

## 신경회로망을 이용한 사과색택선별 알고리즘 개발에 관한 연구<sup>+</sup>

### Development of Apple Color Sorting Algorithm using Neural Network

이수희*	노상하*	이종환*
정회원	정회원	정회원
S. H. Lee	S. H. Noh	J. W. Lee

#### ABSTRACT

This study was intended to develop more reliable fruit sorting algorithm regardless of the feeding positions of fruits by using the neural network in which various information could be included as input data. Specific objectives of this study were to select proper input units in the neural network by investigating the features of input image, to analyze the sorting accuracy of the algorithm depending on the feeding positions of Fuji apple and to evaluate the performance of the algorithm for practical usage. The average value in color grading accuracy was 90%. Based on the computing time required for color grading, the maximum sorting capacity was estimated to approximately 10,800 apples per hours. Finally, it is concluded that the neuro-net based color sorting algorithm developed in this study has feasibility for practical usage.

**주요용어(Key Words)** : 신경회로망(Neural Network), 색택선별(Color Sorting), 히스토그램(Histogram)

#### 1. 서론

청과물에 있어서 선별은 상품성의 증가면에서 반드시 필요한 작업체계이다. 생산자인 농민은 수확된 과일을 적절한 등급으로 분류·출하함으로써 소비자로 하여금 올바른 구매를 유도해야 하고 등급별 가격형성은 앞으로 생산할 과일의 품질을 향상시키기 위한 기준이 된다. 결국 선별

은 얼마만큼 소비자가 요구하는 상품을 만들어 냈느냐를 결정하는 과정이며, 수확후 소비에 이르기까지 일관되게 유지되어야 할 작업체계라고 할 수 있다.

하지만 우리나라에서 생산되는 사과색택선별은 거의 대부분 육안에 의한 주관적 판단에 의해 이루어지고 있으며 선별기준이 생산자마다 각기 달라 일관성이 없어 그 정확도에 있어서

<sup>+</sup> 이 논문은 농업특정연구개발사업의 연구비 지원에 의해 이루어짐.

\* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

문제가 되고 있다.<sup>(9)</sup>

이에 따라 카메라를 이용하여 청과물의 영상을 컴퓨터에 입력, 입력된 영상을 분석하여 색택을 판정하는 장치가 선진국의 경우 이미 개발 보급된 단계이나 이는 우리나라 농가의 실정에 비추어 볼 때 고가이며 선별기준이 달라 우리나라에서 사용하기에는 몇가지 문제점이 있다. 본 연구자가 현재 국내 몇몇 선과장에서 수입하여 사용하고 있는 선별기를 조사한 결과 색택 등급 기준이 국내기준과 다르기 때문에 새로운 선별 기준을 결정해야 하는 어려움이 있으며, 선별결과도 만족스럽지 못한 것으로 나타났다. 또한 등급판정시 사과를 굴려서 영상을 입력하므로(미국형) 회전방향에 따라 입력되는 영상에 차이가 있어 이에 따른 선별오차가 발생할 것으로 예상되며, 일본에서 수입한 선별기의 경우 과실의 윗면만을 색택등급결정에 이용하므로 국내 사과의 색분포가 불균일하다는 점과 이를 일정하게 공급하기 위해서는 많은 노동력이 필요하다는 점을 감안할 때 이는 바람직하지 못한 방법으로 생각된다.

한편 서울대학교 농업생명과학대학 농산가공기계실에서는 수 년동안 영상처리를 이용한 청과물 선별에 관한 연구를 진행하였는데 흑백영상처리장치와 반사경을 사용하여 과실의 윗면과 측면영상을 동시에 입력하여 크기 및 색택을 판정할 수 있는 선별 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서는 지금까지 개발된 선별방법대신에 다음과 같은 이유로 신경회로망을 사용하여 선별의 가능성을 알아보고 이를 적용하고자 하였다. 기존의 방법(황, 1993, 그래티클 방법)<sup>(10)</sup>은 색택선별시 반사영상을 직접영상으로 대응하기 위하여 품종과 이송속도에 따라 보정계수를 구해야 하는데 본 연구에서는 이를 신경회로망의 학습과정을 통하여 그 문제점을 해결하고자 하였다. 또한 그래티클 방법은 색택선별시 사과 의 꼭지가 위로 향하게 해야하는 문제점이 있으므로 이를 해결하기 위해 다양한 자세에 대한 색택데이터를 학습하여 색택선별이 가능한지를 알아보고자 하였다.

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- ① 신경회로망을 사용하여 사과의 이송자세에 따른 색택선별의 가능성을 알아보고
- ② 선별했을 때의 능률, 오차 및 실용성을 구명하는데 있다.

신경회로망을 농업분야에 응용한 사례는 그리 많지 않으나 최근들어 인식이나 선별과 같은 분야에서 적용한 사례가 늘고 있다.

Das와 Evans(1992)<sup>(11)</sup>는 부화란 판정에 관한 일련의 연구로서 기존의 영상처리 방법대신에 신경회로망을 사용하여 그 가능성을 보여주었다. 계란 영상에 대한 히스토그램을 작성하고 부화가 진행됨에 따른 엠브리오(embryo)의 성숙으로 낮은 화소치에 해당하는 히스토그램 영역이 상대적으로 커짐을 가지고 부화란을 구별하였다. 4일후의 계란에 대해서 93.9%, 3일후의 계란에 대해서 93.5%, 2일후의 계란에 대해서 67.6%의 선별정확도를 보여주었다.

松田(1992)<sup>(12)</sup>등은 오이와 같은 길쭉한 형상을 가진 농산물에 대해서 신경회로망을 사용하여 등급선별을 하였다. 오이의 구분진 것과 그렇지 않은 것을 구분하였는데 전체적인 선별정확도는 86%였다.

황 (1993)<sup>(13)</sup>등은 버섯 선별에 신경회로망을 사용하여 등급을 결정하였다. 비전시스템을 사용하여 버섯의 모양, 색택, 균열상태, 표면조직, 평균반경, 두께, 멤브레인(membrane)의 상태 등을 정량화하고 이것을 입력데이터로 하여 16개의 등급을 결정짓는데 사용하였다. 50개의 샘플을 임의추출하여 등급결정실험을 한 결과 4개의 샘플에 대해서 의심스러운 결과를 보였고 나머지는 학습한 결과와 일치하였다.

池田과 齊勝(1993)<sup>(14)</sup>은 신경회로망을 사용하여 피망의 형상과 크기를 판정하였다. 피망에 대해서 양호, 불량외의 2가지 형상과 대, 중, 소 3가지 크기로 총 6등급 분류를 시도하였다. 등급판정 실험결과 형상의 경우 63%, 크기의 경우 84%의 정확도를 보여주었다.

池田(1993)<sup>(15)</sup>등은 꽃의 등급결정에 신경회로망을 사용하였다. 장미의 칼라영상을 군집분석

(cluster analysis)에 의해서 꽃잎, 굽은 꽃잎과 꽃받침으로 영역화한 후 기준점을 통과하는 5° 간격의 72개의 선에 대하여 각 영역화한 영상의 길이를 신경회로망에 입력하여 등급을 결정하고 이것과 사람이 결정한 등급을 비교하였다. 총 96 개의 영상데이터를 신경회로망에 입력하여 등급 결정한 결과 17개가 사람에게 의한 등급판정과 다른 등급판정을 보여주어 82.3 %의 정확도를 보였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 가. 실험장치

흑백영상처리장치는 아날로그 영상신호의 입력을 위한 영상입력장치, 영상신호의 처리 및 저장을 위한 영상처리부, 처리결과를 화면에 나타내는 출력장치, 그리고, 프로그램의 수행을 위한 주컴퓨터로 구성된다.

영상입력장치로는 흑백 CCD 카메라(Model Pulnix TM-545, IT. Inc., USA : MC 5456)를 사용하였고 선택판정을 용이하게 하기 위해<sup>(6)</sup> 550 nm를 주파장으로 하는 밴드패스필터를 설치하였다. 영상처리부는 프레임그래버(frame grabber, Imaging Technology Inc., Woburn, Massachusetts 01801, USA)를 사용하였으며 출력장치로는 14인치 RGB 고해상도 컬러영상모니터(Model ECM 1311U, Kitchener, Ontario N2G 4J6, Canada)를 사용하였다. 주 컴퓨터는 IBM PC/AT 호환기종 (80486, 33 MHz)을 사용하였다.

조명장치로 10개의 형광등을 컨베이어의 좌우측과 하단에 설치하였는데 이중 좌우측의 6개 형광등을 밀집한 상태로 설치하였으며 이송방향의 좌우측에 2개의 반사경을 설치하여 사과와 측면영상을 카메라에 입력할 수 있도록 하였다. 또한 산란광을 얻기 위해 백색의 아크릴 판을 아치 형태로 만들어 장치하였다. 카메라 렌즈에서 측정된 조도는 2,000 Lux였다.

시료 이송장치로서 전동모터에 의해 구동되는

체인 컨베이어를 사용하였다. 이송장치의 주요 사양으로 컨베이어의 총길이 400 cm, 접시간의 피치 15.24 cm, 최대 이송속도 51.8 cm/sec, 접시의 총개수는 56개 였다. 또한 이송자세에 무관한 선별이 가능한 지를 알아보기 위하여 2조 스크류형식의 자동공급장치를 사용하였다.

### 나. 실험재료

실험재료로 사용한 품종은 후지 사과를 사용하였다. 수량은 무대과와 유대과 각각 100개 정도 구입하여 이를 등급별로 나누어 시료로 사용하였다.

### 다. 실험내용 및 방법

신경회로망을 이용하기 위해서는 먼저 입력데이터를 결정해야 한다. 본 연구에서는 흑백영상처리장치에 입력된 사과의 붉은색은 열은 푸른색보다 화소치가 낮고 따라서 화소치의 분포를 살펴보면 사과의 선택판정이 가능할 것으로 판단되어 사과영상에 대한 히스토그램을 입력데이터로 하였다. 입력데이터는 6 비트(bit) 사과영상에서 사과에 해당하는 화소치의 범위인 1에서 16까지의 화소치의 빈도수로 하였으므로 입력유니트 수는 16개로 하였다. 그런데 화소치에 따른 히스토그램은 사과의 크기에 따라서 빈도수에 차이를 보여준다. 크기에 따른 영향을 배제하기 위해서는 해당 화소치에서의 상대적인 빈도수를 비교해야 하며 다음의 방법으로 정규화한 값을 입력데이터로 하였다.

$$N_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{16} f_i} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

$N_i$  : 정규화한 입력데이터

$f_i$  : 화소치  $i$  에서의 빈도수

그런데 직접영상만으로는 사과의 전체를 대표한다고 할 수 없으므로 본 연구에서는 반사경을

사용하여 측면영상도 함께 고려하였다. 각 화소치에서 직접영상 1개와 반사영상 2개, 총 3개의 히스토그램의 정규화값을 합하여 전체를 대표하는 하나의 히스토그램을 작성하였다. 최종적으로 전체 히스토그램에서의 화소치에 따른 정규화값을 입력데이터로 하였다.

은닉 유니트수와 출력 유니트수는 각각 9개와 3개로 하였다. 은닉유니트의 개수는 수차례의 시행착오를 통하여 학습상태가 양호하고 이를 검증하였을 때 오차가 가장 적은 것으로 결정하였다. 출력유니트 3개는 선택선별 등급설정을 3등급 구분을 목표로 하는데 따른 것이다. 선택의 목표값 설정방법은 1등급의 경우 0 0 1과 같이 하여 해당 등급에 대한 유니트의 번호에 1을 나머지는 0을 할당하는 방법으로 결정하였다. 결국 사과의 선택선별에 사용한 신경회로망의 구조는 입력유니트 16개, 은닉유니트 9개, 출력유니트는 3개로 하였다.

1) 이송자세에 따른 사과영상의 히스토그램 변화

본 연구에서는 사과의 개체공급시 이송자세에 따라 정확한 등급판정이 가능한 지 알아보기 위하여 그림 1과 같이 사과의 자세를 꼭지위치를 기준으로 5가지로 규정하고 등급 및 이송자세별로 히스토그램을 조사하였다. 여기서 선택등급 구분은 사람의 육안에 의해 3등급 구분을 하였는데, 1등급은 붉은색이 고른 분포를 띠는 것으

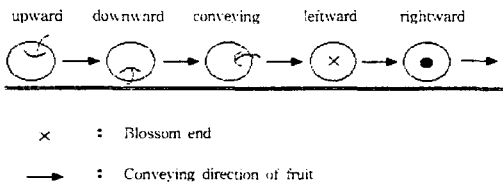


Fig. 1. Position of apple.

로, 3등급은 푸른색의 면적이 50% 이상인 것으로 하였다. 2등급은 사과의 어느 한부위가 푸른색을 띠는 것으로 하였으며 그 면적비가 50%이 하인 것으로 정하였다.

2) 신경회로망을 이용한 선택데이터 학습

본 연구에서는 선별기에 직접 사용될 수 있는 등급판정 알고리즘을 개발하는 것이므로 이송상태에서 영상을 획득하여 이 데이터를 가지고 학습 및 선별정도를 평가하였다. 학습에는 각 등급별로 5개씩 총 15개를 5가지 이송자세와 2수준의 속도(9,000 개/시간과 10,800 개/시간)에 대해서 획득한 것을 사용하였다. 따라서 학습패턴의 수는 총 150개였다.

학습에는 오차역전파 학습알고리즘(error back-propagation)<sup>(2),(7),(8)</sup>을 이용하였으며 C 언어로 알고리즘을 구현하였다. 학습회수는 2,500 번으로 하였으며 학습률(learning rate)와 모우멘텀(momentum)은 각각 0.2, 0.95를 사용하였다. 한편 학습이 원하는 방향으로 진행하고 있는지를 평가하기 위해 평균자승오차 (mean square error)를 계산하였다.

3) 선별정도 및 능력

신경회로망을 이용한 사과의 선택선별정도 및 능력을 평가하기 위해서 총 85개의 사과를 시료로 하여 선택선별 실험을 수행하였다. 이송속도는 9,000개/시간과 10,800개/시간의 2수준으로 하였으며 5가지의 이송 자세 및 자동공급기를 사용하여 투입한 경우로 나누어 선별정도를 조사하였다. 최종적인 선택등급은 학습된 연결강도를 거치면서 계산된 출력값중에서 가장 큰 수가 나온 유니트의 자리수로 결정하였다.

한편 선별알고리즘간의 차이를 살펴보고자 동일한 사과에 대하여 그래디컬 선택선별 알고리즘을 사용하여 상방향 이송자세와 자동공급기를 사용한 임의의 자세에 대하여 등급결정 실험을 하여 신경회로망에 의한 선별정도와 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 이송자세에 따른 사과영상의 히스토그램 변화

사과의 이송자세에 따른 히스토그램의 변화는 그림 2에서 보는 바와 같이 이송자세에 따라 전체적인 히스토그램의 형태가 약간씩 바뀌는 것을 보여주었다. 선택 1등급 사과는 3등급 사과보다 상대적으로 낮은 화소치에서 최대빈도수를, 2등급 사과는 1등급의 최대빈도수를 보이는 화

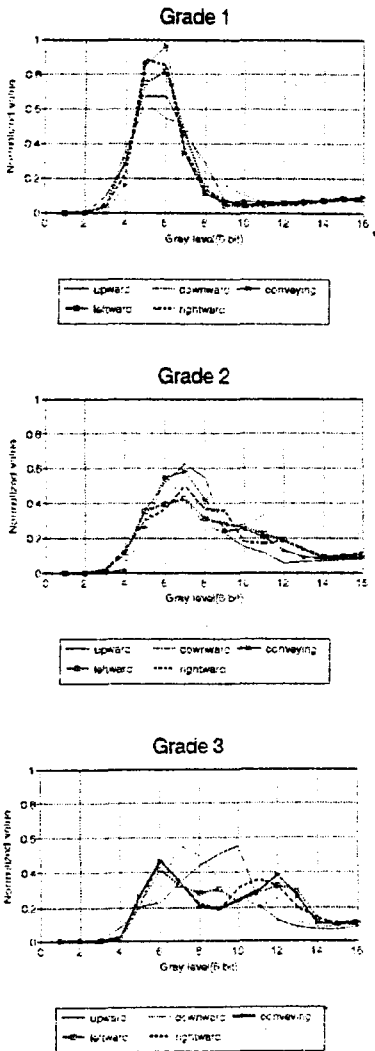


Fig. 2. Histograms of 3 apples having different color grades.

소치보다 높은 화소치에서 최대빈도수가 나타났으며 화소치의 분포가 골고루 나타나는 특징을 보였다. 3등급 사과의 경우 최대빈도수를 갖는 화소치가 놓이는 자세에 따라 일정하지 않았으

나 그 정규화 값은 1, 2 등급보다 낮게 나타났으며 분포형태는 2등급보다 더 넓게 퍼지는 것을 보여주었다.

나. 학습 결과

선택학습의 결과 그림 3에서 보듯이 평균자승오차는 급격히 감소하는 경향을 보였으며 2,500 번 학습하였을 때 평균자승오차는 0.0067로 나타나 원하는 목표값에 수렴하는 것으로 나타났다. 이어서 계산된 연결강도를 사용하여 학습에 이용한 15개의 사과에 대해서 5가지의 이송상태와 속도별 2수준으로 검증실험을 하였다. 그 결과 4개의 패턴에 대해서 다른 등급을 출력하여 2.6%의 학습오차를 보여주었다. 결국 속도 및 이송자세를 달리한 입력데이터에 대한 학습은 성공적인 것으로 판단되며 계산된 연결강도를 가지고 임의의 사과에 대한 선별실험을 하더라도 선택정도를 알아보는데 별다른 지장이 없을 것으로 판단되었다.

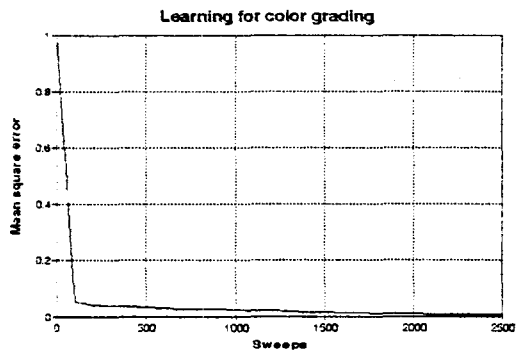


Fig. 3. Convergence in learning for color grading.

다. 선별정도 및 능력

학습을 통하여 계산된 연결강도를 사용하여 2수준의 이송속도(9,000개/시간과 10,800개/시간)에서 85개의 시료에 대하여 선택등급결정을 실험한 결과는 표 1과 같이 나타났다.

한편 동일한 시료에 대하여 그래픽 알고리

Table 1. Color grading accuracies of apple using neural network

		(Unit : %)						
Velocity	Position	Upward	Downward	Conveying	Leftward	Rightward	Automatic Feeder	Average
9,000 fruit/hr		89.4	88.2	90.6	91.8	91.8	93.0	90.8
10,800 fruit/hr		89.4	91.8	88.2	92.9	91.8	90.6	90.7

즘을 사용하여 색택등급을 결정한 결과를 표 2에 나타내었다.

Table 2. Color grading accuracies of apple using graticule method

Unit : %

Velocity	Position	Upward	Automatic Feeder
9,000 fruit/hr		93.3	89.3
10,800 fruit/hr		92.3	85.0

표 1에서 보는 바와 같이 신경회로망을 이용한 색택실험 결과 2수준의 이송속도 모두 평균 90%의 선별정도를 갖는 것으로 나타났으며 2등급 이상의 판정 오류는 발생하지 않았다. 이송자세별 선별정도는 자세별로 차이를 보였으나 그 변화는 작은 것으로 나타났다. 특히 자동공급장치를 사용한 임의의 자세에 대해서도 90%의 선별정도를 보임으로써 자동공급장치를 부착하여 임의의 자세로 사과를 공급하더라도 색택선별은 가능한 것으로 판단되었다. 또한 속도가 증가함에 따른 선별정도의 차이는 미미한 것으로 나타났는데 이는 2수준의 속도에 대한 데이터를 모두 학습한 결과라고 생각된다.

한편 그라티클 방법에 의한 선별정도는 상방향의 경우 신경회로망보다 높은 선별정도를 보여주었으나 자동공급장치를 이용한 임의의 자세에 대해서는 이송속도가 증가하면 등급판정 오류가 증가하는 경향을 보여주었다.

결국 신경회로망을 이용한 사과 색택선별은 다양한 이송자세에 대해서도 평균 90%의 선별정도를 가지는 것으로 나타나 그 실용성은 충분한 것으로 판단되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 신경회로망을 이용한 사과 색택판정 알고리즘을 개발하고, 사과 놓인 자세에 따른 선별성능을 분석함으로써 본 선별 알고리즘의 실용성을 구명하고자 하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 색택판정 신경회로망의 구조는 16-9-3으로 정하였고 정규화한 하나의 전체히스토그램을 입력데이터로 하여 학습하였다. 등급, 이송자세 및 이송속도별로 총 150개의 학습데이터를 사용하여 학습한 결과 원하는 방향으로 수렴하였다.
2. 후지사과의 색택을 3등급, 시료의 이송속도를 9,000개/시간과 10,800개/시간의 2수준으로 유지하고 사과 이송자세에 따른 색택 선별정도를 분석한 결과 평균 90%의 선별정도를 보여주었으며 등급판정시 2등급 이상 오류가 발생하는 경우는 없었다.
3. 본 연구에서 사용한 신경회로망에 의한 사과 색택 결정 시간은 0.33초로서 최대 선별능률은 시간당 10,800개 정도로 분석되었다. 이상의 결과를 종합할 때 본 연구에서 개발한 신경회로망을 이용한 색택선별 알고리즘은 실용 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

#### 5. 참고문헌

1. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리 장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구 (I, II), 한국농업기계학회지 17(4) : 354~

- 369.
2. 이인식. 1992. 사람과 컴퓨터, 까치 : 127~185.
3. 이재웅. 1990. 인공지능망. 마이크로소프트 웨어 1990. 9 : 158~171.
4. 정운수. 1993. 경북 능금 팩킹하우스의 운영 및 현황, 원예산물의 저장과 유통 No. 2 : 11~13.
5. 황인근. 1993. 영상처리를 이용한 다목적 과실선별기 개발에 관한 기초연구. 석사학위논문.
6. 황헌, 이충호. 1993. 신경회로망을 사용한 버섯의 등급결정, ICAMPE 93 Vol. 5 : 1243~1253.
7. 池田善郎, 齊勝義行. 1993. 뉴럴넷 네트워크による農産物の 形状判定 -ピマシンの形状と大きさの判定, 日本農業機械學會誌 55(3) : 59~64.
8. 松田郁生. 1992. 뉴럴넷による長物青果物の等級選別. 第 49會 日本農業機械學會 講演要旨.
9. Das, K. and Evans, M. D. 1992. Detecting Fertility of Hatching Eggs using Machine Vision II : Neural Network Classifiers, Trans. of the ASAE. 35(6)
10. Hertz, J. A., Krogh, R. and Palmer, G. 1992. Introduction to the Theory of Neural Computation, Addison Wesley : 89~162.
11. Ikeda, Y. and Sawada. T. 1993. Evaluation of flower by neural network, ICAMPE 93 Vol. 5 : 1282~1291.