# 수삼의 초음파 전달속도 계측 자동화 시스템 개발

# Development of Automatic System to Measure Transmitted Ultrasonic Speed of Raw Ginseng


서동현* 김기대* 강호양** 김찬수*** 이현동*

정회원 정회원 정회원 정회원

D. H. Seo K. D. Kim H. Y. Kang C. S. Kim H. D. Lee


## 1. 서 론

수삼은 저장성이 없으므로 장기간 저장 유통시킬 목적으로 홍삼과 백삼으로 가공하여 사용되어 왔으며 홍삼은 약효뿐만 아니라 장기간 저장하여도 품질면에서 대단히 안정한 것으로 인정되어 왔다. 홍삼은 부가가치가 매우 큰 제품으로 국내보다 동남아 등 외국에서 호평을 받고 있으며, 매우 비싼 가격에 판매되고 있다. 특히 상급인 천삼과 지삼은 공급이 수요를 따라가지 못하고 있다.

홍삼의 품질은 화학적 성분에 의해 결정되는 것이 아니라 100% 물리적 외형에 의해 결정되기 때문에 증삼, 1차건조, 2차건조 과정에서 발생하는 물리적 결함을 예방할 수 있는 조건을 찾는 기술의 개발도 필요하지만 최고급 홍삼을 생산하기 위해서는 홍삼의 원료인 수삼의 선별이 가장 중요하다고 할 수 있다(강,1999).

현재까지는 수삼을 선별할 때 외형과 중량으로만 선별하고 있으나 수삼 중에는 이미 내공 등의 결함을 가지고 있는 것이 있다. 이러한 내부적인 결함은 기존의 방법으로는 구분해 낼 수 없기 때문에 비파괴적인 검사방법을 사용하여야 한다. 농산물의 비파괴 검사방법으로는 지금까지 근적외선(NIR), 핵자기공명(NMR), 초음파(ultrasonic), 음향자극(acoustic excitation), 연 X선(soft X-ray)등을 이용한 방법 등 여러 가지 방법들이 시도 되어왔다 (Chen, 1989; Ikeda, 1995; Jhang, 1998; kawano, 1989). 그 중에서도 저가인 농산물을 간편, 정확, 안전하게 평가할 수 있어야 하고 저렴한 비용으로 평가할 수 있어야 한다는 측면에서 초음파를 이용하는 기법이 유력한 수단의 하나로 기대받게 되었다.

초음파를 이용하여 내부 품질을 평가하는 방법 중에는 여러 가지 인자들 중에서 현장에서 적용하기 간편한 초음파의 전달 속도에 관련된 많은 연구들이 진행되어 왔다. 농산물을 투과하는 초음파의 전달 속도는 농산물의 밀도나 함수율, 내부조직 등에 의해 크게 영향을 받기 때문에 농산물의 초음파 전달속도를 측정하기 위해 초음파 탐촉자를 농산물에 접촉시킬 때 농산물에 가하는 힘은 농산물의 밀도나 내부조직을 변화시켜 초음파의 전달 속도를 변화시키는 원인이 된다.


* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과
** 충남대학교 농업생명과학대학 임산공학과
*** (주) 엔에스티

따라서, 농산물 내부 품질의 비파괴 평가 및 선별을 위해 농산물의 초음파 전달 속도를 측정할 때는 초음파 탐촉자로 농산물에 가하는 힘을 일정하게 하여야 하며, 그 상태에서 농산물의 초음파 전달속도를 측정하여야 한다. 그러나, 대부분의 초음파 장치는 초음파의 전달시간만을 측정할 수 있으므로, 농산물의 초음파 전달 속도 측정을 위해서는 농산물에 힘이 가해진 상태에서 그 크기를 측정하여 초음파 전달시간과 농산물 크기와의 관계에서 농산물의 초음파 전달속도를 계산해야 한다.

초음파 탐촉자로 농산물에 일정한 힘을 가하고, 농산물의 크기와 초음파 전달 시간을 측정하여 초음파 전달 속도를 계산하는 이러한 일련의 과정을 수작업으로 할 경우 많은 시간과 노동력이 소요될 것이며 측정값도 부정확할 것이다. 또한, 농산물의 선별을 위해 농산물을 특정한 장소로 운반하여 농산물의 초음파 전달속도를 측정할 경우에는 그에 따르는 많은 노동력과 시간이 소요되고 운반 과정에서 농산물이 손상을 입을 가능성이 있으므로 많은 측정대상물을 현장에서 직접 빠른 시간 내에 간편하게 측정할 수 있는 장치가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 농산물의 초음파 전달 속도를 측정하기 위하여 농산물의 초음파 전달시간과 측정대상물의 크기를 동시에 자동으로 측정할 수 있는 시스템을 개발하여 수삼의 초음파 전달 속도를 측정하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

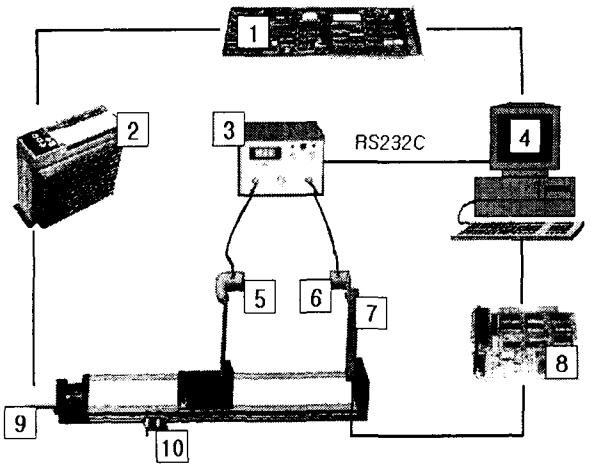
### 가. 하드웨어 설계

본 연구에 사용된 계측 시스템은 측정 대상물의 크기와 대상물을 누르는 압력, 초음파가 대상물 내부를 통과하는데 걸리는 시간을 자동으로 측정하여 초음파의 전달 속도를 구하고자 하였다. 그림 1은 설계 제작된 실험 장치의 블록 다이아그램을 나타낸 것이고 그림 2는 실험 장치 전체의 사진, 그림 3은 설계 제작된 초음파 전달 속도 측정 장치의 사진이다.

설계 제작된 실험장치는 시스템 전체를 작동시키기 위한 구동장치, 힘을 측정하기 위한 하중변환기, 초음파 관련장치와 전체 시스템을 제어하기 위한 컴퓨터 등으로 구성되어 있다.

시스템 구동장치는 액츄에이터로 사용된 AC 서보모터, 서보모터에 펄스를 출력하는 서보모터 드라이버, 펄스를 생성하기 위한 모터 인터페이스 보드 등으로 구성되어 있다. 모터의 회전축에는 볼스크류가 커플링으로 연결되어 있고, 이동 평판의 위치와 속도를 제어하기 위한 2개의 리미트 스위가 이동 경로 위에 부착되어 있다.

하중변환기로는 로드셀을 사용하였고, 로드셀 위에 수신용 트랜스듀서를 부착하여 송신용 트랜스듀서의 이동에 의해 측정대상물에 발생하는 압축력을 측정할 수 있도록 하였다. 초음파 장치는 RS232C로 컴퓨터와 통신할 수 있도록 하였다.




1. Motor interface board
2. Servo motor driver
3. PUNDIT
4. Micro computer
5. Transmitting transducer
6. Receiving transducer
7. Load cell
8. Strain Amplifier & A/D converter board
9. AC servo motor
10. Limit switch

Fig. 1. Schematic diagram of automatic measuring system for measuring transmitted ultrasonic velocity of agricultural products

Fig. 2 General view of experimental system

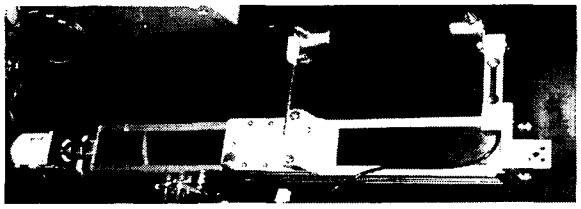


Fig. 3. Experimental equipment designed and developed

**나. 소프트웨어 설계**

본 연구의 소프트웨어는 Microsoft社의 Windows용 언어인 Visual Basic 6.0으로 개발되었고, 모터 구동부와 A/D 변환과 관련된 입출력 포트는 Visual C++에서 DLL 파일로 작성하여 Visual Basic에서 사용할 수 있도록 하였다. 모터 구동, A/D 변환, RS232C 통신 등과 관련된 부분은 각각의 모듈화된 함수로서 구동하고자 하였다.

시스템의 제어 및 계측 프로그램의 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 시스템을 초기화한 후 시스템을 작동시키기 위한 파라미터를 입력하면 송신용 트랜스듀서는 지정된 위치까지 이동한 후 감속된 속도로 측정 대상을 압축한다. 압축하는 힘이 일정 수준에 도달하면 모터의 작동을 멈춘 후 초음파 신호에 삽입되는 잡음을 감소시키기 위해 모터 및 모터 드라이버의 전원을 차단시킨 후 대상물의 크기와 초음파 전달 시간을 측정하여 초음파 전달 속도를 계산한 후 모터와 모터 드라이버의 전원을 켜고 시스템을 초기화한다.

그림 4는 시스템 구동 및 제어 계측 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다.

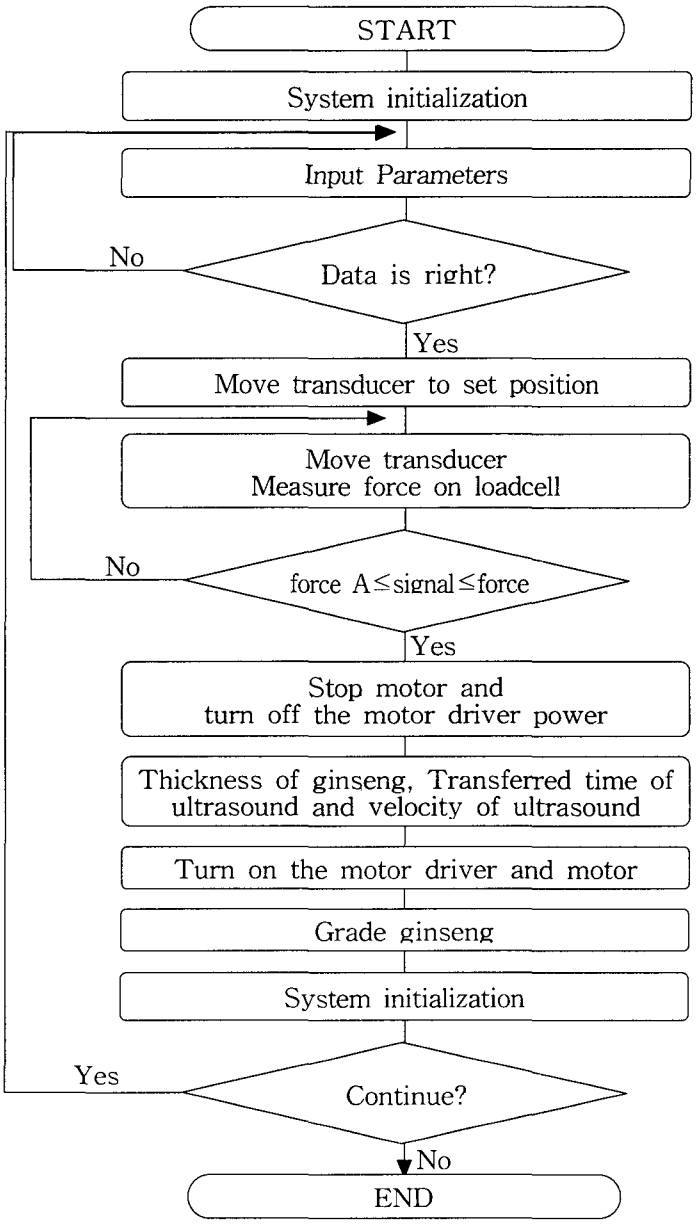



Fig. 4. Flow-chart of the developed control program

**다. 시스템의 성능 평가**

**① 시스템의 정확도 측정 실험**

시스템의 정확도를 측정하기 위해 이동 평판을 10, 20, 40, 60mm/s의 속도로 30, 60, 90, 120, 150mm의 거리만큼 이동하도록 한 후 시스템에 부착된 1/100mm 정밀도를 갖고 있는 디지털 버니어캘리퍼스로 오차를 측정하여 시스템의 정확도를 측정하였다.

② 시스템 반복 정밀도 측정 실험

실제로 시스템을 사용할 경우에는 시스템을 초기화하지 않고 연속적으로 측정한다. 따라서, 본 연구에서는 시스템의 초기화 없이 20, 30, 40, 50, 60mm의 거리를 소프트웨어의 환경설정 모드에서 설정 가능한 15mm/sec와 30mm/sec의 속도로 10회, 20회, 30회, 40회 왕복하는 실험을 하였고 그 때의 반복 정밀도를 측정하였다.

각각의 반복 측정시에 오차의 평균은 양수와 음수가 모두 발생할 수 있기 때문에 산술평균을 사용하지 않고, 편차평균을 이용하여 구하였다. 반복 정밀도 측정을 위한 실험장치로는 1/1000mm까지 측정할 수 있는 Anritsu(Japan)社에서 제작한 모델명이 KL135A인 레이저 스캐너를 사용하다.

③ 크기 측정 실험

본 시스템의 주 적용 대상물인 인삼을 비롯한 농산물은 대부분 점탄성체이기 농산물이 아닌 실제 크기를 알고 있으며 강체라 가정할 수 있는 알루미늄 조각을 측정 대상물로 설정하고 그 두께를 측정하였다. 알루미늄 조각의 두께는 1/100mm 정밀도의 디지털 버니어캘리퍼스로 측정하였고, 시스템으로는 실제 농산물의 크기 측정법과 동일한 방법으로 그 두께를 측정하였다. 디지털 버니어캘리퍼스로 측정한 측정 알루미늄 조각의 두께는 2.95, 30.06, 39.78, 49.71, 60.01cm였으며 이동평판에 달린 송신용 트랜스듀서로 알루미늄 조각에 2$kg_f$의 힘을 가한 상태에서 그 두께를 측정하였다.

라. 수삼의 초음파 전달 속도 측정

본 연구에서 설계·제작된 시스템의 적용 실험으로서 우리나라에서 생산되는 고부가가치 농산물 중 하나인 수삼을 측정 대상으로 선정하여 초음파 전달 속도를 측정하고자 하였다. 실험에는 충남 금산 지방에서 재배된 6년근 2등급 수삼이 사용되었다.

수삼의 초음파 전달속도의 측정은 수삼의 외부를 절단하여 평평하게 만든 다음 초음파 송·수신 트랜스듀서에 수삼을 밀착시켜 측정하는 방식으로 하였다. 수삼에 가한 힘은 2kgf(강, 1999)으로 하였고, 매 실험마다 수삼 및 트랜스듀서에 물을 발라 측정한 후 수삼에 가해진 힘, 수삼의 직경, 초음파 전달 시간, 초음파 전달속도를 컴퓨터의 하드디스크에 저장하도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

가. 시스템의 성능평가 결과

① 시스템의 정확도 측정 실험 결과

정확도를 측정하기 위해 이동 평판을 15, 30mm/s의 속도로 30, 60, 90, 120, 150mm의 거리만큼 이동하도록 한 후 시스템에 부착된 1/100mm 정밀도를 갖고 있는 디지털 버니어캘리퍼스로 오차를 측정하여 시스템의 정확도를 측정한 결과는 표 1과 같다. 이동 평판이 60mm의 거리를 15mm/s의 속도로 움직였을 때는 편차값이 0이었다. 이동 속도가 15mm/s일 때와 30mm/s일 때 모두 0.02mm 이하의 오차값을 나타내었다.

이동 평판의 이동속도에 대한 편차의 관계를 보면 15mm/s와 30mm/s에서 모두 비슷한 크

기의 편차값을 나타내어 시스템의 정확도는 이동 속도에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있었고 이러한 결과값들은 측정 대상물의 크기를 측정하기에 적당하다고 사료되었다.

Table 1. Result of accuracy test of moving system

| Moving speed (mm/sec) | Command distance to move (mm) | Error (mm) |
|---|---|---|
| 15 | 30 | 0.02 |
| | 60 | 0.00 |
| | 90 | 0.01 |
| | 120 | 0.01 |
| | 150 | 0.01 |
| 30 | 30 | 0.02 |
| | 60 | 0.01 |
| | 90 | 0.01 |
| | 120 | 0.02 |
| | 150 | 0.02 |

**② 시스템의 반복 정밀도 측정 실험 결과**

반복정밀도를 측정한 결과는 표 2와 같다. 각 측정위치에서의 반복에 의한 편차는 전 구간에서 0.02mm 이내로 나타났고, 이동 평판의 이동속도가 15mm/s였을 경우에는 이동 회수 30회, 이동 거리 60mm일 때 최대 편차 0.019mm를 나타냈으며 이동속도가 30mm/s일 경우에는 이동 회수 40회, 이동 거리 20mm에서 0.02mm의 최대 편차를 나타내었다. 이 값들은 수삼을 비롯한 농산물의 초음파의 전달 속도의 측정값에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 사료되었다. 또한, 편차의 크기와 이동속도는 무관한 것으로 판단되며 반복회수와 편차의 크기 또한 무관한 것으로 판단되었다.

Table 1. Result of repeatability test of the system

| Moving speed (mm/s) | Distance (mm) | Repeatability error by repeated movement (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 times | 20 times | 30 times | 40 times |
| 15 | 10 | [illegible] | 0.003 | 0.011 | 0.013 |
| | 20 | 0.005 | 0.009 | 0.003 | 0.013 |
| | 30 | 0.001 | 0.008 | 0.011 | 0.009 |
| | 40 | 0.018 | 0.015 | 0.005 | 0.003 |
| | 50 | 0.009 | 0.011 | 0.007 | 0.011 |
| | 60 | 0.007 | 0.001 | [illegible] | 0.011 |
| 30 | 10 | [illegible] | 0.004 | 0.011 | 0.008 |
| | 20 | 0.003 | 0.010 | 0.018 | [illegible] |
| | 30 | 0.010 | 0.006 | 0.006 | 0.007 |
| | 40 | 0.009 | 0.008 | 0.009 | 0.015 |
| | 50 | 0.005 | 0.016 | 0.009 | 0.015 |
| | 60 | 0.001 | 0.007 | 0.011 | 0.016 |

③ 크기 측정 실험 결과

점탄성체인 수삼 대신에 알루미늄 조각에 2kg$_f$의 힘을 가한 상태에서 시스템으로 크기를 측정한 값과 1/100mm 정밀도의 디지털 버니어 캘리퍼스로 측정한 값과의 최대 편차는 0.08mm였다. 이 값은 측정 대상물인 농산물이나 수삼의 크기를 측정하기에 적당하다고 사료되었다. 표 3은 크기 측정 실험 결과로서 디지털 버니어 캘리퍼스로 측정한 대상물의 크기와 시스템으로 측정한 크기, 그리고 그 두 값의 편차를 나타내고 있다.

Table 3. Result of the test for measuring size

| [A] Size by vernier calipers (mm) | [B] Size by measuring system (mm) | Error (=[A]-[B]) (mm) |
|---|---|---|
| 21.95 | 21.87 | 0.08 |
| 30.06 | 29.98 | 0.08 |
| 39.78 | 39.70 | 0.08 |
| 49.71 | 49.64 | 0.07 |
| 60.01 | 59.94 | 0.07 |

나. 수삼의 초음파 전달 속도 측정결과

수삼을 절단한 후 초음파 트랜스듀서와 밀착하여 측정한 수삼의 초음파 전달속도는 평균 396.4m/s였다. 직경이 작은 트랜스듀서가 개발되면 접촉면이 불균일한 원형 수삼에도 바로 적용하여 초음파 전달속도의 정밀한 측정이 가능할 것으로 사료되었다.

## 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 수삼의 가공전 선별을 위해 현장에서 편리하게 사용할 수 있는 초음파 전달속도 계측 자동화 시스템을 개발하여 그 성능을 평가하고자 하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 개발된 시스템은 제어용 컴퓨터, 시스템 구동 및 탐촉자 이동 장치, 하중 변환장치, 초음파 발생 및 송수신 장치 등으로 구성되었다.
2. 제어 및 계측용 프로그램은 압축력, 측정 대상물의 크기, 초음파 전달 시간을 순차적으로 계측하여 초음파 전달 속도를 계산하는 알고리즘을 개발하였으며, Visual Basic 6.0으로 작성되었다. 모터의 작동, A/D 변환, RS232C 통신 등과 관련된 부분은 각각의 모듈화된 함수로서 구동하고자 하였다.
3. 개발된 시스템의 속도와 거리별 이동 거리별 오차를 측정한 결과 0~0.04mm 범위를 나타내었다. 이 값은 시스템의 허용오차인 0.17mm 오차보다는 현저히 작은 값이었고 15mm/s와 30mm/s의 이동 속도에서 모두 비슷한 크기의 오차값을 나타내었다.
4. 개발된 시스템의 속도별 반복정밀도 실험 결과 측정위치에서의 반복에 의한 정지 위치 오차는 전 구간에서 0.02mm 이내로 나타났고, 이동 평판의 이동속도가 15mm/s였을 경우에는 이동 회수 30회, 이동 거리 60mm일 때 최대 편차 0.019mm를 나타냈으며 이동속도가 30mm/s일 경우에는 이동 회수 40회, 이동거리 20mm에서 0.02mm의 최대 편차를

나타내었다.

5. 5개의 알루미늄 조각의 크기를 시스템으로 측정한 결과 측정값의 최대 편차는 0.08mm였다. 이 값은 시스템의 허용오차인 0.17mm의 50% 수준으로 시스템은 대상물의 크기 측정에 적당하다고 사료되었다.
6. 절단된 수삼의 초음파 전달속도는 평균 396.4m/s였다.

## 5. 참고 문헌


1. 강호양. 1999. 최고급 품질의 홍삼제조를 위한 공정 개발. 농림기술개발사업 1년차보고서. 충남대학교 농과대학
2. Chen P., M. J. McCarthy and R. Kauten. 1989. NMR for Internal quality evaluation of fruits and vegetables. Trans. of the ASAE 32(5):1747-1753
3. Ikeda, Y., T. Nishizu and Y. Ishii. 1995. Non-destructive quality evaluation of agricultural products using by ultrasonic technique. Proceeding of ARBIP95. Kobe. Japan. 1995. 197-203
4. Jhang, K. Y., M. S. Kim and H. K. Cho. 1998. An experimental study on the propagation characteristics of ultrasonic wave in watermelon. Journal of KSAM 23(6): 615-620.
5. Kawano S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1989. Determination of sugar contents in intact peach by Near Infra-red (NIR) spectroscopy. Journal of JSAM 58(2):604-605.
6. Kim, K. D. and T. Kojima. 1996. development of an automatic system for a vegetable factory. Journal of Kyushu Branch of the Japanese society for agricultural machinery 45: 22-25