

초음파 파라미터와 감자의 내부결합과의 상관관계분석

Analysis of Correlation between Ultrasonic Parameters and Internal Defects of Potatoes

장경영* 정규홍* 김만수** 서 룬**
정회원 정회원 정회원 정회원
K.Y.Jang K.H.Jung M.S.Kim L.Seo

1. 서 론

농산물의 내부품질은 자연산에서는 물론 인공환경 하에서의 생산에서도 개체별 차이가 크기 때문에 이를 평가하기 위해서는 전수검사가 필수적이고, 청과물의 경우 취급하는 개체수가 대량이므로 이를 신속하게 평가하기 위해서는 온라인 시스템이 필요하다.

이와 같은 요구를 만족시키기 위해서는 비파괴적인 검사방법이어야 할 것이며 지금까지 광학적 분광법, NMR기법 등 여러 가지 방법들이 시도 되어왔다. 그 중에서도 간편, 정확, 안전하게 평가할 수 있어야 하고 대상 청과물의 단가가 저가이므로 저렴한 비용으로 평가할 수 있어야 한다는 측면에서 초음파를 이용하는 기법이 유력한 수단의 하나로 기대 받게 되었다. 그러나 지금까지의 초음파 기술은 대부분 의료진단이나 산업적 비파괴검사용으로 개발된 것인 반면 청과물에서의 초음파의 거동에 대하여는 거의 알려져 있지 않으며, 고유진동수가 비교적 저주파이고 대부분의 경우 청과물 내부에서의 감쇠가 매우 심하여 거의 투과되지 않는 것으로 알려져 있는 정도이다.

또한 과일 농축액의 당도와 초음파 투과속도와와의 관련성, 여러 청과물에 대한 초음파 투과속도, 감쇠의 측정, 과실의 경도 변화에 따른 초음파 감쇠 비교 등과 같은 단편적인 시도들이 있어 왔지만 내부 품질 평가에 직접적으로 응용한 사례는 지금까지 보고 된 바가 없다. 즉 초음파를 청과물 내부품질 평가에 적용하기 위한 연구가 매우 부족한 실정이고 세계적으로 이 부분에 대한 연구가 커다란 관심의 대상이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 초음파 기술을 응용한 청과물의 내부 품질 판정 기술을 개발하기 위한 기초연구로서 초음파 파라미터와 감자의 내부결합과의 상관관계를 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

* 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

** 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

2.1 실험재료

본 연구에 사용된 감자는 포테이토칩용으로 쓰이는 대서 품종의 감자로서 농심 대관령 연구소의 협조를 받아 입수하였다. 2000년 9월말경 수확되었으며 온도 5℃ 및 상대습도 76%에서 약 1달간 저온저장 되었다. 질량은 0.26~0.35kg, 체적은 $3.35\sim 5.52\times 10^{-4}\text{m}^3$ 의 분포를 보였다. 대서감자는 괴경 비대기에 고온에 노출되면 괴경 내부조직에 불균일한 영양 분배로 그림 1과 같은 공동(空洞)과 흑변현상이 나타나 품질을 떨어뜨린다. 특히 중심공동 증상은 잘라보기 전에는 공동의 유무를 확인 할 수 없고 대체로 수확량의 20%가까이 발생하는 것으로 보고되고 있다.

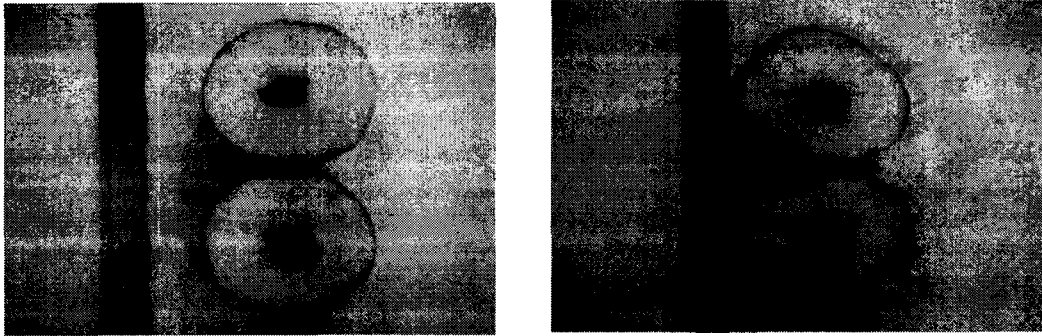


Fig. 1 Potatoes with internal holes.

2.2 실험장치 및 방법

아래 그림 2는 본 연구에서 고안 제작된 초음파 측정시스템이다. 그림에서 초음파 송수신 장치(RAM5000, Ritec)는 주파수 50kHz, 톤버스트 파형으로 송신트랜스듀서를 구동한다. 송신 트랜스듀서로부터 방사되는 초음파는 혼(horn)을 거쳐 시료에 입사되는데, 여기서 혼은 송신 트랜스듀서에서 수신 트랜스듀서로 공기중을 통해 유입되는 공중파를 방지하고, 검사체의 표면 형상에 자유롭게 대응할 수 있도록 하기 위함이다. 혼은 콘형으로 재질은 아크릴, 길이 100mm, 양단 면적비 5.0으로 테이퍼 가공되었다. 시료를 투과한 초음파를 수신트랜스듀서에서 수신하고 이를 A/D변환하여 PC에서 저장 및 분석한다. 또한 트랜스듀서와 시료 사이의 접촉력을 일정하게 하기 위하여 공압기구를 설치하였으며, 접촉압력은 3bar로 하였다. 초음파 파라미터와 내부결합과의 상관 관계 분석을 통해 내부 결함 판별에는 음속 및 두께로 정규화된 수신신호(rms)을 이용하였다.

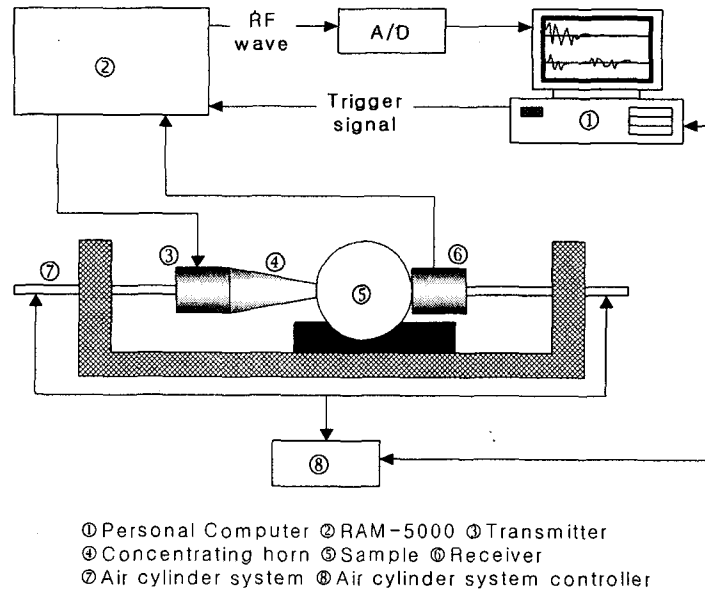


Fig.2 Ultrasonic system for evaluating the internal quality of fruits and vegetables.

3. 결과 및 고찰

3.1 감자의 초음파 전파특성

대서 감자의 내부 중심 공동 유무 판별에 음속 및 두께로 정규화된 수신신호의 RMS레벨이 유용한지를 알아보기 위해 내부 중심공동이 없는 11개의 시료에 대한 투과 신호를 얻고, 이들에 대해 지름 5mm의 인공 공동을 드릴링한 시료에서의 투과 신호를 얻었다. 그리고 각 시료의 드릴링 전후의 투과 속도와 RMS/두께를 비교하여 보았다.

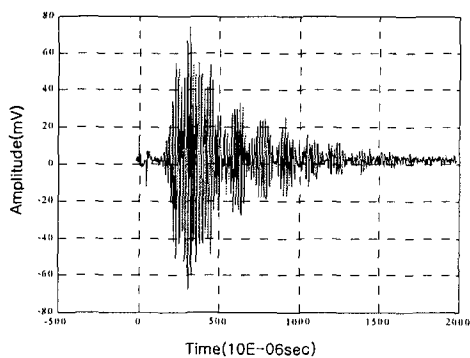


Fig.3 Waveform before drilling.

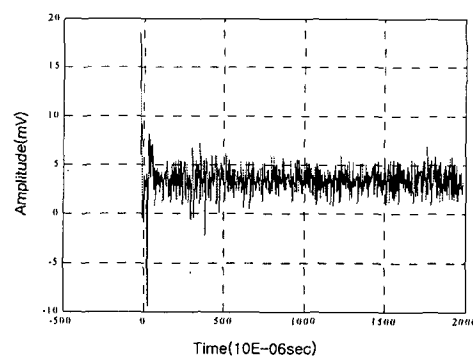


Fig.4 Waveform after drilling.

드릴링 후 시료의 투과 파형 그림 3,4 및 표1에서 보는바와 같이 측정된 평균투과 속도와 평균 RMS/두께는 드릴링 전 투과 파형(그림3.1)에서 측정된 평균투과 속도와 평균 RMS/두께에 비해 현저히 낮았다.

Table 1. Velocity and Amplitude rms/thickness for 11 potatoes sample

	Sample without hole	Sample with hole
Average transmitting velocity	450.0m/s	374.3m/s
Average rms/thickness	0.8246dB/mm	0.6488

그림5는 모든 시료에 대해 음속과 수신 신호의 RMS를 동시에 비교하여 나타낸 것이다. 단, 여기서 신호의 RMS는 시료의 두께로 정규화한 값을 이용하였다. 그림에서 내부 중심 공동이 없는 시료는 우 상단에 위치하고 있는데, 이는 전파속도가 크고, 수신 신호의 에너지도 크다는 것을 나타낸다. 그러나 인공적으로 드릴링한 시료는 좌 하단, 즉 전파속도는 작고 수신신호의 에너지도 작다는 것을 의미한다.

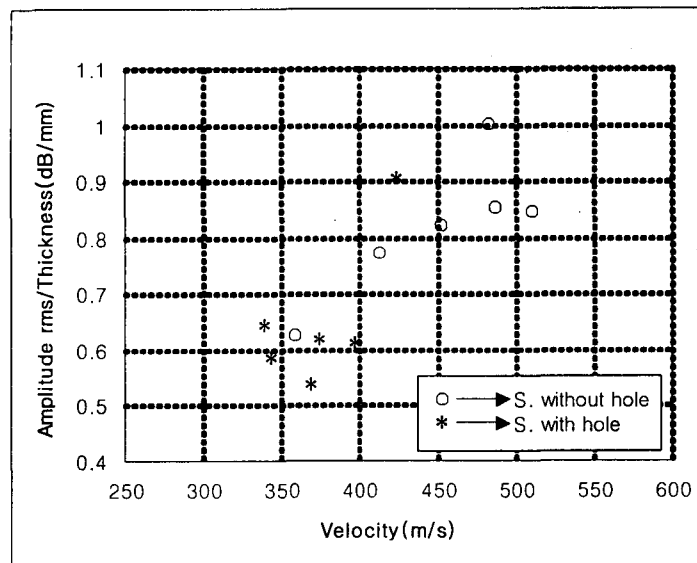


Fig. 5 Relationship between velocity and RMS/thickness for 11 potatoes sample.

3.2 감자의 내부결함 판정

인공공동에 대한 결과가 실제 내부 중심 공동과 같은 경향을 보이는지 알아보기 위하여 임의의 18개 시료에 대해 투과속도와 RMS/두께를 측정하고 시료를 절단하여 내부 중심 공동 여부를 알아보았다. 그 결과 표2에 나타낸바와 같이 전체적으로 인공 공동에서와 같은 경향임을 알 수 있었다.

Table 2. Velocity and Amplitude rms/thickness for 18 potatoes sample

	Sample without hole	Sample with hole
Average transmitting velocity	453.0 m/s	384.0 m/s
Average rms/thickness	0.7281 dB/mm	0.5436 dB/mm

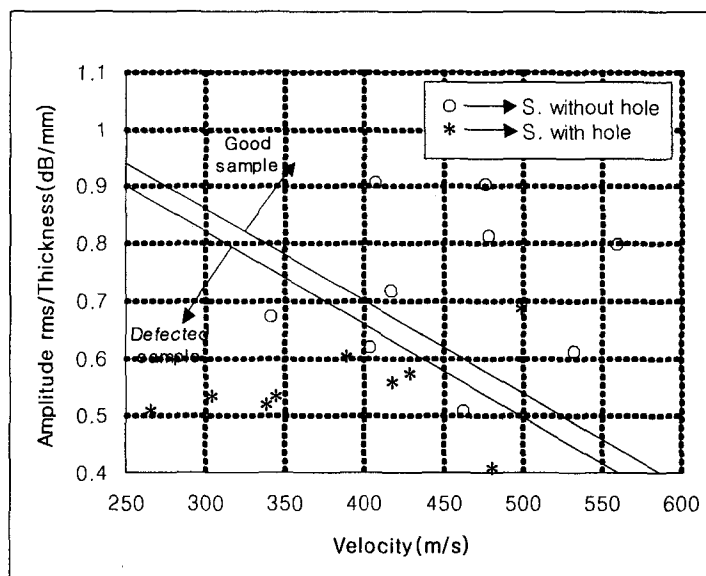


Fig.5 Relationship between velocity and RMS/thickness for 18 potatoes sample.

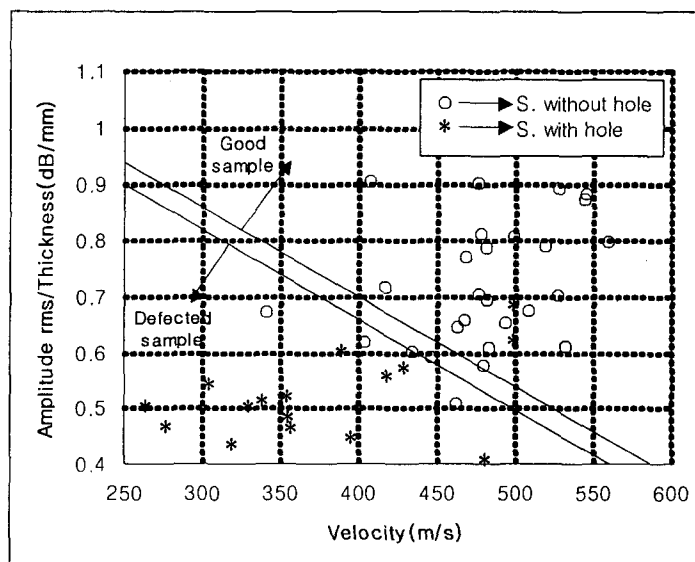


Fig. 6 Relationship between velocity and RMS/thickness for 46 potatoes sample.

실제 적용에 있어 대서감자 내부 중심공동의 유무를 판정하기 위한 기준이 필요한데 본 연구에서는 양호, 불량, 판정불가의 3가지로 판정하기로 하였다. 이를 위해 임의의 18개 시료에 대해 투과속도와 RMS/두께를 측정하고 시료를 절단하여 내부 중심 공동여부를 확인하여 판별선을 그었다. 그림에서 보는 바와 같이 공동유무를 비교적 정확하게 판별할 수 있었다. 이러한 현상을 좀더 구체적으로 조사하기 위하여 총 46개의 시료에 대해 앞서 제안한 판정법을 적용하여 보았다. 양호, 불량, 판정불가의 판정을 내린 후 시료를 절단하여 내부 공동 여부를 확인하였다. 실험결과는 그림 7에 도시한 바와 같이 정판정 87.0%, 오판정 8.7%, 판정 불가 4.3%의 결과를 얻었다. 여기서 판정불가는 판정선 사이에 있는 것들이며 오판정된 경우의 시료들은 감자의 형상이 매우 불균일하여 초음파 전파경로가 중심을 벗어나 난 경우가 대부분이었다.

4. 요약 및 결론

청과물의 내부 품질을 초음파를 이용하여 비파괴적으로 평가하기 위한 시스템을 구성하였으며 감자(대서)에 적용하여 시험한 결과는 다음과 같다.

1) 초음파를 이용한 청과물 품질 평가 시스템의 가능성을 제시하였다. 여기서는 투과성을 최대화하기 위해 100kHz 이하의 주파수 대역을 사용하고 안정적인 접촉을 위한 공압기구를 적용하였으며, 또한 혼을 장착하였다.

2) 본 시스템의 가능성을 포테이토칩용 대서 감자를 예로 들어 검증하였다. 여기서는 음속 및 샘플의 두께로 정규화된 수신 신호의 RMS레벨을 파라미터로 하여 내부 공동 유무를 판정하였으며 그 결과 초음파 전파경로가 감자의 중심을 벗어나 오판정된 경우를 제외하면 정판정률은 95.7%이고, 판정이 애매한 4.3%의 샘플은 모두 정상샘플로 결함을 정상으로 판정하는 오류는 없었다. 검증 결과 절단 하지 않고는 판별할 수 없는 내부 중심 공동 여부를 평가하는 데 매우 효과적이었다.

5. 참고문헌

1. 장경영 외2인. 1998. 수박에서의 초음파 전파특성에 관한 실험적 연구. 한국농업기계학회지 23(6):615-620
2. 김현준 외8인. 1991. 재배조건에 따른 가공용 감자의 품질에 관한 연구. 농사시험연구논문집. 33(2):83-90
3. Park B. 1996. Ultrasonic Technology for Nondestructive Food Quality Evaluation. Proc. Int. Symp. on Quality Evaluation of Agricultural Products and Foods Using Nondestructive Techniques. 112-134.
4. Chen P., M. J. McCarthy and R. Kauten. 1989. NMR for Internal Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. ASAE. 32(5):1747-1753