

최 중
연구보고서

완숙 토마토용 보급형 선별기 개발과
선별 기준 설정

Development of a grader for matured tomatoes
for producer use and establishment of
a standard for grading tomato fruits

연구기관
전남대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “완숙 토마토용 보급형 선별기 개발과 선별 기준 설정” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 년 10 월 24일

주관연구기관명 : 전남대학교

총괄연구책임자 : 서상룡

연 구 원 : 최영수

연 구 원 : 김영태

연 구 원 : 김향오

연 구 원 : 이재덕

연 구 원 : 박영배

연 구 원 : 안현철

연 구 원 : 정필수

협동연구기관명 : 전남농업기술연구원

협동연구책임자 : 정종모

연 구 원 : 김정근

연 구 원 : 김희곤

연 구 원 : 서종분

연 구 원 : 류미현

연 구 원 : 최혜은

요 약 문

본 연구는 완숙 토마토의 수확 후 선별과정을 개선하고자, 토마토 생산 현장에서 10여 농가가 사용할 수 있는 저렴한 가격의 보급형 선별기로서 그 선별인자가 크기(또는 중량) 외에 당도와 같은 내부품질을 추가한 기종을 개발하고, 동시에 개발한 선별기에 적용할 선별기준을 설정하는 것을 목표로 수행하였다.

토마토 내부품질 측정장치 개발에 관한 연구 수행 결과, 토마토의 내부품질은 반사광 보다는 투과광에 의해 예측하는 것이 높은 성능을 발휘하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발한 토마토 내부품질 측정 장치는 내부품질 관련 인자로서 당도와 경도와 산도를 충분한 정확도 수준으로 측정하지는 못하나 영농현장에서 효과적으로 사용할 수 있는 수준의 성능을 갖는 것이었다.

토마토 선별기준 설정에 관한 연구 결과, 토마토 선별의 첫째 기준은 중량이고 이와 함께 토마토의 내부품질 중 당도를 고려하는 것이 요구되는데 이는 토마토 품종, 재배시기, 재배방법에 따라 상당한 차이가 있으므로 필요에 따라 당도 4.3~5.5 Brix 범위내의 하나의 기준값을 정하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 추천되었다.

본 연구에서 개발한 토마토 선별기에 대해 영농현장에서 실증 실험한 결과, 농업인의 선호도가 높고, 소요노동력 분석 결과 관행 수작업 노동력의 50% 이하일 뿐만 아니라 선별작업의 질은 매우 우수하고, 경제성분석 결과 연간 토마토 선별량이 50 ton 이상만 되면 상당한 경제적 이익을 얻을 수 있는 것으로 나타나 그 경제적 이용가치가 충분한 것으로 나타났다.

SUMMARY

This study was carried out to develop a sorting system for tomato fruits which has a function to sort tomato not only by their size (or weight) but also internal qualities, like sugar content, and has a reasonable price to be used by about 10 growers economically at a place near from their farms. Along with the sorting system development, a standard for grading tomato fruits using the information collected from the developing sorting system was attempted to establish.

For the development of the sorting system, optical devices to estimate the internal qualities of tomato using spectrometers for non-destructive measurement were tried. Two kinds of the optical device using spectra of reflected and transmitted light from tomato fruit were tried. A series of experiment was performed to estimate sugar content, hardness and acid content of tomato fruits as the internal qualities of the fruit. The experiment showed that the device for measuring spectrum of transmitted light gave much better result. The device could not estimate the internal qualities precisely, however, had an ability that could be used as a device for sorting tomatoes.

The study to establish a standard for grading tomato fruits resulted that the most important factor for the grading is weight, and the second might be sugar content. In a way to adopt the sugar content as a factor for grading tomatoes, the study recommended use of one criterion selected within a range of 4.3~5.5 Brix. This is because that the sugar content of tomato may vary in a considerable range depending on cultivar and cultivation time and method.

The sorting system developed by this study was on a field test at tomato farms. The test resulted that the system has a good preference from tomato growers and require labor as low as less than 50% of the conventional sorting work. The system has a good feasibility to be used in farm because it has a positive balance economically if production of tomatoes is more than 50 ton annually.

CONTENTS

Chapter 1 General Scope of the Study	8
1. Background and Objectives	8
2. Range of the study	9
Chapter 2 State of the Arts	11
1. Related Technology	11
2. Recent Researches	15
Chapter 3 Performance of the Study	30
1. Development of a Sorting System for Tomatoes	30
1.1 Concept of Design	30
1.2 Materials and Methods	33
1.3 Development of Models to Predict Internal Qualities	54
1.4 Results and Discussion	63
1.5 Conclusions	123
2. Establishment of a Standard for Grading Tomatoes	125
2.1 Introduction	125
2.2 Materials and Methods	125
2.3 Results and Discussion	128
2.4 Conclusions	145
3. Field Test for the Developed Sorting System	147
3.1 Hardware of the System	147
3.2 Software of the System	148
3.3 Development of Models to Predict Sugar Content	149
3.4 Accuracy of the Sorting System	149
3.5 Survey on Farmers' Preference	151
3.6 Labor Requirements for Sorting Work	151
3.7 Feasibility Test	152

Chapter 4 Achievement and Contributions	154
Chapter 5 Scheme to Utilize Research Results	156
Chapter 6 Acquired Foreign Scientific and Technical Informations	158
Chapter 7 References	159

목 차

제 1 장 연구개발 과제의 개요	8
제1절 연구개발의 필요성과 목적	8
제2절 연구개발의 범위	9
제 2 장 국내외 기술개발 현황	11
제1절 관련 기술 기초 사항	11
제2절 국내외 연구 동향	15
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	30
제1절 완숙 토마토용 보급형 선별기 개발	30
1. 개발 선별기의 개념 설계	30
2. 실험 재료 및 방법	33
3. 토마토 내부품질 예측 모형 개발	54
4. 결과 및 고찰	63
5. 결 론	123
제2절 완숙 토마토 선별기준 설정	125
1. 서 언	125
2. 재료 및 방법	125
3. 결과 및 고찰	128
4. 결 론	145
제3절 보급형 선별기 개발과 실증실험	147
1. 보급형 선별 시스템 시작기 제작	147
2. 토마토 내부품질과 중량 실시간 측정 및 선별 프로그램 개발	148
3. 당도 예측모형 개발	149
4. 실증실험 선별 정확도 조사	149
5. 농업인 선호도 조사	151
6. 선별 소요노동력 분석	151
7. 경제성 분석	152

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	154
제 5 장	연구개발결과의 활용계획	156
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	158
제 7 장	참 고 문 헌	159

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제1절 연구개발의 필요성과 목적

국내 토마토 생산량은 연간 200,000 톤 이상으로서 수박, 참외, 딸기, 오이와 함께 주요 농산물의 하나로 자리 잡고 있을 뿐만 아니라 최근 국내외에서 주요 건강식품의 하나로 강력하게 추천되어 앞으로도 그 수요는 증가할 것으로 예상되고 있으며 그 수요도 점차 고품질의 것이 증가하고 있는 실정이다.

농산물의 품질 구성요소는 외적 요인과 내적 요인으로 구분할 수 있다. 외적 요인으로는 시각, 촉각, 후각 등의 요인으로 세분할 수 있고, 내적 요인으로는 미각적 요인, 영양적 가치, 안정성, 독성 등이 있다. 농산물 품질의 내적 요인인 내부품질은 과거 주관적인 기준에 의해 판단되었으나 최근 농산물 품질검사를 위한 기초기술이 발달됨에 따라 일부 내부품질 요인은 객관적으로 판단하고 계량화할 수 있게 되었으며, 그것도 대량의 물량을 빠른 속도도 처리할 수 있게 되어 유통되는 물량의 전체 검사에 의한 선별이 가능하게 되었다. 이에 따라 농산물의 선별은 최근 생산지에서 고품질의 농산물을 생산하고 유통하여 고부가가치의 창출을 위해 요구되고 있다.

국내 토마토 소비자가 선호하는 토마토는 주로 생식(生食)에 적합하게 생산지에서 완숙(完熟)시켜 그 품질이 우수한 것으로서 특히 높은 당도(糖度) 그리고 낮은 산도(酸度)의 것이며, 이러한 조건을 만족하는 토마토는 그 수요가 급증하고 있고 가격도 재래의 미숙 토마토보다 상당 수준까지 높게 보상받고 있다. 이와 같이 생산지에서 완숙시킨 높은 품질의 토마토는 소비자의 기호에 맞추어 생산하고 잘 선별할 수 있을 경우 다른 농산물과 같이 상품성을 인정받아 높은 가격이 보장되고 있어 그러한 토마토를 생산하는 농업인의 소득을 증가시킬 수 있는 주요 요인으로 등장하였다.

결과적으로 농산물의 시장 경쟁력을 높이는 주요한 방법은 생산품의 품위를 높이는 것인데 이를 위해 효과적인 방법은 생산품의 품질을 차별화하고 균일화하는 것이며 특히 농산물 농산물의 경우는 생산품 내부품질인 미각적 능력으로서 품질을 차별화하는 것은 농산물의 경쟁력 제고에 큰 도움이 되며 소비자의 소비 욕구를 가일층 유발하고 있다. 그러나 상당부분의 완숙 토마토의 경우, 생산자가 이러한 소비자의 기호에 맞춰 높은 품질의 토마토를 생산하였어도 출하 시 그 선별과정에서 그 품질을 고려한 선별 수단이 없으므로 내부품질에 따라 생산품의 품위를 높인 규격 출하가 불가능하여 소득 보상의 기회를 갖지 못하고 있는 실정이다.

완숙 토마토 선별에 있어 또 하나 중요하게 고려해야 할 점은 완숙 토마토는 미숙 토마토와 달리 선과나 이송 중 물리적으로 쉽게 손상되고 과숙될 가능성이 높아 수확 후 소비까지의 시간을 최대한 단축해야 하는 문제점이 있는데, 이러한 문제점은

수확 직후 생산지에서 바로 선과하고 포장한 다음 곧 바로 소비지로 이송하는 방법으로 해결할 수 있다. 따라서 이런 용도로 토마토 생산지에서 사용할 선별기는 그 처리용량이 일반적인 농산물 유통과정 중의 집하장이나 종합선별장과 같은 대규모일 필요는 없다. 이를 고려하여 본 연구에서 개발하고자하는 선별기는 하루 처리량이 30,000-50,000개 규모로서 10여 농가가 사용하는 저가의 보급형으로 결정하였다.

내부품질을 고려하는 농산물 선별기 개발에 있어 고려해야 할 또 하나의 중요 사항은, 선별할 농산물에 알맞는 선별기준을 설정하는 일이다. 이러한 선별기준은 생산지의 생산물의 특성과 소비자의 선호도 그리고 유통과정을 다각도로 고려하여 결정하여야 할 것이다. 본 연구에서는 이를 고려하여 토마토 선별기 개발과 함께 선별기준도 본 연구를 통하여 설정하고자 한다.

이러한 제반 여건을 고려하여, 본 연구는 완숙 토마토의 수확 후 선별과정을 개선하고자, 토마토 생산 현장에서 10여 농가가 사용할 수 있는 저렴한 가격의 보급형 선별기로서 그 선별인자가 크기(또는 중량) 외에 당도와 같은 내부품질을 추가한 기종을 개발하고, 동시에 개발한 선별기에 적용할 선별기준을 설정하는 것을 주요 목표로 하여 수행하였다.

제2절 연구개발의 범위

본 연구는 전술한 바와 같이 기본적으로 저렴한 가격의 보급형 토마토 선별기를 개발하고 그 선별기준을 설정하고자 하는 연구로서, 개발 대상 선별기는 선별인자로서 외적 요인인 크기(또는 중량) 그리고 내적 요인으로서 기본적으로 당도를 측정하는 것으로 결정하였다.

최근 들어 고품질의 농산물을 선별하는 방법으로서 농산물의 내부품질을 분광분석(spectrometric analysis)을 이용하여 비파괴적(non-destructive)인 방법으로 측정하는 기술이 개발되었고, 이러한 기술을 다양한 농산물에 대해 그 이용의 가능성을 확인하는 연구가 추진되고 있다. 그와 동시에 분광분석 기술의 이용 가능성이 확인된 농산물에 대해서는 이 분광분석 기술을 대량의 물량을 빠른 속도로 처리하는 선별기에 실제로 이용하는 실용화연구도 추진되고 있다.

토마토는 본질적으로 수분함량이 높고, 당도는 보통 과일보다 상당히 낮으며, 더군다나 그 내부 조직이 불균일하여 그 내부품질을 비파괴적인 방법으로 측정하는 데는 어려움이 있을 것으로 예상되었다. 다시 말하면, 비록 일부 농산물의 경우 분광분석법에 의한 농산물 내부품질을 측정하는 기술이 개발되고 실용화 수준에서 사용되고 있지만, 본 연구에서 다루고자 하는 토마토의 경우, 선별기에 분광분석기술을 적용하여 실용적인 수준에서 당도 같은 내부품질을 용이하게 예측할 수 있을 것인가에 대

해서는 상당한 어려움이 있을 것으로 예상되었다. 이에 따라 본 연구는, 먼저 토마토의 내부품질을 측정하기 위하여 분광분석 장치를 부착한 선별기 개발의 가능성을 조사한 다음, 목표로 하는 선별기 개발에 있어 등장하는 문제점을 파악하고 그 해결방법을 찾기 위하여 다음과 같은 연차별 계획에 의해 수행하였다.

이와 동시에 위에서 설명한 바와 같이 토마토를 선별하기 위해서는 그 기준이 있어야 하나 현 국내 토마토 선별을 위한 기준은 아직 불비한 실정이다. 본 연구에서는 토마토의 선별기의 개발과 함께 완숙 토마토 생산지에서 생산지의 생산 상황과 실제로 수행하고 있는 관행의 선별기준을 조사 분석한 후 완숙 토마토를 선별하기 위한 적정 기준을 제시하고자 하며, 본 연구에서 개발한 선별기에는 이를 적용하고자 하였다.

마지막으로 개발한 선별기 대해서는 향후 농가 사용의 기술 지도를 위하여 시작기를 제작한 후 생산지 실증시험을 수행하여 그 성능, 경제성, 노동력 절감효과, 농가 선호도 등을 분석하고자 하였다.

이상 설명한 내용을 고려하여 본 연구는 다음과 같은 연차별 추진 계획을 세우고 수행하였다.

1차년도 : 당도 측정장치 구성과 관행 선별 기준 조사

- 1) 완숙 토마토 당도별 분광 특성 분석
- 2) 당도 측정 장치의 구성과 측정 알고리즘 개발
- 3) 완숙 토마토 재배시기와 시설별 선별기준 조사 : 생산지 방문 조사 및 시료 채취 분석

2차년도 : 선별 기본장치 구성 및 관행 선별기준 조사 및 선별기준 설정

- 1) 당도 측정 알고리즘 완성 및 정당성실험
- 2) 크기와 외관 조사 알고리즘 완성 및 정당성실험
- 3) 선별 기본장치 구성 : 당도, 크기(중량)와 외관을 선별 인자로 하는 기본장치의 H/W와 S/W 구성
- 4) 완숙 토마토 당 함량 증진 방법별 선별기준 조사 및 선별기준 제시 : 생산지 방문 조사 분석 및 선별기준 설정

3차년도 : 시작기 제작과 실증시험 및 경제성 분석

- 1) 선별 기본장치 성능실험과 문제점 해결 : 선별의 정확도와 작업능률 조사
- 2) 시작기 설계 제작 : 작업 속도와 경제성을 고려하여 선별기 완성품의 H/W와 S/W 설계 및 제작
- 3) 시작기 실증시험 : 선별의 정확도, 작업능률, 농가 선호도 조사
- 4) 경제성과 소요 노동력 분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 관련 기술 기초 사항

1. 농산물의 주요 내부품질과 그 측정방법

소비자에게 있어 농산물 선택 시 가장 중요시 되는 요인은 외형적인 시각적 또는 촉각적 요인 보다 후각 및 미각적 요인이다. 이러한 요인은 농산물의 내부품질 즉, 단맛인 당도와 과육의 단단한 정도인 경도 그리고 신맛의 정도인 산도를 생각할 수 있다.

당도의 개념을 보면, 음식물에 들어 있는 단맛의 탄수화물 양을 그 음식물에 대하여 백분율로 나타낸 것이다. 이러한 당도는 농산물의 내부품질 중 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 당의 조성은 농산물의 종류, 품종, 재배방식, 재배습관 및 기후조건 등에 따라 차이가 있다.

당의 정확한 측정을 위해 HPLC(high performance liquid chromatography)와 같은 정밀측정 장치가 필요하다. 그러나 이러한 장비는 농산물의 내부품질의 정확한 측정이 가능하나 많은 시간이 필요하므로 실제 현장에서는 당도의 기준으로 굴절율을 이용한 수용성 고형물 함량을 사용하고 있다. 즉, 과실에서 당도는 일반적으로 가용성 고형물 함량이라고도 하며 단위는 Brix(%)로서 순수한 물 100g 중 들어 있는 설탕의 무게(g)로 나타낸다. 이 단위는 19세기 주스 당도계를 개발했던 오스트리아 과학자 Adolf F. Brix의 이름을 따서 사용하고 있다. 과실의 당도는 보통 과실 전체의 즙을 짜서 이동형 굴절당도계로 측정한다.

농산물의 당도는 표 1-1과 같이 고당도, 중당도 과일류와 저당도 농산물로 구분할 수 있다. 이와 같은 당도는 농산물의 종류에 따라 당도가 낮더라도 달게 느껴질 수 있다. 이는 당 함량 이외에 농산물의 신맛을 결정하는 산도가 영향을 주기 때문이다. 농산물의 당도는 당의 구성에 따라서 달라지는데 과당(fructose), 자당(sucrose)의 함량이 높고 포도당(glucose)이 낮을수록 단맛의 정도는 높아지게 된다. 자당은 과당 1분자와 포도당 1분자로 구성되어 있으며, 당은 과즙내의 가용성고형물(soluble solid content; SSC)의 80%이상을 차지하고 있다.

표 1-1 각종 농산물의 당도

a) 고당도 과일류

품명	당 도 (Brix)	당도 분포 (Brix)
대추	28.7	24.4 - 32.3
금귤	25.7	24 - 27.3
바나나	23.5	20.8 - 26.9
거봉	18.8	16.8 - 21.7
밤	17.7	15.7 - 19.7
한라봉	15.4	15.0 - 15.6

b) 중당도 과일류

품명	당 도 (Brix)	당도 분포 (Brix)
단감	14.5	13.8 - 15.3
파인애플	14.5	13.8 - 15.2
오렌지	13.2	10.6 - 14.0
참다래(키위)	13.0	12.1 - 14.2
사과	12.3	12.1 - 16.5
배	11.9	11.1 - 12.4
참외	11.7	10.3 - 12.7
감귤	11.8	8.7 - 12.4
자몽	10.4	9.7 - 10.8

c) 저당도 과일류

품명	당 도 (Brix)	당도 분포 (Brix)
수박	9.1	8.6 - 9.9
딸기	9.0	7.4 - 11.6
방울토마토	8.5	8.1 - 9.0
아보카도	7.3	6.8 - 7.5

d) 채소류

품명	당 도 (Brix)	당도 분포 (Brix)
고구마	15.3	13.7 - 17.8
미니 파프리카	11.5	11.0 - 11.6
당근	7.6	7.3 - 8.0
꼬마 당근	6.9	6.3 - 7.8
노랑 파프리카	5.6	5.4 - 5.9
청 피망	3.8	3.3 - 4.3
토마토	4.9	4.1 - 5.5
청 오이	4.5	4.1 - 5.1
백 오이	4.4	2.4 - 4.7

농산물의 상품성을 결정하는 또 하나의 주요 인자는 질감으로서 보통 경도(硬度)로 표현하는데, 이는 촉감에 의해 느껴지는 물리적 특성이며 힘이 주어졌을 때 변형, 분해 및 유동과 관계가 있다. 경도는 손가락이나 손의 압력으로 감지할 수 있으며, 단단함, 부드러움 혹은 과즙의 많고 적음으로 표현할 수 있으며, 힘, 시간, 거리를 고려하여 객관적으로 측정할 수 있다. 이러한 농산물의 질감인 경도는 농산물의 중요한 품질인자로 작용한다. 이것은 소비자가 그 산물 고유의 원천적 특성을 지닌 고품질로 인식하여 받아들이는 중요한 기준이 된다. 따라서 경도는 수확 당시의 측정값을 얼마로 하는가가 중요 하지만 그 절대치를 결정하기가 매우 어렵다.

이러한 경도의 측정은 측정인의 판단에 따르는 관능검사법(sensory evaluation)과 분석기기를 이용한 기계적인 측정방법(mechanical measurement)이 사용된다. 관능검사법은 측정하는 사람의 주관적인 판단으로 결정되지만 기계적인 방법에 의한 측정방법으로 이러한 주관적 판단을 객관화하여 경도의 기준으로 사용하고 있다. 경도의 기계적인 측정방법은 보통 탐침(probe)을 이용하여 측정대상물에 따라 조직을 관통하는 관통(penetration)법 또는 위에서 아래로 누르는 압축(compression)법을 사용하여 측정한다. 과실의 경우 일반적으로 겉 과피를 제거한 후 11.1 mm의 Magness-Taylor 탐침을 이용하여 2 mm/sec 속도로 위에서 아래로 8 mm 관통하는 관통법이 많이 사용되고 있으나 최근에는 압축법도 많이 사용하고 있다. 경도의 단위는 힘을 나타내는 뉴턴(N)으로 표현하며, 보통 과실 15-25개의 경도를 측정한 후 그 평균값을 구하여 나타낸다.

2. 농산물 내부품질 분광측정의 기본 원리

이러한 당도나 경도 및 산도의 측정은 최근 VIS/NIR 파장 영역의 반사 또는 투과 스펙트럼을 측정하고 이를 이용하여 내부품질을 측정하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로 수확된 농산물은 각종 유기화합물로 구성되는 불투명한 고체로서 투명용액과는 다른 광학적 현상을 나타낸다. 농산물의 표면에 복사선이 입사되면 표면반사(거울반사와 확산반사), 체반사(body reflection), 흡수, 산란, 재방사(re-emission) 및 투과가 일어난다. 특히 체반사는 일단 표면을 투과한 입사광 중에서 물질에 흡수되거나 입사면과 반대쪽으로 투과하지 않고, 산란, 방사 등에 의해 입사면으로 체반사 되는 것으로 표면반사와 구분된다. 산란은 물체 내의 입자에 의한 것으로 입자의 크기와 밀도에 따라 차이가 있으며, 양 사방으로 흩어지는 특징이 있다. 재방사는 흡수된 복사선이 복사선의 형태로 재방사되는 것으로 사방으로 방사되며 이를 형광이라 부른다. 액상시료도 우유와 같이 시료가 투명하지 않고 시료 내에 부유입자가 있을 경우 광학적인 현상은 고체 시료와 비슷하다. 투과 또는 반사 스펙트럼의 측정법은 대상 시료의 상태 및 형태에 따라 차이가 있다. 일반적으로 액상이나 분말형태의 시료의 경우 큐벳 또는 샘플홀더에 시료를 담아 분광광도계를 이용하

여 스펙트럼을 측정한다.

반사 스펙트럼은 주로 시료표면의 색상, 성분 등의 측정에 이용되며, 이러한 반사는 거울 같은 반사, 확산반사, 내부반사 그리고 감쇠전반사(attenuated total reflectance: ATR)이다. 거울 같은 반사는 반사매개물이 매끈하게 닦은 표면일 때 일어난다. 반사각은 복사선의 입사각과 같다. 만약 표면이 적외선 흡수물질로 되어 있다면 반사의 상대적 세기는 흡수된 파장이 그렇지 않은 파장보다 약하다. 그러므로 반사되어진 입사 빛에너지의 분율인 반사도 R과 파장의 스펙트럼을 제공한다. 반사 스펙트럼 측정 방법은 시료면에 수직으로 복사선을 입사시키고 시료에서 반사된 빛을 45° 각도에서 검출하는 방식과 적분구(integrating sphere)를 이용하는 방법으로 다음 식과 같이 백색의 산화마그네슘판과 같은 표준시료(R_{ref})와 측정 시료(R_s)의 반사강도를 분광광도계로 감지하여 측정시료의 반사율을 표시한다.

$$R = \frac{R_s}{R_{ref}} \times 100\%$$

투과 스펙트럼의 측정은 시료의 투과되는 스펙트럼을 측정하는 것으로 투과율이 낮은 고체 시료의 스펙트럼 측정 시 강한 광원을 조사한 후 시료를 투과한 광을 집광하여 분광광도계로 전달하여 스펙트럼을 얻는 방법이다. 투과 스펙트럼 측정의 경우 각 파장에서의 투과율(T)은 표준 시료의 투과에너지(I_{ref})에 대한 주어진 시료의 투과에너지(I_s)의 비를 이용하여 다음 식과 같이 표시한다.

$$T = \frac{I_s}{I_{ref}} \times 100\%$$

3. 농산물의 VIS/NIR 영역의 흡수 원리

빛은 전자파의 일부로서, 자외선과 가시광선, 그리고 적외선으로 나뉘어진다. 이 중 파장이 짧은 자외선(200-400 nm)은 생체에 치명적인 영향을 주는데, 실생활에서는 주로 살균·소독 목적으로 사용된다. 가시광선(400-700 nm)은 우리가 눈으로 볼 수 있는 파장 영역의 빛으로 색상을 본다는 것은 곧 가시광선 영역의 빛을 본다는 의미다. 가시광선보다 긴 파장영역에 위치한 적외선은 인간의 눈으로는 볼 수 없는 빛이다. 흔히 근적외선(700-2500 nm)과 원적외선(2500 nm 이상)이라는 두 가지 영역으로 나눌 수 있다. 적외선은 열원(heat source)으로 작용하는데, 일상생활에서 볼 수 있는 원적외선 사우나가 그 예다. 가시광선은 대부분 물질 표면에서 반사가 일어난다. 그러나 파장이 더 큰 적외선은 물질 표면을 뚫고 들어갔다 나오는 양이 가시광선보다 더 많다. 내부 성분에 관한 정보를 얻기에 더 유리한 것이다. 그러나 적외선은 열원이기 때문에 장시간 비추면 과일이 손상될 수 있다. 따라서 어느 정도 투과력은 있으면서도 열원으로서의 약하게 작용하는 적외선 영역을 선택해야 한다. 이때 유용한 영역이 근적외선 영역이다. 근적외선을 과일에 비추면 과일의 표면과 내

부의 분자들은 다양한 분자 운동을 일으킨다. 각 분자들이 선호하는 파장의 빛을 흡수해 다양한 분자 운동이 일어나는 것이다. 또한 그 성분의 분자량에 따라 분자운동의 세기가 달라진다. 따라서 근적외선 영역의 각 파장에 대한 빛의 흡수 스펙트럼(spectrum)을 얻은 후 이를 분석해 과일에 들어있는 성분(당도, 산도 등)의 종류나 양을 측정할 수 있다. 근적외선이란 그 중 파장이 700 nm에서 2500 nm까지의 전자파로서 가시광선에 가까운 적외선을 말한다. 농산물에 빛을 조사하면 그림에서 보는 바와 같이 물체 표면에서 직접 반사하는 전반사광(R)과 물체내의 광산란에 의해 다중으로 투과, 반사를 반복하고, 그사이 흡수되거나(흡수광) 다시 시료표면에서 발산되는 체반사광(B), 그리고 투과되는 투과광(T) 등의 여러 가지 형태로 분산된다. 이 중에서 농산물을 구성하고 있는 당이나 산 등의 물질은 그들 자신이 잘 흡수하는 빛이 있기 때문에, 체반사가 되어 나오는 빛은 당이나 산 등의 농도정보를 가지게 된다.

제2절 국내외 연구 동향

농산물 선별에 관한 국내외 연구는 1950년대부터 주로 기계식 또는 광학식 장치에 대하여 수행되었으며, 1980년대부터는 기계시각(machine vision)과 광전자(opto-electronic)를 이용한 농산물 선별기에 관한 기술이 개발되기 시작하였다. 최근 이러한 기술 개발은 주로 VIS/NIR을 이용한 것으로서, 이는 그 측정방법이 비파괴적이면서도 측정시스템의 구성이 간단하고 측정시간이 매우 짧은 장점이 있다. VIS/NIR을 이용한 농산물 내부품질에 관한 연구는 주로 사과, 배, 복숭아, 감귤, 토마토 등 다양한 과일 내부의 당도, 경도, 산도 측정 또는 결점 검출에 관한 내용으로서 많은 연구가 수행되었고 현재도 진행되고 있다.

VIS/NIR를 이용한 과일의 내부품질 측정방법은 측정 광의 경로에 따라 반사 스펙트럼(reflectance spectrum)과 투과 스펙트럼(transmittance spectrum)을 이용하는 두 가지 방법으로 구분할 수 있으며, 이 두 가지 방식에 대한 국외 연구결과를 살펴보면 다음과 같다.

1. 국외의 VIS/NIR 이용 기술개발

반사 스펙트럼을 이용한 연구를 보면, Slaughter 등(1996)은 400~1100 nm 영역의 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 토마토의 가용성 고형물함량(SSC)을 측정하고자 하였다. 수집된 스펙트럼을 Partial Least Squares(PLS) Regression을 통하여 모형을 개발하였고, 개발된 모형의 상관계수(r)는 0.92, SEC는 0.27 Brix였으며, 모형 검증 결과 상관계수가 0.89이고, SEP는 0.33 Brix이며, bias는 -0.05 Brix라고 보고하

였다. 이 논문의 연구자는 NIR 분광 특성을 이용하여 비교적 빠른 속도로 가용성 고형물 함량을 측정할 수 있으며, 측정 지점은 토마토의 꽃과 줄기 축을 기준으로 적도 근처에서 측정될 때 예측 성능이 향상된다고 보고하였다.

McGlone 등(1998)은 키위의 품질 변수인 경도, 건물 중량(dry matter) 그리고 가용성 고형물 함량을 800~1100 nm 영역의 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 예측하고자 하였다. 키위의 내부 품질 변수인 건물 중량과 가용성 고형물의 예측 성능은 우수한 것으로 분석되었으며, 건물 중량의 결정계수(R^2)는 0.90이고, RMSEP는 0.42로 분석되었다. 또한, 가용성 고형물 함량의 예측 결과는 결정계수가 0.90이고, RMSEP는 0.39 Brix로 분석되었으며, 경도의 예측 결과는 결정계수가 0.66이고, RMSEP는 7.8 N으로 분석되어 경도의 예측은 어려울 것으로 판단하였다. 하지만, 과일 크기를 모형 개발과정에서 고려하여 개발한 경도 예측모형의 성능은 결정계수가 0.76이고, RMSEP는 7.0 N으로 과일의 크기를 고려하지 않은 모형의 결과보다 약간 더 높은 결정계수를 보이는 것으로 분석되었다. 하지만 이 논문의 연구자는 과일의 크기와 경도사이에는 직접적인 관계가 없다고 보고하였다.

Lu 등(2000)은 800~1700 nm 사이의 NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 사과와 당도를 측정하는 연구에서 Golden Delicious, Empire, Red Delicious 품종의 사과 껍질을 제거한 것과 제거하지 않고 측정한 결과를 비교하였다. 통계적 모형의 개발은 Principal Component Regression (PCR) 분석을 하였다. 경도 측정결과, 사과 껍질을 제거한 것과 제거하지 않은 것에서 상관계수는 각각 0.38과 0.58로 분석되었고, SEP는 6.6 N과 10.1 N으로 분광분석 결과와 경도사이에는 낮은 상관관계가 있다고 보고하였다. 당도 예측 결과, 껍질을 벗긴 사과에서 상관계수는 0.93~0.97로 분석되었고, SEP는 0.37~0.42 Brix로서 높은 상관관계가 있다고 보고하였다. 또한, 당도 예측 모형개발에 있어 품종의 영향은 크지 않는 것으로 보고하였다.

Peirs 등(2000)은 380~2000 nm 영역의 VIS/NIR 분광 스펙트럼을 이용하여 사과의 최적의 수확 시기를 예측하였다. 그는 나무에 달려있는 사과의 성숙과정을 모니터링 하는 것이 사과의 최적 수확날짜를 결정하는데 매우 중요하다고 판단하였다. 그는 사과를 여러 번 수확하고 수확한 사과 샘플을 파괴적인 방법으로 측정하여 수확 날짜를 결정하였다. 그리고 비파괴적인 방법으로 나무에 열려있는 사과의 성숙과정을 모니터링 하였다. 그들은 모형개발을 위해서 2년 동안 3개의 과수원에서 8개의 사과 품종에 대해서 스펙트럼 데이터를 수집하였으며, 수집한 스펙트럼은 normalization의 전처리를 실시하였으며, 그 다음 Savitzky-Golay의 2차 미분 방법으로 또 한번의 전처리를 실시하여 모형을 개발하였다. 모형은 Unscrambler를 이용하여 PLS 방법으로 개발하였고 교차검증을 수행하여 그 결과를 상관계수와 SEP로 나타내었다. 최적의 수확 시기로 정의된 성숙정도의 예측 결과를 보면, 가장 정확한 예측 모형은 상관계수가 0.90이고 SEP는 7.4 day이며, 성숙정도에 따른 당도의 예측

모형은 상관계수가 0.84이고 SEP는 0.18 Brix로 분석되었다. 그러나 성숙 정도는 과수원마다 차이가 있기 때문에 전체 과수원의 성숙 정도의 예측은 정확하지 않다고 보고하였다. 사과와 내부품질 변수인 당도, 산도, 경도에 대해서 그들은 모형의 예측 성능이 우수한 것으로 보고하였다. 당도의 예측 결과를 보면, 하나의 과수원에서 2년 동안 측정하여 분석한 결과 당도 예측의 상관계수가 0.84이고 SEP는 0.73 Brix로 분석되었으며, 산도의 예측 결과는 두 개의 과수원에서 2년 동안 측정한 것으로 상관계수가 0.80이며, SEP는 2.07로 분석되었다. 경도의 예측 결과는 3 개의 과수원에서 2년 동안 측정한 것으로 상관계수는 0.78이며, SEP는 1.13 N으로 보고하였다. 이상의 결과를 바탕으로 이 논문의 연구자는 당도의 예측은 과수원마다 다르고 품종마다 다르다고 보고하였으며, 모든 과수원과 다양한 품종에 대해서 종합적으로 개발된 예측 모형을 이용할 경우에는 그 정확도가 낮을 것으로 보고하였다.

Lu(2001)는 800~1700 nm 사이의 NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 sweet cherry를 이용하여 당도와 경도를 예측한 연구에서 Hendelfinger와 Sam 품종의 경도와 당도를 측정한 후 통계적 모형 개발 방법인 PLS 분석을 이용하여 최적의 예측 모형을 개발하였다. 품종이 Hendelfinger와 Sam인 sweet cherry의 경도 예측 결과 상관계수가 각각 0.80, 0.65이며, SEP는 0.55 N, 0.44 N으로 높은 상관관계를 나타내는 것으로 보고하였다. 당도 예측 결과는 상관계수가 각각 0.95, 0.89, SEP는 0.71 Brix, 0.65 Brix로 높은 상관관계를 나타내는 것으로 보고하였으며, 이를 바탕으로 NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 sweet cherry의 당도와 경도를 예측할 수 있을 것이라고 보고하였다.

Peirs 등(2002)은 사과의 품질 측정을 위하여 사과에서 스펙트럼을 측정하였고, NIR 측정 방법과 FT-NIR 측정 방법을 비교하고자 연구를 수행하였다. NIR의 측정은 사과에서 반사되는 스펙트럼을 380~1080 nm 영역에서 Si 검출기를 사용하여 측정하였고, 1080~2000 nm 영역에서 InGaAs 검출기를 사용하여 암실에서 외란광의 영향을 배제한 후 측정하였다. 사과의 FT-NIR의 측정은 1000-2500 nm의 영역을 PbS 검출기를 사용하여 측정한 후 장치의 안정성, 광의 투과 깊이, 내부품질 변수의 예측 성능을 비교하였다. 측정된 스펙트럼을 이용하여 PLS 모형을 개발하고 당도, 경도, 적정산도를 네 가지 품종의 사과를 이용하여 측정하였다. 두 가지 측정 장치에서 당도와 경도의 예측 결과는 기존의 보고된 연구에서 분석된 예측 오차보다 낮게 분석되었으며, 적정산도의 예측 결과는 FT-NIR 측정 방법과 NIR 측정 방법 모두 개발된 모형의 성능이 우수하지 않은 것으로 보고하였다. 또한, FT-NIR 스펙트럼의 측정 장치는 높은 S/N (signal-to-noise) ratio를 나타내는 것으로 판단하였고, 광의 투과 깊이는 얇은 것으로 보고하였다. 개발된 모형의 회귀 분석 결과 그 성능은 FT-NIR 측정 방법이 NIR의 측정 방법보다 약간 더 우수한 것으로 보고하였으며, FT-NIR 반사 스펙트럼을 측정하는 것은 데이터 수집을 빠르게 하고자하는 특별한

경우에 NIR 측정의 대체 측정 방법이라고 보고하였다.

Lu(2003)는 900~1500 nm 사이의 NIR 반사와 투과 스펙트럼을 이용하여 사과와 내부 품질을 연구자가 고안한 probe를 사용하여 3.5 mm와 5.5 mm의 두 가지 거리에서 측정을 하였다. Empire와 Red Delicious 품종을 사용하였으며, PLS 분석을 이용하여 최적의 예측 모형을 개발하였다. 사과와 당도 예측 결과, 광원으로부터 가까운 거리(3.5mm)에서 측정한 자료 모형의 성능이 우수하다고 보고하였다. 그 결과 상관계수는 0.81이상, SEP는 두 가지의 품종에 대해서 0.5~0.7 Brix의 범위에 있다고 보고하였다. 사과와 경도 예측 결과, Empire 품종에서 당도의 예측 결과만큼 우수한 성능을 보이지 않았으며, SEP는 3.5 mm에서 10.6 N이고, 5.5 mm에서 9.8 N으로 보고하였다. 이 연구자는 NIR 분광 분석을 통해 사과와 당도 예측은 가능하지만, 사과와 경도를 예측하기는 어렵다고 보고하였다.

Lu(2003)는 500~1000 nm 영역에서 일종의 반사광 측정방법인 scattering image를 이용하여 사과(품종: Golden Delicious와 Red Delicious)의 내부 품질인 당도와 경도를 측정하였다. 신경 회로망(Neural network method) 분석을 통하여 알고리즘을 개발하였으며, 당도와 경도를 수집한 scattering image의 평균과 표준편차와의 관계를 구하였다. 그 결과 경도의 경우, Golden Delicious는 상관계수가 0.83이고, SEP는 7.3 N이며, Red Delicious의 상관계수는 0.71이고, SEP는 6.1 N으로 분석되었다. 당도 예측 결과는 경도 예측 결과보다 우수하였으며, Golden Delicious의 상관계수는 0.88이고, SEP는 0.80 Brix이며, Red Delicious의 상관계수는 0.72이고, SEP는 0.81 Brix라고 보고하였다.

Clark 등(2004)은 300~1140 nm 영역의 VIS/NIR 스펙트럼을 이용하여 키위의 저장 기간 동안에 발생하는 손상을 예측하고자하였다. 이 연구자는 키위를 24주 동안 온도를 -1.5~1.5℃에서 저장하며 발생하는 손상을 예측하였다. 모형 개발을 위해서 키위의 건물함량, 당도, 그리고 과육의 색을 파괴적인 방법으로 측정하였으며, 이를 실제 측정한 품질 변수와 NIR 스펙트럼 데이터를 분석하여 모형을 개발하였다. 총 3600개의 샘플을 사용하였으며, 저장기간 동안 샘플의 19%는 부패하였다고 보고하였다. 수확당시 측정한 227개의 반사 스펙트럼 파장의 강도는 Canonical Discriminant Analysis(CDA) 분석을 통하여 최적의 구별 방법을 구하였다. CDA 분석을 이용하여 구별한 결과, 조기 수확하면 일상적으로 발생하는 손상을 33.9%에서 17.9%로 줄일 수 있다고 보고하였다. 또한, CDA 분석을 통하여 냉해 손상의 가능성이 있는 과실을 구별함으로써 냉해의 손상을 13.7%에서 6.8%로 줄일 수 있었다고 보고하였다. 그 결과 수확당시 NIR 분석을 이용하여 과실을 분류함으로써 저장 기간 동안에 발생하는 손상을 줄일 수 있을 것이라고 보고하였다.

Hsieh 등(2005)은 400~2498 nm의 영역의 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 측정하여 Pearl guava의 당도와 경도(생체 항복점)를 측정 하였다. 측정된 스펙트럼은 평활화

(smoothing) 전처리를 실시하여 광 산란과 베이스 라인 이동의 영향을 제거한 후 모형을 개발하였다. 모형 개발은 MLR, PLS, MPLSR (Modified Partial Least Square Regression)의 분석을 통하여 개발하였다. 그 결과 MPLSR로 개발한 모형을 이용한 당도의 예측은 상관계수가 0.947이고, SEP는 0.721 Brix라고 보고하였다. 경도의 예측은 PLSR 분석을 통하여 개발한 모형에서 가장 낮은 SEP를 나타내는 것으로 분석되었으며, 3.427 N이라고 보고하였다. 이 논문의 연구자는 이상의 결과를 바탕으로 VIS/NIR 영역의 분광 스펙트럼을 이용하여 Pearl guava의 당도와 경도를 예측할 수 있을 것이라고 보고하였다.

Lu (2005)은 FT-NIR을 이용하여 감귤의 당도와 측정된 NIR 스펙트럼과의 관계를 분석하여 감귤의 당도를 예측하고자 하였다. 모형 개발 시 사용한 전처리 기법은 SNV (standard normal variate)와 MSC (multiplicative scatter correction) 방법이였다. 그는 또한 샘플의 크기와 광 산란의 영향 및 측정 기기의 노이즈를 제거하기 위해서 1st derivative와 2nd derivative의 전처리를 수집한 모든 스펙트럼에 대해 실시하였다. 사용한 전처리 방법 중 최적의 노이즈 제거 성능을 갖는 것은 2nd derivative이였으며, 그는 이를 이용하여 최적의 예측 모형을 개발하였다. 그는 총 85개의 감귤에서 170개의 NIR 스펙트럼을 측정하였으며, 이 중 135개의 스펙트럼은 모형의 개발에 사용되었고, 나머지는 개발한 모형의 검증에 사용하였다. 감귤의 당도와 측정된 NIR 스펙트럼으로부터 TQ 6.2.1 소프트웨어를 사용하여 PCR과 PLS 분석으로 당도 예측 모형을 개발하였다. 그 결과 PLS를 통해 개발한 모형의 성능이 우수하였으며, 상관계수는 0.872이고, SEP는 0.45 Brix로 보고하였다.

He 등(2005)은 토마토의 내부 품질을 비파괴적인 방법으로 측정하기 위하여 350~2500 nm 범위의 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 측정하여 경도, 당도, 산도를 측정된 후 각각의 내부 품질 변수에 대해서 PCR과 PLS로 최적의 예측 모형을 개발하였다. 모형 개발 결과, 당도의 상관계수는 0.90, SEP는 0.19 Brix, 산도(pH)의 상관계수는 0.83, SEP는 0.09이며, 압축력과 관입력의 상관계수는 각각 0.81, 0.83, SEP는 16.107 N, 1.18 N으로 개발된 모형의 예측 성능이 아주 우수한 것으로 보고하였다.

Qing 등(2007)은 600~1100nm 영역의 NIR 흡광 스펙트럼을 측정하여 사과와 배의 내부 품질 변수인 당도, 경도 및 수분 함량을 예측하고자 하였으며, 또한 이러한 품질 변수를 예측하는데 가장 효과적인 파장영역을 선별하고자 하였다. 측정된 NIR 흡광 스펙트럼은 Savitzky-Golay의 1차와 2차 미분 전처리 수행한 후, smoothing, mean centering, SNV의 전처리를 수행하여 분석하였다. 그는 전처리한 스펙트럼을 이용하여 PLS 분석으로 예측모형을 개발하고 그 성능을 분석하였다. 당도 예측결과 상관계수는 0.94, SECV (Standard Error of Cross Validation)는 0.85 Brix였으며, 당도를 예측하는데 유의한 파장은 847~977 nm로 보고하였다. 경도 예측 결과 상관계수는 0.89, SECV는 7.54 N/cm²로 분석되었고, 경도를 예측하는데 유의한 파장은 690, 770,

790, 810, 920, 980, 1000 nm의 파장이라고 보고하였다. 수분함량 예측 결과 상관계수는 0.96, SECV는 0.92%이며 수분 함량을 예측하는데 유의한 파장은 679, 690, 777, 808, 940, 1031 nm의 파장이라고 보고하였다.

Pedro 등(2007)은 NIR 분광 스펙트럼을 이용하여 토마토의 당도와 산도를 측정하고자 하였다. 측정된 NIR 범위의 파장은 $4,000\sim 10,000\text{ cm}^{-1}$ 의 영역이었으며, 측정된 토마토의 내부 품질 변수는 total solids, soluble solids, total acidity, total sugar, glucose와 fructose이었다. 측정한 스펙트럼은 mean-smoothing, Fourier filter, MSC, 미분의 전처리를 실시하였다. 전처리한 스펙트럼은 PLS1와 PLS2 분석을 통하여 모형을 개발하였으며, 개발한 모형의 성능을 평가하였다. PLS2 분석으로 개발한 모형은 total solids, total sugars, glucose와 fructose에서 PLS1보다 우수한 성능을 보인 것으로 나타났다. PLS2 분석으로 개발한 모형의 검증 결과를 보면, 각 내부 품질 변수들의 SEP 중 total solids는 2.67, soluble solids는 1.14, total acidity는 9.60, total sugar는 18.69, glucose는 11.60 그리고 fructose는 13.45로 보고하였다.

Shao 등(2007)은 토마토의 내부 품질을 비파괴적인 방법으로 측정하기 위하여 350~2500 nm 사이의 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 측정하고 이를 PLS와 PCR 분석하여 당도 예측 모형을 개발하였다. PLS 분석을 통하여 개발된 모형을 이용하여 토마토의 내부 품질을 예측한 결과, 가용성 고형물 함량의 경우 상관계수는 0.90, SEP는 0.19 Brix로 분석되었으며, 산의 경우 상관계수는 0.83이며, SEP는 0.09 pH로 분석되었으며, 압축력과 관입력의 상관계수는 각각 0.81와 0.83이고, SEP는 16.107 N와 1.18 N으로 개발된 모형의 예측 성능이 아주 우수한 것으로 보고하였다.

McGlone 등(2007)은 키위의 품질을 판단하는데 300~1140 nm 영역의 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 이용하는 방법과 밀도를 이용하는 방법으로 키위 품질을 예측하여 두 방법을 비교하고자 하였다. 키위의 품질은 건물 중량(DM), 색상(Hue), 그리고 가용성 고형물 함량(SSC)이었다. VIS/NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 키위의 품질을 예측할 경우, DM과 SSC의 예측에는 800~1000 nm 대역 그리고 Hue는 500~750 nm 대역의 스펙트럼으로 보다 정확하게 예측을 할 수 있는데, 300~1140 nm 대역의 VIS/NIR 분광 스펙트럼을 측정한 이유는 수확할 때와 수확 후 저장하는 동안의 내부 품질 변화를 관찰하기 위하여 보다 더 넓은 대역의 분광 스펙트럼을 측정하였다. 그 결과 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 수확 당시 키위의 품질을 예측할 경우 각각의 품질 변수인 DM, SSC 그리고 Hue에 있어서 SEP는 $\pm 0.40\%$, $\pm 0.71\%$, $\pm 1.05\%$ 로서 밀도를 이용한 키위의 내부 품질 예측보다 더 정확한 것으로 분석되었다. 저장 기간의 품질 예측결과의 SEP는 $\pm 0.24\%$, $\pm 0.31\%$, $\pm 0.98\%$ 로 그 정확도가 증가하였다. 당도 예측결과의 SEP가 $\pm 0.71\%$ 에서 $\pm 0.31\%$ 로 증가한 것은 전체 탄수화물 함량의 예측에 VIS/NIR 분광 측정방법이 더 적절하다는 이론으로 뒷받침된다고 보고하였다.

투과 스펙트럼을 이용한 국외 연구를 보면, Jha 등(2004)은 토마토 주스의 당도와 산도의 비를 비파괴적으로 측정하기 위하여 휴대용 NIR 투과 스펙트럼 측정 장치를 사용하였다. 실험한 파장은 703~1124 nm의 근적외선 영역으로서, 수집한 스펙트럼은 당도와 산도의 비를 예측하는 모형의 성능을 높이기 위해서 전처리 방법으로서 2nd derivative, MSC, 평활화를 사용하였고, 당도와 산도의 예측을 위한 모형 개발은 PLS 분석(Unscrambler 사용)을 이용하여 개발하였다. 그 결과 상관계수는 0.92이며, SEC는 0.009로 분석되었다. 그는 토마토 주스의 당도와 산도의 비를 측정하는 데 1059~1124.8 nm 영역의 분광 스펙트럼을 분석하면 효과적이라고 보고하였다.

2. 국내의 VIS/NIR 이용 기술개발

국내에서 1980년대까지 사용하여 온 과일 선별기는 주로 스프링 장치를 이용한 기계식의 농가 이용형 중량 선별기였는데, 근래에 기계시각과 광전자에 관한 기술이 소개되면서 이와 같은 광학-전자 장비를 이용한 농산물 선별기에 관한 연구가 1990년대부터 시작된 후 이를 이용하여 과일의 색깔, 크기, 결점, 당도, 산도 등을 선별인자로 한 연구가 수행되었으며 그 주요 연구 결과를 보면 다음과 같다.

기계시각을 이용한 과일 선별에 관한 연구는 사과를 대상으로 색깔, 크기, 결점 등에 관한 수종의 연구(서상룡과 성제훈, 1997 등)가 보고된 바 있다. 근래에는 국내에서도 VIS/NIR을 이용하여 당도나 산도와 같은 과일 내부 품질에 관한 연구가 수행되어 국내에서도 과일 선별기에 관한 선진국 수준의 기술이 개발되기 시작하였다. 국내에서 수행된 연구로서 VIS/NIR의 투과 및 반사 스펙트럼을 이용하여 비파괴적인 방법으로 과일의 내부품질을 예측한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

이강진 등(1998)은 800~1100 nm 대역의 근적외선을 이용하여 사과의 당도를 예측하였다. 이들은 PLS와 인공신경회로망(artificial neural network, ANN) 기법을 이용하여 당도 예측에 유용한 파장을 구명하고 예측모형을 개발하고자 하였다. 그 결과, 전체 파장보다는 일부를 선택하여 전처리를 하지 않아도 모델의 당도예측 정확도를 향상시킬 수 있음을 판명하였으며, 800~1100 nm 범위의 파장대역과 2차 미분 전처리를 하지 않고 개발된 PLS 모델을 이용하여 미지 시료의 당도를 예측했을 때 결정계수는 0.9236, bias와 SEP는 각각 -0.0198 Brix와 0.2527 Brix로서 개발된 모델 중 가장 우수한 결과를 나타냈다고 하였다. 또한, 신경회로망을 이용한 사과의 당도 예측 모델 개발은 2차 미분 전처리를 해야만 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었으며, 미지의 시료를 예측했을 때 결정계수와 SEP는 각각 0.9177, 0.2903 Brix로서 대체로 높은 정확도를 얻을 수 있는 것으로 판단하였다.

이강진 등(2002)은 근적외선을 이용한 신고 배 당도판정에 있어 표면온도영향의 보정에 관한 연구에서, 654~1052 nm 영역의 근적외선 반사 스펙트럼을 측정하여 분석하였다. 71개의 신고 배를 사용하여 2℃에 보관한 후, 표면 온도가 17℃에 이를

때 까지 일정한 시간 간격으로 스펙트럼을 측정하여 분석하였다. 또한 스펙트럼 측정 시 계측한 온도를 하나의 변수로써 모형의 분석에 고려하여 당도 예측 모형을 PLS 방법으로 개발하였다. 그 결과 분광 스펙트럼만으로 개발한 모형보다 온도를 변수로 추가하여 개발한 모형에서 예측의 정확도가 향상 되었다고 보고하였다.

박보순 등(2002)은 400~2500 nm 영역의 VIS/NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 사과와 당도와 경도를 예측하고자 하였다. Gala와 Delicious 품종에 대해서 각각 내부 품질과 분광 스펙트럼을 측정하였으며, 측정된 스펙트럼을 PCR 분석과 Mahalanobis Distance(MD) 분석을 통하여 모형을 개발하였다. 800~1100 nm 사이의 분광 스펙트럼에 대해 MD 분석을 통하여 개발한 모형의 성능을 조사한 결과, Gala 품종 사과의 당도 예측은 결정계수가 0.934, SEP는 0.279 Brix로 나타났고, Delicious 품종 사과에서는 결정계수가 0.966, SEP는 0.341 Brix로 분석되었다. 400~1800 nm 사이의 분광 스펙트럼을 PCR 분석을 통하여 개발한 경도 예측모형의 성능을 살펴보면, Gala 품종 사과경우는 결정계수가 0.218, SEP는 4.91 N으로 분석되었고, Delicious 품종 사과는 결정계수가 0.786, SEP는 7.02 N으로 분석되었다. 이상의 결과로부터, 연구자는 분광 분석을 이용하여 사과 당도의 예측은 만족할 만한 정도의 정확도를 보이며, 사과의 경도 예측은 만족할 만한 수준이 아니라고 보고하였다.

노상하 등(1997)은 600~1100 nm 파장 대역의 분광 반사 특성을 이용하여 사과, 배, 복숭아에 대한 흡광 스펙트럼의 2차 미분값을 이용하여 과실의 당도와 산도를 예측할 수 있는 회귀모형을 개발하였다. 측정된 스펙트럼의 범위에서 당도에 대한 가장 좋은 예측결과는 사과(후지)가 $R^2=0.96$, SEP=0.4 Brix, 배(신고)가 $R^2=0.88$, SEP=1.17 Brix, 복숭아(유명)가 $R^2=0.84$, SEP=0.77 Brix이라고 보고하였다. 또한, 사과의 적정산도와 분광 자료 2차 미분값과의 상관계수는 매우 낮게 분석되었으며 개발한 회귀식의 결정계수는 0.47로 분석되었다. 배에 대한 산도실험에서 산 함량 범위가 0.045~0.064 g/100 ml였는데, 이러한 미량의 배 산도를 VIS/NIR 분광분석법으로는 예측하는 것은 바람직하지 않다고 판단하였다.

황인근 등(1998)은 후지 사과의 실시간 당도 판정을 위해 600~1130 nm의 가시광 및 근적외선 스펙트럼을 이용하였다. 이 연구자는 측정된 스펙트럼에 포함된 노이즈 성분을 제거하기 위하여 푸리에 변환(Fourier transform) 및 이동 평균(moving average)을 적용하여 분석하였다. 당도 판정을 위한 회귀모형의 입력 변수로는 1차 미분 값의 비(678nm, 11003nm)와 1차 미분 스펙트럼 값을 사용하였으며, 그 외 8개 파장(721nm, 734nm, 870nm, 944nm, 964nm, 1007nm, 1064nm, 1076nm)의 1차 미분 값으로 구성되는 검량식을 구하여 당도 판정을 수행한 결과 SEP는 0.99 Brix이라고 보고하였다.

류동수 등(2000)은 사과의 비과피 내부품질 인자의 예측 성능 향상을 위한 VIS/NIR 스펙트럼 전처리 기법을 개발하였는데, VIS/NIR 스펙트럼은 외란의 영향

을 많이 받게 되며, 온라인 측정 장치로 스펙트럼을 측정할 경우는 특히 더 많은 요인들이 외란으로 작용하게 된다고 보고하였다. 또한 측정된 스펙트럼의 전처리는 가장 기초적인 단계이며, 이는 스펙트럼에 포함된 외란의 영향을 제거하여 보다 안정적인 내부품질 예측 모형을 만들기 위하여 필요하다고 보고하였다.

조현성 등(2000)은 500~1100 nm 사이의 VIS/NIR 투과 스펙트럼을 이용하여 사과 경도를 예측하고자 하였다. 과실류에서의 경도란 그 기계적 특성을 표현하기 위한 추상적인 개념으로 여러 지수들을 통해 구체화되며, 이 논문의 연구자는 Secant Modulus(과피점의 1/2지점을 선택하여 원점과 연결한 직선의 기울기), Tangent Modulus(과피점의 1/2지점에서 원점방향으로 미소구간에 위치한 점과의 기울기) 및 Rupture Force(과피점의 힘)를 이용하여 경도를 나타내고자 하였다. 측정된 투과스펙트럼에 평활화, 미분 등의 여러 가지 전처리와 산란보정, 정규화 등의 보정 알고리즘을 수행한 후 PLS 분석을 이용하여 경도 예측모형을 개발하였다. 그 결과를 살펴보면, Rupture Force는 Secant Modulus나 Tangent Modulus와 낮은 상관관을 보여주어 각각의 경도 지수가 의미하는 물리적 특성이 다른 것을 알 수 있었고, Rupture Force의 경우는 흡광도 스펙트럼을 흡광도합으로 나누어 정규화한 값을 이용할 때, 상관계수는 0.82, SEP는 4.99 N으로 분석되었으며, Secant Modulus와 Tangent Modulus의 경우는 모델상관계수가 매우 낮아 예측이 불가능할 것으로 보고하였다. 이상의 결과를 바탕으로 이 연구자는 사과 경도에 대한 명확한 정의와 함께 관련된 성분의 흡광특성에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보고하였다.

황인근 등(2000)은 가시광 및 근적외선 영역(550~1100nm)의 투과 스펙트럼을 이용한 복숭아의 실시간/비파괴 당·산도 측정 장치를 개발하고자 하였다. 이 연구자는 실험에서 복숭아의 성분 중 약 90%는 수분으로 구성되어 있으며, 이와 같이 대부분이 물이고, 상대적으로 미량인 당이나 산은 스펙트럼에서 큰 변이를 일으키지 못하며, 오히려 시료의 크기차이에 따른 경로길이(pathlength)의 변화나, 산란(scattering) 차이 등에 의해 더 큰 변이를 일으킨다고 보고하였다. 이러한 외란의 영향을 감소시키기 위해서는 스펙트럼 전처리 과정이 필수적으로 이루어져야 한다고 보고하였으며, 스펙트럼을 측정 후 스펙트럼 평활화, 산란보정 및 미분에 의해 전처리를 수행한 다음, 각 전처리 조건별로 당도 및 산도 예측을 위한 PLS 분석을 하여 최적의 모델을 개발하였다. 그리하여 복숭아의 당도를 측정된 결과 검증 시료의 SEP가 0.558 Brix이고, 결정계수는 0.819이라고 보고하였고, 산도를 예측한 결과, 검증시료의 SEP는 0.0555이고, 결정계수는 0.655이라고 분석하였다. 이상의 연구 결과로 볼 때, 이 논문의 연구자는 다른 과일의 내부품질 측정에도 적용이 가능할 것으로 판단하였다.

이상은 국내외에서 VIS/NIR의 반사와 투과 스펙트럼을 이용하여 과실류의 내부품

질을 비파괴적인 방법으로 예측하는 주요연구 결과이다. 이러한 연구 결과를 종합하면, VIS/NIR의 반사와 투과 스펙트럼으로 과일의 내부 품질인자인 당도, 산도, 경도, 색, 당도와 산도의 비 등의 예측은 가능하며 특히 당도의 경우 비교적 높은 정확도 수준에서 가능함을 알 수 있다. 그러나 이러한 연구 결과는 대부분이 실험 조건이 비교적 이상적인 실험실 실험결과이며 이러한 방법을 실제로 과일 선별기에 적용할 경우, 불규칙적인 형상을 갖는 피측정물이 이송상태에서 그 광학 스펙트럼 자료를 수집하여야하기 때문에 다양한 불확실성과 외란 등 노이즈의 영향에 의해 그 예측의 정확도는 상당히 낮아질 것으로 예상된다. 이러한 외란의 구조적인 원인은 과일 표면에서의 광 산란이나 측정방식에 기인한 광 경로의 차이, 측정센서에서의 노이즈, 주변 측정환경(온도 등)의 변화를 들 수 있다.

3. 기타 비파괴적 내부품질 측정 기술 개발

이밖에 비파괴적인 방법으로 농산물의 내부 품질을 예측하는 연구로서 다음과 같은 형광, 레이저 도플러 검출기, 진동, 음향 등을 이용한 연구가 있다.

Noh 등(2007)은 레이저 유도 형광 영상을 이용하여 사과(품종: Golden Delicious)의 내부 품질을 평가하였다. 그는 480 nm의 파장의 빛을 발하는 blue laser를 사용하여 사과에서 유도되는 형광을 측정하기 위한 광원으로 사용하였다. 레이저 유도 형광 영상은 사과(품종: Golden Delicious)를 사용하여 레이저로 빛을 조사한 직후부터 1분 간격으로 5분 동안 측정된 다음 형광 영상을 평균, 최대값, 표준편차 스펙트럼으로 나타내 분석하였다. 그는 사과 표면의 색상, 과육의 색, 경도, 당도, 적정산도를 측정하고자하였다. PCA 분석과 neural network 분석을 실시하여 예측 모형을 개발하고 사과의 내부 품질을 광원에서 빛을 조사한 직후부터 1분 간격으로 예측하였다. 형광의 발광은 광원으로 빛을 조사한 후 3분 동안은 점차 감소하였지만, 3분이 지나서부터는 일정하다고 하였다. 사과 내부 품질을 예측한 결과, 매분 측정된 형광 데이터를 이용하여 모형을 개발하고 검증한 결과 차이가 거의 없는 것으로 보고하였다. 각각의 내부 품질 예측 결과를 보면, 사과의 표면 색상에서 가장 우수한 예측 성능(상관계수 = 0.94)을 나타내는 것으로 보고하였다. 나머지 품질 변수인 경도와 과육의 색은 상관계수가 0.74이상으로 비교적 예측 성능이 대체로 우수한 것으로 나타났으며, 당도와 적정산도의 예측 성능은 상관계수가 각각 0.66, 0.57로 낮은 결과를 보여 당도와 적정산도의 예측은 어려운 것으로 보고하였다.

Qing 등(2007)은 레이저 빛의 후방 산란 이미지를 분석하여 사과의 당도와 경도를 예측하고자 하였다. 이 연구자는 품종이 Elstar와 Pinova인 사과에 대해 후방 산란 이미지를 측정하였다. 영상처리 알고리즘을 통하여 각각 다른 크기와 형태의 이미지를 수정하였고, 특정한 영역의 그레이 스케일의 주파수를 획득하였으며, 이를 PLS 분석을 통하여 사과의 당도와 경도를 예측하였다. 모형 개발에서 가장 높은 예측 성

능을 나타내는 것은 수정한 그레이 스케일의 주파수를 분석하여 얻은 것으로서, Elstar 품종 사과 당도의 경우 상관계수는 0.89, SECV는 4.14로 분석되었다. Elstar 품종 사과의 과육 경도는 수정한 그레이 스케일 주파수에서 더 높은 상관계수인 0.90과 SECV는 5.49를 나타내는 것으로 분석되었다. Pinova 품종에 대해서 검증한 결과, 당도와 경도에서 $SEP < 13\%$ 인 것으로 보고하였다. 이 연구자는 레이저빛의 산란 이미지 기술과 이미지 수정 알고리즘을 같이 사용하면 사과의 당도와 경도를 효과적인 방법으로 예측이 가능하다고 결론지었다.

Muramatsu 등(1999)은 과실은 성숙이 진행됨에 따라서 물성이 변하고 물리적인 손상이 진행되며 이러한 물리적인 변화는 표면 진동의 변화를 이용하여 레이저 도플러 검출기로 측정하여 비파괴 측정이 가능하다고 보고하였다. 그들은 키위(품종: Hayward), 복숭아(품종: Akatsuki), 일본 배(품종: Cyouju)를 이용하여 각각 다른 성숙 단계에 있는 과일을 주파수 범위 55~2000Hz의 사인파를 이용하여 측정하였다. 진동은 과일을 투과하여 과일의 윗부분으로 전달되고, 이것을 레이저 도플러 진동기록계를 이용하여 측정하였다. 연구자는 입력과 출력의 진동 신호의 차이에 의해 상이동이 발생하고, 과실을 투과한 진동을 분석하여 물성을 측정하였다. 그 결과 과일을 변형시키는데 필요한 힘과 상 이동과의 상관계수는 0.81~0.92이며, 측정된 주파수는 1200과 1600Hz이라고 보고하였다. 또한, 레이저 도플러 장치를 이용하여 감귤의 내부 결함도 검출할 수 있으며, 이러한 데이터를 이용하여 과실의 성숙 정도와 경도를 원격으로 측정할 수 있는 유용한 방법이라고 보고하였다.

Ketelaere 등(2001)은 토마토에 충격을 주고 진동을 분석하는 비파괴적인 방법으로 품질변수를 예측하고자하였다. 이러한 목적을 위해, 토마토에 충격을 준 후 그 반응을 수집할 수 있는 자동장치를 구성하여 측정된 결과 elliptical mode의 공진 주파수가 토마토의 경도와 관련이 있다고 판단하였다. 공진 주파수에서 측정된 스펙트럼은 평활화 처리하였으며 그 다음 1차 미분하였다. 그는 평활화 처리가 예측성능의 정확도를 증가시키는 것으로 보고하였다. 또한 토마토의 꽃과 줄기 축을 기준으로 적도에서 측정된 것과 꽃의 위치에서 측정된 경도를 비교 분석하였는데, 그 결과 토마토의 적도 부근에서 측정된 공진 주파수의 변이계수는 평활화 처리를 하지 않은 실험자료와 평활화 처리한 실험자료에서 각각 16.0과 13.7로 나타났다. 그리고 꽃 위치에서 측정된 공진 주파수의 변이계수는 평활화 처리를 하지 않은 실험자료와 평활화 처리한 실험자료에서 각각 9.5와 6.8로 분석되었다. 이상의 결과로부터 크기가 일정하지 않는 토마토의 경우 경도 예측을 위한 측정은 토마토의 꽃 위치에서 수행하는 것이 적도의 부근에서 수행하는 것보다 더 안정적이라고 보고하였다.

4. 토마토 내부품질 관련 국내 주요 연구

토마토의 내부품질에 관해 국내에서 발표된 주요 연구 결과를 정리하면 다음과 같

다. 토마토(품종: York)의 재배시기와 성숙단계별 품질을 비교하여 적정수확기를 구명하고, 수출용 과일 생산에 필요한 기초 자료를 얻고자 박세원 등(2004)은 관련 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 모모타로 계통의 York 토마토 품종에 있어, 겨울 재배는 3월 그리고 봄 재배는 5월에 수확하여 각각 녹색과(mature green ; MG), 핑크색과(pink ; P), 밝은 적색과(light red ; LR), 적숙과(red ; R)로 구분하여 수확한 후 품질분석을 실시하였다. 맛과 관련된 요인은 가용성고형물, 가용성 당, 적정산도, pH 그리고 조직감과 관련된 요인은 건물함량과 경도 그리고 색과 관련된 요인으로는 chlorophyll, carotene, lycopene 그리고 색좌표(Hunter L, a 및 b)를 각각 조사하였다. 겨울 재배한 토마토와 봄 재배한 토마토의 가용성고형물 함량은 각각 7.4 Brix와 4.2 Brix, 그리고 적정산도는 $7.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW와 $3.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW로 겨울 재배 과실이 봄 재배 과실보다 가용성고형물 함량이 많아 맛이 좋은 것으로 분석되었다. 봄 재배 과실이 겨울 재배 과실의 밝은 적색과의 carotene 함량이 각각 $101.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW와 $72.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW, lycopene 함량은 각각 $79.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW와 $54.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW로 색소함량이 많고, Hunter a값은 17.2와 14.8로 착색이 향상되는 경향을 보인다고 보고하였다. York 품종은 가용성고형물, 가용성 당, 적정산도 그리고 pH는 밝은 적색과와 적숙과 사이에 차이가 없어 밝은 적색과의 시기에 수확하여도 최상의 품질을 보여주었으며, 이때가 적정수확기로 판단된다고 보고하였다.

문광덕 등(1996)은 수확 후 원예산물을 저장하는 동안 품질의 저하(연화)의 특성을 파악하기 위해서 토마토 과실의 성숙 중 세포벽 성분 및 조직의 변화를 관찰하였다. 그들은 토마토 성숙 동안에 연화를 일으키는 효소의 활성이 증가하고, 세포벽 구성 성분이 분해되어 과실의 물성 변화를 초래하는 것을 알게 되었다. 그들은 세포벽 구조의 현미경적 관찰을 통하여 성숙 중 연화에 따른 세포벽의 구성 성분인 펙틴의 변화와 조직 변화의 상호관계를 구명하고자하였다. 본 연구자는 토마토의 성숙 단계를 미숙기, 수확적기, 식용적기, 과숙기로 나누어 측정하였다. 그 결과, 과실의 경도가 성숙 초기에는 서서히 감소하나, 과숙기에는 급격히 감소하는 것으로 보고하였으며, 과실의 경도 감소는 성숙 중에 생성된 세포벽 분해효소의 작용에 의해 세포벽 성분이 분해되어 물성의 변화를 초래하는 일련의 연화현상으로 판단하였다. 또한, 세포벽 함량의 변화는 셀룰로오스, 헤미 셀룰로오스와 펙틴이 있으며, 셀룰로오스는 과실의 연화에 별로 영향을 주지 않는 것으로 분석하였고, 헤미 셀룰로오스는 성숙 중에 분해되어 함량이 감소하는 것으로 분석하였으며, 펙틴은 분해효소에 의하여 세포벽을 구성하고 있는 펙틴질을 분해시킴으로써 펙틴의 함량이 감소하는 것으로 보고하였다. 그리하여 세포벽 함량의 감소는 성숙 중에 펙틴과 헤미 셀룰로오스가 분해되어 감소됨으로써 일어나는 것으로 보고하였다.

5. 토마토 내부품질 향상 및 선별기준 관련 주요 연구

토마토 품질에 따른 선별에 관한 연구문헌은 거의 없으며, 품질 향상에 관해서는 많은 연구가 수행되었다. 그러한 연구는 특히 토마토의 내부품질을 높이는 재배방법에 관한 것이 많으며 본 연구에서는 그러한 연구 결과를 검토함으로써 결과적으로 토마토 품질에 따른 선별의 기초를 정리하고자 하였으며 그 내용은 다음과 같다.

고당도 토마토 생산을 위해서는 관수량을 현저하게 줄이거나 토양 또는 수경재배시 염류의 농도를 현저하게 높여야 하는데, 이 경우 당도는 증가되나 생육이 급격하게 억제되어 지속적인 재배가 불가능하게 된다. 또한 상위화방의 수량이 현저하게 감소되므로 일반재배에서 염류농도를 증가시키거나 관수량을 줄이는 방법으로 당도를 상승시킬 수 없는 현실이다. 그러나 최근 저단 재배를 통한 1화방만 수확할 경우 착과된 토마토가 녹숙기 도달 시에 재배적인 방법으로 고당도 토마토를 생산할 수 있는 연구가 이뤄지고 있다.

고당도 토마토를 생산하기 위해 근권의 염류수준을 높이기 위하여 관수를 줄이고 NaCl 등을 첨가하기도 한다. 그러나 당도를 높이기 위해 근권에 스트레스를 가하면 수량이 저하되고 배꼽썩음과가 증가하는 문제점이 발생한다. 토마토 재배에서 염 농도를 증가시키면 품질은 향상되지만 수량이 감소하여 소득이 낮아지므로 농가에서 활용하기에는 실질적으로 어려움이 있다. 특히 이러한 방법들을 토마토의 4단 이상 고단재배에 적용하면 전반적으로 과중이 감소되고 영양생장과 동시에 상위화방의 착과수도 줄어 수량감소는 더욱 더 커지게 된다.

그러나 국내에서 육성된 완숙계통의 토마토가 거의 없기 때문에 주로 고가의 종자를 수입하여 재배하고 있고 고당도 등에 의한 상품성 차별화(이 등, 1997), 집중출하(권, 1997) 등에 대한 연구가 이뤄지고 있으며 일반재배에 비해 재배관리가 용이하고 지지와 유인작업이 단순하여 생력화가 가능한(이 등, 1997) 저단재배가 적극 검토되고 있는 실정이다.

우리나라에서는 주로 생식용 토마토 품종을 재배하고 있으며, 과피색에 따라 도색, 적색, 오렌지색 계통으로 구분하고, 최근에는 완숙, 방울계통을 주로 재배하고 있다. 토마토 품종별 생산성은 유전적 요인 및 재배환경에 따라 매우 상이한 결과가 나오게 되는데 이 등(1993)은 토마토 품종에 대한 연구에서 완숙토마토를 품종별 양액재배에서 적색 무한성장형 품종이 도색 유한성장형 품종보다 상품 수량성이 높았다고 하였다(이 등, 2000). 그리고 같은 품종에서도 재배작형과 재배방법에 따라서 1과중과 수량, 가용성고형물 함량, 저장성 등이 달라질 수 있다고 하였다.

토마토 저단인 1단, 2단 재배법은 수확화방이 1~2화방이므로 일반재배에 비해 재배관리가 용이하고, 지주와 유인작업이 용이하여 생력화가 가능하며 병해충은 바이러스와 토양오염으로부터 이병이 적다. 그리고 저단 재배의 경우 재식밀도가 수량에 밀접한 관계를 가지고 있는데 계절별로 재식밀도를 달리하여 억제재배는 축성재배보다 재식거리를 넓게 하여야 한다고 하였다(Kobayasi 등, 1990). 또 Heuvelink(1995)는 재식밀도와 생육과의 성장해석을 통해 1단재배시 평당 13주가 적합하며 15주에서는 불량과가 많아 수량이 적어진다고 보고하였고 McAvoy 등(1989)은 토마토 1단 밀식의 여름재배에서 30%정도 차광하면 생육이 좋고 수량이 많다고 보고하였다. 토마토의 박막(NFT) 양액재배는 초기에 근권 온도가 높을수록 건물중이 증가하였으나 10주 후에는 18℃에서 건물중이 무겁다는 보고도 있고(Trudel과 Gosselin, 1982), 작업성이 좋은 이동벤치를 이용 간이 NFT방식에 보를 만들어서 주당 300 ml 정도 담액되게 개량한 양액재배 생육이 양호해지고 소폭이기는 하지만 수량도 증가하였다는 보고도 있다(과학원예, 1997).

한편 우리나라에서 용기재배를 통한 당도를 비롯한 품질향상에 관한 연구는 많지 않으나 멜론과 거베라에서 일부 이루어지고 있다. 조 등(1995)은 멜론에서 토양을 이용한 용기재배시 6 ℓ 용기에 1일 6회, 1회 300 ml씩 관수하는 것이 당도가 높고 증수된다고 하였다. 김 등 (2000)은 토마토에 대한 누적일사량에 따른 양액공급 시험에서 모모타로 품종과 방울토마토 코코 품종의 당도는 2.4 MJ/m² 도달시 공급한 처리가 높은 경향을 보였다고 하였다. 또 김 등(2000)에 의하면 조숙작형 2화방 재배에서 관수량을 조절하면 수량은 35~45% 감소되었으나 당도는 1.8~2.1 Brix 증가되고, 축성재배에서도 관수조절에 의해서 수량은 15~20% 감소하나 당도는 2.9~3.3 Brix 증가되었다고 하였다. 한편 급액량에 따른 근권에 수분함량을 TDR센서를 이용하여 실시간으로 측정 적정 급액 농도를 찾고자 하는 연구가(Da Silva 등, 1998; Parchomchuk 등, 1997 ; Schmitz와 Sourell, 2000) 수행 되었다.

원예작물 중에서 특히 토마토와 멜론에서 근 권의 염류농도를 통해 작물의 수량이 저하하지 않는 범위 내에서 품질을 향상시키려는 연구가 꾸준히 진행되어 많은 성과가 있었다. 이(2000)에 따르면 KCl과 NaCl을 이용한 염 처리 개시 시기가 빠를수록 과실의 고형물과 유기산 함량의 증가가 제 1화방에서보다 제 2화방에서 더 높았고, 품질(고형물, 유기산)을 개선할 수 있는 농도는 각각 20 mM과 25 mM로 제 1화방 개화 후 20일 경에 처리하는 것이 적당하다고 보고하였다.

토마토는 착과율 및 과실 당 엽 면적을 높임과 동시에 과실의 채광성을 높여 착색

과 과실비대를 충실하게 함으로써 수량과 과실품질을 향상시키는 방법(최, 1987; 淸林, 1990; 田中, 1975) 등이 연구되었고 최근 멜론에서 과 크기 조절, 당도향상 및 병해충 회피방법으로 용기재배가 이용되기도 한다(박, 1998).

또 원예작물의 양액재배에서 근 권의 염 첨가에 관한 연구는 배양액내 고농도의 염 처리를 통해 작물의 수량이 저하하지 않는 범위 내에서 품질을 향상시키려는 연구가 다수 수행되었다(조와 정, 1997). 특히 맛, 광택, 신선도, 저장성 등에 대한 소비 요구도가 다양해지고 있어 토마토 재배 시 소비자의 요구에 부응하고 고품질의 과실을 생산하는 방법이 모색되어야 한다(정 등, 1997).

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 완숙 토마토용 보급형 선별기 개발

1. 개발 선별기의 개념 설계

가. 토마토 내·외부품질 검사방법 결정

1) 외부품질 검사방법

토마토의 외부 품질을 판단하기 위한 첫째 인자는 크기 또는 중량이며, 이에 못지 않게 토마토의 외형이나 색상도 중요하다. 본 연구에서 개발하고자 하는 보급형 토마토 선별기의 경우 그 투입방법을 자동화하는 것은 경제적으로 바람직하지 않아 수작업으로 수행하는 것으로 하였고 외형상 문제점이나 색상은 토마토 투입 작업자에 의해 판단하도록 가정하였다. 그 이유는 토마토 품질에 고려해야 하는 외형상 문제점이 찌그러지거나 움푹 패인 흠집, 기형, 벌레에 의한 구멍, 기계적 손상 등 다양한 형태가 있을 수 있고 이러한 외형상 문제점을 기계적으로 검사하기 위해서는 선별 대상 모든 토마토의 전체 표면을 관찰할 수 있는 기계시각(machine vision)이 필요한데 이는 고가의 복잡한 장치를 사용해야 할 것으로 판단되기 때문이다. 그런데 토마토를 선별기에 투입하는 작업은 수작업으로 수행하는 것으로 가정하였으므로 이러한 외형상 문제점이나 색상은 토마토 투입 작업 시 작업자가 검사하도록 하는 것이 타당한 것으로 판단되기 때문이다. 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 보급형 선별기에서 토마토 외부품질 검사 항목은 중량(또는 크기)만을 고려하는 것으로 결정하였다.

2) 내부품질 검사방법

과일 품질의 내부적 인자인 당도나 산도 등은 위의 국내외 기술개발 동향에서 설명한 바와 같이 최근 VIS/NIR 영역의 분광 스펙트럼 분석에 의해 비파괴적인 방법으로 측정이 가능하다. 이러한 과일의 당도 측정방법으로서 최근 보고된 VIS/NIR 영역의 분광 스펙트럼의 측정방법은 반사 스펙트럼(reflectance spectrum)과 투과 스펙트럼(transmittance spectrum)을 측정하는 방법이 있는데, 반사 스펙트럼을 이용하는 방법은 그 장치가 비교적 간단한 장점이 있는 반면 과일 표면으로부터 깊이 수 mm 내부의 특성만을 파악하므로 과일 내부의 전반적 특성을 구하는 데는 한계가 있다. 반면에 투과 스펙트럼을 이용하는 방법은 신호를 전달하는 빛이 과일의 내부를 통과하므로 과일 내부의 전반적 특성을 구하는 데는 효과적이나 이를 위해서는

강도가 높은 조명장치와 좀더 높은 감도의 센서를 필요로 하는 단점이 있다. 이러한 특성 때문에 반사 스펙트럼을 이용하여 과일의 특성을 구하는 방법은 일반적으로 사과나 배와 같이 껍질이 얇은 과일에 이용되고, 투과 스펙트럼은 밀감과 같이 껍질이 두꺼운 과일에 이용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 사항을 고려하여 완숙 토마토의 내부 품질 측정 장치를 구조가 간단하면서도 그 측정이 가능할 것으로 판단되는 반사 스펙트럼을 이용하는 방법을 일차적으로 고려하여 개발하고자 하였고 그에 따른 일련의 실험을 수행하였다. 그러나 뒤에서 설명한 바와 같이 본 연구에서 일차로 시도한 토마토 표면의 반사 스펙트럼을 이용한 방법에 의해 토마토의 당도를 예측하는 것은 그 오차가 예상 밖으로 크게 나타나 본 연구에서는 2차적인 방법으로 투과 스펙트럼을 이용한 방법에 대해서도 실험하였다. 투과 스펙트럼을 이용하는 방법에 대해서는 당도 외에 산도와 경도 예측의 가능성도 동시에 검토하였다.

나. 개발 선별기의 본체 구조 결정

1) 크기 중량 선별방법 결정

과채류 선별에 있어 크기 또는 중량은 가장 필수적인 인자로서 이는 크기와 중량을 각각 이용하는 두 종류로 구분할 수 있다. 즉 크기를 인자로 하는 크기 선별기로 대표적인 것은 드럼식 선별기로서 원통에 크기가 다른 구멍을 뚫어 선별하는 방법이다. 반면 중량 선별기는 스프링이나 strain gage 원리를 이용하는 load-cell을 사용하고 있다. 이러한 크기 또는 중량 선별기 중 load-cell을 사용하는 중량 선별기는 최근 급속도로 발달한 전기 전자 관련 기술을 사용하며 그 가격도 비교적 저렴하여 크기 선별기나 스프링식 중량 선별기 보다 좀더 정밀 선별이 가능하고 고속작업이 가능하며 경제적이다.

본 연구에서 개발하고자 하는 토마토 선별기는 그 취급 물량으로 판단할 때 고속의 것이 바람직하며 이들의 성능 대비 가격을 보면 load-cell 사용 중량 선별기가 본 연구 목적에 합당한 것으로 판단하였다.

2) 본체와 내부품질 측정장치의 조합

본 연구에서 개발하고자 하는 토마토 선별의 기본 장치는 그림 1-1과 같이 load cell을 이용한 중량측정 장치를 갖춘 기본 장치에 VIS/NIR을 이용하여 토마토 내부 품질을 측정 장치를 부착하는 구조로 구성하고자 하였다.

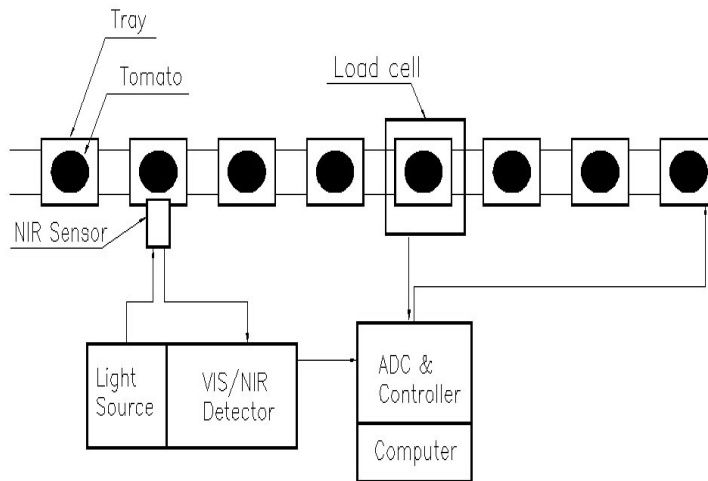


그림 1-1 개발 토마토 선별기 주요 구조의 개략도

과일 중량선별기는 기본적으로 개개 과일을 얹는 컵(tray 또는 cup)을 연속해서 운반하고 선별 등급에 따라 등급별로 자동 배출하는 이송·배출장치와 중량선별장치로 구성되어 있다. 본 연구에서 개발하는 완숙 토마토 선별기의 본체를 결정하기 위하여 국내외에서 생산되고 있는 다양한 종류의 과일 컵과 그 이송장치(국내의 한성엔지니어링, 평화 이엔지, 남선 엔텍, 세원 이엔지, 그리고 프랑스와 이태리의 MAF, 이태리의 UNITEC, 일본의 Maki 등)를 검토하였다. 그 결과 국내 한성엔지니어링사의 직선형 중량선별기로 결정하였는데, 이는 load-cell을 사용하는 전자식 중량 측정 장치를 내장하고 있으며 16등급의 선별이 가능한 것으로서 그 전반적인 구조는 그림 1-2와 같이 과일 이송·배출장치(자동 공급장치는 포함하지 않음)가 있는 선별기이다.

본 연구에서는 이러한 기본 장치에 대하여 본 연구에서 개발하여 적용하고자 하는 토마토 내부 품질검사장치와의 연동 운전 가능성을 H/W 그리고 특히 S/W 측면에서 사전 검토하였으며 그 결과 선택한 기종은 본 연구 목적에 적합한 기종임을 확인하였다. 다만 선택한 선별기는 중량선별 전용기로서 이에 토마토 내부품질 검사장치를 추가 설치함으로써 본래 설치된 컵의 구조를 변경하여 사용하였으며 그 상세 구조는 실험장치에서 설명한 바와 같다.

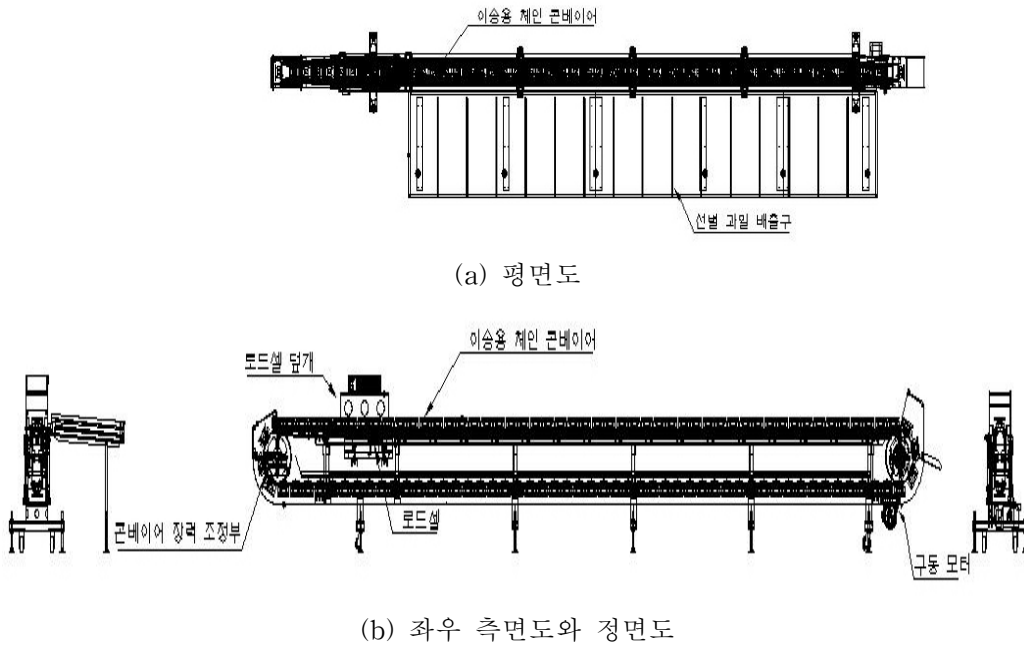


그림 1-2 선정한 과일선별기 본체의 개략도

2. 실험 재료 및 방법

가. 실험 장치

1) 반사 스펙트럼 측정 장치

반사 스펙트럼 측정 장치의 개략적 구조는 그림 2-1과 같이 크게 광 조사부와 수광부로 나눌 수 있는데, 광원 조사부는 광원(light source)과 광섬유 다발(branch light guide), 그리고 수광부는 광섬유 다발과 분광측정기(spectrometer)로 구성하였으며 각 요소의 세부 사양은 다음과 같다.

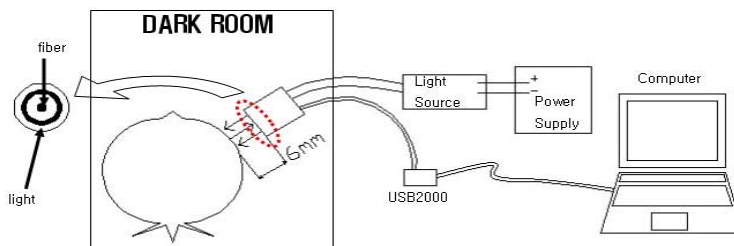


그림 2-1 반사 스펙트럼 측정 장치의 개략적 구조

광원은 tungsten-halogen lamp(용량: 100 W)를 사용하였는데 이는 그림 2-2와 같이 집광 렌즈와 냉각기를 갖춘 lamp house(서광 옵티컬)를 제작하고, 최대전압 20 V 최대전류 5 A로서 100W 전력을 발생하는 DC power supply(HPS - 205G, 한일시험기) 연결하여 사용하였다. 본 연구에서 사용한 분광측정기는 비교적 저가의 제품이나 그 성능이 안정적인 것으로 알려진 Ocean Optics 회사(U.S.A.)의 USB2000 (측정 파장범위: 650-1100 nm, slit: 200 μ m)이었다. 광원과 시료 그리고 시료와 수광부인 분광측정기간의 광회로 연결은 그림 2-3과 같은 광섬유 다발(서광 옵티컬)을 제작하여 사용하였다. 이는 동심원의 외부에 여러 가닥의 유리 광섬유(glass optical fiber)를 배열하고 이를 통하여 물체에 광원의 빛을 조사하도록 하였다. 광섬유 다발의 중앙은 파장 180 nm부터 1100 nm까지 빛의 스펙트럼을 통과할 수 있도록 pure fused silica를 재료로 하는 광섬유(직경 200 μ m)를 중앙 부분에 배치하고 관찰 대상 물체로부터 반사광을 받아 분광측정기에 보내주는 역할을 하는 것이었다. 본 연구에서 사용한 분광측정기는 스펙트럼 측정 시 Ocean Optics사에서 제공하는 OOIBase32 소프트웨어를 사용하였으며, 사용 전 99%의 표준 반사체(diffuse reflectance standard; Labsphere Inc., U.S.A.)를 사용하여 측도 보정하였다. 측정된 모든 스펙트럼 자료는 광 파장의 분해능이 2 nm인 자료로 변환하여 사용하였다.

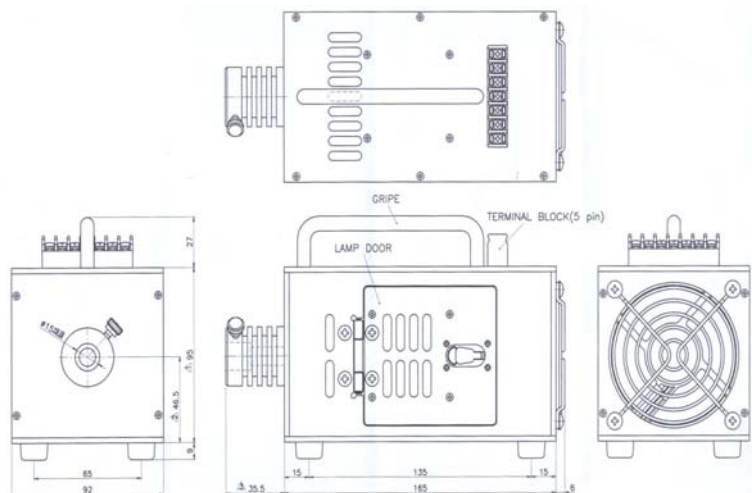


그림 2-2 광원 관련 요소 결합체의 구조

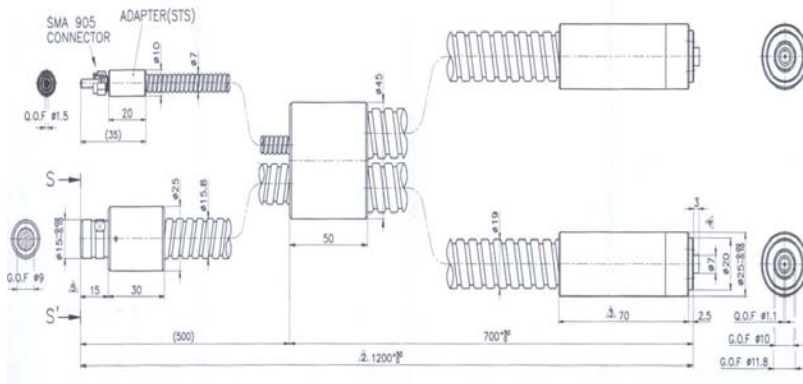
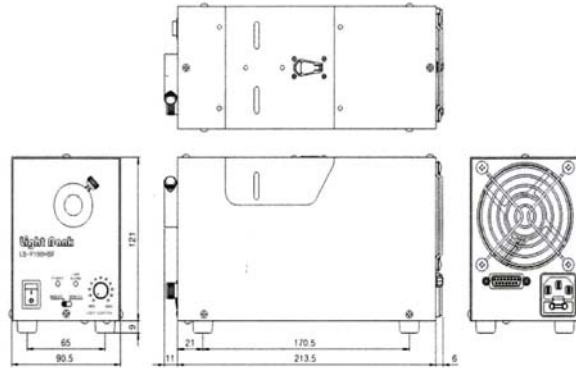


그림 2-3 반사 스펙트럼 측정에 광섬유회로의 구조

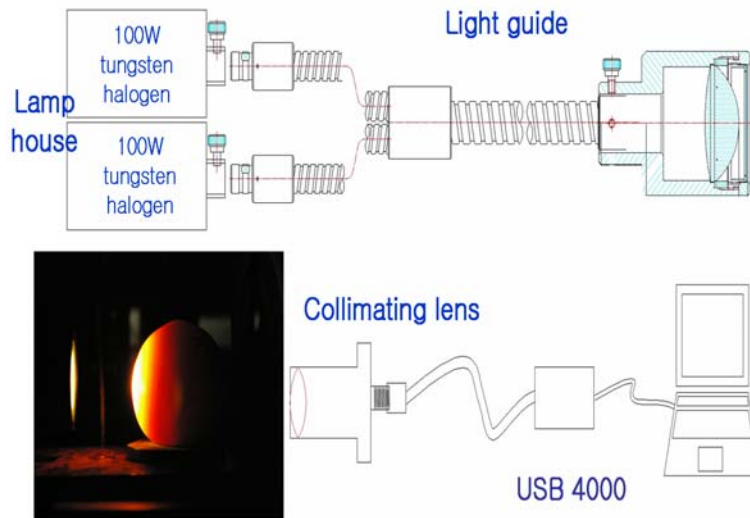
2) 투과 스펙트럼 측정 장치

투과 스펙트럼을 측정하기 위해 사용한 광원은 반사 스펙트럼 측정에 사용한 광원과 같은 100 W 용량의 tungsten-halogen lamp를 장착한 lamp house(서광 옵티컬)를 사용하였고, 전원으로 DC power supply(HPS-3020, 한일시험기)를 사용하였다. 투과 스펙트럼을 측정하기 위해서 2 대의 lamp house를 사용하였는데, 이는 그림 2-4와 같은 광섬유 다발(서광 옵티컬)을 제작하여 두 광원의 빛을 병렬 연결되도록 하였다. 사용 시 각각의 광원은 power supply의 전압과 전류를 조절하여 소비전력이 각각 50 W 되도록 하여 광원의 총 소비전력이 100 W가 되도록 하였다. 광원부에서 나오는 빛을 시료(토마토)에 집중 조사하기 위하여 광섬유 다발은 그림과 같이 그 끝단에 집광렌즈를 장착하고, 이 집광렌즈와 시료 표면까지의 거리는 4~5 cm 정도 되도록 사용하였다.

토마토를 투과한 광은 Ocean Optics Co., (U.S.A.)의 USB4000 (측정 파장범위: 650-1100 nm, slit: 100 μ m) 분광측정기를 사용하여 스펙트럼을 측정하였다. 이 분광측정기는 VIS/NIR의 빛을 받아들이는 광섬유 끝단에 200 - 2000 nm 대역의 VIS/NIR 스펙트럼을 받아들이는 collimating lens를 부착하여 사용하였다. 본 연구에서 사용한 분광측정기는 반사 스펙트럼 측정과 마찬가지로 Ocean Optics사에서 제공하는 OOIBase32 소프트웨어를 사용하여 물체의 스펙트럼을 측정하였고, 측정된 모든 스펙트럼 자료는 광 파장의 분해능이 2 nm인 자료로 변환하여 사용하였다.



a) 광원



b) 분광측정기와 조합

그림 2-4 투과 스펙트럼 측정 장치의 광원과 광섬유 다발 및 분광측정기 조합

3) 당도, 경도, 산도 측정기

토마토의 당도는 다음과 같은 전기 전도식 당도계(PR-32a, Atago Co., Japan)를 사용하여 측정하였다. 사용한 당도계는 증류수에 설탕을 용해시켜 일정 당도의 시료를 만들어 그 정확도를 실험을 하였다.



그림 2-5 당도계

경도는 그림 2-6과 같은 Multi-Test (i-1, Mecmesin Co., UK)를 사용하여 측정하였고, 산도는 bench top형 pH meter (Orion 3-Star, Thermo Inc., USA)를 사용하였다.



그림 2-6 경도 측정기

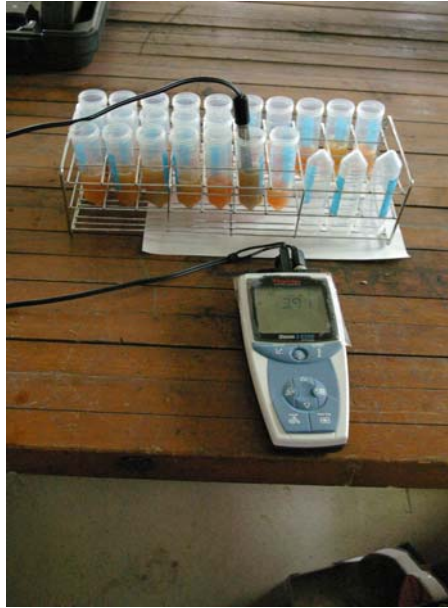


그림 2-7 산도계

4) 실증실험 장치

실증실험에 사용한 선별장치는 앞의 개발선별기의 개념설계에서 소개한 직선 컨베이어형 중량선별기를 본체로 사용하였고, 이에 본 연구에서 개발한 토마토의 투과 스펙트럼 측정용 하드웨어와 소프트웨어를 제작하여 설치하였다.

컨베이어를 갖춘 선별기에 있어 투과 스펙트럼을 연속적이며 안정적으로 측정하기 위해서는, 스펙트럼 측정 시 불확실성을 가능한 제거하기 위하여 투과 스펙트럼 측정용 probe와 피측정 토마토와의 거리를 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 그리고 투과 스펙트럼 측정용 probe를 설치할 경우, 가장 간단한 방법은 선별용 과일 컵 바닥에 구멍을 뚫고 그 아래에 투과 스펙트럼 측정용 probe를 수직상향으로 고정하는 방법인데 이러한 방법으로 설치하였을 경우 장시간 사용 시 probe의 끝단에는 먼지가 쌓이는 문제가 발생할 수밖에 없다.

이상의 두 가지 문제점을 해결하기 위하여, 본 연구에서는 투과 스펙트럼 측정용 probe를 수평방향으로 설치하고 사용하는 선별용 과일 컵의 바닥은 그림 2-8과 같이 경사지게 하여 컵 위에 놓인 토마토는 항상 컵 한쪽 면에 접하게 하고 토마토가 접하는 컵의 측면은 구멍을 뚫어 스펙트럼 측정용 probe와 토마토의 거리는 항상 일정하게 유지되도록 제작 하였다.

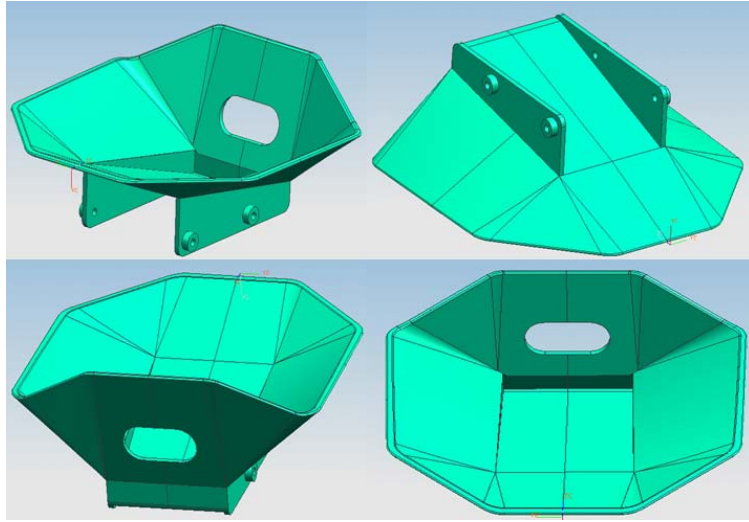


그림 2-8 개발한 선별기에 사용하기 위해 제작한 과일 컵

그림과 같이 본 연구에서 개발한 선별용 과일 컵은 벽면(수광부 방향)에 구멍을 만들어 광조사부에서 조사한 빛이 토마토를 통과한 후 수광부의 스펙트럼 측정용 probe에 도달하도록 그림 2-9와 같이 선별기 본체에 설치하여 사용하였다.

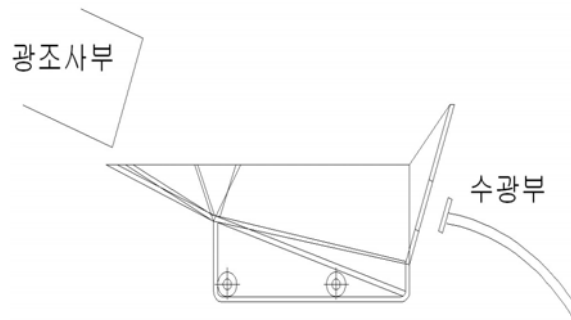


그림 2-9 신규 제작 선별컵과 투과광 측정장치의 설치 구조

나. 실험 방법

보급형 완숙 토마토 선별장치 개발을 위해 본 연구는, 첫째 광원 안정화 실험을 반사광 스펙트럼 측정용 광원과 투과광 스펙트럼 측정용 광원에 대하여 각각 수행하였다. 광원에 관한 실험에 이어 본 연구에서는, 반사광과 투과광의 스펙트럼을 이용

한 토마토 내부품질 예측을 위한 실험을 각각 분리하여 수행하였으며, 각 실험에 있어 그 구체적인 내용과 수행방법은 다음과 같다.

1) 광원 안정화 실험

광원의 특성이 광학적으로 일정하지(안정되지) 못한 경우 이를 이용하여 측정된 스펙트럼의 특성 또한 불안정하게 되므로 광학 측정에 있어 안정된 광원을 사용하는 것은 매우 중요하다. 그런데 대부분의 광원의 특성은 전기 에너지 공급 후 시간이 경과함에 따라 변할 가능성이 크고 그 특성이 변하지 않을 때(안정화 소요시간)까지 상당 시간을 소요하므로 본 연구에서는 이를 다음과 같은 실험을 통하여 그 안정화 소요시간을 구하였다.

가) 반사광 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험

반사 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험은 광원에서 조사된 빛의 강도(intensity)를 광원에 전기 에너지를 공급한 직후부터 그 반사율이 20%, 40%, 99%인 표준 반사체(DRS)를 사용하여 그 반사광 강도를 측정하였다. 본 실험은 약 12시간 동안 파장 650~950 nm에 대해 USB2000 (Ocean Optics Inc., U.S.A.)을 중심으로 구성된 반사 스펙트럼 측정 장치를 사용하여 측정(측정값은 saturation counts이며 이는 반사율로 환산 가능함)하였다.

나) 투과광 스펙트럼 측정용 광원의 공급 에너지 결정 실험

특정 물체의 투과 스펙트럼을 측정하기 위해서는 사용하는 광원의 소요 광량을 먼저 결정하여야 한다. 광원의 광량은 광원에 공급하는 전기 에너지 양으로 조절할 수 있는데, 본 연구에서는 토마토의 소요 광량을 파악하고자 직경이 9 cm 정도로서 비교적 큰 토마토에 50~160 W의 전기 에너지를 공급하며 투과 스펙트럼을 관찰하였다. 본 실험은 USB4000 (Ocean Optics Inc., U.S.A.)을 중심으로 구성된 투과 스펙트럼 측정 장치를 사용하여 측정하였다.

다) 투과광 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험

투과 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험은 직경이 7 cm 정도인 토마토에 투과 스펙트럼용 광원을 사용하여 빛을 조사하고 그 투과광의 스펙트럼을 USB4000을 중심으로 구성된 투과 스펙트럼 측정 장치를 사용하여 측정하였다. 실험은 광원에 전기 에너지를 공급한 직후부터 초기 3시간 까지는 15분 간격, 3시간 이후부터 6시간 까지는 30분 간격, 6시간 이후부터 12시간 까지는 1시간 간격으로 측정하여 광원이 안정화되는 시간을 조사하였다.

2) 반사광 스펙트럼 이용 내부품질 예측실험

가) 당도 예측실험

본 실험은, 첫째 토마토 반사광 스펙트럼을 이용한 당도 예측의 가능성을 판단하기 위한 실험, 둘째 토마토 표면에서 그 토마토의 평균당도를 대표적으로 측정할 수 있는 위치를 선별하는 실험, 셋째 토마토와 스펙트럼 측정용 probe간의 거리에 무관한 예측모형 개발 가능성을 판단하는 실험, 그리고 마지막으로 토마토 수확시기와 품종에 무관한 단일모형의 개발 가능성을 판단하는 4 종류의 실험을 수행하였다.

당도 예측을 위한 토마토의 반사광 스펙트럼은 그 측정 시 토마토와 반사광 스펙트럼 측정용 probe와의 거리를 ‘측정거리 무관 단일모형 개발 가능성 판단실험’을 제외하고는 모두 6 mm로 유지하며 측정하였다. 토마토 반사광 스펙트럼을 측정한 후 반사광 스펙트럼을 측정한 지점에서 토마토 표면으로부터 깊이 2~3 mm의 시료를 채취하여 토마토의 실제 당도(실측 당도)를 굴절 당도계(PR-32, Atago, JAPAN)로 측정하였다.

(1) 당도 예측 가능성 판단 실험

반사광의 분광특성을 이용하여 토마토의 내부품질 변수 중 하나인 당도의 예측 가능성을 판단하고자, 총 60개의 토마토를 대형 식료품 가게에서 구입하여 2005년 3월에 실험(# 5030)하였다. 실험은, 각 샘플 토마토 당 임의 3 지점에서 반사 스펙트럼을 측정하였다.

수집한 토마토의 실험 자료는 총 179개로서, 이는 모형 개발용 120개 (당도 범위: 2.2~7.8 Brix)와 개발한 모형의 검증용 59개(당도 범위: 2.3~6.0 Brix)로 구분한 다음, 모형개발용 토마토 자료에 대해서는 측정된 토마토의 반사 스펙트럼과 토마토의 실측 당도와의 회귀관계를 PLS 분석하여 다양한 전처리별 당도 예측모형을 개발하였고, 개발한 모형은 모형 검증용 토마토 실험자료를 사용하여 그 정당성을 검증하였다.

(2) 토마토의 대표적인 당도 측정위치 선별실험

콘베이어를 사용하는 연속식 선별기에서 반사 스펙트럼을 측정하여 토마토의 당도를 예측할 경우, 토마토의 측정점은 1~2 지점만이 가능하므로 그 측정점은 가능한 그 토마토 당도를 대표할 수 있는 지점으로 하여 수행하는 것이 바람직하다. 이를 고려하여 본 연구에서는 토마토의 전체 당도를 대표할 수 있는 지점을 선별하기 위하여 하나의 토마토를 절반으로 절단하여 그림 2-10에 명시한 토마토 표면 9 지점, 토마토 내부 중간 8 지점, 내부 중앙 부위 8 지점에 대하여 각 지점의 당도를 굴절 당도계를 이용하여 측정하고 그 평균을 구한 다음, 그 평균과 근사한 당도 값을 갖는 지점을 찾아서 이를 토마토의 전체 당도를 대표하는 지점으로 결정하였다. 본 실

험은 10개의 토마토를 사용하여 2005년 4월 수행하였다.

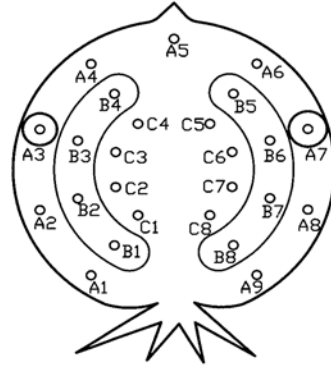


그림 2-10 토마토 전체 당도를 대표하는 위치를 찾기 위한 당도 측정지점

(3) 측정거리 무관 단일모형 개발 가능성 판단실험

콘베이어를 사용하는 연속식 선별기에서 반사 스펙트럼을 측정하여 토마토의 당도를 예측할 경우, 토마토와 토마토 반사 스펙트럼 측정용 probe(이하 “반사광 probe”로 약칭)간의 거리는 사용하는 과일 컵의 구조에 따라 다르기는 하나 일반적으로 피 측정 토마토의 크기에 따라 달라진다. 이 경우 스펙트럼 측정에 포함되는 측정의 불확실성이 일정하지 않아 당도 예측의 정확도가 낮아질 가능성이 크다. 본 연구에서는 이 점을 고려하여 토마토 분광 스펙트럼 측정 시 토마토와 반사광 probe간의 거리에 무관한 당도 예측 단일모형의 개발 가능성을 검토하기 위하여 본 실험을 수행하였다.

실험은 토마토와 반사광 probe간의 거리를 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41 mm의 간격을 유지하며 반사 스펙트럼을 측정하고, 그 자료를 사용하여 5종의 측정거리별(6 mm, 6~11 mm, 6~21 mm, 6~31 mm, 6~41 mm) 당도 예측모형을 개발하고 검증하였다. 실험은 표 2-1과 같이 2005년 7월(실험# 5071)과 11월(실험# 5111)에 수확한 토마토(전남 장성군 황룡면에서 생산)를 사용하여 2회 수행하였으며, 당도 예측모형 개발 시 사용한 샘플 수는 실험# 5071과 5111에서 8종류의 각 측정 거리별로 35개, 개발한 모형의 검증 시 사용한 자료 수는 실험# 5071과 5111에서 각 측정 거리별로 각각 15개 그리고 10개씩이었다. 측정거리에 무관한 당도예측 단일모형 개발 가능성 판단실험에 사용한 토마토 샘플의 수량과 당도의 범위는 표 2-1과 같다.

표 2-1 측정거리 무관 단일 모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 당도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Sugar content range (Brix)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
5071	수퍼 도태랑	280	120	3.9~5.7	4.4~5.5
5111	수퍼 선로드	280	80	3.7~5.1	3.5~4.8

(4) 수확시기와 품종 무관 단일모형 개발 가능성 검토

토마토의 내부품질 특성은 토마토의 품종이나 재배 및 수확 시기에 따라 차이가 있을 것으로 예상되며 그러한 차이는 분광 스펙트럼을 이용한 당도 예측모형에 영향을 줄 것으로 판단되었다. 이 점을 고려하여 토마토의 품종과 재배 및 수확시기에 따른 모형을 각각 개발하는 것은 비현실적이므로, 본 연구에서는 수확시기와 품종이 다른 토마토에 대해 수확시기와 품종에 무관한 당도 예측용 단일모형의 개발 가능성을 검토하기위해서 본 실험을 수행하였다.

수확시기와 품종 무관 단일모형 개발 가능성을 검토하기 위하여 2005년 5월(실험# 5050)과 2006년 5월(실험# 6050)에 각각 수확한 토마토를 사용하여 수행하였으며, 실험# 5050과 6050에 사용한 토마토 샘플의 수량과 당도의 범위는 표 2-2와 같다.

표 2-2 수확시기 무관 단일모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플

Test#	Cultivar	Number of data		Sugar content range (Brix)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
5050	초복 파위	250	112	3.5~8.4	4~7.9
6050	수퍼 도태랑	500	238	3.2~6.6	3.1~5.6

위에서 설명한 실험# 5050과 6050 외에 본 수확시기와 품종에 무관한 단일 모형의 개발 가능성 검토 실험에 사용할 수 있는 실험 자료는 앞에서 설명한 측정거리 무관 단일모형 개발 가능성 판단실험에서 수집한 실험# 5071과 5111의 자료이지만, 실험# 5111과 6050의 자료는 그들을 이용하여 개발한 모형의 정당성 검증결과가 좋지 않은 것으로 분석되어 수확시기와 품종 무관 단일 모형의 개발에는 사용하지 않았으며, 본 수확시기와 품종 무관 단일모형 개발 가능성 검토 실험은 실험# 5030과 5071의 자료, 실험# 5050과 5071의 자료를 혼합하여 사용하여 수행하였다.

나) 경도 예측실험

본 실험은, 첫째 토마토 반사광 스펙트럼을 이용한 경도 예측의 가능성을 판단하기 위한 실험, 둘째 토마토에서 그 토마토의 평균경도를 대표적으로 측정할 수 있는 위치를 선발하는 실험 그리고 마지막으로 토마토 수확시기와 품종에 무관한 단일모형의 개발 가능성을 판단하는 3 종류의 실험을 수행하였다.

실험 시 각 토마토는 상부, 중간, 하부로 구분하고 각 부분에서 3 지점을 선택하여 반사 스펙트럼을 측정하고, 반사 스펙트럼을 측정한 지점에 대해서는 그 토마토의 실제 경도(실측 경도)를 물성 측정기인 Multi-test (i-1, Mecmesin Co., UK)를 사용하여 측정하였다. Multi-test에 의한 경도의 측정은, 직경이 12 mm인 경도 측정용 probe를 물성측정기의 loadcell 끝에 결합하여 20 mm/min의 속도에서 토마토를 6 mm 깊이까지 압입시키는 동안 최대 압입력을 측정하는 방법으로 수행하였다.

(1) 경도 예측모형 개발 가능성 판단 실험

반사광의 분광특성을 이용하여 토마토의 내부품질 변수 중 하나인 경도의 예측 가능성을 판단하고자, 전남 장성군 황룡면 소재 토마토 생산 농가에서 생산하고 2007년 4월에 수확한 슈퍼선로드 품종의 토마토를 사용하여 실험(# 7040)하였다. 실험은 총 238개의 토마토에서 총 2141개의 측정 자료를 수집하였으며, 이는 모형 개발용 1500개(경도 범위: 15.4~88.1 N)와 개발한 모형의 검증용 641개(경도 범위: 10.6~59.8 N)로 구분하였다. 모형개발용 토마토 자료에 대해서는 측정한 토마토의 반사 스펙트럼과 토마토의 실측 경도와 회귀관계를 PLS 분석하여 경도 예측모형을 개발하였고, 개발한 모형은 모형 검증용 토마토 자료를 사용하여 모형의 정당성을 검증하였다.

(2) 토마토의 경도 대표지점 선발실험

토마토의 당도 대표지점 선발과 마찬가지로, 콘베이어를 사용하는 연속식 선별기에서 반사 스펙트럼을 측정하여 토마토의 경도를 예측할 경우, 토마토의 측정점은 1-2 지점만이 가능하므로 그 측정점은 가능한 그 토마토 전체 경도를 대표할 수 있는 지점으로 하여 수행하는 것이 바람직하다. 이를 고려하여 본 연구에서는 토마토의 전체 경도를 대표할 수 있는 지점을 선발하기 위하여, 하나의 토마토에서 그림 2-11에 명시한 토마토 표면의 12 지점(상부는 1~4, 중간은 5~8, 하부는 9~12)에 대하여 각 지점의 경도를 물성측정기인 Multi-test를 이용하여 측정하였다. 각 토마토의 측정값에 대해서는 그 평균을 구한 다음, 그 평균과 근사한 경도 값을 갖는 지점을 찾아서 이를 토마토의 전체 경도를 대표하는 지점으로 결정하였다. 실험은 전남 장성군 황룡면 소재 토마토 생산 농가에서 생산하고 2007년 4월에 수확한 슈퍼선로드 품종의 토마토로서 총 110개의 토마토를 사용하여 수행하였다.

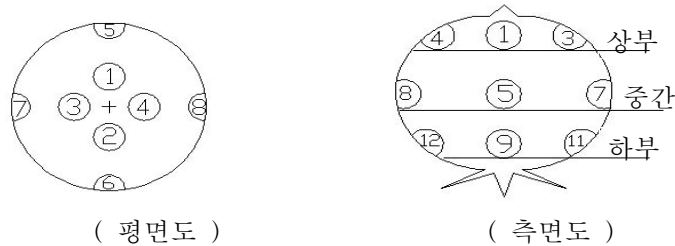


그림 2-11 토마토의 경도 측정 위치

(3) 수확시기와 품종 무관 경도 예측 단일모형 개발 가능성 판단 실험

토마토의 내부품질 특성은 토마토의 품종이나 재배 및 수확 시기에 따라 차이가 있을 것으로 예상되며 그러한 차이는 분광 스펙트럼을 이용한 경도 예측모형에 영향을 줄 것으로 판단되었다. 이 점을 고려하여 토마토의 품종과 재배 및 수확시기에 따른 모형을 각각 개발하는 것은 비현실적이므로, 본 연구에서는 수확시기와 품종이 다른 토마토에 대해 수확시기와 품종에 무관한 경도 예측용 단일모형의 개발 가능성을 검토하기 위해서 본 실험을 수행하였다.

본 실험에 사용한 실험 자료는 위의 ‘경도 예측모형 개발 가능성 판단 실험’의 실험# 7040의 자료와 전남 장성군 황룡면에서 양액으로 재배하고 2007년 5월에 수확한 호용 품종의 토마토를 사용하여 실험(실험# 7050)한 자료였다.

실험# 7050에서는 총 300개의 토마토(품종: 호용)를 사용하여 상부, 중간, 하부의 각각 한 지점에서 경도와 반사광 스펙트럼을 측정하는 방법으로 수행하였다. 수집한 토마토의 실험 자료는 총 900개로서, 이는 모형 개발용 630개(경도 범위: 7.9~57.7 N)와 개발한 모형의 검증용 270개(경도 범위: 7.3~69.2 N)로 구분한 다음, 모형개발용 토마토 자료에 대해서는 측정된 토마토의 반사 스펙트럼과 토마토의 실측 당도와 의 회귀관계를 PLS 분석하여 당도 예측모형을 개발하였고, 개발한 모형은 모형 검증용 토마토 자료를 사용하여 모형의 정당성을 검증하였다.

수확시기와 품종이 다른 토마토에 대해 수확시기와 품종에 무관한 경도 예측용 단일모형의 개발은 각 실험의 모형 개발용 데이터를 혼합하여 개발하였고, 개발한 모형의 정당성 검증은 각 실험의 모형 검증용 데이터를 혼합하여 정당성을 검증하였다.

3) 투과광 스펙트럼 이용 내부품질 예측실험

가) 예측모형 개발에 효과적인 스펙트럼 파장대역 결정

일반적으로 분광특성을 이용한 농산물의 내부품질 예측모형 개발은 특정 유효 파

장대역을 찾아 이를 중심으로 개발하는 것이 효과적이다. 그 이유는 내부품질 예측 모형 개발에 사용하는 파장 대역의 폭이 특정 유효 파장대역의 폭보다 너무 클 경우, 분광 스펙트럼의 범위와 관련된 독립변수인 파장의 수가 너무 많아 내부품질을 예측하기 위해 효과적인 독립변수를 찾는데 장시간의 전산작업이 요구될 뿐만 아니라 이렇게 많은 독립변수를 사용하여 모형을 개발할 경우 ‘다중공선성 문제’라 불리는 독립변수들 간의 문제가 발생하기 때문이다. 이는 종속변수를 설명하는 독립변수의 설명력이 독립변수들 간에 높은 상관에 의해 그 설명력이 줄어드는 문제로서, 한 독립변수가 다른 독립변수와 높은 상관관계가 있어 발생하는 공선성의 문제가 어떤 독립변수에 발생하여 그 자신이 독자적으로 회귀모형에 기여하지 못하는 현상을 말한다.

본 연구에서는 투과 스펙트럼을 이용하여 토마토의 내부품질을 예측하는 모형 개발 실험에 앞서 예측모형 개발에 효과적인 스펙트럼 파장대역 결정하기 위하여 다음과 같이 실험하였다.

투과 스펙트럼 이용실험에서 사용한 분광측정기는 임의 빛의 스펙트럼 중 650 nm 부터 1100 nm 파장대역의 스펙트럼을 측정하는 기기로서, 그림 2-12는 동 측정기로서 수집한 토마토의 분광 스펙트럼 중 그 높이가 다양한 수개의 스펙트럼 측정 결과를 겹쳐 보인 것이고, 그림 2-13은 동일한 스펙트럼에 대해 650~700 nm 범위의 것을 확대한 것이다.

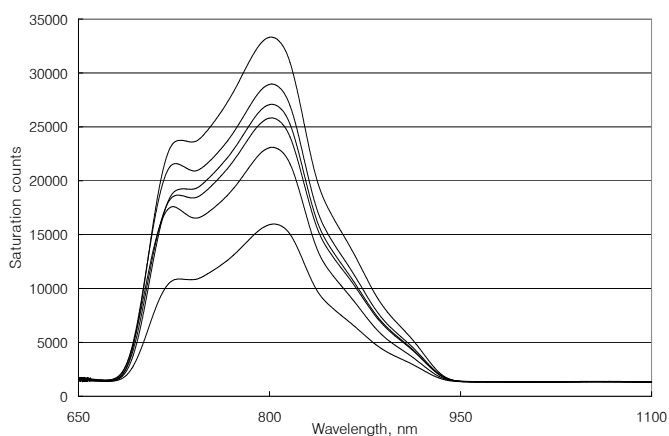


그림 2-12 수종의 토마토 분광 스펙트럼 예시

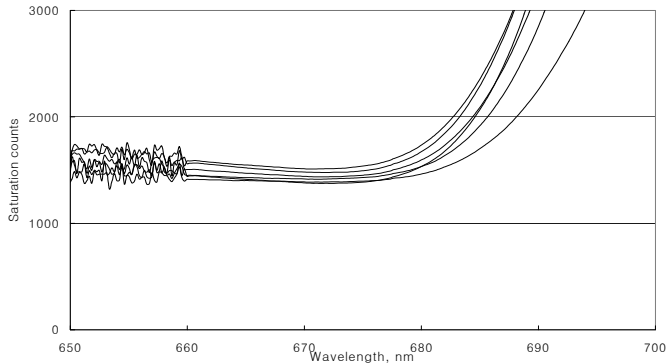


그림 2-13 예시한 토마토의 분광 스펙트럼의 일부 확대

그림을 보면, 660 nm 이하의 스펙트럼은 상하 요동이 심한 불안정 자료로서 본 연구에서 수집한 모든 스펙트럼 자료에서 660 nm 미만의 자료는 무시하기로 하였다. 그리고 그림에 의하면, 광과장 950 nm 이상의 경우 분광 스펙트럼의 변화는 거의 없고, 분광 스펙트럼이 가장 극심한 변화를 보인 영역은 660~850 nm의 범위로 판단하여 다음과 같이 과장대역을 660-850 nm, 660-950 nm, 660-1100 nm의 3종으로 구분한 후 각 과장대역의 토마토 내부품질 예측성능을 조사하였다. 토마토 내부품질 예측성능의 조사는 내부품질 인자인 당도, 경도, 산도별로 내부품질 예측 모형을 PLS 방법을 사용하여 다양한 스펙트럼 전처리별로 개발한 후 그들의 정당성을 검증하는 방법으로 수행하였고, 그 결과로부터 각 내부품질 관련 인자를 예측하는데 효과적인 스펙트럼 과장대역을 결정하였다.

본 실험(# 7030)에 사용한 토마토는 총 110개의 슈퍼 선로드 품종으로서, 전남 장성군 황룡면에서 양액재배하고 2007년 3월 수확한 것이었다.

나) 당도 예측실험

본 실험은, 첫째 투과광 스펙트럼을 이용한 토마토 당도 예측의 가능성을 판단하기 위한 실험, 둘째 수확시기에 무관한 당도 예측의 가능성을 판단하는 실험, 셋째 단일 품종에 대한 수확시기 무관 당도 예측모형 개발 가능성을 판단하는 실험, 넷째 수확시기와 품종 무관 단일 예측모형 개발 가능성을 판단하는 4 종류의 실험을 수행하였다.

(1) 당도 예측 가능성 판단 실험

투과광의 분광특성을 이용하여 토마토의 내부품질 변수 중 하나인 당도의 예측 가능성을 판단하는 실험은, 위에서 설명한 실험# 7030 그리고 2007년 4월(실험# 7040), 5월(실험# 7050) 그리고 7월(실험# 7070)에 수확한 토마토(전남 장성군 황룡면에서

양액재배생산)로 그 품종은 각각 슈퍼선로드, 호용, 슈퍼탑이었고 그 수는 각각 353개, 373개, 그리고 360개였다. 실험은, 각 샘플 토마토의 투과 스펙트럼을 측정하고, 착즙한 후 실제 당도(실측 당도)를 굴절 당도계(PR-32a, Atago, JAPAN)를 사용하여 측정하였다. 수집한 토마토의 실험 자료를 모형 개발용과 개발한 모형의 검증용으로 표 2-3과 같이 구분한 다음, 모형개발용 토마토 자료에 대해서는 측정한 토마토의 투과 스펙트럼과 토마토의 실측 당도와의 회귀관계를 PLS 분석하여 다양한 전처리별 당도 예측모형을 개발하였고, 개발한 모형은 모형 검증용 토마토 실험자료를 사용하여 그 정당성을 검증하여 투과광 분광분석에 의한 토마토 당도 예측의 가능성을 판단하였다.

표 2-3 당도 예측모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 당도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Sugar content range (Brix)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
7030	슈퍼선로드	70	40	4.8~7.6	4.4~6.4
7040	슈퍼선로드	300	53	3.9~8.6	4.2~7.6
7050	호용	300	73	3.8~6.5	3.6~6.1
7070	슈퍼탑	300	60	3.0~5.6	3.1~4.9

(2) 수확시기 무관 당도 예측 가능성 판단 실험

위의 당도 예측 가능성 판단 실험에서 구한 수확시기별 당도 예측모형으로 다른 수확시기 토마토를 대상으로 검증하고 그 예측의 수준을 판단하여 수확시기에 무관한 당도 예측모형 개발 가능성을 파악하였다.

(3) 단일 품종의 수확시기 무관 당도 예측 가능성 판단 실험

수확시기와 품종에 무관한 당도 예측모형의 개발 가능성을 검토하기 전에 먼저 단일 품종 토마토에 대하여 수확시기에 관계없이 당도를 예측할 수 있는 모형을 개발하고 그 성능을 판단하였다. 이는 품종이 같고 수확시기가 다른 실험# 7030과 실험# 7040 자료를 혼합(사용한 토마토의 품종과 당도의 범위 및 샘플의 수는 표 2-4와 같음)하고 전처리한 후 각 전처리별 당도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증하는 방법으로 수행하였다. 혼합 모형(혼합 자료를 이용하여 개발한 예측모형)의 개발과 검증에는 각각 실험의 모형 개발용 자료를 혼합하여 혼합 모형을 개발하였고, 혼합 모형의 검증에는 각각의 검증용 데이터를 혼합하여 개발한 혼합 모형의 검증에 사용하였다.

표 2-4 단일 품종에 대한 수확시기 무관 당도 예측모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 당도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Sugar content range (Brix)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
7030	수퍼선로드	70	40	4.8~7.6	4.4~6.4
7040		269	84	3.9~8.6	4.2~7.6

(4) 수확시기와 품종 무관 당도 예측 단일모형 개발 가능성 판단 실험

토마토 품종과 수확시기에 무관한 당도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하기 위하여, 수확시기별로 품종이 다른 실험# 7040과 실험# 7050자료를 혼합(전체 726개 자료 중 예측모형 개발용 578개, 정당성 검증용 148개 자료로 구분)하고 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 정당성을 검증한 다음, 실험# 7040과 실험# 7050과 실험# 7070자료를 혼합(사용한 토마토의 품종과 당도의 범위 및 샘플의 수는 표 2-5와 같음)하여 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 정당성을 검증하여 그 개발 가능성을 파악하였다. 혼합 모형의 개발과 검증에는 각각 실험의 모형 개발용 데이터를 혼합하여 혼합 모형을 개발하였고, 혼합 모형의 검증에는 각각의 검증용 데이터를 혼합하여 개발한 혼합 모형의 검증에 사용하였다.

표 2-5 수확시기와 품종 무관 단일모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 당도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Sugar content range (Brix)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
7040	수퍼선로드	289	64	3.9~8.6	4.1~7.1
7050	호용	289	84	3.8~6.5	3.6~6.1
7070	수퍼답	300	60	3.0~5.6	3.1~4.9

다) 경도 예측실험

본 실험은, 당도 예측실험과 동일한 방법으로 수행하였다. 즉, 첫째 투과광 스펙트럼을 이용한 토마토 경도 예측의 가능성을 판단하기 위한 실험, 둘째 수확시기에 무관한 경도 예측의 가능성을 판단하는 실험, 셋째 단일 품종에 대한 수확시기 무관 경도 예측모형 개발 가능성을 판단하는 실험, 넷째 수확시기와 품종 무관 단일 예측

모형 개발 가능성을 판단하는 4 종류의 실험을 수행하였다.

(1) 경도 예측 가능성 판단 실험

투과광의 분광특성을 이용하여 토마토의 내부품질 변수 중 하나인 경도의 예측 가능성을 판단하고자, 경도 예측 가능성 실험은, 위에서 설명한 실험# 7030 그리고 2007년 4월(실험# 7040), 5월(실험# 7050) 그리고 7월(실험# 7070)에 수확한 토마토(당도 예측실험에서 설명한 시료와 같음)로 그 수는 각각 353개, 373개, 그리고 360개였다.

실험은, 각 샘플 토마토의 투과광 스펙트럼을 측정하고, 토마토를 그림 2-14와 같이 상부, 중간, 하부로 구분한 후 총 9지점(위치별 3지점 측정)의 실제 경도(실측 경도)를 Multi-test(i-1, Mecmesin Co., UK)를 사용하여 측정하였다. 이러한 경도 측정은 직경 12 mm인 probe를 토마토 표면에 직각방향으로 압입속도 40 mm/min, 압입 깊이 6 mm로 수행하였다.

수집한 토마토(당도 예측 실험에서 설명한 시료와 같음)의 실험 자료는 모형 개발용과 개발한 모형의 검증용으로 구분(당도 예측 실험에서 설명한 시료와 같음)한 다음, 모형개발용 토마토 자료에 대해서는 측정된 토마토의 투과광 스펙트럼과 토마토의 실측 경도와의 회귀관계를 PLS 분석하여 다양한 전처리별 경도 예측모형을 개발하였고, 개발한 모형은 모형 검증용 토마토 실험자료를 사용하여 그 정당성을 검증하였다.

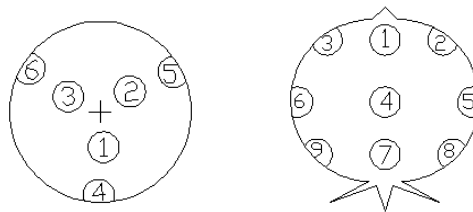


그림 2-14 경도 측정위치

(2) 수확시기 무관 경도 예측 가능성 판단 실험

위의 경도 예측 가능성 판단 실험에서 구한 수확시기별 경도 예측모형으로 다른 수확시기 토마토를 대상으로 검증하고 그 예측의 수준을 판단하여 수확시기에 무관한 경도 예측모형 개발 가능성을 파악하였다.

(3) 단일 품종의 수확시기 무관 경도 예측 가능성 판단 실험

수확시기에 무관한 경도 예측모형의 개발 가능성을 검토하기 전에 먼저 단일 품종

토마토에 대하여 수확시기에 관계없이 경도를 예측할 수 있는 모형의 개발 및 그 예측 가능성을 검토하였다. 이는 품종이 같고 수확시기가 다른 실험# 7030과 실험# 7040 자료를 혼합(전체 463개 자료 중 예측모형 개발용 339개, 정당성 검증용 124개 자료로 구분)하고 전처리한 후 각 전처리별 경도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증하였다. 혼합 모형의 개발과 검증에는 각 실험의 모형 개발용 데이터를 혼합하여 혼합 모형을 개발하였고, 혼합 모형의 검증에는 각각의 검증용 데이터를 혼합하여 사용하였다. 본 실험에 사용한 토마토의 품종과 경도의 범위 및 샘플의 수는 표 2-6과 같다.

표 2-6 단일 품종에 대한 수확시기 무관 경도 예측모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 경도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Hardness range (N)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
7030	수퍼선로드	70	40	15.4~33.5	15.9~31.3
7040		269	84	18.7~54.8	16.9~58.5

(4) 수확시기와 품종 무관 경도 예측 단일모형 개발 가능성 판단 실험

토마토 품종과 수확시기에 무관한 경도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하기 위하여 먼저, 당도 예측실험과 같이 수확시기별로 품종이 다른 실험# 7040과 실험# 7050자료를 혼합(전체 726개 자료 중 예측모형 개발용 578개, 정당성 검증용 148개 자료로 구분)하고 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 정당성을 검증한 다음, 실험# 7040과 실험# 7050과 실험# 7070자료를 혼합(전체 1086개 자료 중 예측모형 개발용 878개, 정당성 검증용 208개 자료로 구분)하여 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 정당성을 검증하여 그 개발 가능성을 파악하였다. 혼합 모형의 개발과 검증에는 각각의 실험단위의 모형 개발용 데이터를 혼합하여 혼합 모형을 개발하였다. 혼합 모형의 검증에는 각각의 검증용 데이터를 혼합한 자료를 사용하였다. 수확시기 무관 단일모형 개발 가능성 검토의 실험에 사용한 토마토의 품종과 샘플의 수 및 경도의 범위는 표 2-7과 같다.

표 2-7 수확시기와 품종 무관 단일모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 경도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Hardness range (N)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
7040	수퍼선로드	289	64	18.7~54.8	16.9~58.5
7050	호용	289	84	13.4~53.8	13.2~40.6
7070	수퍼탑	300	60	13.1~66.5	17.8~61.3

라) 산도 예측 실험

본 실험은, 첫째 토마토 투과광 스펙트럼을 이용한 산도 예측의 가능성을 판단하기 위한 실험, 둘째 수확시기에 무관한 산도 예측의 가능성을 판단하는 실험, 셋째 단일 품종에 대한 수확시기 무관 산도 예측모형 개발 가능성을 판단하는 실험, 넷째 수확시기와 품종 무관 단일 예측모형 개발 가능성을 판단하는 4 종류의 실험을 수행하였다.

(1) 산도 예측 가능성 판단 실험

투과광의 분광특성을 이용하여 토마토의 내부품질 변수 중 하나인 산도의 예측 가능성을 판단하고자, 산도 예측 가능성 실험은 2007년 4월(실험# 7040), 5월(실험# 7050) 그리고 7월(실험# 7070)에 수확한 토마토로 그 수는 각각 353개, 373개, 그리고 360개였다. 실험은, 각 샘플 토마토의 투과 스펙트럼을 측정하고, 착즙한 후 실제 산도(실측 산도)를 portable bench top형의 pH meter(Orion 3-Star, Thermo Inc., USA)를 사용하여 측정하였다. 수집한 토마토(당도 예측 실험에서 설명한 시료와 같음)의 실험 자료를 모형 개발용과 개발한 모형의 검증용으로 구분(당도 예측 실험에서 설명한 시료와 같음)한 다음, 모형개발용 토마토 자료에 대해서는 측정된 토마토의 투과 스펙트럼과 토마토의 실측 산도와의 회귀관계를 PLS 분석하여 다양한 전처리별 산도 예측모형을 개발하였고, 개발한 모형은 모형 검증용 토마토 실험자료를 사용하여 그 정당성을 검증하였다.

(2) 수확시기 무관 산도 예측 가능성 판단 실험

위의 산도 예측 가능성 판단 실험에서 구한 수확시기별 산도 예측모형으로 다른 수확시기 토마토를 대상으로 검증하고 그 예측의 수준을 판단하여 수확시기에 무관한 산도 예측모형 개발 가능성을 파악하였다.

(3) 단일 품종의 수확시기 무관 산도 예측 가능성 판단 실험

수확시기에 무관한 산도 예측모형의 개발 가능성을 검토하기 전에 먼저 단일 품종 토마토에 대하여 수확시기에 관계없이 산도를 예측할 수 있는 모형의 개발 및 그 예측 가능성을 검토하였다. 이는 품종이 같고 수확시기가 다른 실험# 7030과 실험# 7040 자료를 혼합(전체 463개 자료 중 예측모형 개발용 339개, 정당성 검증용 124개 자료로 구분)하고 전처리한 후 각 전처리별 산도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증하였다. 혼합 모형의 개발과 검증에는 각 실험의 모형 개발용 데이터를 혼합하여 혼합 모형을 개발하였고, 혼합 모형의 검증에는 각각의 검증용 데이터를 혼합하여 사용하였다. 단일 품종에 대한 수확시기 무관 단일모형 개발 가능성 검토의 실험에 사용한 토마토의 품종과 산도의 범위 및 샘플의 수는 표 2-8과 같다.

표 2-8 단일 품종에 대한 수확시기 무관 산도 예측모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 산도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Acid content range (pH)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
7030	수퍼선로드	70	40	3.75~4.52	3.67~4.19
7040		269	84	3.74~4.30	3.63~4.28

(4) 수확시기와 품종 무관 산도 예측 단일모형 개발 가능성 판단 실험

토마토 품종과 수확시기에 무관한 산도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하기 위하여 먼저, 수확시기별로 품종이 다른 실험# 7040과 실험# 7050자료를 혼합(전체 726개 자료 중 예측모형 개발용 578개, 정당성 검증용 148개 자료로 구분)하고 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 정당성을 검증한 다음, 실험# 7040과 실험# 7050과 실험# 7070자료를 혼합(전체 1086개 자료 중 예측모형 개발용 878개, 정당성 검증용 208개 자료로 구분)하여 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 정당성을 검증하여 그 개발 가능성을 파악하였다. 혼합 모형의 개발과 검증에는 각각의 실험단위의 모형 개발용 데이터를 혼합하여 혼합 모형을 개발하였고, 혼합 모형의 검증에는 각각의 검증용 데이터를 혼합하여 사용하였다. 수확시기 무관 단일모형 개발 가능성 검토의 실험에 사용한 토마토의 품종과 샘플의 수 및 산도의 범위는 표 2-9와 같다.

표 2-9 수확시기와 품종 무관 단일모형 개발 및 검증에 사용한 토마토 샘플의 수량과 산도의 범위

Test#	Cultivar	Number of data		Acid content range (pH)	
		Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
7040	수퍼선로드	289	64	3.74~4.30	3.63~4.28
7050	호용	289	84	3.44~4.60	3.61~4.42
7070	수퍼탑	300	60	3.66~4.31	3.72~4.08

3. 토마토 내부품질 예측 모형 개발

가. 내부품질 예측 모형 개발 방법 개괄

VIS/NIR 스펙트럼은 기존의 화학분석법과 달리 스펙트럼과 예측하고자 하는 성분간의 상대적인 분석법이다. 과채류에 대한 VIS/NIR 영역의 반사광이나 투과광 스펙트럼은 많은 정보를 포함한다. 즉 이러한 스펙트럼은 과채류의 색상 정보나 경도 정보 그리고 당이나 산과 같은 내부품질 등의 성분에 관한 특성을 포함한다는 의미이다.

이러한 내부품질 요인은 스펙트럼에 복합적으로 작용하므로 VIS/NIR 스펙트럼과 화학분석한 성분간의 관계가 구명되어야 한다. 이러한 관계는 검량식(calibration)의 형태로 구하며, 검량식을 구하는 방법으로는 다변량 통계분석 방법을 적용한다. 다변량 분석 방법은 변수들 간의 인과관계를 규명하고 분석하거나 변수들 간의 상관관계를 이용하여 변수를 축약하거나 개체들을 분류하는데 사용하는 방법이다. 일반적으로 다변량 분석은 변수 개수와 개체 개수가 많은 대용량, 복합 자료에 대한 분석방법으로서 회귀분석(regression analysis), 주성분 분석(principal component analysis; PCA), 부분최소제곱(partial least square; PLS) 등이 있으며 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

1) 회귀분석

회귀분석은 둘 또는 그 이상의 변수들이 서로 관계를 가지고 변화할 때, 그 변수들 간의 상호 관련성을 규명하는데 사용하는 방법이다. 즉 회귀분석이란 독립변수들과 종속변수간의 함수적인 관련성을 수학적 모형을 이용하여 측정된 변수들의 자료를 근거로 하여 추정하고 분석하는 통계적 방법을 말한다. 본 연구 내용과 같이 분광스펙트럼과 내부품질간의 관계를 규명하는 경우, 분광 스펙트럼을 독립변수(independent variable) 또는 설명변수(explanatory variable)라 하고, 이들 변수에 의

해 영향을 받는 내부품질을 종속변수(dependent variable) 또는 반응변수(response variable)라 한다.

회귀분석에 있어서는 일반적으로 관심 대상 인자의 측정 자료로부터 수학적 모형을 추정하여 종속변수와 독립변수들 간의 관계를 규명하고 관심 대상 요인을 예측하고 검정한다. 회귀분석에 있어 종속변수 y 와 독립변수 x 의 관계는 다음과 같이 종속변수 y 와 독립변수 x 의 관계인 $g(x)$ 와 확률오차(ε)의 합으로 나타낸다.

$$y = g(x) + \varepsilon \quad \text{-----} \quad (1)$$

이와 같이 상호 관련성을 식으로 나타낸 것을 회귀식(regression equation)이라 하고, 회귀식의 형태를 일반화하여 표현한 것을 회귀모형(regression model)이라 한다.

회귀분석은 몇 단계 작업으로 수행한다. 그 첫 단계는 관심 있는 종속변수를 규정하고 종속변수에 영향을 주는 독립변수에 어떤 것들이 있는지를 검토한 후 자료를 수집하는 것이다. 둘째 단계는 두 변수간의 수학적 모형을 가정한 후 마지막으로 회귀식을 구하고 그 회귀식이 종속변수를 어느 정도로 정확하게 예측할 수 있는지와 회귀식에 포함된 독립변수들 중에서 어느 변수가 설명력이 높은지를 검정하는 순서로 이루어진다. 회귀분석은 단순회귀분석(simple linear regression; SLR)과 다중회귀분석(multiple linear regression; MLR)으로 구분하며 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

단순회귀분석은 선형모형(linear model)을 가정한 것으로, 종속변수의 평균과 독립변수들 간의 관련을 나타내는 식을 사용하며 여기에 각 모집단의 개개 값을 나타내는 오차항을 추가하는 식으로 스펙트럼 자료와 농도와의 관계를 다음과 같이 직선의 식으로 나타낸다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기서 x_i = 시료 i 의 스펙트럼 데이터

y_i = 시료 i 의 관심 대상 성분의 농도

e_i = 시료 i 의 확률 오차

i = 시료 번호 ($i = 1, 2, \dots, n$)

다중회귀분석(이하 MLR로 약칭)은 일반적으로 둘 이상의 독립변수(영향변수, 원인변수)들이 종속변수(결과변수)에 어떠한 영향을 미치는 가를 알기 위한 분석기법이다. 본 논문에서와 같이 내부품질을 예측하는데 어떤 파장의 스펙트럼들이 영향을 미치는가를 알기 위해서는 다중회귀분석을 사용하면 보다 정확하게 내부품질을 예측할 수 있다. 따라서 독립변수들이 종속변수에 미치는 상대적 영향력을 알아 볼 수 있으며, 이러한 독립변수 값들의 변화에 따라 종속변수 값이 어떻게 변화하는가를 예측할 수 있다.

독립변수와 종속변수에 쓰인 변수들의 측정척도는 등간척도(interval scale)나 비율

척도(ratio scale)의 행렬 자료이어야 하나, 독립변수가 명목척도일 경우에는 0과 1을 사용한 무효변수(dummy variables)를 이용하여 분석할 수도 있다.

MLR은 종속변수에 가장 영향을 큰 독립변수부터 하나씩 증가시키면서 가장 적절한 모형을 찾아가는 방법(forward selection), 모든 독립변수를 모두 투입하여 회귀식을 도출하고 나서 중요도가 낮은 변수들을 순차적으로 제거하면서 회귀식을 도출하는 방식(backward selection), 그리고 중요한 변수(설명력이 높은 변수, 통계적으로 유의도가 높은 변수) 순으로 투입하다가 통계적으로 유의성이 있는 변수들만 남겨지면 분석이 중단되는 방식(stepwise selection)이 있다.

일반적으로 MLR의 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad \text{-----} \quad (3)$$

여기서 Y = 종속변수

X_i = 독립변수

ε = 오차항

a = 상수

2) 주성분 분석

주성분 분석(이하 PCA로 약칭)은 상관성이 있는 원래의 변수를 서로 상관성이 없는 새로운 변수로 변환하는 방법이다. 이것은 원래의 변수들의 선형결합을 통하여 변수들이 가지고 있는 전체분산을 최대한 설명할 수 있는 서로 독립적인 새로운 인공변수를 유도하여 해석 하는 방법이다. 이 새 변수를 주성분(principal components)이라 부른다. 주성분 분석의 목적은 변수들의 전체분산 대부분을 소수의 주성분을 통하여 설명하는 것이다. 따라서 첫째 주성분은 변수들의 전체분산 중 가장 큰 부분을 설명할 수 있도록 유도되고, 둘째 주성분은 첫째 주성분과 독립이면서 첫째 주성분에 의하여 설명되지 않은 잔여분산을 최대한 설명할 수 있도록 유도되고, 셋째 주성분은 앞의 두 주성분에 각각 독립이면서 두 주성분에 의하여 설명되지 않은 분산을 최대한 설명할 수 있도록 유도하는 방법으로 원 변수를 축약한 새로운 변수(주성분)를 이용하여 변수의 개수를 줄이는 분석방법이다. 이들 주성분을 설명 변수로 사용하는 회귀분석이 주성분 회귀(principal components regression; PCR) 분석이다.

설명 변수들은 공분산 행렬로부터 주성분을 구하고 이를 회귀 모형의 설명 변수로 사용하는 것이다. 주성분은 서로 독립이므로 설명 변수의 상관관계로부터 발생하는 다중 공성선 문제를 해결할 수 있다. 주성분이 새로운 설명 변수로 이용되고 주성분 점수가 새로운 설명 변수의 추정치가 된다. 주성분 회귀 모형은 다음과 같이 나타낸다.

$$Y_i = \beta_0 + B_1 Pr \in 1_i + B_2 Pr \in 2_i + \dots + B_p Pr \in p_i + e_i \quad \text{-----} \quad (4)$$

3) 부분최소제곱

부분최소제곱(이하 PLS로 약칭)법과 PCA는 많은 독립변수들을 새로운 변수로 축소하고 그 과정에서 원 데이터의 아주 작은 변이를 설명하는 변수를 회귀식에서 제외시킴으로써 잡음의 영향을 감소시켜주는 분석 방법으로 유사하다 이와 같이 변이를 제외를 하는 것을 차원축소라 한다. 그러나 PCA는 독립변수만을 이용하여 새로운 주성분을 구하고 그 주성분을 이용하여 회귀식을 구하는 반면 PLS는 독립 변수 뿐만 아니라 종속변수를 동시에 고려하여 새로운 변수를 찾고 이를 이용하여 회귀식을 구하는데, 이 과정에서 앞에서 설명한 다중공선성의 문제를 해결할 수 있는 점이 다른 다변량 분석방법과 다른 점이다. 이와 같이 PLS 회귀는 변수의 차원축소과정에 종속변수가 포함되므로 PCR보다 더 안정적인 결과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

4) 회귀 모형의 성능 평가

회귀분석 모형을 개발하고 개발한 회귀식의 정확도(precision)는 회귀식이 실측값을 얼마나 잘 설명하고 있는지를 나타내는 것으로, 회귀식 개발과정에서는 상관계수(coefficient of correlation; r)이나 결정계수(coefficient of determination; R²)와 회귀식의 측정오차(standard error of calibration; SEC)로 표현한다.

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p - 1}} \quad \text{----- (5)}$$

여기서 y_i = 회귀식에 의한 예측 값

\hat{y}_i = 실측 값

n = 시료 수

p = 인자의 수

개발된 회귀식은 최종적으로 검량식 개발에 사용되지 않은 미지의 시료에 대해 측정하고자 하는 정보 값을 예측함으로써 회귀식의 정확도를 평가할 수 있다. 이러한 과정을 정당성 검증(validation)이라고 하며, 이때에는 상관계수(r)나 결정계수(R²), 바이어스(bias)와 검증의 표준오차 SEP(standard error of prediction) 또는 RMSEP(root mean square error of prediction)로 나타낸다.

$$\text{bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad \text{----- (6)}$$

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - \hat{y}_i) - bias]^2}{n-1}} \text{ ----- (7)}$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}} \text{ ----- (8)}$$

여기서 y_i = 회귀식에 의한 예측 값

\hat{y}_i = 실측 값

n = 시료 수

결정계수는 1에 가까울수록, SEC와 bias, SEP 등의 오차는 0에 근접 할수록 개발한 회귀식의 정확도는 높다. 일반적으로 SEP는 SEC보다 큰 값을 가지며, 회귀식에 의한 성분 예측이 성분의 표준측정법의 정확도에 영향받는 것으로 알려져 있다. 그러나 실험오차 등에 의한 잡음이 포함되면 회귀식을 구하는 과정에서 평균함으로써 각 시료에 포함된 잡음이 제거되기 때문에 실제 실험에서는 확인할 수 없지만 회귀식에 의한 성분 예측이 표준측정법의 정확도보다 우수한 경우도 있다.

나. 내부품질 예측 모형 개발

본 연구에서는 분광 스펙트럼 자료로부터 토마토의 내부품질을 예측하는 모형을 개발하기 위해 앞에서 설명한 분광분석방법인 MLR, PCR, PLS, DA (discriminant analysis; 판별분석)을 시도하여 보았다. 이러한 분석방법 중 본 연구에서는 분광 스펙트럼 분석에 있어 PLS 방법을 선택하여 사용하였다. 이는 전술한 바와 같이 다중공선성 문제를 최소화할 수 있는 큰 장점이 있을 뿐만 아니라 그 사용으로 보다 우수한 내부품질 예측모형의 개발이 가능한 것으로 알려져서 많은 연구자들이 보편적으로 사용하고 있기 때문이었다.

이러한 방법으로 예측 모형을 개발하는데 있어 수집한 모든 분광 스펙트럼 자료는 전처리(preprocessing)가 실험 시 관계된 불확실성을 배제하기 위해 필수적이다. 스펙트럼 자료의 전처리는 아래 설명한 다양한 방법이 있으며, 이 중 최적의 전처리 방법의 선택은 개발한 모형의 성능을 평가하는 검증과정을 통하여 결정하였다.

이러한 통계분석방법으로 토마토의 내부품질 예측 모형을 개발하기 위해서는 비교적 장시간의 전산작업을 수행하여야 하는데 본 연구에서는 이러한 전산작업의 편리를 고려하여 Unscrambler(Ver. 9.6, CAMO Co., Norway)와 SAS(Ver. 9.1, SAS Ins., USA) 두 종류 통계분석용 패키지 프로그램을 사용하였다. 이 중 Unscrambler

는 수집한 스펙트럼 자료의 전처리 수행에 매우 유용하여 주로 PLS 분석에 사용하였고 SAS는 DA에 사용하였다.

다. 분광 스펙트럼 전처리

VIS/NIR 스펙트럼의 측정에는 외부환경 및 측정 장치의 영향을 많이 받는다. 특히 과채류와 같은 고형체의 스펙트럼 측정에 있어서는 과채류 내부의 대부분이 물이고, 상대적으로 미량인 당이나 산은 스펙트럼에서 큰 변이를 일으키지 못하며, 오히려 시료의 크기 차이에 따른 경로 길이(path length)의 변화나, 산란(scattering) 차이 등에 의해 더 큰 변이를 일으킨다. 더군다나 스펙트럼 측정시 주변 환경의 변화(조명, 온도 등)와 대상체 표면에서의 광 산란, 물체의 크기, 물체와 측정 센서와의 거리 차이, 측정 센서의 노이즈 등이 측정된 광 스펙트럼에 주요한 영향을 주게 된다. 더군다나 실험실 실험이 아니고 농산물 선별 현장에서 실시간으로 광학 스펙트럼을 측정할 경우에는 더 많은 영향이 작용하게 된다. 따라서 이러한 영향은 광학적 특성을 파악하는데 사용되는 스펙트럼에 영향을 주어 내부품질의 정보와 상관없는 스펙트럼 변이를 일으켜 내부품질 측정 예측에 오류를 일으키게 되어 개발한 품질 판정의 성능에 영향을 주는 요인으로 작용하게 된다.

이러한 외란의 영향을 감소시키기 위하여 스펙트럼 전처리 과정은 필수적이다. 스펙트럼 전처리는 이러한 광학 측정상의 노이즈를 제거하므로 임의 물질의 광학 스펙트럼을 이용하는데 있어 오차를 줄이는 매우 기초적이고 중요한 기술로서 보다 안정적인 광학 스펙트럼의 특성을 구하는데 적극적으로 사용된다.

스펙트럼 전처리의 주요 방법을 보면, 평활화(smoothing), MSC(multiplicative scatter correction), SNV(standard normal variate), OSC(orthogonal signal correction), 평균(mean)과 최대값(maximum), 일정 범위의 값(range)을 이용한 3종의 정규화(normalization), 1차와 2차 미분 (Savitzky-Golay과 Norris Gap의 2 가지 방법) 등이 있다. 이 중 평활화 방법은 스펙트럼 측정 장치의 노이즈를 제거하는데 사용하고, 1차 및 2차 미분은 광경로의 차이나 측정환경의 변화 등에 기인한 베이스라인의 이동을 제거 하거나 미소성분의 스펙트럼 특성을 강조하는데 이용된다. 그리고 MSC나 SNV는 스펙트럼 측정 시 광산란의 영향을 제거하는데 이용되고 있다. Norris Gap 미분은 Savitzky-Golay 미분과 유사하지만 gap size를 조절하며 사용할 수 있다.

본 연구에서는 시도한 전처리 방법은 전술한 3종(평균, 최대값, 일정 범위값)의 normalization (정규화) 방법, MSC(multiplicative scatter correction), SNV(standard normal variate), Savitzky-Golay와 Norris Gap의 1차와 2차 미분법인 9가지 방법이 있었다. 이러한 전처리로서 본 연구에서는 그림 3-1과 같이 단순한 1단계 전처리와 2종의 전처리를 혼합한 2단계 전처리를 시도하였다.

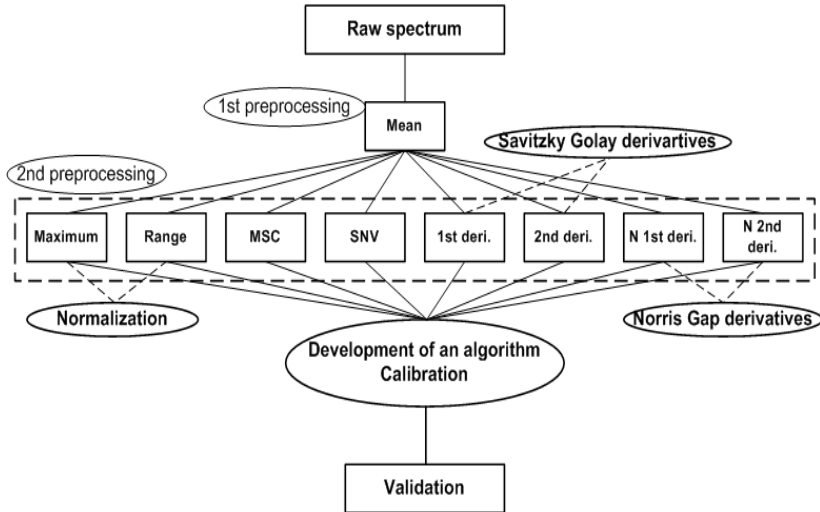


그림 3-1 Sequence of preprocessing by one or two steps

참고로, 본 연구에서 적용한 스펙트럼 전처리 방법의 정의는 다음과 같다.

1) Normalization (정규화)

- 평균값(mean) 적용

$$I' = \frac{I_i}{I_{mean}} \quad \text{----- (9)}$$

여기서 I = i 번째 파장의 빛 강도

$$I_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} = \text{i번째 스펙트럼의 평균값}$$

n = 파장의 순서

- 최대값(maximum) 적용

$$I'_i = \frac{I_i}{I_{max}} \quad \text{----- (10)}$$

여기서 I = i 번째 파장의 빛 강도

I_{max} = 주어진 스펙트럼 내의 최대값

- 일정 범위값(range) 적용

$$I'_i = \frac{I_i}{I_{\max} - I_{\min}} \quad \text{----- (11)}$$

여기서 $I = i$ 번째 파장의 빛 강도

$I_{\max} - I_{\min}$: 주어진 스펙트럼 내 최대값에서 최소값을 뺀 값

2) Multiplicative Scatter Correction (MSC)

시료 표면 혹은 시료 내부의 불균일성 때문에 동일 시료에 대한 반복 측정에 대해서 측정된 스펙트럼의 차이를 보일 수 있으며, 이는 스펙트럼 데이터 변이의 가장 큰 원인이 된다. 또한 산란 정도는 사용된 광원의 종류나 시료 표면의 상태, 그리고 시료의 반사지수 등에 영향을 받으며, 이것은 주로 베이스라인의 이동이나 기울기 및 곡률의 변화로 나타난다. 이러한 광 산란의 영향은 특히 측정된 스펙트럼의 장파장 영역에서 주로 나타난다. 이의 기본 개념은 모든 스펙트럼을 이상적인 스펙트럼에 의해 보정하는 것이다. 실제 이상적인 스펙트럼은 얻을 수 없으므로, 전체 스펙트럼의 평균을 이상 스펙트럼이라 하며 다음과 같이 구한다.

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_{i,j}}{m} \quad \text{----- (12)}$$

여기서 x = 스펙트럼 matrix ($m \times n$)

\bar{x}_i = j번째 파장에서 평균 스펙트럼

이상 스펙트럼을 각 파장에 적용하면 다음과 같다.

$$x_i = a_i \bar{x} + b_i \quad \text{----- (13)}$$

여기서, x_i = 평균 스펙트럼($1 \times n$)에 대한 회귀 스펙트럼

a_i = 기울기

b_i = 절편

MSC 보정은 선형회귀를 하여 구한 a_i 와 b_i 값을 이용하여 다음 식과 같이 MSC 보정을 한다.

$$x_{iMSC} = \frac{(x_i - b_i)}{a_i} \quad \text{----- (14)}$$

여기서 X_{iMSC} = MSC 보정 스펙트럼

3) Standard Normal Variate (SNV)

SNV는 MSC와 같이 광산란 보정을 위한 전처리로 수학적 모형만 다를 뿐 목적은 동일하다. SNV는 이상 스펙트럼이 필요하지 않으나 각 스펙트럼을 전체 스펙트럼의 표준편차로 정규화하여 광산란의 영향을 제거하는 방법이다. 광경로나 광원의 변동에 따른 스펙트럼의 변이 등이 SNV 전처리로 보정될 수 있다. 그 수식은 다음과 같다.

$$\bar{a}_i = \frac{\sum_{j=1}^n A_{i,j}}{n} \quad \text{-----} \quad (15)$$

$$x_{iSNV} = \frac{(x_i - \bar{a}_i)}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{a}_i)^2}{(n-1)}}} \quad \text{-----} \quad (16)$$

여기서 $\bar{a}_i = i$ 번째 스펙트럼의 모든 파장에 대한 평균($n \times 1$)

$x_{iSNV} =$ SNV 보정된 스펙트럼($1 \times n$)

이와 같이 MSC와 SNV의 전처리는 스펙트럼의 측정 시 광산란의 영향을 제거하는데 이용된다.

4) 미분법

- Norris Gap Derivatives

Segment size를 설정하여 설정한 수 만큼의 스펙트럼을 평균하여 그 값을 재 정렬 시킨 후 미분을 하는 방법

$$\text{일차 미분 : } I_i = \frac{d(I_i - I_{i+1})}{d\lambda} \quad \text{-----} \quad (17)$$

$$\text{이차 미분 : } I'_i = \frac{d^2(I_i - I_{i+1})}{d^2\lambda} \quad \text{-----} \quad (18)$$

여기서, $I = i$ 번째 파장에서 스펙트럼의 Intensity

$d\lambda =$ 스펙트럼 파장

Norris Gap Derivatives는 광경로의 차이나 측정환경의 변화 등에 기인한 베이스 라인의 이동을 제거하거나 미소성분의 스펙트럼 특성을 강조하는데 이용된다.

4. 결과 및 고찰

가. 광원 안정화 실험

1) 반사광 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험

반사광 스펙트럼 측정용 광원에서 조사된 빛을 반사율이 20%, 40%, 99%인 표준 반사체에 조사한 경우의 반사광 강도로서 약 12시간 동안 측정된 결과는 그림 4-1과 같다. 같은 시간 동안 파장대별 표준반사체의 반사율(reflectance) 변화를 분석한 결과, 20% 표준반사체의 경우 약 $\pm 2.3\%$, 40% 표준반사체의 경우는 약 $\pm 0.2\%$, 99% 표준반사체의 경우 약 $\pm 1.0\%$ 로서 전반적으로 그 변화 정도는 비교적 적은 것으로 분석되었다. 토마토 표면의 반사율은 $40 \pm 5\%$ 정도인데, 실험결과 40% 표준반사체의 반사율의 변화는 $\pm 0.2\%$ 정도로 미미하여 매우 안정적인 것으로 판단되었고, 따라서 실험한 광원을 사용하여 토마토 표면의 스펙트럼 자료를 수집하여도 시간 경과에 따른 오차는 크지 않을 것으로 판단되었다.

이러한 특성을 갖춘 광원에 대해 그 안정성의 정도를 좀 더 면밀히 관찰하고자 광원에 전기 에너지를 공급한 후부터 4시간 동안 15분 간격으로 반사율이 99%인 표준 반사체의 반사 스펙트럼 측정하고 그 변화정도를 관찰한 결과, 4시간 동안 광원 스펙트럼의 변화는 거의 감지할 수 없었다. 따라서 실험한 광원을 사용하여 반사광 스펙트럼을 측정할 경우 실험한 광원은 전기 에너지를 공급한 직후부터 바로 사용 가능한 것으로 판단되었다.

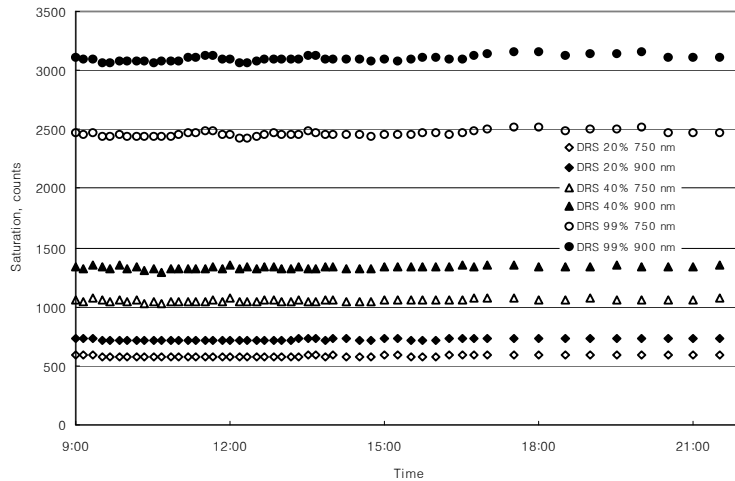


그림 4-1 표준 반사체의 시간 경과에 따른 파장대별 반사도 변화 실험 결과 예

2) 투과광 스펙트럼 측정용 광원의 공급 에너지 결정 실험

토마토의 소요 광량을 파악하고자 본 연구에서 제작한 광원으로 토마토를 조사하며 그 투과광을 관찰한 결과, 100 W 내외가 적정 소요 에너지임을 알 수 있었다. 그림 4-2는 투과광 스펙트럼 측정용으로 구성한 광원에 80, 100, 133 W 크기의 에너지를 공급하고 그 투과광의 강도를 본 연구에서 구성한 투과광 스펙트럼 측정 장치를 사용하여 측정한 결과이다. 그림에서 공급 에너지별 토마토 투과 스펙트럼을 보면, 공급 에너지가 80 W로서 약간 부족한 경우 낮은 투과광 스펙트럼이 측정되었고, 공급 에너지가 133 W로서 과도하게 공급되었을 경우, 사용한 spectrometer의 측정 범위를 벗어남을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 투과광 스펙트럼을 측정하기 위한 공급 에너지를 100 W로 결정하였다.

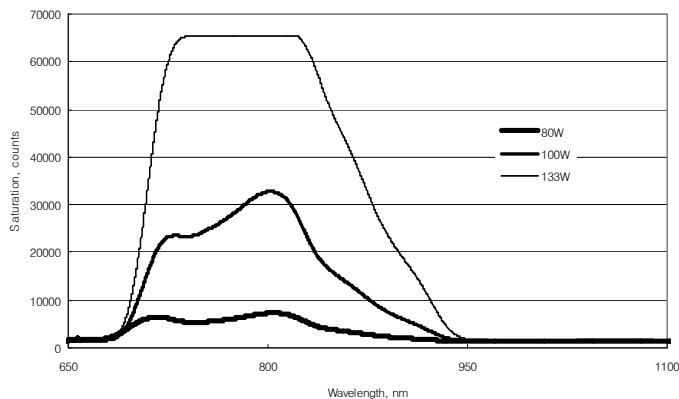


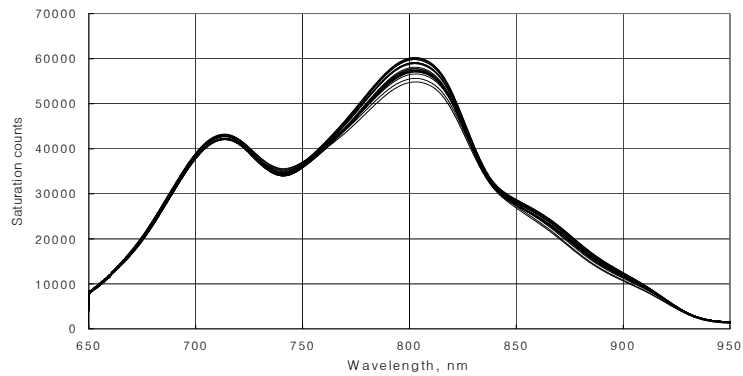
그림 4-2 투과광 스펙트럼 측정용 광원의 공급 에너지별 토마토 투과광의 강도

3) 투과광 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험

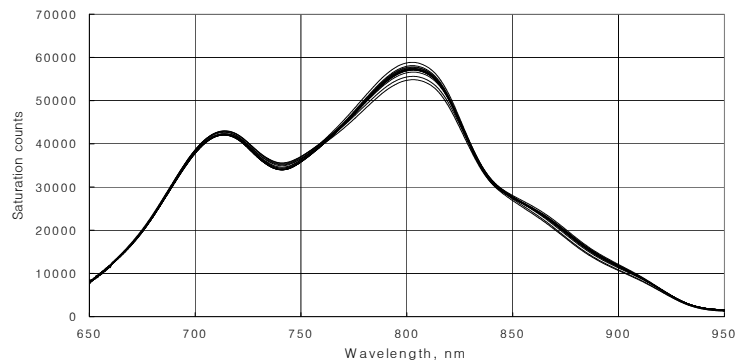
광원에서 조사된 빛이 토마토를 투과한 후의 강도인 투과광의 강도(saturation counts로 측정)를 전원을 켜 후부터 12시간 동안 파장 650~1100 nm에 대해 측정된 결과를 겹쳐서 나타낸 것은 그림 4-3과 같다. 이러한 투과광의 강도는 그림 a)와 같이 파장 750~950 nm의 범위에서 12시간 경과기간 동안 상당한 변화가 관찰되었는데, 이는 관찰 시간 동안 광원에서 조사(照射)하는 광량이 일정하지 않아서 나타난 결과로 판단되었다.

광원이 안정화 되는데 요하는 최소 시간을 파악하기 위하여 매 측정 시간 경과를 따른 스펙트럼의 변화 정도를 관찰한 결과, 전원을 켜 후 3시간 그리고 3시간부터 4시간까지 스펙트럼 변화를 각각 그림 b)와 c)로부터 관찰하면 전원을 켜 후 3시간까지는 측정 스펙트럼의 상당한 변화 그리고 전원을 켜 후 3시간부터 4시간까지도 약

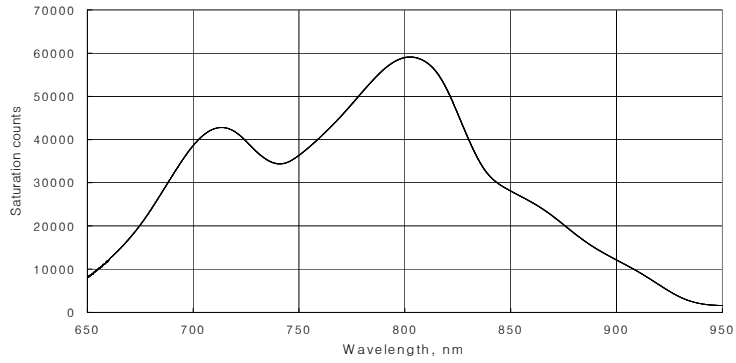
간의 스펙트럼 변화를 확인할 수 있었다. 그 결과는 전원을 켜 후 3시간부터 12시간까지의 스펙트럼 변화를 보인 그림 d)로부터도 확인할 수 있었으며, 전원을 켜 후 4시간부터 12시간까지의 스펙트럼 변화를 보인 그림 e)를 보면 동 시간동안 스펙트럼의 변화는 거의 없이 안정적인 상태가 되었음을 확인할 수가 있었다. 따라서 광원의 전원을 켜 후 4시간 이후부터는 광원의 광량이 안정화되었음을 알 수 있었고, 그에 따라 본 연구에서 사용한 광원은 사용하기 최소 4시간 전에 전원을 공급하여 사용하였다.



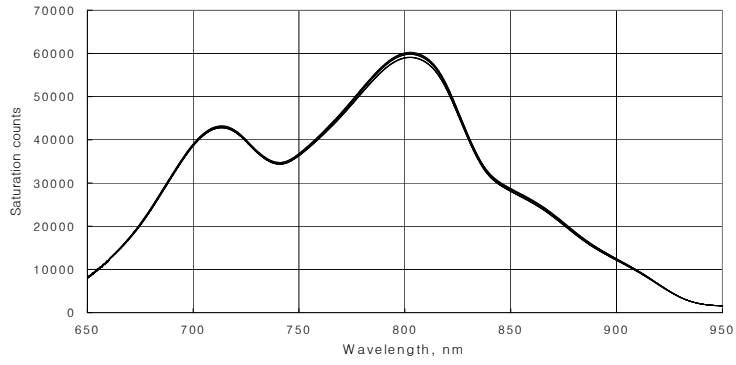
a) 0~12시간 측정



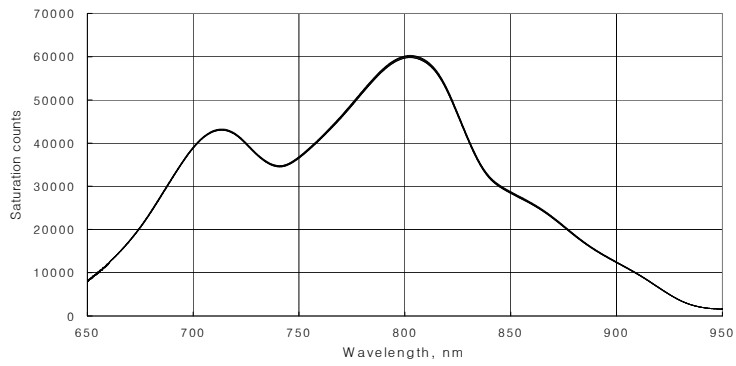
b) 0~3시간 측정



c) 3-4시간 측정



d) 3-12시간 측정



e) 4-12시간 측정

그림 4-3 투과광 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험 결과

나. 반사 스펙트럼 이용 내부품질 예측실험

1) 당도 예측실험

가) 당도 예측 가능성 판단 실험

토마토의 반사광 스펙트럼을 이용한 당도의 예측 가능성을 알아보기 위하여 실험# 5030 자료를 이용하여 다양한 방법으로 전처리한 후 당도 예측모형을 개발하고 예측모형을 검증하였다. 그 결과를 전처리별로 예측모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증결과의 결정계수와 SEP 값을 정리한 결과는 표 4-1과 같다. 표와 같이 개발한 모형 중 가장 우수한 예측 성능을 나타내는 모형은 normalization-maximum의 전처리를 수행하여 얻은 모형으로서 검증의 결정계수와 SEP 값은 각각 0.51과 0.90 Brix였다. 이러한 모형의 개발 결과를 나타낸 것은 그림 4-4와 같고, 그 당도 예측모형의 정당성을 검증하기 위하여 수행한 검증결과를 나타낸 것은 그림 4-5와 같다.

표 4-1 실험# 5030을 이용하여 당도 예측 가능성을 조사한 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.41	0.83	0.44	0.96
Mean		0.38	0.85	0.46	0.94
Normalization	Maximum	0.39	0.84	0.51	0.90
	Range	0.37	0.86	0.47	0.95
MSC		0.30	0.90	0.50	0.94
SNV		0.46	0.59	0.37	1.00
Savitzky-Golay	1st deri.	0.48	0.78	0.41	0.99
	2nd deri.	0.23	0.94	0.23	1.12
Norris Gap	1st deri.	0.41	0.83	0.39	1.00
	2nd deri.	0.37	0.85	0.38	1.00

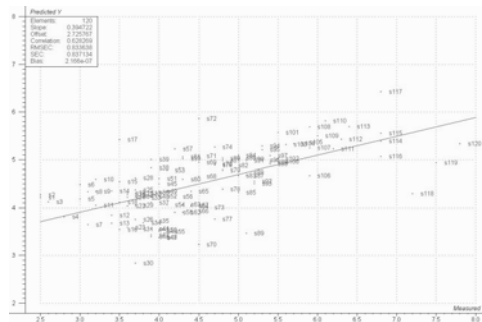


그림 4-4 실험# 5030의 당도예측 모형개발(전처리로서 normalization-maximum 수행) 결과

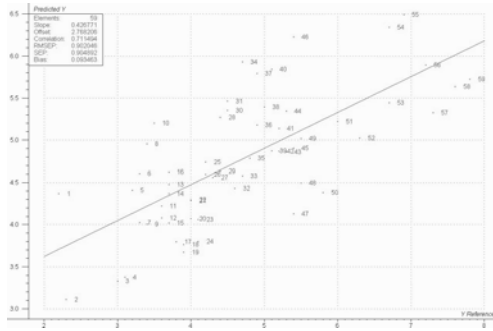


그림 4-5 실험# 5030을 이용하여 개발한 모형의 정당성 검증결과

이상의 분석 결과를 보면, 개발 모형 정당성 검증결과의 결정계수는 높은 수준은 아니나 검증 결과를 나타낸 그림으로 보아 개발한 당도 예측모형을 사용하여 토마토 선별작업을 수행할 경우 선별의 정확도는 상당히 높을 것으로 예상되었다.

참고로 이러한 당도예측모형에 의해 토마토를 선별할 경우, 그 정확도를 파악하고자 당도 5 Brix를 기준으로 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별하고 그 정확도(correctly classified ratio: CCR)를 조사하였으며, 그 결과는 그림 4-6과 같다. 분석 결과, 선별 정확도(CCR)은 5 Brix 미만과 이상에서 각각 78.9% (30/38)와 66.7% (14/21)로서 전반적인 선별 정확도는 74.6% (44/59)로 나타났다.

$$\text{여기서 } CCR = \frac{\text{정확하게 선별한 토마토 수}}{\text{선별한 토마토 전체 수}}$$

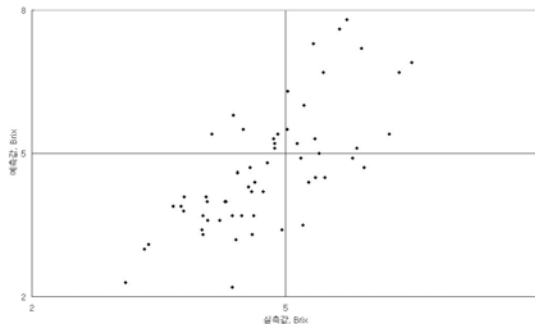


그림 4-6 실험# 5030을 이용하여 개발한 모형 검증의 CCR분석결과

나) 토마토의 대표적인 당도 측정위치 선별실험
토마토의 반사광 스펙트럼을 이용하여 토마토 당도를 측정하는데 있어 토마토 전

체의 당도를 대표할 수 있는 측정 위치를 결정하기 위하여 실험한 결과는 표 4-2와 같다. 표로부터 토마토 표면의 위치 중 토마토 전체의 평균당도 ± 0.2 Brix 범위 내의 값으로서 평균 당도와 유사한 당도를 보인 위치(표에서 밑줄을 그어 표시)를 조사한 결과 그림 2-9의 A3 지점과 A7 지점이 대체로 평균 당도와 근접하거나 같은 당도를 갖는 것으로 분석되었다.

표 4-2 토마토의 위치별 당도

위치	s1	s2	s3	s4	s5	S6	s7	s8	s9	s10
A1	4.7	4.1	5.1	4.8	5.2	5.4	4.4	3.7	6.4	4.3
A2	5.2	4.5	5.8	5.4	5.2	5.0	4.4	3.7	5.9	4.2
A3	5.8	4.4	5.5	5.1	5.4	5.2	5.2	6.8	6.3	4.7
A4	6.1	5.1	5.8	6.3	6.2	5.8	5.5	4.0	6.8	4.9
A5	6.4	6.0	6.4	6.6	5.8	7.1	5.8	4.7	7.1	5.5
A6	5.8	5.3	5.3	6.3	5.8	6.7	5.6	4.7	6.3	5.2
A7	5.5	5.3	5.1	5.3	5.2	5.7	5.0	4.7	6.1	5.0
A8	5.0	4.7	4.9	5.0	5.3	5.3	4.9	4.7	6.0	4.9
A9	4.7	4.0	5.3	4.7	5.0	5.2	4.3	4.4	5.8	4.4
평균	5.5	4.8	5.5	5.5	5.5	5.7	5.0	4.6	6.3	4.8
B1	5.1	5.1	5.5	4.9	4.8	5.3	4.7	4.4	5.7	4.4
B2	5.5	5.4	5.8	5.1	5.0	5.6	4.8	4.8	5.8	4.5
B3	5.6	5.2	6.1	5.3	5.6	5.9	5.1	5.0	6.1	5.2
B4	6.0	5.2	6.0	5.5	5.8	6.0	5.0	4.9	6.3	5.0
B5	5.9	5.4	5.8	5.3	5.4	6.8	5.2	5.1	5.6	5.5
B6	5.9	5.3	5.8	5.3	5.2	6.3	5.2	5.0	5.2	5.2
B7	5.7	5.3	5.8	5.1	5.2	5.9	5.0	5.1	5.3	5.4
B8	5.6	5.0	5.8	5.0	5.2	5.5	4.7	4.8	5.4	4.8
평균	5.6	5.2	5.8	5.2	5.3	5.9	5.0	4.9	5.7	5.0
C1	4.9	6.7	5.5	5.7	5.8	6.2	5.3	5.1	6.3	5.4
C2	5.7	7.1	5.7	5.8	5.8	6.5	5.5	5.9	6.5	5.8
C3	5.8	6.3	6.1	6.2	6.0	6.6	5.5	5.9	6.8	5.9
C4	6.4	5.8	6.8	6.5	6.2	6.7	5.5	5.6	7.2	5.8
C5	6.3	5.9	6.9	5.9	5.8	7.6	5.4	5.8	6.6	5.8
C6	6.2	6.1	6.3	5.8	5.6	7.6	5.4	6.5	6.5	6.4
C7	5.8	5.6	6.2	5.8	5.7	7.6	5.4	6.9	6.4	6.5
C8	5.3	4.1	5.8	5.6	6.1	6.3	4.8	6.4	6.7	6.0
평균	5.8	5.9	6.1	5.8	5.8	6.8	5.3	5.9	6.5	5.8
전체 평균	5.6	5.3	5.8	5.5	5.5	6.2	5.1	5.1	6.2	5.2

다) 측정거리 무관 단일모형 개발 가능성 판단실험

토마토에서 반사광 스펙트럼을 측정할 때, 토마토와 반사광 probe의 측정거리와 무관한 당도의 예측 가능성을 알아보기 위하여 실험# 5071과 5111 자료를 이용하여 다양한 방법으로 전처리한 후, 측정 거리별(6 mm, 6~11 mm, 6~21 mm, 6~31 mm, 6~41 mm)로 당도 예측모형을 개발하고 개발한 예측모형에 대해서는 그 정당성을 검증하였으며, 그 결과는 실험# 5071과 5111의 경우 각각 표 4-3과 4-5와 같다.

표 4-3 실험# 5071의 측정 거리별 당도 예측모형 개발 및 검증결과

a) 측정거리 6 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		5071			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.48	0.28	0.56	0.21
Mean		0.40	0.30	0.60	0.22
Normalization	Maximum	0.39	0.31	0.55	0.23
	Range	0.43	0.30	0.63	0.19
MSC		0.43	0.30	0.64	0.19
SNV		0.42	0.30	0.58	0.21
Savitzky-Golay	1st deri.	0.53	0.27	0.58	0.23
	2nd deri.	0.47	0.29	0.50	0.33
Norris Gap	1st deri.	0.47	0.29	0.59	0.20
	2nd deri.	0.40	0.30	0.54	0.23

b) 측정거리 6 mm + 11 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		5071			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.44	0.29	0.35	0.27
Mean		0.39	0.30	0.54	0.21
Normalization	Maximum	0.40	0.30	0.51	0.24
	Range	0.37	0.31	0.53	0.21
MSC		0.41	0.30	0.55	0.20
SNV		0.38	0.31	0.55	0.22
Savitzky-Golay	1st deri.	0.45	0.29	0.40	0.27
	2nd deri.	0.59	0.25	0.23	0.32
Norris Gap	1st deri.	0.41	0.30	0.43	0.24
	2nd deri.	0.35	0.31	0.48	0.22

c) 측정거리 6 mm + 11 mm + 16 mm + 21 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.37	0.31	0.37	0.24
Normalization	Mean	0.33	0.32	0.47	0.23
	Maximum	0.34	0.31	0.51	0.21
	Range	0.32	0.32	0.50	0.22
MSC		0.33	0.32	0.50	0.22
SNV		0.32	0.32	0.50	0.22
Savitzky-Golay	1st deri.	0.43	0.29	0.44	0.23
	2nd deri.	0.42	0.29	0.23	0.31
Norris Gap	1st deri.	0.37	0.31	0.50	0.22
	2nd deri.	0.24	0.34	0.27	0.26

d) 측정거리 6 mm + 11 mm + 16 mm + 21 mm + 26 mm + 31 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.32	0.32	0.35	0.24
Normalization	Mean	0.30	0.32	0.41	0.24
	Maximum	0.31	0.32	0.44	0.23
	Range	0.30	0.32	0.45	0.22
MSC		0.29	0.33	0.49	0.21
SNV		0.31	0.32	0.48	0.22
Savitzky-Golay	1st deri.	0.32	0.32	0.42	0.23
	2nd deri.	0.21	0.35	0.26	0.26
Norris Gap	1st deri.	0.31	0.32	0.45	0.23
	2nd deri.	0.18	0.35	0.17	0.28

e) 측정거리 6 mm + 11 mm + 16 mm + 21 mm + 26 mm + 31 mm + 36 mm + 41 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.29	0.33	0.38	0.24
Normalization	Mean	0.27	0.33	0.40	0.23
	Maximum	0.29	0.33	0.43	0.23
	Range	0.29	0.33	0.47	0.22
MSC		0.28	0.33	0.48	0.22
SNV		0.29	0.33	0.47	0.22
Savitzky-Golay	1st deri.	0.29	0.32	0.39	0.24
	2nd deri.	0.16	0.36	0.19	0.27
Norris Gap	1st deri.	0.27	0.33	0.39	0.24
	2nd deri.	0.16	0.35	0.22	0.27

실험# 5071의 경우, 표 4-3과 같이 각 측정거리별로 개발한 모형의 성능은 개발 전 수행한 전처리에 따라 상당한 차이를 보였다. 이러한 실험결과로부터 정당성 검증의 결정계수를 기준으로 하여 각 측정거리별 가장 우수한 결과를 보인 전처리 방법과 개발모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증의 결정계수와 SEP 값을 정리한 것은 표 4-4와 같다. 표와 같이 우수한 결과를 나타낸 전처리는 측정거리별로 차이가 있으나 대체로 MSC 방법이 효과적인 것으로 나타났다.

표 4-4 실험# 5071에서 측정거리별로 우수 결과를 보인 당도 예측모형 개발 및 검증 결과

Model of distance	Pretreatment	Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
6	MSC	0.43	0.30	0.64	0.19
6+11	MSC	0.41	0.30	0.55	0.20
6+11+16+21	Normal.-Max.	0.34	0.31	0.51	0.21
6+11+16+21+26+31	MSC	0.29	0.33	0.49	0.21
6+11+16+21+26+31+36+41	MSC	0.28	0.33	0.48	0.22

표와 같이 측정거리가 6 mm인 경우 정당성 검증의 결정계수는 0.64로서 가장 높은 결과를 보였고 SEP 값도 0.19 Brix로서 가장 낮은 결과를 보여 반사광에 의한 토마토 당도 측정 시 측정용 probe와 토마토와의 거리는 가능한 6 mm를 유지하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 그러나 실험한 최대 측정거리 범위인 6~41 mm에 있어서도 정당성 검증의 결정계수는 모두 0.48 이상이고 SEP 값도 모두 0.22 Brix 이하로 나타나 앞에서 설명한 실험# 5030과 비슷한 수준의 결과를 보였다. 이러한 실험 결과로 판단할 때, 반사광에 의한 토마토 당도 측정 시 측정용 probe와 토마토와의 거리는 분명히 측정의 정확도에 영향을 주는 요인이지만 실험한 범위인 41 mm 까지는 그에 대한 당도 예측모형의 이용이 가능한 것으로 판단되었다.

참고로, 본 연구에서는 측정거리 6~21 mm에 대한 모형의 선별 정확도를 당도 5 Brix를 기준으로 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별하여 그 정확도를 조사하였으며, 그 결과는 그림 4-7과 같다. 분석 결과, 5 Brix 미만과 이상의 경우의 CCR은 각각 70.5% (31/44)이고, 100% (16/16)로서 전반적 정확도는 78.3% (47/60)으로 분석되었다.

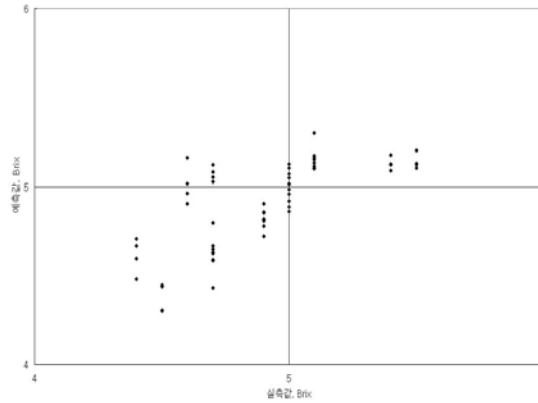


그림 4-7 실험# 5071의 측정거리 6~21 mm 용 당도 예측모형(전처리: normalization-maximum)에 의한 선별의 정확도

실험# 5111의 측정 거리별 당도 예측모형 개발 및 정당성 검증결과는 표 4-5와 같다. 실험# 5111의 경우, 측정거리 6 mm 에서는 모형 정당성 검증 결과가 가장 우수한 무전처리(raw data) 경우의 결정계수가 0.59로 분석되었지만, 측정거리가 그 이상이 되면 모형 정당성 검증 결과의 결정계수는 급격히 감소하여 측정거리의 범위가 6~11 mm 이상이 되면 모형 검증의 결정계수는 거의 0에 가까운 0.1 이하로 나타나 결과적으로 측정거리 11 mm 이상에 대해서는 개발한 모형의 실용성은 전혀 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 위에서 설명한 실험# 5071의 결과와 비교하면, 실험# 5111로부터 얻은 당도 예측모형의 성능은 실험# 5071의 6 mm의 거리에서 측정한 자료를 이용하여 개발한 당도예측모형의 정당성 검증결과와 비슷한 수준으로 분석되었지만, 측정거리가 11 mm 이상의 경우에는 개발한 모형이 무용한 결과로서, 두 실험 결과를 종합하면, 토마토와 반사광 probe와의 측정거리에 무관한 당도 예측모형의 성능은 일정한 경향을 파악할 수 없었으며, 따라서 반사광의 분광분석에 의한 토마토의 당도를 예측할 경우 토마토와 반사광 probe와의 측정거리는 가능한 6 mm 정도로 일정하게 유지하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

표 4-5 실험# 5111의 측정 거리별 당도 예측모형 개발 및 검증결과

a) 측정거리 6 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		5111		R^2	SEP
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.53	0.36	0.59	0.25
Mean		0.30	0.44	0.28	0.34
Normalization	Maximum	0.31	0.43	0.19	0.42
	Range	0.38	0.41	0.32	0.33
MSC		0.30	0.44	0.20	0.37
SNV		0.28	0.45	0.14	0.38
Savitzky-Golay	1st deri.	0.59	0.33	0.38	0.32
	2nd deri.	0.05	0.51	0.00	0.40
Norris Gap	1st deri.	0.41	0.40	0.06	0.41
	2nd deri.	0.53	0.36	0.21	0.36

b) 측정거리 6 mm + 11 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		5111		R^2	SEP
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.26	0.45	0.10	0.44
Mean		0.36	0.42	0.03	0.41
Normalization	Maximum	0.36	0.42	0.07	0.40
	Range	0.37	0.41	0.04	0.40
MSC		0.40	0.40	0.02	0.45
SNV		0.34	0.42	0.01	0.48
Savitzky-Golay	1st deri.	0.33	0.43	0.02	0.43
	2nd deri.	0.04	0.51	0.03	0.42
Norris Gap	1st deri.	0.28	0.45	0.02	0.42
	2nd deri.	0.33	0.43	0.06	0.40

c) 측정거리 6 mm + 11 mm + 16 mm + 21 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.32	0.43	0.00	0.43
	Mean	0.40	0.40	0.07	0.41
Normalization	Maximum	0.32	0.43	0.03	0.41
	Range	0.31	0.43	0.04	0.39
	MSC	0.44	0.39	0.04	0.44
	SNV	0.31	0.43	0.00	0.44
Savitzky-Golay	1st deri.	0.20	0.46	0.02	0.41
	2nd deri.	0.18	0.47	0.02	0.42
Norris Gap	1st deri.	0.37	0.41	0.00	0.46
	2nd deri.	0.12	0.49	0.00	0.40

d) 측정거리 6 mm + 11 mm + 16 mm + 21 mm + 26 mm + 31 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.27	0.44	0.01	0.42
	Mean	0.36	0.42	0.05	0.48
Normalization	Maximum	0.28	0.44	0.04	0.42
	Range	0.29	0.44	0.02	0.41
	MSC	0.27	0.44	0.02	0.42
	SNV	0.27	0.44	0.01	0.42
Savitzky-Golay	1st deri.	0.17	0.47	0.03	0.39
	2nd deri.	0.13	0.48	0.08	0.38
Norris Gap	1st deri.	0.30	0.43	0.00	0.44
	2nd deri.	0.17	0.47	0.00	0.40

e) 측정거리 6 mm + 11 mm + 16 mm + 21 mm + 26 mm + 31 mm
+ 36 mm + 41 mm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.23	0.45	0.00	0.42
	Mean	0.29	0.44	0.00	0.51
Normalization	Maximum	0.26	0.45	0.00	0.46
	Range	0.26	0.45	0.00	0.43
	MSC	0.30	0.43	0.00	0.47
	SNV	0.24	0.45	0.00	0.44
Savitzky-Golay	1st deri.	0.13	0.48	0.00	0.44
	2nd deri.	0.10	0.49	0.05	0.38
Norris Gap	1st deri.	0.24	0.45	0.00	0.44
	2nd deri.	0.14	0.48	0.00	0.41

라) 수확시기와 품종 무관 단일모형 개발 가능성 검토

토마토의 수확시기와 품종에 무관한 단일모형의 개발 가능성을 검토하기 위하여 먼저 실험# 5050과 6050의 자료를 이용하여 각각 당도 예측모형을 개발한 다음 예측모형의 정당성을 검증하였으며 그 결과는 표 4-6과 같다.

표 4-6 실험# 5050과 6050의 당도 예측모형 개발과 정당성 검증 결과

a) 실험# 5050

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.07	0.81	0.10	1.04
	Mean	0.07	0.81	0.11	1.03
Normalization	Maximum	0.05	0.82	0.07	1.02
	Range	0.06	0.82	0.15	1.02
	MSC	0.08	0.81	0.05	1.03
	SNV	0.07	0.81	0.08	1.01
Savitzky-Golay	1st deri.	0.05	0.82	0.06	1.04
	2nd deri.	0.18	0.76	0.00	1.06
Norris Gap	1st deri.	0.12	0.79	0.06	1.05
	2nd deri.	0.14	0.78	0.03	1.04

b) 실험# 6050

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.21	0.46	0.05	0.46
Mean		0.16	0.48	0.00	0.50
Normalization	Maximum	0.19	0.47	0.00	0.50
	Range	0.22	0.46	0.00	0.49
MSC		0.18	0.47	0.00	0.48
SNV		0.22	0.46	0.00	0.49
Savitzky-Golay	1st deri.	0.23	0.45	0.07	0.47
	2nd deri.	0.25	0.45	0.07	0.47
Norris Gap	1st deri.	0.24	0.45	0.08	0.47
	2nd deri.	0.22	0.46	0.07	0.46

실험# 5050의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 normalization-range의 전처리를 적용하여 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 개발모형의 결정계수는 0.06, SEC는 0.82 Brix, 개발 모형의 검증 결정계수는 0.15, SEP는 1.02 Brix로서 개발한 모형의 정당성은 앞에서 설명한 다른 실험들에 비하여 상당히 저조한 결과를 보였다.

실험# 6050의 경우, 개발한 예측모형 중 가장 높은 당도 예측 성능을 나타내는 모형은 Norris-1st derivation의 전처리를 적용하여 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 개발한 모형의 결정계수는 0.24, SEC는 0.45 Brix로 분석되었고, 개발한 모형의 정당성을 검증한 결과 결정계수는 0.08, SEP는 0.47 Brix로 분석되었다. 이러한 결과를 위에서 설명한 다른 실험들과 비교하면, 실험# 6050으로부터 얻은 당도 예측 모형의 성능은 매우 낮아 그 정당성은 거의 없는 것으로 판단되었다.

이상 설명한 실험# 5050과 6050과 함께 지금까지 설명한 모든 실험결과를 종합하면, 실험# 5030, 5071, 5111에 의해 토마토와 반사광 probe의 측정거리를 6 mm로 유지할 경우 반사광 스펙트럼에 의한 토마토의 당도 예측의 가능성은 충분한 것으로 판단되었으나 실험# 5050과 6050은 이러한 가능성을 부정하는 결과를 보임으로서, 결과적으로 반사광 스펙트럼에 의한 토마토의 당도 예측의 가능성은 있으나 그 측정의 정확성은 측정하는 토마토의 재배나 수확시기에 크게 영향 받음으로 그 예측의 결과는 불안정한 것임을 알 수 있었다.

본 연구에서는 수확시기와 품종에 무관한 단일모형 개발 가능성을 판단하기 위해

2 가지 이상의 실험 자료를 혼합하여 당도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검토하고자 실험# 5030과 5050과 5071의 자료를 선택하였다. 이 선택에 있어, 실험# 6050은 실험 결과가 매우 저조하여 배제하였고, 실험# 5111은 본 실험에 사용가능한 자료가 측정거리 6 mm의 자료만이 가능한데 그 자료의 수는 다른 실험 자료에 비하여 적은 수이기 때문에 배제하였다. 다만, 본 실험에 사용한 실험# 5030의 자료는 품종과 수확시기가 불분명하지만 ‘당도 예측 가능성 판단 실험’에서 당도 예측의 정당성 검증 결과가 유용한 것으로 판단하여 사용하였다. 자료 혼합 시 실험# 5030과 5050의 자료는 수집한 모든 자료였고, 실험# 5071의 자료는 측정거리 6~21 mm의 자료를 대상으로 하였다. 이러한 자료 중 본 연구에서는 실험# 5030과 5071 그리고 실험# 5050과 5071의 자료를 혼합한 후 전과 같은 방법으로 전처리하고 이로부터 수확시기와 품종에 무관한 단일모형 개발 가능성을 판단한 결과는 표 4-7과 표 4-8과 같다.

표 4-7 실험# 5030과 5071의 실험 자료를 혼합하여 당도 예측모형을 개발하고 검증한 결과

a) 모형 개발과 검증

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.32	0.72	0.43	0.55
	Mean	0.36	0.70	0.36	0.60
Normalization	Maximum	0.35	0.71	0.33	0.61
	Range	0.33	0.72	0.40	0.57
	MSC	0.31	0.73	0.38	0.58
	SNV	0.32	0.72	0.39	0.57
Savitzky-Golay	1st deri.	0.33	0.72	0.36	0.58
	2nd deri.	0.02	0.87	0.25	0.67
Norris Gap	1st deri.	0.33	0.72	0.38	0.57
	2nd deri.	0.20	0.79	0.14	0.70

b) 실험# 5030, 5071, 5050, 5111, 6050 각각의 검증용 자료에 의한 검증

Preprocessing		Validation			
		5030		5071	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw data		0.37	0.68	0.37	0.28
Mean		0.39	0.70	0.34	0.28
Normalization	Maximum	0.42	0.67	0.30	0.27
	Range	0.42	0.67	0.35	0.26
MSC		0.41	0.66	0.34	0.32
SNV		0.42	0.67	0.32	0.28
Savitzky-Golay	1st deri.	0.37	0.68	0.02	0.40
	2nd deri.	0.02	0.85	0.15	0.28
Norris Gap	1st deri.	0.36	0.68	0.10	0.32
	2nd deri.	0.14	0.80	0.16	0.61

5050		Validation			
		5111		6050	
R^2	SEP	R^2	SEP	R^2	SEP
0.02	1.13	0.00	1.32	0.00	2.07
0.05	1.10	0.00	0.94	0.01	0.73
0.06	1.07	0.00	0.98	0.01	0.69
0.05	1.10	0.00	1.06	0.01	0.88
0.05	1.35	0.00	1.96	0.01	2.50
0.04	1.08	0.00	0.98	0.01	1.05
0.00	1.04	0.00	1.05	0.04	1.23
0.00	0.97	0.07	0.51	0.01	0.47
0.00	1.05	0.00	1.08	0.05	0.93
0.00	1.05	0.01	0.91	0.00	1.27

실험# 5030과 5071의 혼합자료를 사용하여 개발한 모형 중 검증의 결정계수가 가장 높고 낮은 SEP 값을 보여 가장 우수한 예측 성능을 나타낸 모형은 전처리 없이 (raw data) 개발한 모형으로 개발한 모형의 검증의 결정계수는 0.43, SEP는 0.55 Brix로 분석되었다. 이 모형의 성능을 실험# 5030과 5071의 검증 자료로서 검증한 결과, 실험# 5030의 경우 결정계수는 0.37 (SEP 값은 0.68 Brix), 실험# 5071의 경우 결정계수는 0.37 (SEP 값은 0.28 Brix)로 분석되었다. 이러한 결과를 실험# 5030과 5071의 혼합자료를 사용하여 개발한 당도 예측모형의 검증 결과와 비교하면, 실험# 5030과 5071의 검증 결정계수는 혼합한 검증용 자료의 검증 결정계수보다 약간 낮게 나타났다. 또한 품종이나 수확시기가 다른 실험# 5050, 5111 그리고 6050의 검증용 자료를 이용하여 개발한 혼합 모형을 검증한 결과, 검증의 결정계수는 각각 0.02, 0.00, 0.00이고, SEP는 1.13, 1.32, 2.07 Brix로 분석되어 품종이나 수확시기가 다른 토

마토의 당도의 예측에는 무용한 것으로 나타났다.

표 4-8 실험# 5050과 5071의 자료를 혼합하여 당도예측 모형을 개발하고 검증한 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		5050+5071			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.20	0.62	0.08	0.78
Mean		0.19	0.63	0.11	0.76
Normalization	Maximum	0.20	0.62	0.07	0.78
	Range	0.25	0.60	0.10	0.77
MSC		0.27	0.59	0.32	0.68
SNV		0.25	0.60	0.14	0.75
Savitzky-Golay	1st deri.	0.23	0.61	0.15	0.74
	2nd deri.	0.32	0.57	0.24	0.71
Norris Gap	1st deri.	0.26	0.60	0.21	0.71
	2nd deri.	0.24	0.60	0.23	0.71

실험# 5050과 5071의 혼합자료를 사용하여 개발한 모형 중 검증의 결정계수가 가장 높고 낮은 SEP 값을 보여 가장 우수한 예측 성능을 나타낸 모형은 MSC의 전처리를 수행하여 개발한 모형으로 개발한 모형의 검증의 결정계수는 0.32, SEP는 0.68 Brix로 분석되었다. 이 결과를 앞에서 설명한 실험# 5030과 5071의 당도 예측모형의 검증 결과와 비교하면, 검증 결과의 결정계수는 두 계절 토마토 모형 검증 결과의 결정계수 값의 중간 정도로 나타났고, SEP 값 역시 두 계절 토마토 모형 SEP 값의 중간 정도로 분석되었다. 이러한 결과는 실험# 5050 자체 예측모형의 성능이 실험# 5030의 것보다 열등하여 나타난 것으로 판단되었다. 따라서 두 계절 실험 자료의 혼합에 의한 방법으로 개발한 모형의 성능은 혼합한 각 기초자료 당도 예측성능의 중간 정도로서 혼합하는 기초자료의 당도 예측성능이 우수할 경우 그 결과도 우수할 것으로 예상되었다.

본 연구에서는 혼합 모형의 당도 예측성능을 높이는 하나의 방법으로 2단계 전처리를 고려하였으며, 표 4-9는 실험# 5050과 5071의 혼합자료를 사용하여 본 연구에서 취급한 9종의 전처리로서 구성 가능한 모든 2단계 전처리 과정을 수행한 후 당도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증한 결과이다. 표와 같이 2단계 전처리 수행 결과 중 그 예측성능이 가장 우수한 모형은 MSC + Norris Gap-2nd derivation 조합으로 전처리한 후 개발한 모형으로 나타났으며, 개발 모형 검증의 결정계수는

0.37, SEP는 0.65 Brix로 분석되었다. 이상 분석 결과를 앞에서 설명한 1단계 전처리 결과와 비교하면, 2단계 전처리를 실시하여 개발한 모형의 결정계수가 1단계 전처리로 개발한 모형의 결정계수보다 높게 나타나고 SEP 값은 낮게 나타난 것으로 보아 전처리를 2단계 실시하여 모형을 개발하면 모형의 성능은 나아지는 것으로 판단되었다.

표 4-9 수확시기와 품종에 무관한 단일모형 개발 가능성 판단을 위한 2단계 전처리를 이용한 모형의 개발과 검증

Preprocessing			Calibration		Validation		
			5050+5071				
1st step	2nd step		R^2	SEC	R^2	SEP	
Normalization Mean	Normalization	Maximum	0.18	0.63	0.06	0.78	
		Range	0.17	0.63	0.28	0.75	
		MSC	0.02	0.69	0.16	0.80	
		SNV	0.15	0.64	0.16	0.74	
	Savitzky-Golay	1st deri.	0.20	0.62	0.20	0.62	
		2nd deri.	0.17	0.63	0.28	0.74	
	Norris Gap	1st deri.	0.17	0.63	0.24	0.73	
		2nd deri.	0.09	0.66	0.16	0.80	
	Preprocessing			Calibration		Validation	
				5050+5071			
1st step	2nd step		R^2	SEC	R^2	SEP	
Normalization Maximum	Normalization	Mean	0.19	0.63	0.11	0.76	
		Range	0.00	0.74	0.18	0.73	
		MSC	0.21	0.62	0.20	0.72	
		SNV	0.25	0.60	0.13	0.75	
	Savitzky-Golay	1st deri.	0.17	0.63	0.15	0.74	
		2nd deri.	0.22	0.61	0.30	0.67	
	Norris Gap	1st deri.	0.14	0.64	0.16	0.74	
		2nd deri.	0.20	0.62	0.20	0.72	

Preprocessing			Calibration		Validation		
			5050+5071				
1st step	2nd step		R^2	SEC	R^2	SEP	
Normalization	Normalization	Mean	0.19	0.63	0.11	0.76	
		Maximum	0.20	0.62	0.07	0.78	
		MSC	0.21	0.62	0.20	0.72	
		SNV	0.25	0.60	0.13	0.75	
	Range	Savitzky-Golay	1st deri.	0.31	0.58	0.28	0.68
			2nd deri.	0.28	0.59	0.33	0.66
		Norris Gap	1st deri.	0.20	0.62	0.21	0.71
			2nd deri.	0.18	0.63	0.33	0.66

Preprocessing			Calibration		Validation		
			5050+5071				
1st step	2nd step		R^2	SEC	R^2	SEP	
MSC	Normalization	Mean	0.19	0.63	0.15	0.74	
		Maximum	0.23	0.61	0.04	0.80	
		Range	0.20	0.62	0.17	0.74	
		SNV	0.25	0.60	0.13	0.75	
	Savitzky-Golay		1st deri.	0.27	0.60	0.25	0.70
			2nd deri.	0.30	0.58	0.35	0.65
	Norris Gap		1st deri.	0.32	0.60	0.33	0.68
			2nd deri.	0.27	0.59	0.37	0.65

Preprocessing			Calibration		Validation		
			5050+5071				
1st step	2nd step		R^2	SEC	R^2	SEP	
SNV	Normalization	Mean	0.01	0.69	0.00	0.81	
		Maximum	0.20	0.62	0.23	0.72	
		Range	0.24	0.60	0.11	0.76	
		MSC	0.21	0.62	0.20	0.72	
	Savitzky-Golay		1st deri.	0.17	0.63	0.21	0.72
			2nd deri.	0.26	0.60	0.32	0.66
	Norris Gap		1st deri.	0.16	0.64	0.25	0.71
			2nd deri.	0.17	0.63	0.32	0.67

Preprocessing		Calibration		Validation		
		5050+5071				
1st step	2nd step	R^2	SEC	R^2	SEP	
	Mean	0.00	0.69	0.02	0.80	
	Normalization	Maximum	0.20	0.62	0.23	0.71
		Range	0.19	0.62	0.24	0.70
Savitzky-Golay	MSC	0.20	0.62	0.20	0.72	
1st deri.	SNV	0.19	0.62	0.19	0.72	
	Savitzky-Golay	2nd deri.	0.25	0.60	0.24	0.70
		1st deri.	0.27	0.59	0.19	0.73
	Norris Gap	2nd deri.	0.29	0.58	0.18	0.74

Preprocessing		Calibration		Validation		
		5050+5071				
1st step	2nd step	R^2	SEC	R^2	SEP	
	Mean	0.00	0.69	0.02	0.81	
	Normalization	Maximum	0.28	0.59	0.27	0.74
		Range	0.29	0.59	0.27	0.77
Savitzky-Golay	MSC	0.00	0.69	0.02	0.82	
2nd deri.	SNV	0.30	0.58	0.29	0.74	
	Savitzky-Golay	1st deri.	0.11	0.66	0.06	0.78
		1st deri.	0.11	0.65	0.07	0.78
	Norris Gap	2nd deri.	0.13	0.65	0.08	0.77

Preprocessing		Calibration		Validation		
		5050+5071				
1st step	2nd step	R^2	SEC	R^2	SEP	
	Mean	0.27	0.59	0.26	0.70	
	Normalization	Maximum	0.21	0.62	0.22	0.71
		Range	0.25	0.60	0.14	0.76
Norris Gap	MSC	0.16	0.64	0.18	0.73	
1st deri.	SNV	0.26	0.60	0.20	0.73	
		1st deri.	0.21	0.62	0.13	0.76
	Savitzky-Golay	2nd deri.	0.18	0.63	0.11	0.76
	Norris Gap	2nd deri.	0.24	0.61	0.20	0.73

Preprocessing		Calibration		Validation	
1st step	2nd step	5050+5071			
		R^2	SEC	R^2	SEP
	Mean	0.18	0.63	0.17	0.74
	Normalization				
	Maximum	0.22	0.61	0.24	0.72
	Range	0.23	0.61	0.25	0.72
Norris Gap	MSC	0.20	0.62	0.32	0.66
2nd deri.	SNV	0.27	0.59	0.25	0.71
	Savitzky-Golay				
	1st deri.	0.25	0.60	0.20	0.72
	2nd deri.	0.16	0.64	0.19	0.72
	Norris Gap	0.23	0.61	0.17	0.73

이상의 반사광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측에 관한 모든 실험결과를 종합하면, 반사광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측은 토마토 채배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백하여 경우에 따라 그 예측이 불가능할 가능성이 큰 것으로 분석되었다. 당도 예측 시 나타나는 계절적 영향을 배제하는 방법은 다계절에 수확한 다품종 토마토의 실험자료를 혼합하는 방법으로 판단되었으나 이러한 혼합 모형을 개발 할 경우, 사용하는 실험자료는 그 자체의 당도 예측성능이 우수하여야 하며, 개발한 모형의 성능은 모형 개발 시 관련되었던 토마토의 당도 예측에만 효과적인 것으로 판단되었다.

그리고 반사광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측모형 개발 시 효과적인 전처리 방법은 앞에서 설명한 모든 실험결과와 같이 단일의 방법으로 제시할 수 없으며, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 본 연구에서 시도한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사하는 방법으로 찾아야 하는 것으로 판단되었다. 당도 예측모형 개발 시 예측 성능을 높이기 위하여 2단계 전처리하는 것은 효과적인 것으로 판단되었다.

2) 경도 예측실험

가) 경도 예측모형 개발 가능성 판단 기초실험

토마토의 반사광 스펙트럼을 이용한 경도의 예측 가능성을 알아보기 위하여 실험# 7040 자료를 이용하여 당도 예측모형 개발 가능성 판단 실험과 같은 방법으로 전처리한 후 경도 예측모형을 개발하고 검증용 자료를 이용하여 개발한 모형의 정당성을 검증하였다. 그 결과를 전처리별로 예측모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증결과의 결정계수와 SEP 값으로 정리한 결과는 표 4-10과 같다.

표 4-10 실험# 7040 자료를 이용한 경도 예측 가능성 조사 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.44	8.33	0.17	6.98
	Mean	0.34	9.03	0.20	6.71
Normalization	Maximum	0.35	8.99	0.21	6.68
	Range	0.29	9.39	0.16	6.82
	MSC	0.33	9.12	0.18	6.57
	SNV	0.34	9.04	0.18	6.69
Savitzky-Golay	1st deri.	0.40	8.06	0.14	6.96
	2nd deri.	0.41	8.54	0.13	6.99
Norris Gap	1st deri.	0.41	8.54	0.15	6.82
	2nd deri.	0.42	8.46	0.15	6.83

개발한 모형 중 가장 우수한 예측 성능을 나타내는 모형은 normalization-maximum 전처리를 수행하여 얻은 모형으로서, 모형 개발 결정계수는 0.35, SEC는 8.99 N, 개발한 모형의 정당성을 검증한 결과 결정계수는 0.21, SEP는 6.68 N으로서 모형 정당성 검증결과의 결정계수가 낮은 것으로 보아 토마토의 반사광 스펙트럼을 이용하여 내부품질 중 하나인 경도의 예측모형을 개발할 경우 그 예측모형의 성능은 별로 좋지 않을 것으로 판단되었다.

나) 토마토의 경도 대표지점 선발 실험

토마토의 반사광 스펙트럼을 이용하여 토마토 경도를 측정하는데 있어 토마토 전체의 경도를 대표할 수 있는 측정 위치를 결정하기 위하여 실험한 결과는 표 4-11과 같다.

표 4-11 토마토 위치별 경도 평균 분석 결과

측정 위치	평균경도(N)
상부 (1, 2, 3, 4)	25.8±0.6
중간 (5, 6, 7, 8)	23.4±0.4
하부 (9, 10, 11, 12)	24.5±0.4
전 체 평 균	24.5

표로부터 토마토를 상부, 중간, 하부로 나누었을 때 토마토의 상부가 가장 단단한 부분으로 분석되었으며, 중간 부분은 가장 무른 부분으로 분석되었고, 하부는 상부와 중간 부분의 중간정도의 경도를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 분석된 결과를 바

탕으로 토마토 전체의 평균 경도와 유사한 경도를 보인 부분을 조사한 결과 토마토의 하부가 대체로 전체 토마토의 평균경도를 대표할 수 있을 것으로 판단되었다.

다) 수확시기와 품종 무관 경도 예측 단일모형 개발 가능성 검토

토마토의 수확시기와 품종에 무관한 단일모형의 개발 가능성을 검토하기 위하여 앞에서 설명한 실험# 7040 외에 실험# 7050을 수행한 후 그 자료를 이용하여 전과 같은 방법으로 경도 예측모형을 개발한 다음 그의 정당성을 검증하였으며 그 결과는 표 4-12와 같다.

표 4-12 실험# 7050 자료를 이용한 경도 예측모형 개발과 검증 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.22	6.96	0.12	14.27
	Mean	0.14	7.27	0.05	12.65
Normalization	Maximum	0.14	7.26	0.05	12.69
	Range	0.19	7.09	0.10	11.61
	MSC	0.17	7.13	0.07	13.01
	SNV	0.15	7.25	0.06	12.81
Savitzky-Golay	1st deri.	0.16	7.20	0.07	12.78
	2nd deri.	0.14	7.28	0.09	12.84
Norris Gap	1st deri.	0.15	7.22	0.07	12.76
	2nd deri.	0.17	7.17	0.09	12.94

실험# 7050의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 아무런 전처리를 하지 않은 자료를 이용하여 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 개발모형의 결정계수는 0.22, SEC는 6.96 N으로 분석되었고, 개발한 모형의 정당성을 검증한 결과 결정계수는 0.12, SEP는 14.27 N으로 분석되었다. 이러한 결과를 위에서 설명한 실험# 7040의 결과와 비교하면, 실험# 7050으로부터 얻은 경도 예측모형의 성능은 더욱 낮은 것으로 판단되었다.

결과적으로, 반사광의 분광분석에 의한 토마토 경도 예측 시 그 성능은 당도의 경우보다 상당히 열등하고 토마토 재배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백한 것으로 판단되었다. 반사광의 분광분석방법으로 토마토의 경도를 예측하는데 있어 나타나는 이러한 계절적 영향을 배제할 수 있는 하나의 방법은, 위의 당도 예측실험에서와 마찬가지로 수확시기나 품종이 다른 토마토로부터 측정된 반사광 스펙트럼 자료를 혼합하여 자료를 만들고 이의 경도 예측모형을 전과 같은 방법으로 개발하는

방법이며, 본 연구에서는 실험# 7040과 7050 자료를 혼합하여 최선의 경도 예측모형을 찾고자 하였으며 그 결과는 표 4-13과 같다.

표 4-13 실험# 7040과 7050의 혼합자료를 이용한 수확시기와 품종 무관 경도 예측 단일모형 개발 및 검증 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7040+7050			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.43	8.37	0.08	8.24
Normalization	Mean	0.36	8.92	0.07	8.15
	Maximum	0.36	8.89	0.07	8.19
	Range	0.33	9.07	0.08	8.29
MSC		0.37	8.85	0.01	14.90
SNV		0.33	9.10	0.07	8.18
Savitzky-Golay	1st deri.	0.38	8.76	0.04	8.70
	2nd deri.	0.41	8.57	0.03	8.81
Norris Gap	1st deri.	0.42	8.44	0.07	8.29
	2nd deri.	0.39	8.69	0.05	8.47

실험결과를 보면, 개발한 모형 중 가장 높은 예측 성능을 나타내는 모형으로는 아무런 전처리를 수행하지 않고 개발한 모형으로 개발한 모형의 결정계수는 0.43, SEC는 8.37 N, 개발한 모형의 정당성을 검증한 결과의 결정계수는 0.08, SEP는 8.24 N으로 분석되었다. 이상의 결과를 앞에서 설명한 실험# 7040과 7050의 토마토 경도 예측모형의 검증 결과와 비교하면, 혼합 자료로 개발한 모형의 검증 결과의 결정계수는 각 실험별 모형에 대한 검증 결과의 결정계수보다 낮은 것으로 나타났고, SEP 값은 각 실험별 토마토 모형의 SEP 값의 중간 정도로 나타났다. 따라서 두 계절 토마토 실험 자료의 혼합 후 1단계 전처리하는 방법으로 수확시기에 무관한 경도 예측의 단일모형의 개발은 당도 예측 경우와는 달리 별로 효과적이지 않는 것으로 판단되었다.

이상의 반사광 분광분석에 의한 토마토 경도 예측에 관한 모든 실험결과를 종합하면, 반사광의 분광분석에 의한 토마토 경도 예측 시 그 성능은 당도의 경우보다 상당히 열등하고 토마토 재배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백한 것으로 판단되었다. 반사광의 분광분석방법으로 토마토의 경도를 예측하는데 있어 나타나는 이러한 계절적 영향을 배제하기 위하여 실험 자료를 혼합하는 방법은 당도 예측 경우와는 달리 별로 효과적이지 않는 것으로 판단되었다.

3) 투과광 스펙트럼 이용 내부품질 예측실험

가) 예측모형 개발에 효과적인 스펙트럼 파장대역 결정

당도 예측모형 개발의 경우, 실험한 3종의 파장대역에 있어 전처리별 개발모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증의 결정계수와 SEP 값은 표 4-14와 같다. 표와 같이 각 전처리별 개발 모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 특히 검증 결과의 결정계수와 SEP 값을 보면 사용한 파장대역의 폭이 좁을수록 당도 예측의 정확도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 종합적으로 판단하면, 당도 예측의 경우 측정된 스펙트럼의 전체 대역(660~1100 nm)의 자료를 사용하는 것이 좀 더 정확한 결과를 나타낼 수 있었다. 당도 예측 모형 개발에 사용한 전처리 중 가장 우수한 결과를 나타낸 것은 normalization-mean 전처리 경우로 나타났다.

표 4-14 당도예측 개발 모형의 사용한 파장대역별 성능분석 결과

a) 660-1100 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.76	0.22	0.53	0.43
Mean		0.74	0.30	0.54	0.42
Normalization	Maximum	0.85	0.24	0.53	0.42
	Range	0.77	0.28	0.53	0.42
MSC		0.74	0.30	0.36	0.42
SNV		0.72	0.31	0.44	0.43
Savitzky-Golay	1st deri.	0.74	0.31	0.32	0.42
	2nd deri.	0.50	0.41	0.13	0.47
Norris Gap	1st deri.	0.69	0.32	0.30	0.43
	2nd deri.	0.71	0.30	0.20	0.47

b) 660 - 950 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.53	0.45	0.28	0.52
Mean		0.49	0.46	0.15	0.56
Normalization	Maximum	0.49	0.46	0.13	0.56
	Range	0.37	0.50	0.19	0.53
MSC		0.03	0.60	0.01	0.60
SNV		0.32	0.52	0.16	0.55
Savitzky-Golay	1st deri.	0.05	0.60	0.10	0.57
	2nd deri.	0.07	0.59	0.10	0.57
Norris Gap	1st deri.	0.49	0.46	0.26	0.52
	2nd deri.	0.07	0.59	0.02	0.57

c) 660 - 850 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.02	0.50	0.10	0.48
Mean		0.02	0.50	0.01	0.50
Normalization	Maximum	0.02	0.50	0.01	0.50
	Range	0.02	0.50	0.00	0.50
MSC		0.03	0.50	0.03	0.49
SNV		0.03	0.50	0.03	0.49
Savitzky-Golay	1st deri.	0.05	0.49	0.16	0.46
	2nd deri.	0.06	0.49	0.14	0.47
Norris Gap	1st deri.	0.05	0.50	0.16	0.46
	2nd deri.	0.06	0.49	0.15	0.46

경도 예측모형 개발의 경우, 실험한 3종의 파장대에 있어 전처리별 개발모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증의 결정계수와 SEP값은 표 4-15와 같다. 실험한 3종의 파장대에 있어, 개발 모형의 결정계수나 검증 결과의 결정계수 그리고 SEC 값과 SEP 값 모두 측정된 스펙트럼의 전대역(659-1100 nm)의 자료를 사용하는 것이 좀 더 정확한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 경도 예측 모형 개발에 사용한 전처리 중 가장 우수한 결과를 나타낸 것은 normalization-range와 MSC로 나타났다.

표 4-15 경도예측 개발 모형의 파장대역별 성능분석 결과

a) 660-1100 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.51	2.8	0.45	3.0
Mean		0.46	2.9	0.39	3.1
Normalization	Maximum	0.52	2.4	0.47	2.6
	Range	0.58	2.4	0.52	2.6
MSC		0.57	2.5	0.52	2.6
SNV		0.57	2.4	0.51	2.6
Savitzky-Golay	1st deri.	0.56	2.3	0.49	2.5
	2nd deri.	0.22	3.5	0.19	3.6
Norris Gap	1st deri.	0.50	2.7	0.43	2.9
	2nd deri.	0.55	2.6	0.48	2.8

b) 660 - 950 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.38	5.5	0.16	5.4
Mean		0.40	5.2	0.20	5.4
Normalization	Maximum	0.40	5.2	0.25	5.4
	Range	0.40	5.2	0.25	5.3
MSC		0.39	5.2	0.25	5.3
SNV		0.40	5.2	0.25	5.4
Savitzky-Golay	1st deri.	0.39	5.2	0.21	5.4
	2nd deri.	0.14	5.8	0.04	5.7
Norris Gap	1st deri.	0.39	5.5	0.21	5.4
	2nd deri.	0.41	5.2	0.21	5.4

c) 660 - 850 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.38	5.3	0.19	5.4
Mean		0.40	5.2	0.24	5.3
Normalization	Maximum	0.39	5.2	0.24	5.3
	Range	0.39	5.2	0.24	5.3
MSC		0.39	5.2	0.25	5.2
SNV		0.40	5.2	0.24	5.3
Savitzky-Golay	1st deri.	0.39	5.2	0.21	5.3
	2nd deri.	0.14	5.8	0.04	5.6
Norris Gap	1st deri.	0.39	5.3	0.20	5.4
	2nd deri.	0.39	5.3	0.18	5.5

산도 예측모형 개발의 경우, 실험한 3종의 파장대에 있어 전처리별 개발모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증의 결정계수와 SEP값은 표 4-16과 같다. 산도 예측모형 개발의 경우, 실험한 3종의 파장대에 있어 개발 모형의 결정계수나 검증 결과의 결정계수 그리고 SEC 값과 SEP 값의 차이는 당도나 경도 예측모형에서와 마찬가지로 측정된 스펙트럼의 전대역(660~1100 nm)의 자료를 사용하는 것이 좀 더 우수한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 산도 예측 모형 개발에 사용한 전처리 중 가장 우수한 결과를 나타낸 것은 MSC나 SNV로 나타났다.

표 4-16 산도예측 개발 모형의 파장대역별 성능분석 결과

a) 660-1100 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.21	0.10	0.13	0.10
Mean		0.27	0.08	0.18	0.09
Normalization	Maximum	0.24	0.08	0.18	0.09
	Range	0.24	0.08	0.18	0.09
MSC		0.29	0.08	0.22	0.08
SNV		0.29	0.08	0.22	0.08
Savitzky-Golay	1st deri.	0.30	0.09	0.21	0.10
	2nd deri.	0.18	0.10	0.11	0.10
Norris Gap	1st deri.	0.49	0.08	0.30	0.09
	2nd deri.	0.32	0.09	0.16	0.10

b) 660 - 950 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.26	0.12	0.10	0.11
Mean		0.21	0.12	0.06	0.11
Normalization	Maximum	0.24	0.12	0.12	0.11
	Range	0.21	0.12	0.10	0.11
MSC		0.21	0.12	0.08	0.11
SNV		0.20	0.12	0.08	0.11
Savitzky-Golay	1st deri.	0.20	0.12	0.06	0.12
	2nd deri.	0.13	0.13	0.03	0.12
Norris Gap	1st deri.	0.20	0.12	0.06	0.12
	2nd deri.	0.30	0.11	0.18	0.11

c) 660 - 850 nm

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.22	0.12	0.09	0.11
	Mean	0.22	0.12	0.11	0.11
Normalization	Maximum	0.24	0.12	0.14	0.11
	Range	0.23	0.12	0.12	0.11
	MSC	0.23	0.12	0.10	0.11
	SNV	0.21	0.12	0.10	0.11
Savitzky-Golay	1st deri.	0.30	0.11	0.18	0.11
	2nd deri.	0.15	0.13	0.03	0.12
Norris Gap	1st deri.	0.28	0.11	0.17	0.11
	2nd deri.	0.32	0.11	0.19	0.10

이상의 실험결과를 종합하면, 투과광을 이용한 토마토 내부품질 예측모형 개발에 있어 그 예측성능이 우수한 스펙트럼 파장대역은 당도, 경도, 산도 모두 사용한 투과광용 토마토 내부품질 측정 장치의 측정범위인 660~1100 nm로 판단되었다. 이러한 스펙트럼 파장대역의 측정 자료를 본 연구에서 수행한 모든 투과광을 이용한 토마토 내부품질 예측모형 개발에 있어 사용하였다.

나) 당도 예측실험

토마토 당도 예측모형을 개발하기 위하여, 첫째 수확시기별로 당도 예측의 가능성을 파악한 다음, 둘째 특정 수확시기의 당도 예측모형을 다른 수확시기 토마토에 이용 가능성을 확인하였으며, 셋째 동일 품종 실험 자료를 사용하여 수확시기에 관계없이 사용할 수 있는 당도 예측모형의 개발 가능성을 확인하였고, 마지막으로 수확시기 및 품종에 관계없이 당도를 예측 할 수 있는 단일 모형 개발의 가능성을 확인하는 실험을 수행하는 과정으로 수행하였다.

(1) 당도 예측 가능성 판단 실험

위의 '당도예측 개발 모형의 사용한 파장대역별 성능분석'에서 설명한 실험# 7030 외에 추가로 수행한 3 가지 수확시기별 실험(# 7040, 7050, 7070) 결과 중 당도 예측 실험 결과를 사용하여 당도 예측모형을 개발하고 그 성능을 전처리별로 예측모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증결과의 결정계수와 SEP 값으로 파악한 결과는 표 4-17과 같다. 표로부터 각 실험에 있어 가장 우수한 결과를 도출한 전처리를 찾고 그에 따른 개발모형의 성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

표 4-17 당도 예측모형 개발 및 검증 결과

a) 실험# 7040

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.66	0.39	0.48	0.50
Normalization	Mean	0.69	0.37	0.44	0.54
	Maximum	0.69	0.36	0.39	0.59
	Range	0.69	0.36	0.48	0.54
	MSC	0.68	0.37	0.37	0.57
SNV		0.69	0.36	0.43	0.56
Savitzky-Golay	1st deri.	0.68	0.37	0.25	0.67
	2nd deri.	0.48	0.47	0.19	0.63
Norris Gap	1st deri.	0.64	0.39	0.20	0.68
	2nd deri.	0.64	0.39	0.20	0.67

b) 실험# 7050 당도 예측모형 개발 및 검증 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.34	0.33	0.24	0.35
Normalization	Mean	0.41	0.30	0.28	0.34
	Maximum	0.38	0.32	0.28	0.34
	Range	0.40	0.30	0.28	0.33
	MSC	0.41	0.29	0.32	0.33
SNV		0.42	0.29	0.31	0.32
Savitzky-Golay	1st deri.	0.43	0.30	0.26	0.33
	2nd deri.	0.03	0.45	0.06	0.45
Norris Gap	1st deri.	0.34	0.32	0.21	0.35
	2nd deri.	0.38	0.32	0.23	0.36

c) 실험# 7070 당도 예측모형 개발 및 검증 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw 실험		0.13	0.36	0.00	0.42
Normalization	Mean	0.13	0.36	0.00	0.42
	Maximum	0.12	0.36	0.00	0.42
	Range	0.12	0.36	0.00	0.42
	MSC	0.10	0.36	0.00	0.42
SNV		0.10	0.36	0.00	0.42
Savitzky-Golay	1st deri.	0.12	0.36	0.00	0.42
	2nd deri.	0.15	0.35	0.00	0.42
Norris Gap	1st deri.	0.12	0.36	0.00	0.42
	2nd deri.	0.10	0.36	0.00	0.42

위의 ‘당도예측 개발 모형의 사용한 과장대역별 성능분석실험’인 실험# 7030의 당도 예측실험 자료 중 660-1100 nm의 결과를 보면, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 normalization-mean 전처리하여 개발한 모형이었다. 이 경우 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.74와 0.54, SEC와 SEP 값은 각각 0.30과 0.42 Brix로서 검증결과의 결정계수와 SEP 값으로 보면 그 모형의 실제적 사용 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

실제로 이 당도예측모형에 의해 토마토를 선별할 경우 그 정확도를 파악하고자 당도예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 하여 당도 5 Brix를 기준으로 선별하고 그 정확도(CCR)를 조사하였다. 그 결과를 보면, 그림 4-8과 같이 5.5 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 31.5% (5/16)와 100% (24/24)로서 전체는 72.5% (29/40)로 분석되어 비교적 우수한 결과로 나타났다.

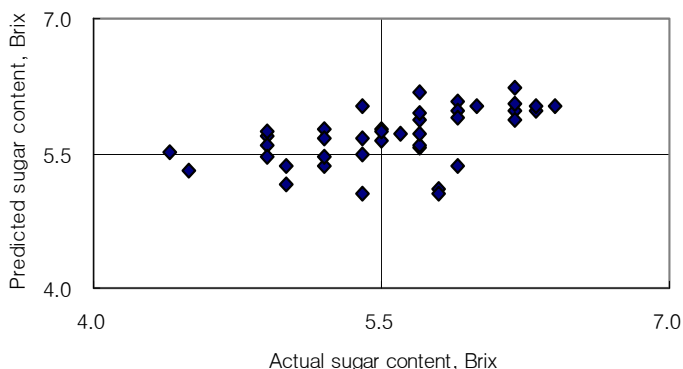


그림 4-8 실험# 7030 결과에 대한 당도 5.5 Brix 기준 선별 정확도

실험# 7040의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 전처리 없이 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.66과 0.48, SEC와 SEP값은 각각 0.39과 0.50 Brix로서 검증결과의 결정계수와 SEP 값으로 보면 실험# 7030과 같은 수준의 예측 성능을 갖는 것으로 나타나 그 모형의 실용성이 있는 것으로 판단되었다.

이 당도예측모형에 대해서도 토마토 선별 시 정확도를 파악하고자 당도 5.5 Brix를 기준으로 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 선별하여 그 정확도를 조사하였다. 그 결과를 보면, 그림 4-9와 같이 5.5 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 47.1% (9/17)와 100% (36/36)로서 전체는 84.9% (45/53)로 분석되어 실험# 7030 결과와 마찬가지로 비교적 우수한 결과로 판단되었다.

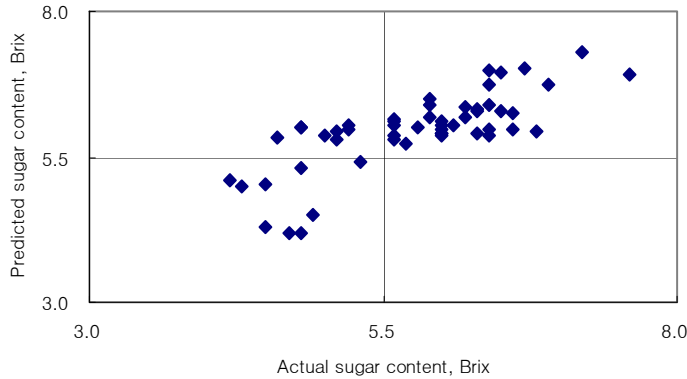


그림 4-9 실험# 7040 결과에 대한 당도 5.5 Brix 기준 선별 정확도

실험# 7050의 경우, 전처리별 당도 예측모형 중 MSC 전처리 후 개발한 예측모형이 정당성 검증 결과 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 개발한 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.41과 0.32, SEC와 SEP 값은 각각 0.29와 0.32 Brix로서 실험# 7040과 비교하면 두 가지 결정계수와 SEC와 SEP 모두 낮은 값으로서 검증결과의 결정계수로 보면 그 당도예측 성능은 대체로 낮은 수준이나 SEP 값으로 보면 그 실용성이 없지 않을 것으로 예상되었다.

실제로 이 당도예측모형에 의한 선별의 정확도를 판단하기 위하여 이 당도 예측모형으로서 정당성검증용 토마토 시료를 대상으로 당도 4.5와 5 Brix를 기준으로 하여 각각 선별한 경우 선별의 정확도를 조사한 결과는 다음과 같다. 당도 4.5 Brix를 기준으로 선별한 경우 정확도를 보면, 4.5 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 84.0% (21/25)와 56.3% (27/48)로서 전체는 65.8% (48/73), 당도 5.0 Brix를 기준으로 선별한 경우는 5 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 87.5% (42/48)와 8.0% (2/25)로서 전체의 정확도는 60.3% (44/73)로 분석되어 그 실용성은 있는 것으로 판단되었다.

실험# 7070의 경우를 보면, 개발한 10종의 예측모형 모두 정당성 검증결과의 결정계수가 0으로서 실측값과 개발 모형에 의한 예측값과는 상관관계가 전혀 없는 것으로 나타나 결과적으로 분광분석에 의한 토마토의 당도 예측은 불가능한 것으로 나타났다. 앞에서 설명한 실험# 7030, 7040, 7050에 비하여 본 실험 결과가 이처럼 저조한 결과를 나타낸 이유는 토마토 구성물질의 비율이 토마토 재배 또는 수확 시기에 따라 달라서 그러한 영향이 당 함량 예측에 관여하는 스펙트럼 성분에 영향을 주어 나타난 결과로 판단되었다.

이상의 결과를 종합하면, 투과광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측은 가능하나 그 예측의 성능은 반사광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측과 마찬가지로 토마토 재배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백하여 투과광의 분광분석방법으로 토

마토의 당도를 예측하기 위해서는 그러한 영향을 배제할 수 있는 방법을 모색하여야 할 것으로 판단되었다. 그리고 투과광의 분광분석에 의한 당도 예측모형 개발 시 효과적인 전처리 방법은 단일의 방법을 제시할 수 없으며, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 본 연구에서 수행한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사하는 방법으로 찾아야 할 것으로 판단되었다.

(2) 수확시기 무관 당도 예측 가능성 판단 실험

수확시기와 무관한 당도 예측모형 개발의 가능성을 파악하기 위하여, 먼저 위에서 설명한 수확시기별 당도 예측모형으로서 다른 수확시기 토마토를 대상으로 그 예측의 수준을 조사하였다. 이는 다양한 전처리를 거쳐 개발한 모든 예측모형에 대하여 개발한 당도 예측모형의 정당성을 검증하는 방법(검증의 결정계수와 SEP값 분석)과 같은 방법으로 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

표 4-18의 a)는 실험# 7040의 당도 예측모형으로서 실험# 7030과 실험# 7050의 자료를 검증한 결과, b)는 실험# 7050의 당도 예측모형으로서 실험# 7030과 실험# 7040의 자료를 검증한 결과, c)는 실험# 7070의 당도 예측모형으로서 실험# 7040과 실험# 7050의 자료를 검증한 결과이다.

표 4-18 수확시기 무관 당도 예측모형 개발 가능성 검토 결과

a) 실험# 7040 당도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7030		7050	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw	실험	0.07	0.54	0.06	0.63
	Mean	0.24	0.54	0.03	0.55
Normalization	Maximum	0.20	0.55	0.03	0.57
	Range	0.23	0.56	0.02	0.53
	MSC	0.19	0.54	0.01	0.61
	SNV	0.18	0.57	0.02	0.55
Savitzky-Golay	1st deri.	0.15	0.72	0.04	0.69
	2nd deri.	0.04	0.55	0.02	0.68
Norris Gap	1st deri.	0.14	0.77	0.08	0.72
	2nd deri.	0.11	0.79	0.08	0.66

b) 실험# 7050 당도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7030		7040	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw 실험		0.12	0.67	0.23	0.58
Mean		0.24	0.46	0.36	0.52
Normalization	Maximum	0.27	0.45	0.40	0.48
	Range	0.27	0.49	0.35	0.51
MSC		0.18	0.46	0.29	0.57
SNV		0.12	0.54	0.33	0.50
Savitzky-Golay	1st deri.	0.14	0.58	0.32	0.48
	2nd deri.	0.04	0.50	0.09	0.63
Norris Gap	1st deri.	0.13	0.66	0.36	0.53
	2nd deri.	0.10	0.76	0.28	0.55

c) 실험# 7070 당도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7040		7050	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw 실험		0.00	0.52	0.07	0.91
Mean		0.00	0.47	0.03	0.81
Normalization	Maximum	0.00	0.48	0.02	0.81
	Range	0.00	0.48	0.02	0.81
MSC		0.00	0.50	0.07	0.83
SNV		0.00	0.47	0.07	0.83
Savitzky-Golay	1st deri.	0.00	0.51	0.09	0.88
	2nd deri.	0.01	0.49	0.09	0.82
Norris Gap	1st deri.	0.00	0.51	0.09	0.89
	2nd deri.	0.00	0.49	0.09	0.82

실험# 7040으로부터 구한 당도 예측모형(전처리 없이 개발한 모형으로서 검증의 결정계수는 0.48, SEP 값은 0.50 Brix)으로서 실험# 7030과 7050의 검증 자료로 예측성능을 조사한 결과, 검증 결과의 결정계수는 실험# 7030과 7050에서 표와 같이 각각 0.07과 0.06 (SEP 값은 0.54와 0.63)으로서 그 예측성능은 전반적으로 앞에서 보

인 동일 모집단의 검증용 자료로 검증한 결과인 0.48보다 상당히 낮은 결과를 보였다. 이러한 결과는, 실험# 7050으로부터 구한 당도예측모형(MSC 전처리 후 개발한 모형으로서 검증의 결정계수는 0.32, SEP 값은 0.33 Brix)으로서 실험# 7030과 7040의 자료로 그 예측성능을 조사한 결과 검증의 결정계수는 각각 0.18과 0.29로서 실험# 7040과 비슷한 결과로 나타났다. 그러나 동일 모집단의 검증용 자료에 의한 예측성능 검증 결과가 대단히 불량했던 실험# 7070의 당도예측모형의 경우, 실험# 7040과 7050의 자료로 그 예측성능을 조사한 결과, 그 예측성능은 실험# 7050 자료에 의한 성능 검증 결과 SEP 값은 증가하였으나 예측치와 실측치간의 결정계수가 동일 모집단의 검증용 자료에 의한 예측성능보다 약간 나아진 것으로 나타났다.

이러한 결과로 보아, 임의 특정 계절에 효과적인 토마토 당도 예측모형으로서 타 계절에 생산한 토마토의 당도를 예측할 경우, 예측의 정확도가 상당히 낮아질 가능성이 크므로 임의 계절 토마토의 당도 예측모형으로서 타 계절 토마토의 당도를 예측하는 것은 바람직한 방법이 아닌 것으로 판단하였다.

(3) 단일 품종의 수확시기 무관 당도 예측 가능성 판단 실험

수확시기에 무관한 당도 예측모형의 개발 가능성을 검토하기 전에 먼저 단일 품종 토마토에 대하여 수확시기에 관계없이 당도를 예측할 수 있는 모형의 개발 및 그 예측 가능성을 검토하였다. 이는 품종이 같고 수확시기가 다른 실험# 7030과 7040 자료를 혼합하고 전처리한 후 각 전처리별 당도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 혼합 자료의 검증용 자료로 검증한 결과는 표 4-19와 같다. 표와 같이 수확시기가 다른 단일 품종 토마토의 당도 예측모형의 개발은 전처리별 개발 모형 중 MSC 전처리하여 개발한 모형의 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 정당성 검증결과의 결정계수와 SEP값은 각각 0.65, 0.45 Brix로 나타났다. 동 모형으로 실험# 7030과 7040의 검증용 자료로 각각 그 예측성능을 조사한 결과, 정당성 검증결과의 결정계수는 표와 같이 각각 0.45와 0.73으로서 검증용 혼합자료에서의 성능보다 낮거나 높은 결과로 나타났다. 따라서 단일 품종에 대한 수확시기에 관계없는 당도 예측모형의 개발은 가능성은 높은 것으로 판단되었다.

이러한 당도예측모형의 성능을 확인하기 위하여, MSC로 전처리 경우의 당도예측 모형으로서 당도 5.0과 5.5 Brix를 기준으로 각각 선별한 경우 선별의 정확도를 조사한 결과, 당도 5.0 Brix로 선별한 경우 정확도는 5.0 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 38.0% (6/16)과 95.4% (103/108)로서 전체는 87.9% (109/124), 당도 5.5 Brix를 기준으로 선별한 경우는 5.5 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 79.2% (38/48)와 98.7% (75/76)로서 전체의 정확도는 91.1% (113/124)로 분석되었다.

표 4-19 수확시기 무관 단일 품종 당도 예측모형 개발 및 성능 분석 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7030+7040			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.12	0.50	0.29	0.64
Mean		0.52	0.37	0.64	0.45
Normalization	Maximum	0.09	0.51	0.32	0.66
	Range	0.09	0.51	0.31	0.67
MSC		0.53	0.37	0.65	0.45
SNV		0.51	0.37	0.65	0.46
Savitzky-Golay	1st deri.	0.08	0.51	0.27	0.65
	2nd deri.	0.07	0.51	0.25	0.66
Norris Gap	1st deri.	0.31	0.44	0.64	0.47
	2nd deri.	0.22	0.47	0.45	0.57

Validation			
7030		7040	
R^2	SEP	R^2	SEP
0.10	0.49	0.39	0.69
0.49	0.36	0.72	0.46
0.07	0.48	0.42	0.73
0.06	0.49	0.42	0.74
0.45	0.37	0.73	0.46
0.46	0.37	0.72	0.47
0.12	0.47	0.34	0.71
0.15	0.46	0.33	0.71
0.38	0.39	0.73	0.49
0.20	0.45	0.54	0.60

(4) 수확시기와 품종 무관 당도 예측 단일모형 개발 가능성 판단 실험

토마토 품종과 수확시기에 무관한 당도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하기 위하여 수확시기별로 품종이 다른 실험# 7040과 7050 자료를 혼합하고 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 예측 가능성을 실험# 7030, 7040, 7050의 자료로 검증하여 파악한 결과는 표 4-20과 같다. 표와 같이 수확시기가 다른 자료를 혼합하여 각 전처리별 개발한 당도 예측모형 중 normalization-mean 전처리 후 개발한 모형의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이 예측모형의 검증의 결정계수와 SEP 값은 0.49, 0.42 Brix, 그리고 실험# 7030과 7040과 7050의 검증용 자료로 검증한 결과, 검증의 결정계수는 표와 같이 각각 0.29, 0.35, 0.26으로서 검증용 혼합자료에 의한 검증의 결정계수보다 모두 낮은 결과로 나타났다.

이러한 당도예측모형의 성능을 확인하기 위하여, normalization-mean으로 전처리

한 당도예측모형으로서 당도 5.0과 5.5 Brix를 기준으로 각각 검증용 혼합자료로서 선별의 정확도를 조사한 결과, 당도 5.0 Brix로 선별한 경우의 정확도는 5.0 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 70.2% (33/47)과 64.4% (65/101)로서 전체는 66.2% (98/148), 당도 5.5 Brix를 기준으로 선별한 경우는 5.5 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 93.5% (100/107)와 51.2% (24/41)로서 전체의 정확도는 83.8% (124/148)로 분석되었다. 따라서 품종과 수확시기에 관계없는 당도 예측모형 개발의 가능성은 충분히 인정되는 것으로 판단되었다.

표 4-20 수확시기 무관 당도 예측모형 개발 및 성능 분석 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7040+7050			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.61	0.47	0.46	0.47
Mean		0.67	0.43	0.49	0.42
Normalization	Maximum	0.67	0.43	0.47	0.44
	Range	0.67	0.43	0.47	0.43
MSC		0.67	0.43	0.49	0.54
SNV		0.68	0.42	0.48	0.43
Savitzky-Golay	1st deri.	0.61	0.46	0.42	0.49
	2nd deri.	0.47	0.54	0.14	0.61
Norris Gap	1st deri.	0.59	0.48	0.42	0.49
	2nd deri.	0.59	0.48	0.40	0.49

Validation					
7030		7040		7050	
R^2	SEP	R^2	SEP	R^2	SEP
0.23	0.73	0.13	0.74	0.19	0.62
0.29	0.72	0.35	0.57	0.26	0.54
0.33	0.68	0.33	0.59	0.21	0.59
0.35	0.67	0.34	0.59	0.16	0.61
0.38	0.68	0.36	0.57	0.15	0.76
0.40	0.63	0.35	0.58	0.17	0.55
0.13	0.82	0.07	0.74	0.11	0.64
0.07	0.84	-	-	0.01	0.64
0.13	0.81	0.07	0.72	0.13	0.63
0.14	0.79	0.10	0.69	0.10	0.62

수확시기와 품종에 무관한 당도 예측 모형의 개발의 가능성을 좀더 많은 실험 자료로 판단하기 위하여 수확시기와 품종이 다른 실험# 7040, 7050 그리고 7070의 자료에 대해서도 그들을 혼합하고 전처리한 후 경도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증용 혼합자료로 검증하였으며 그 결과는 표 4-21과 같다. 그 결과 normalization-mean으로 전처리하여 개발한 모형의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났으나 이 경우 검증의 결정계수는 0.20(SEP 값은 0.7 Brix)으로 저조한 결과를 보였다. 실험# 7040과 7050과 7070의 검증 자료로 검증한 결과, 실험# 7040의 경우 검증의 결정계수는 0.56이나 실험# 7050과 7070의 경우 예측치와 실측치간 결정계수가 0으로서 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 앞에서 설명한 바와 같이 실험# 7070의 당도예측결과가 매우 좋지 않았던 것에 기인한 것으로 판단되었다.

참고로 이러한 당도 예측모형의 성능을 확인하기 위하여, normalization-mean으로 전처리한 당도예측모형으로서 당도 5.0과 5.5 Brix를 기준으로 각각 검증용 혼합자료로서 선별의 정확도를 조사한 결과, 당도 5.0 Brix로 선별한 경우의 정확도는 5.0 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 26.2% (28/107)과 62.4% (63/101)로서 전체는 43.8% (91/208), 당도 5.5 Brix를 기준으로 선별한 경우는 5.5 Brix 미만과 그 이상의 경우 각각 63.5% (106/167)와 46.3% (19/41)로서 전체의 정확도는 60.1% (125/208)로 분석되었다.

이러한 결과를 앞서 설명한 실험# 7030과 7040 그리고 실험# 7040과 7050의 혼합 자료에 대한 분석 결과를 함께 고려하면, 당도 예측성능이 우수한 다계절 다품종의 가능한 많은 실험 자료를 혼합한 다음 실험의 불확실성을 최소화하기 위한 전처리를 수행하여 예측모형을 개발할 경우 수확시기와 품종에 무관한 당도의 예측모형의 개발은 가능할 것으로 판단되었다. 그리고 혼합자료로 개발한 모형은 혼합자료 구성에 관련된 수확시기와 품종의 토마토에 대하여 사용해야 합당한 당도 예측이 가능할 것으로 판단되었다.

이러한 모형 개발 시 효과적인 전처리 방법은 위에서 설명한 바와 같이 단일의 방법을 제시할 수 없고, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 앞에서 설명한 당도 예측의 경우와 마찬가지로 본 연구에서 수행한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사해야 할 것으로 판단되었다.

표 4-21 수확시기 무관 당도 예측모형 개발 및 성능 분석 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7040+7050+7070		R^2	SEP
Raw data		0.66	0.53	0.14	0.71
	Mean	0.71	0.49	0.20	0.70
Normalization	Maximum	0.70	0.50	0.19	0.70
	Range	0.69	0.51	0.20	0.70
	MSC	0.70	0.50	0.16	0.70
	SNV	0.70	0.50	0.16	0.72
Savitzky-Golay	1st deri.	0.69	0.50	0.11	0.72
	2nd deri.	0.57	0.60	0.12	0.73
Norris Gap	1st deri.	0.71	0.49	0.11	0.72
	2nd deri.	0.67	0.52	0.11	0.73

Validation					
7040		7050		7070	
R^2	SEP	R^2	SEP	R^2	SEP
0.51	0.47	0.00	0.70	0.01	0.56
0.56	0.47	0.01	0.64	0.00	0.44
0.53	0.48	0.01	0.62	0.00	0.43
0.49	0.49	0.01	0.61	0.00	0.42
0.42	0.51	0.01	0.83	0.01	0.43
0.38	0.50	0.02	0.60	0.00	0.43
0.43	0.51	0.01	0.69	0.00	0.55
0.24	0.56	0.01	0.47	0.01	0.40
0.41	0.49	0.00	0.70	0.00	0.48
0.46	0.47	0.00	0.71	0.00	0.55

투과광 분광분석에 의한 토마토 당도 예측에 관한 이상의 모든 실험결과를 종합하면, 투과광 분광분석에 의한 토마토 당도 예측은 가능하나 그 예측의 성능은 반사광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측과 마찬가지로 토마토 재배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백하고, 그 예측이 불가능한 경우도 있는 것으로 나타났다.

투과광을 이용하여 토마토의 당도를 예측할 경우 수확시기와 품종에 무관한 예측모형을 개발하는 하나의 방법은, 당도 예측성능이 우수한 다계절 다품종의 가능한 많은 실험 자료를 혼합한 다음 실험의 불확실성을 최소화하기 위한 전처리를 수행하여 예측모형을 개발하는 것이다. 그리고 혼합자료로 개발한 모형은 혼합자료 구성에 관련된 수확시기와 품종의 토마토에 대하여 사용해야 보다 정확한 당도 예측이 가능할 것으로 판단되었다.

그리고 투과광의 분광분석에 의한 당도 예측모형 개발 시 효과적인 전처리 방법도 단일의 방법을 제시할 수 없으며, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 본 연구에서 수행한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사하는 방법으로 찾아야 할 것으로 판단되었다.

다) 경도 예측실험

토마토 경도 예측모형을 개발하기 위하여, 첫째 수확시기별 경도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하였고, 둘째 개발한 수확시기별 경도 예측모형을 수확시기가 다른 토마토에 적용하여 그 예측 가능성을 확인하였고, 셋째 동일 품종의 토마토 경도를 수확시기에 관계없이 예측할 수 있는 모형 개발 가능성을 파악하였으며, 마지막으로 수확시기 및 품종에 관계없이 경도를 예측 할 수 있는 단일 모형 개발의 가능성을 확인하는 과정으로 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 경도 예측 가능성 판단 실험

위에서 설명한 실험# 7030 외에 추가로 수행한 3 가지 수확시기별 실험(# 7040, 7050, 7070) 결과 중 경도 예측실험 결과를 사용하여 경도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 다양한 전처리별로 개발한 경도 예측모형의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증의 결정계수와 SEP 값으로 파악한 결과는 표 4-22와 같다. 표로부터 각 실험에 있어 가장 우수한 결과를 도출한 전처리를 찾고 그에 따른 개발모형의 성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

표 4-22 경도 예측모형 개발 및 검증 결과

a) 실험# 7040

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.50	5.1	0.52	6.9
Mean		0.66	4.2	0.62	6.0
Normalization	Maximum	0.64	4.2	0.61	6.1
	Range	0.64	4.3	0.64	5.9
MSC		0.62	4.2	0.62	6.2
SNV		0.64	4.0	0.62	6.0
Savitzky-Golay	1st deri.	0.55	4.5	0.36	7.9
	2nd deri.	0.36	5.9	0.53	7.0
Norris Gap	1st deri.	0.55	4.4	0.38	7.8
	2nd deri.	0.59	4.3	0.45	7.4

b) 실험# 7050

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.66	3.8	0.59	4.1
Mean		0.66	3.8	0.59	4.1
Normalization	Maximum	0.52	4.4	0.51	4.5
	Range	0.54	4.4	0.52	4.5
MSC		0.52	4.5	0.51	4.5
SNV		0.52	4.4	0.51	4.5
Savitzky-Golay	1st deri.	0.68	3.6	0.60	4.0
	2nd deri.	0.50	4.5	0.49	4.6
Norris Gap	1st deri.	0.65	3.6	0.60	3.9
	2nd deri.	0.63	3.7	0.56	4.1

c) 실험 # 7070

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.63	6.7	0.50	6.7
Mean		0.69	6.1	0.59	6.5
Normalization	Maximum	0.68	6.3	0.63	5.9
	Range	0.69	6.2	0.61	6.0
MSC		0.68	6.3	0.64	5.7
SNV		0.68	6.3	0.64	5.9
Savitzky-Golay	1st deri.	0.62	6.9	0.56	6.3
	2nd deri.	0.53	7.7	0.49	6.8
Norris Gap	1st deri.	0.61	7.0	0.58	6.3
	2nd deri.	0.63	6.9	0.57	6.2

실험# 7030의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 normalization-range 전처리를 적용하여 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.58, 0.52였고, SEC와 SEP값은 각각 2.4 N과 2.6 N으로 나타났다. 이 경도예측모형에 의해 토마토를 선별할 경우 그 정확도를 파악하고자 경도 40 N을 기준으로 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별하여 그 정확도를 조사하였다. 그 결과는 그림 4-10과 같으며, 선별 정확도를 구한 결과 40 N 이상과 미만의 경우 각각 84.2% (16/19)와 81.0% (17/21)이고, 전체 선별 정확도는 82.5% (33/40)로 분석되어 비교적 우수한 결과로 판단되었다.

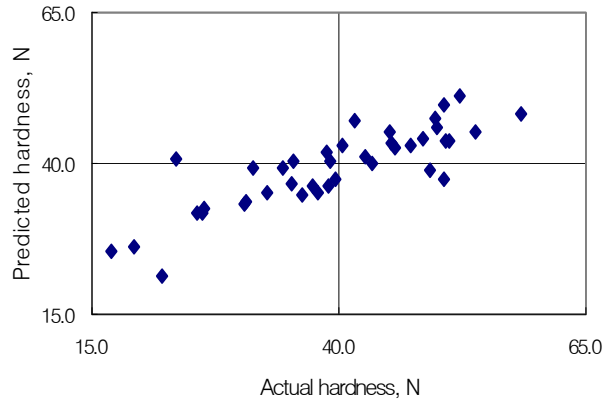


그림 4-10 실험# 7030 선별 정확도 (40N 기준)

실험# 7040의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형도 normalization-range의 전처리를 적용하여 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 동일한 0.64였고, SEC와 SEP값은 각각 4.3과 5.9 N으로 나타났다. 이 경도예측모형에 의해 토마토를 선별할 경우 그 정확도를 파악하고자 경도 40 N을 기준으로 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별하여 그 정확도를 조사하였다. 그 결과는 그림 4-11과 같이 40 N 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 79.2% (19/24)와 75.9% (22/29)이고, 전체 선별 정확도는 77.4% (41/53)로 분석되어 위에서 설명한 실험# 7030과 마찬가지로 대체로 우수한 결과로 판단되었다.

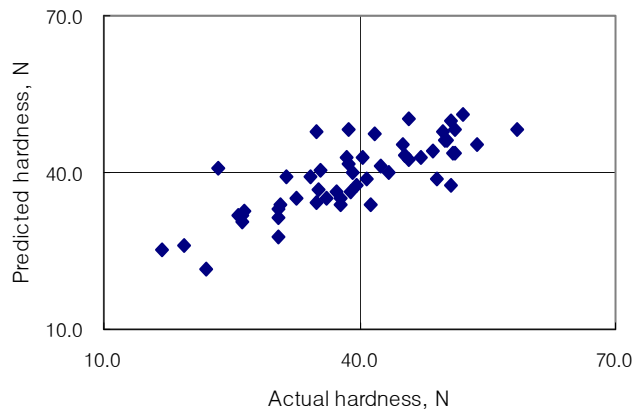


그림 4-11 실험 # 7040의 경도 40 N 기준 선별 정확도

실험# 7050의 경우, 전처리별 경도 예측모형 중 Norris Gap-1차 미분 또는 Savitzky-Golay-1차 미분 전처리 후 개발한 예측모형이 정당성 검증 결과 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 개발한 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.65~0.68와 0.60, SEC와 SEP값은 각각 3.6과 3.9~4.0 N으로 나타났다. 이 경도예측모형에 의해 예측모형의 정당성검증용 토마토 시료를 대상으로 선별(경도 40 N을 기준) 할 경우 선별의 정확도를 조사한 결과, 40 N 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 87.5% (14/16)와 52.6% (30/57)이고, 전체 선별 정확도는 60.3% (44/73)로 분석되어 위에서 설명한 실험# 7030과 7040의 수준보다는 낮으나 검증결과의 결정계수로 판단하면 이 경우의 성능도 실용적 가치는 있는 것으로 판단되었다.

실험# 7070의 경우를 보면, 전처리별 경도 예측모형 중 MSC와 SNV 전처리 후 개발한 예측모형이 정당성 검증 결과 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 개발한 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.68과 0.64, SEC와 SEP값은 각각 6.3과 5.7~5.9 N으로 나타났다. 이 경도예측모형에 의해 예측모형의 정당성검증용 토마토 시료를 대상으로 선별(경도 40 N을 기준)하여 선별의 정확도를 조사 결과, 40 N 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 77.8% (7/9)와 92.2% (47/51)이고, 전체 선별 정확도는 90.0% (54/60)로 분석되어 위에서 설명한 실험# 7030, 7040, 7050의 성능보다 높은 것으로 판단되었다.

이상의 결과로부터 얻은 결론은, 투과광의 분광분석에 의한 경도 예측의 가능성은 높으며, 모형 개발 시 효과적인 전처리 방법은 위에서 설명한 바와 같이 단일의 방법을 제시할 수 없고, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 앞에서 설명한 당도 예측의 경우와 마찬가지로 본 연구에서 수행한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사해야 할 것으로 판단되었다. 그리고 투과광의 분광분석에 의한 토마토 경도 예측은 토마토 재배방법이나 수확시기에 영향을 받으나 당도 예측 경우와 같이 큰 영향을 받는 것은 아닌 것으로 판단되었다.

(2) 수확시기 무관 경도 예측 가능성 판단 실험

수확시기와 무관한 경도 예측모형 개발의 가능성을 파악하기 위하여, 먼저 위에서 설명한 수확시기별 경도 예측모형으로서 다른 수확시기 토마토를 대상으로 그 예측의 수준을 조사하였다. 이는 다양한 전처리를 거쳐 개발한 모든 예측모형에 대하여 개발한 경도 예측모형의 정당성을 검증하는 방법(검증결과의 결정계수와 SEP값 분석)과 같은 방법으로 수행하였으며 그 결과는 표 4-23과 같다.

표 4-23 수확시기 무관 경도 예측모형 개발 가능성 검토 결과

a) 실험# 7040 경도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7030		7050	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw data		0.28	4.0	0.20	6.8
Mean		0.29	4.3	0.23	6.6
Normalization	Maximum	0.27	4.3	0.26	6.2
	Range	0.29	4.3	0.26	6.0
MSC		0.31	3.9	0.23	7.6
SNV		0.30	4.2	0.21	6.3
Savitzky-Golay	1st deri.	0.23	4.0	0.23	6.7
	2nd deri.	0.09	4.5	0.37	4.9
Norris Gap	1st deri.	0.23	4.0	0.31	6.2
	2nd deri.	0.26	3.9	0.26	6.7

b) 실험# 7050 경도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7030		7040	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw data		-	-	-	-
Mean		0.04	6.1	-	-
Normalization	Maximum	0.29	3.7	0.35	5.9
	Range	0.34	3.3	0.35	5.9
MSC		0.35	3.1	0.39	5.8
SNV		0.35	3.3	0.39	5.7
Savitzky-Golay	1st deri.	0.01	7.2	0.30	7.4
	2nd deri.	0.05	4.5	0.06	7.2
Norris Gap	1st deri.	0.00	7.6	0.30	7.0
	2nd deri.	0.00	6.6	0.30	7.0

c) 실험# 7070 경도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7040		7050	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw data		0.23	8.1	0.37	8.9
Mean		0.39	5.8	0.46	5.6
Normalization	Maximum	0.43	5.6	0.49	5.5
	Range	0.38	5.8	0.45	5.5
MSC		0.44	5.6	0.44	6.9
SNV		0.42	5.6	0.44	5.4
Savitzky-Golay	1st deri.	0.28	8.8	0.38	9.1
	2nd deri.	0.24	7.4	0.45	6.3
Norris Gap	1st deri.	0.27	8.0	0.38	8.4
	2nd deri.	0.29	9.5	0.41	9.5

실험# 7040으로부터 구한 경도 예측모형 중 검증 결과의 결정계수가 가장 높은 모형(전처리가 normalization-rang로서 검증 결정계수는 0.64, SEP 값은 5.9 N)에 대해 그 예측성능을 실험# 7030과 7050의 검증용 자료로 조사한 결과, 정당성 검증 결과의 결정계수가 실험# 7030과 7050에서 표와 같이 각각 0.29와 0.26 (SEP 값은 4.3과 6.0)으로서 개발 모형의 검증 결과의 결정계수인 0.64보다 상당히 낮은 결과를 보였다.

실험# 7050으로부터 구한 경도 예측모형 중 검증 결과의 결정계수가 가장 높은 모형(전처리가 Norris Gap-1차 미분으로서 검증 결정계수는 0.60, SEP 값은 4.0 N)에 대해 그 예측성능을 실험# 7030과 7040의 검증용 자료로 조사한 결과, 정당성 검증 결과의 결정계수가 실험# 7030과 7040에서 표와 같이 각각 0.0과 0.30 (SEP 값은 7.6과 7.0)으로서 실험# 7030의 경우는 전혀 상관관계가 없는 것으로 나타났고, 실험# 7040의 경우도 개발 모형의 검증 결과 결정계수인 0.60보다 상당히 낮은 결과를 보였다.

실험# 7070으로부터 구한 경도 예측모형 중 검증 결과의 결정계수가 가장 높은 모형(전처리가 SNV로서 검증 결정계수는 0.64, SEP 값은 5.4 N)에 대해 그 예측성능을 실험# 7040과 7050의 검증용 자료로 조사한 결과, 정당성 검증 결과의 결정계수가 실험# 7040과 7050에서 표와 같이 각각 0.42와 0.44 (SEP 값은 5.6과 5.4)로서 개발 모형의 검증 결과 결정계수인 0.64보다는 낮은 결과를 보였다.

이러한 결과로부터, 특정 계절에 효과적인 토마토 경도 예측모형으로서 타 계절에 생산한 토마토의 경도를 예측할 경우, 경우에 따라서 전혀 예측이 불가능할 수도 있고 그 예측이 가능한 경우는 예측의 정확도가 낮아질 가능성이 크므로 임의 계절 토마토의 경도 예측모형으로서 타 계절 토마토의 경도를 예측하는 것은 바람직한 방법이 아닌 것으로 판단하였다.

(3) 단일 품종의 수확시기 무관 경도 예측 가능성 판단 실험

수확시기에 무관한 경도 예측모형의 개발 가능성을 검토하기 전에 먼저 단일 품종 토마토에 대하여 수확시기에 관계없이 경도를 예측할 수 있는 모형의 개발 및 그 예측 가능성을 검토하였다. 이는 품종이 같고 수확시기가 다른 실험# 7030과 7040 자료를 혼합하고 전처리한 후 각 전처리별 경도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 혼합 자료의 검증용 자료로 검증하였으며 그 결과는 표 4-24와 같다. 표와 같이 수확시기가 다른 단일 품종 토마토의 경도 예측모형은 SNV 전처리하여 개발한 모형의 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 정당성 검증결과의 결정계수와 SEP값은 각각 0.47, 4.8 N으로 나타났다. 동 모형으로 실험# 7030과 7040의 검증용 자료로 각각 그 예측성능을 조사한 결과, 정당성 검증결과의 결정계수는 표와 같이 각각 0.20과 0.29로서 검증용 혼합자료에서의 성능보다 낮은 결과로 나타났다. 그러나 개발한

혼합 모형의 성능을 모형 검증용 혼합자료에 대한 검증 결정계수를 고려하면 이러한 예측모형 개발의 가능성은 있는 것으로 판단되었다.

실제로 이 정도 예측모형에 의해 예측모형의 정당성검증용 토마토 시료를 대상으로 선별(27 N을 기준)하고 그 선별의 정확도를 조사한 결과, 27 N 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 95.2% (60/63)와 50.8% (31/61)이고, 전체 선별 정확도는 73.4% (91/124)로 분석되었다.

표 4-24 실험# 7030과 7040의 실험 자료를 혼합한 수확시기 무관 단일 품종 정도 예측모형 개발 및 성능분석 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7030+7040			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.62	5.1	0.26	6.5
Mean		0.69	4.5	0.43	5.0
Normalization	Maximum	0.69	4.5	0.43	5.0
	Range	0.71	4.4	0.45	5.1
MSC		0.70	4.5	0.46	7.1
SNV		0.69	4.5	0.47	4.8
Savitzky-Golay	1st deri.	0.61	5.1	0.28	6.0
	2nd deri.	0.54	5.6	0.20	6.7
Norris Gap	1st deri.	0.61	5.2	0.28	6.0
	2nd deri.	0.58	5.3	0.20	6.3

Validation			
7030		7040	
R^2	SEP	R^2	SEP
0.20	4.1	0.28	7.1
0.22	4.0	0.30	5.4
0.20	4.0	0.30	5.5
0.24	3.8	0.31	5.5
0.25	3.7	0.31	8.8
0.20	3.9	0.29	4.9
0.22	4.8	0.25	6.3
0.11	5.3	0.18	7.0
0.22	4.8	0.26	6.3
0.15	5.4	0.16	6.4

(4) 수확시기와 품종 무관 경도 예측 단일모형 개발 가능성 판단 실험

토마토 품종과 수확시기에 무관한 경도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하기 위하여 수확시기별로 품종이 다른 실험# 7040과 7050자료를 혼합하고 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 예측 가능성을 파악한 결과는 다음 표 4-25와 같다. 표와 같이 수확시기가 다른 2종 품종 자료를 혼합하여 개발한 경도 예측모형 중 normalization-mean과 SNV 전처리 후 개발한 모형의 정당성 검증의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 개발한 예측모형의 검증의 결정계수와 SEP 값은 0.41, 4.3 N, 그리고 실험# 7030과 7040과 7050의 검증용 자료로 검증한 결과, 검증의 결정계수는 표와 같이 각각 0.19, 0.60, 0.41로서 자료 혼합에 관련된 실험# 7040과 7050의 검증용 자료의 경우는 혼합자료의 검증용 자료보다 같거나 우수한 결과를 보였으나, 자료 혼합에 관련이 없는 실험# 7030의 검증용 자료에 대해서는 낮은 결과를 보였다. 개발한 모형의 성능은 위에서 설명한 단일 품종에 대한 수확시기 무관 경도 예측모형의 수준과 비슷한 성능의 것으로서 이러한 결과로 판단할 때 수확시기와 품종에 관계없는 경도 예측모형의 개발은 가능할 것으로 사료되었다.

개발한 경도 예측모형에 의해 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별(경도 27 N을 기준)하고 선별의 정확도를 조사한 결과, 27 N 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 70.0% (35/50)와 74.3% (75/98)이고, 전체 선별 정확도는 74.3% (110/148)로 분석되었다.

표 4-25 실험# 7040과 7050의 실험 자료를 혼합한 수확시기와 품종 무관 경도 예측 모형 개발 및 성능분석 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7040+7050			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw	실험	0.47	5.5	0.32	4.9
	Mean	0.51	5.3	0.41	4.3
Normalization	Maximum	0.52	5.4	0.40	4.4
	Range	0.56	5.0	0.39	4.4
MSC		0.52	5.3	0.41	5.6
SNV		0.52	5.3	0.41	4.3
Savitzky-Golay	1st deri.	0.43	5.7	0.40	4.9
	2nd deri.	0.47	5.6	0.38	4.8
Norris Gap	1st deri.	0.43	5.7	0.40	4.9
	2nd deri.	0.43	5.7	0.39	4.9

		Validation			
7030		7040		7050	
R^2	SEP	R^2	SEP	R^2	SEP
0.22	3.8	0.55	7.2	0.20	4.4
0.19	4.3	0.62	6.2	0.40	3.9
0.19	4.4	0.62	6.1	0.40	4.0
0.16	4.7	0.66	5.7	0.37	4.6
0.19	4.1	0.50	6.3	0.39	4.8
0.19	4.4	0.60	6.1	0.41	3.9
0.21	3.8	0.56	7.5	0.32	4.4
0.21	3.8	0.54	7.6	0.24	5.0
0.12	4.2	0.49	7.5	0.25	5.0
0.13	4.1	0.52	7.6	0.26	4.8

수확시기와 품종에 무관한 경도 예측 모형의 개발의 가능성을 좀더 많은 실험 자료로 판단하기 위하여 수확시기와 품종이 다른 실험# 7040, 7050 그리고 7070의 자료에 대해서도 그들을 혼합하고 전처리한 후 경도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증용 혼합자료로 검증하였으며 그 결과는 다음 표 4-26과 같다. 그 결과 normalization-range로 전처리하여 개발한 모형의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 개발한 예측모형의 검증의 결정계수와 SEP 값은 각각 0.61, 6.0 N, 그리고 실험# 7040과 7050과 7070의 검증용 자료로 검증한 결과, 검증의 결정계수는 표와 같이 각각 0.58, 0.33, 0.61로서 자료 혼합에 관련된 실험 종류에 따라 상당한 차이를 보였으나 개발한 모형은 수확시기와 품종에 대체로 무관하며 그 실용가치가 있는 단일모형인 것으로 판단되었다.

개발한 예측모형에 의해 예측모형 검증용 자료를 대상으로 선별(경도 27 N을 기준)하고 그 정확도를 조사한 결과, 27 N 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 55.7% (49/88)와 82.5% (99/120)이고, 전체 선별 정확도는 71.2% (148/208)로 분석되었다.

토마토의 경도 예측에 관한 이상의 모든 실험 결과를 종합하면, 토마토의 수확시기와 품종에 무관한 경도 예측용 단일모형의 개발은 가능하며, 이러한 모형은 가능한 다양한 수확시기와 품종의 실험 자료를 혼합함으로써 좀 더 우수한 모형의 개발이 가능한 것으로 판단되었다, 그리고 이러한 모형으로부터 좀 더 우수한 경도 예측을 하기 위해서는 개발한 모형을 가능한 혼합 자료에 관련된 수확시기와 품종의 토마토에 사용해야 할 것으로 판단되었다.

이러한 모형 개발 시 효과적인 전처리 방법은 위에서 설명한 바와 같이 단일의 방법을 제시할 수 없고, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 앞에서 설명한 당도 예측의 경우와 마찬가지로 본 연구에서 수행한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사해야 할 것으로 판단되었다.

표 4-26 실험# 7040, 7050, 7070의 실험 자료를 혼합한 수확시기와 품종 무관 정도 예측모형 개발 및 성능분석 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7040+7050+7070			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.60	6.1	0.56	6.4
Normalization	Mean	0.62	6.0	0.61	6.1
	Maximum	0.62	6.0	0.61	6.1
	Range	0.62	5.9	0.61	6.0
MSC		0.62	6.0	0.61	6.1
SNV		0.62	6.1	0.61	6.1
Savitzky-Golay	1st deri.	0.56	6.4	0.53	6.6
	2nd deri.	0.44	7.3	0.37	7.7
Norris Gap	1st deri.	0.54	6.5	0.53	6.6
	2nd deri.	0.59	6.4	0.54	6.6

Validation					
7040		7050		7070	
R^2	SEP	R^2	SEP	R^2	SEP
0.69	5.7	0.22	6.2	0.22	8.5
0.59	6.2	0.34	5.4	0.60	6.1
0.59	6.2	0.33	5.6	0.60	6.1
0.58	6.3	0.33	5.6	0.61	6.0
0.56	6.4	0.33	7.6	0.62	5.8
0.56	6.4	0.32	5.4	0.62	5.9
0.50	7.1	0.27	5.5	0.19	8.6
0.43	7.4	0.27	5.3	0.48	7.2
0.49	7.2	0.27	5.5	0.21	8.4
0.52	7.1	0.19	5.5	0.23	8.3

라) 산도 예측실험

토마토 산도 예측모형을 개발하기 위하여, 첫째 수확시기별 산도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하였고, 둘째 개발한 수확시기별 산도 예측모형을 수확시기가 다른 토마토에 적용하여 그 예측 가능성을 파악하였고, 셋째 동일 품종의 토마토 산도를 수확시기에 관계없이 예측할 수 있는 모형 개발 가능성을 파악하였으며, 마지막으로 수확시기 및 품종에 관계없이 산도를 예측 할 수 있는 단일 모형 개발의 가능성을 확인하는 과정으로 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 산도 예측모형 개발 가능성 판단

위에서 설명한 실험# 7030 외에 추가로 수행한 3 가지 수확시기별 실험(# 7040, 7050, 7070)의 4가지 실험별로 각각 산도 예측모형을 전처리별로 개발하고 그 모형의

예측성능을 모형개발의 결정계수와 SEC 값 그리고 정당성 검증의 결정계수와 SEP 값으로 파악한 결과는 표 4-27과 같다. 표로부터 각 실험에 있어 가장 우수한 결과를 도출한 전처리를 찾고 그에 따른 개발모형의 성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

표 4-27 산도 예측 모형 개발 및 검증 결과

a) 실험# 7040

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.25	0.08	0.34	0.10
Normalization	Mean	0.34	0.09	0.30	0.10
	Maximum	0.31	0.09	0.29	0.10
	Range	0.30	0.09	0.29	0.10
MSC		0.26	0.09	0.28	0.10
SNV		0.30	0.09	0.28	0.10
Savitzky-Golay	1st deri.	0.27	0.09	0.31	0.10
	2nd deri.	0.35	0.09	0.25	0.11
Norris Gap	1st deri.	0.29	0.09	0.31	0.10
	2nd deri.	0.30	0.09	0.28	0.10

b) 실험# 7050

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.12	0.09	0.01	0.11
Normalization	Mean	0.11	0.09	0.03	0.11
	Maximum	0.11	0.09	0.03	0.11
	Range	0.10	0.09	0.03	0.11
MSC		0.09	0.09	0.04	0.11
SNV		0.07	0.09	0.03	0.11
Savitzky-Golay	1st deri.	0.10	0.09	0.03	0.11
	2nd deri.	0.10	0.09	0.02	0.11
Norris Gap	1st deri.	0.10	0.09	0.03	0.11
	2nd deri.	0.10	0.09	0.02	0.11

c) 실험# 7070

Preprocessing		Calibration		Validation	
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.52	0.06	0.44	0.05
Normalization	Mean	0.56	0.06	0.37	0.06
	Maximum	0.56	0.06	0.36	0.06
	Range	0.56	0.06	0.35	0.06
MSC		0.56	0.06	0.37	0.06
SNV		0.56	0.06	0.44	0.06
Savitzky-Golay	1st deri.	0.52	0.06	0.52	0.05
	2nd deri.	0.55	0.06	0.54	0.06
Norris Gap	1st deri.	0.52	0.06	0.52	0.05
	2nd deri.	0.51	0.06	0.51	0.06

실험# 7030(산도 예측실험 자료 중 660-1100 nm의 부분)의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 Norris Gap 1차 미분 전처리를 적용하여 개발한 모형이었다. 이 경우 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.49, 0.30이었고, SEC와 SEP 값은 각각 pH 0.08과 pH 0.09로서 검증결과의 결정계수와 SEP 값으로 보면 이 모형의 실제적 사용 가능성은 있는 것으로 판단되었다.

이 산도예측모형에 의해 토마토를 선별할 경우 그 정확도를 파악하고자 pH 4.0을 기준으로 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별하여 그 정확도를 조사하였다. 그 결과는 그림 4-12와 같으며, 선별 정확도를 구한 결과 pH 4.0 이상과 미만의 경우 23.1% (3/13)과 88.9% (24/27)이고, 전체 선별 정확도는 67.5% (27/40)로 분석되었다.

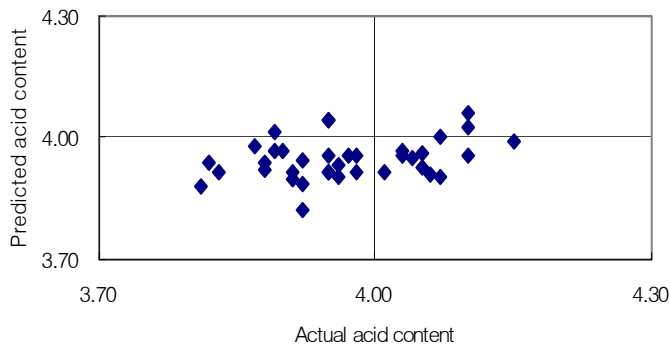


그림 4-12 실험# 7030 결과에 대한 산도 pH 4.0 기준 선별 정확도

실험# 7040의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 전처리하지 않고 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.25와 0.34였고, SEC와 SEP 값은 각각 pH 0.08과 pH 0.10로서 검증결과의 결정계수와 SEP 값으로 보면 이 모형 또한 실용성은 있는 것으로 판단되었다.

이 산도예측모형에 의해 토마토를 선별할 경우 그 정확도를 파악하고자 산도 pH 4.00을 기준으로 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별하여 그 정확도를 조사하였다. 그 결과는 그림 4-13과 같으며, 선별 정확도를 구한 결과 pH 4.0 이상과 미만의 경우 55.6% (5/9)과 90.9% (40/44)이고, 전체 선별 정확도는 84.9% (45/53)로 분석되어 위에서 설명한 실험# 7030보다 더 우수한 결과를 보였다.

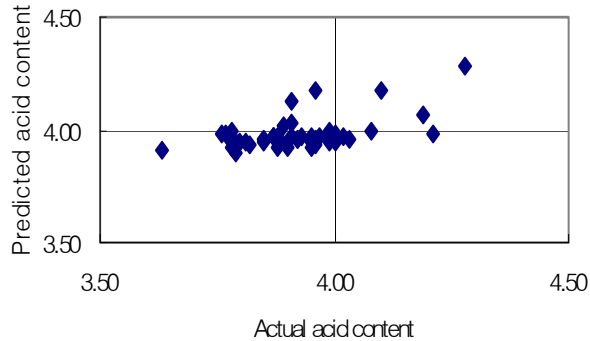


그림 4-13 실험# 7040 결과에 대한 산도 pH 4.0 기준 선별 정확도

실험# 7050의 경우, 개발한 10종의 예측모형 모두 정당성 검증결과의 결정계수가 거의 0으로 나타나 실측값과 개발 모형에 의한 예측값과는 상관관계가 전혀 없는 것으로 나타나 결과적으로 분광분석에 의한 토마토의 산도 예측은 불가능한 것으로 나타났다. 이러한 결과의 원인을 생각해보면, 당도 예측실험의 실험# 7070의 원인과 유사하게, 토마토의 구성물질의 비율이 토마토 재배 또는 수확 시기에 따라 달라서 나타난 결과로 설명되었다.

실험# 7070의 경우, 개발한 10종의 예측모형 중 정당성 검증에서 가장 우수한 결과를 나타낸 모형은 Savitzky-Golay 2차 미분 전처리를 적용하여 개발한 모형으로 나타났다. 이 경우 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.55와 0.54였고, SEC와 SEP 값은 pH 0.06으로서 검증결과의 결정계수와 SEP 값으로 보면 이 모형의 실용성은 위에서 설명한 실험# 7030 또는 7040보다 우수한 것으로 판단되었다.

이 산도예측모형에 의해 토마토를 선별할 경우 그 정확도를 파악하고자 예측모형의 정당성 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별(pH 3.9를 기준)하여 그 정확도를 조사한 결과, pH 3.90 이상과 미만의 경우 78.6% (11/14)과 84.8% (39/46)이고, 전체 선별 정확도는 83.3% (50/60)로 분석되어 위에서 설명한 실험# 7030보다는 우수하여 실험# 7040의 선별정확도와 마찬가지로 우수한 결과로 판단되었다.

이상의 결과를 종합하면, 당도와 경도 예측모형 개발과 같이 투과광의 분광분석에 의한 산도 예측모형의 개발은 가능할 것으로 판단되었다. 다만, 이 경우도 토마토 당도나 경도 예측과 마찬가지로 토마토 재배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백하여 투과광의 분광분석방법으로 토마토의 산도를 예측하기 위해서는 그러한 영향을 배제할 수 있는 전처리 외의 방법이 요구됨을 알 수 있었다. 이러한 산도 예측모형 개발에 효과적인 전처리 방법은 당도, 경도의 경우와 마찬가지로 단일의 방법으로 제시할 수 없으며, 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 본 연구에서 수행한

방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사하는 방법으로 찾아야 한다는 점이다.

(2) 수확시기 무관 경도 예측모형 개발 가능성 실험

수확시기와 무관한 산도 예측모형 개발의 가능성을 파악하기 위하여, 먼저 위에서 구한 수확시기별 산도 예측모형으로서 다른 수확시기 토마토를 대상으로 그 예측성을 조사하였다. 이는 다양한 전처리를 거쳐 개발한 모든 예측모형에 대하여 개발한 산도 예측모형의 정당성을 검증하는 방법(검증의 결정계수와 SEP값 분석)과 같은 방법으로 수행하였으며 그 결과는 표 4-28과 같다.

표 4-28 수확시기 무관 산도 예측모형 개발 가능성 실험 결과

a) 실험# 7040 산도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7030		7050	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw data		0.02	0.12	0.25	0.09
Mean		0.05	0.13	0.27	0.09
Normalization	Maximum	0.06	0.12	0.28	0.09
	Range	0.06	0.12	0.27	0.09
MSC		0.07	0.12	0.25	0.10
SNV		0.07	0.13	0.24	0.09
Savitzky-Golay	1st deri.	0.01	0.12	0.24	0.09
	2nd deri.	0.00	0.12	0.28	0.09
Norris Gap	1st deri.	0.01	0.12	0.25	0.09
	2nd deri.	0.00	0.12	0.25	0.09

b) 실험# 7050 산도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7030		7040	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw data		0.00	0.13	0.04	0.12
Mean		0.01	0.13	0.03	0.12
Normalization	Maximum	0.01	0.13	0.02	0.13
	Range	0.01	0.13	0.02	0.12
MSC		0.04	0.13	0.21	0.11
SNV		0.02	0.13	0.17	0.11
Savitzky-Golay	1st deri.	0.01	0.13	0.10	0.11
	2nd deri.	0.01	0.13	0.10	0.11
Norris Gap	1st deri.	0.01	0.13	0.10	0.11
	2nd deri.	0.01	0.13	0.10	0.11

c) 실험# 7070 산도 예측모형의 예측성능 조사

Preprocessing		Validation			
		7040		7050	
		R^2	SEP	R^2	SEP
Raw data		0.19	0.11	0.03	0.10
Mean		0.24	0.10	0.05	0.10
Normalization	Maximum	0.25	0.10	0.08	0.09
	Range	0.25	0.10	0.08	0.10
MSC		0.21	0.11	0.08	0.10
SNV		0.21	0.11	0.07	0.10
Savitzky-Golay	1st deri.	0.17	0.11	0.03	0.10
	2nd deri.	0.11	0.11	0.04	0.10
Norris Gap	1st deri.	0.20	0.11	0.05	0.10
	2nd deri.	0.15	0.11	0.03	0.10

실험# 7040로부터 구한 산도 예측모형(전처리 없이 개발한 모형으로서 검증의 결정계수는 0.34, SEP 값은 pH 0.10)으로서 실험# 7030과 7050의 검증자료로 그 예측성능을 조사한 결과 실험# 7030의 경우 개발한 10종의 예측모형 모두 정당성의 검증의 결정계수는 거의 0으로서 실측값과 개발모형에 의한 예측값과의 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 실험# 7050의 검증자료로 검증한 결과, 개발한 모형의 검증 결정계수와 SEP 값은 각각 0.25와 pH 0.09로 나타났다.

실험# 7050로부터 구한 산도 예측모형으로서 실험# 7030과 7040의 자료로 그 예측성능을 조사한 결과 개발한 10종의 예측 모형 모두 정당성 검증결과의 결정계수가 거의 0으로서 실측값과 개발모형에 의한 예측값과는 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 앞에서 설명한 바와 같이 실험# 7050에 의한 개발모형의 예측성능이 매우 낮아서 나타난 결과로 판단되었다. 여기서 한 가지 흥미로운 점은 실험# 7040의 검증용 자료에서 MSC로 전처리한 후 개발한 모형의 정당성 검증의 결정계수가 0.21로 약간 높게 나타난 점인데, 이러한 결과는 그 설명이 불가능하였다.

실험# 7070로부터 구한 산도 예측모형(Savitzky-Golay 2차 미분 전처리를 적용하여 개발한 모형으로서 검증의 결정계수는 0.54, SEP 값은 pH 0.06)으로서 실험# 7040과 7050의 검증자료로 그 예측성능을 조사한 결과, 검증 결과의 결정계수는 실험# 7030과 7050에서 표와 같이 각각 0.11과 0.04(SEP 값은 pH 0.11과 0.10)로서 그 예측성능은 전반적으로 앞에서 보인 동일 모집단의 검증용 자료로 검증한 결과인 0.54보다 아주 낮은 결과를 보여 개발 모형에 의한 예측값과 실측값과의 상관관계가

거의 없는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면, 어떤 계절에 수확한 토마토의 산도 예측모형으로서 타 계절에 수확한 토마토의 산도를 예측할 경우 그 예측 정확도는 아주 낮아질 가능성이 크며, 더군다나 당초 예측성능이 좋지 않은 모형으로서 타 계절에 생산한 토마토의 산도를 예측할 경우 그 예측의 정확도는 매우 낮은 결과를 얻게 됨을 알 수 있었다.

(3) 수확시기 무관 단일 품종의 산도 예측모형 개발 가능성 판단 실험

수확시기에 무관한 경도 예측모형의 개발 가능성을 검토하기 전에 먼저 단일 품종 토마토에 대하여 수확시기에 관계없이 산도를 예측할 수 있는 모형의 개발 및 그 예측 가능성을 검토하였다. 이는 품종이 같고 수확시기가 다른 실험# 7030과 7040 자료를 혼합하고 전처리한 후 각 전처리별 경도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증하였으며 그 결과는 표 4-29와 같다. 표와 같이 수확시기가 다른 단일 품종 토마토의 산도 예측모형의 개발은 전처리별 개발 모형 중 normalization-maximum이나 normalization-range 전처리하여 개발한 모형의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 개발한 예측모형과 정당성 검증결과의 결정계수는 각각 0.15와 0.19, SEC 값과 SEP 값은 pH 0.12와 0.10으로서 대체로 그 예측성능이 낮게 나타났다. 동 모형으로 실험# 7030과 7040의 검증용 자료로 각각 그 예측성능을 조사한 결과, 정당성 검증결과의 결정계수는 표와 같이 각각 0.09~0.10과 0.18로서 검증용 혼합자료에서의 성능보다 비슷하거나 낮은 결과로 그 예측성능이 낮게 나타났다. 따라서 단일 품종에 대한 수확시기에 관계없는 당도 예측모형의 개발은 가능성은 낮은 것으로 판단되었다.

이 산도 예측모형에 의해 예측모형의 정당성검증용 토마토 시료를 대상으로 선별 (pH 4.00을 기준)할 경우 선별의 정확도를 조사한 결과, pH 4.00 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 55.9% (33/59)와 61.5% (40/65)이고, 전체 선별 정확도는 58.9% (73/124)로 분석되어, 비록 위에서 설명한 바와 같이 개발한 단일 품종 토마토의 산도 예측모형의 예측성능은 낮은 것으로 나타났지만, 선별 정확도로 그 개발 모형의 가치를 판단할 경우 그 예측모형의 개발 가치는 있는 것으로 판단되었다.

표 4-29 수확 시기 및 단일품종 산도 예측모형 개발 및 검증 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7030+7040			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.31	0.10	0.15	0.13
Mean		0.28	0.11	0.12	0.11
Normalization	Maximum	0.15	0.12	0.19	0.10
	Range	0.15	0.12	0.19	0.10
MSC		0.26	0.11	0.14	0.12
SNV		0.14	0.12	0.18	0.10
Savitzky-Golay	1st deri.	0.22	0.11	0.11	0.12
	2nd deri.	0.12	0.12	0.08	0.12
Norris Gap	1st deri.	0.21	0.11	0.11	0.12
	2nd deri.	0.18	0.11	0.08	0.12

Validation				
7030		7040		
R^2	SEP	R^2	SEP	
0.16	0.11	0.13	0.13	
0.16	0.11	0.07	0.12	
0.09	0.11	0.18	0.10	
0.10	0.11	0.18	0.10	
0.23	0.10	0.07	0.13	
0.10	0.11	0.16	0.10	
0.16	0.11	0.08	0.12	
0.02	0.12	0.12	0.11	
0.15	0.11	0.07	0.12	
0.02	0.11	0.13	0.10	

(4) 수확시기와 품종 무관 산도 예측모형 개발 가능성 실험

토마토 품종과 수확시기에 무관한 산도 예측모형을 개발하고 그 예측 가능성을 파악하기 위하여 수확시기별로 품종이 다른 실험# 7040과 7050자료를 혼합하고 각 전처리별 예측모형을 개발 후 그 예측 가능성을 실험# 7030, 7040, 7050의 자료로 검증하여 파악한 결과는 다음 표 4-30과 같다. 표와 같이 수확시기가 다른 2종 품종 자료를 혼합하여 각 전처리별 개발한 산도 예측모형 중 normalization-mean 전처리 후 개발한 모형의 성능이 우수한 것으로 나타났다. 이 예측모형의 검증 결정계수와 SEP 값은 각각 0.46과 pH 0.09로서 실험# 7050의 산도 예측모형의 성능이 매우 낮았던 점을 고려하면 대체로 괜찮은 결과로 나타났다.

실제로 이 산도 예측모형에 의해 예측모형의 검증용 토마토 시료를 대상으로 선별(pH 4.0을 기준) 할 경우 선별의 정확도를 조사한 결과, pH 4.0 이상과 미만의 선별

정확도는 각각 66.7% (18/27)과 81.0% (98/121)로서, 전체 선별 정확도는 78.4% (116/148)로 분석되어 실험자료 혼합에 의한 수확시기에 관계없는 산도 예측모형 개발의 가능성은 있는 것으로 판단되었다.

그러나 개발한 산도 예측모형을 실험# 7030과 7040과 7050의 검증용 자료로 검증한 결과, 검증의 결정계수는 표와 같이 각각 0.01, 0.23, 0.01로서 실험# 7030과 7050의 경우 개발 모형의 예측성능은 매우 낮은 결과였는데, 그 원인을 살펴본 결과 실험# 7030의 경우는 혼합모형 개발과 관련이 없는 자료이고, 실험# 7050의 경우는 그 산도 예측모형의 성능이 매우 낮았던 특성에 기인한 것으로 판단되었다. 실험# 7040의 경우 검증용 자료에 대한 결정계수도 검증용 혼합자료에 의한 검증의 결정계수보다 낮은 결과를 보였다.

표 4-30 수확 시기 및 품종 무관 산도 예측모형 개발 및 검증 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7040+7050			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.23	0.11	0.43	0.10
Mean		0.32	0.10	0.46	0.09
Normalization	Maximum	0.33	0.10	0.43	0.09
	Range	0.33	0.10	0.43	0.09
MSC		0.30	0.10	0.46	0.10
SNV		0.31	0.10	0.45	0.09
Savitzky-Golay	1st deri.	0.23	0.11	0.38	0.10
	2nd deri.	0.22	0.11	0.24	0.12
Norris Gap	1st deri.	0.23	0.11	0.38	0.10
	2nd deri.	0.23	0.11	0.36	0.11

Validation					
7030		7040		7050	
R^2	SEP	R^2	SEP	R^2	SEP
0.00	0.15	0.23	0.14	0.01	0.16
0.01	0.14	0.23	0.11	0.01	0.14
0.01	0.14	0.23	0.11	0.01	0.15
0.02	0.14	0.21	0.11	0.01	0.15
0.02	0.13	0.21	0.11	0.02	0.16
0.03	0.14	0.21	0.11	0.02	0.14
0.00	0.15	0.21	0.13	0.01	0.16
0.00	0.14	0.19	0.12	0.00	0.15
0.00	0.15	0.21	0.13	0.01	0.16
0.00	0.15	0.19	0.13	0.01	0.15

수확시기와 품종에 무관한 당도 예측 모형의 개발의 가능성을 좀더 많은 실험 자료로 판단하기 위하여 수확시기와 품종이 다른 실험# 7040, 7050 그리고 7070 자료에 대해서도 그들을 혼합하고 전처리한 후 산도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증하였으며 그 결과는 다음 표 4-31과 같다. 수확시기와 품종에 무관한 산도 예측 모형의 정당성을 파악한 결과, 표와 같이 SNV로 전처리하여 개발한 모형의 성능이 가장 우수한 것이었으며, 이 예측모형의 검증의 결정계수와 SEP 값은 각각 0.41과 pH 0.09로서 실험# 7050의 산도 예측모형의 성능이 매우 낮았던 점을 고려하면 대체로 괜찮은 결과로 나타났다.

이 산도예측모형에 의해 예측모형의 정당성검증용 토마토 시료를 대상으로 선별 (pH 4.00을 기준) 할 경우 선별의 정확도를 조사한 결과, pH 4.0 이상과 미만의 선별 정확도는 각각 58.6% (17/29)과 90.5% (162/179)이고, 전체 선별 정확도는 86.1% (179/208)로 분석되어 위의 실험# 7040과 # 7050를 혼합하여 개발한 품종과 수확시기 무관 산도 예측모형의 선별 정확도에 비해 높은 수준인 것으로 나타났다.

개발한 산도 예측모형을 실험# 7040과 7050과 7070의 검증용 자료로 검증한 결과, 검증의 결정계수는 표와 같이 각각 0.21, 0.07, 0.42로 나타났다. 이 결과 중 실험# 7050의 경우 개발 모형의 예측성능은 매우 낮은 결과였는데, 그 원인은 위에서 설명한 바와 같이 당초 실험# 7050의 경우 그 산도 예측모형의 성능이 매우 낮았던 특성에 기인한 것으로 판단되었다. 반면 실험# 7040과 7070의 검증용 자료에 대한 개발 모형의 예측성능은 검증용 혼합자료에 대한 예측성능과 같거나 약간 낮은 수준으로 나타났다.

이상의 결과를 앞서 설명한 실험# 7030과 7040 그리고 실험# 7040과 7050의 혼합 자료에 대한 분석 결과를 함께 고려한 결과, 투과광의 분광분석에 의한 당도나 경도 예측의 경우에서와 유사한 결론을 얻게 되었다. 즉, 수확시기와 품종에 무관한 산도 예측모형의 개발은 산도 예측성능이 우수한 다계절 다품종의 가능한 많은 실험 자료를 혼합한 다음 실험의 불확실성을 최소화하기 위한 전처리를 수행하여 예측모형을 개발할 경우 가능할 것으로 판단되었다. 그리고 혼합자료로 개발한 모형은 혼합자료 구성에 관련된 수확시기와 품종의 토마토에 대하여 사용해야 합당한 산도 예측이 가능할 것으로 판단되었다.

이러한 모형 개발 시 효과적인 전처리 방법을 구하는 방법도 투과광의 분광분석에 의한 당도나 경도 예측의 경우와 유사한 방법으로서 본 연구에서 수행한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사하여 찾아야 할 것으로 판단되었다.

표 4-31 수확 시기 및 품종 무관 산도 예측모형 개발 및 검증 결과

Preprocessing		Calibration		Validation	
		7040+7050+7070			
		R^2	SEC	R^2	SEP
Raw data		0.34	0.09	0.20	0.11
Normalization	Mean	0.36	0.09	0.39	0.09
	Maximum	0.41	0.09	0.24	0.10
	Range	0.43	0.09	0.17	0.11
MSC		0.39	0.09	0.29	0.10
SNV		0.39	0.09	0.41	0.09
Savitzky-Golay	1st deri.	0.38	0.09	0.25	0.11
	2nd deri.	0.25	0.10	0.21	0.10
Norris Gap	1st deri.	0.37	0.09	0.19	0.12
	2nd deri.	0.36	0.09	0.19	0.11

Validation					
7040		7050		7070	
R^2	SEP	R^2	SEP	R^2	SEP
0.23	0.14	0.03	0.10	0.37	0.07
0.23	0.11	0.05	0.10	0.40	0.07
0.23	0.11	0.08	0.09	0.47	0.07
0.21	0.11	0.08	0.10	0.50	0.07
0.25	0.10	0.08	0.10	0.44	0.07
0.21	0.11	0.07	0.10	0.42	0.07
0.21	0.11	0.03	0.10	0.51	0.06
0.11	0.11	0.04	0.10	0.53	0.07
0.20	0.11	0.05	0.10	0.47	0.07
0.15	0.11	0.03	0.10	0.48	0.07

투과광 분광분석에 의한 토마토 내부품질 예측에 관한 이상의 모든 실험결과를 종합하면, 투과광의 분광분석에 의한 토마토 내부품질 예측의 가능성과 문제점 및 그 해결방안 등 그 주요 특성은 당도, 경도, 산도에 있어 다음과 같이 모두 비슷한 결과를 보였다.

투과광 분광분석 의해 토마토의 실험한 토마토의 내부품질인 당도와 경도와 산도 모두 예측은 가능하고, 모형 개발과 같은 시기에 수확한 토마토에 대해서 선별작업에 사용할 수 있는 수준의 것으로 판단되었다. 다만, 그 예측모형의 성능은 모두 토마토 재배방법이나 수확시기에 상당한 영향을 받음이 명백하였다.

투과광을 이용하여 실험한 3 가지 토마토의 내부품질을 예측할 경우 수확시기와 품종에 무관한 예측모형을 개발하는 방법은, 다양한 수확시기와 품종에 대한 많은 실험 자료를 혼합하여 예측모형을 개발하는 것이다. 이러한 방법으로 개발한 모형은

그 혼합자료 구성에 관련된 수확시기와 품종의 토마토에 대하여 사용하면 보다 정확한 예측이 가능한 것으로 나타났다.

투과광의 분광분석에 의한 내부품질 예측모형 개발 시 효과적인 전처리 방법도 단일의 방법을 제시할 수 없으며, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 본 연구에서 수행한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사하는 방법으로 찾아야 할 것으로 판단되었다.

실험한 토마토의 내부품질 관련 인자에 대해서는 향후 이들을 종합적으로 고려하여 소비자 요구를 충족하는 선별기준을 정하고 이를 영농현장에 적용하며 그 결과를 확인하고 개선하는 현장적용실험의 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

5. 결론

가. 스펙트럼 측정용 광원의 안정화 실험

반사광 스펙트럼 측정용 광원의 경우 실험한 광원은 전기 에너지를 공급한 직후부터 광원의 상태가 안정화된 것으로 판단되었고, 투과광 스펙트럼 측정용 광원의 경우는 광원의 전원을 켜 후 4시간 후부터 광원이 안정화되었다.

나. 반사광 분광분석에 의한 토마토의 내부품질 인자 측정 실험

1) 토마토 표면의 위치 중 토마토 전체의 평균 당도와 유사한 당도를 보인 위치는 대체로 토마토의 적도선 부근이고, 토마토 전체의 평균 경도와 유사한 경도를 갖는 부분은 토마토의 하부인 것으로 분석되었다.

2) 반사광의 분광분석에 의한 토마토의 당도를 측정할 경우, 토마토와 반사광 측정 probe와의 측정거리는 일정하게 유지하여야 하는 것으로 나타났다.

3) 반사광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측은 토마토 재배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백하며, 경우에 따라 그 예측이 불가능할 가능성이 큰 것으로 분석되었다.

4) 당도 예측 시 나타나는 계절적 영향을 배제하는 방법은 다계절에 수확한 다품종 토마토의 실험자료를 혼합하는 방법으로 판단되었으나 이러한 혼합 모형을 개발할 경우, 사용하는 실험자료는 그 자체의 당도 예측성능이 우수하여야 하며, 개발한 모형의 성능은 모형 개발 시 관련되었던 토마토의 당도 예측에만 효과적인 것으로 판단되었다.

5) 반사광의 분광분석에 의한 토마토 당도 예측모형 개발 시 효과적인 전처리 방법은 단일의 방법으로 제시할 수 없으며, 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 본 연구에서 시도한 방법과 같이 가능한 모든 전처리 방법을 적용한 후 그 성능

을 조사하는 방법으로 찾아야 하는 것으로 판단되었다. 그리고 당도 예측모형 개발 시 예측 성능을 높이기 위하여 2단계 전처리하는 것이 효과적인 것으로 판단되었다.

6) 반사광의 분광분석에 의한 토마토 경도 예측 시 그 성능은 당도의 경우보다 상당히 열등하고 토마토 재배방법이나 수확시기에 큰 영향을 받음이 명백한 것으로 판단되었다. 그리고 반사광의 분광분석방법으로 토마토의 경도를 예측하는데 있어 나타나는 이러한 계절적 영향을 배제하기 위하여 실험 자료를 혼합하는 방법은 당도 예측 경우와는 달리 별로 효과적이지 않는 것으로 판단되었다.

다. 투과광 분광분석에 의한 토마토의 내부품질 인자 측정 실험

투과광의 분광분석에 의한 토마토 내부품질 예측에 관련하여 실험한 예측의 가능성과 문제점 및 그 해결방안 등 그 주요 특성은 당도, 경도, 산도에 있어 다음과 같이 모두 비슷한 결과를 보였다.

1) 투과광을 이용한 토마토 내부품질 예측모형 개발에 있어 그 예측성능이 우수한 스펙트럼 파장대역은 당도, 경도, 산도 모두 사용한 투과광용 토마토 내부품질 측정 장치의 측정전범위인 660~1100 nm로 판단되었다.

2) 투과광 분광분석 의해 토마토의 실험한 토마토의 내부품질인 당도와 경도와 산도 모두 예측은 가능하고, 모형 개발과 같은 시기에 수확한 토마토에 대해서 선별작업에 사용할 수 있는 수준의 것으로 판단되었다. 다만, 그 예측모형의 성능은 모두 토마토 재배방법이나 수확시기에 상당한 영향을 받음이 명백하였다.

3) 토마토의 내부품질 예측 시 나타나는 계절적 영향을 배제하는 효과적인 모형 개발 방법은, 관심 대상 내부품질의 예측성능이 우수한 가능한 많은 계절과 품종의 실험 자료를 혼합하여 예측모형을 개발하는 것이다. 이러한 방법으로 개발한 모형은 그 혼합자료 구성에 관련된 수확시기와 품종의 토마토에 대하여 사용하면 보다 정확한 예측이 가능한 것으로 나타났다.

4) 투과광의 분광분석에 의한 토마토 내부품질 예측모형 개발 시 효과적인 전처리 방법은, 반사광 분광분석에 의한 토마토 내부품질 측정방법에서와 같이 단일의 방법을 제시할 수 없고 가장 효과적인 전처리 방법을 찾기 위해서는 가능한 다양한 전처리 방법을 적용한 후 그 성능을 조사하는 방법으로 찾아야 할 것으로 판단되었다.

5) 실험한 토마토의 내부품질 관련 3 가지 인자에 대해서는 향후 이들을 종합적으로 고려하여 소비자 요구를 충족하는 선별기준을 정하고 이를 영농현장에 적용하며 그 결과를 확인하고 개선하는 현장적용실험의 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

제2절 완숙 토마토 선별기준 설정

1. 서 언

토마토는 풍부한 영양과 식이 섬유를 포함하고 있어 현대인의 건강에 매우 중요한 과채로 알려지면서 토마토 소비가 크게 증가되고 있다. 토마토가 함유하고 있는 라이코펜과 β -카로틴은 각종 암을 예방하며, 글루타민산은 피로 회복제 역할을 하며 비타민C는 멜라닌 색소의 형성을 억제시키는 효과가 있는 것으로 알려지고 있다. 그리고 토마토의 비타민 E는 체내 호르몬 생성을 촉진시키고, 구연산은 식욕을 증진시키며 라이코펜은 해독과 숙취 해소에 효과가 크다고 알려져 있다. 특히 국민의 소득 수준 향상과 건강에 대한 관심이 크게 증가되면서 최근 토마토의 수요가 증가하고 있고, 그것도 고품질, 환경 친화적인 농산물에 대한 소비자의 요구가 급증하며 고품질 토마토에 대한 수요가 증가하고 있다.

토마토는 고추, 당근 등과 함께 재배면적이 꾸준히 유지되고 있고 시설의 발달로 주년재배가 가능해져 연중 신선채소의 공급을 목적으로 하는 작부체계가 보편화 되었다. 특히 풍부한 영양과 식이섬유, 라이코펜과 β -카로틴, 글루타민산과 비타민C 등 현대인의 건강에 중요한 일을 한다고 알려지면서 고품질 토마토에 대한 소비자의 기호도가 양에서 질로 전환되면서 미숙계통보다 완숙계통 토마토의 재배 면적이 증가하고 있다.

고품질의 완숙 토마토의 안정적인 공급을 위해서는 그 선별기준이 있어야 하나 국내에서는 완숙 토마토를 위한 선별기준은 아직 불비한 실정이다. 그리고 이러한 선별의 요인을 비파괴적인 방법으로 측정하고 선별하는 당도 선별기가 필요한 실정이다. 이에 따라 본 연구는, 완숙토마토의 품질 향상과 당도 향상을 위한 재배적 방법을 제시하고 재배방법간 당도를 비교하며 향후 출하용 토마토의 당도를 비파괴적인 방법으로 측정하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 높은 당도를 갖는 완숙 토마토의 선별기 개발을 위한 과일의 특성과 선별 기준을 설정하고자 하는 연구로서, 선별인자인 당도를 중요시하고 그 외에 크기 또는 형상을 고려하여 선별인자를 비파괴적인 방법으로 측정하고 당 함량을 조사하고자 하였다. 따라서 완숙토마토의 품종간, 재배방법간 재배현장에서 시료를 채취하고 분석하였으며 아울러 재배 방법간 생육 및 수량을 동시에 검토하였다.

가. 완숙토마토 재배단지별 선별기 이용실태

완숙토마토의 선별기 이용과 선별기준 설정을 위하여 광주·전남지역의 토마토재배단지 15개소를 대상으로 재배 형태와 단지의 규모, 주요 출하처 및 선별기 이용실

태를 현장방문과 전화응대로 하였고 향후 선별기 이용과 계획 및 농가 반응에 대하여 조사 분석하였다.

나. 재배 작형별 품종에 따른 과 당도 변화

봄재배 작형의 시험품종은 슈퍼도태랑 등 10품종을 사용하여 육묘를 하였고 배양액은 원예연구소 배양액(N-P-Ca-Mg 9-2-5-4-2 me/l)을 100배로 조성한 농축액을 이용하였다. 수분은 수정별 1통을 300평 온실에 방사하였으며, 적심은 1화방 개화시에 1화방 상위 2엽을 남기고 생장점을 적심하여 1화방만 재배하였다. 수확기간은 품종에 따라서 5월 21일부터 6월 10일까지 수확하였고 과일 특성은 과중과 정도, 가용성 고형물함량, 산함량, pH 그리고 과피색을 조사하였다.

여름재배 작형의 시험품종은 봄재배와 같은 품종으로 하여 유리온실에 정식하여 시험을 수행하였다. 또 실생묘를 이용한 가을재배 작형은 록구산마루 등 10품종에 대해 실생 45일 묘를 재식거리 180×10cm로 10a당 5,500주를 펠라이트 3호 배지에 정식하였다. 양액관리는 EC 0.8~2.0dS/m 관리하였으며 급액은 누적일사량 300 Wh/m 도달 시 1회 주당 약 40ml를 급액하였다. 정지 유인은 2화방 상위 2엽을 남기고 적심하여 관리하였다.

다. 용기재배와 배지종류별 당도 특성

고형 배지경 수정재배 시 배지종류가 과의 당도와 과 생육에 미치는 영향을 검토하고자 여름재배 작형으로 재식거리를 90×10cm(180cm 이랑에 고형배지경 2열 재배)로 10a당 11,000주를 4월 10일 정식하였다. 처리는 배수가 양호한 바이오 성형 베드에 펠라이트 3호, 펠라이트3호+입상암면, 코이어 슬라브, 암면슬라브를 각각 난피법 3반복으로 배치하였다. 배양액은 PBG처방을 이용하여 EC농도 0.8~1.5 dS/m, pH는 5.5~7.0수준으로 조성하여 공급하였다.

양액공급은 적산광량으로 200 Wh/m²도달시 주당 1회 80ml를 급액하였으며 녹숙기 이후에는 300 Wh/m² 도달시 주당 1회 급액량을 80ml로 줄여서 공급하였다. 수분은 토마토톤을 120배액으로 희석하여 개화된 꽃에 직접 분사하여 수정시키고 적심은 1화방 개화시에 제1화방 상위 2엽을 남기고 생장점을 적심하여 1화방만 재배하였다. 6월 11일부터 6월26일 까지 수확하여 1과중과 정도, 가용성 고형물함량, 산함량, pH 그리고 과피색 등을 조사하였다.

가을재배 작형으로 록구산마루 품종을 배수가 양호한 바이오 성형 베드에 펠라이트 3호, 펠라이트3호+입상암면, 코이어 슬라브, 암면슬라브에 정식하였다. 주당 배지용량은 약 3.3 l 이고 암면슬라브의 배지용량은 1.2 l/주 슬라브 규격은 10.5 l 정도였다. 2화방 상위 2엽에서 적심하여 2화방 재배하였다. 양액공급은 누적일사량 300 Wh/m²에 도달시 1회 40 ml를 급액하였다.

한편 연작장해 회피를 위해 분화용 용기재배에서 용기 내 배지의 종류와 재배시기가 과의 생육에 미치는 영향을 검토하기 위하여 봄 재배 작형으로 2 ℓ(난분 6호, 내경 14.8, 외경 16.9, 높이 18.8 cm)들이 PVC 용기에 펠라이트 3호, 펠라이트3호+입상암면, 코코넛더스트, 입상암면을 충전하여 재배하였다. 록구산마루 품종을 정식하여 시험을 수행하였다. 배양액은 PBG 처방을 이용하여 EC농도 0.8~1.6 dS/m, pH는 5.5~7.0 수준으로 조정하여 공급하여 과의 생육특성과 가용성고형물 산 함량, pH, 과피색을 조사하였다. 그리고 가을재배 작형도 봄작형과 동일하게 2 ℓ들이 용기에 펠라이트 3호, 펠라이트3호+입상암면, 코코넛더스트, 입상암면을 충전하여 록구산마루 품종을 이용하였고 기타 관리는 봄 재배 작형에 준하여 관리하였다.

라. 당함량 증진방법별 품질 특성

완숙토마토의 배지경 수경재배에서 배양액에 고농도의 염을 처리하여 고당도 토마토 생산 가능성을 검토하고자 봄재배 작형으로 플러그 육묘 트레이 50구에 마디삼목한 묘를 3월 20일에 재식거리 90×30 cm로 2열 재배하여 10a당 7,400주를 정식하였다. 급액방법은 타이머를 이용하여 1일 12회 각 2분씩(2조×4 ℓ/h) 순환식으로 주당 1일 1.6 ℓ 정도를 공급하였다. 배양액은 원예연구소 배양액(N-P-K-Ca-Mg 9-2-5-4-2 me/ℓ)을 100배 농축액을 이용하였고 염 처리는 수정후 20일, 30일, 40일에 각각 표준액에 NaCl 4.6 kg을 첨가하여 공급하여 과일 특성은 1과중과 경도, 가용성 고형물 함량, 산함량, pH 그리고 과피색을 조사하였다.

또 가을재배 작형에서는 록구산마루 품종 마디삼목 묘를 정식하여 1단 재배는 1화방 개화시인 12월 3일 1화방 상위 3엽을 남기고 적심하였으며, 2단 착과 재배는 2화방 개화시기인 12월 15일에 2화방 상위 2엽을 남기고 적심하였다.

마. 완숙토마토 품질에 미치는 재배 및 유통 특성

완숙토마토의 과 크기에 따른 가용성고형물 함량에 차이가 있는지를 보기 위하여 2005년 10월 20일에 장성의 수경재배 농가에서 60%정도 착색된 슈퍼도태랑 품종의 완숙토마토 120개를 수확하여 무게와 가용성고형물 함량을 조사 하였다. 각각의 과일은 착색정도가 비슷한 것만 골라내고 다시 모양이 완전한 것과 썬이 덜 형성되어 모양이 각진 과일을 구분하여 각각 20과와 50과를 골라서 조사하였으며 가용성고형물 함량은 핸드믹서로 과일전체를 착즙하여 당도계를 이용하여 조사하였다.

농가에서 수확되는 완숙토마토는 계절별로 착색의 정도가 다르게 수확되어 출하되고 유통기간 중에 추숙이 되면서 착색이 진행되는데 재배하우스에서 완숙되어 수확된 것과 미숙한 과일의 후숙에 따른 품질변화로 가용성고형물 함량 및 산함량의 변화를 보기 위하여 광주 근교의 재배농가 중 토경재배와 수경재배를 병행하여 재배하는 농가의 포장에서 수경재배와 토경재배를 구분하여 수확한 후 각각은 착색정도를

20%, 40%, 60%, 80%로 구분하고 각각 10개의 과일을 조사하였다. 20%와 40% 착색 과일은 수확 당일 조사 와 상온 25℃에서 3일후와 5일후 후숙된 과일을 조사하기 위해 각각 10개의 과일을 추가로 준비하여 3일과 5일후 각각 조사하였다. 60%착색 과일은 앞에서와 같이 동일한 조건에서 3일 동안 착색이 진행된 과일의 가용성고형물 함량과 산함량을 조사하였다.

2007년 2월에는 광주 송정농협 선별장으로 입고 되는 토경재배 3농가의 완숙토마토를 착색정도별로 구분하여 미놀타 CR-200 색차계를 이용하여 착색정도에 따른 밝기, 적색도, 황색도를 측정하였다. 품종은 슈퍼선로드, 호용 2품종이었고 호용재배농가 중 한 농가는 당도를 높이는 목적으로 관수를 제한하여 재배하였다고 하였으며 과일의 크기가 다른 농가에 비해 다소 적었다.

2007년 5월에 조사된 품종 “안심이”는 완숙과, 미숙과, 그리고 미숙과를 25℃에서 1주 후숙한 후 색도 및 가용성당함량과 산함량,을 조사 하였으며 완숙과와 미숙과를 추숙처리한 과일의 품질을 비교하기 위하여 라이코펜과 캐로틴(a+b)함량을 조사하였다. 라이코펜과 캐로틴은 UV/Vis spectrophotometer (Waters 2487, Waters, Milford, MA, USA)을 이용하여 분석하였다.

수확시기별 가용성고형물 함량에 대한 추이를 보고자 1월상순, 1월 하순, 3월 중순, 4월 중순, 5월 중순, 7월 상순으로 구분하여 장성군 황룡면 공동선별장을 이용하여 중량선별된 완숙토마토를 간이형 착즙기를 이용하여 착즙하여 가용성고형물함량을 당도계를 이용 조사하여 각 조사값을 5반복으로 구분하여 자료를 정리 하였으며 가용성고형물을 기준으로 비파괴 당도 선별시 출하시기별 선별기준을 통과하지 못하게 되는 정도와 기준값 설정을 위한 참고 자료로 활용하고자 각각의 시기별 가용성고형물을 계간값 0.6 Brix를 기준으로 빈도분포그래프를 만들어 시기별 가용성고형물 함량의 분포도를 그렸으며 이들의 백분위수를 표로 표현하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 완숙토마토 재배단지별 선별기 이용실태

완숙토마토의 재배단지의 선별기 이용실태조사는 (표 5-1)과 같이 광주·전남지역의 주요단지 15개소를 대상으로 조사한 결과 토양재배는 전체의 80%인 12개 단지가 있었고 수경재배를 이용한 재배방식은 20%를 차지하였다. 완숙토마토재배는 평균 6~7농가를 단위로 형성하였고 농가당 30a 수준으로 경영하고 있었다. 또 일반토마토와 달리 완숙토마토는 일찍 물러지고 저장성이 약하다고 판단하여 출하처를 인근 도매시장인 광주농산물도매시장을 전체의 60%의 단지가 이용하고 있었다. 그리고 서울을 비롯한 수도권을 상대로 하는 곳은 33%인 5개단지가 이용하였다. 또 광주·전남

지역의 완숙토마토 재배단지의 주 재배품종도 슈퍼도태랑이 39%로 가장 많이 재배되고 있었고 레전드섬머 품종 22%, 초복과워 품종 13%순으로 나타났고 이밖에 레드킹 품종과 록구산마루 품종으로 나타났다(표 5-2, 5-3).

표 5-1 농가 선별기 이용실태 조사지역

지역	광주	담양	나주	장성	화순	영광	함평	강진	해남
조사단지수	3	3	2	2	1	1	1	1	1

표 5-2 농가선별기 이용실태 조사지역의 재배단지 운영형태

구분	재배형태		단지규모		주요출하처		
	토경(단지)	수경(단지)	농가수(호)	호당면적(a)	광주	서울	기타
조사단지수	12	3	6.5	30	9	5	1

표 5-3 조사지역의 재배품종 비율

품종명	슈퍼도태랑	레전드섬머	초복과워	레드킹	록구산마루
비율(%)	39	22	13	4	4

완숙토마토를 재배하여 출하하는데 품질을 차별화 하여 경쟁력 향상을 도모하는데 우수품질을 선별하기 위하여 87%가 선별기를 이용하고 있었고(표 5-4) 단순히 육안으로 판단하여 선별, 포장하는 지역도 2개소가 있었다. 선별기를 이용하는 경우는 흔히 형상적인 선별과 무게를 이용한 저울형을 이용하고 있었는데 본 조사에서는 선별기 이용단지 전체의 77%인 10개소에서 과 크기를 기준으로 하는 형상적인 선별을 하고 있었다. 또 선별기는 거의 모든 농가가 개별적으로 선별하고 있으며 공동선별하는 규모는 4.3농가로 나타났다.

표 5-4 조사단지의 선별기 이용실태

구분	선별기 이용여부				선별기 이용범위(%)			선별기 가격(천원/대)	
	크기	무게	소계	이용안함	개별	공동	공동규모	형상형	저울형
조사단지수	10	3	13	2	77	23	4.3호	1,900	4,000

완숙토마토의 선별기 이용확대와 이용가능성을 검토하기 위한 현장 실태조사 시

시판 선별기의 가격을 조사한 결과 형상형과 저울형으로 구분되는데 저울형은 대당 4백만원 정도로 형상형의 대당 1,90만원에 비해 2배이상 높았다. 그리고 고품질 완숙 토마토의 안정적 공급과 품질향상을 위한 대책으로 선별기의 기능이 형상형과 저울형의 절충형이 필요하다고 판단되는데 이러한 기기의 제작이 필요할 것으로 본다. 특히 당도를 비롯한 제 요건을 더하여 제작된 선별기라면 많은 농가들이 이용할 것으로 보는데 특히 당도에 의한 선별의 필요성을 87%의 단지가 느끼고 있었고 이러한 기기를 공동구매하여 활용하겠다는 의지가 매우 높았다(표 5-5).

표 5-5 비파괴 당도선별을 이용한 완숙토마토 선별 방법에 대한 농가 반응

구분	당도에 의한 선별필요성		당도이용 선별기 이용 계획은	
	필요할 것임	잘 모르겠음	공동 구매할 계획	검토해 보겠음
비율(%)	87	13	47	53

한편 토마토의 수출과 고품질을 위한 품질관리원의 출하기준이 있는데 토마토의 착색정도와 무게를 기준으로 삼고 있다. 완숙토마토의 착색정도는 50~70%, 일반토마토는 10~30%정도 착색을 기준으로 하고 과의 무게를 기준으로 총 5등급으로 분류하고 있다(표 5-6, 5-7, 5-8).

표 5-6 국립품질관리원의 착색정도에 따른 출하시기 기준

출하시기	착색비율	
	완숙토마토	일반토마토
3월~5월	전체면적의 60% 내외	전체면적의 20% 내외
6월~10월	전체면적의 50% 내외	전체면적의 10% 내외
11월~익년 2월	전체면적의 70% 내외	전체면적의 30% 내외

표 5-7 국립품질관리원의 과일 크기에 따른 출하구분

구분	특대	대	중	소	소
1과의 무게(g)	250 이상	210 이상 250 미만	180 이상 210 미만	150 이상 180 미만	100 이상 150 미만

표 5-8 대일 수출 토마토 품종 "모모타로"의 품질 기준표

등급	4kg 상자 내 과수	등급별 1과당 중량
3L	12~16	250g~330g
2L	18~20	200g~249g
L	23~24	166g~199g
M	28~30	133g~165g
S	33~35	114~132g
2S	39	102g 평균
3S	42~45	100g 이하

나. 재배 작형별 품종에 따른 과당도 변화

봄 재배의 완숙토마토의 품종 특성과 품질을 판단하는 기준이 되는 과의 생육 특성을 조사한 결과 표 5-9와 같이 과피색중 적색도는 스타 품종이 높았으며, 황색도는 유럽계인 랩소디가 높은 경향이였다. 당도는 랩소디, 슈퍼선로드, 초복과워, 스타, 레전드섬머 품종이 높은 경향이었는데 대체적으로 굴절당도계 측정 결과 5.4~6.3 Brix 수준으로 나타났다(그림 5-1). 산 함량은 초복과워, 슈퍼선로드 품종이 높았고 산도는 pH 4.0 수준이였다.

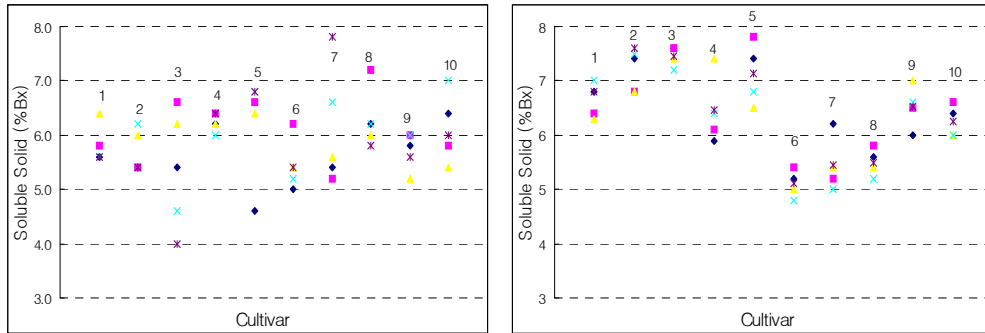
완숙토마토의 여름재배 작형의 품종별 과 생육 특성은 표 5-10과 같이 1과중은 최저 92 g에서부터 162 g까지 품종에 따라 차이가 많았는데 과중이 120 g 이상인 품종은 동양계는 슈퍼선로드, 유럽계는 랩소디 품종이였다.

표 5-9 봄 재배 토마토의 품종별 생육 특성

품종명	색도			가용성 고형물 (Brix)	산함량(%)	pH	1과중
	L	a	b				
슈퍼도태랑	42.1	31.6	18.2	5.8	0.43	4.11	171
모모타로 요크	40.6	32.8	17.0	5.7	0.38	4.13	175
록구산마루	43.0	32.9	17.8	5.4	0.27	4.07	173
초복과워	39.3	26.8	16.8	6.2	0.53	4.12	184
슈퍼선로드	45.2	28.9	20.4	6.2	0.58	4.07	205
레전드	39.7	33.6	15.7	5.4	0.48	4.16	205
스타	39.2	34.1	15.4	6.1	0.51	4.17	213
랩소디	39.2	32.0	25.9	6.3	0.37	4.10	213
지복과워	43.4	29.4	17.9	5.7	0.37	4.12	147
레전드섬머	40.9	31.6	16.7	6.1	0.58	4.11	210

봄 재배

가을재배



1. 슈퍼도태랑 2. 모모타로요크 3. 록구산마루 4. 초복파워 5. 슈퍼선로드
6. 레전드 7. 스타 8. 랩소디 9. 지복파워 10. 레전드섬머

그림 5-1 재배 작형과 품종별 당도 함량 분포

또 여름재배의 품질을 결정하는 과의 생육 특성을 분석한 결과 가용성 고형물은 슈퍼선로드, 초복파워, 스타, 록구산마루, 모모타로요크 품종이 6.5~7.5 Brix로 타 품종에 비하여 높은 경향이었고 전체적인 범위는 5.0~7.5 Brix로 나타났다. 산 함량은 품종에 따라서 0.4~0.5% 수준이었고 과피색중 적색도는 지복파워, 슈퍼도태랑 품종이 높았고 황색도는 유럽계인 랩소디 품종이 높았다(표 5-10).

표 5-10 완숙토마토 여름재배 과 특성

품 종	가용성고형물 (Brix)	과피색			산함량 (%)	1과중 (g/개)
		L	a	b		
슈퍼도태랑	6.5	43.3	35.7	26.7	0.43	125
모모타로 요크	6.7	40.8	35.8	24.6	0.43	120
록구산마루	7.2	41.1	39.1	24.1	0.43	100
초복파워	7.5	47.4	32.8	26.3	0.40	92
슈퍼선로드	6.5	27.1	27.2	15.5	0.41	162
레전드	7.1	49.8	30.0	27.7	0.52	137
스타	5.2	42.9	36.2	32.4	0.43	95
랩소디	5.5	39.2	41.2	16.9	0.52	122
지복파워	5.5	40.1	39.4	19.0	0.43	116
레전드섬머	6.3	40.2	40.6	18.3	0.46	128

완숙토마토의 경도는(표 5-11) 스타 품종이 타 품종보다 높은 경향이었는데 이 등(2000)은 토마토 수경재배시 도입 품종 비교 시험에서 과실 경도는 유럽계인 레드자

인언트와 동양계인 슈퍼도태랑이 높았으며 이는 본 시험 결과와 유사한 경향을 보였다. 그리고 방울토마토인 꼬꼬와 이쁜이 품종은 $550\sim 707\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 이며 가용성 고형물 함량은 슈퍼도태랑 품종이 4.7 Brix로 높은 경향이었으며 가을재배에서 3.0~4.7 Brix로 나타났다. 산도는 pH 3.9~4.1 수준이었으며 산 함량은 0.2~0.3% 수준이었다. 과피색중 적색도는 레전드썸머와 초복파워, 모모타로요크 품종이 높은 경향이었고, 황색도는 적색도가 낮은 서양계 품종인 랩소디 품종이 높은 경향이였다.

표 5-11 가을재배 과 생육 특성

품 종	과중 경 도		과일 전체			과피색도			1과중 (g/개)
	과중 (g/주)	경 도 ($\text{g}/\text{cm}^3, \phi^2$)	가용성고형물(Brix)	pH	산함량 (%)	L	a	b	
모모타로 요크	485	367	4.3	4.1	0.26	41.50	33.04	19.75	93
록구산마루	474	467	3.9	4.0	0.26	43.92	31.32	21.27	81
초복파워	489	426	4.3	4.1	0.24	43.14	33.42	21.72	93
슈퍼선로드	527	466	4.5	4.1	0.26	43.73	32.58	22.40	108
레전드	701	455	3.7	4.1	0.24	45.16	28.16	21.87	107
스타	556	676	4.0	4.1	0.24	43.87	32.91	21.39	90
랩소디	666	450	3.0	3.9	0.24	46.97	23.95	31.15	134
지복파워	532	444	4.2	4.1	0.26	42.10	32.61	20.90	92
레전드썸머	532	421	4.0	4.1	0.27	42.51	34.49	21.13	91
슈퍼도태랑	603	387	4.7	4.1	0.26	44.96	30.88	21.65	91

가용성고형물 함량과 산 함량의 관계는 그림과 같은 상관관계로 산 함량이 높으면 비교적 당 함량이 높은 경향을 보였다. (그림 5-2)

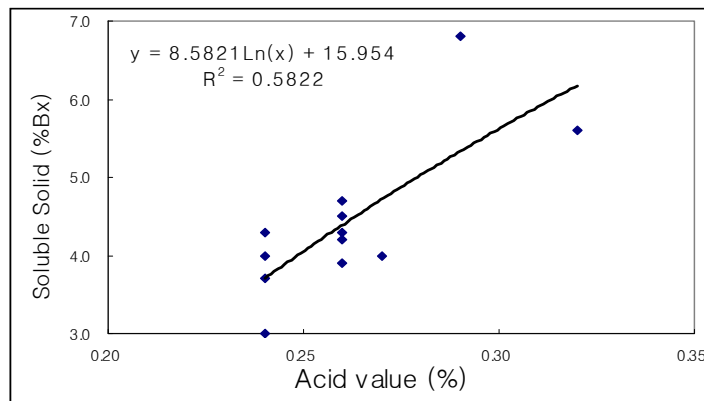


그림 5-2 가용성고형물 함량과 산 함량의 상관 관계

다. 재배시기와 용기 내 배지 종류별 당도특성

완숙토마토의 용기 내 배지 종류에 따른 당함량 특성을 조사한 결과, 표 5-12와 같이 용기내의 배지 종류를 달리한 가용성고형물은 비교적 일조량이 높은 시기에 수확한 것으로 용기 내 배지 종류에 따라 큰 차이가 없이 5.9~6.0 Brix로 나타났다.

표 5-12 용기 내 배지 종류별 과 특성

배지 종류	가용성고형물 (Brix)	과 중 (g/개)
필라이트3호	6.0	156
필라이트3호+입상암면(6:4)	6.0	154
코코넛더스트	6.0	174
입상암면	5.9	149

또 용기 내 배지 종류별 여름재배 작형의 1화방 수확 저단재배 고품배지경 수경재배에서 서광 102호 품종에서 300 Wh/m² 도달 시 1회 120 ml 급액하여 재배한 결과, 표 5-13과 같이 가용성고형물은 필라이트 3호와 코코넛더스트, 암면재배가 필라이트 3호+입상암면 혼합배지에 비하여 높았는데 전체 배지 조건에서 5.0~5.8 Brix로 나타났다.

표 5-13 용기 내 배지의 종류별 과 특성

배지종류	가용성고형물 (Brix)	과중 (g/개)
필라이트3호	5.5	143
필라이트3호+입상암면(3:7)	5.0	171
코코넛더스트	5.4	155
암면	5.8	161

그리고 시설 내 배지종류를 달리한 완숙토마토의 재배시험에서 배지 종류별 수확 과수는 표 5-14와 같이 2단 재배에서 1과중은 121~124 g수준으로 처리간에 차이가 없었다. 그리고 경도는 주당 배지용량이 필라이트나 입상암면에 비하여 암면슬라브 배지에서 높은 경향을 보였으며 산도, 산 함량, 과피색은 배지 종류간에 차이가 없었다. 가을재배에서 배지종류를 달리하여 재배한 완숙토마토의 가용성고형물은 4.4~4.6 Brix로 큰 차이가 없었다.

표 5-14 배지의 종류별 과 생육 특성

배지종류	경도 (g/cm ² , Φ2)	과일전체			과피색도			1과중 (g)
		가용성고형물 (Brix)	pH	산함량 (%)	L	a	b	
펠라이트1호	483	4.5	4.08	0.22	44.92	27.28	21.84	121
펠라이트3호	496	4.5	4.22	0.22	45.92	28.93	19.69	124
입상암면	475	4.4	4.15	0.23	46.09	27.50	21.39	124
암면슬라브	610	4.6	4.13	0.19	50.09	26.12	23.26	122

※ 밝기(0~100), a: 적색도(적색+60~녹색-60), b: 황색도(황+60~청-60)

가을에 정식하여 겨울철에 수확한 배지 종류를 달리한 시험재배에서 1과중은 180~210 g 정도로 봄작형의 150~175 g에 비하여 증가되었으며 가용성고형물 함량은 수분 보유력이 가장 적은 펠라이트 단용에서 약간 높은 경향이었고 산 함량은 0.31~0.35%로 나타났다(표 5-15).

표 5-15 겨울재배 작형의 용기 내 배지별 과 특성

배지종류	가용성고형물 (Brix)	산함량(%)	1과중(g/개)
펠라이트3호	5.2	0.33	179
펠라이트3호+ 입상암면(6:4)	4.8	0.31	211
코코넛더스트	4.6	0.33	205
입상암면	4.5	0.35	188

한편 완숙토마토를 수확한 방법과 시기별로 현장에서 채취한 시료를 대상으로 분석한 결과, 봄철에 수확한 미숙과의 당도는 5.4 Brix인 반면 완숙과는 이보다 낮은 5.0 Brix로 나타났고 여름철 수확한 미숙과와 완숙과는 6.8, 6.7 Brix로 나타나 숙기 정도에 따른 가용성고형물 함량의 차이는 없는 것으로 생각된다. 이는 당과 산의 비율이 크게 작용 할 것으로 보는데 향후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 본다. 그러나 숙기 정도에서 같은 시기에 조사한 전혀 익어가지 않는 초미숙과의 가용성 고형물은 5.5 Brix로 상당히 낮은 수준으로 나타났다(그림 5-3).

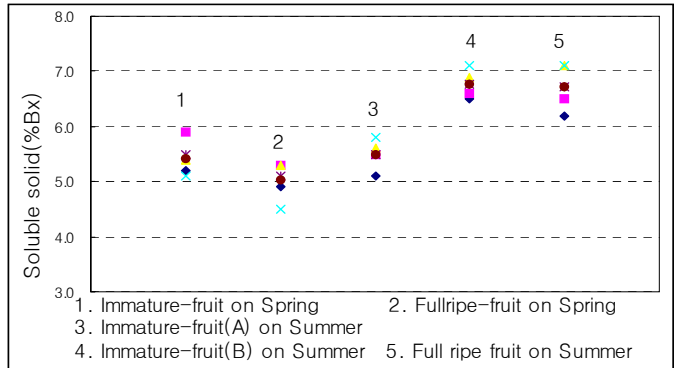


그림 5-3 계절별 숙기 정도에 따른 토마토의 가용성 고형물함량

또 계절별로 수확한 완숙토마토의 가용성고형물 함량은 시기별로 약간 다른 경향을 보였는데 봄에 수확한 경우는 5.0, 여름 6.7, 가을 4.6, 겨울 4.7 Brix 수준으로 나타나 일정한 경향을 보였고 특히 수경재배 조건하인 여름재배에서 비교적 높은 경향으로 나타났다. 이는 일조량과 관수량에 대한 어떤 연관이 있을 것으로 보는데 향후 관수량과 급액량에 대한 검토가 필요할 것으로 본다. 한편 완숙토마토 재배농가의 일반적인 겨울재배에서 가용성고형물 함량 조사에서 4.7~4.8 Brix로 나타나 큰 차이가 없었다(그림 5-4, 5-5).

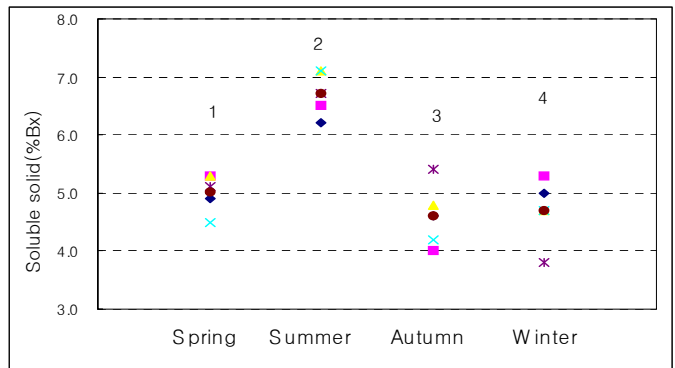


그림 5-4 계절별 완숙토마토 보통재배 농가의 가용성 고형물함량 분포

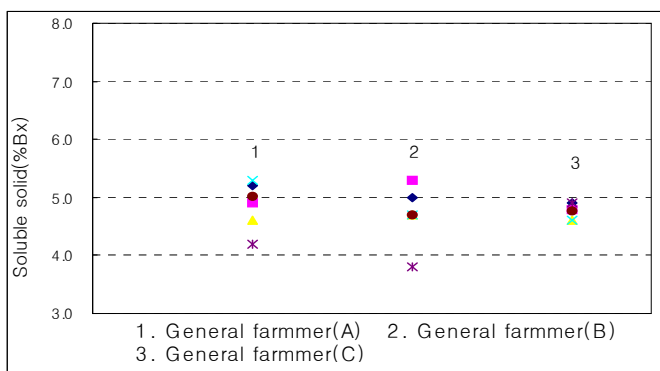


그림 5-5 완숙토마토 보통재배 농가의 가용성 고형물함량 분포

라. 당 함량 증진방법별 품질 특성

녹숙과 상태로 수확된 과실의 착색은 봄 수확과의 경우 양액재배한 과실은 수확후 7일, 토양 재배한 과실은 8일이 지나면 모든 과실이 적숙과로 변하지만 양액 재배된 과실이 토경재배된 것에 비해 상대적으로 생산성은 높지만 저장성은 약하다고 하였으나(박 등, 1999; 박과 강, 1996), 수경재배에서 염 처리하여 생산된 토마토가 착색 전의 녹숙과를 제외하고 저장기간에 경도에 차이가 크지 않은 것으로 보아 품질이 상대적으로 좋은 완숙과 상태로 수확하는 것도 좋을 것으로 생각되었다(표 5-16).

표 5-16 염류농도 처리에 의한 과특성 변화

염 처리시기	가용성고형물 (Brix)		산함량(%)		경도(g/cm ² , ϕ5)		pH	
	완숙과	반숙과	완숙과	반숙과	완숙과	반숙과	완숙과	반숙과
개화후 20일	6.6	6.7	0.50	0.51	1,817	1,820	3.1	3.2
개화후 30일	6.6	7.0	0.59	0.67	1,502	1,811	3.7	4.2
개화후 40일	5.8	6.0	0.50	0.42	1,361	1,745	3.1	2.6
관행+ 일라이트	5.4	5.8	0.48	0.40	1,415	1,791	3.0	2.5

또, 소금(NaCl)을 이용하여 가을재배로 1화방 개화후 20일부터 처리별로 10일 간격으로 EC 4.8 dS/m²에서 EC 6.0 dS/m², EC 9.0 dS/m²으로 높여 2월 9일부터 3월3일까지 수확한 결과, 경도와 산 함량은 표 5-17과 같이 무처리에 비하여 염 처리 시기가 빠를수록 증가되었으나, pH는 감소하는 경향이였다. 그리고 가용성 고형물은 전체 처리에서 6.4 Brix로 나타났고 염 처리를 빨리 할수록 높은 경향이였다. 이러한 연구는 김 등(2003)과 조(2004)의 연구에 의해 알려진 봄 재배 작형과 여름재배 작형의 저단밀식재배에서 NaCl의 처리농도가 높고, 처리시기가 빠를수록 수량은 무처리

대비 12~36% 정도 감소되었으나, 당도는 녹숙기 5일전에 80 mM 이상 농도로 처리한 결과 무처리 6.1 Brix보다 2 Brix정도 높아졌고 환원당인 Glucose, Fructose 함량도 NaCl 처리농도가 높을수록, 처리시기가 빠를수록 높아지는 경향이었으며, 경도는 0.6kg/cm² 정도 증가되었다고 하여 본 시험의 결과와 유사한 경향을 보였다.

표 5-17 엽 처리 시기별 과 생육 특성

처리시기	경도 (g/cm ² , ϕ2)	과일 전체			과피색도		
		가용성고형물 (Brix)	pH	산함량(%)	L	a	b
20일	638	6.4	3.98	0.30	42.59	29.65	22.30
30일	572	5.9	3.97	0.30	41.86	30.21	22.67
40일	564	5.6	4.00	0.27	43.19	28.24	22.93
관행	502	4.6	4.07	0.25	43.89	28.68	22.32

※ L:밝기(0~100), a:적색도(적색+60~녹색-60), b:황색도(황+60~청-60)

토마토는 수확 후 저장 기간에 따라서 경도와 가용성 고형물 함량 및 산함량은 감소되었으나 표 5-18과 같이 개화 후 20일에 엽 처리한 토마토의 경도는 약 650 g/cm²에서, 15일후의 경도는 약 500 g/cm²정도 되어 관행 재배에 비하여 현저하게 높았다. 그리고 개화 후 20일에 엽 처리한 토마토의 가용성고형물 함량은 수확직후 7.2 Brix, 15일후 5.9 Brix로 무처리 토마토의 수확직후 가용성고형물은 4.5 Brix보다 높았으며, 산 함량도 엽처리가 무처리에 비하여 높은 경향을 보였으나, 산도(pH)는 엽 처리에서 감소되는 경향이였다. 따라서 토마토는 엽 처리에 의해서 저장성 및 가용성고형물 함량이 증가되었다.

표 5-18 엽 처리와 저장 기간에 따른 과 특성 변화

엽 처리시기	경도 (kg/cm ² , ϕ2)	가용성고형물 함량(Brix)	산도	pH	색도			
					L	a	b	
저장 7일후	20일	489	5.9	0.28	4.1	41.41	32.07	19.05
	30일	437	5.3	0.28	4.0	37.45	33.5	20.44
	40일	462	5.1	0.28	4.0	44.34	29.61	20.80
	관행	379	4.7	0.22	4.1	43.76	28.45	19.96
수확당일	20일	594	5.8	0.28	4.0	41.81	32.43	21.34
	30일	553	5.7	0.28	4.0	41.87	33.11	21.58
	40일	507	5.7	0.28	4.1	41.10	32.61	21.96
	관행	441	4.5	0.25	4.0	43.28	30.88	23.26

마. 완숙토마토 품질에 미치는 재배 및 유통 특성

완숙토마토는 재배농가에서 수확 후 짧게는 하루 길게는 5일정도의 유통기간을 거쳐서 소비자에게 도달하게 된다. 따라서 소비자는 보다 신선하고 완숙된 토마토를 구매하기를 원하고 유통 상인의 경우는 유통 중 손실을 줄이기 위하여 경도가 높고 착색이 덜된 상태로 수확해 주기를 원하고 있다. 따라서 본 연구에서는 수확 후 품질 중 가용성고형물함량과 산함량을 중심으로 수확 후 경과일수 및 수경재배와 토경재배에서 수확된 토마토의 품질을 조사하였고 과 크기 및 모양에 따라 품질이 차이가 있는지를 보기 위하여 수확 후 추숙되는 과정에서 품질의 변화를 조사하였다. 표 5-19는 동일한 크기의 토마토이지만 쥬구성이 완전한 과일과 불완전한 각진 과일의 무게를 비교를 하였고 중량이 가용성고형물함량에 영향을 미치는지를 보기 위하여 조사하였다. 외관상 크기는 비슷하지만 각진과가 평균 201 g인 반면에 원형으로 정상적인 모양의 원형과는 이보다 6%정도 무거운 213 g이었다. 가용성고형물 함량도 통계적인 유의성은 없지만 다소 높았다. 그러나 각진과와 원형과 모두 그림 5-6과 같이 과 크기가 가용성고형물 함량에는 영향을 미치지 않았다.

표 5-19 완숙토마토의 슈퍼도태랑 품종의 가을수확시 모양에 따른 과 특성

각진과		원형과	
무게(g)	가용성고형물 (Brix)	무게(g)	가용성고형물 (Brix)
201.4	5.9	213.4	6.1

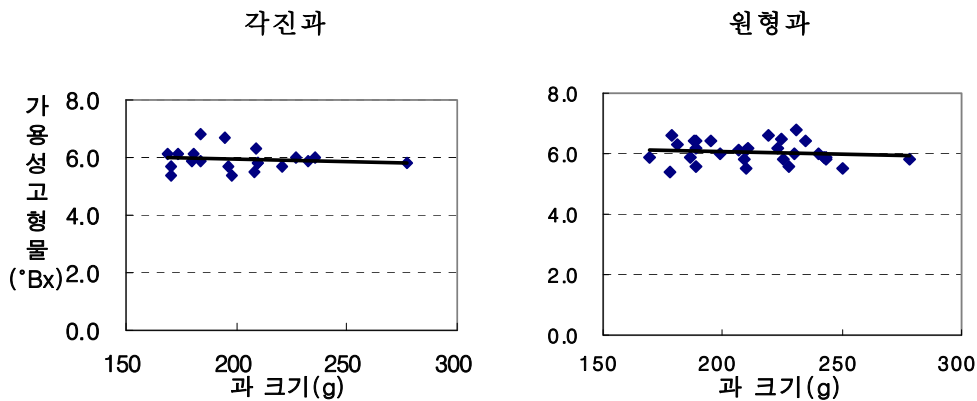


그림 5-6 과 크기에 따른 당도분포

표 5-20은 토경재배와 수경재배를 병행하여 재배하고 있는 농가에서 수확된 토마토의 품질과 수확후 품질변화를 조사한 결과로서 토마토는 수확 당일 조사결과 수경

재배에서 수확된 것보다 토경재배에서 수확된 토마토가 가용성고형물 함량 및 산함량이 다소 높았다.

토경재배에서는 수확 후 3일째에 가용성고형물함량이 다소 높아졌으나 5일째는 낮아지는 경향인데 특히 수확 시 착색이 20%내외였던 토마토가 추숙되는 과정에서 증가되었고 60%정도 착색된 토마토에서는 추숙과정에서 약간의 가용성고형물 함량이 떨어지는 경향을 보였다. 산함량의 경우는 추숙과정에서 줄어들었다. 그러나 수경재배 토마토에서는 착색이 20%정도였던 토마토의 수확 후 추숙과정에서 가용성고형물 함량이 5일째까지 증가하였다. 이러한 결과는 이미 20%정도 착색이 이루어졌을 때 이미 내부품질 구성이 이루어졌다고 보여지며 수경재배의 경우 과의 충실도가 높아 수확 후 가용성고형물의 증가가 토경재배의 토마토보다 수확 후 5일째까지 증가한 것으로 판단되었다.

표 5-20 완숙토마토 착색정도에 따른 당과 산 함량

	수확시 착색정도	1일째			3일째			5일째		
		중량 (g)	가용성 고형물 (Brix)	산함량 (%)	중량 (g)	가용성 고형물 (Brix)	산함량 (%)	중량 (g)	가용성 고형물 (Brix)	산함량 (%)
토경재배	착색80%	180.9	4.4	0.52	-	-	-	-	-	-
	착색60%	187.8	4.2	0.77	240.1	4.0	0.56	-	-	-
	착색40%	196.7	4.3	0.58	245.6	4.5	0.51	159.1	4.2	0.52
	착색20%	193.4	4.4	0.58	272.4	4.7	0.51	204.5	4.2	0.49
수경재배	착색80%	145.2	4.1	0.52	151.0	4.3	0.54	-	-	-
	착색60%	171.7	4.1	0.54	227.9	4.1	0.49	-	-	-
	착색40%	191.8	4.0	0.49	236.8	4.1	0.54	169.8	4.3	0.44
	착색20%	220.9	4.3	0.61	218.8	4.5	0.54	229.0	4.9	0.51

※ 품종 : 슈퍼도태랑, 조사일: 11.4(가을재배)

완숙토마토 호용 품종의 당구성을 HPLC를 이용하여 분석한 결과 표 5-21과 같이 Glucose 함량이 가장 많았고 다음으로 Fructose 함량이 많았다.

표 5-21 완숙토마토의 당 함량 구성

반복	가용성고형물 (Brix)	Fructose	Glucose	Sucrose	Total(F+G+S)
A	4.7	2.06	2.55	0.08	4.69
B	4.7	1.76	2.58	0.04	4.38
C	4.9	1.70	2.60	0.09	4.39
평균	4.8	1.84	2.58	0.07	4.49

※ 품종 : 호용

완숙토마토는 착색이 진행되면서 밝기 L값과 황색도 b값은 줄어들고 적색도 a 값은 증가하게 되는데 표 5-22에서는 수확당일 착색의 정도에 따른 색도를 조사한 자료로 3농가 공히 비슷한 경향을 보이고 있다. 그러나 농가C의 경우 다른 두 농가보다 높으며 가용성 고형물 함량이 1.0 Brix 정도 높았으며 착색이 진행된 과일에서의 산함량이 줄어드는 것이 일반적인데 C농가에서는 산함량이 높게 유지된 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 C농가가 당도를 높이기 위하여 관수를 제한 한 것이 주된 원인으로 다른 두 농가에 비하여 과의 무게도 낮았다.

표 5-22 수확시 착색정도에 따른 품질

구 분	착색정도	무게 (g)	색 도			가용성고 형물 (Brix)	총산함량
			L	a	b		
농가 A	40%	284.4	51.2	3.4	20.5	5.0	0.69
	60%	175.3	44.8	10.9	14.6	4.5	0.92
	80%	203.2	45.9	13.6	15.8	4.9	0.52
농가 B	40%	206.8	45.2	0.1	19.8	5.4	0.70
	60%	272.0	45.7	6.9	14.0	5.0	0.69
	80%	257.7	43.3	18.4	14.4	5.0	0.59
농가 C	20%	183.7	44.8	2.0	23.5	6.4	1.14
	40%	297.9	43.7	1.6	20.1	6.1	1.04
	80%	177.0	44.0	14.5	16.6	6.6	0.90
	100%	157.5	38.3	21.2	13.1	5.8	1.03

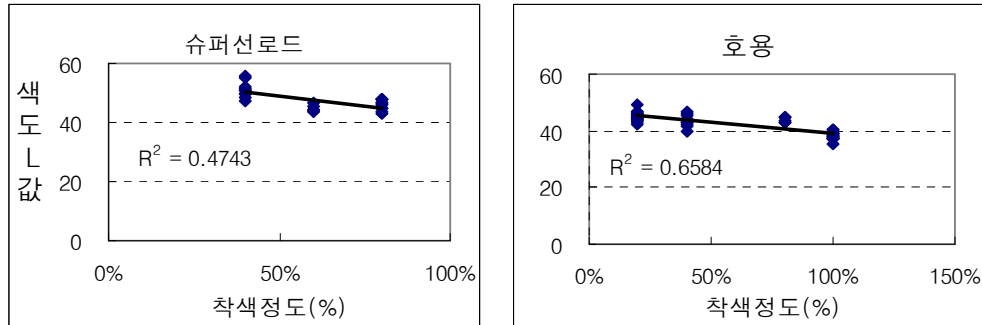


그림 1-7 완숙토마토의 수확 시 착색정도에 따른 L값 변화

한편 5월에 수확된 품종 “안심이”의 수확 시 착색이 80%이상 이루어진 토마토와 20%정도의 착색이 진행된 토마토를 수확하고 20%착색된 미숙과 일부는 1주일 상온에서 추숙한 후 완숙과, 미숙과, 추숙과의 색도, 가용성고형물, 총산함량을 조사하였으며 수체에서 완숙하여 수확된 80% 착색과와 수확시 20%착색된 과를 1주 추숙한과의 라이코펜과 캐로틴 함량을 분석한 결과 총산함량은 추숙과정을 거친 것이 현저히 줄어들었으며 라이코펜과 캐로틴(a+b)의 함량은 추숙하여 착색이 이루어진 토마토보다 수체에서 완숙된 토마토에서 3배정도 높았다. 그러나 “안심이” 품종에서는 추숙 후 당도의 증가는 없었다.

그러나 표 5-23, 5-24에서와 같이 “슈퍼도태랑”의 경우는 미숙과 상태로 수확하였을 때 가용성고형물 함량이 높았으며 미숙과를 5일정도 추숙한 과에서도 가용성고형물함량이 높았으며 산함량 역시 완숙 및 추숙과에서 낮았다. 안심이와 같이 수체에서 완숙된 토마토에서 라이코펜 및 캐로틴 함량이 높은지를 보기 위하여 분석중에 있다. 이상과 같은 결과로 볼 때 가용성고형물 함량이 다소 많은 토마토를 수확하기 위해서는 수확시기를 20%정도 착색되었을 때 수확하여야 할 것으로 판단되지만 토마토에서 가장 중요한 기능성 성분 라이코펜과 캐로틴으로 볼 때는 수체에서 완숙하여 수확하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

표 5-23 수확시 착색정도 및 후숙에 따른 품질 변화

구 분	무 게 (g)	색 도			가용성고형물 (Brix)	총산함량	라이코펜	캐로틴 (a+b)
		L	a	b				
완 숙	208.3	46.1	17.7	17.9	5.3	0.83	30.3	88.3
미 숙	211.3	54.1	-0.61	21.1	5.2	0.91	-	-
추숙(1주)	228.6	41.7	21.8	15.5	5.1	0.62	10.3	24.3

※ 품종 : 안심이, 조사일 : 2007. 5

표 5-24 수확 시 착색정도 및 후숙에 따른 품질 변화

구 분	무 계 (g)	색 도			가용성고형물 (Brix)	총산함량	라이코펜 ($\mu\text{g/g}$)	캐로틴(a+b) ($\mu\text{g/g}$)
		L	a	b				
완숙	223.2	46.5	32.1	19.4	4.9	0.66		
미숙	166.6	61.0	-0.74	29.7	5.3	0.75		
추숙	162.4	45.3	32.4	21.1	5.4	0.67		

※ 품종 : 슈퍼도태랑, 조사시기 : 2007. 10

완숙토마토는 여러 농가에서 다양한 품종으로 재배되고 수확시기도 각각 다르게 이루지므로 수확시기별 가용성고형물 분포를 보고자 장성군 황룡면 공동선별장에서 선별되는 완숙토마토를 간이 착즙기로 착즙하여 가용성고형물을 조사한 결과를 그림 5-8에 나타내었다.

가용성고형물 분포로 볼 때 최대 8.3 Brix에서 최소 2.2 Brix값을 보였으며 시기별로는 $\pm 1.3 \sim 2.5$ 범위로 최대값과 최소값간의 편차가 비교적 큰 것을 볼 수 있으며 가용성고형물의 시기별 평균값은 3~4월이 5.7과 5.9 Brix로 높았으며 다음은 5월순이었고 7월이 가장 낮았다. 이러한 결과는 2007년의 여름의 장마와 고온의 영향으로 7월의 가용성고형물 함량이 떨어진 것으로 판단되었다.

표 5-25에서는 시기별 백분위수를 표기하였다. 이 표를 볼 때 30분위수를 선별기준 당도로 선별하게 되면 평균 4.3 Brix 이하의 과를 걸러내게 되지만 75분위수를 기준으로 판단할 때 평균 5.4 Brix를 기준으로 선별하여야 고품질 완숙토마토로 유통시장에서 차별화가 가능 할 것으로 판단된다. 참고로 일본의 토마토 품질기준은 4 Brix 이상은 되어야 하고 6.0 Brix 이상일때 상품으로 평가하고 있으며 1과중은 160~200 g이 상품으로 평가되고 있다. 고당도 토마토라고 하게 되면 1과중이 100 g 정도라도 높은 품질로 평가되고 있다.

그러나 현실적으로 전체 농가가 당도에 의해 선별되어진다면 오히려 기준 미달로 역효과를 볼 수 있어서 비과과 당도선별에 의한 품질 차별화는 조심스럽게 접근해야 할 것으로 판단된다.

따라서 30분위수인 4.3 Brix를 기준으로 선별하여 품질이 떨어지는 토마토를 걸러내는 표준화된 품질기준으로 사용하고 고품질 완숙토마토를 구매할 의사가 있는 소비자를 겨냥하여 재배기술이 다소 높은 농가를 중심으로 5.4 Brix를 기준으로 하여 고품질 완숙토마토 소비시장을 개척해야 할 것으로 판단된다.

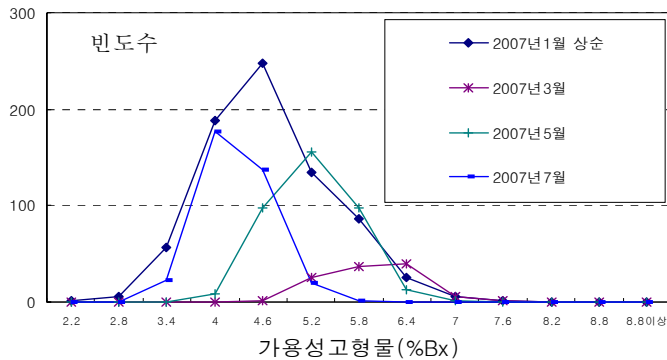


그림 5-8 완숙토마토의 시기별 당도 분포

표 5-25 가용성고형물함량의 시기별 백분위수

백분위수	1월상순	1월하순	3월중순	4월중순	5월중순	7월상순	평균
25	3.9	4.2	5.3	5.5	4.6	3.8	4.2
30	4.0	4.3	5.4	5.6	4.7	3.8	4.3
50	4.3	4.6	5.7	5.8	4.9	4.0	4.8
75	4.9	5.0	6.0	6.2	5.2	5.2	5.4

※ 장성군 황룡면 공동선별장을 이용한 완숙토마토 총 2632개의 가용성고형물값의 백분위수

토마토의 당도는 품종과 생산시기에 따라 달라지며 재배방식이나 재배기술에 따라 서로 많은 차이가 있고 가용성고형물함량만으로 사람의 식미를 대변할 수 없기 때문에 고품질완숙토마토의 선별기준으로 당도를 기준할 때는 품종 고유의 식미가 감안되어야 하고 산함량과 당도의 당산비가 잘 조화되어야 하지만 비과과 선별시 현재 개발된 장비만으로 판단할 수 있는 것은 우선 당함량이 될 것이다. 재배시기에 따라 당함량이 차이가 있지만 완숙토마토로서 맛이 차별화되기 위해서는 5.5 Brix이상이 되어야 할 것으로 판단되며 참고로 일본인이 수입하는 완숙토마토 고품질은 6.0 Brix이상을 기준으로 하고 있으며 산미 및 비타민C, 카로틴 등의 함량이 높고 육질이 좋은 것을 요구하고 있다. 따라서 고품질 토마토로는 5.5 Brix를 넘는 토마토를 기준으로 구분하는 것이 당도를 기준으로 한 품질을 우선시한 새로운 완숙토마토 유통시장을 개척할 수 있는 선별기준이 될 것으로 판단한다.

크기별 선별기준은 현 유통시장은 국립품질관리원 기준이 있고 유통 상인마다 품질기준이 각각 다르며 수출규격 또한 이들 기준과 달라서 통일하기가 어렵다. 다만 포장박스 내에서 크기의 편차를 줄이기 위해서는 ± 20 g을 기준으로 분류하는 선별기준을 적용하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다. 특히 도매시장 중간상인이 선

호하는 크기가 180~220 g 내외로 앞으로 소비자의 기호가 바뀌게 되고 당함량 증진을 위한 염처리 재배기술로 생산할 때 산미 및 당도는 증가하나 1과중이 작아지므로 완숙토마토를 기존 유통시장과 차별화하기 위해서는 고당도 및 적절한 산함량의 토마토를 선별해내기 위해서 재배방법별 선별방법도 달리할 필요가 있을 것으로 사료된다.

수확 시 착색기준은 유통시 착색의 진척을 감안하여 현재 겨울은 착색이 많이 된 과일을 여름은 20~30%정도로 착색이 안된 과일을 수확하여 유통하고 있었다. 그러나 냉장유통 및 소비자직거래등의 유통을 하게 된다면 착색이 충분히 된 토마토를 선별 후 유통하는 것이 바람직하다고 사료된다. 그러나 착색정도만 볼때 착색이 20~30%정도인 토마토가 수확후 당도 증가가 약간 인정되었다. 이것은 수확시 착색 정도와 당도이외의 품질요인을 충분히 검토하여야 할 것으로 생각되었다.

4. 결 론

가. 완숙토마토 재배단지별 선별기 이용실태

완숙토마토를 재배하여 출하하는데 품질을 차별화 하여 경쟁력 향상을 도모하는데 우수품질을 선별하기 위하여 87%가 선별기를 이용하고 있고 흔히 형상적인 선별과 무게를 이용한 저울형을 이용하고 있었다. 그리고 고품질 완숙토마토의 안정적 공급과 품질향상을 위한 대책으로 선별기의 기능이 형상형과 저울형의 절충형이 필요하다고 판단되는데 당도를 비롯한 제 요건을 더하여 제작된 선별기라면 많은 농가들이 이용할 것으로 본다.

나. 재배작형과 품종에 따른 과 당도 변화

봄재배 작형의 품종별 당도는 랩소디, 슈퍼썬로드, 초복과워, 스타, 레전드썬머 품종이 높은 경향으로 5.4~6.3 Brix로 나타났다. 산 함량은 초복과워, 슈퍼썬로드 품종이 높았고 산도는 pH 4.0수준이었다. 여름재배 작형에서 품종별 과 특성 중 가용성고형물은 슈퍼썬로드, 초복과워, 스타, 록구산마루, 모모타로요크 품종이 6.5~7.5 Brix로 타 품종에 비하여 높은 경향이었으며 과피색중 적색도는 지복과워, 슈퍼도태랑 품종이 높았고 황색도는 유럽계인 랩소디 품종이 높았다. 전체 가용성 고형물 함량의 범위는 5.2~7.5 Brix 수준이고 산도는 pH 4.0~4.2이며 산 함량은 0.4~0.5% 수준이었다. 그리고 가을재배 작형의 완숙토마토 가용성 고형물은 3.0~4.7 Brix로 비교적 낮게 나타났다.

다. 배지 종류와 용기내 배지 종류에 따른 특성

봄 재배 작형의 펄라이트 배지경의 가용성고형물은 5.9~6.0 Brix로 나타났고 여름

재배 작형은 펄라이트 3호와 코코넛, 암면재배가 펄라이트 3호+입상암면 혼합배지에 비하여 높았고 범위는 5.0~5.8 Brix 수준이었다. 그리고 가을재배 작형에서는 배지의 종류별 가용성고형물은 4.4~4.6 Brix로 처리간 차이가 없었고 겨울재배 작형의 가용성고형물은 4.5~5.2 Brix 수준이었다.

라. 배양액의 염치리에 의한 당도 향상 효과

봄재배 작형에서는 가용성고형물은 완숙과에서 5.4~6.6 Brix이며 반숙과는 5.8~7.0 Brix로 나타났고 염 처리 시기가 빠를수록 높아져 개화 20~30일 처리는 관행에 비하여 1.2 Brix정도 높았다. 가을재배 작형의 경도와 산 함량은 무처리에 비하여 염 처리 시기가 빠를수록 증가되었으나, 산도(pH)는 감소하는 경향이였다. 토마토는 수확후 저장 기간에 따라서 경도와 가용성고형물 및 산 함량은 감소되었으나 염처리한 토마토의 가용성 고형물 함량은 무처리에 비하여 현저하게 높아 4.5~6.4 Brix로 나타났고 염 처리를 빨리 할수록 약간씩 높아지는 경향이였다.

마. 완숙토마토 품질에 미치는 재배 및 유통 특성

완숙토마토는 유통과정 중에 착색이 진행되고 경도가 떨어지게 되어 착색이 20% 정도에서 수확되어 출하되고 있으며 겨울철과 같이 저온기에는 60~70%정도 착색이 된 것을 출하하고 있는데 유통 상인의 요구에 따라 수확 시 착색정도가 결정되고 있었다. 수체에서 착색이 80%이상 된 것과 20%정도 된 것의 수확 후 품질변화는 가용성고형물의 경우 착색이 진행되면서 다소 증가하지만 라이코펜과 캐로틴(a+b)의 함량은 수체에서 완숙되어 착색이 완성된 것이 높았다. 따라서 기능성 성분의 품질을 중요시 하는 소비자 기호가 바뀌게 되면 완숙토마토의 경우는 수체에서 완숙 후 소비자에게 최단거리에 전달되도록 하는 유통구조가 필요할 것으로 판단되었다.

당도에 의한 선별을 하기 위한 설정 기준은 4.3 Brix이상으로 하여 기준이하의 가용성고형물 함량의 토마토는 등외로 분류하게 되면 포장 박스 내 품질을 균일화 할 수 있을 것으로 판단되고 5.5 Brix를 기준으로 선별하게 되면 당도를 기준으로 선별한 상위 30%의 완숙토마토상품으로 차별화가 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 토마토의 당도는 품종과 생산시기에 따라 달라지며 재배방식이나 재배기술에 따라서도 많은 차이가 있고 가용성고형물함량만으로 사람의 식미를 대변할 수 없기 때문에 고품질 완숙토마토의 선별기준으로 당도를 기준할 때는 가능한 품종 고유의 식미가 감안되어야 하고 산함량과 당도의 당산비도 고려하는 것이 바람직하다.

제3절 보급형 선별기 개발과 실증실험

비파괴 방법으로 토마토 내부품질과 중량을 실시간으로 측정하여 선별하는 보급형 토마토 선별 시스템을 개발하고, 이를 전남 장성군 황룡면에 소재하는 토마토 집단 재배단지 내에 설치한 후 2007년 9월 그 성능을 조사 분석하였으며 이의 구체적 수행 내용과 결과는 다음과 같다.

1. 보급형 선별 시스템 시작기 제작

본 연구에서 시작기로 제작한 선별 시스템은 앞의 ‘선별기 개념설계’에서 설명한 국내 산 직선형 전자식 중량선별기를 기본 장치로 하고, 이에 토마토 내부품질을 측정할 수 있도록 본 연구에서 개발한 투과광 스펙트럼 측정장치의 하드웨어와 소프트웨어를 제작 설치하였다.

본 연구에서 개발한 투과광 스펙트럼 측정장치의 하드웨어는 ‘실험장치’에서 설명한 투과 스펙트럼 측정장치이고, 시작기의 선별용 과일 컵은 본 연구에서 개발한 투과광 측정 장치를 사용할 수 있도록 설계 제작한 것이다.

이러한 방법으로 투과광 측정 장치를 부착한 선별기의 외형은 그림 6-1과 같고, 그림 6-2는 이 시작기를 사용하여 영농 현지에서 실제로 수행한 토마토 선별실험 광경이다.



그림 6-1 실증실험용으로 제작한 보급형 선별기의 시작기



그림 6-2 시작기를 사용하여 영농 현지에서 수행한 실증실험 광경

2. 토마토 내부품질과 중량 실시간 측정 및 선별 프로그램 개발

투과광 스펙트럼 측정장치에서 측정된 분광자료는 본 연구에서 개발한 내부품질 예측모형으로 실시간 분석하여 당도, 경도, 산도를 예측하고, 그 결과는 기존의 중량 선별장치에 보내져 중량 측정 결과와 연동하여 토마토를 선별할 수 있도록 관련 소프트웨어를 개발하였다. 그림 6-3은 개발한 토마토 내부품질 및 중량 측정 소프트웨어의 주요 화면이다.



그림 6-3 토마토 내부품질과 중량의 실시간 측정 및 선별용 소프트웨어의 주요 화면

그림과 같이 내부품질인 당도, 경도와 산도 그리고 중량을 실시간 출력하여주고 선별 등급을 확인하도록 하고 그 정보를 저장하여 저장한 정보를 이용하여 선별 정확도(실제 당도를 측정하여 선별한 토마토의 정보와 비교 분석)를 파악할 수 있도록

하였다. 또한 선별 등급별 저장 개수와 생산자 정보 등도 입력 및 변경할 수 있도록 하여 선별 시 유용한 정보로 활용할 수 있도록 하였다.

이상의 토마토 선별을 위한 소프트웨어는 Visual Basic(Ver. 6.0, Microsoft Co., U.S.A.)을 사용하여 개발하였다.

3. 당도 예측모형 개발

실증실험은 토마토 내부품질 중 당도와 경도를 측정하고자 하였으며, 이를 위하여 실증실험에 앞서 당도와 경도 예측모형을 개발하였다. 이러한 토마토 내부품질 예측모형을 개발하기 위하여 토마토 샘플 100개를 선별용 시작기에 투입하여 투과광 스펙트럼을 측정한 다음 토마토 샘플의 당도와 경도를 측정하여 당도와 경도의 예측모형을 다양한 전처리별로 개발하였다. 당도의 경우, 전처리별 예측모형 중 SNV 전처리한 개발모형의 결정계수가 가장 우수한 것으로 나타나 이를 실증실험의 당도 예측모형으로 사용하였다.

4. 실증실험 선별 정확도 조사

본 실증실험에 사용한 토마토는 2007년 9월에 수경재배 후 수확한 스타폼종으로 실험에 사용한 토마토는 정식 후 초기 수확한 토마토로서 그 당도의 범위가 2.4 ~ 5.1 Brix (평균 4.0 Brix) 정도로 낮았으며, 중량의 범위는 92 g ~ 231 g (평균 149 g)이었다.

실증실험에서는 토마토 내부품질 인자로서 당도만을 고려하였으며, 당도의 선별기준은 4.0 Brix로 하여 4.0이상과 4.0미만으로 1등급과 2등급으로 설정하였다. 중량은 표 7-1과 같이 4등급으로 설정하여 선별하였으며, 당도와 중량을 고려한 선별등급과 선별 후 등급별 선별 결과는 표 6-2와 같다. 표와 같이 본 실증실험에서는 총 907개의 토마토를 선별하였고, 그 중 선별의 정확도를 조사하기 위하여 선별 등급별로 임의 추출한 토마토의 수는 표와 같이 총 109개이었다. 이 샘플 토마토의 실제 당도는 당도계를 사용하여 측정하였고, 중량은 선별기의 측정값을 실제 중량으로 하여 선별 정확도를 분석하였으며 그 결과는 표 6-3과 같다. 당도와 중량으로 선별한 선별 정확도는 표 6-3과 같이 당도 4.0 Brix 이상과 미만의 경우 각각 65.3% (66/101)와 87.5% (7/8), 전체 선별 정확도는 67.0% (73/109)로 나타나 대체로 선별의 실용성이 있는 선별 정확도로 판단되었다.

표 6-1 중량 등급 설정 기준

중량 등급	중량 범위
1	210 g 이상
2	170~209 g
3	130~169 g
4	130 g 미만

표 6-2 선별 정확도 파악을 위한 선별 등급기준 및 등급별 토마토 전수와 추출 샘플 수

등급	당도	중량	선별 토마토	샘플 토마토
1	1	1	15	4
2	1	2	187	16
3	1	3	467	60
4	1	4	184	21
5	2	1	-	-
6	2	2	-	-
7	2	3	24	4
8	2	4	31	4
합계			907	109

표 6-3 실증실험 시 선별 정확도 분석 결과

실제	예측							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100% (4/4)							
2		75% (12/16)				25% (4/16)		
3			63.3% (38/60)				36.7% (22/60)	
4				57.1% (12/21)				42.9% (9/21)
5								
6								
7							75% (3/4)	
8								100% (4/4)

5. 농업인 선호도 조사

실증실험 중 전남 장성군 황룡면의 토마토 재배 영농조합원을 대상으로 수회에 걸쳐 면담 형식으로 본 연구 주제와 같은 토마토 내부품질을 고려한 선별기의 필요성에 대해서 조사한 결과 조사 대상 모든 농업인은 그러한 선별에 의해 생산 토마토의 판매가를 높일 수 있고 그에 따라 농가 소득을 높일 수 있어 크게 선호하는 것으로 나타났다.

6. 선별 소요노동력 분석

선별 소요노동력은 관행의 수작업과 기존의 중량선별기 그리고 시작기에 대해 작업능률을 조사하였으며, 이를 기초로 연간 토마토 선별 작업일을 200일 그리고 토마토 1개 평균중량은 180 g로 가정하여 1일 작업시간(연간 토마토 생산량이 50, 100, 200 ton인 경우로 구분)을 구하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

표 6-4 선별 소요노동력 분석 결과

구분		수작업	중량 선별기 (자동투입기 부착 선별기)	시작기 (토마토 투입은 수작업수행)
작업능률		0.5 개/초 = 1800 개/hr	5400 개/hr = 972 kg/hr	3600 개/hr = 648 kg/hr
1일 작업시간 hr/day	50 ton/yr	250 kg/day ≒ 1400 개/day ≒ 0.8 hr/day	250 kg/day ≒ 0.25 hr/day	250 kg/day ≒ 0.4 hr/day
	100 ton/yr	500 kg/day ≒ 2800 개/day ≒ 1.5 hr/day	500 kg/day ≒ 0.5 hr/day	500 kg/day ≒ 0.8 hr/day
	200 ton/yr	1000 kg/day ≒ 5400 개/day ≒ 3 hr/day	1000 kg/day ≒ 1 hr/day	1000 kg/day ≒ 1.5 hr/day

표와 같이 선별의 소요노동력은 기존의 중량 선별기(자동투입기를 부착)와 시작기(토마토 투입은 수작업수행)의 경우 각각 관행 수작업 선별의 33%와 50%로서 노동력 절감 효과가 크며, 더군다나 선별작업의 질(quality)의 기준인 선별의 정확도까지 평가할 경우 기계화 선별의 작업성능은 매우 우수한 것으로 판단된다.

7. 경제성 분석

위의 선별 소요노동력과 여러 가지 경제적 요인을 고려하여 시작기의 경제성(연간 토마토 생산량이 50, 100, 200 ton인 경우로 구분)을 분석한 결과는 다음과 같다. 본 경제성 분석에 있어 가정한 제반사항(산출근거)은 표 6-5의 아래 설명한 바와 같다.

표 6-5 시작기의 경제성 분석

연생산량	선별방법	연간 비용	연간 수입	연간 수지차
50 ton/yr	시작기 사용	고정비=2100만원×20% =420만원 변동비=4250원/hr × 0.4 hr/day×200 hr/yr = 34만원 계 = 454만원	조수입=50 ton/yr ×2000원/kg = 1억원 5% 수입=1억원×5% =500만원 10% 수입=2억원×10% =1000만원	5% 수입 경우 : + 46만원 10% 수입 경우 : + 546만원
	수작업	인건비=3750원/hr ×0.8hr/day×200 hr/yr = 60만원	0	-60만원
100 ton/yr	시작기 사용	고정비=2100만원×20% =420만원 변동비=4250원/hr × 0.8 hr/day×200 hr/yr = 68만원 계 = 488만원	조수입=100 ton/yr ×2000원/kg = 2억원 5% 수입=2억원×5% =1000만원 10% 수입=2억원×10% =2000만원	5% 수입 경우 : + 512만원 10% 수입 경우 : + 1512만원
	수작업	인건비=3750원/hr ×1.5 hr/day×200 hr/yr = 112.5만원	0	-112.5만원
200 ton/yr	시작기 사용	고정비=2100만원×20% =420만원 변동비=4250원/hr × 1.5 hr/day×200 hr/yr =127.5만원 계 = 547.5만원	조수입=200 ton/yr ×2000원/kg = 4억원 5% 수입=4억원×5% =2000만원 10% 수입=4억원×10% =4000만원	5% 수입 경우 : + 1452.5만 원 10% 수입 경우 : + 3452.5만 원
	수작업	인건비=3750원/hr ×3 hr/day×200 hr/yr = 225만원		-225만원

가. 기본 자료

- 연간 선별작업일 = 200 day/yr
- 토마토 1개 평균중량 = 180 g/개
- 토마토 연평균가격 = 2000원/kg
- 당도 선별시 소득 증가율 = 전조수익의 5~10%
- 인건비 = 30,000원/day
- 1일 노동시간 = 8 hr/day
- 시간당 인건비 = 30,000원/day×(1/8 day/hr) = 3,750원/hr

나. 시작기 관련자료

- 구입비 = 2100만원
- 고정비 비율 = 감가상각(9%/yr) + 이자(5%/yr) + 창고비(1%/yr) + 수리비(5%/yr)
= 20%/yr
- 변동비 = 인건비 + 전기요금 = 3만원/day×(1/8 day/hr) + 500원/hr
= 3,750원/hr + 500원/hr = 4,250원/hr

이상의 결과를 보면, 본 연구에서 개발한 선별기를 사용하여 토마토를 선별할 경우, 고품질 토마토를 출하함으로써 토마토 판매가의 5% 정도만 수익이 증가할 경우도 연간 토마토 생산량이 50, 100, 200 ton에 있어 관행의 수작업과 비교할 때 각각 46만원, 624.5만원, 1624.5만원의 소득 증대가 가능한 것으로 나타나 연간 토마토 생산량이 50 ton일 경우에도 경제적 이익이 있을 것으로 판단되었다. 더군다나 토마토 판매가의 10% 정도 수익이 증가할 경우, 연간 토마토 생산량이 50, 100, 200 ton에 있어 관행의 수작업과 비교할 때 각각 546만원, 1677.5만원, 3677.5만원의 소득 증대가 가능한 것으로 나타났다. 따라서 본 시작기는 연간 토마토 생산량이 50 ton이상만 되면 그 경제적 보급 가치는 충분한 것으로 판단되었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구개발 목표 달성도

연구 시작 당시 설정한 본 연구 평가의 착안점과 척도 및 그에 따른 평가 결과는 다음과 같이 연차별 연구 수행은 거의 당초 계획 수준으로 수행하였다. 그러나 최종 평가의 경우 선별의 정확도를 평가하면, 당도를 기준으로 평가할 경우 당초 목표치의 80% 정도로 판단되나 본 연구에서는 당도 외에 경도와 산도에 관한 연구도 수행하여 실용성이 있는 연구결과를 얻었음. 작업능률은 1인 작업 시 3600 개/hr, 2인 작업 시 5400 개/hr로서 목표치보다 높은 결과를 얻음으로서 전반적으로 95% 수준으로 목표치를 달성한 것으로 판단됨.

구 분	평가의 착안점, 척도, 달성도		
	착 안 사 항	척도 (점수)	달성도 (점수)
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 완숙 토마토 당도별 분광특성 분석 ○ 당도 측정장치 구성과 측정 알고리즘 개발 ○ 완숙 토마토 재배시기, 품종, 시설별 선별기준 조사 <p style="text-align: center;">계</p>	<p>30</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>100</p>	<p>30</p> <p>36</p> <p>30</p> <p>96</p>
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 당도 측정 알고리즘 완성 및 정당성실험 ○ 크기와 외관 조사 알고리즘 완성 및 정당성실험 ○ 선별 기본장치(H/W와 S/W) 구성 ○ 당함량 증진 방법별 선별기준 조사 및 기준 설정 <p style="text-align: center;">계</p>	<p>30</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>20</p> <p>100</p>	<p>27</p> <p>30</p> <p>18</p> <p>19</p> <p>94</p>
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선별 기본장치 성능 실험 및 문제점 해결 ○ 시작기 설계 제작 ○ 시작기 실증시험 ○ 소요 노동력과 경제성 분석 <p style="text-align: center;">계</p>	<p>20</p> <p>30</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>100</p>	<p>20</p> <p>20</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>100</p>
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선별 정확도 : 80% 이상 ○ 작업능률 : 3000 개/hr 이상 <p style="text-align: center;">계</p>	<p>50</p> <p>50</p> <p>100</p>	<p>45</p> <p>50</p> <p>95</p>

2. 관련분야의 기술발전예의 기여도

분광분석에 의해 농산물의 내부품질을 측정하려는 시도는 앞으로도 많은 연구자에 의해 다양한 형태로 추진될 것은 명백하다. 그러한 시도는, 첫째 내부품질 관련 인자의 농도가 낮은 농산물을 대상으로 수행될 것이고, 둘째 농산물의 안전성과 관련된 좀더 다양한 내부품질 관련 인자를 대상으로 수행될 것이며, 셋째는 개발한 기초기술을 산업 현장에 접목하는 연구일 것으로 예상된다.

본 연구를 지금까지 국내외에서 수행된 분광분석에 의해 농산물의 내부품질을 측정하는 관련 연구와 비교할 때 두 가지의 중요한 차별성이 있다. 그 첫째는 연구대상이 토마토로서 그 특성이 수분함량이 높고 당도가 낮은 대표적인 저당 함량의 과채류인 점이고, 둘째는 실험조건이 이상적인 조건에서 가능성 여부를 판단하기 위한 기초실험이 아니고 관련 기술을 실제로 과일 선별기에 적용할 경우를 대비해서 실험장치를 구성하고 그 성능을 조사하는 방법으로 수행한 점이다. 즉 본 연구는, 위에서 설명한 미래의 농산물의 내부품질을 측정하는 연구 중 저농도 측정 그리고 기초기술의 산업현장 적용에 관한 연구로서 이러한 성격의 미래 연구에 본 연구의 결과와 경험은 매우 유용하게 응용될 것으로 판단된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 추가연구의 필요성

토마토는 본질적으로 수분함량이 높고, 당도는 보통 과일보다 상당히 낮으며, 더군다나 그 내부 조직이 불균일하여 그 내부품질을 비파괴적인 방법으로 측정하는 데 어려움이 있음이 본 연구를 통하여 확인되었다. 연구 결과에서 설명한 바와 같이, 본 연구 결과는 토마토 재배 농가에서 토마토 선별 목적으로 사용할 수 있는 수준은 되나 그 선별의 정확도를 높이기 위해서는 좀더 많은 연구의 필요성이 있다고 판단된다.

그러나 현 시점에서 추가 연구에 의해 선별의 정확도 수준을 높이는 것은 불가능해 보인다. 그 이유는 본 연구에서 시도한 연구 방법은 국내외에서 최근 개발된 기술을 적용한 방법이기 때문이다. 결과적으로 본 연구에서 얻은 연구 결과보다 높은 연구 결과를 얻기 위해서는 농산물 내부품질 측정에 관한 하드웨어의 고급화나 기초적인 소프트웨어 개발 관련 기술이 현 수준보다 한 단계 높은 수준으로 발달되어야 한다고 판단되기 때문이다.

다만, 본 연구에서 개발한 토마토의 당도, 경도, 산도 예측모형의 성능은 그 정당성 검증 결과 토마토의 내부품질 예측에 사용할 수 있는 수준의 것으로 사료되며, 향후 이들 인자를 효과적으로 사용할 수 있는 방법을 모색하거나 또는 중량 인자와 함께 이들 인자를 종합적으로 고려하여 수요자 요구를 충족하는 선별기준을 설정하고 이를 영농현장에 적용하며 그 결과를 확인하여 개선하는 현장적용실험의 필요성은 있는 것으로 판단된다.

2. 타 연구에의 응용

분광분석에 의해 농산물의 내부품을 측정하는 연구는 지금까지 많은 시도가 있었지만 앞으로도 다양한 농산물을 대상으로 추진될 것으로 예상된다. 그러한 연구는 본 연구의 대상물인 토마토와 같이 분광분석에 의한 내부품질 측정이 쉽지 않은 농산물을 대상으로 점차 확대될 것은 명백하다. 그 경우 본 연구에서 시도한 연구 방법과 결과는 요긴한 참고자료가 될 것으로 예상된다. 결과적으로 새롭게 시도하려는 농산물의 경우, 그 시도의 난이도를 예견할 수 있고, 본 연구 경험을 기초로 좀더 효과적인 접근방법을 찾을 수 있을 것이다.

본 연구가 기초실험이 아니고 기초실험으로 찾은 원천 기초기술을 산업 현장에 실제로 응용하려는 성격의 연구인 점은 향후 유사 성격의 연구 수행에 있어 좋은 참고가 될 것으로 판단된다. 기초실험의 경우 그 결과 해석에 있어 원인과 결과 관계가 비교적 명백하게 설명될 수 있으나, 본 연구와 같이 기초기술을 응용하는 연구의 경우 예상하지 못하는 불확실성의 개입으로 그 수행방법 설정이나 얻은 결과의 정당성

을 설명하는데 어려움을 겪는 경우가 많을 수밖에 없다. 그러한 응용연구의 경우 본 연구의 경험은 좀더 나은 결과를 도출하는데 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

3. 기업화 추진방안

본 연구에서 얻은 결과 중 기업화와 관련된 부분은 본 연구 수행방법에서 소개한 바와 같이 기존의 과실용 전자식 중량선별기에 부착하여 사용할 수 있도록 개발한 분광 측정장치의

하드웨어와 소프트웨어 및 선별기용 과일 컵으로서 이에 대해서는 기존의 과실용 전자식 중량선별기 제작업체와 협의하여 상품화하고 그 업체로 하여금 판매하도록 할 계획이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 미국 Michigan주립대학의 USDA-ARS의 최근 연구

미국 Michigan 주립대학의 Agricultural Engineering Dept. 내 **USDA-ARS** 소속인 **Dr. Lu, Renfu**와 그 연구 동료를 만나 농산물의 내부품질 판정의 주요 인자인 당도와 경도 측정에 관해 주로 VIS/NIR을 이용한 방법을 논의하고 과일 등 농산물 품질 판정 관련 최근 개발 기술과 장비를 조사하였다. Michigan 주립대학에서의 이러한 경험은 본 연구 수행 초기 연구추진의 기본 방향을 결정하는데 많은 도움이 되었다.

2. 이탈리아 Milano대학과 Bologna대학 농공학과의 최근 연구

과채류 생산과 가공기술이 발달한 이탈리아의 Milano 대학(면담자: 농공학과의 Luigi Bodria 교수)과 Bologna 대학(면담자: 농공학과의 Luigi Bodria 교수)을 방문하여 농산물의 내부와 외부품질을 측정하는 machine vision system과 opto-electronic 기술을 사용한 장치의 기본 원리와 사용 장비를 조사하였다. 본 방문 연구 시 이탈리아의 Unitec사와 동사가 건설한 대규모 사과 저장 및 선별장을 방문하여 앞서가는 과채류 선별장을 관찰하는 기회를 갖게 되었다.

3. 독일 Institute for Agric. Technology-Potsdam의 최근 연구

독일의 분광분석에 의한 원예 산물의 특성 검출(Application of Spectrometric Data to Predict Quality of Horticultural Products)에 관한 기술 수준을 파악하고 관련 주요 기술을 습득하기 위하여 Potsdam에 소재하는 Institute for Agric. Technology의 Horticultural Engineering Dept.(면담자: Dr. Martin Geyer, Dr. Manuela Zude, Dr. Janina Wulf)에서 실제로 실험하고 그 자료를 분석하였다. Potsdam의 Institute for Agricultural Technology 내 Horticultural Engineering Div.는 그 기술 수준이 독일 뿐 만 아니라 EU 내에서도 관련 분야를 선도하고 있는 연구기관으로서 본인은 바나나를 대상으로 분광자료와 당도 자료를 수집하고 분석하였다. 실험 시 실험결과 습득 외에 실험 전 그들의 실험계획 수립 방법과 실험 자료의 관리 및 활용방법을 인지하게 되었다.

방문 기관의 기술개발 방향을 국내에서 수행하고 있는 것과 비교하면, 독일은 기초 연구에 좀더 충실할 뿐만 아니라 그에 따라 사용하는 실험장비도 비교적 고급의 정교한 장비를 사용하고 그에 따라 그로부터 얻은 기술과 정보는 신뢰 수준이 높은 것으로 판단되었다. 방문 기관의 농업관련 기술 개발은 과거에 주로 수행했던 영농 현장 위주의 응용 연구 보다는 실험실과 영농 현장 응용연구를 필요에 따라 적절히 균형을 맞춰 추진하고 있는 것은 주시할 점이었다.

제 7 장 참 고 문 헌

제1절 농산물 내부품질 측정 관련 문헌

1. 노상하, 김우기. 1997. 분광 반사 특성을 이용한 주요 과실의 비파괴 당·산도 측정. 한국농업기계학회. 동계학술대회 논문집:213-218.
2. 류동수, 황인근, 노상하. 2000. 과실류의 비파괴 내부품질 인자의 예측 성능 향상을 위한 VIS/NIR 스펙트럼 전처리 기법 개발. 한국농업기계학회. 동계학술대회 논문집:451-456.
3. 류복희, 문광덕, 김성달, 손태화. 1990. 토마토 과실의 성숙중 경도 및 무기성분의 변화. J. Korean Soc. Food Nutr. 19(2):115-120.
4. 문광덕, 신승렬. 1996. 토마토 과실의 성숙 중 세포벽 성분 및 조직의 변화. J. Korean Soc. Food Nutr. 25(2):274-278.
5. 문광덕, 천성호, 김종국. 1996. 토마토 과실의 성숙중 세포벽 구성다당류의 변화. Korean J. Post-harvest Sci. Technol. Agri. Products. 3(2):113-120.
6. 박세원, 고은영, 이인권, 이미림, 홍세진. 2004. 토마토 ‘요크’ 과실의 재배시기별 성숙 중 품질 비교. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(2):173-176.
7. 서규현, 서상룡, 성제훈. 2002. 분광특성 분석에 의한 논 잡초 검출의 기초 연구. 한국농업기계학회지. 27(2):75-80.
8. 서상룡, 성제훈. 1997. 컬러 컴퓨터 시각에 의한 사과 선별 기준색깔 선정. 한국농업기계학회지. 22(2):210-216.
9. 이강진, 최규홍, 김기영, 최동수. 2002. 근적외선을 이용한 신고 배 당도판정에 있어 표면온도영향의 보정. 한국농업기계학회. 27(2):117-124.
10. 이강진, W. R. Hruschka, J. A. Abbott, 노상하, B. S. Park. 1998. 근적외선을 이용한 사과의 당도예측(I) 다중회귀모델. 한국농업기계학회. 23(6):561-570.
11. 이강진, W. R. Hruschka, J. A. Abbott, 노상하, B. S. Park. 1998. 근적외선을 이용한 사과의 당도예측(II) 부분최소제곱 및 인공신경회로망 모델. 한국농업기계학회. 23(6):571-582.
12. 조현성, 노상하, 황인근, 이희영. 2000. VIS/NIR 투과스펙트럼을 이용한 사과의 경도예측. 한국농업기계학회. 동계학술대회논문집:464-469.
13. 최창현, 김재민, 김중훈. 1999. 분광 반사특성을 이용한 현미의 품위 판별. 한국농업기계학회. 동계학술대회 논문집:327-333.
14. 홍세진, 이지원, 김영철, 김광용, 박세원. 2003. 토마토 과실의 성숙 단계별 이화학적 품질 요인과 관능 검사의 상관 관계. J. Kor. Soc. Hort. Sci.

- 44(4):438-441.
15. 황인근, 노상하. 1998. 가시광 및 근적외선 스펙트럼에 의한 후지 사과의 실시간 당도 판정. 한국농업기계학회. 동계학술대회 논문집:368-373.
 16. 황인근, 노상하, 이희영, 양성봉. 2000. VIS/NIR 투과 스펙트럼에 의한 복숭아의 실시간/비파괴 당·산도 측정장치 개발. 한국농업기계학회. 동계학술대회 논문집:457-463.
 17. Arias R., T. C. Lee, D. Specca and H. Janes. 2000. Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) ripened on and off vine. *Journal of Food Science*. 65(3):545-548.
 18. Batu Ali. 1998. Some factors affecting on determination and measurement of tomato firmness. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*. 22:411-418.
 19. Clark C. J., V. A. McGlone, H. N. De Silva, M. A. Manning, J. Burdon and A. D. Mowat. 2004. Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology*. 32:147-158.
 20. Gomez Ricardo, Joaquin Costa, Mria Amo, Andres Alvarruiz, Marta Picazo and Jose E Pardo. 2001. Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81:1101-1105.
 21. He Yong, Yun Zhang, Annia G. Pereira, Antihus H. Gomez and Jun Wang. 2005. Nondestructive determination of tomato fruit quality characteristics using vis/nir spectroscopy technique. *International Journal of Information Technology*. 11(11):97-108.
 22. Hsieh C. and Y. Lee. 2005. Applied visible/near-infrared spectroscopy on detecting the sugar content and hardness of pearl guava. *Applied Engineering in Agriculture*. 21(6):1039-1046.
 23. Jha Shyam N. and T. Matsuoka. 2004. Non-destructive determination of acid-brix ratio of tomato juice using near infrared spectroscopy. *International Journal of food Science and Technology*. 39:425-430.
 24. Ketelaere Bart De and Josse De Baerdemaeker. 2001. Tomato firmness estimation using vibration measurements. *Mathematics and Computers in Simulation*. 56:385-394.
 25. Laykin S., V. Alchanatis, E. Fallik and Y. Edan. 2002. Image-processing algorithms for tomato classification. *ASAE*. 45(3):851-858.
 26. Lu Huishan and Yibin Ying. 2005. Application fourier transform near

- infrared spectrometer in rapid estimation of soluble solids content of intact citrus fruits. The Society for engineering in agricultural, food and biological systems. paper number:053042.
27. Lu Renfu. 2001. Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. Transactions of the ASAE. 44(5):1265-1271.
 28. Lu Renfu. 2003. Detection of bruises on apples using near-infrared hyperspectral imaging. ASAE. 46(2):523-530.
 29. Lu Renfu. 2003. Imaging spectroscopy for assessing internal quality of apple fruit. The Society for engineering in agricultural, food and biological systems. paper number:030612.
 30. Lu Renfu. 2003. Near-Infrared multispectral scattering for assessing internal quality of apple fruit. The International Society for Optical Engineering. 5271:313-320.
 31. Lu Renfu. 2003. Predicting apple fruit firmness and sugar content using near-infrared scattering properties. The Society for engineering in agricultural, food and biological systems. paper number:036212.
 32. Lu Renfu and Ariana. 2002. A near-infrared sensing technique for measuring internal quality of apple fruit. Applied Engineering in Agriculture. 18(5):585-590.
 33. Lu Renfu and Benjamin B. Bailey. 2005. NIR measurement of apple fruit soluble solid content and firmness as affected by postharvest storage. The Society for engineering in agricultural, food and biological systems. paper number:056070.
 34. Lu Renfu, Daniel E. Guyer and Randolph M. Beaudry. 2000. Determination of firmness and sugar content of apples using near-infrared diffuse reflectance. Journal of Texture Studies. 31:615-630.
 35. McGlone V. Andrew and Sumio Kawano. 1998. Firmness, dry matter and soluble-solid assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. Postharvest Biology and Technology. 13:131-141.
 36. McGlone V. Andrew, Christoer J. Clark and Robert B. Jordan. 2007. Comparing density and VNIR methods for predicting quality parameters of yellow-fleshed kiwifruit (*Actinidia chinensis*). Postharvest Biology and Technology. POSTEC-8656.
 37. Mils Christopher James. 2005. Non-destructive testing of fruit firmness with

- real time constraints. School of Computer Science and Software Engineering Monash University.
38. Muramatsu Noboru, Naoki Sakurai, Naoki Wada, Ryoichi Yamamoto, Toshio Takahara, Tatsushi Ogata, Keiichi Tanaka, Toshikazu Asakura, Yuko Ishikawa-Takano and Donald J. Nevins. 1999. Evaluation of fruit tissue texture and internal disorder by laser doppler detection. *Postharvest Biology and Technology*. 15:83-88.
 39. Noh Hyun Kwon and Renfu Lu. 2007. Hyperspectral laser-induced fluorescence image for assessing apple fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*. 43:193-201.
 40. Park Bosoon, Judith A. Abbott, Kang-Jin Lee, Chang-Hyun Choi and Kyu-Hong Choi. 2002. Near-infrared spectroscopy to predict soluble solids and firmness in apples. *The Society for Engineering in Agricultural, Food and Biological Systems*. paper number:023066.
 41. Pedro André M. K. and Márcia M. C. Ferreira. 2007. Simultaneously calibrating solids, sugars and acidity of tomato products using PLS2 and NIR spectroscopy. *Analtica Chimica Acta*. 595:221-227.
 42. Peirs Ann, Jeroen Lammertyn, Kristein Ooms and Bart M. Nicolai. 2000. Prediction of the optimal picking date of different apple cultivars by means of VIS/NIR-spectroscopy. *Postharvest Biology and technology*. 21:189-199.
 43. Peirs Ann, Nico Scheerlinck, Kathleen Touchant and Bart M. Nicolai. 2002. Comparison of fourier transform and dispersive near-infrared reflectance spectroscopy for apple quality measurements. *Biosystems Engineering*. 81(3):305-311.
 44. Peng Y. and R. Lu. 2005. Modeling multispectral scattering profiles for prediction of apple fruit firmness. *ASAE*. 48(1):235-242.
 45. Peng Y. and R. Lu. 2006. An LCTF-based multispectral imaging system for estimation of apple fruit firmness: Part I. Acquisition and characterization of scattering images. *ASABE*. 49(1):259-267.
 46. Peng Y. and R. Lu. 2006. An LCTF-based multispectral Imaging system for estimation of apple fruit firmness: Part II. Selection of optimal wavelengths and development of prediction models. *ASABE*. 49(1):269-275.
 47. Qing Zhaoshen, Baoping Ji and Manuela Zude. 2007. Predicting soluble solid content and firmness in apple fruit by means of laser light backscattering

- image analysis. 82:58-67.
48. Qing Z., B. Ji and M. Zude. 2007. Wavelength selection for predicting physicochemical properties of apple fruit based on near-infrared spectroscopy. *Journal of Food Quality*. 30:1-19.
 49. Shao Yongni, Yong He, Antihus H. Gomez, Annia G. Pereir, Zhengjun Qiu and Yun Zhang. 2007. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicum esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 81:672-678.
 50. Slaughter D. C., D. Barrett and M. Boersig. 1996. Nondestructive determination of soluble solids in tomatoes using near infrared spectroscopy. *Journal of Food Science*. 61(4):695-697.

제2절 토마토 선별기준 관련 문헌

1. 과학원예. 1997. 양액재배 이동식 벤치를 이용한 NFT양액시스템에 있어서 1단 수확 토마토재배.
2. 권영삼. 1997. 원예농업의 생력재배를 위한 작물학적 접근 기술 : 원예농업의 기계화 기술 과제와 발전방향 : 175-191.
3. 김기덕. 2000. 차근백 NFT의 토마토재배 수량성. 시험연구보고서. 농촌진흥청 원예연구소.
4. 김기돈, 이환구, 민영기, 김학언, 임엄량, 윤화모. 2000. 관수조절에 의한 고당도 토마토 생산에 관한 연구. 시험연구보고서. 충남농업기술원.
5. 김영철, 김광용, 서태철, 윤형권, 이상규, 장운아, 임상철. 2003. 토마토 펄라이트 양액재배시 당도 향상 및 착색증진 기술 개발. 2003. 시험연구보고서. 원예연구소.
6. 김학언, 이환구, 민영기, 김기돈, 임엄량, 이영복. 2000. 토마토 양액재배시 최 배양약 공급을 위한 적산일사량 구명. 시험연구보고서. 충남농업기술원.
7. 박권우, 강호빈. 1996. 재배방법에 따른 토마토 과실의 저장성 비교. 한원지 발표논문 요지 14(2) : 146-147.
8. 박동금. 1998. 부산원시보고서.

9. 박세원, 이지원, 김광용, 김영철. 홍세진. 1999. 토마토의 栽培時期와 栽培方式이 生育 및 品質에 미치는 影響. 원예과학기술지 17(2) : 115-117.
10. 이응호. 1997. 수경상추와 미라니의 체내 NO₃ - N함량 저하 및 짙고 동화계 효소의 활성에 관한 연구. 서울대 박사학위 논문.
11. 이충일, 서범석, 심언용, 박준호, 김종태, 1993. 도입 장기재배성 토마토의 품종별 생장, 수량 및 품질비교, 한국원예학회 논문 발표요지 11(I) : 132-133.
12. 이한철, 최영하, 권기범, 강광윤. 1997. 토마토 저단밀식 양액재배법 확립 연구 : 1. 재식시기별 재식거리가 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향. RDA Journal of Horticulture science Vol 39(2) : 27-32.
13. 이한철. 2000. 양액에의 NaCl 또는 KCl 첨가에 따른 2단 밀식재배 토마토의 과실 품질 및 수량. 서울대학교 박사 학위 논문.
14. 이환구, 민영기, 김학현, 김기돈, 임엄량. 2000. 시험연구보고서. 충남농업기술원.
15. 全農肥料農藥部 1998. 營農指導のためのトマトの栽培と營養?生理障害. 全國農村教育協會(日本).
16. 田中征茂. 小飾昭二. 1975. 하우스トマトの栽培技術に關する研究. 園研發(春):80-181.
17. 정천순, 전인수, 용영록, 유근창, 윤형권. 1997. 토마토 양액재배에서 급액량이 생육 및 생리적 특성에 미치는 영향. 강원대학교 농업과학연구소 논문집 제 8집.
18. 조명수. 1995. 농촌지도사업활용자료. 농촌진흥청.
19. 조순주. 2004. 토마토 마디삽목묘의 저단밀식재배에 따른 생육 및 수량반응. 전남대학교 석사학위 논문.
20. 조자용, 정순주. 1997. 육묘기와 정식후 양액내 염도처리가 양액재배 토마토의 생장 및 발육에 미치는 영향. 한원지 38(6) : 647-653.
21. 清林宏史. 1990. ミニトマトの作型, 品種と栽培技術('90. 10. 農耕と園藝).
22. 최관순. 1987. 토마토 다수확 재배의 이론과 실제. 오성출판사. p.254-290.
23. Da Silva, F.F., R. Wallach, A. Polak, and Y. Chen. 1998. Measuring water content of soil substitute with Time-domain Reflectometry (TDR). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123:734-737.
24. Heuvelink, E. 1995. Effects of plant density biomass allocation to the fruits in tomato(Lycopersicon esculentum Mill). Sci. Hortic. 64(3):193-201.
25. Kobayasi. S., S. Tokieda, Y. Kirimura, and J. Nishimura. 1990. Studies on the single truss tomato in hydroponics. 1. Effect of spacing on tomato yield in three seasons. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59:302-303.

26. McAvoy, R. J., H.W. Janes, B.L. Godfriaux. M. Secks. D. Duchai, and W. K. Wittman. 1989. The effect of total available and photosynthetic photon flux on single truss tomato growth and production. *J. Hort. Sci.* 64:331-338.
27. Parchomchuk P., C.S. Tan. and R.G. Beard. 1997. Practical use of time domain reflectometry for monitoring soil water content in micro-irrigated orchids. *Hort Technonology.* 7:17-22.
28. Schmitz, M.and H. Sourell. 2000. variability in soil moisture measurements. *Irrig. Sci.* 19:147-151.
29. Trudel, M.J. and A. Gosselin. 1982. Influence of soil temperature in greenhouse tomato production. *Hort. Science.* 17:928-929.

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.