

인공신경망을 이용한 수박의 음향특성 분석(II)-황대 및 피수박

Acoustic Characteristics of the Watermelon using Neural Network(II)-Yellow belt and Blood flesh

최동수* 최규홍* 이강진* 박원규* 김만수** 최동철*** 황영***
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원

D. S. Choi K. H. Choi K. J. Lee W. K. Park M. S. Kim D. C. Choi Y. Hwang

1. 서론

수박연간 생산액이 7000~8000억원에 달하는 채소 작물중 주요 소득 작목으로 재배면적은 매년 증가하는 추세를 보이고 있다.

수박의 유통은 시설재배의 경우 농협계통출하, 수집상판매, 작목반판매, 생산자 직접 출하형태가 있으나, 노지재배의 경우는 포전매매가 많이 이루어진다. 포전매매의 가장 큰 문제점은 매매가 끝나면 농가의 관리가 소홀해지고, 전국적으로 매매를 하는 상인의 경우 동단위로 작업해 출하하므로 품질이 고르지 않아 상품에 대한 신뢰성이 떨어지는 것이다. 또한 수박은 비파괴 내부품질판정기술의 미개발로 주로 크기와 형상에 의해 유통되고 있는 실정으로 산지에서 내부품질에 따라 미리 선별을 하지 못하여 생산자가 크게 불이익을 당하는 경우가 있다.

내부품질요인에는 속도, 황대, 공동, 피수박, 세포분리 등이 있는데, 피수박이 발생되면 상품가치가 전혀 없기 때문에 판매가 불가능하고, 한 포장에서 20%이상 발생되게 되면 포전매매의 경우 반값으로 전락하게 될 뿐만 아니라 출하하는데도 문제가 될 수 있다. 따라서 소비자에 대한 상품의 신뢰성을 높이고 품질의 차별화로 생산자의 소득증대를 위해서는 내부품질판정 기술의 개발이 시급한 실정이다.

수박의 내부품질을 비파괴적으로 판정하기 위한 연구가 오래전부터 수행되어 왔다. Yamamoto 등(1980)은 음파신호와 수박의 품질과의 관계(기계적 경도, 식미 경도, 식미속도)를 구명하고자 하였으나 상관관계가 그리 높질 않았다. 이는 수박은 부피가 크고 개체내부의 과육상태가 고르지 못하여 내부품질을 평가하는데 어려움이 있으며, 또한 파괴적인 방법에 의한 객관적인 품질평가기준이 확립되어 있지 않기 때문으로 판단된다.

* 농업기계화연구소

** 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

*** 고창수박시험장

Kato(1997)는 유전율을 이용한 수박의 체적을 예측하여 밀도를 구하고 밀도와 여러 품질인자들과의 관계를 구명하였다. 수박은 미숙에서 적숙으로 진행될수록 밀도가 감소하고, 당도와 밀도, 당도와 무게와의 단순상관계수 R은 각각 0.70, 0.69이고 무게와 밀도를 인자로 한 다중상관계수는 0.81로 높게 나타났다고 하였다.

최 등(1999)은 수박에 가해진 타격에 의해 발생된 음파신호를 이용하여 속도 및 공동과에 대한 음파특성을 구명하였으며, 인공신경망에 의해 예측하기도 하였다.

본 연구에서는 음파신호 계측시스템을 이용하여 수박의 대표적인 내부결함인 황대과와 피수박의 음파특성을 구명하고, 인공신경망 기법을 도입하여 황대과 및 피수박을 판정하는 알고리즘을 개발하고자 수행 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료는 전북 고창수박시험장에서 노지재배한 것으로 품종이 “금천”인 수박을 사용하였다. 공시재료는 1999년 7월 16(착과후 22일 경과)일부터 8월 12일까지 착과경과일별 5단계로 수확한 수박을 사용하였다. 황대과 조사에 사용된 시료는 단계별 수확된 모든 수박을 대상으로 하였으며, 사용된 시료수는 56개 이었다. 피수박 시료는 착과후 적기 수확시기인 착과후 35~40일된 시료를 사용하였으며, 사용된 시료는 시료 재배자가 피수박이라 선정해 준 21개와 피수박이 아닌 정상과 23개로 45개 이었다.

나. 실험방법

(1) 음파신호 계측 시스템

수박의 음파신호를 계측하기 위하여 구성된 시스템의 개략도는 그림 1과 같으며, 시스템은 타격장치, 음파센서인 마이크로폰과 앰프, 디지털 오실로스코프, 노트북으로 구성하였다.

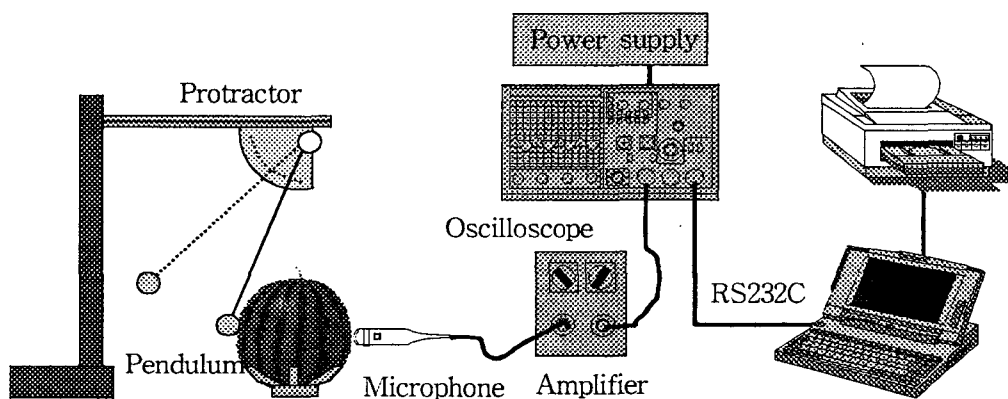


Fig. 1 Schematic diagram of measuring system for acoustic impulse responses.

(2) 음파신호 데이터 수집

생육과정중 수박의 과육상태 변화를 조사하기 위하여 시험포장에서 생육상태에 있는 공시재료의 음파신호를 계측하였다. 수박은 부피가 큰 과실로 내부과육의 상태가 위치별로 다르게 나타날 수도 있으므로 타격위치를 표시하여 생육과정중에 같은 위치에서 음파신호를 계측할 수 있도록 하였다. 진자의 타격각도는 40° 로 하여 수박의 적도부에 타격을 가한 후 180° 되는 지점에서 음파신호를 검출하였다. 오실로스코프의 샘플링주기는 5kHz이었고, 이때 데이터 점수는 1000점으로 RS232C를 통해 컴퓨터로 데이터를 수집하였다.

(3) 물성 및 품질평가

시험포장에서 음파신호를 계측한 시료중 일부를 수확하여 품질에 관련이 있는 물성(밀도, 당도, 경도, 과육색)을 측정하였고, 품질평가를 육안과 경험으로 속도, 공동, 황대, 피수박, 세포분리로 구분하였다.

당도는 굴절당도계(DBX-55 ATAGO, Japan)를 사용하여 절단면 5개 부위(적도1, 적도2, 구심, 꼭지, 바닥)를 측정하였으며, 경도는 시편 채취기에 의해 27×27×48mm의 시편을 채취한 후 TA-HD2 Texture Analyzer를 이용하여 측정하였다. 이 때 프로브는 칼날형태를 사용하였다. 밀도는 수박이 균일한 재질로 구성되어있다는 가정하에 수박의 체적을 물의 체적으로 치환하여 측정된 수박의 질량과 체적의 비로 구하였다. 과육색은 색채색차계(Chroma Meter CR-200, Minolta)를 이용하여 당도측정한 부위 5지점 및 특히 색이 짙은 부분의 CIE L*a*b값을 측정하였다.

공시재료 개체에 대한 품질평가는 내부품질판정 모델을 개발하는데 매우 중요한 지표가 된다. 하지만 품질평가에 대한 객관적인 기준이 아직 확립이 되어 있지 않아 수박시험장 전문가와 문헌을 참고로 하여 연구자 주관으로 결정하였다. 일반적으로 행해지는 내부품질평가 지수는 과육색 열음 1, 질음 3, 황대와 심한 것 5, 없는 것 0, 섬유 적음 1, 많음 3, 경도(씹는 맛) 연함 1, 강함 3 으로 평가하나 평가자가 수준은 정하기 나름이다(정, 1990). 본 연구에서는 황대과를 0~5 수준으로 평가하였으며, 피수박의 경우는 유무로 판정하였다.

다. 인공신경망에 의한 내부품질 예측 알고리즘

농산물의 내부품질을 예측하는 기법 중 하나로 인공신경망을 이용하는데, 인공신경망 학습 및 검증의 높은 정확도를 얻기 위해서는 계측된 신호에서 품질과 가장 상관관계가 높은 데이터를 추출하여야 한다. 상관관계가 높은 데이터 추출뿐만 아니라 품질에 대한 객관적인 판정기준이 설정되어 있지 않다면 학습 및 검증의 정확도는 낮아진다고 할 수 있다.

황대과를 예측하기 위해 사용된 시료 56개중 32개는 인공신경망 학습에 사용하고 24개는 검증하는데 사용하였다. 학습에 사용된 데이터는 각 시료 주파수 스펙트럼의 600~900Hz대

역에서 65개의 매크니튜드(magnitude)값 이었다.

피수박 예측에 사용된 시료 45개중 27개의 시료는 인공신경망 학습에 사용하고 18개의 시료는 검증하는데 사용하였다. 학습 및 검증에 사용할 데이터는 주파수 스펙트럼을 정규화한 후 0~800Hz 주파수대역에서 104개의 매그니튜드(magnitude)값을 데이터로 선정하였다.

본 연구에서는 학습 및 검증을 위한 인공신경망의 구조는 입력층, 은닉층, 출력층 3개의 층으로 구성하였으며, 입력층 유니트수는 104개, 출력층 유니트수는 2개이었으며, 은닉층 유니트수는 표 1에서 보는바와 같이 설정하였다.

학습에는 오차 역전파 학습법(error back propagation method)을 이용하였으며 전달함수로는 logsigmod 함수를 사용하였다. 각 경우마다 60,000번의 학습을 하였다.

Table 1. Conditions of neural network

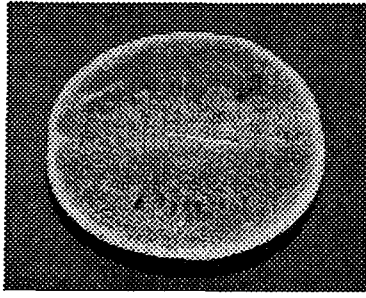
Quality	Number of node			Transfer function
	Input layer	Hidden layer	Output layer	
Yellow belt	65	20	2	Logsigmoidal activation function $\text{logsig}(n) = \frac{1}{1 + \exp(-n)}$
		40		
		60		
		80		
		100		
Blood flesh	104	20	2	Logsigmoidal activation function $\text{logsig}(n) = \frac{1}{1 + \exp(-n)}$
		40		
		60		
		80		
		100		

3. 결과 및 고찰

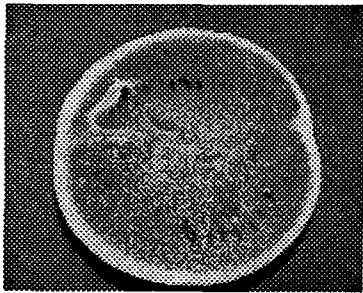
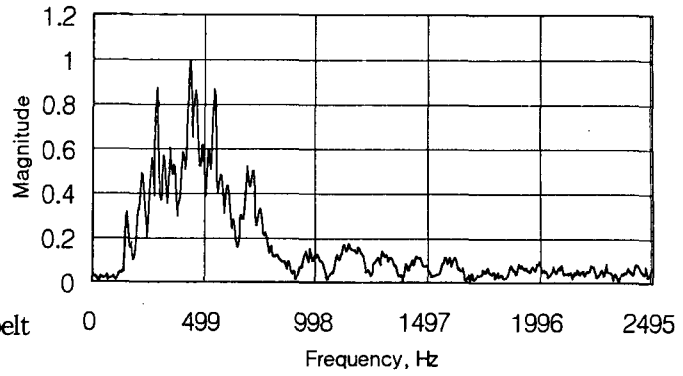
가. 음파 스펙트럼

(1) 황대과

그림 2는 황대과의 유형을 나타낸 것으로 (a)는 황대가 보통으로 황대지수가 3, (b)는 황대가 심한 것으로 황대지수가 5이며, 각각에 대한 음파 스펙트럼을 나타내었다. 황대의 영향으로 정상과와 다른 특징이 나타나는 유효한 주파수대역은 600~900Hz이지만 때로는 1000Hz이후의 고주파영역에서도 에너지가 정상과에 비해 크게 나타나는 경우가 있었으며, 미숙과와 비슷한 경우를 보이기도 하였다.



(a) Watermelon with some yellow belt



(b) Watermelon with severe yellow belt

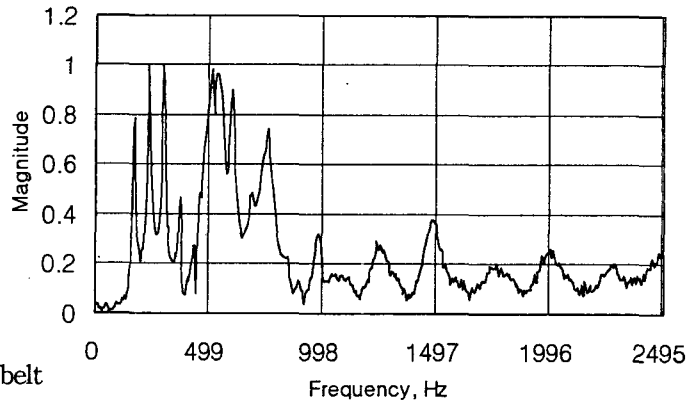


Fig. 2 The watermelons with yellow belt and those frequency spectrums

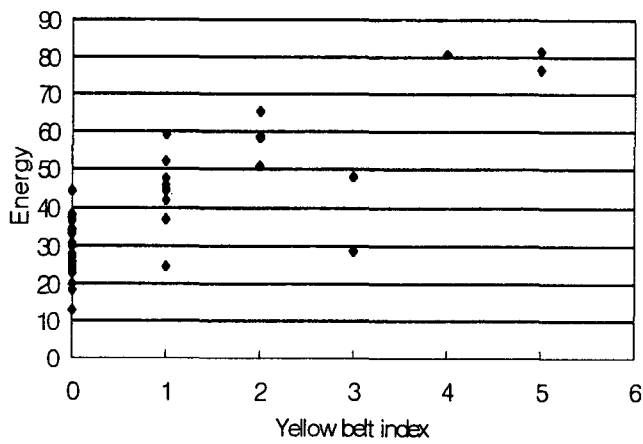


그림 3은 절단후 황대의 정도에 따른 황대지수와 대역에너지와의 관계를 나타낸 것으로 황대지수가 2~3인 경우 B급이며, 4이상인 경우 상품성이 없는 것으로 판단되었다. 이 때 에너지는 70이상으로 나타났다.

Fig. 3 The relationship between energy and yellow belt index.

(2) 피수박

피수박은 흔히 악변과로 불리고, 과육색이 암적색을 띤다. 증상이 가벼울 때는 종자 주위의 과육 부분이 과숙한 것처럼 진한 적색을 띄고, 세포가 붕괴되는 것을 볼 수 있다. 심하게 진행되면 과육부 전체가 물러지고 암적색을 띄며 발효된 듯한 냄새가 난다.

그림 4는 재배자에 의해 피수박으로 분류된 시료중에서 각 시료의 여러 부위를 타격한 후 주파수 영역에서 에너지비가 가장 높게 나타나는 부위의 에너지비를 나타낸 것이다.

피수박 현상은 과육 전체에 나타나는 경우도 있지만, 거의 대부분 부분적으로 발생된다. 피수박을 판별하기 위해서는 여러 부위를 타격을 하여야만 선별이 가능할 것으로 판단된다.

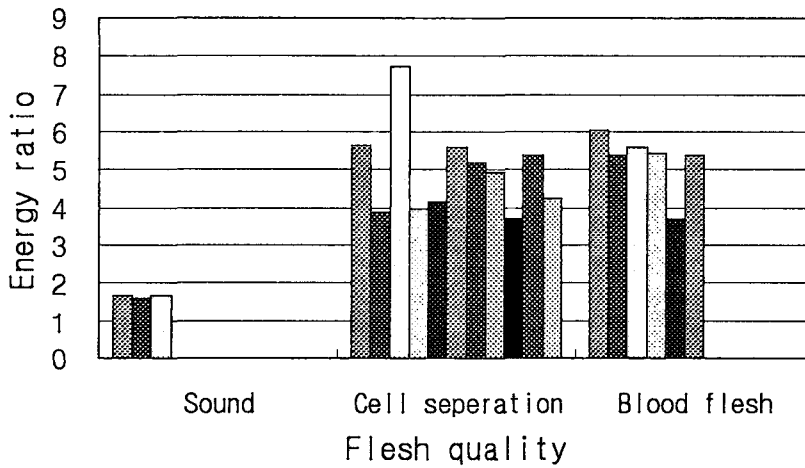


Fig. 4 The relationship between energy ratio and flesh quality

나. 인공신경망 학습 및 검증

표2와 표3에서 보는 바와 같이 황대과와 피수박에 대한 인공신경망 학습의 결과 각각의 은닉층 유니트수에서 모두 100%의 학습 정확도를 얻었다. 검증의 결과는 황대과의 경우 은닉층 유니트수가 40, 60일 때 각각 70.8, 75.0%의 정확도를 얻었으나, 20, 80, 100일 때 79.2%의 정확도를 얻었다.

피수박의 경우 은닉층의 유니트수가 40일 때 검증의 정확도가 88.2%로 가장 높았고, 20일 때 50%, 60, 80, 100일 때 82.4%의 정확도를 얻었다. 은닉층 유니트수가 20일 때는 MSE는 6.07E-7으로 가장 낮았으나 피수박을 전혀 예측하지 못하였다.

Table 2. Learning results of neural network with the number of hidden layer units

Yellow belt	No. of hidden layer unit	20	40	60	80	100
	Detection rate(%)	100	100	100	100	100
	MSE	2.81E-4	6.12E-5	7.23E-5	2.96E-5	2.99E-5
Blood flesh	No. of hidden layer unit	20	40	60	80	100
	Detection rate(%)	100	100	100	100	100
	MSE	6.067E-7	2.994E-5	2.915E-5	2.85E-5	2.674E-5

Table 3. Accuracy of the internal quality evaluation of watermelon by neural network algorithm

Quality	No. of hidden layer unit				
	20	40	60	80	100
Yellow belt	79.2	70.8	75	79.2	79.2
Blood flesh	50	88.2	82.4	82.4	82.4

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 황대과 및 피수박에 대한 음파특성을 구명하고, 인공신경망을 이용하여 황대과와 피수박을 판정하는 알고리즘을 개발하였다.

1. 황대과의 주파수특성은 600~900Hz대역에서 주로 나타났으며, 미숙과처럼 1000Hz이후에서 에너지가 높게 나타나는 경우도 있었다. 이 대역에서 에너지가 70이상일 때 상품성이 없는 것으로 판단되었다. 피수박의 주파수특성은 주로 0~800Hz에서 나타났으며, 세포분리과와 함께 에너지비가 3.5이상으로 나타났다.
2. 인공신경망 학습 및 검증에 황대과는 각각 32, 24개 패턴을, 피수박은 각각 27, 18개 패턴을 사용하여 모두 100%의 학습 정확도를 얻었다.
검증 결과, 황대과는 70.8~79.2%의 정확도를 얻었으며, 은닉층의 유니트수가 20, 80, 100일 때 가장 높았다. 피수박의 경우는 50~82.4%의 정확도를 얻었으며, 은닉층의 유니트수가 60, 80, 100일 때 82.4% 이었다.

5. 참고문헌

1. 김만수, 최동수, 이영희, 조영길. 1998. 수박의 음향특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(1) : 55~66
2. 이강진, W. R. Hruschka, J. A. Abbott, 노상하, B. S. Park. 1998. 근적외선을 이용한 사과와 당도예측(II)-부분최소제곱 및 인공신경회로망 모델. 한국농업기계학회 23(6) : 571~582
3. 이경옥. 1998. MATLAB 길잡이. 멀티정보사
4. 이수희, 노상하, 이종환. 1995. 신경회로망을 이용한 사과와 선택선별 알고리즘 개발에 관한 연구. 한국농업기계학회 20(4) : 376~382
5. 임종수. 1998. MATLAB 완벽가이드. 가상과 현실
6. 정범윤. 1990. 수박의 생육진단과 재배기술. 한국원예기술정보센터
7. 최동수, 최규홍, 이영희, 이강진, 윤진하, 김만수. 1999. 인공신경망을 이용한 수박의 음향 특성 분석(I)-속도 및 공동. 한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집 4(1) : 652~660
8. Kato K. 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. J. agric. Engng Res 67 : 161~170.
9. MATLAB Signal Processing Toolbox User's Guide. The MATHWORKS inc.
10. MATLAB Neural Network Toolbox User's Guide. The MATHWORKS inc.
11. Yamamoto H., M. Iwamoto and S. Haginuma. 1980. Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluation of apples and watermelons. J. of Texture Studies 11 : 117~136