

신경회로망을 이용한 사과 품질 모니터링 모델 개발 Development of Quality Monitoring Model of Apple using Neural Network

김중훈* 권기현* 최창현** 이충호***

정희원

J. H. Kim K. H. Kwen C. H. Choi C. H. Lee

1. 서론

과실의 수확 후 처리기술에 관한 연구는 수확 후 세척, 선별 등의 전처리 기술 및 저장성 향상을 위한 기술 등 여러 분야에서 활발히 수행되고 있다. 그러나 대부분 단위공정별 연구가 진행되었으며 수확 후에 전처리, 예냉, 저장, 유통 등 소비자에게 공급되는 과정에서 발생하는 외부 환경변화에 따른 과실의 품질 변화에 대한 공학적 해석에 관한 연구는 미비한 실정이다. 판매중의 과일에 생기는 품질 변화는 소비자의 선택과 판매 가격에 중요한 영향을 미치고 있다. 과실의 유통 과정에서 품질 유지를 위한 적절한 유통 조건 및 유통기한 산출이 절실한 실정으로 과실의 수확 후 저장 및 유통 과정에서 품질 변화를 예측할 수 있는 기술이 필요하다.

신경회로망은 많은 선형 또는 비선형 모델들이 병렬적으로 연결되어 있어서 정보의 처리 속도가 빠르며 자기연상에 의해 학습(learning)이 가능하다는 장점을 가진다. 자기연상에 의해 신경회로망은 데이터의 변화에 적응할 수 있으며 입력과 출력간의 관계를 매핑(mapping)을 통해 학습을 수행한다. 신경회로망은 패턴인식, 영상인식, 음성인식, 최적화 등에 널리 사용되어져 왔으며 제어분야, 공정예측, 주가분석, 기상예측, 신뢰성 평가 등에 적용되고 있다. 특히 농산물과 같이 기준이 애매하고 개체마다 편차가 있는 대상을 다룰 때 신경망의 장점은 중요한 이점으로 작용한다.

본 연구에서는 수확 후 저장, 유통과정 중의 사과의 품질변화에 미치는 요인을 분석하고 신경회로망을 이용하여 소비자 구매도를 예측함으로써 저장, 유통 중 외부온도 변화에 따른 사과의 품질을 모니터링 할 수 있는 모델을 개발하고자 하였다. 이러한 기술은 수확 저장 후 상온 또는 냉장유통 단계에서 과실 내부의 품질을 모니터링 하여 유통과정에서 외부 온도조건에 따라 유통기한을 예측할 수 있을 것이다.

+ 이 연구는 농림기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음

* 한국식품개발연구원 특화연구본부 유통연구단

** 성균관대학교 생명자원과학대학 바이오메카트로닉스전공

*** 전주대학교 공과대학 생산디자인공학과

2. 재료 및 방법

가. 외부온도에 따른 품질변화 분석

사과의 외부온도에 따른 품질변화를 분석하기 위하여 외부온도가 15, 25 °C에서 시간에 따른 수분, 당도, 산도, 색도, 경도를 측정하였으며, 색, 향, 맛, 조직감, 종합적 평가, 구매도에 대한 관능검사를 실시하였다. 실험에 사용된 시료는 충청북도 충주에서 생산된 후지품종으로 사과의 품질을 고려하여 외부온도 15 °C에서는 총 98일 동안 7일 간격으로 분석하였으며, 외부온도 25 °C에서는 총 28일 동안 2~3일 간격으로 분석하였다. 관능평가는 시료의 품질과 평가기준에 대하여 교육이 된 13인의 관능요원이 색, 향, 맛, 조직감 및 종합적인 평가 등의 항목을 비교 평점법으로 평가하였고, 이 때 대조구로 쓰인 신선한 사과의 점수를 9.0으로 하여 비교하였다. 수분, 당도, 산도, 경도 및 관능평가 결과는 분산분석(ANOVA)을 통하여 온도별 저장시간에 따른 유의적인 차이를 분석하였으며, 각 집단끼리의 평균치 차이는 다중비교방법(multiple comparison)인 Ducan 방법 사용하였다. 실험결과의 통계분석은 통계 프로그램인 SAS 8.01을 이용하였다.

나. 품질변화에 따른 주요 요인 분석

외부온도별 시간의 증가에 따른 이화학적 성분 변화와 관능검사 결과와 소비자 구매도와 의 상관성을 조사하고자 상관 분석을 실시하였으며, 사과의 품질변화에 따른 주요 요인의 분석은 소비자 구매도에 가장 큰 영향을 미치는 이화학적 성분을 분석하고 구매도의 종속 변수에 대한 의미 있는 독립변수를 선택하기 위하여 SAS 프로그램의 결정계수 선택법(R^2 selection)의 변수 선택법을 사용하였다.

다. 품질 모니터링 모델

본 연구에서는 사과의 품질 모니터링 모델 개발을 위하여 일반적으로 공학 전 분야에서 가장 활발히 적용되며 성능이 우수한 것으로 알려진 오차 역전파(back propagation) 다층 신경회로망(mult-layer neural network)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 외부온도별 시간에 따른 품질변화

사과의 외부온도에 따른 품질변화를 분석하기 위하여 외부온도별 시간에 따른 수분, 당도, 산도, 색도, 경도를 측정하였으며, 색, 향, 맛, 조직감, 종합 평가, 구매도에 대한 관능검사를 실시하였다. 시간에 따른 사과의 수분은 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 당도와 경도의 경우에는 시간이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 당도의 경우 Duncan's multiple range test 결과 당도는 외부온도 15 °C에서는 14일, 25 °C에서는 2일째 유의적인 차이가 나타났다. 산도는 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향이 나타났으며, Duncan's multiple range test 결과에서 외부온도 15 °C에서는 70일, 25 °C에서는 4일째 유의적인 차이가 나타났다. 색도의 경우 시간에 따라 L, a 값은 유의적인 경향이 나타나지 않았으나, b

값의 경우에는 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

그림 1은 시간이 28일 경과되었을 때 외부온도 15 ℃와 25 ℃일 때 사과 관능검사 결과를 비교한 것이다

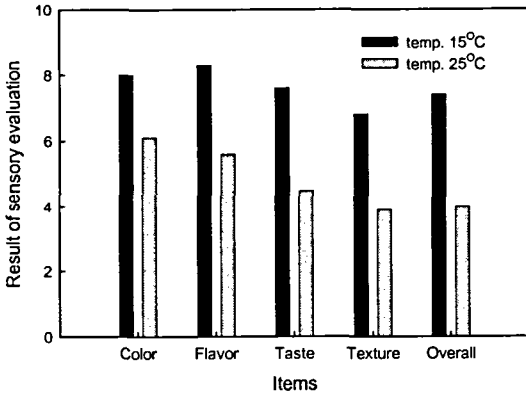


그림 2. 온도별 관능검사 결과 (28일째)

감, 종합적 평가 항목에서 외부온도 25℃의 경우는 각각 21일, 7일, 7일, 7일로 외부온도 15℃의 각각 84일, 56일, 28일, 56일보다 매우 빠른 것으로 나타났다.

나. 품질변화에 따른 주요 요인 분석

표 1은 외부온도별 시간의 증가에 따른 수분, 당도, 산도, 색도, 경도의 이화학적 성분 변화와 소비자 구매도의 상관분석 결과를 나타낸 것이다. 소비자의 구매도와 수분, 당도, 산도 L, a, b, 경도와의 상관계수는 0.19, 0.85, -0.76, -0.30, -0.16, -0.67, 0.92로 분석된 성분 중 구매도와 상관성은 경도, 당도, 산도, b, L, 수분, a 순으로 나타났다. 이들 중 유의 수준 0.01에서 구매도와 당도, 산도, b, 경도가 유의적인 상관성이 있는 것으로 나타났다.

표 1. 사과의 이화학적 성분과 구매도의 상관관계

	Moisture content	Soluble solid	pH	L	a	b	Hardness	Purchasing index
Moisture content	1							
Soluble solid	0.07	1						
pH	-0.16	-0.68**	1					
L	0.08	-0.08	-0.04	1				
a	-0.33	-0.00	0.57**	-0.32	1			
b	-0.03	-0.66**	0.26	0.42*	-0.39*	1		
Hardness	0.27	0.86**	-0.68**	-0.21	-0.15	-0.61**	1	
Purchasing index	0.19	0.85**	-0.76**	-0.30	-0.16	-0.67**	0.92**	1

* correlation is significant at the 0.05 level, ** correlation is significant at the 0.01 level

표 2는 소비자 구매도와 색, 향, 맛, 조직감, 종합 평가의 관능검사 결과와의 상관분석 결과를 나타낸 것이다. 소비자 구매도와 각 항목별 상관계수는 색 0.768, 향 0.840, 맛 0.929, 조직감 0.934, 종합적 평가 0.933으로 전체적으로 관능검사의 결과와 소비자 구매도와는 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 이들 색, 향, 맛, 조직감, 전체 평가 모든 항목이 유의수준 0.01에서 소비자 기호도와 유의적인 상관성을 가지는 것으로 나타났으며, 조직감, 전체 평가, 맛, 향, 색의 순으로 소비자 구매도와 상관성이 높게 나타났다.

표 2. 사과와 관능평가 항목과 구매도의 상관관계

	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall	Purchasing index
Color	1					
Flavor	0.83**	1				
Taste	0.80**	0.87**	1			
Texture	0.76**	0.86**	0.96**	1		
Overall	0.85**	0.91**	0.97**	0.97**	1	
Purchasing index	0.77**	0.84**	0.93**	0.93**	0.93**	1

** correlation is significant at the 0.01 level

사과의 품질변화에 따른 주요 요인의 분석은 소비자 구매도에 가장 큰 영향을 미치는 이화학적 성분을 분석하고 구매도의 종속 변수에 대한 의미 있는 독립변수를 선택하기 위하여 변수 선택법을 실시하였다. 표 3은 소비자 구매도 모델의 독립변수를 수분, 당도, 산도, L, a, b, 경도로 선정하여 변수 선택 분석결과를 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용한 결정계수 선택법은 선정된 변수들의 모든 경우의 수에 대하여 결정계수가 큰 순으로 나타난다. 본 연구에서는 소비자 구매도 모델에 사용할 변수로 결정계수가 높으면서 변수의 수가 적은 당도, 산도, L, b, 경도로 총 5개의 변수를 선택하였다.

표 3. R² selection 방법에 의한 구매도의 변수 선택 결과

Model	No. of variable in model	R ²	Variable ¹⁾ in model
Purchasing Index	1	0.6981	X ₇
	2	0.7766	X ₃ , X ₇
	3	0.8113	X ₃ , X ₄ , X ₇
	4	0.8382	X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₇
	5	0.8484	X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₆ , X ₇
	6	0.8543	X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆ , X ₇
	7	0.8544	X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆ , X ₇

1) X₁ : Moisture content (%), X₂ : soluble solids (°brix), X₃ : pH, X₄ : L, X₅ : a, X₆ : b, X₇ : hardness (g/mm²)

다. 품질 모니터링 모델

본 연구에서는 오차 역전과 다층 신경회로망을 사용하여 사과 품질 모니터링 모델을 개발하였다. 품질 모니터링 모델은 주어진 외부온도에서 유통, 판매될 때 소비자 구매도를 예측하는 것으로서 예측모델의 독립변수는 당도, 산도, L, b, 경도를 사용하였다. 신경회로망의 입력 항목으로는 변수로 선정된 당도, 산도, L, b, 경도를 사용하였으며, 입력값은 0에서 1사이의 값으로 정규화(normalization)하여 입력하였다. 학습 목표값(target value)은 소비자 구매도로서 개발된 신경회로망 모델에 의하여 산출된 소비자 구매도와 실제 소비자 구매도와의 관계는 선형적이며 결정계수가 0.925로 나타났다.

학습의 일반화 효과(generalization effect)에 의한 학습되지 않은 미지의 시료에 대한 회로망의 인식 및 구매도 모델의 효율성을 검증하기 위하여 학습에 사용되지 않은 80개의 시

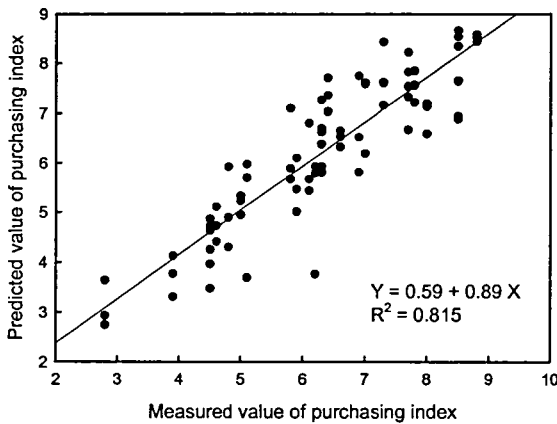


그림 3. 신경회로망을 이용한 소비자 구매도 모델의 검증 결과

료에 대하여 신경회로망의 구매도 모델을 이용한 예측값과 실제 소비자 구매도 값을 비교 검증하였다. 그림 2는 신경회로망에 의한 구매도 모델의 검증 결과를 나타낸 것이다. 소비자 구매도에 대한 예측값과 실험값의 관계는 선형적으로 나타났으며, 결정계수는 0.815로서 모델의 소비자 구매도의 예측값은 유의적인 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 수확 후 저장, 유통과정 중의 사과의 품질변화에 미치는 요인을 분석하고 신경회로망을 이용하여 소비자 구매도를 예측함으로써 저장, 유통 중 외부온도 변화에 따른 사과의 품질을 모니터링 할 수 있는 모델을 개발하고자 하였다. 본 연구의 주요연구결과는 다음과 같다.

1) 시간에 따른 사과의 수분은 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 당도와 경도의 경우에는 시간이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 산도는 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향이 나타났다. 색도의 경우 시간에 따라 L, a 값은 유의적인 경향이 나타나지 않았으나, b 값의 경우에는 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 수분, 당도, 산도 L, a, b, 경도와 소비자 구매도와의 상관계수는 각각 0.19, 0.85, -0.76, -0.30, -0.16, -0.67, 0.92로 나타났다.

2) 외부온도에 따른 관능검사 결과에서 색, 향, 맛, 조직감, 종합적인 평가의 모든 항목은 시간이 경과함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 외부온도가 높을수록 시간이 경과함에 따

라 모든 항목에서 감소하는 폭이 컸으며, Duncan's multiple range test 결과 유의적인 차이가 나타나는 시간은 향, 맛, 조직감, 전체적인 평가 항목에서 외부온도 25 ℃의 경우는 각각 21일, 7일, 7일, 7일로 외부온도 15 ℃의 각각 84일, 56일, 28일, 56일보다 매우 빠른 것으로 나타났다. 사과와 종합적 평가와 색, 향, 맛, 조직감과의 상관계수는 0.850, 0.910, 0.973, 0.974로 조직감과 맛이 종합적 평가와 가장 상관성이 큰 것으로 나타났다.

3) 오차 역전과 다층 신경회로망을 사용하여 사과의 품질 모니터링 모델을 개발하였다. 품질 모니터링 모델은 주어진 외부온도에서 유통, 판매될 때 소비자 구매도를 예측하는 것으로서 예측모델의 독립변수는 당도, 산도, L, b, 경도를 사용하였다. 신경회로망 학습으로 개발된 사과 품질 모니터링 모델의 검증 결과는 소비자 구매도에 대한 예측값과 실험값의 관계가 선형적으로 나타났으며, 결정계수는 0.815로서 사과 품질 모니터링 모델의 소비자 구매도의 예측값은 유의적인 것으로 판단되었다. 향후 본 연구에서 사용한 변수외에 소비자 구매도와 사과의 품질에 영향을 미치는 요인들을 모델의 변수로 추가한다면 좀 더 높은 예측성능을 가지는 모델로 개선될 것이다.

5. 참고문헌

1. 김종훈, 이충호. 2000. 식품 및 생물산업 공정의 신경회로망 응용. 식품과 산업 33(1).
2. 이호철. 1999. 능급 등급화의 심층 연구. 경북대학교 출판부.
3. Ennis, D. M., H. Boeueus., H. Haring. and P. Bowman. 1982. Multivariate Analysis in Sensory Evaluation. Food Technol. 32(1): 83.
4. F. C. Chen. 1990. Back propagation neural networks for nonlinear self-tuning adaptive control. IEEE Control Syst. Mag.
5. J. J. Hopfield and D.W. Tank. 1986. Neural computation of decisions in optimization problems. Biol. Cybern. Vol.52
6. Kim, J. H., S. G. Yoon., J. B. Choi. J. C. Kim. and U. Y. Kong. 1995. Application of Principal Component Analysis to Shelf-life Determination of Processed Food. Korean J. Food Sci. Technol. 27(5): 703-707.
7. Ryall, A. L. and W. J. Lipton. 1979. In Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. AVI Publishing Co. Westport
8. Thompson, A. K. 1996. Postharvest Technology of Fruit and Vegetables. Blackwell Science Ltd, USA