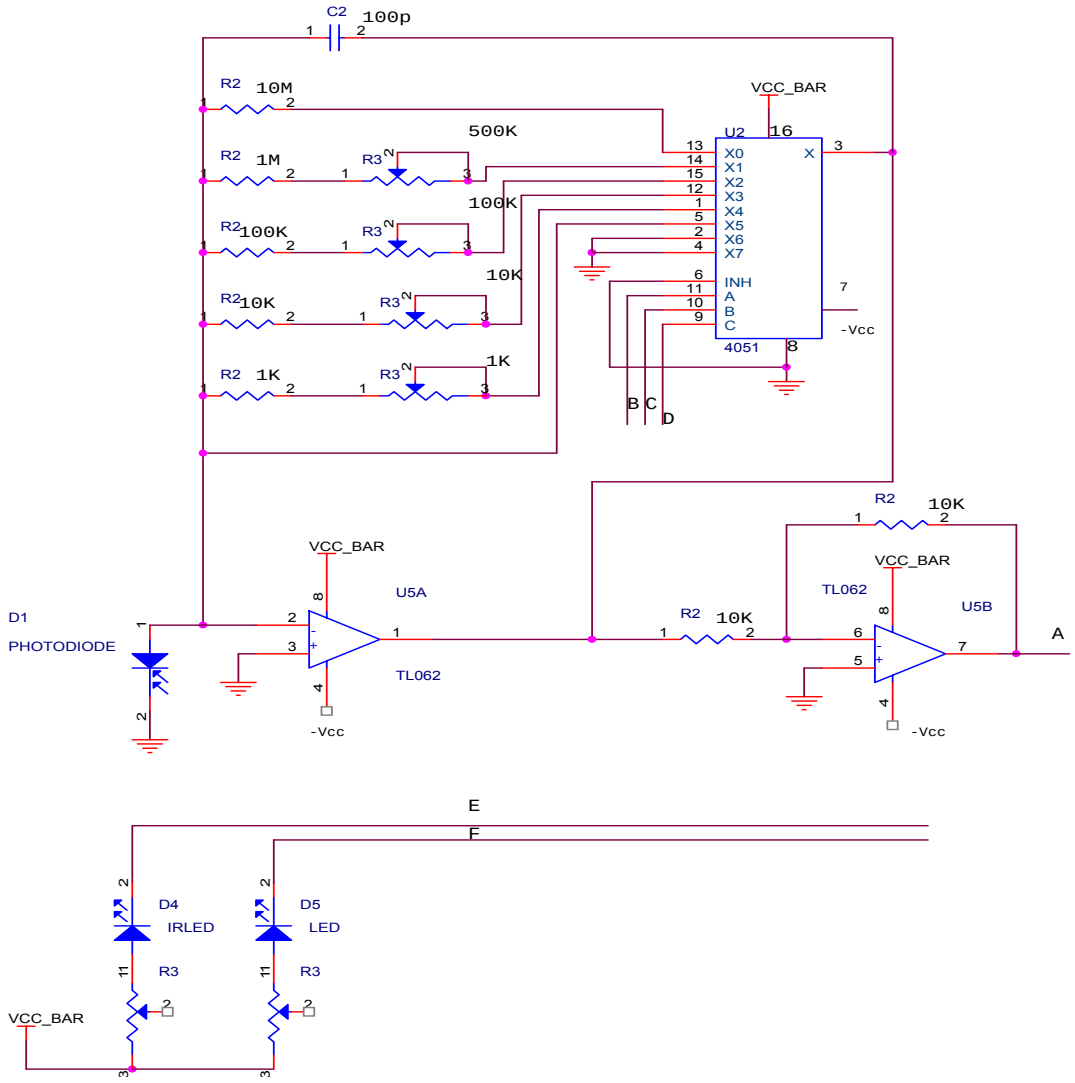


그림 3-22. 디지털질소측정기 회로도 1

따라서 증폭도를 결정할 경우 최하 2.4mV에서 최대 2500mV까지의 10000배 증폭도를 설계할 수가 있어 본 실험의 모든 시료의 투과광은 충분히 측정할 수 있다. A/D 변환된 값은 MPU의 내부Memory에 저장되며, IR-LED와 RED-LED로부터 동작한 Photo-Diode의 입사광 I₀(λ1) ,I₀(λ2) 와 투과광 Iᴛ (λ2), Iᴛ (λ1)를 계산하여 외부 Memory에 저장하며 LCD로 흡광도(A)와 함께 표시한다.

MPU는 내부에 데이터를 저장하는 Memory가 있으나 본 장치는 별도로 외부 Memory를 추가 사용하여 512k byte까지 데이터를 저장할 수 있도록 되어있다. 이 외부메모리는 시비판정을 위한 작물별 기초자료 데이터를 저장하며, 차후 현장에서 연속으로 데이터 저장을 할 수 있는 Data-Logging 기능으로 사용하기 위하여 설계제작 되어있다.

RS232통신 기능을 사용하여 필드에서 Modem등의 통신기능을 이용하며 사용자 PC와 연결하여 ON-LINE으로 데이터를 전송할 수 있도록 설계제작 되어있다.

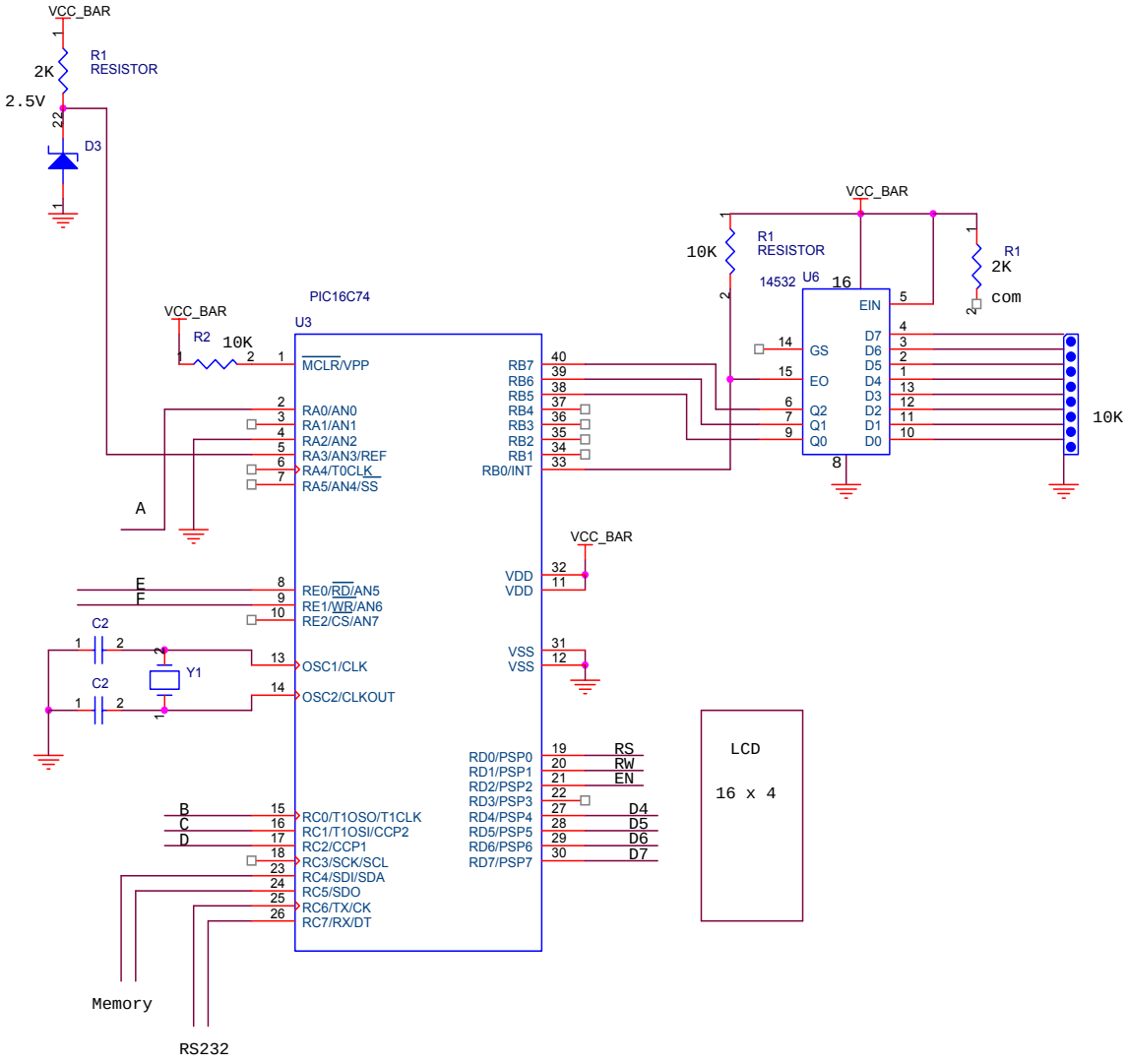


그림 3-23. 디지털질소측정기 회로도 2

(2) 디지털질소측정기 시작기 출력특성

본 흡광도는 SPAD라는 특정 데이터를 비교하기 위한 것이 아니며, 광 조사후 흡광도를 유출하기 위한 데이터로 각 센서 입사광과 투과광을 확인함으로 인하여, 출력특성의 직선성과 보정 등을 규명하고자 실시했으며(표 3-10), 시스템회로와 센서를 가장 적합한 방법으로 구현하기 위한 데이터를 유출하고자 실험한 데이터이다.

흡광도 (A) = log(I0(λ1)/IT (λ1)) - log(I0(λ2)/IT (λ2))

= log{I0(λ91)IT (λ2) / IT (λ1)I0(λ2)} 로 따라서

입사광 I0(λ1) ,I0(λ2) 와 투과광 IT (λ2), IT (λ1)를 측정하여 결과를 유출한다.

표 3-10. 디지털질소측정기 시작기 흡광도 유출시험

시료1: 청색 셀룰로스판 1.8mm

증폭도 x 10 / 동작전류 15mA	입사광 (I0)	투과광 (IT)	흡광도 (A)	비고
IR-LED1 (λ2)	780 mV	670 mV	0.06777	광조사거리
RED-LED1(λ1)	446 mV	358 mV		약 3mm

시료2: 청색 셀룰로스판 1.8mm

증폭도 x 50 / 동작전류 15mA	입사광 (I0)	투과광 (IT)	흡광도 (A)	비고
IR-LED1 (λ2)	780 mV	3880 mv	0.076353	광조사거리
RED-LED1(λ1)	446 mV	1780 mV		약 3mm

시료3: 청색 셀룰로스판 3.6mm

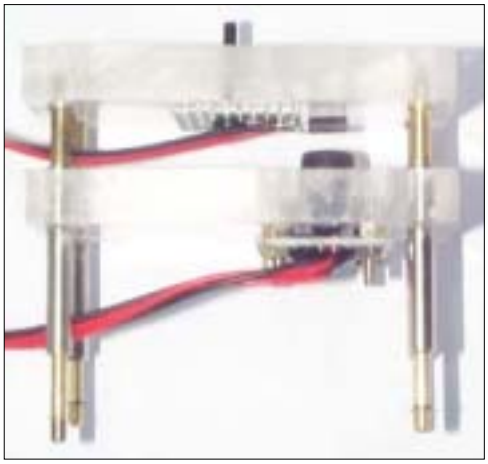
증폭도 x 10 / 동작전류 15mA	입사광 (I0)	투과광 (IT)	흡광도 (A)	비고
IR-LED1 (λ2)	780 mV	3750 mV	0.268085	광조사거리
RED-LED1(λ1)	446 mV	1640 mV		약 3mm

시료4: 잡초

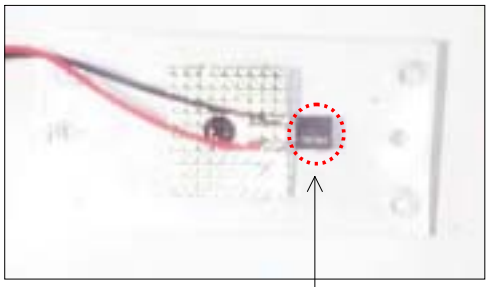
증폭도 x 100 / 동작전류 15mA	입사광 (I0)	투과광 (IT)	흡광도 (A)	비고
IR-LED1 (λ2)	780 mV	1890 mV	0.194136	광조사거리
RED-LED1(λ1)	446 mV	890 mV		약 4mm

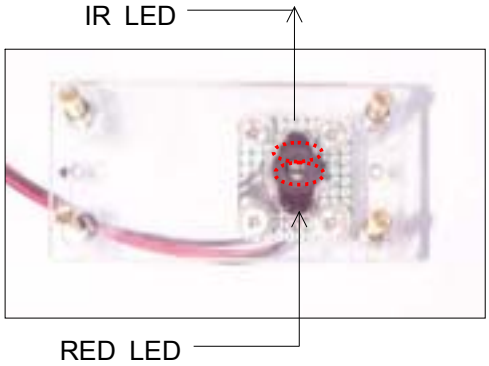
(3) 디지털질소측정기 시작기

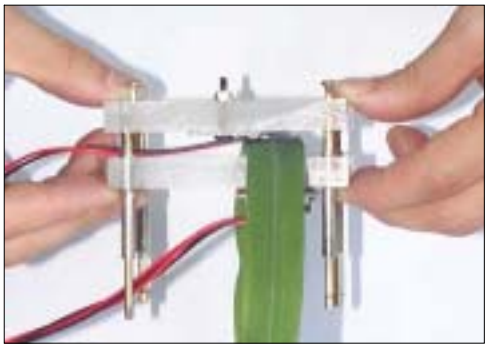
① 기능별 실체도



시료삽입부 Jig 외형







시료 삽입 후 Jig을 누른다

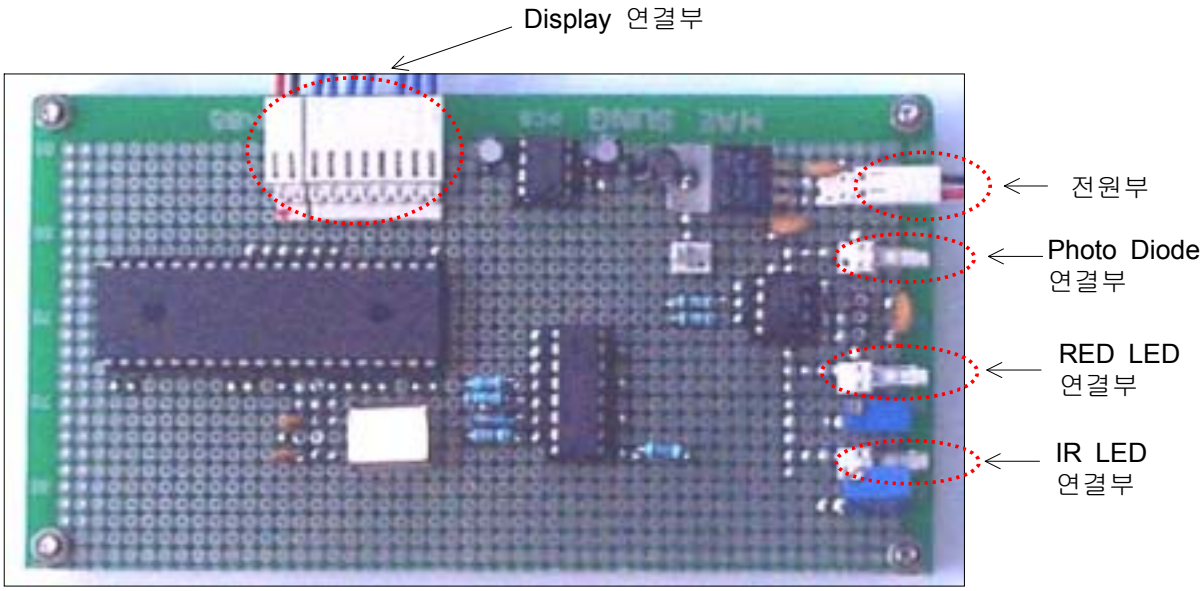
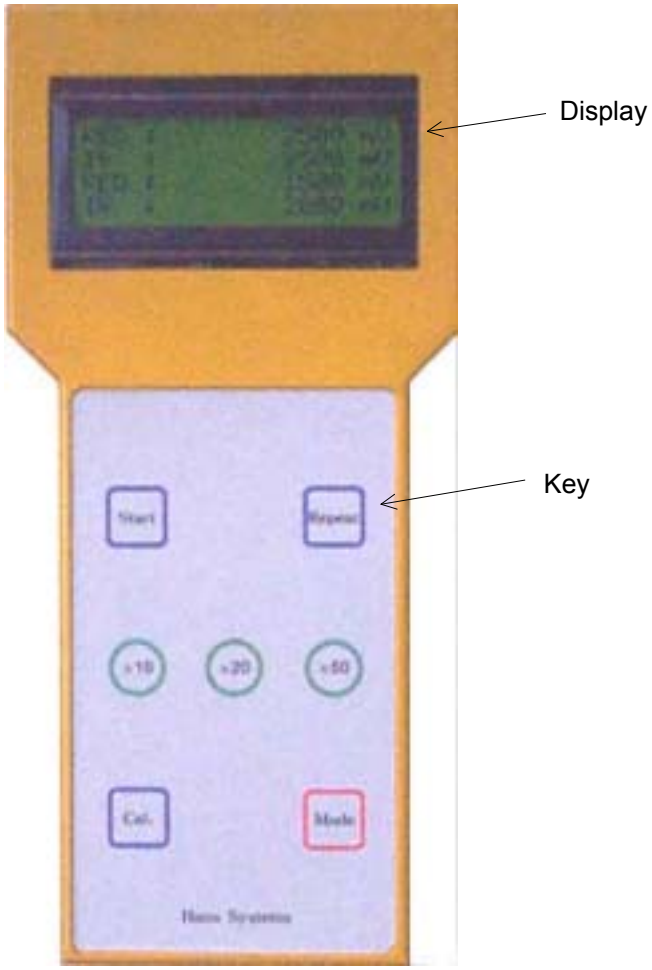


그림 3-24. 디지털질소측정기 시작기 기능별 설계도

② 디지털질소측정기 시작기 I



본체외형

본체크기 : W105 × H223 × D40 mm

그림 3-25. 디지털질소측정기 시작기 본체

(4) 디지털질소측정기 시작기 특징

본 실험의 결과 배율증폭에 대한 입사광과 투과광이 시작기의 설계에 비하여 출력특성이 양호하다고 판단되며 시작기의 광조사 부분을 산란이나 외란의 영향이 없도록 개선하면 현재 사용중인 센서로도 안정된 우수한 특성을 유출할 수 있다고 판단된다. 추후 계속하여 Photo-Diode를 여러 종류로 실험하여 가장 적합한 파장의 출력을 발췌 하고자 하며, 회로의 소모 전류량을 줄여 3V 건전지로 사용할 수 있도록 개선하고자 한다. 차후 실제의 시료와 비교 측정할 수 있는 데이터를 준비하여 본 시작기로 측정한 데이터와 비교하여 측정결과 데이터를 유출하고자 하며, 사용하려는 IR-LED와 RED-LED를 박막형으로 국산화하여 Package를 줄이고 Photo-Diode는 입사광 면적이 크고 소형의 것을 입수하여 실용화 할 수 있도록 제작하고자 한다.

7) 디지털질소측정기 개발원리 및 프로그램 구축

(1) 엽록소의 흡광분광도 특성

엽록소는 식물이 광합성(photosynthesis)을 하는데 매우 중요한 요소로 a, b 두 종류가 있으며 빛을 흡수하여 탄수화물을 만들어 식물에 영양을 공급하는 중요한 역할을 한다. 일반적으로 엽록소는 잎에 제일 많이 있고 일부 다른 조직에도 소량 존재한다. 엽록소의 크기는 약 5㎛이며 잎을 초록색으로 보이게 하는 주원인이다. 가을이 되면서 식물 주변의 영향(기온의 감소, 수분의 감소, 일조량의 감소) 때문에 잎 속의 엽록소가 분해되어 점차 줄어들면서 잎의 색은 초록색에서 노랑색 또는 주황색으로 변하게 된다. 엽록소를 구성하는 주요 성분은 질소이다. 따라서 질소의 양은 광합성 량에 직접 영향을 미치기 때문에 비료를 공급해주어야 할 시기 결정은 매우 중요하다. 비료의 공급시기를 작물에 존재하는 엽록소의 양을 측정하여 결정할 수 있다. 그림 3-26은 벼 잎 속에 포함된 엽록소의 흡광 분광도로 벼 잎은 파랑 및 빨강 영역의 빛을 흡수하므로 초록색으로 보인다. 엽록소의 함량을 측정하는 방법은 일정량의 잎을 잘게 잘라서 아세톤으로 엽록소만 우려낸 용액의 흡광도($A = \log[I_O/I_T]$; 여기서 I_O: 입사광의 세기, I_T: 투과광의 세기)를 재어 A = abc (a: 흡광계수, b: 투과 거리, c: 농도)의 관계에서 농도 c를 계산하여 잎 단위 무게 당 엽록소의 함량을 구한다. 최근 잎의 엽록소 농도를 바로 재는 방법이 고안되어 엽록소계에 이용되고 있으며 이들은 잎의 단위 면적 당 엽록소의 함량에 비례하는 수치를 제공하므로 과학영농을 가능하게 한다.

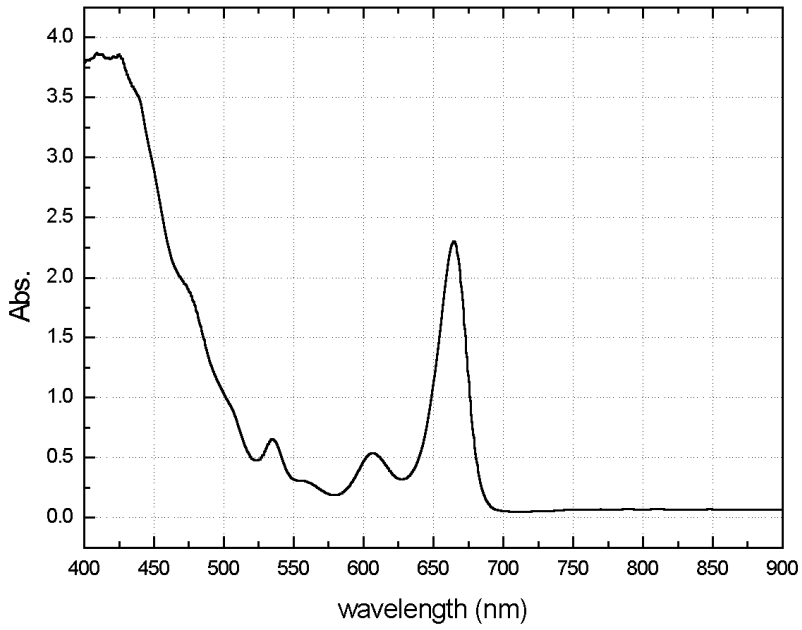


그림 3-26. 엽록소의 흡광분광도

잎을 그대로 시료로 사용하여 투과광의 세기를 재어 계산한 측정광도(M)는 식물 잎의 조직에 의한 산란도(S)와 엽록소에 의한 흡광도(A)의 복합 효과, $M = A + S = \log[I_O/I_T]$이므로 오차가 생긴다. 따라서 산란도를 보정해야만 정확한 흡광도, 즉 정확한 엽록소 함량을 얻을 수 있으므로 입사광 세기(I_O)와 투과광 세기(I_T)를 두 파장, 즉 엽록소가 흡수하는 파장($\lambda1$)과 흡수하지 않는 파장($\lambda2$)에서 재어야 한다. 즉, $\lambda1$에서는 $M(\lambda1) = A(\lambda1) + S(\lambda1)$ 이며, $\lambda2$에서는 $A(\lambda2) = 0$이므로 $M(\lambda2) = S(\lambda2)$ 이다. 산란도가 파장에 따라 달라지지 않는다면, 즉 $S(\lambda1) = S(\lambda2)$ 이면 $A(\lambda1) = M(\lambda1) - S(\lambda1) = M(\lambda1) - S(\lambda2)$이므

로 정확한 흡광도를 계산할 수 있다. 이를 정리하면

$$M(\lambda 1) = A(\lambda 1) + S(\lambda 1) = \log \frac{I_O(\lambda 1)}{I_T(\lambda 1)} \quad ------(1)$$

$$M(\lambda 2) = A(\lambda 2) + S(\lambda 2) = \log \frac{I_O(\lambda 2)}{I_T(\lambda 2)} \quad ------(2)$$

식 (2)에서 A(λ2)는 엽록소가 흡수하지 않는 파장의 흡광도이므로 A(λ2)의 값은 0이 된다. 따라서 식 (2)는 식 (3)으로 표현 할 수 있다.

$$M(\lambda 2) = S(\lambda 2) = \log \frac{I_O(\lambda 2)}{I_T(\lambda 2)} \quad ------(3)$$

여기서 S(λ1) = S(λ2) 이므로 식 (3)을 식 (1)에 대입하면

$$M(\lambda 1) = A(\lambda 1) + \log \frac{I_O(\lambda 2)}{I_T(\lambda 2)} = \log \frac{I_O(\lambda 1)}{I_T(\lambda 1)} \quad --(4)$$

이된다. 식 (4)를 정리하여 엽록소가 흡수하는 파장에서의 흡광도, A(λ1)로 표현하면

$$A(\lambda 1) = \log \frac{I_{O(\lambda 1)}}{I_{T(\lambda 1)}} - \log \frac{I_{O(\lambda 2)}}{I_{T(\lambda 2)}}$$

$$= \log \frac{I_O(\lambda 1) I_T(\lambda 2)}{I_T(\lambda 1) I_O(\lambda 2)} \quad ------(5)$$

이 된다. 따라서 정확한 엽록소의 흡광도, 즉 엽록소 함량은 식 (5)에 의하여 구할 수 있으며 네 가지 측정치, 즉 엽록소가 흡수하는 파장에서의 입사광 세기 $I_O(\lambda 1)$와 투과광 세기 $I_T(\lambda 1)$, 엽록소가 흡수하지 않는 파장에서의 입사광 세기 $I_O(\lambda 2)$와 투과광 세기 $I_T(\lambda 2)$로부터 계산할 수 있다.

(2) 기존 엽색도계의 구조 및 작동원리

새로운 엽록소계를 만들기 위하여 현재 사용 중인 엽록소 계의 구조와 작동원리를 살펴보았다. 사용한 엽록소 계는 미놀타의 SPAD-502로 엽록소 양을 측정하기 위하여 널리 사용한다. SPAD-502는 그림 3-27과 같이 광원, 검출기 및 증폭회로, 마이크로프로세서(microprocessor), LCD 표시장치, 누름단추(key pad)로 구성되어있다.

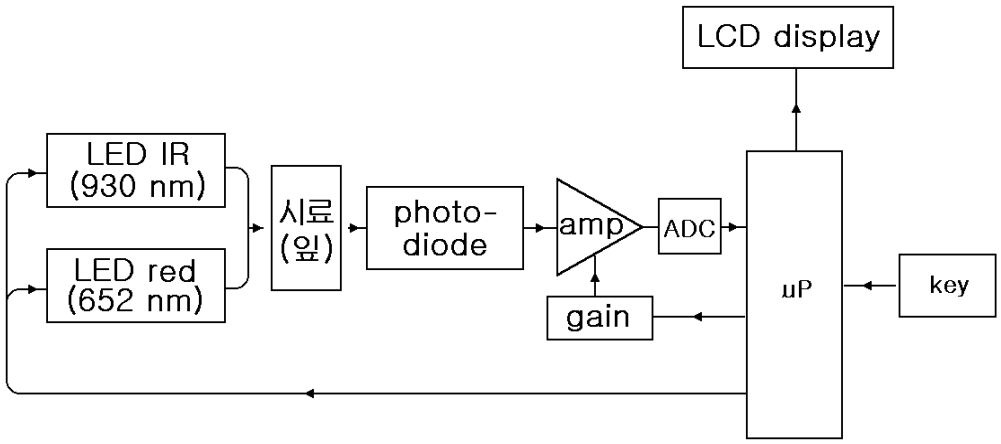


그림 3-27. 엽색도계(SPAD-502)의 구조

광원은 그림 3-27과 같이 두 종류의 발광 다이오드(light emitting diode, LED)로 되어있다. 즉 엽록소의 흡광도를 측정하기 위한 빨강색 (652nm) 발광다이오드와 시료의 산란도를 측정하기 위한 적외선 (930nm) 발광다이오드로 되어있다. 각각의 발광다이오드는 그림 3-28과 같이 적외선-빨간색-적외선 순서로 빛을 만든다. 발광다이오드에서 발생한 빛은 시료(잎)를 통과하면서 시료에 의해 흡수·산란되고 남은 빛만 검출기인 실리콘 광 다이오드(Si photodiode)에서 전기신호로 변환된다. 전기신호는 증폭기를 사용하여 그림 3-29와 같이 측정 가능한 세기의 신호로 만든 후 ADC(analog to digital converter)를 통과하여 디지털 신호로 변환된 후 마이크로프로세서에서 받아들이고 처리하여 화면에 SPAD 값을 표시한다. 또한 입력 버튼에 의해 자료의 평균값을 구할 수 있으며, 지울 수 있도록 되어있다.

그림 3-29는 사용한 엽록소 계의 CPU부분의 사진이며 그림 3-30은 검출기와 증폭기 부분으로 실리콘 광 다이오드와 증폭 회로를 볼 수 있다. 그림 3-31은 광원 부분으로 2개의 발광 다이오드를 볼 수 있으며 그중 위의 것이 빨강 발광 다이오드이며 밑의 것이 적외선 발광 다이오드이다.

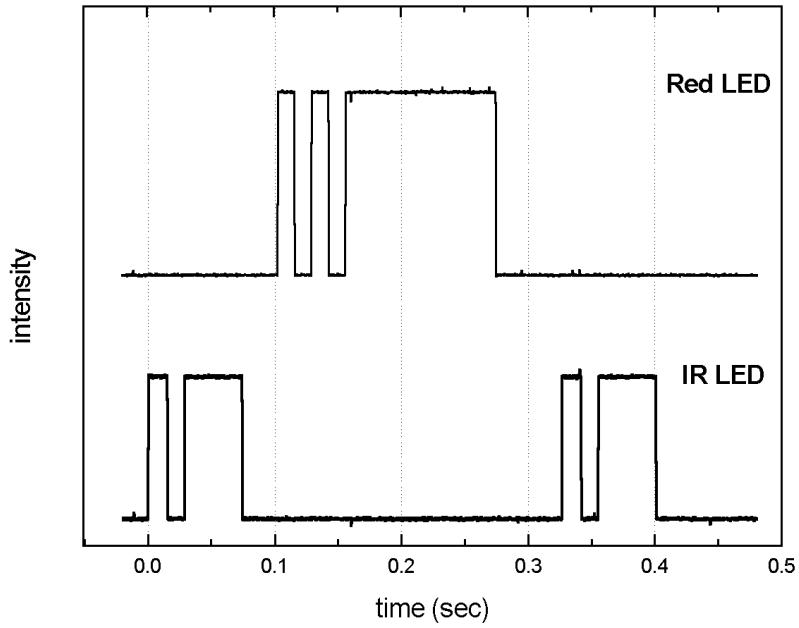


그림 3-28. 광원의 입력 신호

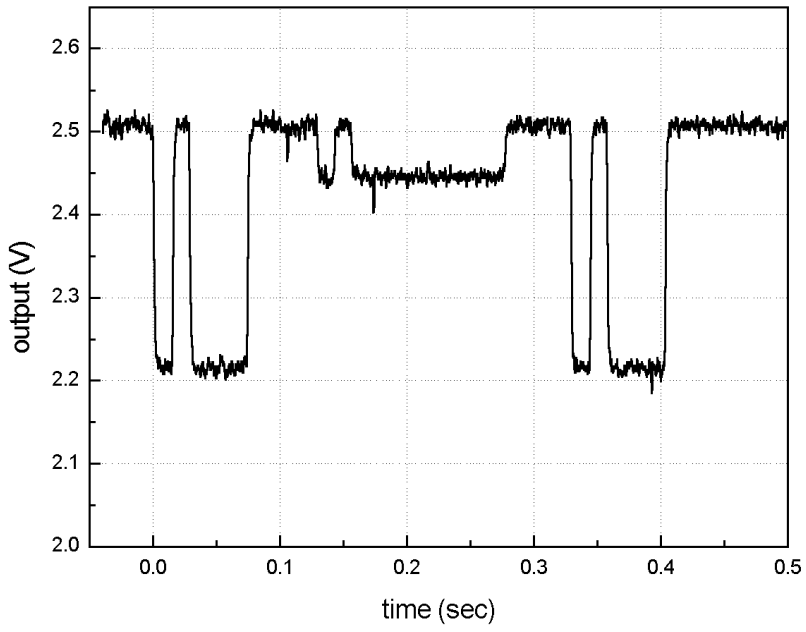


그림 3-29. 광 검출기의 출력 신호

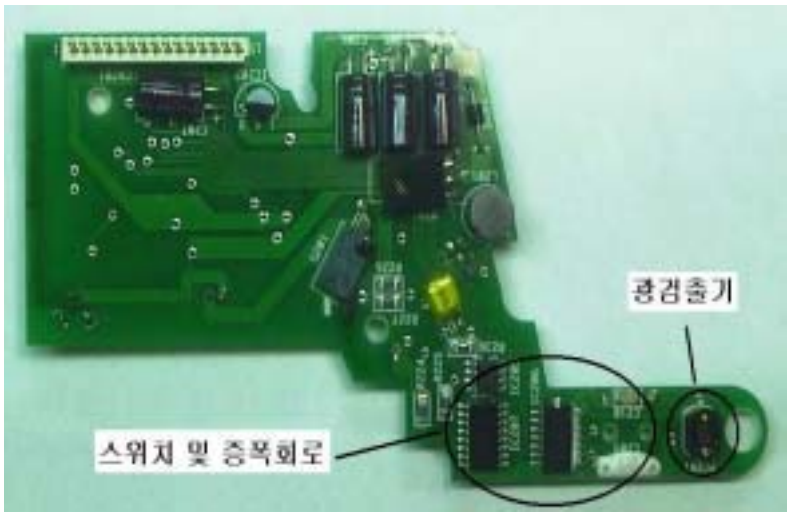


그림 3-30. 엽록소계의 검출기 및 증폭기부분

그림 3-31. 엽록소계의 광원 부분
위) 광원 덮개 아래) 발광다이오드 회로판

그림 3-32는 광원에서 나오는 빛을 분광기를 사용하여 측정한 것으로 각각의 발광다이오드가 내는 빛의 분광도를 나타낸다. 빨강 발광다이오드는 652nm에서 최대 봉우리 값을 가지고 있으며 반치폭은 16nm 이다. 적외선 발광다이오드는 930nm에서 최대 봉우리를 나타내며 반치폭은 41nm이다.

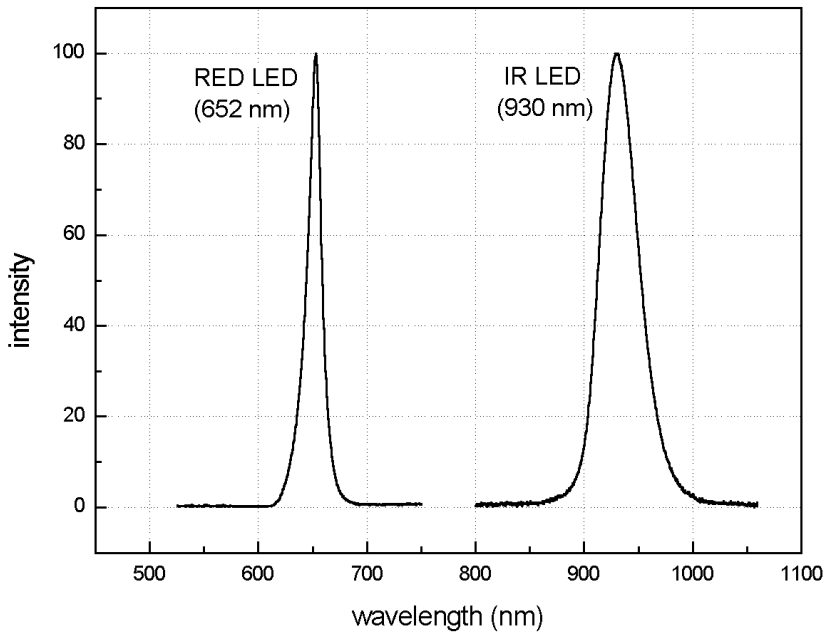


그림 3-32. SPAD-502 광원의 발광분광도

SPAD-502의 경우 전원 공급 스위치를 켜면 시료가 없는 상태에서 빨강 발광다이오드의 입사광 세기 $I_O(\lambda 1)$와 적외선 발광다이오드의 입사광 세기 $I_O(\lambda 2)$를 측정하여 장치를 초기화한다. 다음 시료를 넣고 빨강 발광다이오드에 의한 투과광 세기 $I_T(\lambda 1)$와 적외선 발광다이오드에 의한 투과광 세기 $I_T(\lambda 2)$를 측정하여 초기화한 값으로부터 SPAD 값을 계산하여 보여준다. 이때 시료를 통과한 투과광의 세기가 낮을 때에는 마이크로 프로세서가 증폭신호를 내어 증폭기의 증폭률(gain)을 10 배 또는 100 배로 변환한 후 투과광의 세기를 다시 측정한다.

SPAD-502에서 출력되는 SPAD 값(일반적으로 SPAD 값이라 부름)을 알기 위하여 파랑 셀로판지를 사용하였다. 파랑 셀로판지는 그림 3-33과 같이 빨강 영역의 빛을 흡수하고 적외선 영역은 흡수가 적어 SPAD-502를 보정하거나 SPAD값을 확인하기 좋은 시료이다.

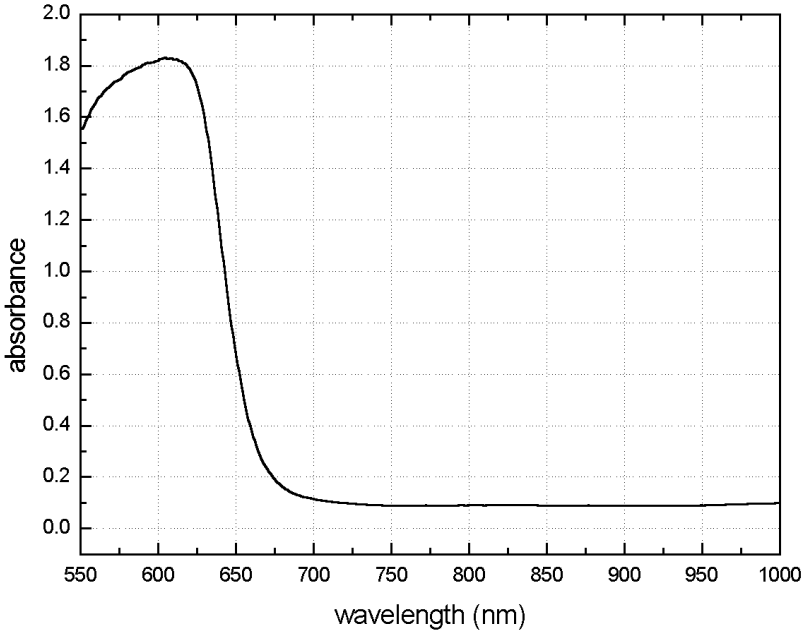


그림 3-33 파랑 셀로판지의 흡광분광도.

파랑 셀로판지를 1 장에서 12 장까지 늘리면서 SPAD-502를 사용하여 SPAD 값을 측정하고 SPAD-502 내부에 있는 증폭기의 출력 신호를 오실로스코프(LeCroy, LT342)로 측정하여 흡광도를 계산하여 SPAD 값과 비교하였다.

(3) 기존 엽색도계의 기능 및 테스트

그림 3-34와 3-35는 파랑 셀로판지의 수를 1 장에서 12 장까지 증가시키면서 광 검출기의 출력 신호를 측정한 것으로 그림의 왼쪽은 시료에 쪼여준 두 종류의 발광다이오드에 대한 입력신호이며 오른쪽은 광 검출기에 연결된 증폭기의 출력신호이다. 입력신호는 여러 단계의 맥류(pulse)로 되어있으며 파랑 셀로판지가 1 장인 경우 입력신호는 적외선 발광다이오드를 켜기 위하여 짧은 신호(0.1초)와 긴 신호(0.4초)가 각각 발생되고 빨강 발광다이오드 신호도 짧은 신호(0.1초)와 긴 신호(>0.4초)가 각각 발생 된 다음 다시 적외선 다이오드가 신호가 두 번 발생된다. 이러한 신호에 따라 각각의 발광다이오드가 켜지고 그 빛이 잎을 통과하여 전기적인 신호로 바뀌게 된다. 첫 번째 짧은 신호는 투과광을 측정하여 일정범위에 있는지 판단하기 위한 신호이며, 투과광의 세기가 일정범위에 있으면 다시 긴 신호를 내어 투과광의 세기를 측정하여 자료로 삼는다. 만약 투과광의 세기가 일정범위보다 낮을 때는 증폭기의 증폭률을 10 배로 증가 시키고 다시 짧은 신호를 내어 투과광의 세기를 다시 측정한다. 측정한 값이 일정범위에 있으면 긴 신호를 내어 투과광의 세기를 측정하고 자료로 삼고, 일정범위보다 낮을 경우 다시 증폭률을 100 배로 증가시키고 긴 신호를 내어 투과광의 세기를 측정하여 자료로 삼는다.

출력신호는 입력신호에 의해 동시에 발생되기 때문에 적외선 투과광 세기-빨강 투과광 세기-적외선 투과광 세기 순서로 발생한다. 이 두 종류(적외선 투과광 세기, 빨강 투과광 세기)의 신호세기로부터 시료의 엽록소가 흡수하는 파장에서의 흡광도를 구하고 SPAD 값과 비교하였다. 그림 3-34에서 출력신호는 파랑 셀로판지가 3장까지 증가할수록 감소하며 4장 째에서 다시 증가한 후 감소한다. 이는 파랑 셀로판지가 증가할수록 빨강 쪽의 투과광 세기가 감소하고 일정세기 이하로 되면 증폭률을 10 배로 증가시키기 때문이다.

시료의 흡광도는 그림 3-36에서 보여 지듯이 두 종류의 출력신호로부터 계산 할 수 있다. 빨강의 투과광 세기와 $I_T(\lambda 1)$ 적외선의 투과광 세기 $I_T(\lambda 2)$를 측정하고 시료가 없을 때 각각의 입사광 세기 $I_0(\lambda 1)$, $I_0(\lambda 2)$를 측정하여 식 (5)에 대입하면 빨강 영역에서의 흡광도를 계산 할 수 있다. 이렇게 얻은 장수에 따른 파랑 셀로판지의 흡광도와 SPAD 값을 표 3-11에 정리하였다.

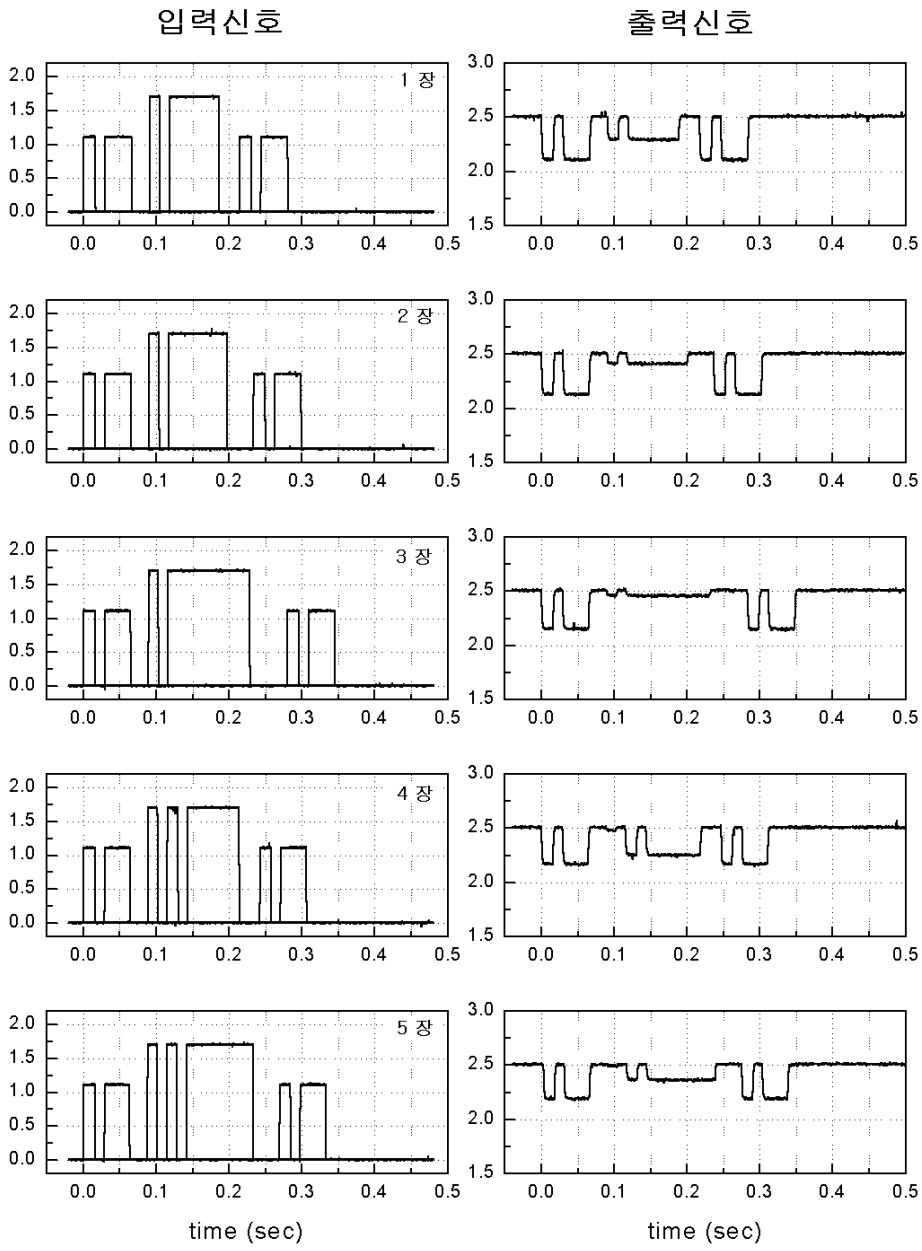


그림 3-34. 파랑 셀로판지의 장 수(1~5)에 따른 SPAD-502의 입·출력신호

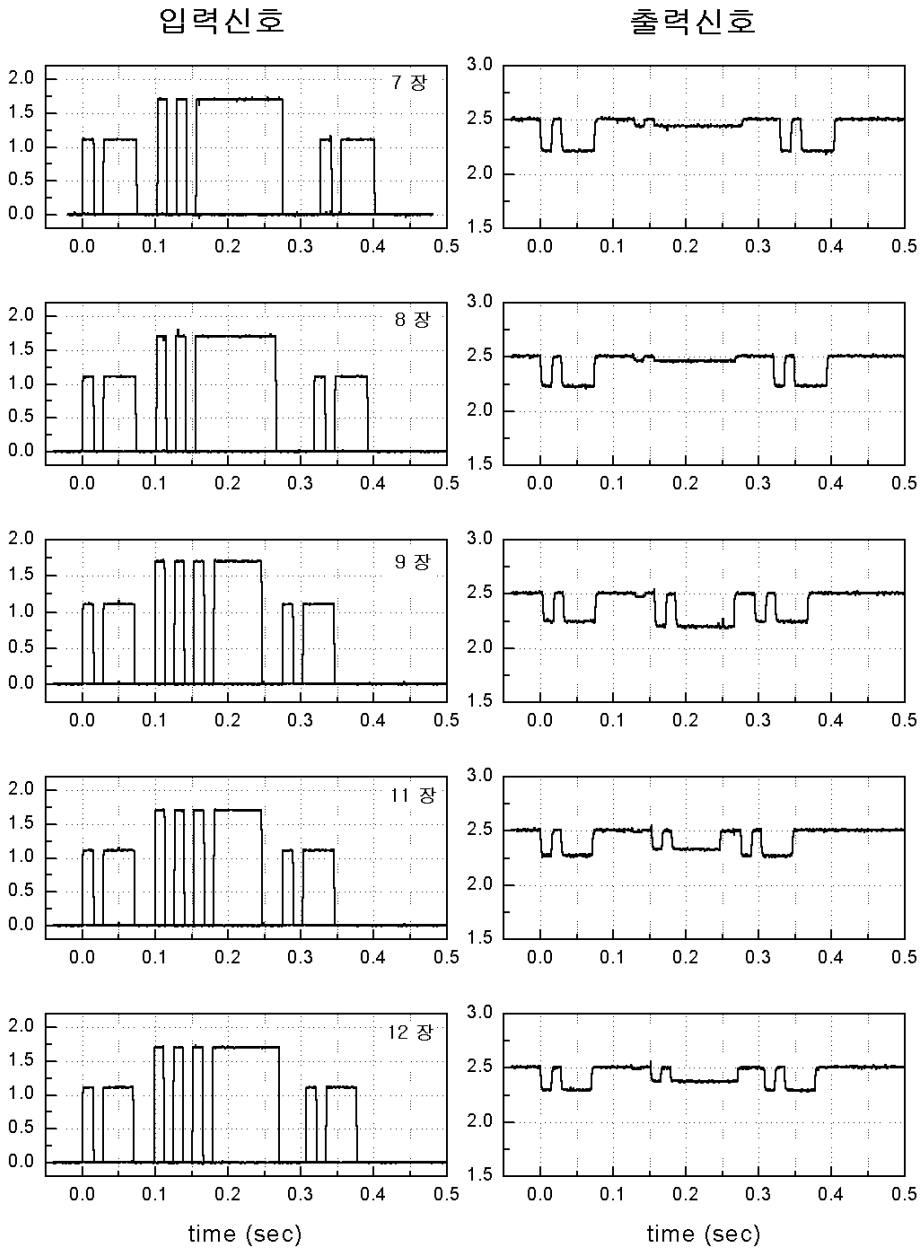


그림 3-35. 파랑 셀로판지의 장 수(7~12)에 따른 SPAD-502의 입·출력신호

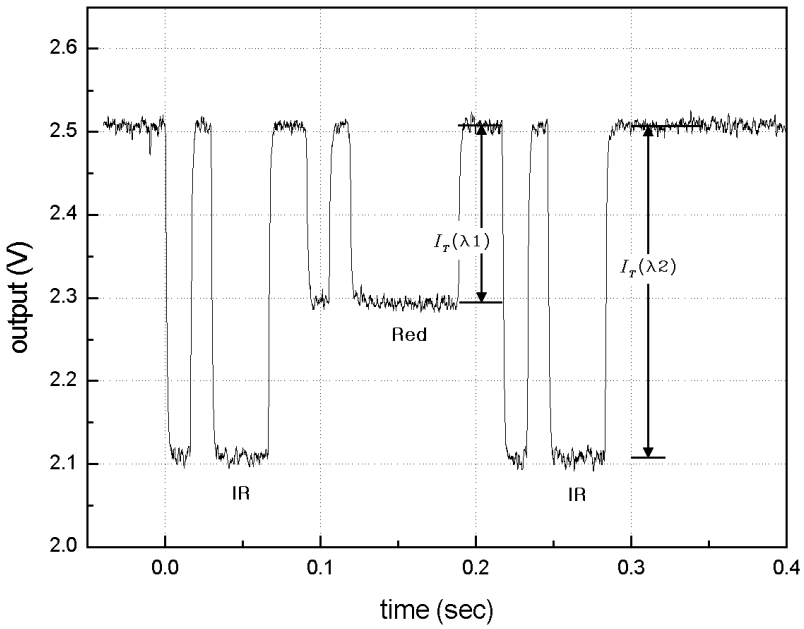


그림 3-36. SPAD-502의 출력신호(파랑 셀로판지 1 장의 경우)

표 3-11. 파랑 셀로판지의 SPAD 값에 따른 흡광도

시료 수(장)	SPAD값	Red*	IR**	Abs(λ1)	T-N(%)
1	14.8	21.44	40.06	0.468	0.03
2	28.5	9.497	37.92	0.798	1.26
3	38.7	4.828	35.45	1.063	2.30
4	48.3	2.542	33.94	1.322	3.31
5	56.1	1.485	31.87	1.528	4.12
7	68.7	0.620	29.54	1.875	5.47
8	73.9	0.428	27.76	2.009	6.00
9	79.9	0.278	25.93	2.167	6.61
11	85.3	0.176	23.41	2.321	7.22
12	88.4	0.133	21.44	2.403	7.54

* 빨간색의 입사광세기 $I_O(\lambda 1)$: 67.8

** 적외선의 입사광 세기 $I_O(\lambda 2)$: 43.1

그림 3-37과 표 3-11의 SPAD 값에 따른 흡광도의 그림으로 상관계수(R)가 0.99997로 빨강 영역에서의 흡광도와 비례하는 값임을 알 수 있으며 관계식은 다음과 같다.

$$SPAD = -1.002 + 37.25 \times Abs \qquad -----(6)$$

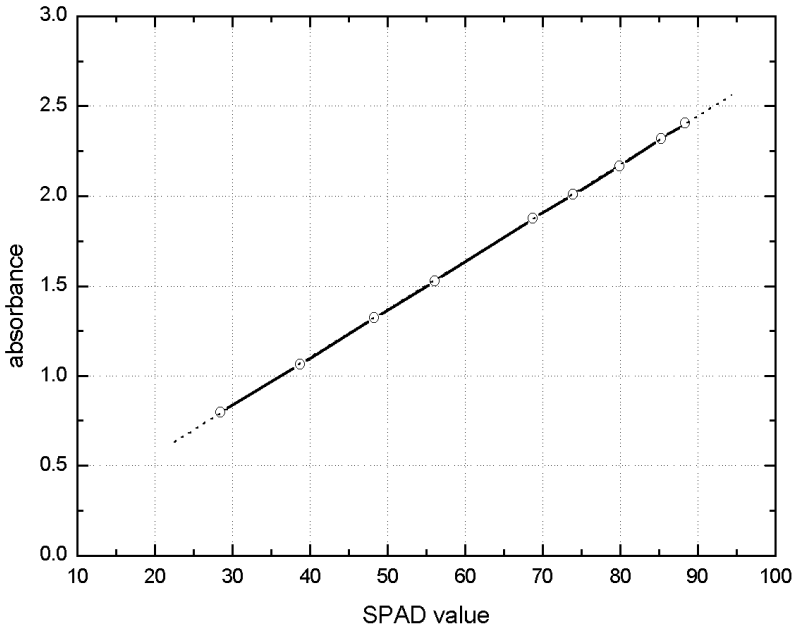


그림 3-37. 파랑 셀로판지의 SPAD 값에 따른 흡광도

표3-11의 T-N(%)는 농촌진흥청 작물시험장에서 SPAD 값에 따른 질소 함량을 측정한 결과로부터 계산한 값이다. SPAD 값은 식 (6)에 의하여 시료의 흡광도로부터 쉽게 계산 가능하다. 따라서 잎 속에 포함되어있는 엽록소의 함량은 흡광도에 비례하는 값이며 엽록소의 흡광도를 측정하여 쉽게 구할 수 있다.

SPAD 값은 엽록소의 함량에 관계된 값으로 비료를 주어야하는 시기를 결정하는 수치로 활용하고 있다. 작물의 잎에 존재하는 질소의 양은 엽록소의 양에 직접 관련되기 때문에 질소 함량은 매우 중요하다. 따라서 엽록소 계의 표시 내용을 SPAD 값 대신 엽록소의 함량이나 질소의 함량으로 표시하면 좋을 것으로 생각한다. 그림 3-38은 시료의 SPAD 값에 따른 질소 함량을 표시한 것으로 한국농업전문학교에서 제공한 실제포장에서 자라고 있는 벼의 엽색도를 측정한 것이다. 많은 자료가 실선에서 많이 벗어나 있지만 비례관계가 있음을 알 수 있다. 이 도표로부터 얻은 직선 관계식은 식 (7)과 같다. 식 (7)에서 SPAD 값이 0인 경우 질소 함량이 0이 아닌 다른 값을 보여준다. 이는 작물의 잎 두께가 일정하지 않고, 잎 내부에서 산란도가 다르며, 잎의 오염과, 잎의 수분 함량에 따라 다르기 때문이다

$$T-N(\%) = -1.666 + 0.1038 \times SPAD \qquad ------(7)$$

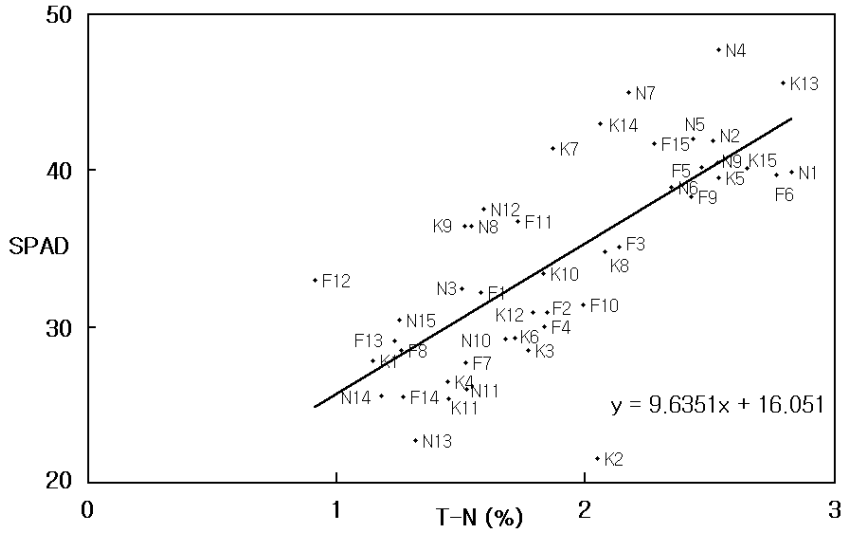


그림 3-38. 질소 함량에 따른 SPAD 값

(F1~ F15 : 농가포장, K1~K15; 경기도 농업기술원 시험포장, N1~N15; 작물시험장 벼연구포장)

한국농업전문학교에서 측정한 결과로부터 얻은 식 (7)의 SPAD 값을 식 (6)에 대입하면 흡광도와 질소 함량에 대한 직선관계식을 얻을 수 있다(식-8). 식 (8)은 흡광도와 질소 함량의 관계를 나타낸 것으로 작물의 잎 속에 있는 질소량은 엽록소의 흡광도로를 측정하면 쉽게 계산 할 수 있음을 보여준다.

$$T-N(\%) = -1.865 + 3.915 \times Abs \qquad --------(8)$$

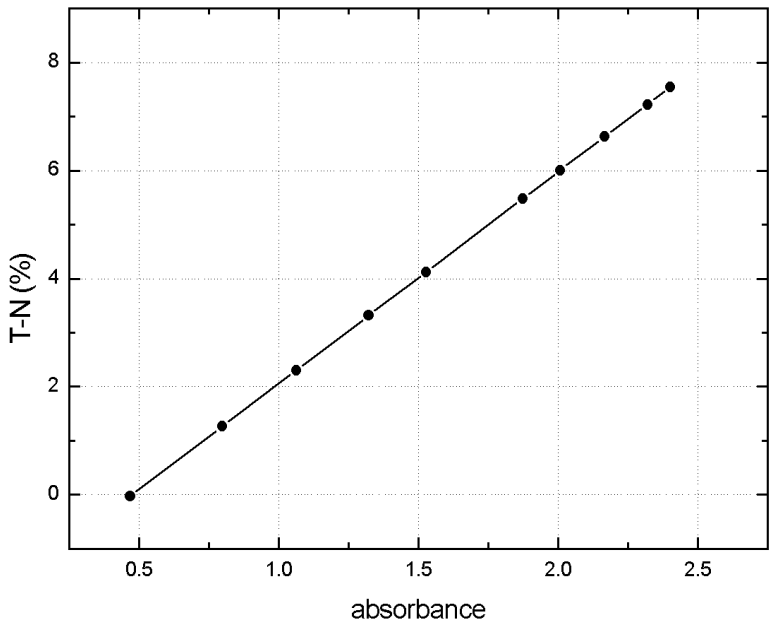


그림 3-39. 흡광도에 따른 질소 함량

그림 3-39는 흡광도에 따른 질소 함량을 보여주는 그림으로 흡광도와 질소함량이 비례함을 보여준다. 따라서 엽록소가 흡수하는 파장에서 입사광 세기와 시료의 투과광 세기 그리고 엽록소가 흡수하지 않는 파장(적외선 영역, 800 ~ 1000nm)에서 입사광 세기와 시료의 투과광 세기를 측정하고 이로부터 엽록소의 흡광도를 계산하면 쉽게 SPAD 값과 질소 함량을 구할 수 있다.

같은 작물이라도 시료의 두께나 수분 함량의 다를 경우 엽록소의 흡광도는 다르기 때문에 SPAD 값이나 질소 함량이 차이를 보인다. 특히 마늘잎과 같은 두꺼운 잎을 가진 작물의 엽록소 양(SPAD 값)을 측정 할 경우 이러한 현상이 두드러지게 나타나기 때문에 조심해야한다. 따라서 잎의 두께에 대해 영향이 적은 측정법(반사측정법, 형광측정법)에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 생각한다.

이와 같이 디지털질소측정기 개발은 기존 엽색도계(SPAD 502, Minota)의 기능 및 본 시작기 제작시험에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. SPAD 값(엽색도계-SPAD 502)은 엽록소의 흡광도에 비례하는 값이며, 흡광도 1 ~ 3.7의 값을 0 ~ 100사이의 값으로 표시한 것이다. SPAD 값은 흡광도를 측정하면 쉽게 계산할 수 있다.

$$SPAD = -1.002 + 37.25 \times Abs$$

2. 잎속의 질소 함량은 SPAD 값과 비례하며 흡광도로부터 계산 가능하다.

$$T-N(\%) = -1.865 + 3.915 \times Abs$$

3. 작물에 따라 SPAD 값 대신 단위 부피당 엽록소양 또는 질소량으로 대체 표시하는 것이 합리적이다.

4. 시제품에서는 930 nm의 적외선 발광다이오드 대신 830 nm의 적외선 발광다이오드를 사용하여 잎 내부에서 일어나는 산란에 의한 영향을 줄이도록 하였다.

마이크로프로세서와 플레쉬 기억소자를 사용하여 여러 종류의 작물에 대한 자료를 기억시키고 작물에 따라 사용하여야 하며, 잎의 두께에 영향을 받지 않는 측정법인 반사측정법과 형광측정법에 의한 엽록소 계에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

2. 2차년도

1)디지털질소측정기 시작기 LED 제작

엽록소계의 광원으로 사용하기 위하여 빨강과 적외선 발광다이오드가 함께 있는 발광다이오드 모듈을 준비하고 각각의 발광다이오드에서 나오는 빛의 상대 분광복사조도를 측정하였다. 발광다이오드는 한스 시스템에서 받은 것으로 Opto Hi Tec Corp사의 광통신용 발광다이오드인 OHC6685MD로 발광다이오드 소자의 간격과 빛을 발하는 모습은 디지털 카메라를 사용하여 측정하였으며 상대분광복사 조도는 Ocean Optics사의 USB2000 분광기를 사용하여 측정하였다. 또한 광원에서 나온 빛은 한쪽 방향을 빛의 세기가 편중되어 있기 때문에 광원에서 나온 빛이 작물의 잎을 통과할 때 두 종류의 발광다이오드에서 나오는 빛의 경로가 잎의 다른 부분을 지날 수 있다. 이렇게 다른 경로를 지나면 엽록소의 양을 정확히 측정할 수 없기 때문에 두 빛을 잎의 같은 부분을 통과 하도록 만들어야한다. 따라서 두 발광다이오드의 거리는 짧게 해야 하며 발광다이어드 전면부에 빛을 확산 시킬 수 있는 확산지(diffuser)가 있어야한다. 이러한 확산지로 사용 가능한 시료를 찾기 위해 한스시스템에서 준비한 5종류의 시료에 대한 발광다이오드 빛의 퍼짐에 대하여 알아보았다.

(1) LED 크기 확인

그림 3-40에서와 같이 발광다이오드소자의 거리는 0.6mm로 매우 짧아 엽록소계의 광원으로 사용할 경우 광원의 위치에 따른 오차는 적을 것으로 생각한다. 그림 3-41은 적외선 발광다이오드를 켠 사진으로 사람의 눈에는 보이지 않지만 디지털 카메라에 사용하는 감지기인 CCD는 적외선 영역까지 감지 할 수 있기 때문에 적외선 발광다이오드에서 나오는 빛을 측정 할 수 있다. 그림 3-42는 빨강 발광다이오드에서 나오는 빛을 측정 한 것이며 그림 3-43은 두 발광다이오드를 모두 켜고 측정한 것이다.

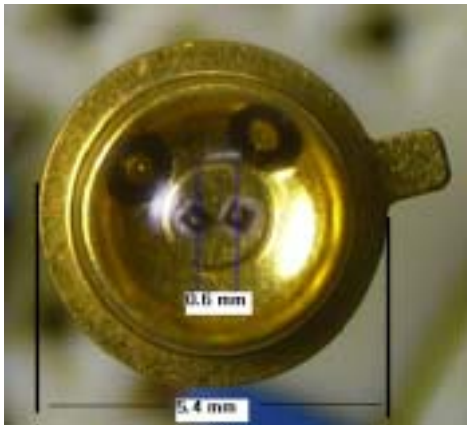


그림 3-40. 적외선, 빨강색 발광 다이오드의 모습

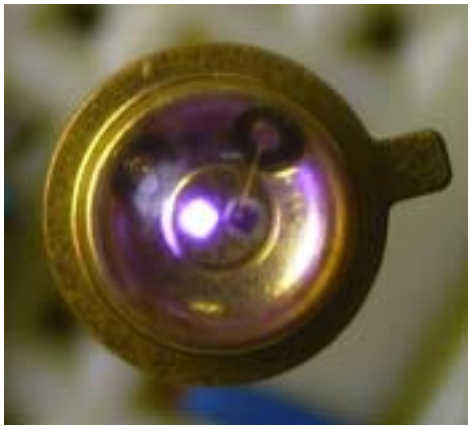


그림 3-41. 적외선 발광다이오드를 켰을때

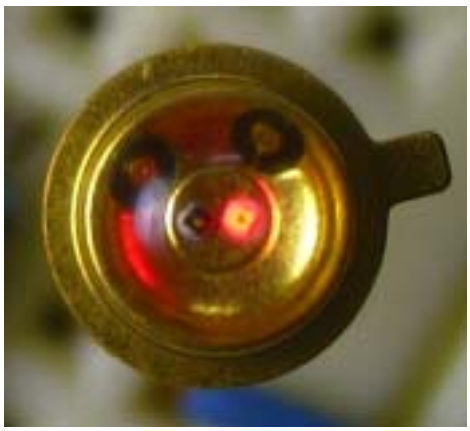


그림 3-42. 빨강 발광다이오드를 켰을때

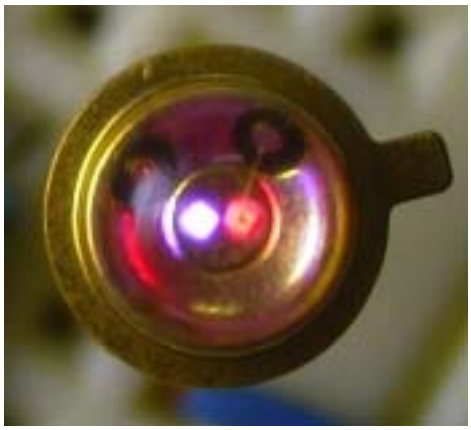


그림 3-43. 두 가지 발광다이오드를 켰을 때의 모습

(2) LED의 분광 복사조도

일반적으로 벼 잎의 엽록소를 추출(80% 아세톤)하여 빛의 파장별 흡수량을 보면 그림 3-44와 같다. 시료 A, B 모두 흡수량에는 차이가 있지만 흡수파장은 파랑과 적색으로 나타났다. 녹색파장은 흡수정도가 매우 낮았으며 자외선 파장대에서는 엽록소흡수가 일어나지 않았다. 따라서 이와 같은 엽록소의 빛의 파장별 흡수정도를 이용하여 디지털질소측정기의 엽록소측정 파장영역의 빛을 결정할 수 있으며 “g″

위치상의 적색파장과 대조파장 영역으로서 자외선을 각각 이용할 수 있다. 따라서 디지털질소측정기에 사용되는 LED(발광다이오드)는 이와 같은 빛과 엽록소의 흡수특성을 이용하게 되었다.

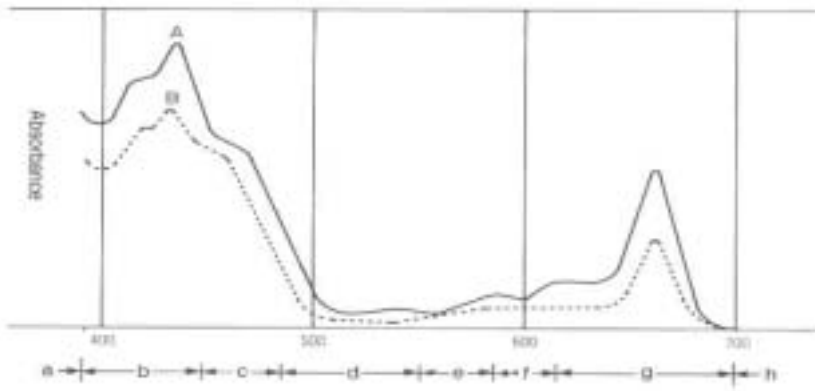


그림 3-44. 엽록소의 빛 파장별 흡수특성

* A : 잎Ⅰ, B : 잎Ⅱ

** a: 자외선, b: 보라, c: 파랑, d :녹색, e: 노랑, f: 적황색, g: 적색, h: 근적외선

하지만 시판되고 있는 엽록소계(Chlorophyll meter, SPAD-502, Minolta, Japan)는 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

첫째는 LED(발광다이오드)가 조사하는 빛의 파장영역이 red LED(650nm)와 infra red LED(940nm)로서 거리가 멀다(그림 3-45). 이는 측정하는 LED의 파장이 멀수록 빛의 산란이 많아지며 이는 정밀도가 크게 떨어지게 되는 것이다.

둘째는 측정값이 SPAD값으로서 벼농사에 직접적인 응용이 어렵다.

셋째는 비싼 편이다.

따라서 본 연구 과제를 통하여 개발하는 디지털질소측정기는 이와 같은 단점을 보완한 것으로서

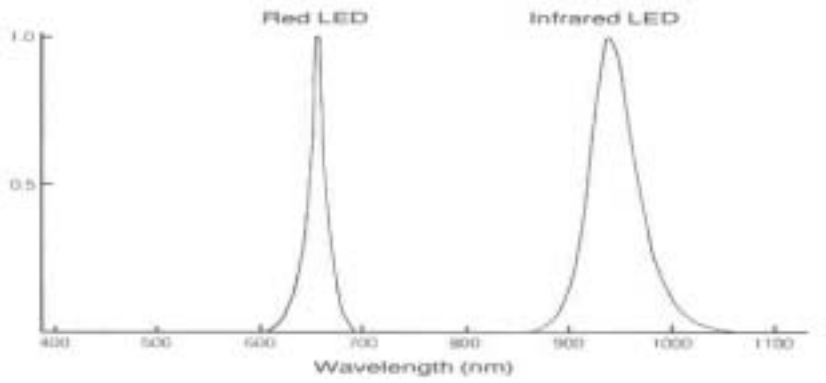


그림 3-45. 엽록소계(SPAD-502)의 LED 측정영역

발광다이오드의 측정영역(red LED-654nm, infrared LED-845nm)을 크게 줄여 빛의 산란으로 인한 정확도를 크게 높인 것이 특징이다.

그림 3-46은 발광다이오드에 5mA의 전류를 흘리고 분광기를 사용하고 얻은 빨강과 적외선 발광다이오드의 상대분광복사조도이다. 빨강 발광다이오드의 최대 발광 봉우리 파장은 654nm이었으며 적외선 발광다이오드의 최대 발광 봉우리 파장은 845nm로 두 발광다이오드 모두 엽록소의 양을 측정하기 위한 광원으로 사용 가능한 것을 알 수 있다.

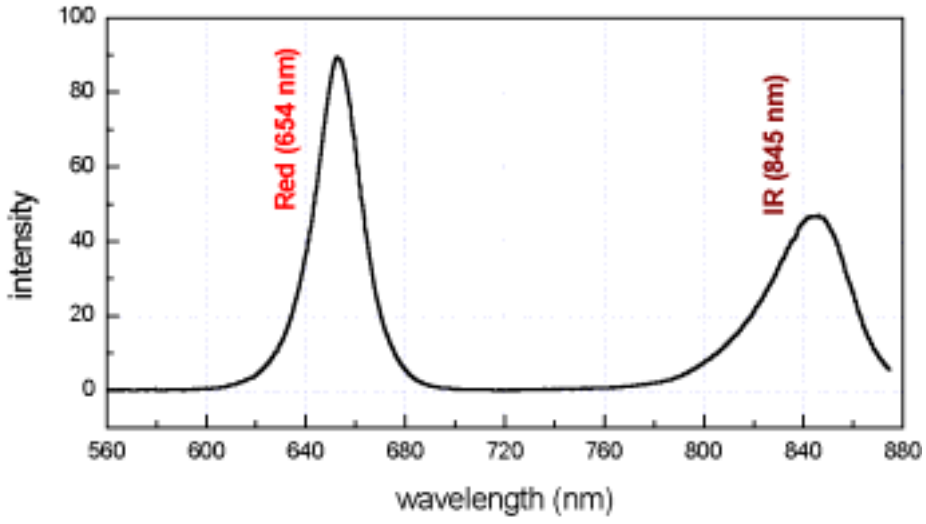


그림 3-46. 두 종류의 발광다이오드에서 나오는 빛의 상대분광 복사조도

(3) Diffuser의 종류에 따른 빨강, 적외선 LED 빛의 퍼짐

그림 3-47은 확산지의 빛의 퍼짐현상을 측정하기위하여 만든 것으로 원형의 지지대 안에 발광다이오드를 넣고 지지대 위에 확산지를 두어 발광다이오드에서 나오는 빛의 퍼짐을 디지털 카메라에서 측정하도록 하였다. 이때 발광다이오드와 확산지와의 거리는 3mm이었다.

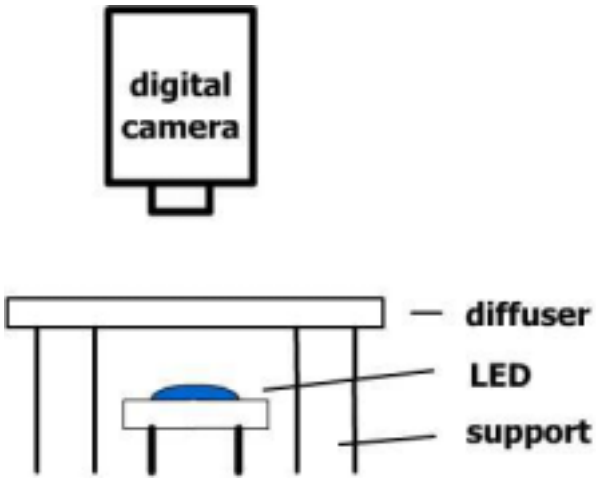


그림 3-47. 확산지의 빛의 퍼짐 실험장치

그림 3-48은 확산지가 없는 상태에서 두 종류의 발광다이오드를 켠 모습으로 왼쪽이 적외선 발광다이오드에서 나오는 빛이며 오른쪽이 빨강 발광다이오드에서 나오는 빛의 모습이다.

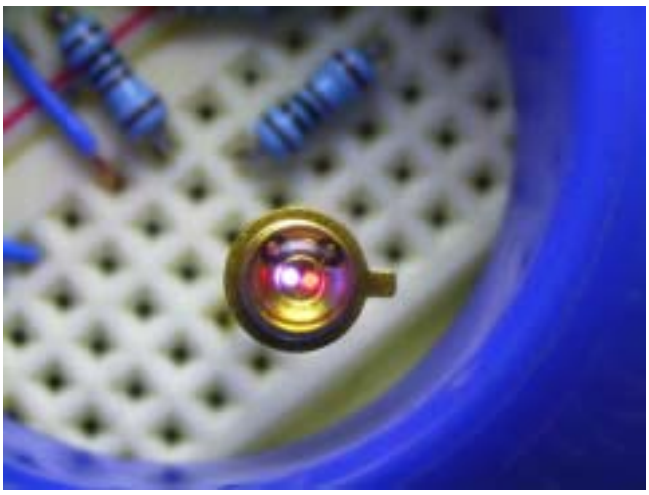
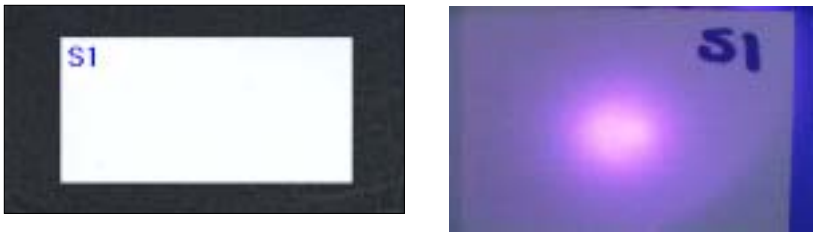
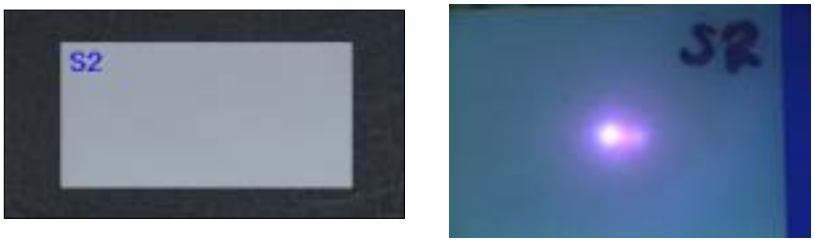


그림 3-48. Diffuser를 넣지 않고 빨강 LED와
적외선 LED를 켠 상태

그림 3-49는 지지대위에 확산지를 올려놓고 발광다이오드에서 나온 빛의 모습이다



시료 1



시료 2

시료 3

시료 4

시료 5

*왼쪽 : 시료 모습, 오른쪽 : 발광다이오드에서 나온 빛이 확산지를 통과한 모습

그림 3-49. 확산지의 종류에 따른 빛의 퍼짐 모습

시료 4의 경우 발광다이오드의 모습과 빛이 퍼짐 없이 그대로 비침을 알 수 있어 확산지의 역할을

하지 못함을 알 수 있다. S5와 S2 역시 약간은 빛을 확산시킬 수 있지만 역시 확산지의 기능으로는 부족하다. S1과 S3의 경우 발광다이오드에서 나오는 두 종류의 빛을 구별할 수 없을 정도로 빛을 확산시킴을 알 수 있다. S1, S3 모두 확산지로써 사용 가능하지만 S1의 경우 두께가 얇아 S3보다 사용하기 어렵다. 따라서 위의 결과로부터 S3의 확산지가 빛을 확산시키는데 가장 적합함을 알 수 있다.

2) 디지털질소측정기 구성도

(1) 시작기 Ⅰ

시작기 Ⅰ은 디지털질소측정기의 1차적인 시작기로서 농가실증시험용으로 이용하기 위하여 제작한 것이다(그림 3-50).

센서(LED센서,PD센서)를 기능, 성능 및 기구 제작 면에서 몇 가지의 형태로 개발하여 실험하고 있으며, 특히 LED센서를 2개와 3개를 사용할 경우의 기능을 고찰하고자 개발중에 있다.

센서부는 기존의 센서보다 크며 감도가 우수한 것으로 개발하였다(그림 3-50). 한편, 디지털질소측정기 시작기Ⅰ은 2002년 서울국제농업기계박람회(2002. 11. 8~11. 13, 코엑스 전시관)에 전시출품 하였다(그림 3-51).

그림 3-50. 디지털질소측정기 시작기Ⅰ

그림 3-51. 디지털질소측정기 시작기 국제박람회 전시

(2) Block diagram

디지털질소측정기는 기본적으로 벼 또는 마늘잎의 시료를 측정부에 삽입한 후 측정부를 눌러 측정을 시작한다. 그림 3-52, 3-53과 같이 시작을 하여 CPU는 LED 1과 LED 2를 반복하여 교체동작을 실시한다. LED 1과 LED 2의 조사한 투과빛은 PD(Photo diode, 이하 PD라 함)로 투과량을 측정하게 되며 PD의 투과감도가 작을 경우 MUX(Multiplexer, 이하 Mux라 함)로 증폭도를 변환하여 각각의 값을 A/D(Analog-digital converter, 이하 A/D라 함)로 변환하여 CPU에서 연산한 후 측정값을 표시한다. 별도의 메모리를 사용하여 측정값을 메모리에 저장한 후 RS-232C 통신을 이용하여 사용자 PC에서 데이터를 일괄 다운로드할 수도 있다. 다운로드한 데이터는 Excel등의 편집기를 사용하여 사용자 임의로 자료관리나 기타의 환산법을 이용하여 별도로 데이터를 작성할 수 있다.

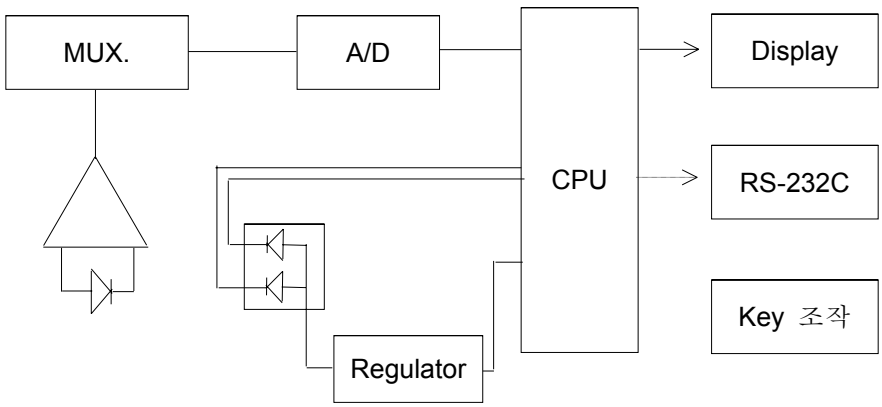


그림 3-52. 디지털질소측정기 시작기 Block Diagram

(3) Flow chart

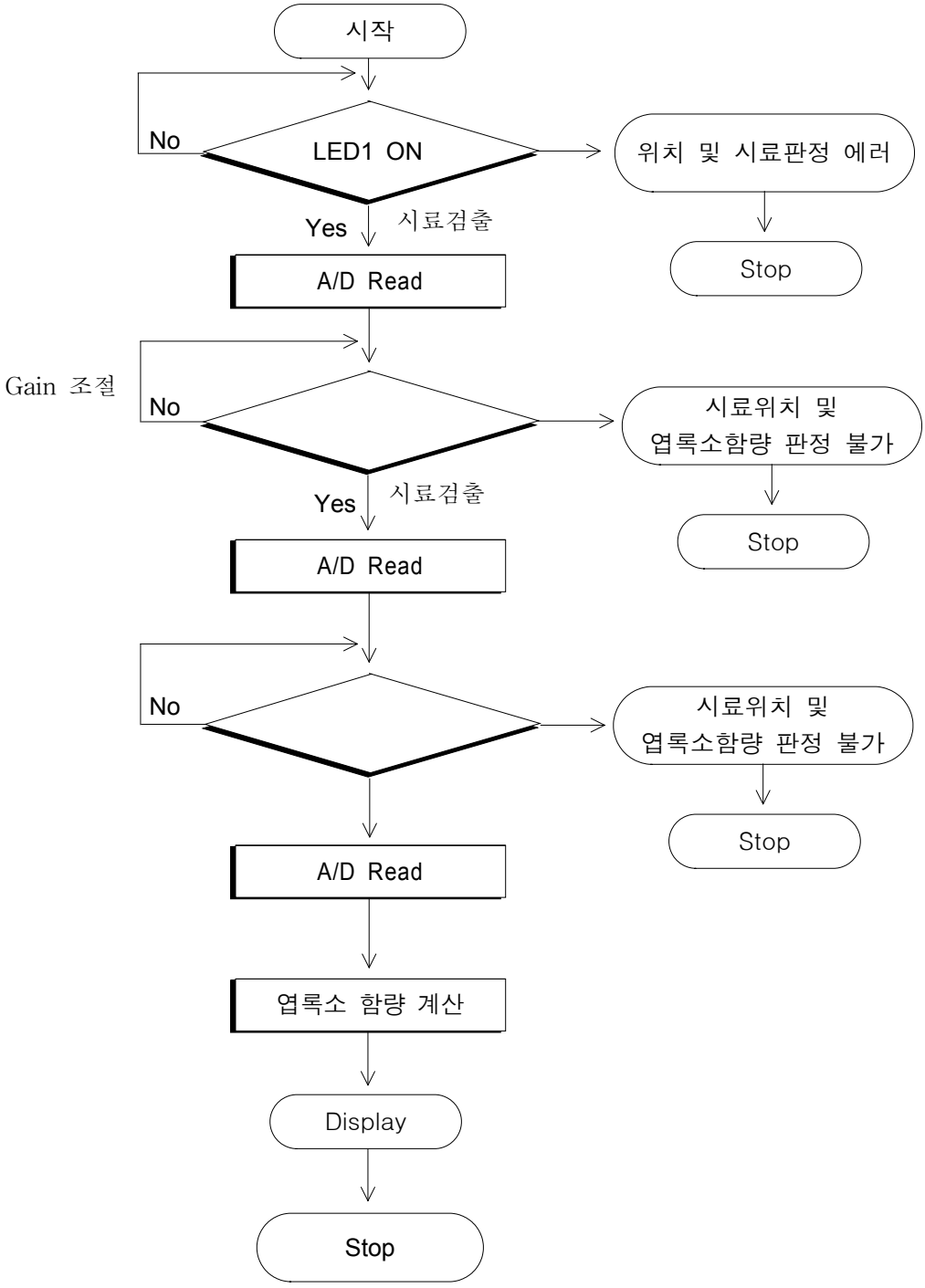


그림 3-53. 디지털질소측정기 시작기 Flow chart

(4) 회로도

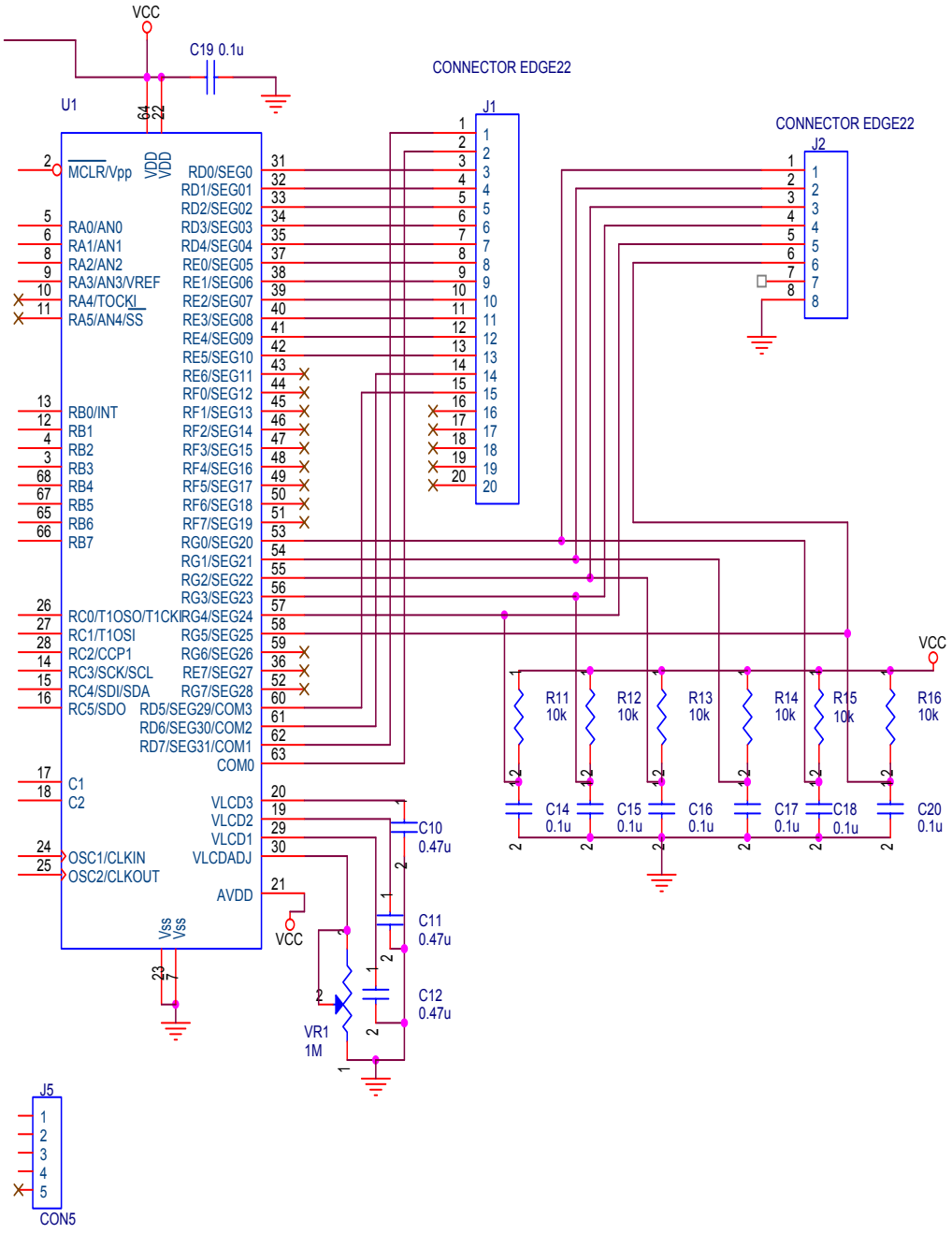


그림 3-54. 디지털질소측정기 시작기 회로도 I

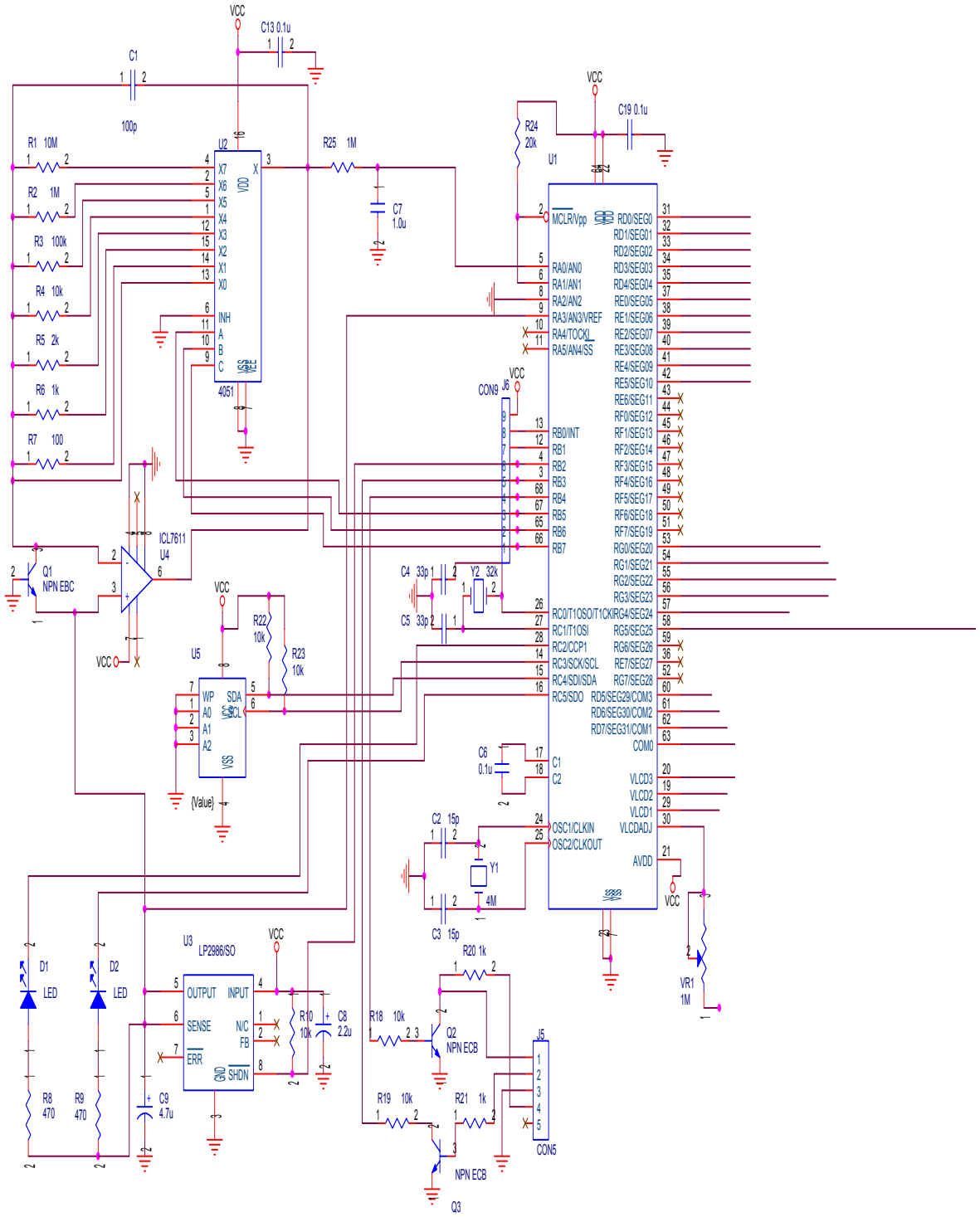


그림 3-55. 디지털질소측정기 시작기 회로도 Ⅱ

(5) 시작기 Ⅱ

시작기 Ⅱ는 1차 제작한 시작기Ⅰ의 기능과 조작성이 보다 뛰어나며 편리하게 실현되도록 하였다. 현재 기구 설계와 내부의 Hardware를 제작하였다(그림 3-56).

그림 3-56. 디지털질소측정기 시작기Ⅱ

디지털질소측정기 시작기 Ⅱ는 시작기 Ⅰ에 비하여 사용자가 양손으로 모두 손쉽게 측정할 수 있도록 제작하였다(그림 3-57).

그림 3-57. 디지털질소측정기 시작기 Ⅱ 실제도

3) 벼 재배용 디지털 질소측정기 개발을 위한 폿트시험

(1)시험Ⅰ- 질소수준에 따른 생육 및 엽색 반응

일본형 품종으로서 가장 밥맛이 좋고 수량성이 높은 일품벼는 질소시비수준 증가시에 도복저항성은 크지만 도열병 발병이 현저하여 면밀한 시비관리가 필요한 품종이다. 표 3-12에서는 질소시비수준을 표준시비량(11kg/10a)의 2배까지 25% 간격으로 증가시켰을 때의 생육반응을 나타내었다. 이앙후 45일 분얼성기 무렵까지는 9-10cm 정도로 초장의 증가속도가 빨랐으나 이앙후 60일 경인 유수형성기와 성숙기에는 5-6cm 정도로 생육이 진전될수록 완만하여 도복안전성을 갖게되었다. 반면에 경수와 수수확보는 질소시비량 증가시 생육시기가 진전될수록 증가되어 다수확을 낼 수 있는 품종적 특성을 나타내었다.

표 3-12. 일품벼의 질소시비수준에 따른 주요생육시기별 생육반응

질소 시비율 (%)	이앙후 30일		이앙후 45일		이앙후 60일		성숙기	
	초장 (cm)	경수 (개/주)	초장 (cm)	경수 (개/주)	초장 (cm)	경수 (개/주)	간장 (cm)	수수 (개/주)
0	23	3.1	35	3.7	58	5.5	56	5.1
25	24	4.0	37	4.4	55	5.5	52	4.1
50	25	4.8	39	5.4	55	6.2	56	5.5
75	27	5.9	41	6.4	61	7.2	57	6.1
100	28	6.1	42	6.9	60	8.0	58	8.0
125	29	6.2	44	7.8	61	11.1	60	9.6
150	30	6.4	45	9.1	63	12.4	62	10.1
175	29	6.5	46	10.1	64	12.0	62	11.4
200	32	6.9	45	10.2	63	12.2	62	13.4

또한 벼의 일생 중에서 3황기로서 이삭거름을 요구하는 유수형성기에 그 전후 10일간의 엽색도를 측정함으로서 질소시비반응을 검토하였다(표 3-13).

분얼비(이앙후 15일)로서 질소수준 0-200%까지 증비한 효과로 나타나는 엽색도는 유수형성기 5일전에 최상위엽 SPAD치 28.9-32.8, 완전전개엽 32.9-34.8, 유수형성기에는 최상위엽 28.5-30.1, 완전전개엽 30.8-35.0으로서 시비량 증가에 따른 엽색도 차이가 경미하였는데 질소증시에 의한 경수증가와는 대체로 반비례하여 엽색도의 희석효과로 나타난 것 같다(그림 3-58).

한편 유수형성기 이삭거름용 질소시용에 의한 유수형성기 5일후의 엽색도 반응은 질소시용량과 고도의 정상관을 나타내어 엽색을 SPAD치로 평가하는 것이 매우 합리적인 것으로 나타났다(그림 3-58). 특히 엽신 추출과 신장이 계속되는 유수형성기 무렵에 엽신의 개체별 엽색도 분포는 표준오차로 보아 최상위엽에서 보다는 이전엽인 완전전개엽에서 0.9이하로 현저히 낮아서 안정적인 엽색도를 평가할 수 있었고 측정 대상엽위는 완전전개엽에서 이루어져야 함을 제시하고 있다.

표 3-13. 일품벼의 질소시비수준에 따른 유수형성기 전후 상위엽의 엽색도

질소시비율 (%)	유수형성기 5일전		유수형성기		유수형성기 5일후	
	최상위엽	완전전개엽	최상위엽	완전전개엽	최상위엽	완전전개엽
0	32.8±0.7	34.7±0.5	29.0±1.0	35.0±0.9	29.2±0.5	31.8±0.4
25	31.4±1.0	34.0±0.7	29.2±0.7	33.0±0.8	30.3±0.4	31.5±0.3
50	30.9±0.8	34.5±0.5	30.0±0.8	33.6±0.6	32.7±0.7	35.5±0.5
75	29.6±0.9	34.8±0.8	27.7±1.0	32.0±0.5	31.8±0.6	34.3±0.7
100	28.9±0.6	32.9±0.6	28.6±0.9	30.8±0.6	33.1±0.5	36.8±0.3
125	29.1±0.8	33.0±0.7	29.7±0.7	32.4±0.4	34.3±0.8	38.3±0.2
150	29.8±1.0	34.7±0.5	28.5±0.5	32.2±0.6	38.0±0.4	40.1±0.3
175	29.7±1.0	34.0±0.5	28.7±0.6	31.8±0.7	37.4±0.6	41.1±0.4
200	31.0±1.0	34.5±0.9	30.1±1.2	32.5±0.9	38.7±0.3	41.7±0.3

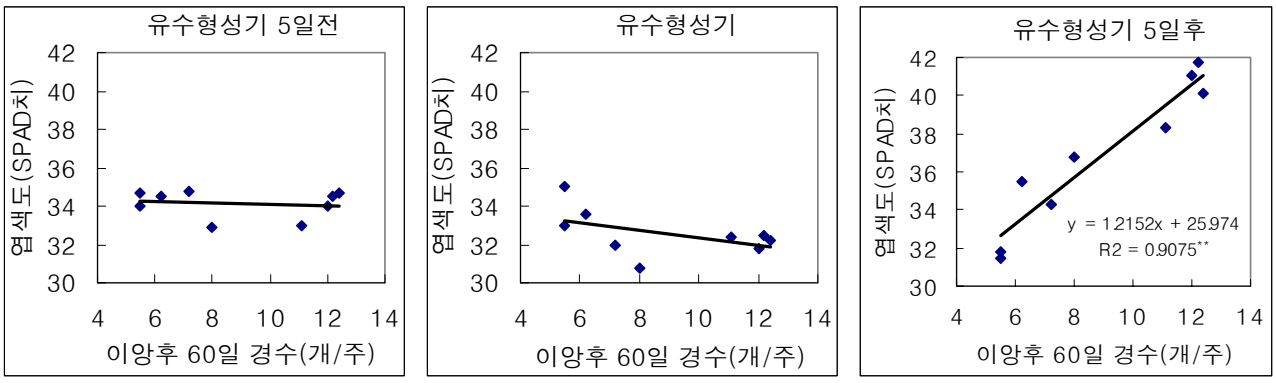


그림 3-58. 질소시비수준에 따른 벼 생육전환기 생육량과 엽색도와의 관계

질소시비수준 증가로 엽색도와 생육량이 증가되어 Pot 당 정조수량도 유의한 증수를 하였는데 많은 보고에서 알려진 포장에서와 같은 경향을 나타내었다. 그러나 출수반응은 일반적으로 밝혀진 포장상태와는 반대경향으로 나타났다. 이것은 포장상태와 폿트상태에서의 절대경수확보 차이에 따른 출수속도에 기인되는 것으로 보인다.

표 3-14. 일품벼의 질소수준에 따른 출수기, 등숙비율 및 수량

질소수준 (%)	출수기 (월.일)	등숙비율 (%)	수량 (g/Pot)
0	8.31	87.8	31.56
25	8.29	88.7	37.97
50	8.26	86.1	50.15
75	8.25	84.4	54.80
100	8.24	88.8	70.50
125	8.24	89.0	95.95
150	8.24	88.4	98.62
175	8.24	87.9	120.47
200	8.25	90.1	135.70

(2)시험Ⅱ- 질소수준에 따른 생육과 엽색도의 품종간 차이

벼 품종의 질소반응은 품종의 조·만에 따라 생육기간과 생육환경이 다르므로 생육량과 엽색도가 상이할 수 있으므로 조생종 3품종과 중생종 5품종 중만생종 6품종에 대해서 주요생육시기별 검토하였다.

공시된 모든 품종에서 생육기간의 경과와 질소시비수준 증가로 초장과 경수가 증가되었으며(표 3-15) 수량형성과 직결되었다(표 3-17). 특히 생육량은 품종의 조·만간 뚜렷한 차이를 보여 조생종>중생종> 중만생종 순으로 조기생육이 촉진되었다.

질소시비수준 증가에 따른 유수형성기 무렵 엽색도의 변화는 품종의 조·만에 따른 차이가 뚜렷하였다(표 3-16). 조생종 품종은 분얼비로 영향받는 유수형기 5일전과 유수형성기에 완전전개엽의 엽색도가 뚜렷이 증가한 반면 중만생종은 차이가 경미하였고 중생종은 유수형성기 5일전까지 약간 증가반응을 보인 중간 양상을 보여 품종의 조·만 특성을 잘 분류할 수 있었다.

한편 유수형성기에 이삭거름이 주어진 유수형성기 5일 후에는 품종의 조·만에 관계없이 질소비시량과 비례적으로 증가되었다.

예외적으로 중생종 중에서 출수가 가장 빨랐던 수라벼는 조생종의 특성을 보였고 모든 시기에서 가장 엽색도가 높았으며 광안벼는 낮은 질소시비수준(무비와 50%)에서 엽색도가 가장 높은 반면 중생종과 중만생 중에서 추청벼는 질소 0-200% 증가시 엽색도 증가가 가장 큰 품종으로 나타났다.

이러한 품종의 조만에 따른 질소반응은 영양생장을 시키기 위하여 시용된 분얼비의 이용기간에 영향이 미치므로 조생종일수록 이 기간이 짧아져서 생식생장으로 전환되는 유수형성기 무렵에 상대적으로 많이 잔류될 수 있는 조건이 되어 품종의 조만간 차이를 나타나게 된 것으로 보인다. 이러한 결과를 SPAD에 의한 엽색도로 잘 나타낼 수 있었으므로 시비하는데 잘 고려될 수 있을 것으로 본다

표 3-15. 질소 시비수준에 따른 벼 품종의 생육 특성

품종	질소수준 (kg/10a)	이앙후 30일		이앙후 45일		이앙후 60일		성숙기	
		초장 (cm)	경수 (개/주)	초장 (cm)	경수 (개/주)	초장 (cm)	경수 (개/주)	간장 (cm)	수수 (개/주)
조생종 오대벼	0	25	1.1	33	1.8	54	1.6	52	1.4
	5.5	31	4.0	48	4.7	65	3.7	58	3.9
	11.0	33	3.6	49	5.6	70	4.8	63	4.1
	16.5	34	3.3	57	7.2	75	7.0	68	5.2
	22.0	37	3.6	58	9.3	77	7.4	69	6.1
삼천벼	0	23	1.3	33	2.3	50	2.2	51	1.8
	5.5	28	4.2	42	4.5	60	4.2	61	4.2
	11.0	31	3.7	50	5.7	67	5.3	63	4.5
	16.5	32	3.2	54	8.0	74	6.8	67	5.7
	22.0	33	3.0	53	6.4	71	5.4	69	5.0
상미벼	0	23	1.5	32	2.0	49	1.8	49	1.8
	5.5	25	3.4	40	4.5	58	3.7	55	3.2
	11.0	28	3.5	45	5.9	62	5.4	62	4.7
	16.5	28	3.1	48	7.7	63	7.0	58	5.6
	22.0	30	3.4	49	8.9	68	8.1	65	5.6
중생종 수라벼	0	24	2.5	29	3.1	44	3.1	49	2.7
	5.5	28	4.0	37	5.2	48	3.7	57	3.4
	11.0	29	4.3	37	6.1	50	5.7	52	4.5
	16.5	29	3.0	41	6.9	51	6.7	59	4.8
	22.0	33	3.4	47	8.8	67	10.1	65	8.0
화영벼	0	25	2.8	35	2.8	54	2.7	53	2.7
	5.5	33	4.3	42	4.6	58	3.9	62	3.6
	11.0	34	3.7	44	5.5	60	4.8	63	3.6
	16.5	31	3.1	41	6.9	62	5.8	65	4.4
	22.0	37	4.0	49	7.4	65	5.9	72	5.3
화성벼	0	23	1.1	31	1.8	46	1.9	53	1.8
	5.5	30	3.8	40	4.1	55	3.9	60	3.7
	11.0	32	4.7	40	5.7	57	4.8	64	4.1
	16.5	31	3.1	43	5.7	60	5.8	65	5.1
	22.0	31	2.2	47	5.4	62	5.3	68	6.7
주안벼	0	23	2.5	31	3.0	48	2.7	45	1.9
	5.5	27	3.9	35	4.7	48	3.2	51	2.4
	11.0	30	4.0	41	6.0	57	5.3	55	3.8
	16.5	31	3.5	47	7.7	57	5.7	52	4.8
	22.0	32	3.7	45	7.9	61	6.5	63	7.1
광안벼	0	28	1.7	37	3.0	56	2.3	59	1.7
	5.5	33	5.0	43	5.0	60	4.0	62	2.9
	11.0	35	3.4	46	5.9	63	4.2	64	3.2
	16.5	34	3.1	43	7.0	62	5.0	67	4.2
	22.0	36	4.0	49	7.5	65	7.1	72	4.8

(표 3-15 계속)

품종	질소수준 (kg/10a)	30 DAT 초장 (cm)	30 DAT 경수 (개/주)	45 DAT 초장 (cm)	45 DAT 경수 (개/주)	60 DAT 초장 (cm)	60 DAT 경수 (개/주)	성숙기 간장 (cm)	성숙기 수수 (개/주)
중만생종 추청벼	0	23	1.8	31	1.8	44	2.0	54	1.8
	5.5	31	5.0	41	5.3	55	4.9	59	4.1
	11.0	34	4.7	44	6.3	57	5.2	63	5.4
	16.5	32	3.5	39	7.0	57	6.0	62	5.9
	22.0	31	3.2	48	6.7	62	6.2	64	7.6
일품벼	0	22	2.1	29	2.2	45	2.2	50	1.6
	5.5	25	4.5	36	5.1	51	4.5	53	3.6
	11.0	27	4.3	38	6.7	55	4.7	57	3.6
	16.5	29	3.5	46	7.3	55	5.7	58	4.6
	22.0	27	4.4	40	8.2	57	8.0	60	6.5
남평벼	0	26	2.6	34	3.3	50	2.5	54	2.2
	5.5	31	4.8	42	5.4	58	4.0	54	3.7
	11.0	34	5.2	43	7.6	60	5.8	58	5.0
	16.5	34	3.4	47	6.9	59	6.3	60	5.0
	22.0	33	3.7	45	7.0	61	6.4	63	6.2
새추청벼	0	24	1.8	33	2.2	47	2.2	55	2.0
	5.5	32	4.4	44	5.7	55	4.7	61	4.1
	11.0	32	3.8	48	7.4	59	5.1	64	5.0
	16.5	33	2.9	47	7.4	59	6.0	66	5.8
	22.0	33	3.8	48	7.7	63	5.4	67	7.3
신동진벼	0	27	1.2	36	2.3	51	2.1	52	1.6
	5.5	36	4.2	45	5.1	61	3.8	61	2.9
	11.0	37	5.0	47	6.2	61	5.3	64	3.7
	16.5	35	3.7	45	6.3	64	5.7	63	3.7
	22.0	35	3.3	48	6.1	62	5.5	70	5.3
주남벼	0	21	2.9	29	2.1	45	2.3	45	2.2
	5.5	24	4.3	34	4.8	51	4.0	49	3.0
	11.0	27	5.0	36	7.1	51	5.5	66	5.2
	16.5	28	4.1	39	7.6	53	6.1	52	4.3
	22.0	27	3.7	39	4.8	55	7.4	55	6.4

표 3-16. 품종별 질소수준에 따른 엽색도

품종	질소수준 (kg/10a)	유수형성기 5일전		유수형성기		유수형성기 5일후	
		최상위엽	완전전개엽	최상위엽	완전전개엽	최상위엽	완전전개엽
조생종 오대벼	0	21.9±1.8	22.8±0.8	28.4±1.9	26.9±2.3	29.4±0.9	27.2±1.8
	5.5	32.2±1.3	36.0±1.8	33.5±0.7	34.6±1.2	35.2±1.2	36.8±0.9
	11.0	39.2±1.2	41.7±0.8	36.5±0.8	41.4±1.0	40.7±0.9	42.8±1.3
	16.5	39.3±0.9	41.8±0.6	41.5±0.6	41.1±1.0	46.8±1.9	47.0±0.6
	22.0	40.6±0.8	44.2±0.7	42.1±1.0	44.1±0.8	43.8±1.1	48.8±1.3
삼천벼	0	23.6±1.2	23.7±1.4	30.1±1.1	27.5±1.8	29.7±1.3	28.7±0.5
	5.5	33.2±0.8	35.5±1.0	36.0±0.9	37.3±0.9	36.7±0.9	36.0±2.1
	11.0	37.5±0.9	40.5±1.0	39.6±1.6	41.4±0.7	39.3±1.2	42.0±0.9
	16.5	37.6±0.7	39.0±1.5	42.3±1.1	42.3±0.6	42.4±1.1	46.0±0.7
	20.0	36.8±0.9	42.3±0.6	40.6±1.4	43.5±1.0	40.1±1.2	45.5±1.4
상미벼	0	24.9±0.9	25.6±0.6	26.4±1.6	26.6±0.7	29.2±1.1	29.8±1.2
	5.5	31.5±1.2	35.0±1.7	33.3±0.4	34.3±1.0	36.2±0.9	38.1±0.8
	11.0	39.1±0.9	42.3±1.1	41.1±0.9	43.1±0.7	39.6±0.9	44.2±0.8
	16.5	39.2±0.5	43.5±0.6	38.4±1.2	44.8±0.3	39.3±1.0	45.5±1.1
	22.0	43.0±1.0	46.5±0.6	42.1±1.0	48.1±0.4	39.8±0.8	48.0±0.6
중생종 수라벼	0	29.7±0.7	29.7±0.6	28.6±0.7	30.9±0.5	28.0±0.6	30.7±0.5
	5.5	29.7±1.2	30.3±0.7	27.8±0.5	30.9±0.6	32.4±1.0	34.3±0.8
	11.0	28.7±0.6	30.2±0.7	29.2±0.6	30.9±0.9	35.1±0.8	36.5±0.7
	16.5	30.0±0.5	30.1±0.9	30.1±0.9	31.7±0.5	35.4±1.3	37.8±1.1
	22.0	36.1±3.8	47.0±4.2	37.4±1.4	44.4±5.7	42.0±1.9	42.7±2.0
화영벼	0	29.6±0.7	30.4±0.5	27.0±0.8	31.6±0.5	28.5±0.9	31.1±0.5
	5.5	29.6±0.6	30.3±0.8	27.4±0.7	30.1±0.9	33.2±1.0	35.3±0.6
	11.0	26.2±1.0	28.9±1.1	24.3±0.9	28.5±0.6	29.7±3.8	35.1±0.8
	16.5	27.3±0.8	28.2±1.1	24.8±0.5	28.4±0.6	33.3±0.7	37.3±0.9
	22.0	28.7±1.0	29.6±0.7	25.7±0.9	29.1±0.6	37.1±0.9	39.4±0.7
화성벼	0	27.7±0.7	29.2±0.6	26.9±0.7	29.7±0.9	26.4±1.0	30.2±1.4
	5.5	27.8±0.6	28.1±0.8	25.8±0.5	28.6±0.3	29.4±0.7	32.7±0.7
	11.0	26.8±0.9	29.4±0.5	26.9±0.7	30.0±0.6	33.4±1.2	36.7±1.0
	16.5	27.8±1.1	30.9±0.5	27.2±1.0	30.1±0.7	34.6±1.0	37.9±1.0
	22.0	29.4±0.8	32.2±1.2	26.7±0.9	30.2±0.9	37.2±1.0	38.6±1.0
주안벼	0	29.9±0.9	29.4±0.3	27.4±1.0	30.3±0.4	27.5±0.7	30.1±0.6
	5.5	27.6±0.6	27.8±0.9	26.0±0.6	28.8±0.5	33.2±0.6	36.7±0.8
	11.0	27.3±0.7	31.6±0.9	29.6±0.8	31.2±0.7	37.5±1.3	39.9±1.2
	16.5	29.0±0.9	32.2±0.6	27.4±0.5	31.1±0.4	37.0±1.0	39.0±0.9
	20.0	30.3±1.5	31.8±0.4	29.4±0.5	32.5±0.7	36.3±1.0	39.9±0.7
광안벼	0	29.5±0.7	30.7±1.1	28.9±0.8	31.8±0.5	29.4±0.6	32.2±1.0
	5.5	28.4±0.8	31.8±0.7	26.8±0.8	30.9±0.4	30.2±0.9	34.6±0.9
	11.0	28.4±0.5	29.1±0.9	27.0±0.6	30.0±0.8	34.6±0.7	38.0±0.5
	16.5	27.8±0.9	30.4±0.8	27.4±1.0	30.3±0.5	36.7±0.5	38.0±0.5
	22.0	27.3±0.7	31.5±0.9	27.8±0.9	30.2±0.9	36.4±1.0	39.5±0.7

(표 3-16 계속)

품종	질소수준 (kg/10a)	유수형성기 5일전		유수형성기		유수형성기 5일후	
		최상위엽	완전전개엽	최상위엽	완전전개엽	최상위엽	완전전개엽
중만생종 추청벼	0	25.7±0.8	27.6±0.8	24.8±0.6	27.5±1.0	25.1±0.6	27.7±0.3
	5.5	23.9±0.8	26.7±0.6	24.1±0.5	26.1±0.6	30.5±0.3	32.7±0.2
	11.0	25.9±0.9	28.9±0.4	24.2±0.3	26.9±0.5	30.7±1.1	35.5±0.2
	16.5	25.7±0.7	28.4±0.5	24.8±0.4	27.0±0.7	32.5±0.7	37.5±0.2
	22.0	27.4±0.8	29.1±0.8	24.8±0.5	27.4±0.9	39.7±1.6	43.7±1.0
일품벼	0	27.4±1.2	30.9±0.8	27.5±0.6	30.1±0.8	25.6±0.4	28.6±0.2
	5.5	26.8±0.7	29.7±0.9	26.8±0.9	30.3±1.0	29.0±0.6	32.0±0.6
	11.0	26.2±0.5	28.8±1.2	24.9±0.8	27.6±1.2	32.1±0.6	36.3±0.1
	16.5	26.4±1.0	28.8±0.5	25.2±0.6	27.8±0.5	31.8±0.5	37.8±0.2
	22.0	28.2±0.9	32.4±0.3	26.7±0.6	29.2±0.4	31.8±0.5	37.8±0.2
남평벼	0	27.1±0.6	28.6±0.6	26.9±0.2	28.8±0.5	27.4±0.3	29.5±0.2
	5.5	26.3±0.5	27.8±0.8	24.6±0.4	27.0±0.3	30.7±0.3	33.1±0.3
	11.0	23.4±0.7	28.0±0.4	23.4±0.4	26.0±0.3	31.9±0.6	36.5±0.2
	16.5	23.9±1.0	27.3±1.0	22.9±0.4	25.9±0.4	32.1±0.6	37.8±0.3
	22.0	26.3±0.7	28.6±0.7	23.8±0.7	26.6±0.9	31.6±0.4	37.3±0.9
새추청벼	0	25.6±0.7	29.8±0.9	26.4±0.8	27.7±0.7	29.0±0.4	31.0±0.3
	5.5	26.5±0.7	28.8±0.5	25.3±0.6	27.0±0.4	29.5±0.4	33.4±0.5
	11.0	25.5±0.8	28.2±0.6	24.8±0.4	26.3±0.6	31.8±0.7	37.3±0.1
	16.5	25.9±0.5	30.5±1.2	25.6±0.5	27.3±0.4	32.6±0.8	37.9±0.2
	22.0	25.9±0.6	28.3±0.5	24.3±0.6	27.3±0.5	32.0±0.6	38.6±0.2
신동진벼	0	27.6±0.6	28.7±0.7	27.0±0.4	28.7±0.6	29.6±0.3	31.9±0.1
	5.5	26.7±0.7	29.1±0.5	26.6±0.4	27.6±0.4	30.2±0.5	34.2±0.4
	11.0	27.7±0.5	29.8±0.4	25.2±0.7	28.2±0.5	30.7±0.7	36.8±0.5
	16.5	27.5±1.1	30.5±0.4	25.8±0.5	28.1±0.6	29.7±0.5	36.5±0.3
	20.0	29.1±0.3	30.2±0.8	24.8±0.7	27.9±0.8	32.1±0.8	38.7±0.1
주남벼	0	28.7±0.5	30.0±0.5	26.8±0.4	29.4±0.5	29.1±0.4	31.8±0.2
	5.5	28.4±0.8	30.7±0.6	27.4±0.5	29.2±0.6	30.7±0.2	35.2±0.2
	11.0	26.8±0.6	29.6±0.7	25.3±0.5	26.8±0.4	31.0±0.4	37.3±0.2
	16.5	26.2±0.5	30.7±0.7	25.2±0.5	26.8±0.5	29.5±0.9	37.7±0.3
	22.0	26.3±0.6	29.5±0.9	25.4±0.6	28.8±0.5	31.7±0.5	39.1±0.2

품종의 조·만에 따른 질소시비증가로 생육 및 수량반응을 보면 표 3-17에서와 같이 출수기는 조생종 8월5일-12일, 중생종은 8월 11일-25일, 중만생종은 8월 18일-30일 범위로 분포되었다. 수량은 조생종 6.18-34.35, 중생종 5.91-39.88, 중만생종 7.41- 42.56 g/pot로 생육기간이나 질소시비량과 정비례적이었다 (표 3-17).

표 3-17. 품종의 질소 시비수준에 따른 출수기, 등숙비율 및 수량

품종	질소수준 (kg/10a)	출수기 (월.일)	등숙비율 (%)	수량 (g/pot)	품종	질소수준 (kg/10a)	출수기 (월.일)	등숙비율 (%)	수량 (g/pot)
조생종	0	8.10	81.6	6.18	광안벼	0	8.23	87.4	8.94
오대벼	5.5	8. 7	81.3	16.47		5.5	8.13	92.8	19.85
	11.0	8. 6	84.9	20.51		11.0	8.12	90.6	22.92
	16.5	8. 7	87.3	25.63		16.5	8.15	90.3	29.04
	22.0	8. 9	83.1	32.38		22.0	8.14	91.4	30.40
삼천벼	0	8.10	86.1	9.13	중만생종	0	8.31	94.3	7.41
	5.5	8. 5	84.3	18.99	추청벼	5.5	8.24	92.2	18.88
	11.0	8. 6	84.2	24.04		11.0	8.23	90.2	24.34
	16.5	8. 7	83.1	26.91		16.5	8.24	92.8	28.94
	22.0	8. 9	86.3	27.74		22.0	8.24	90.8	33.95
상미벼	0	8.12	86.3	7.74	일품벼	0	8.29	89.2	14.50
	5.5	8.11	85.0	14.45		5.5	8.25	88.9	20.22
	11.0	8. 7	88.0	24.51		11.0	8.24	80.9	20.78
	16.5	8.11	85.7	26.31		16.5	8.23	88.9	30.07
	22.0	8.11	93.0	34.35		22.0	8.22	90.9	42.56
중생종	0	8.20	89.6	9.48	남평벼	0	8.30	90.8	10.45
수라벼	5.5	8.14	90.3	15.80		5.5	8.25	92.1	18.03
	11.0	8.13	90.8	22.27		11.0	8.25	90.9	28.47
	16.5	8.15	88.8	25.77		16.5	8.21	80.1	28.42
	22.0	8.17	88.1	39.88		22.0	8.25	89.7	36.13
화영벼	0	8.23	91.4	11.97	새추청벼	0	8.31	90.6	7.90
	5.5	8.14	92.5	19.66		5.5	8.21	91.5	20.12
	11.0	8.16	87.2	20.94		11.0	8.21	88.8	25.86
	16.5	8.16	90.0	28.13		16.5	8.19	91.5	27.89
	22.0	8.12	90.7	36.10		22.0	8.18	90.4	33.37
화성벼	0	8.24	90.3	5.91	신동진벼	0	8.30	85.1	8.38
	5.5	8. 9	90.6	15.07		5.5	8.23	91.6	18.68
	11.0	8.11	90.5	22.48		11.0	8.21	91.5	28.68
	16.5	8.16	90.6	25.66		16.5	8.23	91.0	30.68
	22.0	8.17	90.7	31.26		22.0	8.23	90.1	107.58
주안벼	0	8.25	86.0	8.75	주남벼	0	8.29	84.7	9.23
	5.5	8.19	87.1	12.06		5.5	8.25	90.5	18.25
	11.0	8.19	85.9	25.06		11.0	8.22	91.2	25.62
	16.5	8.15	85.8	27.43		16.5	8.22	92.0	28.18
	22.0	8.15	83.5	32.93		22.0	8.21	88.9	36.93

한편 생육 및 엽색도에 대한 질소증시 반응으로 품종의 조·만 특성을 비교적 잘 나타낸 대표품종으로서 오대벼(조생종), 화성벼(중생종) 및 새추청벼(중만생종)에서도 질소증시에 따른 경수, 수수확보 및 수량증가 등의 생육량 증가가 뚜렷하였고 엽색도 증가는 품종의 조·만성별 특성에 차이를 잘 반영하였다 (표 3-18 그림 3-59).

표 3-18. 품종의 조·만성별 대표품종의 질소 시비수준에 따른 생육 반응

품종	질소수준 (kg/10a)	이앙후30일 초장 (cm)	이앙후30일 경수 (개/주)	이앙후 45일 초장 (cm)	이앙후 45일 경수 (개/주)	성숙기 간장 (cm)	성숙기 수수 (개/주)	출수기 (월.일)	등숙비율 (%)	수량 (g/pot)
오대벼	0	27.4	2.6	41.6	4.0	64	8.0	8. 7	82.4	69.01
(조생종)	5.5	33.3	5.8	52.2	8.7	67	8.5	8. 5	88.6	89.47
	11.0	29.9	4.8	52.9	9.3	70	9.3	8. 5	86.8	98.19
	16.5	34.2	5.9	58.8	12.2	72	10.6	8. 9	85.5	103.87
	22.0	38.8	7.8	59.2	14.2	75	13.9	8. 9	88.1	108.87
화성벼	0	26.5	2.3	38.5	2.9	62	3.0	8.30	88.9	28.80
(중생종)	5.5	28.4	5.0	41.1	5.8	67	7.1	8.25	92.8	52.86
	11.0	31.1	6.8	43.6	7.0	69	8.4	8.21	94.4	75.59
	16.5	34.2	8.3	47.0	10.2	75	11.7	8.20	93.9	117.81
	22.0	35.8	8.7	49.8	12.2	77	14.3	8.20	91.6	142.62
새추청벼	0	29.6	4.1	40.7	5.0	62	5.2	8.27	93.1	37.22
(중만생종)	5.5	31.8	4.1	43.9	6.8	65	8.2	8.25	92.5	60.97
	11.0	33.2	6.9	46.1	8.4	67	11.1	8.21	92.5	83.97
	16.5	35.1	7.0	51.0	11.3	73	12.5	8.21	93.2	108.44
	22.0	36.3	7.3	52.5	10.5	72	14.1	8.21	93.3	132.30

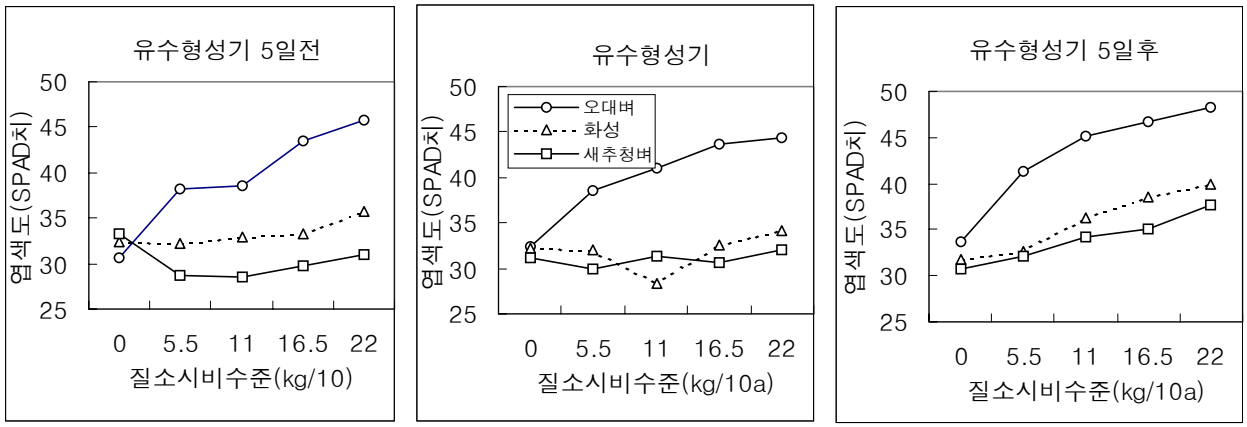


그림 3-59. 질소시비수준에 따른 벼 생육전환기 엽색도의 품종 조·만성 차이

(3)시험Ⅲ- 토성별 질소수준에 따른 생육과 엽색도 반응

질소시비수준에 따른 토성별 생육 및 엽색도 변화를 검토하였다. 공시 토양의 이화학특성을 보면 우리나라 일반답인 보통답은 식양질로서 Ca, Mg, K 등의 양이온이 습답 및 사질답보다 높았고 사질답은 모래함량이 79.6%로 인산함량이 월등히 높은 사양질이었으며 습답은 유기물이 높고 인산함량이 낮은 미사질 토성이었다(표 3-19).

표 3-19. 공시토양의 시험전 토양의 이화학성

논토양	VCS	CS	MS	FS	VFS	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	토성
보통답(경기 화성)	4.3	13.6	14.6	18.7	6.4	57.6	32.8	9.6	식양질
습답(충남 청양)	3.0	11.5	10.3	16.0	6.5	47.3	44.3	8.4	미사질
사질답(경남 함안)	0.2	3.7	29.0	38.4	8.3	79.6	17.2	3.2	사양질

(표 3-19. 계속)

논토양	pH (1:5)	EC (ds/m)	OM (%)	P_2O_5 (mg/kg)	Ex. cations(cmol/kg)			
					K	Ca	Mg	Na
보통답(경기 화성)	6.7	0.22	0.9	15	0.38	5.0	1.6	0.14
습 답(충남 청양)	6.2	0.39	2.3	8	0.12	4.7	1.0	0.18
사질답(경남 함안)	6.4	0.22	0.8	635	0.26	2.3	0.5	0.09

질소시용량 증가에 따른 토성별 생육량은 전 생육기를 통하여 보통답> 습답 >사질답 순으로 높았고(표 3-20) 수량도 같은 경향이었다(표 3-21).

질소시비량 증가에 따른 유수형기 무렵의 엽색도 변화는 불완전 전개된 최종엽보다는 그 이전엽인 완전 전개엽에서 현저히 높았음에도 개체 엽신의 표준오차도 낮아서 비교적 균일하고 안정적인 측정치로 나타났다.

분얼기에 시용된 질소의 효과로 나타난 유수형성기 5일전과 유수형성기의 완전 전개엽 엽색도는 보통답과 사질답에서는 모든 시비수준에서 비슷하게 유지된 반면 습답에서는 약간 증가되는 반응을 보였다. 또한 이삭거름으로 나타나는 유수형성기 5일후의 엽색도에서도 보통답과 사질답에서 완만한 증가를 보인 반면 습답에서는 현저히 증가하여 토성에 따른 엽색도 반응이 상이한 점을 SPAD로 명확한 진단이 가능하였다

표 3-20. 토성별 질소시비수준에 따른 생육

토성	질소수준 (kg/10a)	30DAT 초장 (cm)	30DAT 경수 (개/주)	45DAT 초장 (cm)	45DAT 경수 (개/주)	60DAT 초장 (cm)	60DAT 경수 (개/주)	성숙기 간장 (cm)	성숙기 수수 (개/주)
보통답	0	33	7.3	39	7.9	59	6.4	58	6.8
	5.5	35	8.5	43	10.1	63	7.1	61	7.5
	11.0	39	10.1	47	13.0	66	8.4	63	8.8
	16.5	39	9.2	45	11.5	64	8.6	63	10.6
	22.0	39	7.9	47	11.7	64	6.7	56	13.7
사질답	0	24	2.3	33	3.0	51	3.0	57	3.9
	5.5	27	3.7	36	4.6	56	3.9	63	5.0
	11.0	30	4.6	43	5.2	62	4.9	66	5.3
	16.5	30	4.7	42	5.7	61	6.0	62	6.2
	22.0	31	3.7	50	5.1	52	5.3	64	6.8
습 답	0	26	4.8	32	3.7	49	3.6	56	6.2
	5.5	34	4.7	39	5.1	57	5.9	55	5.6
	11.0	31	4.8	45	5.7	60	6.0	60	7.3
	16.5	32	4.8	43	4.7	60	6.3	66	7.2
	22.0	31	5.6	47	5.3	60	5.8	69	7.8

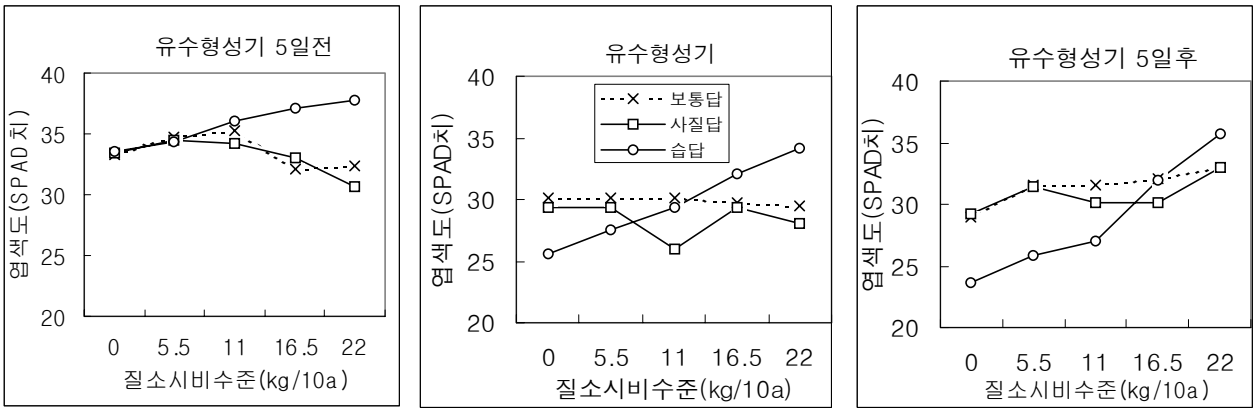


그림 3-60. 질소시비수준에 따른 벼의 유수형성기 엽색도의 토성별 차이

표 3-21. 토성별 질소 시비수준에 따른 출수기, 등숙비율 및 수량

토 성	질소수준 (kg/10a)	출수기 (월.일)	등숙비율 (%)	수량 (g/pot)
보통답	0	8.19	91.3	30.58
	5.5	8.18	93.1	41.70
	11.0	8.15	92.9	44.62
	16.5	8.18	93.4	42.74
	22.0	8.18	88.6	41.16
사질답	0	8.25	85.5	10.78
	5.5	8.21	88.3	14.55
	11.0	8.18	88.6	21.15
	16.5	8.17	90.7	25.50
	22.0	8.20	91.8	27.10
습 답	0	8.24	87.4	10.08
	5.5	8.20	93.3	21.74
	11.0	8.22	92.1	30.20
	16.5	8.21	91.6	35.57
	22.0	8.23	89.2	29.55

그림 3-61은 2차년도 폿트시험 전체를 나타낸 것이다.

그림 3-61. 디지털질소측정기 개발 폿트시험

4) 벼 재배용 디지털질소측정기 개발을 위한 포장시험

포장시험은 경기 수원(작물시험장 시험포장), 화성(경기도농업기술원 시험포장과 농가포장)에서 질소수준별 벼 주요 생육시기별 엽색도와 질소함량과의 관계를 검토하였다.

작물시험장 시험포장에서 이루어진 벼 생육기간이 상이한 조생종(오대벼), 중생종(화성벼), 중만생종(새추청벼)에 대해서 질소시비량을 5, 11, 17kg/10a 수준 하에서 엽색도 변화를 분얼비와 수비의 영향권시기인 이앙후 35일부터 출수후 10일까지 보았다(그림 3-62).

모든 품종에서 전 생육시기를 통하여 질소 시비량을 증가할수록 높은 엽색도가 유지되었고 분얼비 시용질소가 영향이 되는 유수형성기에는 가장 낮은 엽색도를 보여 질소시비량간의 차이가 경미하였다. 품종의 조만에 따라서 분얼비로부터 유수형성기까지의 기간 상이하여 오대벼는 30일, 화성벼는 44일, 일품벼는 53일 동안 시비된 질소가 소모되므로 표준량 이상의 질소시비수준에서는 조생종>중생종>중만생종 순으로 높게 유지되어 Pot 시험에서의 결과와 같은 경향으로 나타났다. 유수형성기에 시비한 이삭거름의 영향권시기인 출수후 5일까지에는 모든 품종에서 질소시비수준의 증가와 비례적이었다.

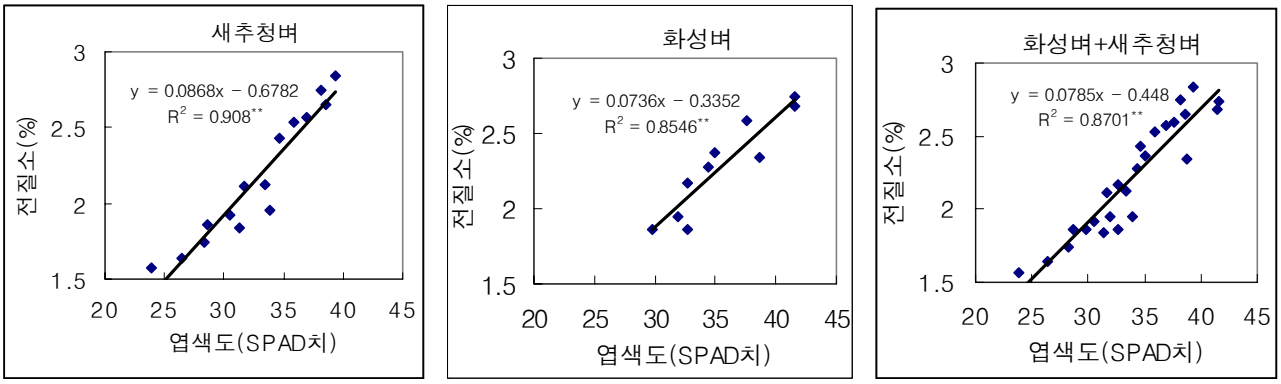


그림 3-62. 포장조건에서 품종의 조·만성별 질소시비수준에 따른 엽색도와 질소함량과의 관계

그림 3-62에서는 벼 품종의 조만별 유수형성기 무렵 엽신중의 엽색도와 질소함량과의 관계를 나타내었다. 숙기가 늦은 품종일수록 높은 상관을 보여 새추청벼에서는 y=0.0868X-0.6782의 직선회귀에서 R^2=0.9087**로, 화성벼에서는 y=0.0736X- 0.3352의 직선상관식에서 R^2=0.8546**로 고도의 유의상관을 보였다.

그림 3-63은 식질답(경기 화성의 농가포장), 사양질답(수원 작물시험장의 시험포장-A) 그리고 보통답(화성 경기도농업기술원의 시험포장-B)에서 유수형성기 무렵의 완전 전개엽의 엽색도 값을 측정하고 잎을 채취하여 건조시킨 후 전질소를 분석하여 엽색도와 질소함량간의 상관을 나타내었다.

보통답에서는 y=0.0931X-0.5863의 직선식과 R^2=0.8609**로서, 사양질답에서는 y=0.0503X-0.7942**에서 R^2=0.7799**로서 각각 고도의 유의성이 인정되었고 농가포장에서는 y=0.0752X-0.0689의 R^2=0.5518**로 높은 유의상관을 보였다.

이상의 결과에서 품종이나 재배지역 등의 상이한 조건과 동일조건 내에서도 개체에 따라서 엽색도와 질소함량 간에 상관관계 변이가 일정하지 않음을 볼 수 있는데 이것은 재배조건에 따른 엽신의 두께나 굴곡 등의 형태와 측정부위의 상이에 기인될 것으로 추정되지만 전체적인 상관은 매우 유의적인 직선관계를 보였다(그림 3-64).

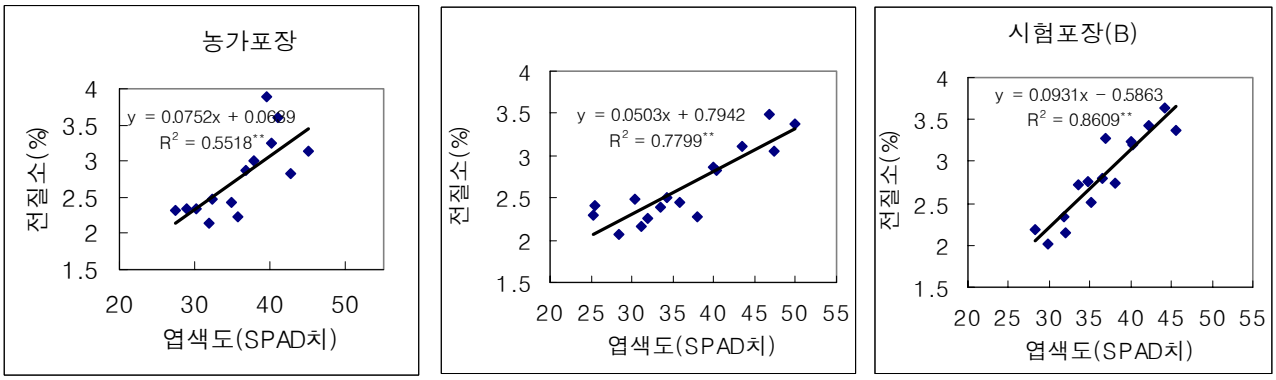


그림 3-63. 포장조건에 따른 벼 품종의 엽색도와 엽신 질소함량과의 관계

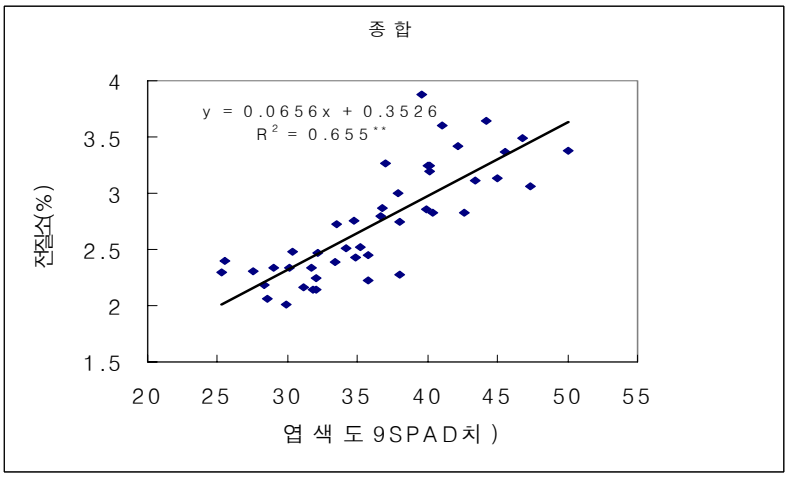


그림 3-64. 벼 엽색도와 질소함량과의 상관관계(n=45)

그림 3-65는 디지털질소측정기 농가실증시험 포장을 나타낸 것이다.

그림 3-65. 디지털질소측정기 개발 농가실증시험 현지포장

5) 마늘재배의 질소측정기 이용 연구

가) 시험 I - Pot 시험

(1) 토양 및 식물체 질소함량

마늘을 정식하기 전에 밑거름을 시용하고 30일 후에 질소를 추비하여 재배한 토양에서 질산태질소를 분석하고 흡수한 식물체 잎에서 전질소함량을 분석하였다.

질소시비량이 증가할수록 토양 중에 질산태질소의 증가가 현저하였고 전 생육기를 통하여 거의 일정하게 유지되었으며 특히 질소 6배비량에서는 현저한 증가를 보였다(그림 3-66). 또한 질소시비량 증가에 따른 마늘잎의 전질소함량은 뚜렷하게 증가되었고 정식부터 생육이 경과할수록 완만하게 감소되었다(그림 3-67). 그리하여 토양중 질산태질소함량이 높을수록 식물체 엽의 전질소함량이 증가됨을 알 수 있어 밭 토양에서 마늘의 질산태 질소흡수가 효과적이었음을 잘 나타내고 있다.

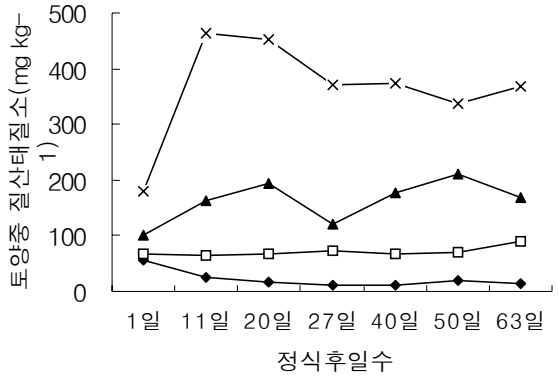


그림 3-66. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 토양중 질산태질소 변화

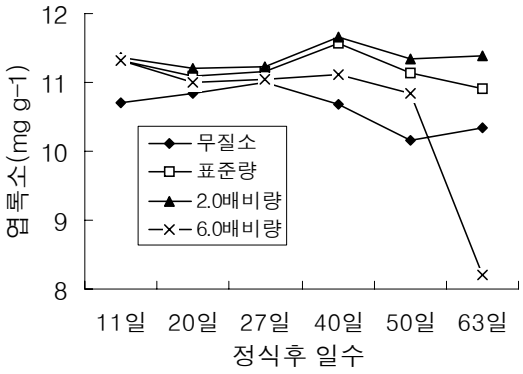


그림 3-67. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 엽신중 전질소함량의 변화

(2) 식물체 엽신중 엽색도와 엽록소함량

정식 직전에 시용한 기비와 1개월후에 추비 시용후 정식묘부터 1주일 간격으로 마늘의 엽색도와 엽록소를 측정한 결과 엽색도는 질소 시비수준이 증가할수록 증가되는 경향이었고 생육시기별로는 4주간은 증가되다가 그 이후 4주간은 급격히 감소되었다(그림 3-68).

또한 마늘잎의 엽색도는 엽록소로 나타날 것이므로 질소시비수준 증가로 전질소함량 증가와 같이 증가되었고 생육시기에 따라서는 정식 후 2개월 간 완만히 증가되어 유지되었고 무질소구와 질소구 간에는 뚜렷한 차이를 보였으나 질소구간에는 경미한 차이를 보여(그림 3-69) 엽색도와는 높은 정상관을 나타내었다(그림 3-70).

따라서 토양질산태질소는 엽신중에 전질소함량을 증가시켜 엽록소함량이 높아졌고 엽색도와 고도의 상관을 보임으로서 엽색도 측정에 의한 질소흡수양상을 쉽게 평가할 수 있는 방법으로 판단되었다.

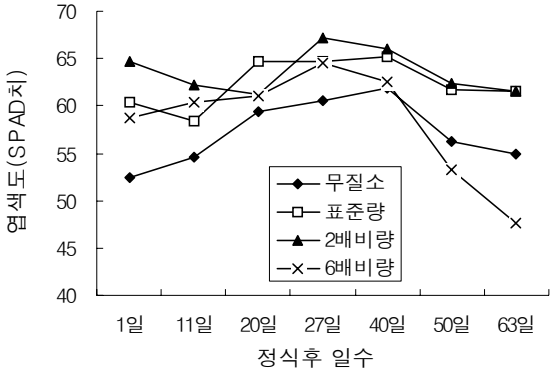


그림 3-68. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 엽색도의 변화

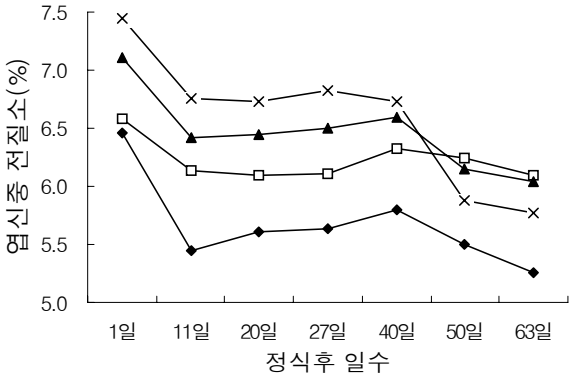


그림 3-69. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 엽신중 엽록소함량의 변화

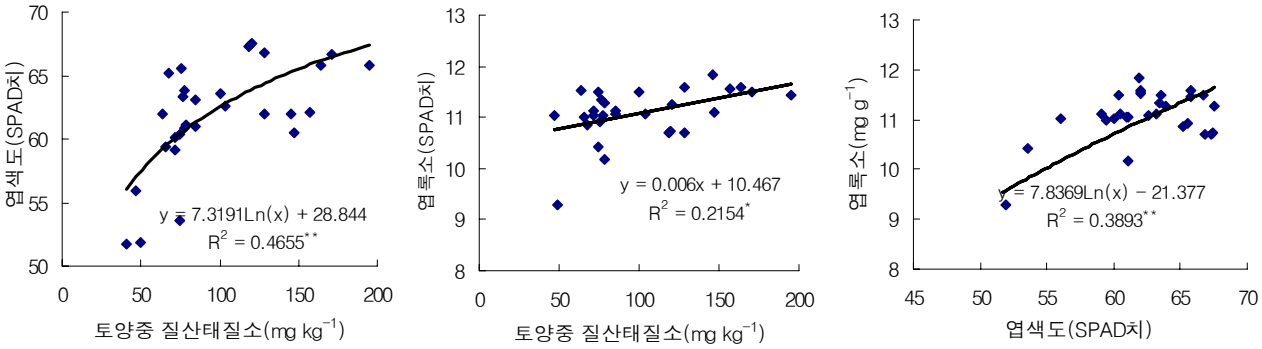


그림 3-70. Pot시험에서 질소시비수준에 따른 마늘의 생육시기별 토양질소, 엽색도 및 엽록소함량 간의 관계

(3) 수량

마늘 수량은 질소 표준량과 2배 시비량까지는 유의하게 증가되었으나 6배 시비량에서는 오히려 무질소에서 보다 감소되었다.

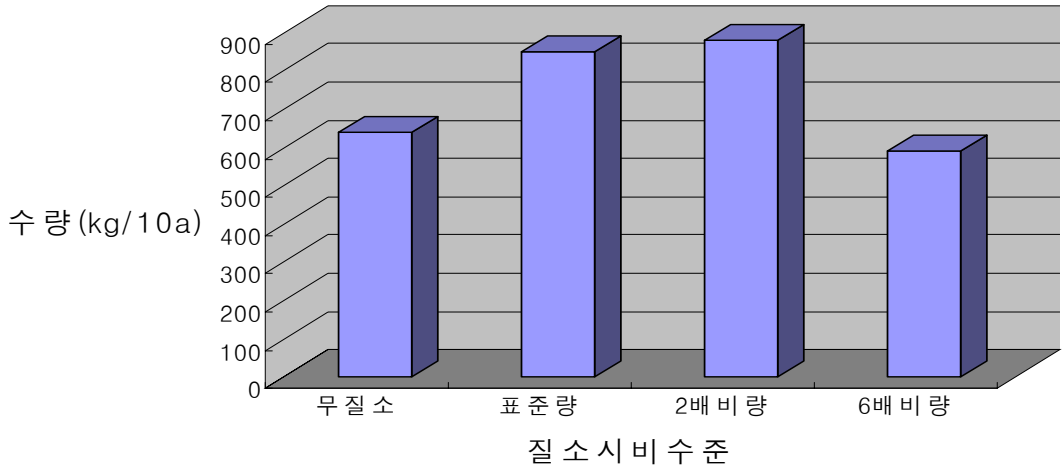


그림 3-71. 마늘의 질소시비 수준에 따른 수량생산성
[LSD(0.05)=120.9]

나) 시험Ⅱ- 노지포장시험

(1) 토양 및 식물체 엽신중 질소함량

Pot 시험에서와 같이 질소시비량 증가로 포장에서도 토양 중에 질산태질소와 엽신중 전질소의 증가가 현저하였으나 생육시기별 토양 및 엽신중 질소함량은 Pot시험에서와는 달리 기비시용 후에 2주후까지는 증가되다가 4주후까지는 현저히 떨어졌으며 추비시용으로 3주후까지 다시 증가되다가 완만히 감소경향을 보였다(그림 3-72, 3-73). 그리고 질소시비량 증가로 토양중 질산태질소가 증가되었고 그로 인하여 엽신중 전질소함량은 뚜렷하게 증가되었으며 생육시기에 따라서는 토양질소함량 변화와 같은 경향으로 유지되었다.

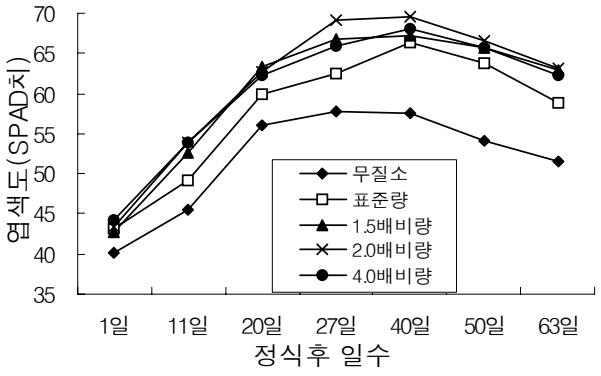


그림 3-72. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 토양중 질산태질소 변화

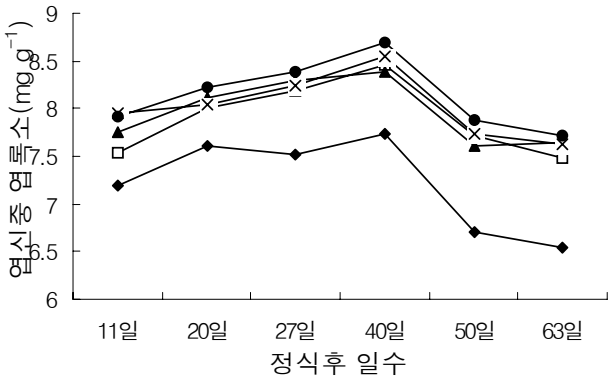


그림 3-73. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 엽신중 전질소의 변화

(2) 식물체 엽색도 및 엽록소

Pot시험에서와 같이 기비 시용후 정식묘부터 1주일 간격으로 63일간 마늘의 엽색도를 측정한 결과 질소 시비수준이 증가할수록 4주간은 증가되다가 그 이후 4주간은 완만하게 감소되었고 무질소 보다

는 질소시용으로 엽색이 짙어졌으나 시비량이 증가할수록 엽색도 차이는 줄어들었다(그림 3-74).

마늘잎의 엽색도는 엽록소로 나타날 것이므로 질소시비수준에 따른 정식 후 2개월간의 엽록소함량을 보면 질소시비량 증가에 따른 마늘잎의 엽록소함량은 뚜렷하게 증가되었고 정식부터 생육이 경과할수록 정식후 40일까지는 완만하게 증가되다가 그 후로는 감소되었다(그림 3-75). 특히 무비구와 시비구간의 엽록소함량은 뚜렷한 차이를 보였으나 시비량간에는 차이가 적었으며 엽색도와는 높은 상관을 나타내었다(그림 3-76).

따라서 토양에 질소시비는 토양질산태질소를 증가시켰고 식물체 엽신에 같은 경향으로 흡수되어 엽록소 증진으로 엽색도는 높아져서 이들 상호간에는 고도의 유의성이 나타났다(그림 3-76). 이러한 경향은 Pot시험에서와 같은 경향으로 나타나서 엽색도 평가로 시비처방을 합리적으로 할 수 있음을 제시하고 있다.

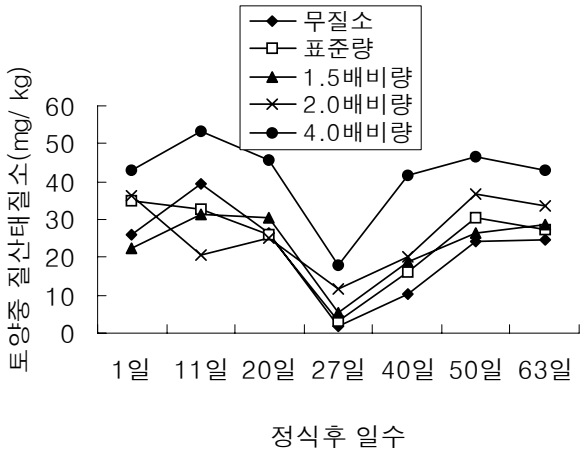


그림 3-74. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 엽색도의 변화

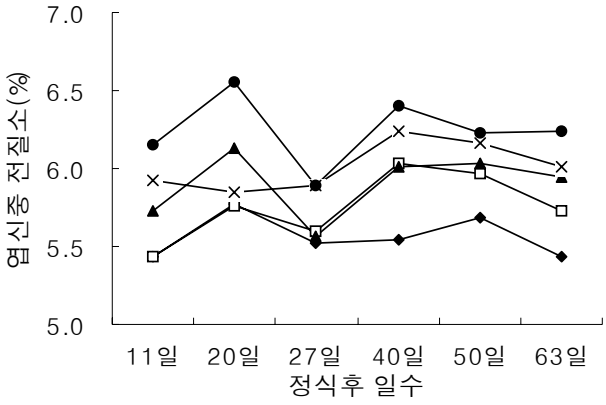


그림 3-75. 마늘의 질소시비수준에 따른 생육시기별 엽신중 엽록소의 변화

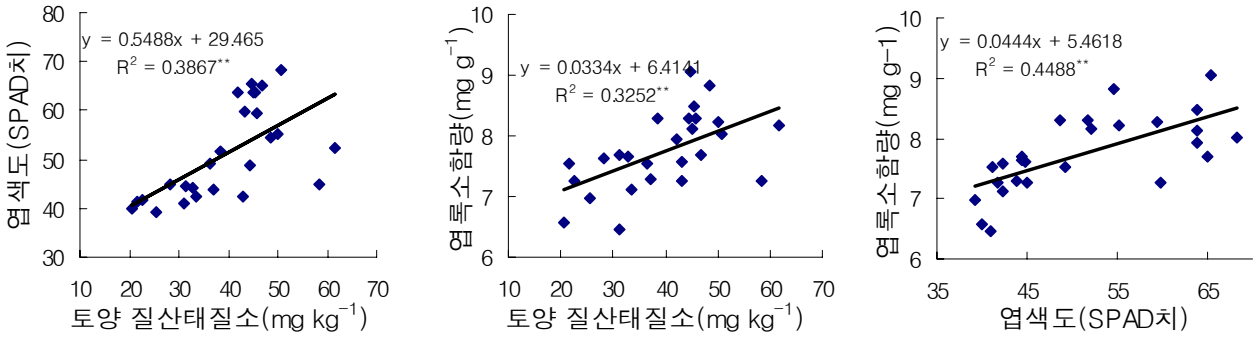


그림 3-76. 노지포장에서 질소시비수준에 따른 마늘의 생육시기별 토양질소, 엽색도 및 엽록소함량 간의 관계

(3) 수량

그림 3-77에서와 같이 질소 시비량을 표준량, 1.5배비, 2배비, 4배비로 증가시키면 무비구보다는 유의한 증수를 얻을 수 있었으나 시비량 간에는 유의성이 없었다. 이러한 결과는 시비량 증가에 따른 엽록

소 증가경향과 같이 나타났다.

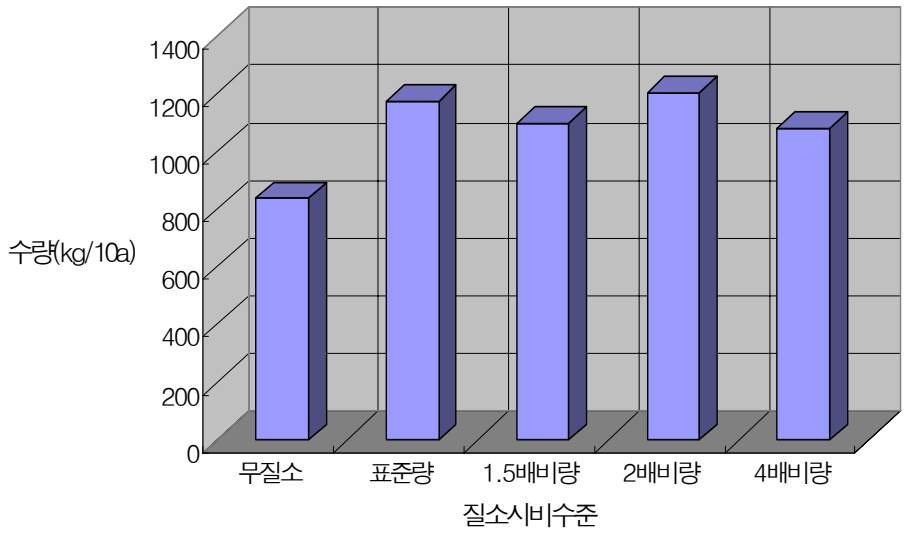


그림 3-77. 노지포장에서 질소시비 수준에 따른 마늘의 수량[LSD(0.05)=252.8]

3. 3차년도

1) 주요 벼 품종의 엽색도와 잎의 질소함량

가. 조생종

우리나라 중부지방에서 주로 많이 재배하고 있는 대표적인 조생종 오대벼의 이삭거름 처리 시기인 유수형성기 벼 잎의 엽색도와 질소 농도는 그림 3-78과 같았다.

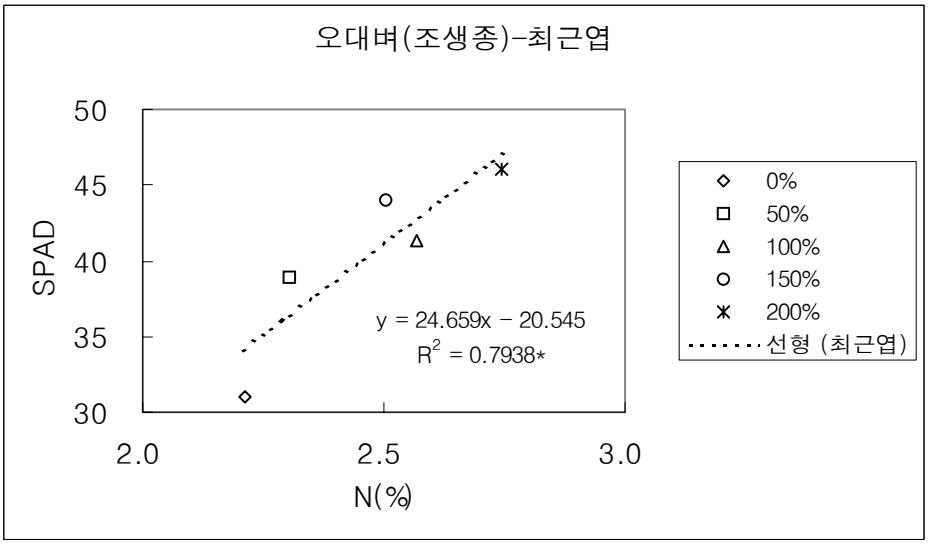


그림3-78. 오대벼 최상위엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

질소수준(0,50,100,150,200%)에 따른엽색도와질소함량간상관식은직선(y=24.659x-20.545)관계식으로서 5%의 통계적 유의성(r^2=0.7938*)이 인정되었다, 하지만 최상위엽 그이전엽에서는 그림3-79에서 보는 바와 같이 질소 수준에 따른 엽색도와 질소함량간의 상관식은 1% 고도위 높은 통계적 유의성이(r^2=0.9271**)

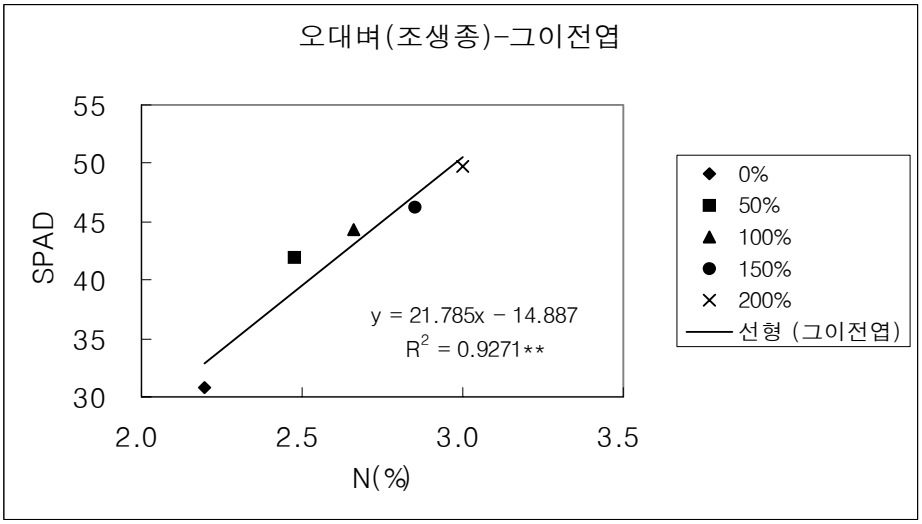


그림 3-79. 오대벼 최상위 그 이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

이 인정되어 엽색도 측정에서 이삭거름 처리시기의 잎의 측정위치가 중요함이 밝혀졌다.

나. 중생종

(1)수라벼

최근 육성.보급품종인 수라벼의 이삭거름 처리시기인 유성형성기 벼 잎 부위별 잎의 엽색도와 질소 농도간의 상관관계는 그림 3-80과 같다. 수라벼의 질소수준별 최상위엽의 엽색도와 질소함량간의 상관관계는 y=10.713x+7.8459의 직선식으로서 높은 통계적 유의성 (r^2=0.9199**)이 인정되었다. 하지만 질소처리수준 50%와 100%간의 상관관계에서는 다소 반응이 떨어졌으며 200%처리수준에서는 매우 높은 엽색도와질소 흡수이용반응 보이는 것이 특징적이었다.

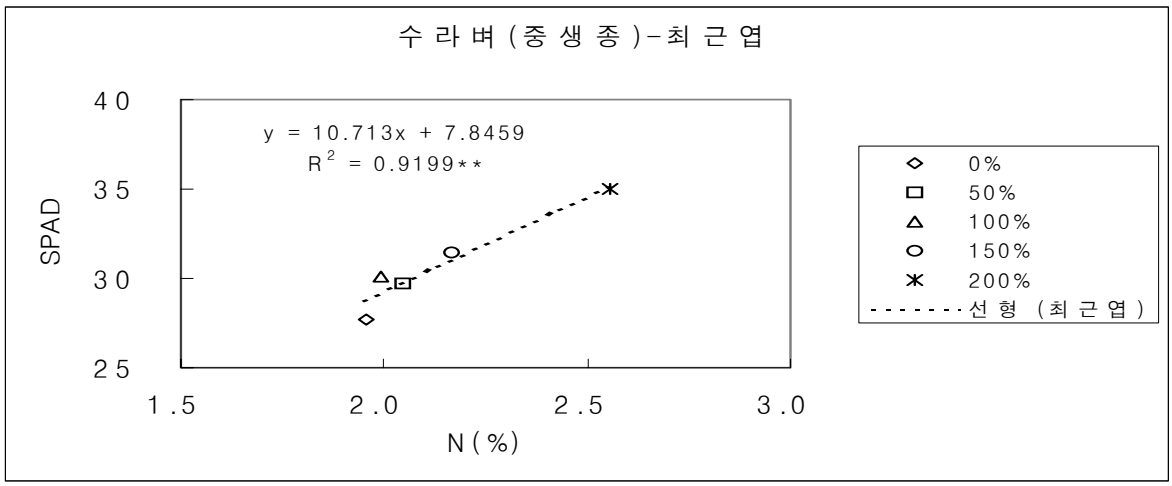


그림 3-80. 수라벼 최상위엽의 엽색도와 질소 농도간의 상관관계

이와같은 경향은 그 이전엽에서도 비슷한 경향를 보여 이 품종의 질소이용 반응 특성이 다른 품종과 다소 다른 것으로 판단되어진다.

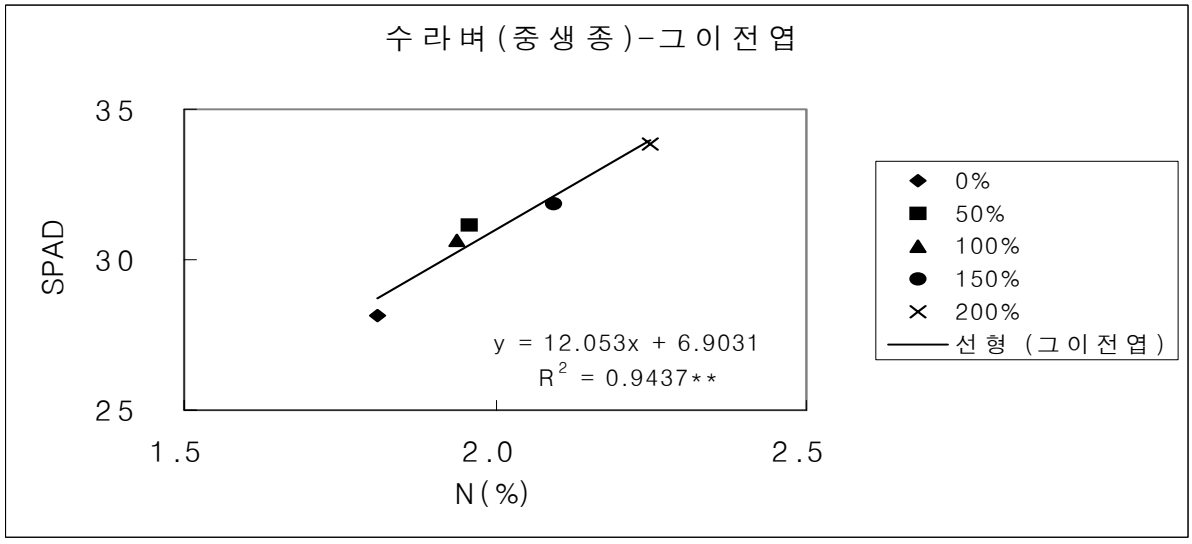


그림 3-81. 수라벼 최상위 그이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

아울러 수라벼에서도 최상위 그이전엽의 엽색도와 질소함량간의 상관관계에서도 1%의 고도의 높은 통계적 유의성이 인정되었다.

2) 화성벼

화성벼의 질소함량과 엽색도간의 상관관계는 그림 3-82에서 보는 바와 같이 수라벼와 다소 다른 양상은 보였다. 즉 질소수준 50%이상에서 질소비료처리에 따른 엽색도와 질소흡수량은 매우 민감한 반응을 보이고 있었으며, 50, 100, 150%에서의 상관관계는 다소 경향치가 없는 것으로 나타나, 전체적인 직선상관식에서도 5%의 유의성은 인정 되었지만 비교적 낮은 r값을 보인 것으로 나타났다.

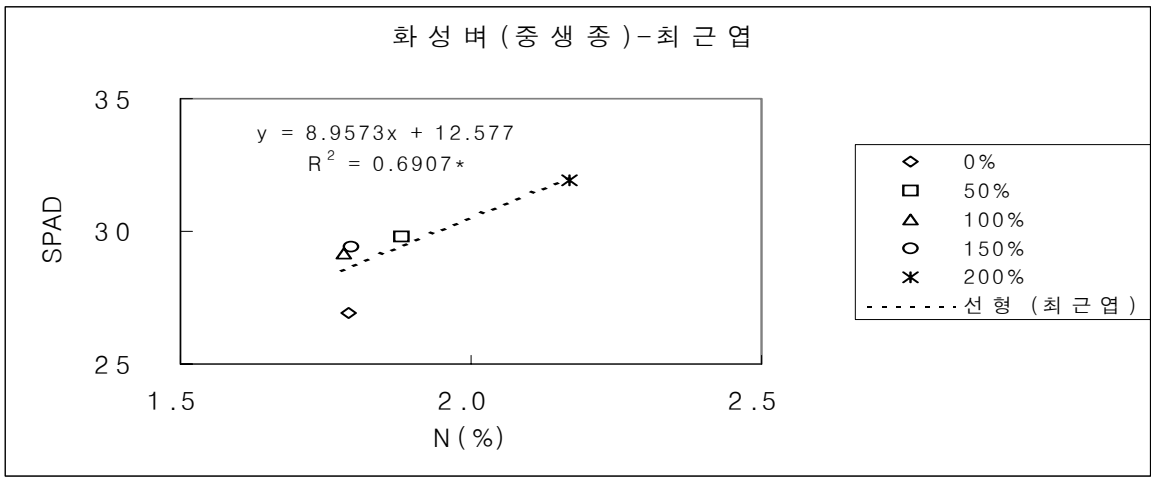


그림 3-82. 화성벼 최상위엽의엽색도와 질소농도간의 상관관계

그림 3-83에서 보는바와 같이 그 이전엽에서도 최상위엽과 비슷한 양상의 질소수준별 잎의 엽색도와 질소함량간의 관계식을 보여 다소 특이한 질소비료수준별 잎의 엽색도와질소함량 특성을 보였다.

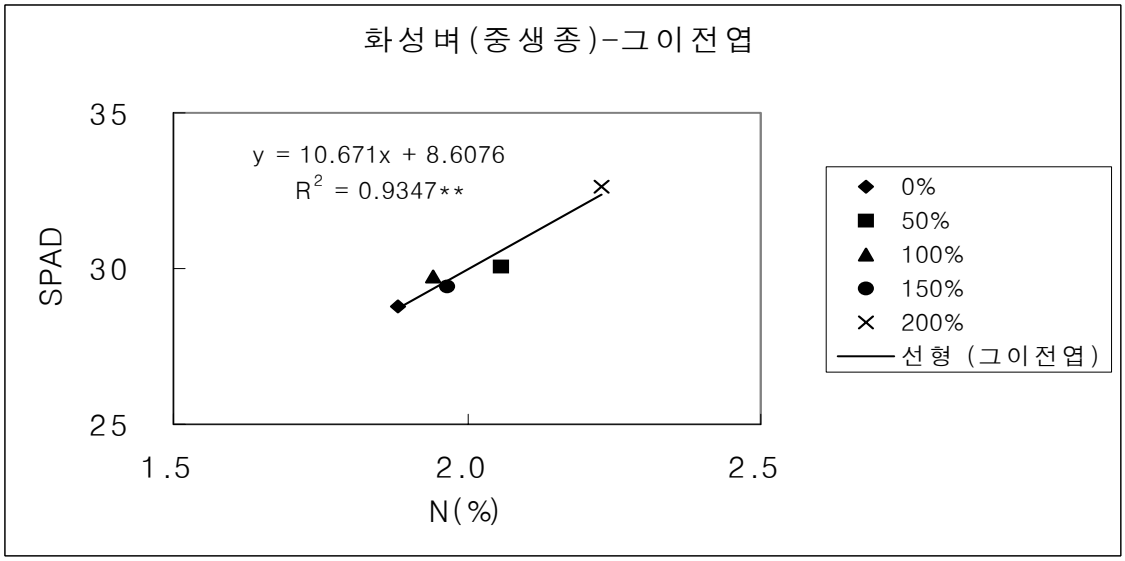


그림 3-83. 화성벼 최상위 그이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

(3) 다산벼

최근 다수성 품중으로 육성개발된 다산벼의 질소처리 수준별 엽색도와 잎의 질소함량간의 상관관계는 그림 3-7과 같다 질소처리수준 150%에서 이미 200%수준과 비슷한 질소흡수함량 경향을 보였으며 이와같은 질소비료 흡수 특성으로 인하여 질소이용효율이 다른 벼 품종에 비하여 높아 수량성 증가에

큰 기여를 하는 것으로 추정되어진다.

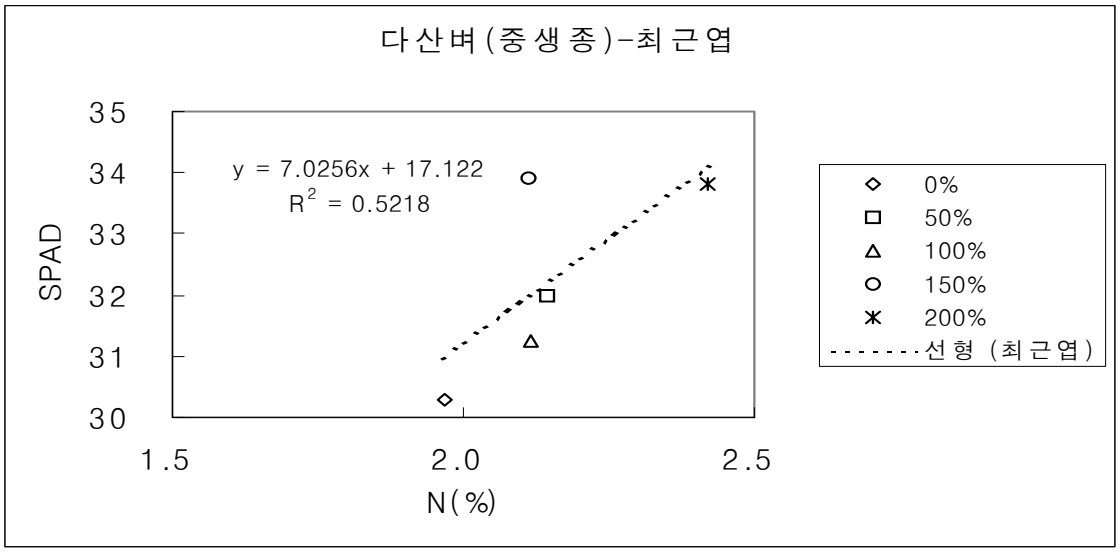


그림 3-84. 다산벼 최상위엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

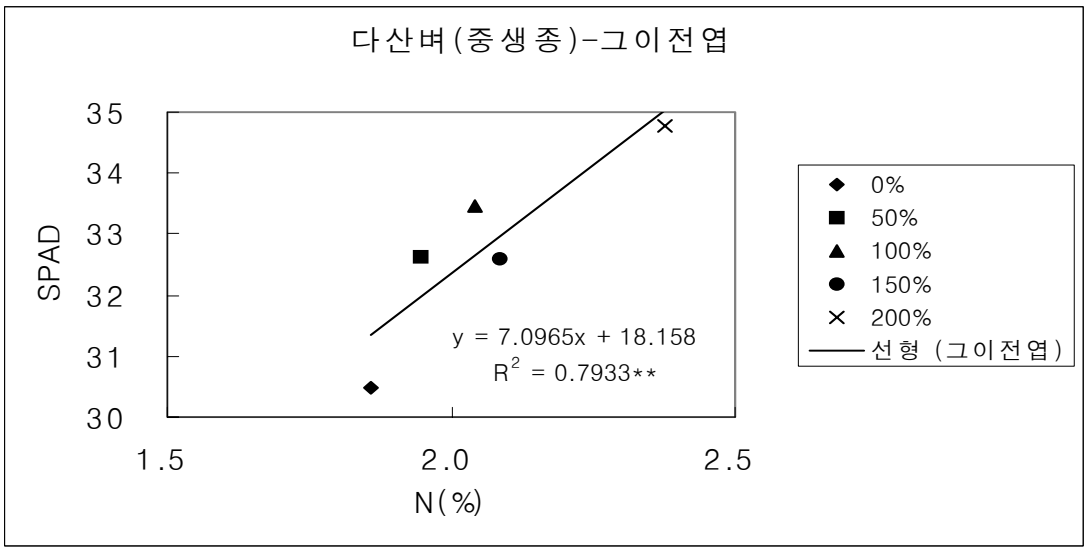


그림 3-85. 다산벼 최상위 그이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

한편 최상위 그 이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계(그림3-85)에서는r^2=0.7933**으로서 1%의 높은상관관계를 보였다.

다. 중만생종

(1) 동진벼

동진벼의 경우 질소처리수준에 따른 엽색도와 잎의 질소함량간의 상관관계는 최상위엽에서 비교적 높은 직선상관관계식을 얻었지만(그림3-86), 질소처리수준 50, 100, 150%간의 상관관계는 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

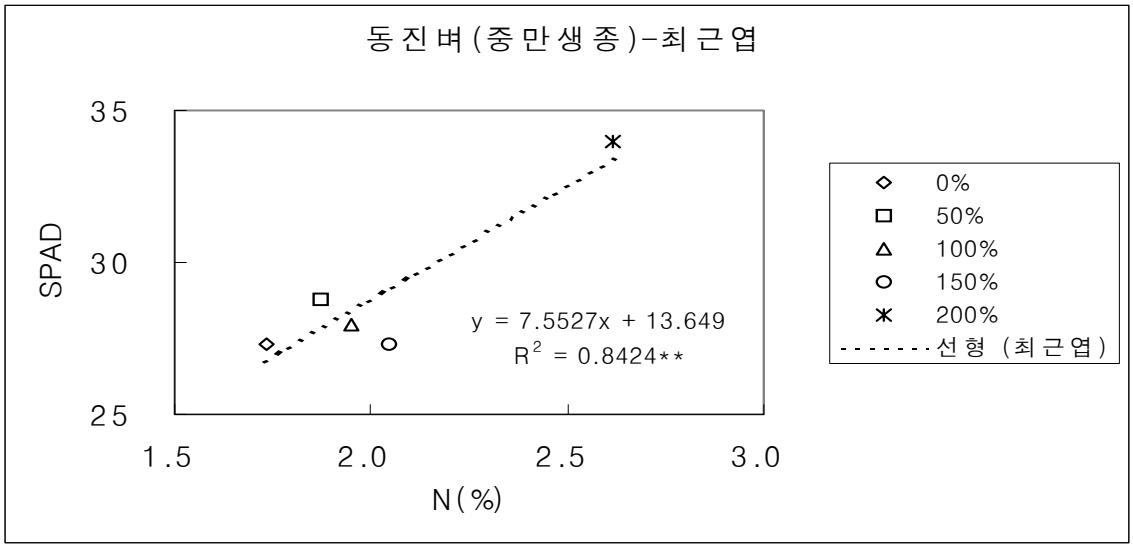


그림 3-86. 동진벼 최상위엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

이와 같은 현상은 그이전엽에서도 비슷한 양상을 보여 동진벼와 같은 벼품종의 질소 흡수 이용반은 질소비료처리 수준 50~150%사이에서는 비슷한 양상을 보여 향후 이와같은 벼품종의 질소시비처리 방법에는 다소 다른 시비처방이 요구되어진다(그림 3-87).

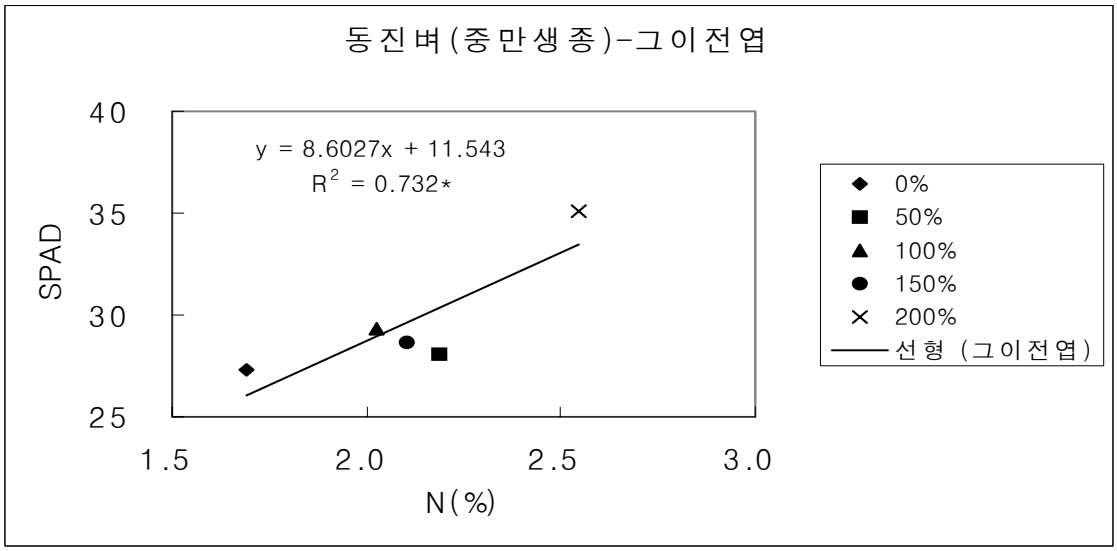


그림 3-87. 동진벼 최상위 그이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

(2)주남벼

주남벼의 질소비료 처리수준별 엽색도와 잎의 질소함량간의 상관관계식은 비교적 완만한 상관관계를 보였으며(그림3-88) 통계적인 유의성도 5%수준에서 유의성이 인정되었다.

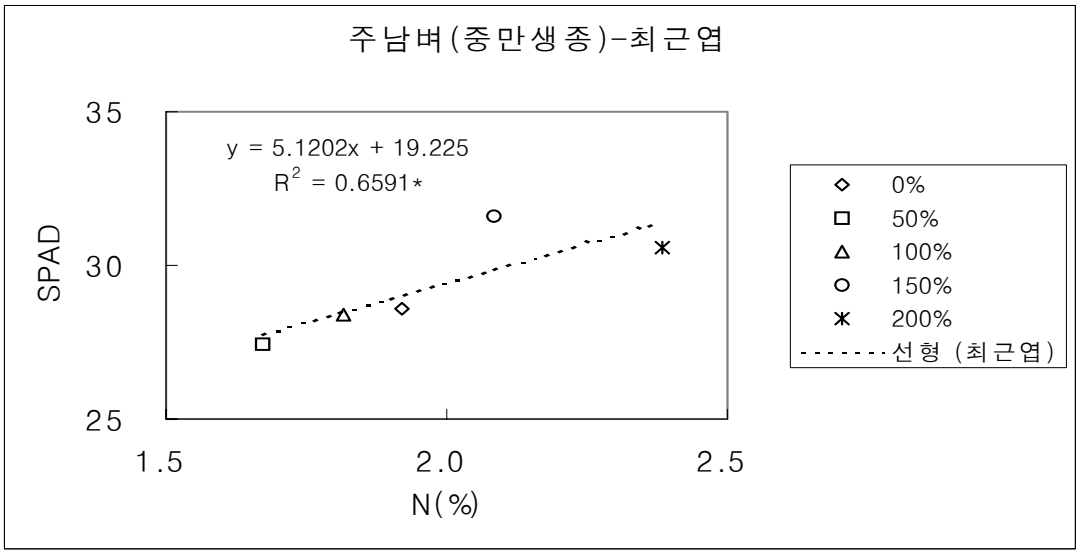


그림 3-88. 주남벼 최상위엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

하지만 최상위 그이전엽에서의 질소처리 수준에 따른 엽색도와 잎의 질소함량간의 상관관계는 1%의 높은 통계적 유의성이 인정되었다(그림 3-89).

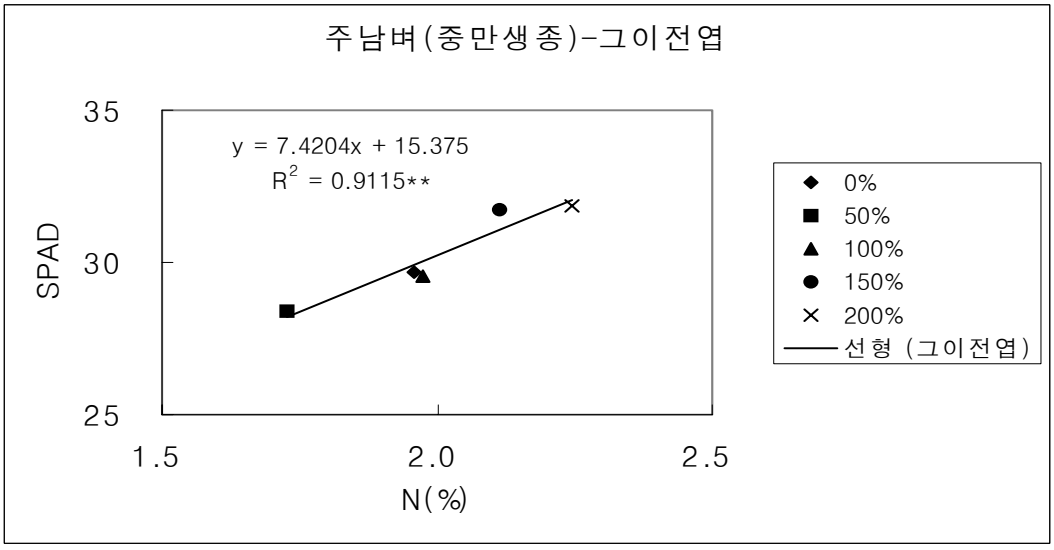


그림 3-89. 주남벼 최상위 그이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

(3)남평벼

남평벼의 질소처리수준별 엽색도와 잎의 질소함량간의 상관관계는 최상위엽에서도 매우 높은 통계적 유의성이 인정되었다(그림 3-90).

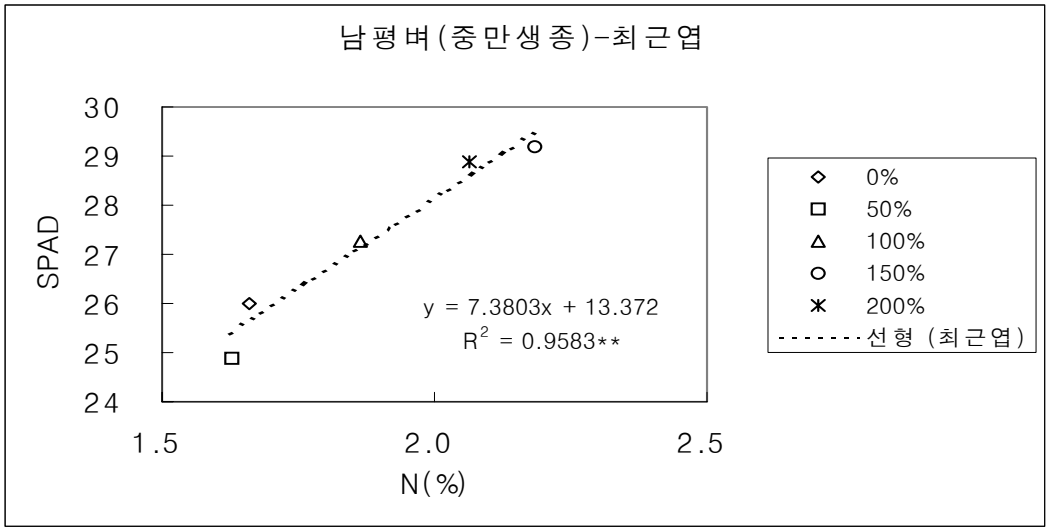


그림 3-90. 남평벼, 최상위엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

또한 최상위엽 그이전엽에서도 질소처리수준에 따른 엽색도 및 잎의 질소함량간의 상관관계도 정의 직선상관으로 나타나(그림3-91)잎의 질소함량과 엽색도는 벼품종간의 높은 상관관계가 있는 것으로 사료되어진다.

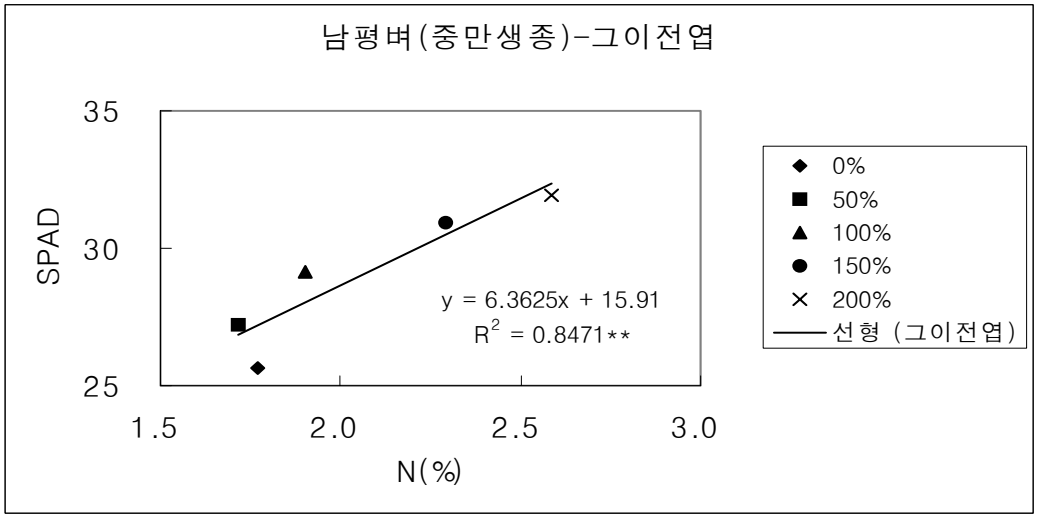


그림 3-91. 남평벼 최상위 그이전엽의 엽색도와 질소농도간의 상관관계

2) 엽색도 측정기 성능비교

잎의 엽록소 함량과 질소함량간의 상관관계를 이용하여 간이적인 방법으로 이용하고 있는 수단은 크게 엽색도판 (LCC.leaf color chart), 엽색도계 등이 있다.

가. 엽색도판

엽색도판은 엽색의 녹색농도를 등급화(grade)하여 1~8등급으로 level화하여 실제 농가에서 질소비료 시비처방 수단으로 활용되어 왔는데 현재까지 사용되고 있는 엽색판(LCC)은 다음과 같다.

1)LCC-I (국제미작연구소 개발, 보급)

국제미작연구소 연구자 (Dr. V. Balasubramanian and A. Morales)에 의해 개발, 보급되고있는 것(그림 3-92)으로서 이앙벼의 경우 이앙후 14일(분얼비) 및 출수기(알거름) LCC를 이용하여 값을 얻는다. 이때 LCC 측정시간은 오전 8-10시 또는 오후 2-4시경이 가장 좋은 것으로 알려져 있으며 태양을 등지고 읽는 것이 좋다. 가능한 동일한사람에 의해서 LCC를 읽는 것이 좋다.

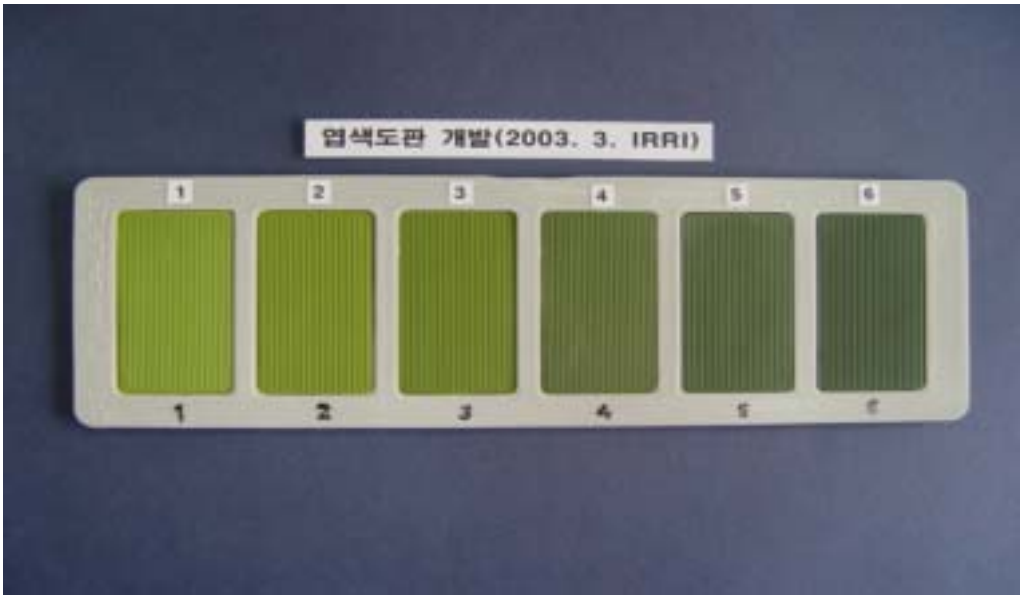


그림 3-92. 국제미작연구소개발, 보급형 엽색도판(LCC)

측정하기 위한 잎의 선택은 무작위로 비교적 벼생육이 고르면서 병이 들지 않은 잎 10개체를 읽은후 평균값을 얻는다. LCC값을 읽을때 가장 어리면서 완전히 전개한 잎을 선택하여 LCC판 상단에 잎의 가운데 부위를 놓은후 LCC 값을 읽는다. LCC값이 4가 기준 엽색도이며 만약 6개체 잎 이상이 4(LCC값)이하일 경우 우기(wet season)에는 ha당 질소비료를 23kg N, 건기(dry season)에는 ha당 35kg N를 주는 것이 좋다.

(2) LCC-Ⅱ(University of California, USA)

미국에서 LCC는 연구시험용을 캘리포니아대학에서 개발하여 사용되고 있다(그림 3-93).

그림 3-93. 미국 캘리포니아대학 개발-연구,시험용 엽색도판(LCC)

이 엽색도판은 grade가 1~8까지 있으며 벼 품종별(중.장립, 단립, 자포니카형) 엽색도판 grade,와 잎의 질소농도(%)를 표시하고 있다(표3-22)

표 3-22. LCC grade와 벼 품종유형별 잎의 질소함량 ('04 미국 캘리포니아 대학)

품종	Leaf color chart (1-8)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
단립종(%N)	1.1	1.9	2.5	3.0	3.4	3.8	4.3	4.6
중.장립종(%N)	1.1	2.0	2.7	3.3	3.9	4.3	4.9	5.3
자포니카(%N) (Akita & Koshi)	0.8	1.5	2.0	2.5	2.9	3.2	3.6	3.9

아울러 본 LCC 사용시 2가지 벼 생육상태를 제시하고 있다.
첫째는 개체엽을 측정할 경우 가장 최근에 완전히 전개한 잎을 측정하도록 권장하고 있다.
둘째는 포장에서 LCC판을 측정자의 눈 아래에 두고 grade를 읽어야하며 포장의 엽색정도와 일치하는 LCC grade 값을 얻으면 된다. 아울러 본 LCC는 유수형성기에 맞추어 벼 잎의 질소농도를 측정, 분석한 값이다. 아울러 본 엽색도판을 사용할 때는 맑은 날 태양을 등지고 측정하는 것이 좋다고 추천하고 있다.

나. 엽색도계

엽색도계는 빛의 spectrum을 이용하여 광학적으로 잎의 엽록소함량을 측정하여 질소함량간의 상관관계를 나타내어 간이적인 잎의 질소함량을 나타내는 측정기로서 전 세계적으로 사용되고 있는 엽색도계(chlorophyll meter)는 다음과 같다.

(1) SPAD 502(Minolta)

일본 Minolta 회사에서 개발, 보급하고 있는 엽색도계(그림3-94)로서 국내에서도 시험장, 연구소, 대학등에서 널리 보급되어 이용하고 있다. 하지만 본 측정기는 연구자 수준의 엽색측정값을 활용할 수 있으며 실제 농가에서 바로 손쉽게 이용하기는 어려운 실정이다.

그림 3-94. 엽색도 측정기(SPAD 502)

(2) PPW 3000(Satake)

일본 Satake 회사에서 개발, 보급한 것으로서 측정값이 SPAD치가 아닌 질소(N%), 단백질(P%)로 표시되는 것이 특징이다(그림 3-95). 하지만 본 측정기는 SPAD 502에 비하여 N% 값을 직접적으로 얻을수 있어 보다 진전된 측정기이지만 농가에서 실제로 질소 비료 시비처방에는 어려움이 있다.

그림 3-95. 엽색도 측정기(PPW 3000)

(3) CM1000 (Spectrum technologies lnc.)

미국 Spectrum technologies에서개발, 보급하고있는 엽색도계(Chlorophyllm meter)로서 일본에서 개발한 SPAD 502(Minolta)처럼 엽색도값(12~72)으로 나타내는 것이 특징이다(그림 3-96).

그림 3-96. 엽색도측정기(CM 1000)

다. SPAD 502와 PPW 3000의 성능비교

엽색도값으로 표시되는 SPAD 502와 질소(N%)값으로 나타내는 PPW3000 측정기간의 성능비교시험을 하였다(표 3-23).벼 유수형성기 전후 국내 조생종 주요 품종(오대벼, 상미벼)을 공시하여 동일시기, 동일한 잎을 측정한 결과 질소처리 수준별 SPAD 502와 PPW 3000은 비슷한 경향의 SPAD값과 질소농도를 보이는 것으로 각각 나타났다. 즉 질소수준이 증가함에 따라 유수형성기 측정시기에 상관없이 일정한 경향의 높은 SPAD값을 2품종 모두 보였으며 질소함량차이는 SPAD값에 비하여 뚜렷한 경향을 보이지는 않았다. 따라서 식물체 잎의 엽록소함량과 질소농도간의 상관관계를 이용한 간이적인 측정 시스템을 응용한 질소측정기이용 질소비료 시비처방 기술은 실험실 분석법에 비하여 정확한 데이터와 시비량 처방은 어려울것으로 판단되며 벼품종, 시기, 지역, 기상, 병해충, 토성등 모든 농업환경요인을 고려한 객관적이면서도 범용으로 사용할 수 있는 디지털질소측정기 개발이 요구되어진다.

표3-23. 엽색도 측정기별 성능비교

품종	질소처리수준(%)	SPAD 502(엽색도)						PPW 3000(질소%)					
		유수형성기5일전		유수형성기		유수형기5일후		유수형성기5일전		유수형성기		유수형기5일후	
		최상위엽	그이전엽	최상이엽	그이전엽	최상이엽	그이전엽	최상위엽	그이전엽	최상위엽	그이전엽	최상위엽	그이전엽
오대벼	0	30.9	30.9	27.2	29.4	28.6	29.5	2.3	2.3	2.1	2.2	2.0	2.7
	50	33.6	35.1	29.4	32.5	29.2	30.5	2.5	2.8	2.1	2.3	2.2	2.2
	100	34.3	41.1	30.7	35.0	29.2	32.3	2.7	3.1	2.4	2.5	2.2	2.4
	150	36.9	42.5	28.7	34.1	30.6	33.9	2.9	3.5	2.0	2.7	2.2	2.5
	200	39.6	46.7	33.5	40.3	33.3	38.0	3.4	3.6	2.5	3.3	2.4	2.9
상미벼	0	31.1	34.8	27.9	30.4	29.9	30.9	2.5	2.7	2.2	2.2	2.4	2.3
	50	31.1	37.2	29.4	32.7	30.7	30.3	3.2	3.5	2.2	2.3	2.3	2.4
	100	35.2	41.9	30.6	35.5	31.3	34.5	3.4	3.8	2.2	2.8	2.5	2.7
	150	38.7	46.0	32.2	40.2	35.2	38.4	3.1	3.6	2.8	3.2	2.7	3.0
	200	43.4	46.3	38.3	44.5	34.9	43.0	3.3	3.8	3.2	3.6	2.8	3.5

3) 디지털질소측정기 시작기 성능 테스트

디지털질소측정기 시작기의 식물 잎의 엽색도를 측정하기 위한 전체적인 흐름도는 그림 3-97에서 보는 바와 같이 photo diod를 이용하여 벼 잎의 엽색도를 측정하면 IR, RED,

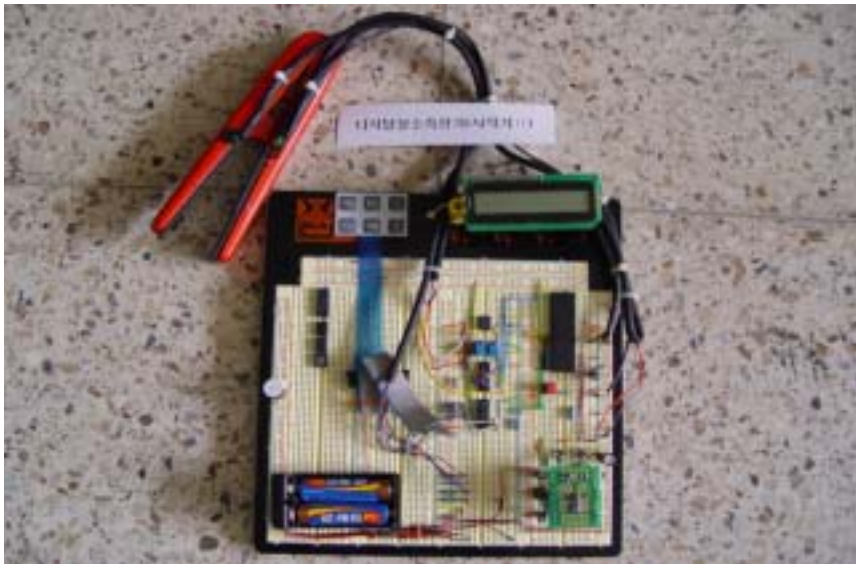


그림 3-97. 디지털질소측정기 시작기 구조

동작부분에서 엽색도 값을 얻게 되어 CPU에 저장되어 있는 프로그램에서 질소값으로 변환하게 한다. 아울러 마늘 잎과같이 잎이 두꺼운 작물은 동작부분의 gain을 조정하여 사용하면 된다. 좌측상단부위의 Key 부위는 최종조립과정을 통하여 그림 3-98과 같은 전체적인 측정기 형태로 되며 이때 측정기 상판에 Key기능 보턴들이 들어가게 된다.

그림 3-98. 디지털 질소측정기 시작기 최종조립형태

이 Key 기능에서 얻어진 SPAD, N%값을 질소비료 처리대상 논면적을 입력하게 되면 실제적인 비료사용량 즉 요소의 정확한 처리량(kg)이 나타나게 된다. 따라서 농가에서는 본 최종 사용량에 따라 정확한 요소 사용량을 처리하게 되며 품종, 토성, 지역, 기상 환경등 제반 환경조건은 1~2차례 본 측정기의 성능과 농가 현지특성을 고려하여 조정 사용할 수 있다.
그림 3-99는 LED부위로서 본 측정기의 매우 중요한 기능부위이다.

그림 3-99, 디지털질소측정에 LED부위

가. 작동순서

(1) 1단계: S/W ON - 디지털질소측정기의 기능 Key를 이용하여 ON 스위치를 켠다

(2) 2단계: Calibration - 본 디지털질소측정기의 Calibration은 전원이 켜짐과 동시에 Calibration과정을 수행하게 된다(그림 3-100).

그림 3-100. 디지털질소측정기 시작기의 Calibration동작상태

(3) 3단계: STANDBY - Calibration과정이 수초에 걸쳐 끝난 후 디지털질소측정기는 STANDBY 상태에 놓여지게 된다(그림 3-101).

그림 3-101. 디지털질소측정기 시작기의 STANDBY 상태

(4) 4단계: 시료측정

STANDBY과정이 끝나면 이제 시료를 측정할 수 있다. 시료는 완전 전개된 잎의 전체 잎 길이를 기준으로 하여 1/2지점 증륵(벼잎) 우측 부위에 디지털질소측정기 LED부위를 누르면서 측정하면 된다(그림 3-102).

그림 3-102. 디지털질소측정기 시작기를 이용한 벼잎의 엽색도, 질소함량 측정모습

(5) 5단계: SPAD(측정값-40.57), 질소함량, Absorbance값이 바로 얻어지며(그림 3-103) 이어서 기능키를 이용하여 질소함량(2.545%)을 바로 얻을 수 있다(그림 3-104).

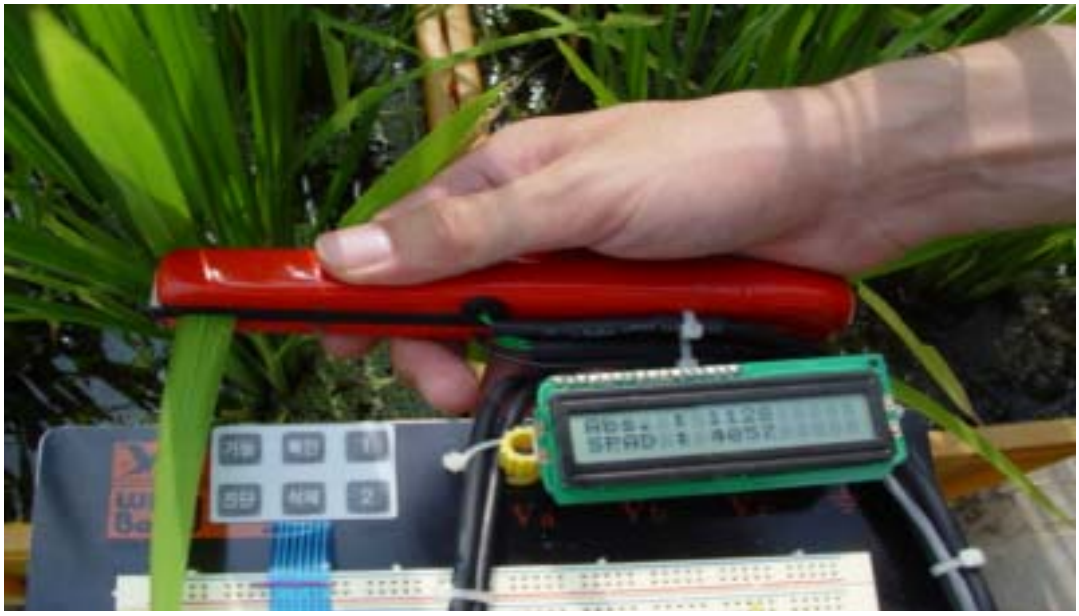


그림 3-103. 디지털질소측정기 시작기의 Absorbance 및 SPAD값 측정

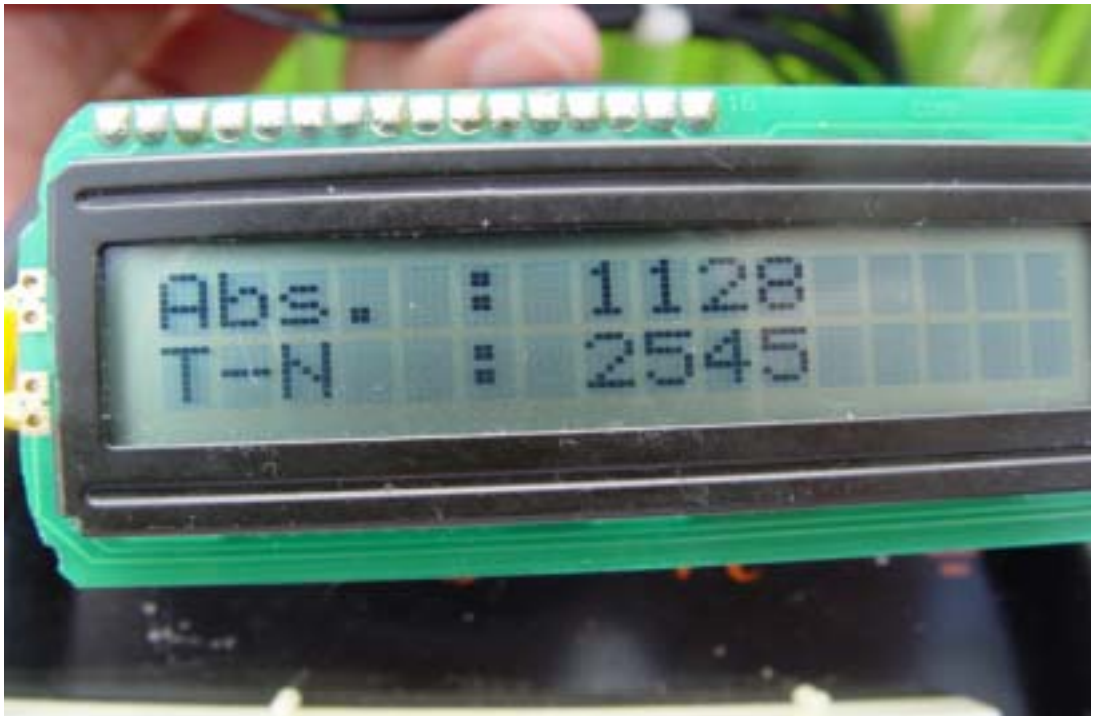


그림 3-104. 디지털질소측정에 시작기를 이용한 벼잎의 질소함량값 측정

아울러 실제적인 최종시작기가 완성되면(2004년 8월 29일) 그림 3-105와 같이 질소 실비량(요소 kg/10a - 2.5kg/10a)이 LED측정과 더불어 나타나게 된다.

그림 3-105. 디지털질소측정기 이용 벼잎의 질소함량값 측정Ⅱ

그림 3-106은 디지털질소측정기 시작기Ⅲ의 벼 잎의 엽색도, 질소함량 측정과정에서 일어나는 일련의

전 데이터처리과정을 나타낸 것이다.

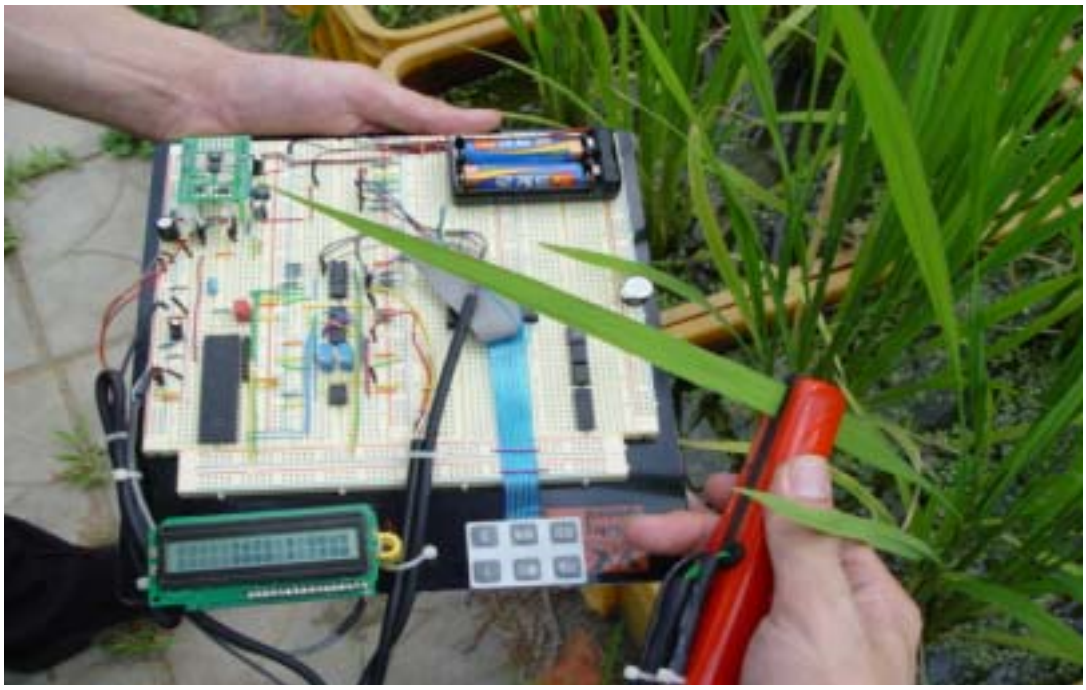


그림 3-106. 디지털질소측정기 시작기의 데이터 전 처리과정

(6) 6단계: 질소비료 시비처방

이와같은 전 단계에서 얻어진 N%값의 평균값을 얻어 기능키를 이용하여 논면적만 입력하게 되면 실제 질소비료(요소, 유안 등) 처리량을 정확히 얻을 수 있도록 하였다.

4) 농가실증시험과 디지털질소측정기 성능시험

디지털질소측정기 시작기의 성능시험을 벼 질소처리수준 0, 50, 100, 150, 175%에서 각각 측정한 결과 시작기의 엽색도 값과 질소농도(%)는 표3-24와 같았다. 즉 질소수준별 SPAD값은 정의 상관을 보였으며 질소함량값도 정의상관을 각각 보였다.

표 3-24. 디지털질소측정기 시작기Ⅲ의 질소수준별 SPAD값과 N%비교

질소수준(%)	SPAD	N(%)	Absorbance
0	30.69	1.5	0.841
50	32.59	1.7	0.896
100	36.98	2.2	1.024
175	40.57	2.5	1.128

- 시험품종: 일품벼, 측정시기: '04. 8. 7. 이앙: '04. 5. 25

또한 농가포장에서 시작기의 성능시험을 위한 기존 엽색도계(SPAD 502-Minolta, PPW 3000-Satake)와 비교 한 결과 매우 근접한 측정값을 각각 보였다(표 3-25 및 그림 3-107).

표 3-25. 디지털질소측정기 시작기Ⅲ의 성능테스트 비교

NO	엽색도 값		T-N(%)	
	SPAD 502	시작기	PPW 3000	시작기
1	26.9	26.9	1.9	1.8
2	29.4	29.3	2.0	2.0
3	27.3	26.5	1.7	1.8
4	30.9	29.7	2.3	2.0
5	32.4	31.5	2.0	2.2
6	31.3	29.0	2.2	2.0
7	32.5	31.8	2.4	2.2
8	29.6	27.0	2.1	1.8
9	29.4	28.5	1.8	1.9
10	27.6	26.4	1.7	1.8
11	34.3	30.3	2.5	2.1
12	30.7	30.9	2.1	2.1
13	29.7	28.7	2.2	2.0
14	28.7	27.5	1.9	1.9
15	28.9	28.2	2.2	1.9
16	27.8	27.6	1.9	1.9
17	35.3	33.6	2.4	2.3
18	30.3	27.9	1.7	1.9
19	30.3	30.2	2.5	1.9
20	33.9	30.2	2.6	1.9
21	38.0	33.2	2.4	2.3
22	30.1	30.0	1.7	2.1
23	31.8	30.8	2.2	2.1
24	33.2	32.4	2.2	2.2
25	28.3	27.8	2.1	1.9
26	29.9	28.6	2.2	1.9
27	31.3	28.6	2.4	1.9
28	27.0	30.0	2.2	2.0

(표 3-25...계속)

NO	엽색도 값		T-N(%)	
	SPAD 502	시작기	PPW 3000	시작기
29	24.7	25.9	1.4	1.7
30	28.9	28.7	2.1	2.0
31	29.8	28.7	2.0	2.0
32	27.0	27.3	1.9	1.9
33	33.6	32.1	2.6	2.2
34	35.1	30.8	2.1	2.1
35	34.3	32.2	2.2	2.2
36	33.3	30.2	2.0	2.1
37	38.8	34.6	2.2	2.4
38	36.5	34.4	2.9	2.4
39	37.9	34.7	2.8	2.4
40	34.9	31.9	2.2	2.2
41	33.4	31.6	2.2	2.2
42	32.7	28.5	2.1	1.9
43	32.5	31.2	2.6	2.2
44	32.1	30.5	2.6	2.1
45	32.5	31.1	2.2	2.1
46	34.0	33.7	2.6	2.4
47	32.7	32.2	2.5	2.2
48	29.4	29.9	2.3	2.1
49	36.2	35.0	2.8	2.5
50	34.3	33.0	2.7	2.3
51	35.0	32.8	2.7	2.3
52	30.0	29.6	1.9	2.0
53	36.7	31.2	2.4	2.2
54	30.8	30.5	2.0	2.1
55	38.6	33.4	2.6	2.3
56	34.6	34.5	2.8	2.4

(표 3-25...계속)

NO	엽색도 값		T-N(%)	
	SPAD 502	시작기	PPW 3000	시작기
57	34.4	**32.7**	2.8	**2.3**
58	30.1	**30.4**	2.2	**2.1**
59	33.0	**30.2**	2.4	**2.1**
60	31.4	**31.6**	2.4	**2.2**
61	35.7	**33.5**	2.8	**2.3**
62	37.3	**31.6**	2.2	**2.2**
63	28.9	**27.8**	2.1	**1.9**
64	29.2	**29.4**	2.2	**2.0**
65	37.7	**35.2**	2.9	**2.5**
66	35.6	**35.8**	3.1	**2.5**
67	35.1	**34.1**	2.8	**2.4**
68	39.3	**36.2**	2.4	**2.5**
69	38.3	**37.1**	3.0	**2.6**
70	39.9	**37.1**	3.1	**2.6**
71	35.5	**34.2**	2.8	**2.4**
72	42.1	**38.8**	3.6	**2.8**
73	40.5	**38.8**	3.1	**2.8**
74	36.7	**36.5**	2.3	**2.6**
75	33.1	**31.7**	2.3	**2.2**
76	35.8	**32.7**	2.9	**2.3**
77	34.9	**34.3**	2.6	**2.4**
78	39.1	**36.5**	3.3	**2.6**
79	38.6	**34.9**	3.3	**2.5**
80	36.5	**35.1**	3.1	**2.5**
평균	33.1	**31.5**	2.4	**2.2**

* 측정일시: 2004. 8. 16 ** 장소: 경기 화성 *** 시험품종: 일품벼

그림 3-107. 디지털질소측정기 성능비교시험

5) 농가에서 실제 사용 예시

디지털질소측정기의 농가 현장 포장에서 농업인이 직접 사용할 경우에는 다음과 같은 순서로 간편하게 측정하여 웃거름(질소비료-요소의 경우)을 표시된 량만큼 주며 처음 도입년도에는 지역, 품종, 필지특성 등을 고려하여 기본값을 정하여 주는 것이 유리 할 것으로 보인다.

가) 측정기를 켠다(그림 3-108).
나) 측정기의 안정을 찾는다(그림 3-109).
다) 벼 잎을 측정한다(무작위로 10개 잎 이상).
라) 평균 질소농도(엽색도값)를 얻는다(그림 3-110).
마) 10a당 요소(질소비료) 실비량(2.5kg/10a)을 얻는다(그림 3-111).
바) 비료를 준다.

그림 3-108. 측정기의 S/W ON

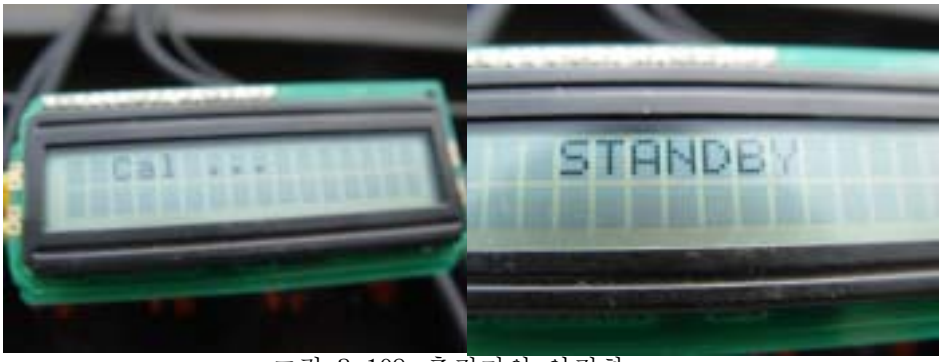


그림 3-109. 측정기의 안정화

그림 3-110. 벼 잎의 질소농도(평균) 획득

그림 3-111. 요소(질소비료) 실비량(2.5kg/10a) 획득

5) 디지털질소측정기 시작기Ⅲ의 개발 종합결과

(1) 이론적 접근방법

엽록소는 식물이 광합성(photosynthesis)을 하는데 매우 중요한 요소로 a, b 두 종류가 있으며 빛을 흡수하여 탄수화물을 만들어 식물에 영양을 공급하는 중요한 역할을 한다. 일반적으로 엽록소는 잎에 제일 많이 있고 일부 다른 조직에도 소량 존재한다. 엽록소의 크기는 약 5㎛이며 잎을 초록색으로 보이게 하는 주 원인이다. 가을이 되면서 식물 주변의 영향(기온의 감소, 수분의 감소, 일조량의 감소) 때문에 잎 속의 엽록소가 분해되어 점차 줄어들면서 잎의 색은 초록색에서 노랑색 또는 주황색으로 변하게 된다.

엽록소를 구성하는 주요 성분은 질소이다. 따라서 질소의 양은 광합성 량에 직접 영향을 미치기 때문에 비료를 공급해주어야 할 시기 결정은 매우 중요하다. 비료의 공급시기를 작물에 존재하는 엽록소의 양을 측정하여 결정할 수 있다. 그림 3-112는 벼 잎 속에 포함된 엽록소의 흡광 분광도로 벼 잎은 파랑 및 빨강 영역의 빛을 흡수하므로 초록색으로 보인다. 엽록소의 함량을 측정하는 방법은 일정양의 잎을 잘개 잘라서 아세톤으로 엽록소만 우려낸 용액의 흡광도($A = \log[I_O/I_T]$; 여기서 I_O: 입사광의 세기, I_T: 투과광의 세기)를 재어 $A = abc$ (a: 흡광계수, b: 투과 거리, c: 농도)의 관계에서 농도 c를 계산하여 잎 단위 무게 당 엽록소의 함량을 구한다. 최근 잎의 엽록소 농도를 바로 재는 방법이 고안되어 엽록소 계에 이용되고 있으며 이들은 잎의 단위 면적 당 엽록소의 함량에 비례하는 수치를 제공하므로 과학영농을 가능하게 한다.

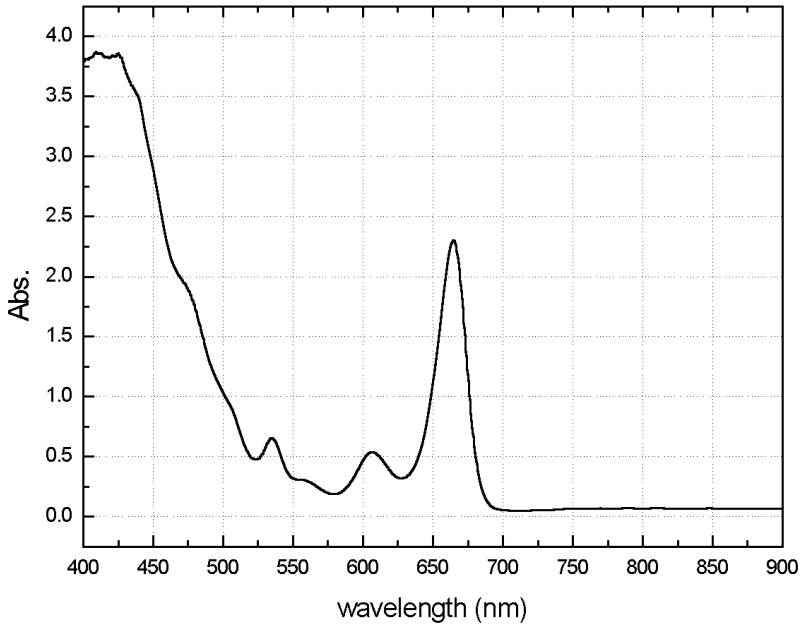


그림 3-112. 흡광도 파장

잎을 그대로 시료로 사용하여 투과광의 세기를 재어 계산한 측정광도(M)는 식물 잎의 조직에 의

한 산란도(S)와 엽록소에 의한 흡광도(A)의 복합 효과, M = A + S = log[I_O/I_T]이므로 오차가 생긴다. 따라서 산란도를 보정해야만 정확한 흡광도, 즉 정확한 엽록소 함량을 얻을 수 있으므로 입사광 세기(I_O)와 투과광 세기(I_T)를 두 파장, 즉 엽록소가 흡수하는 파장(λ1)과 흡수하지 않는 파장(λ2)에서 재어야 한다. 즉, λ1에서는 M(λ1) = A(λ1) + S(λ1) 이며, λ2에서는 A(λ2) = 0이므로 M(λ2) = S(λ2) 이다. 산란도가 파장에 따라 달라지지 않는다면, 즉 S(λ1) = S(λ2) 이면 A(λ1) = M(λ1) - S(λ1) = M(λ1) - S(λ2)이므로 정확한 흡광도를 계산할 수 있다. 이를 정리하면

$$M(\lambda 1) = A(\lambda 1) + S(\lambda 1) = \log \frac{I_O(\lambda 1)}{I_T(\lambda 1)} \quad -----(1)$$

$$M(\lambda 2) = A(\lambda 2) + S(\lambda 2) = \log \frac{I_O(\lambda 2)}{I_T(\lambda 2)} \quad -----(2)$$

식 (2)에서 A(λ2)는 엽록소가 흡수하지 않는 파장의 흡광도이므로 A(λ2)의 값은 0이 된다.
따라서 식 (2)는 식 (3)으로 표현 할 수 있다.

$$M(\lambda 2) = S(\lambda 2) = \log \frac{I_O(\lambda 2)}{I_T(\lambda 2)} \quad -----(3)$$

여기서 S(λ1) = S(λ2) 이므로 식 (3)을 식 (1)에 대입하면

$$M(\lambda 1) = A(\lambda 1) + \log \frac{I_O(\lambda 2)}{I_T(\lambda 2)} = \log \frac{I_O(\lambda 1)}{I_T(\lambda 1)} \quad --(4)$$

이된다. 식 (4)를 정리하여 엽록소가 흡수하는 파장에서의 흡광도, A(λ1)로 표현하면

$$A(\lambda 1) = \log \frac{I_{O(\lambda 1)}}{I_{T(\lambda 1)}} - \log \frac{I_{O(\lambda 2)}}{I_{T(\lambda 2)}}$$

$$= \log \frac{I_O(\lambda 1) I_T(\lambda 2)}{I_T(\lambda 1) I_O(\lambda 2)} \quad -----(5)$$

이 된다. 따라서 정확한 엽록소의 흡광도, 즉 엽록소 함량은 식 (5)에 의하여 구할 수 있으며 네 가지 측정치, 즉 엽록소가 흡수하는 파장에서의 입사광 세기 I_O(λ1)와 투과광 세기 I_T(λ1), 엽록소가 흡수하지 않는 파장에서의 입사광 세기 I_O(λ2)와 투과광 세기 I_T(λ2)로부터 계산할 수 있다.

(2)장치구성도

장치의 Block Diagram은 그림 3-113과 같이 광원, 검출기 및 증폭회로, 마이크로프로세서(microprocessor), LCD 표시장치, 누름단추(key pad)로 구성되어있다.

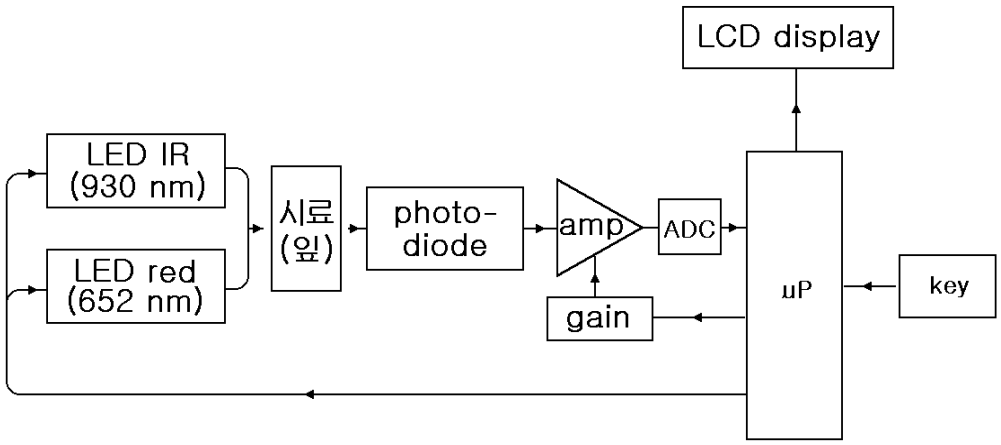


그림 3-113. 장치 Block Diagram

광원은 그림 3-113과 같이 두 종류의 발광 다이오드(light emitting diode, LED)로 되어있다. 즉 엽록소의 흡광도를 측정하기 위한 빨간색 (652 nm) 발광다이오드와 시료의 산란도를 측정하기 위한 적외선 (930 nm) 발광다이오드로 되어있다. 각각의 발광다이오드는 그림 3-114와 같이 적외선-빨간색-적외선 순서로 빛을 만든다. 발광다이오드에서 발생한 빛은 시료(잎)를 통과하면서 시료에 의해 흡수·산란되고 남은 빛만 검출기인 실리콘 광 다이오드(Si photodiode)에서 전기신호로 변환된다. 전기신호는 증폭기를 사용하여 그림 3-115와 같이 측정 가능한 세기의 신호로 만든 후 ADC(analog to digital converter)를 통과하여 디지털 신호로 변환된 후 마이크로프로세서에서 받아들이고 처리하여 화면에 흡광도 값을 표시한다. 또한 입력 버튼에 의해 시비 판정값을 구할 수 있도록 되어있다.

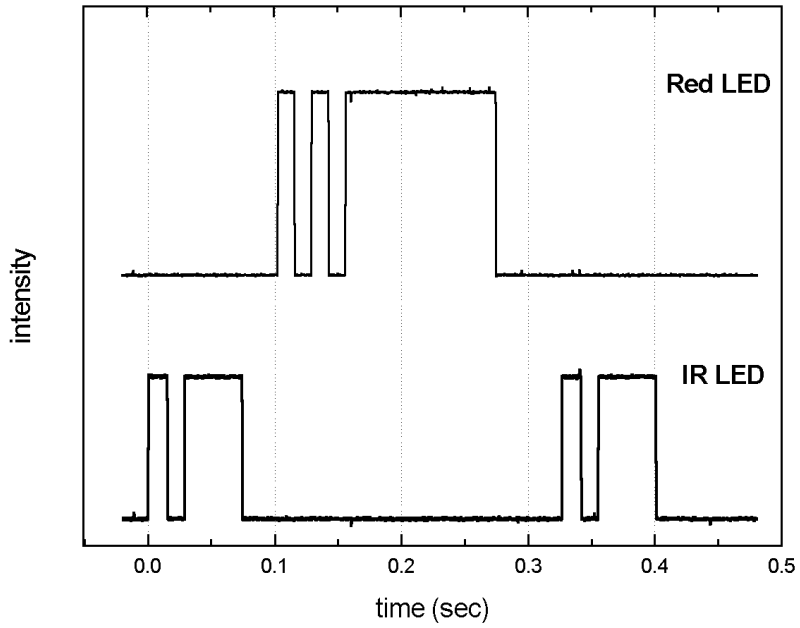


그림 3-114. 광원의 입력 신호

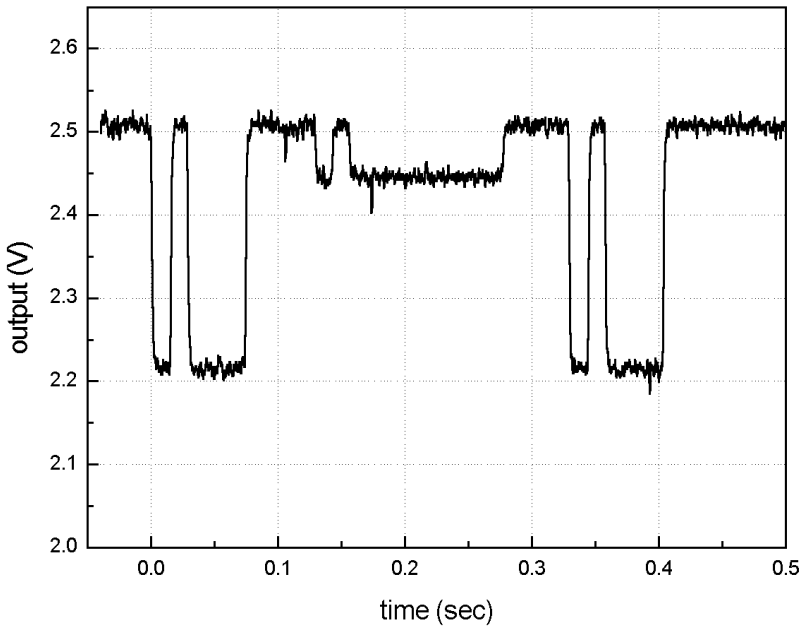
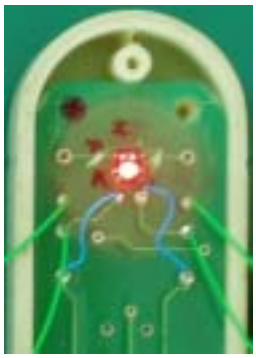
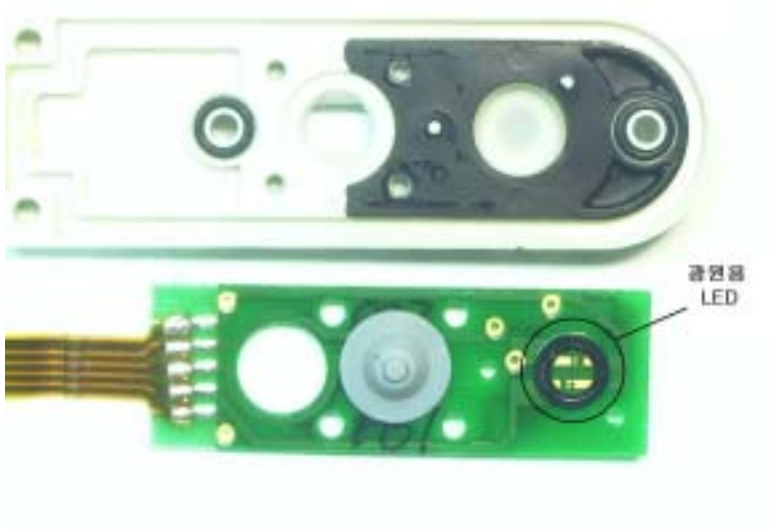


그림 3-115. 광 검출기의 출력 신호

그림 3-116은 광원부분이다. IR LED를 1개 사용한 것과 2개 사용한 것으로 실험을 하였다. 실험결과 2개를 사용한 것과 1개를 사용한 것의 차이의 효과가 없었다.





비고 : 미놀타 측정기 광원부분

그림 3-116. SPAD 502의 광원 부분

그림 3-117은 광원에서 나오는 빛을 분광기를 사용하여 측정한 것으로 각각의 발광다이오드가 내는 빛의 분광도를 나타낸다. 빨강 발광다이오드는 652nm에서 최대 봉우리 값을 가지고 있으며 반치폭은 16 nm 이다. 적외선 발광다이오드는 930nm에서 최대 봉우리를 나타내며 반치폭은 41nm이다.

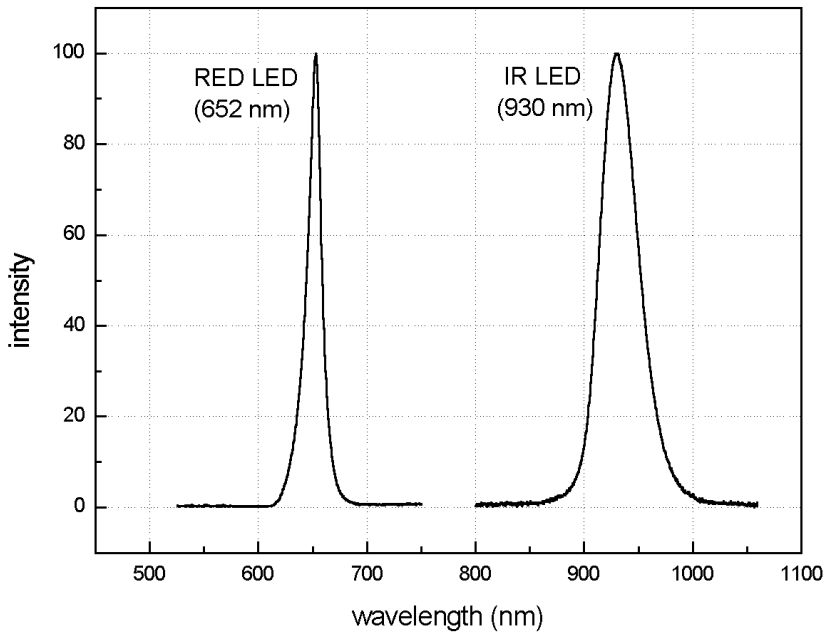


그림 3-117. SPAD-502 광원의 발광분광도

SPAD-502의 경우 전원 공급 스위치를 켜면 시료가 없는 상태에서 빨강 발광다이오드의 입사광 세기 $I_O(\lambda 1)$와 적외선 발광다이오드의 입사광 세기 $I_O(\lambda 2)$를 측정하여 장치를 초기화한다. 다음 시료를 넣고 빨강 발광다이오드에 의한 투과광 세기 $I_T(\lambda 1)$와 적외선 발광다이오드에 의한 투과광 세기 $I_T(\lambda 2)$를 측정하여 초기화한 값으로부터 SPAD 값을 계산하여 보여준다. 이때 시료를 통과한 투과광의 세기가 낮을 때에는 마이크로 프로세서가 증폭신호를 내어 증폭기의 증폭률(gain)을 10 배 또는 100 배로 변환한 후 투과광의 세기를 다시 측정한다.

SPAD-502에서 출력되는 SPAD 값(일반적으로 SPAD 값이라 부름)을 알기 위하여 파랑 셀로판지를 사용하였다. 파랑 셀로판지는 그림 3-117과 같이 빨강 영역의 빛을 흡수하고 적외선 영역은 흡수가 적어 SPAD-502를 보정하거나 SPAD 값을 확인하기 좋은 시료이다.

<시작기 1호>

시료 삽입부의 불안정으로 올바른 측정이 불가능하여 다음의 시작기 2와 같이 제작하여 다시 측정함.

그림 3-118. 시작기 I 의 실제도

시작기를 이용하여 임의의 파랑 셀로판지 1장의 시료를 사용하여 6번 반복 측정하여 흡광도를 하였다 (표 3-26).

표 3-26. 시작기의 성능테스트

구분	$I_O(\lambda 1)$	$I_O(\lambda 2)$	$I_T(\lambda 1)$	$I_T(\lambda 2)$	시작기의 흡광도	SPAD502의 흡광도
1회	1167	1101	266.7	988	0.5940	1.2294
2회	1158	1100	133.2	976	0.8873	1.2355
3회	1148	1097	120.5	983	0.9313	1.2435
4회	1132	1099	118.1	989	0.9358	1.2385
5회	1132	1099	118.3	992	0.9364	1.2435
6회	1128	1096	118.1	988	0.9350	1.2435

상기 측정결과 측정부위의 기구적인 불안정과 광원의 접합부 상태가 불안정하여 측정값의 변화가 많으며 측정시간을 오래 동작하여 광원부의 변화가 발생하는 것을 확인하였다. 이 현상으로 광원의 안정성을 고려하여 다시 설계제작하였으며 시작기를 보다 견고한 방식으로 제작하였다

<시작기 3호>

그림 3-119. 시작기Ⅲ의 전체도

시작기 3호와 Minolta SPAD-502 장치를 사용하여 다음과 같이 흡광도를 측정 비교하였다(표 3-27).

표 3-27. 시작기와 SPAD 502의 성능비교

시료 No	시작기		SPAD 502
	Absorbance	SPAD값	
1	0.206	8	8.9
2	0.208	8	8.0
3	0.484	18	19.4
4	0.573	21	20.1
5	0.689	25	25.3
6	0.845	30	30.4
7	0.904	32	33.3
8	1.064	38	37.3
9	1.120	40	39.8
10	1.311	46	45.4
11	1.614	57	56.0
12	1.710	60	60.9

표 3-27에서 보는 바와 같이 2기종간의 측정값이 비교적 매우 일치한 것으로 나타났다.

(3)정상적인 흡광도의 파장 특성

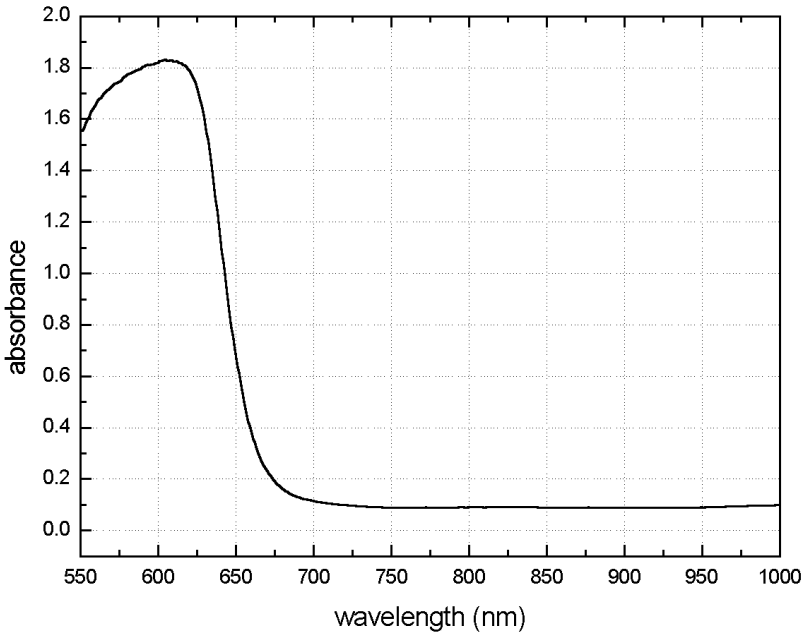


그림 3-120. 흡광도의 파장특성

Abs(흡광도)

$$A(\lambda 1) = \log \frac{I_{O(\lambda 1)}}{I_{T(\lambda 1)}} - \log \frac{I_{O(\lambda 2)}}{I_{T(\lambda 2)}}$$

16

$$= \log \frac{I_O(\lambda 1) I_T(\lambda 2)}{I_T(\lambda 1) I_O(\lambda 2)} \qquad ------(5)$$

(4) 광원의 교체

가) LED 크기 확인

그림 3-121에서와 같이 발광다이오드소자의 거리는 0.6mm로 매우 짧아 엽록소계의 광원으로 사용할 경우 광원의 위치에 따른 오차는 적을 것으로 생각한다. 그림 3-122는 적외선 발광다이오드를 켠 사진으로 사람의 눈에는 보이지 않지만 디지털 카메라에 사용하는 감지기인 CCD는 적외선 영역까지 감지 할 수 있기 때문에 적외선 발광다이오드에서 나오는 빛을 측정 할 수 있다. 그림 3-123은 빨강 발광다이오드에서 나오는 빛을 측정 한 것이며 그림 3-124는 두 발광다이오드를 모두 켜고 측정한 것이다.

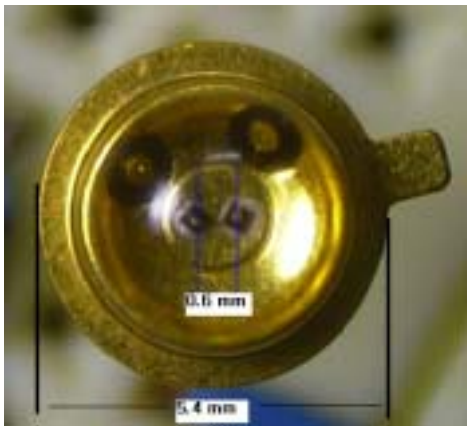


그림 3-121. 적외선, 빨강색 발광다이오드의 모습

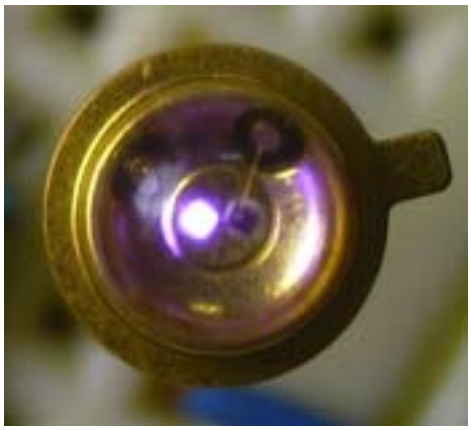


그림 3-122. 적외선 발광다이오드를 켰을때

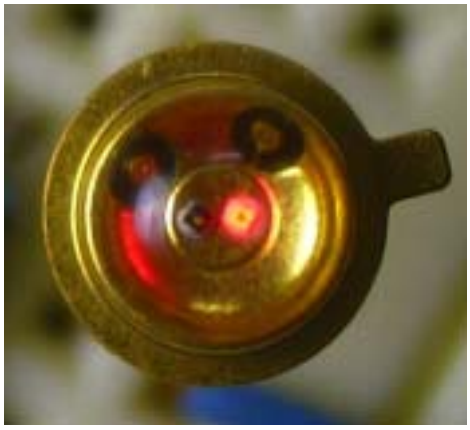


그림 3-123. 빨강 발광다이오드를 켰을때

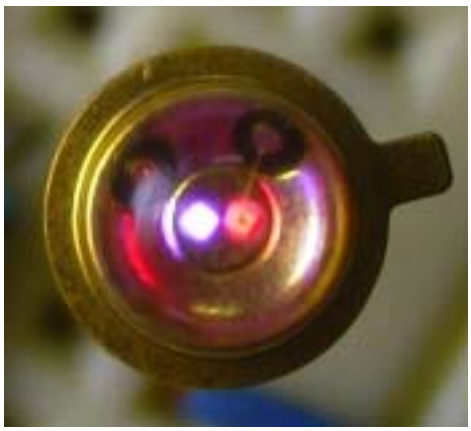


그림 3-124. 두 가지 발광다이오드를 켰을 때의 모습

나) LED의 분광 복사조도

그림 3-125는 발광다이오드에 5mA의 전류를 흘리고 분광기를 사용하고 얻은 빨강과 적외선 발광다이오드의 상대분광복사조도이다. 빨강 발광다이오드의 최대 발광 봉우리 파장은 654nm이었으며 적외선 발광다이오드의 최대 발광 봉우리 파장은 845nm로 두 발광당오드 모두 엽록소의 양을 측정하기 위한 광원으로 사용 가능한 것을 알 수 있다.

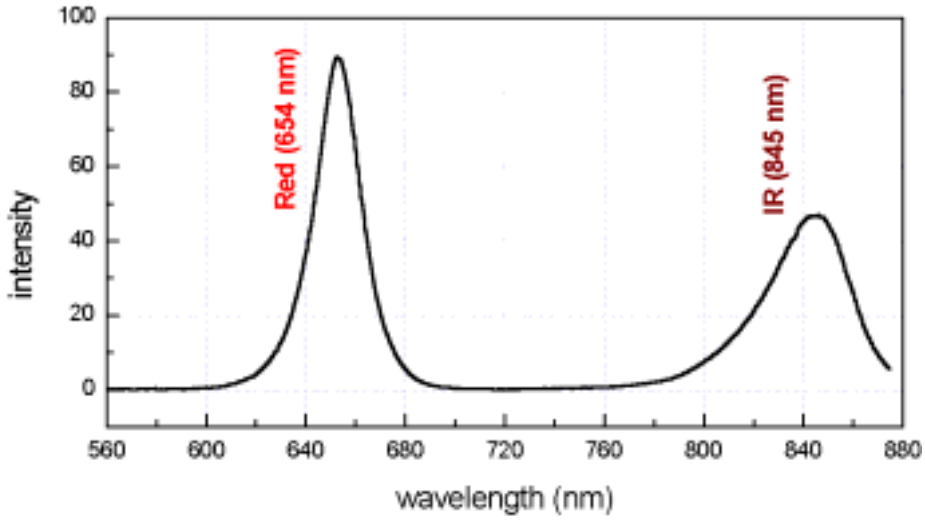


그림 3-125. 두종류의 발광다이오드에서 나오는 빛의 상대분광복사조도

다) Diffuser의 종류에 따른 빨강, 적외선 LED 빛의 퍼짐

그림 3-126은 확산지의 빛의 퍼짐현상을 측정하기위하여 만든 것으로 원형의 지지대 안에 방광다이오드를 넣고 지지대 위에 확산지를 두어 발광다이오드에서 나오는 빛의 퍼짐을 디지털 카메라에서 측정하도록 하였다. 이때 발광다이오드와 확산지와의 거리는 3mm이었다.

그림 3-126는 확산지가 없는 상태에서 두 종류의 발광다이오드를 켠 모습으로 왼쪽이 적외선 발광다이오드에서 나오는 빛이며 오른쪽이 빨강 발광다이오드에서 나오는 빛의 모습이다.

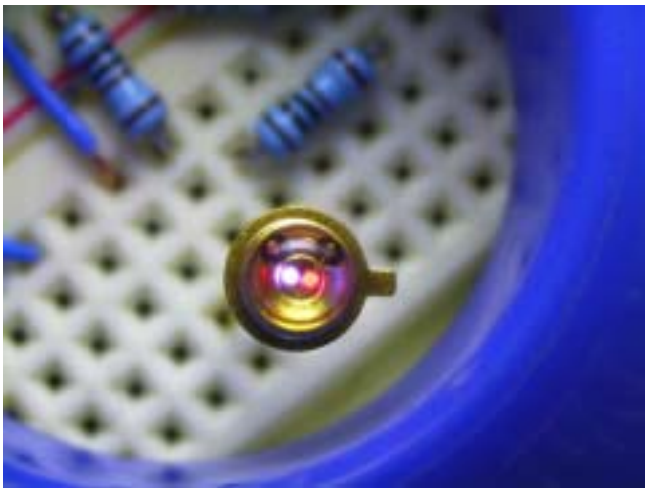


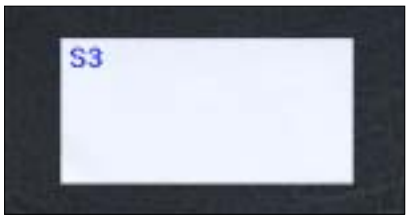
그림 3-126. Diffuser를 넣지 않고 빨강 LED와
적외선 LED를 켠 상태

그림 3-127는 지지대위에 확산지를 올려놓고 발광다이오드에서 나온 빛의 모습이다

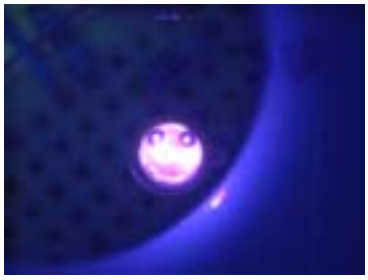
시료 1

시료 2

시료 3



시료 4



시료 5

그림 3-127. 확산지의 종류에 따른 빛의 퍼짐 모습
(왼쪽 : 시료 모습, 오른쪽 : 발광다이오드에서 나온 빛이 확산지를 통과한 모습)

시료 4의 경우 발광다이오드의 모습과 빛이 퍼짐없이 그대로 비침을 알 수 있어 확산지의 역할을 하지 못함을 알 수 있다. S5와 S2 역시 약간은 빛을 확산시킬 수 있지만 역시 확산지의 기능으로는 부족하다. S1과 S3의 경우 발광다이오드에서 나오는 두 종류의 빛을 구별할 수 없을 정도로 빛을 확산시킴을 알 수 있다. S1, S3 모두 확산지로써 사용 가능하지만 S1의 경우 두께가 얇아 S3보다 사용하기 어렵다. 따라서 위의 결과로부터 S3의 확산지가 빛을 확산시키는데 가장 적합함을 알 수 있다.

라) 시작기의 포장 실험 및 시뮬레이터 외형

그림 3-128. 시작기Ⅲ의 전체적인 구성도

시작기를 개발하면서 제일 중요한 부분인 광원을 개발 제작하는데 많은 비용과 많은 시간이 투입되어 어려움이 많았으며 이로 인하여 충분한 현장 실험을 하지 못해 아쉬움이 있다

광원을 새로운 것으로 개발하여 사용할 때마다 시작기의 기구 부분과 전자회로 부분을 함께 수정하여야 하였으며 기구물의 내구성과 전기적인 노이즈로 인한 측정값의 불균일등 많은 문제점이 있었으나 대부분의 어려움과 문제점은 해결하였다.
차후 현재 제작한 시작기를 사용하여 포장실험을 통한 문제점의 파악과 수정을 할 필요가 있으며 실험결과 에서와 같이 같은 작물이라도 시료의 두께나 잎맥의 분포현상과 수분 함량이 다를 경우 엽록소의 흡광도는 다르기 때문에 SPAD 값이나 질소 함량이 차이를 보인다.
특히 마늘잎과 같은 두꺼운 잎을 가진 작물의 엽록소 양(SPAD 값)을 측정 할 경우 이러한 현상이 두드러지게 나타나기 때문에 조심해야한다.
따라서 잎의 두께에 대해 영향이 적은 측정법 즉, 흡광도가 아닌 반사광도 측정법 이나 ,
형광측정법 에 대한 연구로 해결하여야 할것으로 판단한다.

1. SPAD 값은 엽록소의 흡광도에 비례하는 값이며, 흡광도 1 ~ 3.7의 값을 0 ~ 100사이의 값으로 표시한 것이다. SPAD 값은 흡광도를 측정하면 쉽게 계산할 수 있다.

$$SPAD = -1.002 + 37.25 \times Abs$$

2. 잎속의 질소 함량은 SPAD 값과 비례하며 흡광도로부터 계산 가능하다.

$$T-N(\%) = -1.865 + 3.915 \times Abs$$

3. 작물에 따라 SPAD 값 대신 단위 부피당 엽록소양 또는 질소량으로 표시하는 것이 합리적이다.

4. 시제품에서는 930 nm의 적외선 발광다이오드 대신 830 nm의 적외선 발광다이오드를 사용하여 잎 내부에서 일어나는 산란에 의한 영향을 줄이도록 하였다.

마이크로프로세서와 플레쉬 기억소자를 사용하여 여러 종류의 작물에 대한 자료를 기억시키고 작물에 따라 사용하여야 하며, 잎의 두께에 영향을 받지 않는 측정법인 반사측정법과 형광측정법에 의한 엽록소 계에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

6) 마늘 재배의 디지털 질소측정기 이용실증연구결과

(1) 밭토양에서 마늘의 표준시비량 설정

우리나라 밭작물의 질소시비량 추천은 90년대 이전에는 농가에서 관행적으로 사용된 비료량으로 토양특성에 관계없이 일률적으로 적용하였다. 그러한 결과 전국채소농가 시비량은 질소가 1.5~1.8배, 인산이 1.6배~4.3배, 칼리는 1.2~2.2배씩 과다 시용되는 것으로 보고되고 있다.(박 등 1994) 또한 시설재배에서는 주년 생산체계로 바꾸어감에 따라 동일 포장에서 화학비료와 가축분뇨등 유기질 비료가 연속적으로

다량 시용되므로 염류장해와 연작장해의 문제점들이 드러나고 있다. 염류가 집적된 토양은 작물의 발아율과 입모율을 저하 시킬뿐 아니라 생장량 및 수량감소를 초래하고(강 등, 1996; 최 등,1989) 집적된 염류는 강우분포에 따라 지하수로 이동되기 때문에 수자원의 오염을 유발하기도 한다(정 등, 1994; spalding등, 1993).

토양의 염류집적을 방지하기 위한 근본적인 해결방안은 토양의 비옥도에 알맞은 시비량을 조절하는 것이다. 3요소 중 특히 질소비료는 작물의 생산성뿐 아니라 토양의 염류접적 및 수자원의 오염과 밀접하게 관련되는 성분이다. 화학 비료의 소비량은 '90년 1,104천 톤으로 최고조에 달하였으나 그 후 비료 소비량이 점차 감소되어 2002현재 비료 소비량은 689천 톤으로 그중 질소 비료가 363천톤, 인산질 비료는 146천톤, 가리는 180천 톤으로 감소되는 경향을 보이고 있다. 그럼에도 불구하고, ha당 비료의 소비량은 2002년 일본의 경우 277㎏/ha에 비해 우리나라는 2002년에 342㎏/ha으로 우리가 더 많이 사용하고 있는 실정이다.(MOA, 2002) 선진국의 경우 시비형태는 재배하기전 어린 묘의 이식단계에서 그 시비량은 Starter solution의 개념으로 시비 수준은 매우 낮은 수준이며 작물의 영양상태가 왕성해지는 시기에 추비로 대부분의 비료를 시용하고 있다. 이는 비료의 효율적 이용뿐 아니라 환경오염 방지 차원에서 큰 의의 가 있다고 할 수 있다.

토양 및 작물체내의 영양원소 함량을 진단하는 것은 작물의 생산성 및 환경보전을 위한 시비 관리를 위하여 매우 중요한 일이다. 합리적인 영양관리는 작물의 생산성 향상은 물론 과다한 비료의 사용을 줄여 토양환경의 악화를 방지할 수 있다. 지금까지 생산성 향상을 목적으로 한 계속적인 화학비료의 남용으로 토양환경이 악화되고 있으며 이로 인한 주변의 환경 오염이 가중되고 있다(Jung 등, 1998; Park, 2001). 따라서 앞으로의 양분관리는 최적의 생산성을 유지함과 동시에 토양의 질을 유지하면서 지속가능한 작물 생산이 가능하도록 하는 방향으로 진행되어야 한다. 이를 위해서는 양분관리의 기본 자료가 되는 영양진단이 합리적으로 수행되어야 한다.

지금까지의 영양진단은 토양분석이나 엽분석을 통해서 주로 이루어졌다. 이러한 방법들은 정확성은 높으나 시료의 채취 및 보관에 세심한 주의가 필요하며 정밀분석기기 및 숙련된 분석요원이 필요하다. 또한 분석을 통한 결과의 도출에 상당한 시간이 소요되므로 필요한 시기에 적절한 관리가 이루어질 수 없다는 단점이 있었다.

작물을 위한 시비는 기비와 추비를 이용하는데 기비는 주로 토양검정에 의하여 이루어지며 추비는 식물체 검정을 통해서 이루어진다. 작물의 생산성을 향상시키고 과잉의 양분공급으로 인한 환경부하를 감소시키기 위하여서는 기비를 최소화하고 필요한 양분을 적정시기에 추비로 사용하는 것이 바람직하다. 특히 추비의 시용은 기본 식물체 검정법으로는 적기 시비관리에 다소 어려움이 있었다. 따라서 보다 빠르고 간편하게 작물의 영양 상태를 진단할 수 있는 방법이 필요하다.

재배중인 작물의 생육상태를 정확히 진단하는 것은 매우 중요하다. 영양, 생리, 환경장해 진단은 작물의 잎이나 줄기로부터 신속한 생체계측이 요구된다. 이 방법은 질소 흡수량을 평가하는 방법으로 휴대용 반사계를 이용한 식물체내 질산태질소 함량을 측정(Bundy.등 1993; Fox,등 1993)하는 방법이다. 그러

나 생체계측은 작물체를 파괴하기 때문에 생장중인 작물을 수확기까지 계속 성장 할 수 없는 단점이 있다. 최근에는 작물체를 손상시키지 않고 엽록소 측정을 할 수 있는 엽록소 측정기(SPAD-502)가 개발되어 부피가 적어 휴대하기 쉽고, 가볍고, 편리하게 어디서나 사용할 수 있다. 식물체 잎의 엽록소를 비파괴 검사로 측정(Yadava, 1986)하였으며, 이 측정기는 일본의 몇 연구가들에 의해 사용되어 왔다.(Takebe and Yoneyama, 1989; Takebe et al., 1990) 그리고 Turner and Jurd(1989)는 벼(Ozyza sativa L.)의 질소시비를 예측하였다.

이 연구는 엽록소 측정기를 이용하여 마늘재배의 질소비료 과잉과 결핍의 상태를 제시 할 수 있고, 추비의 적정 시비량을 예측할 수 있으며, 마늘의 품질향상과 토양환경보전 및 수질오염방지의 향상을 위해 노지 포장에서 쉽게 진단하고 이용 결정할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

(2) 세부 시험수행방법

본 시험은 건국대학교 충주캠퍼스 시험포장에서 엽록소 측정기를 이용한 추비의 마늘 적정시비량 설정을 위해 시험을 수행하였다.

시험토양은 표 3-28 및 2-29에서 조사된바 pH 5.6의 약산성을 갖고 있고 잘산태질소는 20mg・kg^{-1}인 토양에서 수행하였다. 마늘 품종은 한지형 단양종으로 충북 농업기술원 단양 마늘시험장으로부터 구입하였으며 시험구는 밭토양인 경우 plot당 1.5m x 1.5m의 구획으로 재식거리는 일반재배와 같이 20cm x 10cm로 2001년 10월에 파종하였으며 난괴법 3반복으로 수행하였다. pot는 52cm x 36cm x 30cm의 plastic 사각통을 이용하여 토양을 그 pot의 7부까지 채우고, 1 pot당 20개씩 재식 하였다. pot의 경우는 무비구, 표준구, 2배구(50kg/10a), 3배구(75kg/10a)의 4수준, 난괴법 3반복으로 하였다. 질소시비수준은 밭토양의 경우 표준구(25kg/10a), 무비구, 반량구(12.5kg/10a), 1.5배구(37.5kg/10a) 4수준으로 하였고 인산 7.7kg/10a, 칼리12.8kg/10a, 퇴비 2000kg/10a로 시비하였다. 질소는 기비 40% 추비는 60%로 2회 시비하였고 인산은 전량 기비로 칼리는 기비 60% 추비 40%로 2회 시비하였다. 시험수행을 위해 엽색도 측정은 SPAD(Minolta 502)측정기를 이용하여 측정하였고 엽록소 분석은 Armor법(1949)으로 엽질소는 Kjeldahl법(ASA, 1982), NO_3-N분석은 Copperized cadium 환원법(ASA, 1982)으로 분석하였다.

표 3-28. 시험전 토양의 화학적 특성

pH	EC ($\mu s \cdot cm^{-1}$)	P_2O_5 ($mg \cdot kg^{-1}$)	OM $g \cdot kg^{-1}$	NO_3-N ($mg \cdot kg^{-1}$)	NH_4-N ($mg \cdot kg^{-1}$)
5.64	27.10	133.23	29.0	20.00	107.21

표 3-29. 시험전 토양의 양이온 치환용량

Ca	Mg	K	Na
----------(cmol · kg^{-1})----------			
6.07	1.45	0.48	0.33

(3) 마늘 세부시험 수행결과

표 3-28은 실험전 토양의 이화학적 성질을 나타낸 표이다.

pH는 5.64로 약산성을 나타내고 있으며 EC는 27.10μs · cm로 낮게 조사되었다. 유기인산의 경우는 그 함량이 133.23mg · kg^{-1}으로 시설재배 토양보다는 훨씬 그 함량이 낮게 조사되었다. 유기물의 함량은 29g · kg^{-1}으로 적정수준인 20~35g · kg^{-1}에 매우 근접해 있었고 질산태질소의 경우는 20mg · kg^{-1}으로 조사되었다.

치환성양이온인 칼슘의 경우 평균 적정수준보다 2배 이상인 6.07cmol · kg^{-1}으로 조사되었고 고토의 경우는 1.5배 이상 많게 조사되어 그 함량이 1.45cmol · kg^{-1}으로 조사되었다. 치환성칼리의 경우는 0.48cmol · kg^{-1}으로 조사되었다.

그림 3-123은 밭토양에서 각 처리구간 성장에 따른 날짜별 SPAD값을 나타낸 표이다.

첫 조사시인 3월 20일의 SPAD값은 무비구가 52.56으로 낮았고 표준구가 56.81로 높게 조사되었다. 반량구에서는 54.54로 조사되었고 1.5배구에서는 53.03으로 조사되어 SPAD값은 표준구에서 높았다. 4월 8일의 경우 세 처리구인 무비구, 표준구, 1.5배구에서 각각 58.35, 58.21, 58.88로 비슷하게 조사되었다.

4월 22일의 경우는 무비구 및 반량구에서 각각 59.09, 59.57로 조사되었고 표준구에서 60.06, 1.5배구에서는 61.64로 그중 높게 조사되었다. 5월 8일의 경우에는 SPAD값이 최고치에 달하는 시기로서 그 이후 SPAD수치가 떨어지게 됨을 알 수 있고 본 그림에서는 최고치에 도달했을때만 표시하였다. 각 처리구간 SPAD수치가 약간씩 차이가 있어 무비구에서 58.89, 반량구 61.60, 표준구 62.59, 1.5배구에서 65.44로 조사되었다. SPAD값의 최고치는 5월 첫째주에서 조사되었다.

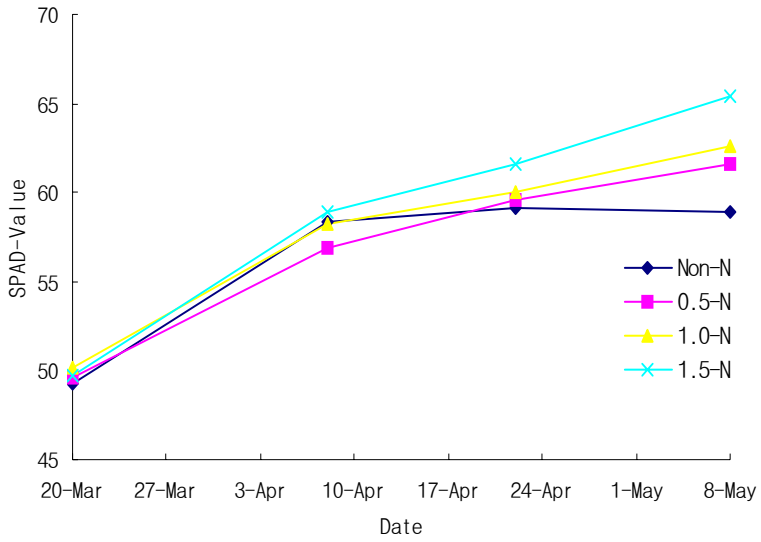


그림 3-129. 마늘의 질소수준별 SPAD값의 변화

그림 3-130은 날짜별 밭토양의 NO_3-N의 값을 나타낸 그림이다.

3월 20일의 조사시 1.5배 처리구에서 토양의 NO_3-N는 13.39mg・kg^{-1}으로 높게 조사되었고 그 다음이 표준구 9.25mg・kg^{-1}, 반량구 7.41mg・kg^{-1}, 그리고 무비구에서 4.20mg・kg^{-1}으로 낮게 조사되었다.

대체로 NO_3-N의 함량은 토양에서 denitrification되어 그 함량이 감소되어 가는 경향을 보였다. 4월 8일의 토양 NO_3-N의 함량은 무비구, 반량구, 표준구, 1.5배구가 각각 2.71, 3.61, 6.41, 9.2mg・kg^{-1}으로 조사되었다. 4월 22일의 경우에는 1.5배구 11.5mg・kg^{-1}, 표준구 8.9mg・kg^{-1}, 반량구 7.6mg・kg^{-1}, 무비구 4.3mg・kg^{-1}으로 약간 4월 8일 조사때보다 높아졌으며 5월 8일때의 조사에서는 무비구가 0.92mg・kg^{-1}으로 낮았으며 반량구 1.87mg・kg^{-1}, 표준구 4.47mg・kg^{-1}, 1.5배구는 11.78mg・kg^{-1}으로 조사되었다.

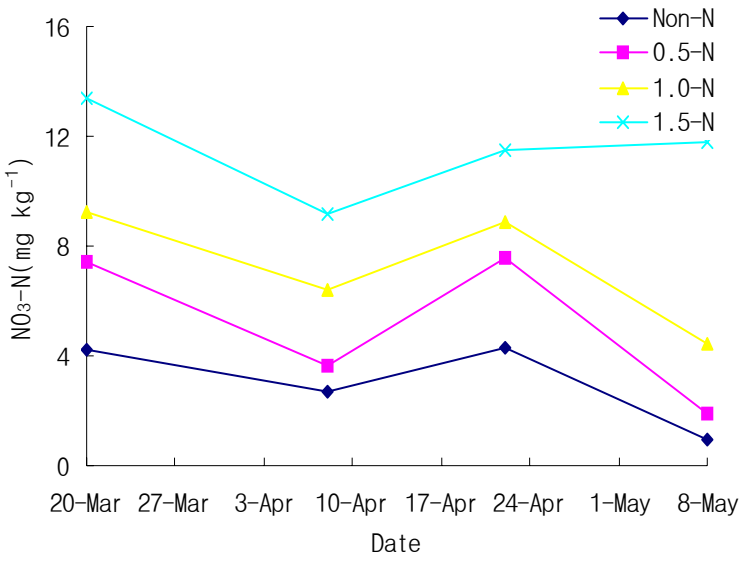


그림 3-130. 마늘의 질소처리수준별 경시적인 토양질산태 질소의 변화

그림 3-131은 밭토양의 NO_3-N함량과 처리간 SPAD값간의 상관관계를 나타낸 것이다.

밭토양의 NO_3-N의 함량과 전체처리간 SPAD값간의 상관관계는 r=0.5421로 정의상관이 있음을 알 수 있으며 유의성이 인정되었다.

토양의 NO_3-N 함량의 따라 엽록소 측정기 엽색이 차이가 있었으며, 이들 관계를 회귀분석해본 결과 y = 1.055x - 59.341로 조사되었으며 밭토양의 질산태질소 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있었다.

본 실험결과는 Follett et al.(1992)의 결과와 일치하였으며, 수확량, 엽중 질소농도, 토양중 NO_3-N와 NH_4-N과의 관계에서 정의관계가 존재한다고 하였으며 더 나아가서는 시험포장, 품종, 토양습도, 질소비료 등에 있어서는 부가적인 시험이 평가하는데 필요하다고 하였다. 엽록소 측정치는 질소 함량(Shaobing,et al., 1995) 및 질산태질소(Westcott et al., 1995)와 밀접한 상관을 보이며 단위 엽면적에 대한 농도로 평가할 때 더 양호한 상관을 보이고 있다. Scott등(1995)은 엽록소 측정치의 직접 활동은 엽중 질소 농도에 대한 작물의 연령과 품종차이로 인하여 잎의 두께 등에 영향을 받는다고 하였다.

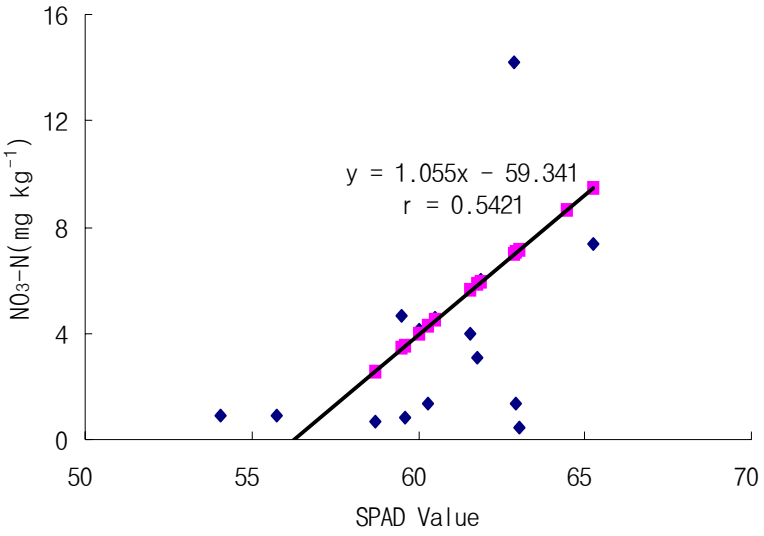


그림 3-131. SPAD값과 토양질산태질소의 상관

그림 3-132는 Pot토양의 NO_3-N의 함량과 각 처리간의 SPAD값간의 상관관계를 나타낸 그림이다. 밭토양에서와 같이 Pot에서도 NO_3-N 함량과 처리간 SPAD값간에는 유의성이 있음을 알 수 있다. 관계식은 y = 3.9565x - 199.88이며 Pot내 질산태질소의 함량과 제 5엽의 SPAD값간의 r= 0.5957로 정의 상관을 나타내었다.

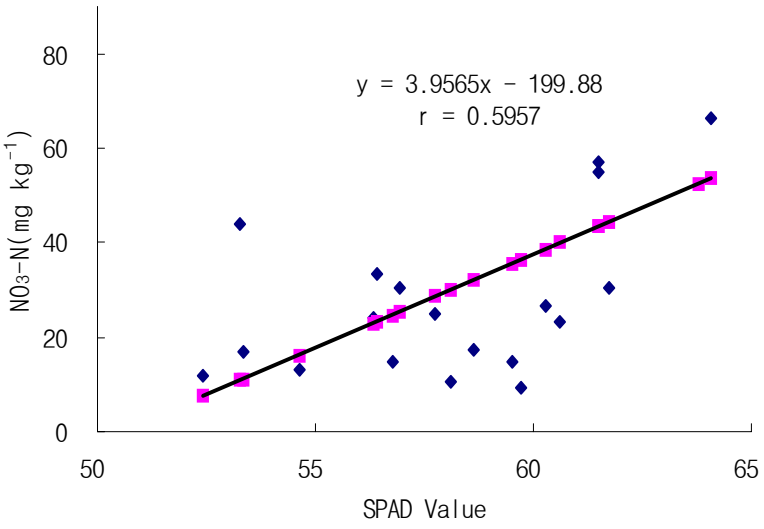


그림 3-132. SPAD값과 폿트시험 토양의 질산태질소와의 상관

그림 3-133은 밭토양 NO_3-N 함량과 각 처리간 잎의 전질소함량의 상관관계를 나타낸 그림이다.

잎내 전질소의 함량은 밭토양의 NO_3-N과 매우 밀접한 정의상관으로 고도의 유의성이 있게 조사되었다. 관계식은 y = 10.308x - 36.166로 이러한 경향은 Pot 토양의 전질소 함량과 각 처리간 잎의 전질소 함량의 상관관계에서도 비슷한 경향을 보였다(data 미수록). 그러나 상반된 보고는 Turner and Jund(1994)는 SPAD값의 질소농도 설정의 기초자료로 사용해서는 안된다고 하였고 김 등(2002)도 화성벼와 광안벼 사이에 있어서 질소농도 동일처리의 시험에서 품종간 SPAD값과 엽록소 함량 및 질소농도의 관계가 다르게 나타나므로 SPAD값을 이용한 엽록소 함량과 질소농도를 추정하는 것은 한계가 있는 것으로 보고하였다.

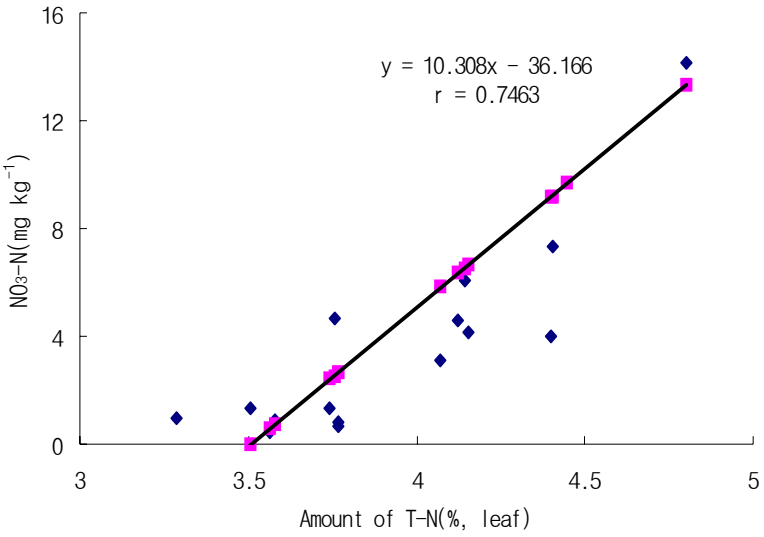


그림 3-133. 토양의 질산태질소함량과 잎의 엽록소함량간의 상관

그림 3-134는 밭토양의 엽내 전질소 함량과 SPAD값과의 상관관계를 나타낸 그림이다.

엽의 전질소 함량과 SPAD값과의 관계는 정의상관이 있으며 이들의 관계를 회귀분석해본 결과 y = 0.0944x - 1.764(n = 16, r = 0.6698)로 유의성있게 조사되었고 전질소 함량과 SPAD값과의 관계는 옥수수(Scott et, al., 1997; Smeal et al., 1994)와 수도(Shaobing et al., 1995)등의 보고들과 일치하는 경향을 보였고 이는 엽록소 측정기가 잎의 표면과 이면 사이 광학적 투광량을 측정하므로 잎의 두께 등에 영향을 받기 때문으로 생각된다. 이러한 관계는 식물체잎의 녹색정도에 따라 질소의 영양상태를 보다 객관적으로 SPAD값을 이용하여 평가할 수 있다는 것을 시사하고 있다. 또한 김 등(2002)은 엽록소 측정기를 이용하여 측정한 SCDSV(specific color difference sensor value)는 엽내 N 함량 및 공급된 N 양과

고도의 유의성을 보였다고 하였다. Chlorophyll meter를 이용하여 측정한 SCDSV는 엽중 total N과 높은 상관 관계를 나타내었으며 토마토 엽중 total N 함량을 회귀식에 대입하여 계산한 결과 적정 CDSV는 36,0~40.0 이였다고 보고하였다(김 등, 2003).

Scheper et al.(1992)는 SPAD측정치와 옥수수 엽중 전질소간의 관계는 좋은 관계를 보였다고 하였으나 정상적인 생산물을 수확하기 위해서 엽분석 시험을 해야 한다고 하였다.

Peng et al.(1995)등은 엽록소 측정기를 이용하여 벼의 질소상태를 진단 할 수 있었고, SPAD측정치는 특히 벼의 중간생육기와 늦은 생육기에 건물중 기준 엽중 질소농도보다 엽면적기준 엽중질소 농도가 좋았다고 평가하였다.

SPAD값과 엽내 질소농도의 관계는 Takebe and Yoneyama(1989)와 Campbell et al.(1990)등이 보고한 바와 같이 생육단계, 품종, 환경에 따라 변한다고 하였다. 하지만 본 실험에서 SPAD값과 전질소 함량과의 관계를 나타내는 직선회귀식은 y = 0.0944x - 1.764로 두 변량간의 상관은 유의성이 인정되었다.

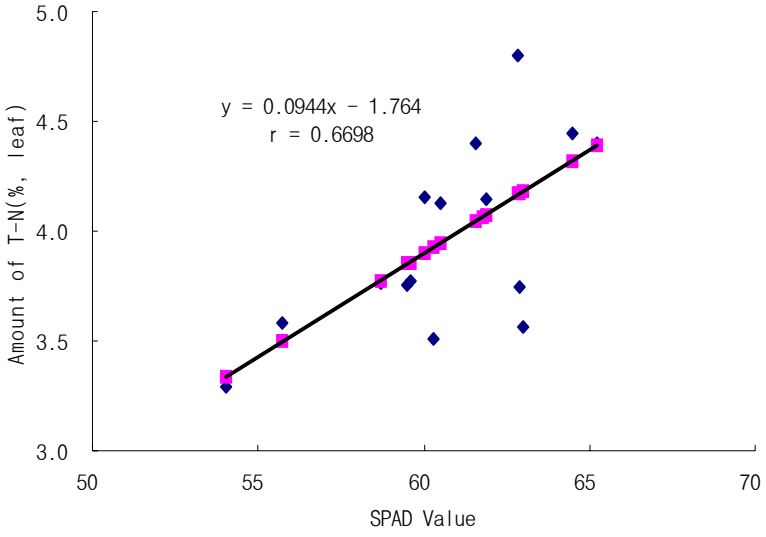


그림 3-134. SPAD값과 마늘잎의 엽록소함량간의 상관

그림 3-135는 Chlorophyll의 함량과 전질소 함량의 상관관계를 나타낸 것이다.

제5엽의 엽내 전질소 함량과 chlorophyll의 관계는 정의관계로 유의성있게 조사되었다. 전질소 함량에 따른 Total Chlorophyll함량 변화를 회귀분석을 해본 결과 y = 0.9268x + 1.6444(n = 16, r = 0.5329)로 엽록소 함량(y)는 전질소값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있다. 따라서 엽내 전질소값으로 Chlorophyll의 함량을 알 수 있음을 의미한다.

엽내 질소의 함량이 높은 것일수록 엽내 Chlorophyll의 함량도 높게 조사되었다. 엽내 질소농도와 엽록소의 함량은 정의관계로 Kim et al(2002)의 보고와 일치하며 엽록소 함량과 SPAD값은 잎 노화의 간접

적인 지표로 이용될 수 있다고 하였다. Alabama 연구자들인 Wood 등(1992)은 옥수수(Zea mays L.)를 이용하여 생육 시기별 질소 요구량을 잠정 평가하였다. 즉 수준별 질소 시비 0~336kg · ha^{-1} 로 질소를 2년 동안 시비하였든 바, 옥수수의 10엽과 중간 출사기때, 조직의 질소 농도와 엽록소 측정기 값 사이에 고도의 상관관계가 있다고 보고하였다

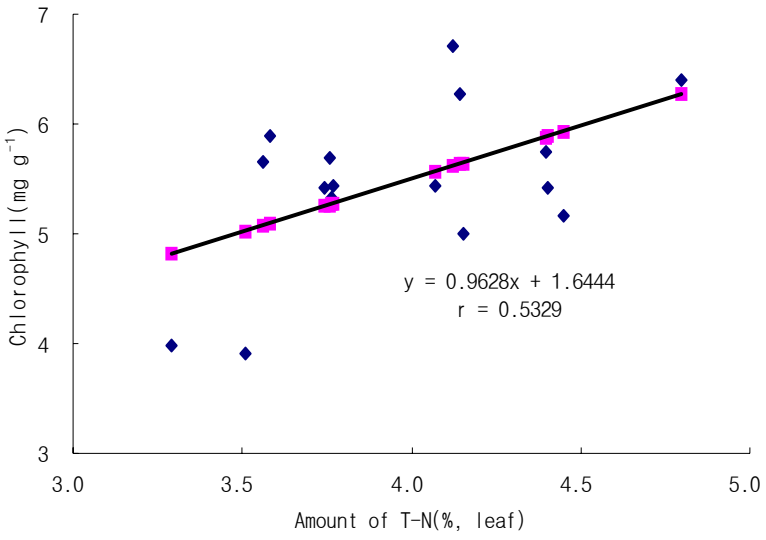


그림 3-135. 마늘잎의 엽록소농도와 질소함량간의 상관

그림 3-136은 밭토양에서 마늘의 구중과 마늘잎의 전질소 함량과의 상관관계를 나타낸 그림이다.

마늘의 구중이 증가할수록 잎내의 전질소 함량이 증가하는 정의상관을 보였고 고도의 유의성이 인정되었다. 마늘 구중에 따른 엽내 전질소 함량 변화를 회귀분석 해본 결과 y = 0.11x - 2.95(n = 16, r = 0.8629)로 전질소 함량(y)는 구중값(x)에 의해 1차식으로 나타낼 수 있다. Piekielek와 Fox(1990)는 3년 동안 Pensylvania내 67개소를 선정하여 옥수수를 실험한 결과 옥수수 5번째의 잎에서 SPAD측정값을 이용하여 언제 옥수수의 추비를 질소로 정확하게 시용 할 수 있느냐를 예측하였으나, 그럼에도 불구하고 그들은 질소의 정확한 시비량과 토양질소 공급능력을 정확하게 예측하는데 충분치 못한 관계가 있다고 보고 하였다. Minotti et al.(1994)에 의하면 감자(Solanun tuberosum)를 시험한 결과 SPAD측정값과 시장성이 있는 품질 좋은 감자 생산과의 사이에는 높은 유의성이 있는 상관관계를 인정하였고 그 측정값은 식물체의 엽령이 증가할수록 감소한다고 하였다.

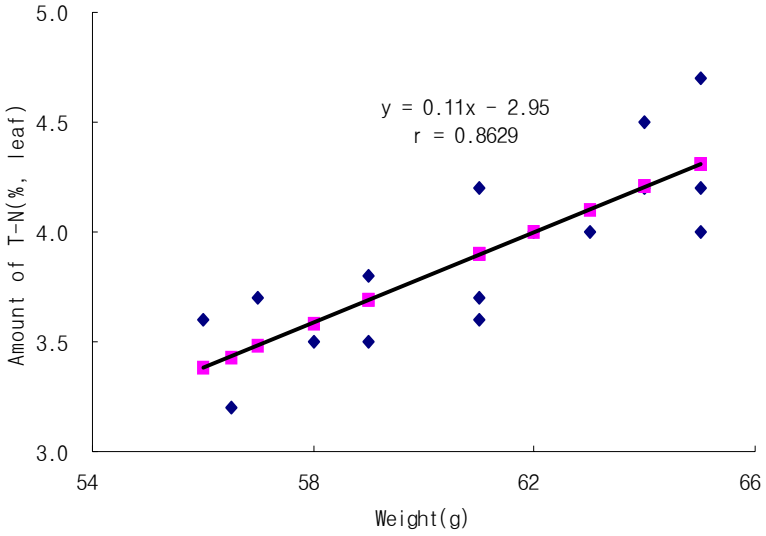


그림 3-136. 마늘종구의 생체중과 질소함량간의 상관

많은 질소비료의 공급은 마늘에 있어 2차 생장과 같은 높은 영양생장율 가져올 수 있다. 마늘 성장 기간에 있어 적당량의 질소 시비가 필요하다. 그러므로 이 연구는 마늘이 자라는 계절의 토양 질소상태를 지표로 충분할 질소비료 시비를 예측하기 위하여 수행하였다.

SPAD값은 5월 8일까지 높아지고 있으며 그후 값은 떨어지고 있다.

밭토양의 NO_3-N와 SPAD값과의 관계에서 정의상관(r = 0.5421)과 유의성이 인정되었다.

POT 토양의 경우 NO_3-N과 SPAD값과의 관계에서 유의성과 정의 상관이 인정되었다(r = 0.5957).

엽줄 전질소 함량과 토양의 NO3-N과의 관계 그리고 SPAD값과의 관계는 정의상관이었고 각각의 유의성이 인정되었다(r = 0.7463, r = 0.6698).

마늘의 생체중과 엽중 전질소와의 관계는 정의상관과 유의성이 인정되었다(r = 0.8629).

(2) 밭토양에서 마늘의 표준시비량 설정(난지형)

질소는 다른 작물과 마찬가지로 마늘재배에 있어서 필수원소이다. 질소 비료는 수량에 크게 영향을 주며, 너무 과다하게 주면 오히려 수량이 줄고 저장력도 약해져서 저장중 잘 썩을 뿐만 아니라 생육중에는 2차생장 발생의 원인이 된다. 그러므로 적정량의 질소 공급이 마늘재배에 필요하다. 또한 질소의 공급시기는 수량에 크게 영향을 주기 때문에 잎이 급속히 신장하는 시기에 공급해 줄 필요가 있다. 그러므로 엽내 엽록소 측정은 그 생육단계별 시기에 엽내 질소수준의 충분한 지표로서 질소 비료량을 예측할 수 있다고 할 수 있다.

엽분석을 통한 영양진단 방법은 적절한 시기에 필요한 양분을 공급해줄 수 없다는 근본적인 문제점이 있다. 이를 바탕으로 엽분석을 대체할 새로운 진단법의 필요성이 제기되었다.

Chlorophyll meter를 이용한 specific color diffrernce sensor value(SCDSV)를 측정하여 엽내 total-N함량을 측정하는 방법의 이용가능성이 제기되고 있다.

엽록소도 다른 식물기관과 마찬가지로 식물에 공급되는 여러 가지 양분 및 체내 양분함량과 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 엽내 엽록소 함량을 측정하면 체내 영영원소 함량을 측정할 수 있다.

엽록소 측정은 식물체를 비파괴한 상태로 포장에서 간단하게 잎에만 갖다 대면 sencer에 의해 수치가 나오고 이 잎의 엽록소 함량은 질소 흡수량에 비례한다는 원리를 이용하는 방법으로서 측정의 간편성과 표본수가 제한된 실험구에서 비파괴적으로 측정한다는 장점이 있다. 이 엽록소측정은 추비의 시비량과 시기를 결정할 수도 있다.

엽록소 측정기 (SPAD-502)는 간편하게 녹색에 대한 정도를 측정하므로 잎의 엽록소 함량이나 질소 함량을 예측할 수 있도록 일본 Minolta사에서 개발한 엽록소 측정장치이다(Minolta, 1989).

작물을 재배하는데 있어서 생육 상태를 정확히 진단하는 것은 재배관리 면에서나 재해 경감 및 수량 향상에 매우 중요하다. 이러한 진단은 식물체의 잎의 면적, 온도, 엽록소함량과 엽록소의 형광특성, 잎의 광학적 특성, 기공 저항, 증발산량과 수압 특성 잎의 화학적 조성분, 식물즙액의 유동율, 잎과 뿌리의 건물량 등의 항목중 일부를 관측하여 진단하는 방법이다(Pearcy 등,1987).

Peng et al.(1996)은 수도작에서 질소시비의 효율을 높이기 위한 질소 시비량 및 시비시기를 결정하는데, Shaahan et al(1999)은 mango, mandarin, guava등 다년생 작물의 질소, 마그네슘 및 철의 영양상태를 파악하는데, Lee et al.(1995)는 토마토 실험을 통해, 상추(Lee, 2001), 오이(Sung et al., 1999)등 많은 연구를 통해서 이용방법도 간편하고 현장에서 쉽게 이용할 수 있을 뿐만 아니라 그 정확성도 인정되고 있다.

이 연구는 엽록소 측정기를 이용하여 마늘재배의 질소비료 과잉과 결핍의 상태를 제시 할 수 있고, 마늘의 품질향상과 토양환경보전 및 수질오염방지의 향상을 위해 포장에서 쉽게 진단하고 이용 결정할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

그림 3-137은 밭토양에서 질소시비 수준별 SPAD값의 변화를 나타낸 그림이다.

4월 1일의 SPAD측정에서는 무비구 40.1, 표준구 43.2, 1.5배구 42.8, 2배구 43.3, 4배구 44.1로 질소시비 수준이 증가할수록 SPAD측정값이 증가함을 보였다. 4월 26일의 측정에서는 무비구, 표준구, 1.5배구, 2배구에서는 각각 57.8, 66.6, 66.7, 69.1, 그리고 4배구에서 66.0로 조사되었다. 그 다음 5월 9일 조사에서 무비구 57.6, 표준구 66.3, 1.5배구 67.2, 2배구 69.6, 4배구에서는 68.2로 조사되어 무비구와 2배구에서는 전 조사일과 그 값이 같게 조사되었고 표준구, 2배구, 4배구의 경우는 미미한 증가를 보여주었고 그 후는 SPAD수치가 계속 감소되는 경향을 보였다. SPAD값은 조사 1차년도에서도 5월 첫째주를 정점으로 그 이후는 감소하여 2차년도 조사와 같게 조사되었다. 특히 5월 첫주 이후부터는 각 처리구의 SPAD값이 감소되었다.

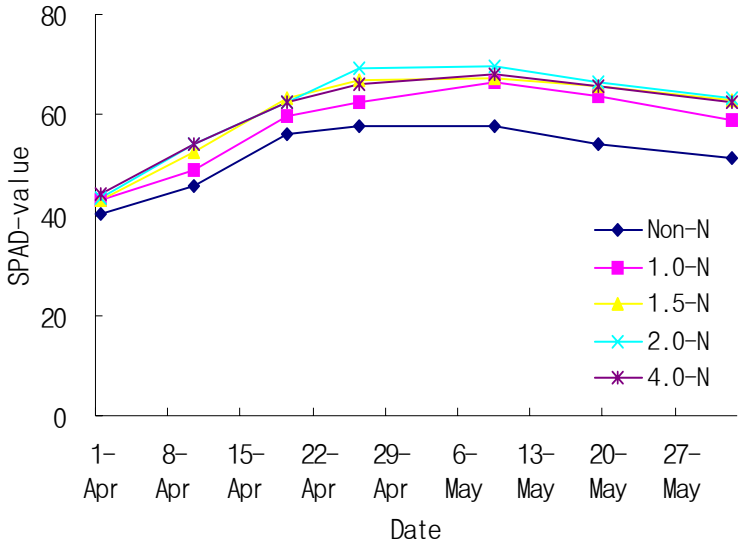


그림 3-137. 질소처리수준별 SPAD값의 변화

그림 3-138은 질소수준을 달리 처리했을 때 Pot에서 재배된 마늘의 엽내 질소함량을 조사일자별 그림으로 나타낸 것이다.

엽내의 질소함량은 질소시비수준별 그 함량의 차이가 있었다. 4월 10일 무처리의 경우 2.18%, 표준구 2.45%, 2배구 2.57%, 6배구 2.70%로 질소수준간 엽내 질소함량에 차이가 적게 보였다. 무처리의 경우는 4월 10일 2.18%에서 마지막 조사였던 6월 1일 2.10%로 변화가 적었다. 표준구의 경우는 4월 10일 조사 2.45%, 4월 19일 조사 2.43%, 4월 26일 조사 2.44%, 5월 9일 2.53%로 대체로 4월까지는 변화가 없었고, 2배구의 경우도 4월 10일 조사 2.56%, 4월 19일조사 2.57%, 4월 26일 2.60%, 5월 9일 2.63%로 2배구의 경우는 5월 9일까지 엽내 질소함량이 변화가 없는 경향으로 보였다. 6배구인 경우도 4월 10일조사 2.70%, 4월 19일조사 2.69%, 4월 26일조사 2.73%로 질소함량 증가는 없게 보였다. 특히 5월부터 시간이 지남에 따라 엽내 질소함량의 감소를 나타내 보였고 조사일인 5월 19일 이후부터는 질소시비 처리구중 6배구가 제일 급속하게 엽내 질소함량이 감소하는 경향을 보였다. 엽내 질소함량이 급속하게 감소하는 것은 그 만큼 빨리 노화로 진행하고 있었음을 알 수 있는 지표인 셈이다. 질소수준별 처리구에서 조사일인 5월 9일까지는 미미하게 그 함량이 증가하였으나 그 이후부터는 엽내 질소함량이 눈에 띠게 감소하는 경향을 보였다. 엽내 질소수준별 처리구들의 질소함량은 대략적으로 2%대에서 조사되었고 무처리구가 질소함량이 그중 적었다.

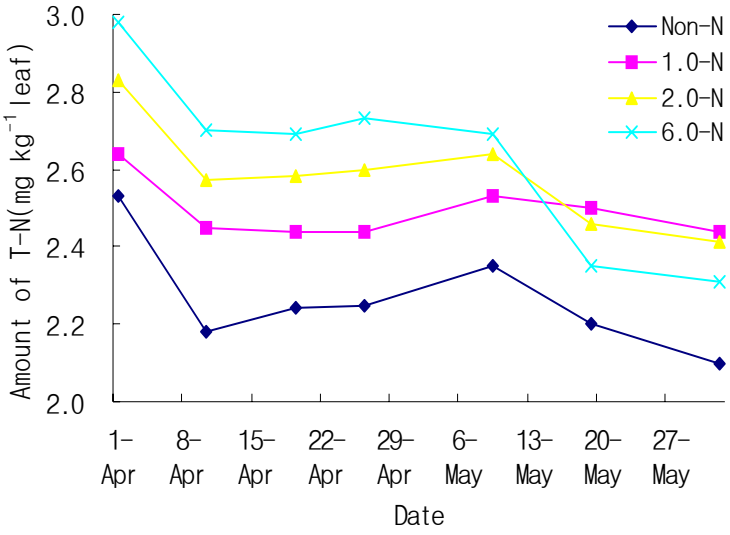


그림 3-138. 질소처리수준별 잎의 질소농도변화

그림 3-139는 엽내 전질소의 함량과 엽내 Chlorophyll의 함량간의 상관관계를 나타낸 것이다.

엽내 전질소의 범위는 무처리, 표준구, 1.5배구, 2배구, 4배구의 처리구들에서 2.17%~2.62%사이에 분포되어 있으며 엽내 Chlorophyll의 함량의 범위 역시 무처리 처리구간 6.54mg · g^{-1}~8.54mg · g^{-1}사이로 분포되어 있다. 전질소 함량과 Chlorophyll의 상관관계는 정의 관계로 유의성있게 조사되었다. 이러한 결과는 제 1차 년도 보고서에서도 같은 결과이다. 전질소 함량에 따른 엽내 Chlorophyll함량 변화를 회귀분석을 해본 결과 y = 2.2512x +2.5406(n = 30, r = 0.5434)으로 엽록소 함량(y)는 전질소 값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있다. 엽내 질소함량이 높은 것일수록 엽내 Chlorophyll의 함량도 높다는 것을 알 수 있다.

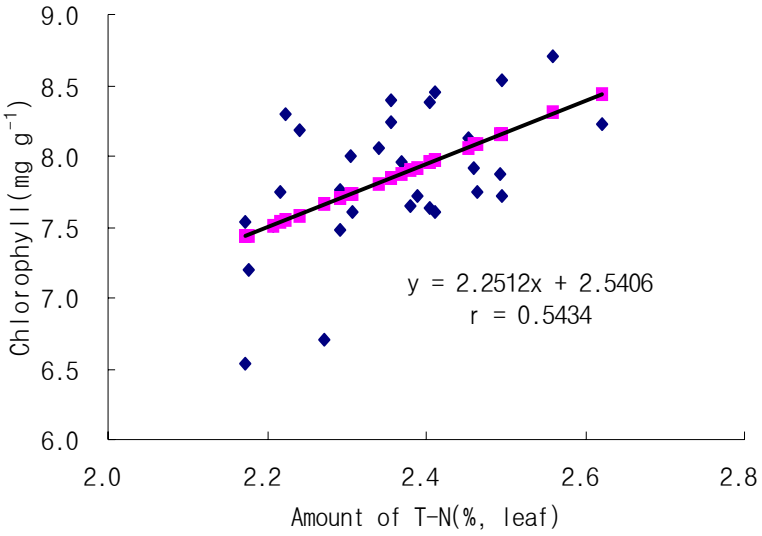


그림 3-139. 엽록소함량과 질소함량간의 상관

그림 3-140은 밭토양에서 SPAD값과 엽내 Chlorophyll함량간의 상관관계를 나타낸 것이다.
엽의 전질소 함량과 SPAD값과의 관계는 정의 상관이 있으며 이러한 결과는 1차년도 보고서에서와 같이 서로 일치하는 결과이다. SPAD값에 의한 엽내 Chlorophyll함량 변화를 회귀분석을 해본 결과 $y = -0.0038x^2 + 0.4526x - 5.0292$($n = 30$, $R^2 = 0.5966$)으로 Chlorophyll함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차 방정식으로 나타낼 수 있다.

식물체잎의 질소성분이 부족할 경우 잎은 엽록소 부족과 증산효과저하로 황화현상을 나타내므로 식물체의 질소결핍장해여부는 잎의 엽록소 함량으로 판단할 수 있을 것으로 예상하였든바 본 실험의 결과에 있어서 엽의 전질소 함량이 높으며 SPAD측정치의 값도 따라 높아져 예상했던 가정과 같게 되었다. 또한 성 등(1999)의 보고에 의하면 대조구 오이 잎의 엽록소 함량은 50±5 SPAD 범위에서 대체로 일정한 수준을 유지하였다 하였으며 질소결핍 오이 잎의 엽록소 함량은 처리일수 경과에 따라 점차 감소하는 경향이 뚜렸하였다고 엽록소 측정기의 측정값으로 질소결핍장해 오이의 진단을 엽록소 함량 45 SPAD 이하 여부로 판단된다고 하였다. 엽록소 함량과 SPAD값과는 1차 직선회귀식으로 나타낼 수 있고 고도의 정의 상관관계가 인정된다고 和田(1990)은 보고하였다.

SPAD를 이용하여 측정한 벼 잎의 잎간, 잎내 및 주간 엽록소 함량의 변이는 모두 99% 유의수준에서 유의하게 다르지 않다고 하였다(성 등, 1999).

홍(1998)은 토마토 잎의 엽록소 측정치는 단위 엽면적당 질소흡수량과 유의성 있는 정의 상관관계를 보여 식물체의 질소영양진단의 지표로 활용 가능한 것으로 확인되었다고 하였다.

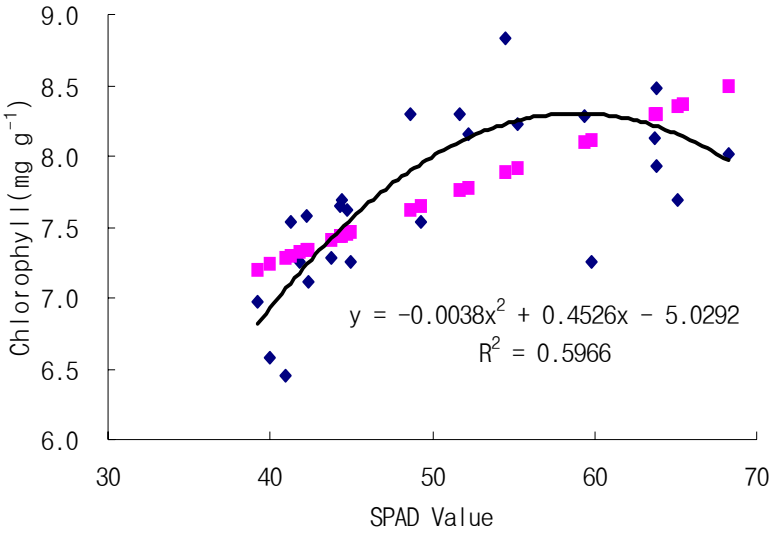


그림 3-140. SPAD값과 엽록소함량간의 상관

그림 3-141은 밭토양에서 SPAD값과 토양의 질산태질소 함량의 상관관계를 나타낸 것이다.

SPAD값과 밭토양의 질산태질소 함량간의 관계는 정의상관이 있으며 SPAD값의 범위는 무처리의 40.06값에서부터 4배구의 68.17까지 분포하고 있으며 이러한 정의관계는 1차년도 보고서의 결과와도 같은 결과이며 회귀분석을 하여본 결과 $y = -0.0665x^2 + 7.7742x - 178.16$($n = 30$, $R^2 = 0.5384$)으로 밭토양 질산태질소 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 2차식으로 나타낼 수 있다. 엽록소 측정치 값이 높은 것일수록 밭토양의 질산태질소의 함량도 높다는 것으로 조사되었다.

Piekielek and Fox(1992)에 의하면 옥수수 밭에서 SPAD측정치는 추비에 작물이 반응을 하든 안하든 간에 SPAD측정치는 43이라 하였다. 그럼에도 불구하고 그들은 결론 내리기를 SPAD측정치와 토양 질소공급능력 간에는 너무 약한 상관관계가 있다고 하였다.

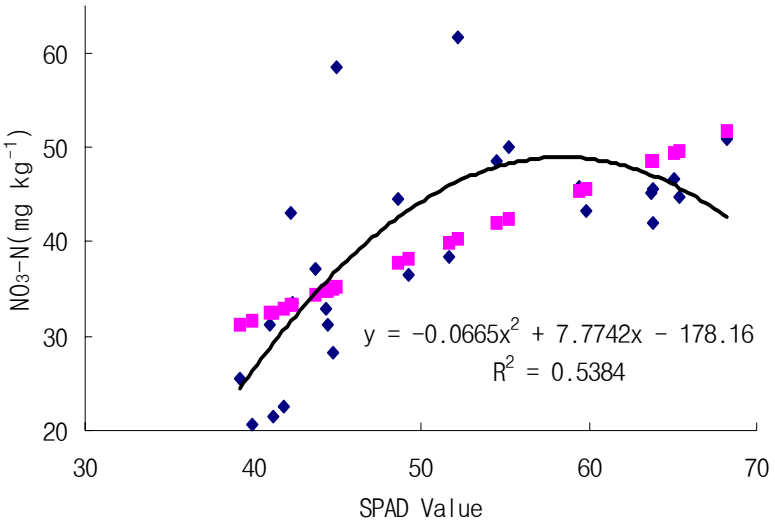


그림 3-141. SPAD값과 토양의 질산태 질소와의 상관

그림 3-142는 마늘주산지(무안, 남해)에서 SPAD값과 토양 질산태질소 함량간의 상관관계를 나타낸 것이다. SPAD값과 토양 질산태질소의 상관관계는 정의 상관관계로 유의성있게 조사되었다. 그림 7의 밭토양 마늘의 SPAD값과 질산태질소의 상관관계에서와 같이 정의상관으로 조사되었다. 이들 둘의 관계를 회귀분석 해본 결과 $y = 0.6451x^2 - 59.226x + 1444.4$ ($n = 20$, $R^2 = 0.3607$)로 조사되었으며 밭토양의 질산태질소 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 2차식으로 나타낼 수 있다. 일반적으로 SPAD값이 높을수록 밭토양의 질산태질소 함량이 높다는 것을 알 수 있다.

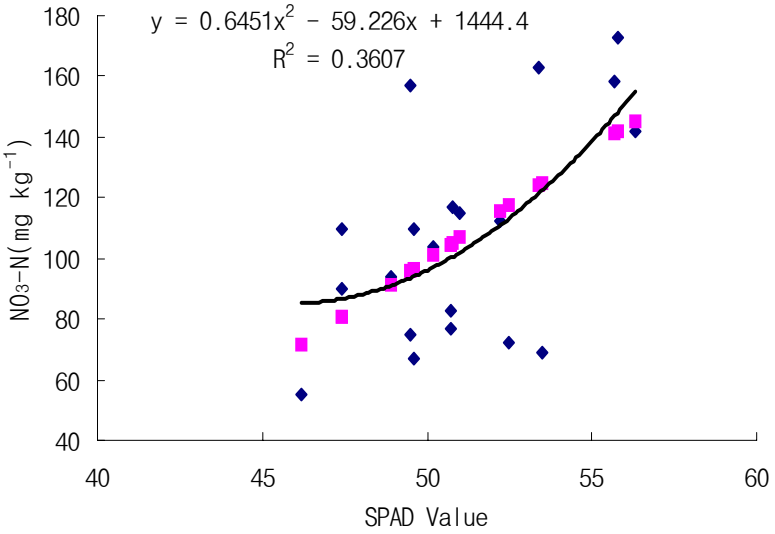


그림 3-142. 남해, 무안지역의 마늘잎의 SPAD값과 질산태 질소와의 상관

그림 3-143은 마늘주산지의 SPAD값과 엽내 전질소 함량을 나타낸 것이다.

엽내 전질소의 범위는 2.23%~3.02%사이에 측정값들이 분포하고 있으며 평균치는 2.64%로 조사되었다.

SPAD값과 엽내 질산태질소의 함량간에는 정의상관으로 유의성있게 조사되었다. 이들의 관계를 회귀분석 해본 결과 y = 0.0369x + 0.7588(n = 20, r = 0.4662)로 조사되었으며, 엽내 전질소의 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있었다. 일반적으로 SPAD값이 높을수록, 밭토양의 질산태질소 함량이 높다는 것을 알 수 있다.

홍 등(2003)은 벼 엽색의 SPAD값과 식물체 질소함량과 관계를 동안벼, 일미벼, 부산벼 등을 조사하였든바 다같이 엽색과 식물체내 질소함량과 높은 상관관계가 있다고 하였다. SPAD값과 엽내 질소와 엽록소 함량과 밀접한 상관이 있다고 한 Masako et al.(1989)의 결과와 일치하였다. 또한 SPAD값과 질소농도의 상관관계는 화성벼는 0.608**, 광안벼는 0.685**로 정의상관이 인정되었다고 김 등(2002)은 보고하였으나 동일한 처리의 시험에서도 품종간 SPAD값과 엽록소 함량 및 질소농도의 관계가 다르게 나타나므로 SPAD값을 이용하여 엽록소 함량과 질소농도를 추정하는 것은 한계가 있다고 하였다.

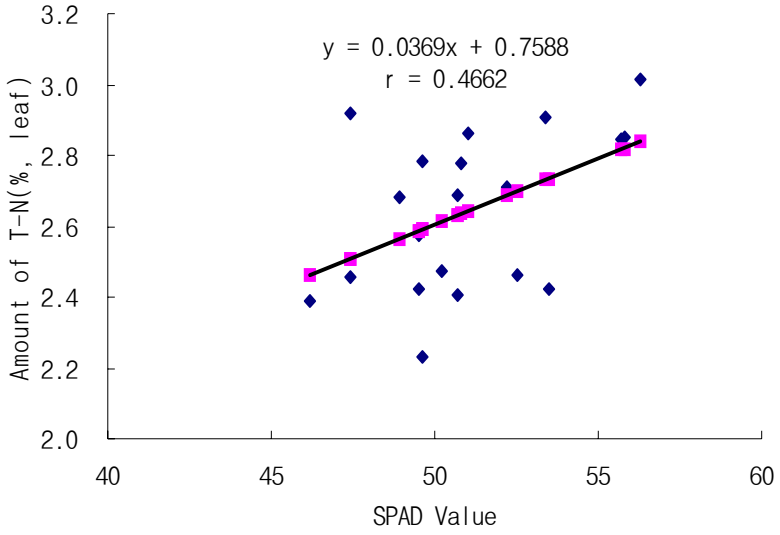


그림 3-143. 남해, 무안지역 마늘잎의 SPAD값과 질소함량간의 상관

그림 3-145는 질소시비수준별 수량을 나타낸 것이다.

무처리와 질소시비처리간 수확량에 있어 유의성이 있으며(LSD(0.05) = 252.8) 질소시비 수준간에는 표준구 1174kg · ha^{-1}, 1.5배구는 1097kg · ha^{-1}, 2배구 수확량은 1205kg · ha^{-1}로 높게 조사되었고, 4배구 수확량은 1080kg · ha^{-1}로 그중 낮게 조사되었다. 그러나 질소시비 처리간 수확량에는 유의성을 보이지 않았다. 보통 마늘의 수확량은 10a당 1200kg · ha^{-1}으로 생각하면 적당한 수확량이라 생각된다. Minott et al(1994)에 의하면 SPAD측정치와 시장성 있는 감자생산량 간에 수준별 질소시비를 하였을 때 고도의 직선적인 그리고 곡선적인 상관을 얻을 수 있다고 하였으며 회귀분석에 의하면 성장초기 SPAD측정치

와 질소시비비율은 시장성 있는 최고의 생산량을 주었다고 하였고 이러한 것들은 품종, 장소, 연도에 따라 다르다고 하였다.

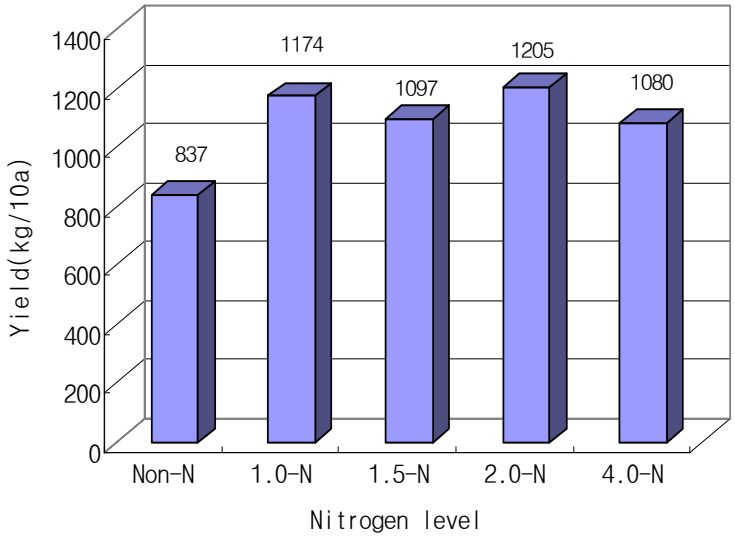


그림 3-145. 질소처리수준에 따른 마늘수확량차이 [LSD(0.05)=252.8]

표 3-30은 양액재배에 있어 질소시비 수준별 생육특성을 나타낸 것이다.

출현율은 무비 질소시비 처리구 다같이 98%로 출현율이 양호하게 조사되었으며 각처리구간 유의성이 인정되지 않았다. 초장의 경우 표준구 81.7cm로 가장 양호하게 조사되었고 2배구 75.3cm, 4배구 69.0cm의 순으로 조사되었다. 무비구의 경우는 66.3cm로 처리구들 가운데 가장 생육이 저조하였다. 각처리구들간 각각의 유의성이 인정되었다. 무비구와 4배구의 경우 각각 유의성이 없었다. 엽초장의 경우 무비구, 표준구, 2배구, 4배구의 경우 각각 그 초장이 19cm, 28cm, 26cm, 22cm로 조사되었으며 각처리구들간 각각의 유의성이 인정되었고 표준구와 2배구간에는 유의성이 없었다. 엽초경의 경우 초장과 같은 순으로 표준구 8.6mm, 2배구 7.1mm, 4배구 6.5mm 그리고 무비구 6.6mm의 순으로 조사되었으며 이 경우 무비구와 2배구 그리고 4배구 처리간에는 유의성이 인정되지 않았고 표준구와 다른 처리구간에는 유의성이 인정되었다. 생체중의 경우 표준구 30.3g으로 처리구들 가운데 가장 생육이 양호하였다. 이 경우는 5월 14일 중간조사를 하였기 때문에 수확기인 6월 초중순까지 간다면 생체중은 더욱 커질 것이라 생각한다. 2배구와 4배구의 경우는 각각 27.7g, 24.7g으로 조사되었고 무비구의 경우는 21g으로 조사되었다. 표준구와 2배구 간에는 유의성이 인정되지 않았으며 그외 각각의 처리구들간에는 유의성이 인정되었다.

표 3-30. 양액재배에서 마늘의 질소수준별 생육차이

treatments	emergence rate (%)	plant height (cm)	leaf length (cm)	sheath diameter (mm)	fresh weight of bulb (g/bulb)
control	98.9a	66.3c[z]	19c	6.6b	21c
optimum level	98.5a	81.7a	28a	8.6a	30.3a
double level	98.8a	75.3b	26a	7.1b	27.7
forth level	98.9a	69.0c	22b	6.5b	24.7ab

[z] Mean separation, within columns, by DMRT 5%

표 3-31은 양액재배시 질소시비 수준별 엽특성을 비교한 것이다.

제 3엽을 기준으로 엽폭의 경우 무비구, 표준구, 2배구, 4배구의 경우 각각 1.1cm, 1.3cm, 1.3cm, 1.2cm로 조사되었으며 표준구와 질소처리구들간 유의성이 인정되지 않았으며 무비구와 각각의 처리구들간에는 유의성이 인정되었다.

엽육두께는 4배구에서 0.94mm로 두껍게 조사되었고 표준구와 2배구는 각각 0.86mm, 0.87mm로 이들 두 처리간 유의성이 인정되지 않았다. 반면 무비구의 경우 엽육두께는 0.84mm로 조사되어 표준구, 2배구와도 유의성이 없었다. 한편 Scott등(1997)은 엽록소측정치의 직접 활용은 엽중 질소농도에 대한 작물의 연령과 품종효과로 인하여 적어도 잎의 두께 등의 영향을 받는다고 하였다.

엽록소의 경우는 표준구와 2배구의 경우 각각 그 함량이 11.57mg · g^{-1}, 11.65mg · g^{-1}으로 조사되었고, 4배구, 무비구의 경우는 10.94mg · g^{-1}, 6.68mg · g^{-1}으로 조사되었다. 거의 같은 시기 노지 마늘의 chlorophyll의 함량과 양액재배 마늘의 chlorophyll의 함량을 살펴보면 노지 5월 19일의 표준구에서 7.72mg · g^{-1}으로 조사되었는데 양액재배의 경우 엽록소의 함량이 노지에 비해 많이 있다는 것을 알 수 있다. 엽색도의 경우 L값은 질소함량이 적은 곳에서 L값이 많았으며 질소함량이 증가할수록 L값도 점점 감소하는 경향을 보였다. 표준구, 2배구, 4배구, 무비구의 경우 각처리당 각각의 유의성이 인정되었다. a값, b값 역시 질소함량이 증가할수록 그 값이 낮아지는 경향을 보였다. 각각의 처리구들간 서로 유의성이 인정되었다.

표 3-31. 양액재배에서 질소수준처리별 마늘잎의 생육차이

treatments	leaf width (cm)	leaf thickness (mm)	chlorophyll ($mg \cdot g^{-1}$)	value of colorimeter		
				L	a	b
control	1.1b[z]	0.84b	6.68c	51.6a	-19.0a	29.6a
optimum level	1.3a	0.86ab	11.57a	49.9b	-17.4b	24.4b
double level	1.3a	0.87ab	11.65a	47.5c	-16.3c	22.6c
forth level	1.2ab	0.94a	10.94b	43.4d	-15.5d	18.0d

[z] Mean separation, within columns, by DMRT 5%

그림 3-145는 양액재배에서 질소시비 수준별 생육 시기별 SPAD값을 나타낸 것이다.

제 3엽으로 측정하였고 4월 10일 첫 조사시 SPAD값은 무처리 37.4, 표준구 43.0, 2배구 44.3, 4배구 47.0의 순으로 질소처리수준이 많을수록 SPAD값이 높았다. 이러한 경향은 4월 30일까지 계속 되었는데 즉 무비구 48, 표준구 58, 2배구 61.3, 4배구 63으로 각각 SPAD값이 조사되었다. 이러한 경향은 노지 마늘의 4월 29일까지 계속 증가하는 SPAD값과도 일치하는 경향으로서 조사되었다. 반면 5월 10일 조사에 있어서는 표준구, 2배구는 SPAD값이 각각 64.0, 64.7로 4월 30일 조사 58.0, 61.3보다 SPAD값이 증가하였는데 반하여 4배구의 경우는 5월 10일 63.7을 정점으로 5월 20일 59.3, 5월 30일 47.6으로 점점 감소하는 경향을 나타냈다. 무비구의 경우 표준구처럼 4월 30일까지 SPAD값이 계속 증가하였는데 5월 10일 46.7, 5월 20일 42.7, 5월 30일 41.7로 감소하였다. 일반노지에서 질소시비 처리별 SPAD값보다 양액에서는 10일 늦게까지 표주구와 2배구에서 SPAD값의 정점을 보인후 감소하는 경향을 보였다.

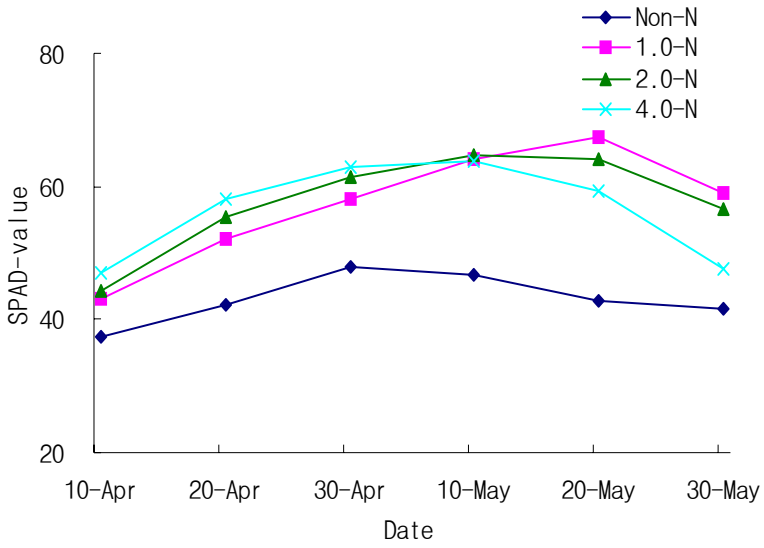


그림 3-145. 양액재배에서 질소수준별 마늘잎의 SPAD값 차이

그림 3-146은 약액재배에 있어 질소시비 수준별 건물중의 변화를 나타낸 것이다.

건물중의 경우는 5월 20일까지는 각처리구간 꾸준하게 증가하는 경향을 보였다. 즉 5월 10일의 무비구 3.9g, 표준구 6.1g, 2배구 5.2g으로 조사되었고 4배구는 4.9g으로 조사되었다. 5월 20일의 각 처리별 건물중은 무비구, 표준구 각각 4.2g, 6.7g이며 2배구, 4배구는 6.0g, 5.1g으로 조사되어 건물중의 증가를 보였고 그후 건물중이 감소하기 시작하였다. 이러한 경우는 온도가 상승하고 일장이 길어지면 abscisic acid와 같은 생장억제물질이 증가하여 휴면을 유도하며 질소화합물이 감소되고 호흡이 억제되면서 상대적으로 광합성이 활발해져 그 결과 잎에서 생성된 탄수화물이 엽초를 거쳐 인편으로 이동되고 축적되어 구가 형성하는 것으로 보아 지상부의 생육은 5월 20일 이후는 정지하며 그후부터는 구의 비대가 이루어지는 것이 아닌가 생각한다.

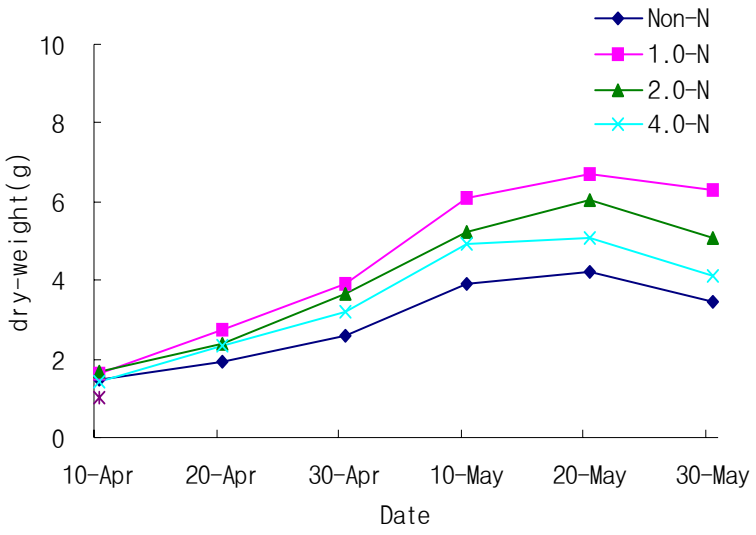


그림 3-146. 양액재배에서 질소수준별 경시적인 건물생산량 변화

그림 3-147은 양액재배에서 시기별 엽내 전질소 함량을 나타낸 것이다.

엽내 전질소 함량의 경우를 보면, 질소처리구들은 무처리에 비하여 엽내 전질소 함량이 높으며 무처리구의 5월 10일 엽내 전질소 함량은 1.31%로 표준구 2.33%, 2배구 2.59%, 4배구 2.35%에 비해 상대적으로 그 함량이 낮았다. 엽내 전질소 함량은 5월 10일까지 질소시비 처리구들에서는 그 함량의 증가를 보였고 그 이후는 급진적으로 감소하는 경향을 보였다. 즉 5월 30일의 표준구 2.16%, 2배구 1.95%, 4배구 1.90%로 조사되었다. 그러나 무비구에서는 4월 20일까지 증가하다가 그 후 계속 전질소 함량이 감소하는 경향을 보였다. 양액지배시에는 뚜렷하게 5월 10일까지 전질소 함량이 증가세를 보였고 무비구에서는 5월 10일까지는 미미하게 감소하였으나 그 이후는 뚜렷하게 감소하는 경향을 보였다.

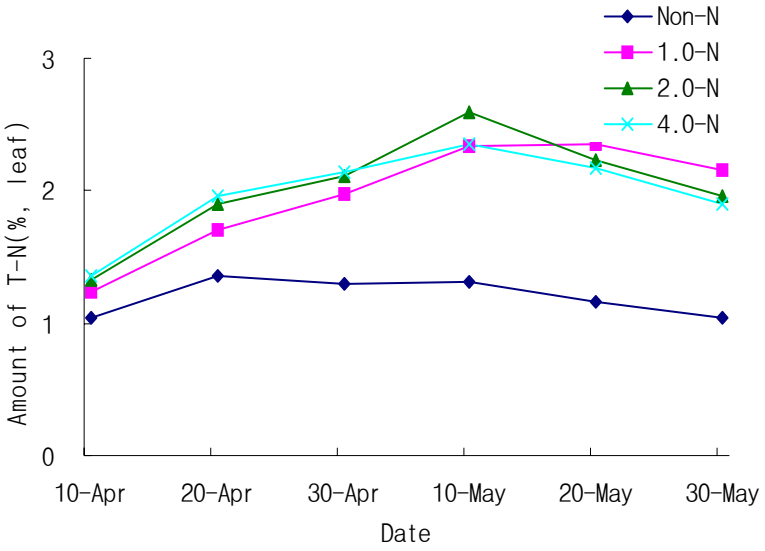


그림 3-147. 양액재배에서 질소수준별 마늘잎의 경시적 질소함량변화

그림 3-148은 양액재배에서 시기별 엽내 chlorophyll 함량을 나타낸 것이다.

엽내 total chlorophyll의 경우 4월 10일 처리구들의 함량은 무처리 6.37mg・g^{-1}, 표준구 7.38mg・g^{-1}, 2배구 8.07mg・g^{-1}, 4배구 9.21mg・g^{-1}으로 질소시비가 많을수록 엽내 엽록소 함량이 많아지는 것을 보았으며 표준구와 2배구의 경우는 5월 10일까지 엽록소 함량이 증가하였다. 그러나 4배구의 경우는 4월 30일까지는 직선적으로 엽록소의 함량이 증가하다 그 이후는 감소하는 경향을 보였다. 반면 무비구의 경우는 4월 20일까지 7.64mg・g^{-1}으로 증가하다가 시간이 갈수록 계속 그 함량이 감소하였다.

2차년도 실험의 무비구는 5월 9일까지 계속 그 함량이 증가하였다. 4월 10일 조사시 7.20mg・g^{-1}으로 시작하여 5월 9일 7.74mg・g^{-1}으로 계속 증가를 보였는데(data 미제시) 이번 경우는 무비구는 전년도와 달랐으며 표준구, 2배구, 4배구의 경우는 대체로 2차년도의 결과와 일치하였다.

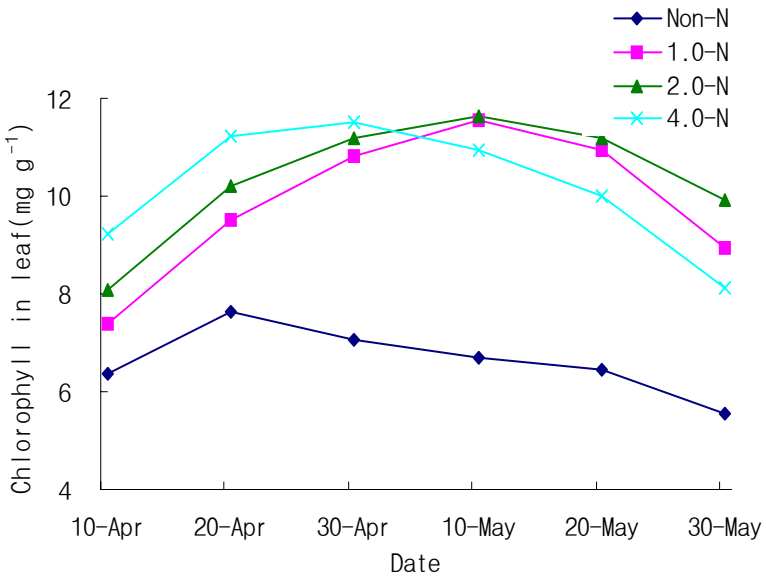


그림 3-148. 질소수준별 마늘잎의 경시적 엽록소함량의 변화

그림 3-149는 양액재배시 SPAD값과 제 3엽의 전질소 함량의 관계를 나타낸 것이다.

제 3엽의 전질소 함량과 SPAD값의 관계는 정의관계로 유의성 있게 조사되었다. 본실험의 1년차 실험의 전질소 함량과 SPAD값과의 정의상관관계와 일치되었다. 전질소 함량에 따른 SPAD값(x)의 변화를 회귀분석을 해본 결과 y = 0.0498x - 0.8818(n = 72, R^2 = 0.8943)로 전질소 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있다. 따라서 SPAD값으로 엽내 전질소 함량을 알 수 있다고 생각된다.

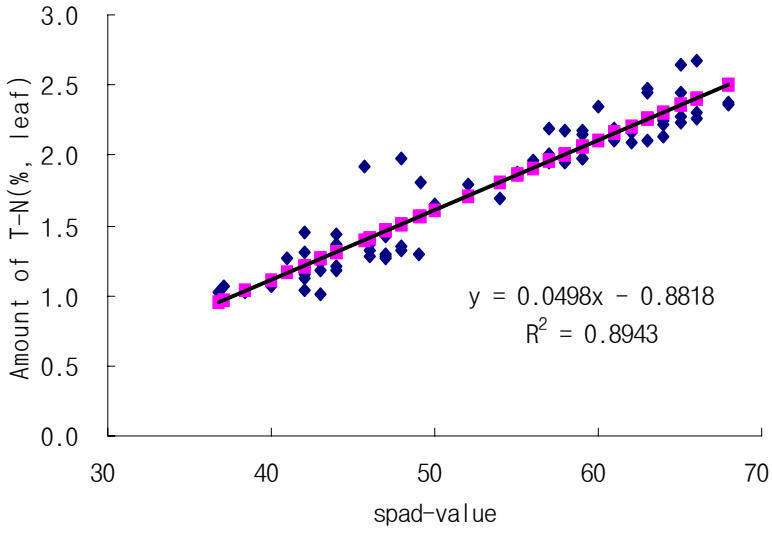


그림 3-149. 양액재배에서 마늘잎의 SPAD값과 질소함량간의 상관

그림 3-150은 양액재배시 SPAD값과 엽내 엽록소 함량의 관계를 나타낸 것이다.

엽내 엽록소 함량과 SPAD값과의 관계는 정의관계로 고도의 유의성이 인정되었다. 이것은 노지포장 실험의 결과와도 정의상관으로 같았다. 엽록소 함량(y)에 따른 SPAD값(x)의 변화를 회귀분석해본 결과 y = 0.1944x -1.17(n = 72, R^2 = 0.8148)로 엽록소 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차식으로 구할 수 있으며 SPAD값에 의하여 엽내 엽록소 함량을 추정할 수 있다.

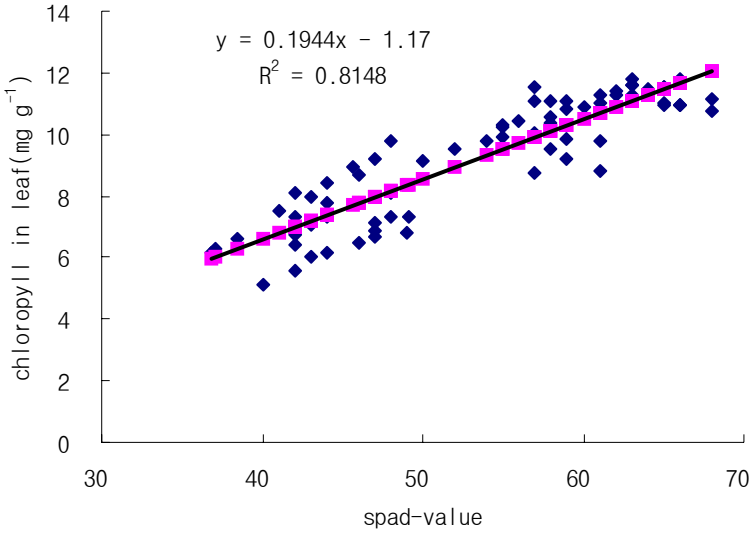


그림 3-150. 양액재배에서 마늘잎의 SPAD값과 엽록소함량간의 상관

그림 3-151은 양액재배시 지상부의 건물중과 SPAD값과의 관계를 나타낸 것이다.

지상부 건물중과 SPAD값과의 관계는 정의관계로 고도의 유의성이 인정되었다. 지상부 건물중(y)에 따른 SPAD값(x)의 변화를 회귀분석해본 결과 y = 0.1279x -3.1015(n = 72, R^2 = 0.5008)로 건물중(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있다.

Minotti et al.(1994)에 의하면 감자(Solanun tuberosum)를 시험한 결과 SPAD측정값과 시장성이 있는 품질 좋은 감자 생산과의 사이에는 높은 유의성이 있는 상관관계를 인정하였고 그 측정값은 식물체의 엽령이 증가할수록 감소한다고 하였다.

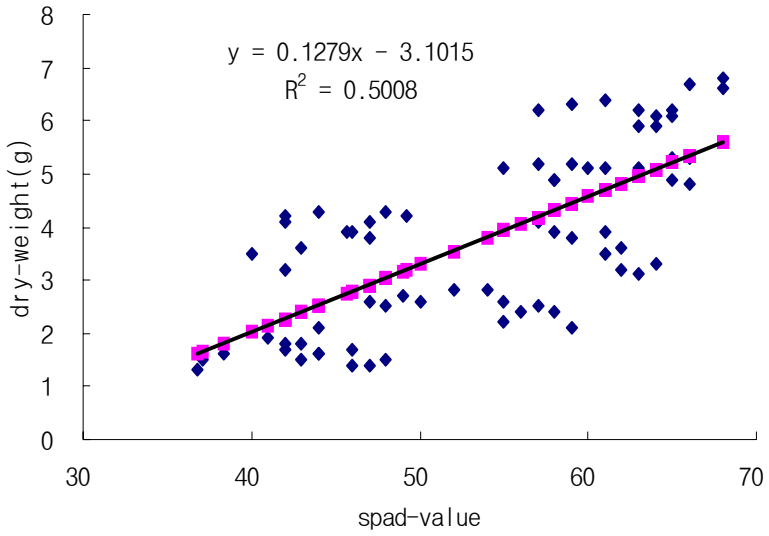


그림 3-151. 양액재배에서 마늘잎의 SPAD값과 건물중간의 상관

표 3-32는 밭토양의 질소표준시비 SPAD값 대비 무비, 2배구 SPAD측정값 차이를비교 한 것이다.

표준시비 SPAD측정값에 대하여 무비구, 2배구의 SPAD측정값을 비교한 것이다. 3월 20일 1번 잎의 경우 표준시비 측정값은 51.14이며 2배구의 SPAD측정값은 50.7이며, 그 차이는 0.44이다. 3번 잎의 경우, 표준시비 SPAD측정값은 50.18이며 2배구의 경우 49.74이며 그 차이는 0.44이여서 1번 잎과 별 차이가 없다. 무비구의 경우 첫째 잎은 그 차이가 -0.07이며 두 번째 잎은 0.31, 세 번째 잎은 0.93으로 표준시비 대비 SPAD측정값은 unit 1이하로 차이가 없음을 알 수 있고 3월 28일 첫 번째 잎의 경우 표준시비 측정값 대배 2배구의 차이는 0.29, 두 번째 잎은 0, 세 번째 잎은 0.31로 조사되었다. 무비구의 경우는 첫 번째 잎의 표준시비 측정값 대비 그 차이는 0.54, 두 번째 0.07, 세 번째 잎은 0.43으로 3월 28일 조사 역시 차이가 1 unit을 넘지 않았다.

4월 8일의 조사 첫 번째잎의 경우 표준시비 측정값 대비 2배구의 차이는 0.31, 두 번째잎 0.35, 세 번째잎 0.67로 조사되었다. 무비구의 경우 첫 번째 잎의 표준시비 측정값 대비 그 차이는 0.64, 두 번째 잎은 1.54, 세 번째 잎은 0.13의 차이를 보였다. 3월 28일 네 번째 잎의 경우 표준시비 측정값 대비 무비구의 경우는 그 차이가 1.63이며 4월 8일 네 번째 잎의 경우 표준시비 측정값 대비 무비구의 경우는 그 차이가 1.91이며, 표준시비 측정값 대비 2배구의 경우 그 차이가 1.19이다. 그러므로 1 unit 이하의 차이가 4월 8일 조사 두 번째 잎 표준시비 측정값 대비 무비구의 차이 외에는 전 조사 측정값이 1 unit이하로 조사되었다. 4월 8일 네, 다섯 번째 잎의 경우는 무비, 2배구 대비 표준시비 측정값은 그 차이가 1 unit 이상 더 벌어지게 되므로 마늘의 경우는 세 번째 잎을 측정하면 좋다고 생각한다. 그림 2-24의 제3엽의 마늘잎을 살펴보더라도 첫 번째 잎은 작고 생육이 얼마 되지않아 다 자라지도 않고 고사 시작하며 두 번째 잎은 세 번째 잎보다는 작으며 세 번째 잎이 시기적으로 3월 하순부터 측정하기 적당한 잎이라

고 생각한다.

그림 3-152. 마늘잎의 생육기간에 따른 잎의 생장변화

4번째 잎과 5번째 잎은 이제 새로 나오는 잎들이므로 성엽이 아직 안됐고 추비를 주는 시기인 3월 말쯤에는 이들 잎들이 아직 어리다고 생각한다.

표 3-32. 질소수준별 SPAD측정값 차이 비교

Date	Leaves No.	Control	Differential	Optimum Level	Differential	Double Level
3/20	1	51.21	-0.07	51.14	0.44	50.7
	2	51.07	0.31	50.76	0.6	51.36
	3	49.25	0.93	50.18	0.44	49.74
	4			47.4		
3/28	1	52.53	0.54	51.99	0.29	52.28
	2	51.88	0.07	51.95	0	51.95
	3	50.12	0.43	49.69	0.31	49.38
	4	49.31	1.63	47.68	0.12	49.43
4/8	1	55.1	0.64	55.74	0.31	56.05
	2	58.87	1.54	60.41	0.35	60.06
	3	58.34	0.13	58.21	0.67	58.88
	4	54.79	1.91	56.31	1.19	57.5
	5	54.4	2.29	51.01	2.28	53.29
	6	53.3		50.0		

pot 재배에서 엽내질소 함량은 각처리구에서 4월 10일부터 5월초까지 거의 함량의 변화가 없었다. 5월 9일 이후 감소하기 시작한다. 엽내 전질소 함량은 5월 9일 이후 감소하기 시작한다. 엽내 전질소와 엽내 chlorophyll의 관계는 정의상관이었으며 유의성이 인정되었다(r = 0.5434).엽내 chlorophyll과 SPAD값과의 관계는 유의성이 있는 정의상관이었으며 SPAD값의 범위는 40.06 ~ 68.7까지 보였다(R^2 = 0.5966).토양 NO_3-N와 SPAD와의 관계는 유의성이 인정되었고 정의 상관관계를 보였다(R^2 = 0.5384). SPAD값과 엽내 전질소의 관계는 정의관계로 유의성이 인정되었다(r = 0.4662). 각처리간 마늘의 수량은 질소처리구간 유의성이 없으며 표준구와 무처리간 유의성이 인정되었다. 표준구 1174kg · $10a^{-1}$, 2배구 1205kg · $10a^{-1}$, 4배구 1080kg · $10a^{-1}$, 무처리구 837kg · $10a^{-1}$이었다.

양액재배에서 SPAD값과 엽중 전질소와의 관계는 유의성이 인정되었고 정의 상관관계를 보였다(R^2 = 0.5384). 양액재배에서 SPAD값과 엽중 chlorophyll의 관계에서 정의상관(R^2 = 0.8143)과 유의성이 인정되었다. 양액재배에서 SPAD값과 지상부 건물중과의 관계는 유의성이 인정되었고 정의 상관관계를 보였다(R^2 = 0.5008).

측정 잎은 제 3엽을 3월 하순부터 측정함이 좋다고 본다. 제 3엽의 SPAD값은 1 unit안에 있다. 그러므로 그 값은 안정적이며 절대값의 표준에 대해 상대적인 값으로 사용할 수 있다.

(3) 마늘의 표준시비량 설정

고추, 마늘, 배추, 무는 재배면적, 소비 면으로나 우리나라의 4대 중요 채소들이다. 특히 이들은 김치의 재료들이며, 현대인들에게 관심이 많은 건강식품이다. 이들 중 마늘은 뛰어난 살균, 항균 작용을 하며, 마늘의 독특한 향을 내는 성분은 여러 가지 황화합물에 의한 것이다. 그 중에서 가장 중요한 성분은 Alliin이라고 하는 배당체 이며, Alliin이 우리 몸 속의 단백질과 결합하여 Allicin이 되어, 강력한 살균,

항균력이 있어 감기나 식중독, 피부병 등, 각종 세균성 질병에 효과가 있다고 한다(농진청, 2001). 또한 Allicin은 세포막을 구성하는 인지질의 산화를 억제하여 노화를 방지하는 작용도 한다.

마늘의 재배면적은 2000년도 44,941ha에서 2003년 33,140ha로 그 면적이 감소하고 있다. 그 이유는 마늘보다 재배하기 쉽고 노동력이 적게 드는 작물과, 단위 면적당 수익성이 보다 좋은 다른 작물로 대체하고 있다고 생각된다. 그러므로 마늘 부족물량은 마늘 수입으로 그 수입량은 2000년 12,595톤에서 2003년도 70,337톤으로 수입이 매년 급증하고 있는 실정이다(농림수산부, 2003). 이처럼 재배면적의 감소에서 나타난 결과를 보더라도, 마늘재배를 쉽고, 간편하게 생육 상태를 진단하는 방법이 필요하다고 생각한다. 또한 작황의 예측과 시장기능에 따른 수급조절 및 품질향상 등 경쟁력을 높일 수 있는 방법을 모색해야 할 것이다. 이 중에서 무엇보다도 질소비료 시용량을 감축하는데 노력을 해야 한다. 특히 마늘에서는 질소질 비료의 과용, 늦은 추비의 시용이 영양생장을 촉진시켜 마늘을 2차 생장으로 발달해 인편으로 비대 발육하지 못하고 영양 생장활동을 계속하므로 상품가치를 크게 떨어뜨리는 원인이 되기도 한다. 그러므로 토양 및 작물체내의 영양원소 함량을 진단하는 것은 작물의 생산성 및 환경보전을 위한 시비 관리를 위하여 매우 중요한 일이다. 이를 위해서는 양분관리의 기본 자료가 되는 영양진단이 합리적으로 수행되어야 한다.

벼의 엽육내 엽록소 함량을 간단하게 측정하여 수도작 추비량 산정시 정확한 시비량과 시비시기를 판단하는데 도움을 주고자 만든 기기가 엽록소 측정기(SPAD-502)이다. 엽록소 함량 측정기는 벼를 대상으로 한 기기로서 광파장 430nm와 760nm에서 잎의 광 투과율을 측정하여 간접적인 방법으로 엽록소 함량을 측정하는 기기이다(Ston et al., 1996).

식물 잎의 광학적 특성은 식물 생육장해 진단에 매우 유용한 수단임으로 많은 연구 결과로 보고된바 있다(Buschmann et al., 1994; Carter, 1994; Elvidge and Chen, 1995; Giltenson et al., 1996; Jackson et al., 1996; Penuelas, 1994).

잎의 엽록소 함량은 질소 흡수량에 비례한다는 원리를 이용한 엽록소 검정은 측정의 간편성과 비파괴 측정의 장점을 가지고 있다. 따라서 엽록소 측정을 이용한 식물체영양 진단은 주로 옥수수(Smeal et al., 1996; Blackmer et al., 1995; Gary et al., 1997; Scott et al., 1997)를 이용하여 많이 연구하였으며, 밀(Fox et al., 1994), 벼(Shaobing et al., 1995), 등의 작물에서 식물체 검정법으로 검토되어 활용하고 있다.

이상의 식물생육 진단 기술의 대부분은 주로 식량작물이나 산림자원을 대상으로 하고 있다. 이러한 잎의 광학적 특성을 이용한 식물생육 진단 기술은 원예작물에도 접목하여 사용할 수 있을 것이고 작물의 생육장해 여부를 조기에 진단 할 수 있으므로 안정적인 원예작물 생산에 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

이에 따라 본 연구는 국내 주요 원예작물인 마늘을 재료로 엽록소 측정기를 이용하여 마늘재배의 질소비료 과잉과 결핍의 상태를 진단제시 할 수 있고, 추비의 적정 시비량을 예측할 수 있는 가능성과 그 토양의 비료수준을 파악하고 조기진단을 하는데 본 연구의 목적이 있다.

본 시험은 충북기술원 단양 마늘시험장 포장에서 엽록소 측정기를 이용한 추비의 마늘 적정시비량 설정을 위해 시험을 수행하였다.

마늘 품종은 한지형 단양종으로 시험구는 밭 토양인 경우 plot당 1.2m x 4m의 구획으로 재식거리는 일반재배와 같이 20cm x10cm로 2003년 10월에 파종하였으며 난괴법 3반복으로 수행하였다. 질소시비수준은 밭토양의 경우 표준구(25kg/10a), 무비구, 2배구(50kg/10a), 4배구(100kg/10a) 4수준으로 수행 하였다. 인산 7.7kg/10a, 칼리12.8kg/10a, 퇴비 2000kg/10a로 시비하였다. 질소는 기비 40% 추비는 60%로 2회 시비하였고 인산은 전량 기비로 칼리는 기비 60% 추비 40%로 2회 시비하였다. 시험수행을 위해 엽색도 측정은 SPAD(Minolta 502)측정기를 이용하여 측정하였고 엽록소 분석은 Arnon법(1949)으로 엽질소는 Kjeldahl법(ASA, 1982), NO_3-N분석은 Copperized cadium 환원법(ASA, 1982)으로 분석하였다.

표 3-33은 질소시비수준별 생육특성을 나타낸 것이다.

월동율은 무비구나 질소처리구나 다같이 91%를 얻었고 통계적 유의성은 없었다. 초장은 표준구, 2배구, 4배구의 질소처리구에서 각각 89.7cm, 87.7cm, 85.7cm로 조사되었다. 4배구와 표준구 간에 유의성이 인정되었으며, 표준구와 무비구에서 유의성이 인정되었다. 엽초장은 표준구가 평균 30cm로 그중 길게 조사되었고 4배구의 엽초장은 25cm로 처리구들 엽초장이 제일 짧았다. 무비구와 2배구 사이의 엽초장은 각각 27cm로 유의성이 없었다.

엽초경은 표준구, 2배구, 4배구에서 각각 13.5mm, 12.3mm, 11.5mm로 질소비료를 많이 시비한 처리구의 엽초경이 짧게 조사되었고 질소시비를 한 각처리구들간 유의성이 인정되었다. 무비구의 경우는 11.5mm로 표준구 그리고 2배구간 각각의 유의성이 인정되었으며 무비구와 4배구의 처리간에는 유의성이 없었다. 생체중은 표준구에서 78g으로 그중에서 무겁게 조사되었고 무비구는 58.3g으로 두 처리간 유의성이 인정되었으며 2배구에서는 70g으로 표준구와 유의성이 없었다. 4배구는 60.7g으로 2배구 처리간 유의성이 없었으나 표준구와는 유의성이 인정되었다. 마늘의 2차 생장율은 지나친 질소비료 시용, 인편분화기의 단일 등의 원인으로 인편으로 비대 발육하지 못하고 영양생장 활동을 계속하여 모식물체의 엽초부를 뚫고 나오는 현상으로서 이차생장에 관여하는 자연환경으로는 생육기의 기온, 월동중의 온도조건, 저온조우정도, 일장조건으로 단일, 인편분화기의 강우, 토양조건 등이 중요하다. 그리고 재배환경으로는 질소질 비료를 다량 시용 하거나 늦게까지 시비할 경우, 파종적기보다 일찍 파종하였을 때, 관수는 지나치게 많이 실시하거나, 주아를 조기에 제거하는 경우, 큰 종구를 재배하였을때 이차생장이 많이 발생하는 것으로 알려져 있다(문, 1985). 그러므로 이차생장의 발생원인들 중 해당하는 질소질 비료의 다량 시용이 이차생육이 나타나는 경우가 있다고 하였는데 본 실험에서도 4배구의 경우 16%의 높은 이차생장율을 보였다.

반면 무비구 8%, 표준구 12%, 2배구 13%의 이차생장율을 보였다. 무비구, 표준구, 4배구간에는 유의성이 인정되었다. 표준구, 2배구간에는 유의성을 인정할 수 없었으며 2배구, 4배구간에는 유의성이 있었다.

표 3-33. 질소시비수준별 마늘생육차이

treatments	rate of overcome winter (%)	plant height (cm)	leaf length (cm)	sheath diameter (mm)	fresh weight of bulb (g)	rate of secondary growth (%)
control	91.7a	84.3b[z]	27b	11.1c	58.3c	8c
optimum level	91.9a	89.7a	30a	13.5a	78a	12b
double level	91.8a	87.7ab	27b	12.3b	70ab	13b
forth level	91.9a	85.7ab	25c	11.5c	60.7bc	16a

[z] Mean separation, within columns, by DMRT 5%

엽폭은 표준구에서 2.2cm, 2배구, 4배구는 각각 2.1cm, 2.0cm로 3처리구간 유의성이 인정되지 않았다. 그러나 무비구와 2배구, 4배구 처리간에는 유의성이 인정되지 않았다. 무비구는 1.8cm로 엽폭이 그 중 짧았고, 표준구와 무비구간에 유의성이 인정되었다. 엽육 두께는 엽폭과 같은 현상으로 조사되었다. 무비구 0.8㎜, 표준구 1.03㎜, 2배구 0.98㎜, 4배구 0.91㎜로 조사되어 질소처리구들과 무비구간에는 유의성이 인정되었다. 또 표준구와 2배구, 4배구간 유의성이 인정되었다. 표준구에서 엽폭, 엽육 두께의 생육이 처리구들 가운데 그중 좋았다.

전체 엽록소함량은 무비구, 표준구들간 각각 8.46mg · g^{-1}, 11.047mg · g^{-1}으로 조사되어 유의성이 인정되었다. 질소처리구들간 2배구, 4배구의 경우는 전체 엽록소의 함량이 각각 10.84mg · g^{-1}, 9.46mg · g^{-1}으로 두 처리간 유의성이 있게 조사되었으며 각 처리구들간 각각 유의성이 인정되었다. 표준구의 전체 엽록소 함량이 제일 높게 조사되었다.

엽색도의 경우 L값은 무비구에서 48, 4배구에서 47.9로 두처리간 유의성이 없었다. 반면 표준구와 2배구간에는 각각 46.7, 46.6으로 L값이 거의 같게 조사되어 유의성을 인정할 수 없었다. a값의 경우는 무비구, 표준구간 유의성이 없게 조사되었고 2배구, 4배구간에도 유의성이 없게 조사되었다. 그러나 이들 둘 처리간 표준구와 2배구간에는 유의성이 인정되었다. 엽색도 b값의 경우는 표준구, 2배구는 각각 그 값이 23.8, 23.2로 유의성이 인정되지 않았고 4배구, 무비구는 각각 22.3, 20.7로 나타나 유의성이 인정되었다. 즉 표준구와 무비구, 4배구간에는 각각 유의성이 인정되었다.

표 3-34. 질소비료 수준별 마늘잎의 생육특성비교

treatments	leaf width (cm)	leaf thickness (mm)	chlorophyll conc. (mg/g)	value of colorimeter		
				L	a	b
control	1.8b[z]	0.8c	8.46c	48a	-16.2b	20.7c
optimum level	2.2a	1.03a	11.04a	46.7b	-16.2b	23.8a
double level	2.1ab	0.98ab	10.84ab	46.6b	-16.5a	23.2a
forth level	2ab	0.91ab	9.46b	47.9a	-16.9a	22.3b

[z] Mean separation, within columns, by DMRT 5%

표 3-35는 질소시비 수준별 마늘의 인편 특성을 나타낸 표이다.

단양 마늘의 인편수는 평균 표준구에서 7.4개, 2배구는 7.5개, 4배구는 7.8개로 조사되었고 무비구에서 7.1개로 조사되었다. 인편수는 4배구에서 7.8개로 조사되었으나 표 2-6의 생체중 4배구에서 60.7g으로 인편이 많으면서도 그 무게가 가볍게 조사되었고 또한 무비구는 인편개수는 7.1개인데 반해 표 2-6의 생체중의 무게는 58.3g으로 작으면서도 그 크기가 역시 작게 조사되었다. 표준구와 무비구 사이 유의성이 인정되었다.

경도는 무비구 3.3kg, 표준구 3.3kg, 2배구 3.2kg, 4배구 3.2kg으로 각각의 처리구들간 유의성이 인정되지 않았다. 함수율은 표준구가 69.2%, 2배구, 4배구가 각각 69.3%, 70.1%이며 무비구가 68.9%로 각각의 처리구들간 유의성이 인정되지 않았다. 마찬가지로 인편의 L값도 무처리구나 질소처리구간이나 각각의 유의성이 인정되지 않았다. a값 b값 역시 질소처리구들 간이나 무처리구와의 상관에서 유의성이 인정되지 않았다.

표 3-35. 질소비료 수준별 마늘 인편의 생육특성

treatments	no. of clone (ea./bulb)	hardness (kg)	hydrous rate (%)	clone value of colorimeter		
				L	a	b
control	7.1b[z]	3.3a	68.9a	80.6	-3.4	19.2
optimum level	7.4ab	3.3a	69.2a	80.6	-3.5	19.2
double level	7.5ab	3.2a	69.3a	80.8	-3.5	19.4
forth level	7.8b	3.2a	70.1a	80.7	-3.4	19.3

[z] Mean separation, within columns, by DMRT 5%

표 3-36은 질소 시비 수준별 구의 특성을 나타낸 것이다.

마늘의 구중(球重)은 표준구, 2배구, 4배구, 무비구에서 각각 그 중량이 37.3g, 35.4g, 32.6g 그리고 30.4g으로 조사되었고 표 2-6의 생체중의 중량과도 그 순서가 같다.

표준구, 2배구간 유의성이 없었으며 그외 각각의 처리들 간에는 유의성이 인정되었다. 구고 (球高)는 표준구가 34.5mm, 2배구 33.4mm, 4배구 32.9mm, 무비구 31.5mm로 조사되었으며 표준구와 2배구간에는 유의성이 인정되지 않았고 그외 각 처리들간에는 유의성이 인정되었다.

구경(球莖)은 구중과 마찬가지로 각처리구들간 그 크기의 순서가 같으며 표준구가 43.8mm, 2배구 42.6mm, 4배구 41.5mm, 무비구 40.8mm로 각처리구들간 유의성이 인정되었다. 구형치수는 구경에 구고를 나눈 값으로 각각 처리구들간 1.3으로 조사되어 유의성이 없었다.

표 3-36. 질소시비수준별 마늘 구경의 생육특성비교

treatments	bulbing weight (g)	bulbing height (mm)	bulbing diameter (mm)	bulbing index
control	30.4c[z]	31.5c	40.8c	1.3
optimum level	37.3a	34.5a	43.9a	1.3
double level	35.4a	33.4ab	42.6b	1.3
forth level	32.6b	32.9b	41.5c	1.3

[z] Mean separation, within columns, by DMRT 5%

그림 3-153은 노지 질소시비 처리별 SPAD값을 나타낸 것이다.

SPAD값은 3월 15일 측정한 무처리, 표준구, 2배구, 4배구의 측정값은 각각 38.0, 42.0, 43.0, 45.0으로 조사되었다. 그후 측정값은 시일이 지남에 따라 급속하게 증가하였다. 4월 24일의 SPAD값은 표준구, 2배구 각각 67.7, 65.3으로 증가하였고 4배구의 경우 62.3으로 역시 증가하였다. 그후 이들 처리구들은 시간이 지남에 따라 계속 SPAD값이 감소되었다. 무처리의 경우도 질소처리구와 같이 4월 24일까지 계속 그 값이 51.3으로 증가하다가 그 후로는 감소하였다. 표준구는 3월 25일 조사에서부터 SPAD값이 매 조사일마다 높았고 4월24일 조사이후 계속 감소 하였다. 무처리구에서 값이 그중 낮았다.

SPAD값의 범위는 이번 조사에서 38.0~67.7까지 조사되었으며 1차 조사시에는 그 범위가 40.06~69.6이었으며 2차 조사에는 39.2~68.2로 조사되었다. 양액재배 조사시에는 그 범위가 37.4~67.3이었다. 그러므로 마늘 재배시 그 SPAD값의 분포는 37.4~69.6의 사이로 조사되었다. SPAD값이 제일 높은 시기는 4월말부터 5월초이며 이것은 온도, 강우, 건조 등 기상환경에 따라 매년 같지 않고 다르다고 생각한다. 이것은 Takebe and Yoneyama(1989)가 보고한 것과 같다고 생각하며 생육단계 환경, 품종 등에 따라

매년 변한다고 생각한다.

마늘의 주로 월동후 4월~6월이 실질적인 생육기간인데 지상부의 생육이 가장 왕성한 시기는 5월 이며 5월말부터는 거의 생육이 정지되는 반면 인편의 비대가 급격히 이루어지고 있는 것이 일반적인 사실인데 본 실험에서는 SPAD값은 지상부의 생육이 가장 왕성한 5월중순까지는 증가 할 것으로 생각하였으나 4월 24일에 정점으로 그후는 감소하였고 1년차 실험에서는 5월8일(그림2-1), 2년차 실험에서는 4월 29에서 SPAD값이 최고에 달하여(그림2-9) SPAD값의 최고 정점이 지상부 생육의 정점이라고는 본 실험을 가지고 분명한 관계를 정립한다는 것은 어렵다고 생각한다.

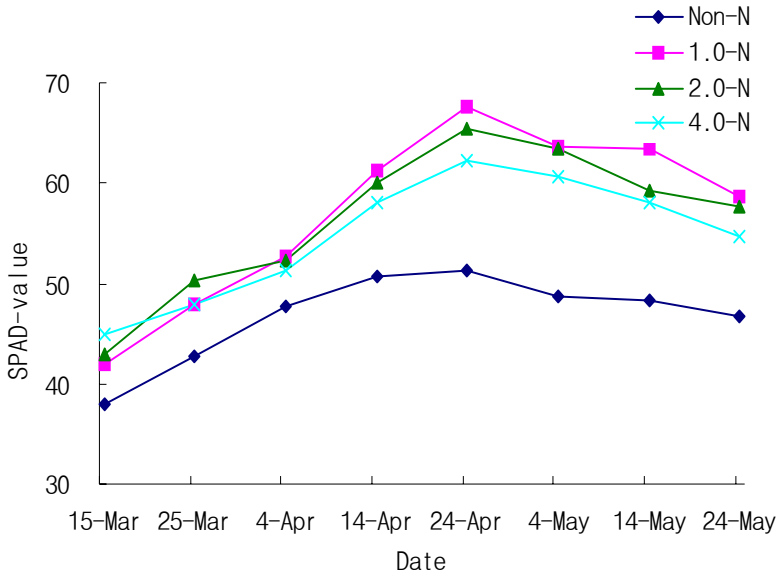


그림 3-153. 질소시비수준별 마늘잎의 경시적 SPAD 값 변화

그림 3-154는 노지 질소시비 처리별 생육시기에 따른 지상부 건물중을 나타낸 것이다.

건물중은 표준구, 2배구, 4배구, 무비구의 순으로 생육시기에 따라 각각 지상부의 건물중이 다르다. 3월 15일 조사시나 3월 25일 조사시 질소시비 처리별로 건물중이 뚜렷하게 나타나지 않았으나 추비를 준 이후부터 생육이 뚜렷하게 구분되었다. 즉 4월 4일 표준구, 2배구, 4배구의 건물중은 각각 8.5g, 7.9g, 7.2g으로 조사되었고 무비구는 6.5g으로 조사되어 무비구가 건물중이 그중 낮았다. 그후 건물중의 증가는 5월 14일까지 지속적인 증가를 하다가 감소하였다. 5월 14일 표준구 13.3g, 2배구 12.4g, 4배구 11.7g으로 조사되었고 5월 24일의 조사에는 표준구 12.5g, 2배구 11.6g, 4배구 10.4g의 순으로 조사되어 5월 중순이후 성장이 둔화되고 인편분화가 시작된 것으로 추정할 수 있다. 이 시기는 엽내 전질소 감소와 엽내 엽록소 함량의 감소와도 같은 시기로 생각된다. 일반재배에 있어서 마늘의 초장과 엽장이 5월에 들어와서 매우 급격한 생장을 보이고 있는 것이 보통 경향이다. 그러다가 6월에 들어오면서 생육이 거의 정지 된다. 한편 잎의 전개는 5월 중순에서 6월 초순에 걸쳐 완전 전개하였고 5월 이후 구경이 증가하기 시작하면서 중순에 구형성지수가 0.51로 구 비대가 뚜렷하게 나타난다(문, 1983). 본 실험에서는

지상부의 생육이 5월 중순에 거의 끝나는 것이 아닌가 생각한다. 왜냐하면 5월 14일 이후 건물중이 감소하는 것으로 생각하며, 5월 말이면 거의 생육이 정지되는 반면 인편의 비대가 급속히 이루어지고 있는 것으로 생각한다.

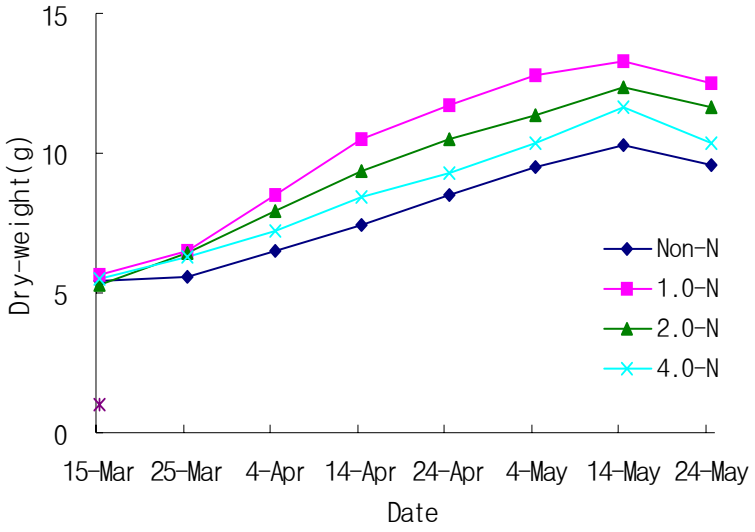


그림 3-154. 질소시비수준별 마늘잎의 경시적 건물생산량 변화

그림 3-155는 노지 질소 처리별 생육 시기에 따른 엽내 전질소 함량을 나타낸 것이다.

엽내 전질소의 함량은 시간이 지남에 따라 4월 말까지 증가하는 경향을 보였다. 표준구는 3월 15일 1.30%, 3월 25일 1.96%, 4월 4일 2.13%, 4월 14일 2.63%, 5월 4일 3.15%, 5월 14일 3.19%, 5월 24일 2.87%로 5월 14일을 정점으로 그 이후 함량이 감소하였다. 그러나 처리 2배구와 4배구의 경우에는 표준구와 달리 조사일 5월 4일에 엽내 전질소 함량이 정점으로 그 이후 차차 그 함량이 감소되었다. 2년차 실험에서는 조사일 5월 9일에 표준구, 2배구에서 전질소의 함량이 정점에 있었고 그 후는 감소하였다. 본 실험에서 4월말(3차 실험)이나 5월(2차 실험)초순경에서 엽내 전질소 함량 감소하기 시작하였는데 이는 문(1983)의 보고에 의하면 1981년도 10월 25일에 파종하여 1982년도 조사에서 인편분화는 4월 25일부터 관찰하였고, 5월 17일 조사에서 인편지수는 0.51로 조사되었다. 실제로 인편지수가 0.50 이하가 되기 시작하였을 때가 비로소 구라고 정의 내린다고 하여 5월 중순 이후부터는 완전한 구의 형태로 비대가 급속히 이루어지는 것이 아닌가하였다 그러므로 본 실험에서는 5월4일부터 엽내 전질소 함량의 감소는 구의 비대가 급속히 이루어지는 구쪽으로 전질소 함량이 이동하는것이 아닌가 한다

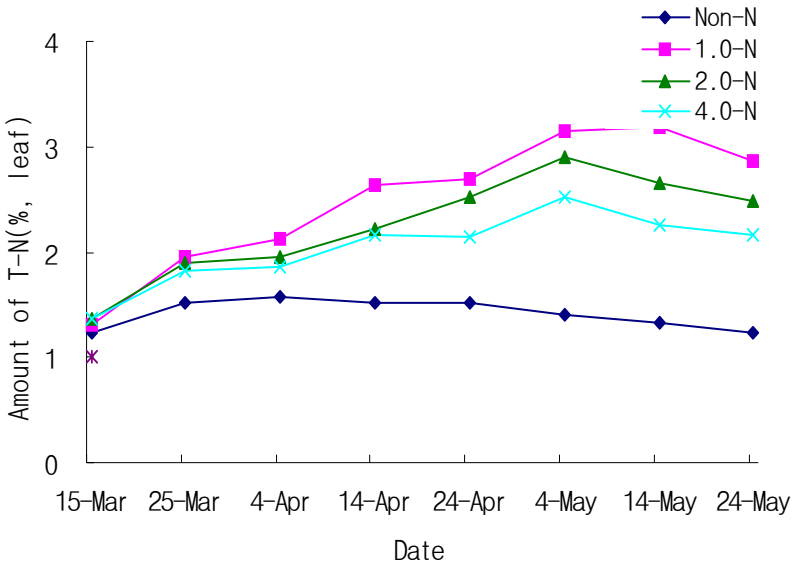


그림 3-155. 질소시비수준별 마늘잎의 경시적 질소함량 변화

그림 3-156은 노지 질소 처리별 생육 시기에 따른 엽내 엽록소 함량을 나타낸 것이다.

엽록소 함량은 무처리의 경우 3월 15일 6.45mg・kg^{-1}에서 계속 그 함량이 증가하기 시작해서 4월 24일 6.85mg・kg^{-1}으로 정점으로 그 이후 조사부터는 함량이 감소하였다. 표준구의 경우는 4월 24일 9.93mg・kg^{-1}을 정점으로 이후 계속 감소하여 5월 14일 8.19mg・kg^{-1}으로 감소하였다. 실험 2년차 표준구의 경우는 5월 9일의 함량이 8.45mg・kg^{-1}을 정점으로 이후 조사일부터는 그 함량이 감소하였다. 작년 실험에 비해 올해가 엽내 엽록소의 정점이 15일 이상 빨랐으며 그 함량도 높게 조사되었다. 2004년 충주지방 3월달 평균이 5.4℃이며 작년의 경우는 4.7℃인 것으로 보아 마늘의 생육상태가 올해가 더 생육에 좋은 기상 환경이므로 좋았다고 할 수 있다.

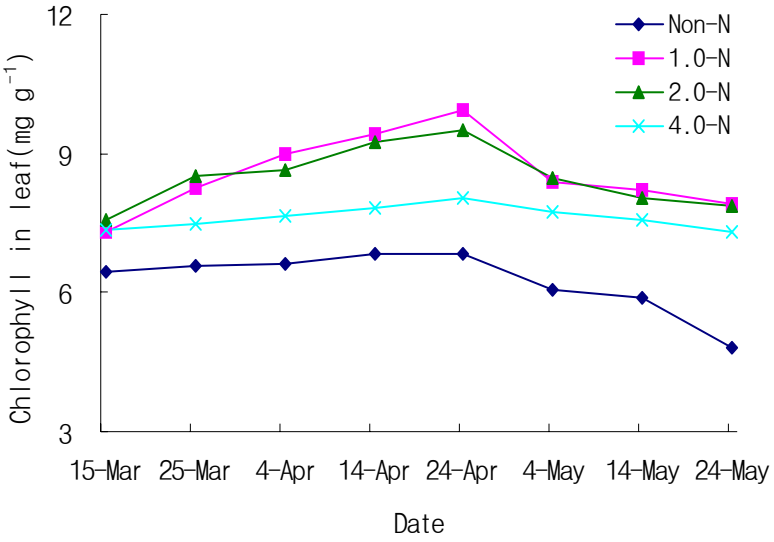


그림 3-156. 질소시비수준별 마늘잎의 경시적 엽록소함량 변화

그림 3-157는 밭토양에서 질소시비 처리별 최종수량을 나타낸 것이다.

최종수량은 무처리구에서 984kg · $10a^{-1}$, 표준구에서는 1205kg · $10a^{-1}$, 2배구에서는 1143kg · $10a^{-1}$, 4배구 1055kg · $10a^{-1}$으로 표준구에서 수량이 많았다. 그러나 표준구와 2배구는 유의성이 없었고 4배구, 무비구는 각각 유의성이 인정되었다.

2년차 실험의 수확량에서도 질소시비 처리별간 유의성이 인정되지 않았으나 4배구에서 1080kg · $10a^{-1}$으로 수확량이 조사되었고 이번 실험에서도 4배구는 1080kg · $10a^{-1}$으로 수확량이 조사되었다. 전년도 실험의 무처리구에서는 837kg · $10a^{-1}$으로 수확량이 적게 조사되었으나(그림 2-16) 금번 실험의 무처리구의 수확량은 984kg · $10a^{-1}$으로 이 역시 수확량이 처리간에 적게 조사되었다.

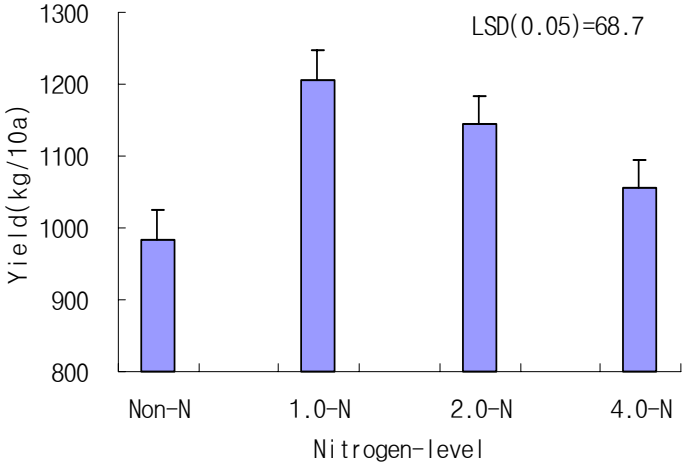


그림 3-157. 질소시비 수준별 마늘 수확량 차이

그림3-158은 밭토양에서 엽내 전질소 함량과 SPAD값과의 상관관계를 나타낸 것이다.

엽의 전질소 함량과 SPAD값과의 관계는 정의상관으로 조사되었으며 1, 2년차 실험 결과와도 일치하는 결과이다. 본 실험은 Rutger(1991)의 보고와도 일치가 되며 그는 잎의 엽록소 함량은 잎 질소 함량과 높은 정의 상관관계가 있으며 엽록소 측정 값(SPAD)은 벼의 질소 요구량을 결정하는데 이용되어지고 있다고 하였다. SPAD값에 의해 엽내 전질소 함량 변화를 회귀 분석해본 결과 y = 0.0559x - 1.2114(n = 60, R^2 = 0.7386**)로 고도의 유의성이 인정되었다. 엽내 전질소 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있다. SPAD값이 높아지면 엽내 전질소 함량도 높다는 것을 알 수 있다.

엽록소 측정 값(SPAD)과 엽록소 a의 함량은 품종과 시기에 관계없이 같은 직선관계를 나타내어 엽록소 a함량의 간접 측정방법으로 이용 될 수 있어(Kim et al., 2002) 잎 노화의 간접적인 지표로 이용될 수 있다(Park and Lee, 2003)고 하였다. 또한 Stalin 등(2000)에 의하면 엽록소 측정 값(SPAD)을 이용할 경우 다른 방법에 비해 질소 이용 효율이 매우 높아졌다고 하였다. 그럼에도 불구하고 조심스럽게 Dwyer et al.(1994)는 엽내 질소 농도는 chlorophyll meter를 이용하여 그 측정값이 2차 방정식의 정점을 지나 안정기 범위에 있을 때 매우 좋게 평가할 수 있다 하였으며, chlorophyll meter를 이용하여 그 측정값이 2차 방정식의 정점을 지나지 않고 안정적 범위(plateau range) 밑에 있을 때 엽내 질소 농도를 평가 할 수 없다고 하였다.

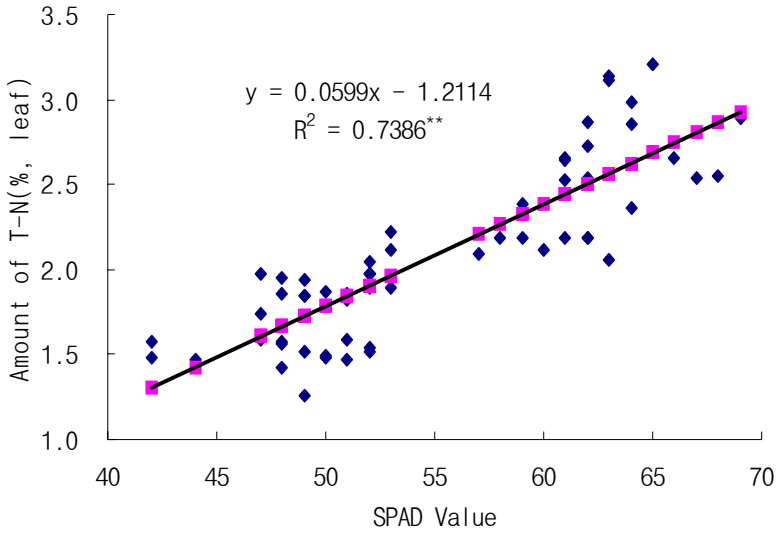


그림 3-158. 마늘잎의 SPAD값과 질소함량간의 상관

그림 3-159는 밭토양의 질산태질소와 SPAD값과의 관계를 나타낸 것이다.

밭토양의 질산태질소와 SPAD값과의 관계는 정의관계로 나타났으며 두 변량간에 고도의 유의성이 인정되었다. SPAD값에 의해 토양의 질산태질소 함량의 변화를 회귀분석해본 결과 y = 0.5451x -1.7073(n = 60, R^2 = 0.2028**)으로 나타났으며, SPAD값이 높아지면 토양내 질산태질소 함량도 높아진다는 것을 알 수 있다.

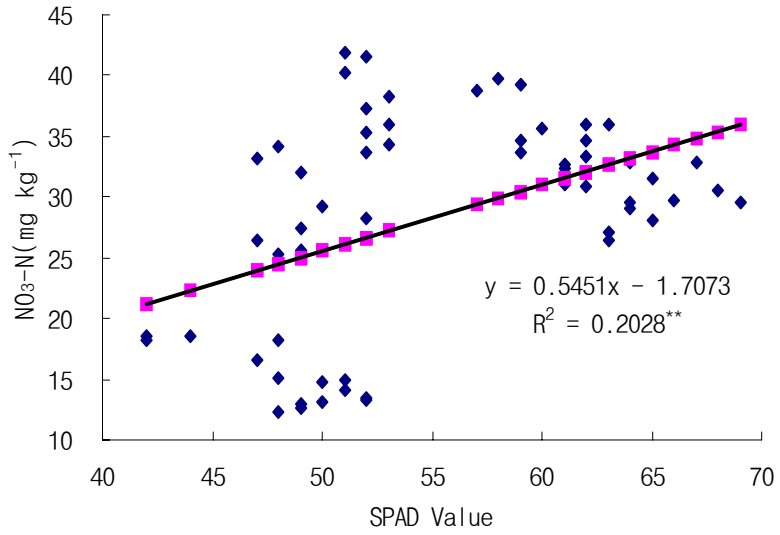


그림 3-159. SPAD값과 토양 질산태 질소함량간의 상관

그림 3-160은 엽내 엽록소 함량과 SPAD값과의 관계를 나타낸 것이다.

엽내 엽록소 함량과 SPAD값과의 관계는 정의관계로 나타났으며 엽록소 함량과 SPAD값과의 관계에서 고도의 유의성이 인정되었다. 본 실험의 결과는 홍(2001)의 보고와 일치하며 토마토 잎의 엽록소 측정치는 단위 면적당 질소 흡수량과 유의성 있는 정의 상관관계를 보여 식물체의 질소 영양 진단의 지표로 활용이 가능한 것으로 보고하였다. 또한 성 등(2003)은 SPAD값과 벼 잎내 엽록소 함량간에는 0.7758의 상관관계가 있어 SPAD값을 이용하여 벼 군락의 엽록소 함량을 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

SPAD값에 의해 엽내 엽록소 함량 변화를 회귀분석해본 결과 $y = 0.1029x + 2.3582(n = 60, R^2 = 0.4432^{**})$로 나타났으며, 엽내 엽록소 함량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 1차식으로 나타낼 수 있다. SPAD값이 올라가면 엽내 엽록소 값도 높다는 것을 알 수 있었다.

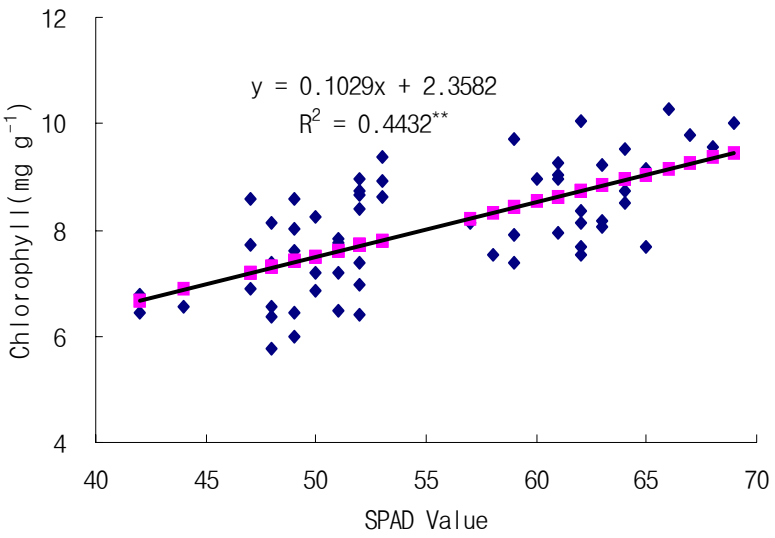


그림 3-160. SPAD 값과 마늘잎의 엽록소함량간의 상관

그림 3-161은 엽내 전질소 함량과 엽내 엽록소 함량간의 관계를 나타낸 것이다.

엽내 전질소 함량과 엽내 엽록소 함량간의 관계는 정의관계로서 고도의 유의성이 인정되었다. 엽내 전질소 함량에 의해 엽내 엽록소 함량 변화를 회귀분석해본 결과 $y = 1.5539x + 4.7794(n = 60, R^2 = 0.4918^{**})$로 관계식이 조사되었으며 엽내 엽록소 함량(y)는 엽내 전질소 함량(x)에 의하여 1차식으로 나타났다. 엽내 전질소 함량이 증가하면 엽내 엽록소 함량도 증가할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 경우는 1, 2년차 실험의 결과에서도 확인할 수 있었다. 엽록소 측정값(SPAD)과 엽색(Tuner 와 Jund, 1994), 엽록소 측정값(SPAD)과 잎 면적을 기준으로 한 질소농도(peng 등, 1995)의 관계는 직선적인 정의상관이 있으며, 작물에 있어 질소의 수준을 평가하고 추가로 필요한 질소비료의 결정을 할 수 있다

하였다(peng 등, 1996b; Balasubramanian 등, 1999). 그러나 엽색은 잎이 가지고 있는 색소의 종류와 함량에 의하여 결정되며 엽색과 엽질소 농도 관계는 생육단계에 따라서 조직의 조밀성, 세포의 크기, 품종 환경에 따라 변한다고 하며(Takebe and Yoneyama,1989; Campbell. et al, 1990), 잎 두께, 잎 무게(peng 등, 1993)등 환경에 따라 변한다고 하여 측정이 어느 시기이냐에 따라 엽록소 측정값(SPAD)은 달라질 수도 있다. 엽록소 측정 값(SPAD)은 질소 시비량을 조절할 경우 관행적인 방법에 비해 AEN(agronomic efficiency of applied N : grain yield over control per kg N)이 1.5~2.5배 정도 높다고 하였다(Babu et.al., 2000).

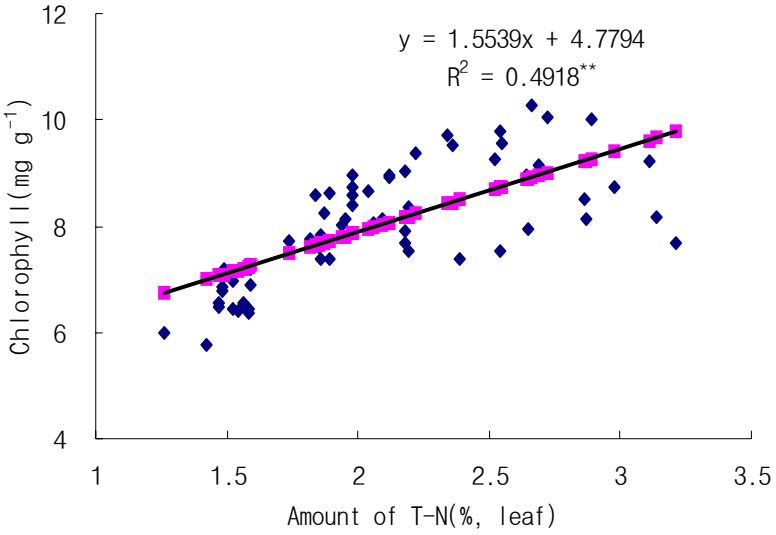


그림 3-161. 마늘잎의 질소함량과 엽록소농도와의 상관

그림 3-162는 엽내 엽록소 함량과 토양내 질산태질소간의 관계를 나타낸 것이다.

토양의 질산태질소의 함량과 엽내 엽록소 함량간의 관계는 정의관계로서 고도의 유의성이 인정되었다. 토양내 질산태질소 함량에 의해 엽내 엽록소 함량 변화를 회귀분석해본 결과 y = 0.0788x + 5.8078(n = 60, R^2 = 0.3807**)로 관계식이 조사되었으며, 엽내 엽록소 함량(y)는 토양내 질산태질소 함량(x)에 의하여 1차식으로 나타났다. 토양내 질산태질소가 증가하면 엽내 엽록소 함량도 높다는 것을 알 수 있다.

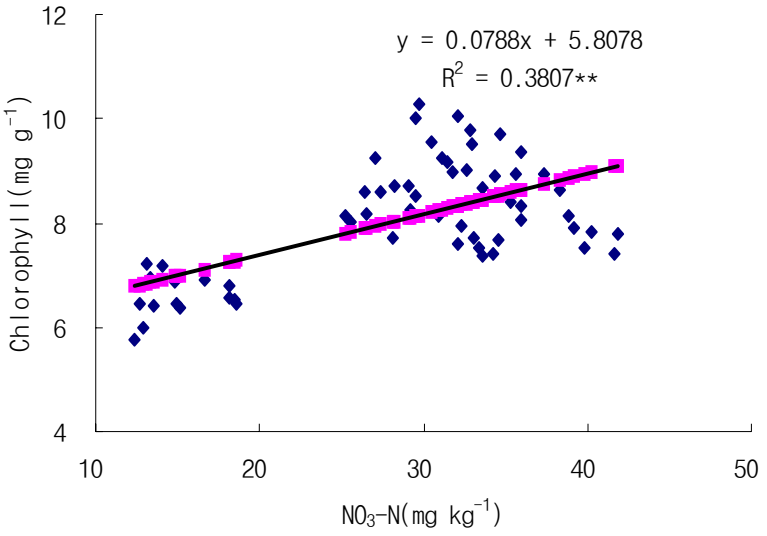


그림 3-162. 토양의 질산태질소 함량과 마늘잎의 엽록소함량간의 상관

그림 3-163은 엽내 전질소 함량과 토양의 질산태질소간의 관계를 나타낸 것이다.

엽내 전질소 함량과 토양의 질산태질소의 관계는 정의관계로 조사되었고 고도의 유의성이 인정되었다. 토양내 질산태질소의 함량에 의해 엽내 전질소 변화를 회귀분석해본 결과 y= 0.0287x + 1.2861(n = 60, R^2 = 0.2488**)로 관계식이 조사되었다. 엽내 전질소 함량(y)는 토양내 질산태질소(x)에 의하여 1차식으로 조사되었다. 토양내 질산태질소가 증가할수록 엽내 전질소 함량도 증가됨을 알 수 있다.

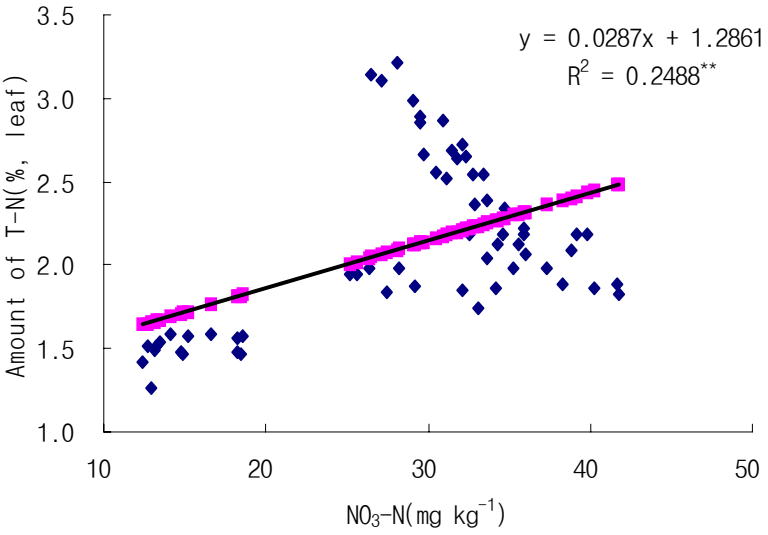


그림 3-163. 토양의 질산태질소함량과 마늘잎의 질소함량간의 상관

그림 3-164는 SPAD값에 의한 추비량과의 관계를 나타낸 것이다.

무비구, 표준구, 2배구, 4배구의 전측정치의 SPAD값과 표준구의 25kg 질소시비량중 기비로 60%를 먼저 주고 보충할 추비량 40%인 10kg을 기준으로 추비량을 설정하였다.

SPAD값에 의한 보충할 추비량의 변화를 회귀분석해본 결과 $y = -0.1066x^2 + 12.508x - 342.89$(n = 60, $R^2 = 0.1891$)로 유의성이 인정되었다. 추비량(y)는 SPAD값(x)에 의하여 2차 방정식으로 나타낼 수 있었다. 곡선의 정점, x축의 SPAD값에선 58.7이며 y측의 추비량에서 24kg으로 조사되었다. 만약 마늘포장에서 SPAD측정치가 59로 나타났으면 추비를 주지 않아도 되는 결과이다.

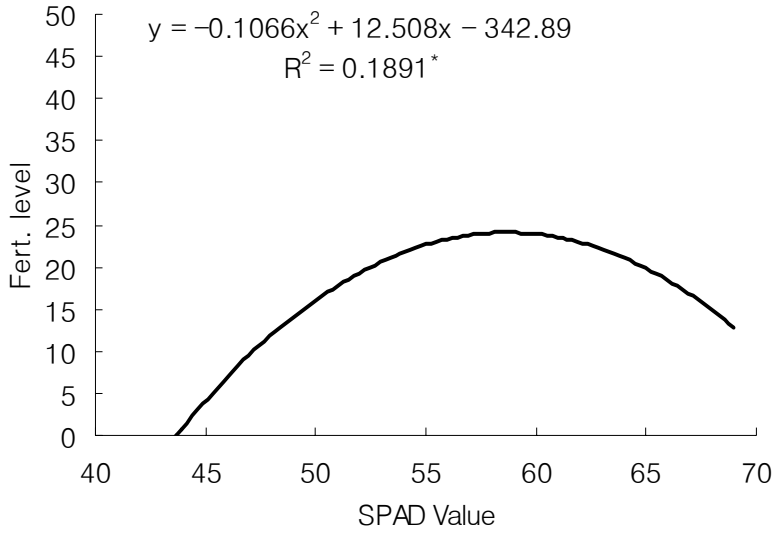


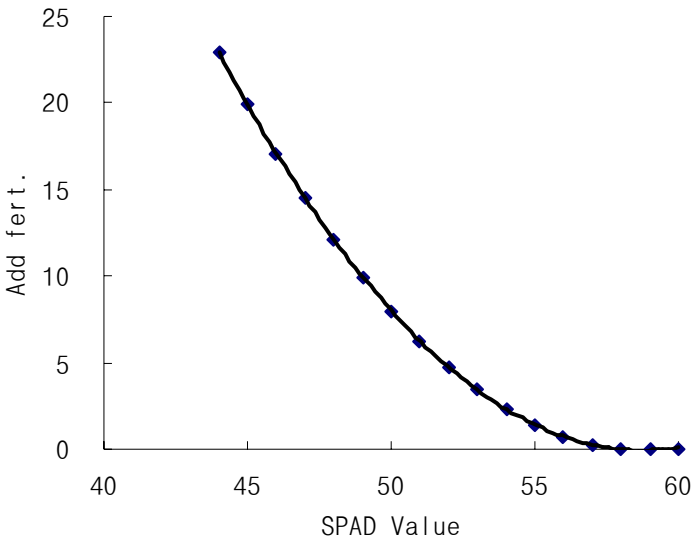
그림 3-164. SPAD값과 질소추비량과의 상관

(The maximum SPAD value was attained at 24.01㎏)

Varvel et al.(1997)등은 Chlorophyll meter를 이용한 옥수수 질소결핍 교정능력의 실험에서 엽록소 측정치는 질소비료 충분지수(질소비료가 필요한 처리/ 질소비료가 충분한 처리 ×100)로 교정하여 사용하였다 하였고, 질소비료 시용은 충분지수가 95%이하일 때 시용 하였다고 하였다.

만약 마늘포장에서 SPAD측정치가 58, 59, 60으로 측정되었다고 하면 이런 경우는 추비 비료분을 주지 않아도 되며 측정값이 57, 56, 55이였다면 추비 비료분은 0.3㎏ · $10a^{-1}$, 0.7㎏ · $10a^{-1}$, 1.4㎏ · $10a^{-1}$ 주어야 되는 셈이다. 또한 측정값이 54, 53, 52, 51, 50이였다면 추비 비료분은 2.3㎏ · $10a^{-1}$, 3.4㎏ · $10a^{-1}$, 4.7㎏ · $10a^{-1}$, 6.2㎏ · $10a^{-1}$, 8.0㎏ · $10a^{-1}$ 주어야 되는 경우이다. 측정값이 49. 48인 경우는 9.9㎏ · $10a^{-1}$, 12.1㎏ · $10a^{-1}$ 주어야 된다. 그러므로 본 실험에서 마늘의 적정 SPAD값은 58, 59, 60으로 되었고 대체로 SPAD값이 56이나 57이면 10a 당 1kg 미만의 질소를 주면 된다는 결과이므로 SPAD값의 범위를 좀 넓게 주어 56~60사이 SPAD 측정값이라 생각한다. 그림 3-165은 SPAD값에 대한 추비 부족분을 표로 나

타낸 그림이다.



SPAD	Add.ferti.
44	22.9
45	19.9
46	17.1
47	14.5
48	12.1
49	9.9
50	8.0
51	6.2
52	4.7
53	3.4
54	2.3
55	1.4
56	0.7
57	0.3
58	0.0
59	0.0
60	0.0

그림 3-165. SPAD값에 따른 질소추비 소요량

생육상태는 표준구가 다른 처리구보다 초장, 엽장, 엽초장 엽폭, 엽두께 그리고 생육이 좋았다. 엽록소 함량 및 구중, 구고, 구폭도 표준구에서 제일 높았다. SPAD값은 4월 24일에 전처리구에서 높았으며 지상부의 건물중은 5월 14일까지 증가하다가 그 이후는 감소한다. 반면 엽내 전질소 함량은 5월 초순, 엽중 chlorophyll 함량은 4월 24일까지 증가하고 그 이후는 감소한다.

엽내 전질소의 함량과 SPAD값과의 관계는 유의성이 있는 정의상관이었다(R^2 = 0.7386). 토양의 NO_3-N 함량과 SPAD값과의 관계는 정의상관이었고 유의성이 있었다(R^2 = 0.2028).엽내 chlorophyll 함량과 엽내 T-N과의 관계는 유의성이 있는 정의상관이었다(R^2 = 0.4918).

엽내 chlorophyll 함량과 SPAD값과의 관계는 정의상관이었고, 유의성이 인정되었다.

회귀분석에 의하여, 각각의 질소처리군과 SPAD값과의 관계에 의하여 회귀방정식 $y = -0.1066x^2 + 12.509x - 342.89$를 얻었다. 이 방정식에 의하여 표장에서 마늘잎 성장을 위한 시용율을 위한 도구이다. 3월말부터 4월말까지 사용하는 적정 SPAD값은 58 ~ 60 unit 사이이며, 56 ~ 60 unit 사이는 조금 광범위한 범위이다.

이러한 결과로 포장에서 SPAD값은 심한 질소결핍된 포장을 구별하여 시비할 수 있고 질소시비를 할 필요가 없는 밭에 추비로 공급한다는 일을 구분할 수 있다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발 목표의 달성도

가. 연구개발 목표의 달성도

1) 농작물(벼, 마늘)의 질소측정기 이용실증 및 질소측정기 시작기 개발연구(100%)

(1) 디지털 질소측정기개발 국내외(미국, 일본, 국제미작연구소 등) 최근 관련자료 수집 및 유사 측정기(SPAD 502-Minolta 및 Satake-PPW 3000) 장·단점 구명

(2) 질소측정기 시작기 설계도를 작성하였으며

(3) 디지털질소측정장치 시스템회로를 설계하였으며 기존의 930nm의 적외선 발광다이오드 대신 830nm의 적외선 발광다이오드를 사용하여 잎 내부에서 일어나는 산란에 의한 빛의 흡광도 측정오차 영향을 최대한 줄이도록 하였다.

(4) 작물 잎속의 질소함량은 SPAD값과 비례하며 흡광도로부터 계산이 가능하였다.

(5) SPAD값은 엽록소의 흡광도에 비례하는 값이며 흡광도 1~3.7의 값을 0~100사이 값으로 표시한 것이었다. 따라서 SPAD값은 흡광도를 측정하면 쉽게 계산할 수 있다.

(6) 벼 주요 장려품종(오대벼, 화성벼, 새추청벼, 일품벼 등)의 질소처리 수준별 엽색도 차이는 1~5% 수준의 통계적 유의성을 가진 직선적 상관관계가 있었다.

(7) 반사 및 투과형 엽색도 측정용 디지털질소측정기 시작기 기본 구성도를 설계하였다.

(8) 디지털질소측정기 시작기 최종 회로도 설계, 제작을 하여 타기종과 검증을 마쳤다.

2) 마늘재배의 질소측정기이용 연구(100%)

(1) 밭토양의 무비구, 질소50%, 질소100%, 질소150% 처리구에서 마늘잎의 SPAD값과 토양의 NO_3-N 와의 관계는 정의 상관이 인정되었다.

(2) SPAD값과 마늘 구중과의 관계는 Pot 및 포장시험에서 정의 상관이 있었으며 마늘잎의 총 질소함량과 구중과의 상관관계에서 높은 유의성이 있었다.

(3) 밭토양과 폿트에서 토양의 NO_3-N와 마늘구중과의 관계도 정의상관을 보였다.

(4) 마늘잎의 흡광도 측정장치 원리 및 시스템을 개발하였다.

나. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가

1) 농작물(벼, 마늘)의 질소측정기 이용 실증 및 질소측정기 시작기 개발연구

(1) 디지털질소측정기 시작기는 벼 품종, 토성 등을 고려하여 객관적인 측정기준에 따른 정밀한 시비요구량을 얻을 수 있도록 설계, 제작되었다.

(2) 디지털질소측정기 시작기는 측정시기, 부위 등에 따라 일관된 측정값을 얻을 수 있도록 체계적인 사용방법확립을 하였다.

(3) 엽색도 측정이 작물의 잎 두께에 영향을 받지 않는 측정법인 반사측정법과 형광측정법에 의한 디지털질소측정기 개발이 금후 필요할 것이다.

(4) 작물에 따라 SPAD값 대신 단위 부피당 엽록소량 또는 질소량으로 표시하는 것이 합리적일 것으로 판단되어 제작 시 고려하였다.

2) 마늘재배의 질소측정기이용 연구

(1) 밭 토양 조건에서 재배되는 마늘은 처리 및 반복 간 변이가 심한 편 이어서 수경재배, 폿트재배,

포장재배조건 등을 종합 고려한 디지털질소측정기 개발이 되었다.

(2) 마늘의 경우에는 잎이 비교적 두꺼워 측정시기, 측정부위 등을 고려하여 정밀한 측정값 수집과 측정방법정립이 추후 필요할 것이다.

제2절 관련분야에의 기술발전 기여도

가. 기여도

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

첫째, 적정 질소시비관리의 정밀시비관리가 가능

둘째, 적정 질소시비관리로 인한 병해충예방, 도복방지, 미질저하예방, 단백질함량저하 등으로 고품질 쌀 생산 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)실천기대 등이 있다.

나. 활용방안

본 기술이 추진계획에 의거 개발한 후 참여기업을 통한 생산·보급으로 정밀질소비료시비관리 기술이 정착되어 질 것이며 산업체 기술이전과정에서 연시회 개최 등을 통한 홍보와 지도사업, 시책건의, 친환경 정밀농업 신기술 정책자료로 활용성이 매우 높으며 국외 기술보급 가능성도 있어 「디지털질소측정기」의 활용성이 크게 기대된다.

제3절 특허출원 및 등록

출원번호: 제 1999-0004120호

출원일: 1999년 2월 6일

등록일: 2001년 3월 7일

등록번호: 특허 제0290987호

제4절 언론홍보 및 보도

일시: 2004년 8월 23일

보도기관: 농촌진흥청

매체: 전 매체

제5절 『2004농림과학기술대전』 우수기술전시회 전시

기간: 2004년 9월 16-17일(2일간)

장소: aT센터(서울 양재동)

제5장 연구개발결과의 활용계획

제1절 추가 연구의 필요성

DDA 협상이후의 세계농업기술 방향은 생산비절감과 친환경, 고품질,기능성 농산물 생산에 의한 국제경쟁력을 높여 나가는 것이다. 아울러 정밀농업을 통한 농자재 투입관리로 국토생태계를 보전하는 것이다. 따라서 앞으로의 농업은 환경에 부하를 주지 않고 작물이 필요로하는 정확한 비료, 농약등의 처리로 안전농산물을 생산하는 기술개발이요구 되어진다. 따라서 지난 10여년가 전세계적으로 개발된기술의 농업적 활용가치가 인정된 엽색측정기술을 통한 정밀한 질소비료 처방기술은 최근 급속도로 발전하고 있는 IT기술의 접목으로 기술개발 가능성은 매우 높아지고 있다. 따라서 지금까지 벼농사 농가에서 적용하여 온 눈 대중에 의한 질소비료시비처방으로는 지역, 품종, 수분상태.병해충 발생조건등 여러 가지 요인에 의한 정밀한 질소비료 요구량산출과 처리가 힘든 실정이다. 따라서 향후 농업행위를 위한 질소비료 T처방은 매우 정밀한 디지컬 기술을 농업포장현자어에 응용하여 작물 생육시기별 필요로 하는 적정량을 처리 하여 주는 것이다. 이는 적정양분 공급으로 작물 생육을 건전하고 양호하게 해줄뿐만 아니라, 병, 잡초발생 및 번식, 도장을 저해 해주며 태풍등으로 인한 쓰러짐 방지로 미질을 양호하게 해준다. 아울러 디지털측정기술에 의한 정밀한 시비처방으로 질소비료남용을 막을 수 있을 뿐만 아니라 타 작물에도 적용할 수 있어 그 활용도는 매우 크다고 할 수 있다.

제2절 타 연구에의 응용 및 기업화 추진방안

본 기술 개발의 핵심은 빛의 스펙트럼을 이용한 엽록소함량을 측정하여 질소함량을 얻는 기술로서 타 작물(옥수수,콩, 채소류, 과수 등) 응용 수단으로서 그 활용성이 매우 높다.

비파괴 질소측정방업으로서는 국내 최초기술개발이며 농업인이 현지포장에서 직접 이용할 수 있도록 한 세계 최초 기술개발이다. 따라서 본 연구결과물은 참여기업 또는 산업체 기술이전을 통하여 국내외 농업분야 이용성 및 기업화가 가능할 것으로 사료되어 진다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 주요국의 관련과학기술정보

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 있은후, 이분야 연구에 관심이 많아지고 있다. 효율적인 질소비료 관리는 작물재배 농가로부터 가장 중요한 관심사로 알려져 있다. 옥수수잎의 엽록소 함량과 질소농도는 매우 놓은 점의 상관관계를 가지고 있으며, 특히 엽색도계(SPAD502) 옥수수잎의 엽록소 농도에 영향을 주는 잎의 녹색정도를 측정하는데 매우 빠르고 손쉽게 측정할수 있는 수단으로 알려지고 있다. 미국 농가에서 사용한 엽색도 측정기술은 작물체의 질소분석을 위하여 시료를 실험실로 가져 갈필요가 없으며 시간이 매우 절약되며 경제적이다. 또한 원하는 잎에 반복적으로 측정할 수 있다는 것이다. 또한 본 방법은 품종, 생육시기, 온도, 수분, 광선, 식물병, 양분결핍 등에 의해 영향을 받을수 있기 때문에 측정시 고려하여야 한다. 실제 포장에서 측정기를 사용할 경우 다음 사항을 주의하여한 한다.

엽색도계를 이용한 옥수수잎의 엽색도 측정에서 개체간의 측정값 15%정도 차이가있었으나 30개체 평균값을 대푯값으로 산정할 경우 큰문제는 없는 것으로 나타났다. 또한 본 방법에서 측정값 오류 및 오차를 줄이기 위해서는 특이한 재식거리(넓은 조간에 심져 있는 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 완전히 전개된 잎을 측정하는것이 가장 좋은 것으로 나타났다. 엽색도 측정값의 해석은 대상 포장의 중간마다 표준재배(시비)법으로 재배한 옥수수와 함께 심어 놓은후 N 충족지수값을 얻으면 된다. N 충족지수값은 평균엽색도값 평균 엽색도값(표준재배)x 100으로 나타낼수 있다. 여기에서 N 충족지수갑을 101, 98, 97, 96%로 각각 얻었을 경우 95%보다 낮은 포장에서는 질소가 부족하다는 것으로 해석되어진다. 즉 추가적인 질소비료 사용이 요구 되어지며 추비는 10a당 2,268g을 처리하여야 한다. 아울러 처리후 4-6일경 처리한 질소비료에 대한 효과를 알아보기 위하여 다시 N 충족지수값을 측정하는 것이 좋다.

엽색도계 측정값은 특히 기상, 생육조건에 따라 영향을 받을 수 있기 때문에 유의 하여야 한다.

나. 벼

벼 농산의 질소비료 과용은 질소이용효율을 낮게 하고 지하수의 NO_3 오염 질소농도 측정은 매우 간단한 방법이며 작물의 질소흡수 이용 상태를 휴대용 측정기로 측정하고 진단하는데 매우 유요한 수단이다. 본 측정기를 이용하여 얻어진 엽색도계 값이 37.5 이하로 떨어질 경우 10a 당 3kg의 질소를 추가로 처리하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 벼 에 있어서 엽색도 측정법도 질소외 다른 요인에 의하여 영향을 받을 수 있다 즉,이병정도,양분 결핍, 품종차이등이며 이 경유 병반, 잎의 양분결핍으로 인한 생육저해반점 부위는 측정을 피하여야 한다. 본 측정기의 특징은 잎의 엽색정도만 수치적으로 알려주기는 하지만 질소시비량을 처방하지는 못한다. 따라서 향후 본 측정기술과 더불어 비교적 정확한 질소시비량을 알 수 있는 기술개발이 요구 되어진다.

다. 밀

밭 토양조건에서 밀을 재배하여 엽색도계를 사용하여 잎의 질소농도, 토양의 NH_4-N+NO_3-N 수준과 수량간의 비교실험을 하였다. 토양의 질소분석과 잎의 질소농도는 분얼후기에 측정하였으며, 밀의 질소결핍과 질소비료 추천 시비량을 계산하였다. 엽색도계는 작물의 질소상태를 측정, 평가하는 중요한 수단으로 판단되었으며 추비 질소 시용량 계산에 유용하게 사용될수 있을 것으로 사료되어진다. 특히 엽색도계는 엽색도 수치와 수량, 잎의 질소농도, 토양의 NH_4-N+NO_3-N 간의 매우 유의적인 정의 상관관계를 보였다. 하지만 지역, 품종, 토양수분, 토양질소 함유 특성등에 따른 차이에 대한 추가적인 요인분석연구가 요구 되어진다.

2. 일본

일본에서의 엽색에 의하 질소비료 시비처방은 개체 엽의 엽록소와 군락잎의 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 벼 잎의 엽록소함량과 질소농도간의 상관관계를 연구한 결과 매우 높은 통계적 유의성이 인정되어 (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 년차간(1984 ~ 1987) 비교 실험에서도 매우 높은 통계적 유의성이 인정되어 (y=0.076x=0.073, r=0.815**) 매우 유용성이 높은 것으로 알려지고 잇다.
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 쌀산업 환경변화로서는 크게 다음과 같이 전망하고 있다.

O 쌀 소비량은 육류 및 밀가루 소비 증가 추세에 따라 지속적인 감소 추세를 보이고 있으며 이는 1인당 쌀 소비량 1990년 119.6kg 수준에서 2001년 88.9kg으로 줄어 들었음.

O 쌀 생산농가의 고령화 부녀화가 확대되고 농업노동력 부족현상이 심화되고 있으며 농업인구도 크게 감소하여 1990년 15,5%에서 2000년 8.7%로 감소하였음.

O 농가경영자중 40세 미만이 차지하는 비중은 1990년 15% 수준에서 2000년7% 수준으로 감소한 반면 65세 이상의 비중은 같은 기간중 21%에서 33%로 증가하였음.

O 전체 농가중 3ha 이상 대농의 비중은 1990년 2.5% 수준에서 2000년 6.1% 수준으로 증가하였고 0.5ha 미만 영세농의 비중은 같은 기간중 27%에서 32% 수준으로 확대되었음.

O 국내 사용되고 있는 화학비료 사용량은 연간 95만톤(성분량 기준)으로서 이는 작물별 적정시비량 70만톤보다 25만톤이나 더 사용되고 있어 이를 위한 적정사용에 관한 기술개발이 요구되고 있음.

O 최근 친환경, 정밀 농업의 중요성이 증대함에 따라 고품질 쌀생산, 공급에 관한 쌀 생산농가들의 의식수준이 크게 증가하고 있으며 이를 위한 실천방안으로서 『질소비료 적게 주기』 등 본 연구과제와 매우 관련이 깊은 벼 재배관리기술이 추진되고 있으나 디지털질소측정기와 같은 과학적인 기술접근방법이 없는 실정임.

2. 국외

O 농업분야 친환경농업은 1992년 6월 리우선언, OECD 농업, 환경회의에서 작물양분관리, 농약사용, 농업용수사용, 농지이용 및 보전 등 농업부문 13개 환경지표를 개발하여 중, 장기적으로는 일정지표이상으로 환경농업이 유지되도록 현행 농업을지속가능한 친환경농업정책을 추진하고 있음.

O 도하개발아젠다(DDA) 협상의 진행, 자유무역협정(FTA) 추진, 중국의 세계무역기구(WTO)가입 등으로 우리나라 쌀시장개방압력은 더욱 커질 것으로 기대되어져 쌀을 포함한 국내산 농산물의 국제경쟁력 특히 품질경쟁력 제고와 수입농산물의 안전성이 큰 연구과제로 대두되고 있으며 특히 품질경쟁력, 안전성 등을 위한 비료, 농약 등의 적정량 시용을 위해서는 본 연구과제를 통하여 개발하고 있는『디지털질소측정기』등이 매우 유용한 연구성과로서 기대되고 있음.

제3절 기대효과 및 활용방안

우리나라 환경농업의 정책방향으로서 '99년부터 전국 마을 들녘단위로 벼 재배가 집단화 된 지역(30~50ha이상)에 INM(작물영양종합관리, Integrated Nutrient Management)을 실천할 수 있도록 정부시책사업을 추진하고 있으며 본 연구개발과제가 종료되어 디지털질소측정기가 농가에 적용되어질 경우 작물의 생육시기별 적정질소시비량 처리기준이 정착되어 질소비료사용량 감축에 크게 기여할 것으로 기대되어 지며 정밀한 시비관리에 의한 친환경, 고품질 쌀 생산기술 도입으로 농가소득향상 및 우리 쌀의 국제경쟁력 제고에 크게 활용되어질 것으로 판단되어짐.

제7장 참고문헌

1. 강보구. 정인명. 민경범. 김재정. 1996. 염류집적이 상추의 발아 및 생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 29(4) : 360-364.
2. 김권래. 전영수. 김계훈. 2002. Test strip과 Chlorophyll meter를 이용한 오이의 엽내 N, P, K 함량 진단. 한국원예학회지. 43(2): 159-162.
3. 김권래. 김계훈. 2003. Test strip과 Chlorophyll meter를 이용한 오이의 신속한 영양진단. 한국토양비료학회지. 36(5): 272-279.
4. 김권래. 정한올. 김계훈. 2003. Test strip과 Chlorophyll meter를 이용한 토마토의 신속한 영양진단. 한국농화학학회지. 46(2) : 140-143.
5. 농업과학기술원. 2001. 친환경농업을 위한 작물양분 종합관리 (INM) 심포지엄 P. 207.
6. 농촌진흥청, 2003, 논농업 직접지불에 따른 토양검사 실시요령. P. 102..
7. 문원. 1983. 마늘의 휴면 생리에 관한 연구 (1)-휴면의 유기 및 타파에 대하여. 한국원예학회지 24(3) : 175-180.
8. 문원. 1984. 마늘의 2차 생장발생 요인에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
9. 문원. 이병일. 1985. 마늘의 2차생장 발생요인에 관한 연구 서울대학교 박사학위논문.
10 박백균. 전태하. 김유학. 호교순. 1994. 주요 논, 밭작물에 대한 농가 시비 실태. 한국토양 비료학회지. 27(3): 238-246
11. 박광호. 이정일. 김제규. 2004. 디지털질소측정기 개발연구 Ⅰ. 벼의 엽색도와 질소함량간의 상관. 한국작물학회지. 제49권. 별책1호 P.196-197
12. 박광호. 변종홍. 한종필. 2004. 디지털질소측정기 개발연구. Ⅱ. 디지털질소측정기 제작. 제49권. 별책1호 P. 198-199.
13. 박광호. 이변우. 홍병희. 김순철. 1998. 벼 재배기술. 향문사. P. 258.
14.. 박광호. 김순철. 이변우. 1999. 벼 재배 실험실습. 광일문화사. P. 234.
15. 성제훈. 서상룡. 박우풍. 정인규. 김상철. 이충근. 2003. 2종의 엽록소 측정기를 이용한 포장내 벼의 엽록 함량 분포 측정. 한국농업기계학회지. 28(3): 245-252. 全農 16. 全農 1991. 水稻 1. 葉色診斷. P. 51.
17. 정구복. 유인수. 김복영. 1994. 중북부 지역 시설원예지 토양의 토성, 염농도 및 화학성분의 조성. 한국토양비료화학지. 27(1): 33-40.
18. 최승락. 이춘희. 이한생. 신원교. 이추식. 1989. 포화토양 용액의 전기전도도가 채소류의발아, 발근, 및 출아에 미치는 영향. 농시논문집 (토양비료편). 31(1): 56-62.
19. 홍광표. 김영광. 정완규. 손길만. 송근우. 최용조. 최진룡. 2003. 벼 엽록도값의 품종 차이와 생육기간중 경시적 변화. 한국작물학회지. 48(6): 479-483.
20. 홍순달. 김기인. 박효택. 강성수. 2001. 시설재배 토마토 잎의 엽록소 측정치와 토양 질소공급능력의 상호관계. 한국토양비료학회지. 34(2): 85-91.
21. ASA. 1982. Methods of soil analysis part 2. Chemical and Microbiological Properties 2nd.
22. A Forest Journey: The Role of Wood in the Development of Civilization-Jhon Perlin. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 1989(first paperback edition 1991). p. 445.

23. Attridge, T. H. 1990. Light and Plant Responses. Edward Arnold, London.
24. Advances in Agronomy Volume 45-edited by Nyle C. Bardy. Academic Press, Inc.,San Diego, CA 92101. 1991. 390 p.
25. Adhikari, C., K. F. Bronson. G. M. Panuallah, A. P. Regmi, P. K. Saha. Dobermann. D. C. Olk, P. R. Hobbs. and E. Pasuquin. 1999. On-farm soil N supply and N, nutrition in the rice-wheat system of Nepal and Banhladesh. Field Crops Res. 64 : 273-286.
26. Britz SJ. 1979. Chloroplast and nuclear migration. In Haupt W, Feinleib ME, eds Encyclopedia of plant physiology, new serics, vol 7 : Physiology of movements. Berlin: Springer-Verlag, 170-205.
27. Bjay-Singh, Yadvinder-Singh, C. S. Khind. and O. P. Meelu. 1991. Leaching losses of urea-N applied to permeable soils under lowland rice. Fert. Res. 28 : 179-184
28. Brugnoli E, Bjorkman O. 1992. Chloroplast movements in leaves-influence on chlorophyll fluorescence and measurements of light-induced absorbency changes related to delta-ph and zeaxanthin formation. Photosynthesis Research 32 : 23-35.
29. Bundy, L. G. and T. W Andraski. 1993. Soil and plant nitrogen availability test for corn following alfalfa. J. production Agriculture 6(2): 200-206.
30. Buschmann Claus, et al. 1994. Spectrometer for fast measurements of in vivo reflectance, absorptance, and fluorescence in the visible and near-infrared. Remote Sensing Environ. 48: 18-24.
31. Blackmer. T. M. and J. S. Schepers. 1995 use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. J. Production Agriculture 8(1): 56-60.
32. Balasubramanian V, Morales AC, Cruz RT, Abdulrachman S. 1999. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 53: 93-101.
33. Babu M., R. Nagarajan, S. P. Ramanathan, V. Balasubramanian. 2000. Optimizing chlorophyll meter threshold values for different seasons and varieties in irrigated lowland rice systems of the Cauvery Delta zone, Tamil Nadu, India. IRRN 25(2): 27-28.
34. Babu M., R. Nagarajan, S. Mohandass, C. Susheela, P. Muthukrishnan, and M. Subramanian. 2000. On-farm evaluation of chlorophyll meter-based N management in irrigated transplanted rice in the Cauvery Delta, Tamil Nadu, India. IRRN 25(2): 28-30.
35. Chubachi, T., I. Asano and T. Oikawa. 1986. The diagnosis of nitrogen nutrition of rice plants (Sasanishiki) using chlorophyll-meter. Soi; Sci. Plant Nutr. 57(2) :190-193.
36. Campbell, R. J., K. N. Mobley, R. P. Marini and D. G. Pfeiffer. 1990. Growing conditions alter the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. HortScience 25: 330-331.
37. Climate and Food Security-International Rice Research Institute and American Association for the Advancement of Science. IRRI, Division H,Information Center, P. O. Box 933, 1099 Manila, Philippines. 1990. 602 p. $22.50.
38. Crop Loss Assessment in Rice-International Rice Research Institute. IRRI Divison H, Information Center, P.O. Box 933, 1099 Manila, Philippines. 1990. 334 p.
39. Chromosome Engineering in Plants: Genetics, Breeding, Evolution- PartA-edited by P K. Gupta and T. Tsuchiya. Elsevier Science Publishers, P. O. Box 882, Madison Squar Station, New York, NY 10159. 1991. 656p. $211.50/Dfl. 370.00.

40. Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the SemiaridTropics and Subtropics-edited by Russell C. Muchow and Jennifer A. Bellamy. CAB International Wallingford, Oxon, OX10, 8DE, Unite Kingdom. 1991. 558 p. $95.00/L49.50.

41. Cassman, K. G., M. J. Kropff, J. Gaunt, and S. Peng. 1993. Nitrogen use efficiency of rice reconsidered: What are the key constraints? Plant Soil 155 : 359-362.

42. Carter, G. A. and R. L. Miller. 1994. Early detection of plant stress by digital imaging within narrow stress-sensitive wavebands. Remote Sensing of Environment 50(3): 295-302.

43. Christopher, D. Elvidge and Zhikang Chen. 1995. Comparison of broad-ban and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. Remote Sens. Environ. 54: 38-48.

44. De Datta, S. K., W. N. Obcemea, R. Y. Chen. J. C. Calabio, and R. C. Evangelista 1987. Effect of water depth on nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balance in lowland rice. Agron. J. 79 : 210-216.

45. Dilz, K. 1988. Efficiency of uptake and utilization of fertilizer nitrogen by plants. p.1-26. In D. S. Jenkinson and K. A. Smith (ed.) Nitrogen efficiency in agricultural soils. Elsevier Applied Science, London.

46. Dwyer L.M., A.M. Anderson, B.L. Ma, D.W. Stewart, M. Tollenaar, and E. Gregorich. 1994. Quantifyling the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. Can. J. Plant Sci.179-182.

47. De Datta, S. K., R. J. Buresh, M. I. Samson, and W. Kai-Rong. 1998. Nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balances in broadcast-seeded flooded and transplanted rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 52 : 849-855.

48. Freney, J. R., AC. F. Trevitt, S. K. De Datta, W. N. Obcemea, and J. G. Real. 1990. The interdependence of ammonia volatilization and denitrification as nitrogen loss processes in flooded rice fields in the Philippines. Biol. Fertil. Soils 9 : 31-36.

49. Fox, R.H, J.S. Shenk, W.P. Piekielek, M.O. Westerhaus, J.D. Toth and K.E. Macmeal. 1993. comparison of near-infrared spectroscopy and other soil nitrogen availability quick tests for corn. Agronomy J. 85(5); 1049-1053

50. Fox. R.H.W.P. Piekielek. and K.M. Macneal. 1994. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer neds of winter wheat. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25(3&4): 171-181

51. Filella, I., L. Serrano, J. Serra, and J. Penuelas. 1995. Evaluating wheatnitrogen status with canopy reflectance indices and discrinminant analysis. Crop Sci. 35:1400-1405.

52. F. Hussain, K.F. Bronson, Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, and S. Peng. 2000. Use of Chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. Agronomy Journal. 92 : 875-879

53. Gomez, K.A., and A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons, New York.

54. Garcia, F. V., S. Peng, H. C. Gines, R. C. Laza, A. L. Sanico, R. M. Visperas, and K. G. Cassman. 1995. Chlorophyll meter-based nitrogen management improves nitrogen use efficiency rice in farmers' fields. In proceedings of the 2nd Asian Crop Science Conference. 21-23 August 1995, Fukui, Japan. p. 187-190.

55. Giltenson, A.A., M.N. Merzlyak and H.K. Lichtenthaler. 1996. Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700nm. J. Plant Physiology 148: 501-508

56. Gary. E. Varvel, James S. Schepers. and Dennis D. Francis. 1997. Chlorophyll meter and stalk nitrate techniques as complementary indices for residual nitrogen. J. Production Agriculture 10(1): 147-151.
57. Haupt W, Scheuerlein R. 1990 Chloroplast movement. Plant, Ce andEnvironment 13: 595-614
58. Hoel, B. O. and K. A. Solhaug. 1998. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Annals of Botany 82: 389-392.
59. Inoue Y, Shibata K. 1974. Comparative examination of terrestrial plant leaves in terms of light-induced absorption changes due to chloroplast rearrangements. Plant and Cell physiology 15: 717-721.
60. IRRI. 1995. Use of chlorophyll meter for efficient N management in rice. Crop Resource Management Network Technology Brief No. 1. IRRI, Manila, Philippines.
61. IRRI. 1996. Use of Leaf Color Chart (LCC) for N management in rice. Crop Resource Management Network Technology Brief No. 1. IRRI, Manila, Philippines.
62. Jackson, Ray D. et al. 1986. Detection and evaluation of plant stresses for crop management decisions. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 24(1): 99-106.
63. Jones, J. B., Jr., B. Wolf, and H. A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing, Athens, GA.
64. Jimenez, R.R., and J. K. Ladha. 1993. Automated elemental analysis: A rapid and reliable but expensive measurement of total carbon and nitrogen in plant and soil samples. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24 : 1897-1924.
65., Jung. B. G., J. W. Choi, E. S. Yun, J. H. Yoon, Y. H. Kim, and G. B. Jung.1998 Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film house in Korea. Korean J. Soil. Sci. & Fetr. 31: 9-15.
66. Kropff, M. J., K. G. Cassman, H. H. van Laar, and S. Peng. 1993. Nitrogen and yield potential of irrigated rice. Plant Soil 155 : 391-394.
67. Kim, D. S., Y. H. Yoon, J. C. Shin, J. K. Kim, and S. D. Kim. 2002. Variental Difference in Relationship between SPAD Value and Chlorophyll and nitrogen Concentration in Rice Leaf. Korean J. Crop Sci. 47(3): 263-267.
68. Leamer, R. W., V. I. Myers, and L. F. Silva. 1973. A spectroradiometer for field use. Rev. Sci. Instrum. 44 : 611-614.
69. Lee, Y. B., M. Y. Roh, Y. R. Cho, and J. H. Bae. 1995. Non-destructive nutrient diagnosis for nitrogen with specific color difference sensor (SCDS) in hydroponics of tomato. J. Bio. Fac. Env. 4 : 175-180.
70. Ladha, J. K., A. Tirol-padre, G. C. Punzalan, E. Castillo, U. Singh, and C. K.Reddy. 1998. Nondestructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. Agron. J. 90: 33-40.
71. Ladha, J. K., G., J. D. Kirk, Bennett, S. Peng, C. K. Reddy, P. M. Reddy, an U.Singh. 1998. Opportunities for increased nitrogen use efficiencyfrom improved lowland rice germplasm. Field Crops Res. (in press).
72. Lee, J. H. 2001. Development of rapid diagnostic methods of mineral nutrient levels in lettuce plants. M. S. Thesis. Univ. of Seoul, Seoul, Korea.

73. Minolta Camera Co., Ltd. 1989. Manual for chlorophyll meter SPAD 502. Minolta, Radiometric Instruments Div., Osaka, Japan.
74. Masako Takebe, Tadakatsu Yoneyama. 1989. Measurement of leaf color scor and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. JARQ. 23(2) 86-93.
75. Microbial Mediation of Plant-Herbivore Interactions-edited by Pedro Barbosa, Vera A. Krischick, and Clive G. Jones. John Wiley & Sons, Inc., 1 Wiley Dr., Somerset, NJ 08875-1272. 1991. 535 P. $95.00.
76. Minotti, D. E., Halseth, J. B. Sieczka, 1994. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. Hortscience. 29(12); 1497-1500.
77. Markwell J, Osterman JC, Mitchell JL. 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Photosynthesis Research 46 467-472.
78. Novoa, R., and R. S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. Plant Soil 58 : 177-204.
79. Nitrogen Turnover in the Soil-Crop System-edited by J. J. R. Groot, P. de Willigen, and E. L. J. Verberne. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991. 250 p. Dfl. 170.00/L59.00.
80. Pearcy, R.W. et al. 1989. Plant Physiological Ecology. Chapman and Hall Ltd.
81. Publications of theInternational Agricultural Research and Development Centers: 1990 Computer Edition-International Rice Research Institute. IRRI, Division H, Information Center, P. O. Box 933, 1099 Manila, Philippines. 1990. $10.00 for 5.25″ floppy or $12.00 for 3.5 diskette.
82. Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania- International Rice Research Institute. IRRI, Division H ,Information Center. P.O. Box 933, 1099 Manila, Philippines. 1990. 478 p. $25.00.
83. Plant Genetic Resources of Ethiopia-edited by J.M.M. Engels, J.G. Hawkes, and Melaku Worede. Cambridge University Press, 110 Midland Ave., Port Chester,NY 10573. 1991. 399 p.
84. Piekielek, W. P. and R. H. Fox. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. Agron. J. 84: 59-65.
85. Postharvest Physiology of Perishable Plant Products-Stanley J. Kays. Van Nostrand Reinhold, 7625 Empire Dr., Florence, KY 41042. 1991. 544 p. $74.95.
86. Peng, S., F. V. Garcia, R. C. Laza, and K. G. Cassman. 1993. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. Agronomy J. 85 : 987-990.
87. Peterson, T. A., T. M. Blackmer, D. D. Francis. and J. S. Schepers. 1993 Using a chlorophyll meter to improve N management. Nebguide G93-1171A. Coop. Ext. Serv., Univ. of Nebraska. Lincoln.
88. P. L. Minotti, D. E. Halseth, and J. B. Sieczka. 1994. Field chlorophyll measurements to asses the nitrogen status of potato varieties. Hortscience. vol. 29 (12): 1497-1500.
89. Penuelas, J. et al. 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen and water-limited sunflower leaves. Remote Sens. Environ. 48:135-146.
90. Peng, S., K. G. Cassman, and M. J. Kropff. 1995. Retationship between leaf

photosynthesis and nitrogen content of field-grown rice in tropics. Crop Science 35 : 1627-1630.
91. Peng, S., R. C. Laza, F. V. Garcia, and K. G. Cassman. 1995. Chlorophyll mete estimates leaf area-based nitrogen concentration of rice. Soil Science and Plant Analysis. 26 (5&6) : 927-935.
92. Piekielek, W. P., R. H. Fox, J. D, Toth, and K, E. Macneal. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. Agron. J. 87: 403-408
93. Peng S, Laza RC, Garcia FC, Cassman KG. 1995. Chlorophyll meter estimates leal area-based N concentration of rice. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26: 927-935.
94. Peng S., F. V. Garcia, H. C. Gines, R. C. Laza, M. I. Samson, A. L. Sanico, R. M.Visperas, and K. G. Cassman. 1996. Nitrogen use efficiency of irrigated tropical rice established by broadcast wet-seeding and transplanting. Fertilizer Research. 45: 123—134
95. Park YI, Chow WS, Anderson JM. 1996. Chloroplast movement in the shade plant Tradescantia albiflora helps protect photosystem II against light stress. Plant Physiology 111 : 867-875.
96. Peterson T. A.,, T. M. Blackmer, D. D. Francis, J. S. Schepers. 1996 Using a Chlorophyll meter to improve N management. Electronic version issued May 1996. pubs @ unl. edu.
97. Peng S, Garcia FV, Laza RC, Sanico AL, Visperas RM, Cassman KG. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. Field Crops Res. 47: 243-252.
98. Peng, S., and K. G. Cassman. 1998. Upper thresholds of nitrogen up-take rates and associated nitrogen fertilizer efficiencies in irrigated rice. Agron. J. 90 :178-185.
99. Reproductive Versatility in the Grasses-edited by G.P. Chapman. Cambridge University Press, 40 West 20th St., New York, NY 10011. 1990. 310 p.$75.00.
100. Rice: Then & Now.-R.E. Huke and E.H. Huke. IRRI, Division H, Information Center, P. O. Box 933, 1099 Manila, Philippines. 1990. 44 p. $2.00.
101. Rutger. R. J. 1991. Chlorophyll tester helps pinpoint nitrogen needs. Rice. J. 94 (4) : 6-10.
102. SAS Institute. 1985. SAS user's guide: Statistics. 5th ed. SAS Inst., Cary, NC.
103. Sharing Innovation: Global Perspective on Food, Agriculture, and Rural Development-Smithsonian Institute. IRRI, Division. H, Information Center, P.O. Box 933, 1099 Manila, Philippines. 1990. 265p. $28.00.
104. Schepers, J. S., D. D. Francis, M. Virgil, and F. E. Below. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23: 2173-2187.
105. Smeal D. and H. Zang. 1994. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25(9 & 10): 1495-1503.
106. Shaobing Peng, Ma. Rebecca C. Laza. Felipe V. Garcia. and Kenneth G. Cassman. 1995. Chlorophyll meter estimates leaf area-based nitrogen concentration of rice. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26(7&8):927-935.
107. Stone, M. L. et al. 1996. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. Trans. of the ASAE. 39(5): 1623-1631.
108. SAS Institute. 1996. SAS system for Windows. Release 6. 12. SAS Inst., Cary, NC.
109. Scott, C. Chapman and Hector J. Barreto. 1997. Using a chlorophyll meter to

estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. Agronomy J. 89(4): 557-562

110. Shaahan, M. M., A. A. E1-Sayed, and E. A. A. Abou E1-Nour. 1999. Predicting nitrogen, magnesium and iron nutritional status in some perennial crops using a portable chlorophyll meter. Sci. Hortic. 82 :339-348.

111. Sung. J.H., S.R. Suh, Y.S. Ryu, and G.C. Chung. 1999. Comparison of non-destructive method of detect nitrogen in cucumber. Korean J. Agri. Mach. 24 : 539-546.

112. Stalin P., T. M. Thiyagarajan, S. Ramanathan, and M. Subramanian. 2000 .Comparing management techniques to optimize fertilizer N application in rice in the Cauvery Delta of Tamil Nadu, India. IRRN 25(2): 25-26.

113. Takebe, M., and T. Yoneyama. 1989. Measurement of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. JARQ 23 : 86-93.

114. Turner, F.T. and M.F. Jund. 1989. A chlorophyll meter's potential to predict topdress N requirenment of semidwarf rice, p. 254. In: Agronom abstracts. Agron. Soc. Amer., Madison, Wis.

115. Takebe, M.T., T. Yoneyama, K. Inada, and T. Murakami. 1990. Spectral reflectance ratio of rice canopy for estimating crop nitrogen status. Plant & Soil122: 259-297.

116. Turner, F. T. and M. F. Jund. 1991. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. Agronomy Journal. 83 : 926-928.

117. Terashima I, Hikosaka K. 1995. Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. Plant. Cell and Environment 18 : 1111-1128.

118. Tirol-Padre, A., J. K. Ladha, U. Singh, E. Laureles, G. Punzalan, and S. Akita, 1996. Grain yield performance of rice genotypes at suboptimal levels of soil N as affected by N uptake and utilization efficiency. Field Crops Res. 46 :127-143.

119. The U.S. National Plant Germplasm System: Managing Global Genetic Resources-National Research Council. National Academy Press, 2101 Constitution Ave. N. W., Washington, DC 20418. 189 p.

120. Varvel. G. E., J. S. Schepers. and D. D. Francis. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. Soil Sci. Soc. Am. J. 61 : 1233-1239

121. Wood, C. W., D. W. Reeves, R. R. Duffield, and K. L. Edmister. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. J Plant Nutr.15: 487-500.

122. Wood CW, Reeves DW, Himelrick DG. 1993. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: A review. Proceedings Agronomy Society of New Zealand 23 : 1-9.

123. Westcott. M.P. and J. M. Wraith. 1995. Correlation of leaf chlorophyll reading and stem nitrate concentration in peppermint. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26(9&10): 1481-1490.

124. Yadava, U. L. 1986. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. Hortscience Vol. 21 (6): 1449-1450.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.