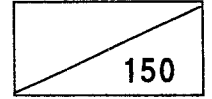


664. 01
L 293 ㄴ



19916637

세포 미세구조의 물리적 특성을 이용한
과채류 내부품질 측정기술 개발

Internal Quality Evaluation with Physical
Characteristics of Cells in Fruits and Vegetables

연구기관
한국식품개발연구원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “세포 미세구조의 물리적 특성을 이용한 과채류 내부품질 측정
기술 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 12. 20.

주관연구기관명 : 한국식품개발연구원

총괄연구책임자 : 조 용 진

연 구 원 : 김 철 진

연 구 원 : 김 중 태

연 구 원 : 최 정 선

연 구 원 : 이 수 정

연 구 원 : 황 재 관 (연세대학교)

여 백

요 약 문

I. 제 목

세포 미세구조의 물리적 특성을 이용한 과채류 내부품질 측정기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

- 현재 국내외에서 이용되고 있는 과실·과채의 품질 측정기술은 형상, 크기, 색상, 표면 상태 등과 같은 외관 인자와 함수율, 당도, 내부 상태 등과 같은 내부 품질 인자를 직·간접으로 측정할 수 있으나 과실·과채의 저장, 유통시 현재의 측정기술로는 세포의 조직감(texture) 변화로 인한 품질 변화를 직접 효과적으로 측정하기는 매우 어려운 실정임.
- 현행 과실·과채의 조직감 측정은 주로 압축·인장시험에 의해 실시되고 있으나 이 방법은 거시적 관점에서의 파괴검사이기 때문에 저장, 유통시의 전수검사에는 적절치 못함.
- 우리나라의 과실·과채의 생산은 양적인 면에서 매년 크게 증가하고 있으나 수확후 선도관리와 관련된 품질관리는 효과적으로 이루어지지 못하고 있는 형편임.
- 과실·과채의 내부품질 측정기술이 산업 현장에서 실용적 수단으로 활용되기 위해서는 세포 미세구조의 변화를 반영하는 조직감의 비파괴 측정기술의 개발이 요구됨.
- 따라서, 본 연구의 목적은 대표적인 국내산 과실·과채의 경쟁력 강화를 위해

세포 미세구조의 물리적 특성을 이용하여 선도를 정량화할 수 있는 내부품질 측정기술을 개발하고자 함.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 영상분석을 이용한 세포미세구조의 특성화 기법 개발
 - 가. 세포의 표면조각감 정량화
 - 나. 신선도 인자 개발

2. 사과 및 토마토의 물리화학적 특성 분석
 - 가. 세포벽 물질
 - 나. 압축특성
 - 다. 밀도
 - 라. 물리화학적 인자 상호관계

3. 레이저를 이용한 조직감 측정기술 개발
 - 가. 레이저 산란도의 정량화
 - 나. 사과 및 토마토의 레이저 특성 분석
 - 다. 레이저 경도계의 개발

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 영상분석을 이용한 세포미세구조의 특성화 기법 개발
 - 가. 세포의 표면조각감 정량화

사과 및 토마토는 수확후 숙성 과정에서 조직감이 연화되는 현상을 보이게 되

는데, 조직감의 연화는 세포벽의 붕괴 등에 따른 결과로 나타나는 현상으로서 세포벽의 표면조직감의 변화를 야기하는 것으로 관찰되었다. 이와 같은 현상을 정량적으로 평가하기 위하여 영상처리기법을 이용하여 세포벽의 표면거칠기를 표면조직감으로 나타내었다. 세포벽 표면거칠기를 평가하기 위하여 광학현미경과 영상처리장치를 이용하여 세포벽 표면 영상으로부터 4종의 매개변수(세포벽 표면의 주름이 추출된 영상에서의 화소치의 평균(w_1) 및 표준편차(w_2), 세포벽 표면 주름의 푸리에 스펙트럼 영상의 화소치의 평균(w_3) 및 표준편차(w_4))를 개발하였다. 사과(쓰가루)와 토마토(모모파로) 모두의 경우에 w_2 , w_3 및 w_4 상호간에 통계적으로 고도로 유의한 상관관계를 보였다.

나. 신선도 인자

기존에 비정량적으로 다루어지고 있는 신선도를 정량적으로 평가하고자 신선도 인자를 제안하였다. 적기에 수확된 사과 및 토마토의 신선도를 최대로 하고 수확이 후 시간이 경과함에 따라 매개변수의 값이 선형적으로 증가하거나 감소하는 경향을 반영하는 인자를 수식으로 제안하였다. 사과와 토마토 수확후, 시간경과에 따른 세포벽의 표면조직감의 변화를 가장 잘 나타내는 매개변수는 w_2 로 나타났다. 사과의 경우, w_2 를 사용하여 시간경과와의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수는 95% 수준에서 유의성을 보여 0.9433으로 나타났다. 반면에 토마토의 경우에는 0.5869(유의확률: 22.1%)로 나타났다.

2. 사과 및 토마토의 물리화학적 특성 분석

가. 세포벽 물질

식물성 세포는 신선도가 저하될 때 세포벽의 붕괴를 초래하게 되어 구성물질의 함량 변화를 보이는 바, 수용성 총고형분 함량과 수용성 우론산 함량을 분석하였다. 사과의 경우 수확후 시간경과에 따른 수용성 총고형분과 수용성 우론산, 그리고 토

마토의 총고형분의 함량 변화는 통계적으로 유의한 경향을 보이지 않았으나, 토마토의 수용성 우론산의 함량 변화는 유의확률이 0.017로 나타나 시간과의 상관계수가 0.8912를 보였다.

나. 압축특성

토마토의 압축특성을 분석한 결과, 극한변형량 및 극한력은 수확후 시간경과에 따라 유의한 상관관계를 보였다. 극한변형량은 시간과의 상관계수가 0.9457(유의확률: 0.4%)로 나타났으며, 극한력의 상관계수는 -0.8712(유의확률: 2.3%)로 나타났다.

반면에, 사과와의 경우에는 품종에 따라 극한변형량과 극한력의 시간에 따른 경향이 상이하게 나타났다. 쓰가루 품종의 경우, 생물체항복력과 극한력은 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 -0.6574와 -0.7677로 나타났으나, 생물체항복변형량과 극한변형량은 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 후지 품종의 경우에는 다른 경향을 보여 생물체항복변형량과 극한변형량이 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.9041과 0.8970으로 나타났다. 한편, 탄성계수의 경우, 사과와 품종에 상관없이 유의한 상관관계를 보여 쓰가루의 세칸트(secant) 탄성계수 및 초기 탄젠트 탄성계수, 후지의 세칸트 탄성계수 및 초기 탄젠트 탄성계수는 각각 -0.6954, -0.6241, -0.9091, -0.9086으로 나타났다.

다. 밀도

수확후 시간경과에 따른 사과(쓰가루) 및 토마토(모모파로)의 과육밀도의 변화를 분석한 결과, 사과와 토마토 모두 시간경과에 따라 과육밀도가 증가하는 것으로 나타났다. 다만, 사과와 토마토 모두 과육의 밀도는 시간경과와의 상관계수가 0.5579(유의확률: 25.0%)에 불과하였으나, 토마토 과육의 밀도는 상관계수가 0.9262(유의확률: 0.8%)로 매우 높은 상관관계를 보였다.

라. 물리화학적 인자 상호관계

과실·과채 수확후 신선도가 저하됨에 따라 내부품질이 변하는 경향을 효과적으로 평가하기 위한 물리화학적 인자를 탐색하기 위하여 신선도 저하에 따른 물리화학적 인자 상호관계를 분석하였다.

세포벽 붕괴와 직접적으로 관련이 있는 세포벽 표면조직감, 수용성 총고형분 함량, 수용성 우론산 함량, 과육밀도, 극한변형량 및 극한력의 상호관계를 분석한 결과, 사과(쓰가루)의 경우 세포벽의 표면조직감(표면거칠기)과 극한력 사이에 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 -0.9618 (유의확률: 0.2%)로 나타났다.

토마토의 경우, 과육밀도는 수용성 우론산 함량, 극한변형량 및 극한력과의 사이에 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.8425 (유의확률: 3.5%), 0.9501 (유의확률: 0.4%), -0.9630 (유의확률: 0.2%)로 나타났으며, 수용성 우론산 함량은 극한변형량 및 극한력과의 상관계수가 각각 0.8729 (유의확률: 2.3%), -0.8947 (유의확률: 1.6%)로 나타났다.

3. 레이저를 이용한 조직감 측정기술 개발

가. 레이저 산란도의 정량화

선행연구에서 과실·과채의 신선도 저하에 따른 내부품질의 변화는 과육의 세포벽 붕괴에 따른 거시적인 물리적 인자의 변화에 근거하여 평가될 수 있는 것으로 난 바, 레이저빔의 산란 현상을 분석하였다. 레이저 시스템은 레이저 발생기, 칼라영상분석장치, 렌즈시스템 등으로 구성하였다. 레이저빔의 횡단면이 가우스 프로파일(Gaussian profile)을 가질 때, 세포벽 붕괴에 따른 연화 현상을 보이는 과실·과채의 조직에 조사된 레이저빔은 조직의 연화 정도에 따라서 산란되는 정도가 다른 것으로 나타나 이를 정량화하였다. 사과 및 토마토의 표면에 형성된 레이저 영상을 분할하여 각 색상 성분(적색, 녹색, 청색)이 포화된 면적을 상대면적으로 환산하여 레이저의 산란 정도를 평가하는 방법으로 정량화 기법을 개발하였다.

나. 사과 및 토마토의 레이저 특성 분석

사과 및 토마토의 압축 특성과 레이저의 산란도와와의 관계에서, 레이저빔과 관련된 인자 중에서 빔의 횡단면 형상 및 빔의 강도에 따른 영향을 분석하였던 바, 빔 강도의 영향보다는 빔 횡단면 형상의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 분석 결과에 의하면, 레이저빔의 횡단면 형상이 구형과에 가까운 모양보다는 삼각과에 가까운 모양이 더 양호한 것으로 나타났다.

사과의 경우, 품종별로 레이저 산란도와 압축 특성과의 관계, 즉 생물체항복변형량, 생물체항복력, 극한변형량, 극한력, 초기 탄젠트 탄성계수 및 세칸트 탄성계수와의 관계를 분석한 결과, 수확후 시간경과에 따른 압축 특성의 변화 경향과 일치하는 것으로 나타났다. 쓰가루의 경우, 레이저(레이저 강도: 1.74mW; 레이저 파장: 632.8nm) 산란도는 생물체항복력 및 극한력과 매우 높은 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.9526, 0.9432로 나타났다. 반면에, 후지의 경우에는 레이저 산란도는 생물체항복변형량 및 극한변형량과의 사이에서 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.9550, 0.9523으로 나타났다. 한편, 2종의 탄성계수의 경우, 품종에 무관하게 높은 상관계수를 보여 쓰가루의 초기 탄젠트 탄성계수 및 세칸트 탄성계수, 후지의 초기 탄젠트 탄성계수 및 세칸트 탄성계수와의 상관계수는 각각 0.8707, 0.9543, 0.9307, 0.9074로 나타났다.

토마토의 경우, 레이저 산란도는 극한변형량 및 극한력과의 상관계수는 각각 0.3643, 0.7627로 나타났다.

다. 레이저 경도계의 개발

레이저 산란도를 정량하는 방법으로 과실·과채의 경도를 비파괴적으로 측정할 수 있는 레이저 경도계를 모형기 형태로 개발하였다. 레이저 경도계는 휴대용 컴퓨터, PCMCIA형 프레임그래버(frame grabber), 레이저 발생기, 소형 칼라CCD카메라, 렌즈시스템, 시료대가 포함된 암실본체, 영상처리소프트웨어, 충전용전원장치 등으로 구성하였다. 암실본체는 초점거리 조절장치 및 레이저조사각 조절장치가 포함되도록 구성하였다.

SUMMARY

I. Subject

Internal Quality Evaluation with Physical Characteristics of Cells in Fruits and Vegetables

II. Objective and Significance

The quality of fruits and vegetables which is being evaluated with the parameters such as shape, size, color, moisture content, sugar content, acidity and so on is changed due to metabolism after harvest. A dominant change after harvest is disruption of cell wall. This phenomenon changes the texture of fruits and vegetables. Though texture is one of the important internal quality parameters, an effective method for non-contact and non-destructive evaluation of texture for soft fruits and vegetables is not showed yet. The objective of this study is, therefore, to analyze the characteristics of physicochemical parameters related to texture of apple and tomato and develop a non-contact and non-destructive technique for texture evaluation using laser system.

III. Contents and Scope of Research

1. Characterization of cell surface texture using image analysis

- A. Quantitation of cell surface texture
 - B. Development of freshness index
2. Analysis of physicochemical factors of apple and tomato
- A. Analysis of cell wall materials
 - B. Analysis of compressive properties
 - C. Measurement of flesh density
 - D. Analysis of relationship among physicochemical factors
3. Development of texture evaluation technique using laser system
- A. Quantitation of laser diffusion
 - B. Analysis of laser characteristics of apple and tomato
 - C. Development of laser firmness tester

IV. Results and Recommendation

1. Characterization of cell surface texture using image analysis
- A. Quantitation of cell surface texture

An image analysis procedure for quantitation of cell surface texture was developed. From a color image of cell surface obtained by an optical microscope with $\times 40$ objective lens and image system, wrinkles of cell surface were extracted. Cell surface texture was quantified by measuring the mean (w_1) and variance (w_2) of pixel intensity values of the wrinkle-extracted image and the mean (w_3) and variance (w_4) of Fourier spectrum of the processed image.

B. Development of freshness index

A freshness index having a parameter related to cell surface texture was proposed. For apple and tomato, the parameter w_2 was the best indicator of freshness. For apple, the correlation coefficient of parameter w_2 and time elapsed after harvest was 0.9433 with confidence level of 95%.

2. Analysis of physicochemical factors of apple and tomato

A. Analysis of cell wall materials

In order to analyze cell wall disruption with respect to time elapsed after harvest, total soluble solids content and water soluble uronic acid were measured. Uronic acid content of tomato was significantly correlated with time correlation coefficient of which was 0.8912 with confidence level of 95% whereas total soluble solids content and uronic acid content of apple and total soluble solids content of tomato didn't have significant relation with time.

B. Analysis of compressive properties

For tomato, correlation coefficients of rupture deformation and rupture force with time were 0.9457 and -0.8712, respectively. For Tsugaru apple, bio-yield force and rupture force had significant correlation coefficients of -0.6574 and -0.7677, respectively, regarding time while bio-yield deformation and rupture deformation did not show significant correlation with time. Fuji apple showed the opposite trend to Tsugaru apple. That is, the correlation coefficients of bio-yield deformation and rupture deformation with time were 0.9041 and 0.8970,

respectively.

C. Measurement of flesh density

For both apple and tomato, the flesh density increased with time. The correlation coefficient of flesh density of tomato with time was 0.9262 while that of apple was 0.5579.

D. Analysis of relationship among physicochemical factors

Correlations among cell surface texture (roughness), total soluble solids content, uronic acid content, flesh density, rupture deformation and rupture force were analyzed. For Tsugaru apple, the correlation coefficient between cell surface roughness and rupture force was -0.9618. For Momotaro tomato, the correlation coefficients of uronic acid content, rupture deformation and rupture force with flesh density were 0.8425, 0.9501 and -0.9630, respectively and rupture deformation and rupture force with uronic acid content were 0.8729 and -0.8947, respectively.

3. Development of texture evaluation technique using laser system

A. Quantitation of laser diffusion

Intensity pattern of laser beam having Gaussian profile appeared to be unique regarding firmness of apple and tomato. This laser diffusion was quantified by segmenting color components (red, green and blue) of image formed on surface

of apple and tomato and evaluating relative area saturated by each individual color component.

B. Analysis of laser characteristics of apple and tomato

For quantitation of laser diffusion, red laser with 632.8 nm was more effective than green laser with 543.5 nm. There was little difference of effect of beam intensity of red laser on quantitation of laser diffusion for apple and tomato. For Tsugaru apple, the correlation coefficients of bio-yield force and rupture force with laser diffusion were 0.9526 and 0.9432, respectively. For Fuji apple, bio-yield deformation and rupture deformation showed the significant correlation with laser diffusion coefficients of which were 0.9550 and 0.9523, respectively. For Momotaro tomato, the correlation coefficients of rupture deformation and rupture force with laser diffusion were 0.3643 and 0.7627, respectively.

C. Development of laser firmness tester

A laser firmness tester based on quantitation of laser diffusion type of which was non-contact and non-destructive was developed. This apparatus consisted of portable computer with PCMCIA-type frame grabber, laser source, mini color CCD camera, rack, chargable battery and image analysis software.

여 백

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	25
Section 1	Background and Significance	25
1.	Background	25
2.	Significance	25
Section 2	Objective and Scope	27
1.	Objective	27
2.	Scope	27
	Reference	29
Chapter 2	State-of-the-Art Report	31
Section 1	Cell Microstructure and Quality	31
1.	Texture and Its Factor	31
2.	Structure of Plant Cell Wall	32
Section 2	Quality Evaluation Using Nondestructive Techniques	32
1.	International Status	32
2.	Domestic Status	37
	Reference	41
Chapter 3	Characterization of Plant Cell	45
Section 1	Introduction	45
Section 2	Materials and Methods	47
1.	Materials	47
2.	Staining of Plant Cell	47
3.	Image Analysis	47
Section 3	Results and Discussion	48

1. Staining Effect	48
2. Morphological Characterization of Cell	49
3. Characterization of Cell Surface	54
Section 4 Summary	57
Reference	59
Chapter 4 Physicochemical Factors and Quality	61
Section 1 Introduction	61
Section 2 Materials and Methods	62
1. Materials	62
2. Fractionation of Water Soluble Materials	62
3. Quantitation of Cell Surface Texture	63
4. Compression Test	63
5. Measurement of Flesh Density	64
Section 3 Results and Discussion	64
1. Time Versus Physicochemical Factors of Apple	64
2. Time Versus Physicochemical Factors of Tomato	68
3. Relationship of Physicochemical Factors	72
Section 4 Summary	78
Reference	79
Chapter 5 Quantitation of Freshness	81
Section 1 Introduction	81
Section 2 Proposition of Freshness Index	82
1. Definition of Freshness Index	82
2. Notation of Freshness Index	83
Section 3 Materials and Methods	84
1. Materials	84

2. Methods	84
3. Quantitation of Cell Surface Texture	84
Section 4 Results and Discussion	86
1. Characteristics of Cell Surface Texture	86
2. Freshness Index Versus Time	87
Section 5 Summary	88
Reference	91
Chapter 6 Effect of Orientation and Time on Compressive	
Propertires	93
Section 1 Introduction	93
Section 2 Materials and Methods	94
1. Materials	94
2. Compression Test	95
3. Statistical Analysis	95
Section 3 Results and Discussion	95
1. Effect of Orientation and Time on Rupture Force	95
2. Effect of Orientation and Time on Rupture Deformation	98
3. Rupture Force Versus Rupture Deformation	99
Section 4 Summary	100
Reference	101
Chapter 7 Freshness Evaluation Using Firmness 103	
Section 1 Introduction	103
Section 2 Materials and Methods	104
1. Materials	104
2. Compression Test	105
Section 3 Results and Discussion	105

1. Force-Deformation Curve	105
2. Time Versus Compressive Properties of Apple	108
3. Time Versus Compressive Properties of Tomato	113
Section 4 Summary	117
Reference	119
Chapter 8 Development of Laser Firmness Tester ...	121
Section 1 Introduction	121
Section 2 Materials and Methods	122
1. Materials	122
2. Laser Vision System	122
3. Laser Sources	123
4. Neutral Density Filters	123
5. Compression Test	124
Section 3 Results and Discussion	125
1. Quantitation of Laser Diffusion	125
2. Firmness Evaluation of Laser Diffusion	129
3. Development of Laser Firmness Tester	136
Section 4 Summary	142
Reference	143
Chapter 9 Summary and Conclusions	147

목 차

제 1 장 서 론	25
제1절 연구개발의 필요성	25
1. 연구개발의 배경	25
2. 연구개발의 필요성	25
제2절 연구개발의 목적과 범위	27
1. 연구개발의 목적	27
2. 연구개발의 범위	27
참고문헌	29
제 2 장 연구 및 기술 동향	31
제1절 미세구조와 품질	31
1. 조직감과 관련 인자	31
2. 세포벽 구조	32
제2절 비파괴 기술을 이용한 품질 측정	32
1. 국외 동향	32
2. 국내 동향	37
참고문헌	41
제 3 장 세포의 특성화 기법 개발	45
제1절 서 론	45
제2절 재료 및 방법	47
1. 실험 재료	47

2. 과육 세포의 염색	47
3. 영상처리장치	47
제3절 결과 및 고찰	48
1. 과육 세포의 염색 효과	48
2. 세포의 형태학적 특성화 기법 개발	49
3. 세포의 표면 조직감 특성화 기법 개발	54
제4절 요약 및 결론	57
참고문헌	59
제 4 장 물리화학적 인자와 품질	61
제1절 서론	61
제2절 재료 및 방법	62
1. 실험 재료	62
2. 수용성 분획 물질의 정량	62
3. 세포의 표면 조직감 정량	63
4. 압축 시험	63
5. 밀도 측정	64
제3절 결과 및 고찰	64
1. 시간에 따른 사과와 물리화학적 인자 변화	64
2. 시간에 따른 토마토의 물리화학적 인자 변화	68
3. 물리화학적 인자들의 상호 관계	72
제4절 요약 및 결론	78
참고문헌	79
제 5 장 선도의 정량적 평가법 개발	81
제1절 서론	81

품질 향상

선도 평가

제2절 신선도 지수 설정	82
1. 신선도 지수의 정의	82
2. 신선도 지수의 표시법	83
제3절 재료 및 방법	84
1. 실험 재료	84
2. 실험 장치	84
3. 세포의 표면 조직감 분석	84
제4절 결과 및 고찰	86
1. 세포의 표면 특성	86
2. 신선도 지수의 변화	87
제4절 요약 및 결론	88
참고문헌	91
제 6 장 방향성과 시간에 따른 압축 특성 ..	93
제1절 서 론	93
제2절 재료 및 방법	94
1. 실험 재료	94
2. 압축 시험	95
3. 통계 분석	95
제3절 결과 및 고찰	95
1. 경과시간 및 방향성에 따른 극한강도	95
2. 경과시간 및 방향성에 따른 극한변형량	98
3. 경과시간 및 방향성에 따른 극한강도와 극한변형량의 상관 관계	99
제4절 요약 및 결론	100
참고문헌	101

제 7 장	경도에 의한 선도 평가	103
제1절	서론	103
제2절	재료 및 방법	104
1.	실험 재료	104
2.	압축 시험	105
제3절	결과 및 고찰	105
1.	사과 및 토마토의 힘-변형 곡선	105
2.	시간에 따른 사과의 압축 특성	108
3.	시간에 따른 토마토의 압축 특성	113
제4절	요약 및 결론	117
	참고문헌	119
제 8 장	레이저 경도계 개발	121
제1절	서론	121
제2절	재료 및 방법	122
1.	실험 재료	122
2.	레이저 비전 시스템	122
3.	레이저 발생기	123
4.	중성 밀도 필터	123
5.	압축 시험	124
제3절	결과 및 고찰	125
1.	레이저 산란도의 정량화	125
2.	레이저 산란도를 이용한 경도 모형 개발	129
3.	레이저 경도계 개발	136
제4절	요약 및 결론	142

참고문헌	143
제 9 장 종합 결론	147

여 백

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 필요성

1. 연구개발의 배경

자유 무역 시대를 대비하여 농산물의 국제 경쟁력 제고가 필연적 과제로 대두되고 있다. 농산물의 국제 경쟁력은 가격 경쟁력뿐만 아니라 품질 경쟁력에 의해 크게 영향을 받는다. 이와 같은 시대적 조류는 기술 농업 시대의 개막을 의미하며 고급 농산물 소비 시대에 대한 적극적 대비를 요구하고 있다(조 등, 1994; 허, 1993).

농산물은 수확 후에도 생명 활동이 계속되는 특성을 가지고 있어 노화로 인한 품질 저하가 우려되므로 저장, 유통 시에 품질 평가 자료에 따른 적절한 품질 관리가 필요하다(Kader, 1992; Wills 등, 1981; Arthey, 1975).

또한, 농산물은 동일한 생산 조건에서 생산되었다고 품질의 불균일성이 매우 크기 때문에 수확 후 품질 평가 자료에 따른 적절한 차등관리가 필요하다(Kader, 1992; Wills 등, 1981; Arthey, 1975).

최선의 품질 관리를 위해서는 효과적인 품질 측정 기술의 개발이 요구된다. 특히, 신선 과실·과채의 국제 경쟁력 확보를 위해서는 품질 측정 기술에 관한 연구가 절실히 요구되고 있다(노, 1994; 노, 1993).

2. 연구개발의 필요성

기술적 측면에서 연구개발의 필요성을 살펴보면, 현재 국내외에서 이용되고 있는 과실·과채의 품질 측정 기술은 형상, 크기, 색상, 표면 상태 등과 같은 외관 인자와 함수율, 당도, 내부 상태 등과 같은 내부 품질 인자를 직·간접으로 측정할 수 있으나 과실·과채의 저장, 유통 시 현재의 측정 기술로는 세포의 조직 변화로 인한 품질 변화를 직접 효과적으로 측정하기는 매우 어려운 실정이다(Kress-Rogers, 1993).

현행 과실·과채의 조직 측정(texture measurement)은 주로 압축·인장 검사에 의해 실시되고 있으나 이 검사는 샘플링(sampling)에 의한 거시적 관점에서의 파괴 검사이기 때문에 이 검사로부터 얻을 수 있는 자료에 의해서는 과실·과채의 품질을 근본적으로 평가하기가 어려운 형편이다(Jackman과 Stanley, 1995).

과실·과채의 품질 변화와 관련하여 세포벽(cell wall)과 같은 세포 미세구조(microstructure)의 변화에 관한 분석이 필요하며, 이를 화학적 방법에 의존할 경우 세포 구조의 파괴로 인하여 진정한 정보를 얻기가 어려울 수 있기 때문에 현미경적 분석을 이용함으로써 화학적 분석을 최소화하기를 권하고 있다(IFR, 1990).

그러나, 현미경적 분석 방법은 시료 준비(sample preparation)와 분석에 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 인력 의존이 매우 심하기 때문에 자동화 기술의 도입이 요구된다

또한, 세포 미세구조의 미시적 관점과 조직(texture)의 거시적 관점의 상관 관계에 관한 연구가 미진하기 때문에 어느 한쪽의 정보에 치우쳐 있어 현재의 품질 측정 기술에 의해서는 아직 실용적 정보를 얻기가 어려운 형편이다. 이를 위해 세포 미세구조의 변화가 조직에 미치는 영향에 관한 연구가 요구된다.

궁극적으로, 과실·과채의 내부 품질 측정 기술이 산업 현장에서 실용적 수단으로 사용되기 위해서는 세포 미세구조의 변화를 반영하는 조직(texture)의 비파괴 측정 기술의 개발이 요구된다.

경제·사회적 측면에서 연구개발의 필요성을 살펴보면, 농산물의 생산량과 품질에 따른 가격 변동의 진폭이 매우 큰 것은 주지의 사실로서 농민 소득의 회복의 원인이 되고 있다. 특히, 생산량에 따른 가격의 변동은 지대하여 생산량 관리는 항상 농업 경영의 기본 과제의 자리를 차지하고 있어 년도별, 계절별 가격 동향이 심층적으로 관리되고 있다(농협중앙회, 1995; 농수산물유통공사, 1995).

그러나, 품질에 따른 가격 동향은 간과되고 있어 농업 현장에서는 피부로 느낄 수 있으나 유용한 정보가 부족한 형편이다. 이러한 원인은 품질에 대한 정량화 기술이 아직 부족하여 거래 관행이 주관적 판단에 크게 의존하고 있기 때문이다. 기술 농업과 고급 농산물 소비의 시대를 맞아 농산물의 품질 측정 기술의 개발은 시급한 과제로 인식되고 있다(노, 1994).

과실·과채의 부가가치를 창출하기 위해 품목에 따라서는 가공용 소비가 해마다

크게 증가하고 있다. 예를 들면, 우리나라의 가장 대표적인 과실인 사과와 경우 1990년도의 가공 비율이 4.4%이던 것이 1993년도에는 14.1%로 증가하였다(조 등, 1994). 그러나, 양질의 사과는 생식용으로서도 국내외적으로 경쟁력을 가지고 있는 경우에서 알 수 있는 바와 같이 생식용과 가공용의 차등 관리가 필요하다. 생식용으로 적합한 비싼 원료를 무리하게 가공용으로 사용하는 것은 농산물 가공공장의 경영 악화의 한 원인이 될 수 있다. 농산물의 용도별 차등 관리는 생산량에 따른 가격 등락을 부분적으로 극복할 수 있는 매우 효과적인 방법이다. 이를 위해서는 기본적으로 농산물의 품질 측정 기술이 뒷받침되어야 한다.

한편, 사회적 측면에서 연구개발의 필요성을 살펴보면, 고급 농산물 소비 시대에는 농산물의 품질 관리가 무엇보다도 중요한 과제로 알려져 있다(노, 1994; 허, 1993). 농산물의 품질은 아직 주관적 판단에 의해 주로 결정되고 있어 생산자와 소비자 모두에게 불신의 원인이 되고 있다. 농산물의 품질이라는 모호한 개념이 정량적으로 객관화될 수 있을 때 품질에 의한 농산물의 가격 경쟁력을 확보할 수 있어 생산자의 경영 관리의 합리화가 용이하게 되고, 개관적 품질 관리는 소비자의 합리적 구매 판단에 도움을 주게 된다.

제2절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 대표적인 국내산 과실·과채의 경쟁력 강화를 위해 세포 미세 구조의 물리적 특성을 이용하여 선도를 정량화할 수 있는 내부 품질 측정 기술을 개발하고자 하는 데 있다.

2. 연구개발의 범위

본 연구개발의 범위는 다음과 같다.

1) 영상분석을 이용한 세포미세구조의 특성화 기법 개발

가) 세포의 표면조직감 정량화

나) 신선도 인자 개발

2) 사과 및 토마토의 물리화학적 특성 분석

가) 세포벽 물질

나) 압축특성

다) 밀도

라) 물리화학적 인자 상호관계

3) 레이저를 이용한 조직감 측정기술 개발

가) 레이저 산란도의 정량화

나) 사과 및 토마토의 레이저 특성 분석

다) 레이저 경도계의 모형기 개발

참 고 문 헌

- 노상하. 1993. 청과물 종합처리 시설의 기술 현황과 현대화 방안. 원예저장유통연구회지 2:17-42.
- 노상하. 1994. 수확후 농산가공기계 및 시설. 한국농업기계학회 국제화 시대 농업기계 분야의 도전과 과제에 관한 세미나 발표문, 63-94.
- 농수산물유통공사. 1995. 농수산물유통조사월보. 각호.
- 농협중앙회. 1995. 농협조사월보. 각호.
- 조웅제 등. 1994. UR이후 과실 및 채소의 적정가공품목 선정에 관한 연구. 한국식품개발연구원 연구보고서.
- 허신행. 1993. 신농업:한국 농업의 21세기 전략. 김영사. 서울.
- Arthey, V. D.. 1975. Quality of horticultural products. Butterworth and Co., London.
- IFR. 1990. Microspectroscopy of plant cells. Institute of Food Research Annual Report(UK).
- Jackman, R. L. and D. W. Stanley. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. Trends in Food Science and Technology 6:187-194.
- Kader, A. A.(ed.). 1992. Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Oakland.

Kress-Rogers, E.(ed.). 1993. Instrumentation and sensors for the food industry.
Butterworth-Heinemann. Oxford.

Wills, R. H. H. et al. 1981. Postharvest: an introduction to the physiology and
handling of fruits and vegetables. AVI Publishing Company. Westport.

제 2 장 연구 및 기술 개발 동향

제1절 미세구조와 품질

1. 조직감과 관련 인자

조직감(texture)은 과일·과채의 품질 인자로서 소비자의 선호도를 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 지금까지 텍스처는 대개 경험적인 관능검사나 혹은 간단한 조직측정장치를 이용하여 측정하였다. 관능검사의 경우에는 개인간의 차이가 심하여 일관성 있는 자료를 얻기가 힘들며, 조직측정장치는 과일·과채의 미세구조에 대한 정보를 제공하지 않기 때문에 그 활용에 한계가 있다(Jackman과 Stanley, 1995).

과일·과채가 어떤 텍스처를 나타내는 것은 근본적으로 그 미세구조로부터 비롯된다. 예로서 토마토가 시간이 경과함에 따라 그 조직이 연화되는 것은 미세구조가 물리화학적, 효소적 요인에 의하여 변화되기 때문이다(John과 Dey, 1986). 따라서 과일·과채의 구조와 기능간의 상관관계를 구명하는 것은 매우 중요한 연구과제이다.

과일·과채는 관찰차원(observational dimension)에 따라 관련 인자가 다르다. 먼저 분자차원에서 보면 cellulose, hemicellulose, pectin 등의 구성성분이 존재한다. 이러한 구성성분들의 결합에 의하여 세포벽을 형성하는데, 과일·과채는 각각 다른 구성성분과 결합방식을 갖게 된다. 한편, 각종 수용성 성분은 세포내에 존재하는데 세포벽에 의하여 둘러싸여져 있다. 식물성 세포의 경우, 세포벽에 의하여 골격을 유지하게 되고, 이러한 세포들이 모여 조직을 이루며, 전체적으로 하나의 개체를 형성하게 된다(Aguilera와 Stanley, 1990).

과일·과채의 조직감(texture)에 영향을 미치는 인자를 각 차원에 따라 살펴보면, 분자 차원의 경우 거대분자(polymers)의 구조가 주요 인자로 작용하며, 세포미세구조 차원의 경우, 세포벽 관련 인자가 중요하게 작용한다. 그리고, 조직(tissue) 및 기관(organ)의 차원에서는 각각 구조(structure)와 기계적 성질(mechanical properties)이 조직감에 영향을 미치는 주요 인자로서 이해되고 있다(Jackman과

Stanley, 1995).

과실·과채의 텍스처를 해석할 때 가장 핵심적인 역할을 하는 인자를 구명하는 것은 매우 중요한 과제이다. 지금까지는 대부분 간단하게 조직의 강도를 측정하는데 그치고 있는 바, 1차원적인 측정 방식은 과실·과채의 품질 관리에 효과적으로 응용하기 어렵다.

2. 세포벽 구조

과실·과채는 대부분이 쌍떡잎 식물로서 3차원의 세포벽 구조를 갖는다. 우선 전체 세포벽의 주 골격을 이루고 있는 것은 cellulose로서 입자들이 서로 결합되어 crystalline microfibrils를 이루고 있다. cellulose의 표면에는 가장 대표적인 hemicellulose의 일종인 xyloglucan이 수소결합에 의하여 연결되어 있다(Seymour 등, 1993).

한편, 과실·과채의 조직감에 가장 큰 영향을 미치는 펙틴은 arabinogalactan sidechain을 통하여 xyloglucan과 공유결합적으로 결합되면서 cellulose microfibrils와 연결되어 있다. 과실·과채 조직의 연화는 펙틴 분자가 pectinase에 의하여 분해되면서 발생하는 것으로 알려져 있다. 최근에는 pectinase 이외에 각종 hemicellulases류, 특히 galactosidase 등에 의한 역할론이 제기되고 있다(John과 Dey, 1986).

제2절 비파괴 기술을 이용한 품질 측정

1. 국외 동향

농산물의 비파괴 품질 평가(nondestructive quality evaluation)란 측정 시료가 손상되거나 파괴되지 않은 상태에서 농산물의 품질을 평가하기 위한 측정이 이루어지는 것을 의미한다. 비파괴 측정은 검사 대상물에 특성화된 에너지를 조사

(radiation)하였을 때 나타나는 반응을 분석하는 것으로 이루어진다. 특성화된 에너지원이란 laser, X-ray, ultraviolet, visible light, infrared, microwave, sonic 및 ultrasonic energy 등의 형태를 의미한다. 이러한 에너지가 측정 대상물에 조사되면 그 물체의 화학적 및 물리적 성질에 따라 고유의 반응 특성을 나타내는데 일반적으로 반사, 투과 및 흡수 특성으로 구분하여 반응 특성을 파악할 수 있다. 이와 같은 성질을 총칭하여 전자기적 복사 특성(electromagnetic radiation properties)이라 한다.

Table 1. The summary of nondestructive techniques linked with common principal quality parameters.

Quality Parameters	Applicable Nondestructive Techniques
Maturity	
Firmness	Acoustic response (ultrasonic transmission) Impact response (indentation property) Gas evolution detection Mechanical vibration response Microwave response (dielectric, structure, density)
Sugar content	Magnetic response (NMR, sugar refractometer) Dielectric response Optical response (delayed light emission)
Shape	
Geometry	Machine vision, compared with geometry algorithm
Appearance	Machine vision with artificial intelligence
Size	
Diameter	Machine vision
Length	Machine vision
Cross section	Machine vision
Weight	Electronic weighing
Density	Microwave response

Table 1. (continued.)

Quality Parameters	Applicable Nondestructive Techniques
Color	
Color hue range	Optical properties (spectrometer in visual spectrum) Machine vision as a spectrophotometer
Hue identification	Optical properties (spectrophotometer) Machine vision as a spectrophotometer
% of discoloration	Machine vision
% of surface color	Optical properties (spectrophotometer) Machine vision
Defects	
Cracks, splits	Visible and UV spectrum machine vision Ultrasonic and NMR imaging
Mushy, puffiness	Density measurements
Split pits	X-ray imaging
Roots	Machine vision
Peeling	UV spectrum machine vision
Stems	Machine vision and image recognition software
Thick skins	Acoustic response (ultrasonic reflections) Optical properties (delayed light emission)
Moisture	Optical response (IR, UV and visible light reflection) Magnetic response (proton resonance, NMR)
Seeds, cores	X-ray machine vision Acoustic response (ultrasonic)
Damage and injury	
Cuts	Visible and UV spectrum machine vision
Worm holes	Machine vision
Indentations	Machine vision
Scars	Machine vision
Freezing	Visible and UV spectrum machine vision
Sunburn	UV spectrum machine vision
Hail damage	UV spectrum machine vision
Insects and worms	Machine vision
Ammoniation	Gas evolution detector
Peel injury	Optical properties (delayed light emission)
Bruises	Machine vision Acoustic response (ultrasonic reflection)

Table 1. (continued.)

Quality Parameters	Applicable Nondestructive Techniques
Decay and disease	
Molds, decays	Visible and UV spectrum machine vision Optical properties (UV spectroscopy)
Rot	Visible and UV spectrum machine vision
Black-rot	X-ray imaging Acoustic response (ultrasonic)
Internal quality	
Spongy, puffiness	Acoustic response (ultrasonic response)
Woodiness	X-ray machine vision
Water content	Magnetic resonance Microwave response
Lipid content	Magnetic resonance
Internal breakdown	Acoustic response (ultrasonic transmission)
Open spaces	X-ray machine vision Acoustic response (ultrasonic transmission)
Softness	Optical response (light transmission) Acoustic response (ultrasonic reflection) Density measurement
External quality	
Dirt	Visible and UV spectrum machine vision
Shriveled	Visible and UV spectrum machine vision
Smoothness	Optical response (visible and UV light reflection)
Skin texture	Optical response (light reflection) Visible and UV spectrum machine vision Mechanical vibration

표 1은 지금까지 농산물의 품질을 평가하기 위해 사용된 비파괴 기술의 대표적인 사례들을 나타낸 것이다. 에너지원의 종류에 따른 비파괴 기술의 개요를 살펴보면 다음과 같다.

Light technique

가시광 영역의 복사에너지를 이용하여 물체의 반사, 투과 및 흡수 특성에 따라 농산물의 외관 또는 내부 품질을 평가하는 방법이다. 이때 가시광 영역의 전과장에 대한 spectral reflection 즉, 색채(color)를 평가하는 방법과 가시광 영역의 과장 중 특정 과장의 단과장에 대한 반사도, 투과도 및 흡수도를 평가하는 방법으로 구분될 수 있다.

이 방법의 응용 예를 들면, 사과와 복숭아 과육의 chlorophyll 함량은 숙성도와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있는데 빛의 투과도는 chlorophyll 함량과 일정한 관계를 나타내어 결국 빛의 투과도에 따라 숙성도를 결정할 수 있다. 또한 사과 내부의 water core 존재 유무도 빛의 투과도를 이용하여 검색할 수 있다.

Infrared technique

빛의 스펙트럼에서 780nm 이상의 과장을 가지는 영역을 적외선이라 하는데 적외선 복사는 농산물의 화학적 구조와 매우 밀접한 관계를 가진다. 예를 들면, 물은 760, 970, 1190, 1450, 그리고 1940nm에서 매우 강한 흡수 밴드를 가지는데 이러한 현상은 농산물의 수분함량 측정에 이용된다.

한편, 1725와 1760nm 과장에서 반사 및 투과 특성은 육류의 지방 함량과 유사한 관계를 차지하는 것으로 분석되어 이 방법은 육류의 지방 함량 측정에 이용되고 있다.

그밖에 적외선 반사 특성을 이용한 품질 평가 기술은 대두의 유지 및 단백질 함량, 곡류의 단백질 함량, 목초의 영양학적 품질 등의 측정에도 이용되고 있다.

X-ray technique

X-ray 튜브에서 발생하는 에너지나 Cobalt-60, Iridium-192, Cesium-137과 같은 방사성 물질로부터 나오는 에너지는 생물학적 물질에의 침투성이 매우 높으면서 공극이나 내부 균열과 같은 구조의 불연속성, 밀도의 차이 또는 불연속성, 물체

의 형상 등에 매우 민감하게 반응을 보인다.

이와 같은 현상을 이용하여 감자의 내부 공동을 비파괴적 방법으로 검색할 수 있다. 한편 농산물의 밀도와 X-ray의 흡수 특성의 관계를 응용한 사례들로는 육류의 지방 비율, 농산물의 숙성도, 과실의 냉해 유무 평가 등이 있다.

Sonic technique

음파 에너지는 물질의 탄성계수, 질량, 기하학적 구조 등의 요인들에 의해 특이한 반응을 나타낸다. 이때의 반응이란 음파 에너지의 진폭, 주파수, 감쇠 특성 등을 의미한다. 연구결과에 의하면 과실류의 고유진동수는 그 물질이 부드러울수록 감소하며 2,000Hz 이상의 고주파 에너지는 과실류의 조직이 딱딱할수록 더 잘 통과한다고 알려져 있다.

이와 같은 소리의 진동에 따른 반응은 토마토, 포도 등의 속도 판정에 응용되고 있다.

2. 국내 동향

농산물의 품질 측정에 관한 국내의 연구는 컴퓨터 시각을 이용한 선별 기술의 개발이 선도해 왔으며, 최근 NIR, NMR 등을 이용한 비파괴 기술의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 농산물의 선별에 관한 컴퓨터 시각의 응용연구는 국내의 경우 80년대 후반에 소개되었고 90년대 들어서 본격적인 연구를 시작하게 되었다. 이미 선진국에서는 컴퓨터 시각을 응용한 농산물 선별기가 상업적으로 활용되고 있는 시점에서 국내에서는 최근 기초연구를 바탕으로 화상처리식 농산물 선별기의 상품화를 위한 기술 개발을 시도하고 있는 것으로 파악되고 있다. 여기서는 그동안 국내에서 수행되었던 컴퓨터 시각 또는 화상처리의 응용연구에 관해서 살펴보고자 하였다.

노 등(1990)은 과일의 장단경, 둘레, 크기, 부피 등을 계산할 수 있는 컴퓨터 프

로그래를 개발하고 기하학적 특성 중 효과적인 선별 요인을 제시하고자 화상처리 시스템을 이용하였다. 이미지 센서로는 폐쇄회로용 16mm TV 카메라를 사용하였고, 흑백용 8bit frame grabber를 사용하였다. Sobel 연산자에 의해 윤곽을 추출하고 chain code에 의해 둘레, 면적, 장단경을 측정 한 결과, 실측치와 추정치 사이에는 31%의 오차가 나타났다고 보고하였으며, 면적으로부터 부피를 추정하는 회귀식을 제시하였다. 한편 사과 의 장단축의 비를 이용하여 기형 판별이 가능하다고 보고 하였다.

노 등(1991)은 사과 의 흑백화상에서 gray value를 평가하여 선택 판정을 하고 결점을 검출하는 알고리즘을 제시하며 사과 의 선택과 당도와 의 상관 관계를 구명 하고자 흑백 화상처리 장치를 사용하였다. 획득된 화상에 8방향 체인코드를 적용하여 gray value를 평가할 구역을 정의하고 평균 화소치를 구하는 방법으로 선택을 판정하였으며 정상 선택의 화상과 가공된 화상을 감산 연산하여 결점을 검출한 결과, 선택지수를 검출하기 위해서는 3초가 소요되었고 결점을 검출하는 데에는 약 20초가 소요되었다고 보고하였다.

황과 이(1992)는 영상처리 하드웨어로 인해 야기되는 측정오차를 소프트웨어적으로 보정하는 기술을 개발하고자 흑백 영상처리 장치를 구성하여 소뇌모델 신경 회로망 학습에 의하여 입력 영상의 오차를 보정하는 프로그램을 개발하였다.

서 등(1992)은 컬러 컴퓨터 시각에 의해 사과 색깔을 식별하는 방법을 모색하고자 컬러 컴퓨터 시각 장치를 구성하여 육안에 의한 식별 결과와 비교 평가하였다. RGB 및 HSI 컬러 시스템을 도입하여 각각의 요소별로 효과를 분석한 결과, 사과 색깔을 식별하는 데 가장 효과적인 단일 화면은 G화면으로 나타났고, 사과 색깔에 대해 가장 둔감한 화면은 B화면으로 나타났다고 보고하였다. 한편, RGB 시스템에서 사과 색깔을 고속으로 판정하기 위해서는 G화면이 효과적이었고 정밀 분석을 위해서는 G화면의 평균 화소치를 표준화 값으로 환산한 g화면이 효과적이라고 보고하였으며, HSI 시스템에서는 H-S 복합화면이 바람직하다고 하였다.

이와 노(1992)는 영상 분할을 자동으로 수행하기 위한 기존의 자동 문턱값 설정 알고리즘을 고찰한 결과, 대체로 히스토그램 클러스터링 방법과 최대 엔트로피 방법이 우수하였으나 히스토그램 클러스터링 방법의 경우 여러 개의 문턱값을 결정할 때 수행 시간이 급격히 증가하는 경향이 있다고 보고하였다.

이와 노(1992a)는 주어진 영상에서 대상체의 갯수, 크기, 형태 및 위치가 임의의 상태하에 있더라도 모든 대상체의 윤곽좌표를 알아내고, 면적, 둘레, 장단축 등 기하학적 특성을 분석할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 주사선 코딩 방법(scan line coding method), 스캔 및 체인 코딩 방법(scan & chain coding method)을 이용하여 알고리즘을 개발하였다.

노 등(1992)은 영상 영역화를 위한 기존 알고리즘을 검토하고 크기 및 선택 분석을 위한 알고리즘을 개발하여 과일의 등급을 결정하고자 흑백 영상처리 장치를 구성하였다. 이 연구에서는 카메라에 band pass filter를 설치하였으며 카메라가 바라볼 수 없는 과일면의 영상을 획득하고자 시료 양쪽에 거울을 설치하였다. 자동 영상 영역화 알고리즘으로 히스토그램 클러스터링을 선택하여 크기 및 선택 분석용 알고리즘을 개발하여 사과에 적용하였다. 한편, 영상으로부터 산출된 사과의 크기를 무게와 비교한 결과, 0.995의 상관 관계를 나타내었으며 흑백 화소치는 색지수 중 L 및 a와 높은 상관관계를 나타내었다고 보고하였다.

노 등(1992a)은 흑백 영상처리 장치를 이용하여 과일 선별기를 개발하기 위하여 시료의 이송에 따른 잔상의 영향을 분석하고 실험실용 간이 선별장치의 선별 성능을 분석하였다. 잔상의 영향은 이송속도의 증가에 따라 커지는데 사과의 크기 판정보다는 선택 판정에 큰 영향을 미치며 붉은 사과일수록 그 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 사과를 무게별로 8등급으로, 선택별로 4등급으로 선별하고자 할 때 무게별 선별 오차는 24~32%, 선택별 선별 오차는 20%로 나타났으며 크기 및 선택 판정을 위한 소요시간은 0.27~0.33초이었다고 보고하였다.

유와 쿠루즈(1993)는 칼라 컴퓨터 시각을 이용하여 가구에 이용되고 있는 활엽수 부재의 색에 의한 선별법을 제시하였다. 핑크색, 흰색, 갈색의 3가지 색상에 대한 상대적인 비율을 근거로 quadratic Bayes classifier 및 neural network를 이용하여 활엽수 부재를 선별한 결과, 선별의 정확도를 육안 선별과 비교하였을 때 각각의 방법은 91.7%와 96.7%로 나타났다고 보고하였다.

Hwang 등(1993)은 버섯의 등급 구분을 위하여 흑백 영상처리 장치를 사용하였다. 자동 문턱값 설정을 위하여 window extension method 및 maximum depth finding based on histogram mode separation을 사용하였으며, 윤곽을 추출하기 위하여 chain coding을 사용하였다. 한편 이치화 영상의 불연속성을 극복하기 위하여

5×5, 7×7 및 9×9 search mask를 이용하였으며, 경계를 재현하기 위하여 overhauser curve formulation을 사용하였다. 이와 같은 알고리즘을 이용하여 버섯의 색상은 gray value로 평가하였으며, texture는 서로 같거나 비슷한 gray value를 가지는 화소들의 상대적 위치를 통계적 방법으로 분석하였다.

참 고 문 헌

- 노상하, 류관희, 김일웅. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회지 15(1):23-32.
- 노상하, 류관희, 김성민. 1991. 영상처리 장치를 이용한 사과색택 판정. 한국농업기계학회지 16(3):272-280.
- 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구(I). 한국농업기계학회지 17(4):354-362.
- 노상하, 이종환, 이승훈. 1992a. 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구(II). 한국농업기계학회지 17(4):363-369.
- 노상하. 1993. 청과물 종합처리 시설의 기술 현황과 현대화 방안. 원예저장유통연구회지 2:17-42.
- 노상하. 1994. 수확후 농산가공기계 및 시설. 한국농업기계학회 국제화 시대 농업기계 분야의 도전과 과제에 관한 세미나 발표문, 63-94.
- 서상룡 등. 1992. 컬러 컴퓨터 시각과 육안에 의한 사과 색깔 식별. 한국농업기계학회지 17(2):123-131.
- 유수남, 게리 쿠르츠. 1993. 칼라 컴퓨터 시각을 이용한 활엽수 부재의 색에 의한 선별. 한국농업기계학회지 18(3):288-295.
- 이종환, 노상하. 1992. 농산물 및 미립자의 기하학적 특성 분석을 위한 컴퓨터 시각 시스템(I). 한국농업기계학회지 17(2):132-142.

- 이종환, 노상하. 1992a. 농산물 및 미립자의 기하학적 특성 분석을 위한 컴퓨터 시각 시스템(II). 한국농업기계학회지 17(2):143-155.
- 조용진 등. 1993a. 농산물 비파괴 선별기술 개발에 관한 연구. 한국식품개발연구원 연구보고서.
- 조용진 등. 1993b. 과립형 농산물의 색채선별기 개발을 위한 센서기술 및 선별 메카니즘에 관한 연구. 한국식품개발연구원 연구보고서.
- 황재관. 1993. 펙틴의 정제 및 분석. 한국영양식량학회지 22(4):500-509.
- 황재관 등. 1994. 압출 성형에 의한 식물 세포벽의 수용화. 한국영양식량학회지 23(2):358-370.
- 황재관 등. 1995. 밀기울에 대한 열처리가 이화학적 특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지 27(3):394-403.
- Aguilera, J. M. and D. W. Stanley. 1990. Microstructural principles of food processing and engineering. Elsevier Applied Science. London.
- Arthey, V. D.. 1975. Quality of horticultural products. Butterworth and Co.. London.
- Dickinson, E. and P. Walstra(ed.). 1993. Food colloids and polymers: stability and mechanical properties. Royal Society of Chemistry. Lunteren
- Dull, G. G. 1986. Nondestructive evaluation of quality of stored fruits and vegetables. Food Technology :106-110.

- Finney, E. E., JR.. 1978. Engineering technique for nondestructive quality evaluation of agricultural products. *J. of Food Protection* 14(1):57-62.
- Hwang, J., Y. R. Pyun and J. L. Kokini. 1993. Sidechains of pectines:somethoughts on their role in plant cell walls and foods. *Food Hydrocolloids* 7(1):39-53.
- IFR. 1990. Microspectroscopy of plant cells. Institute of Food Research Annual Report(UK).
- Jackman, R. L. and D. W. Stanley. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science and Technology* 6:187-194.
- John, M. A. and P. M. Dey. 1986. Postharvest changes in fruit cell wall. *Adv. Food Res.* 30:139-193.
- Kader, A. A.(ed.). 1992. Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Oakland.
- Kalab, M., P. Allan-Wojtas and S. S. Miller. 1995. Microscopy and other imaging technoloies in food structure analysis. *Trends in Food Science and Technology* 6:177-186.
- Kress-Rogers, E.(ed.). 1993. Instrumentation and sensors for the food industry. Butterworth-Heinemann. Oxford.
- Mohsenin, N. N.. 1984. Electromagnetic radiation properties of foods and agricultural products. Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. Chapman & Hall, London. p.17-24.

Wills, R. H. H. et al.. 1981. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. AVI Publishing Company. Westport.

제 3 장 세포의 특성화 기법 개발

제1절 서 론

조직감(texture)은 과일·과채의 품질 인자로서 소비자의 선호도를 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 지금까지 텍스처는 대개 경험적인 관능검사나 혹은 간단한 조직측정장치를 이용하여 측정하였다. 관능검사의 경우에는 개인간의 차이가 심하여 일관성 있는 자료를 얻기가 힘들며, 조직측정장치는 과일·과채의 미세구조에 대한 정보를 제공하지 않기 때문에 그 활용에 한계가 있다(Jackman과 Stanley, 1995).

과실·과채가 고유의 텍스처를 나타내는 것은 근원적으로 그 미세구조로부터 비롯된다. 예로서 토마토가 시간이 경과함에 따라 그 조직이 연화되는 것은 미세구조가 물리화학적, 효소적 요인에 의하여 변화되기 때문이다(John과 Dey, 1986). 과일·과채의 구조와 기능간의 상관관계를 구명하는 것은 매우 중요한 연구과제이다.

과실·과채는 관찰차원(observational dimension)에 따라 관련 인자가 다르다. 먼저 분자차원에서 보면 cellulose, hemicellulose, pectin 등의 구성성분이 존재한다. 이러한 구성성분들의 결합에 의하여 세포벽을 형성하는데, 과일·과채는 각각 다른 구성성분과 결합방식을 갖게 된다. 한편, 각종 수용성 성분은 세포내에 존재하는데 세포벽에 의하여 둘러싸여져 있다. 식물성 세포의 경우, 세포벽에 의하여 골격을 유지하게 되고, 이러한 세포들이 모여 조직을 이루며, 전체적으로 하나의 개체를 형성하게 된다(Aguilera와 Stanley, 1990).

과실·과채는 대부분이 쌍떡잎 식물로서 3차원의 세포벽 구조를 갖는다. 우선 전체 세포벽의 주 골격을 이루고 있는 것은 cellulose로서 입자들이 서로 결합되어 crystalline microfibrils를 이루고 있다. cellulose의 표면에는 가장 대표적인 hemicellulose의 일종인 xyloglucan이 수소결합에 의하여 연결되어 있다(Seymour 등, 1993).

한편, 과일·과채의 조직감에 가장 큰 영향을 미치는 펙틴은 arabinogalactan sidechain을 통하여 xyloglucan과 공유결합적으로 결합되면서 cellulose microfibrils와 연결되어 있다. 과일·과채 조직의 연화는 펙틴 분자가 pectinase에 의하여 분해

되면서 발생하는 것으로 알려져 있다. 최근에는 pectinase 이외에 각종 hemicellulases류, 특히 galactosidase 등에 의한 역할론이 제기되고 있다(John과 Dey, 1986).

이와 같은 조직의 연화 작용에 의해 세포벽은 붕괴 현상을 보이게 되어 결국 과실·과채의 품질에 영향을 미치게 된다. Ben-Arie 등(1979)은 사과 숙성(ripening) 과정에서 나타나는 세포 초미세구조의 변화를 관찰한 결과, 연화가 매우 진전된 단계에서는 세포와 세포를 결합하고 있는 중엽(middle lamella)의 분리가 뚜렷하게 나타났다고 하였다.

Bolin과 Huxsoll(1987)은 사과와 살구의 신선도 저하에 따른 조직감의 연화 정도를 정량화하고자 SEM/IA(scanning electron microscope/image analyzer)를 사용하여 세포의 형태학적 변화를 분석하는 방법을 소개하였다. 사과의 경우, 함수율이 2% 감소하였을 때 세포의 장폭비 및 원형도가 유의하게 다르게 나타났다고 하였다.

Trakoontivakorn 등(1988)은 사과의 숙도를 평가하고자 전자현미경을 이용하여 세포 구조를 분석하였던 바, 영상 분석에 의하여 세포의 면적, 길이 및 세포 간극을 정량하였다. 분석 결과에 의하면, 숙성 사과의 경우 세포 면적 및 세포 간극이 미숙 사과에 비해 더 크게 나타났으며, 숙성 사과의 세포 길이도 더 긴 것으로 나타났다.

Lapsley 등(1992)은 scanning electron microscopy(SEM), cold-stage SEM(cryoSEM) 및 confocal scanning laser microscopy(CSLM)를 이용하여 사과의 조직감(texture)을 평가하기 위하여 세포의 구조를 분석하였다. 3가지 방법 중에서 사과의 생체 세포를 3차원적으로 관찰하기에는 CSLM이 적합하다고 하였다.

이들 연구 사례는 품질과 밀접한 관계를 나타내는 조직감의 연화 과정에서 세포벽이 붕괴되는 현상을 바탕으로 하여 세포의 구조 및 형태학적 특성을 분석하는 방법을 통하여 조직감을 평가하고자 하였던 것으로, 그 상관 관계가 나타난다고 하였다.

그러나, 지금까지의 연구 사례에서 파악된 문제점으로는 사용 장비의 고가, 시료 조제의 난해 등이 있을 뿐만 아니라 근본적으로 신선도를 나타낼 수 있는 정량적 지수를 제시하지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 가격이 저렴하고 시료 조제가 매우 간단한 광학현미경과 영상분석기법을 이용하여 사과의 세포 상태를 효과적으로 평가할 수 있는 방법을

개발하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 사과와 토마토의 품종은 쓰가루(Tsugaru)이며, 산지(경기도 김포군 대곶면 거물대리)에서 수확직기에 수확(1996년 9월 5일)된 사과를 실온에 두면서 사용하였다. 또한 토마토는 모모타로(Momotaro) 품종을 산지(강원도 춘천시 신북읍 발산2리)에서 숙성 청과(mature green), 청홍과(turning) 및 홍과(red)로 구분하여 수확하여 사용하였다.

2. 과육 세포의 염색

사과 및 토마토의 과육 세포의 염색을 위해 Congo Red, Erythrosin 및 Phloxine B의 3종이 사용되었다. Erythrosin과 Phloxine B는 3% 용액으로 조제하였으며, Congo Red는 1% 및 3% 용액으로 조제하였다. 한편, 염색 후 시편의 세척을 위해 3% KOH 용액을 사용하였다.

3. 영상처리장치

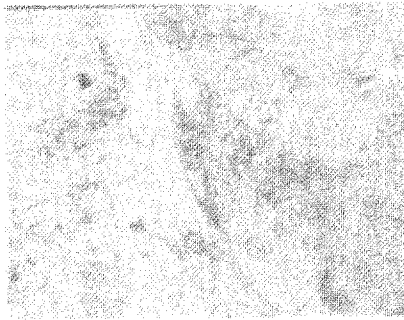
본 연구에서는 사과 과육 세포의 표면 특성을 분석하기 위하여 광학현미경(Leica DMRB, Germany)에 영상분석장치를 장착하여 사용하였다. 광학현미경에서는 $\times 40$ 대물렌즈가 사용되었으며, 영상분석장치는 color digitizer module(Oculus-TCX, Coreco Inc., Canada), 2/3" one-chip color CCD camera(TMC-74, PULNiX

America, Inc., USA), Pentium microcomputer 등으로 구성되었다. 이와 같은 장치를 통해서 $640 \times 480 \times 3$ 의 해상도를 갖는 RGB 컬러 영상을 획득하여 영상을 분석하였다. 여기서 640×480 화소를 갖는 영상의 실제 크기는 $0.205\text{mm} \times 0.156\text{mm}$ 이다. 한편, 영상 분석을 위한 알고리즘은 Visilog version 4.1.5(Noesis Vision, Inc., Canada)의 C interpreter를 사용하여 프로그램 하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 과육 세포의 염색 효과

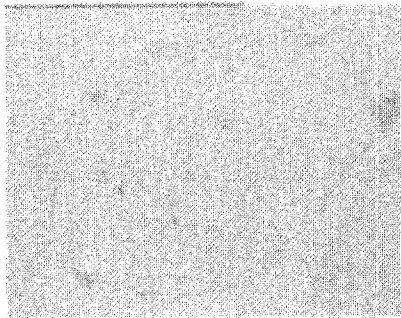
그림 3-1은 염색 시약의 종류에 따른 염색 효과를 보여 주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 세포와 배경 사이의 대비, 그리고 세포 표면에서의 표면 조직(surface texture)의 강조 측면에서 Congo Red가 효과적인 것으로 나타났다. Congo Red의 경우 1%와 3%의 농도에 의한 효과의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 사과 및 토마토 세포를 생체 상태로 절단하여 1%의 Congo Red 용액으로 염색하여 현미경으로 관찰할 경우 세포 표면의 상태를 효과적으로 분석할 수 있었다.



(a) without staining



(b) by 1% congo red



(c) by 3% erythrosin



(d) by 3% phloxine B

Fig. 3-1. Staining of apple flesh cell.

2. 세포의 형태학적 특성화 기법 개발

세포의 기하학적 특성 분석을 위한 영상처리는 저배율의 현미경 영상을 대상으로 이루어졌다. 그림 3-2는 x10의 대물렌즈를 사용했을 때 여러 가지 기법에 의한 과육 세포의 영상 분할 효과를 나타낸 것이다. 자동컬러영상분할(automatic color image segmentation)은 다음과 같은 mean-variance method와 min-max method를

이용하였다.

mean-variance법: 분석 윈도우(window) 내에서 화소들의 적색, 녹색, 청색 각 성분에 대해서 평균치(m_R, m_G, m_B)와 표준편차(s_R, s_G, s_B)를 계산하여, 다음과 같은 관계식을 만족하면 pixel 값을 1로 부여하고, 만족하지 않으면 0으로 부여하였다.

$$m_R - 3 s_R - 0.5 \leq I_R \leq m_R + 3 s_R + 0.5$$

$$m_G - 3 s_G - 0.5 \leq I_G \leq m_G + 3 s_G + 0.5$$

$$m_B - 3 s_B - 0.5 \leq I_B \leq m_B + 3 s_B + 0.5$$

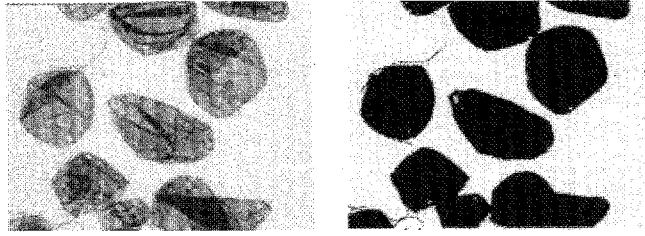
min-max법: 분석 윈도우 내에서 화소들의 적색, 녹색, 청색 각 성분에 대해서 최소치(min_R, min_G, min_B)와 최대치(max_R, max_G, max_B)를 계산하여, 다음과 같은 관계식을 만족하면 pixel 값을 1로 부여하고, 만족하지 않으면 0으로 부여하였다.

$$min_R \leq I_R \leq max_R$$

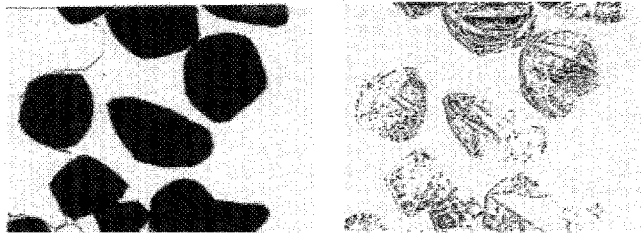
$$min_G \leq I_G \leq max_G$$

$$min_B \leq I_B \leq max_B$$

mean-variance법과 min-max법에 의한 영상 분할 결과를 비교해 보면, min-max법의 경우, 대상체로 인정하는 영역이 지나치게 광범위하여 본 연구에서 활용하기에는 미흡한 것으로 나타난 반면에, mean-variance법은 조명의 편차에도 불구하고 대상체의 인식을 위한 영상 분할에 효과적으로 활용할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 현미경 분석법에서의 영상은 조명의 영향을 크게 받게 되므로 mean-variance법은 본 연구에서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단되었다. 한편, interval threshold법을 이용할 경우 적절한 문턱값을 부여할 경우, mean-variance 법과 유사한 결과를 얻을 수 있었으나 수작업에 의존해야 하는 단점이 있다.

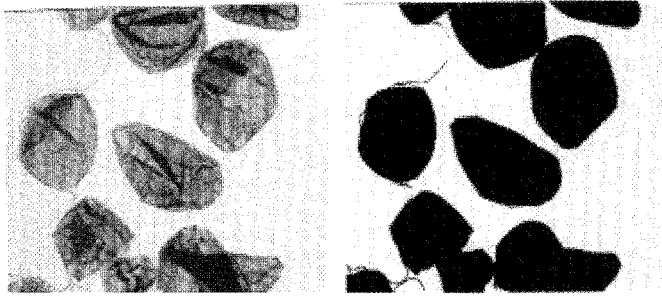


(a) source image (b) by interval thresholding

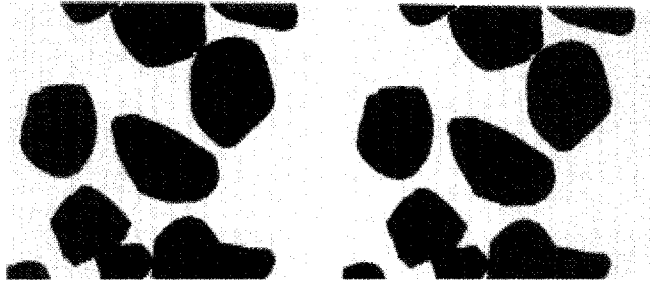


(c) by mean-variance (d) by minimum-maximum

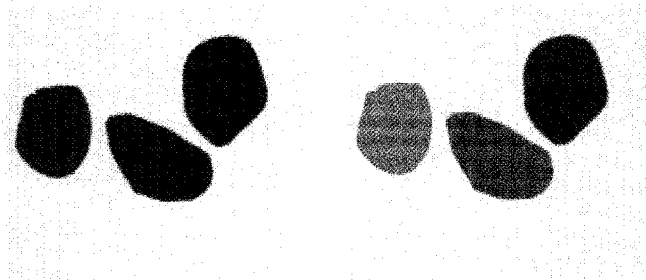
Fig. 3-2. Segmentation of a color image



(a) source image (b) after segmentation



(c) elimination of artifacts (d) separation of objects



(e) elimination of on-border cells (f) identification of cells

Fig. 3-3. Automatic color image pre-processing procedure for morphological characterization of cells.

그림 3-3은 세포의 형태학적 특성 분석을 위한 자동영상처리기법(automatic color image pre-processing procedure)에 의해 처리된 영상을 보여주는 것이다. 원시 영상을 mean-variance법에 의해 이치화 영상으로 영상 분할을 하고, erosion과 dilation의 연속 실행에 의해 artifacts를 제거한 후, 다음과 같은 modified watershed technique을 이용하여 서로 접촉하고 있는 세포를 분리하였다.

Modified Watershed Technique

1 단계: 이치화 영상에서 다음과 같은 distance operation을 수행함.

대상체의 경계로부터 동일한 거리에 있는 화소들에게는 동일한 화소치 부여함. 즉,

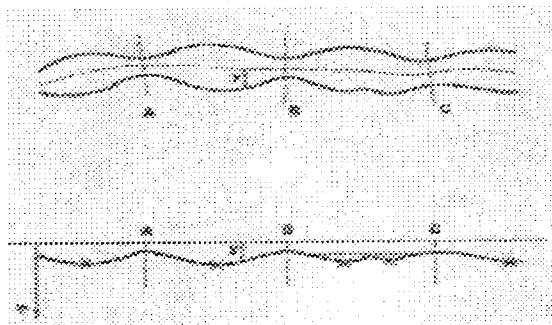
$$I = d_8(x, \delta(X))$$

여기서 $d_8((i, j), (h, k)) = \max(|h-i|, |k-j|)$

대상체의 가장자리는 가장 낮은 화소치를 가지게 되며, 대상체의 중심에 가까울수록 높은 화소치를 가지게 되어 대상체의 중심은 가장 높은 화소치를 가지게 된다. 여기서 동일한 화소치를 가지는 화소들은 등고선을 이루게 됨.

2 단계: 다음 그림과 같은 watershed algorithm을 수행함.

블록한 대상체들이 서로 접촉되어 있을 때 동일한 화소치에 의해 형성된 등고선이 그림과 같이 저수조의 연속체를 형성하게 되어 A, B 및 C line 처럼 watershed를 얻을 수 있다.



— · — : center of object × : local minima
 A,B,C : watershed ····· : modified minima

3 단계: watershed line에 따라서 대상체를 구획하는 방법에 의해 연결된 대상체를 분리함.

modified watershed technique을 이용할 경우, 그림에서 보는 바와 같이 대상체 가장자리의 요철에 의해 local minima가 과도하게 생성되는 경우에도 불필요한 local minima를 서로 합병하는 과정을 도입하여 대상체를 원활하게 분리할 수 있었다. 마지막으로 영상의 가장자리에 위치한 불완전한 세포를 제거하여 완전한 형태의 세포를 대상으로 기하학적 특성을 분석할 수 있도록 하였다.

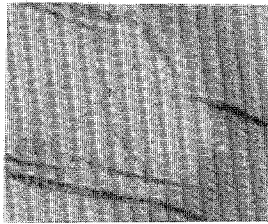
3. 세포의 표면 조직감 특성화 기법 개발

세포의 노화에 따른 선도의 변화를 가장 잘 대변하는 지표 중의 하나가 세포의 표면 조직감이다. 세포가 노화될수록 세포벽은 붕괴되고 세포벽 표면은 점점 거칠게 변한다. 본 연구에서는 이와 같은 정성적 변화를 정량할 수 있는 기법에 대한 연구가 수행되었다.

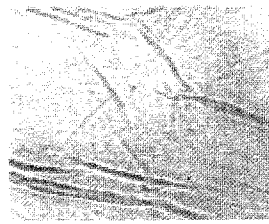
사과의 과육을 해부용 칼로 얇게 절단하여 슬라이드 글라스에 놓고 1% 용액의 Congo Red로 염색한 시료에 대해서 현미경을 통해 포착된 세포 표면 영상을 분석하였다.

세포의 표면 조직감을 정량적으로 평가하기 위한 영상 분석 알고리즘의 주요 내용은 다음과 같다. 먼저 640×480 화소의 크기를 갖는 컬러 영상으로부터 적색, 녹색 및 청색 성분 영상들로 분할하여 세포의 주름 상태를 가장 잘 보여주는 적색 성분 영상만을 취하였다. 적색 성분 영상에 대해 recursive laplacian operation과 normalization operation을 이용하여 세포 표면의 주름을 추출한 후, 영상의 중심 좌표를 기준으로 하여 256×256 크기의 정방형 영상으로 절단하였다. 한편, 256×256 영상에 대해서 Fast Fourier Transform을 실시하여 푸리에 스펙트럼 성분을 구하였다. 이와 같이 얻어진 영상들에 대해서 다음과 같이 표면 조직감의 특성화와 관련된 4개의 매개변수를 정의하였다.

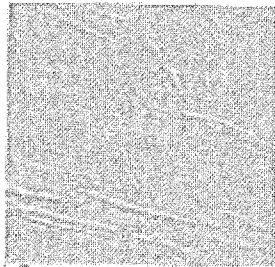
- w₁: 세포 표면의 주름만이 추출된 영상에서의 화소치의 평균
- w₂: 세포 표면의 주름만이 추출된 영상에서의 화소치의 표준편차
- w₃: 세포 주름의 푸리에 스펙트럼 영상의 화소치의 평균
- w₄: 세포 주름의 푸리에 스펙트럼 영상의 화소치의 표준편차



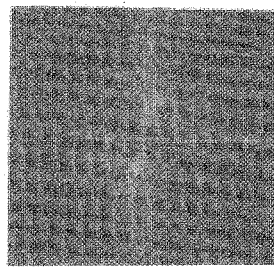
(a) source image



(b) normalized red component

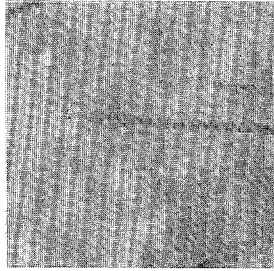


(c) wrinkle-extracted image

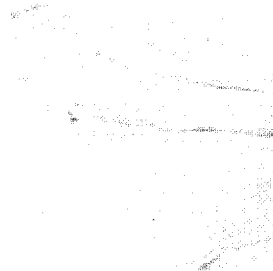


(d) modulus of FFT image

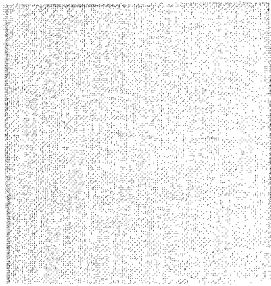
Fig. 3-4. Automatic characterization of cell surface texture for a wrinkly apple cell.



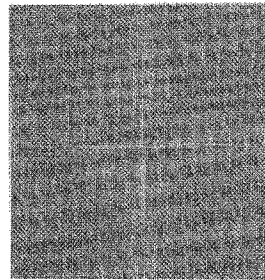
(a) source image



(b) normalized red component



(c) wrinkle-extracted image



(d) modulus of FFT image

Fig. 3-5. Automatic characterization of cell surface texture for a smooth apple cell.

그림 3-4와 3-5는 사과 세포의 원시 영상과 표면 조직감의 특성화를 위해 가공된 영상의 예를 보여 주는 것으로서, 그림 3-4는 세포의 표면에 주름이 많은 경우이고, 그림 3-5는 주름이 적은 경우를 나타낸 예이다. 그림 3-4와 3-5에서 알 수 있는 바와 같이 세포 표면의 상태에 따라서 화소치의 평균과 분산이 다르게 나타났다.

제4절 요약 및 결론

기존의 연구 사례에서 과실·과채의 조직감의 변화와 관련하여 과육 세포의 여러 가지 물리화학적 인자가 지표로 평가될 수 있는데 지금까지 보고된 연구 결과에 의하면 세포벽의 물리화학적 변화가 가장 중요한 것으로 알려져 있으며, 특히 세포벽이 붕괴되는 현상으로 인한 조직의 연화와 품질의 관계가 중요한 것으로 지적하고 있다.

본 연구에서는 광학현미경에서의 영상처리기법을 이용하여 세포벽의 붕괴에 따른 관련 인자의 정량평가기법을 개발하고자 하여 과육 세포의 형태학적 분석 및 세포벽의 표면 조직감(surface texture) 분석을 위한 영상처리기법을 개발하였다.

본 연구에서는 간편한 시료 조제법을 활용하여 광학현미경과 영상처리장치를 이용한 세포 특성화 기법을 개발하였다. 사과와 토마토 세포를 광학현미경으로 관찰하기 위해서는 congo red를 이용한 염색법이 양호한 것으로 나타났다.

사과 및 토마토 세포의 기하학적 특성을 분석하기 위해서는 $\times 10$ 의 대물렌즈가 적합하였으며, 세포의 표면 조직감을 분석하기 위해서는 $\times 40$ 의 대물렌즈가 적합하였다. 광학현미경을 통해 획득한 세포의 영상은 자동처리기법에 의해 기하학적 특성과 표면 조직감을 분석할 수 있도록 영상처리기법을 개발하였다.

여 백

참 고 문 헌

- Aguilera, J. M. and D. W. Stanley. 1990. Microstructural principles of food processing and engineering. Elsevier Applied Science. London.
- Ben-Arie, R., N. Kislev and C. Frenkel. 1979. Ultrastructural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiol.* 64:197-202.
- Bolin, H. R. and C. C. Huxsoll. 1987. Scanning electron microscope/image analyzer determination of dimensional postharvest changes in fruit cells. *J. of Food Science* 52(6):1649-1698.
- Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital image processing. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA.
- Jackman, R. L. and D. W. Stanley. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science and Technology* 6:187-194.
- John, M. A. and P. M. Dey. 1986. Postharvest changes in fruit cell wall. *Adv. Food Res.* 30:139-193.
- Lapsley, K. G., F. E. Escher and E. Hoehn. 1992. The cellular structure of selected apple varieties. *Food Structure* 11:339-349.
- NOESIS. 1991. A tutorial on image processing. Noesis Vision Inc., Quebec, Canada. p.149-166.
- SAS. 1988. SAS/STAT guide for personal computers, version 6.03. SAS Institute,

Inc., Cary, USA.

Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. Chapman & Hall, London. p.17-24.

Trakoontivakorn, G., M. E. Patterson and B. G. Swanson. 1988. Scanning electron microscopy of cellular structure of granny smith and red delicious apples. Food Microstructure 7:205-212.

제 4 장 물리화학적 인자와 품질

제1절 서 론

과채류의 신선도(freshness)란 용어는 사용 빈도가 매우 높은 반면에 정량적 평가가 매우 미흡한 인자이다. 그럼에도 불구하고 과채류의 품질 및 가격 결정에 크게 영향을 주는 인자임에 틀림이 없다. 신선도의 정의와 관련하여 Arthey(1975)는 신선도란 중요한 품질 인자로서 수확 후 소비자가 구매할 때까지 경과한 시간에 따라 생산물이 질적으로 저하된 정도에 의해 평가된다고 하였다.

일반적으로 생물체(biomaterials)의 신선도를 평가하기 위해 사용되는 인자로는 화학적 성분, 물성, 관능분석값, 휘발성 성분, 미생물 수, 대사물질(예, ATP 분해산물의 양) 등이 있다. 과채류의 경우, 신선도와 밀접한 관련성이 예상되는 인자를 물질의 구조계층(hierarchy)을 통해 살펴보면 고분자의 결합 상태, 세포벽의 물리화학적 구조, 세포의 팽압 및 크기, 조직의 공극 및 세포의 배열 상태 등이 신선도에 영향을 줄 수 있다(Aguilera와 Stanley, 1990; Jackman과 Stanley, 1995).

Vincent(1989)는 사과 과육의 밀도와 탄성계수는 밀접한 상관관계를 가진다고 하였다. 다만, 속도가 높을수록 밀도와 탄성계수는 작아지면서 상호간의 상관관계가 감소한다고 하였다. 일반적으로 과채류가 신선할수록 세포의 팽압, 세포벽의 강도, 세포간 응집력 등이 높은 것으로 알려져 있는데, 이와 같은 인자들은 과육의 탄성계수, 경도, 전단응력 등과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Arthey와 Dennis, 1991).

Ben-Arie 등(1979)은 사과와 배의 숙성 동안 세포벽의 변화를 관찰한 결과, 중엽(middle lamella)의 분리가 현저하게 나타났으며, 세포벽에서의 섬유상 배열이 거의 상실되는 것으로 관찰되었다고 하였다.

이와 같이 사과와 토마토 같은 과채류는 수확후 시간경과에 따라 조직과 세포의 물리적 변화가 나타나게 되는데, 분자수준에서는 여러 가지 분자 구조의 변화가 발생하지만 주로 세포벽을 구성하는 펙틴성 물질이 분해되어 세포벽의 붕괴를 초래하고 결국 거시적 물성의 변화를 야기하는 것으로 알려져 있다(Seymour 등, 1993;

Jackman과 Stanley, 1995).

그러나, 지금까지의 많은 연구에도 불구하고 과채류의 신선도를 효과적으로 평가하는 정량적 방법이 아직 확립되어 있지 못한 형편이다. 이러한 원인은 신선도를 대표적으로 표시할 수 있을 뿐만 아니라 측정이 용이한 인자의 발굴이 미흡한 때문이었다.

따라서, 본 연구는 사과 및 토마토의 주요 물리화학적 인자에 대해서 수확 후 경과시간에 따른 세포벽 물질의 함량, 세포벽의 표면 조직감, 과육의 밀도 및 경도의 변화를 분석하고, 인자들 상호간의 관계를 분석하여 수확 후 경과시간에 따른 신선도의 변화를 평가하는 데 유용한 인자를 탐색하고자 수행하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 사과(경기 김포)와 토마토(강원 춘천)는 산지에서 적기에 수확된 것으로 품종은 각각 쓰가루(Tsugaru)와 모모따로(Momotaro)로서 수확 후 시료를 실온에 두면서 사과는 1주일 간격으로, 토마토는 2일 간격으로 4개씩 무작위로 선별하여 실험에 사용하였다.

2. 수용성 분획 물질의 정량

수용성 세포벽 물질로서 수용성 총고형분 함량과 수용성 펙틴 함량을 측정하였다. 일정 비율의 물과 시료(사과 또는 토마토)를 균질기(homogenizer)로 1분간 균질화하고 상온에서 1시간 동안 교반한 후, 원심분리(5,000rpm, 10min) 및 여과 과정을 거쳐 건조하여 초기 시료량에 대한 백분율로 수용성 총고형분함량(total water-soluble solids, TSS)을 측정하였다.

수용성 펙틴의 함량은 시료로부터 수용성 총고형분을 회수하여 isopropanol과 혼합한 후 상온에서 4시간 동안 방치하여 침전되는 침전물(수용성 다당류, water soluble polysaccharides) 중에서 *m*-hydroxydiphenyl법(Bluemenkrantz와 Bennett, 1973)을 이용하여 우론산(uronic acid)을 정량하는 방법으로 측정하였다.

3. 세포의 표면 조직감 정량

사과의 토마토 수확 이후 신선도 저하에 따른 과육 세포의 표면 조직감의 변화를 조(1997)의 방법을 이용하여 정량하였다.

과육을 해부용 칼로 얇게 절단하여 슬라이드 글라스에 놓고 1% 용액의 Congo Red로 염색한 시료에 대해서, color digitizer module(Oculus-TCX, Coreco Inc., Canada), 2/3" one-chip color CCD camera(TMC-74, PULNiX America, Inc., USA), Pentium microcomputer 등으로 구성된 영상분석장치와 $\times 40$ 대물렌즈가 장착된 광학현미경(Leica DMRB, Germany)을 이용하여 $640 \times 480 \times 3$ 의 해상도를 갖는 RGB 컬러 영상의 형태로 세포의 표면 영상을 획득하였다.

영상 분석을 위한 알고리즘의 주요 내용은 다음과 같다. 먼저 640×480 화소의 크기를 갖는 컬러 영상으로부터 적색, 녹색 및 청색 성분 영상들로 분할하여 세포의 주름 상태를 가장 잘 보여주는 적색 성분 영상만을 취하였다. 적색 성분 영상에 대해 recursive Laplacian operation과 normalization operation을 이용하여 세포 표면의 주름을 추출하고, 영상의 중심 좌표를 기준으로 하여 256×256 크기의 정방형 영상으로 절단한 후, 화소치의 표준편차를 산출하여 이 값을 세포 표면의 상대거칠기로 나타내었다. 한편, 상대거칠기는 각각의 개체에 대해서 3개의 시편을 제조하여 측정하였다.

4. 압축 시험

사과의 경우, 과육을 지름 2mm, 높이 2mm의 원통형으로 자른 후 지름 5mm의

실린더형 플런저가 장착된 경도계(Sun Rheometer model COMPAC-100, Japan)를 이용하여 시료의 이송속도가 120mm/min인 조건하에서 파괴력과 파괴변형량을 각각의 개체에 대해서 3반복으로 측정하였다.

한편, 토마토는 반절한 후 절단면을 시료대 위에 놓고 사과와 같은 조건으로 파괴력과 파괴변형량을 측정하였다.

5. 밀도 측정

0.0001g의 정밀도를 가진 전자저울을 이용하여 platform scale method(Mohsenin, 1986)에 의해 사과와 토마토의 과육 밀도를 각각의 개체에 대해서 3반복으로 측정하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 시간에 따른 사과의 물리화학적 인자 변화

그림 4-1에서 4-3은 사과의 여러 가지 물리화학적 인자의 시간에 따른 변화를 그림으로 나타낸 것이며, 표 4-1은 여러 가지 물리화학적 인자들의 시간과의 상관계수를 나타낸 것이다.

그림 4-1에서 4-3의 전체적인 경향을 살펴보면, 사과 수확 후 시간이 경과함에 따라서 세포의 표면 조직감은 점점 거칠어지고, 과육의 파괴력은 작아지며, 세포벽으로부터 분해되어 나오는 우론산의 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 전체적인 현상은 기존의 세포벽 붕괴에 관한 연구보고(Ben-Arie 등, 1979; Jackman과 Stanley, 1995)와 일치한다.

그러나, 그림에서 보는 바와 같이 시간에 대해서 비교적 명확한 선형적 변화를 보이는 물리화학적 인자로는 세포 표면의 상대거칠기와 파괴력인 것으로 나타났다.

반면에, 과육의 밀도, 파괴변형량, 수용성 총고형분 함량, 우론산 함량 등의 시간에 따른 변화는 명확한 경향을 보이지 않았다. 이와 같은 경향은 수확 후 경과한 시간과의 상관계수를 분석한 결과인 표 4-1을 통해서도 알 수 있는 바와 같이 세포 표면의 상대거칠기 및 파괴력의 시간과의 상관계수가 높은 것으로 나타났다.

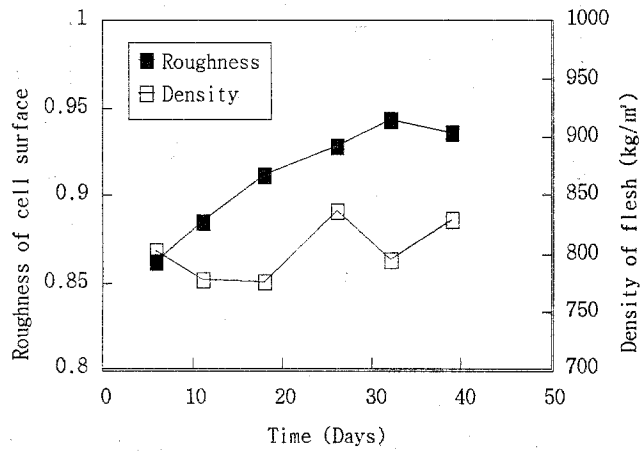


Fig. 4-1. Variations in cell surface roughness and flesh density of apple with the time elapsed after harvest.

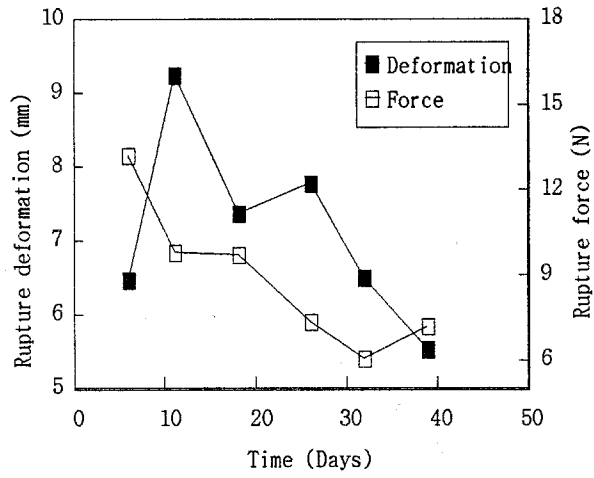


Fig. 4-2. Variations in rupture deformation and rupture force of apple flesh with the time elapsed after harvest.

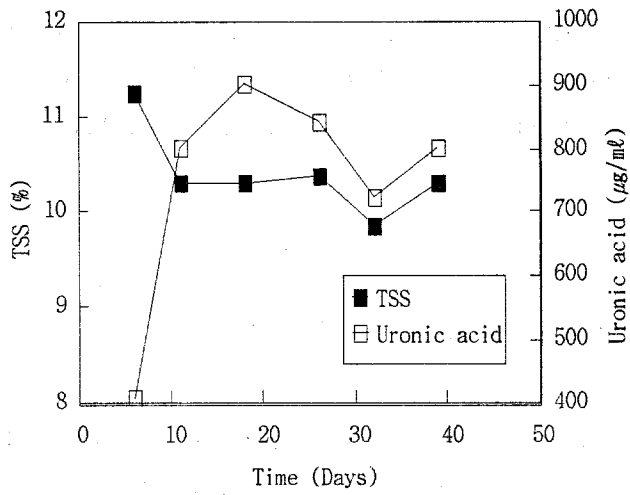


Fig. 4-3. Variations in total soluble solids and uronic acid of apple flesh with the time elapsed after harvest.

Table 4-1. Correlation coefficients of various physicochemical factors of apple with time elapsed after harvest.

Cell surface roughness	Flesh density (kg/m ³)	Total soluble solids (%)	Uronic acid (μg/ml)	Rupture deformation (mm)	Rupture force (N)
0.9345 (0.0063)	0.5579 (0.2499)	-0.6774 (0.1393)	0.4738 (0.3424)	-0.5427 (0.2658)	-0.8927 (0.0166)

Note: The figures in parentheses mean the significance probabilities.

2. 시간에 따른 토마토의 물리화학적 인자 변화

그림 4-4에서 4-6은 토마토의 여러 가지 물리화학적 인자의 시간에 따른 변화를 그림으로 나타낸 것이며, 표 4-2는 여러 가지 물리화학적 인자들의 시간과의 상관계수를 나타낸 것이다.

그림 4-4에서 보는 바와 같이, 토마토 세포의 표면 거칠기와 과육의 밀도는 시간의 경과에 따라서 증가하는 것으로 나타났다.

그림 4-5에서 토마토의 저장 기간에 따라 파괴변형량은 증가하는 반면에 파괴력은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 저장 기간 중 토마토의 세포 구조를 형성하는 성분의 변화에 따른 세포 조직의 integrity의 감소를 의미한다.

그림 4-6에서 토마토의 저장 기간에 따라 수용성 총고형분과 수용성 펙틴 함량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 저장 기간 중 세포벽에 존재하는 펙틴 분해 효소의 작용에 의해 프로토펙틴(protopectin)의 수용화가 발생하기 때문으로 해석된다. 세포벽 성분의 수용화에 따른 세포벽 조직의 이완 현상은 결과적으로 그림 4-5에 나타난 바와 같이 파괴력의 감소와 파괴변형량의 증가를 야기한다.

그림 4-4에서 4-6과 표 4-2의 결과에 의하면, 토마토의 경우, 수확 후 신선도 저하에 따라서 비교적 명확하게 선형적인 변화를 보이는 물리화학적 인자들은 과육 밀도, 우론산 함량, 파괴변형량, 파괴력 등인 것으로 나타났다.

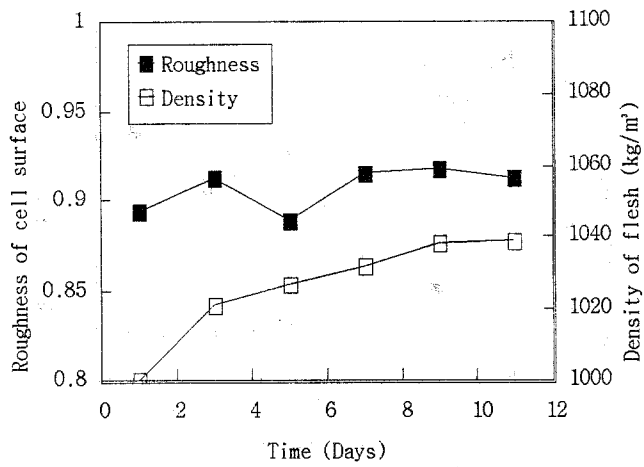


Fig. 4-4. Variations in cell surface roughness and flesh density of tomato with the time elapsed after harvest.

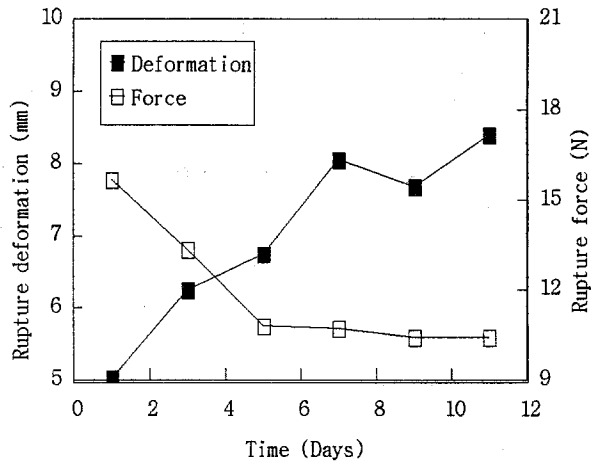


Fig. 4-5. Variations in rupture deformation and rupture force of tomato flesh with the time elapsed after harvest.

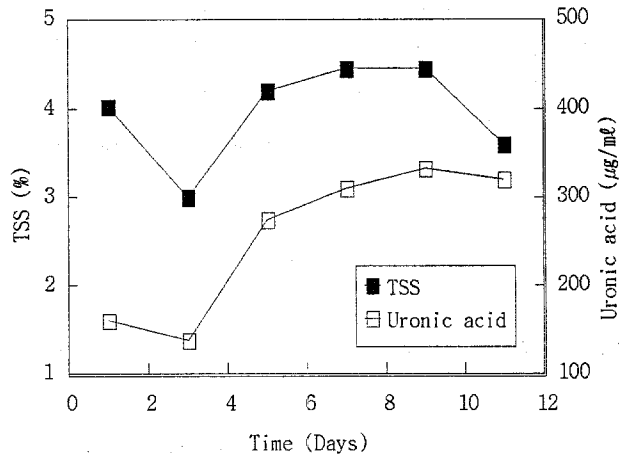


Fig. 4-6. Variations in total soluble solids and uronic acid of tomato flesh with the time elapsed after harvest.

Table 4-2. Correlation coefficients of various physicochemical factors of tomato with time elapsed after harvest.

Cell surface roughness	Flesh density (kg/m ³)	Total soluble solids (%)	Uronic acid (μg/ml)	Rupture deformation (mm)	Rupture force (N)
0.5869 (0.2207)	0.9262 (0.0080)	0.2305 (0.6603)	0.8912 (0.0171)	0.9457 (0.0043)	-0.8712 (0.0238)

Note: The figures in parentheses mean the significance probabilities.

3. 물리화학적 인자들의 상호관계

표 4-3은 사과 및 토마토 수확 후 시간이 경과함에 따라 신선도가 변할 때, 관련되는 물리화학적 인자들의 변화에 대해서 상호관계를 상관계수로 나타낸 것이다.

사과(쓰가루)의 신선도가 저하될 때, 파괴력과 세포의 표면거칠기는 99%의 신뢰수준에서 서로 부의 방향으로 변하는 것으로 나타났다.

토마토의 경우에는 사과의 경우에 비해 보다 많은 물리화학적 인자들이 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 즉, 과육의 밀도는 우론산 함량 및 파괴변형량과는 서로 정의 상관관계를 가지는 것으로 나타났고, 파괴력과는 부의 방향으로 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 우론산은 파괴변형량과의 관계에서 서로 정의 상관을 보인 반면에, 파괴력과는 서로 부의 상관을 보였다. 표 4-3에서 보는 바와 같이 토마토의 신선도 변화와 관련된 인자들 중 과육의 밀도와 파괴력의 상관계수가 -0.9630이고, 이때의 유의확률이 0.0020으로서 가장 높은 상관관계를 보였다.

그림 4-7에서 4-11은 유의한 상관관계를 가지는 인자들의 상호간의 관계를 그림으로 나타낸 것이다.

따라서, 이러한 인자들은 사과의 신선도와 같은 내부 품질을 비파괴적으로 평가하고자 할 때 기준 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Table 4-3. Correlation coefficients among physicochemical parameters of apple and tomato.

		Rupture force (N)		
Apple	Cell surface roughness	-0.9618 (0.0022)		
		Uronic acid ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Rupture deformation (mm)	Rupture force (N)
Tomato	Density (kg/m^3)	0.8425 (0.0352)	0.9501 (0.0037)	-0.9630 (0.0020)
	Uronic acid ($\mu\text{g}/\text{ml}$)		0.8729 (0.0232)	-0.8947 (0.0160)

Note: The figures in parentheses mean the significance probabilities.

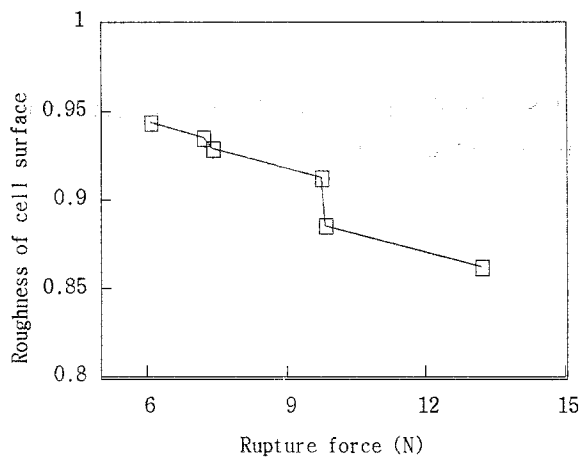


Fig. 4-7. Rupture force versus cell surface roughness of apple.

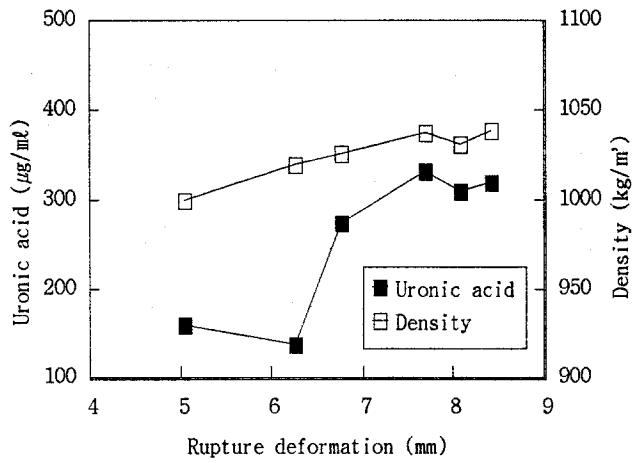


Fig. 4-8. Uronic acid and density versus rupture deformation of tomato.

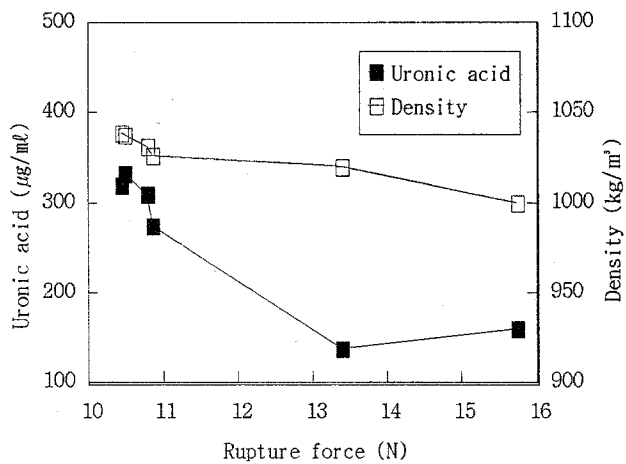


Fig. 4-9. Uronic acid and density versus rupture force of tomato.

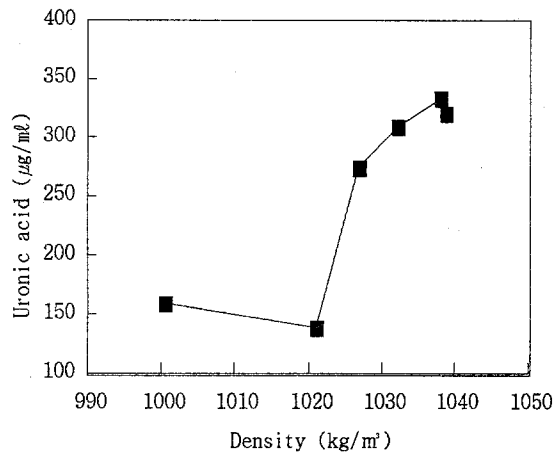


Fig. 4-10. Uronic acid versus density of tomato.

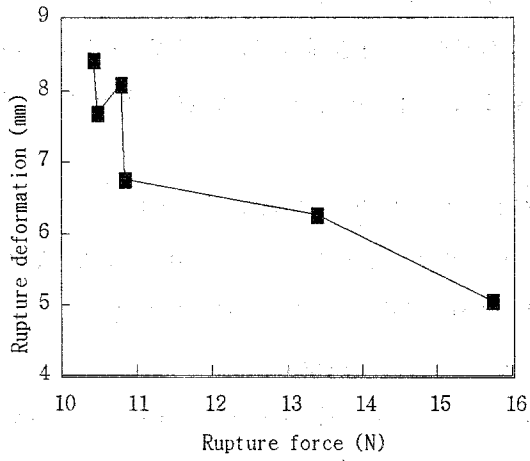


Fig. 4-11. Rupture deformation versus rupture force of tomato.

제4절 요약 및 결론

본 연구는 사과와 토마토의 신선도 평가에 적합한 물리화학적 인자를 탐색하고 자 수확 후 경과한 시간에 따른 여러 가지 물리화학적 인자들의 변화를 분석하고, 인자들 상호간의 상관관계를 분석하였다.

사과의 경우, 수확 후 시간이 경과함에 따라서 세포 표면의 상대거칠기가 증가하였고, 과육의 파괴력은 감소하였다. 두 인자 상호간에 유의한 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

토마토의 경우에는 시간 경과에 따라 유의하게 변하는 인자는 과육의 밀도, 우론산 함량, 파괴변형량 및 파괴력인 것으로 나타났으며, 이러한 인자들은 상호간에 유의한 상관관계를 보였다. 특히, 과육의 밀도는 파괴변형량 그리고 파괴력과 매우 명확한 선형적 관계를 가지는 것으로 나타났다.

이와 같이 사과와 토마토는 신선도와 관련하여 상이한 물리화학적 특성을 보였으며, 신선도와 같은 내부 품질을 비파괴적으로 평가하기 위해서는 특정 품목에 적합한 물리화학적 인자가 고려되어야 하는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- 조용진. 1997. 세포 표면 특성을 이용한 사과 신선도 평가. 한국농업기계학회지 22(4):433-438.
- Aguilera, J. M. and D. W. Stanley. 1990. Microstructural Principles of Food Processing & Engineering. Elsevier Applied Science, London. p.87-129.
- Arthey, V. D. 1975. Quality of Horticultural Products. Butterworths & Co Publisher, Ltd. London. p.89-90.
- Arthey, D. and C. Dennis (ed.). 1991. Vegetable Processing. Blackie, Glasgow. p.244-245.
- Ben-Arie R., N. Kislev and C. Frenkel. 1979. Ultrastructural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. Plant Physiology 64:197-202.
- Bluemenkrantz, J. A. and R. D. Bennett. 1973. New method for quantitative determination of uronic acid. Analytical Biochemistry 54:484-487.
- Jackman, R. L. and D. W. Stanley. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. Trends in Food Science and Technology 6:187-194.
- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. p.95-96.
- NOESIS. 1991. A Tutorial on Image Processing. Noesis Vision Inc., Quebec, Canada. p.149-166.

SAS. 1988. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 6.03. SAS Institute, Inc., Cary, USA.

Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. Chapman & Hall, London. p.17-24.

Vincent, J. F. V. 1989. Relationship between density and stiffness of apple flesh. J. of the Science of Food and Agriculture 47(4):443-462.

제 5 장 선도의 정량적 평가법 개발

제1절 서 론

사과의 품질(quality)과 상태(condition)를 객관적으로 평가하기 위하여 여러 가지 인자가 사용되고 있다. 미국 농무성 시장검사지침서(market inspection instructions) (USDA, 1978)의 사과 항목을 살펴보면, 사과의 품질을 나타내는 인자로는 미숙도 (immaturity), 형상(shape), 청결도(cleanness), 색상(color) 및 결함(defects)이 사용되고 있으며, 상태를 평가하기 위해 사용되는 인자로는 경도(firmness), 부패(decay) 및 기타상태인자(other condition factors)가 있다. 기타상태인자의 경우, 명문화하기에는 해당되는 인자가 매우 많을 수 있기 때문에 일부 인자에 대해서만 다루어져 있으며, 대표적인 기타상태인자로는 멍든 표피(bruising skin), 신선한 표피(fresh skin), 부패 없이 깨진 표피(unhealed broken skin) 등이 있다.

이와 같이 사과의 품질과 상태를 객관적으로 평가하기 위하여 많은 인자가 도입되어 있음에도 불구하고, 신선도(freshness)란 용어는 사용 빈도가 높은 형편에 비하여 정량적 평가가 미흡한 인자로 알려져 있다.

Arthey(1975)는 신선도란 중요한 품질 특성에 해당된다고 지적하였으며, 상태(state)와 시간(time)의 관점에서 해석될 수 있다고 하였다. 따라서, 신선도란 수확후 소비자가 구매할 때까지 경과한 시간을 의미하며, 또한 수확후 즉시 소비되지 않음으로 인해 생산물이 질적으로 저하된 정도와 관련이 있다고 설명하였다.

Ben-Arie 등(1979)은 사과의 숙성(ripening) 과정에서 나타나는 세포 초미세구조의 변화를 관찰한 결과, 연화가 매우 진전된 단계에서는 세포와 세포를 결합하고 있는 중엽(middle lamella)의 분리가 뚜렷하게 나타났다고 하였다.

Bolin과 Huxsoll(1987)은 사과와 살구의 신선도 저하에 따른 조직감의 연화 정도를 정량화하고자 SEM/IA(scanning electron microscope/image analyzer)를 사용하여 세포의 형태학적 변화를 분석하는 방법을 소개하였다. 사과의 경우, 함수율이 2% 감소하였을 때 세포의 장폭비 및 원형도가 유의하게 다르게 나타났다고 하였다.

Trakoontivakorn 등(1988)은 사과의 숙도를 평가하고자 전자현미경을 이용하여

세포 구조를 분석하였던 바, 영상 분석에 의하여 세포의 면적, 길이 및 세포 간극을 정량하였다. 분석 결과에 의하면, 숙성 사과와 경우 세포 면적 및 세포 간극이 미숙 사과에 비해 더 크게 나타났으며, 숙성 사과의 세포 길이도 더 긴 것으로 나타났다.

Lapsley 등(1992)은 scanning electron microscopy(SEM), cold-stage SEM(cryoSEM) 및 confocal scanning laser microscopy(CSLM)를 이용하여 사과의 조직감(texture)을 평가하기 위하여 세포의 구조를 분석하였다. 3가지 방법 중에서 사과의 생체 세포를 3차원적으로 관찰하기에는 CSLM이 적합하다고 하였다.

이들 연구 사례는 신선도와 밀접한 관계를 나타내는 조직감의 연화 과정에서 세포벽이 붕괴되는 현상을 바탕으로 하여 세포의 구조 및 형태학적 특성을 분석하는 방법을 통하여 사과의 신선도 또는 조직감을 평가하고자 하였던 것으로, 그 상관 관계가 나타난다고 하였다.

그러나, 지금까지의 연구 사례에서 파악된 문제점으로는 사용 장비의 고가, 시료 조제의 난해 등이 있을 뿐만 아니라 근본적으로 신선도를 나타낼 수 있는 정량적 지수를 제시하지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 과실·과채의 신선도를 정량적으로 평가할 수 있는 신선도 지수를 설정하고, 사과의 세포 특성을 이용하여 설정된 신선도 지수의 활용성을 검토하고자 하였다.

제2절 신선도 지수 설정

1. 신선도 지수의 정의

대부분의 과실·과채는 숙성 과정 동안에 조직감이 연화되는 현상을 보이게 되는데, 조직감의 연화는 세포 팽압의 감소, 전분의 분해 및 세포벽의 붕괴에 따른 결과로 나타나는 현상이다(Seymour 등, 1993). 사과의 경우도 숙성 과정 동안 이와 유사한 세포의 물리적 및 생화학적 변화를 보이게 되어 세포의 표면조직감이 변하게 된다(Ben-Arie 등, 1979; Bolin과 Huxsoll, 1987; Trakoontvakorn 등, 1988;

Lapsley 등, 1992).

따라서, 신선도는 수확 이후에 나타나는 조직감의 연화 현상과 밀접한 관계를 가지게 되므로 본 연구에서는 수확 이후 시간 경과에 따른 세포의 표면 조직감 즉, 주름의 양을 정량하여 그 값을 신선도 지수(freshness index, FI)로 정의하였다.

2. 신선도 지수의 표시법

물체의 표면조직감은 영상 분석에서 다음과 같은 상대거칠기(relative smoothness, R)를 이용하여 정량화할 수 있다(Gonzalez와 Woods, 1992).

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2} \quad (1)$$

여기서 σ : 주어진 영상의 화소치의 표준편차

(1)식에서 R 값이 0이면 물체의 표면에서 주름, 무늬 등이 전혀 없는 무결한 상태를 의미하고, R 값이 증가할수록 주름, 무늬 등이 많은 표면 상태를 나타내게 된다.

따라서, 본 연구에서는 (1)식과 유사하게 세포의 표면 상태를 표시하는 매개변수를 이용하여 다음의 (2)식으로 신선도 지수를 표시하였다.

$$FI = \frac{1}{1 + w^2} \quad (2)$$

여기서 FI : 신선도 지수

w : 세포 표면의 주름의 양과 관련된 매개변수

(2)식에서 w 가 세포 표면의 주름의 양과 관련된 매개변수일 때, 신선한 사과일수록 w 는 작은 값을 가지게 되어 FI는 1에 가까운 값을 가지게 된다.

제3절 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 사과 품종은 쓰가루(Tsugaru)이며, 산지(경기도 김포군 대곶면 거물대리)에서 수확적기에 수확(1996년 9월 5일)된 사과를 실온에 두면서 사용하였다.

2. 실험장치

본 연구에서는 사과 과육 세포의 표면 특성을 분석하기 위하여 광학현미경(Leica DMRB, Germany)에 영상분석장치를 장착하여 사용하였다. 광학현미경에서는 $\times 40$ 대물렌즈가 사용되었으며, 영상분석장치는 color digitizer module(Oculus-TCX, Coreco Inc., Canada), 2/3" one-chip color CCD camera(TMC-74, PULNiX America, Inc., USA), Pentium microcomputer 등으로 구성되었다. 이와 같은 장치를 통해서 $640 \times 480 \times 3$ 의 해상도를 갖는 RGB 컬러 영상을 획득하여 영상을 분석하였다. 여기서 640×480 화소를 갖는 영상의 실제 크기는 $0.205\text{mm} \times 0.156\text{mm}$ 이다. 한편, 영상 분석을 위한 알고리즘은 Visilog version 4.1.5(Noesis Vision, Inc., Canada)의 C interpreter를 사용하여 프로그램 하였다.

3. 세포의 표면 조직감 분석

사과의 과육을 해부용 칼로 얇게 절단하여 슬라이드 글라스에 놓고 1% 용액의 Congo Red로 염색한 시료에 대해서 현미경을 통해 포착된 세포 표면 영상을 분석하였다.

영상 분석을 위한 알고리즘의 주요 내용은 다음과 같다. 먼저 640×480 화소의 크기를 갖는 컬러 영상으로부터 적색, 녹색 및 청색 성분 영상들로 분할하여 세포의 주름 상태를 가장 잘 보여주는 적색 성분 영상만을 취하였다. 적색 성분 영상에 대해 recursive laplacian operation과 normalization operation을 이용하여 세포 표면의 주름을 추출한 후, 영상의 중심 좌표를 기준으로 하여 256×256 크기의 정방형 영상으로 절단하였다. 한편, 256×256 영상에 대해서 Fast Fourier Transform을 실시하여 푸리에 스펙트럼 성분을 구하였다. 이와 같이 얻어진 영상들에 대해서 다음과 같이 표면조각감과 관련된 4개의 매개변수를 정의하여 세포의 신선도를 평가하였다.

- w₁: 세포 표면의 주름만이 추출된 영상에서의 화소치의 평균
- w₂: 세포 표면의 주름만이 추출된 영상에서의 화소치의 표준편차
- w₃: 세포 주름의 푸리에 스펙트럼 영상의 화소치의 평균
- w₄: 세포 주름의 푸리에 스펙트럼 영상의 화소치의 표준편차

한편, 각 시료는 수확후 약 7일 간격으로 매단계에서 4개의 사과를 취하고 각각의 사과에 대해서 임의의 3위치에서 과육 세포를 채취함으로써 각 단계마다 12반복으로 총 72의 시료를 대상으로 측정하였다. 측정치의 통계분석을 위해서 SAS ver.6.03(SAS, 1988)을 이용하였다.

그림 5-1의 (a)는 사과 세포의 표면을 나타내는 원시영상이고, (b)는 세포 표면의 주름만이 추출된 영상이다.

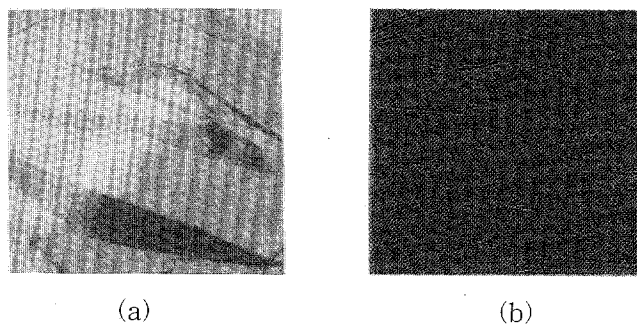


Fig. 5-1. (a) an original image of apple cell surface, (b) the wrinkle-extracted image with pseudo-color.

제4절 결과 및 고찰

1. 세포의 표면 특성

표 5-1은 수확 후 경과한 시간과 사과 세포의 표면 조직감 사이의 상관계수를 나타낸 것이다. 앞에서 정의된 4개의 매개변수(w_1, w_2, w_3, w_4)는 세포 표면의 주름이 많을수록 큰 값을 가지게 된다. 표에서 보는 바와 같이 수확 후 시간이 경과함에 따라 사과 세포의 표면에 형성되는 주름의 양이 증가하는 것을 알 수 있으며, 특히 세포의 표면 상태를 나타내는 4개의 매개변수 중에서 w_2, w_3 및 w_4 는 99%의 신뢰 수준에서 수확후 경과 시간과 고도로 유의한 상관 관계를 가지는 것으로 나타났다.

Table 1. Correlation between the surface texture of apple cells and the time elapsed after harvest.

	Time (days)	w_1	w_2	w_3	w_4
Time (days)	1.0000	0.8412 (0.0358)	0.9433** (0.0047)	0.9340** (0.0064)	0.9286** (0.0074)
w_1		1.0000	0.8860 (0.0187)	0.9424** (0.0049)	0.7934 (0.0596)
w_2			1.0000	0.9899** (0.0002)	0.9851** (0.0003)
w_3				1.0000	0.9509** (0.0036)
w_4					1.0000

Notes) w_1 : mean of grey scale of pixels in an image processed by the recursive laplacian
 w_2 : standard deviation of grey scale of pixels in an image processed by the recursive laplacian
 w_3 : mean of grey scale of pixels in an image of Fourier spectrum by FFT
 w_4 : standard deviation of grey scale of pixels in an image of Fourier spectrum by FFT
 (): Significance probability which means "highly significant" when its value is equal to or less than 0.01.
 **: highly significant at confidence level of 99%

따라서, 이 결과로부터 사과와 경우 세포 표면의 주름의 양을 정량하여 사과와 신선도를 평가할 수 있음을 알 수 있다.

2. 신선도 지수의 변화

그림 5-2는 사과 수확후 시간 경과에 따른 신선도 지수의 변화를 나타낸 것이다. 표 5-1과 마찬가지로 약 7일 간격의 매 단계에서 12개의 시료에 대한 평균값을 이용하여 분석한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 푸리에 스펙트럼 영상의 화소치 평균을 신선도 평가를 위한 매개변수(w_3)로 도입하였을 때의 신선도 지수($FI(w_3)$)가 w_2 및 w_4 를 매개변수로 사용한 신선도 지수($FI(w_2)$, $FI(w_4)$)보다 높게 평가되는 것으로 나타났으며, w_4 를 매개변수로 사용하였을 때는 신선도의 변화를 나타내기에는 미흡한 것으로 보인다. 이와 같이 신선도 지수를 산정하기 위해 어떠한 매개변수를 사용하느냐는 신선도 지수의 크기와 경향에 영향을 주는 것으로 나타났다. 종합적으로 그림 2를 통해서는, 서론에서 소개한 바와 같이 Arthey(1975)가 정의하고 있는 신선도의 변화 경향을 표시하기 위해 $FI(w_2)$ 와 $FI(w_3)$ 가 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 다만 본 연구에서 제시하고 있는 신선도 지수는 신선도의 변화 경향을 정량적으로 나타낼 수 있을 뿐이며, 신선도 지수의 절대치에 의미를 부여하기 위해서는 향후 신선도 지수의 표준화에 관한 연구가 요망된다.

이와 같은 신선도 지수를 사용하게 되면, 신선도란 사과 세포의 물리적 및 생화학적 변화를 반영한 결과이므로 그 영향을 직접 반영한 신선도를 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

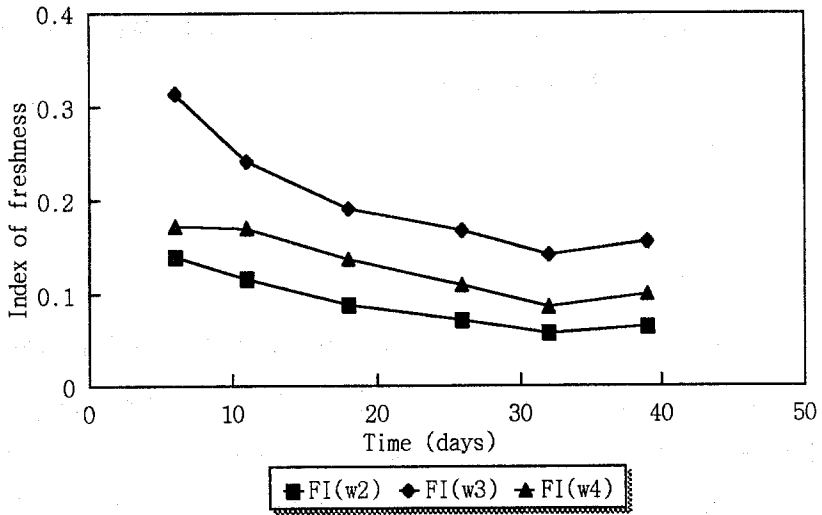


Fig. 5-2. Variation of the apple freshness index with respect to the time elapsed after harvest.

제5절 요약 및 결론

과실·과채의 신선도는 수확 후 저장이나 유통 과정에서 매우 중요한 품질 인자로 인식되어 있음에도 불구하고 정량적인 평가가 미흡한 실정 하에서, 본 연구에서는 사과와 신선도를 정량적으로 평가할 수 있는 표시법을 제시하고자 하였다. 과육 세포의 물리적 및 생화학적 변화를 반영하는 신선도를 평가하기 위하여 세포의 표면 특성을 정량화하는 영상분석기법을 개발하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결과 및 결론은 다음과 같다.

- 1) 세포벽 표면의 상태에 근거한 사과의 신선도 지수를 설정하였다.
- 2) 사과 세포벽 표면의 상태를 나타내는 매개변수를 영상 분석을 이용하여 정량한 결과, 그 매개변수는 수확 후 경과한 시간과 고도로 유의한 상관관계를 보

였다.

- 3) 본 연구에서 제안한 신선도 지수를 사용하게 되면 사과와 신선도를 효과적으로 정량 평가 할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 신선도 지수의 절대적 크기에 의미를 부여하기 위하여 향후 신선도 지수의 표준화에 관한 연구가 요망된다.

여 백

참 고 문 헌

- Arthey, V. D. 1975. Quality of horticultural products. Butterworths & Co
Publisher, Ltd. London.
- Ben-Arie, R., N. Kislev and C. Frenkel. 1979. Ultrastructural changes in the cell
walls of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiol.* 64:197-202.
- Bolin, H. R. and C. C. Huxsoll. 1987. Scanning electron microscope/image
analyzer determination of dimensional postharvest changes in fruit cells. *J.
of Food Science* 52(6):1649-1698.
- Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital image processing.
Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA.
- Lapsley, K. G., F. E. Escher and E. Hoehn. 1992. The cellular structure of
selected apple varieties. *Food Structure* 11:339-349.
- NOESIS. 1991. A tutorial on image processing. Noesis Vision Inc., Quebec,
Canada. p.149-166.
- SAS. 1988. SAS/STAT guide for personal computers, version 6.03. SAS Institute,
Inc., Cary, USA.
- Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. Biochemistry of fruit
ripening. Chapman & Hall, London. p.17-24.
- Trakoontivakorn, G., M. E. Patterson and B. G. Swanson. 1988. Scanning

electron microscopy of cellular structure of granny smith and red delicious apples. Food Microstructure 7:205-212.

USDA. 1978. Market inspection instructions: apples. USDA AMS Fruit and Vegetable Division, Washington, D.C.

제 6 장 방향성과 시간에 따른 압축 특성

제1절 서 론

미국 농무성 시장검사지침서(market inspection instructions)(USDA, 1978)의 사과 항목에서는 품질과 상태에 의해 사과의 등급을 부여하고 있는데, 가장 중요한 상태 인자 중의 하나로 경도가 있다. 경도는 Magness-Taylor pressure tester, Instron testing machine 등을 이용하여 용이하게 측정할 수 있다(Mohsenin, 1986). 특히, ASAE Standard S368.2(ASAE, 1994)에서는 볼록형의 식품재료에 대한 압축시험을 규정하고 있어 사과의 경우도 이 표준시험법에 의거하여 압축시험을 하게 된다.

사과의 압축특성은 이미 많은 연구가 수행되어 잘 알려져 있다. Mohsenin(1986)은 맥킨토시(McIntosh) 사과에 대해서 꽃이 만개한 이후 경과한 일수에 따른 압축 특성을 소개한 바, 항복변형량, 항복강도, 극한변형량, 극한강도 등이 사과의 수확시기가 늦을수록 작은 값을 보여 경과일수와 고도로 유의한 역상관관계를 가진다고 하였다. 김만수 등(1992)은 사과와 배의 힘-변형 특성에 관한 연구에서 후지 사과의 수확직후 생장 방향에 따른 물리적 특성을 분석한 결과, 사과의 꼭지와 중심을 통과하는 축에 대하여 평행한 방향과 수직 방향의 압축변형량과 압축강도는 방향에 따라서 유의한 차이를 보였다고 하였다.

한편, 최근에는 과채류의 경도를 비파괴적으로 측정할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 바, 기계적 진동, 초음파, 레이저 등의 응용이 그 예들이다(Han et al., 1996; Lee et al., 1997). 이와 같은 비파괴적 기술은 과채류의 수확, 수확 후 저장·유통 등의 관리에 효과적으로 이용될 수 있는데, 비파괴적인 방법에 의한 경도측정시 압축시험으로부터 얻어진 자료가 기준자료로 활용되고 있다.

그러나, 사과의 방향성과 수확후 경과시간이 압축특성에 미치는 영향에 관한 자료가 현재 명확히 제시되고 있지 않아서 비파괴적 방법에 의한 경도측정시 기준자료의 설정을 위한 구체적인 검토가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 사과 수확후 경과시간과 사과의 생장 방향에 따른 압축특성을 분석하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 사과 품종은 쓰가루이며, 수확적기에 수확된 사과를 실온에 두면서 사용하였다. 먼저 사과를 수동식 제피기로써 껍질을 제거한 후 Fig. 6-1과 같이 3방향으로 직경 2cm, 지름 2cm의 원통형으로 절단하여 실험에 사용하였다. Fig. 6-1에서 A 방향은 사과의 꼭지와 중심을 통과하는 축에 수직인 방향으로서 사과의 중심을 통과하는 방향(cheek)이고, B 방향은 사과의 꼭지와 중심을 통과하는 축에 평행이지만 사과의 가장 높은 지점을 통과하는 방향(cavity shoulder)이며, C 방향은 A 방향과 유사하나 사과의 중심으로부터 벗어난 방향(off-centered cheek)이나 C 방향의 시편은 심부의 과육을 대상으로 하였다.

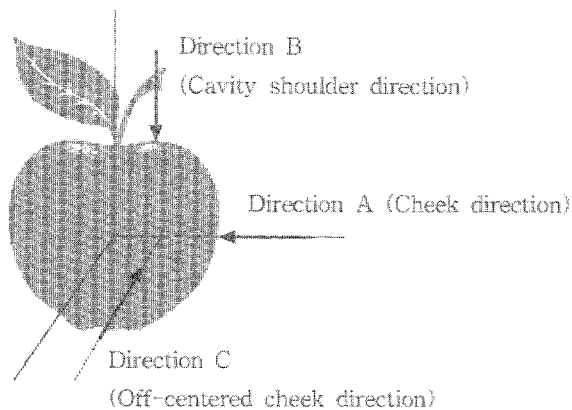


Fig. 6-1. Orientation in apple.

2. 압축 시험

사과의 압축시험은 1주일 간격으로 실시하였으며, 지름 5mm의 실린더형 플런저(plunger)가 장착된 경도계(Sun Rheometer Model COMPAC-100, Sun Scientific Co., LTD., Japan)를 이용하여 극한변형량(rupture deformation)과 파괴력(rupture force)을 측정하였다. 실험에 사용된 경도계는 시료가 탑재된 선반이 운동하는 형태로서 선반의 이송속도는 120mm/min이었다.

3. 통계 분석

수확후 1주일 간격으로 매단계에서 4개의 사과를 취하고 각각의 사과에 대해서 3방향에서 압축시험한 자료를 SAS ver. 6.03을 이용하여 통계분석하였다. 통계분석은 2원 배치의 분산분석으로 하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 경과시간 및 방향성에 따른 극한강도

Fig. 6-2는 사과 수확후 경과시간과 방향성에 따른 과육의 극한강도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 시간이 경과함에 따라 모든 방향에서의 극한강도는 감소하는 경향을 보였다. 특히, B 방향의 극한강도는 시간이 경과함에 따라 감소하더라도 A 방향의 극한강도보다 큰 값을 유지하는 것으로 나타났다.

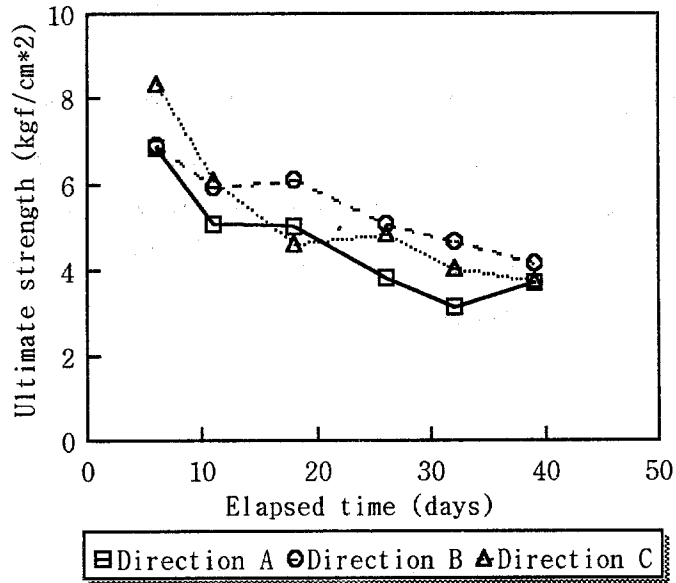


Fig. 6-2. Ultimate strength of apple flesh with respect to elapsed time and orientation.

위와 같은 경향이 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것인지를 분석하기 위하여 분산분석을 하여 Table 6-1에 나타내었다. Table 6-1에서 보는 바와 같이 사과 수확 후 시간경과에 따른 과육의 극한강도는 1% 수준에서 고도로 유의한 변화를 나타낸 반면에, 방향성에 따른 극한강도의 차이는 Fig. 6-1에서 다소의 경향을 보였음에도 불구하고 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

Table 6-1의 결과를 토대로 수확 후 경과시간에 대해서만 Duncan의 다중검정을 분석한 결과를 Table 6-2에 나타내었다. 수확 후 시간이 경과함에 따라서 극한강도는 평균적으로 계속 감소하는 경향을 보인 중에서, 본 연구에서와 같이 수확 후 실온 저장조건하에서는 11일이 경과하였을 때 과육의 극한강도는 5% 수준에서 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 다시 26일 경과하였을 때 유의한 차이를 보였다.

Table 6-1. ANOVA for ultimate strength of apple flesh with respect to orientation and elapsed time.

Source	Degree of freedom	Mean square	F value
Orientation	2	2.816	1.55
Elapsed time	5	17.361	9.55**
Error	59	1.817	

** : Highly significant at the 1% level

Table 6-2. Duncan's multiple range test for ultimate strength of apple flesh with respect to elapsed time.

Elapsed time (days)	Ultimate strength (kg _f /cm ²)	Duncan grouping
6	7.319	a [†]
11	5.643	b
18	5.254	b
26	4.596	bc
32	3.959	c
39	3.905	c

[†]: Means with the same letter are not significantly different at the 5% level.

2. 경과시간 및 방향성에 따른 극한변형량

Fig. 6-3은 사과 수확 후 경과시간과 방향성에 따른 과육의 극한변형량의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 극한변형량의 경향은 극한강도의 경우와는 달리 경과시간과 방향성에 따른 경향을 발견하기가 어려운 것으로 나타났다. 다만, 전체적으로 A 방향의 극한변형량이 B 방향에 비해서 수확 이후 줄곧 큰 값을 가지는 것으로 파악된다.

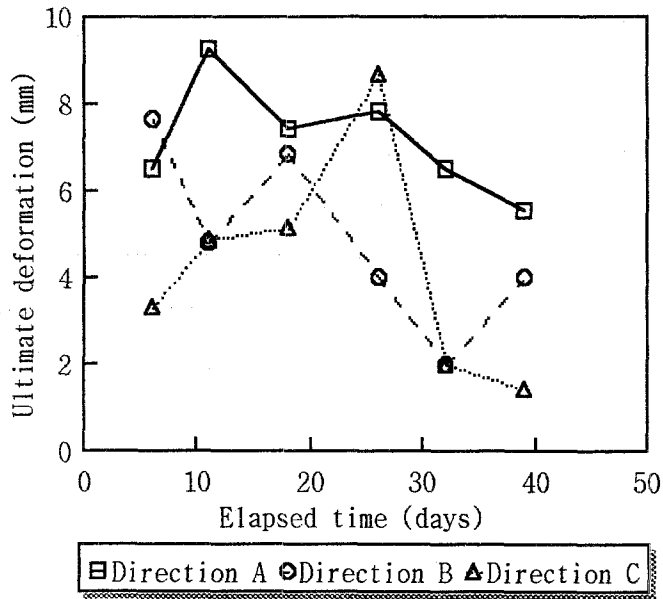


Fig. 6-3. Rupture deformation of apple flesh with respect to elapsed time and orientation.

3. 경과시간과 방향성에 따른 극한강도와 극한변형량의 상관관계

Table 6-3은 사과 수확 후의 경과시간과 사과의 방향성에 따른 과육의 극한변형량과 극한강도의 상관관계를 나타낸 것이다. 극한강도의 경우, A, B 및 C 방향 모두 수확 후 경과시간과는 물론이고 3가지 방향의 극한강도 상호간에도 1% 또는 5% 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 반면에, 과육의 극한변형량의 경우에는 수확 후 경과시간과 방향성에 따른 상관관계가 유의하게 나타나지 않았을 뿐만 아니라 극한강도와의 상관관계도 유의한 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다.

Table 6-3. Correlation of ultimate strength and rupture deformation with respect to elapsed time and orientation.

	ET	Direction A		Direction B		Direction C	
		RD	US	RD	US	RD	US
ET	1.0000	-0.5427 (0.2658)	-0.8927* (0.0166)	-0.7557 (0.0822)	-0.9675** (0.0016)	-0.2949 (0.5705)	-0.8839* (0.0194)
Direction A	RD	1.0000	0.1633 (0.7571)	0.0825 (0.8765)	0.3662 (0.4752)	0.6445 (0.1671)	0.2218 (0.6727)
	US		1.0000	0.9179 (0.0098)	0.9345** (0.0063)	0.0582 (0.9128)	0.9130* (0.0110)
Direction B	RD			1.0000	0.8607 (0.0278)	0.1585 (0.7642)	0.6974 (0.1235)
	US				1.0000	0.2459 (0.6385)	0.8658* (0.0258)
Direction C	RD					1.0000	0.1010 (0.8489)
	US						1.0000

Notes) ET: Time elapsed after harvest (days)

RD: Rupture deformation (mm)

US: Ultimate strength (kgf/cm^2)

(): Significance probability which means "highly significant" when its value is equal to or less than 0.01

*, **: significant and highly significant at the confidence levels of 95% and 99%, respectively

제4절 요약 및 결론

본 연구는 사과 수확 후 경과시간과 사과의 방향성에 따른 과육의 압축특성을 분석하고자 수행되었다. 과육의 극한강도의 경우, 시간이 경과함에 따라 통계적으로 유의한 감소 경향을 보였으며, 사과 꼭지와 중심을 통과하는 축에 평행한 방향의 극한강도는 그 축에 수직인 방향의 극한강도에 비하여 큰 값을 보였다. 그러나, 사과의 방향성이 극한강도에 미치는 영향은 통계적으로 유의한 수준으로 나타나지는 않았다.

과육의 극한변형량의 경우에는 수확 후 시간이 경과함에 따른 경향이 분명하지 않았으나, 전체적으로 사과 꼭지와 중심을 통과하는 축에 평행한 방향의 극한변형량이 그 축에 수직인 방향의 극한변형량보다 작은 값을 가지는 것으로 나타났다.

경과시간과 방향성에 따른 극한강도와 극한변형량의 상관관계에서는 모든 방향의 극한강도는 수확 후 경과시간과는 물론이고 각 방향의 극한강도 상호간에도 유의한 상관관계를 보였으나, 과육의 극한변형량의 경우에는 유의한 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과로부터, 압축 시험에 의해 사과(쓰가루)의 경도를 평가하고자 할 때 명확한 방향성 규정보다는 압축 특성과 관련된 적합한 물성의 선정이 더 중요함을 알 수 있다. 즉, 압축강도는 시간경과에 따른 경도의 변화를 평가하는 데 적합한 물성으로 활용될 수 있는 반면에, 압축변형량은 경도 평가를 위해 적합한 물성이 아님을 판단할 수 있다.

이와 유사하게, 압축 특성과 관련하여 경도 평가에 적합한 인자의 선정은 다른 품종이나 품목에 대해서도 검토되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김만수, 박종민, 최동수. 1992. 과실의 힘-변형 특성. 한국농업기계학회지 17(2):156-170.
- ASAE. 1994. ASAE Standards (41st ed.). The American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, USA.
- Han, Y. J., Cho, Y., Rial, W. S. and Lambert, W. E. 1996. Study on sensing and separation technology for quality inspection of agricultural products. Research Report, Clemson University, USA.
- Lee, J., Han, Y. J. and Cho, Y. 1997. Nondestructive firmness measurement of apples using laser vision system. ASAE Paper No. 97-3081. ASAE, St. Joseph, USA.
- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York, USA.
- SAS. 1988. SAS/STAT Guide for Personal Computers, version 6.03. SAS Institute, Inc., Cary, USA.
- USDA. 1978. Market Inspection Instructions: Apples. USDA AMS Fruit and Vegetable Division, Washington, D.C., USA.

여 백

제 7 장 경도에 의한 선도 평가

제1절 서 론

과실·과채의 선도는 수확 후에도 생명 활동이 지속되는 세포의 특성으로 인하여 중요시 되는 품질 인자이다. 그러나 과실·과채의 품질과 상태를 객관적으로 평가하기 위하여 많은 인자가 도입되어 있음에도 불구하고, 신선도(freshness)란 용어는 사용 빈도가 높은 형편에 비하여 정량적 평가가 미흡한 인자로 알려져 있다.

Arthey(1975)는 신선도란 중요한 품질 특성에 해당된다고 지적하였으며, 상태(state)와 시간(time)의 관점에서 해석될 수 있다고 하였다. 따라서, 신선도란 수확후 소비자가 구매할 때까지 경과한 시간을 의미하며, 또한 수확후 즉시 소비되지 않음으로 인해 생산물이 질적으로 저하된 정도와 관련이 있다고 설명하였다.

Ben-Arie 등(1979)은 사과와 숙성(ripening) 과정에서 나타나는 세포 초미세구조의 변화를 관찰한 결과, 연화가 매우 진전된 단계에서는 세포와 세포를 결합하고 있는 중엽(middle lamella)의 분리가 뚜렷하게 나타났다고 하였다.

Bolin과 Huxsoll(1987)은 사과와 살구의 신선도 저하에 따른 조직감의 연화 정도를 정량화하고자 SEM/IA(scanning electron microscope/image analyzer)를 사용하여 세포의 형태학적 변화를 분석하는 방법을 소개하였다. 사과의 경우, 함수율이 2% 감소하였을 때 세포의 장폭비 및 원형도가 유의하게 다르게 나타났다고 하였다.

Trakoontivakorn 등(1988)은 사과의 숙도를 평가하고자 전자현미경을 이용하여 세포 구조를 분석하였던 바, 영상 분석에 의하여 세포의 면적, 길이 및 세포 간극을 정량하였다. 분석 결과에 의하면, 숙성 사과의 경우 세포 면적 및 세포 간극이 미숙 사과에 비해 더 크게 나타났으며, 숙성 사과의 세포 길이도 더 긴 것으로 나타났다.

Lapsley 등(1992)은 scanning electron microscopy(SEM), cold-stage SEM(cryoSEM) 및 confocal scanning laser microscopy(CSLM)를 이용하여 사과의 조직감(texture)을 평가하기 위하여 세포의 구조를 분석하였다. 3가지 방법 중에서 사과의 생체 세포를 3차원적으로 관찰하기에는 CSLM이 적합하다고 하였다.

이와 같이 선도는 세포의 상태와 밀접한 관계를 가지게 되며, 특히 세포벽의 구

조 변화의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다. 또한, 식물성 재료의 경우, 재료의 기계적 강도는 세포벽의 구조에 의해 영향을 받게 되며, 세포벽이 붕괴될수록 재료의 기계적 강도는 저하되는 것으로 알려져 있는 바, 선도와 기계적 강도는 서로 밀접한 관계를 가지는 것으로 파악되고 있다.

한편, 과실·과채의 압축특성은 이미 많은 연구가 수행되어 잘 알려져 있다. Mohsenin(1986)은 맥킨토시(McIntosh) 사과에 대해서 꽃이 만개한 이후 경과한 일수에 따른 압축특성을 소개한 바, 항복변형량, 항복강도, 극한변형량, 극한강도 등이 사과의 수확시기가 늦을수록 작은 값을 보여 경과일수와 고도로 유의한 역상관관계를 가진다고 하였다. 김만수 등(1992)은 사과와 배의 힘-변형 특성에 관한 연구에서 후지 사과의 수확직후 생장 방향에 따른 물리적 특성을 분석한 결과, 사과의 꼭지와 중심을 통과하는 축에 대하여 평행한 방향과 수직 방향의 압축변형량과 압축강도는 방향에 따라서 유의한 차이를 보였다고 하였다.

그러나, 기계적 강도는 과실·과채의 품목이나 품종에 따라서 고유의 특성을 가지는 바, 기계적 강도와 관련된 인자 중에서 선도와 의 상관성을 밝히는 연구는 매우 미진한 형편이다.

따라서, 본 연구에서는 사과 및 토마토의 압축 특성을 분석하여 신선도를 정량적으로 평가하는 데 유용한 인자를 개발하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험재료

사과는 2가지 품종이 사용되었다. 쓰가루(Tsugaru)는 경기 김포에서 생산된 것으로 1997년 9월 1일에 수확되었다. 수확 후 시료를 실온에 두면서 1주일 간격으로 16개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다. 후지(Fuji)는 강원 춘천에서 생산된 것으로 1997년 10월 31일에 수확되었다. 쓰가루와 동일한 조건에서 10개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다.

토마토(산지: 강원 춘천)의 품종은 모모타로(Momotaro)이며, 청숙과(Mature Green), 중숙과(Turning), 적숙과(Red)으로 구분하여 1997년 10월 6일 수확된 것으로 수확 후 시료를 실온에 두면서 2일 간격으로 6개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다.

2. 압축 시험

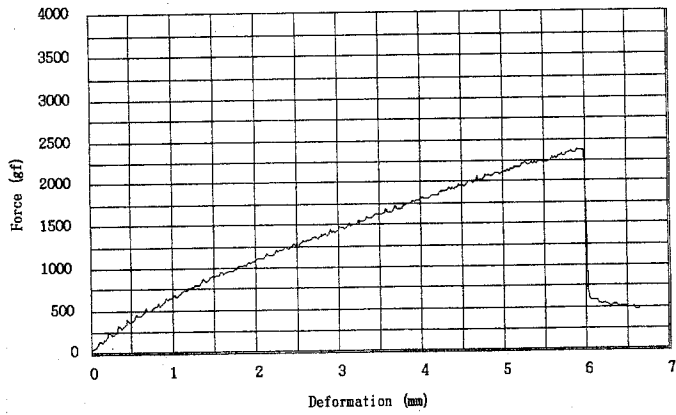
압축 시험에는 지름 5mm의 실린더형 플런저(plunger)가 장착된 경도계(Sun Rheometer Model COMPAC-100, Sun Scientific Co., LTD., Japan)를 사용하였다. 사과와 토마토의 경우, 생물항복변형량(bio-yield deformation), 생물항복력(bio-yield force), 극한변형량(rupture deformation), 극한력(rupture force), 초기탄젠트 탄성계수(initial tangent modulus), 그리고 초기점과 항복점에 대한 활선 탄성계수(secant modulus)를 측정하였다.

토마토의 경우에는 극한변형량(rupture deformation)과 극한력(rupture force), 그리고 초기점과 극한점에 대한 활선 탄성계수를 측정하였다. 실험에 사용된 경도계는 시료가 탑재된 선반이 운동하는 형태로서 선반의 이송속도는 5mm/min로 하였다.

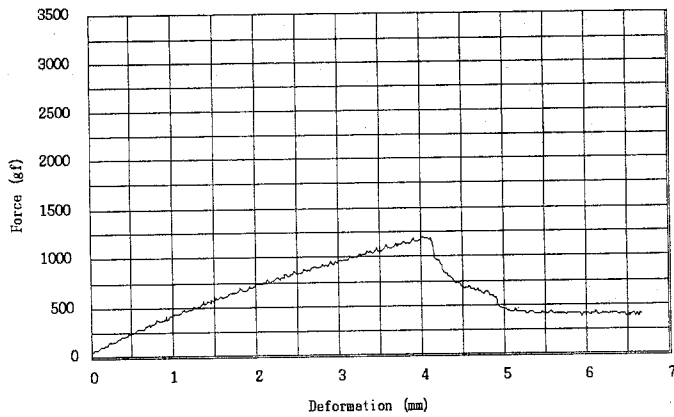
제3절 결과 및 고찰

1. 사과 및 토마토의 힘-변형 곡선

그림 7-1은 청숙과와 적숙과 토마토의 힘-변형 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 압축속도가 5mm/min의 준정적 압축시험조건 하에서 청숙과와 적숙과의 극한력과 극한변형량은 크기가 다르게 나타났지만 힘-변형 곡선의 형태는 유사하게 나타났다. 즉, 청숙과와 적숙과 모두 생물항복점(bio

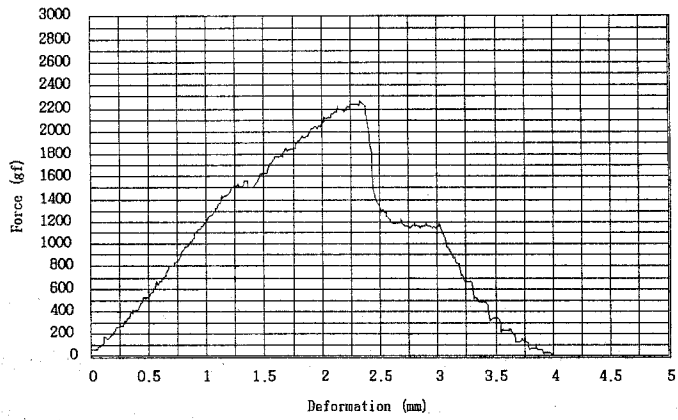


(a) Mature green

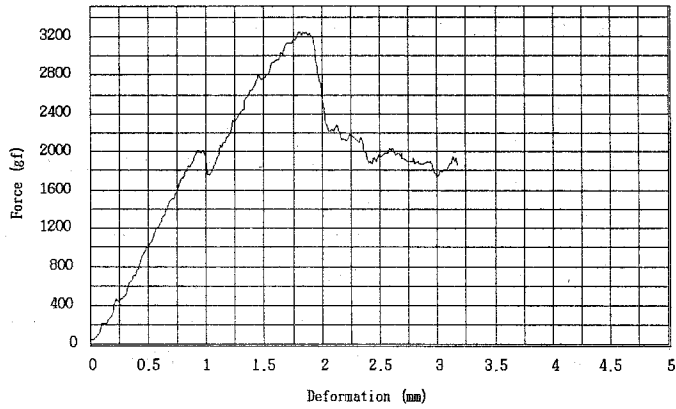


(b) Red

Fig. 7-1. Curves of force-deformation for mature green and red tomatoes.



(a) Tsugaru



(b) Fuji

Fig. 7-2. Curves of force-deformation for tsugaru and fuji apples.

그림 7-2는 쓰가루와 후지 사과의 힘-변형 곡선을 나타낸 것이다. 두 가지 품종 모두 토마토와는 달리 압축속도가 5mm/min의 준정적 압축시험조건 하에서 항복점과 극한점이 모두 선명하게 나타났다.

2. 시간에 따른 사과의 압축 특성

표 7-1은 쓰가루 사과의 수확 후 시간경과에 따른 압축 특성의 분산 분석을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 생물항복력, 극한력, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수는 시간경과에 대해서 통계적으로 고도로 유의한 변화를 보였으나 생물항복변형량 및 극한변형량은 유의성이 나타나지 않았다. 이러한 결과를 살펴볼 때, 농산물의 신선도가 시간경과에 따라 유의하게 변하는 품질 인자를 이용하여 평가될 수 있으므로 쓰가루 사과의 경우 압축 특성을 이용하여 신선도를 정량적으로 평가하기 위해 생물항복력, 극한력, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수가 활용될 수 있음을 알 수 있다(그림 7-3, 7-4 및 7-5 참조).

Table 7-1. ANOVA of compressive properties regarding time for Tsugaru apple.

Compressive property	F value	Pr>F	R ²
Bio-yield deformation	1.85	0.0960	0.0924
Bio-yield force	25.62**	0.0001	0.5850
Rupture deformation	1.20	0.3138	0.0617
Rupture force	63.70**	0.0001	0.7781
Initial tangent modulus	13.11**	0.0001	0.4192
Secant modulus	23.55**	0.0001	0.5644

** : highly significant

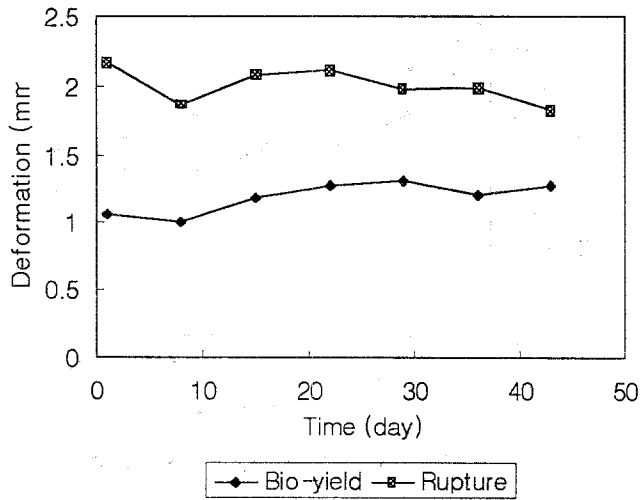


Fig. 7-3. Time versus compressive deformation of Tsugaru apple.

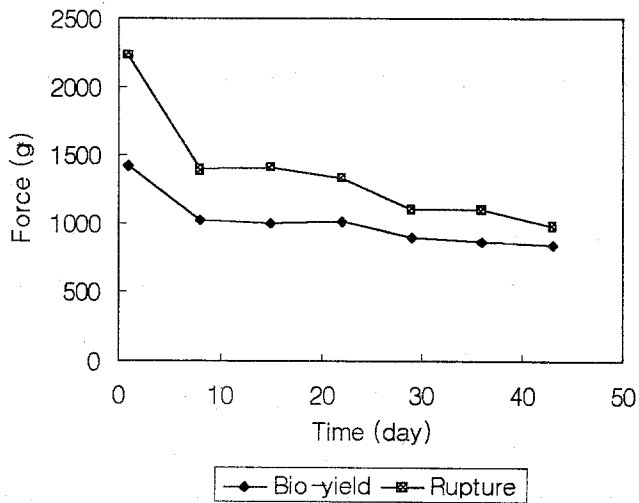


Fig. 7-4. Time versus compressive force of Tsugaru apple.

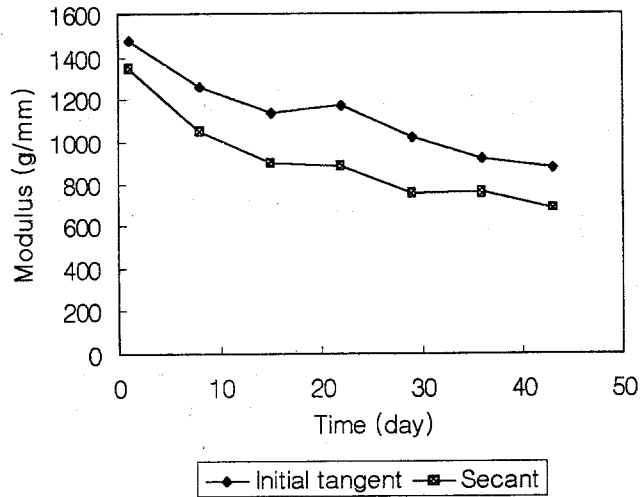


Fig. 7-5. Time versus modulus of Tsugaru apple.

표 7-2는 후지 사과 수확 후 시간경과에 따른 압축 특성의 분산 분석을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 후지 사과의 경우는 쓰가루 사과의 경우와는 달리 생물항복변형량, 극한변형량, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수는 시간경과에 대해서 통계적으로 고도로 유의한 변화를 보였으나 생물항복력은 유의성이 나타나지 않았다. 한편, 극한력은 고도의 유의성을 보이기는 하였으나 생물항복변형량 및 극한변형량의 F-값에 비해 매우 작은 값을 가지는 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 살펴 볼 때, 농산물의 신선도가 시간경과에 따라 유의하게 변하는 품질 인자를 이용하여 평가될 수 있으므로 후지 사과의 경우 압축 특성을 이용하여 신선도를 정량적으로 평가하기 위해 생물항복변형량, 극한변형량, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수가 활용될 수 있음을 알 수 있다(그림 7-6, 7-7 및 7-8 참조).

한편, 후지 사과의 경우에 쓰가루 사과의 경우와는 달리 초기탄젠트 탄성계수와 활선 탄성계수는 서로 거의 같은 값을 가지는 것으로 나타났다.

Table 7-2. ANOVA of compressive properties regarding time for Fuji apple.

Compressive property	F value	Pr>F	R ²
Bio-yield deformation	66.54**	0.0001	0.8661
Bio-yield force	0.37	0.9176	0.0346
Rupture deformation	47.83**	0.0001	0.8230
Rupture force	5.35**	0.0001	0.3421
Initial tangent modulus	57.24**	0.0001	0.8476
Secant modulus	62.10**	0.0001	0.8578

** : highly significant

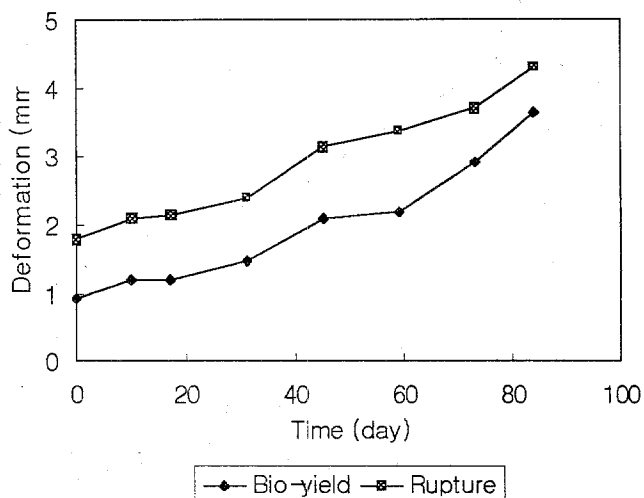


Fig. 7-6. Time versus compressive deformation of Fuji apple.

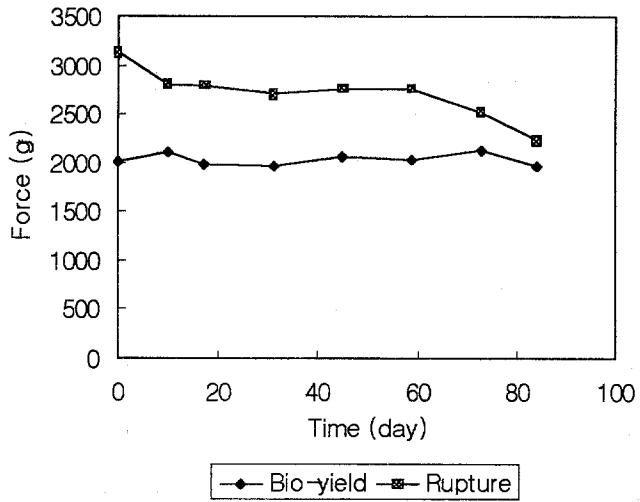


Fig. 7-7. Time versus compressive force of Fuji apple.

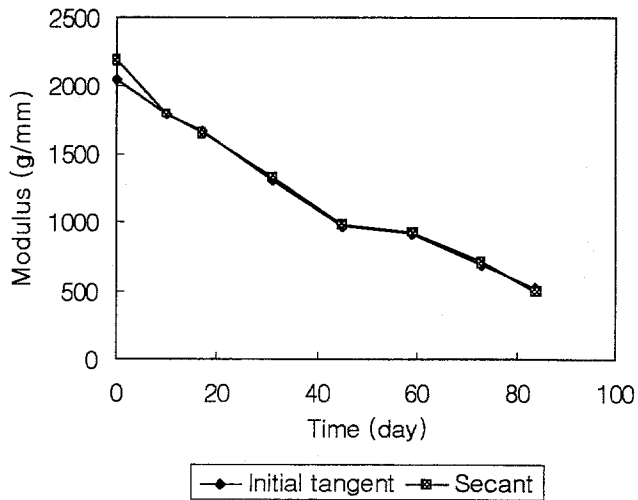


Fig. 7-8. Time versus modulus of Fuji apple.

3. 시간에 따른 토마토의 압축 특성

토마토는 수확 후 짧은 시간 내에 물성이 현저히 변할 뿐만 아니라 수확 시기에 따라서도 물성은 큰 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 청숙과 (Mature Green), 중숙과(Turning), 적숙과(Red)로 구분하여 수확 이후 시간 경과에 따른 압축 특성의 변화를 분석하였고, 아울러 3가지 숙도를 가지는 토마토를 균등하게 혼합된 상태에서 수확 이후 압축 특성의 변화를 분석하였다.

Table 7-3. ANOVA of compressive properties regarding time for Momotaro tomato of Mature Green.

Compressive property	F value	Pr>F	R ²
Rupture deformation	1.56	0.2029	0.2118
Rupture force	13.48**	0.0001	0.6991
Secant modulus	11.16**	0.0001	0.6580

** : highly significant

Table 7-4. ANOVA of compressive properties regarding time for Momotaro tomato of Turning.

Compressive property	F value	Pr>F	R ²
Rupture deformation	3.55*	0.0122	0.3716
Rupture force	3.33*	0.0164	0.3569
Secant modulus	17.29**	0.0001	0.7423

* : significant

** : highly significant

Table 7-5. ANOVA of compressive properties regarding time for Momotaro tomato of Red.

Compressive property	F value	Pr>F	R ²
Rupture deformation	1.60	0.1910	0.2102
Rupture force	3.76**	0.0092	0.3855
Secant modulus	2.32	0.0676	0.2790

** : highly significant

Table 7-6. ANOVA of compressive properties regarding time for Momotaro tomato including all of Mature Green, Turning and Red.

Compressive property	F value	Pr>F	R ²
Rupture deformation	2.12	0.0479	0.1305
Rupture force	18.22**	0.0001	0.5629
Secant modulus	22.79**	0.0001	0.6170

** : highly significant

표 7-3부터 7-6까지는 토마토 수확 후 시간에 따른 압축 특성의 변화에 대한 분석 분석을 나타낸 것이다. 청숙과의 경우, 극한력과 탄성계수가 시간에 따라 통계적으로 고도로 유의한 변화를 보였고, 중숙과의 경우에는 탄성계수가, 그리고 적숙과의 경우에는 극한력이 고도로 유의한 관계를 보였다. 또한, 중숙과의 경우에는 극한 변형량과 극한력은 시간 경과와 유의한 관계를 가지는 것으로 나타났다. 한편, 속도의 구분없이 혼합된 상태에서는 극한력과 탄성계수가 시간 경과와 고도로 유의한 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여, 토마토의 선도를 압축 특성을 이용하여 평가하고자 할 때 극한력 또는 탄성계수를 활용하는 방안이 효과적인 것으로 판단된다(그림 7-9, 7-10 및 7-11 참조).

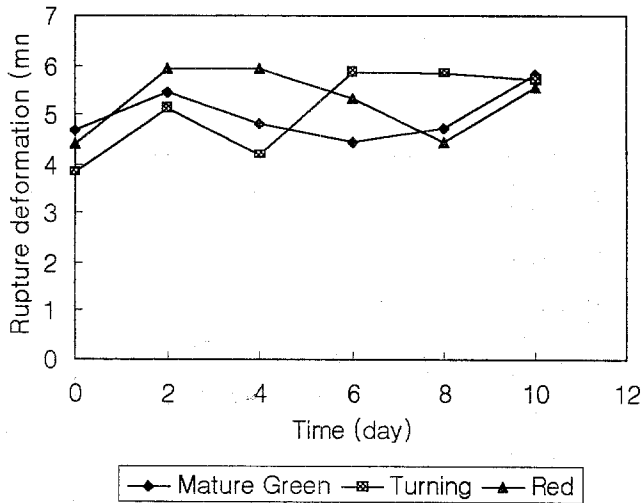


Fig. 7-9. Time versus rupture deformation for tomato.

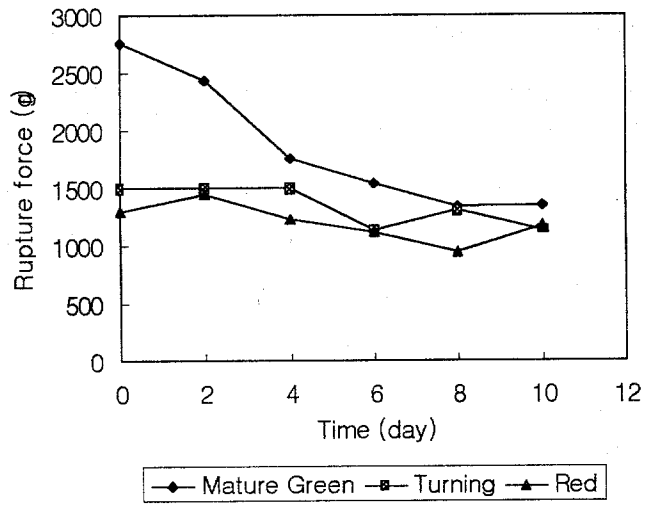


Fig. 7-10. Time versus rupture force for tomato.

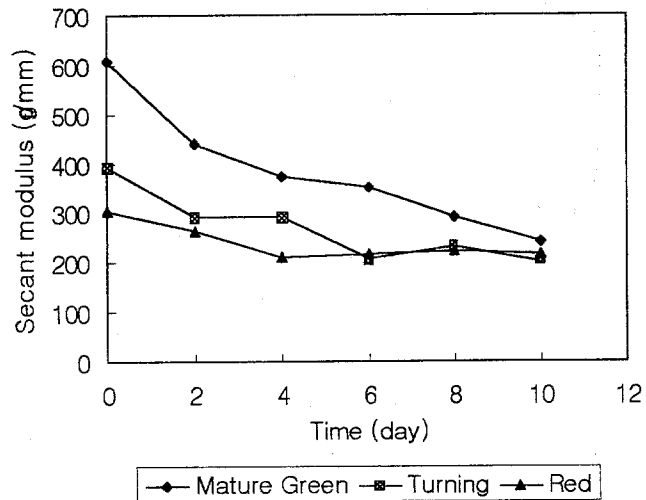


Fig. 7-11. Time versus secant modulus for tomato.

제4절 요약 및 결론

농산물에서 기계적 강도는 과실·과채의 품목이나 품종에 따라서 고유의 특성을 가지는 바, 본 연구에서는 사과 및 토마토의 압축 특성을 분석하여 신선도를 정량적으로 평가하는 데 유용한 인자를 개발하고자 하였다.

직경 5mm의 실린더형 헤드를 사용하여 5mm/min의 속도로 사과와 토마토를 압축 시험한 결과, 사과의 경우에는 생물항복점이 명확히 나타난 반면에 토마토의 경우에는 생물항복점이 나타나지 않았다.

사과의 압축 특성을 이용하여 신선도를 평가하고자 할 때, 품종에 따라서 압축 특성과 관련된 인자가 다른 것으로 나타났다. 즉, 쓰가루 품종의 경우에는 신선도를 정량적으로 평가하기 위해 생물항복력, 극한력, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수가 적합한 것으로 분석된 반면에, 후지 사과의 경우 생물항복변형량, 극한변형량, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수가 적합한 것으로 분석되었다. 한편, 후지 사과의 경우에 쓰가루 사과의 경우와는 달리 초기탄젠트 탄성계수와 활선 탄성계수는 서로 거의 같은 값을 가지는 것으로 나타났다.

토마토의 선도를 압축 특성을 이용하여 평가하고자 할 때는 극한력 또는 탄성계수를 활용하는 방안이 효과적인 것으로 나타났다.

여 백

참 고 문 헌

- 김만수, 박종민, 최동수. 1992. 과실의 힘-변형 특성. 한국농업기계학회지 17(2):156-170.
- Arthey, V. D. 1975. Quality of horticultural products. Butterworths & Co Publisher, Ltd. London.
- ASAE. 1994. ASAE Standards (41st ed.). The American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, USA.
- Ben-Arie, R., N. Kislev and C. Frenkel. 1979. Ultrastructural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. Plant Physiol. 64:197-202.
- Bolin, H. R. and C. C. Huxsoll. 1987. Scanning electron microscope/image analyzer determination of dimensional postharvest changes in fruit cells. J. of Food Science 52(6):1649-1698.
- Lapsley, K. G., F. E. Escher and E. Hoehn. 1992. The cellular structure of selected apple varieties. Food Structure 11:339-349.
- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York, USA.
- Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. Biochemistry of fruit ripening. Chapman & Hall, London. p.17-24.
- Trakoontivakorn, G., M. E. Patterson and B. G. Swanson. 1988. Scanning

electron microscopy of cellular structure of granny smith and red delicious apples. Food Microstructure 7:205-212.

USDA. 1978. Market Inspection Instructions: Apples. USDA AMS Fruit and Vegetable Division, Washington, D.C., USA.

제 8 장 레이저 경도계 개발

제1절 서 론

과실·과채의 선도는 수확 후에도 생명 활동이 지속되는 세포의 특성으로 인하여 중요시 되는 품질 인자이다. 그러나 과실·과채의 품질과 상태를 객관적으로 평가하기 위하여 많은 인자가 도입되어 있음에도 불구하고, 신선도(freshness)란 용어는 사용 빈도가 높은 형편에 비하여 정량적 평가가 미흡한 인자로 알려져 있다.

Ben-Arie 등(1979)은 사과와 살구의 숙성(ripening) 과정에서 나타나는 세포 초미세구조의 변화를 관찰한 결과, 연화가 매우 진전된 단계에서는 세포와 세포를 결합하고 있는 중엽(middle lamella)의 분리가 뚜렷하게 나타났다고 하였다.

Bolin과 Huxsoll(1987)은 사과와 살구의 신선도 저하에 따른 조직감의 연화 정도를 정량화하고자 SEM/IA(scanning electron microscope/image analyzer)를 사용하여 세포의 형태학적 변화를 분석하는 방법을 소개하였다. 사과의 경우, 함수율이 2% 감소하였을 때 세포의 장폭비 및 원형도가 유의하게 다르게 나타났다고 하였다.

Lapsley 등(1992)은 scanning electron microscopy(SEM), cold-stage SEM(cryoSEM) 및 confocal scanning laser microscopy(CSLM)를 이용하여 사과의 조직감(texture)을 평가하기 위하여 세포의 구조를 분석하였다. 3가지 방법 중에서 사과의 생체 세포를 3차원적으로 관찰하기에는 CSLM이 적합하다고 하였다.

이와 같이 세포의 생명 활동이 수확 후에도 지속되는 현상으로 인하여 선도는 세포의 상태와 밀접한 관계를 가지게 되며, 특히 세포벽의 구조 변화의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다. 또한, 식물성 재료의 경우, 재료의 기계적 강도는 세포벽의 구조에 의해 영향을 받게 되며, 세포벽이 붕괴될수록 재료의 기계적 강도는 저하되는 것으로 알려져 있는 바, 선도와 기계적 강도는 서로 밀접한 관계를 가지는 것으로 파악되고 있다.

결국, 농산물의 품질 관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 전수 검사가 바람직한 바, 내부 품질과 관련된 인자를 비파괴적으로 측정할 수 있어야 소기의 성과를 달성할 수 있게 된다.

따라서, 본 연구에서는 사과 및 토마토의 압축 특성을 근거로 하여 내부 품질을 비파괴적으로 측정할 수 있는 기술을 확보하기 위해 레이저를 이용한 과실·과채의 정도 측정 기술을 개발하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험재료

사과는 2가지 품종이 사용되었다. 쓰가루(Tsugaru)는 경기 김포에서 생산된 것으로 1997년 9월 1일에 수확되었다. 수확 후 시료를 실온에 두면서 1주일 간격으로 16개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다. 후지(Fuji)는 강원 춘천에서 생산된 것으로 1997년 10월 31일에 수확되었다. 쓰가루와 동일한 조건에서 10개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다.

토마토(산지: 강원 춘천)의 품종은 모모타로(Momotaro)이며, 청숙과(Mature Green), 중숙과(Turning), 적숙과(Red)으로 구분하여 1997년 10월 6일 수확된 것으로 수확 후 시료를 실온에 두면서 2일 간격으로 6개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다.

2. 레이저 비전 시스템

laser vision system은 laser light source 및 laser holder, 2/3" one-chip color CCD camera(TMC-74, PULNiX America, Inc., USA), color digitizer module(Oculus-TCX, Coreco Inc., Canada)가 장착된 Pentium microcomputer, image display monitor(SuperScan 20, Hitachi, Japan), sample holder, tabletop stand 등으로 구성되었다. 영상분석을 위해 Visilog version 4.1.5(Noesis Vision, Inc., Canada)가 설치되었다. 영상 분석을 위한 알고리즘은 Visilog version

4.1.5(Noesis Vision, Inc., Canada)의 C interpreter를 사용하여 개발하였다.

한편, laser image의 효과적인 focusing을 위하여 11-110 mm zoom lens(SR11110, Avenir, Japan)와 diopter +2의 close-up lens가 image sensor에 장착되었다.

3. 레이저 발생기

본 연구에서 사용된 laser source는 다음 표 1과 같다.

Table 8-1. Specification of three laser light sources to be used in this study.

Manufacturer Model Number	Melles Griot 05-LHR-991	Melles Griot 05-LGR-193
Wavelength	632.8nm	543.5nm
Minimum Output Power	10mW	1.5mW
Beam Diameter	0.65mm	0.63mm
Beam Divergence	1.24mrad	1.26mrad
Cylinder Length	483.9mm	510.3mm
Cylinder Diameter	44.5mm	44.5mm
Operating Voltage	2640V DC	2750V DC
Operating Current	6.5mA	6.5mA

4. 중성 밀도 필터

laser power의 조정을 위해 neutral density filter를 사용하고자 하였다. 본 연구에서는 precision metallic neutral density filters (Melles Griot, Model 03-FSG-013)를 사용하였다. 이 filter set은 0.04, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 및 3.0의 optical density

value를 가지고 있다.

laser power의 조정은 다음과 같은 식에 이론적 근거를 두고 있다.

$$OD = \log(1/T), \text{ or } T = 10^{-OD}$$

여기서, OD: optical density

T: transmittance

$$P_o = P_i \cdot 10^{-OD}$$

여기서, P_o : the optical power level after the neutral density filter

P_i : the optical power of the laser output.

본 연구에서 사용된 laser source의 power는, green laser의 경우 2.08mW였고, red laser의 경우는 1.74mW와 11.5mW였다.

5. 압축 시험

압축 시험에는 지름 5mm의 실린더형 플런저(plunger)가 장착된 경도계(Sun Rheometer Model COMPAC-100, Sun Scientific Co., LTD., Japan)를 사용하였다. 사과와 감의 경우, 생물항복변형량(bio-yield deformation), 생물항복력(bio-yield force), 극한변형량(rupture deformation), 극한력(rupture force), 초기탄젠트 탄성계수(initial tangent modulus), 그리고 초기점과 항복점에 대한 활선 탄성계수(secant modulus)를 측정하였다.

토마토의 경우에는 극한변형량(rupture deformation)과 극한력(rupture force), 그리고 초기점과 극한점에 대한 활선 탄성계수를 측정하였다. 실험에 사용된 경도계는 시료가 탑재된 선반이 운동하는 형태로서 선반의 이송속도는 5mm/min로 하였다.

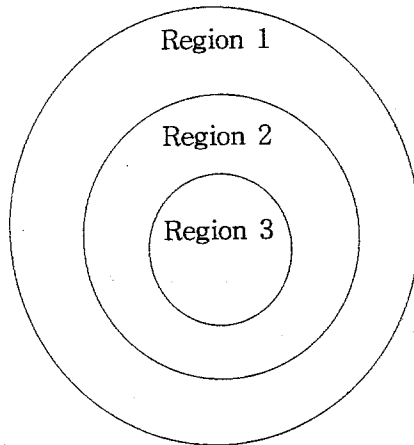
제3절 결과 및 고찰

1. 레이저 산란도의 정량화

레이저는 집중성을 가지는 단파장의 에너지원으로서 생물재료에 대해서 침투성이 매우 양호한 성질을 가지고 있을 뿐만 아니라 광원의 단면이 통계학의 정규분포 모양과 같은 Gaussian profile을 가지고 있다. 본 연구에서는 사과 및 토마토 표면에 형성된 레이저 영상을 특성화하기 위하여 원시 컬러영상을 적색, 녹색 및 청색 성분으로 분해하고, 각각의 단색 영상에 대해서 threshold operation을 이용하여 포화된 화소치를 가지는 영역으로 분할한 후 다시 합성하여 각 색상 성분이 포화된 영역별로 최종 영상을 얻었다. 본 연구에서 이와 같은 laser를 사과 및 토마토에 대해서 적용한 결과, laser image는 그림 8-1 및 8-2와 같은 특성을 가지는 것으로 분석되었다. 그림 8-3부터 8-6까지는 사과 및 토마토 표면에서 형성된 레이저 영상과, 본 연구에서 개발된 영상처리기법에 의해 각 색상 성분이 포화된 영역을 표시하는 가공 영상을 나타낸 것이다.

영상 분석에 의하면, 그림 8-1과 8-2에 표시한 바와 같이 레이저의 종류에 따라서 색상의 각 성분이 포화되어 나타나는 영역이 독특한 특징을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 패턴은 사과와 토마토에서 모두 동일하게 나타났을 뿐만 아니라 사과와 토마토의 껍질 표면 색상에 무관하게 나타났으며, 단지 laser image에서 각 색상 성분이 포화되어 나타나는 영역의 크기가 다르게 나타나는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 과채류 세포의 상태 즉, 세포의 표면조직감, 세포의 팽압, 세포 간극 등에 의해 각 단색의 포화 영역이 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 과채류에 대한 레이저 반응을 활용하게 되면 과채류의 신선도나 경도를 비파괴적으로 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

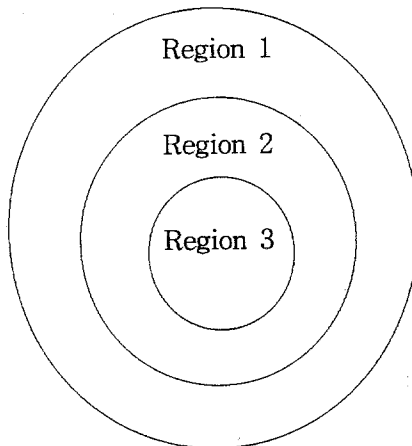


Region 1: Region where green component only was saturated.

Region 2: Region where green and blue components were saturated.

Region 3: Region where all of green, blue and red components were saturated.

Fig. 8-1. The characteristics of a laser image generated by green laser.

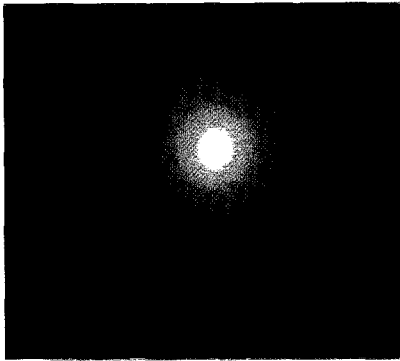


Region 1: Region where red component only was saturated.

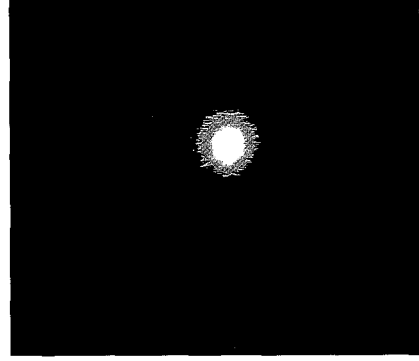
Region 2: Region where red and green components were saturated.

Region 3: Region where all of red, green and blue components were saturated.

Fig. 8-2. The characteristics of a laser image generated by red laser.



(a) original image

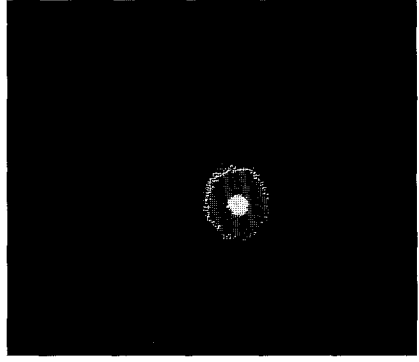


(b) processed image

Fig. 8-5. Images generated by a green laser with 543.5nm and 2.08mW on Tsugaru tomato.



(a) original image

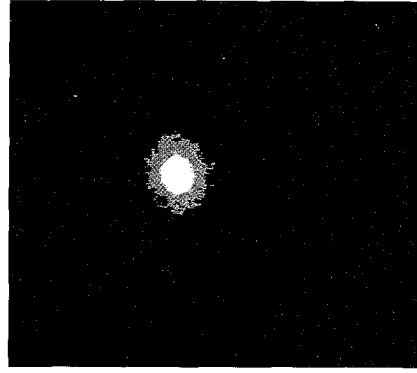


(b) processed image

Fig. 8-6. Images generated by a red laser with 632.8nm and 1.74mW on Tsugaru tomato.

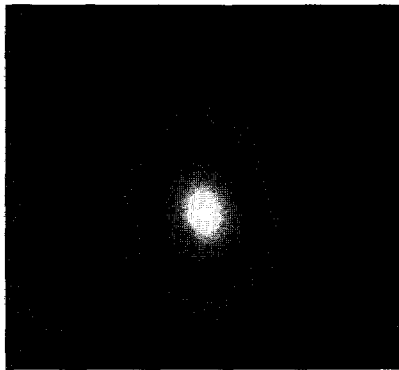


(a) original image

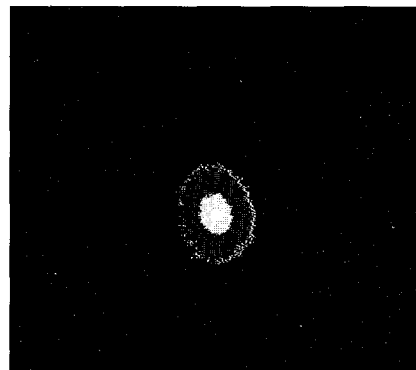


(b) processed image

Fig. 8-3. Images generated by a green laser with 543.5nm and 2.08mW on Fuji apple.



(a) original image



(b) processed image

Fig. 8-4. Images generated by a red laser with 632.8nm and 1.74mW on Fuji apple.

2. 레이저 산란도를 이용한 경도 모형 개발

표 8-2에서 4는 사과 및 토마토에 대해서 레이저 비전으로부터 추출된 영역(그림 8-1 및 8-2 참조)의 상대적 크기인 포화 영역의 면적비(area ratio)를 다음과 같이 정의하였을 때, 경도를 측정하는 모형을 나타낸 것이다.

$$R_{12} = \frac{\text{Area of region 1}}{\text{Area of region 2}}$$

$$R_{13} = \frac{\text{Area of region 1}}{\text{Area of region 3}}$$

$$R_{23} = \frac{\text{Area of region 2}}{\text{Area of region 3}}$$

한편, 표 8-5에서 7은 사과 및 토마토에 대해서 각 색상 성분의 포화 영역의 상대 면적(relative area)을 다음과 같이 정의한 경우의 경도 모형을 나타낸 것이다.

$$A_1 = \frac{\text{Area of region 1}}{\text{Area of region 1, 2 and 3}}$$

$$A_2 = \frac{\text{Area of region 2}}{\text{Area of region 1, 2 and 3}}$$

$$A_3 = \frac{\text{Area of region 3}}{\text{Area of region 1, 2 and 3}}$$

Table 8-2. Models with area ratio for measurement of firmness when the green laser module with power of 2.08mW and wavelength of 543.5nm was used.

Commodity	Regression Equation	R ²
Apple (Tsugaru)	$BD = 6.75 - 0.856R_{12} + 4.45R_{13} - 28.4R_{23}$	0.1854
	$BF = -5340 - 908R_{12} - 5170R_{13} + 35400R_{23}$	0.2294
	$RD = 3.40 - 0.168R_{12} + 0.326R_{13} - 3.63R_{23}$	0.2123
	$RF = -14400 + 2330R_{12} - 13300R_{13} + 89000R_{23}$	0.2264
	$IM = 878 + 18.8R_{12} - 381R_{13} + 3080R_{23}$	0.0604
	$SM = -6810 + 1130R_{12} - 6310R_{13} + 42000R_{23}$	0.1127
Apple (Fuji)	$BD = 16.1 - 1.23R_{12} + 6.30R_{13} - 71.8R_{23}$	0.0991
	$BF = 3050 - 109R_{12} + 709R_{13} - 6620R_{23}$	0.0338
	$RD = 24.7 - 2.10R_{12} + 12.5R_{13} - 128R_{23}$	0.1033
	$RF = 5350 - 390R_{12} + 2970R_{13} - 22500R_{23}$	0.1507
	$IM = -15800 + 1560R_{12} - 9570R_{13} + 102000R_{23}$	0.2110
	$SM = -14700 + 1430R_{12} - 8770R_{13} + 96000R_{23}$	0.1925
Tomato (Momotaro)	$RD = 11.7 - 0.323R_{12} + 0.245R_{13} - 22.1R_{23}$	0.3950
	$RF = 1650 - 118R_{12} + 829R_{13} - 2510R_{23}$	0.1464

(Notes) BD: bioyield deformation (mm) BF: bioyield force (g)
RD: rupture deformation (mm) RF: rupture force (g)
IM: Initial tangent modulus (g/mm) SM: secant modulus (g/mm)

Table 8-3. Models with area ratio for measurement of firmness when the red laser module with power of 1.74mW and wavelength of 632.8nm was used.

Commodity	Regression Equation	R ²
Apple (Tsugaru)	$BD = 2.41 - 0.465R_{12} + 0.0632R_{13} - 0.192R_{23}$	0.6997
	$BF = 21400 - 5250R_{12} + 504R_{13} - 1970R_{23}$	0.9075
	$RD = 7.57 - 1.42R_{12} + 0.134R_{13} - 0.528R_{23}$	0.1989
	$RF = 41400 - 10200R_{12} + 975R_{13} - 3830R_{23}$	0.8896
	$IM = 19400 - 4720R_{12} + 445R_{13} - 1730R_{23}$	0.7581
	$SM = 18700 - 4490R_{12} + 418R_{13} - 1660R_{23}$	0.9107
Apple (Fuji)	$BD = 15.5 - 3.89R_{12} + 0.710R_{13} - 2.74R_{23}$	0.9120
	$BF = 717 + 279R_{12} - 32.5R_{13} + 151R_{23}$	0.0646
	$RD = 4.62 - 1.32R_{12} + 0.385R_{13} - 1.25R_{23}$	0.9068
	$RF = -1990 + 1200R_{12} - 205R_{13} + 842R_{23}$	0.6139
	$IM = 10700 - 1390R_{12} + 58.3R_{13} - 635R_{23}$	0.8662
	$SM = 11500 - 1550R_{12} + 70.9R_{13} - 696R_{23}$	0.8234
Tomato (Momotaro)	$RD = 2.55 + 0.287R_{12} - 0.00545R_{13} + 0.0413R_{23}$	0.1327
	$RF = -141 + 295R_{12} - 11.0R_{13} + 102R_{23}$	0.5817

(Notes) BD: bioyield deformation (mm) BF: bioyield force (g)
RD: rupture deformation (mm) RF: rupture force (g)
IM: Initial tangent modulus (g/mm) SM: secant modulus (g/mm)

Table 8-4. Models with area ratio for measurement of firmness when the red laser module with power of 11.5mW and wavelength of 632.8nm was used.

Commodity	Regression Equation	R ²
Apple (Tsugaru)	$BD = 3.66 - 0.944R_{12} + 0.0679R_{13} - 0.157R_{23}$	0.7441
	$BF = 5960 - 1040R_{12} + 120R_{13} - 551R_{23}$	0.7895
	$RD = 0.0515 + 0.689R_{12} - 0.0910R_{13} + 0.273R_{23}$	0.4646
	$RF = 11500 - 2110R_{12} + 243R_{13} - 1120R_{23}$	0.7702
	$IM = -882 + 1020R_{12} - 72.5R_{13} + 97.6R_{23}$	0.7426
	$SM = 2200 + 130R_{12} + 17.9R_{13} - 235R_{23}$	0.8393
Apple (Fuji)	$BD = 1.12 - 1.24R_{12} + 0.298R_{13} - 0.503R_{23}$	0.7856
	$BF = 7700 - 1440R_{12} + 159R_{13} - 621R_{23}$	0.3903
	$RD = -3.29 + 0.206R_{12} + 0.156R_{13} + 0.0115R_{23}$	0.8626
	$RF = 11600 - 1930R_{12} + 193R_{13} - 917R_{23}$	0.5106
	$IM = 19900 - 3890R_{12} + 341R_{13} - 1730R_{23}$	0.8457
	$SM = 23500 - 4780R_{12} + 437R_{13} - 2110R_{23}$	0.8153
Tomato (Momotaro)	$RD = -1.02 + 1.68R_{12} - 0.0999R_{13} + 0.381R_{23}$	0.2000
	$RF = 4230 - 519R_{12} + 8.76R_{13} - 46.9R_{23}$	0.5545

(Notes) BD: bioyield defomation (mm) BF: bioyield force (g)
RD: rupture deformation (mm) RF: rupture force (g)
IM: Initial tangent modulus (g/mm) SM: secant modulus (g/mm)

Table 8-5. Models with relative area for measurement of firmness when the green laser module with power of 2.08mW and wavelength of 543.5nm was used.

Commodity	Regression Equation	R ²
Apple (Tsugaru)	$BD = 1.35 - 0.786A_1 + 3.05A_2$	0.0662
	$BF = -416 + 1040A_1 + 11200A_2$	0.1873
	$RD = 2.66 - 2.05A_1 + 4.95A_2$	0.2064
	$RF = -1010 + 1160A_1 + 22300A_2$	0.1631
	$IM = 688 - 178A_1 + 6610A_2$	0.0623
	$SM = -238 + 1080A_1 + 7450A_2$	0.0617
Apple (Fuji)	$BD = 13300 - 13300A_1 - 13200A_2 - 13300A_3$	0.4029
	$BF = 119000 - 117000A_1 - 117000A_2 - 117000A_3$	0.0057
	$RD = 14200 - 14200A_1 - 14200A_2 - 14200A_3$	0.4557
	$RF = -3470000 + 3470000A_1 + 3470000A_2 + 3470000A_3$	0.4048
	$IM = -9370000 + 9370000A_1 + 9380000A_2 + 9360000A_3$	0.5799
	$SM = -10100000 + 10100000A_1 + 10100000A_2 + 10100000A_3$	0.5977
Tomato (Momotaro)	$RD = -18000 + 18000A_1 + 18000A_2 + 18000A_3$	0.3982
	$RF = -10300000 + 10300000A_1 + 10300000A_2 + 10300000A_3$	0.2701

(Notes) BD: bioyield deformation (mm) BF: bioyield force (g)
 RD: rupture deformation (mm) RF: rupture force (g)
 IM: Initial tangent modulus (g/mm) SM: secant modulus (g/mm)

Table 8-6. Models with relative area for measurement of firmness when the red laser module with power of 1.74mW and wavelength of 632.8nm was used.

Commodity	Regression Equation	R ²
Apple (Tsugaru)	$BD = -359 + 361A_1 + 359A_2 + 342A_3$	0.6809
	$BF = 1300000 - 1300000A_1 - 1300000A_2 - 1300000A_3$	0.8726
	$RD = 469 - 467A_1 - 467A_2 - 452A_3$	0.2101
	$RF = 2440000 - 2450000A_1 - 2440000A_2 - 2340000A_3$	0.8581
	$IM = 2290000 - 2290000A_1 - 2280000A_2 - 2240000A_3$	0.9606
	$SM = 1580000 - 1580000A_1 - 1580000A_2 - 1530000A_3$	0.9647
Apple (Fuji)	$BD = -2270 + 2280A_1 + 2250A_2 + 2100A_3$	0.8027
	$BF = -193000 + 196000A_1 + 195000A_2 + 195000A_3$	0.1008
	$RD = -1350 + 1360A_1 + 1330A_2 + 1190A_3$	0.8486
	$RF = 1220000 - 1220000A_1 - 1210000A_2 - 1170000A_3$	0.6171
	$IM = 714000 - 719000A_1 - 699000A_2 - 610000A_3$	0.8404
	$SM = 921000 - 926000A_1 - 904000A_2 - 815000A_3$	0.8017
Tomato (Momotaro)	$RD = +2240 - 2230A_1 - 2250A_2 - 2240A_3$	0.1105
	$RF = -13000000 + 13000000A_1 + 13100000A_2 + 13000000A_3$	0.5254
(Notes) BD: bioyield deformation (mm) BF: bioyield force (gr)		
RD: rupture deformation (mm) RF: rupture force (gr)		
IM: Initial tangent modulus (g/mm) SM: secant modulus (g/mm)		

Table 8-7. Models with relative area for measurement of firmness when the red laser module with power of 11.5mW and wavelength of 632.8nm was used.

Commodity	Regression Equation	R ²
Apple (Tsugaru)	$BD=1100-1100A_1-1100A_2-1120A_3$	0.9015
	$BF=-39400+40600A_1+34500A_2+91900A_3$	0.8173
	$RD=-53.3+54.1A_1+58.1A_2+69.3A_3$	0.6003
	$RF=-309000+310000A_1+297000A_2+419000A_3$	0.8000
	$IM=-299000+301000A_1+293000A_2+351000A_3$	0.6917
	$SM=-655000+657000A_1+647000A_2+717000A_3$	0.8543
Apple (Fuji)	$BD=-8970+8990A_1+8950A_2+8790A_3$	0.8374
	$BF=85600-83900A_1-82100A_2-85600A_3$	0.0532
	$RD=-5810+5820A_1+5780A_2+5640A_3$	0.8560
	$RF=2090000-2090000A_1-2090000A_2-2050000A_3$	0.4737
	$IM=1540000-15540000A_1-1520000A_2-1430000A_3$	0.7579
	$SM=1330000-1330000A_1-1320000A_2-1220000A_3$	0.7109
Tomato (Momotaro)	$RD=-5250+526A_1+5250A_2+5340A_3$	0.0613
	$RF=1630000-1630000A_1-1620000A_2-1590000A_3$	0.6726

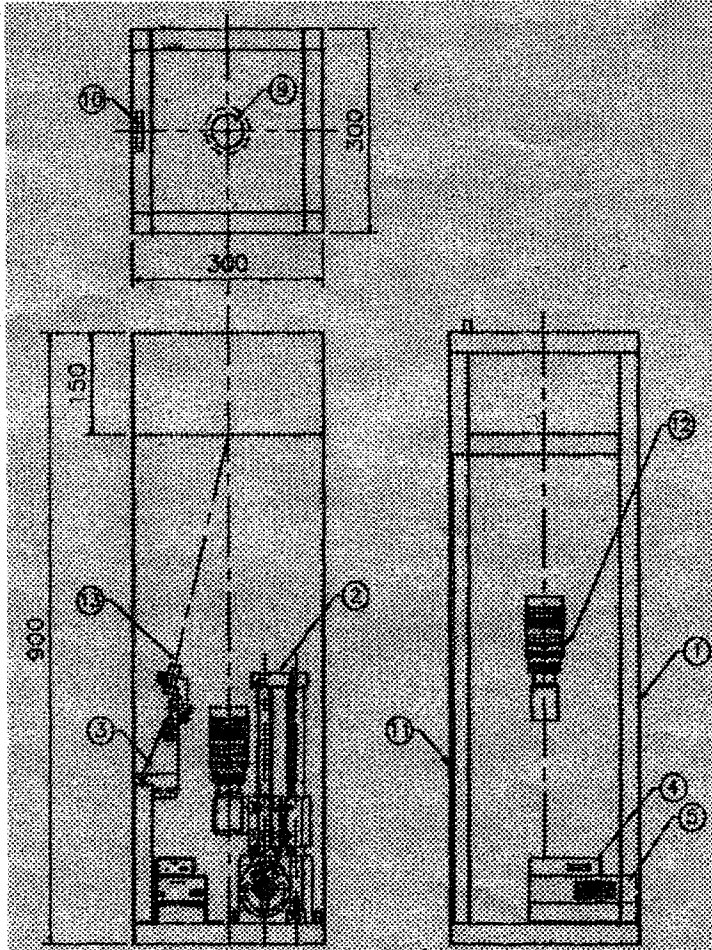
(Notes) BD: bioyield deformation (mm) BF: bioyield force (g_f)
RD: rupture deformation (mm) RF: rupture force (g_f)
IM: Initial tangent modulus (g_f/mm) SM: secant modulus (g_f/mm)

표 8-2부터 8-7까지에서 보는 바와 같이 녹색 레이저보다는 적색 레이저를 이용하여 사과 및 토마토의 레이저 산란도를 측정하는 방법이 효과적인 것으로 분석되었다. 한편, 녹색 레이저를 이용하는 경우 레이저 출력의 영향은 작은 편이었으나 11.5mW보다는 1.74mW의 경우가 약간 더 양호하게 경도를 측정할 수 있는 것으로 나타났다.

표와 같은 결과로부터, 사과 및 토마토의 경도를 레이저를 이용하여 효과적으로 측정하기 위해서는 무엇보다도 농산물의 종류에 따른 유의한 압축 특성 인자를 근거로 하여 측정해야 하는 것으로 나타났다. 즉, 사과의 경우, 쓰가루 품종에 대해서는 생물항복력, 극한력, 탄성계수 등이 레이저 산란을 이용하여 유의하게 측정될 수 있으며, 후지 품종에 대해서는 생물항복변형량, 극한변형량, 탄성계수 등이 유의하게 측정될 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 토마토의 경우는 레이저 산란을 이용하여 극한력을 측정하는 방법이 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 제7장의 사과 및 토마토에 대한 압축 특성 중에서 시간 경과에 따라 유의하게 평가될 수 있는 인자는 농산물의 품목 및 품종별로 다른 것으로 나타난 결과와 일치하는 것이다.

3. 레이저 경도계 개발

그림 8-7은 본 연구를 통해 개발된 레이저 경도계의 개략도를 나타낸 것이고, 표 8-8은 레이저 경도계의 사양을 나타낸 것이다. 레이저 산란도를 정량하는 방법으로 과실·과채의 경도를 비파괴적으로 측정할 수 있는 레이저 경도계를 개발하였다. 레이저 경도계는 휴대용 컴퓨터, PCMCIA형 프레임그래버(frame grabber), 레이저 발생기, 소형 칼라CCD카메라, 렌즈시스템, 시료대가 포함된 암실본체, 영상처리소프트웨어, 충전용전원장치 등으로 구성하였다. 암실본체는 초점거리 조절장치 및 레이저 조사각 조절장치가 포함되도록 구성하였다.



① Rack, ② Camera, ③ & ⑬ Laser generator, ④ & ⑤ Battery chargers, ⑨ Window for measurement, ⑩ Cover, ⑫ Lens system

Fig. 8-7. Laser firmness tester developed in this study.

Table 8-8. Specifications of laser firmness tester developed in this study.

항 목	사 양
Portable computer	삼성 S600T-162 (Notebook computer) - 166MHz - 32Mb memory - 2.1 Gb HDD
PCMCIA frame grabber	MRT VideoPort Professional Imaging Card - Image type: NTSC (composite) - Image size: 486x576 pixels - Resolution: 16 bits per pixel (Y-Cr-Cb) - Transfer rate: max. 8Mbyte/second
CCD color camera	삼성 CCS-212 - Pick-up element: 1/3 inch CCD - Input voltage: DC 12V - Lens mount: C mount - Total picture elements: 410,000
Image analysis software	Noesis Visilog
Laser module & Density filter	Melles Griot 05-LHR-991 - Wavelength: 632.8 nm - Output power: 1.74 mW - Beam diameter: 0.65 mm

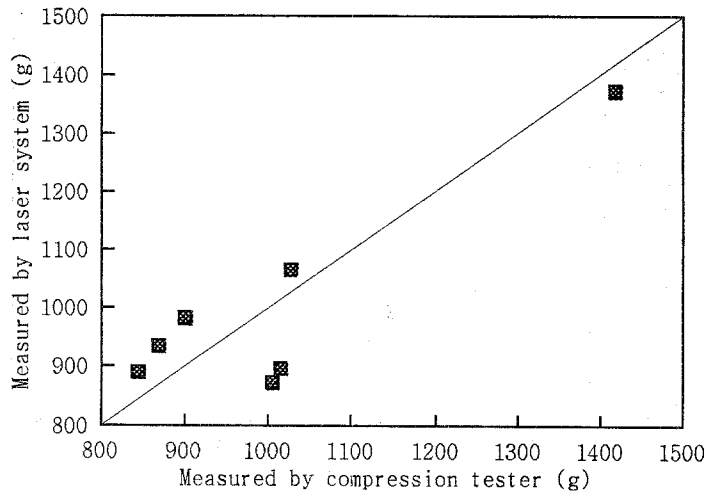


Fig. 8-8. Comparison of bioyield forces measured by laser system and compression tester for Tsugaru apple ($R^2=0.90$).

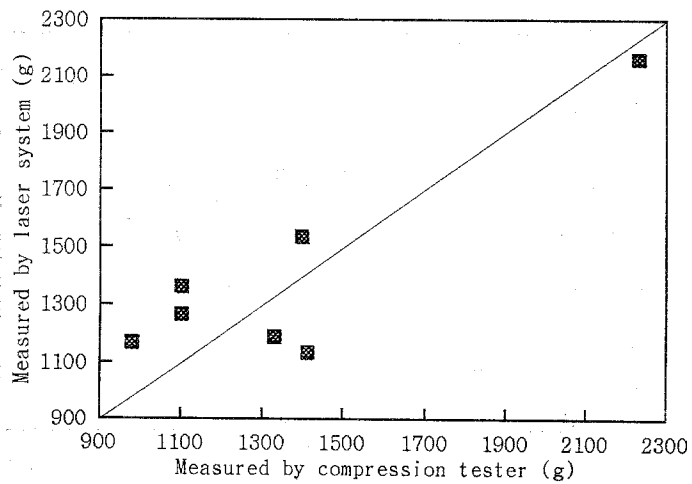


Fig. 8-9. Comparison of rupture forces measured by laser system and compression tester for Tsugaru apple ($R^2=0.89$).

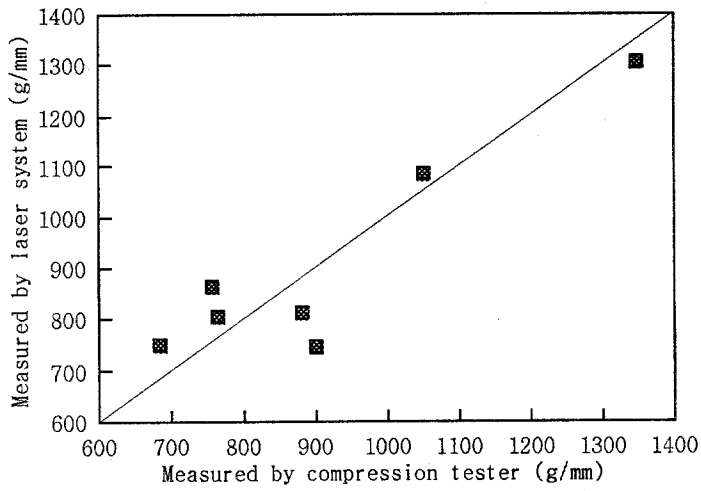


Fig. 8-10. Comparison of secant moduli measured by laser system and compression tester for Tsugaru apple ($R^2=0.91$).

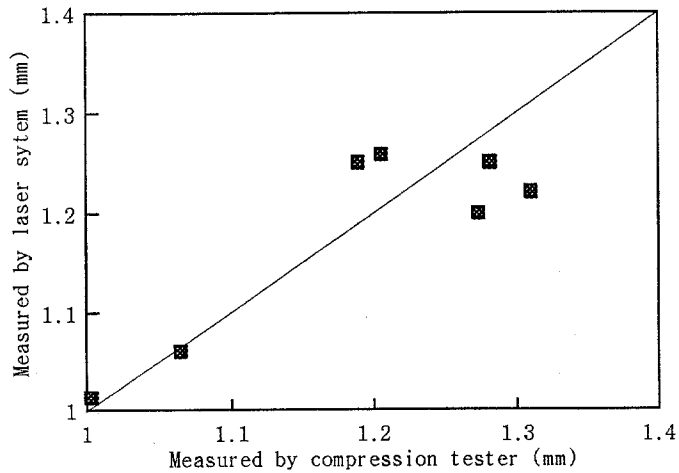


Fig. 8-11. Comparison of bioyield deformations measured by laser system and compression tester for Fuji apple ($R^2=0.91$).

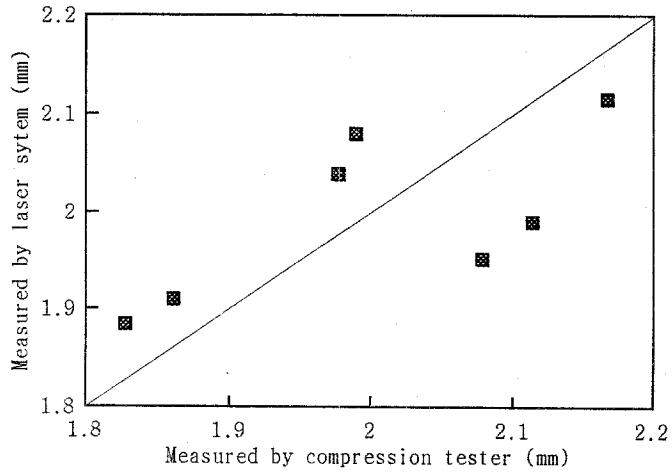


Fig. 8-12. Comparison of rupture deformations measured by laser system and compression tester for Fuji apple ($R^2=0.91$).

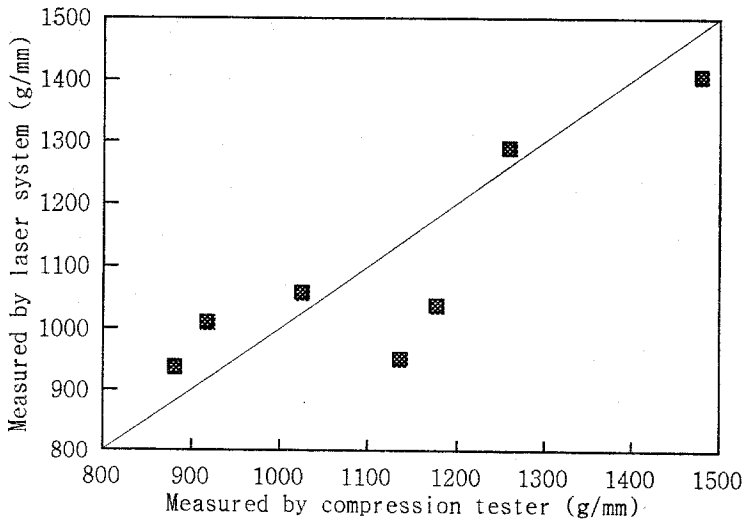


Fig. 8-13. Comparison of secant moduli measured by laser system and compression tester for Fuji apple ($R^2=0.82$).

그림 8-8부터 8-13까지는 본 연구에서 개발된 레이저 경도계를 사용하여 측정된 경도 특성값과 전통적인 압축 시험에 의해 측정된 경도 특성값을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 비파괴 측정장치인 레이저 경도계에 의한 측정값은 전통적 파괴 방법인 압축 시험에 의한 측정값과 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

따라서, 본 연구를 통해 개발된 레이저 경도계는 산업적인 활용성이 매우 높은 것으로 판단된다.

제4절 요약 및 결론

본 연구에서는 사과 및 토마토의 압축 특성을 근거로 하여 내부 품질을 비파괴적으로 측정할 수 있는 기술을 확보하기 위해 레이저를 이용한 과실·과채의 경도 측정 기술을 개발하고자 하였다.

사과 및 토마토의 경도를 레이저를 이용하여 효과적으로 측정하기 위해서는 무엇보다도 농산물의 종류에 따른 유의한 압축 특성 인자를 근거로 하여 측정해야 하는 것으로 나타났다. 즉, 사과의 경우, 쓰가루 품종에 대해서는 생물항복력, 극한력, 탄성계수 등이 레이저 산란을 이용하여 유의하게 측정될 수 있으며, 후지 품종에 대해서는 생물항복변형량, 극한변형량, 탄성계수 등이 유의하게 측정될 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 토마토의 경우는 레이저 산란을 이용하여 극한력을 측정하는 방법이 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 사과 및 토마토에 대한 압축 특성 중에서 시간 경과에 따라 유의하게 평가될 수 있는 인자는 농산물의 품목 및 품종 별로 다른 것으로 나타난 결과와 일치하는 것이다.

이와 같은 결과를 바탕으로 레이저 경도계를 개발한 바, 비파괴 측정장치인 레이저 경도계에 의한 측정값은 전통적 파괴 방법인 압축 시험에 의한 측정값과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구를 통해 개발된 레이저 경도계는 산업적인 활용성이 매우 높은 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Abbott, J. A. 1994. Transmission, Magness-Taylor, and compression. *Journal of Society of Horticultural Science* 119(3):510-515.
- Ben-Arie, R., N. Kislev and C. Frenkel. 1979. Ultrastructural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiol.* 64:197-202.
- Bolin, H. R. and C. C. Huxsoll. 1987. Scanning electron microscope/image analyzer determination of dimensional postharvest changes in fruit cells. *J. of Food Science* 52(6):1649-1698.
- Choi, K., G. Lee, Y. J. Han and J. M. Bunn. 1995. Tomato Maturity Evaluation Using Color Image Analysis. *Transactions of the ASAE*, 38(1):171-176.
- Duprat, F., H. Chen, M. Grotte, D. Loonis and E. Pietri. 1995. Laser light based machine vision system for nondestructive ripeness sensing of Golden apples. *Proceedings of 1st IFAC/CIGR/EURAGENG/ISHS workshop on Control applications in post-harvest and processing technology. CAPPT '95*, pp.85-91.
- Goddard, W. B., M. O'Brien, C. Lorenzen, and D. W. Williams. 1975. Development of criteria for mechanization of grading processing tomatoes. *Transactions of the ASAE* 18(1):190-193.
- Heron, J. R. and G. L. Zachariah. 1974. Automatic sorting of processing tomatoes. *Transactions of the ASAE* 17(5):987-992.
- Lapsley, K. G., F. E. Escher and E. Hoehn. 1992. The cellular structure of

selected apple varieties. Food Structure 11:339-349.

Magness, J. R. and G. F. Taylor. 1925. An improved type of pressure tester for the determination of fruit maturity. USDA Circular No. 350, p.8.

Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1989. A color vision system for peach grading. Transactions of the ASAE 32(4):1484-1490.

Moini, S. and M. O'Brien. 1978. Tomato color measurement versus maturity. Transactions of the ASAE 21(4):797-800.

O'Brien, M. and S. C. Sarkar. 1974. System for optical transmission characteristics for computerized grading tomatoes. Transactions of the ASAE 17(2):193-194.

Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1985a. Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision. Transactions of the ASAE 28(3):970-979.

Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1985b. Computer vision based system for quality separation of fresh market tomatoes. Transactions of the ASAE 28(5):1714-1718.

Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and defect sorting of bell peppers using machine vision. Transactions of the ASAE 33(6):2045-2050.

Slaughter, D. C. and R. H. Harrel. 1987. Color vision in robotic fruit harvesting. Transactions of the ASAE 30(4):1144-1148.

Tu, K., R. De Busscher, J. De Baerdemaeker and E. Schrevens. 1995. Using

laser beam as light source to study tomato and apple quality nondestructively. Proceedings of Food Processing Automation IV Conference, ASAE, St. Joseph, MI. pp528-536.

Varghese, Z., C. T. Morrow, P. H. Heinemann, H. J. Sommer, III, Y. Tao and R. M. Crassweller. 1991. Automated inspection of golden delicious apples using color computer vision. ASAE Paper No. 91-7002. ASAE, St. Joseph, MI 49085.

Wiggers, W. D., N. R. Paulsen and J. B. Litchfield. 1988. Classification of fungal-damaged soybeans using color-image processing. ASAE Paper No. 88-3053. ASAE, St. Joseph, MI 49085.

여 백

제 9 장 종합 결론

우리나라의 과실·과채의 생산은 양적인 면에서 매년 크게 증가하고 있으나 수확 후 선도관리와 관련된 품질관리는 효과적으로 이루어지지 못하고 있는 형편이다.

현재 국내외에서 이용되고 있는 과실·과채의 품질 측정기술은 형상, 크기, 색상, 표면 상태 등과 같은 외관 인자와 함수율, 당도, 내부 상태 등과 같은 내부품질 인자를 직·간접으로 측정할 수 있으나 과실·과채의 저장, 유통시 현재의 측정기술로는 세포의 조직감(texture) 변화로 인한 품질 변화를 직접 효과적으로 측정하기는 매우 어려운 실정이다. 또한, 과실·과채의 내부품질 측정기술이 산업 현장에서 실용적 수단으로 활용되기 위해서는 세포 미세구조의 변화를 반영하는 조직감의 비파괴 측정기술의 개발이 요구되고 있다.

따라서, 본 연구는 대표적인 국내산 과실·과채의 경쟁력 강화를 위해 세포 미세구조의 물리적 특성을 이용하여 선도를 정량화할 수 있는 내부품질 측정기술을 개발하고자 수행되었다.

(1) 영상분석을 이용한 세포미세구조의 특성화 기법 개발

(가) 세포의 표면조직감 정량화

사과 및 토마토는 수확후 숙성 과정에서 조직감이 연화되는 현상을 보이게 되는데, 조직감의 연화는 세포벽의 붕괴 등에 따른 결과로 나타나는 현상으로서 세포벽의 표면조직감의 변화를 야기하는 것으로 관찰되었다. 이와 같은 현상을 정량적으로 평가하기 위하여 영상처리기법을 이용하여 세포벽의 표면거칠기를 표면조직감으로 나타내었다. 세포벽 표면거칠기를 평가하기 위하여 광학현미경과 영상처리장치를 이용하여 세포벽 표면 영상으로부터 4종의 매개변수(세포벽 표면의 주름이 추출된 영상에서의 화소치의 평균(w_1) 및 표준편차(w_2), 세포벽 표면 주름의 푸리에 스펙트럼 영상의 화소치의 평균(w_3) 및 표준편차(w_4))를 개발하였다. 사과(쓰가루)와 토마

토(모모파로) 모두의 경우에 w_2 , w_3 및 w_4 상호간에 통계적으로 고도로 유의한 상관관계를 보였다.

(나) 신선도 인자

기존에 비정량적으로 다루어지고 있는 신선도를 정량적으로 평가하고자 신선도 인자를 제안하였다. 적기에 수확된 사과 및 토마토의 신선도를 최대로 하고 수확이 후 시간이 경과함에 따라 매개변수의 값이 선형적으로 증가하거나 감소하는 경향을 반영하는 인자를 수식으로 제안하였다. 사과와 토마토 수확후, 시간경과에 따른 세포벽의 표면조직감의 변화를 가장 잘 나타내는 매개변수는 w_2 로 나타났다. 사과의 경우, w_2 를 사용하여 시간경과와의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수는 95% 수준에서 유의성을 보여 0.9433으로 나타났다. 반면에 토마토의 경우에는 0.5869(유의확률: 22.1%)로 나타났다.

(2) 사과 및 토마토의 물리화학적 특성 분석

(가) 세포벽 물질

식물성 세포는 신선도가 저하될 때 세포벽의 붕괴를 초래하게 되어 구성물질의 함량 변화를 보이는 바, 수용성 총고형분 함량과 수용성 우론산 함량을 분석하였다. 사과의 경우 수확후 시간경과에 따른 수용성 총고형분과 수용성 우론산, 그리고 토마토의 총고형분의 함량 변화는 통계적으로 유의한 경향을 보이지 않았으나, 토마토의 수용성 우론산의 함량 변화는 유의확률이 0.017로 나타나 시간과의 상관계수가 0.8912를 보였다.

(나) 압축특성

토마토의 압축특성을 분석한 결과, 극한변형량 및 극한력은 수확후 시간경과에 따라 유의한 상관관계를 보였다. 극한변형량은 시간과의 상관계수가 0.9457(유의확률: 0.4%)로 나타났으며, 극한력의 상관계수는 -0.8712(유의확률: 2.3%)로 나타났다.

반면에, 사과와의 경우에는 품종에 따라 극한변형량과 극한력의 시간에 따른 경향이 상이하게 나타났다. 쓰가루 품종의 경우, 생물체항복력과 극한력은 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 -0.6574와 -0.7677로 나타났으나, 생물체항복변형량과 극한변형량은 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 후지 품종의 경우에는 다른 경향을 보여 생물체항복변형량과 극한변형량이 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.9041과 0.8970으로 나타났다. 한편, 탄성계수의 경우, 사과와 품종에 상관없이 유의한 상관관계를 보여 쓰가루의 세칸트(secant) 탄성계수 및 초기 탄젠트 탄성계수, 후지의 세칸트 탄성계수 및 초기 탄젠트 탄성계수는 각각 -0.6954, -0.6241, -0.9091, -0.9086으로 나타났다.

(다) 밀도

수확후 시간경과에 따른 사과(쓰가루) 및 토마토(모모파로)의 과육밀도의 변화를 분석한 결과, 사과와 토마토 모두 시간경과에 따라 과육밀도가 증가하는 것으로 나타났다. 다만, 사과와 토마토 모두 과육의 밀도는 시간경과와의 상관계수가 0.5579(유의확률: 25.0%)에 불과하였으나, 토마토 과육의 밀도는 상관계수가 0.9262(유의확률: 0.8%)로 매우 높은 상관관계를 보였다.

(라) 물리화학적 인자 상호관계

과실·과채 수확후 신선도가 저하됨에 따라 내부품질이 변하는 경향을 효과적으로 평가하기 위한 물리화학적 인자를 탐색하기 위하여 신선도 저하에 따른 물리화학적 인자 상호관계를 분석하였다.

세포벽 붕괴와 직접적으로 관련이 있는 세포벽 표면조각감, 수용성 총고형분 함량, 수용성 우론산 함량, 과육밀도, 극한변형량 및 극한력의 상호관계를 분석한 결과, 사과(쓰가루)의 경우 세포벽의 표면조각감(표면거칠기)과 극한력 사이에 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 -0.9618 (유의확률: 0.2%)로 나타났다.

토마토의 경우, 과육밀도는 수용성 우론산 함량, 극한변형량 및 극한력과의 사이에 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.8425 (유의확률: 3.5%), 0.9501 (유의확률: 0.4%), -0.9630 (유의확률: 0.2%)로 나타났으며, 수용성 우론산 함량은 극한변형량 및 극한력과의 상관계수가 각각 0.8729 (유의확률: 2.3%), -0.8947 (유의확률: 1.6%)로 나타났다.

(3) 레이저를 이용한 조직감 측정기술 개발

(가) 레이저 산란도의 정량화

선행연구에서 과실·과채의 신선도 저하에 따른 내부품질의 변화는 과육의 세포벽 붕괴에 따른 거시적인 물리적 인자의 변화에 근거하여 평가될 수 있는 것으로 난 바, 레이저빔의 산란 현상을 분석하였다. 레이저 시스템은 레이저 발생기, 칼라영상분석장치, 렌즈시스템 등으로 구성하였다. 레이저빔의 횡단면이 가우스 프로파일(Gaussian profile)을 가질 때, 세포벽 붕괴에 따른 연화 현상을 보이는 과실·과채의 조직에 조사된 레이저빔은 조직의 연화 정도에 따라서 산란되는 정도가 다른 것으로 나타나 이를 정량화하였다. 사과 및 토마토의 표면에 형성된 레이저 영상을 분할하여 각 색상 성분(적색, 녹색, 청색)이 포화된 면적을 상대면적으로 환산하여 레이저의 산란 정도를 평가하는 방법으로 정량화 기법을 개발하였다.

(나) 사과 및 토마토의 레이저 특성 분석

사과 및 토마토의 압축 특성과 레이저의 산란도와와의 관계에서, 레이저빔과 관

련된 인자 중에서 빔의 횡단면 형상 및 빔의 강도에 따른 영향을 분석하였던 바, 빔 강도의 영향보다는 빔 횡단면 형상의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 분석 결과에 의하면, 레이저빔의 횡단면 형상이 구형파에 가까운 모양보다는 삼각파에 가까운 모양이 더 양호한 것으로 나타났다.

사과의 경우, 품종별로 레이저 산란도와 압축 특성과의 관계, 즉 생물체항복변형량, 생물체항복력, 극한변형량, 극한력, 초기 탄젠트 탄성계수 및 세칸트 탄성계수와의 관계를 분석한 결과, 수확후 시간경과에 따른 압축 특성의 변화 경향과 일치하는 것으로 나타났다. 쓰가루의 경우, 레이저(레이저 강도: 1.74mW; 레이저 파장: 632.8nm) 산란도는 생물체항복력 및 극한력과 매우 높은 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.9526, 0.9432로 나타났다. 반면에, 후지의 경우에는 레이저 산란도는 생물체항복변형량 및 극한변형량과의 사이에서 유의한 상관관계를 보여 상관계수가 각각 0.9550, 0.9523으로 나타났다. 한편, 2종의 탄성계수의 경우, 품종에 무관하게 높은 상관계수를 보여 쓰가루의 초기 탄젠트 탄성계수 및 세칸트 탄성계수, 후지의 초기 탄젠트 탄성계수 및 세칸트 탄성계수와의 상관계수는 각각 0.8707, 0.9543, 0.9307, 0.9074로 나타났다.

토마토의 경우, 레이저 산란도는 극한변형량 및 극한력과의 상관계수는 각각 0.3643, 0.7627로 나타났다.

(다) 레이저 경도계의 개발

레이저 산란도를 정량하는 방법으로 과실·과채의 경도를 비파괴적으로 측정할 수 있는 레이저 경도계를 모형기 형태로 개발하였다. 레이저 경도계는 휴대용 컴퓨터, PCMCIA형 프레임그래버(frame grabber), 레이저 발생기, 소형 칼라CCD카메라, 렌즈시스템, 시료대가 포함된 암실본체, 영상처리소프트웨어, 충전용전원장치 등으로 구성하였다. 암실본체는 초점거리 조절장치 및 레이저조사각 조절장치가 포함되도록 구성하였다.