

# 초음파를 이용한 한우도체 연도 측정 시스템 개발

## Development of Tenderness Measurement System of Beef Carcass Using Ultrasound

조성인*	남기찬*	임용우*
정회원	정회원	정회원
S.I.Cho	K.C.Nam	Y.W.Lim

### 1. 서 론

도체의 품질은 일반적으로 등급 판정사가 근내 지방도(marbling), 고기색 및 지방색, 고기의 결 등을 육안으로 관찰하여 판단하게 된다. 이들 요인 중 도체의 품질을 판정 시 고려되는 하나의 인자인 연도(tenderness)는 소비자가 근육식품을 씹을 때 여러 요인이 서로 영향을 미쳐 종합적으로 느끼게 되는 일종의 감각이다. 연도는 서양에서는 이미 도체의 품질판정 인자로서 중요하게 고려되고 있으며 국내에서도 소비자들이 구매의 중요한 요소로서 그 중요성은 날로 증가하고 있다. 그러나 현재의 연도판정은 판정사가 고기의 결등을 육안으로 관찰하여 다분히 주관적으로 판단되고 있다. 또한 판정시간 및 인력의 소모와 같은 문제점이 발생하고 있다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위해 연도를 실시간으로 측정할 수 있는 저가의 시스템을 도축장에 설비하여 연도측정의 객관적 기준을 마련할 필요가 있다. 국내외의 연구사례를 살펴볼 때 연도를 측정하기 위해 초음파나 근적외선(NIR)을 이용하는 연구가 진행중이다. 이 중 NIR은 화학적인 변화를 감지하는 데 용이하며 비교적 고가의 장비가 갖추어져야 한다. 그러나 연도는 근육의 물리적인 변화에 기인하는 인자이므로 NIR을 이용한 연구보다는 비교적 저가의 장비와 손쉬운 사용으로 인해 초음파를 이용하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 초음파를 이용한 연도의 측정은 인력에 의한 측정이 대부분이다. 이러한 인력에 의한 측정시 탐촉자와 도체의 비수직 접촉으로 인한 신호의 불완전성, 측정시 접촉 위치의 변화에 의한 노이즈 발생등의 문제점이 발생하였다.

따라서 본 연구는 초음파를 이용하여 한우 도체의 연도를 측정할 수 있는 시스템을 개발하는 것이며 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

- (1) 초음파 측정의 단점을 보완하고 객관적으로 연도를 측정할 수 있는 시스템의 개발
- (2) 도축장에 설치할 수 있는 저가의 기본설비로서의 시작기 개발

---

\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

## 2. 재료 및 방법

한우도체 측정을 위한 기본 시스템을 그림 1과 같이 초음파 발생장치, 자동탐침자 수직이동장치, 분석장치, 컨트롤러 그리고 연도표시장치로 구성하였다.

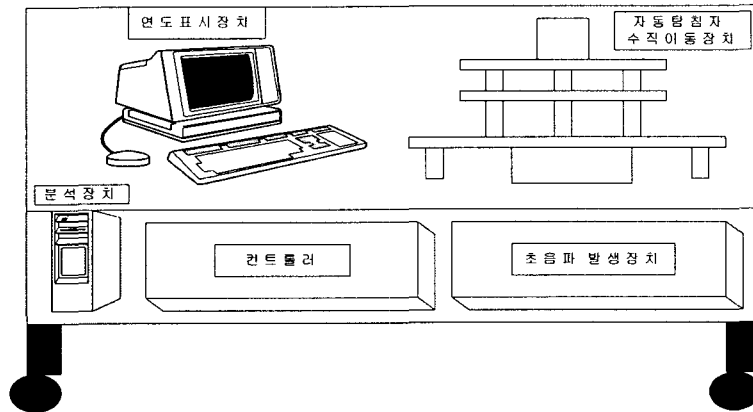


Fig. 1 Tenderness measurement system

초음파의 측정방식에는 투과된 신호를 측정하는 방식과 반사된 신호를 측정하는 방식이 있다. 본 연구에서는 신호측정시 초음파가 도체를 완전히 통과할 수 없으므로, 도체에 초음파 펄스를 보내고, 조직으로부터의 반사신호를 얻는 펄스에코법을 사용하였으며, 초음파 발생장치는 표 1에 나타난 초음파 pulser/receiver(PR-35, JSR)와 탐촉자(큐씨맨인터내셔널)를 사용하여 구성하였다

Table 1. Specification of PR-35

Mode	Pulse-Echo or Through Transmission
Pulser Repetition Rate	0~5000Hz
Bandwidth	0.001~35MHz(-3dB)
High Pass Filter	0.001, 0.3, 1.0 or 5.0MHz
Low Pass Filter	10, 15, 25, 35MHz

육류는 특성상 강체가 아니기 때문에 인력으로 초음파 신호를 획득시 탐촉자가 도체에 비수직으로 접촉되어 도체로부터 반사되는 신호가 탐촉자에 완전하게 도달하지 못하게 되며, 또한 도체에 탐촉자를 접촉시 누르는 압력이 달라지면, 도체의 변형에 따른 노이즈 신호가 생기게 된다. 이러한 초음파 신호의 획득시 발생하는 외란을 최소화하기 위해 자동 탐침자 수직이동장치를 설계하였다.

데이터 획득 및 분석장치는 PC, 표 2의 digitizer(NI-5911, National Instruments, USA), Labview 5.1을 이용하여 구성하였다. 초음파 발생장치의 대역폭은 최대 35MHz이므로 변형 없이 신호를 검출하기 위해서 2배 이상의 검출능력을 가진 데이터 획득 장치를 사용하였다. 또한 LabVIEW 5.1을 이용하여 초음파 신호를 획득, 분석하고 연도 측정 프로그램을 작성하

였다.

Table 2. Specification of NI-5911

Bandwidth	100MHz maximum, at all input ranges
Number of channels	1 for PCI, 2 for VXI
Max sample rate	1 GS/s repetitive, 100Ms/s single shot
Amplitude accuracy	$\pm 0.05\%$ signal
Input coupling	DC and AC, software selectable
Resolution	8~21 bit
Measurable range	+10V ~ -10V

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 자동 탐촉자 수직이동장치 설계

자동 탐촉자 수직이동장치는 그림 2와 같이 탐촉자를 상승·하강 시킬수 있는 운동부, 구동부 그리고 제어부로 구성되었으며, 제어부는 마이크로컨트롤러(PB-1S, Comfile Technology), DC motor, relay 그리고 limit switch로 구성되었다.

수직이동장치는 외부로부터 신호가 검출되면 제어부는 모터를 정회전으로 구동하여 스크류와 직선운동 베어링에 부착된 상하운동부는 하강시킨다. 운동부에 장착된 탐촉자가 도체와 접촉한 후 초음파 신호 획득이 끝나면 외부로부터 신호를 검출하여 제어부는 모터를 역회전으로 구동하여 상하운동부는 상승시킨다. 상승이 일정한계 이상이면 모터에 과부하를 주게 되므로 이를 방지하기 위해 리미트 스위치를 부착하였다. 한계 이상으로 탐촉자가 상승시 리미트 스위치는 상판과의 접촉으로 모터에 입력되는 전원을 차단하게 되며 모터의 회전은 멈추게 되어 상하운동부는 정지한다. 그림 3은 제어부의 회로도이다.

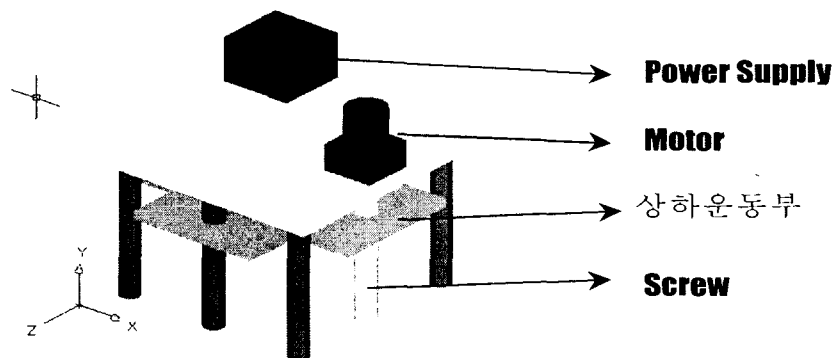


Fig. 2 Automatic device moving vertically with transducer

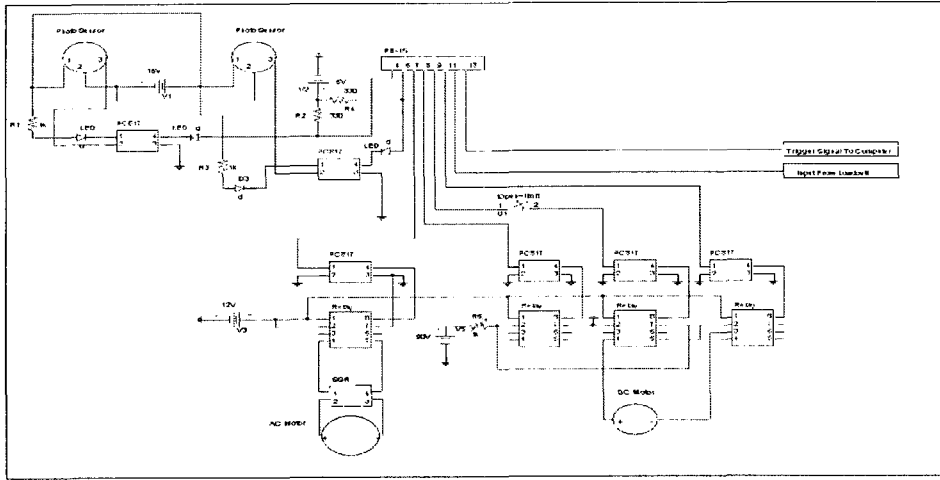


Fig. 3 Circuit of the controller

나. 연도 측정 시스템 구성 및 검증

도체 이송장치, 초음파 측정장치, 탐침자 수직이동장치, 그리고 데이터 획득 및 분석장치를 이용하여 그림 4와 같이 연도 측정 시스템을 구성하였으며, 측정 알고리즘은 그림 5와 같다. 컨베이어 도체 이송장치 위에 놓인 도체는 벨트가 이동함에 따라 탐촉자의 하부로 이동한다. 광센서에 의해 도체가 감지되면 수직이동장치에 부착된 탐촉자는 하강하게 되고, 압력센서에 의해 도체와의 접촉이 감지되면 6초 후 탐촉자는 정지한 후 PC로 트리거 신호를 전송한다. 신호를 전송받은 PC는 digitizer를 통해 초음파 신호를 획득하고 획득된 신호는 1MHz~1.1MHz의 대역폭으로 bandpass filtering 후 hilbert 변환식을 이용하여 filtering 된 신호의 envelope를 구한다. 측정 프로그램은 envelope된 신호를 분석하여 연도를 모니터에 표시한 후 트리거 신호를 제어부로 전송한다. 전송된 신호를 검출한 제어부는 탐침자 수직이동장치를 상승시키며 이때 시료의 손상을 방지하기 위해 지연시간 후 도체 이송장치를 구동한다. 그림 6과 7은 시스템의 작동 모습이다.

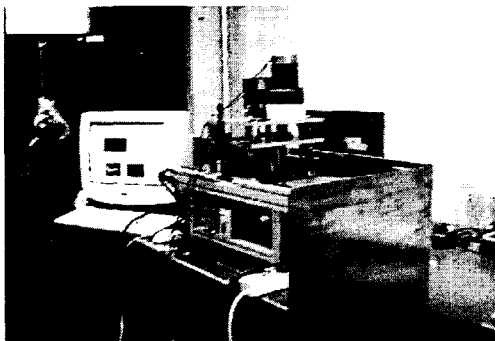


Fig. 4 Composition of system

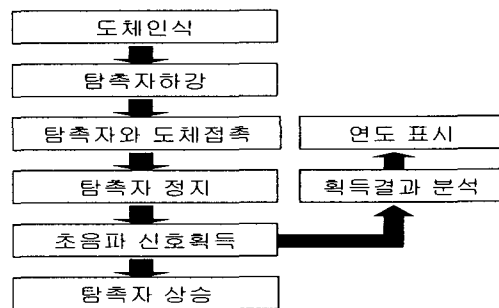


Fig. 5 Algorithm for system operation

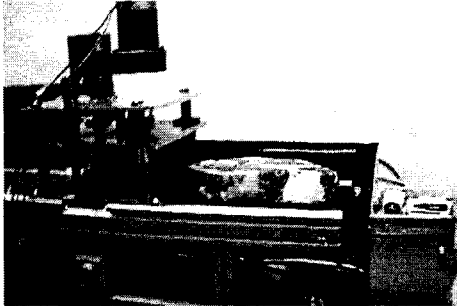


Fig. 6 Beef carcass on conveyor

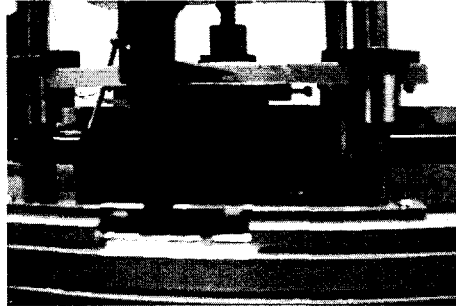


Fig. 7 Acquiring ultrasonic signal

다. 최적 접촉 위치 결정

도체의 초음파 신호를 획득 시 유의성있는 접촉위치 결정을 위해 탐촉자가 도체와 접촉 후 3초(1단계), 6초(2단계), 9초(3단계) 하강의 3단계로 나눈 후 각 단계별 신호분석을 실시하였다. 탐촉자의 하강속도는 2mm/s로 결정하였으며 탐촉자와 도체의 접촉순간은 압력센서에 의해 감지되었다. 실험된 시료는 40개였으며 획득된 envelope를 이용, FFT(Fast Fourier Transform)변환을 수행하였다. 변환된 스펙트럼을 연도 측정의 표준방법인 WB 전단력을 기준으로 PLS(Partial Least Square)와 PCR(Principal Component Regression) 통계분석을 실시한 결과 PLS 보다는 PCR 분석이 더 유의성 있는 결과를 나타내었으며 2단계에서 validation 결정계수  $R^2 = 0.6474$  의 제일 좋은 결과를 나타내었다. 따라서 최적 접촉 깊이를 2단계로 결정하였으며 그림 8은 분석결과이다.

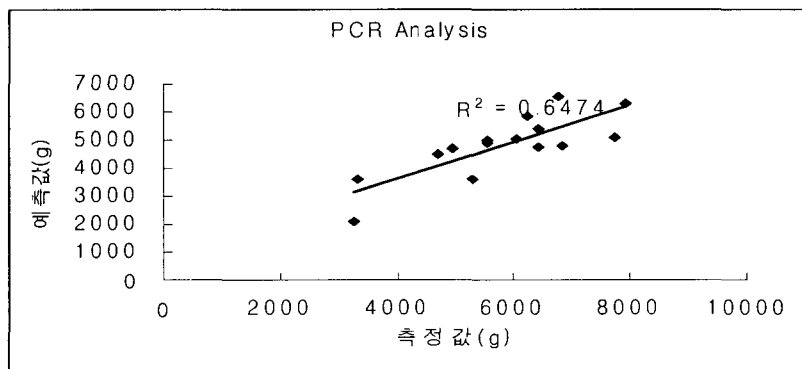


Fig 8. PCR analysis of step 2

다. 통계 모형 개발

결정된 최적 접촉 위치에서 연도 예측 모형 개발을 위한 추가 실험 및 통계분석을 통해 모형을 개발하였다. 실험된 시료의 개수는 80개였으며 획득된 envelope 신호를 FFT 변환 후 PLS와 PCR 분석을 통하여 결정계수를 구하였다. 그 결과 PLS보다는 PCR이 더 유의성이 있는 결과를 보였으며  $R^2 = 0.4304$ 의 값을 나타내었다. 그림 9는 분석결과이다.

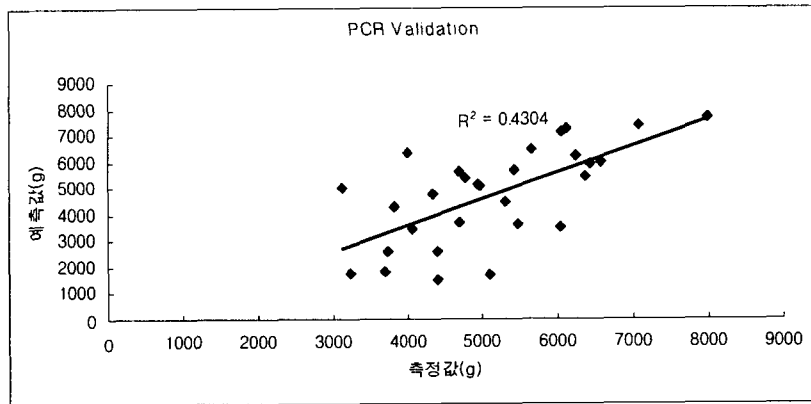


Fig. 9 PCR analysis

다. 연도 측정 프로그램 작성

개발된 통계모형을 이용, 신호를 분석 후 연도를 측정할 수 있는 프로그램을 LabVIEW 5.1을 사용하여 작성하였다. 그림 10, 11은 프로그램의 모습이다.

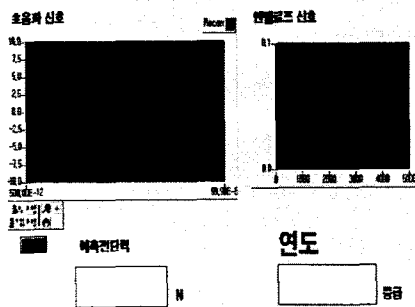


Fig. 10 developed Program

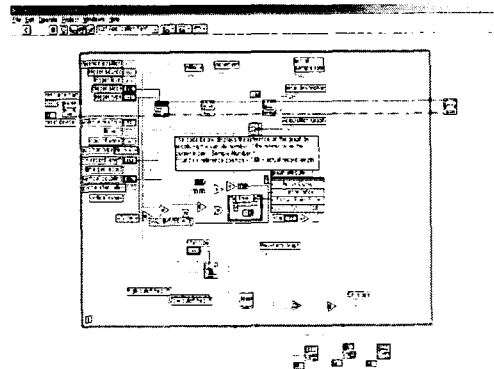


Fig. 11 Diagram of program

4. 요약 및 결론

본 연구는 초음파를 이용하여 한우도체의 연도를 비파괴적이며 객관적으로 측정할 수 있는 시스템을 개발하기 위해서 수행되었다. 한우도체 연도 측정 시스템은 크게 초음파 측정 장치, 자동 탐촉자 수직이동장치, 데이터 획득 및 분석장치로 구성되었는데 초음파 측정장치는 초음파 pulser/receiver 및 탐촉자, 자동 탐촉자 이동장치는 상하운동부, 구동부, 제어부, 데이터 획득 및 분석장치는 digitizer, Labview 5.1을 사용하여 구성되었다. 통합된 시스템을 이용하여 획득된 도체의 초음파 신호를 분석하기 위해 1.0~1.1 MHz의 bandpass filtering을 거쳐 hilbert 변환을 이용, envelope를 구할 수 있었으며 탐촉자와 도체의 최적 접촉 위치를 결정하기 위하여 3단계로 나누어 신호분석을 실시하였다. 시료의 개수는 40개였으며 획득된 envelope를 FFT 변환 후 PLS, PCR 분석을 수행한 결과 2단계의 PCR 분석에서  $R^2=$

0.6474의 유의성 있는 결과를 나타내었으므로 최적 접촉 위치로 결정하였다. 최적 접촉 위치를 통해 시료 80개의 추가 실험을 실시한 결과 PCR 분석에서  $R^2 = 0.4304$ 의 결과를 나타내었으며 이를 이용, 도체의 연도를 측정하는 프로그램을 개발하고 최종 통합 시스템을 구축하였다.

본 한우도체 연도 측정 시스템의 개발을 통해 한우도체의 전단력을 예측하여 연도를 객관적으로 판정 가능할 것으로 생각되며 또한 사이즈의 확대로 도축장에 설치하는 설비로서 가능할 것이라 사료된다. 그러나 추후 좀 더 세밀한 측정과 결과의 보안을 위한 분석방법의 개선에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 5. 참고 문헌

1. 남기찬. 2001. 가시/근적외선 반사도와 초음파 분광분석을 이용한 쇠고기 연도 예측. 서울대학교 석사학위 논문.
2. 문정훈, 김진구. 1998. 비파괴검사 - 초음파 탐상검사. 원창출판사
3. 이종락. 1997. 초음파와 그 사용법. 도서출판 세화.
4. 오동환. 1993. 가축 및 도체의 평가와 등급. 선진문화사.
5. 진병문. 2000. 초음파 분광학. 도서출판 대응.
6. Akbar M. Sayeed, Douglas L. Jones. 1995. Optimal Detection Using Bilinear Time-Frequency and Time-Scale Representations. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 43(12) : 2872~2883.
7. B. Park and Y. R. Chen. 1997. Ultrasonic Shear Wave Characterization in Beef Longissimus Muscle. Transactions of the ASAE. Vol. 40(1) : 229~235.
8. C. Ay and S. Gunasekaran. 1994. Ultrasonic Attenuation Measurements for Estimating Milk Coagulation Time. Transactions of the ASAE. Vol. 37(3) : 857~862.
9. Edward Hæggröm, Mauri Luukkala. 2001. Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products. Food Control 12. : 37~45.
10. R. Krishnan. 2001. Electric Motor Drives. Prentice Hall.