

컬러 컴퓨터시각에 의한 등급별 잎담배 개체의 품질 측정

공형진* · 황 현* · 석영선**

*성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스 전공

**충북대학교 연초학과

Quality Measurement of Tobacco Leaves Using Computer Vision

H.J. Kong, H. Hwang and Y.S. Seok

Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Faculty of Life Science and Technology, Sungkyunkwan University
Dept. of Tobacco Science, Chungbuk National University

Abstract

Quality factors of tobacco leaves were extracted and quantified using computer image processing and near infrared analysis. The efficiency of quality factors in tobacco leaf grading was analyzed statistically and major quality factors were determined under computer image processing and NIR spectrum measurement. This research was done as a prerequisite process to develop the real time on-line automatic grading system of tobacco leaves. Spectrophotometer was used to analyze the color of the tobacco leaves in grading. Computer image processing algorithm was developed to measure external quality features of each grade of tobacco leaves such as size and shape. The optical reflectance property of the internal chemical compound in the range of 800-1200 nm was also measured using a spectrophotometer for the purpose of real time implementation. Tobacco leaves used for this research were classified using standard grade criteria.

Key words: tobacco leaves, computer vision, quality measurement, NIR spectrum

서 론

자유무역에 의한 수입개방에 대처하기 위한 방편으로 부가가치가 높은 소득작목의 육성이 절실히 요구되고 있으며 담배는 오래 전부터 농가의 주요 수입원으로 재배되어 왔다. 담배 잎은 착엽위치에 따라 상엽, 본엽, 중엽 그리고 하엽으로 구분된다. 담배 잎의 품질등급은 착엽위치에 따라 상엽의 경우 3-5 등급과 등외, 본엽의 경우 1-3 등급, 중엽의 경우 1-3 등급 그리고 하엽의 경우 3-5 등급과 등외로 나누고 있다. 등급에 영향을 주는 품질인자로는 담배의 맛과 관련된 화학성분 함량과 성분간 균형, 물리성과 관련한 엽조직상태, 착엽위치 등이 있다. 그러나 전세계적으로 육안에 의한 수작업 감정에 의해 실질적으로 등급이 결정되고 있으며 대개는 착엽위치, 선택, 속도, 조직, 형

태, 잎의 두께 등의 품질인자들을 고려하여 등급을 판정한다.

특히, 착엽위치는 잎담배의 품질평가에 있어서 매우 중요하다. 잎담배는 착엽위치에 따라 대략적인 등급이 구분되며 착엽위치가 같은 잎담배의 경우, 기후 및 토질에 따른 재배과정, 건조과정 등에 따라 선택이 달리 나타나게 되므로 선택이 또한 등급결정에 큰 영향을 미친다. 잎의 두께는 착엽위치에 따라 상엽, 본엽, 중엽, 하엽 순으로 두께의 차이가 나타난다. 그리고 잎담배의 화학적 성분으로 니코틴, 전당, 염소 등이 등급에 따라 차이를 나타내고 있다. 이와 같이 잎담배의 외관특성 및 내부의 화학성분 함량을 이용하여 잎담배의 품질을 평가할 수 있기 때문에 이들 인자들을 측정하기 위한 방법들이 연구되어 왔다.

White 등(1965)은 담배의 등급판정을 위한 적정 광원에 대한 연구를 수행하였고 McClure (1975)는 담배의 갈색화(browning) 반응과 관련한 스펙트럼을 분석하였다. 조와 송(1994)은 버얼리종 잎담배의 외형 및

Corresponding author: Heon Hwang, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Dept. of Bio-Mechatronic Eng., Sungkyunkwan University, Suwon-si, Kyungki-do 440-746, Korea

색 특징 추출에 관한 연구를 수행하였고 이 등(1994)은 신경회로망을 이용한 담배 속도인식 및 등급판정에 관한 연구를 수행하였다. 조 등(1994)은 잎담배의 내부 성분측정을 위해 근적외선 분광분석법을 이용하였다. 김 등(1994)은 근적외선 분광법을 이용하여 미국산과 한국산 담배에 대한 판별 연구를 수행하였다. 잎담배의 등급판정과 관련하여 잎담배 수매현장의 실태를 고려한 현장 적용형의 자동 품질등급 판정시스템에 대한 연구는 아직 미진한 실정이다.

잎담배의 수매는 현재 전세계적으로 수작업에 의존하고 있다. 기존의 수작업 등급판정의 경우, 각 품질인자에 대한 판정기준이 정성적이며 또한 품질인자간 등급판정에 끼치는 영향의 정도가 애매모호하여 전문가의 주관적인 판단에 주로 의존하게 된다. 따라서 등급별 품질인자에 대한 객관적이고 정량적인 계측기술을 확립하여 등급판정의 일관성을 유지하는 것이 필수적이라 하겠다. 또한 잎담배 품질인자의 추출 및 정량화를 통한 자료축적은 담배 육종기술의 개발에 기여하리라 본다.

본 연구에서는 실시간 비파괴 계측기술을 통하여 잎담배의 품질인자에 대한 정량화와 품질인자의 등급별 특성을 분석하였다. 그리고 현장 적용을 고려한 비파괴 계측에 의한 실시간 잎담배 등급판정 자동화 시스템을 구축하기 위한 기초연구로서 실시간 계측 가능성과 시스템 비용을 고려하여 등급별 잎담배의 품질인자들을 계측하고 컴퓨터에 의한 자동등급판정 가능성에 대한 분석을 수행하였다.

재료 및 방법

실험 장치

등급별 잎담배의 색상 및 가시광 파장대역의 광반사특성을 측정 분석하기 위하여 Lab 값과 파장별 반사율을 20 nm간격으로 파장범위 400-700 nm의 가시광 영역에 대해 측정할 수 있는 분광광도계(X-RITE Co)를 사용하였다. 그리고 측정시료의 Lab 값과 Yxy 값을 측정할 수 있는 색도색차계(CR-200, Minolta Co.)를 사용하였다. 분광광도계는 텅스텐 램프를 광원으로 하고 실리콘 포토 다이오드 수광장치로 이루어진 프로브와 RS-232C를 통해 프로브로부터 입력되는 수광신호를 A/D 변환하고 처리하는 보드를 장착한 컴퓨터로 구성되어 있다.

잎담배의 개체별 크기, 장단축 비, 앞전체 및 부분 색상(RGB, HSI), 텍스처 및 복잡도 등의 측정을 위한 컬러 컴퓨터시각 시스템은 8 mm 렌즈를 부착한 Pulnix

사의 RGB CCD 카메라, RGB Frame Grabber, 카메라 고정 및 조명장치, 영상출력 전용 모니터와 IBM 호환 Pentium 컴퓨터로 구성하였다. 조명장치는 형광등과 백열등을 조합하여 1000 Lux 이상의 밝기를 갖도록 설치하였으며 높이 및 측정위치를 조절할 수 있는 고정장치를 제작하였다.

등급별, 착엽위치별 잎담배의 가시광 및 근적외 분광반사 파장을 측정하고 분석하기 위하여 시료의 반사율, 흡광도 및 투과율을 측정할 수 있으며 400-2400 nm의 측정대역을 갖는 근적외 분광분석 시스템(NIRSystems spectrophotometer, Perstrop Analysis Co.)을 이용하였다.

실험 재료

실험에 사용된 잎담배는 충북대학교 연초학과의 도움을 얻어 1996년산 NC82의 상업 3-5 등급과 등의, 본엽 1-3 등급, 중엽 1-3 등급, 하엽 3-5 등급과 등의 총 14가지로 분류된 표준 잎담배를 사용하였다.

실험방법

분광광도계와 색도색차계를 이용하여 등급별 잎담배의 색상 및 가시광 파장대역의 광반사 특성을 측정 분석하였다. 그리고 컬러 컴퓨터시각 시스템을 구축하여 잎담배의 개체별 크기, 장단축 비, 앞전체 및 부분 색상(RGB, HSI), 텍스처 및 복잡도(complex ratio)등을 이용하여 잎담배 개체의 등급, 착엽위치별 특징을 분석하였다. 특히 파장대역 400-1100 nm의 경우는 분광반사특성을 실시간으로 측정할 수 있는 시스템이 비교적 저가로 상용화되어 있어 실시간 등급판정 기술 개발을 목적으로 근적외 분광분석 시스템(400-2400 nm)을 이용하여 등급별, 착엽위치별 잎담배의 가시광 및 근적외 분광반사 파장(400-1100 nm)을 측정하고 분석하였다.

결과 및 고찰

분광광도계에 의한 잎담배 개체의 색상정보 산출 및 분석

실험 시료를 착엽위치 및 등급별로 각각 10매씩에 대하여 3회에 걸쳐 서로 다른 임의 위치를 선정하여 측정하였다. 분광광도계를 이용하여 가시광 영역에 대한 잎담배의 반사율을 측정하였다. 그리고 색도색차계를 이용하여 잎담배의 색상정보 즉 Yxy값을 측정하였다. 등급간의 분광분석 결과의 평균값은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 3등급, 4등급, 5등급 간의 구별은 가능하지만 1등급에서 3등급의 분류가 용이하지 않음을 보여주고 있다. 이들 등급간에 대한 표준편차를 500-700 nm에

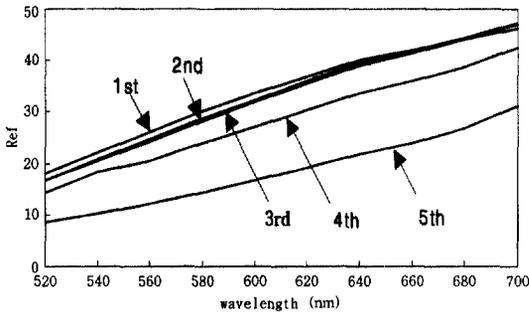


Fig. 1. Spectrum of graded tobacco leaves in the visible range.

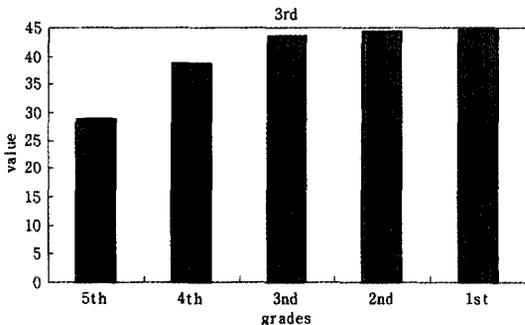


Fig. 2. Y values of graded tobacco leaves.

걸쳐 구한 결과 가시영역 파장대중에서 등급간의 차이가 가장 큰 파장영역은 640-660 nm 부근임을 알 수 있었다. 착엽위치에 따른 등급분류에 있어서 가장 큰 등급간 편차를 보이는 파장 영역은 상엽은 660 nm 본엽은 580 nm 중엽은 620 nm 그리고 하엽은 640 nm 부근임을 알 수 있었다.

따라서 잎담배 등급판정에 가시영역의 스펙트럼을 이용할 경우 등급간 차이가 가장 큰 파장영역대(640-660 nm)의 광반사 특성이 등급판정에 있어서 중요한 인자가 될 수 있다. 또한 착엽위치가 결정지어진 상태에서의 등급구분은 언급한 착엽위치별 특정 파장대를 선정하면 될 것으로 판단된다.

색상을 나타내는 Y_{xy} 좌표계중 색상을 나타내는 xy 좌표로는 등급간 구별이 거의 불가능하였지만 Fig. 2에 보는 것과 같이 Y값(색의 밝기)을 이용하면 3등급, 4등급, 5등급간의 구별이 가능하였다. 하지만 여전히 1등급에서 3등급의 분류는 용이하지 않았다.

분광광도계로 측정된 데이터 중에서 Y값을 기준으로 통계처리를 통하여 잎담배 등급간의 다중비교를 수행하였다. 잎담배는 착엽위치별 등급별로 12종류에 대하여 10매씩 3회에 걸쳐 서로 다른 부위를 측정하였으며 통계를 위한 데이터의 수는 360개로 하였다. 통

계 분산분석에서 5%수준에서 다중검정을 하였으며 Table 1에서 보는 것과 같이 잎담배의 등급판정은 일단 착엽위치가 결정되면 등급간 구분이 가능한 것으로 나타났다.

컴퓨터 영상처리를 이용한 잎담배 개체의 형상정보 추출 및 분석

가시광 영역의 영상처리를 통해 얻을 수 있는 정보로는 대상체의 색상정보와 형상정보가 있으나 본 실험에서는 잎담배 개체의 형상정보에 대한 추출 및 분석을 수행하였다. 대상체의 기하학적 형상정보는 다양한 영상처리 알고리즘을 수행하여 얻을 수 있다. 본 실험에서는 화소의 크기에 대한 측도설정, 영상 이치화를 통한 배경과 대상체와의 분할, 분할영상에 대한 잡음제거, 체인코딩을 통해 기하학적 형상인자들을 추출하였다.

영상 프레임의 가로방향과 세로방향 단위화소의 크기에 대한 측도설정은 크기를 알고 있는 정사각형 대상체에 대한 가로방향과 세로방향의 화소수를 측정하여 실측값과 비교하였다. 계산한 화소의 가로길이는 대략 0.1166 cm, 세로길이는 0.0951 cm였다.

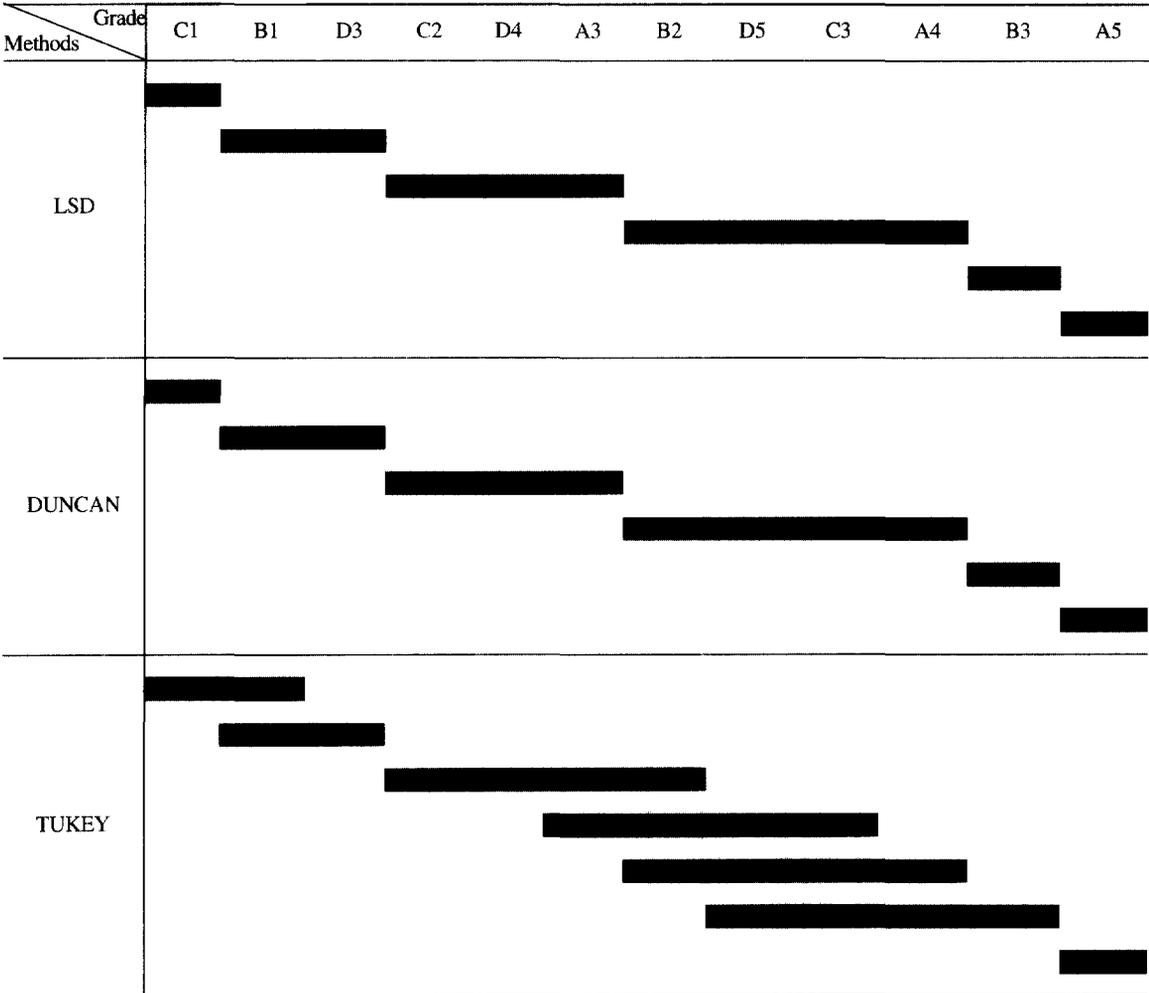
영상처리 과정에 있어서 영상분할은 대상체와 배경으로 분리하는 중요한 과정이다. 대상체와 배경을 나누는 방법으로 영상의 밝기에 따른 경계값 선정(Thresholding)에 의한 이치화가 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 모멘트 보존방법과 윈도우확장법(Hwang, 1993)을 동시에 수행하여 두 방법에 의해 구해진 경계값들의 중간값을 취하여 최종 경계값으로 선정하는 자동이치화 알고리즘을 적용하였다. 잎담배 시료의 경우 이치화를 위한 경계값은 보통 140-160의 밝기수준에서 결정되었다.

잡음 및 고립점 제거, 체인코딩을 이용한 형상정보 추출은 황과 이(1993)를 참조한다. 본 실험에서 얻은 등급별 잎담배 개체의 기하학적 특징의 평균값은 Table 2와 같다. Table 2에서 볼 수 있듯이 여러가지 기하학적 정보들 중에서 횡방향의 길이에 대한 정보가 가장 착엽위치별 등급간의 구분인자로 용이함을 알 수 있었다. 등급간의 잎담배의 기하학적 정보들은 전문감정원에 의해 분류한 공인된 시료를 이용하여 얻은 값이지만 사람의 육안을 통해 등급이 분류되어 어느 정도 오차가 있을 수 있다.

근적외 분광분석에 의한 잎담배 개체의 분광특성 검출 및 분석

현재 농산물의 품질 특히 내부품질에 대한 계측 및

Table 1 Statistical results of graded tobacco leaves



A: Upper Leaf D: Lower Leaf C: Middle Leaf B: Main Leaf

판정에 있어서 근적외 분광분석 기술을 이용하는 데에는 계측의 실시간화, 계측 시스템의 on-line화, 그리고 시스템의 단가가 문제가 되고 있다. 본 연구에서는 근적외 영역 중에서는 비교적 실시간화가 용이하고 시스템의 단가가 저렴한 700-1100 nm 파장대역을 중심으로 잎담배 개체의 분광특성을 검출하고 분석하였다. 특히 잎담배의 등급간 구성 화학성분에 있어 차이가 있다고 알려진 니코틴(nicotine, C₁₀H₁₄N₂)의 파장특성을 파악하는데 본 실험의 주안점을 두었다.

잎담배는 대체로 0.5%-3.7%의 니코틴을 함유하고 있다. 본 실험에서는 잎담배를 분쇄하지 않고 직접 측정하였는데 측정부위의 제한성을 벗어나기 위해 한 잎담배에 대해 네부분의 측정부위를 정하여 반복실험을 하였다. Fig. 3은 등급별 잎담배의 근적외 분광반사 스펙트럼의 2차미분 값을 보여준다. Visible 영역에서는 675 nm에서 등급간의 피크 차이가 크게 일어났으며, 760-790 nm부근에서 피크가 나타났다. 가시 영역 중에서는 675 nm에서 측정된 값을 등급판정에 응용할 수 있으리라 본다. Fig. 4는 675 nm에서의 스펙트럼과 등급간의 관계를 분석한 결과로써 등급이 낮을수록 흡광도 값이 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

근적외 분광분석 기술을 이용하여 잎담배의 품질등급 구분을 하는 경우, 900-930 nm영역을 이용한 통계적 처리만으로는 불충분한것으로 판단된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 비파괴 계측기술로서 농산물의 품질

Table 2 Geometric properties of graded tobacco leaves

Grade	x length	y width	area	perimeter	length ratio	square ratio	round ness	complex ratio
A3	44.17	10.1	264.57	93.28	0.13	0.23	0.38	32.89
A4	42.66	7.80	168.94	95.59	0.12	0.18	0.23	54.01
A5	37.99	8.94	179.76	87.16	0.16	0.23	0.30	42.26
B1	46.68	13.6	296.40	122.20	0.22	0.29	0.25	50.38
B2	41.56	10.8	204.41	102.47	0.21	0.26	0.24	51.37
B3	39.28	10.9	175.39	94.22	0.17	0.28	0.25	50.61
C1	44.53	14.65	303.41	108.98	0.23	0.33	0.32	39.14
C2	41.03	13.23	264.88	103.70	0.26	0.32	0.31	41.60
C3	39.46	13.20	264.21	99.14	0.26	0.33	0.34	37.20
D3	35.20	9.56	165.37	82.59	0.15	0.27	0.30	41.25
D4	34.50	8.37	128.01	81.36	0.17	0.24	0.24	51.71
D5	21.10	3.14	51.00	45.34	0.28	0.15	0.31	40.30

A: Upper Leaf D: Lower Leaf C: Middle Leaf B: Main Leaf.

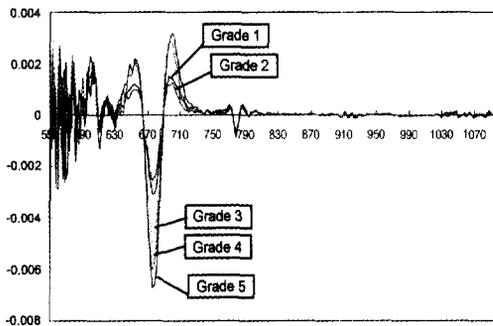


Fig. 3. Typical 2nd derivative spectrum of graded tobacco leaves (500-1100 nm).

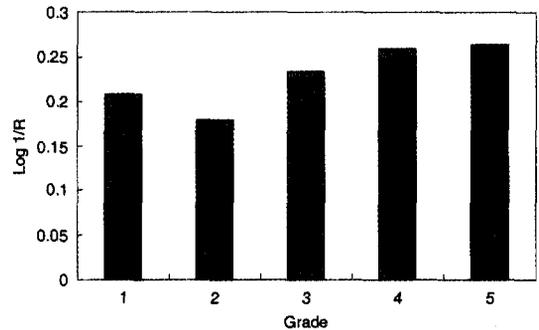


Fig. 4. Grade spectrum value at 675 nm.

등급 판정에 많이 이용되고 있는 컴퓨터 영상처리시스템과 근적외선 분광분석 시스템을 이용하여 수집한 품질인자 정보를 융합 처리하여 보다 정확하고 잡음의 영향이 적은 등급판별 시스템의 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다. 분광광도계를 이용한 잎담배의 색상정보와 가시영역의 분광분석으로 등급판별에 영향을 미치는 주요 인자를 찾았으며 칼라 컴퓨터 시각시스템을 구축하여 등급에 따른 잎담배의 색상정보 및 기하학적 특성을 알아보았다. 그리고 근적외선 분광분석시스템을 이용하여 실시간 분석이 가능한 800-1100 nm 파장대역에서의 분광반사 특성을 통한 성분 분석을 하였다. 컴퓨터 영상처리에 의한 색상 및 외관 정보와 근적외선의 분광특성을 분석한 자료를 토대로 하여 잎담배 개체의 등급별 특징을 측정 분석하였다. 본 실험은 한정된 시료에 대해 행하여졌다는 제한적인 측면이 있지만, 컴퓨터 영상처리와 근적외선을 이용한 실시간 비파괴 기술의 응용측면에서 기초적 자

료와 연구 방향을 제시하였다고 본다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

잎담배 개체에 대해 분광광도계를 이용하여 가시광 영역에 대한 등급간의 광반사특성을 비교한 결과 등급간의 차이가 가장 큰 파장영역은 640-660 nm 부근임을 알 수 있었으며 착엽위치는 상엽은 660 nm, 본엽은 580 nm, 중엽은 620 nm 그리고 하엽은 640 nm 부근임을 알 수 있었다. 품질등급간의 차이를 가장 잘 나타낼 수 있는 인자는 Yxy 좌표계의 Y로써 잎담배의 품질등급에 밝기가 상당히 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 통계분석 결과 색상에 의해서는 품질등급간의 구별이 용이하지 않았으며 다만 착엽위치가 정해진 경우 즉 착엽위치에 대한 정보를 미리 알고 있는 경우에는 색상에 의한 품질등급의 판정이 가능함을 알 수 있었다. 영상처리를 통해 잎담배 개체의 기하학적 특성을 측정하고 분석한 결과 잎담배의 여러 가지 기하학적 정보들 중에서 길이가 가장 착엽위치

별 등급간의 구분인자로 용이함을 알 수 있었다. 근적외 분광분석 기술을 이용하여 잎담배의 품질등급 구분을 하는 경우, 가시광 영역중 엽록소 파장대역인 675 nm대역의 분광반사 특성을 품질등급판정에 이용할 수 있을 것으로 보며 니코틴의 분광반사스펙트럼에서 피크영역인 900-930 nm 대역에 대해서는 통계적 처리만으로는 불충분하였고 다른 분광분석기법을 적용하여 분석하는 것이 바람직하였다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 지원(KOSEF핵심 971-0609-060-2)에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

문 헌

이상식, 이충호, 이대원, 황헌. 1995. 신경회로망을 이용한 담

- 배 속도인식 및 등급판정. 한국인삼연초학회지 **17**(1): 5-14
- 조한근, 송현갑. 1994. 컴퓨터시각에 의한 잎담배의 외형 및 색 특징 추출. 한국농업기계학회지 **19**(4): 380-396
- 황 헌, 이충호. 1994. 버섯전후면과 꼭지부 상태의 자동인식. 한국농업기계학회지 **19**(2): 124-137
- 조래광, 이경희, 이정환, 권영길. 1994. 근적외 분광분석법에 의한 잎담배의 품질측정 자동화. 한국농화학회지 **37**(5): 349-355
- 김용욱, F. E. Barton. 1994. 근적외선 분광법을 이용한 제품 담배 판별 연구. 한국인삼연초학회지 **16**(2): 163-171
- Hwang H., C.H. Lee and Y.K. Lee. 1993. Automatic visual feature extraction and measurement of mushroom(*Lentinus Edodes L.*) ICAMPE'93. Oct. pp 1243-1253
- McClure, W.F., 1975. A spectrophotometric technique for studying the browning reaction in tobacco. *Trans. of ASAE*. pp 380-383
- White, G.M., C. M. Clark, and D. G. Card. 1965. Evaluating Light Sources for Grading tobacco. *Trans. of ASAE*. pp 452-454