

# 로봇 착유시스템을 위한 NIR 필터 선정 및 유두인식 영상처리

김 웅 이대원

## Image Processing for Recognition of Cow Teats and Selection of a NIR Filter for Robot Milking System

W. Kim D. W. Lee

### Abstract

This study was developed image processing algorithm for recognition of four teats of a cow in the image using black and white camera attached with infrared filter. Spectroscopic analysis was used for selection of a NIR filter to separate teats from udder skin in the image captured. To verify the performance of image processing algorithm was developed and NIR filter was selected, carried out an experiment with cows. NIR band-pass filter was used to pass the 975 nm band of light spectrum. The image processing algorithm was developed could recognize all teats and the process time was 0.9 second to recognize the all teats and to acquire end position of teats.

**Keywords :** NIR filter, Spectroscopic analysis, Teats recognition

## 1. 서론

낙농은 사육농가 수의 감소와 사육두수의 증가로 인해 농가규모가 빠르게 커지고 있다. 또한 경영은 전업화가 가속되고 있으며, 이에 따른 노동력 부족현상이 발생하고 있는 실정이다. 이런 상황에서 로봇 착유시스템은 부족한 노동력을 제공할 뿐만 아니라 착유 시 감염될 수 있는 세균을 줄임으로써 유질을 향상시켜 농가의 경제소득을 높일 수 있는 장점이 있다(Justesen and Rasmussen, 2000; Klungel et al, 2000; Pomies and Bony, 2000; Van and Hogeveen, 2000).

로봇 착유시스템에서 가장 중요한 부분은 유두를 인식하는 방법이라 할 수 있다. 유럽의 선진낙농국을 중심으로 개발 보급 중인 로봇 착유시스템의 유두인식 방법은 레이저센서, 초음파 센서, 카메라 등을 단독으로 사용하거나 또는 복합적으로 사용하고 있다(Lee et al, 1998; Rossing and Hogewerf, 1997; 新出 陽三, 1994). 국내에서도 로봇 착유시스템의 개발을 위한 기초연구로 카메라를 이용한 착유컵 착탈에 관한 연

구가 수행된바 있다(Lee and Chang, 1999).

로봇착유시스템을 개발함에 있어 유두인식방법으로 두 대의 카메라를 이용하는 스테레오 비전시스템을 사용하였으며, 비전시스템을 이용하기위한 선행 연구로 카메라를 이용하여 유두의 영상을 획득 할 때 유두를 나머지 주변으로부터 좀 더 쉽게 분리할 수 있도록 하기 위하여 NIR(Near-Infrared) 필터를 사용하였다. 본 연구에서는 스테레오 비전시스템에 적용하기 위하여 유두와 유방피부의 분광분석을 통한 NIR필터의 영역을 선정하고, 획득된 영상내에서 유두만을 분리하기 위한 유두인식 알고리즘을 개발하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험재료

#### 1) NIR 필터선정

젖소는 개체에 따라 털과 피부에 형태가 다른 검은색의 점

이 있을 수 있다. 비전시스템은 털이 없는 유두와 털이 있는 피부에 대해서 점과는 상관없이 구별할 수 있어야 한다. 비전 시스템에서 젖소의 유두와 털이 있는 피부의 구별을 위한 NIR 필터를 선정하고자 근적외선 분광분석을 수행하였다.

NIR 필터 선정을 위한 실험 재료는 부친시에 소재한 축협 중앙회 부친공판장에서 도살된 직후 채취한 젖소의 피부색 유두 10개(그림 1(b)), 점이 있는 검은색 유두 10개(그림 1(c)) 및 유두 근처의 털이 있는 유방피부 10개(그림 1(a))를 사용하였다.

유두와 유방의 광학특성을 측정하기 위하여 근적외선 분광 분석기(NIRS systems, Model 6500, Silver Spring, USA)를 이용하였으며, 표 1은 근적외선 분광분석기의 사양을 나타내고 있다. 근적외선 분광분석기는 회절격자형으로 400~2,500 nm의 파장 범위에서 2 nm 간격으로 반사 및 투과 스펙트럼을 측정할 수 있으며, 파장의 정밀도는  $\pm 0.3$  nm이다. 근적외선 분광분석기는 시료의 상태와 종류에 따라 각각 다른 모듈을 설치하여 측정할 수 있다. 기준 스펙트럼은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 세라믹판을 이용하였다.

본 실험에서는 스펙트럼을 측정하기 위하여 WINISI II(Windows Infrasoftware Internal II) 프로그램을 사용하였으며, 분광 광도계는 반사도 측정 모듈을 사용하였다. 그림 2는 사

용된 분광분석기와 분광 광도계를 나타낸 것이다.

2) 영상처리프로그램

착유유 유두의 상대적 위치를 결정하기 위한 실험을 통하여 두 대의 흑백 카메라를 사용하는 스테레오 비전시스템을 제작하였다(Kim, 2003; Klungel et al, 2000). 사용된 카메라는 근적외선 영역의 영상을 획득할 수 있는 흑백카메라로써 1/2" CCD를 가진 SENTECH사의 STC-400 모델을 사용하였으며, 표 2는 STC-400 모델의 사양을 나타낸 것이다.

렌즈(3.5, Spacecom, Japan)는 카메라와 유두의 거리, 영상 면적을 고려하여 초점거리가 3.5 mm 렌즈를 사용하였다. 조명은 가시광선영역인 400 nm에서부터 적외선 영역인 3000 nm까지의 광을 발산하며, 집중조명을 위해 갓이 달린 20W-12V 텅스텐 할로겐램프(MR-16, DSE)를 카메라의 양쪽과 카메라 사이에 3개를 사용하였다.

카메라로부터 받은 영상을 처리하기 위해 4대의 카메라를 동시에 연결할 수 있는 Matrox사의 Meteor-II 프레임 그래버와 펜티엄 III 800 MHZ CPU를 탑재한 데스크탑 컴퓨터를 사용하였다.

영상처리 프로그램은 Microsoft사의 Visual C++ 6.0을 사용하여 개발하였다. 카메라를 통해 얻은 영상을 보여줄 수 있는 640 pixel×480 pixel 크기의 화면과 전처리를 위해 수행되는 누적히스토그램을 나타낼 수 있는 화면, 각 임계값의 설정을

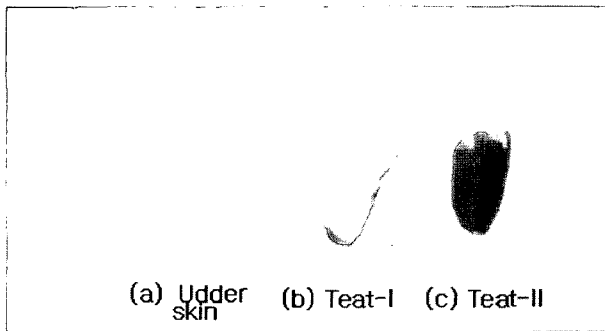
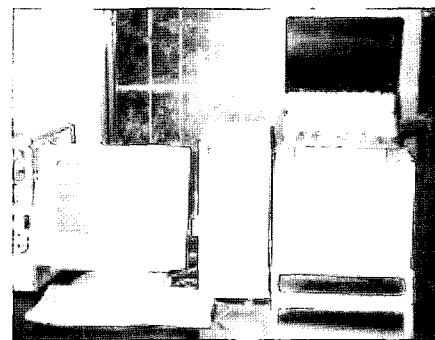


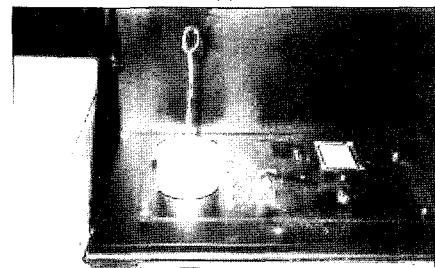
Fig. 1 Cow's udder skin and teats.

Table 1 Specifications of NIRS system

Item	Specifications
Wavelength range	400~2,500 nm
Wavelength accuracy	$\pm 0.3$ nm
Wavelength repeatability	$2 \pm 0.015$ nm standard deviation
Data interval	2.0 nm
Spectral bandwidth (1,100~2,500 nm)	10 $\pm$ 1 nm reflectance, 8.5 $\pm$ 1 nm transmission
Stray light	less than 0.1% at 2,300 nm
specular reflectance	less than 1.0% as measured with Carbon Black
Operating temperature	60 °F to 90 °F



(a)



(b)

Fig. 2 NIR spectrophotometer (a) and absorbance module (b).

**Table 2** Specification of B/W camera (STC-400)

Model	Effective picture element (Pixel)	Cell size ( $\mu\text{m}$ )	Image censor	Minimum illuminance	Lens mount type
STC-400	768 (H) $\times$ 494 (V)	7.95 (H) $\times$ 6.45 (V)	1/2" interline CCD	0.3 Lux at F1.4	C

위한 부분, 엔드이펙터와 매니플레이터와의 통신상태 및 데이터를 나타내는 부분, 3차원 좌표계산에 의한 각 유두의 위치데이터와 위치데이터로부터 계산된 매니플레이터와 엔드이펙터 시스템의 거리를 표시해주는 부분으로 구성하였다(그림 3).

**3) 착유우 실험**

유두인식성능을 판단하기 위하여 농촌진흥청 축산기술연구소에서 보유하고 있는 착유우(홀스타인종, 초산)를 대상으로 실험하였다. 착유우는 원활한 실험을 위하여 성격이 온순한 것을 선발하여 충분한 적응훈련을 수행하였으며, 스톨에 입실 후 영상을 입력받았다. 착유실 환경에 따라 획득할 영상이 다를 수 있으므로 이를 검증하기 위하여 가장 밝은 낮 1시부터 실내 형광등만 켜져 있을 저녁까지 7시간 동안 영상을 20개씩 획득하여 알고리즘을 검증하였다.

**나. 실험 방법**

**1) NIR 필터 선정**

유두와 유방피부의 분광분석을 위하여 채취된 유두 및 유방피부를 근적외선 분광분석기로 측정하였으며, 실험실내 온도는 26°C로 측정되었다. WINISI II 프로그램을 운용하기 위

해서 근적외선 분광분석기를 30~40분 이상 충분히 예열시킨 후 기준 스펙트럼을 측정하였다. 기준 스펙트럼 측정 후 유두와 피부시료 30개에 대하여 스펙트럼을 각 10회씩 측정하였다. 측정된 스펙트럼은 항상 일정한 흡광도(log(1/R))로 변화하여 컴퓨터의 파일로 저장하였으며, 측정된 시료의 스펙트럼을 분석하여 털이 없는 유두와 털이 있는 부분을 분리할 수 있는 영역을 선택하였다.

**2) 유두인식 알고리즘**

유두인식 알고리즘은 유두의 분광분석에 의하여 선정된 NIR 밴드-패스 필터를 사용하여 얻은 영상으로부터 전처리를 수행하였다. 근적외선 필터를 통해 획득된 영상정보로부터 유두와 배경을 분리하기 위하여 각 픽셀이 가지는 값의 히스토그램을 구하였다.

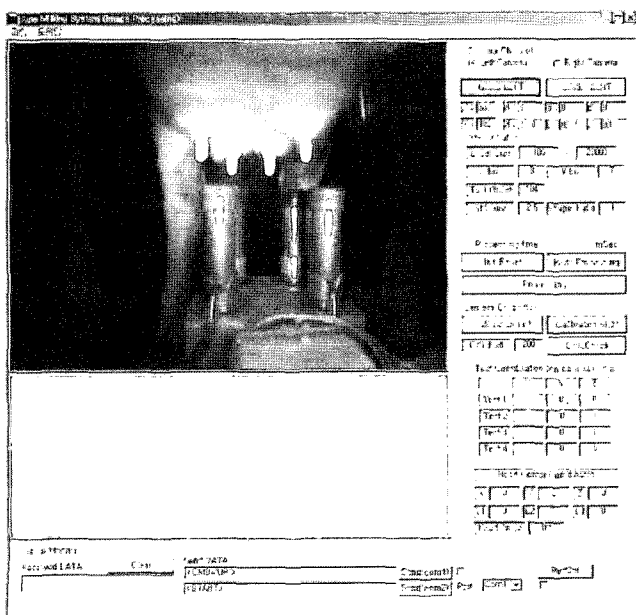
히스토그램은 255에 가까운 값을 가지는 유두의 픽셀과 나머지 배경을 나타내는 픽셀로 크게 두 개의 픽셀 군으로 나누어졌다. 이때 유두만을 나타내기 위한 문턱치(Threshold)의 결정은 각 픽셀정보 중 220에서 150까지의 빈도수를 검색하여 가장 작은 값을 가지는 값을 선택하였다.

히스토그램에 의하여 전처리한 영상은 잡음이 포함된 영상이다. 잡음(Noise)을 제거하기 위하여 미리 설정된 픽셀수보다 적은 픽셀수를 가지는 픽셀 군을 지우기 위한 열림(Opening) 방법과 라벨링(Labeling) 방법을 수행하였다.

조명과 착유우의 자세에 의하여 유두와 인접한 유방과 뒷다리가 열림 알고리즘과 라벨링 알고리즘에 의해 지워지지 않는 경우가 발생할 수 있으며, 이는 유방과 뒷다리의 영상정보를 유두와 구별하기 위해 유두의 끝 부분이 원형에 가까운 점을 이용하여 평균편차를 구하였다.

평균편차를 구하기 위하여 획득된 각 유두영상의 세로축 길이를 구하고 세로길이의 중심점에서 가로축의 길이 X를 구한다(그림 4(a)). 이때 각 유두의 끝점을 기준으로 가로길이가 세로길이가 X와 X/2인 사각형 영역(그림 4(b)) 내에서 지름이 X인 반 호와의 평균편차  $M_d$ (Mean deviation)를 구한다(그림 4(c)). 식 (1)에서  $M_d$ 는 평균편차,  $A_{vi}$ 는 호의 Y축 길이(pixel),  $B_{vi}$ 는 영상정보의 Y축 길이(pixel), n은 호의 X축 길이(pixel),  $a_i$ 는 영상정보 X축의 시작점(pixel),  $b_i$ 는 영상정보 X축의 끝점(pixel)을 말한다.

평균편차를 구하여 임계값보다 큰 것은 유두가 아니라고



**Fig. 3** Main screen of program in the stereo vision system.

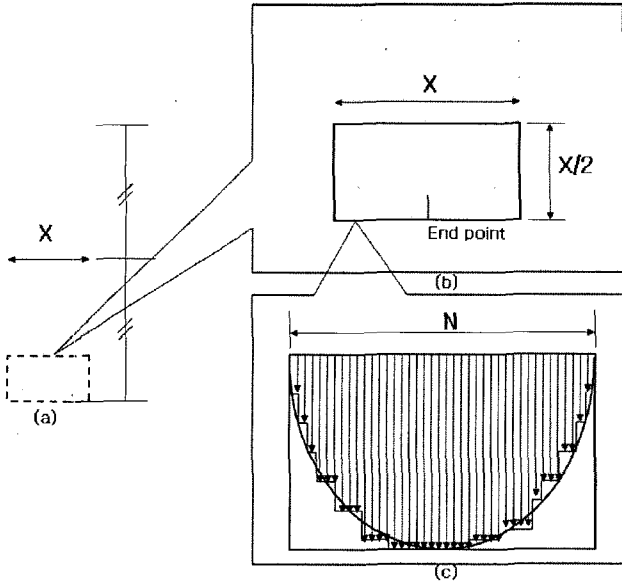


Fig. 4 Imaging geometry with end-point zone of teat for mean deviation.

판단하여 제거하게 되며, 평균 편차의 임계값은 여러 조건에서 획득한 유두를 분석한 결과 값(2.1~2.8)을 임계값으로 설정하였다.

$$Md = \frac{\sum_{y^i = a_i}^{b_i} (|A_{y^i} - B_{y^i}|)}{n} \quad (1)$$

잡음이 제거된 영상은 유두가 4개인지 판단하고 4개가 아닐 경우에는 영상을 다시 획득하게 된다. 4개만 남아 있다면 3차원 위치정보를 얻기 위하여 매칭작업을 수행한다. 각 유두의 매칭은 유두의 끝점에 해당하는 영상 좌표를 얻기 위하여 영상을 검색하고 각 유두에 번호를 부과하게 된다. 번호가 부여된 유두는 다음 유두의 검색에서는 검색 대상에서 제외된다(그림 5).

네 개 유두에 대한 번호가 왼쪽 영상과 오른쪽 영상에서 구해지면 같은 번호를 가지는 유두가 같은 유두라고 판단하며, 구해진 영상 좌표로부터 3차원 위치 정보를 계산하게 된다. 그림 6은 유두인식 알고리즘의 전체 흐름도를 나타낸 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. NIR 필터 선정

근적외선 분광분석을 통해 얻은 각 시료에 대한 평균스펙트럼을 나타낸 결과는 그림 7과 같다. 가시광선 영역에서는 점이 있는 유두가 가장 흡광도가 높게 나타났으며, 피부가 가장 낮은 흡광도를 보이고 있다. 또한, 근적외선 영역으로 갈수록 점의 유무에 상관없이 유두의 흡광도는 점점 동일 시 되는 것을 볼 수 있다. 이는 가시광선 영역에서는 젖소 점의 유무에 따라 흡광도가 달라지지만, 근적외선 영역에서는 물체

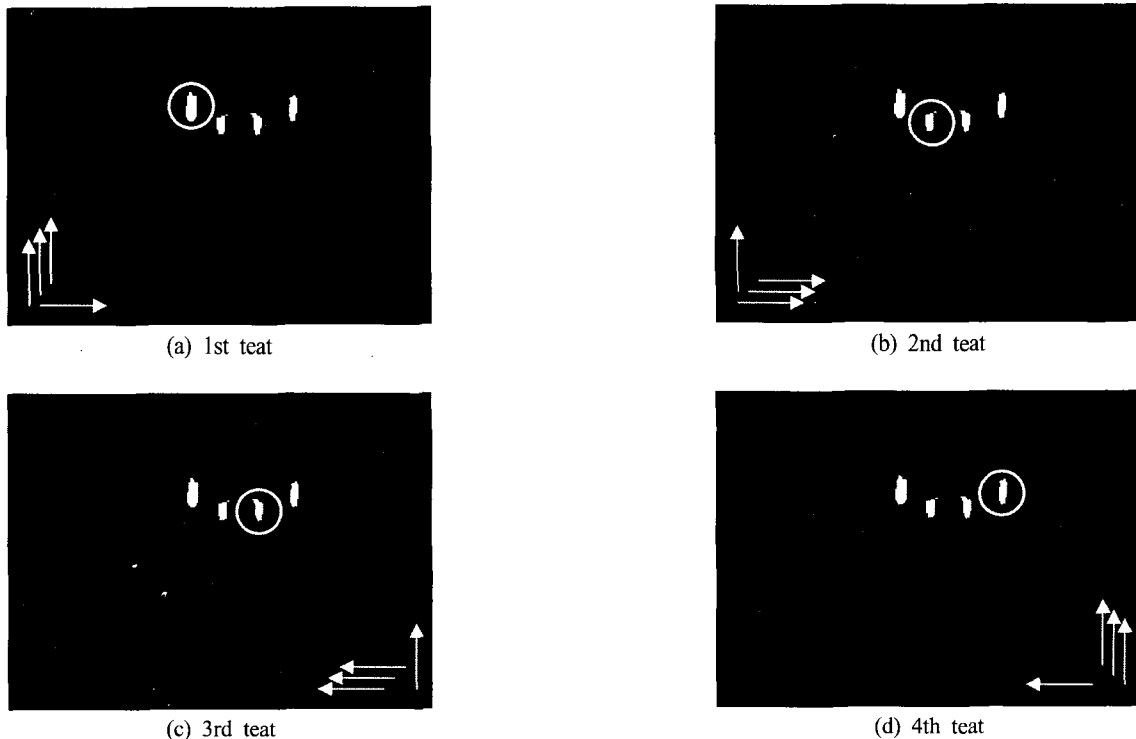


Fig. 5 Searching direction to find four teats on image.

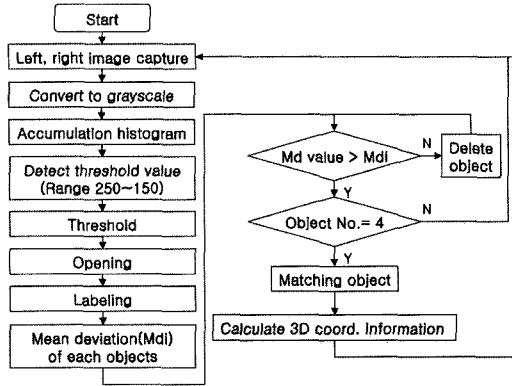


Fig. 6 Flowchart of image processing for teats recognition.

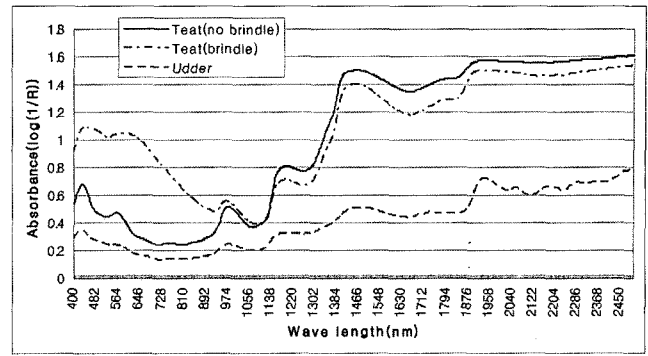
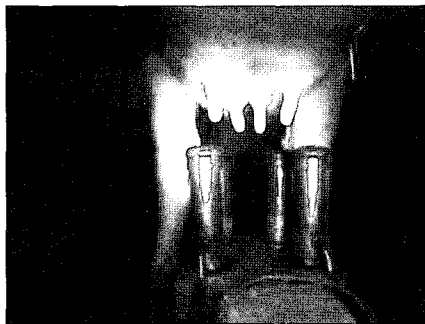
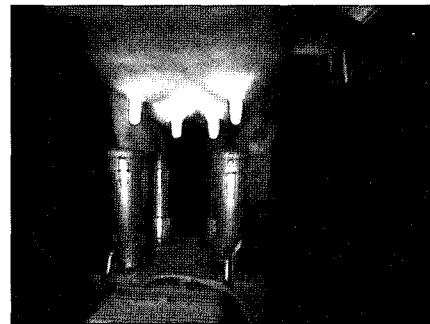


Fig. 7 Spectrums of teat I (no brindle), II (brindle) and udder skin (hair) by average values.



(a) Without NIR filter



(b) With NIR filter

Fig. 8 Images with NIR filter and without.

의 내부 특성에 기인하여 흡광도가 나오므로 유두의 색에 관계없이 유사한 흡광도를 보임을 알 수 있다.

위 결과, 유방과 유두를 구별하기 위한 카메라 필터는 1,400 nm 이상의 파장만을 투과하면 유두와 피부와의 구분이 확실한 것을 알 수 있었으나 빛의 파장대가 가시광선에 가까울수록 응답특성이 좋은 CCD카메라의 특성을 고려하여 점이 있는 유두와 점이 없는 유두의 흡광도 차가 적고 유두와 유방피부의 흡광도 차가 큰 975 nm를 중심으로 하는 밴드-패스 필터를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

나. 유두인식 성능

그림 8은 근적외선 필터를 사용하지 않을 때의 영상과 분광분석에 의하여 결정된 NIR 필터를 사용했을 때 획득된 영상을 나타낸 것이다. 두 영상에서 근적외선 필터를 사용하지 않은 영상은 각 유두와 유방의 경계가 뚜렷하지 않아 4개의 유두를 인식하기가 곤란하였으나 필터를 사용한 영상은 유방 부분의 밝기가 유두와 많은 차이를 보여 각 유두의 인식이 용이하였다.

획득된 영상(그림 10(a))을 가지고 배경과 유두의 분리를 위한 문턱치를 결정하기 위하여 0에서 255까지의 히스토그램

(그림 9)을 구하였다. 문턱치 결정은 각 픽셀정보의 220에서 150까지의 빈도수가 가장 작은 부분을 선택하여 잡음이 포함된 유두를 추출하였다(그림 10(b)). 영상에서 잡음 제거를 위해 라벨링 방법과 3x3 픽셀 크기의 마스크를 이용한 열림 방법을 적용하여 작은 잡음을 제거하였으며(그림 10(c)), 큰 잡음을 없애기 위해 각 라벨에 대해 반원을 이용한 평균편차를 구하여 최종적으로 유두를 찾아낼 수 있었다(그림 10(d)).

표 3은 유두 4개를 동시에 획득한 인식성공률과 거리계산을 위한 유두의 끝점과 프로그램에 의해 인식된 끝점과의 차이 및 1회 인식하는데 걸리는 프로그램 평균처리시간을 나타낸 결과이다.

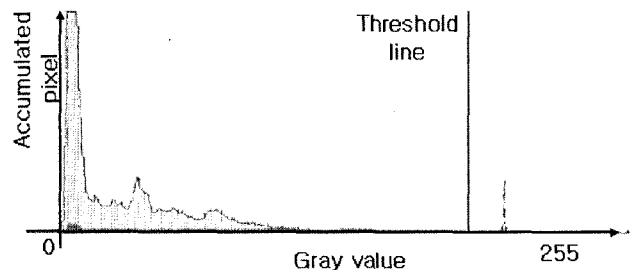


Fig. 9 The threshold value by accumulation histogram.

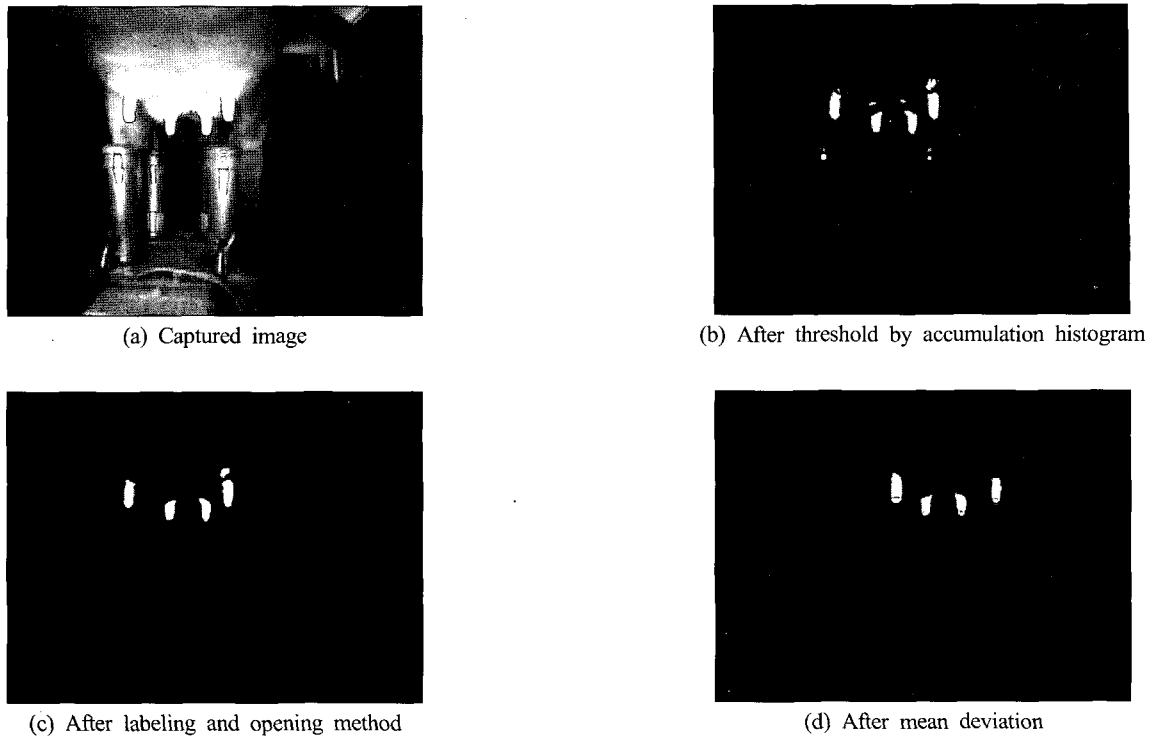


Fig. 10 Processed images by teats recognition algorithm.

Table 3 The recognition ratio and average end-point error of teats by time

Time	1	2	3	4	5	6	7	Average
Teat recognition ratio (%)	95	95	100	100	100	100	100	98.00
Average error of teat end-point (pixel)	0.8	0.9	0.3	0.2	0.4	0.4	0.5	0.52
Average execution time (sec)	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.94

스테레오 비전을 위하여 2개 카메라의 영상을 획득하고 배경으로부터 유두를 분리하여 2개의 영상에서 총 8개의 유두를 모두 찾았을 때를 성공이라고 판단하였으며, 시간별 20회 반복실험에 대한 유두인식률은 평균 98.6%의 성공률을 보였다. 1, 2번(오후 1시, 2시) 실험군은 착유실에 창을 통해 빛이 들어와 유두를 4개를 찾지 못한 경우 1회씩을 제외하고 모두 인식을 하였다. 따라서 착유실내 조명을 큰 변화가 없게 유지해준다면 유두를 잘 인식할 것으로 판단되었다.

3차원 위치정보를 계산하기 위한 좌표인 각 유두의 끝점좌표 오차는 평균 0.5 픽셀 오차를 보여 거리계산에 미치는 영향은 작을 것으로 판단되었다. 영상처리 시간은 노이즈의 양에 따라 약  $\pm 0.1$ 초 정도의 차이를 보였으며, 평균 0.9초가 소요되었다. 이는 훈련된 착유우를 대상으로 하는 로봇 착유시스템에 적용하기에 충분한 시간이라 판단되었다.

#### 4. 요약 및 결론

로봇 착유시스템에서 유두를 인식하고, 동시에 3차원 위치 정보 획득을 위한 영상처리시스템은 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 본 연구에서는 로봇 착유시스템에 적용하기 위하여 흑백카메라와 NIR 필터를 사용한 스테레오 비전시스템을 개발하기 위하여 수행되었다. 이를 위한 기초연구로 유두와 피부의 근적외선 분광분석을 통하여 유두와 배경분리가 용이한 필터영역을 선정하였으며, 유두인식 알고리즘을 개발함으로써 로봇 착유시스템에 적용가능성을 평가하였다. 구체적인 결과는 다음과 같다.

1. 스테레오 비전시스템에서 유두를 배경과 분리할 수 있는 NIR 필터를 선정하기 위하여 유두 및 유방피부의 분광분석을 수행하였으며, 점의 유두에 상관없이 구별할 수 있는

필터는 약 975 nm인 밴드-패스필터를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

2. 획득된 영상에서 유두만을 분리하기 위한 유두인식알고리즘을 개발하였으며, 프로그램에 의하여 2개의 영상에서 8개의 유두를 동시에 찾은 인식률은 98.6%로 나타났으며, 영상처리 시간은 평균 0.9초가 소요되었고, 잡음의 양에 따라 약  $\pm 0.1$ 초 정도의 차이를 보였다. 이는 로봇 착유시스템에 적용 가능할 것으로 판단되었다.

### 참 고 문 헌

1. Justesen, P. and Rasmussen, M. D. 2000, "Improvement of Milk Quality by The Danish AMS Self-monitoring Program", *Proceedings of the international Symposium Robotic Milking*, pp. 83-88.
2. Kim, W. 2003, *Development of a Milking Robot System*, SungKyunKwan University, Suwon, pp. 87-101. (In Korean)
3. Klungel, G. H., Slaghuis, B. A. and Hogeveen, H. 2000, "The Effect of The Introduction of Automatic Milking on Milk Quality," *J. Dairy Sci.*, Vol. 83, pp. 1998-2003.
4. Kwon, D. J., Kim, W. and Lee, D. W. 2002, "Position Analysis of Cow Teats for Teat-cup Attachment System on Robotic Milking System," *J. of Livestock Housing and Environment*, Vol. 8, No. 3, pp. 159-164. (In Korean)
5. Lee, S. H., Choi, K. J. and Yu, B. K. 1998, "Research Trends and Their Perspectives in Milking Robot," *J. of Bio-systems Engineering*, Vol. 23, No. 6, pp. 641-647. (In Korean)
6. Lee, Y. J. and Chang, D. I. 1999, "Basic Study for the Development of Teat Cup Handling System Operated by a Robot," *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*, Vol. 4, No. 2, pp. 159-164. (In Korean)
7. Pomies, D., and Bony, J. 2000, "Comparison of Hygienic Quality of Milk Collected with a Milking Robot vs. With a Conventional Milking Parlor," *Proceedings of the International Symposium Robotic Milking*, pp. 122-123.
8. Rossing, W. and Hogewerf, P. H. 1997, "State of The Art of Automatic Milking Systems," *J. of Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 17, No. 1, pp. 1-17.
9. Van der Vorst, Y. and Hogeveen, H. 2000, "Automatic Milking Systems and Milk Quality in The Netherlands," *Proceedings of the International Symposium Robotic Milking*, pp. 73-82.
10. 新出 陽三, 松田 從三, 1994, *搾乳ロボットと酪農, 酪農綜合研究所 北海道*. (In Japanese)