최종보고서

수출 버섯류의 실시간 비파괴 품질판정기술 개발과 자동 등급선별 및 포장시스템 개발

Development of Real Time Quality Evaluation Technology, Automatic Sorting and Packaging System of Mushroom for Export

연 구 기 관

성균관대학교

농 림 부

최 종 보 고 서

1997년도 농림수산특정연구사업에 의하여 완료한 수출버섯류의 실시간 비파괴 품질판정 기술개발과 자동 등급선별 및 포장시스템 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 8부

2. 최종보고서 디스켓 1매

1997. 12. .

주관연구기관 : 성균관대학교

총괄연구책임자 : 황 헌 (인)

주관연구기관장 : 성균관대학교 총장 직인

농 림 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "수출 버섯류의 실시간 비파괴 품질판정 기술개발과 자동 등급 선별 및 포장시스템 개발에 관한 연구" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 12. .

주관연구기관명 : 성균관대학교

총괄연구책임자 : 황 헌
연 구 원 : 전 재욱
연 구 원 : 이 충호
연 구 원 : 김 시찬
연 구 원 : 안 정균
연 구 원 : 김 재민

요 약 문

Ⅰ. 제 목

수출 버섯류의 실시간 비파괴 품질판정 기술개발과 자동 등급선별 및 포장 시스템 개발에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

버섯은 무공해 자연식품으로 세계적으로 소비되고 있는 식품으로 그 가치의 중요성이 인식되고 있다. 또한, 무역 개방화시대에 있어서 가격 경쟁력이 있는 소득작물로서의 위치도 중요하다. 버섯의 수출가격은 보통 국내에서의 유통가에 비교할 때 품종별로 차이가 있지만 1.2 2.5배에 이른다.

표고의 경우는 국내에서 생산되는 물량의 70% 정도가 수출되고 있으며 소비가를 기준으로 보면 일본이 약 2배, 미국은 2.5배나 높은 실정이다. 그러나 최근에는 중국 등 저개발 국가의 물량공세와 선진 농업국의 고품질 제품의 출하로 소득작목으로서의 여건이 악화되고 있는 실정이다.

수출용 버섯은 상위등급을 요구하는데 고등급의 경우는 수출이 용이하나 저급품의 경우는 판매가 힘든 실정이다. 표고의 경우는 대부분이 일본으로 수출되고 있는데 일본의 경우는 16등급으로 표고의 등급을 정하고 있으나 국내의 경우는 정확한 기준이 없이 5등급으로 명시하고만 있다. 따라서 등급체계의 선정문제가 중요하게 인식되고 있다.

표고의 가격은 생표고와 건표고의 출하형태에 따라 차이가 있으며 수출물량에 따라서도 연도간 가격변동을 나타내나 매년 상승추세로 비교적 높은 시세를 보인다. 건표고는 전통적으로 품질에 따른 가격 차이가 극심한 품목이다. 크게 분류하면, 화고, 흑화고, 동고, 향고, 향신, 등외 등 6가지로 모양, 크기, 줄기를 자른것과 자르지 않은 것, 빛깔과 향, 갓의 벌어진 정도 등에 따라 구분되고 다시 등급이 세분화되며 등급간 가격차이가 크다. 화고는 동고보다 2배이상의 가격으로 거래가 이루어 지고 있다. 현재에도 표고는 대부분 수출위주로 생산

되고 있으며 수출표고는 산림조합을 통해 무역상이 수매하여 수출하고 있다. 표고는 등급간 가격차가 심하기 때문에 수출표고의 경우 등급이 50등급 이상으로 세분화 되어있다. 따라서 재배, 수확, 건조, 선별 등의 과정에 대한 세심한 주의가 요구된다.

농림수산물의 자동화에 있어서 가장 어려운 점은 생산대상체의 규격이 일정하지 않고, 작업구조가 상대적으로 공산품에 비교해서 취약하며, 작업환경도 가변성이 크다는 점이다. 농림수산 분야의 작업구조로 볼 때 수확 및 정선과정에서의 생력화가 필요하며 이를 위해서는 일반 산업체에 적용된 각종 자동화 센서 기술의 접목이 이루어져야 한다.

시각에 의한 단순반복작업의 개선을 위해서는 비파괴 등급판정 기술의 구축이 필수적으로 요구된다. 특히, 농산물의 경우는 대상체 정보의 가변성 및 애매모호함 그리고 상이한 분석내용 및 처리목적 등으로 인하여 기존의 산업용 영상처리 기술만으로는 해결하기 어려운 점이 많다. 또한 객관적이고 효율성이 있는 등급 판정기술의 개발이 필수적으로 필요하다.

따라서, 본 연구에서 추진할 주요기술인 영상처리기술을 기초로 한 On-line 비파괴 등급판정 및 선별기술과 자동중량 계측을 통한 포장기술의 개발은 새로운 개념의 농림수산분야 자동화 핵심기술의 확보와 보급이라는 차원에서 중요하다. 연구의 결과로 얻게 되는 버섯 자동 등급선별 및 계량시스템의 개발은 관련 고부가가치 농산물과 같이 농업 및 관련산업의 기계화 및 자동화에 크게 기여하리라 본다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 과제에서 목표로 하는 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

가. 비접촉 등급판정 기술 개발

- ㅁ 버섯의 생육,건조상태 및 재배의 자동감시, 규격화, 고품위화
- ㅁ 버섯의 등급판정에 필수적인 인공지능 기술에 의한 등급판정 기술 개발

나. On-line 실시간 버섯 등급선별 및 계량시스템 개발

- 버섯을 자동으로 공급하는 최적화 공급장치의 설계 개발
- 버섯의 자동 이송 및 배출시스템 개발
- 버섯 투입후 전체 공정을 일관 제어하는 무인 자동화 기술 개발

IV. 연구개발 결과

- 다양한 표고의 외관을 정량적으로 측정하기 위한 영상처리방법으로 영상이치화, 영상완화, 컴퓨터시각시스템 측도설정 및 기하학적 특징 추출에 대한 연구를 수행하였다.
- 표고의 선별기준이 되는 갓의 크기, 모양, 표피의 색상, 균열정도, 후면 끝단의 말린 두께, 후면 내피의 색상 및 정렬상태를 정량적으로 측정할수 있는 외관검색 소프트웨어를 개발하였다.
- 컴퓨터시각과 신경회로망 기술의 복합적 응용을 통하여 안정적 등급판정이 가능한 등급판정 알고리즘을 개발하였다. 신경회로망을 이용한 표고의 등급판정은 전후면 전체 영상을 이용하여 등급판정의 정확성을 향상시켰으며 등급선별 시스템의 구축은 가능한한 단순화 시켰다..
- 컨베이어에 의해 이송되는 표고의 등급판정을 위하여 실시간 On-Line 등급판정기술을 개발하였다.
- 건표고 등급 선별시스템은 1차 2차의 시작기 제작을 통하여 개발하였으며 기구부, 제어부 및 구동부로 구성되며 모든 동작이 컴퓨터에 의해 On-line 제어되고 모니터링이 되도록 하였다.
- 개발한 표고 등급선별기의 성능은 버섯 1개당 처리시간이 대략 0.7초가 소요되며 1조당 시간당 5,000개 정도의 선별이 가능하다.

S U M M E R Y

I. Title of Research

Development of Real Time Quality Evaluation Technology, Automatic Sorting and Packaging System of Mushroom for Export

II. Summary of Research Results

Quality evaluation of dried oak mushrooms are done first by classifying them into more than 10 different categories based on the state of opening of the cap and the surface pattern and color of the cap and gill. And mushrooms of each category are further classified into 3 or 4 groups based on its shape and size, resulting into total 30 to 40 different grades.

Size sorting is usually done roughly using a series of a set of conveyor mounted with vibrating plate having different sizes of punched round holes. However, quality evaluation and sorting based on the external visual features are done manually. Since visual features of mushroom affecting quality grades are distributed over the entire surface of the mushroom, both front(cap) and back(stem and gill) surfaces should be inspected thoroughly. In fact, it is almost impossible for human to inspect every mushroom, especially when they are fed continuously via conveyor.

In this research, computer vision neural network based algorithms for the automatic visual feature extraction, measurement, and recognition have been developed. Also as a final product, a computer controlled on-line real time automatic gradinf/sorting system has been developed and tested.

External visual feature inspection software was developed which can give a quantaitative data of cap size, shape, rolled thickness of back(gill and stipe) side, color of gill and cap surface and arrangement state of gill membrane etc..

Considering real time on-line system implementation and the hardware

limitation, neuro-net based image processing algorithm for quality grading has been developed. The neuro-net based mushroom identification and grading utilized the captured raw gray value image of fed mushrooms by the camera without any complex image processing such as visual feature extraction and image enhancement. Grading algorithm ulitized the modified BP(back propagation) network and direct raw gray level image captured by the camera. Prior to grading, a training process was done. For the successful implementation of the trained network, illumination calibration was also developed.

Neuro-net based grading of oak mushroom was developed and tested in two ways. One was using geometrical feature obtained from visual feature extraction algorithm and the other was using direct gray scale(256 stage) image captured by the camera.

Since from a viewpoint of the system implementation it was quite difficult to acquire both side images of the fed mushroom simultaneously, each side image of fed mushrooms was acquired sequentially using the side reversing mechanism. One set of vision system was used and the field of the view of the camera was adjusted enough to cover the both side images of mushrooms before and after reversing. Both side images were utilized for quality grading of a mushroom.

Once the fed mushroom was identified from the optic sensor, the image was captured. Using the captured raw gray level image, location of the mushroom was identified and the measuring window was assigned. The window was converted to the rectangular input grids to the network being composed of 64(8x8) grids. Since the size of rectangular input grid varies according to the size of the mushroom, the total number of grids are kept same. Value of each grid was computed by averaging the gray values of pixels which belong to each grid and was normalized between 0 and 1. Using these converted input values the feeding states of mushrooms were identified as either front side up or not via network processing. The converted network input values were kept for further processing.

Then, mushroom was reversed and the image was captured again. Exactly same process was repeated for the reversed mushroom. The converted network input values of the reversed mushroom were also kept after identifying the feeding state. Two sets of the converted network inputs, 128 normalized grid values with normalized 8 size factors(x, y, |x-y|, x+y) computed from two measuring windows were used for the network input for quality grading. The illumination compensation process was also done to ensure the consistent performance of the trained network.

Network training for the feeding state recognition and grading was done using static images. 200 samples(20 grade levels and 10 per each grade) were used for training. Network grading and feeding state recognition for training samples showed near 100% accuracy. 300 sample mushrooms(20 grade levels and 15 per each grade) were used for verification of the trained network. By changing orientation of each sample, 600 sample data sets were made and used for the test. And the trained network showed around 91% grading accuracy.

Grading performance of the network which was trained by 200 static samples was then tested for moving mushrooms. With the conveyor speed of 150.6mm/sec grading accuracy was around 88%. As a result, it could be seen that the blurring effect of the camera captured moving image under the 1/500 sec shutter speed was negligible in grading performance.

The proposed grading scheme required average 0.23 second per mushroom. Theoretical grading capacity was 15,000/hr without considering actuator delay. Considering the actuating device and control response, average 0.6 to 0.7 second was enough for grading and sorting of one mushroom resulting into 5000/hr to 6,000/hr processing capability.

The developed algorithm was implemented to the prototype on-line grading and sorting system. Developed on-line real time grading and sorting system for oak mushrooms was composed of 1 set of computer vision system with lighting chamber, storag hopper, feeding device such as conveyor and vibrating feeder, automatic reversing device, two channel bucket, unloading device, one board controller with optic sensors, and computer. Controller was developed with F-8086 microprocessor.

Lighting chamber was designed for a computer vision system and 4 high frequency(20,000Hz) inverter fluorescent lighting were installed to reduce the shade effect caused by lighting. Large vibrating hopper was installed to store and feed the dried mushrooms. Two vibrating feeders were installed to control the number of mushrooms to be fed and to avoid overlapping and to precisely feed one by one. Specially designed round cross-sectioned plate was mounted on the vibrating feeder. Utilizing the speed variation of feeding between the vibrating feeder and the conveyor, mushrooms could be successfully isolated and fed while maintaining certain distance interval.

To sort graded mushrooms into the designated buckets, pneumatic cylinders and air jet nozzles were installed. The electronic shutter speed controller was mounted to the B/W CCD camera to reduce the blurring effect of the camera captured image caused by the movement of the mushroom.

Contents

목 차

표 목 차

그 림 목 차

제 1 장 서 론

제1절 연구배경

버섯의 소비는 전세계적으로 증가하고 있으며 健康食品으로서의 가치가 높이 인식되고 있다. 특히, 수출가격이 국내 소비가에 비해 상대적으로 높기 때문에, 농가의 소득원이 되는 대표적인 輸出 林産物로서 자리잡고 있으며, 전체 임업 농가소득의 약 10%정도를 차지한다.

최근 들어 생산량 및 수출이 증가하고 있는 표고는 최근 생체로 유통되는 양이 점차로 증가하고 있으나 아직은 많은 양이 건조상태로 유통되고 있다. 주요 수출 대상국으로는 일본, 홍콩, 미국, 싱가포르, 캐나다 등을 들 수 있다. 국내 생산량의 약 75%를 수출하는 표고의 경우 재배산지의 작목반을 중심으로 생산되고 있으나 인건비 상승과 노동력 부족 등으로 생산기반이 점차로 취약해지고 있는 실정이다.

따라서, 가격 및 수출에서의 품질 경쟁력을 유지하기 위해서는 출하되는 버섯의 규격화와 재배, 건조 및 출하공정의 자동화를 통한 생산비 절감이 필요하다. 특히 건표고는 고급품의 경우는 수출 및 판매가 용이하나 저급품은 국내로 대량 수입되는 저가의 중국산 표고로 인하여 판매조차 어려운 실정이다.

해마다 대량의 국내산 표고를 수입하는 일본의 경우는 표고의 출하품질을 결정하는 등급기준을 16등급으로 명시하고 있으나, 우리나라는 정확한 기준이 확립되어 있지 않은 상태에서 대략 기본 5등급의 10개등급 정도로 구분하고 있으며, 그 기준 조차도 애매하여 다분히 판별전문가의 주관에 따라 등급이 선정되어 버섯 수매시 해마다 문제가 제기되고 있다. 또한 수출 업체의 경우 출하하는 버섯의 기준이 일반 수매시의 등급과는 판이하게 다르기 때문에 선별기 제작에 있어서도 기준등급의 선정이 먼저 선행되어야 한다.

자동화를 추진하는데 있어서 문제점은 대개의 농산물이 그렇듯이 개개의 규격이 균일하지 않으며 일반 산업과 비교하여 작업과정이 상대적으로 복잡하고,

작업환경 또한 가변성을 가지고 있으므로 자동화 추진이 어렵다. 농작업의 대부분은 복잡한 작업 환경하에서 주로 작업자의 감각기능에 의존하여 단순 반복적으로 수행된다. 이러한 농작업 중에서 특히 자동화 추진의 관건이 되고 있는 작업자의 시각기능을 대체할 수 있는 기술에 관한 연구는 오래전부터 각 국에서 컴퓨터 영상정보 처리기술의 개발 등을 통하여 활발히 추진해오고 있다. 농업분야에서의 영상정보 처리기술의 연구는 구미와 일본등 선진국을 위시해서 최근 국내에서도 활발히 추진되고 있다. 고부가가치의 농산물생산 및 종자선별, 육종관련 검사와 분석, 병충해 계측 등의 광범위한 분야에서 영상정보 처리기술의 응용연구가 추진되고 있으며 국내에서도 사과, 토마토등 일부 품목에 대한 연구를 수행하였다.

앞에서 언급하였듯이 자동화를 추진하는데 있어서 농산물의 경우는 대상물 정보의 애매모호성 및 가변성 그리고 상이한 분석내용 및 처리목적 등으로 인하여, 기존의 산업용 영상처리 기술만으로는 해결하기 어려운 문제들이 산재되어 있다. 이러한 관점에서, 농산물 선별작업의 생력화를 위한 자동화를 추진하기 위해서는 컨베이어에서 이동하는 물체에 대한 실시간 영상정보 처리기술의 개발이 필요하다. 건표고버섯과 관련한 영상처리 및 자동화된 선별시스템에 관한 연구는 세계적으로는 아직 보고된바 없으며, 국내에서 선별기 개발에 관한 기초연구를 수행한바 있다(이,1995).

그러나 국내에서 개발한 시스템은 실시간 처리를 위한 영상처리 알고리즘의 단순화 및 고기능 선별처리를 위한 시스템 개량 및 보완이 필요하며 자동 계량시스템에 관한 연구가 필요한 것으로 나타났다.

제2절 연구목적

버섯 중에서 乾표고의 경우, 갓의 크기와 갈라진 모양, 표피의 무늬 모양, 주름형태와 균열정도, 육질의 두께와 끝단의 말린 정도, 그리고 표피와 갓 내피의 색깔, 내피의 정렬상태 등 복잡한 外觀에 의해 등급이 구분된다. 이와같이 건표고는 等級判定의 기준이 되는 외관 특징이 다른 농산물과 비교하여 대단히 복잡하므로 외관의 정성적 특징을 자동으로 추출하여 측정하는 기술은 상대적으로

어렵다.

乾표고 생산의 저비용화와 고품질화를 위해서는 건조 상태의 정량적 측정 및 선별 자동화가 선결되어야 한다. 이를 위해서는 표고의 형상 특징을 정량적으로 추출하여 분석하는 기술의 확립과 효율적으로 外觀을 자동으로 檢索하여 등급을 판정하는 On-Line 자동 선별기술이 확립되어야 한다. 그러나, 乾표고와 관련된 등급판정 기술이나 선별장치 개발에 관한 연구는 미미한 실정이다. 본 연구에서는 컴퓨터視覺 기술을 이용하여 건조 표고의 외관 검색 및 선별시스템을 개발함을 목적으로 한다.

본 연구의 목적을 요약하면 다음과 같다.

가. 마이크로 컴퓨터, 흑백 CCD카메라, 영상 Grabber 및 처리보드, 조명 장치 등으로 구성된 컴퓨터시각 시스템을 구축하여 건조표고의 외관검색에 필요한 영상처리 알고리즘 및 기하학적 특징 측정 소프트웨어를 개발한후, 인공지능기법에 의한 영상정보처리 기술을 확립하여 건조표고의 효율적 등급판정방법을 개발한다.

나. 버섯의 공급, 이송, 반전 및 배출장치를 개발하고 온라인 실시간 등급판정에 적합한 기구부와 구동부를 설계 제작한다. 또한 전체 시스템을 총괄 제어하고 공정을 감시할 수 있는 제어기를 개발한다.

다. 무작위로 입력되는 버섯을 일렬로 공급시키고 영상처리에 적합하도록 개별 공급시키는 기구부 장치를 개발하고 등급판정 결과에 따라 다채널 동시 선별이 가능한 선별장치와 구동 알고리즘을 개발한다.

라. 등급이 분류된 버섯을 자동으로 계량하는 시스템을 개발한다.

제 2 장 특징점 추출을 위한 영상처리

제1절 서 론

乾표고에 대한 선별작업은 타 농산물에 비해 선별기준이 되는 요인들이 복잡하고 다양한 이유로 인하여 전문가의 시각 판단에 전적으로 의존하고 있다. 따라서, 표고의 형상특징을 자동으로 추출하고 측정하는 영상처리 기술의 개발은 표고를 포함한 기타 버섯류의 생육 및 재배자동화, 건표고의 경우 건조시스템의 성능평가 및 건조상태의 자동감시 그리고 선별시스템의 개발에 있어서 필수적으로 요구된다. 乾표고가 갖는 외관특징인 갓의 크기와 갈라진 모양, 前面 표피의 색상과 무늬모양, 前面의 주름형태와 균열정도, 육질의 두께와 後面 끝단의 말린 정도, 그리고 後面 내피의 색상과 정렬상태 등의 외관특징을 정량화하고 측정 정밀도 향상을 위해서는 효율적인 영상二値化 알고리즘, 잡음성분 제거 알고리즘, 컴퓨터 視覺시스템 測度設定, 實測畵素길이를 이용한 대상체의 기하학적 정보 산출 등에 관한 체계적인 연구가 필요하다.

국외의 경우는 토마토(Sarkar,1985), 감자(Marc,1994), 사과(Brown,1986, Read ,1986, Rehkugler,1986), 복숭아(Miller,1989) 등 주로 과실류의 수확과 선별자동화, 그리고 콩(Paulsen,1989), 땅콩(Dowell,1992), 옥수수(Paulsen,1989) 벼(Okado,1992) 등의 곡물류 외관검사에 관한 연구들이 주를 이루고 있다.

국내에서 발표된 농업분야의 영상처리 응용연구를 보면, 노 등(1990)은 과실의 幾何學的 특징을 산출하기 위한 측정으로 체인코딩을 이용하였다. 노 등(1991)은 흑백영상처리 시스템을 이용하여 사과의 gray value에 의한 색택판정과 결점검출에 관한 연구를 수행하였다. 이(1991)는 컴퓨터 영상측정시 발생하는 측정오차의 분석 및 보정을 위한 프로그램 및 실측 체인코딩 연산식을 유도하여 측정하는 프로그램을 개발하였다. 노 등(1992)은 흑백영상처리 장치를 이용한 사과 선별기 개발을 위해 이송에 따른 영상의 잔상의 영향을 분석하고 선별장치의 선별성능을 분석하였다. 이 장치는 사과를 크기별로 8등급, 그리고 색택에 의해 4등급으로 선별한다고 보고하고 있다. 이와 노(1992)는 농산물 미립자의 가하학적 특성분석을 위한 영상처리 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행

하였다. 서 등(1992)은 컬러영상처리 시스템을 이용하여 사과의 색상판정에 적합한 색상분석방법에 대한 연구를 수행하였다. 황 등(1992)은 표고의 기하학적인 외형특성 측정에 관한 연구를 수행하였다. 유 등(1993)은 컬러 컴퓨터시각시스템을 구축하여 색상에 의한 가구용 부재판별에 관한 연구를 수행하였다. 서 등(1994)은 현미경을 부착한 영상처리 시스템을 이용하여 농약 분무입자의 크기 및 양을 측정하는 연구를 수행하였다. 조 등(1994)은 컬러 영상처리 시스템을 이용하여 색상측정에 의해 잎담배의 등급판정에 관한 연구를 수행하였다.

제2절 영상처리 시스템

1. 영상처리시스템

CCD 카메라는 Pulnix사의 제품을 사용하였고 렌즈는 Canon사의 8mm 렌즈(f=1.4)를 사용하였다.

화면상의 깜박임현상(flickering)이 없는 상태의 균일조명을 얻기 위해서 20,000 Hz의 고주파 점등 기능을 가진 인버터 형광등 4개를 부착하여 사용하였다. 표고 외관검색을 수행하기 위해서 사용된 흑백 컴퓨터시각시스템의 사양 및 기능블럭도는 표 2-1과 그림 2-1에 나타냈다.

표 2-1 영상처리 시스템의 주요사양

구 성	모 델
컴퓨터	IBM Compatible 486-DX2/66
카메라	Pulnix Co. TM-7CN B/W CCD Camera ,
셔터속도 조절기	Pulnix Co. SC-745
프레임그레버	ITEX Co. PC Vision Plus Frame Grabber
조명	IC Inverter Fluorscent Lamp (40,000 Hz)
필터	PL Filter etc.

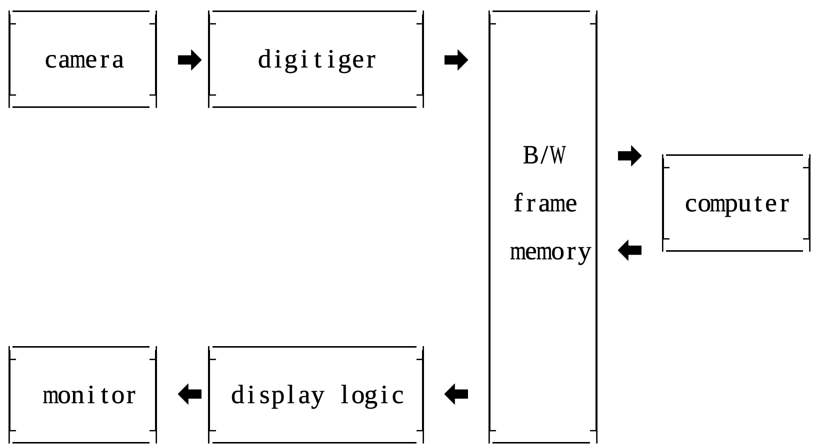
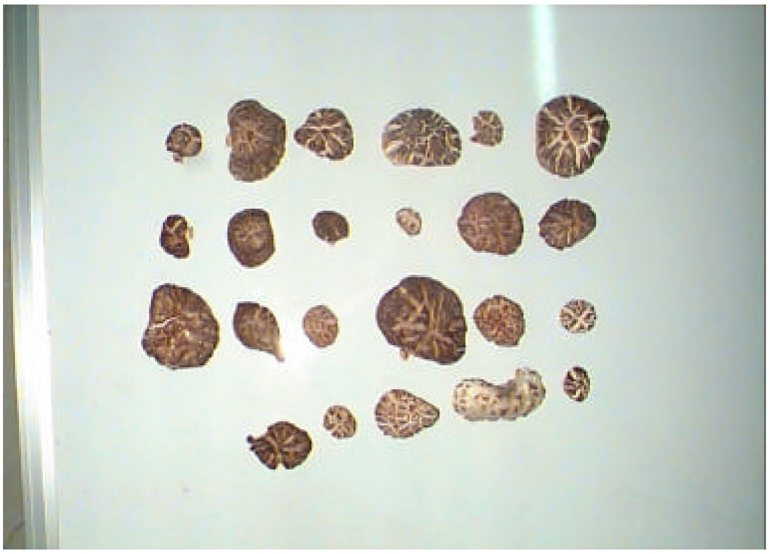


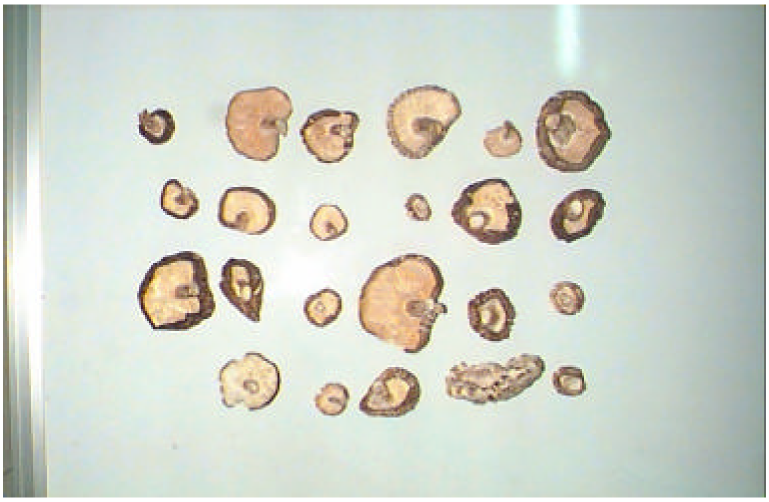
그림 2-1 영상처리 시스템의 기능블럭도.

2. 공시재료

외관검색을 위해 사용된 乾표고는 임업연구원과 경기도 안성 표고 재배농가에서 재배한 건표고를 사용하였다. 또한 샘플 표고의 등급별 분류는 농촌진흥청 농업과학기술연구원의 협조를 받아 수행하였다. 특징점 추출과 등급판정을 위해 사용한 표고의 등급은, 국내의 경우는 5단계로 구분하고 있으나 등급간 분류기준의 명시가 애매하여 등급간 기준을 16등급으로 세분화된 일본의 건표고 출하규격을 참고하였다. 또한 수출업체의 경우 등급을 더욱 세분하여 출하하므로 등급판정의 기준으로는 업체의 기준을 참고하였다. 건표고의 출하기준은 주로 크기, 모양, 색상에 의해 좌우된다. 표고의 전면과 후면은 그림 2-2와 같다.



(a) 전면



(b) 후면

그림 2-2 실험에 사용한 표고의 전후면 형상.

제3절 영상처리 알고리즘

1. 영상이치화

이치영상으로의 변환을 위한 경계값의 선정은 영상처리에 의한 대상물의 외형측정에 가장 중요하다. 경계값 T를 자동으로 선정하는 방법으로는 히스토그램의 모드에 따른 분리도를 이용하는 방법, 단순 영상통계법, 모멘트 보존법, 최대 엔트로피 방법, 윈도우확장법 등이 있다. 대상물체에 따라 히스토그램 분포형태는 차이가 있으나 가장 일반적인 형태는 물체와 배경이 두 영역으로 구분되는 이중모드(bimode)이다. 그밖에 히스토그램의 분포가 한 개의 봉우리를 이루는 단일모드(unimode)와 3개 이상의 봉우리를 갖는 다중모드(multimode)로 구분하게 된다.

건표고의 모양은 전후면에 걸쳐 다양한 특징을 가지므로 전역이치화에 의한 방법으로는 세부 특징을 자세히 측정하기가 어렵다. 윈도우 확장에 의한 이치화는 대상체의 배경부에 해당하는 윈도우의 크기를 조절하여 경계값 T를 추출하는 방법으로서 측정윈도우의 크기가 작을수록 효율적이며 알고리즘이 단순하고 처리속도가 빠른 장점을 가진다.

일반적으로 대상물과 배경의 구분이 명확한 영상에 대한 히스토그램 모드는 이중모드 형태를 갖는데, 이 경우 히스토그램 모드의 분리성을 이용하여 최대깊이를 추출함으로써 영상을 이치화 할수 있다. 대상체와 배경만을 분리하면 경계 내부의 세부적 특징추출은 불가능하다. 표고는 표피무늬 그리고 후면의 내피상태와 색상이 다양하므로 양면의 히스토그램이 이중모드 형태로 국한되지 않는다. 따라서 윈도우 확장에 의한 이치화와 최대깊이 추출에 의한 영상이치화를 혼합한 형태로서 표고의 세부특징을 효율적으로 추출할수 있다(이,1995).

가. 윈도우 확장법

윈도우 확장에 의한 이치화는 측정윈도우를 확장하여 확장 전후의 히스토그램의 화소수 변화를 비교하는 방법이다. 두개의 히스토그램은 어느 밝기를 기준으로 모드의 변화가 생기게 되며 노이즈를 감안하여 적절한 경계값을 설정하

여 이를 초과하는 화소밝기를 이치화를 기준값 T로 설정하게 된다. 확장전의 히스토그램의 높이(화소의 갯수)를 나타내는 식을 $y_s(x_g)$라 하고 확장된 히스토그램을 $y_l(x_g)$라 하면 이치화 기준값 T는 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$\text{경계값} = \max(y_l(x_g) - y_s(x_g)) \quad , \quad 0 \leq g \leq 255$$

그림 2-3은 윈도우확장법에 의한 이치화를 나타낸다.

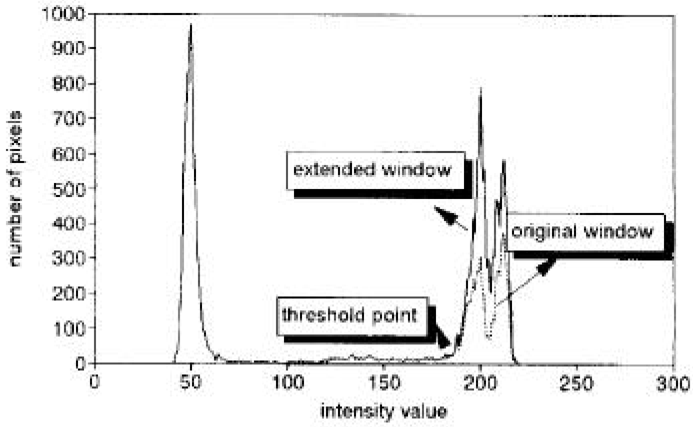


그림 2-3 윈도우 확장에 의한 경계값 산출.

윈도우 확장법은 대상체의 배경영역을 설정하는 윈도우의 범위를 변화시켜 경계값을 추출하는 것으로 측정 윈도우의 크기가 작을수록 효율적이며, 알고리즘이 단순하고 처리속도가 빠르다. 이 방법은 단순히 대상체와 배경만을 효과적으로 분리시켜 줄뿐 대상체 경계내부의 세부적 특징추출은 불가능하며 조명이 항상 일정하게 유지되어야 한다는 것이 전제조건이다. 조명상태가 수시로 바뀌게 되면 노이즈에 의한 영향으로 경계값을 제대로 찾을수 없게 된다.

나. P-tile 방법

이 방법은 배경이 밝고 어두운 대상일 때 적용하는 방법이다. 대상영역이 차지하는 비율을 가정하고 경계값을 산출한다. 즉, 이치화된 영상에서 대상이

차지하는 영역이 최소한 (100- P)%를 포함하는 가장 높은 다치영상으로 정의한다. 따라서 전체에서 P%를 포함하는 대상체의 이치화 경계값은 전체의 화소수에서 최소한 P%를 허용하는 가장 큰 화소값으로 구할수 있디

다. 최대 깊이 탐색법

최대깊이탐색법(maximum depth searching thresholding)은 이중모드의 히스토그램을 가진 물체와 배경을 분리하기 위한 방법으로 히스토그램에서 y축에 해당하는 화소수를 계산하여 이 값의 변화를 부호화하여 최대가 되는 두개의 변곡점을 구하는 방법이다.   여기서 변곡점은 최대 높이를 갖는 두 개의 정상점(peak point)을 나타내며 이것을 가지고 두점 y_{1n} 과 y_{2n}을 연결하는 직선식을구할수 있다. 이치화 기준값 T는 y_{1n} 과 y_{2n}에 대응하는 x_{1g}에서 x_{2g}까지의 구간에서 이때의 화소밝기인 Gray값을 나타내는 x_g에 대해서, $y_n(x_g)$과 실제 히스토그램의 분포를 나타내는 $y_h(x_g)$ 사이에서 최대편차를 나타내는 x_g를 구하여 결정하게 된다.   직선식 $y_n(x_g)$의 기울기 a와 절편 b는 다음과 같이 구한다.

$$a = \frac{y_{2n} - y_{1n}}{x_{2g} - x_{1g}}$$

$$b = \frac{x_{2g} \cdot y_{1n} - x_{1g} \cdot y_{2n}}{x_{2g} - x_{1g}}$$

따라서 두 정상점을 연결하는 직선식 $y_n(x_g)$은 다음과 같이 쓸수 있다.

$$y_n(x_g) = a \cdot x_g + b$$

이치화 경계값 T는 직선식 $y_n(x_g)$과 실제 히스토그램의 $y_h(x_g)$의 최대편차를 나타내는 화소밝기 x_g를 기준으로 정하게 되며 x_g는 최대깊이 탐색에 의한 이치화 경계값을 나타낸다.

경계값 = $\max(y_n(x_g) - y_h(x_g))$

그림 2-4는 정점사이의 직선식과 수선을 도시한 최대깊이탐색법을 보여준다.

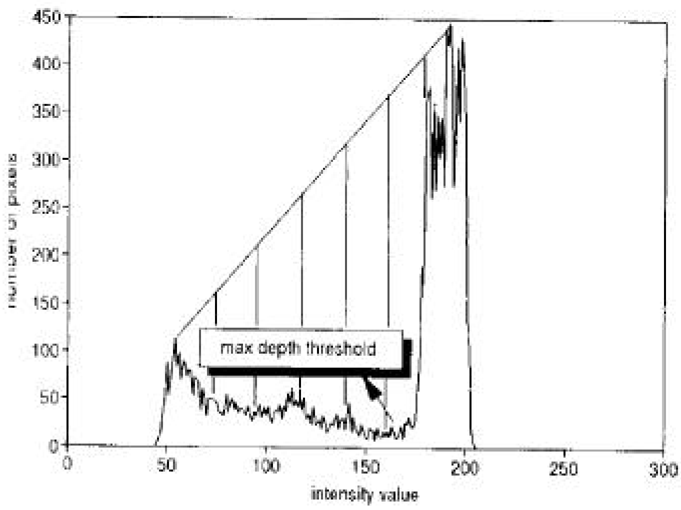


그림 2-4 최대깊이 탐색에 의한 경계값.

라. 혼합형이치화

대상물과 배경을 분리하는 방법으로 앞의 두가지 알고리즘은 효과적으로 적용이 가능하다. 그러나, 히스토그램의 형태가 이중모드가 아니고 3개 이상의 밝기분포를 가지고 있는 다중모드를 나타낼때의 이치화를 수행하기 위해서는 알고리즘의 보완이 필요하다. 앞서 설명하였듯이 표고의 형태와 색상은 다양하므로 전후면 영상에 대한 히스토그램의 분포가 이중모드 형태로 국한되지 않는다.

혼합형이치화(Combined Type Thresholding) 알고리즘은, 먼저 윈도우확장법에 의해 배경과 경계를 이루는 이치화 경계값 Tw를 구한 후 히스토그램 영역에서 배경부를 제외한 영역에 대해서만 앞에서 설명한 최대깊이 탐색법에 의해 경계값 Td 를 산출하여 입력영상을 이치화하는 방법이다. 한편 대상체가 단일모드를 갖는 경우는 배경과 경계를 이루는 밝기값 Tw와 단일모드의 최고점을 연결하는 직선을 가지고 최대깊이점 Td를 구하였다.

히스토그램의 분포차는 영상잡음 제거효과를 고려하여 3개의 Gray level에

대한 화소분포를 최대깊이 경계값 Td 의 추출은 3개의 Gray level에 대한 화소분포 평균값들에 대한 기울기 변화를 추적하여 두개의 국부적 최대치를 구한 후에 그 사이를 연결하는 직선과 영상의 히스토그램 밝기값과의 최대거리 차로서 구하였다. 그림 2-5는 윈도우 확장후 3개의 gray level에 대한 화소분포 평균값을 이용하여 혼합형 자동이치화 알고리즘을 적용한 결과를 그래프로 나타내었다.

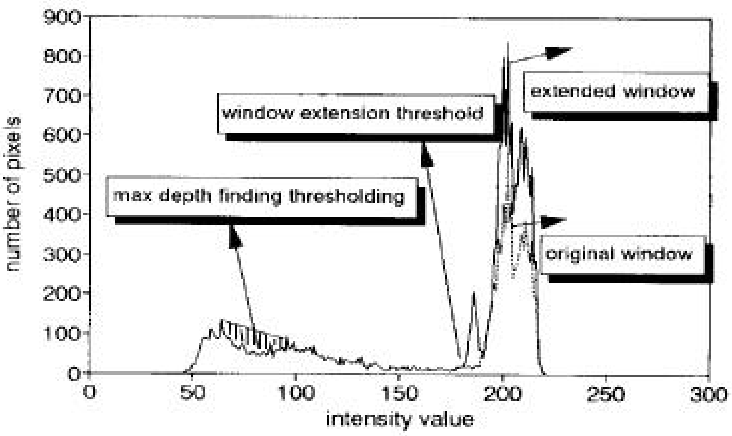


그림 2-5 혼합형 이치화에 의한 경계값.

라. 버섯 등급별 이치화영상

혼합형이치화 방법을 이용한 화고, 구름화고, 동고, 향고, 향신에 대한 전후면 입력영상에 대한 히스토그램 분포를 구한결과, 화고의 경우 좌측은 버섯을 우측은 배경부를 나타내는데 우측의 히스토그램 분포가 밝기 50에서 150까지에 이르는 넓은 범위에 걸쳐 고르게 분포하는 것을 알수 있다. 이는 화고가 전면 표피 무늬와 무늬사이의 갈라진 틈새의 비율이 고르게 분포함을 나타낸다.

화고를 제외한 나머지 등급의 버섯은 전면영상에서 버섯부와 배경부가 확연하게 구분되는 형태로 히스토그램이 분포하였다. 그리고 구름화고, 동고의 후면영상의 히스토그램을 보면 3개의 모드로 분리되는 것이 뚜렷하게 나타나는데, 여기서 왼쪽에서 첫번째 히스토그램의 정점은 후면의 말린부위를 두번째 정점

은 말린부위를 제외한 내피부위를 나타내며 말린부위의 밝기가 내피부위에 비해 상대적으로 어둡게 나타남을 나타내고 있다. 특히 향신은 후면의 말린 부위가 내피에 비해 아주 작게 분포함을 보여준다.

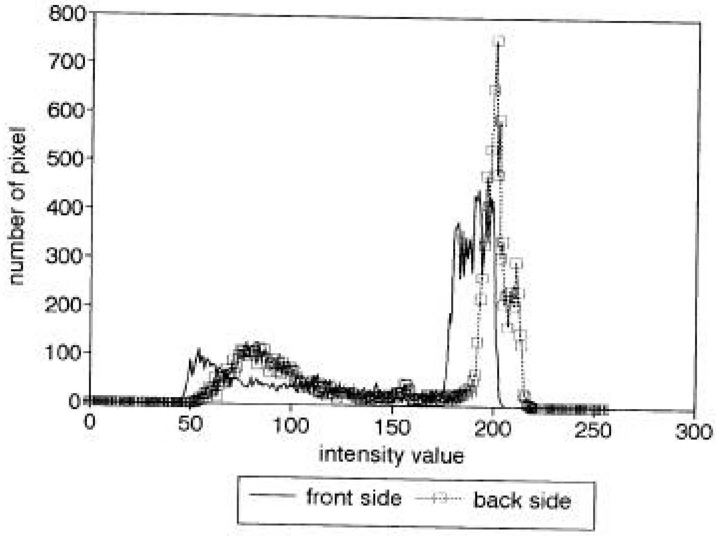


그림 2-6 전형적인 화고의 히스토그램.

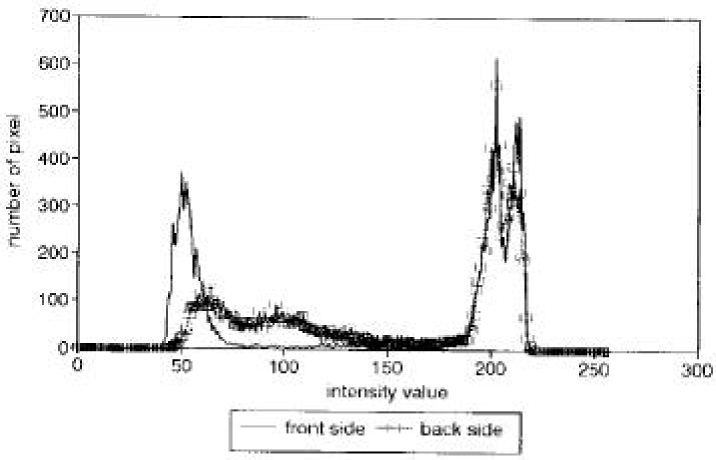


그림 2-7 전형적인 흑화고의 히스토그램.

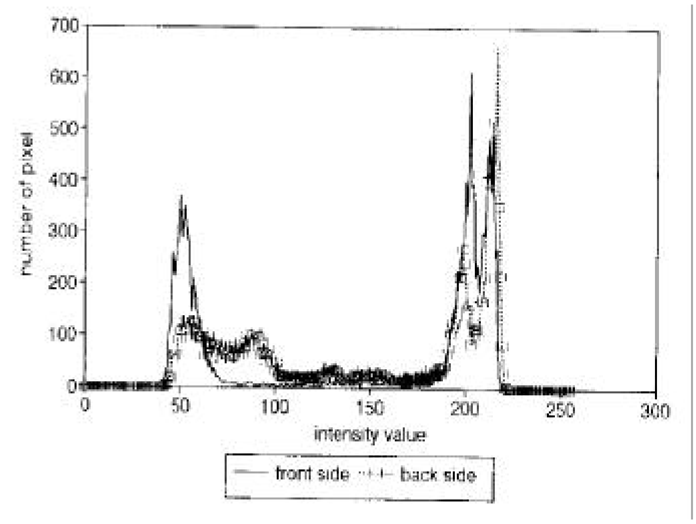


그림 2-8 **전형적인 동고의 히스토그램.**

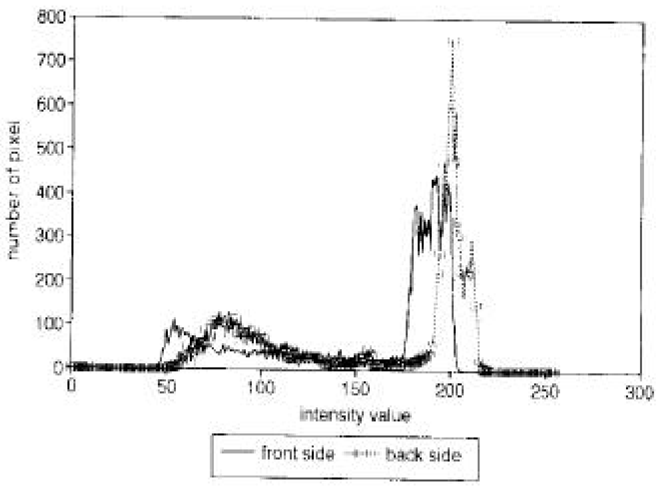


그림 2-9 **전형적인 향고의 히스토그램.**

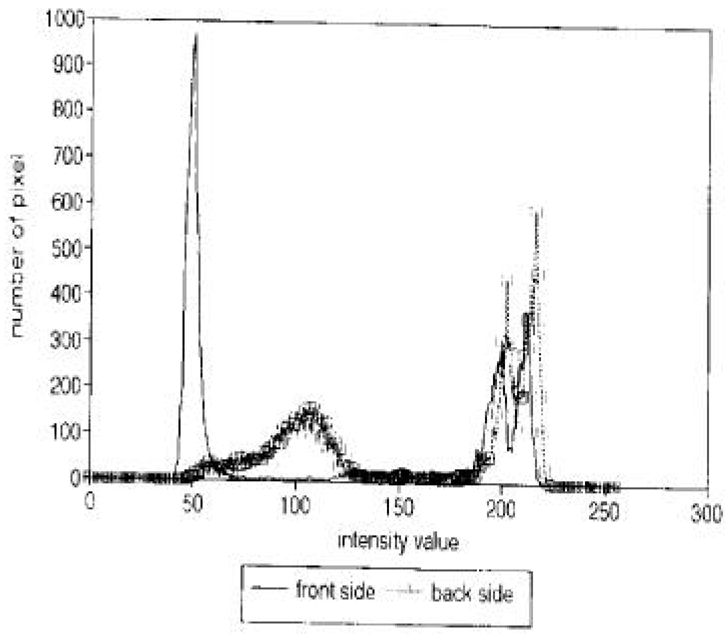
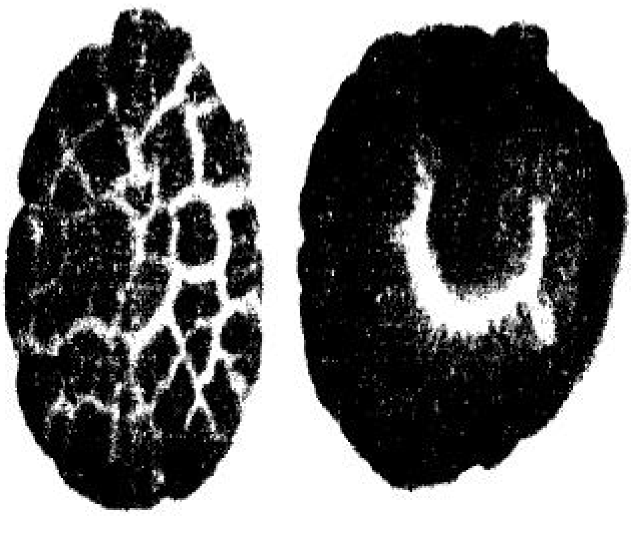
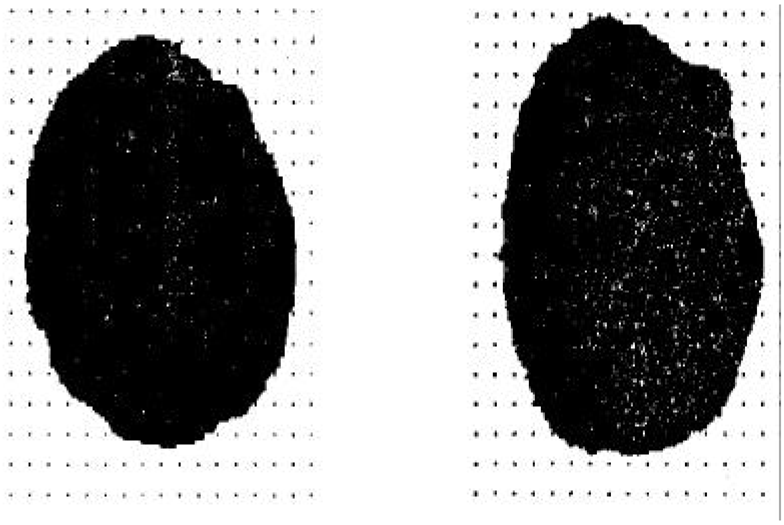


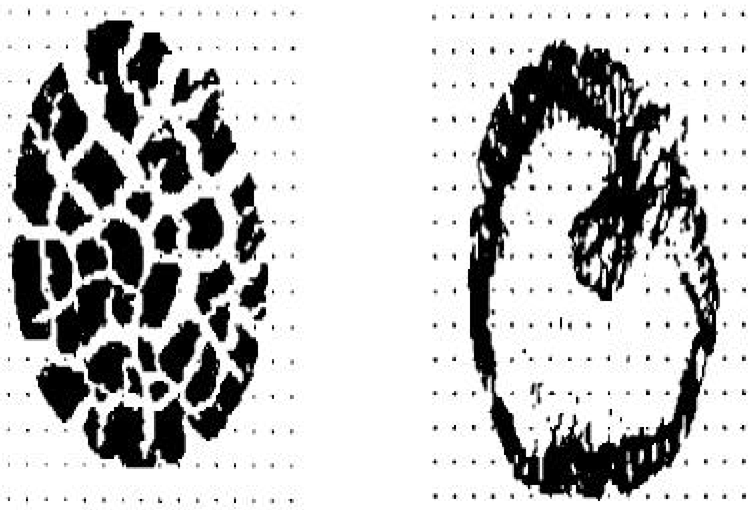
그림 2- 10 **전형적인 향신의 히스토그램**.



(a) **카메라 입력영상**



(b) 윈도우 확장에 의한 이치화



(c) 혼합형 이치화

그림 2-11 카메라 입력영상과 이치화 알고리즘 수행결과.

2. 영상완화

영상의 잡음성분은 체인코딩과 같은 탐색 알고리즘의 적용시 프로세싱의 장애를 일으키며 측정정밀도를 저하시키므로 제거 할 필요가 있다. 잡음은 불균일한 조명으로 인해 측정대상체의 경계부가 불규칙하게 나타나는 경우와 이물질에 의해 생기는 고립점이 대표적인 유형이다. 그 외에도 구멍, 모서리부의 훼실 등이 있다. 잡음성분의 제거를 위한 영상완화 알고리즘은 3×3 마스크를 설정한 후 논리연산식을 이용하여 제거하였다. 그림 2-12는 영상완화 마스크를 나타내며, 여기서 1은 물체를 0은 배경을 의미하고 있다.

각각의 잡음에 대한 논리연산식은 표 2-2에 나타냈다. 논리연산식 M은 참(true)이 되면 기준화소 ⓟ의 값은 1로 변환되어 화소를 보충하며 거짓(false)으로 판명되면 0이 되어 기준 화소는 제거된다.

표 2-2 각 잡음 형태에 따른 논리연산자

<table>
<tr><th>노이즈 형태</th><th>논리연산자 M</th></tr>
<tr><td>Hole & Notch</td><td>ⓟ||ⓑ&&ⓖ&&{ⓓ||ⓔ}||ⓓ&&ⓔ&&{ⓑ||ⓖ}</td></tr>
<tr><td>Isolated point & Bump</td><td>ⓟ&&{(ⓐ||ⓑ||ⓓ)&&(ⓔ||ⓖ||ⓗ)&&(ⓑ||ⓒ||ⓓ)&&
(ⓓ||ⓕ||ⓖ)}</td></tr>
<tr><td>Uper right corner</td><td>!{ⓟ} &&{ⓓ&&ⓕ&&ⓖ}&& !{ⓐ||ⓑ||ⓒ||ⓔ||ⓗ}||ⓟ</td></tr>
<tr><td>Upper left corner</td><td>!{ⓟ} &&{ⓔ&&ⓖ&&ⓗ}&& !{ⓐ||ⓑ||ⓒ||ⓓ||ⓕ}||ⓟ</td></tr>
<tr><td>Lower right corner</td><td>!{ⓟ} &&{ⓐ&&ⓑ&&ⓓ}&& !{ⓒ||ⓔ||ⓕ||ⓖ||ⓗ}||ⓟ</td></tr>
<tr><td>Lower left corner</td><td>!{ⓟ}&&{ⓑ&&ⓒ&&ⓔ}&& !{ⓐ||ⓓ||ⓕ||ⓖ||ⓗ}||ⓟ</td></tr>
</table>

ⓐ ⓑ ⓒ
↖ ↑ ↗
ⓓ ← ⓟ → ⓔ
↙ ↓ ↘
ⓕ ⓖ ⓗ

(a) 3×3 탐색 마스크

① ① ① ↖ ↑ ↗ ① ← ⓞ → ① ↙ ↓ ↘ ① ① ①	ⓞ ⓞ ⓞ ↖ ↑ ↗ ① ← ⓞ → ① ↙ ↓ ↘ ① ① ①	ⓞ ⓞ ⓞ ↖ ↑ ↗ ⓞ ← ① → ⓞ ↙ ↓ ↘ ⓞ ⓞ ⓞ	ⓞ ⓞ ⓞ ↖ ↑ ↗ ⓞ ← ① → ⓞ ↙ ↓ ↘ ① ① ①
(b) hole	(c) notch	(d) isolated point	(e) bump
ⓞ ⓞ ⓞ ↖ ↑ ↗ ⓞ ← ⓞ → ① ↙ ↓ ↘ ⓞ ① ①	ⓞ ⓞ ⓞ ↖ ↑ ↗ ① ← ⓞ → ⓞ ↙ ↓ ↘ ① ① ⓞ	① ① ⓞ ↖ ↑ ↗ ① ← ⓞ → ⓞ ↙ ↓ ↘ ⓞ ⓞ ⓞ	ⓞ ① ① ↖ ↑ ↗ ⓞ ← ⓞ → ① ↙ ↓ ↘ ⓞ ⓞ ⓞ
(f) lower-right	(g) lower-left	(h) upper-left	(i) upper-right

그림 2-12 3x3 탐색 마스크와 잡음 형태.

3. 영상의 크기 및 밝기의 측도설정(Calibration)

가. 화소크기 측도설정

화소크기의 측정은 대상체의 크기, 위치, 조명상태 등에 따라 달라진다. 화소크기의 측도설정은 입력영상을 이치영상으로 변환하여 이미 길이를 알고 있는 샘플의 가로 및 세로의 화소수를 컴퓨터에 의해 카운팅하여 구한다. 측정오차를 줄이기 위해 모눈종이의 특정 그리드선에 영상샘플을 정확히 중앙선에 일치시켰다. 이치화 경계값에 따른 단위화소의 크기를 나타내는 CX(수평방향)와 CY(수직방향)는 샘플의 실제길이를 앞에서 측정한 평균화소수로 나누어서 구하게 된다.

$$CX = \frac{\text{샘플의 수평길이}(X)}{\text{화소 갯수}}$$

$$CY = \frac{\text{샘플의 수직길이}(Y)}{\text{화소 갯수}}$$

나. 측정거리와 화소크기 변화의 상관관계

카메라의 종횡비(aspect ratio)는 카메라와 측정 대상물체의 사이의 거리변화와 무관하게 일정한 값을 갖는다. 이와 같은 특성을 이용하여 카메라의 측정거리에 따른 화소크기 변화를 정량적으로 분석하여 회귀식을 산출하게 되면 화소크기의 측도설정을 한번만 수행해도 측정거리에 따라 크기를 보정할 수가 있게 된다. 이 경우 거리에 따른 렌즈의 비선형적인 왜곡모델의 규명이 필요하다.

다. 화소밝기 측도설정

동일 샘플이라도 주위조명의 변화에 따라 측정오차가 발생하며 조명은 미소하게 변화하지만 비선형적으로 변화하기 때문에 단순한 식으로 모델링되지 않는다. 일반적으로 획득된 영상 F는 조명성분 I와 반사성분 R로 나타낼 수가 있다.

$$F(x, y) = I(x, y) \cdot R(x, y)$$

$$= K \cdot R(x, y)$$

여기서, x, y는 영상좌표를 나타내며 K는 조명변화에 따라 선형화된 보정계수를 나타낸다. 위와 같이 조명의 변화를 선형적으로 가정하여 광원의 변화에 따른 화소밝기의 보정을 수행할수 있다. 여기서 보정계수 K는 측정에 앞서 측정윈도우의 임의 영역을 설정한 후, 표준이 되는 흰색 아트지를 놓고 화소밝기의 평균값을 구한 후 최대 밝기인 255로 나누어 산출하였다.

$$K = \frac{\text{평균 화소밝기}}{255}$$

4. 카메라 입력영상 분석

카메라는 영상을 입력받는 센서로, 렌즈의 특성에 의한 입력영상의 歪曲현상이 일어난다. 컴퓨터 영상처리를 수행하기에 앞서 입력영상의 오차분포의 분석를 통해 오차가 적은 영역을 측정윈도우로 설정하게 되면 측정정밀도의 향상과 측정오차 보정 데이터로의 활용이 가능하다.

5. 체인코딩에 의한 기하학적 영상정보 산출

체인코딩은 3×3 마스크를 설정한 후 래스터스캔을 통해 X,Y 좌표값, 둘레, 면적, 도심, 원형도, 복잡도 등의 기하학적 영상정보를 산출한다. 여기서 구한 정보에 화소의 크기를 입력하면 실측정보를 구할수 있다. 8방향 체인코딩에 의해 화소의 가로,세로 및 대각선 요소의 갯수를 나타내는 N_x, N_y, N_d와 실측길이를 나타내는 CX, CY, CD를 곱한 전체합을 가지고 둘레를 계산할 수 있다.

$$Perimeter = ((N_x \times CX) + (N_y \times CY) + (N_d \times CD)) \times CV$$

여기서 CV는 카메라의 높이에 따른 보정계수를 나타낸다.

면적은 영상좌표에서 Y=0 또는 X=0을 기준으로 체인코딩을 통해 구한 경계부 화소가 갖는 8개의 체인벡터 좌표를 가지고 구해진다.

$$AREA = \sum area_1 + \sum area_2 + \cdot\cdot\cdot + \sum area_8$$

측정대상의 중심위치인 도심(centroid)을 구하기 위해서는 기준점에 대한 단면 1차 모멘트를 이용하며 다음 식으로 표시된다.

$$M_x = \int_0^y y\ dA \qquad M_y = \int_0^x x\ dA$$

체인코딩이 종료되면 면적과 모멘트를 이용하여 측정대상의 중심위치인 도심점을 산출할 수가 있으며 도심 X_c, Y_c는 다음과 같이 구한다.

$$X_c = \frac{M_y}{Area} \quad , \quad Y_c = \frac{M_x}{Area}$$

④ ③ ②
↖ ↑ ↗
⑤ ← ⓟ → ①
↙ ↓ ↘
⑥ ⑦ ⑧

< 8 **근방화소** >

ⓔ ← ● ← ● ↑ ① → ⊙ ● ↙ ↑ ⓢ → ● → ● < **최초 탐색** >	ⓔ ← ● ← ● ↑ ① → ⊙ ● ↘ ↑ ○ ○ ⓢ <**벡터** : 1>	● ← ● ← ● ↓ ↑ ⓔ ⊙ ● ↗ ↘ ↑ ② ○ ⓢ <**벡터** : 2>
● ← ● ← ⓢ ↓ ↗ ● ⊙ ○ ↓ ↑ ⓔ ③ ○ <**벡터** : 3>	● ← ● ← ⓢ ↓ ↗ ● ⊙ ○ ↓ ↖ ● → ⓔ ④ <**벡터** : 4>	ⓢ ○ ○ ↓ ↖ ● ⊙ ← ⑤ ↓ ● → ● → ⓔ <**벡터** : 5>
ⓢ ○ ⑥ ↓ ↖ ↙ ● ⊙ ⓔ ↓ ↑ ● → ● → ● <**벡터** : 6>	○ ⑦ ⓔ ↓ ↑ ○ ⊙ ● ↙ ↑ ⓢ → ● → ● <**벡터** : 7>	⑧ ⓔ ← ● ↘ ↑ ○ ⊙ ● ↙ ↑ ⓢ → ● → ● <**벡터** : 8>

ⓢ : **탐색 시작**, ⓔ : **탐색 종료**, ⊙ : **기준화소**, ① ⑧ : **근방화소**

그림 2-13 **체인 탐색방법**.

체인코딩을 수행하기 위해서는 탐색대상의 연결성이 필요하다. **다치영상** (gray image)**을 이치화하는 과정에서 잡음 등의 영향으로 화소사이의 연결성이**

결여되는 문제를 해결하기 위해서 8방향 체인탐색에 사용되는 3×3 마스크를 그림 2-7과 같이 5×5, 7×7 그리고 9×9 마스크로 확장하여 탐색의 효율성을 유지하면서 화소단절 문제를 해결할 수 있다. 그러나 탐색영역의 확대는 컴퓨터 연산을 지연시키는 요인이 된다.

6. 특징점 추출

체인코딩에 의해 산출된 정보를 이용하면 대상체의 기하학적인 특징을 대표하는 특징점을 추출할 수 있다. 특징점은 대상체의 모양이나 크기 등을 함축적으로 내포하고 있는 중요한 요소이며 처리시간의 단축과 측정대상의 기하학적인 외형을 나타낼때 사용할 수 있다.

가. 위치정보에 의한 분류

$$Center_x = \frac{Xmax - Xmin}{2}$$

$$Center_y = \frac{Ymax - Ymin}{2}$$

나. 크기 정보에 의한 분류

$$Box\ area = (Xmax - Xmin) \cdot (Ymax - Ymin)$$

$$Box\ perimeter = 2 \cdot ((Xmax - Xmin) + (Ymax - Ymin))$$

다. 모양정보에 의한 분류

$$Box\ width = Xmax - Xmin$$

$$Box\ height = Ymax - Ymin$$

$$Width/Height\ ratio = \frac{box\ width}{box\ height}$$

$$\text{Perimeter ratio} = \frac{\text{perimeter}}{\text{box perimeter}}$$

$$\text{Area ratio} = \frac{\text{area}}{\text{box area}}$$

$$\text{Axis ratio} = \frac{\text{length of major axis}}{\text{length of minor axis}}$$

$$\text{Complex ratio} = \frac{\text{perimeter}^2}{\text{area}}$$

$$\text{Roundness} = \frac{4 \cdot \pi \cdot \text{area}}{\text{perimeter}^2}$$

제4절 버섯 외관특징 추출 알고리즘

1. 버섯 갓의 크기

건표고의 형상특징 중에서 갓의 크기는 전후면에 상관 없이 추출이 가능하다. 그러나 보통 건표고의 경우 꼭지부(stem)가 옆으로 삐져 나오는 경우가 생긴다. 비슷한 크기라도 카메라에 의해 포착되어 모니터에 나타난 표고의 계산된 크기가 이런 연유로 차이가 나게 되므로 꼭지부분의 제거가 필요하다. 따라서 버섯의 크기는 꼭지부를 제외한 나머지 부분의 영역만을 측정해야만 한다.

버섯의 꼭지부는 일정한 모양을 하고 있지 않으며 내피의 중심으로부터 바깥으로 돌출된 크기와 형태가 수확시 꼭지부의 절단상태 및 건조과정 중의 변형에 따라 다양한 외형 특성을 가지게 된다. 표고 갓에 대한 영상정보 추출시 꼭지와 버섯 갓의 분할이 요구된다. 특히 갓의 크기와 무늬형상, 갓 내피의 상태 및 말린 모양 등의 특징을 추출하여 형상을 인식할 때 꼭지부가 갓의 일부로 오인되는 것을 방지하여야 한다.

농산물의 꼭지 및 돌출부 위치를 효율적으로 검색하는 방법은 선별시스템 개발에 있어서 중요하다. 본 연구에서 수행한 꼭지부 위치판정 및 제거는 윈도우 확장법에 의한 자동 영상이치화를 통해 이진영상으로 변환한 영상에 대해 체인코딩을 수행하여 얻은 도심점 좌표를 가지고 수행하였다. 꼭지부 제거 알고리즘은 꼭지부가 갓 바깥으로 돌출하였는지의 여부를 확인하는 과정과 돌출 꼭지부의 위치가 판정된 후 이를 제거하는 과정으로 나뉜다.

먼저 꼭지부로 예측되는 최대반경을 찾기 위해 도심점을 중심으로 둘레를 구성하는 경계부 영상 좌표를 등간격(60)으로 나누어 최대가 되는 좌표를 탐색하도록 하였다. 그러나 최대치를 갖더라도 버섯의 형상이 한 방향으로 왜곡된 경우에는 버섯의 일부를 꼭지부분으로 잘못 인식하는 경우가 생기므로 이 경우를 고려한 조건식을 설정해 주어야 한다.

1차적 조건으로 최대치 반경과 그 반대 방향의 반경과의 차가 반대방향의 반경길이의 1/7을 초과할 경우에만 꼭지를 제거하도록 설정하였다. 이 경우 버섯

형상은 대부분이 타원형을 이루므로 약간의 변형에도 제거루틴을 거치도록 하는 기준이 된다. 여기서 비율인자는 반복실험에 의하여 결정하였다. 반대의 경우에는 꼭지부를 제거하지 않고 다음 루틴을 실행 하도록 하였다.

1차 조건에 의해 꼭지제거 루틴이 수행된 후 제거할 범위와 1차로 결정된 부분이 꼭지부 인지를 판정하기 위한 2차 검색루틴을 설정하였다. 체인코딩에 의해 저장된 경계부를 이루는 전체 화소의 10%에 해당되는 화소 만큼씩을 일정 간격으로 스캔하도록 하여 각 구간의 시작점과 끝점의 직선 거리와 실제 화소수를 비교하여 굴곡이 가장 심한 변곡점을 산출하도록 하였다. 이 변곡점은 실험결과 대체로 앞에서 구한 최대 반경을 나타내는 반경방향과 일치함을 보여주었다.

대개 꼭지부의 경우 버섯의 갓부분과는 달리 심하게 곡률이 형성됨을 알수 있는데 앞에서 구한 변곡점을 기준으로 하여 도심점과의 반경거리와 변곡점에서 전후방향으로 전체 화소의 10%에 해당하는 구간의 50%씩 양방향으로 이동하게 한후, 두점의 직선거리와의 비가 작게 나타날수록 꼭지부에 해당하므로 실험에 의해 결정된 적정비율을 가지고 꼭지부인지 아닌지의 판정을 내리도록 하였다. 그리고 제거할 꼭지부의 범위는 앞에서 구한 변곡점을 기준으로한 50%에 해당하는 양방향 두 점에서 화소를 증가시켜 가면서 증가된 두점 사이의 직선길이 l_{i+1}과 이전위치에서의 직선길이 l_i를 비교하여 변화율이 갑자기 증가하는 부분에서 제거하도록 하였다. 또한 제거될 두점의 도심에 대한 각 길이는 평균반경 이내에 들도록 설정하였다.

기하학적 특징을 기초로한 꼭지부 제거 알고리즘의 상수값은 반복실험에 의해 설정한 추론적인 데이타를 사용하였다. 앞에서 설명한 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

① 만약 도심을 기준으로 경계에 이르는 최대반경으로부터 최대반경과 반대방향의 반경을 뺀 값이 반대방향 반경의 1/7 보다 크면 단계 2 를 수행한다. 여기서, 최대반경은 경계를 이루는 화소들을 60개 영역으로 나누어 얻은 반경 중에서 최대가 되는 반경을 산출한 것이다.

② 경계부의 돌출정도를 탐색하는 구간은 경계를 구성하는 총 화소를 5

등분하여 설정한다. 탐색은 10개 화소씩 이동하면서 최대 돌출부를 갖는 부분을 탐색한다.

③ 단계 2에서 찾은 최대돌출 구간의 중간화소를 중심으로 하여 3개 화소를 증가시키고 3개 화소를 감소시켜 얻는 두 화소를 잇는 선분의 길이 l_o를 초기 기준길이로 하여 도심과 l_o의 중앙점 사이의 거리가 평균반경의 1.6배 보다 클 경우 꼭지부의 제거범위를 결정하고 그렇지 않으면 꼭지부 제거를 하지 않는다.

< <u>제거범위의 결정</u> >

초기 l_o를 이루는 양단의 화소로부터 다시 3개 화소를 양방향으로 증감시켜 얻는 선분의 길이 l_i을 구해 비교하며 순차적으로 l_i와 l_{i+1}을 비교하여 꼭지부의 제거범위를 결정한다.

l_{i+1}이 l_i보다 1.5배 이상이 되고 또한 도심과 의 중앙점 사이 의 거리 l_{i+1}가 평균반경 보다 작은 경우에는 l_i를 이루는 양단의 경계화소를 제거범위로 결정한다.

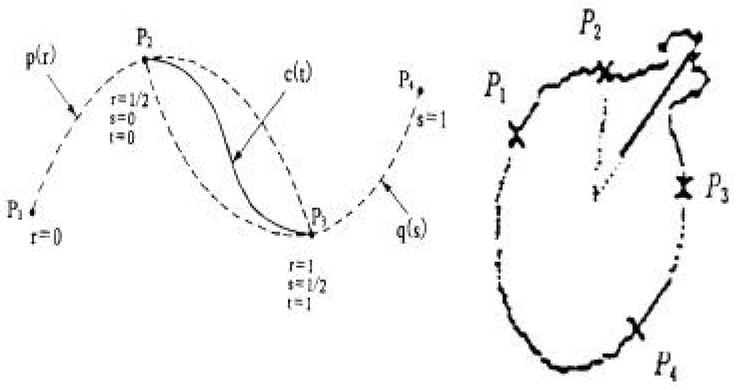
④ 단계 3에서 꼭지부 제거범위가 결정되면 최종적으로 꼭지제거 루틴을 수행한다. 제거범위로 설정된 l_k의 시작과 끝 화소를 각각 P_2와 P_3라 하면 꼭지부의 제거에 따른 갓 경계부의 재생을 위해 단계 5의 곡선생성(curve generation) 루틴에 필요한 P_1과 P_4 화소를 아래와 같이 설정한다. P_1 P_4는 그림 2-14에 도시하였다.

$$P_1 = P_2 - INT$$

$$P_4 = P_3 + INT$$

여기서, INT는 설정된 탐색구간의 1/4에 해당하는 화소수이다.

⑤ P_1, P_2, P_3 그리고 P_4 네개의 점을 가지고 곡선 생성 알고리즘인 Overhauser 루틴을 수행하여 갓의 새로운 경계부를 재생한다.



(a) Overhauser 곡선　　　　(b) 꼭지부 위치 탐색 결과

그림 2-14 꼭지부 제거부위 곡선 재생성.

꼭지부가 제거되는 부분의 새로운 경계생성은 버섯 형상이 타원 형상임을 고려하여 곡률 생성 알고리즘인 Overhauser 방법을 이용하여 근사적으로 3차 곡선을 생성하게 하였다. 생성되는 경계선의 곡률을 결정하는 양단 경계점 P_2, P_3의 전후 화소 좌표점 P_1, P_4는 양단 경계점에서 전후로 일정한 영역만큼 이동시켜 설정하였다.

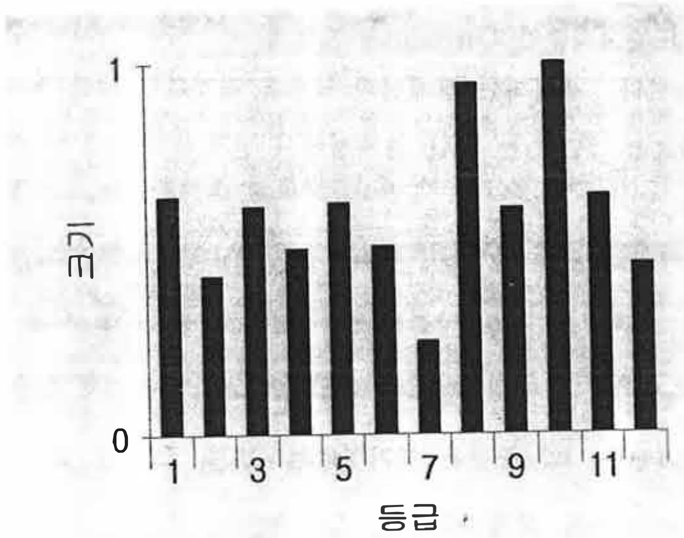
Overhauser 곡선은 그림 2-14의 화소점 P_1, P_2, P_3, P_4를 이용하여 P_1과 P_2 사이 그리고 P_3와 P_4 사이 구간을 2차곡선으로 정의하고 이들 곡선을 융합하여 P_2와 P_3사이의 영역에 대하여 매개변수 t에 대한 3차 곡선을 산출하도록 하였다. 매개변수 t의 증분은 제거영역인 P_2와 P_3간의 X, Y 방향 화소차의 합으로 나눈 값으로 설정하였다. Overhauser 곡선을 생성하는 행렬식 C(t)는 다음과 같으며 매개변수 t는 0과 1 사이의 범위를 갖는다.

$$C(t) = [\, t^3 \ t^2 \ t \ 1] \cdot \begin{bmatrix} -1/2 & 3/2 & -3/2 & 1/2 \\ 1 & -5/2 & 2 & -1/2 \\ -1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}$$

갓의 크기는 꼭지부 제거 알고리즘에 의해 제거과정을 거친 후 체인코딩에 의해 산출된 면적으로 나타냈으며, 표고 12등급에 대해 각 10개의 샘플을 측정하였다. 여기서, 크기는 향신 대가 가장 크게 나타났으며, 표 2-3에 향신 대의 크기를 기준으로 나머지 크기를 상대적으로 나타냈다.

표 2-3 꼭지부 제거후의 버섯 크기

	12 등급 표고											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
크기	0.642	0.428	0.615	0.500	0.623	0.507	0.250	0.944	0.608	**1.00**	0.641	0.457



(1: 화고 대, 2:화고 소, 3:흑화고 대, 4:흑화고 소, 5:동고 대, 6:동고 중, 7:동고 소, 8:향고 대, 9:향고 소, 10:향신 대, 11:향신 소, 12:격외)

꼭지부 위치를 판정한 출력 결과는 그림 2-15에 나타냈으며 꼭지부 제거후의 경계부 복원 알고리즘을 수행하여 경계부가 재생된 상태를 그래픽으로 출력하였다.

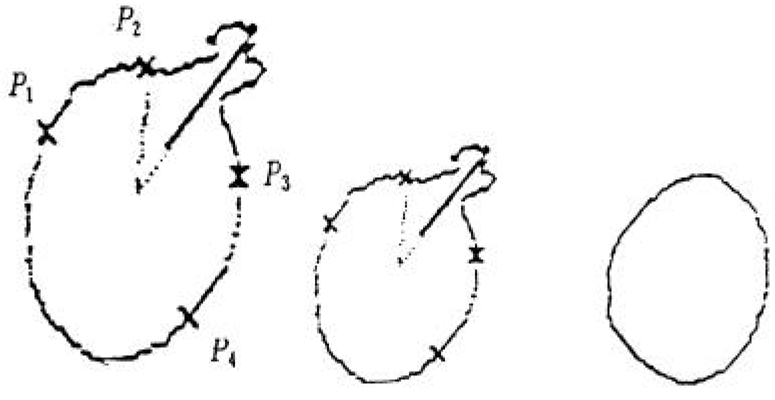


그림 2-15 꼭지부 제거와 경계복원.

꼭지부 제거 및 경계부 복원 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 꼭지부 제거 루틴을 수행하여 제거 전의 면적과 둘레를 실제로 꼭지부를 제거한 후의 값과 비교하였다. 샘플은 꼭지가 있는 버섯 10개를 선정하여 측정하였으며, 알고리즘을 수행하여 제거 전과 제거 후의 면적과 둘레의 최대상대오차는 면적에서 2.4%, 둘레에서는 2.9%가 감소된 것으로 나타나 알고리즘의 정밀도가 높음을 알 수 있다.

10개의 샘플중에서 최대오차가 발생한 버섯은 실제로 꼭지를 자른 양쪽면이 곡선으로 되어 있지 않고 거의 직선으로 잘라진 반면, 꼭지부 제거 알고리즘은 제거부위를 3차원 곡선(polynomial curve)으로 부드럽게 연결하기 때문에 오차가 크게 발생하였다. 표 2-4에서, (A)는 꼭지제거 알고리즘의 수행 전후의 면적 및 둘레를 나타내며, (B)는 임의로 꼭지를 제거한 후 영상처리를 통해 산출한 면적과 둘레를 나타낸다.

표 2-4 꼭지부제거 알고리즘의 성능평가(면적: mm2, 둘레 : mm)

샘플갯수		꼭지부제거 알고리즘 (A)		제거된 샘플 (B)	상대오차
		제거전	제거후		(A)÷(B)
1	Area	1371.35	1238.45	1255.73	0.986
	Perim	156.86	132.80	135.17	0.983
2	Area	1020.83	939.13	939.11	1.000
	Perim	129.39	118.20	118.49	0.998
3	Area	1030.19	928.34	920.54	1.009
	Perim	124.76	103.30	98.32	1.051
4	Area	415.95	364.52	373.65	0.976
	Perim	86.93	72.30	74.45	0.971
5	Area	1060.36	987.53	1001.74	0.986
	Perim	139.57	119.10	120.06	0.992
6	Area	1096.02	970.75	964.56	1.006
	Perim	137.18	119.60	118.27	1.011
7	Area	1199.88	1039.30	1040.99	0.998
	Perim	142.46	123.40	122.88	1.004
8	Area	646.40	594.69	590.64	1.007
	Perim	110.79	95.70	90.34	1.059
9	Area	1230.76	1026.30	1020.50	1.005
	Perim	145.20	120.70	118.45	1.019
10	Area	723.34	604.30	598.74	1.009
	Perim	125.67	102.30	100.23	1.021

2. 버섯 갓의 모양

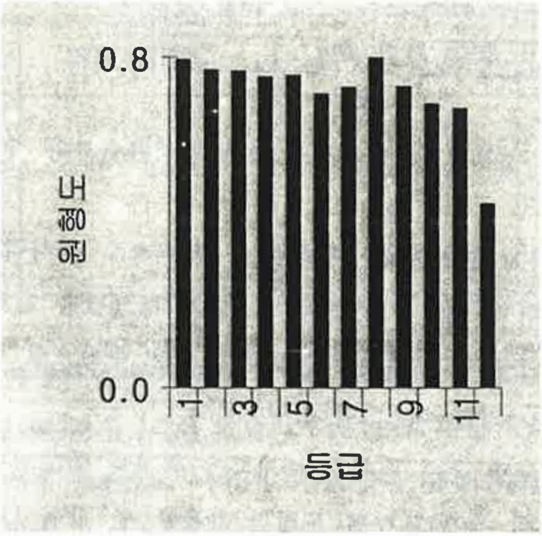
갓의 갈라진 모양은 무차원 단위의 원형도(roundness)와 복잡도(complex ratio) 그리고 장단축비(eccentricity)를 기준으로 정하였다. 꼭지부를 제거한 부분의 경계가 생성되고 나면 체인코딩을 다시 수행하여, 이때 구한 면적, 둘레 그리고 도심점 등의 기하학적인 정보를 이용하여 원형도와 복잡도 및 장단축의 비를 산출한다. 원형도의 경우 원에 가까울수록 1에 근접하게 된다.

표고 갓의 모양은 원형도(roundness)를 가지고 평가하였다. 원형도는 1에

근접한 수치로 나올때 원에 가까운 정도를 의미한다. 표고 12등급에 대한 平均 원형도는 표 2-5에 나타냈는데 향고 대(hyanggo large)가 가장 큰 수치로 나타났으며 격외(bad)가 0.470으로 가장 낮은 수치로 나타났다.

표 2-5 12등급 표고의 원형도.

등급 / 항목	12 등급 표고											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
원형도	0.836	0.810	0.807	0.791	0.796	0.749	0.766	0.841	0.768	0.724	0.712	0.470



(1: 화고 대, 2:화고 소, 3:흑화고 대, 4:흑화고 소, 5:동고 대, 6:동고 중, 7:동고 소, 8:향고 대, 9:향고 소, 10:향신 대, 11:향신 소, 12:격외)

3. 버섯갓의 전후면 자세 판정

혼합형 자동이치화에 의해 표고의 표피영상을 추출한 후 국부마스크를 설정하여 표피상태를 정량적으로 추출하여 버섯의 전후면 자세 판정을 수행하였다. 윈도우 확장에 의하여 얻어지는 이치영상으로부터 갓 바깥으로 돌출한 꼭지부의 존재 및 제거여부를 결정하는 전처리결과에 의거하여 꼭지부의 제거위치를 알고

있는 경우는 두개의 직사각형 마스크를 제거할 부위의 반대 방향으로 설정하였다. 그림 2-16은 전후면 판정 마스크를 나타낸다.

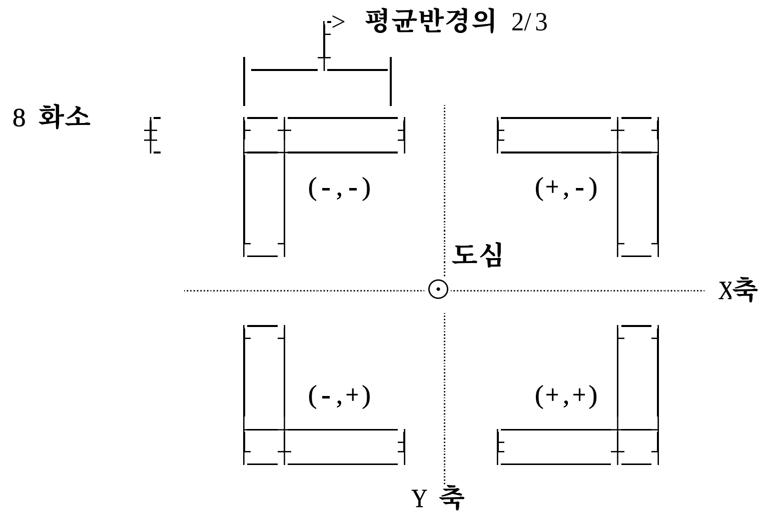


그림 2-16 전후면 자세 판정을 위한 탐색마스크와 방향.

돌출 꼭지부가 없다고 판정이 된 경우에는 1차적으로 정사각형의 마스크를 도심을 중심으로 설정한 후 4개 사분면의 화소밝기 평균값을 검색한 후에 마찬가지로 화소치 평균값이 최대가 되는 사분면과 도심을 중심으로 대칭이 되는 사분면 영역에 두개의 직사각형 마스크를 설정하였다.

혼합형이치화를 수행한 후에 꼭지가 제거되어 위치를 알고있는 경우는 최대반경을 갖는 경계화소의 좌표로 부터 도심점 좌표를 뺀 값을 DX, DY라 하고, DX와 DY의 부호에 의거하여 도심을 지나는 X축과 Y축을 표 2-6과 같이 결정하여 일차적으로 스캔을 수행한다. 여기서 직사각형 마스크의 크기는 대략적으로 단변의 길이는 8개의 화소로 하였고 장변의 길이는 평균반경의 2/3로 설정하였다. 그리고 직사각형내의 평균화소값이 두개의 마스크 영역중 한 영역이라도 0.2 이하가 되면 후면으로 인식하도록 하였다.

꼭지부를 제거한후 그 위치를 알고있는 경우와 위치가 인식되지 않아 2차적으로 위치를 탐색하기위하거나 버섯의 후면영상을 처리하기 위한 알고리즘으로 나누어 처리하였다. 전자의 경우, 전후면 판정 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

① 제거한 최대돌출 화소 좌표에서 도심좌표를 차감한 X와 Y값을 DX와 DY로 설정한다.

② DX와 DY의 부호에 따라 도심점을 기준으로 평균반경의 ⅓ 위치에 두개의 직사각형 마스크를 90° 각도로 설정하고 각 영역내의 화소치의 평균을 구한다.

③ 두 마스크 영역내 평균 화소치가 어느 하나라도 20% 이상인 경우는 전면영상으로 결정한다.

표 2-6 최대반경과 도심으로부터 구한 탐색방향.

DX의 방향	DY의 방향Y	X축 탐색 방향	Y축 탐색 방향
+	+	−	−
+	−	−	+
−	+	+	−
−	−	+	+

꼭지부 판정 과정에서 꼭지부가 없다고 판정이 된 경우에는 1차적으로 도심점을 기준으로 평균반경의 1/2이 한변이 되는 정사각형 마스크를 설정한 후, 이때의 마스크를 4개의 분면으로 나눠서 가장 밝은 값을 나타내는 부분의 값을 읽어 들이도록 하였다. 이때 선정된 4분면에 대칭되는 분면의 화소밝기(gray value)가 4개의 분면중 최소 화소밝기를 갖는 1/4분면이 일치하지 않을 경우에는 최소 밝기를 나타내는 1/4분면을 1차적으로 측정하도록 하였다.

전후면 판정을 위한 마스크의 위치가 결정되면 앞에서와 마찬가지로 두 개의 직사각형 마스크를 설정하여 화소밝기를 측정하였다. 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

① 평균반경의 ½을 한변으로 갖는 정사각형 마스크를 도심을 기준으로 설정한다.

② 정사각형 마스크를 4개의 분면으로 나눠,각 분면 화소치의 평균밝기를 비교한 후 가장 밝은 사분면을 꼭지가 있는 부분으로 설정한다.

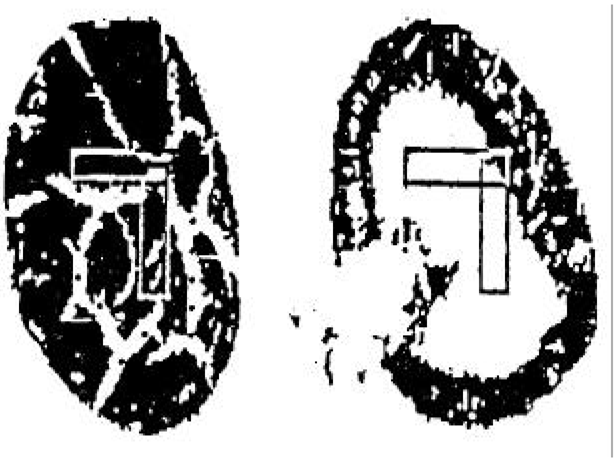
③ 꼭지부가 제거된 경우의 직사각형 마스크를 이용한 루틴과 동일하게 검색을 수행한다.

알고리즘의 성능을 검증하기 위해 혼합형이치화를 수행한 영상을 가지고 검증시험을 실시하였다. 시험에 사용된 버섯은 모두 60개를 가지고 사용하였다. 알고리즘을 수행한 결과 52개는 전후면을 정확하게 판정한 반면, 나머지 8개의 버섯은 잘못 판정하였다.

알고리즘이 수행되지 않은 버섯 중 화고 2개에서 전면을 후면으로 판정하였는데, 이는 화고의 경우 혼합형이치화를 수행할때 짙은 거북등 무늬가 적은 버섯이어서 탐색 마스크 부분의 평균화소값이 작게 나타났기 때문에 발생하였다. 그리고 나머지 6개의 경우는 화고의 후면 육질이 두꺼워서 내피부(interior skin)가 검출이 안된 경우와 향신의 경우 버섯의 말린부위가 내피부와 측정영역에서 버섯영상을 제외한 배경부보다 상대적으로 차지하는 면적이 작으므로 혼합형이치화를 수행하면 내피부분이 강조되어 이치화되기 때문에 전후면 판정이 수행되지 않았다.

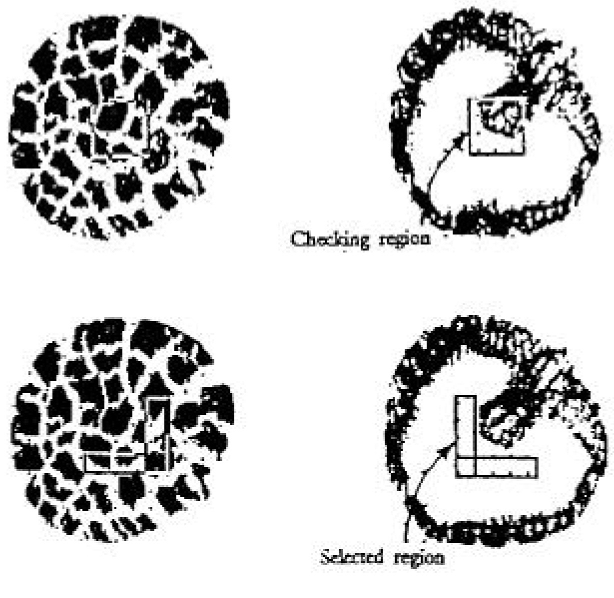
그림 2-17은 전후면 판정 알고리즘을 수행한 결과를 그래픽으로 나타낸 것으로 꼭지부 위치가 존재하는 경우의 처리과정을 보여주며, 그림 2-18은 꼭지부의 위치가 없다고 판정되었거나 버섯 후면인 경우를 고려하여 정사각형 마스크를 이용하여 먼저 꼭지부의 방향을 탐색한 후에 2개의 직사각형 마스크를 가지고 전후면 판정을 수행한 결과를 나타낸다.

마스크를 이용한 전후면 판정은 이치화 결과에 따라 판정성능에 영향을 주므로 혼합형이치화에 의한 이치영상의 상태가 중요한 인자가 된다.



(a) 전면 (b) 후면

그림 2-17 꼭지부 위치를 검색한후 마스크를 이용한 전후면 판정.



(a) 전면 (b) 후면

그림 2-18 꼭지부 위치를 모르는 경우의 마스크를 이용한 전후면 판정.

4. 표피 색상과 무늬모양, 주름형태와 균열정도

표고는 주로 건조과정 중에 주름과 균열이 발생하며 전면 표피의 무늬색상은 미색에서 진한 갈색에 이르는 다양한 색상을 갖는다. 표피의 색상은 단색계로서 흑백 계조(gray value)를 측정해도 구분이 가능하다. 표피의 색상을 측정하기 위한 범위는 꼭지가 제거된 후 다시 산출한 경계부 화소좌표를 이용하였으며 그림 2-19와 같이 도심점을 기준으로 사분할하였다. 각 분할영역에 대하여 다치 입력영상의 평균 화소밝기를 구하고 최대값과 최소값을 제외한 두 영역의 화소밝기를 평균한 값을 측정하여 표고의 표피밝기로 정량화하였다.

예로 화고와 같은 상위 품질의 버섯은 비교적 밝은 바탕에 어두운 거북등 무늬가 표피전체에 고루 분포하고 있어 전체적으로 밝은 색상을 가지며, 4분할 영역간의 평균 화소밝기의 차이가 거의 없다. 표피의 일부분에 존재하는 균열이나 심한 주름의 경우는 표피 전체의 화소밝기를 가지고는 판정이 불가능하므로 혼합형이치화로 얻어지는 입력영상을 이용하였다. 표피 전체에 대한 평균 화소밝기를 구하고 4개 분할영역의 평균 화소밝기를 뺀 편차를 가지고 표피의 국부적 균열상태나 손상된 부위, 또는 주름의 정도를 평가하였다.

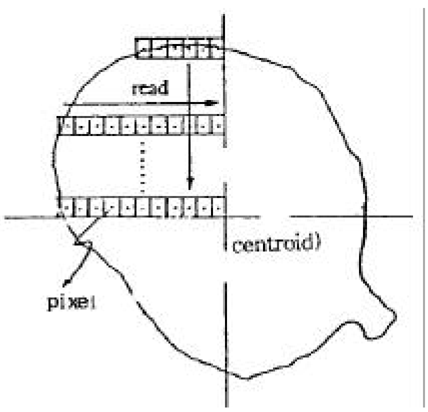


그림 2-19 표고 전면표피 색상의 측정.

표고 표피색상은 12등급에 대해 각 10개의 샘플을 이용하여 평균 화소밝기를 측정하였다. 여기서, 측정 데이터는 화고 大의 색상이 가장 밝게 나타났으며,

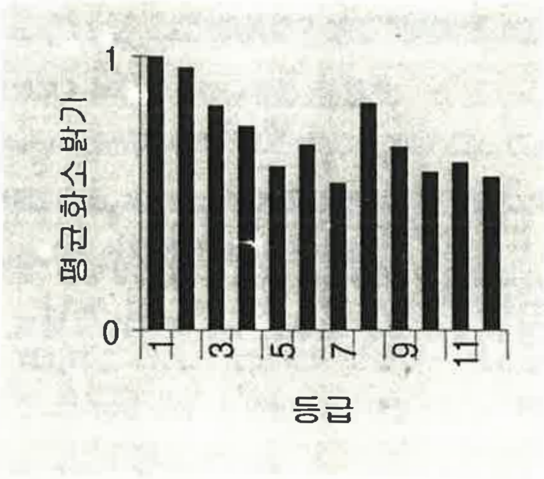
표 2-7에 화고 大의 밝기를 기준으로 하여 나머지 등급의 밝기를 상대적으로 나타냈다. 표고의 밝기는 화고→구름화고→향고→동고→향신→격외의 순서로 밝게 나타났다.

혼합형이치화에 의해 산출한 이치영상에 대해 마스크 기법을 적용하여 표고의 전후면을 인식하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 혼합형이치화에 의해 설정된 경계값을 이용하여 표피의 무늬형상을 효과적으로 추출할 수 있으며 등급별 표고의 세부적인 전후면 표피형상을 얻을수 있다.

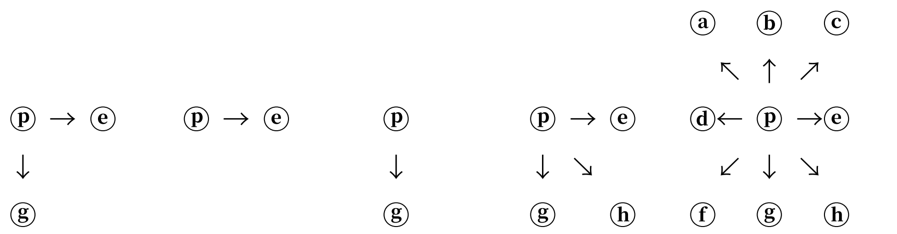
표피의 형상을 정량적으로 검색하기 위해 화소간의 상대적인 위치와 밝기를 고려한 통계적인 텍스쳐(texture) 분석법을 이용하였으며 그림 2-20과 같이 경로 마스크를 설정하여 각 경로에 대한 텍스쳐 데이타를 비교하였다.

표 2-7 12등급 표고의 평균 화소밝기

등급 / 항목	12 등급 표고											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
화소 평균 밝기	1.00	0.960	0.820	0.745	0.597	0.677	0.537	0.830	0.670	0.577	0.612	0.560



(1: 화고 대, 2:화고 소, 3:흑화고 대, 4:흑화고 소, 5:동고 대, 6:동고 중, 7:동고 소, 8:향고 대, 9:향고 소, 10:향신 대, 11:향신 소, 12:격외)



(a)마스크1 (b)마스크2 (c)마스크3 (d)마스크4 (e) 8근방 체인 요소

그림 2-20 텍스쳐분석을 위한 4개의 마스크.

여기서 $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$는 각각 기준화소 p와 나머지 비교화소의 밝기가 (0,0), (0,255), (255,0), (255,255)인 요소를 나타낸다. 이것을 행렬식으로 표시하면 다음과 같이 A로 나타낼수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

그리고 행렬 A를 이루는 요소를 정규화하기 위해서 마스크의 전체 탐색횟수인 n으로 나눈 새로운 행렬 C를 도입하였다.

$$C = \frac{A}{n}$$

텍스쳐 분석을 위해서 Haralick(1979)은 행렬 C를 이용한 다양한 연산자를 제안하였다. 이 파라메터를 이용하여 표고의 표피상태를 분석하였다. 주요 연산자로는 최대밀도함수, k차 차분 모멘트, k차 역차분 모멘트, 엔트로피 및 균일도가 있다.

- 최대밀도함수(maximum probability) : $\max_{ij}(C_{ij})$

- k차 요소차분 모멘트(EDM): $\sum_i \sum_j (i-j)^k C_{ij}$

- k차 요소역차분 모멘트(IEDM) : $\dfrac{\sum_i \sum_j}{(i-j)^k}$, $i \neq j$

- 엔트로피 : $-\sum_i \sum_j C_{ij} \log C_{ij}$

- 균일도 : $\sum_i \sum_j (C_{ij})^2$

최대밀도함수는 4개의 경로마스크 중에서 대표적으로 표피 무늬의 분포상태를 나타내 주는 요소이다. EDM은 대각선 요소를 제외한 값으로 요소값이 크면 상대적으로 전체의 값이 작아지며 IEDM은 반대의 결과를 나타낸다. 엔트로피는 임의성을 나타내며 C의 요소값의 편차가 작을수록 큰값을 나타내는 성질을 갖고 있다. 균일도(uniformity)는 각 요소의 편차가 작을 수록 낮은 수치로 나타나므로 무늬 모양이 균일할수록 작은값을 나타내며 무늬의 패턴이 불균일하면 큰 값으로 나타난다.

표 2-8에서 2-12까지는 5개의 주요 표고 등급인 화고, 구름화고, 동고, 향고, 향신에 대한 텍스쳐 파라메터 측정 결과를 보여준다. 측정 영상은 혼합형이치화에 의해 산출된 이치영상을 이용하였다. 측정 데이터는 등급별로 10개의 샘플을 평균하여 나타냈고, k의 차수는 2차로 하였다.

행렬식(co-occurence matrix) C의 요소인 C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22} 중에서 등급별로 전후면이 차이가 크게 나는 요소는 C_{11}으로 나타났다. 특히 화고류를 제외하면 4개의 마스크(mask)가 0.5 이하이면 표고 전면을 0.5 이상이면 표고 후면을 판별하는 기준이 된다. 마스크 1을 기준으로 할때, 표고 전면에서의 행렬식 C의 최대요소인 max C의 데이터를 가지고 등급별로 큰값에서 작은값으로 배열하면 향신→향고→화고→동고→구름화고의 순서로 나타났고, 이를 다시 행렬식의 요소로 C_{22}→C_{22}→C_{11}→C_{22}→C_{11}의 순서가 된다.

여기서, C_{11}은 기준화소와 비교화소의 밝기가 (0,0)인 경우를 나타내고 C_{22}는 (255,255)인 경우를 나타낸다. 그리고 혼합형이치화에 의한 이치영상은 배경부

를 0으로 표고에 해당하는 물체부는 255로 설정하였다. 따라서, 향신, 향고, 동고에서 C22가 최대로 나타난 것으로 보아 표면이 균일한 상태를 나타내는 것으로 분석할 수 있다. 상대적으로 화고와 구름화고에서 C11이 큰 이유는 표고 무늬 분포보다 갈라진 틈새의 비율이 상대적으로 크다는 것을 의미한다.

표 2-8 화고의 텍스쳐 파라메터

위치	마스크	c11	c12	c21	c22	max c	EDM	Entr.	Unif.
전면	1	0.652	0.030	0.036	0.282	0.652	0.066	0.452	0.543
	2	0.628	0.074	0.074	0.224	0.628	0.149	0.340	0.479
	3	0.635	0.067	0.067	0.231	0.635	0.133	0.335	0.490
	4	0.723	0.025	0.033	0.219	0.723	0.058	0.265	0.603
후면	1	0.728	0.021	0.025	0.226	0.728	0.046	0.400	0.600
	2	0.641	0.058	0.059	0.242	0.641	0.117	0.331	0.497
	3	0.646	0.053	0.054	0.247	0.646	0.107	0.327	0.505
	4	0.718	0.019	0.024	0.239	0.718	0.043	0.267	0.600

표 2-9 흑화고의 텍스쳐 파라메터

위치	마스크	c11	c12	c21	c22	max c	EDM	Entr.	Unif.
전면	1	0.472	0.031	0.026	0.471	0.472	0.057	0.547	0.457
	2	0.427	0.070	0.072	0.431	0.427	0.142	0.392	0.386
	3	0.433	0.064	0.064	0.439	0.439	0.128	0.387	0.396
	4	0.477	0.029	0.024	0.470	0.477	0.052	0.347	0.461
후면	1	0.760	0.016	0.018	0.207	0.760	0.057	0.547	0.457
	2	0.702	0.043	0.048	0.208	0.702	0.090	0.299	0.552
	3	0.707	0.038	0.039	0.217	0.707	0.076	0.296	0.561
	4	0.772	0.014	0.016	0.198	0.772	0.030	0.241	0.650

표 2-10 동고의 텍스쳐 파라메터.

위치	마스크	c11	c12	c21	c22	max c	EDM	Entr.	Unif.
전면	1	0.338	0.026	0.018	0.618	0.618	0.043	0.524	0.512
	2	0.318	0.054	0.054	0.575	0.575	0.107	0.357	0.451
	3	0.324	0.047	0.047	0.581	0.581	0.094	0.351	0.461

	4	0.341	0.024	0.016	0.620	0.620	0.040	0.319	0.516
후면	1	0.684	0.021	0.019	0.276	0.684	0.040	0.431	0.568
	2	0.626	0.049	0.052	0.274	0.626	0.100	0.334	0.488
	3	0.630	0.044	0.044	0.281	0.630	0.088	0.330	0.497
	4	0.697	0.019	0.017	0.267	0.697	0.036	0.279	0.583

표 2-11 **향고의 텍스쳐 파라메터**

위치	마스크	c11	c12	c21	c22	max c	EDM	Entr.	Unif.
전면	1	0.138	0.035	0.024	0.803	0.803	0.059	0.384	0.676
	2	0.144	0.067	0.083	0.706	0.706	0.150	0.297	0.544
	3	0.150	0.061	0.061	0.729	0.729	0.121	0.289	0.573
	4	0.131	0.032	0.021	0.816	0.816	0.053	0.227	0.694
후면	1	0.720	0.015	0.018	0.246	0.720	0.033	0.393	0.604
	2	0.664	0.044	0.052	0.239	0.664	0.097	0.313	0.522
	3	0.672	0.036	0.037	0.254	0.672	0.074	0.307	0.538
	4	0.730	0.014	0.017	0.239	0.730	0.031	0.257	0.616

표 2-12 **향신의 텍스쳐 파라메터**

위치	마스크	c11	c12	c21	c22	max c	EDM	Entr.	Unif.
전면	1	0.137	0.028	0.020	0.815	0.815	0.048	0.367	0.698
	2	0.141	0.064	0.059	0.737	0.737	0.122	0.283	0.585
	3	0.155	0.049	0.051	0.745	0.745	0.100	0.275	0.598
	4	0.131	0.027	0.018	0.824	0.824	0.044	0.216	0.711
후면	1	0.837	0.015	0.015	0.132	0.837	0.031	0.276	0.732
	2	0.768	0.054	0.043	0.136	0.768	0.097	0.258	0.629
	3	0.788	0.034	0.034	0.145	0.788	0.068	0.241	0.657
	4	0.847	0.013	0.014	0.125	0.847	0.028	0.185	0.747

5. 육질의 두께를 평가하기 위한 후면의 말린부위 측정

건표고 등급기준에서 중요한 인자는 육질의 두께이다. 그러나, 한대의 카메라를 이용해 산출한 2차원 데이터만으로 육질의 두께를 측정하는 것은 불가능하다. 그러나, 말린 양의 상대적 비교로서 육질 두께를 정량화하였다.

꼭지(stem)를 제거하는 과정을 수행한 후, 체인코딩에 의해 저장되어 있는 도심점과 경계화소를 이용하여 혼합형이치화에 의거하여 추출된 후면영상에 대해 말린 양을 측정였다. 말린 양의 측정은 꼭지부를 제거하는 과정에서 꼭지가 제거되는 경우와 제거되지 않는 경우로 나누어 수행하였다.

그림 2-21(a)와 같이 등간격으로 경계를 60등분하고 꼭지가 제거되는 경우는 컴퓨터 메모리에 저장되어 있는 제거부분 경계좌표를 이용하여 꼭지가 속하지 않는 영역에 대하여 말린 양을 측정하도록 하였다. 삐져나온 꼭지의 크기가 상대적으로 미약하거나 꼭지가 삐져나오지 않아 꼭지의 위치가 제거하는 과정에서 판정이 안되는 경우는, 그림 2-21(b)와 같이 도심점으로 부터 기억되어 있는 경계화소들을 등간격으로 60등분하여 선정되는 경계화소에 이르기 까지 표고의 크기에 따라 조절되도록 평균반경을 변수로하는 일정량의 화소수를 반경방향으로 검색하도록 하여 꼭지의 위치를 판별하였다.

꼭지의 위치 판별을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 혼합형이치화의 결과로 얻은 경계값 T를 일정량 증가시켜 얻은 영상을 이용하였다. 판별된 꼭지의 위치를 기준으로 일정영역(대략 8개영역)을 앞뒤로 설정하여, 이 영역은 말린 양 측정에서 제외하였다.

혼합형이치화와 영상완화를 수행한 후의 영상을 보면, 표고 후면의 말린부분은 비교적 밝게(Gray level 255), 내피부분은 어둡게(Gray level 0) 나타나며 내피의 잡음점 역시 상당히 제거된다. 말린 양은 경계화소들을 등간격으로 60등분하여 선정되는 경계화소들 중 설정된 측정영역의 경계화소에 대하여 도심화소에 이르기 까지 반경방향으로 탐색하며 화소의 연속성 조건을 설정하여 측정한다.

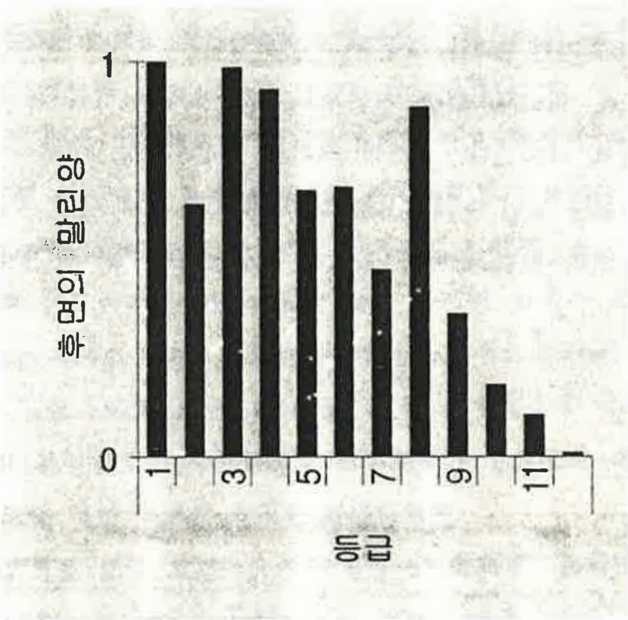
경계화소로 부터 도심에 이르는 검색과정에서, 대상화소를 선정하기 위해 스캔라인변환(scan line conversion) 알고리즘중에서 그림 2-22와 같이 단순 디

지탈 차분분석(SDDA:Simple Digital Differential Analyzer) 방법을 이용하였다. 스캔라인변환을 통해 해당 라인의 화소의 밝기를 구하여 말린양을 화소수 단위로 계산하였으며 내피의 말린형태는 추출한 말린량을 조합하여 정량화하였다.

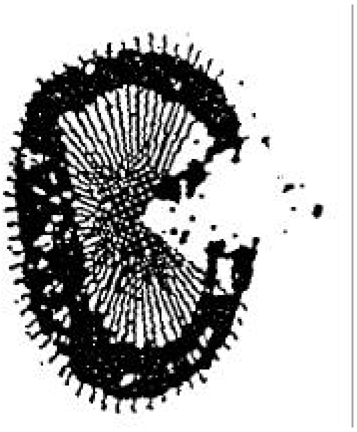
한 대의 카메라에 의해서는 육질의 두께를 측정할 수 없다. 육질의 두께와 후면의 말린 두께는 비례하기 때문에 끝단의 말린 두께만을 측정하였다. 표고 후면의 말린 두께는 12등급에 대해 각 10개의 샘플을 가지고 산출하였는데 산출 방법은 SDDA(simple digital differential analysis)를 이용하여 생성되는 라인(line)좌표의 화소밝기가 255인 갯수를 계수하였다. 여기서 측정 데이터는 화고 대가 가장 컸으며, 화고의 값을 기준으로 나누어서 나머지 등급의 두께를 표 2-13에 상대적으로 나타냈다. 갓의 크기는 향신 대와 향고 대가 화고 대보다 40 50%정도 컸으나 말린 두께에서는 상위 등급인 화고 대가 가장 크게 나타났다. 따라서 후면의 말린 두께는 표고의 등급판정에 있어서 중요한 요소가 됨을 알수있다.

표 2-13 표고 12등급에 대한 후면부 말린부위의 양 측정

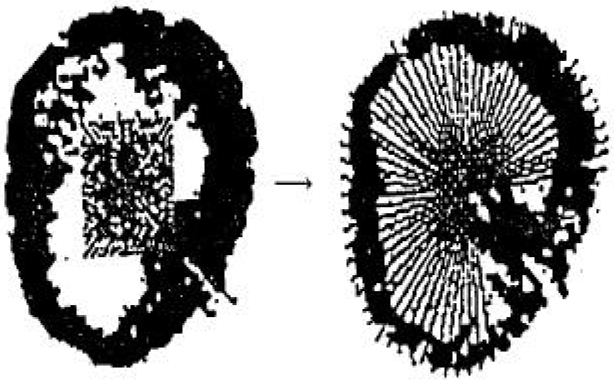
등급	12 등급 표고											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
말린 두께	1.00	0.64	0.985	0.930	0.675	0.683	0.474	0.885	0.363	0.183	0.106	0.011



(1: 화고 대, 2:화고 소, 3:흑화고 대, 4:흑화고 소, 5:동고 대, 6:동고 중, 7:동고 소, 8:향고 대, 9:향고 소, 10:향신 대, 11:향신 소, 12:격외)



a) 꼭지부를 알고 있는 경우



b) 꼭지부 위치를 모르는 경우

그림 2-21 표고 후면의 말린 두께측정.

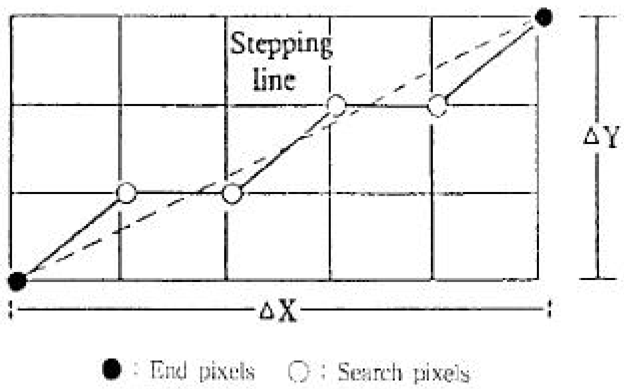


그림 2-22 단순디지탈 차분분석(SDDA)에 의한 화소의 연결성 탐색.

6. 후면 내피 색상과 정렬상태

표고 후면의 내피(interior skin)는 그림 2-23과 같이 얇은 막이 가지런히 선상태로서 정렬되어 있다. 이 얇은 막이 고르게 잘 정렬된 상태가 바람직하며 불규칙하게 누워 있거나 파손이 된 경우, 그리고 색상이 어두운 경우는 바람직하지 않다. 내피의 정렬상태 역시 한개의 카메라에 의해 산출된 2차원적 평면영상만을 이용해서 검출하기가 상당히 어렵다. 비교적 막의 정렬이 잘 되어있는 내피는 비교적 밝게 나타나는 점을 이용하여 내피의 색깔(밝기) 측정과 병행하여 평균 화소밝기를 측정하였다.

꼭지 부위의 영향을 제거하기 위해, 후면 내피의 말린량을 측정할 때 얻어지는 꼭지부가 아닌 영역의 내피 경계점들을 이용하였으며, 도심점을 중심으로 평균반경의 1/8을 변으로하는 정사각형 영역은 스캔에서 제외하였다. 말린 부위와 경계를 이루는 내피화소로 부터 X축을 따라 스캔하여 안쪽영역에 대한 다치(gray)영상의 화소밝기를 측정하여 평균값을 구하였다.

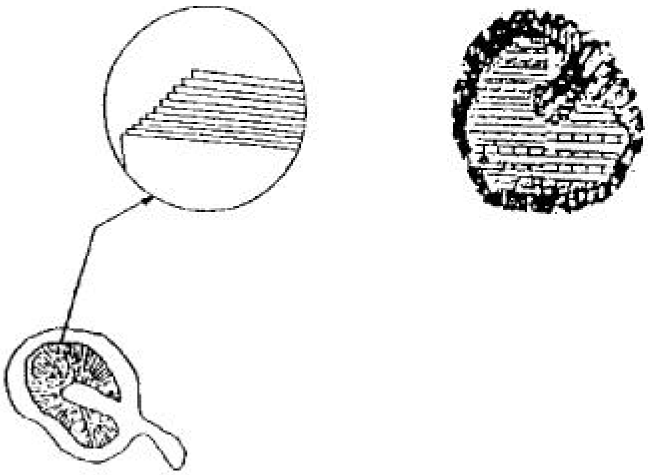
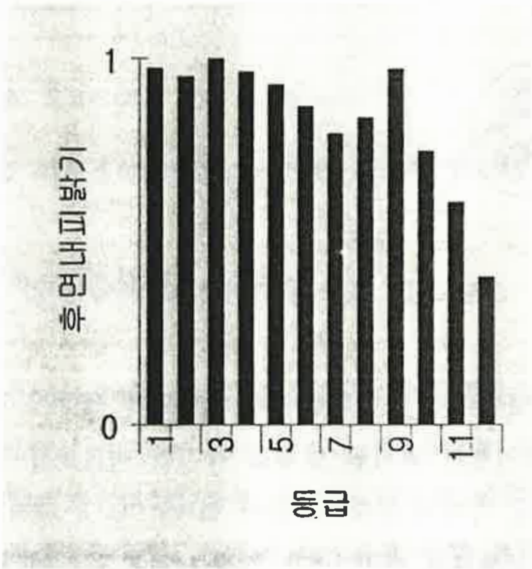


그림 2-23 표고 후면의 내피상태 측정.

후면 내피의 정렬상태가 가지런할수록 내피부의 색상이 밝은 수치로 나타났다. 후면 내피 꼭지부가 위치한 방향을 제외한 내피부의 밝기를 12등급에 대해 각 10개의 샘플을 가지고 산출하였으며 결과는 표 2-14에 나타냈다.다. 여기서 측정 데이터는 구름화고 대가 가장 크게 나타났고, 이 값을 기준으로 나머지 등급의 상대적인 내피 밝기를 측정하였다. 내피의 밝기는 화고류 4등급이 거의 비슷한 값으로 높게 나타났으며, 다음은 향고 대와 동고의 순서로 나타났다. 대체적으로 상위 등급의 버섯일수록 내피부의 밝기가 높게 나타남을 알수 있었다.

표 2-14 표고 후면의 내피부 측정 결과

등급 / 항목	12 등급 표고											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
내피상태 (밝기)	0.974	0.951	1.000	0.963	0.928	0.869	0.795	0.838	0.970	0.747	0.608	0.403



(1: 화고 대, 2:화고 소, 3:흑화고 대, 4:흑화고 소, 5:동고 대, 6:동고 중, 7:동고 소, 8:향고 대, 9:향고 소, 10:향신 대, 11:향신 소, 12:격외)

7. 표고 외관 분석 소프트웨어 개발

마이크로소프트 C 7.0 그래픽 라이브러리와 ITEX PFG 라이브러리를 이용하였으며 모든 알고리즘의 처리과정이 順次的으로 이루워지도록 사용자 편의에 의거하여 개발하였다. 소프트웨어의 기능블럭도는 그림 2-24에 나타냈다.

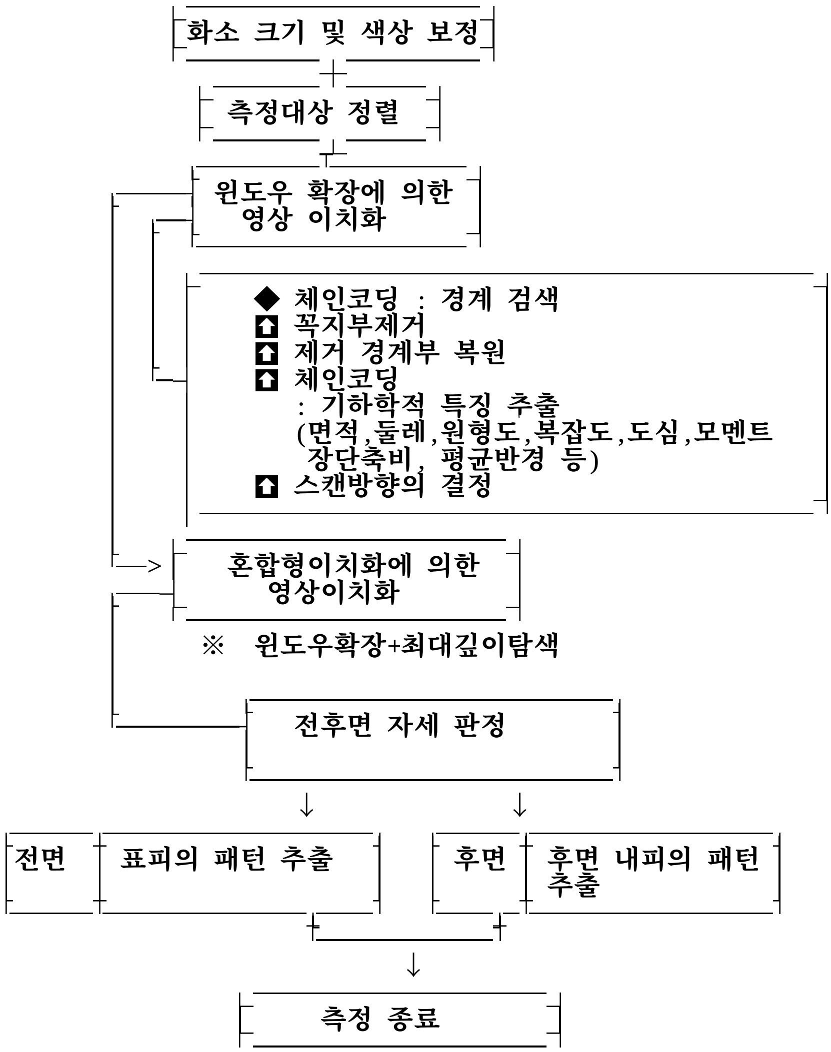
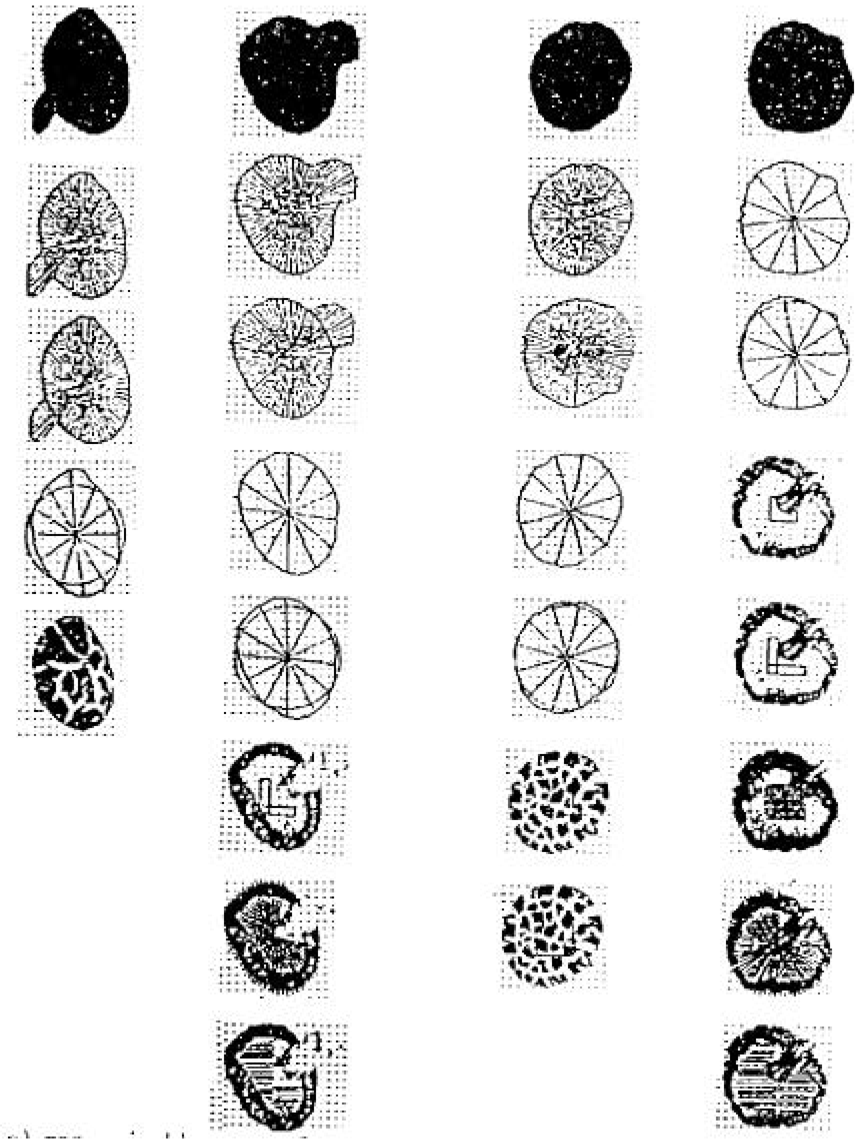


그림 2-24 측정 소프트웨어의 기능블럭도.

프로그램은 메뉴방식으로 검색 알고리즘이 순차적으로 수행되도록 코딩하였으며 추출한 데이터를 파일에 저장하도록 하였다.

그림 2-25는 개발한 알고리즘을 그래픽으로 처리한 출력 결과를 나타낸다. 그림 2-25-(a)는 꼭지(stem)가 있는 버섯에 대한 처리과정을 나타내고 그림 2-25-(b)는 꼭지가 삐져 나오지 않은 버섯의 처리과정을 보여주고 있다.



전면　　　후면　　　　전면　　　후면

a) 꼭지부 위치를 알고있는 경우　(b) 꼭지부 위치를 모르는 경우

그림 2-25 개발 소프트웨어의 그래픽 출력 영상.

8. 요약

입력영상의 특징을 컴퓨터 영상처리를 통해 정량적으로 수치화함에 있어서 필수적인 영상이치화 방법, 컴퓨터 시각시스템의 정밀도 향상을 위한 측도설정, 기하학적 특징점추출에 관한 연구를 수행하였으며 컴퓨터시각 시스템에 의거하여 건표고의 외관 특징을 자동으로 측정하는 알고리즘과 소프트웨어를 개발하였다. 개발한 알고리즘은 표고를 비롯한 버섯류의 선별과 등급판정, 생육 및 재배 자동화를 위한 생장정보 계측, 그리고 표고 건조시스템의 성능평가 및 건조상태의 정량화등에 활용이 기대된다.

제3장 컴퓨터시각에 의한 등급판정

제1절 서론

표고 등급은 전문가의 감각에 의해 수작업으로 수행되어 오고 있으나 등급의 영향을 주는 요인의 다양성으로 인해 결정된 등급에 대한 신뢰성이 약간의 문제점으로 남아있는 실정이다. 표고의 등급은 국내의 일반수매, 일본의 출하규격, 국내 수출업체의 규격등 표준적인 등급기준을 정하기가 어렵다.

일반적으로 전문적인 선별가의 역할은 개개의 버섯의 선별에 있어서는 가장 우수하지만 일관성의 결여와 피로에 의해 생산성이 떨어진다. 또한 인간의 결정은 감정상태에 따라 주관적으로 바뀌게 된다. 그러므로 인간시각에 의한 처리와 유사성을 가진 선별능력이 우수하고 등급관리의 일관성을 가진 자동 선별 및 등급결정 시스템의 개발이 필요하게 된다.

최근에 연구가 활발히 진행되고 있는 신경회로망은 패턴인식(pattern recognition) 분야의 새로운 접근 방식을 제공하고 있다. 신경회로망은 기존의 패턴인식 알고리즘에 비해서 많은 잇점을 제공해 주고 있으며 시각인식과 시스템제어와 관련한 연구가 활발히 진행중이다. 일반적으로 영상처리 분야에서의 전통적인 패턴인식은 두가지 단계로 구분되는데, 영상패턴 정보를 함축하고 있는 파라메터의 측정을 위한 특징점 추출과정과 미지의 입력 영상 샘플들에 대한 인식기로서의 작용으로 구분된다.

영상처리에 있어서의 신경회로망 기술 도입의 궁극적 인 목표는 특징추출과 인식을 한 단계로 통합하는 방법을 제공하는 것으로 현재까지 이에 대한 계속적으로 연구가 시도되고 있다. 인간 시각시스템을 생물학인 관점에서 연구하고 있는 연구자들은 인간의 분류 및 인식능력도 마찬가지로 경계(edge)와 질감(texture)과 같은 시각적인 자극들로부터 추출된 특징들에 의존한다고 주장한다. 그런 연유로 볼때, 컴퓨터시각 분야에서도 마찬가지로 영상패턴 자체보다는 그것을 대표할 수 있는 특징들을 이용하여 인식을 수행하고 있다.

이와 같은 시도는 기존의 통계적인 인식방법 보다 신경회로망을 이용한 인식결과가 우수하다는 연구결과에 의해 명확하게 알수 있다. 신경회로망을 이용한 인식방법의 가장 중요한 목적은 인간이 반복적인 경험으로 부터 학습할 수 있다는 것이다. 위에 언급한 특성들을 이용하여 신경회로망은 특히 다량의 정보처리가 요구되거나 모델링이 복잡하고 불가능한 문제들, 작업변화에 따른 실시간 정보처리와 적응이 필요한 문제들, 그리고 잡음이 내재되거나 비구조적인 작업 상황하의 정보처리 등에 효율적으로 적용될 수 있으며 잡음 및 애매모호한 정보의 처리가 가능하다는 장점이 있어 그 연구가 더욱 활발하다.

공학분야에 있어서 신경회로망을 효과적으로 적용하는 연구에 대한 기대는 실로 크다고 볼 수 있다. 특히 자연 대상물 및 작업의 비구조적 특성을 갖고 있는 농업관련 분야의 정보처리에 있어서 신경회로망 적용연구는 더 한층 기대가 된다.

표고의 주요 특징인 갓의 크기와 갈라진 모양, 표피의 무늬모양, 주름형태와 균열정도, 육질의 두께와 끝단의 말린정도, 표피와 갓 내피의 색깔, 그리고 내피의 정렬상태 등의 형상을 측정하고 및 이를 정량화하는 기하학적 특징점추출 알고리즘은 복잡하고 영상잡음 및 영상의 전처리 결과에 민감하므로 실용적인 측면에서 볼때 문제점을 안고 있다.

실시간 선별시스템의 개발을 위해서는 이와 같은 신경회로망의 학습기능 및 추론기능을 이용하여 등급간 표고를 효과적으로 인식하여 분류하는 방법에 관한 연구 수행의 필요성이 요구된다.

일반적으로 농업생산은 계절성이 강하여 노동력 수요가 일시에 집중되는 경향이 있고 기후 등 자연조건에 의해 품질이나 가격 등이 변화하는 특성을 가지고 있다. 현재 국내의 경우도, 생산비용의 절감, 소비자 기호의 다양화, 농업 생산인구의 부족 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 따라서 적기에 작업할 수 있고 생산규모의 확대에 대응하기 위한 고성능 생력화된 기계장치의 개발이 요구된다.

농산물을 다루는 자동화된 선별장치의 설계시 고려해야 할 요인으로는, 측정요소의 갯수 및 범위, 처리 등급의 수, 부품요소의 처리속도 및 제어성능 및 경제성 등이 있다. 또한 농산물의 경우는 청결성의 유지가 중요하므로 구동

동력원의 선정에 있어서도 주의를 요한다.

본 연구에서는 앞에서 제시한 바와 같이, 컴퓨터시각과 신경회로망에 의한 실시간 표고 등급판정 알고리즘의 개발에 관한 연구를 수행하였다.

제2절 신경회로망

1. 개요

신경회로망(neural network)은 일종의 계산능력을 가지는 컴퓨터 기억소자들의 집합으로 볼 수 있으며 프로그래밍이나 알고리즘에 의존하지 않고 대상의 변화에 적응해가며 연계(association)와 유사성(similarity)의 기능들을 수행한다. 기존의 폰뉴만 컴퓨터와는 전혀 다른 정보처리 과정 및 구조적 특성을 가지고 있으며 신경회로망은 연계추론(associative reasoning),학습 (learning), 병렬분산처리(parallel distributed processing), 일반화효과(generalization effect) 등 인간두뇌세포의 주요 기능들을 효과적으로 실현하게 된다. 이같은 성질을 이용하여 현재 여러분야에 신경회로망이 성공적으로 응용되고 있다.

뇌의 구조와 기능에 대한 연구는 두가지 분야로 나뉘어 각각 발전되었는데, 하나는 생물학 모델링을 기초로 뇌세포의 생물학적 정보처리와 행동양상을 규명하기 위한 것이며 다른 하나는 수학적 측면의 모델링으로서 새로운 계산 기법을 창출하는데 유효한 개념을 추출하는 데에 목적을 두고 있다. 후자의 연구에 있어서는 실제 세포 생물학적으로는 불가능한 개념 또는 정보흐름을 설정하여 계산능력을 산출하거나 미처 알지 못하는 복잡한 생물학적 구조와 기능을 단순화하여 주어진 문제를 효과적으로 해결하기도 한다. 최근의 다각적 연구 동향은 후자에 그 중심을 두고 있으며 연구 개발 되어진 신경회로망 모델의 실제 문제에 적용되어져 그 중요성이 더해지고 있다.

위에서 언급한 생물학적 신경회로망과 구분하기 위하여 계산기능에 중점을 둔 수학적 접근방법을 가리켜 인공신경회로망(artificial neural network)이라고 부른다. 순차적 정보처리에 의거한 폰뉴만 컴퓨터를 사용하여 알고리즘과 규칙을 근거로 발전해 온 인공지능(artificial intelligence) 기술과 구분하여서 인공신

경회로망을 자연지능(natural intelligence)기술이라고도 구분해서 나타낸다.

신경회로망은 1960년대 Rosenblatt(1958)가 퍼셉트론이론을 발표하였으며 Widrow 등(1960)이 Adaline을 학습시스템의 한 방식으로 발표하였다. 퍼셉트론은 초기에 큰 관심을 일으켰으나 Minsky 등(1969)이 XOR과 같은 복잡한 논리함수에 적용 불가능하다는 것을 수학적으로 증명함으로써 관심밖으로 밀려나게 되었다. Adaline 네트워크는 LMS(least mean square) 알고리즘을 사용하여 적응제어에 응용되었다. 1970년대는 이와 같은 영향으로 신경회로망에 대한 연구가 활발하지 않았으나 Grossberg(1976)에 의해 적응추론이론인 ART(adaptive resonance theory)가 개발되었고, Kohonen(1982)에 의해 자기결합(self organization)에 대한 연구가 발표되었다.

Albus(1975)는 CMAC(cerebellar model articulation controller)를 개발하였다. 1970년대에 Werbos(1974)는 이미 다층 퍼셉트론에 대한 학습법인 BP(back propagation)알고리즘을 개발하였으나 널리 알려지지 않았으나 1980년대에 이르러 Rumelhart등(1986)에 의하여 BP 알고리즘이 재 인식되면서 퍼셉트론에 대한 관심이 높아지게 되었다. 이 다층 퍼셉트론은 최근 일반 공학분야에 가장 많이 적용된 학습 알고리즘이다.

그리고 Hopfield(1982)는 순환형태(recurrent type)의 신경회로망을, Hinton 등(1984)은 볼쯔만 머신(boltzman machine)을, Kosko(1987)는 BAM(bidirectional associative memory)을 발표하였다.

이러한 80년대의 활발한 연구활동은 신경회로망에 대한 관심을 고조시켰으며 많은 응용분야에 실제로 적용되었으며 일부는 실용화되었다. 신경회로망은 패턴인식, 음성인식, 영상인식, 최적화 및 제어분야 등에 널리 응용되었으며 최근에 자동제어분야에서는 자동제어이론과 기술이 발달함에 따라 많은 분야에서 이러한 이론들이 중요한 역할을 하고 있으며 농업분야의 기사예측, 등급판정, 작업기 주행제어 등에 적용이 되고 있다. 그러나 적용대상이 복잡해짐에 따라 제어이론도 발달되었으며 학습이 가미된 형태의 새로운 이론이 등장하였으나 적용상의 한계도 노출되었다.

버섯 선별시스템과 관련한 연구는 미미한 실정으로 아직 학계에 보고되고 있지 않다. 다만, 양송이버섯(western mushroom)의 수확자동화와 관련하여

Tillet(1989)은 버섯갓의 크기로 성숙도를 판정한 후 체인코딩(chain coding)에 의해 산출한 도심점 위치로 로보트를 구동하여 수확하는 연구를 수행하였다.

2. 오차 역전파 모델

BP(back propagation)네트워크로 알려진 오차역전파(Error Back Propagation) 네트워크는 결합 가중치 수정에 관한 델타법칙(delta rule)을 일반화한 다층 신경회로망이다. 델타법칙은 네트워크 학습 알고리즘의 일종으로 네트워크를 선형이 되도록 하기 위해서 활성함수(activation function)를 도입하여 네트워크가 선형의 값을 갖도록 하기 위해서 개발되었다.

BP 네트워크의 구조는 다층 퍼셉트론(perceptron)과 같으나 노드를 연결하는 가중치(weight)값은 회로망 출력오차를 역전달함으로써 수정이 되는데에 차이점이 있다. 그리고 네트워크의 학습은 원하는 목표값에 도달하도록 피드백 기능을 갖는 감독학습(supervised learning) 방식에 의해 수행된다.

BP네트워크는 그림 3-1과 같이 세개 이상의 층(layer)구조로 이루어진다.

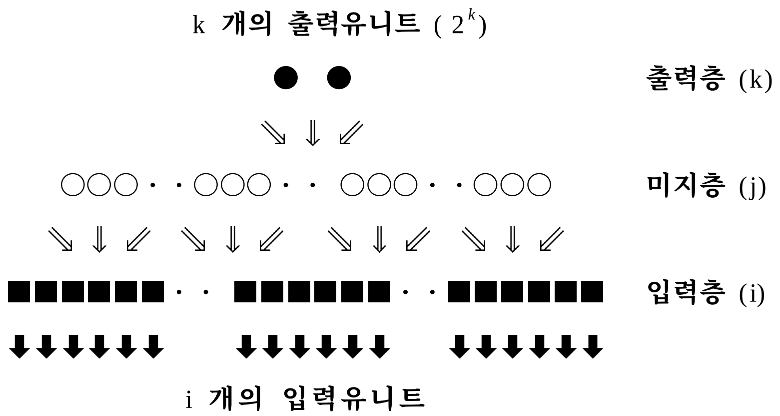


그림 3-1 BP모델의 구조.

아래쪽 층은 입력층, 가장 위쪽을 출력층이라고 부르며 입력층과 중간층 사이를 미지층이라고 부른다. 각 층은 뉴우런(neuron)에 해당하는 다수의 유니트로 구성되며 입력층의 각 유니트들은 외부 또는 독립적으로 어떤 자극입력을 통해 주어진 입력패턴 벡터의 각 요소를 나타낸다. 즉 하나의 패턴은 여러개의 입력유니트로 구성된다. 모든 입력의 크기는 보통 유사한 범위 내에서 정규화되는데 활성함수의 종류에 따라 달라진다.

시그모이드(sigmoid)형은 0에서 1사이의 값을, Hyperbolic Tangent형은 -1에서 1사이의 값으로 정규화 한다. 각 층의 유니트는 상위층의 모든 유니트로 연결된다. 입력층과 출력층의 구조를 정한후에는 미지층의 갯수와 유니트를 적정하게 설정해 주어야 한다. 아직까지 학습이 효율적으로 수행될 수 있는 최적의 층의 수와 유니트의 구성조건에 대한 연구는 발표되고 있지 않으며, 다만 경험적인 반복실험에 의존하고 있다.

BP 신경망의 각 유니트는 식 3-3과 같은 시그모이드(sigmoid) 형태의 활성함수를 적용시켰다. 따라서 학습이 진행되는 동안에 활성함수는 점근적으로 0과 1에 접근하며 학습목표값은 0과 1에 근접하는 값으로 조절해준다. 활성함수를 Tangent형태로 입력하면 학습 목표값의 범위는 -1에서 1 사이로 조절된다. 입력층의 각 유니트를 제외하고는 출력과 미지층 유니트에 대한 네트워크 입력은 선행층 유니트의 가중치 조합을 의미한다.

입력층의 유니트 i로 부터 미지층의 j 번째 유니트로의 네트워크 입력은 다음식에 의해 정의된다.

$$net_j = \sum w_{ji}\, o_i \qquad (3\text{-}1)$$

여기서, w_{ji}는 先行層의 유니트 i에서 다음층의 유니트 j로의 결합가중치를 의미하며 o_i는 유니트 i 에서의 출력을 나타낸다. 초기에 모든 결합가중치는 가중치 대칭성에 의해 야기되는 학습지연(learning pathology)작용을 피하기 위해서 아주 작은 임의의 값으로 초기화해야 한다. 따라서 초기의 모든 입력변수에 대한 가중치를 0으로 초기화 하였다.

다음으로, 유니트 j의 출력은 i층에에서 산출되는 출력으로 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$o_j = f(net_j) \tag{3-2}$$

여기서, f는 활성함수를 나타내며 본 연구에서 적용한 시그모이드 형태의 출력 o_j는 다음식과 같다.

$$o_j = \frac{1}{1 + \exp[-(net_j + \theta_j)]} \tag{3-3}$$

여기서, θ_j는 뉴우런 j의 Bias를 나타내며 경계값(threshold)의 의미를 갖는다. Bias의 역할은 학습의 수렴속도를 제어하는 데 사용되며 출력의 범위는 $0 \le o_j \le 1$를 유지한다.

입력 유니트들은 Bias를 가지고 있지 않으므로 실제로 프로그램을 설계할 때 각 층에 출력에다 가상 유니트(dummy unit) 한개를 설정해 주어야 한다. 네트워크의 학습은 반복적으로 수행하며 학습의 종료조건은 최대학습수와 전체 학습오차의 한계를 명시함으로써 나타낸다. 원하는 학습목표값과의 비교를 통해 구해지는 개개의 출력유니트 오차는 네트워크를 통해 역방향으로 전파되며 결합가중치를 수정하는데 이용된다. 주어진 입력패턴에 대해서 전체의 학습오차는 다음과 같이 구해진다.

$$E = \sum_p E_p = \frac{1}{2} \sum_p \sum_j (t_{pj} - o_{pj})^2 \tag{3-4}$$

여기서 p는 하나의 입력 샘플패턴을 나타내며, t_{pj}는 학습목표값을 그리고 o_{pj}는 네트워크 출력을 나타낸다. BP 알고리즘의 학습원리는 Gradient Descent 방법을 기초로 하고 있으며, 가중치의 변경은 전체 학습오차를 출력도함수의 반대 방향에 비례하도록 수정하는 방법이다. 여기서 전체합은 모든 출력 노드 j에 대하여 수행되며, Oj는 주어진 입력벡터에 대한 출력 Uj의 이상적 또는 목표값이다.

주어진 입력 패턴 p에 대해 각 유니트로 부터 출력이 계산되면 네트워크 파라메터 공간상의 오차의 진행방향은 네트워크의 가중치와 Bias에 대한 오차신호 E_p의 편미분에 의해 결정된다. .

$$\frac{-\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \sum_p \delta_{pj}\, O_{pi} \qquad (3\text{-}5)$$

$$\frac{-\partial E_p}{\partial \theta_j} = \sum_p \delta_{pj} \qquad (3\text{-}6)$$

여기서 δ_{pj}는 윗 식에서 다음과 같이 고쳐 쓸수 있다.

$$\delta_{pj} = \frac{-\partial E_p}{\partial net_{pj}} \qquad (3\text{-}7)$$

δ_{pj} 를 chain rule에 의해 정리하면

$$\delta_{pj} = \frac{-\partial E_p}{\partial o_{pj}} \cdot \frac{-\partial o_{pj}}{\partial net_{pj}} \qquad (3\text{-}8)$$

과 같다. 그리고 출력비는 (3-8)식에 의해 고쳐쓸수 있다.

$$\frac{-\partial o_{pj}}{\partial net_{pj}} = (1 - o_{pj}) \cdot o_{pj} \qquad (3\text{-}9)$$

그리고 j를 출력층 노드라고 하면 오차비는 다음과 같다.

$$\frac{-\partial E_p}{\partial o_{pj}} = \frac{-\partial}{\partial o_{pj}} \cdot \sum \frac{1}{2}(t_{pj} - o_{pj})^2 = -(t_{pj} - o_{pj}) \qquad (3\text{-}10)$$

내부 노드 j에 대해서도 마찬가지로 정리하면,

$$\frac{-\partial E_p}{\partial o_{pj}} = \sum_k \frac{\partial E_p}{\partial net_{pk}} \cdot \frac{\partial net_{pk}}{o_{pj}} = -\sum \delta_{pk} . w_{kj} \qquad (3\text{-}11)$$

으로 쓸수 있다. δ_{pj}는 출력(output layer) 및 미지층(hidden layer)에 대해 각각 계산된다. 출력층의 δ_{pj}는 다음과 같다.

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) \cdot (1 - o_{pj}) \cdot o_{pj} \qquad (3\text{-}12)$$

(3-1) 식을 이용해서 미지층에 대한 δ_{pj}를 구하면 다음과 같다.

$$\delta_{pj} = (1 - o_{pj}) \cdot o_{pj} - \sum \delta_{pk} \cdot w_{kj} \qquad (3\text{-}13)$$

따라서, 가중치 w_{ji}와 Bias θ_j는

$$\Delta w_{ji} = \eta \sum \delta_{pj} \cdot o_{pi} + \alpha \cdot w_{ji}(n - 1) \qquad (3\text{-}14)$$

$$\Delta \theta_j = \eta \sum \delta_{pj} + \alpha \cdot \theta_j(n - 1) \qquad (3\text{-}15)$$

과 같이 쓸수 있다. 여기서 n은 각 입력패턴 p에 대한 총 실행 학습수를, η는 학습율(learning rate)을 나타내는데 학습율이 크면 가중치 수정량이 증가하므로 학습중에 네트워크의 진동(oscillation)현상을 일으킨다. 진동이 없는 상태로 학습성능을 증가시키기 위해서 다음과 같이 모멘텀(momentum) α를 추가함으로써 학습을 수행하였다(Rumelhart,1986).

모멘텀 α는 이전 층의 가중치 변화가 현재의 진행방향으로 유도하는 역할을 하는 상수이다.

역전달 네트워크의 학습은 순방향(forward)과 역방향(backward)의 두 단계로 이루어진다. 순방향 학습에서는 입출력쌍의 조합이 주어지고 네트워크의 출력을 산출한다. 역방향 학습은 출력층에서 구한 오차신호를 역방향으로 전달하는 기능을 한다. 네트워크의 학습성능을 개선시키기 위한 연구로는 학습효율, 적절한 네트워크의 구조, 네트워크의 마비상태(network pathology), 국부최소점 문제(local minimum problem), 출력결과의 후처리 등과 관련하여 활발히 진행중이다.

제 3절. 버섯의 전후면 자세 판정

인간은 입력된 시각영상으로부터 특징점을 추출하여 형상을 분류하고 인식하거나 영상의 특징을 명확하게 추출함이 없이 영상자체의 전체 특성을 가지고 형상을 인식한다. 마찬가지로 기계시각의 경우도, 영상의 세부 특징점을 추출하지 않고 이치(binary)영상과 다치(gray)영상을 회로망에 입력으로 하는 전후면 판정이 가능하다.

입력영상의 특징점을 추출함이 없이 형상을 인식할 수 있다면, 컴퓨터시각을 이용한 대개의 인식 시스템이 문제점으로 갖는 특징점 추출을 위한 복잡한 알고리즘을 생략할 수 있고 처리시간의 절감을 통한 실시간 형상인식을 실현시킬 수 있어 그 효과는 매우 크리라 본다. 특히 생물자원을 다루는 농수축산 분야의 작업은 시각정보를 정밀한 계측 못지않게 대략적이지만 안정적으로 형상을 인식하고 분류하는 것이 대단히 중요하다.

카메라로부터 입력되는 다치영상을 혼합형이치화에 의하여 변환한 이치영상과 카메라로부터 입력되는 원래의 다치영상을 직접 회로망에 입력시켜 전후면 인식을 수행하도록 하였다. 혼합형이치화에 의하여 변환된 이치영상의 경우, 대상체가 갖는 정보가 다치영상에 비해 줄어드는 단점이 있고 혼합형이치화 알고리즘의 결과에 따라 대상체의 정보가 왜곡될 수 있는 단점이 있다.

다.

카메라 입력 영상을 혼합형이치화를 수행하여 얻은 이치(binary)영상을 이용한 회로망 학습을 수행하였는데 회로망의 입력구조는 그림 3-26과 같이 가로와 세로를 10×10으로 분할하여 각 노드의 평균값을 0과 1사이의 값으로 정규화하여 학습을 수행하였다. 회로망의 구조는 입력층, 미지층, 출력층을 1개씩 선정하였으며 각 층의 유니트의 수는 100, 20, 1로 하였으며 학습조건은 표 3-9에 나타냈다. 여기서 출력층 유니트 O1가 0.9이면 전면, 0.1 이면 후면을 의미한다.

20개의 버섯을 이용한 회로망의 학습결과는 100%의 학습율을 나타냈다. 미지 버섯에 대한 회로망의 인식성능을 판별하기 위해 학습에 사용하지 않은 버섯 샘플 60개를 이용한 성능실험을 실시하였다.

60개의 검증용 버섯도 마찬가지로 100개의 입력노드를 설정하여 각 노드의

평균 밝기를 입력하여 판정하였다. 학습결과는 60개의 미학습 버섯의 입력에 대해 100%의 인식율을 나타냈다.

학습은 60개의 버섯의 다치(gray)영상을 가지고 수행하였고 학습조건은 표 3-27에 나타냈다. 100개의 격자로 이루어진 사각형 회로망 노드를 가지고 회로망의 미지 및 출력층의 처리요소수는 각각 18과 1로 동일하게 설정하였고 모멘텀계수(α)는 0.5, 학습율(ζ)은 0.1 그리고 전체 시스템의 최대 허용오차는 0.0001로 설정하였다.

다치영상의 경우 조명에 따라 영상전체의 밝기가 변화하므로 보정계수 K를 구하였다. 보정계수 K는 측정윈도우의 평균화소 밝기를 산출한 후, 측정 초기에 설정한 밝기에 준하여 입력영상의 밝기를 비례적으로 곱한값으로서 보다 안정적인 데이터 측정이 가능하다. 전후면 판정은 먼저 학습에 사용된 60개의 샘플을 다시 영상처리를 통하여 새롭게 데이타를 입력 받아 인식율 평가를 수행하였으며 이때는 100%의 전후면 인식결과를 나타냈다.

또한 학습의 일반화 효과에 의한 인식능을 시험하기 위해 학습에 사용되지 않은 버섯 60개에 대해 전후면 인식실험을 수행하였다. 테스트 버섯은 전면과 후면을 번갈아 가면서 측정하였으며 인식결과는 학습된 버섯과 마찬가지로 100%의 전후면 인식결과를 나타냈다.

제4절 버섯의 꼭지부 위치 판정

버섯의 꼭지부는 일정한 모양을 하고 있지 않으며 내피의 중심으로부터 바깥으로 돌출된 크기와 형태가 수확시 꼭지부의 절단상태 및 건조과정중 변형에 따라 다양한 외형 특성을 가지게 된다. 표고 갓의 크기에 대한 영상정보 추출시 꼭지부위와 갓과의 분할이 필수적으로 요구된다. 특히 갓의 크기와 무늬형상, 갓 내피의 상태 및 말린모양 등의 특징을 추출하여 형상을 인식하는 경우는 이들 꼭지부가 갓의 일부로 오인되는 가능성이 있으므로 이를 방지하여야 한다.

돌출 꼭지부의 위치는 입력영상이 전면인지 후면인지에 상관없이 검출이 가능하며, 버섯 후면 영상의 경우 잘라진 꼭지가 내피 중심으로부터 대개는 어느 한쪽으로 치우쳐 있으므로 끝단의 말린양을 측정하고 내피의 상태를 검색하기

위해서는 꼭지부가 있는 영역은 반드시 검색 영역에서 제외시켜야 정밀한 측정을 수행할수 있다. 이를 위해 버섯 후면영상으로 부터 꼭지부의 위치를 인식할 수 있도록 신경회로망에 의한 학습 및 인식방법에 대한 연구를 수행하였다.

꼭지부 인식은 다음과 같이 세가지 방법에 의해 수행되었다.

① 특징점 추출에 의한 판별

② 신경회로망에 의한 이치 및 다치영상 인식(전면)

③ 신경회로망에 의한 이치 및 다치영상 인식(후면)

1. 특징점 추출에 의한 인식

기하학적 특징에 의한 꼭지부 위치 인식은 2-4-5절의 제거 알고리즘을 이용하였다. 꼭지부의 제거성능을 시험하기 위해서 모두 50개의 버섯을 영상처리를 통하여 실험한 결과 5개의 버섯에 대해 잘못 인식을 하였으며, 90%의 인식율을 나타냈다. 돌출 꼭지부가 있는 경우는 모두 인식하였으나 돌출 꼭지부는 없으나 갓의 모양이 비정상적으로 불규칙한 버섯에 대해서 꼭지부로 오인되어 꼭지부가 제거되는 결과를 나타냈다.

2. 회로망을 이용한 인식(전면영상)

신경회로망 학습은 버섯영상 전체가 포함되는 사각형으로부터 가로와 세로 각각 10개씩 도합 100개 격자를 구성하여 입력시키는 구조로 학습을 수행하였으며, 표고 전후면 인식에서와 마찬가지로 각 노드의 평균밝기를 0에서 1사이의 값으로 정규화하여 입력하였다.

학습은 버섯을 45°간격으로 회전시켜 가면서 측정하여 총 50개의 학습패턴을 가지고 수행하였다. 출력은 돌출한 꼭지부의 위치를 45°간격의 8분면으로 나누어 출력토록 하였고 그리고 꼭지부가 없는것을 합하여 모두 9개의 출력을 산출하도록 4개의 출력유니트를 설정하였다. 미지층의 처리요소는 15개로 하였고 모멘텀 α는 0.7, 학습율 ζ는 0.4 그리고 전체 시스템의 정규 허용오차는 0.000001로 설정하였다. 회로망의 출력 O_{net}는 출력층의 4개 처리요소의 출력조

합에 의해 설정하였다. O1은 돌출 꼭지부의 유무를 나타내며 0.9는 꼭지부가 있는 경우를 나타내며 0.1은 존재하지 않는 상태를 나타낸다. 그리고 O2, O3, O4이 (0,0,0)이면 ↑방향, (0,0,1)은 ↗방향, (0,1,0)은 →방향, (0,1,1)은 ↘방향, (1,0,0)은 ↓방향, (1,0,1)은 ↙방향, (1,1,0)은 ←방향, (1,1,1)은 ↖방향을 의미한다.

$$O_{net} = [O_1, O_2, O_3, O_4]$$

회로망의 구조와 표고 영상의 입력영역은 그림 3-28에 나타냈다. 50개의 표고 입력영상 샘플 중에서 32개는 꼭지부가 존재하는 것을 사용하였고 나머지 18개는 꼭지부가 없는 것을 사용하였다. 50개 버섯을 학습한 후에 학습에 사용된 버섯에 대한 인식 실험결과는 100%로 나타났으며 미지입력에 대한 회로망의 일반화 효과를 檢證하기 위해서 未學習된 버섯 영상 50개를 입력한 결과, 4개를 제외하고 92%의 인식 결과를 보였다. 오인식된 버섯의 경우, 갓과 돌출 꼭지부의 형상이 매우 비정상적인 애매한 형상을 가지고 있었다.

다치영상에 대한 학습도 100개 그리드 입력을 가지고 수행하였으며, 표고 전후면 인식에서와 마찬가지로 각 격자의 평균밝기를 0에서 1사이의 값으로 변환하여 회로망에 입력하였다. 학습은 버섯을 45° 간격으로 회전시켜 두가지 패턴의 입력구조에 대해 총 50개의 학습패턴을 가지고 수행하였다.

출력은 돌출한 꼭지부의 위치를 8분면으로 나누어 출력토록 하였고 돌출 꼭지부가 없는것을 합하여 모두 9개의 다른 출력을 할 수 있도록 4개의 처리요소로서 출력층을 구성하였다. 미지층의 처리요소는 15개로 하였고 모멘텀 α는 0.6, 학습율 ζ는 0.1 그리고 전체 시스템의 정규 허용오차는 0.00001로 설정하였다. 그리고 학습조건은 표 3-13에 나타냈다.

회로망의 출력 O는 앞에서의 이치영상에 대한 학습과 마찬가지로 출력층을 0.1과 0.9의 조합에 의해 설정하였으며 처음의 O1은 돌출 꼭지부의 유무를, 그리고 O2, O3, O4이 (0,0,0)이면 ↑방향, (0,0,1)은 ↗방향, (0,1,0)은 →방향, (0,1,1)은 ↘방향, (1,0,0)은 ↓방향, (1,0,1)은 ↙방향, (1,1,0)은 ←방향, (1,1,1)은 ↖방향을 의미한다.

50개의 표고 입력영상 샘플 중에서 32개는 꼭지부가 존재하는 것을 사용하였고 나머지 18개는 꼭지부가 없는 것을 사용하였다. 50개 버섯을 학습한 후에 학습에 사용된 버섯에 대한 인식 실험결과는 100%로 나타났으며 미지입력에 대

한 회로망의 일반화 효과를 검증하기 위해서 미학습된 버섯영상 50개를 입력한 결과, 3개를 제외하고 모두 성공적으로 인식하여 94%의 인식 결과를 나타냈다. 오인식된 버섯의 경우, 갓과 돌출 꼭지부의 형상이 매우 비정상적인 애매한 형상을 가지고 있었다.

3. 회로망을 이용한 인식(후면영상)

회로망 학습은 100개의 입력노드를 설정하여 회로망 학습을 수행하였다. 회로망의 입력층, 미지층 및 출력층 유니트는 100, 30, 4로 하였다. 학습은 버섯을 45° 간격으로 회전시켜 50개의 학습패턴을 가지고 하였으며 미지 및 출력층의 처리요소는 사각형 입력구조에 대하여 각각 30개와 4개로 하였고 모멘텀 α는 0.6, 학습율 ζ는 0.3 그리고 전체 시스템의 허용오차는 0.0001로 설정하였다.

50개의 입력 샘플중에서 32개는 돌출 꼭지부가 존재하는 것을 그리고 나머지 18개는 꼭지부가 존재하지 않는 버섯을 사용하였다. 회로망의 출력 O_{net}는 앞에서의 이치영상에 대한 학습과 마찬가지로 출력층을 0.1과 0.9의 조합에 의해 설정하였으며 처음의 O_1은 돌출 꼭지부의 유무를, 그리고 O_2, O_3, O_4이 (0,0,0)이면 ↑방향, (0,0,1)은 ↗방향, (0,1,0)은 →방향, (0,1,1)은 ↘방향, (1,0,0)은 ↓방향, (1,0,1)은 ↙방향, (1,1,0)은 ←방향, (1,1,1)은 ↖방향을 나타내며 꼭지가 없는 것은 (0.9,0.1,0.1,0.1)로 설정하였다.

회로망의 학습은 반복수 9344회에 설정한 허용오차에 수렴하였으며 학습결과는 100%로 나타났으며, 미지입력에 대한 회로망의 일반화 효과를 또한 검증하기 위해서 미학습된 버섯영상 50개를 입력한 결과, 6개의 위치를 잘못 인식하여 88%의 인식율을 나타냈는데 오인식된 버섯의 꼭지 모양이 육안으로도 돌출유무를 구별하기 힘든 상태의 버섯이며 오인식된 4개의 버섯은 모두 꼭지부가 없는 버섯이 꼭지가 있는 버섯으로 인식되었다.

다치영상을 이용한 후면영상 꼭지부 인식을 위한 학습은 버섯을 45° 간격으로 회전시켜 100개의 학습패턴을 가지고 하였으며 미지 및 출력층의 처리요소는 사각형 입력구조에 대하여 각각 20개와 4개로 하였고 모멘텀 α는 0.4, 학습율 ζ는 0.1 그리고 전체 시스템의 허용오차는 0.001로 설정하였고 표 3-15에 학습

조건을 나타냈다.

100개의 입력샘플중에서 80개는 돌출 꼭지부가 존재하는 것을 그리고 나머지 20개는 꼭지부가 존재하지 않는 버섯을 사용하였다. 회로망의 출력 Onet는 앞에서의 이치영상에 대한 학습과 마찬가지로 출력층을 0.1과 0.9의 조합에 의해 설정하였으며 처음의 O1은 돌출 꼭지부의 유무를, 그리고 O2, O3, O4이 (0,0,0)이면 ↑방향, (0,0,1)은 ↗방향, (0,1,0)은 →방향, (0,1,1)은 ↘방향, (1,0,0)은 ↓방향, (1,0,1)은 ↙방향, (1,1,0)은 ←방향, (1,1,1)은 ↖방향을 나타내며 꼭지가 없는 것은 (0.9,0.1,0.1,0.1)로 설정하였다.

100개 버섯을 학습한 후에 학습에 사용된 버섯에 대한 회로망의 학습은 반복수 9,344회에 설정한 허용오차에 수렴하였으며 학습결과는 100%로 나타났으며, 미지입력에 대한 회로망의 일반화 효과를 또한 검증하기 위해서 미학습된 버섯영상 50개를 입력한 결과, 3개의 위치를 잘못 인식하여 94%의 인식율을 나타냈다.

제5절 등급판정 알고리즘

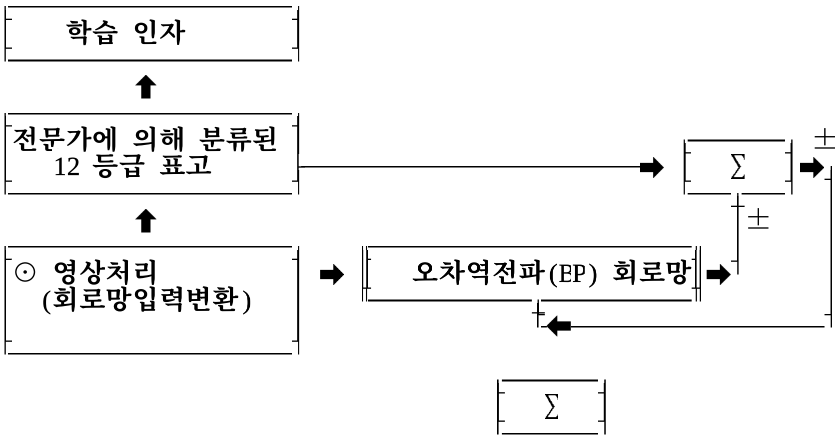
표고 등급별 신경회로망 학습 및 성능검색은 전문가에 의해 분류된 샘플을 이용하였다. 1차 시작기는 일본의 16개 출하기준을 참고하여 12등급에 대해 판정을 수행하여 시작기를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 새로운 형태의 시작기는 수출업체의 등급기준을 참고하여 20개 등급을 처리하도록 하였다.

기존의 등급판정은 전면영상에 대해 4등급 후면영상에 대해 8등급을 판정하도록 하였으나 새로 개발한 시작기에서는 전면 및 후면영상의 측정 데이터를 모두 이용하였다.

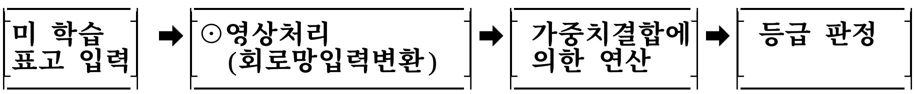
학습은 특히 영상이치화 및 영상분할등의 전처리 과정에서 발생할수 있는 입력 영상정보의 손실 및 왜곡을 방지하기 위해 카메라에 일차적으로 입력되는 다치(grayl)영상만을 이용하였다.

그림 3-2는 BP 모델을 이용한 학습 및 인식과정을나타내는 기능 블럭도이다. 학습과정은 샘플별로 분류된 표고의 주요 특징점을 컴퓨터시각에 의해 측정한 후 회로망에 입력하여 출력가중치를 조정하는 과정을 의미하며, 인식과정은 저

장된 출력가중치를 조합하여 새로운 출력을 산출하는 과정으로 요약된다.



(a) 학습과정



(b) 인식과정

그림 3-2 회로망에 의한 학습 및 인식과정.

1. 1차 시작기용 등급판정

등급분류는 화고 대(소), 구름화고 대(소), 동고 대(중,소), 향고 대(소), 향신 대(소) 및 격외로 분류하였다.

학습은 먼저, 버섯의 도심점을 기준으로 76개의 격자(grid)의 마스크를 설정하여 각 격자의 평균 화소밝기(intensity value)를 회로망에 입력하여 수행하였다. 학습에 사용된 표고는 총 12등급으로 학습형태는 입력구조에 따라 다음과 같이 네가지 방법으로 구분하여 수행하였다.

첫째로 화고류인 화고 大(小)와 구름화고 大(小)의 4가지 등급은 전면 다치영상을 회로망에 입력하였고, 둘째로 화고 이외의 나머지 등급인, 동고 大(中,小), 향고 大(小), 향신 大(小), 그리고 格外에 해당되는 8개 등급은 후면 다치영상만을 가지고 학습을 수행하였다. 셋째로 화고류 4등급은 전면 다치영상만을, 그리고 나머지 8개 등급에 대해서는 후면 다치영상만을 입력으로 하여 총 12등급에

대하여 학습을 수행하였다. 넷째로 12등급 전체 버섯의 전후면영상을 입력으로 하는 학습을 수행하였다.

가. 학습방법 1 : 전면영상에 의한 4 등급판정

화고류 4종류인 화고 대(소),구름화고 대(소)를 각 10개씩 선정하여 모두 40개의 버섯을 가지고 256개의 밝기등급을 가진 다치영상을 직접 회로망에 입력하였다. 회로망의 입력유니트는 76개의 분할영역 데이터와 버섯의 크기를 나타내는 수평과 수직의 버섯의 길이를 더하여 78개이다. 미지층과 출력층 유니트는 5와 2로 하였다. 출력층 유니트 O_1, O_2가 0.1, 0.1이면 화고 大, 0.1과 0.9이면 화고 小, 0.9와 0.1이면 구름화고 大, 0.9와 0.9이면 구름화고 小를 의미한다.

학습은 반복수가 9239회에 이르러 설정한 최대 허용오차인 0.000001에 수렴하였다. 미학습 버섯을 등급별로 20개씩 선정하여 평가한 결과 80개의 검증 버섯중에서 5개의 버섯의 등급을 오인식하여 93.8%의 인식율을 나타냈다.

나. 학습방법 2 : 후면영상에 의한 8 등급판정

동고 대(중,소), 향고 대(소), 향신 대(소), 격외의 8개 등급을 각 10개씩 선정하여 모두 80개의 샘플버섯을 가지고 BP 회로망에 의한 학습 및 등급판정 실험을 하였다. 여기서 입력영상은 앞에서와 같이 76개의 입력구조를 가지는 마스크를 설정하였고 256개의 밝기 농도를 가진 다치영상을 직접 회로망에 입력하도록 하였다.

회로망의 구조는 입력층의 유니트를 76개의 입력 마스크 데이터와 버섯의 크기를 나타내는 수평과 수직방향의 길이를 입력하여 모두 78개로 설정하였으며 未知層은 5개의 유니트를 가진 1개의 층으로 설정하였다. 그리고 出力層은 3개의 유니트로 하였다.

회로망의 일반화효과에 의한 인식성능을 판정하기 위해서 학습에 사용하지 않은 未學習 버섯을 등급별로 20개씩 선정하여 평가한 결과 160개의 검증버섯중에서 13개의 버섯의 등급을 오인식하여 91.9%의 인식율을 나타냈다.

학습은 반복수가 23434회에 이르러 설정한 최대 허용오차인 0.00001에 수렴하였다.

다. 학습방법 3 : 전후면 영상에 의한 12 등급판정

총 12등급의 표고를 등급별로 각각 10개씩을 학습 샘플로 선정하여 모두 120개를 이용하여 BP 회로망에 의한 학습 및 등급판정 실험을 실시하였다. 여기서 입력영상은 76개의 입력구조를 가지는 마스크를 설정하였고 256개의 밝기 농도를 가진 다치(gray)영상을 직접 회로망에 입력하도록 하였으며 12등급 표고 전면 및 후면영상을 모두 측정하여 학습을 수행하였다.

회로망의 구조는 그림 3-34에 나타낸 바와 같이 입력층의 유니트를 전후면 각각 76개의 마스크 입력 평균화소밝기와 버섯의 크기를 나타내는 수평과 수직 방향의 버섯의 길이를 입력하여 모두 154개로 하였으며 미지층은 20개의 유니트를 가진 1개의 층으로 하였다.

학습은 최대반복수인 30000회에 이르러 설정한 최대 허용오차인 0.00001에는 수렴하지 못하고 0.0027543에 머물렀으나 학습율은 100%로 나타났다. 회로망의 일반화효과에 의한 인식성능을 판정하기 위해서 학습에 사용하지 않은 미학습 버섯을 등급별로 20개씩 선정하여 평가한 결과 240개의 檢證 버섯중에서 23개의 버섯의 등급을 오인식하여 90.4%의 인식율을 나타냈다.

라. 학습방법 4 : 전면 또는 후면영상에 의한 12 등급판정

화고류(4 등급)의 경우는 전면영상을 비화고류(8등급)는 후면영상만을 가지고 학습을 수행하였다. 전면 또는 후면으로 나누어 학습을 수행한 이유는 표고의 경우 전문가에 의한 등급판정방법은 전후면에 걸친 선별인자를 모두 보고 있으며, 또한 앞에서 제시한 신경회로망에 의한 등급판정 방법이 모두 버섯의 전후면 영상을 특징점으로 필요하였기 때문에 등급판정 및 선별시스템의 구축시 버섯의 양면을 모두 측정해야 하는 필요성이 발생하므로 선별시스템의 구성이 복잡해지는 단점이 있기 때문이다. 그리고 화고류와 비화고류의 경우 육안으로 볼 때, 색상 및 무늬모양이 차이를 보이므로 전면 또는 후면만으로 등급판정의 가능성이 있기 때문에 회로망의 입력영상을 구분하여 학습을 수행하였다.

회로망의 구조는 입력층의 유니트를 76개의 데이터와 버섯의 크기를 나타내는 수평과 수직방향의 버섯의 길이를 입력하여 모두 78개로 설정하였으며 미지

층은 10개의 유니트를 가진 1개의 층으로 설정하였다. 그리고 출력층은 4개의 유니트로 설정하였다.

마. 알고리즘별 등급판정 결과

학습방법에 따른 등급판정 결과는 二値(binary)영상을 이용한 방식보다는 多値(gray)영상을 이용한 컴퓨터 학습이 優秀한 것으로 나타났다. 또한 표고 12등급을 모두 학습한 결과와 前面과 後面으로 나누어 4등급과 8등급으로 나누어 수행한 결과의 차이가 거의 없게 나타났다. 표 3-1은 학습방법에 따른 등급판정 성능을 나타낸다.

표 3-1 학습방법별 인식성능

학습 방법		No. of misrecognition (total)	Recognition Performance (%)
회로망 입력	1	5 (80)	93.8
	2	13 (160)	91.9
	3	23 (240)	90.4
	4	19 (240)	92.1

2. 수출용 선별기 개발을 위한 등급판정 모델 개발

수출용 등급선별을 위한 2차 시작기는 업체의 다양한 등급기준에 부합하기 위해서 등급의 수를 20개로 정하였다.

개발한 1차 시작기는 앞에서의 학습방법 4와 같이 전면 또는 후면영상에 대해 판정하도록 하였다. 전후면 판정을 통해 후면으로 판정된 버섯은 피드백되어 다시 영상측정부로 이동되고 전면영상중에서 4개의 등급이 아닌 버섯은 반전장치를 거쳐 버섯을 뒤집도록 하였다.

2차 시작기는 20개의 등급을 처리하므로 기존의 방법으로는 처리가 곤란하므로 새로운 등급판정 모델의 개발이 필요하다. 기구부보다는 판정소프트웨어의 안정성과 다 등급을 처리하기 위해서는 보다 많은 입력데

이타가 필요하므로 전면과 후면영상 데이터를 동시에 이용하도록 하였다.

기존의 영상처리 루틴은 이치화를 수행하여 도심을 구한후 회로망 입력영역을 설정하였으나 이치화를 통한 잡음성분에 의한 프로세싱의 장애를 극복하기 모든 처리과정을 다치영상(gray image)을 대상으로 수행하도록 하였다. 따라서 입력데이타를 산출하기 전에 버섯의 위치를 탐색하는 알고리즘이 필요하며 이를 바탕으로 세분화된 격자모양의 마스크를 설정하였다. 등급판정 과정은 그림3-3과 같다.

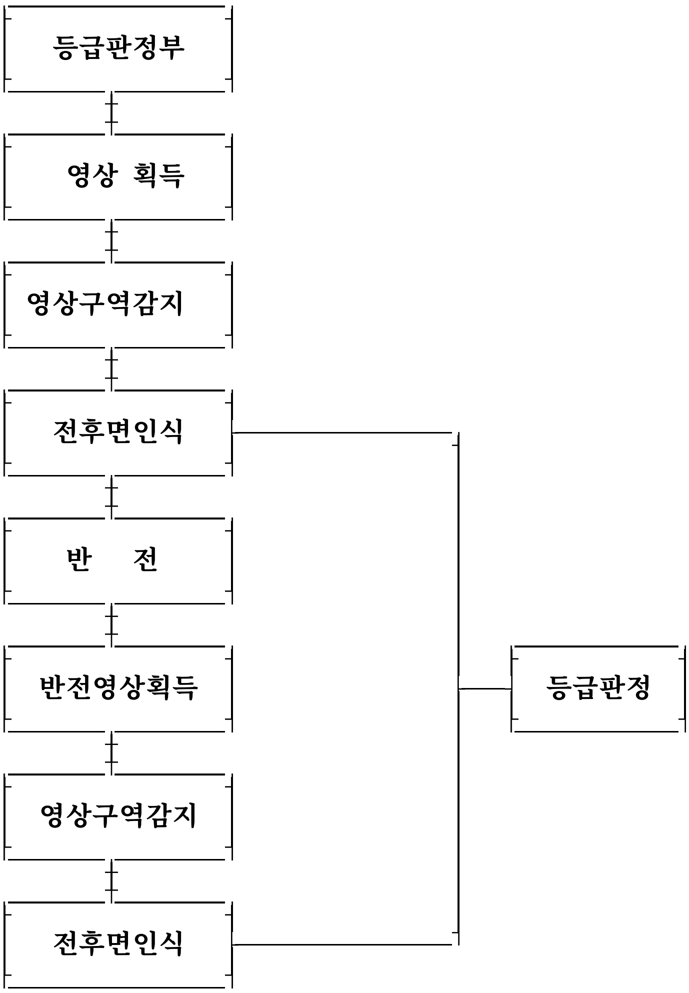


그림 3-3 등급판정과정.

가. 공시재료

수출용 선별기 개발을 위한 등급기준은 버섯수출업체의 출하기준을 참고로 하였다. 각 등급은 표3-2와 같다.

표3-2 수출용 선별기 개발을 위한 표고 등급.

항목	등급	항목	등급
M1	흑화향신 대	M11	향고 소
M2	동고 대	M12	향신 대
M3	흑화향신 중	M13	향신 중
M4	흑화동고 대	M14	향신 소
M5	흑화동고 중	M15	흑화향고 대
M6	흑화동고 소	M16	흑화향고 중
M7	동고 중	M17	흑화향고 소
M8	동고 소	M18	백화동고 소
M9	향고 대	M19	백화향신 소
M10	향고 중	M20	흑화향신 소

나. 영상 전처리

카메라의 측정범위는 상위컨베이어와 하위컨베이어를 모두 측정하도록 설정하였으며 측정에 앞서 초기에 한해 화소밝기 보정을 수행하도록 하였다.

버섯의 등급산출은 먼저 측정영역 1에서 배경과 버섯의 밝기의 차를 이용해 버섯의 수평 및 수직방향의 최대 및 최소가 되는 영상좌표를 산출하는 물체경계탐색을 수행한 후, 전후면 인식을 위한 사각형 데이터 입력 범위를 산출하도록 하였다. 측정영역 2에서는 상위컨베이어와 하위컨베이어 사이에 모터회전에 의한 반전기구를 통해 1차 측정된 버섯의 위치를 반전시켜 앞에서와 같은 방법으로 물체경계탐색과 전후면인식을 수행하고 측정대상의 크기인자와 8x8의 격자에 해당하는 평균화소밝기를 측정하였다.

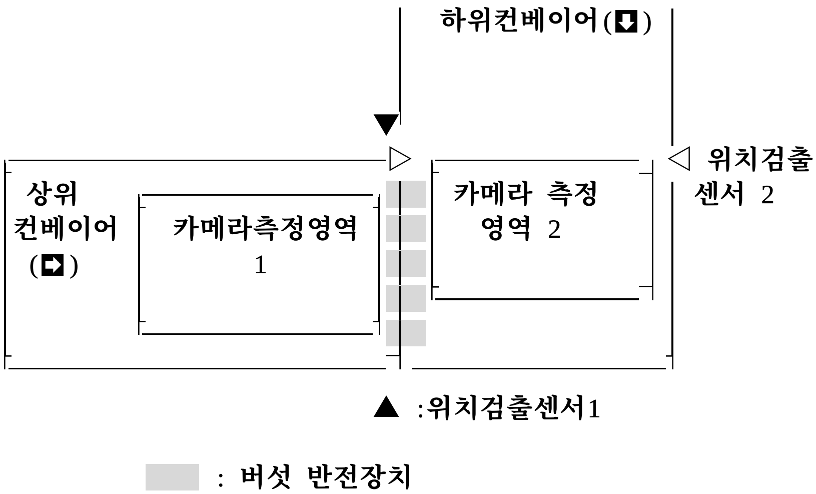


그림 3-4. 영상측정 윈도우.

다. 전후면 영상데이터를 이용한 등급판정 모델

20등급의 표고를 등급별로 각각 10개씩을 학습 샘플로 선정하여 모두 200개를 이용하여 BP 회로망에 의한 학습 및 등급판정 실험을 실시하였다. 여기서 입력영상은 64개의 입력구조를 가지는 마스크를 설정하였고 256개의 밝기 농도를 가진 多値영상을 직접 회로망에 입력하도록 하였으며 전면과 후면영상을 모두 측정하여 학습을 수행하였다.

회로망의 구조는 입력층의 유니트를 두 개의 64개의 유니트를 가진 전후면 영상 데이터와 버섯의 크기를 나타내는 X, Y, X*Y와 화소밝기 보정계수 K를 / 합하여 모두 132개의 입력유니트를 가진다. 미지층은 50개의 유니트를 가진 1개의 층으로 설정하였다. 그리고 출력층은 5개의 유니트로 설정하였다. 학습율과 모멘트는 각각 0.3으로 설정하였으며, 학습은 반복수가 1697회에 이르러 설정한 최대 허용오차인 0.001에 수렴하여 학습율이 100% 달성되었다.

회로망의 일반화효과에 의한 인식성능을 판정하기 위해서 학습에 사용하지 않은 미학습 버섯을 등급별로 20개씩 선정하여 평가한 결과 400개의 검증버섯중에서 46개를 다른 등급으로 판정하여 88.5%의 인식 성능을 나타냈다.

O_1 O_2 O_3 O_4 O_5

⬇　⬇　⬇　⬇　⬇

○　○　○　○　○　　**출력층** (5)

↗↑↖↗↑↖↗↑↖↗↑↖↗↑↖

○○○ · · ○○○ · · ○○○ · · ○○○　　**미지층** (50)

↗ ↑ ↖　↗ ↑ ↖　↗ ↑ ↖　↗ ↑ ↖

○○○○○○ · · ○○○○○○ · · ○○○○○○　**입력층** (132)

⬇⬇⬇⬇⬇⬇　⬇⬇⬇⬇⬇⬇　⬇⬇⬇⬇⬇⬇

전면영상데이타(64) + **후면영상데이타**(64) + **기타**(4)

그림 3- 5 **학습회로망의 구조**.

제4장 선별시스템 개발

제1절 1차 시작기

1. 시스템 개요

수출용 표고 등급선별을 위한 2차 시작기 1차로 제작한 표고선별기의 기능을 참고로 하여 성능을 개선하였다.

1차 시작기를 이용한 등급판정 결과에 따르면, 표고 양면을 모두 측정하여 얻은 등급판정 성능은 한쪽면만을 측정하여 판정한 결과와 차이점이 거의 없었다. 판정오차는 비교적 저가의 하위등급의 버섯에서 발생하였으므로 기구부 설계의 단순화와 선별시스템의 시간당 처리물량의 개선이라는 측면에서 보면, 전면 또는 후면영상 중에서 한면을 측정하여 등급판정 및 선별기능을 수행하도록 제작하였다.

그리고 각 면을 측정하기 위해 2대의 컴퓨터시각시스템을 사용하였기 때문에 처리시간은 단축되나 시스템 제어측면에서는 두 대의 컴퓨터와 제어기 사이의 동기화가 어려운 단점을 갖는다.

두대의 컴퓨터시각 시스템을 적용한 기존 선별기는 그림 4-1과 같다..

그림 4-1 표고 자동등급선별기(1차 시작기).

시각시스템(1)에서는 전후면판정을 수행한 후 전면으로 판정된 버섯에 한해 다치영상을 측정하고 후면인 경우는 공급호퍼로 복귀한다. 시각시스템(2)에서는 후면의 다치영상만을 측정한다. 시각시스템(1)에서는 화고 대(소)와 구름화고 大(소)의 4개 등급만을 분류하며, 나머지 동고 대(중,소),향고 대(소), 향신 대(소) 및 격외는 시각시스템(2I)에서 후면 다치영상을 측정한다.

표고 선별시스템의 호퍼에서 등급별 수납부까지의 동작과정을 요약하면 그림 4-2와 같다.

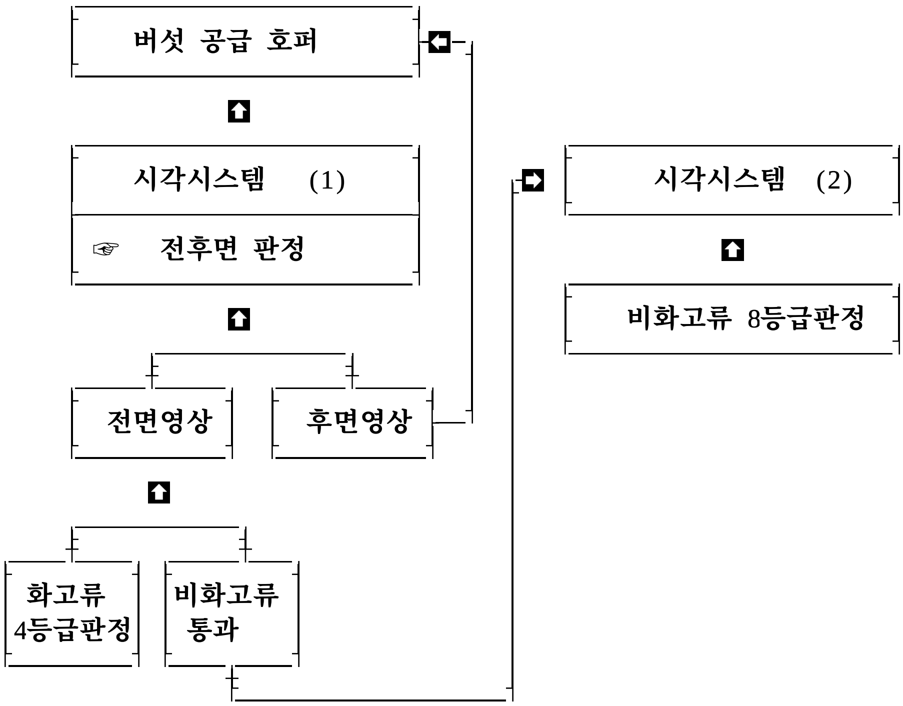


그림 4-2 1차 시작기의 동작순서.

1차 시작기는 I/O보드, PLC(programmable logic controller), 공압시스템으로 구성된다. 표 4-1에 제어유니트의 사양을 나타냈다.

표 4-1 제어유니트의 사양

제어 유니트	제작사명
광센서	Autonics Co. , BM3M-TDT1・2 , Korea
PLC	KMC R0 , Korea
I/O Board	GSI, MASTER K-50 Series, Korea
공압실린더	AXIOM Co. AX5008 , Taiwan
중간정지 실린더	Tanhay Pneumatics Co., Korea
공기 압축기	Korea Pubot Co., TRC-00-30-600, Korea
압축공기 건조기	Seowon Compressor Co. B980S/9.5cm
	SMC Co., IDF1C-1, Japan

버섯의 공급 및 수납을 위해 설치된 호퍼는 진동공급기(vibrating feeder)의 5㎝ 상부에 설치하여 진동 소음을 배제하였다.

컨베이어는 속도조절 콘트롤러가 내장된 DC 서보모터에 의해 구동되며 최대 속도는 15.6 cm/sec이다. 2조의 컴퓨터시각 판정부에 각각 1대의 컨베이어 벨트와 버섯 공급부에 설치된 폴리우레탄 재질의 캐리어(carrier)가 장착된 컨베이어를 포함해서 3대의 컨베이벨트가 설치되었다.

컴퓨터시각 판정부에 사용된 컨베이어의 크기는 길이 1.5m, 폭 0.2m이며 캐리어장착 컨베이어는 길이 1.7m,폭 0.15m로 제작하였다. 각 캐리어 사이의 간격과 높이는 각각 0.15m, 0.05m이며 모두 23개를 벨트표면에 부착하였다.

시스템의 외장 프레임은 조립이 용이한 알루미늄 합금 프로파일(profile)을 사용하였다.

2. 선별기 구조

선별기 구조는 공급부, 이송부, 분류부로 구성되며 전공압에 의해 구동된다. 선별시스템의 조립도는 그림 4-3에 나타냈다.

1. 카메라 2. 조명장치 3. PLC제어기 4. 1차 진동피더
5. 2차 진동피더 6. 1차 컨베이어 7. 2차 컨베이어 8.캐리어 컨베이어
9. 10. 버섯 수납 장치 10. 피드백실린더

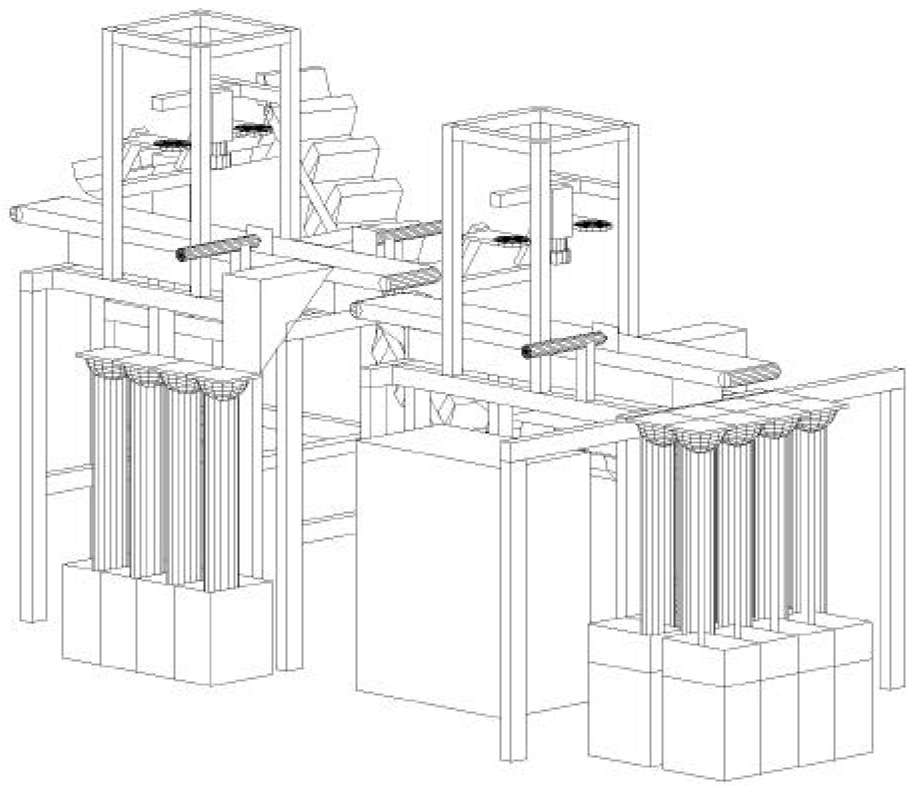


그림 4-3 1차 시작기의 조립도.

가. 공급 및 이송 - 시각시스템 (1)

진동피더로 부터 이송되는 버섯은 시각시스템(1)의 컨베이어로 공급된다. 컨베이어의 중앙에 버섯이 위치하여 카메라의 측정이 용이하게 하기 위해 상부에서 볼때 (╲ /)모양의 안내판을 부착하였다. 그림 3-8은 캐리어가 부착된 컨베이어에서 이송된 버섯이 2차 진동공급기를 통해 시각시스템(I)으로 이송되는 과정과 안내판이 설치된 상태를 보여준다.

전면영상을 측정하여 등급을 판정하는 시각시스템(1)은 컨베이어, 안내판, 카메라, 전공압구동부, 후면으로 판정된 버섯을 호퍼로 환원하는 백피딩(back feeding)부, 수납부 및 작동상태를 점검하는 센서로 구성된다.

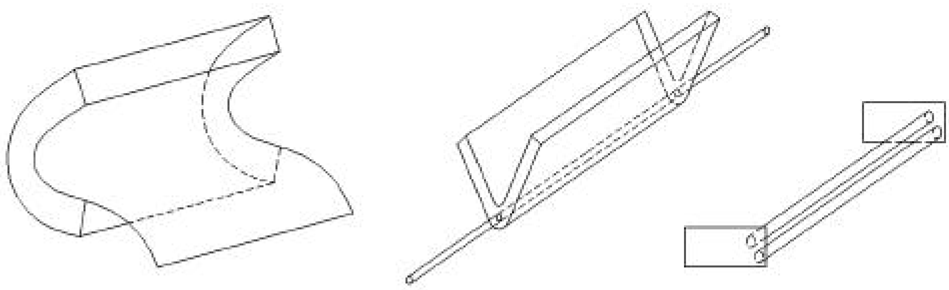
시각시스템(1)의 컨베이어 끝단에는 전면으로 인식됐으나 화고류 4종류에 해당되지 않아 등급판정이 되지않은 버섯을 반전시켜 시각시스템(2)로 이송하기 위하여 반전장치를 설치하였다.

컴퓨터시각 시스템에 의해 등급이 판정된 버섯은 공압실린더에 의해 배출되며, 중간정지실린더의 직선 왕복운동에 의해 수납버켓으로 배출된다. 수납버켓은 사각형의 철재 프레임에 고정시켰으며, 프레임의 하단은 테프론 재질의 롤러를 부착하였고 중간정지실린더에 연결하여 궤도면을 가진 지지프레임 위에서 직선 왕복운동이 기능하다.

나. 공급 및 이송 - 시각시스템 (2)

시각시스템(2)에서는 시각시스템(1)에서 전면으로 판정되었으나 등급판정이 유보된 채 반전장치를 통해 반전되어 이송되는 버섯들에 대한 등급판정을 수행한다. 여기서도 전후면 인식결과에 의해 반전이 되지않은 전면상태의 버섯은 백피딩 실린더에 의해 호퍼로 배출된다.

1차 컨베이어에서 2차 컨베이어로 이송될때 버섯의 反轉을 위해 먼저 그림 4-4와 같이 ⊃字형의 案內 슈트(Shoute)를 이용한 장치와 로타리 액츄에이터(Rotary actuator)에 의해 구동되는 V字형 안내판을 각각 제작 설치하여 실험하였다.



(a) ⊃-형 슈트 (b) 로타리엑츄에이터구동형 (c) 파이드 가이드형

(V-형 슈트)

그림 4-4 세가지 형태의 버섯 반전 기구.

표 4-2 세가지 형태의 버섯 반전장치의 성능비교

장치	⊃-형 슈트	V-형 슈트(로타리 엑츄에이터)	파이프 가이드형
반전 횟수 (total=100)	67	57.3	96.7

베출된 버섯은 배출 안내통을 통해 등급별 수납버켓으로 떨어진다. 컨베이어에 가까운 버켓부에 떨어지는 버섯을 자유낙하시키면 다른 열의 등급으로 판명된 버섯을 수납하기 위해 실린더로 구동되는 낙하위치 조절 안내판을 설치하였다. 버켓이 부착된 프레임은 중간정지실린더(brake cylinder)에 연결되어 왕복운동을 하는데 마그네틱 리드센서가 부착되어 이동 행정(stroke)을 3단계로 조절한다.

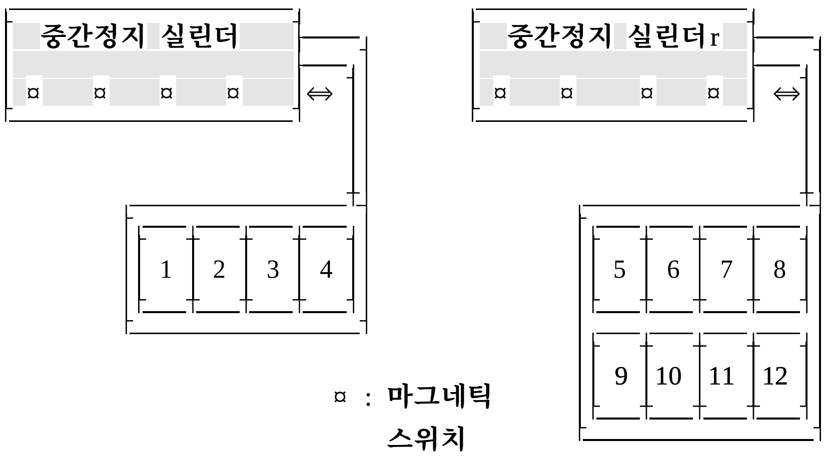
다. 공급량 조절

컴퓨터 처리시간과 노이즈에 의한 오동작을 피하기 위해 버섯은 일렬로 공급되어야 하는데 버섯 형상이 불규칙하고 중량이 작아 호퍼에 담겨있는 상태에서 이를 하나씩 자동으로 공급하는 어려움을 해결하기 위해서 2대의 진동공급기와 캐리어 부착 컨베이어를 조합한 형태로 버섯공급부를 제작하였다.

먼저 호퍼가 장착된 진동공급기를 1차로 설치하여 버섯을 일정한 양만큼 공급하도록 하였고 속도 조절이 가능한 캐리어 컨베이어를 통해 2차 진동공급기로 버섯을 이송하도록 하였다. 최종적으로 2차 진동공급기에 의해 배출된 버섯은 카메라가 설치된 이송컨베이어 위에 놓이게 된다.

라. 배출장치

수납버켓 프레임은 그림 4-5와 같이 사각형의 고정 프레임에 부착하였고 프레임의 하단에는 4개의 롤러를 설치하여 프레임과 실린더를 고정시킴으로서 좌우로 피스톤의 왕복운동에 의해 이동하도록 하였다.



(a) 시스템(1)　　　　(b) 시스템(2)

그림 4-5 버섯 수납 버켓장치의 구동.

3. 1차 시작기 제어부

카메라의 영상획득과 실린더의 버섯 배출 타이밍을 조절하기 위해 투수광형 광전센서(photo sensor)를 사용하였다. 광전센서의 동작신호 점검 및 컴퓨터에서 출력되는 등급판정 신호를 처리하기 위한 장치로는 광차단방식의 각각 8채널 디지탈 및 릴레이(relay)입출력 기능을 갖는 I/O보드(AXIOM co. AX-5008)를 컴퓨터에 장착하여 사용하였다. 공압실린더는 실린더에 장착한 자기형 리드스위치(magnetic lead switch)의 신호를 받아 솔레노이드 밸브를 개폐하여 구동된다.

컴퓨터가 등급을 판정하고 결과를 내보내는 중간에도 光센서 및 리드스위치의 동작을 확인하고 또한 판정결과를 어느 순간까지 유지하고 있어야 한다. 이를 위해서 별도의 메모리 장치가 필요하므로, 내부에 8비트의 프로세서와 ROM을 가지고 있어 동작순서의 프로그램이 가능한 PLC를 사용하였다.

영상처리를 통해 출력된 등급판정 결과는 비트단위로 디지탈 I/O 보드를 통해 PLC의 입력접점 신호로 입력된다. 버섯의 위치검출 광전스위치는 입력신호(ON)를 통해 카메라를 작동시키며 피드백이나 버섯분류통으로 버섯을 배출하기 위해 공압실린더의 구동 타이밍(timing)을 결정하는 광전센서와 실린더의 행정과 동작을 확인하기 위한 리드스위치 신호는 PLC의 접점신호가 된다. 그리고 PLC에서 출력되는 신호로는 실린더 구동을 위한 솔레노이드 밸브의 개폐신호이다.

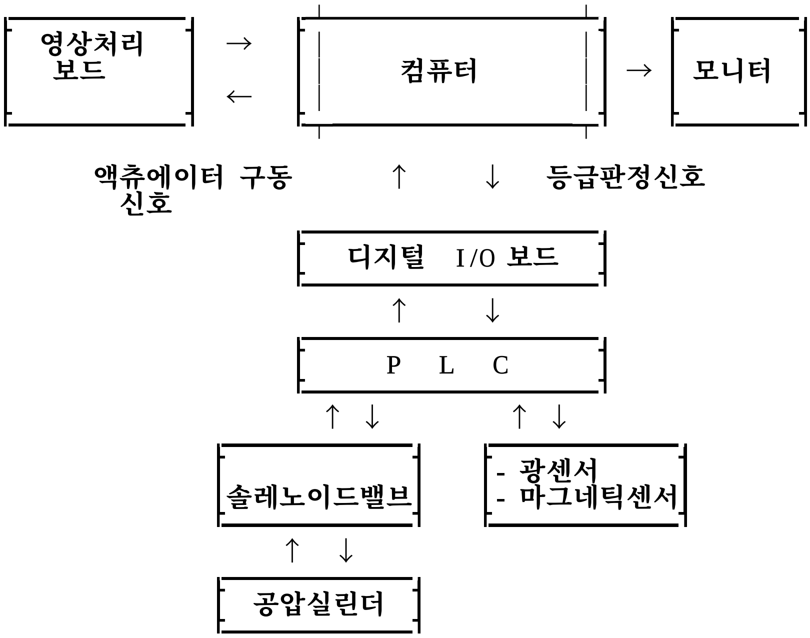


그림 4-6 제어 및 신호처리 기능도.

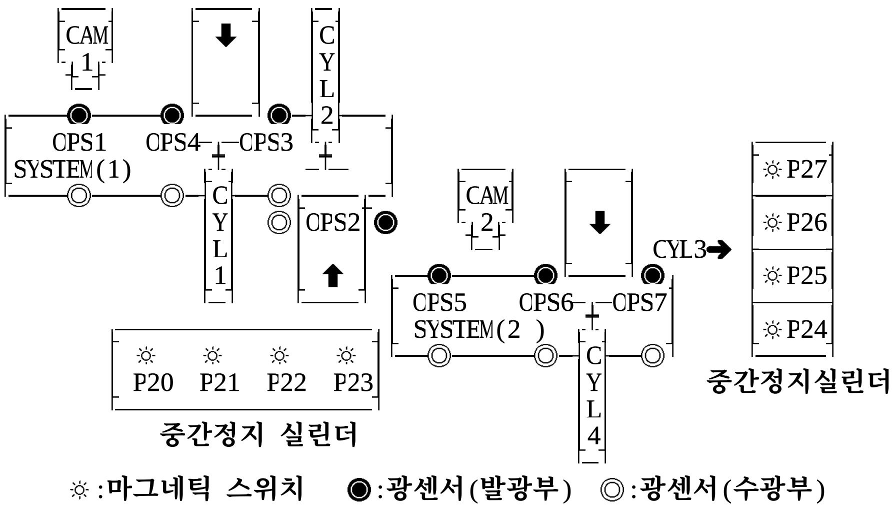


그림 4-7 센서 및 실린더의 부착위치.

영상처리 보드의 베이스 어드레스는 0x300으로 설정하였으며 이 공간의 메모리 충돌을 피하기 위해서 I/O보드의 베이스 어드레스를 0x200번지로 하였다. 각 채널의 입출력 비트상태는 컴퓨터 프로그램상에서 하나의 바이트의 값으로 얻을수 있으므로 논리합(logical AND)을 이용하면 입출력 상태를 쉽게 알수 있다. PLC의 입력접점인 I/O보드의 릴레이출력 채널인 Ch1에서 Ch4까지의 비트 연산은 Ch1을 하위비트로 하여 계산하였다.

컴퓨터의 슬롯(slot)에 장착한 I/O 보드는 그림 3-19와 같이 37핀의 외부 D 커넥터에 의해 PLC에 접속되어 신호를 입출력 받는다.

PLC제어기는 Master K-50 PLC본체, 전원공급부(AC 220V), 전원변압부(DC 24V), 정류기, 외부릴레이 및 터미널로 구성된다. 외부릴레이는 광전스위치에서 들어오는 신호의 전압출력을 얻기 위해 負荷로 사용하였다.

프로그램은 래더(ladder)와 니모닉(mneumonic) 방식으로 작성할 수 있으며 작성된 프로그램은 컴퓨터의 直列포트를 통해 PLC 메모리에 저장된다. 그림 4-8은 래더방식으로 작성된 PLC프로그램의 시퀀스 회로도를 보여주고 있으며 작동순서는 다음과 같다.

표 4-3 PLC 순차프로그램의 인덱스와 기능

노드	인덱스	기능
P00	SW1	emergency stop : push button main switch
P01	OPSW1	optic switch for image capture (vision system I)
P02	OPSW2	optic switch for hwago out
P03	OPSW3	optic switch for hwago out check
P04	OPSW4	optic switch for mushroom feed back
P05	OPSW5	optic switch for image capture (vision system II)
P06	OPSW6	optic switch for hyanggo out check
P07	OPSW7	optic switch for mushroom feed back check
P10	SWB1	cylinder #1 switch for backward direction
P11	SWF1	cylinder #1 switch for forward direction
P12	SWB2	cylinder #2 switch for backward direction
P13	SWF2	cylinder #2 switch for forward direction
P14	SWB3	cylinder #3 switch for backward direction
P15	SWF3	cylinder #3 switch for forward direction
P16	SWB4	cylinder #4 switch for backward direction
P17	SWF4	cylinder #4 switch for forward direction
P20	AS1	brake cylinder A switch 1 (4 grading)
P21	AS2	brake cylinder A switch 2
P22	AS3	brake cylinder A switch 3
P23	AS4	brake cylinder A switch 4
P24	BS1	brake cylinder B switch 1 (8 grading)
P25	BS2	brake cylinder B switch 2
P26	BS3	brake cylinder B switch 3
P27	BS4	brake cylinder B switch 4
P30	AA	I/O board 1 output 1
P31	AB	I/O board 1 output 2
P32	AC	I/O board 1 output 3
P33	AD	I/O board 1 output 4
P34	BA	I/O board 2 output 1
P35	BB	I/O board 2 output 2
P36	BC	I/O board 2 output 3
P37	BD	I/O board 2 output 4
P40	SOL1	solenoid valve for cylinder #1
P41	SOL2	solenoid valve for cylinder #2
P42	SOL3	solenoid valve for cylinder #3
P43	SOL4	solenoid valve for cylinder #4
P44	ASOLB	solenoid valve B for brake cylinder A
P45	ASOLF	solenoid valve A for brake cylinder A
P46	ABRK	brake solenoid valve for brake cylinder A(COMMON)
P47	ABRK	brake solenoid valve for brake cylinder A
P50	BSOLB	solenoid valve B for brake cylinder B
P51	BSOLF	solenoid valve A for brake cylinder B
P52	BBRK	brake solenoid valve for brake cylinder B(COMMON)
P53	BBRK	brake solenoid valve for brake cylinder B

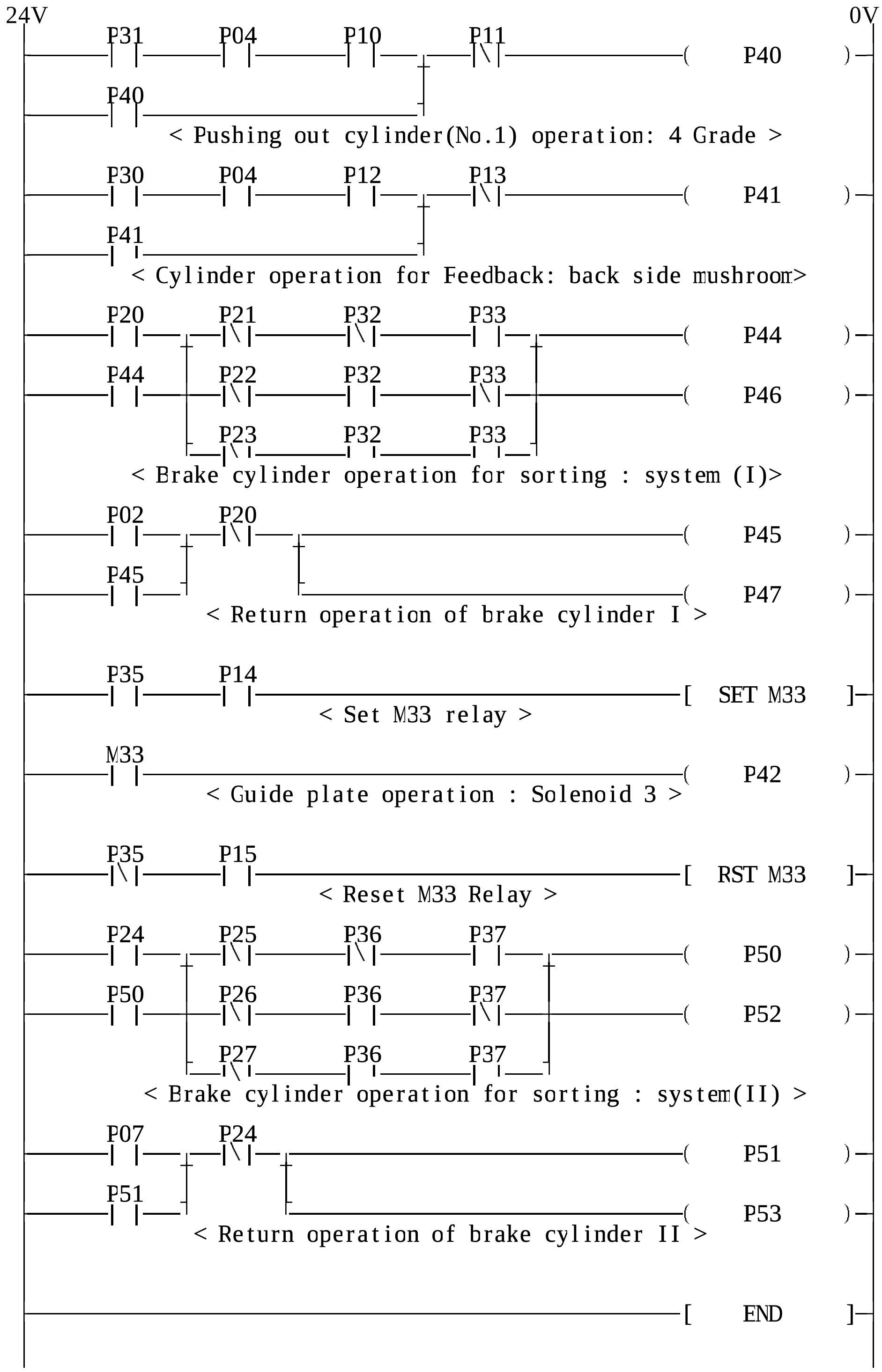


그림 4-8 PLC **제어 프로그램**.

4. 1차 시작기 선별성능 분석

1차 시작기에 의한 표고 등급판정은 전면 영상처리부와 후면 영상처리부로 개발하였다. 버섯공급은 카메라에 일정간격으로 연속적으로 통과되도록 하였으며 이송과 배출은 컨베이어와 전공압 시스템에 의해 원활하게 수행되었다. 전면과 후면 영상처리부 사이의 컨베이어 높이차를 7cm로 설정하여 버섯을 반전시켜 후면 영상처리부로 공급하는 반전장치는 구조가 간단하며 반전성능이 우수한 것으로 나타났다. 시스템의 제어부는 독립메모리를 가진 공압부 구동용 PLC, 컴퓨터와 PLC간의 인터페이스를 위한 I/O카드 및 위치검출 및 실린더 구동센서로 구성하였고 이를 제어하는 On-Line 프로그램의 성능은 우수하는 것으로 나타났다.

표고는 외형 특징이 다양하므로 실제로 특징점에 의한 등급판정은 알고리즘의 복잡성으로 인하여 실시간 처리에는 부적합한 방식으로 생각되며, 카메라에서 직접 입력된 다치영상을 이용한 컨베이어 이송 버섯에 대한 등급판정 결과는 학습된 표고와 미학습된 표고에 대해 각각 93.3%와 88.3%의 인식율을 나타냈다. 따라서, 다치영상을 이용한 등급판정 방법이 실시간처리에 적합한 방식으로 사료된다.

그러나 1차 시작기는 2대의 시각시스템으로 구성되어 있어서 향후 다조식의 선별기 개발에 있어서 문제점을 가지며 구조 및 공정이 복잡하게 설계되어 제어에 어려움이 있다. 버섯의 수납을 위한 실린더의 작동이 센서신호보다 지연되는 영향으로 처리에 문제점이 있다. 그리고 시각시스템을 1개로 줄이고 제어기도 확장성이 용이한 독립처리 프로세서를 가진 I/O장치로 대체하는 연구가 필요하다. 이를 위해서 등급판정 알고리즘도 전후면을 1대의 시각시스템에 의해 처리하는 방식으로 수행하는 것이 요구되었다.

제2절 수출용 표고 선별을 위한 2차 시작기 개발

1. 시스템 설계 개요

본 연구에서 개발한 수출용 표고 선별기는 1차 시작기와는 달리 1대의 컴퓨터 시각시스템을 이용하였다. 그림 4-9는 개발한 시스템을 나타낸다.

등급판정은 한쪽영상을 측정한후 버섯의 위치를 반전시켜 다른면의 영상을 연속적으로 측정하기 위해서 반전장치를 제작하였다. 또한 버섯의 배출은 기존의 실린더를 이용한 방식에서 실린더와 버섯의 충돌과 배출타이밍 차이에 의한 손상을 방지하기 위해서 공기노즐을 사용하였다. 공기노즐을 통해 배출된 버섯은 수납통으로 들어가는데 수납통은 내부에 슬라이딩 가이드를 트래비스형 실린더를 설치하여 수납부를 2개로 분리시켰다.

일정량의 버섯을 연속적으로 공급하기 위해서 바울피더(bowl feeder)와 경사지게 설치한 컨베이어를 이용하여 버섯을 공급하였다. 또한 제어장치는 기존의 PLC에서 F8086 CPU를 장착한 제어기를 제작하여 공압 솔레노이드의 구동, 센서 및 등급판정신호를 처리하도록 하였다.

그림 4-9 개발한 수출용 표고 선별을 위한 2차 시작기.

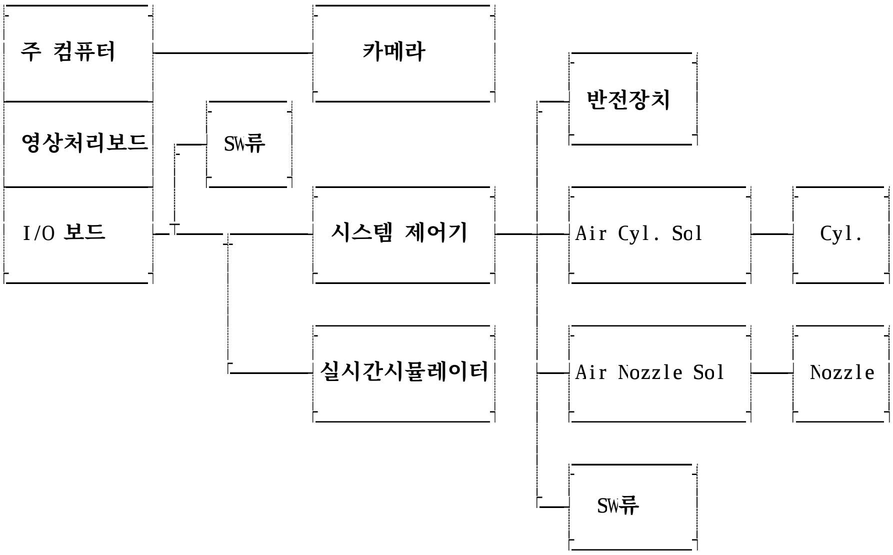


그림 4-10 등급판정 및 선별시스템 제어부 구조.

2. 기구부 및 구동부

가. 버섯공급장치

그림 과 같이 보울피더(bowl feeder), 진동피더, 경사지게 설치한 컨베이어 및 “ㄱ”자형의 컨베이어를 이용하여 버섯을 공급하였다. 컴퓨터시각부에 일정간격으로 공급하기 위해서는 컨베이어의 속도제어와 보울피더에서 공급되는 양을 정량적으로 조절하기 위해서 진동피더의 진행방향에 캠회전자를 설치하여 버섯의 양을 계측하도록 하여 항상 일정한 양의 버섯의 공급된다.

캠부분의 한 단면을 절단하여 회전각에 따라 근접센서가 캠과의 거리차가 발생할 때 진동피더의 스위치를 단락(OFF)시키도록 설정하였다.

그림4-11 캠각 조절 버섯공급량 조절기구 및 경사 컨베이어.

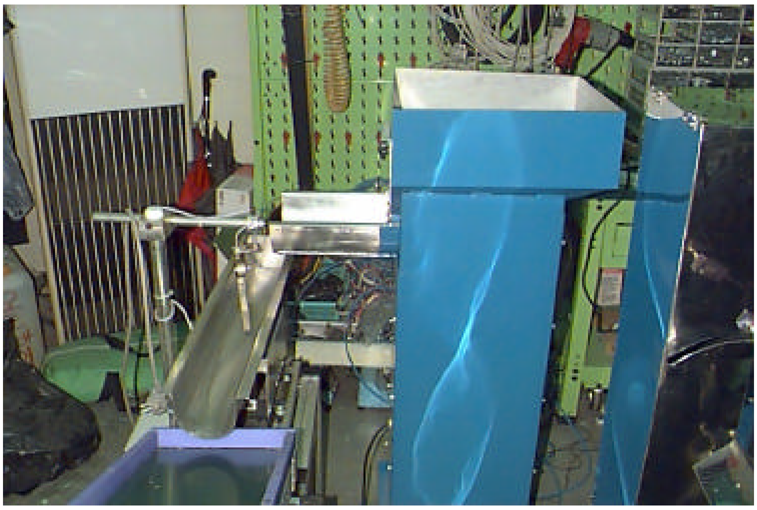


그림 4-12 보울피더, 진동피더 및 버섯량 조절기구.

나. 영상측정 및 반전장치

"ㄱ"자형 컨베이어와 직각으로 위치한 버섯이송 컨베이어사이에 컴퓨터시각 측정부를 설치하였다. 그림은 카메라와 조명장치를 부착한 측정부를 나타낸다. 영상측정영역은 "ㄱ"자형 컨베이어의 끝단부와 마주하는 이송컨베이어를 기준으

로 측정영역을 설정하였다.

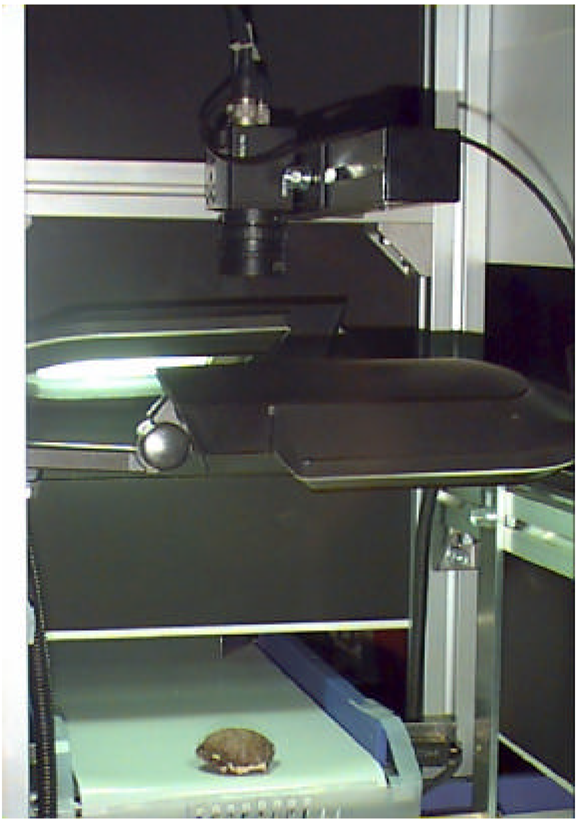
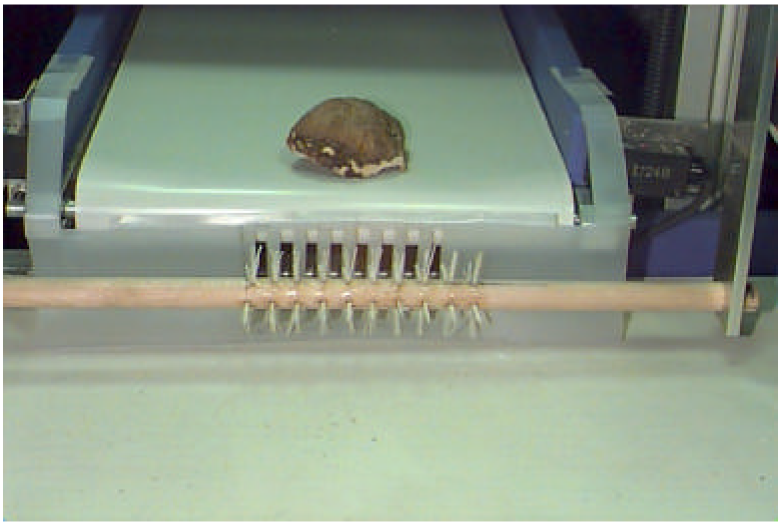


그림 4-13 카메라 측정부 및 조명장치.

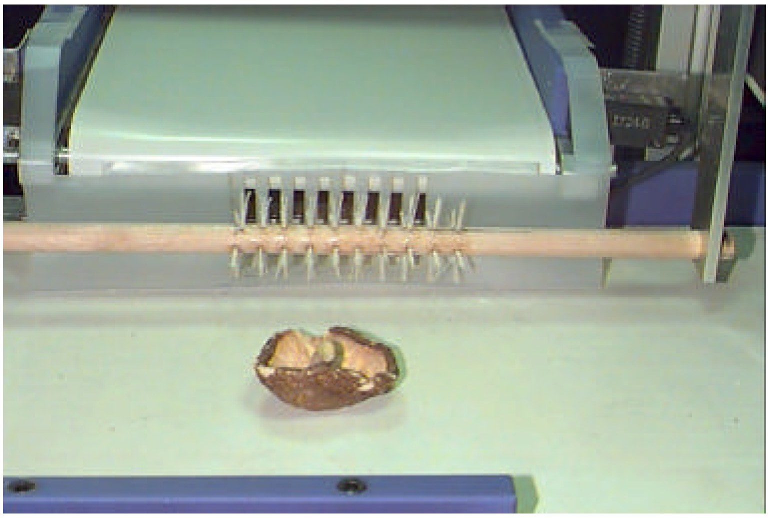
양쪽 컨베이어 사이에는 1차 측정한 버섯을 반전시킬수 있는 장치를 제작하였다. 기존 선별기에서는 처리 버섯의 등급수가 현재 개발한 시스템보다 작기 때문에 고정식 가이드 봉만을 설치하고도 원활한 반전성능을 기대할수 있다. 그러나 다 등급의 버섯을 처리하는 개발 선별기에서는 등급간 형상의 차가 크므로 이를 개선하기 위해서 새로운 가이드를 제작하였다.

고정식은 버섯의 크기가 크거나 얇은 경우 슬라이딩 되는 경우가 많았고 작은 버섯의 경우는 여러번 굴러서 원하는 반전성능을 기대하기가 어렵다. 그리고 처리시간을 고려하기 위해서 버섯의 반전시 가이드봉이 두 개의 리미트스위

치에 의해 지정된 각도만큼 회전하도록 설계하였다. 가이드봉은 솔부착형과 슈트부착형으로 제작하였는데 슈트제작형의 성능이 우수하게 나타났다. 그림 14와 15는 솔부착형과 슈트부착형에 의한 반전된 버섯을 나타낸다.

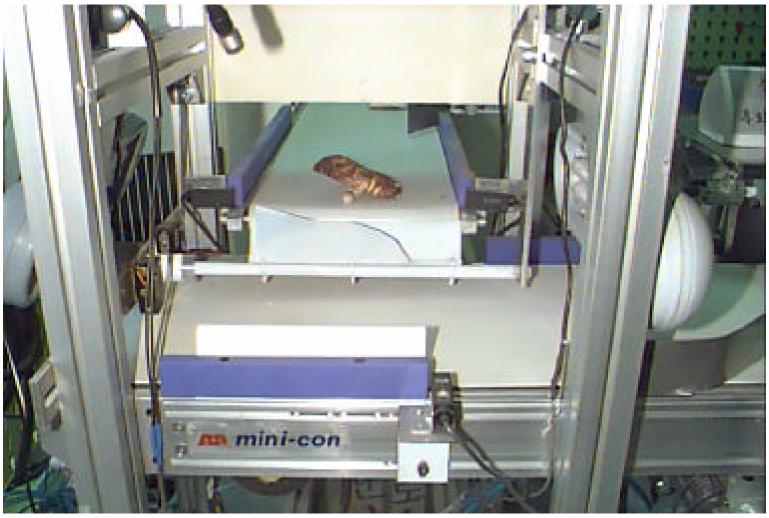


(a) 반전 전 컴퓨터 시각 측정부 1에서의 위치

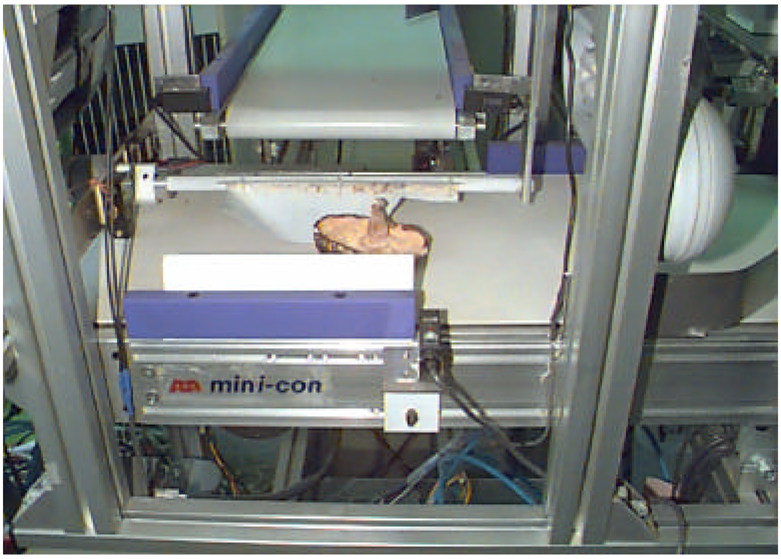


(b) 반전 후 컴퓨터 시각 측정부 2에서의 위치

그림 4-14 솔부착형 회전식 버섯 반전기구.



(a) 반전 전 컴퓨터 시각 측정부 1에서의 위치



(b) 반전 후 컴퓨터 시각 측정부 2에서의 위치

그림 4-15 DC모터 구동식 솔부착형 버섯 반전기구.

다. 버섯 분류장치

기존 선별기의 단점인 샘플의 손상을 방지하기 위해 설치한 노즐식 배출장치는 그림 4-16과 같다. 버섯의 분류는 그림 4-17과 같이 이송컨베이어 좌우에 설치 분류통으로 공압노즐에서 분출된 공기의 힘으로 배출된다. 그림 4-18은 버섯 수납통에 설치된 트래비스형 실린더를 나타내며, 4-19과 20은 수납통의 내부상태를 보여준다. 버섯은 내부의 가이드에 안내에 따라 2방향으로 떨어지게 되었있다.

그림 4-16 버섯 배출용 공압노즐.

그림4- 17 버섯 이송 컨베이어와 분류장치.

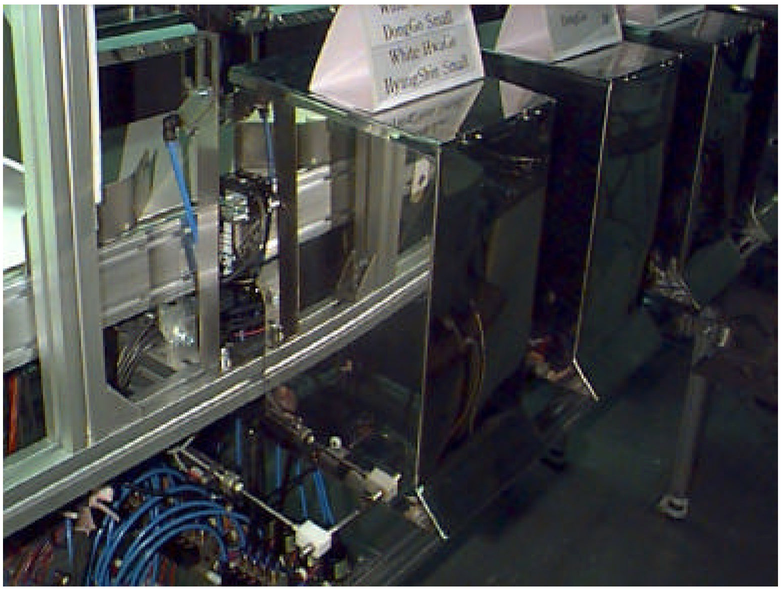


그림 4- 18 버섯 수납통에 설치된 트래비스형 실린더.

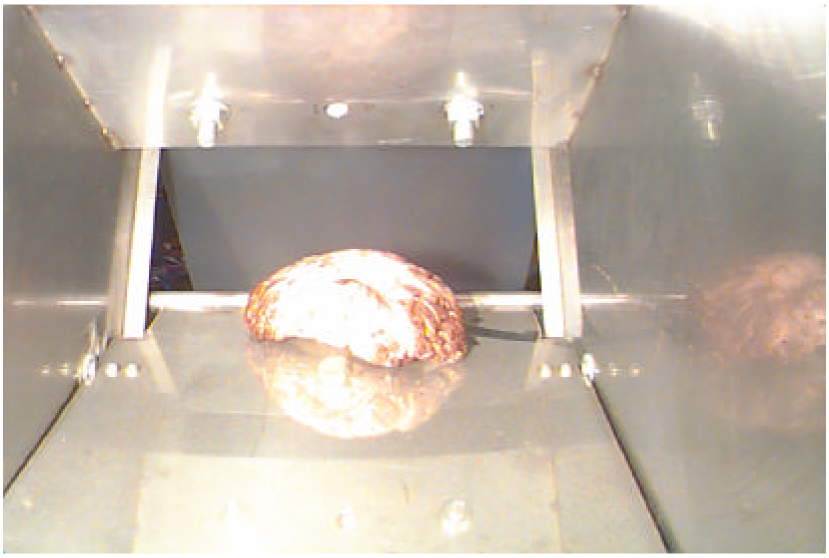


그림 4-19 **상태** 1**에서의 버섯 위치**.

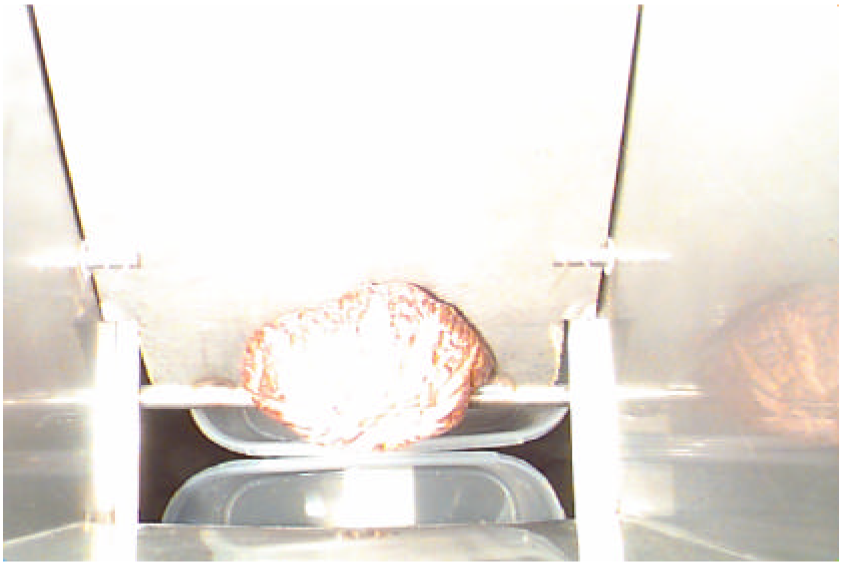


그림 4-20 **상태** 2**에서의 버섯 위치**.

3. 시스템 제어장치

버섯 선별시스템 제어장치는 그림 4-21과 같이 F8680프로세서를 장착한 독립구동형으로 제작하였으며 추가장치를 고려하여 여분의 입출력포트를 설치하였다. 신호계와 전력계, 공압시스템의 전원 및 베이스를 분리하여 별도 전원으로 제작하였고 사후관리 및 전원의 불안정한 상태를 방지하도록 제어기를 설계하였다. 사용자를 고려하여 소프트웨어의 업그레이드를 할 수 있는 작업모드와 다운로드 프로그램모드를 선택할수 있어 추가로 설치되는 장치로 인한 업그레이드 효율을 높였다.

그림 4-22는 제어부 주회로를 나타낸다. 반전장치의 구동은 DC모터를 사용하며 모터제어회로는 그림 4-23에 나타냈다. 솔레노이드 드라이버와 센서입출력 회로는 그림 4-24와 같으며 그림 4-25는 분류기 제어회로를 블록으로 나타냈다.

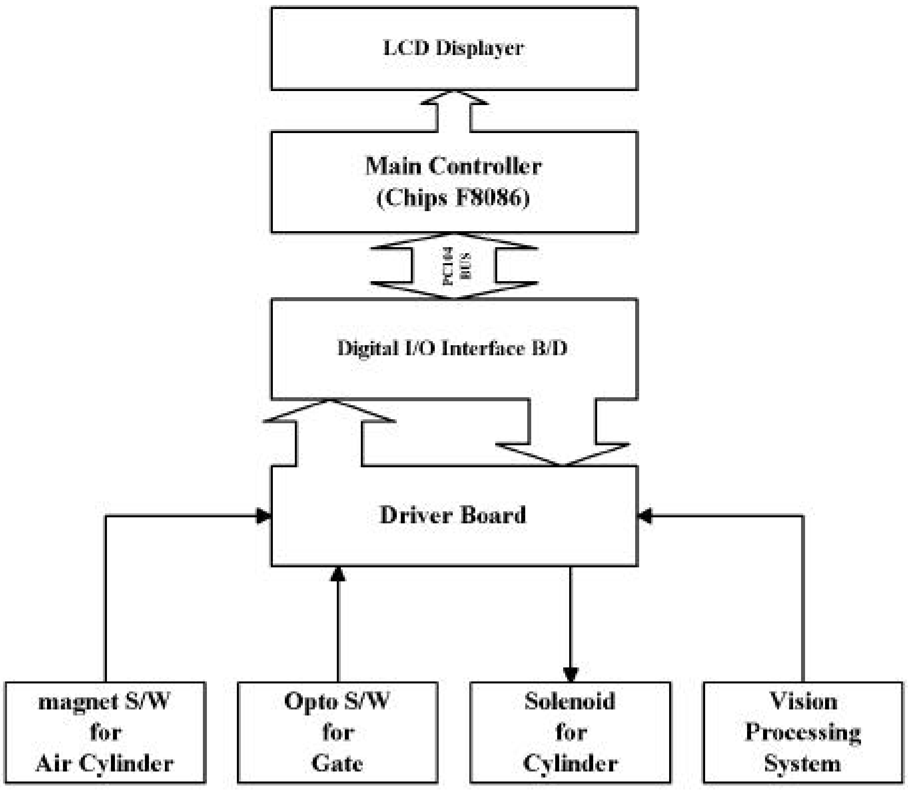


그림 4-21 F8680프로세서를 이용한 제어기의 기능블럭도.

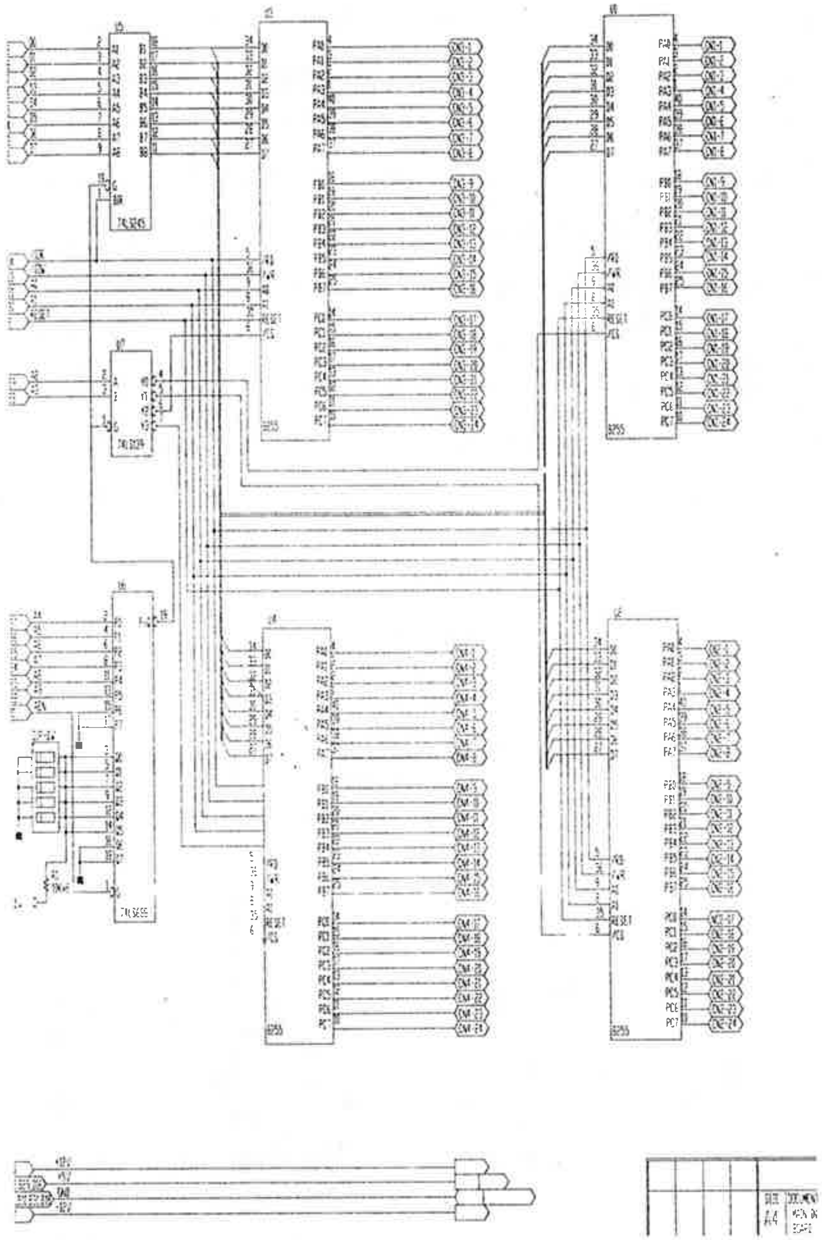


그림 4-22 제어기 주회로.

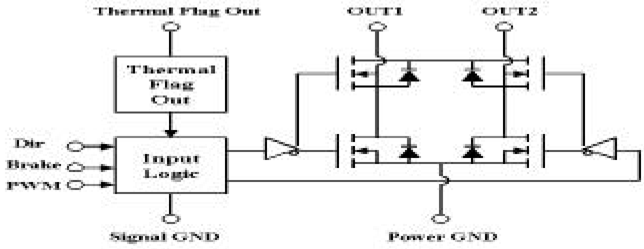


그림 4-23. **반전장치 구동** DC**모터 드라이버 회로**.

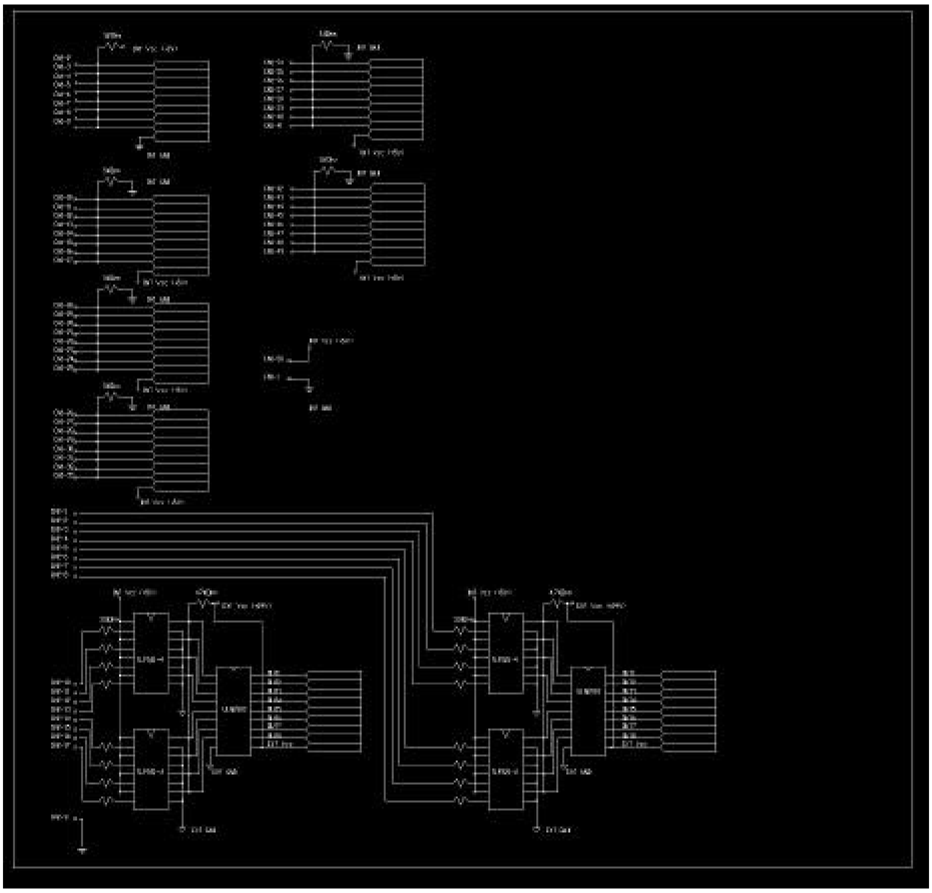


그림 4-24 **솔레노이드 드라이버와 센서 입출력 회로**.

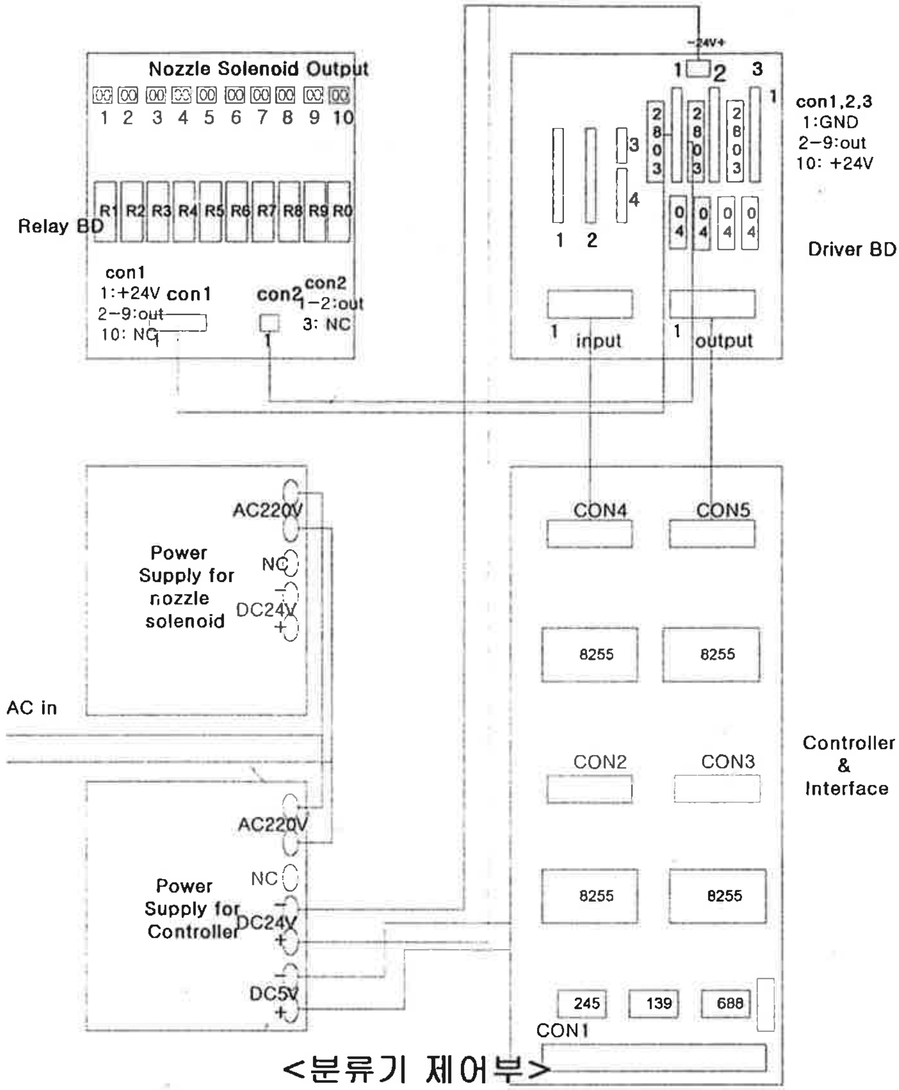


그림 4-25 분류기 제어부 회로.

4. 제어기 선별알고리즘

임의로 입력되는 버섯은 컴퓨터에서 영상처리를 통한 등급판정 사이클과 제어기에서의 동기신호를 얻기가 어렵다. 동시에 두 개이상의 작업이 수행될 때 우선순위를 구하는 알고리즘의 개발은 연속이동 시스템에서 중요한 요인이다.

개발한 선별알고리즘을 요약하면 다음과 같으며 그림 26에 순서도를 나타냈다.

가. 시스템 초기화

① 입출력 포트 초기화

② 변수 초기화

③ 출력 초기화(장치 초기화)

나. 선별 데이터 입력 루틴

① 입력데이터가 있으면(입력데이터 중 MSB가 1일 때) 데이터가 입력되고 있는 중인지 확인한다.

② 데이터 입력 중이란? :안정된 데이터 입력을 위해 일정시간 입력 데이터를 유지하는데, 이때 분류 알고리즘은 빠르게 동작하므로 여러 번 데이터를 읽게된다. 이때 반복해서 데이터를 입력받지 않게 하기 위하여 데이터 입력 중이라는 “데이터 신호“를 생성한다.

→ 유효 데이터일 경우 분류기 내부의 데이터 버퍼에 저장한다.

다. 위치검출 광센서 처리 루틴

① 각 게이트 중 임의의 광센서에 버섯이 검출 될 경우 현재 해당 게이트가 작동중인지를 확인한다.

② 동작하고 있지 않으면 현재 위치의 데이터 버퍼를 참조하여 해당 게이트에 적합한 데이터 인지 확인한다.

③ 이때 적합한 데이터이면 출력 데이터에 해당값을 추가한다.

④ 해당 게이트가 작동중이면 통과.

⑤ 적합한 데이터가 아니면, 데이터 버퍼 포인터를 1 증가시킨다.

⑥ 광입력도 분류 루틴이 빠르므로 같은 상태가 여러 번 읽어진다.
그러므로 이때도 “광입력 사인”을 켜므로 다음 읽을 때 무시시킬 수 있다.

라. 상태 지연 루틴

① 상태지연 루틴은 상기의 두 신호와 더불어 “노즐 출력 신호“, ”실린더 신

호”와 같은 신호를 게이트별로, 신호별로 상태를 바꾸어주는 루틴이다.

② 먼저 각 사인이 활성 상태인지 확인하고, 확인되면 각 값을 1씩 증가 시킨다.

③ 증가된 값이 각 사인의 종료 상태가 되면 상태를 비활성화 시킨다.

④ 비활성 상태가 되면, 다음 상태로 바뀔 준비가 된 것을 의미한다.

마. 장치 작동 루틴

① 장치 작동루틴은 실린더, 노즐을 직접적으로 포트에 출력함으로 작동시키는 루틴을 말한다.

② 먼저 상태지연 루틴의 상태를 확인하여 작동 가능 상태이면 작동한다.

③ 이 루틴은 매 루프마다 항상 처리되지만 출력포트를 실린더와 노즐로 나누어 두었으므로 상태에 따라 해당 포트만 작동된다.

④ 작동되는 조건은 먼저

실린더의 경우: 해당 게이트가 활성화되면 노즐보다 먼저 작동을 한다.
작동 완료 상태가 다음 활성화 상태까지 지속된다.
단순 출력이다.

노즐의 경우 : 각 게이트가 활성화되면 게이트 시작점과 종료지점의 1/3 지점에서 노즐이 작동된다. 그리고 게이트의 끝 지점까지 상태가 유지된 후 복귀된다.

바. 전체 알고리즘

① 전체 알고리즘은 가항에서 마항까지 고속으로 루프를 회전한다.

② 각 상태에서 활성화되는 항목이 있으면 빠르게 처리 후 다음 항으로 옮겨져야하므로 각 처리의 시간지연이 매우 작아야 한다.

③ 빠른 속도로 루프를 회전하고, 각각의 활성화 상태가 별도로 관리됨을 통하여 각 장치별 독립성이 유지된다.

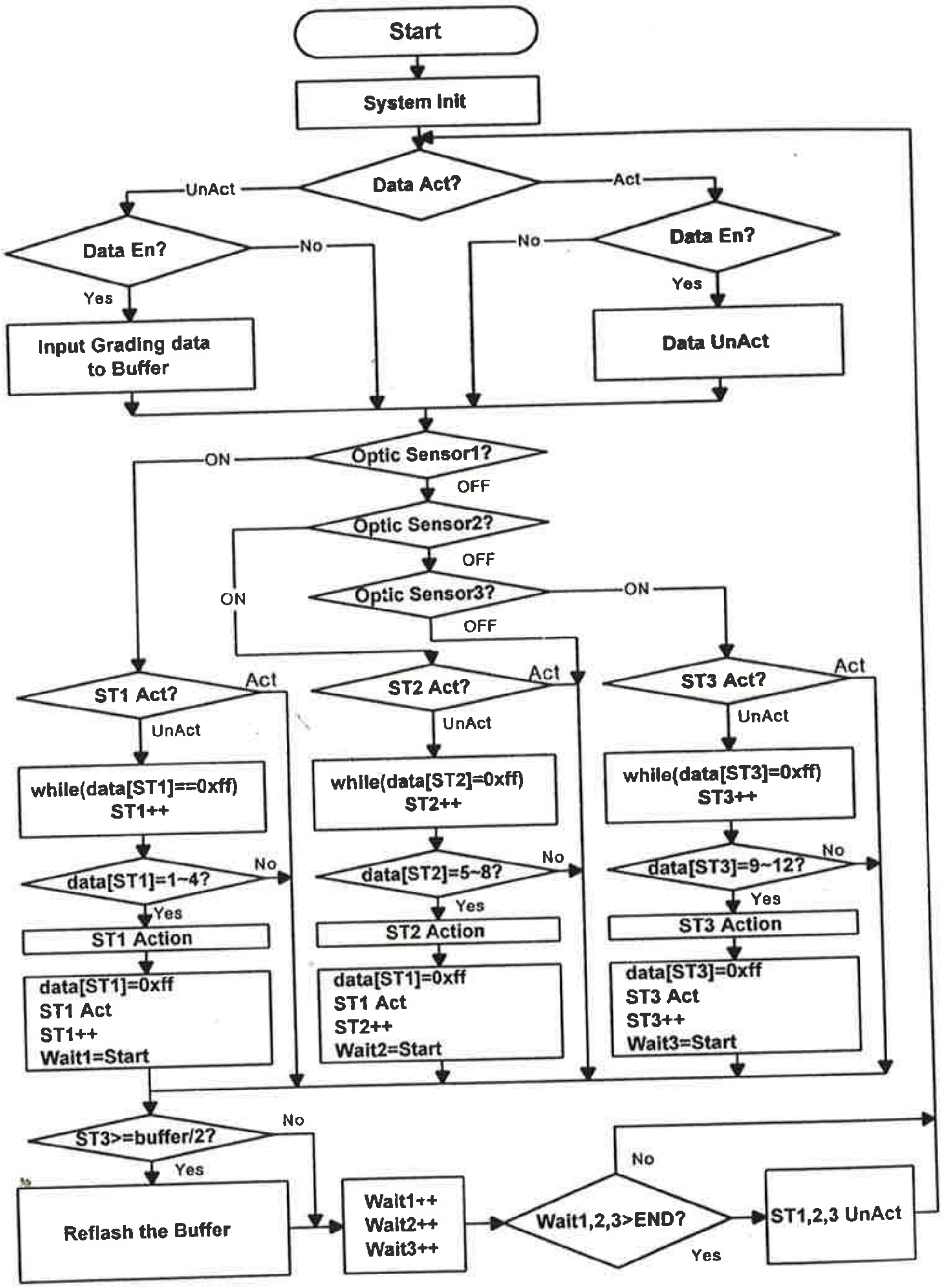


그림 4-26 제어기 선별 알고리즘 작동도.

5. 선별기의 성능

개발한 선별기는 전면과 후면을 동시에 처리하는 형태로 제작되었다. 기존의 선별기의 경우 단면영상만을 처리하였으나 다 등급처리를 위해서는 전후면 동시처리가 필요하므로 전체처리 시간은 전면측정, 반전처리, 후면측정의 단계를 거치므로 전체적으로 0.6 0.7초가 소요된다. 따라서 처리용량은 시간당 최대 5,000 6,000개의 처리가 가능한 것으로 나타났다. 기존 방식이 2조의 시각시스템으로 구성되므로 현재 개발한 선별기를 2조로 설치하면 선별효율이 우수한 것으로 나타났다.

제5장 결론 및 요약

본 연구에서는 컴퓨터시각 기술을 이용한 수출용 표고의 다양한 외형 특징을 정량적으로 측정하는 외관검색 방법과 등급 판정을 수행하는 자동화된 건표고 선별시스템을 개발하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 다양한 표고의 외관을 정량적으로 측정하기 위한 영상처리방법으로 영상이치화, 영상완화, 컴퓨터시각시스템 측도설정 및 기하학적 특징 추출에 대한 연구를 수행하였다.
2. 표고의 선별기준이 되는 갓의 크기, 모양, 표피의 색상, 균열정도, 후면 끝단의 말린 두께, 후면 내피의 색상 및 정렬상태를 정량적으로 측정할수 있는 외관검색 소프트웨어를 개발하였다.
3. 컴퓨터시각과 신경회로망에 의한 실시간 표고 등급판정 알고리즘을 개발하였다. 신경회로망을 이용한 표고의 등급판정은 전후면 전체 영상으로 학습 및 등급판정을 수행하였다.
4. 컨베이어에 의해 이송되는 실시간 On-Line 등급판정을 수행하였다.
5. 개발한 건표고 선별시스템은 기구부, 제어부 및 구동부로 구성되며 모든 동작이 컴퓨터에 의해 On-line 제어되는 전용제어기를 제작하였다.
6. 개발 선별기의 성능은 버섯 1개당 처리시간이 0.6 0.7초가 소요되며 시간당 5,000 6,000개의 선별이 가능하다.

參 考 文 獻

1. Abutaleb A.S. 1989. Automatic thresholding of gray level pictures using two dimensional entropy. Computer vision,graphics, and image processing. 47:22-32
2. Albus, J.S.,1975, A new approach to manipulator control: The cerebellar model articulation controller(CMAC), Journal of Dymanic Syetem Measurement Control.
3. Anderson,J.A. and E. Rosenfeld. 1988. Neurocomputing:Foundations and Research. MIT Press.
4. Atkin G.K.,J.E.Bowcock,and N.M.Queen.1989. Solution of distributed deterministic parallel network using simulated annealing. Pattern recognition. 22(4):461-466.
5. Bachelor M.M. and S.W. Searcy. 1988. Computer vision determination of the stem/root joint on processing carrots. J. of Eng. Res. 43:259-269.
6. Brewer J.A. and D.C. Anderson. 1977. Visual interaction with overhauser curves and surfaces. Computer graphics. 11:400-405
7. Brown, G.K. and J.A. Throop,1986, Apple sorting with machine vision,Trans. of ASAE, 17(1), pp17-19.
8. Ching.Y. Suen, M. Berthod,and Shunji Mori.1980. Automatic recognition of handprinted chracters-the state of art. Proceedings of the IEEE, 68 (4):469-487.
9. Davenel A., C. Guizard, T. Labarre and F. Sevila. 1988. Automatic detection of surface defects on fruit by using a vision system. J. of Agri. Eng. Res. 41:1-9.
10. Davis L.S. 1975, Survey of edge detection techniques, Computer Graphics and Image Processing, 6:492-501

11. Dowell, F.E. ,1992, Identifying undamaged and damaged peanut kernels using tristimulus values and spectral reflectance, Trans. of ASAE, 35(3):931- 937.

12. Fu K.S.,R.C. Gonzalez, and C.S.G. Lee. 1987. Robotics- control sensing vision and intelligence. McGraw- Hill International Publishing Inc.

13. Granlund G.H. 1972. Fourier preprocessing for hand print chracter recognition. IEEE Transaction on Computers, p195- 201.

14. Gonzalez, R.C. and P. Wintz.1987. Digital image processing. 2nd edition, Addition Wesley, pp414- 417.

15. Grossberg,S.,1976,Adaptive pattern classification and universal recording II:Feedback,ecpectation,olfaction,and illusion, Bio. Cybern, Vol. 23

16. Gunasekaran,S.,T.M. Cooper and A.G. Berlage. 1988. Soybean seed coat and cotyledon crack detection by image processing. J. of Agri. Eng. Res. 41:139- 148

17. Haralick, R. M., 1979, Statistical and structural approaches to texture, Proc. 4th Intl. Joint conf. pattern recognition, p:45- 60.

18. Hinton, G.E., T.J. Sejnowski, and D.H. Ackley,1984, Boltzman machines:Constraint satisfaction network that learn, Carnegie Mellon Univ.,Dept. of Computer Science, Tech. Rep.

19. Hopfield, J.J., 1982, Neural network and physical systems with emergent collective computational abilities, Proc. Nati. Academy Science, Vol. 79.

20. Hwang, H., C.H. Lee and Y.K. Lee.1993. Automatic visual feature extraction and measurement of mushroom(Lentinus Edodes L.). ICAMPE 93' Oct.19- 22, pp1232- 1243.

21. Hwang, H., C.H. Lee and J.H. Han. 1993. Neuro- net based automatic sorting and grading of a mushroom(Lentnus Edodes L.). ICAMPE 93' Oct. 19- 22. pp1243- 1253.

22. Ikram, E.A. and W.K. Pratt,1979, Quantitive design and evaluation of

enhancement/thresholding edge detection, Trans. of IEEE ,5:753-763

23. Image Technology, 1987, ITEX PCVISION PLUS user's manual. Imaging Technology Inc, Massachusetts

24. Image Technology,1987, ITEX PCVISION PLUS programmer's manual. Imaging Technology Inc, Massachusetts.

25. Jamsa C. 1990. Graphics programming with microsoft C and microsoft quick C. Micro Press.

26. Kapur, J.N., P.K. Sahoo and A.K.C. Wong, 1985, A new method for gray level picture thresholding using the entropy of the histogram, Computer Vision,Graphics, and Image Processing, 29:273-285.

27. Kitchen P.W. and A. Pugh . 1981. Processing of binary images. Robot vision.

28. Kohonen, T.,1982, Self organization formation of topologically correct feature maps, Bio. Cyber., Vol. 43

29. Kosko, B., 1987, Adaptive bidirectional associative memories, Appl. Optics, Vol. 26

30. Langers, R.A. 1991. Locating the growing-point of flower bulbs with computer vision. CEMAGREF. pp111-121.

31. Marc, L., T. Zimmerman, C. Baur, P. Gugerli and T. Pun, 1994, Potato Operation:automatic detection of potato diseases, Proceeding of Optics in Agricultural,Forestry,and Biological Processing, Vol.2345, pp2-7.

32. Masakazu, F. 1990. Machine vision technology : past, present, and future", IEEE IROS 90'. pp XXIX-XXXX.

33. Matsuhisa T. and A. Hosokawa. 1983. Quantitative measurement of the texture and cracks of hulled non-glutinous rice grains using image data processing system. J. of JSAM. 45(3):357-367

34. Mezin M. 1989. Image acquition with thresholding. **제1차 한·불 기술협력 컴퓨터비젼 세미나 자료집**

35. Micro. 1992. Microsoft C 7.0 Optimizing compiler. Microsoft co.

Washington

36. Miller B.K.,M.J. Delwiche. 1989. A color vision system for peach grading. Trans. of ASAE. 32(4):1484-1490.

37. Minsky,M. and Papert,S. 1969. Perceptrons. MIT Press

38. Okado, M. and Y. Nakamura, 1992, Studies on the measurement of the color of the rice leaves by image processing, Journal of JSAM 55(5):75-81

39. Panigrahi S. and M.K. Misra. 1990. Feature extraction techniques for corn germplasm by color computer vision. ASAE Paper No. 90-7050.

40. Pao,Y. H. 1988. Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks. Addison-Wesley Publishing Company.

41. Paulsen M.R.,W.D. Wigger, J.B. Litchfield, and J.B. Sinclair. 1989. Computer image anlysis for detection of maize and soybean kernel quality factors. J. of Agri. Eng. Res. 43:93-101

42. Pavlidis, T., 1978, " A review of algorithm for shape analysis ", Computer Graphics and Image Processing, 7:243-258.

43. Peliand, T. and D. Malah,1982, A study of edge detection algorithms, Computer Graphics and Image Processing, 20:1-21

44. Pratt W.K. 1991. igital image processing. John Wiley & Sons Inc.

45. Read W.S. 1970. Optical detection of apple skin,bruise,flesh,stem and calix. J. of Agri. Eng. Res. 21:291-295.

46. Rehkugler G.E., A.J. Throop. 1986. Apple sorting with machine vision. Trans. of ASAE. 29(5):1388-1397.

47. Richard P.Lippmann. An introduction to computing with neural nets. IEEE ASSP Magazing, pages 4-22,April 1987.

48. Robert Hecht-Nielsen. Theory of the back-propagation neural network. In Proc. 1989 IEEE International Conference on Neural Networks, pages I-593-604, 1989.

49. Rosenblatt,F.,1958, The perceptron: A probablistic model for information

storage and organization in the brain,Physiological Rev. Vol.65

50. Rumelhart,D.E. and McCleland,J.L.(eds) 1986. Parallel Distributed Processing, MIT Press, Vol. I, p318-362.

51. Sarkar, N., and R.R. Wolfe, 1985, " Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision", Transactions of the ASAE 28(3): pp 970-979.

52. Sarkar, N., and R.R. Wolfe, 1985, " Computer vision based system for quality seperation of fresh market tomatoes ", Transactions of the ASAE 28(5): pp 1714-1718.

53. Schalkoff. R., 1992, " Pattern recognition : statistical, structural and neural approaches", John Wiley & Sons, Inc.

54. Sistler F.E. 1990. Grading agricultural products with machine vision. IEEE Int. workshop on intelligent robots and systems. IROS '90.p255-261

55. Stanley,J. 1989.Introduction to Neural Networks.California Scientific Software.

56. Tamar P. and M. David,1982, A study of edge detection algorithm, Computer Graphics and Image Processing, 20:1-21.

57. Tillet R. 1989. Locating mushrooms for robotic harvesting. Proc. of intelligent robots and computer vision. VIII Systems ans applications.p260-267.

58. Timothy A.Grogan and O.Robert Mitchell.1983. Shape recognition and description: A comparative study. Technical Report TR-EE 83-22, School of Electrical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1983.

59. Tojeiro, P. and Wheaton P.,1992, Oyeter orientation using computer vision, Trans. of ASAE, p689

60. Tsai W.H. 1985. Moment preserving thresholding:A new approach. Computer vision,graphics and image processing. (29):377-392

61. Vemuri,V.1988.Artificial Neural Networks: Theoretical Concepts. IEEE Computer Society Press.

62. Weideman W.E. 1989. A comparison of a nearest neighbor classfier and a neural network for numeric handprint character recognition. In IEEE International conference on Neural Networks, (I)p117-120

63. Werbos, P., 1974, Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences, Ph.D. dissertation, Harvard Univ.

64. Widrow, B. 1987. DARPA neural network study, AFCEA Int. Press

65. Widrow, B.,and M.E. Hoff,Jr., 1960, Adaptive switching circuit,Stanford Electron Lab, Palo,Alto,CA,Tech. Rep.

66. Wolfe, R.R. and W.E. Sandler.1985. An algorithm for stem detection using digital analysis. Trans. of the ASAE 28(2):641-644.

70. 농림수산통계연보, 1994, 농림수산부

71. 이충호, 1991, 컴퓨터시각에 의한 측정기술 및 측정오차의 분석 및 보정,성균관대학교 석사학위논문

72. 이충호, 1995, 컴퓨터시각에 의한 건표고의 외관검색 및 자동 선별시스템 개발, 성균관대학교 박사학위논문

73. 황헌,이충호,1994, 버섯 전후면과 꼭지부 상태의 자동 인식, 한국농업기계 학회, 19(2):124-137

첨부 :개발기술의 활용

자동 등급판정 및 선별 시스템은 다른 작목의 첨단기술개발에 응용기술로 활용이 기대되며 국내의 농산물 선별기술, 생력화 및 품질향상에 많은 기여를 하리라 본다. 본 연구결과의 활용은 다음과 같은 개발사업에 응용이 기대된다.

○ 연구 개발된 기술은 일반 제조업체에 기술이전을 통해 상용화를 실현하여 지역단위 규모 농가 및 수출업체의 버섯 선별시스템을 보급할 수 있도록 연구 후 사후관리를 수행.

○ 연구결과의 확대 보급으로 관련 연구분야의 발전에 기여.

○ 상용화에 따른 기술개발로 관련 설비의 해외시장 수출을 도모(구미,일본).

주 의

1. **이 보고서는 농림부에서 시행한 농림수산특정연구사업의 연구 보고서입니다.**

2. **이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림수산특정연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.**

3. **국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.**