

초음파 분석을 이용한 쇠고기 연도 예측

Prediction of Beef Tenderness Using Ultrasonic Analysis

조성인*
정회원
S.I.Cho

남기찬*
정회원
K.C.Nam

안광재*
정회원
K.J.An

1. 서론

우리나라는 최근까지의 지속적인 경제성장으로 국민소득이 증가함에 따라 식생활 수준도 많이 향상되어 축산물 소비량이 해마다 꾸준히 증가하고 있다. 쇠고기의 경우 1인 1일당 소비량이 '93년에 14.5g, '95년에 18.4g, '97년에 21.6g으로 그 소비량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 소비량의 증가와 함께 식생활 수준의 향상으로 인하여 쇠고기 품질의 중요성이 증가되고 있다.

현재의 등급 판정사가 쇠고기의 품질 평가시 가장 중요하게 고려하는 품질 인자는 marbling(근내지방도)과 육색이다. 그러나 소비자의 입장에서 보면 연도도 중요한 인자로서 작용을 하며, 서양에서는 이미 중요시되고 있다.

고기의 연도는 많은 경우 조직감과 동일하게 인식되고 있으나 조직감은 연도와 다즙성이 함께 작용하는 감각이다. 소비자가 근육식품을 소비할 때 느끼는 연도는 일단 처음 씹을 때 치아가 고기를 관통하는 난이도, 그리고 나서 입 속에서 고기를 계속 씹을 때 고기가 분쇄하는 난이도, 고기를 다 씹고 난 후 삼키기 전에 입 속에 남아있는 잔유물의 양 등이 종합적으로 인식되어 평가되는 관능적 품질이다. 즉 고기의 연도는 그 화학적인 상태뿐만 아니라 물리적인 조직과도 관계를 가진다.

최근에는 육류의 연도가 등급 판정시 뿐만 아니라, 소비자의 선택에도 매우 중요시되고 있는 상황이나 아직 국내에는 이러한 쇠고기 연도에 대한 연구가 미미한 실정이다. 육류의 연도 측정의 중요성이 점차 대두되고 있으며, 상품성이나 생산성에 있어서 특히 비파괴적인 방법의 연구가 진행되어야 할 것이다. 이에 본 연구에서는 육류, 특히 쇠고기의 연도 측정을 위해서 비파괴적인 방법인 초음파를 도입하고자 한다.

2. 재료 및 방법

초음파를 이용한 쇠고기 연도 예측을 위해서 시료를 37개를 준비하였다. 이 시료를 4℃에서 24시간동안 해동을 하였으며, 이것은 Warner Bratzler 전단력 측정과 같은 조건을 만들기 위한 것이었다. 해동한 시료를 두 부분으로 나누어 하나는 Warner Bratzler 전단력 측정

* 서울대학교 생물자원공학부

용, 다른 하나는 초음파 신호 획득용으로 사용되었다. 쇠고기 시료와 초음파 probe (transducer)와의 접촉면적을 넓히기 위해서 편평한 곳에서 해동을 시켜서 샘플을 평평하게 되도록 하였다.

본 연구에서 초음파 신호를 획득하기 위해서 사용된 초음파 발생장치와 probe(transducer)는 다음 그림 1과 같다. 모델명은 JSR PR35(Ultrasonic Pulsar/Receiver)이다. 이 초음파 발생장치는 연속식 가변 주파수로 설정이 되어있다.

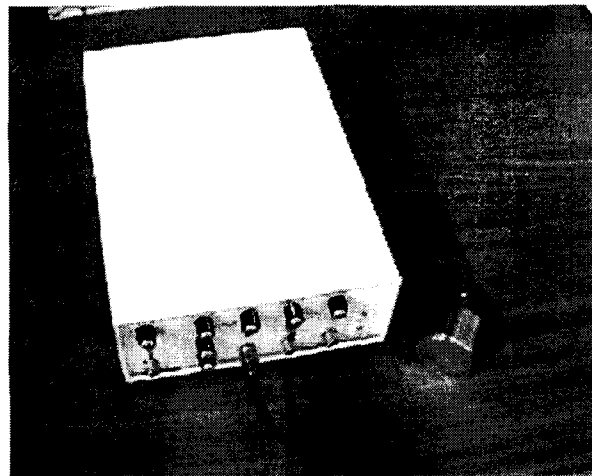


Figure 1. Ultrasonic pulser/receiver

본 연구에서는 초음파 신호의 분석을 위해서 쇠고기 초음파 신호를 측정하기 전에 공기 중에서의 초음파 신호를 먼저 획득하였다. 이것을 본 실험에서는 기준 신호(reference signal)라고 하였다. 본 실험에서 이 기준 신호를 측정한 것은 초음파 신호의 주파수가(본 실험에 사용된 주파수는 약 300kHz) 높아서 그 신호가 불안정하게 획득되기 때문이다. 초음파 신호를 측정할 때마다 초음파 probe(transducer)가 처해지는 환경이 다르게 되는데, 이로 인해 획득되는 초음파 신호가 매우 불규칙하게 된다. 이를 감안하여 쇠고기 샘플에 대한 초음파 신호를 획득하기 전에 같은 환경 조건에서 쇠고기 샘플을 제외한, 즉 공기 중에서의 초음파 신호를 먼저 측정하여 이를 기준 신호로써 사용을 하였다. 또한 본 실험에서는 이 raw data(쇠고기 표면에서 측정한 초음파 신호)를 이용하여 연도를 예측하기 위해서 쇠고기 신호와 쇠고기가 없는 상태(공기중)에서의 신호를 비교분석하기 위해서 기준신호를 획득하였다.

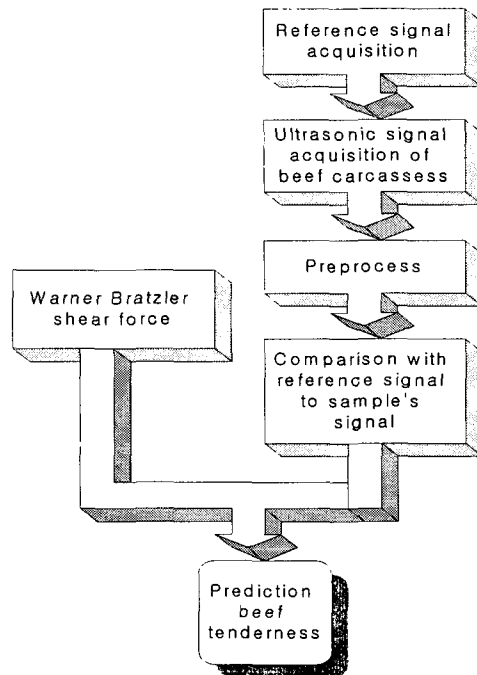


Figure 2. Algorithm of ultrasonic analysis on a time domain

이렇게 획득한 기준 신호(reference signal)에 전처리를 하였다. 본 실험에서 사용된 전처리 과정은 X축 offset, Y축 offset을 없애며, 또한 초음파 신호의 첫 peak가 나타나는 부분을 시간 0sec로 하는 것이었다. 이렇게 전처리를 거친 기준 신호(reference signal)와 마찬가지로 쇠고기 샘플의 초음파 신호도 전처리를 하였다. 초음파 신호의 time domain 상에서의 분석 알고리즘을 그림 2에 나타내었다.

초음파 분석에서, time domain 분석이외에도 주파수 변환(FFT)을 통하여 쇠고기 연도 예측 실험을 병행하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 초음파를 이용한 쇠고기 연도 예측을 위해 두 가지의 분석 방법을 고려하였다. 첫 번째는 초음파 신호의 raw data(쇠고기 표면에서 측정하여 획득한 신호, time domain)를 이용한 분석이고, 두 번째는 주파수 변환(FFT)하여 분석하는 방법이다. raw data(time domain)를 이용한 실험에서 사용된 샘플은 총 37개의 쇠고기 등심 부분이며, 이 중 임의로 선택한 20개 샘플을 사용하여 예측 모델을 개발하였으며, 나머지 17개 샘플을 이용하여 검증을 실시하였다. 또한 주파수 변환(FFT) 분석을 위해서는 한 샘플에 대해 초음파 신호를 2회씩 측정된 신호를 모두 사용하였다. 이 때 사용된 샘플 신호의 수는 65개이었

으며, 분석법은 PLS 분석법을 적용하였다.

1) Time Domain(Raw data) 분석

본 연구에서는 연도에 따른 쇠고기 샘플의 초음파 신호를 측정하기 이전에 기준신호(reference signal)라고 할 수 있는 공기 중에서의 초음파 신호를 획득하였다. 이렇게 획득한 신호는 그림 3은 기준신호의 전처리를 거친 그림이다.

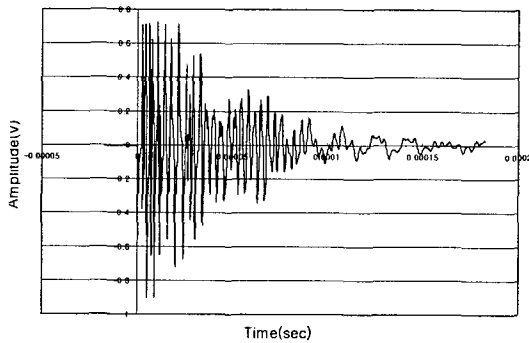


Figure 3. Reference signal in the air

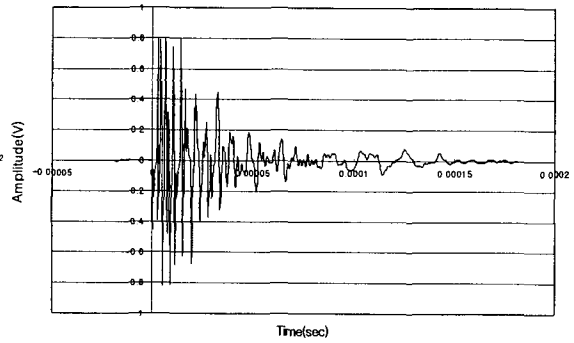


Figure 4. Ultrasonic signal from a beef

그림 4는 기준 신호처럼 전처리 과정을 거친 쇠고기 샘플의 초음파 신호를 나타낸 것이며, 이 쇠고기 샘플의 Warner Bratzler 전단력은 11.41N이었다. 그림 3과 4를 비교하면, 쇠고기의 연도에 따라서 초음파 신호가 시간에 따라서 그 양상이 다소 다름을 알 수 있다.

본 연구에서는 time domain 상에서의 초음파 신호를 구간을 나누어서 그 상관관계를 분석하였다. 특히 0.00005~0.00007sec 사이의 값들이 쇠고기 샘플의 연도에 따라서 그 유의성이 있는 것으로 판단되었다. 이것은 0~0.00005sec 사이의 값들은 초음파 고유의 신호가 강하게 반영된 것이라고 볼 수 있으며, 0.00007sec 이후의 신호는 noise가 강하게 반영된 결과라고 판단된다. 본 연구에서는 쇠고기의 Warner Bratzler shear force가 증가함에 따라 0.00005~0.00007sec 사이 값들의 감소가 기준 신호(reference signal)에 비해서 다소 작아짐을 볼 수 있었다.

그림 5는 time domain 상에서의 연도 예측 모형 개발을 보여 주고 있으며, 그 결과는 $R^2 = 0.64$, $SEC/\bar{y} = 11.94\%$ 이었다. 여기서 세로축은 쇠고기 샘플의 초음파 신호 중 0.00005~0.00007sec 사이의 peak값들의 평균값과 기준 신호에서 같은 구간(0.00005~0.00007sec 사이)의 peak값들의 평균값의 비를 %로 나타낸 것이다. 여기서 \bar{y} 는 세로축의 평균값이다.

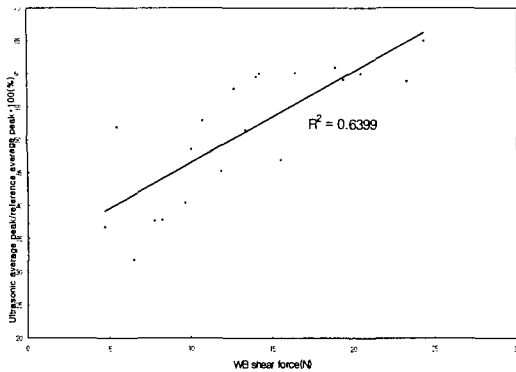


Figure 5. Prediction model on a time domain of the ultrasonic signal

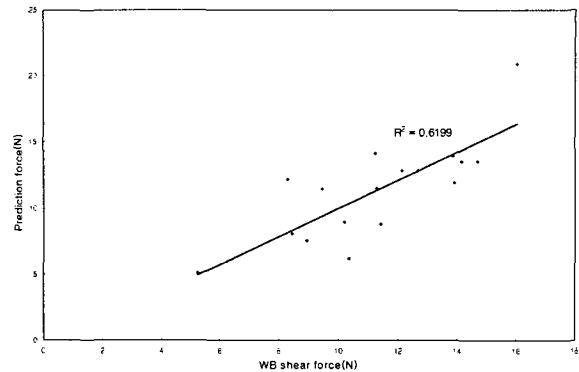


Figure 6. Validation of the prediction model on a time domain

그림 6은 time domain 상에서의 초음파 신호 분석결과 검증을 실시한 모습이다. 가로축은 예측 모델에서 개발된 수식을 이용하여 예측한 전단력(N)이며, 세로축은 Warner Bratzler shear force이다. 검증을 실시한 결과 $R^2 = 0.62$, $SEP/\bar{y} = 20.95\%$ 를 보였다. 여기서 \bar{y} 는 세로축의 평균값이다. 따라서 초음파의 time domain(raw data) 분석을 통한 쇠고기의 연도 예측이 가능하다고 판단된다.

Time domain 상에서 쇠고기의 초음파 신호를 분석한 결과를 표 1에 나타내었다. 표에서 나타나듯이 초음파 신호를 이용해 쇠고기 연도 예측의 가능성을 제시하였다.

Table 1. The results of ultrasonic analysis on a time domain

	Prediction	Validation
R^2	0.64	0.62
SEC/\bar{y}	11.94%	
SEP/\bar{y}		20.95%

2) 주파수 변환(FFT) 분석

쇠고기 샘플로부터 획득한 초음파 신호를 주파수 변환(FFT)하여 연도예측 분석을 수행하였다. 주파수 분석을 위해 쇠고기 샘플에 대한 초음파 신호를 각 2회 획득한 data를 사용하였다. 그러나 이중 data 손실이 발생한 것을 제외하고 총 65개의 초음파 신호를 이용하여 주파수 분석을 수행하였다. 그림 7은 획득한 쇠고기 샘플의 초음파 신호를 주파수 변환한 예를 보인 것이다. 주파수에 따라서 좌우가 대칭적으로 나타남을 알 수 있었다. 분석 방법으로는 amplitude를 제공하여 power spectrum을 이용하여 PLS(Partial Least Square) 분석법을 적용하였다.

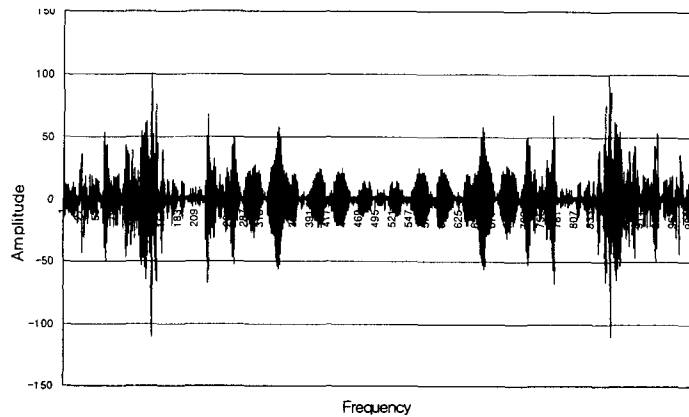


Figure 7. FFT transformations of the ultrasonic signal

쇠고기 샘플의 연도 예측을 위해서 초음파 신호를 주파수 변환(FFT)하여 PLS 분석을 적용하였다. 그 결과 amplitude를 제공한 power spectrum 분석이 가장 우수한 성능을 보였으나 1차 미분 분석과 거의 비슷한 상관관계를 보였다. 이상의 초음파 주파수 분석 결과를 요약하면 다음 표 2와 같다.

Table 2. The results of ultrasonic analysis on a frequency domain

		Power spectrum	First derivative	Second derivative
Calibration	Sample		35	
	R^2	0.81	0.82	0.90
	SEC/ \bar{y}	17.20%	17.06%	14.34%
	Factor	5	5	14
Validation	Sample		30	
	R^2	0.56	0.49	0.41
	SEP/ \bar{y}	34.03%	35.04%	40.63%
	Factor	5	5	14

4. 요약 및 결론

초음파(Ultrasonic) 실험에서는 총 샘플 37개를 사용하였으며, time domain과 frequency domain에서 각각 분석하였다. Time domain상에서는 0.00005~0.00007sec 사이의 peak값들을 정규화 하여 예측 모델을 개발하였다. 그 결과 예측에서 $R^2 = 0.64$, $SEC/\bar{y} = 11.94\%$, 검증에서는 $R^2 = 0.61$, $SEP/\bar{y} = 20.95\%$ 의 결과를 보였다.

Frequency domain상에서의 초음파 power spectrum 분석 결과 예측에서 $R^2 = 0.81$, $SEC/\bar{y} = 17.20\%$ 이었고, 검증에서는 $R^2 = 0.56$, $SEP/\bar{y} = 34.03\%$ 로 가장 양호하였다.

초음파를 이용한 쇠고기 연도 예측이 비용의 저렴함과 시간의 단축은 물론, 쇠고기 시료의 절단을 필요하지 않는 등의 장점이 있다고 판단된다. 그러나 초음파를 이용한 분석의 경우 신호의 안정성과 좀더 정확한 예측을 위해 분석 방법의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

쇠고기의 경우 기존의 marbling(근내지방도)과 육색 이외에 연도가 중요한 품질인자의 하나로 채택되어야 한다고 생각하며, 그 정도는 전단력의 크기에 따라 2~3 단계의 연도 등급 분류가 적당할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 김병철, 박구부, 성삼경, 이무하, 이성기, 정명섭, 주선태, 최양일. 1998. 근육식품의 과학. 신진문화사. pp. 132-145.
2. 佐藤一郎. 2000. FA용 초음파식 근접 센서. 월간 전기기술 9월호. pp. 120-124
3. B. Park, A. D. Whittaker, R. K. Miller, and D. E. Bray. 1994. Measuring Intramuscular Fat in Beef with Ultrasonic Frequency Analysis. J. Anim. Sci. 72:117-125.
4. B. Park, A. D. Whittaker, R. K. Miller, and D. S. Hale. 1994. Ultrasonic Spectral Analysis for Beef Sensory Attributes. Journal of Food Science. Vol. 59. No. 4. pp. 697-724.
5. B. Park, and A. D. Whittaker. 1994. Ultrasonic Probe Design for Beef Carcass Scan. Transactions of the ASAE. Vol. 37(3):965-971.
6. B. Park, and Y. R. Chen. 1997. Ultrasonic Shear Wave Characterization in Beef Longissimus Muscle. Transactions of the ASAE. Vol. 40(1):229-235.
7. C. Ay, and S. Gunasekaran. 1994. Ultrasonic Attenuation Measurements for Estimating Milk Coagulation Time. Transactions of the ASAE. Vol. 37(3):857-862.
8. Chipai Chou, Bong Ho, and Jeng T. Sheu. 1995. Material Characterization by Ultrasonic using Unsupervised Competitive Learning. Pattern Recognition Letters. pp. 769-777.
9. Y. Huang, R. E. Lacey, L. L. Moore, R. K. Miller, A. D. Whittaker, and J. Ophir. 1997. Wavelet Textural Features from Ultrasonic Elastograms for Meat Quality Prediction. Transactions of the ASAE. Vol. 40(6):1741-1748.
10. Y. Li, T. J. Siebenmorgen, C. L. Griffis, R. E. Wolfe, R. L. Dake, and J. E. Webb. 1994. Tenderness and its Variation of Broiler Breast Meat Harvested from Electrically Stimulated Carcasses. Transactions of the ASAE. Vol 37(1):223-225.