

토마토의 초음파 특성

Ultrasonic Characteristics of Tomato

이영희* 이강진* 최규홍* 조영길* 김만수**
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
Y.H.Lee K.J.Lee K.H.Choi Y.K.Cho M.S.Kim

1. 서론

농산물의 품질은 크기, 형상, 색깔 등의 외관과 맛, 향기, 영양성분 등의 내부성분, 그밖에 보존성과 수송성에 관련한 인자를 고려하여 평가된다. 또한 농산물은 품종, 재배환경, 유전적 요인에 따른 개체간 품질 차이가 크고, 소비까지의 상품성 보존이 요구되므로 표본검사보다는 전수 개체검사가, 파괴적인 방법보다는 비파괴적인 검사방법이 요구된다.

국내 농산물 품질관정은 중량, 색깔, 형상 등 주로 외관검사에 의존하여 왔다. 그러나 선진국에서는 외관 뿐만 아니라 근적외선(NIR), 핵자기공명(NMR), 연-X선, 음파 또는 초음파를 이용한 당도, 산도, 경도, 공동형상, 부패 등 내부품질을 검출할 수 있는 기술 개발 연구가 그동안 매우 활발히 수행되어 왔고, 그 일부가 실용화 단계에 있다. '80년대 후반부터 국내에서도 연구소와 대학을 중심으로 영상처리, 근적외선, 핵자기공명, 초음파를 이용한 농산물 비파괴 품질평가기술 개발 연구가 진행중에 있다.

초음파는 침투력이 우수하여 내부결함 검출이 용이하고 사용상 안전하다는 장점 때문에 공업과 의학분야에서 일찍부터 널리 활용되고 있는 반면, 농업에서의 이용은 아직 미흡한 편이다. 일부 과일의 비파괴 경도 예측 연구에서 음파 또는 초음파가 활용된 바 있고, 최근 쇠고기 육질관정연구에 비교적 활발히 이용되고 있다.

이 연구는 토마토의 속도별 초음파 전파특성, 표면색도, 경도, 당도와의 관계를 분석하여 초음파에 의한 토마토 속도판별의 가능성을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 초음파 발생장치 및 계측시스템

이 연구에서 사용한 초음파 발생장치는 PUNDIT(Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester, C.N.S. Electronics Ltd.)로, 송신자에 충격진동을 가하여 자체의 고유주파수에서 연속진동을 생성하는 펄스발생기, 펄스의 시간지연요소를 제거하는 지연시

* 농업기계화연구소 가공기계과

** 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

간조절기, 매질을 통과한 초음파펄스를 받아 전기신호로 변환시키는 수신증폭기 등으로 구성되어 있다. 초음파 송·수신 센서는 티탄산 지르콘산납(PZT) 압전세라믹 센서(54kHz)를 사용하였고, 안정된 신호수신을 위해 직경17.6mm, 길이 90mm의 아크릴봉을 수신자 바로 위 중앙에 설치하였다. 또한 송신자 - 시료 - 수신자가 수직선상에 놓이도록 유도레일을 수직으로 설치하였다.

따라서 초음파 발생장치에서 보내진 초음파 신호는 시료를 투과한 후 수신센서에서 전파 시간 표시기를 경유하여 디지털 오실로스코프로 보내지고, 동시에 컴퓨터에 내장된 신호분석기(DSP board, Ariel Co.)에서 FFT분석이 이루어지도록 구성하였다. 그림1은 초음파 발생장치 및 계측시스템을 나타낸 것이다.

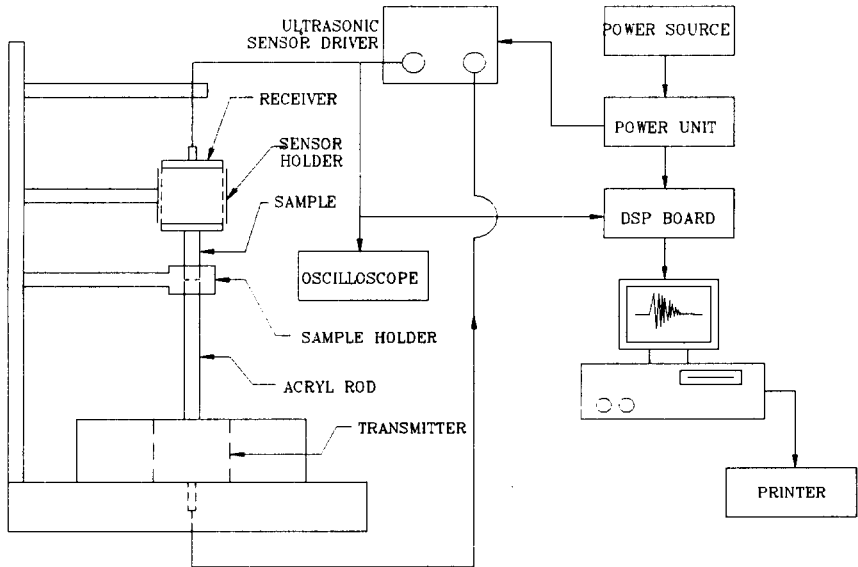


Figure 1. Schematic and block diagram of ultrasonic test apparatus and measuring system.

나. 실험방법

이 연구에서는 토마토의 표피색도를 속도지수로 하였다. 따라서 토마토 농장에서 표피색이 녹색에서 적색까지, 즉 미숙에서부터 완숙까지 고르게 분포하도록 수확하였으며, 품종은 이탄 찰토마토이었다.

본 실험은 먼저 USDA의 토마토 컬러차트(CFR, 1991)와 비교하면서 육안으로 토마토를 속도단계별(Green, Breakers, Turning, Pink, Light red, Ted)로 각각 16개씩 표본 추출하여

시료로 사용하였고, 각 시료에 대하여 초음파 전파특성시험, 표면색도, 경도, 당도 순으로 측정하였다.

1) 초음파 전파속도 : 초음파 전파속도는 송신자로부터 시료를 투과한 후 수신자에 이르는 파동의 전파시간을 전파거리(시료두께)로 나누어 산출하였다. 단, 송신자와 수신자 사이에 설치한 아크릴봉의 길이와 전파시간은 제외하였다. 또한 디지털 오실로스코프를 통하여 컴퓨터에 보내진 신호는 내장된 DSP Board에서 A/D변환 후 신호처리 프로그램을 통해 FFT된 초음파 신호의 시간영역에서의 진폭과 주파수영역에서의 스펙트럼 분석으로부터 공명주파수를 분석하였다.

2) 표면색도 : 토마토의 과정부(Blossom)를 중심으로 등거리에 있는 5지점을 색차색차계(Chroma Meter CR-200, Minolta)를 이용하여 Hunter L, a, b 값을 측정하고, 이의 평균값을 대표값으로 하였다.

3) 경도 : 물성분석기(Texture Analyser TA-HD, Stable Micro SystemTM)에 직경 11.2 mm의 Magness-Taylor 프로브를 장착하여 하중재하속도 25 mm/min(ASAE Standard S368.1)로 7.9mm까지 관입시켰으며, 최대 하중값을 시료의 경도로 하였다.

4) 당도 : 경도 실험시 토마토 과육이 파괴될 때 생기는 과즙을 피펫으로 채취하여 굴절당도계(Refractometer DBX- 55, Atago Co.)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 초음파 전파속도

토마토의 초음파 전파속도는 73~130m/s이었고, 그림2에서 보는바와 같이 속도가 완속일 수록 전파속도가 감소하는 경향을 나타냈다. 속도단계별 초음파 전파속도의 평균값간의 차이를 비교하기 위하여 Duncan의 다중검정법으로 분석한 결과 표1에서와 같이 Breakers, Turning, Pink, Red 속도단계간에는 유의차를 보이지 않았다. 따라서 미숙단계인 Green과 그 이외의 속도단계간에는 유의차를 나타내 초음파 전파속도로부터 미숙과 완숙정도로의 판별 가능성만을 보였다.

초음파 전파속도는 각 속도내에서 시료간 편차가 13~40m/s로 크게 나타났다. 이는 토마토 내부의 과육과 겔(gel)부분 발달상태, 속도 차이에 의한 것으로 판단되며, 그밖의 원인으로는 시료의 형상이 불균일할 경우 송신자 - 시료 - 수신자가 일직선을 벗어날 때의 속도 차이, 다시말해 탐촉방법에 따른 편차가 존재하고 있음을 실험 중에 확인할 수 있었다. 따라서 센서의 탐촉시 면접촉보다는 점접촉이 효과적이지만, 이를 위해서는 시료를 고정해주는 별도의 장치가 필요하고, 또한 점접촉시 탐촉자의 자중에 의한 시료 손상을 감안해야 한다. 이와같은 문제점들이 앞으로 초음파를 이용한 온라인 선과방식에 적용할 때는 상당한 제약 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

나. 표피 색도

토마토 속도 단계별로 측정된 Hunter L, a, b 값 중 녹색으로부터 적색으로의 발전과정을 나타내는 a(redness or greenness)값은 그림3에서와 같이 완숙으로 진행할수록 증가하는 경향을 나타냈고, 표1에서 보는 바와 같이 각 속도단계 간에 유의차를 나타내 육안에 의한 속도 판별과 잘 일치함을 보였다. 따라서 이 연구에서 토마토 표피색깔에 따른 육안 속도 판별이 적절하였던 것으로 판단된다.

다. 경도

토마토의 경도는 3.5~58.7N이었고, 그림4에서와 같이 완숙으로 진행될수록 경도는 크게 감소하였다. 표1의 각 속도단계별 경도의 유의차 검정 결과에서 보는 바와 같이 Breakers와 Turning단계, Pink, Light red와 Red 단계 간에는 유의차가 없음을 보여 전체 속도를 Green, Breakers~Turning, Pink~Red 3단계로 구분하는 결과를 나타냈다. 즉, 경도에 의한 토마토 판별은 육안에 의한 토마토 속도판별보다 오차가 더 클 것으로 판단된다.

라. 당도

토마토 당도는 3.3bx에서 6.3bx까지의 범위에 있었으며, 표1에서와 같이 속도단계별 유의차를 보이지 않아 속도의 진행과는 큰 관계가 없음을 보였다.

Table 1. Ultrasonic velocity, redness, firmness and soluble solid contents for each stage of maturity.

Maturity Stages	Ultrasonic Velocity (m/s)	Redness	Firmness (N)	Soluble Solid Contents (%)
Green	104.462 a	-9.8 a	44.0 a	5.8 a
Breakers	84.615 b	-5.7 b	20.6 b	5.6 ab
Turning	84.429 b	-1.5 c	16.3 b	5.5 ab
Pink	87.267 b	14.8 d	7.8 c	5.0 c
Light Red	70.438 c	6.6 e	10.3 c	5.0 c
Red	83.188 b	20.0 f	7.5 c	5.2 bc

* Values followed by the same letter are not significantly different at 95% confidence level using Duncan's Multiple Range Test.

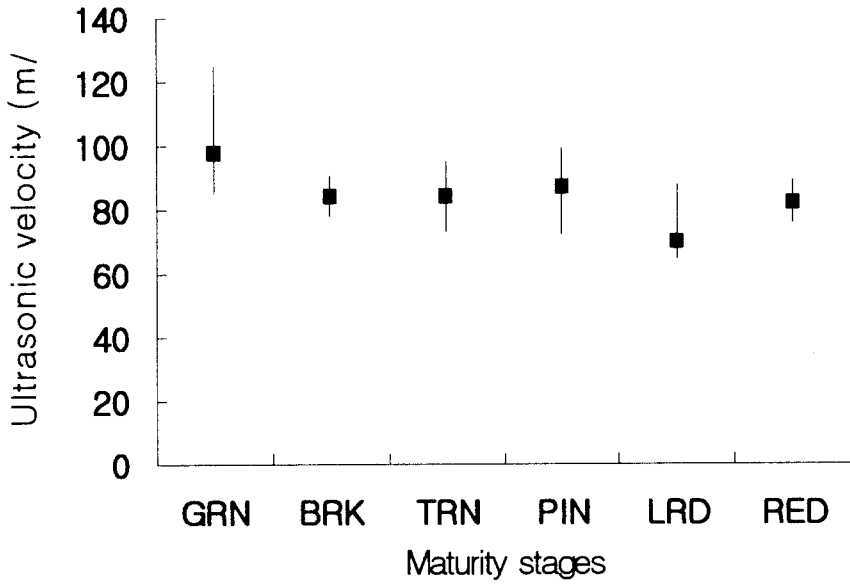


Figure 2. Relationship between maturity stages and ultrasonic velocity.

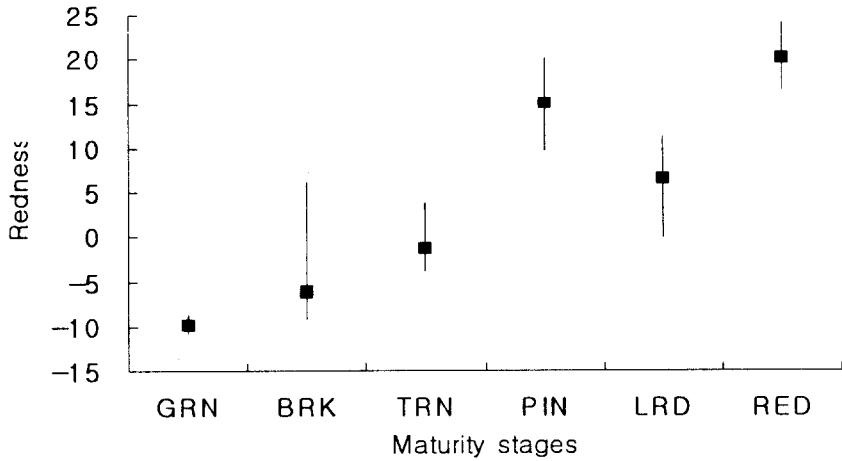


Figure 3. Relationship between maturity stages and redness.

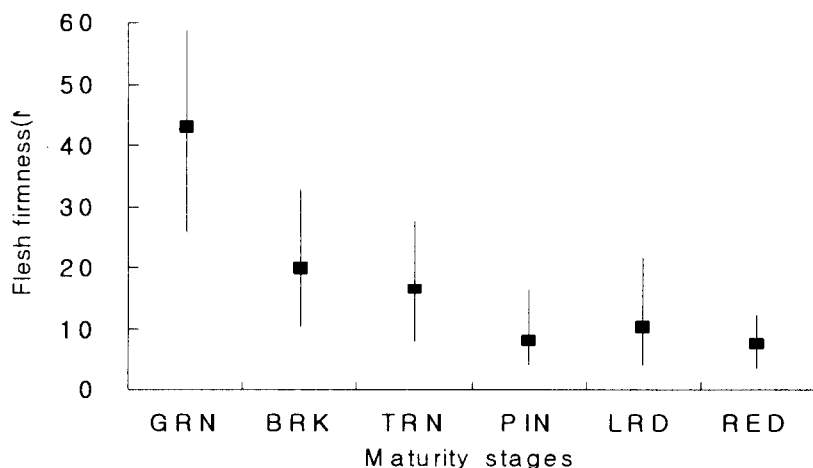


Figure 4. Relationship between maturity stages and flesh firmness.

4. 결론 및 요약

이 연구는 토마토 숙도별 초음파 전파특성, 표면색도, 경도, 당도와의 관계를 조사분석하여 초음파를 이용한 토마토 숙도의 비파괴 판정가능성을 구명하고자 수행하였으며, 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 토마토의 초음파 전파속도는 73~130m/s이었고, 완숙으로 진행될수록 감소하는 경향을 나타냈다. Duncan의 다중검정법에 의한 유의성검정 결과 초음파 전파속도는 숙도단계 Breakers에서 Red 숙도간에는 유의차를 보이지 않아 전체 숙도를 Green과 Breakers~Red와 같이 2단계 정도로의 판별 가능성을 보였다.

나. 숙도단계별로 측정된 Hunter L, a, b 값중 녹색으로부터 적색으로의 발전을 나타내는 a 값은 각 숙도단계 간에 유의차를 나타내 육안에 의한 숙도 판별과 잘 일치하였다.

다. 토마토는 경도는 3.5~58.7N로 완숙될수록 크게 감소하는 경향을 나타냈고, 숙도단계 Breakers와 Turning, Pink에서 Red까지는 유의차가 없는 것으로 나타나 전체 숙도를 Green, Breakers~Turning, Pink~Red 3단계로 판별이 가능하였다.

5.참고문헌

1. Abbot, J. A., N. F. Childers, G. S. Bachman, J. V. Fitzgerald and F. J. Matusik. 1968b. Acoustic vibration for detecting texture quality of apples. *proc. Amer. soc. Hort. sci.* 93 : 725.
2. Code of Federal Regulations. 1991. United States standards for grades of fresh tomatoes. USDA Agricultural Marketing Service, Washington, D.C.
3. Crark, R. L. 1975. An investigation of the acoustical properties of watermelon as related to maturity. ASAE Paper No. 75-6004. st. Joseph, MI : ASAE.
4. Finney, E. E. and K. H. Norris. 1968. Instrumentation for investigating dynamic mechanical property of fruits and vegetables. *Transaction of the ASAE* 11(2) : 94 -97.
5. Garret, R. E. and R. B. Furry. 1972. Velocity of sonic pulses in apple. *Transaction of the ASAE* 15(4) : 770-774.
6. Mizrach. A, N. Galili, G. Rosenhouse. 1989. Determination of vegetable properties by ultrasonic excitation. *Transaction of the ASAE.* 32(6): 2053-2058.
7. Park, B. Y. R. Chen. 1997. Ultrasonic shear wave characterization in beef longissimus muscle. *Transaction of the ASAE.* 40(1): 229-235.
8. PUNDIT Manual. 1993. C.N.S. Electronics LTD.
9. Robinson, B. E.. 1976. An evaluation of acoustical decay time as a measure of watermelon maturity. M.S. thesis. University of Gorgia, Athens.
10. Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1983. Potential of ultrasonic measurements in food quality evaluation. *Transactions of the ASAE.* 26(2) : 624-629.
11. Yamamodo, H., M. Iwamodo and S.Haginuma. 1980. Acoustic impulse response methode for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluations of apples and watermelons. *J. Texture stud.* 11 : 117-136.
12. Yoshio IKEDA & Takashia NISHIZU & Yohei ISHII.1995. Non-destructive quality evaluation of agricultural products using by ultrasonic technique. *proceeding of ARBIP95.* Kobe, Japan 1995. 197-203.
13. 나기준. 1994. 한우生體의 産育특성을 조기에 豫測 -生體肉質測定機를 이용해 産育 특성을 조사-. *농촌진흥청. 연구와 지도*35(3).
14. 박종민. 1993. 果實의 粘彈性 特性과 그 응용. *충남대. 박사학위논문.*
15. 이영희. 청과물의 초음파 진파특성. *충남대. 석사학위논문*