

사과의 선도 평가를 위한 경도 인자 탐색

Firmness Parameters for Evaluation of Apple Freshness

조용진*

정회원

Y. J. Cho

1. 서론

과실·과채의 선도는 수확후에도 생명 활동이 지속되는 세포의 특성으로 인하여 중요시 되는 품질인자이다. 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 품질특성에 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 정량화 하고자 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. 조(1997)는 사과 세포의 표면조직감을 광학현미경과 영상처리를 이용하여 정량적으로 평가하는 기법을 제시하고, 세포의 표면조직감이 사과의 신선도와 상관 관계가 있다고 하였다.

이와 같이 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.

* 한국식품개발연구원

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. 김 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. 조와 황(1998)은 선도 평가를 위한 물리화학적 인자를 탐색한 결과, 사과 세포의 표면조직감과 과육의 극한력은 서로 상관 관계가 있다고 하였다.

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

따라서, 본 연구에서는 사과의 품종별 압축 특성을 분석하여 선도를 정량적으로 평가하는 데 유용한 인자를 발굴하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

사과는 2가지 품종이 사용되었다. 쓰가루(Tsugaru)는 경기 김포에서 생산된 것으로 1997년 9월 1일에 수확되었다. 수확후 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.

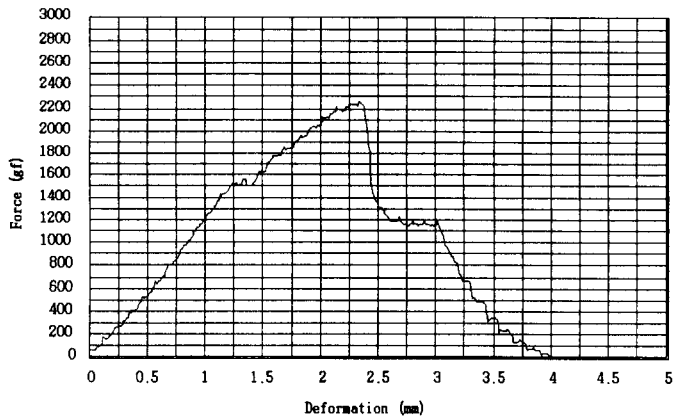
나. 압축 시험

압축 시험에는 지름 5mm의 실린더형 플런저(plunger)가 장착된 경도계(Sun Rheometer Model COMPAC-100, Sun Scientific Co., LTD., Japan)를 사용하였다. 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. 실험에 사용된 경도계는 시료가 탑재된 선반이 운동하는 형태로서 선반의 이송속도는 5mm/min로 하였다.

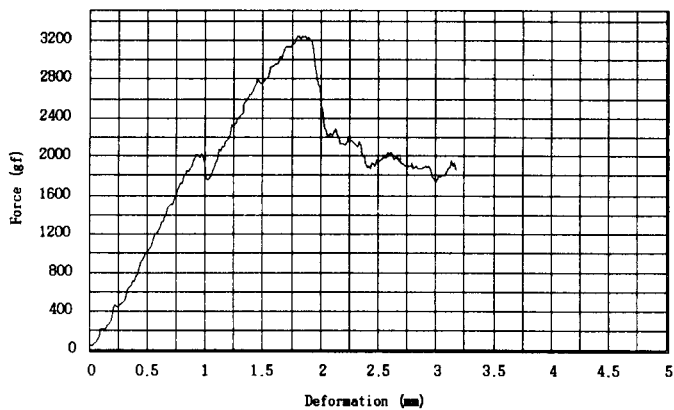
3. 결과 및 고찰

가. 사과와 힘-변형 곡선

그림 1은 쓰가루와 후지 사과의 힘-변형 곡선을 나타낸 것이다. 두 가지 품종에 대해서 압축속도가 5mm/min의 준정적 압축시험 조건하에서 항복점과 극한점이 모두 선명하게 나타났다. 그러나, 예비시험에서 압축속도가 매우 고속인 조건하에서는 항복점이 발견되지 않았다. 따라서, 압축시험시 항복점을 관찰하기 위해서는 준정적 조건이 요구되는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Tsugaru



(b) Fuji

Fig. 1. Curves of force-deformation for tsugaru and fuji apples.

한편, 그림 1에서 생물항복점 이내의 구간에서 사과 품종에 따라 힘-변형 곡선의 형태가 다르게 나타났다. 즉, 조직이 비교적 연질인 쓰가루 사과의 경우 곡선의 형태가 S자인 반면에, 비교적 조직이 단단한 후지 사과의 경우에는 힘-변형 곡선이 직선에 가까운 모양을 보였다.

나. 시간에 따른 쓰가루의 압축 특성

표 1은 쓰가루 사과의 수확후 시간경과에 따른 압축특성의 분산분석을 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.

Table 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

그림 2에서 4는 시간에 따른 쓰가루 사과의 압축특성을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 경향은 16 반복 측정치의 평균이다. 이미 표 1의 통계적 분석 결과를 통해 살펴 본 바와 같이, 쓰가루 사과의 수확후 시간 경과에 따른 압축특성의 변화 중에서 선형적 경향을 보인 인자는 생물항복력과 극한력, 그리고 초기탄젠트 탄성계수와 활선 탄성계수임을 알 수 있다. 반면에, 생물항복변형량과 극한변형량은 시간 경과에 따라 선형적 변화를 보이지 않았다. 한편, 쓰가루 사과의 경우, 초기탄젠트 탄성계수는 활선 탄성계수보다 약간 큰 값을 가지는 것으로 나타났다.

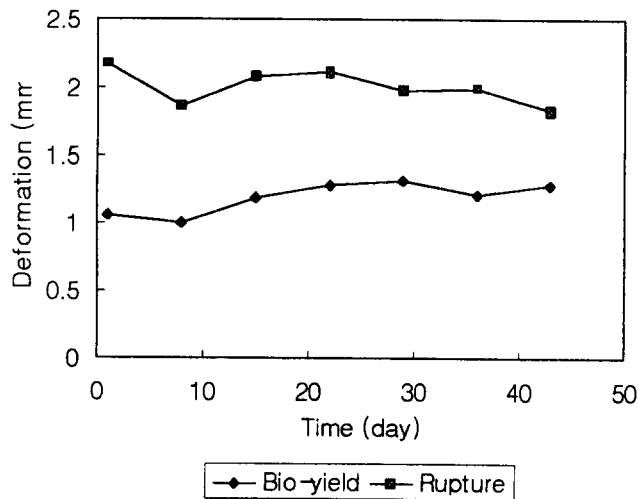


Fig. 2. Time versus compressive deformation of Tsugaru apple.

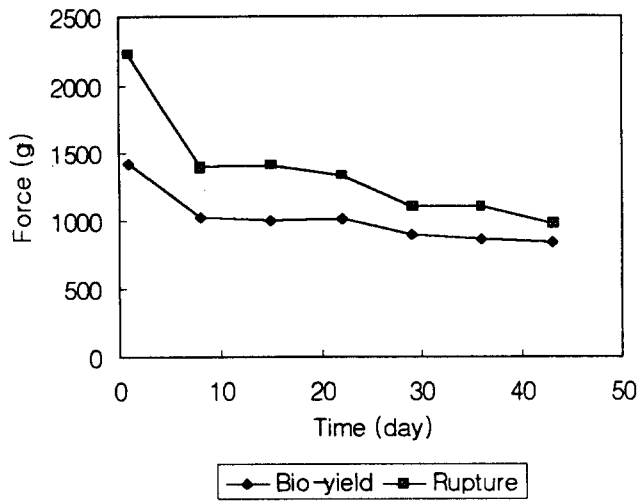


Fig. 3. Time versus compressive force of Tsugaru apple.

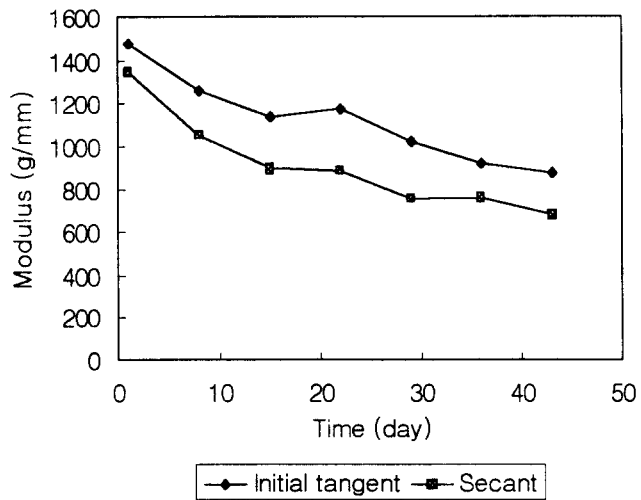


Fig. 4. Time versus modulus of Tsugaru apple.

이러한 결과를 살펴 볼 때, 농산물의 신선도는 시간경과에 따라 유의하게 변하는 품질인자를 이용하여 평가될 수 있으므로, 쓰가루 사과와 비교의 경우 압축특성을 이용하여 신선도를 정량적으로 평가하기 위해서는 생물항복력, 극한력, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수가 활용될 수 있음을 알 수 있다.

다. 시간에 따른 후지의 압축 특성

표 2는 후지 사과의 수확후 시간경과에 따른 압축특성의 분산분석을 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.

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

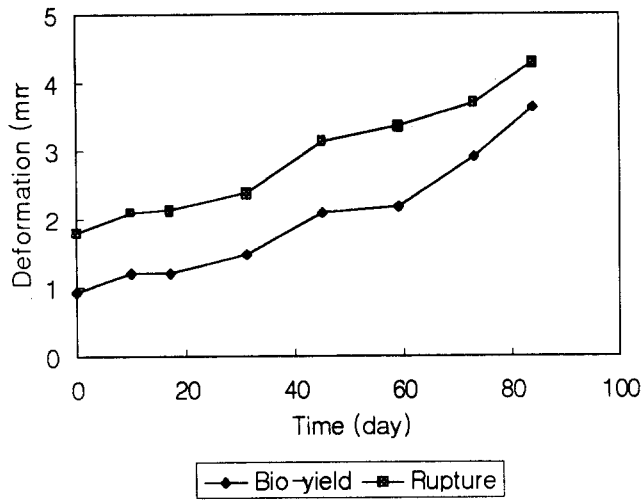


Fig. 5. Time versus compressive deformation of Fuji apple.

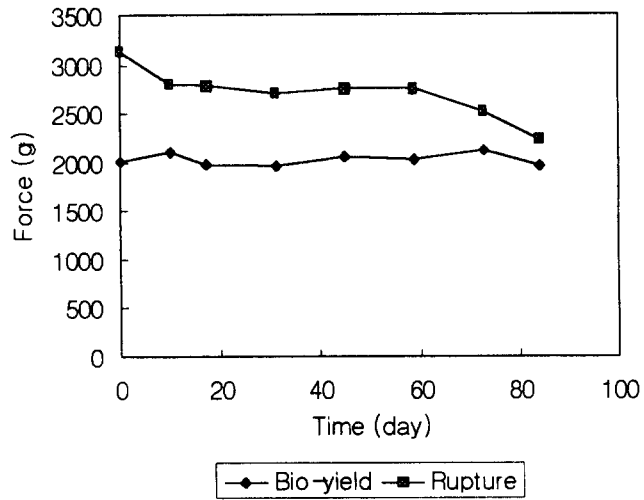


Fig. 6. Time versus compressive force of Fuji apple.

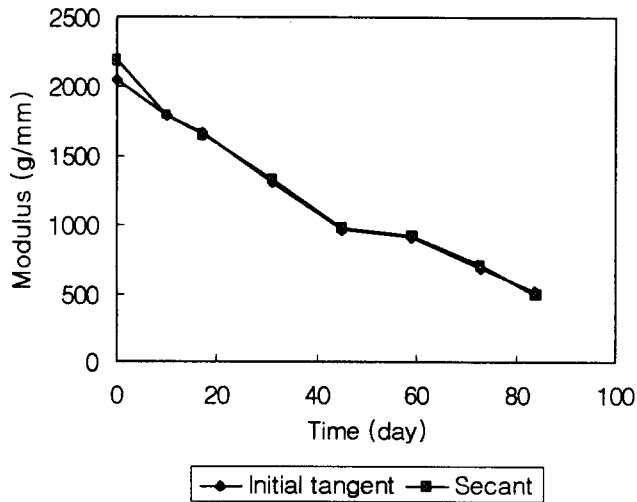


Fig. 7. Time versus modulus of Fuji apple.

그림 5에서 7은 시간에 따른 후지 사과와 압축특성을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 경향은 10 반복 측정치의 평균이다. 표 2의 분산분석 결과를 통해 살펴 본 바와 같이, 후지 사과의 수확후 시간경과에 따른 압축특성의 변화 중에서 생물항복력과 극한력은 시간경과에 따라 선형적 변화를 보이지 않은 반면에, 생물항복변형량과 극한변형량, 그리고 초기탄젠트 탄성계수와 활선 탄성계수가 뚜렷한 선형성을 보였다. 한편, 후지 사과의 경우, 쓰가루 사과의 경우와는 달리 초기탄젠트 탄성계수와 활선 탄성계수는 서로 거의 같은 값을 가지는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 살펴 볼 때, 농산물의 신선도는 시간경과에 따라 유의하게 변하는 품질인자를 이용하여 평가될 수 있으므로, 후지 사과의 경우 압축특성을 이용하여 신선도를 정량적으로 평가하기 위해서는 생물항복변형량, 극한변형량, 초기탄젠트 탄성계수 및 활선 탄성계수가 활용될 수 있음을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

농산물에서 기계적 강도는 과실·과채의 품목이나 품종에 따라서 고유의 특성을 가지는 바, 본 연구에서는 사과의 압축 특성을 분석하여 신선도를 정량적으로 평가하는 데 유용한

인자를 발굴하고자 하였다.

직경 5mm의 실린더형 헤드를 사용하여 5mm/min의 속도로 사과를 압축시험한 결과, 생물항복점이 명확히 나타났다.

사과의 압축특성을 이용하여 신선도를 평가하고자 할 때, 품종에 따라서 압축특성과 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.

5. 참고문헌

1. 김만수, 박종민, 최동수. 1992. 과실의 힘-변형 특성. 한국농업기계학회지 17(2):156-170.
2. 조용진. 1997. 세포 표면 특성을 이용한 사과 신선도 평가. 한국농업기계학회지 22(4):433-438.
3. 조용진, 황재관. 1998. 사과 및 토마토의 신선도 평가를 위한 물리화학적 인자 탐색. 한국농업기계학회지 23(5):473-480.
4. 조용진 등. 1998. 세포 미세구조의 물리적 특성을 이용한 과채류 내부품질 측정기술 개발. 농림부 연구보고서 GA0043-0981.
5. Arthey, V. D. 1975. Quality of horticultural products. Butterworths & Co Publisher, Ltd. London.
6. ASAE. 1994. ASAE Standards (41st ed.). The American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, USA.
7. 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.
8. 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.
9. Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York, USA.
10. Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. Biochemistry of fruit ripening. Chapman & Hall, London. p.17-24.
11. USDA. 1978. Market Inspection Instructions: Apples. USDA AMS Fruit and Vegetable Division, Washington, D.C., USA.