

신경회로망을 이용한 과실의 비파괴 당도측정에 관한 기초연구

Nondestructive Determination of Sugar Content in Fruits using Neural Network

노상하*	이종환*	이수희*	김우기*
정희원	정희원	정희원	정희원
S. H. Noh	J.W. Lee	S. H. Lee	W. G. Kim

1. 서론

과실의 내부품질에는 당도, 산도, 경도 등 여러 가지가 있으나 이 중에서 당도는 과실의 맛을 결정하는 가장 중요한 품질평가인자로서 이를 비파괴적으로 측정하기 위한 연구가 절실히 요구되고 있으며 최근 국내에서는 이에 관한 연구가 일부 진행되어 왔다. 그러나 현재까지의 연구결과는 비파괴적인 당도판정의 가능성을 검증하는 것이 대부분이어서 이 결과를 이용하여 직접 당도판정장치를 구성하기에는 많은 문제점이 있을 것으로 사료된다.

현재까지 연구된 논문을 살펴보면 몇 개의 파장에 대한 흡광도 데이터의 차 또는 비를 변수로 하는 통계적 모델에 의해 당도판정을 시도하였는데 제시된 모델에서 사용되는 파장은 각기 다른 것을 볼 수 있다. 이는 과실 당에 대한 분광반사 특성이 과실의 표피조직, 형상, 외부잡음 등 물리적으로 해석하기 어려운 여러 가지 요인에 의해 변화하기 때문으로 이와 같은 모든 요인을 통계적으로 분석하여 예측하기에는 상당히 많은 어려움이 있을 것이며 그 정확성도 확신하기 어려울 것으로 판단된다. 한편 최근 전자공학의 발달로 인하여 다양한 광센서들이 개발되었다. 이 중에서 어레이 센서(array sensor)는 입사한 광의 분광스펙트럼을 실시간으로 얻을 수 있는 것으로 이 장치를 사용할 경우 몇 개의 파장만을 사용해야 한다는 제약이 없어지고 반사스펙트럼 전체를 분석하는 것이 가능하다.

본 연구는 과실에 대한 실시간 스펙트럼을 얻을 수 있다면 여러 개의 다양한 입력데이터를 처리할 수 있는 신경회로망을 이용하여 과실의 당도를 예측할 수 있을 것이라는 가정하에 시작하였다. 신경회로망은 주가 예측과 같이 예측모델의 기능을 구현할 수 있으며 학습기능을 이용한다면 다양한 스펙트럼 데이터를 학습하여 과실의 당도를 예측할 수 있을 것으로 판단하였다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

2. 실험재료 및 방법

가. 실험재료 및 장치

먼저 실험재료는 산지 농가에서 직접 구입한 사과와 배를 시료로 사용하였다. 사용한 품종은 사과의 경우 후지를, 배는 신고로 하였는데 사과시료는 안성에서, 배는 나주에서 각각 구입하였다.

대상 시료의 흡광도 스펙트럼을 측정하기 위하여 농업기계화연구소에 설치되어 있는 분광광도계(모델 UV-3101PC, Shimadzu, Japan)를 이용하였으며, 400~2400 nm의 파장범위를 2 nm 간격으로 측정하였다. 측정시 과실의 9개 부위에 대해서 스펙트럼을 측정하였으며 측정부위에 대한 당도를 굴절당도계로 측정하였다. 최종적으로 획득한 데이터의 갯수는 후지사과는 8개에 대해서 81개의 데이터를, 배는 18개에 대한 161개의 데이터를 획득하였다. 또한 각 과실의 당도는 스펙트럼을 측정한 후 디지털 굴절당도계(모델 DBX55, Atago, Japan)을 이용하여 측정하였다.

나. 실험방법

본 연구는 어레이센서를 이용한 과실의 당도판정에 주목적을 두었다. 신경회로망의 입력데이터는 5개의 흡광도 데이터를 평균하여 10 nm 간격의 흡광도 데이터를 사용하였는데 가시광을 포함한 근적외선 영역인 600~1100 nm의 흡광도 값을 입력데이터로 하는 경우와 800~1100 nm의 근적외선 영역의 흡광도 값을 입력데이터로 하는 경우로 나누었으며 각각에 대해서 흡광도 스펙트럼을 전처리 없이 입력데이터로 하는 경우와 흡광도 스펙트럼의 2차 미분스펙트럼을 입력데이터로 하는 총 4가지의 입력데이터를 작성하였다. 신경회로망의 구조는 출력유니트를 1개로 하고 은닉유니트는 학습상태를 관찰하면서 예비실험시 가장 적합하다고 판정하는 구조를 선택하였다. 목표값은 과실의 당도값을 0에서 1사이의 값으로 선형변환하였다.

먼저 사과에 대해서 획득한 72개의 스펙트럼 데이터에 대해서 36개의 데이터를 학습에 사용하였고 36개를 학습결과를 검증하기 위해 사용하였다. 배에 대해서는 81개의 데이터를 학습에 80개의 데이터를 검증에 사용하였다. 한편 신경회로망에 의한 당도예측 결과와 비교하기 위하여 통계적으로 중회귀 모델을 구하여 예측 결과를 비교하였다. 모델의 작성은 통계패키지인 SAS를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 사과의 당도 예측

신경회로망을 사용하여 앞서 언급한 4가지의 입력데이터를 학습하였으며 학습된 신경회로망을 검증, 당도를 예측한 결과를 표 1에 나타내었다. 학습을 마친 후 속도설정시 상관계수와 검증시 상관계수를 조사한 결과 600~1100 nm 파장 영역에 대한 2차 미분 스펙트럼 데이터를 학습하였을 때 속도설정시 0.977과 검증시 0.878의 상관계수를 보여주어 2차 미분데이터를 학습한 신

경회로망이 흡광도 데이터 자체를 학습한 신경회로망보다 상관계수가 높은 것으로 나타났다.

앞서의 학습에서 가장 좋은 결과를 보인 600~1100 nm 파장의 2차 미분 스펙트럼 데이터를 입력데이터로 하는 구조에 대해서 은닉유니트의 구조를 바꾸면서 가장 좋은 결과를 보이는 구조를 찾아보았다. 은닉유니트의 수를 7, 10, 20 개로 바꾸어 가면서 학습 및 검증한 결과 은닉층의 유니트 수를 20개로 하였을 때 측도설정 상관계수가 0.967, 이를 검증하였을 때 상관계수가 0.895로 나타났으며 예측 표준오차는 약 0.70로 앞서 개발한 신경회로망 구조보다 더 좋은 결과를 보여주었다 (그림 3).

Table 1. Results of Fuji apple sugar prediction using neural network

Range	Input data	Neural Network Structure	Calibration r	Prediction r	Prediction r by statistical model
600-1100 nm	O.D. spectrum	50-5-1	0.891	0.793	0.835
	2'nd derivative	50-5-1	0.977	0.878	0.824
800-1100 nm	O.D. spectrum	30-7-1	0.493	0.437	0.566
	2'nd derivative	30-7-1	0.847	0.561	0.480
600-1100 nm	2'nd derivative	50-20-1	0.967	0.895	0.835

한편 통계적으로 5개의 파장을 독립변수로 하는 중회귀 모델을 구한 결과 A_{610} , A_{640} , A_{700} , A_{980} , A_{1080} 에서의 2차 미분데이터를 독립변수로 하는 모델을 얻었으며 이 때의 측도설정 상관계수는 0.973, 검증시 상관계수는 0.824로 나타났다. 물론 중회귀 모델의 정확성을 높이기 위해서는 비나 차에 의한 다양한 모델에 대해 평가를 수행하여야 하지만 본 연구에서 목적으로 하는 신경회로망 모델의 경우 그 정확성이 최적의 중회귀 모델에 비해 크게 떨어지지 않을 것으로 예상되어 결론적으로 신경회로망을 이용한 사과 의 당도예측은 충분히 가능할 것으로 판단되었다.

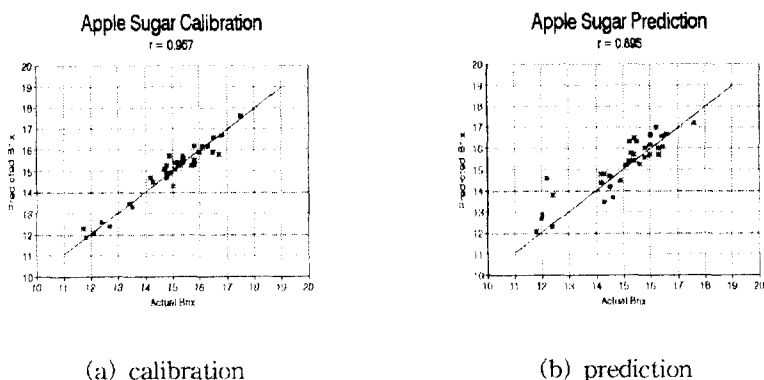


Fig. 3. Plot of actual Brix vs. predicted Brix calculated by neural network (apple).

Table 2. Results of Singo pear sugar prediction using neural network

Range	Input data	Neural Network Structure	Calibration r	Prediction r	Multiple regression model r
400-1100 nm	2'nd derivative	70-10-1	0.935	0.683	0.425

나. 배의 당도 예측

사과에 대해서 분석한 방법과 마찬가지로 배에 대해서 당도예측을 수행하였고 그 결과를 표 2에 나타내었다. 배는 흡광도 데이터를 직접 학습할 경우 학습상태가 매우 불량한 것으로 나타났으며 당도예측 결과 측도설정시 상관계수가 높더라도 검증시 상관계수는 아주 낮게 나타난 것이 대부분이었다. 결국 배에 대해서는 2차 미분 스펙트럼만을 학습하였으며 앞서 사과에서 제외된 영역인 400~600 nm 의 흡광도 스펙트럼을 추가하여 총 70개의 2차 미분 스펙트럼 데이터를 학습하였다. 신경회로망에 의한 학습상태는 양호하였는데 은닉유니트의 개수를 5, 10, 20개로 바꾸어 가면서 신경회로망의 성능을 평가한 결과 은닉유니트를 10개로 하였을 때 측도설정시 상관계수 0.935, 검증시 상관계수는 0.683로 나타나 가장 좋은 결과를 보여주었다. 그러나 이 결과는 사과에 대한 당도예측 결과에 비해 정확성이 크게 떨어진 것으로 앞으로 이에 관한 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

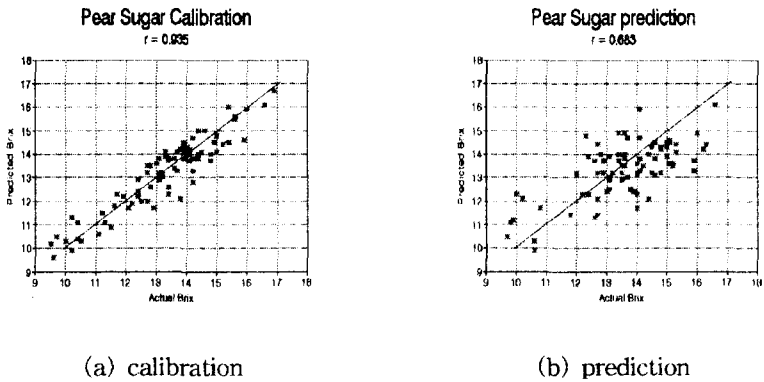


Fig. 4. Plot of actual Brix vs. predicted Brix calculated by neural network (pear).

4. 요약 및 결론

본 연구는 과실의 흡광도 스펙트럼을 입력데이터로 하는 신경회로망을 사용하여 사과와 배의 당도측정 가능성을 구명하고자 하였다. 측도설정 및 검증시 일반적으로 흡광도의 2차 미분데이터가 흡광도 데이터보다 학습상태 및 검증 결과가 높은 것으로 나타났다. 사과에 대해서 당도 예측을 수행한 결과 검증용 데이터에 대해 실측값과 예측값사이의 상관계수가 0.895, 예측 표준오차가 약 0.7로 나타나 사과의 당도예측은 충분히 가능할 것으로 판단되었으나 배는 당도예측결과가 사과보다 다소 낮은 정확도를 보여주어 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

1. 김용현, 김철수, 김성봉, 김몽섭, 신건철. 1992. 사과의 분광반사 특성과 비파괴 품질평가인자와의 상관관계 구명. 한국농업기계학회지 17(4) : 370-381.
2. 김형욱. 1994. 근적외선 분광분석법에 의한 과실의 비파괴 당도 측정. 석사학위논문
3. 노상하. 1995. 사과의 비파괴 내부품질 판정기술 개발에 관한 연구보고서. 과학기술처
4. 이경희. 1993. 근적외선 분광분석법에 의한 생사과의 신선도 측정. 석사학위논문
5. ORIEL catalog. 1994. ORIEL corporation