과일의 진동특성을 이용한 주파수 영역에서의 경도측정

진 종 서, 김 중 규
성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부
전화 : 031-290-7199 / 핸드폰 : 011-9973-6983

Development of Automatic Firmness Measurement System for Major Fruits using Vibration Characteristics

Jong-Seo Jun, Joong-kyu Kim
Dept. of Electrical&Computer Engineering, Sungkyunkwan University
E-mail : jsjun_76@yahoo.com

Abstract

Characteristics of fruit vibrations are related to the material properties of the fruit. A new method for spectral analysis is developed and used for the non-destructive estimation of fruit firmness. The resonant frequency of the fruit is related to its firmness. However, the determination of the resonant frequency is not easy. So the smoothing method is applied to the frequency spectra to obtain a robust estimate for the resonant frequency.

I. 서론

국민소득이 향상되고 식생활 패턴이 급속하게 변함에 따라 농산물에 대한 소비구조가 고선도·고품질의 과실을 선호하는 질적인 측면으로 전환될 것으로 전망된다. 이러한 소비자의 욕구를 만족시키기 위해서는 과실의 저장 및 유통 단계에 따라 적합한 품질관리 체계가 추구되어야 할 것이다. 국내 과수 농가는 41,542가구(98년 기준)에 달하고 있으나 수확의 기계화와 품질 관리에 관한 연구 부족으로 영세성을 벗어나지 못하였고 과실에 대한 소비자의 신뢰도도 낮은 실정이다. 일반적으로 과실류의 품질을 결정하는 여러 요소 중, 경도(firmness)는 육안판별이 불가능하며, 화학적/파괴적 분석법이 개발되어 있다. 위의 방법은 한번 사용한 샘플을 다시 반복하여 사용할 수 없고, 전수조사가 아닌 표본조사에 의존하고 있으므로 대표성에 대한 의문이 제기되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 주파수 영역에서의 과일의 진동특성을 이용하여 비파괴적이고 신속하게 경도를 측정하기 위한 장치 및 알고리즘을 구현해 보고자 한다. 경도를 구하는데 사용되는 데이터들은 통계적 특성을 지니고 있으므로 확률적 이론에 기반한 통계처리 기법을 이용해야 한다. 그 중 스무딩(smoothing) 기법을 이용하여 정확한 결과값을 얻었다.

과일은 경도에 따라 각기 다른 고유주파수(resonant frequency)를 가진다. 고유주파수란 모든 물체가 가지고 있는 특유의 주파수를 말한다. 단단한 과일과 무른 과일의 고유주파수를 측정하여 그 차이를 firmness index로 하여 경도를 측정한다. 그런데 고유주파수를 측정하는 과정에서 vibrator의 입력으로 처음과는 다른 신호를 가하거나 과일의 측정 위치가 틀려지면 올바른 결과값을 얻을 수 없다. 그러므로 고유주파수의 robust estimation을 위해서는 만족하는 결과값이 나올 때까지 무수한 실험을 반복하는 수밖에 없다. 이러한 비정확

성과 비효율성을 줄이기 위해서 새로운 기법을 적용하였는데 이것이 바로 스무딩(smoothing)이다. 스무딩이란 통계학적 접근 방법을 기반으로 하며 신호의 중요한 부분은 남겨두고 불필요한 부분을 제거하여 더욱 정확한 결과 값을 얻기 위해 사용하는 신호처리 기법이다. 이 스무딩 기법을 사용함에 있어 주의할 점은 적절한 스무딩 파라미터를 구해야 한다는 것이다. 이 파라미터의 값에 따라 데이터에 적용되는 스무딩의 정도가 결정되기 때문이다. 너무 많은 데이터가 스무딩되면 필요한 정보가 사라져버릴 수도 있고, 또 그 반대의 경우에는 적절하지 않은 데이터 값들이 실험에 사용된다.

본 논문은 과일의 경도측정에 있어 과거의 파괴적인 방법이 아닌 진동을 이용한 비파괴적인 방법을 사용하였다는 점에서 의의를 지니며 아울러 스무딩 기법과, 적절한 스무딩 파라미터를 구하기 위한 여러 estimation기법을 사용함으로써 정보의 손실 없이 측정횟수를 줄였고 정확한 고유주파수를 찾을 수 있었다. 그리고 연구 개발된 기술을 일반 농기 제조업체에 이전하여 상용화를 실현하여 지역단위 규모 유통 단지의 생력화 작업 시스템에 활용할 수 있으므로 그 활용성 및 경제성이 아주 높다고 하겠다

Ⅱ. 구성 요소와 방법

2.1 실험 장비 및 방법

경도 측정 장치는 vibrator, sensor, A/D board, computer로 구성된다. 그 중 가장 핵심이 되는 vibrator, sensor set를 아래 그림1에 나타내었다. 실험방법은 vibrator로 과일에 여러 가지 형태의 진동을 가하고 그 진동을 sensor로 받아서 A/D변환한 후 컴퓨터로 경도를 측정한다.

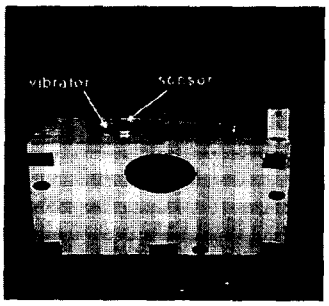

그림 1. vibration, sensor set

전체적인 구성도를 아래 그림2에 나타내었다.

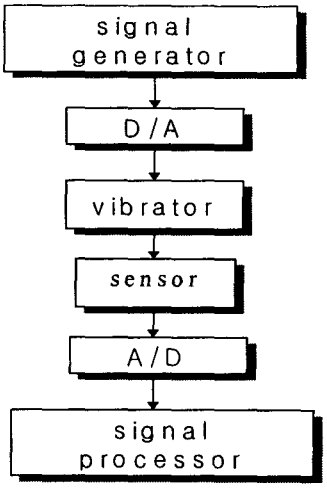

그림 2. 실험 구성

2.2 데이터 발생 및 수집

입력 신호로는 정현파를 사용하였으며 100Hz에서 4000Hz까지 주파수를 다양하게 변화시켜가며 인가하였다. 신호를 발생시키고 수집하는데 Visual C++6.0을 사용하였으며, 데이터를 분석하기 위해서는 MATLAB을 사용하였다. 진동을 가하고 일정한 시간이 지난 후 2000개의 데이터를 수집하였고 주파수 상에서 해석하기 위해 512-point fast Fourier transformation(FFT)하였다.

2.3 데이터 스무딩(smoothing)

스무딩은 통계학에서 주어진 데이터의 random variation에 의한 효과를 감소시키기 위해 사용하는 기법이다. 이 실험에서는 과일의 측정횟수를 줄이면서도 정확한 결과를 얻기 위해서 spectral 데이터에 스무딩 기법을 적용하였다. 스무딩의 방법으로 moving average가 있다. moving average는 과거의 연속적인 데이터 set들의 평균을 구하여 현재 데이터에 적용한다. moving average의 일반식을 아래 (1)에 나타내었다.

$$M_t=[\,X_t+X_{t-1}+\ldots+X_{t-N+1}]/N \quad (1)$$

Ⅲ. 결과 및 토의

냉장고에 보관한 키위를 단단한 과일, 상온에서 5일간 보관한 키위를 무른 과일로 설정하여 실험을 하였다. 입력으로는 100Hz-4000Hz의 신호를 사용하였다.

3.1 구형파(300Hz)

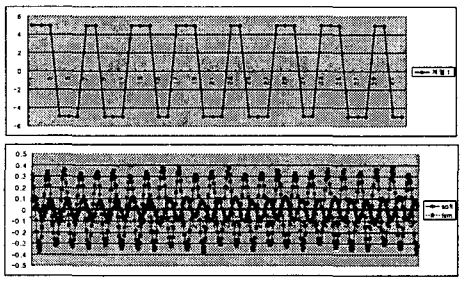

그림 3

3.2 정현파(500Hz)

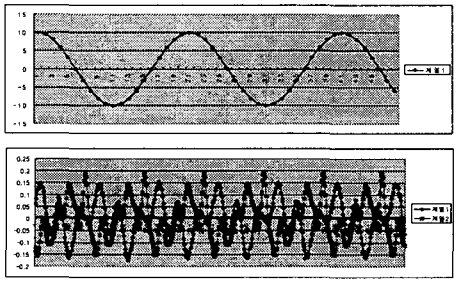

그림 4

3.3 정현파(800Hz)

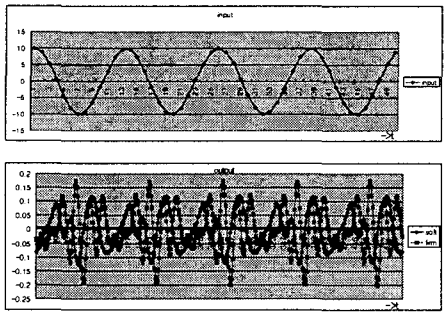

그림 5

3.4 정현파(800Hz)의 smoothing

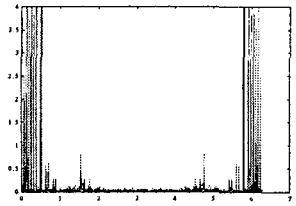

그림 6. 정현파(800Hz)의 주파수 스펙트럼

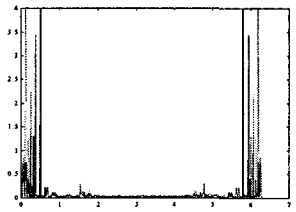

그림 7. 그림 6의 3-point moving average

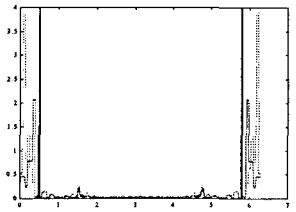

그림 8. 그림 6의 5-point moving average

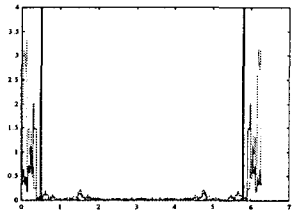

그림 9. 그림 6의 7-point moving average

그림 3,4.5,는 여러 가지 입력신호와 그 결과를 시간 축 상에 나타낸 것이고. 그림 6은 입력 신호를 800Hz인 정현파로 가했을때의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다(파란색:input, 연두색:soft, 빨간색:firm). 그림 7,8,9는 그림 6에서 피크 검출을 용이하게 하기위해 moving average를 행한 결과를 나타낸다. 다른 스무딩 그래프보다 5-point 스무딩을 행한 결과 그래프가 무른 과일과 단단한 과일을 더 잘 구분하게 함을 알 수 있다.

Ⅳ. 결론

이 논문에서는 과일의 경도를 비파괴적인 방법으로 측정하는 방법에 대해서 설명하였다. 실험으로 얻은 스펙트럼 데이터에 스무딩을 적용해본 결과 그렇지 않았을 때보다 단단한 과일과 무른 과일을 더 확실하게 구분할 수 있었으며 스무딩 포인트를 달리 함에 의해서도 결과가 틀려지는 것을 알 수 있었다.

참고문헌(또는 Reference)

[1] De Baerdemaeker J; Lemaitre L; Meire R(1982). "Quality detection by frequency spectrum analysis of the fruit impact force." Transactions of the ASAE, 25(1), 175-178

[2] De Ketelaere B; De Baerdemaeker J(1999). "Non-parametric smoothing: theory and application to spectral analysis." Proceedings of 3rd IMACS/IFAC International Symposium, pp161-165

[3] Peleg K(1999). "Development of a commercial fruit firmness sorter." Journal of Agricultural Engineering Research, 72, 231-238

[4] Abbott J A; Massie D R; Upchurch B L; Hruschka W R(1995). "Nondestructive sonic firmness measurement of apples." Transactions of the ASAE, 38(5), 1461-1466

[5] Perry J S(1997). "A nondestructive firmness(NDF) testing unit for fruit." Transactions of the ASAE, 20(4), 762-767

[6] Rohrbach R P; Franke J E; Willits D H(1982). "A firmness sorting criterion for blueberries." Transactions of the ASAE, 25(2), 261-265

[7] Stephenson K Q, Rotz C A, Sin호 M(1979). "Selective sorting by resonance techniques." Transactions ASAE 22(1), 279-282

[8]Bower D R; Rohrbach R P(1976). "Application of vibrational sorting to blueberry firmness separation." Transactions ASAE 19(1), 185-191