

칼리영상을 이용한 방울토마토 품질 인자 계측에 관한 연구

김대용¹·오현근¹·이남근¹·김영식²·조병관^{1*}

Study on Quality Factor Measurement for Cherry Tomato using Color Imagery

Dae-Yong Kim¹·Hyun-Keun Oh¹·Nam-Keun Lee¹·Young-Sik Kim²·Byung-Kwan Cho^{1*}

ABSTRACT

Surface color is the most important quality factor for the grade evaluation of cherry tomato. Color is one of the representative indicators for the maturity which is closely related to the internal quality of cherry tomato, such as firmness, sugar content, and acidity. This study was carried out to investigate the relationship between surface color and internal quality of cherry tomatoes harvested from both hydroponic and soil culture at different ripening stages. To calculate the color values of cherry tomatoes an automatic color imaging system was constructed. A specially designed image processing algorithm for the color measurement was developed. The color values of L*, a*, b* were calculated from the initial color values of RGB and then compared with the internal quality. Statistical analyses indicated that the internal quality was more highly correlated with the surface color than size of cherry tomatoes. Color image features were also investigated to detect external damage of cherry tomatoes. The value of (R value - R mean value)/R mean value was the most effective image feature for the detection of damaged areas on the surface of cherry tomatoes. The results of this study demonstrated the feasibility of color sorting process as an alternative of the conventional drum type size sorting system for cherry tomato industry.

Key words: Cherry tomato, Nondestructive sorting, Image processing, Internal quality, Damage detection

1. 서론

농산물에서의 속도 판단은 품질선별에 있어 가장 중요한 인자 중에 하나이다. 속도를 측정하는 인자로는 물리적 특성인 표면 색상, 과육의 경도, 크기, 형태 등과 화학적 특성인 당도, 전분, 산도 등이 있다. 토마토의 경우 속도의 지표는 표면의 착색 정도가 가장 대표적으로 사용된다(Choi et al., 1995). 방울토마토는 일반 대과토마토와 다를 바 없이 성숙단계로 접어들게 되면서 엽록소가 파괴되어 붉은 색상을 나타내는 라이코펜이 증가하게 된다. 이는 식품으로 가공하거나 음식으로 조리할 경우 더욱 안정해 지는 것으로 알려져 있다(Polder 등, 2003).

토마토 품질규격은 USDA(1997)에서 최초로 제시하였는데 크기, 무게, 손상 그리고 착색의 정도에 따른 6등급(Table 1)의 속도가 그 인자이다. 현재에도 USDA의 규격 기준은 많은 연구에서 활용되고 있으나(최규홍 등, 1999; Batu, 2004; 김대용과 조병관, 2009), 토마토 칼라 차트를

이용한 품질선별은 육안선별에 이용되는 방법으로 대량으로 생산되는 방울토마토를 기계적으로 자동선별하기에는 적합하지 않아 상업적으로 이용이 미흡한 실정이다.

착색도와 함께 중요한 토마토 품질인자 중 하나인 외부 손상은 상품과 생산에서 반드시 고려되어야 할 요소이다. 방울토마토 열과는 수분공급이 급격히 변화되고 온도의 변화가 잦을 때 그리고 직사광선에 노출될 때 발생되기 쉽다. 생육과정 중 이러한 환경이 조성되는 5월에서 9월 사이에 집중되는 경향을 보인다(박우포 등, 2002). 현재 방울토마토의 열과 검출은 인력에 의한 수작업으로 진행되고 있어 노동력이 많이 소모되고 있는 실정이다.

최근 들어 농산물의 부가가치를 높이기 위하여 기계식 선별기가 많이 이용되고 있는데 고품질의 토마토 및 토마토 가공 식품을 선별하기 위한 기법으로 영상처리(최규홍 등, 1999; Jahns 등, 2001; Laykin 등, 2002; Polder 등, 2003; Lana 등, 2006a; Lana 등, 2006b)와 근적외선 분광법(Baranska 등, 2006; Pedro 등, 2007; Clement 등, 2008; Flores 등, 2009) 등이 주로 연구에 이용되고 있다. 칼라 영상처리는 착색의 정도를 쉽게 구분하여 자동으로 등급화 할 수 있으며 외부 상처 및 열과 등을 고속으로 검출할 수 있고 저렴한 비용으로 제작할 수 있다는 장점이 있다.

기존의 방울토마토의 선별은 내·외부 품질 중 드럼식 선별기에 의한 크기 선별만 실시하고 있다. 따라서 영상처리 기법을 응용하여 외부의 상처나 열과를 검출하고 정확

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 바이오시스템 기계공학전공(Department of Biosystem Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

² 상명대학교 산업대학 식물산업공학전공(Department of Plant Industry Engineering, Sangmyung University, Choeran 330-720, Korea)

* Corresponding author: 조병관

Tel.: +82-42-821-6715 Fax: +82-42-823-6246

E-mail: chobk@cnu.ac.kr

2010년 8월 20일 투고

2010년 9월 14일 심사완료

2010년 9월 17일 게재확정

Table 1. USDA ripening classes of tomatoes(USDA, 1976).

Class	Description ^a
Mature Green	Entirely light-to dark-green, but mature
Breaker	First appearance of external pink, red or greenish-yellow color ; not more than 10 %
Turning	Over 10 % but not more than 30 % red, pink or orange-yellow
Pink	Over 30 % but not more than 60 % pinkish or red
Light-red	Over 60 % but not more than 90 % red
Red	Over 90 % red; desirable table ripeness

^a All percentages refer to both color distribution and intensity.

한 속도 판정을 실시하여 소비지에서 최적의 속도를 보장하는 맞춤형 유통을 위해서는 기계 시각에 의한 정확한 선별이 필요하다.

본 연구에서는 육안으로 속도를 판정하거나 크기만으로 방울토마토를 선별하는 기존 방식과는 다른 칼라카메라를 이용하여 영상을 획득하고 착색도를 측정하고 열과를 검출할 수 있는 알고리즘 개발과 측정된 착색도와 내부품질인 경도, 당도, 산도와의 상관관계를 구명하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

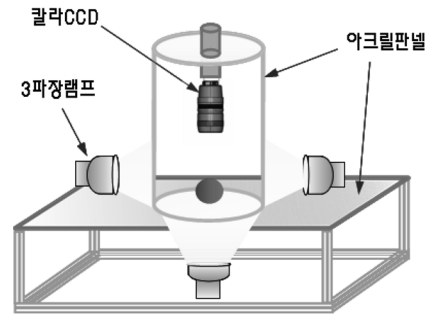
1. 공시재료

본 연구에서 사용된 방울토마토는 충남 논산의 수경 및 노지하우스에서 수확한 꼬꼬 품종을 이용하였다. 재료는 실험 당일 재배 농가를 방문하여 USDA 토마토 칼라차트를 기준으로 하여 Green(GN), Breaker(BK), Turning(TN), Pink(PK), Light-red(LR), Red(RD)를 육안으로 직접 수확하였다. 수확된 시료는 플라스틱 필름 포장재를 이용하여 낮은 온도 상태를 유지할 수 있도록 아이스박스에 담아 실험실로 이송하였으며 총 640개를 실험에 이용하였다.

2. 칼라영상 획득 장치 구축

방울토마토의 착색도를 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 CCD카메라(STC-630, Sentech, USA)를 설치하였다. CCD 카메라와 시료간의 거리는 20 cm 정도로 일정하게 유지하였으며 획득된 영상은 A/D 보드인 프레임 그래버(cronosplus, Matrox, Canada)로 640×480 이미지로 저장하였다. 방울토마토의 표면은 광에 대한 반사율이 매우 높기 때문에 영상촬영 시 표면의 정반사(specular)로 인하여 부분적으로 칼라영상이 포화되는 경우가 발생한다. 이러한 현상을 극복하기 위해 최규홍 등(1995)의 연구에서는 편극 필터와 실린더 형태의 조명 챔버를 이용하여 토마토 표면의 glare와 specular를 줄이는 방법을 사용하였다. 본 연구에서도 Fig. 1과 같이 3개의 삼파장 램프(25 W)를 시료부 아래에 하나를 배치하고 그 외 2개를 180도 간격으로 측면에 배

치하여 비추었다. 직선형태의 빛이 실린더 형태의 아크릴에 의해 방울토마토의 표면에 집중되지 않고 일정하게 산란되도록 영상처리 챔버를 제작하여 glare와 specular를 줄였다.



(a) Schematic



(b) Photo

Fig. 1. The image system of cherry tomato.

3. 영상 표준화

정확한 칼라를 계산하기 위해서 표준칼라차트를 이용하여 획득한 영상에 대한 검증과 보정작업을 실시하였다. 칼라값을 정확히 알고 있는 표준 칼라차트(31×31 pixel)를 이용하여 영상처리부에서 직접 촬영을 한 영상에서 R, G, B 값을 구하고 3차 회귀식을 이용하여 방정식을 구성하였다 (식 1).

$$\begin{aligned}
 R' &= 0.00004R^3 - 0.016R^2 + 2.61R - 79.92 \\
 G' &= 0.00005G^3 - 0.025G^2 + 4.62G - 202.20 \\
 B' &= 0.00003B^3 + 0.016B^2 - 2.09B + 117.53
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

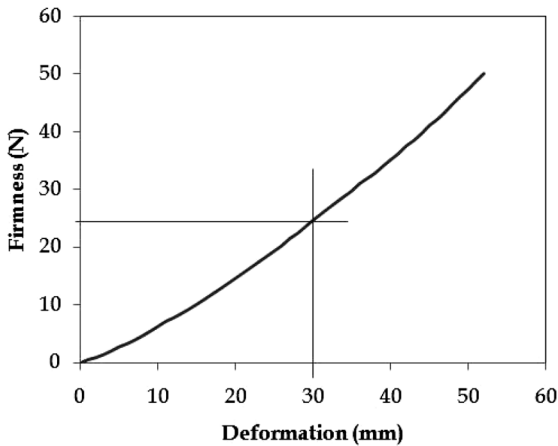


Fig. 2. Graph of firmness test.

4. 방울토마토 품질 측정

방울토마토의 영상을 획득한 후 경도, 당도, 산도를 측정하였다. 경도는 평판지그를 장착한 universal testing machine (SY-T-001, Sunyoung Systech, Korea)을 이용하였다. 방울토마토가 파손되지 않는 변위를 설정하여 경도 수치로 사용하였다. 본 연구에서는 변위가 3 mm일 때의 압축력의 크기를 분석에 이용하였고 하중재하속도는 60 mm/min 이다(Fig. 2).

경도 측정 후 과육을 균질하게 분쇄한 후 sieve로 고형 성분을 제거한 뒤 굴절당도계(PR-32α, Atago, Japan)로 당도를 측정하였다. 그리고 마이크로피펫으로 과즙 1 ml을 취하여 증류수 30 ml에 섞은 다음 pH미터(Orion 3star, Thermo Scientific, USA)와 디지털 뷰렛(Digital Burette, Brand, Germany)으로 0.1N NaOH용액을 첨가하여 pH미터로 8.3 %를 맞추었다. 첨가된 NaOH용액은 방울토마토의 주산인 구연산(citric acid)의 농도를 계산하여 산도 값으로 이용하였다(식 2, 3, 4)(박우포 등, 2002).

$$N \cdot V = N' \cdot V' \quad (2)$$

$$N' = \frac{N \cdot V}{V'} \quad (3)$$

N = NaOH의 농도
 V = NaOH의 양
 N' = sample 중의 산의 농도
 V' = sample의 양

$$AC(\%) = N' \times 64.04 \times 1/1000 \times 100 \quad (4)$$

AC = 100 ml 속의 산의 농도(%)
 Citric acid M.W. = 64.04/1N

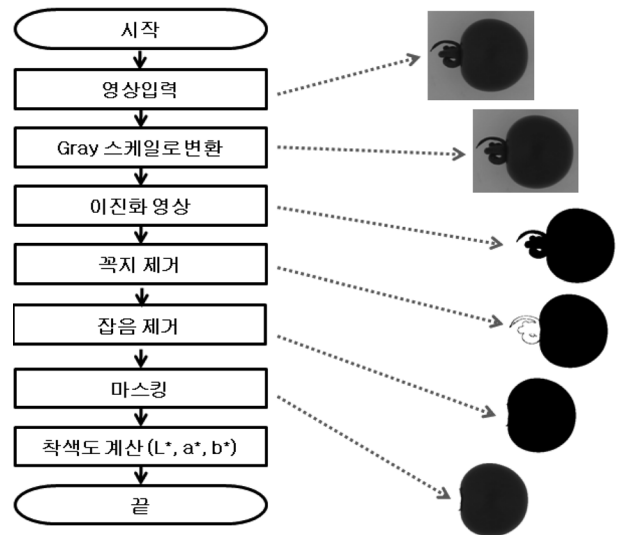


Fig. 3. Flow chart of image processing.

5. 착색도 계산 알고리즘 및 열과 검출 알고리즘

획득된 방울토마토 영상에서 착색도 계산에 관련이 없는 꼭지부분은 R값과 B값의 비율 조합을 이용하여 제거하였다. 알고리즘의 단계별 개념도는 Fig. 3과 같으며 영상에서 평균값으로 구한 R, G, B값을 최종적으로 L*, a*, b* 값으로 변환하여 착색도를 계산하고 내부품질과의 상관관계를 구하는데 이용하였다. 방울토마토의 열과는 대부분이 과육의 조직이 연해지는 Pink 단계부터 Red 단계까지 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서 획득한 영상에서 영상의 라벨링을 통해 색(R값)의 차이가 평균값에 비해 20 % 이상 차이가 나는 pixel이 인식되면 열과로 분류하는 알고리즘을 개발하여 열과를 최적으로 검출할 수 있도록 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 형상 선별과 내부 품질과의 비교

수경 및 노지에서 재배된 방울토마토를 다른 시기에 수확하여 측정된 내부 품질 인자인 경도, 당도, 산도의 결과를 Student-Newman-Keuls(SNK)으로 분석하고 비교하였다(Fig. 4). 재배지와 수확시기에 따른 품질을 비교하기 위해 착색도가 균일한 Red 단계의 방울토마토로 한정하여 실험하였다. 수경 및 노지재배 모두 다 수확날짜에 따라 내부 품질이 다르게 나타났으며 이는 방울토마토의 재배 조건 및 기후 등이 지속적으로 토마토 품질에 영향을 미치고 있기 때문이라 사료된다.

또한 Fig. 5에 나타난 것처럼 재배환경이 방울토마토의 품질에 영향을 미칠 수 있는지를 분석하였다. 수경재배와 노지재배 방울토마토로 분류하고 수확날짜별 분석과 동일하게 Red 단계의 방울토마토로 한정하여 비교하였다. Fig. 5와 같이 방울토마토의 품질은 재배환경에 따라 매우 다

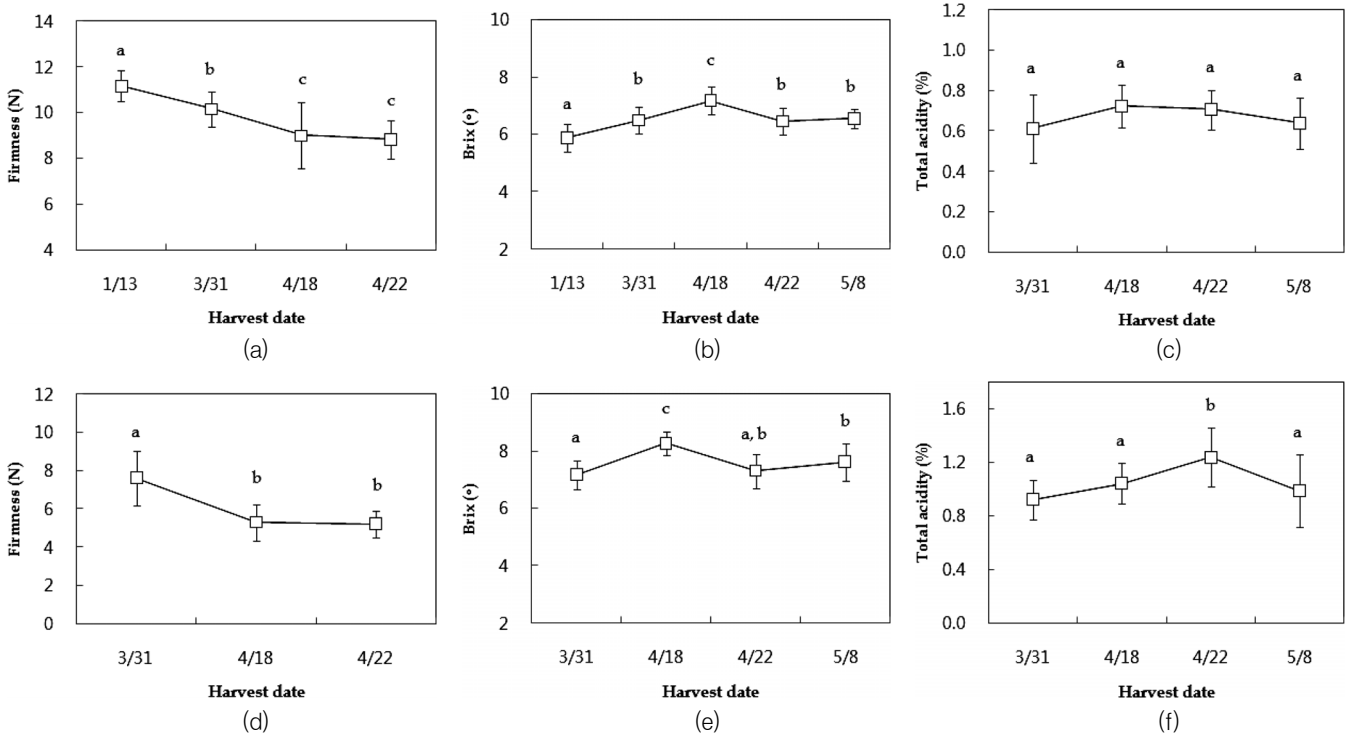


Fig. 4. Change of quality of harvested date for cherry tomato at hydroponics(a), (b), (c) and soil culture(d), (e), (f).

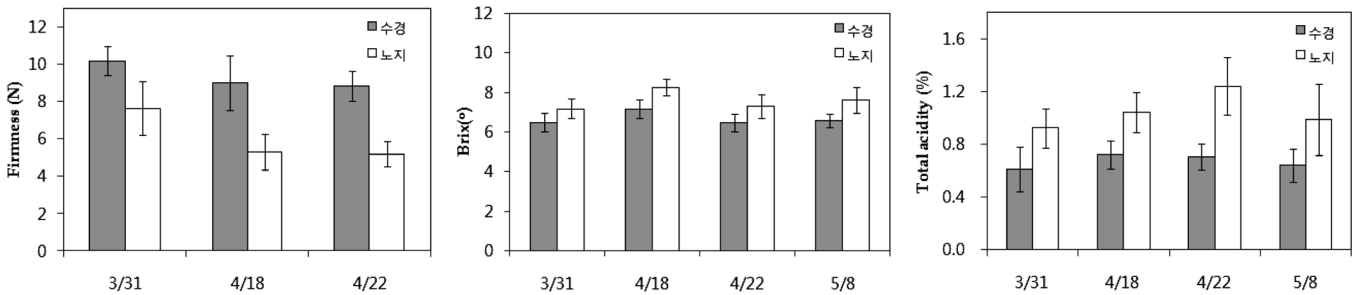


Fig. 5. Change of quality of cherry tomato at hydroponics and soil culture.

르게 나타났다. 경도는 수경재배 토마토가 높았으며 당도와 산도는 노지재배 토마토가 높게 나타났다.

현재 국내에서 방울토마토 선별방식은 형상에 의한 선별이 대부분이다. 그러나 방울토마토 품질과는 상관관계가 높은 것은 형상보다는 착색도가 오히려 높다고 할 수 있다. 기존의 형상에 의한 선별방식과 착색도에 의한 선별방식의 차이를 확인하기 위해 선별 방식에 의한 품질(경도, 당도, 산도)과의 상관관계를 조사하였다(Fig. 6). 영상에 의한 착색도를 계산한 후 3단계로 나누어 품질과의 관계를 통계적으로 비교하였고 형상 선별과는 달리 착색도가 내부 품질과 보다 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 경도, 당도, 산도 모두 착색도와 선형적인 관계가 있음을 볼 수 있었다.

2. 꼭지제거 및 열과 검출 알고리즘

획득한 영상에서 방울토마토의 꼭지부분은 상품성과 관

련이 있어 제거 되지 않는 범위에서 선별되어야 한다. 따라서 선별 시 꼭지가 포함된 방울토마토의 영상이 획득되므로 착색도와 상관성이 없는 꼭지 부분은 영상처리 알고리즘을 통하여 제거하는 것이 필요하였다. 꼭지부분의 R값과 B값의 비율 조합을 이용하여 꼭지부분을 인식하는 것이 가장 효율적이었고 인식된 부분은 Fig. 7에서와 같이 정확하게 제거되었다.

열과 검출에서는 최종적으로 획득된 영상에서 색의 R값의 차이가 평균값에 비해 차이가 나는 정도를 20~30%를 이용하여 손상된 부분을 검출할 수 있다. 세부적인 과정으로 각 픽셀의 영상을 라벨링을 한 다음 R값의 평균값을 구하고 각 픽셀의 R값을 평균값과의 차이를 구하여 일정 이상 차이가 나는 것을 열과 부분으로 분류하게 된다(Fig. 8). 껍질이 갈라져 있는 열과(Fig. 8a)와 외부에 상처 같은 반점이 있는 경우(Fig. 8b) 개발된 알고리즘으로 열과가 잘 검출되고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 칼

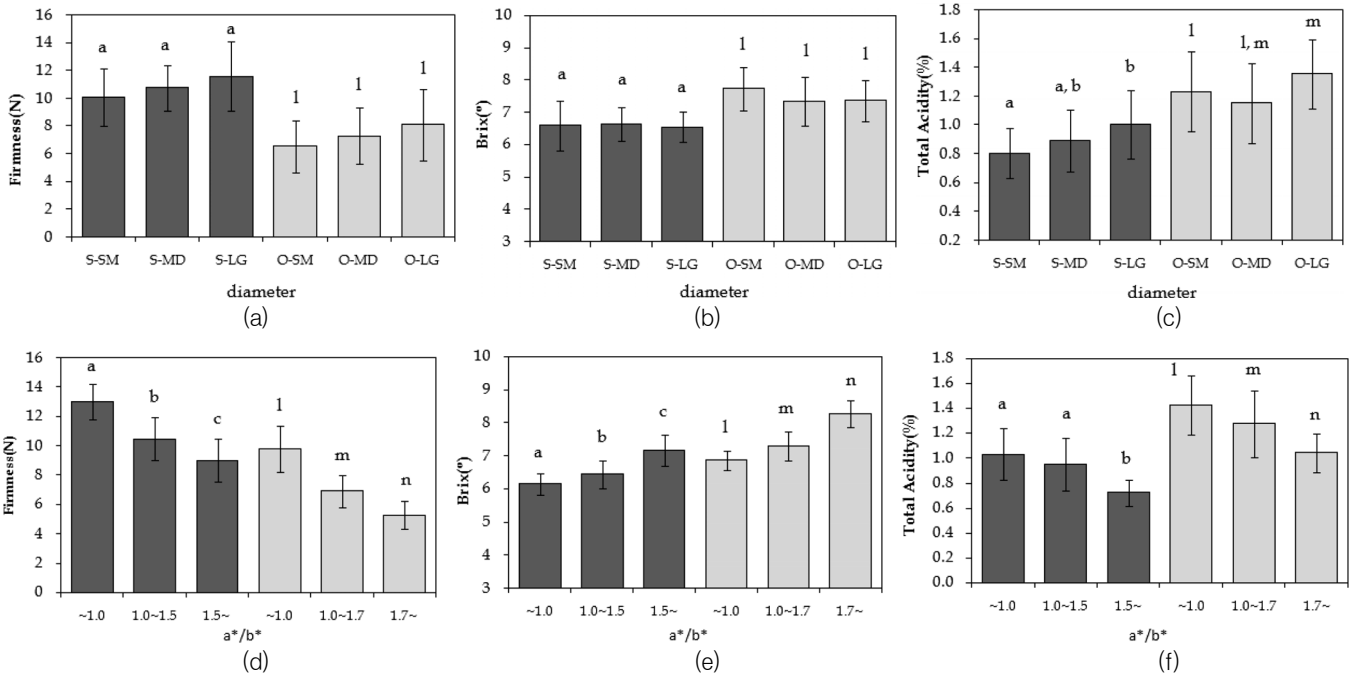


Fig. 6. Comparison of quality for diameter sorting (a), (b), (c) vs. color sorting (d), (e), (f).

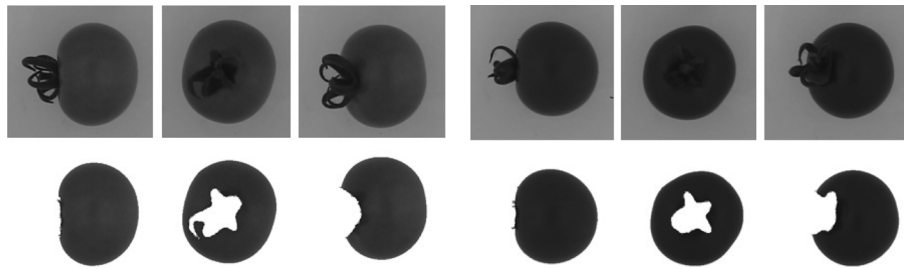


Fig. 7. Results of image processing.

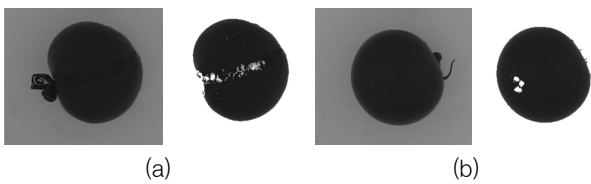


Fig. 8. Results of image processing for detecting bad tomatoes (a) cracked tomato, (b) small scar tomato.

라영상으로 토마토의 속도와 열과를 효율적으로 계측할 수 있음을 보여주고 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 속도 등급을 선별하고 열과를 검출하는 선별시스템을 개발하기 위한 기초연구를 수행하였다. 갈라 영상 획득 장치를 구축하였으며 glare와 specular 발생을 없앨 수 있는 영상처리 챔버를 제작하였다. 제작된 시스템에 의해 획득한 영상은 표준 칼라 색상을 이용하여 영상보정을 실시하였다.

획득된 영상에서 착색도와 관련이 없는 꼭지부분을 제거하고 L^* , a^* , b^* 값을 구하는 알고리즘을 개발하였으며 방울토마토의 속도판정에 효율적인 a^*/b^* 인자를 개발하였다. 또한 영상에서 R값의 평균값을 이용하여 열과가 발생한 방울토마토를 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

본 연구는 기존의 방울토마토 선별시스템인 드럼식 형상 선별의 단점을 개선할 수 있도록 착색도에 의한 선별장치 개발에 핵심적인 기술을 개발하여 방울토마토 선별 시스템의 실질적인 개선에 기여할 수 있으리라 기대된다.

본 연구는 농림수산식품부에서 주관하는 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

- 김대용, 조병관. 2009. 착색도를 이용한 방울토마토 품질 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회 2009 동계 학술대회 논문집 14(1): 382-386.

2. 박우포, 조성환, 김철환. 2002. 포장 조건에 따른 방울토마토의 저장 중 품질 특성 변화. 한국식품저장유통학회지 9(2): 121-125.
3. 최규홍, 이강진, 최동수, 윤진하. 1999. 토마토 자동 선별 시스템 개발. 한국농업기계학회 1999년 하계학술대회 논문집 4(2): 282-289.
4. Baranska, M., W. Schutz, H. Schulz. 2006. Determination of lycopene and beta-carotene content in tomato fruits and related products: Comparison of FT-Raman, ATR-IR, and NIR spectroscopy. Analytical Chemistry 78(24): 8456-8461.
5. Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. J. Food Engr. 61(3): 471-475.
6. Choi, K., G. Lee, Y.J. Han, J.M. Bunn. 1995. Tomato maturity evaluation using color image analysis. Transactions of the ASAE 38(1): 171-176.
7. Clement, A., M. Dorais, M. Vernon. 2008. Nondestructive Measurement of Fresh Tomato Lycopene Content and Other Physicochemical Characteristics Using Visible-NIR Spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56(21): 9813-9818.
8. Flores, K., M.T. Sanchez, D. Perez-Marin. 2009. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato. Journal of Food Engineering 91(2): 311-318.
9. Jahns, G., H.M. Nielsen, W. Paul. 2001. Measuring image analysis attributes and modelling fuzzy consumer aspects for tomato quality grading. Computers and Electronics in Agriculture 31(1): 17-29.
10. Lana, M.M., L.M.M. Tijsskens, A. de Theije, A. Hogenkamp, O. van Kooten. 2006. Assessment of changes in optical properties of fresh-cut tomato using video image analysis. Postharvest Biology and Technology 41(3): 296-306.
11. Lana, M.M., L.M.M. Tijsskens, O. van Kooten. 2006. Effects of storage temperature and stage of ripening on RGB colour aspects of fresh-cut tomato pericarp using video image analysis. Journal of Food Engineering 77(4): 871-879.
12. Laykin, S., V. Alchanatis, E. Fallik, Y. Edan. 2002. Image-processing algorithms for tomato classification. Transactions of the Asae 45(3): 851-858.
13. Pedro, A.M.K., M.M.C. Ferreira. 2007. Simultaneously calibrating solids, sugars and acidity of tomato products using PLS2 and NIR spectroscopy. Analytica Chimica Acta 595(1-2): 221-227.
14. Polder, G., G.W.A.M. van der Heijden, I.T. Young. 2003. Tomato sorting using independent component analysis on spectral images. Real-Time Imaging 9(4): 253-259.
15. USDA. 1997. United states standards for grades of fresh tomatoes. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Washington DC.