

젖소의 개체인식 및 형상 정보화를 위한 컴퓨터
시각 시스템 개발 (Ⅱ)
- 스테레오 영상을 이용한 체위 분석 -

Development of Computer Vision System for Individual
Recognition and Feature Information of Cow (Ⅱ)
- Analysis of body parameters using stereo image -

이 종 환
정회원
J. W. Lee

ABSTRACT

The analysis of cow body parameters is important to provide some useful information for cow management and cow evaluation. Present methods give many stresses to cows because they are invasive and constrain cow postures during measurement of body parameters. This study was conducted to develop the stereo vision system for non-invasive analysis of cow body features.

Body feature parameters of 16 heads at two farms(A, B) were measured using scales and nineteen stereo images of them with walking postures were captured under outdoor illumination. In this study, the camera calibration and inverse perspective transformation technique was established for the stereo vision system. Two calibration results were presented for farm A and farm B, respectively because setup distances from camera to cow were 510 cm at farm A and 630cm at farm B. Calibration error values for the stereo vision system were within 2 cm for farm A and less than 4.9 cm for farm B.

Eleven feature points of cow body were extracted on stereo images interactively and five assistant points were determined by computer program. 3D world coordinates for these 15 points were calculated by computer program and also used for calculation of cow body parameters such as withers height, pelvic arch height, body length, slope body length, chest depth and chest width. Measured errors for body parameters were less than 10% for most cows. For a few cow, measured errors for slope body length and chest width were more than 10% due to searching errors for their feature points at inside-body positions.

Equation for chest girth estimated by chest depth and chest width was presented. Maximum of estimated error for chest girth was within 10% of real values and mean value of estimated error was 8.2cm.

The analysis of cow body parameters using stereo vision system were successful although body shape on the binocular stereo image was distorted due to cow movements.

Keywords : Cow body parameter, Stereo vision, Cow feature point, Body shape analysis.

This study was supported by Korea Research Foundation Grant(KRF-99-003-G00005) and article was submitted for publication in August 2002; reviewed in and approved for publication by the editorial board of KSAM in January 2003. The corresponding author is Jong Whan Lee, Assistant Professor, Dept. of Bioresources Machinery, Hankyong National University, Ansong, 456-749, Korea. E-mail: <jwlee@hnu.hankyong.ac.kr>.

1. 서 론

젖소에 대한 사료배합 및 급여에 반영하고 성장 단계 및 산유 능력에 합당한 영양성분을 공급하기 위해서는 체중뿐만 아니라 성장단계별로 다양한 외형적 특징을 측정하거나 분석하는 것이 필요하다. 특히, 흉위측정에 의한 체중의 산출이 가능하고, 체점수(BCS) 또는 신체충실지수에 의해 성장 단계별 적정 생육상태 및 사양관리법이 제시되어 있는 실정이므로 젖소의 외형적 특징 분석의 중요성은 매우 크다.

가축의 체장, 체고, 흉위 등과 같은 체위를 측정하기 위해 체위계, 캘리퍼스, 간척, 측각기 등이 이용되는데, 체위 측정은 발육상태의 파악, 표준형 또는 정상체와의 비교, 신체 상호간의 상관관계, 체형과 능력의 비교 등을 목적으로 한다. 가축을 심사하기 위해 피부, 피모, 유방 등의 상태를 파악할 때에는 육안이나 손 접촉 등이 많이 사용되는데, 가축에 스트레스를 주지 않도록 주의하여야 한다.

체위 측정 시 오차를 줄이기 위해서는, 측정장소는 평탄해야 하고 가축이나 측정자가 편안한 자세를 취해야 한다. 그러나, 가축의 사지(四肢)를 똑바로 세워 놓은 상태에서 접촉 방식으로 측정하기 때문에 가축에게 스트레스를 주며 정확한 측정이 어렵다. 따라서, 최근에는 가축에 대한 사진을 촬영, 보존하고 가축심사에 이용하기도 한다. 국내에서는 접촉에 의한 측정방법을 대신하여 사진이나 영상을 이용한 비접촉식 체위측정 기술에 관한 연구가 추진되고 있지만(손 등, 1998; Kim, 2000), 아직 실용적인 결과는 보여주지 못하고 있다.

컴퓨터 시각장치를 이용하여 3차원 정보를 획득하는 방법에는 여러 가지가 있다(Schalkoff, 1989; Vernon, 1991; Cho, 1991). 쌍안 스테레오(Binocular stereo), 셰이딩(Shape from shading), 텍스처(Shape from texture) 및 초점작동(Focusing) 등의 원리를 이용하는 수동적 기법(Passive technique)은 카메라만을 사용하여 3차원 정보를 얻는다. 이에 반하여, 카메라와 다른 장치를 동시에 이용하는 능동적 기법(Active technique)에는 점, 선, 격자, 원모양의 패턴을 생성하는 광원을 사용하는 구조광(Structured light) 기법과 초음파나 레이저를 이용하는 플라이

트 시간(Time of flight) 기법이 있다. 대표적인 수동적 기법인 쌍안 스테레오 방식은 2대의 카메라(또는 1대의 카메라를 이동시킴.)를 이용하여 스테레오 영상을 얻고 삼각측량법(Lee 등, 1999)이나 역투사방법(Cho, 1991)을 이용하여 거리 정보를 얻는다. 능동적 기법 중에서 널리 사용되는 것으로 1대의 카메라와 레이저 구조광을 이용하여 평면 영상과 거리 정보를 획득하는 방법(Hwang 등, 1998)이 있으나 레이저광은 야외에서 사용하기가 어렵다.

이 연구는 젖소 영상을 이용한 개체인식 기술을 개발하고 젖소의 형상 정보를 분석하기 위한 컴퓨터 시각 시스템을 개발하기 위한 연구의 하나로써, 목장 내에서 이동중인 젖소를 대상으로 쌍안 스테레오 방법에 의한 스테레오 영상을 획득하고 이를 이용하여 젖소의 체위를 분석하는 방법을 제시하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

경기도 안성지역에 위치한 2개의 목장에서 사육 중인 젖소(홀스타인)를 대상으로, 각 젖소마다 2대의 카메라를 이용하여 자연광 하에서 스테레오 영상을 획득하였다. 모든 젖소 영상은 우사 밖에서 촬영되었으며 표 1에 나타낸 바와 같이, 카메라와 젖소간의 평균거리는 목장 A의 경우 510 cm이었고, 목장 B의 경우 630 cm이었다. 젖소의 자세를 유도하기 위한 특별한 장치는 설치하지 않았으며, 젖소의 자세나 행동에 대한 제약을 배제하기 위해 젖소가 자유로이 진행하고 있을 때 스테레오 영상을 획득하였다.

이 연구의 논문 1편(Lee, 2002)에서 대상으로 한 공시 젖소와 비교하면, 8두는 동일개체이고 나머지 8두는 다른 개체가 선정되었다.

나. 체위 실측

젖소의 체위를 정확하게 실측하기 위해서는 평탄한 장소에서 측정하고 가축이 움직이지 않게 고정되어 있어야 하며, 사지를 바로 세우고 머리는

Table 1 Number of sample images and setup distance between cow and camera system

Cow identification	Number of stereo images	Distance ¶ [cm]
#105	1	510 ± 30
#110	1	510 ± 30
#111	1	510 ± 30
#113	1	510 ± 30
#119	1	510 ± 30
#125	1	510 ± 30
#126	2	510 ± 30
#137	1	510 ± 30
#214	1	630 ± 30
#218	2	630 ± 30
#222	1	630 ± 30
#224	2	630 ± 30
#225	1	630 ± 30
#226	1	630 ± 30
#227	1	630 ± 30
#228	1	630 ± 30

1. 19 images for 16 cows were analyzed.
 2. #105~#137 are for cows at Farm A.
 3. #214~#228 are for cows at Farm B.
- ¶ It means the setup distance between cow and camera.

자연상태로 앞을 보게 한 후 젖소가 놀라지 않도록 주의하여 측정하여야 한다. 그러나, 실제에 있어서는 우사의 바닥이 평탄하지 않았으며 움직임을 최소로 하기 위해 젖소의 머리를 고정하는 방법을 사용하였으나 그럼에도 불구하고 젖소가 움직이는 경우가 많았다. 한편, 채위 측정 실시 요령에 의거하여 2회씩 측정하고 그 차가 크면 다시 측정하였으며 측정자가 측정치수를 부르면 기록자는 측정치를 복창하며 기록하였다.

그림 1은 젖소의 특징점과 채위를, 표 2는 젖소의 채위에 대한 정의 및 측정부위를 나타낸다.

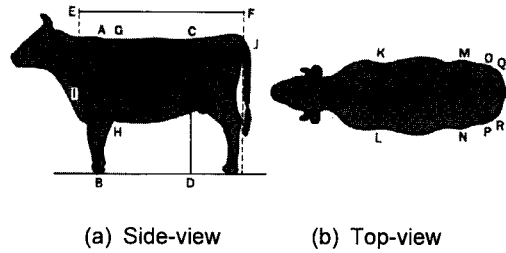


Fig. 1 Feature points and lines for analysis of cow body parameters.

다. 실험장치

스테레오 영상을 얻기 위해 두 대의 동일한 카메라(DSC-S70, Sony, Japan)는 두 광축간 거리가 30 cm가 되도록 설치하였는데, 두 카메라에 의해 획득한 영상면이 서로 동일 평면상에 유지되도록 출력 영상을 보면서 카메라를 고정하였다. 두 대의 카메라가 부착된 선형 프로파일은 그림 2에서 보는 바와 같이 토목측량용 삼각대 위에 고정하였다. 이 때, 삼각대는 수평상태가 되도록 설치하였다.

선명한 영상을 얻기 위해 카메라의 조리개 및 초점의 자동 기능을 이용하였으나 측도 설정에 직접적인 영향을 미치는 줌(Zoom)의 조건은 그 영향을 배제하기 위해 항상 일정한 상태가 되도록 설정하였다. 한편, 영상 획득을 위한 준비 단계에서 출력영상을 보면서 직사광선이나 저조도 등에 의한 영향을 배제하였다. 기타 실험장치는 이 논문의 1편(Lee, 2002)에서 사용한 컴퓨터 시각 시스템을 사용하였다.

라. 3차원 좌표 산출 및 측도 설정

(1) 3차원 좌표 산출

연구 초기에는 카메라 이동장치를 제작하여 한 대의 카메라로 2개 영상을 순차적으로 획득하는 방법을 시도하였으나, 카메라를 일정한 거리로 이동하는 것이 어려웠으며 움직이는 젖소를 대상으로 하기에는 부적절하였다. 따라서, 두 대의 카메라를 이용하여 스테레오 영상을 획득하였는데, 이 경우에도 초점거리와 두 카메라의 광축간 거리를

Table 2 Names and definitions of cow body parameters

Name	Symbol in Fig. 1	Definition of feature parameters
Withers height	A-B	기갑의 정점에서 지면까지의 수직거리
Pelvic arch height	C-D	십자부에서 지면까지의 수직거리
Body length	E-F	어깨 전단에서 좌골 후단을 직선으로 이은 수평거리
Chest depth	G-H	견갑골 뒤(제 7-8 늑골부)의 등에서 가슴바닥까지의 수직거리
Chest width	K-L	견갑골 직후 제8늑골 좌, 우측 가슴사이 가장 넓은 부위의 수평거리
Slope body length	I-F	어깨 전단에서 좌골 후단을 직선으로 이은 거리
Hip width	M-N	좌, 우 요각 외측 사이의 수평거리
Thurl width	O-P	좌, 우 고관절 사이 제일 높은 부위의 수평거리
Pin bone width	Q-R	좌, 우 좌골결절 외측사이의 수평거리
Chest girth	-	견갑골 직후를 통하는 가슴부의 둘레의 길이



Fig. 2 Photograph of stereo camera system.

정확하게 알고 있는 두 카메라를 기저선(Epipolar line)이 구축되도록 설치한 후 삼각 측량원리를 이용하는 방법(Lee 등, 1999)과 3차원 좌표를 정확하게 알고 있는 기지점(Known point)들에 대한 영상을 획득한 후 역투사변환을 이용하는 방법(Vernon, 1991; Cho, 1991)이 있으나, 이 연구에서는 후자의 방법인 역투사변환(Camera calibration and Inverse perspective transformation) 기법을 이용하여 다음과 같이 3차원 좌표를 계산하였다.

우선 하나의 카메라에 대한 실제 좌표계 (x, y, z)와 영상 좌표계 (U, V)간의 관계를 행렬로 표시

하기 위해, 두 좌표간의 변환행렬을 C라고 하면,

$$C \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ t \end{bmatrix}$$

로 표시할 수 있다. 여기서, t는 1로 가정하여도 무방하며 U=u, V=v의 관계가 성립한다. 그리고, C는 3×4의 변환행렬이어야 하며 식(1)이 된다. 12개의 미지수를 가지는 행렬 C를 구하기 위해서는 6개의 기지점에 대한 실제 좌표와 이에 상응하는 영상 좌표를 이용한다.

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

6지점에 대한 실제 좌표 (xⁱ, yⁱ, zⁱ, i=1,6)와 각각의 카메라에서 얻은 영상에 대응하는 좌표 (Uⁱ, Vⁱ, i=1,6)을 적용하면 식(2)와 같다. 여기서, 행렬 C는 C=(X^TX)⁻¹X^Ty 에 의해 산출한다. 동일한 과정을 통하여 또 다른 카메라 영상을 위한 변환행렬 C를 얻는다.

두 영상에서 얻은 동일한 지점에 대한 영상 좌표(2 영상 × 2 차원 = 4 좌표)를 입력하면 해당 지점에 대한 실제 좌표(3차원)가 산출되며, 화소당 실제거리도 얻을 수 있다. 역변환을 위한 수식

$$X = \begin{bmatrix} x^1 & y^1 & z^1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^1x^1 & -U^1y^1 & -U^1z^1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^1 & y^1 & z^1 & 1 & -V^1x^1 & -V^1y^1 & -V^1z^1 \\ x^2 & y^2 & z^2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^2x^2 & -U^2y^2 & -U^2z^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^2 & y^2 & z^2 & 1 & -V^2x^2 & -V^2y^2 & -V^2z^2 \\ x^3 & y^3 & z^3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^3x^3 & -U^3y^3 & -U^3z^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^3 & y^3 & z^3 & 1 & -V^3x^3 & -V^3y^3 & -V^3z^3 \\ x^4 & y^4 & z^4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^4x^4 & -U^4y^4 & -U^4z^4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^4 & y^4 & z^4 & 1 & -V^4x^4 & -V^4y^4 & -V^4z^4 \\ x^5 & y^5 & z^5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^5x^5 & -U^5y^5 & -U^5z^5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^5 & y^5 & z^5 & 1 & -V^5x^5 & -V^5y^5 & -V^5z^5 \\ x^6 & y^6 & z^6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^6x^6 & -U^6y^6 & -U^6z^6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^6 & y^6 & z^6 & 1 & -V^6x^6 & -V^6y^6 & -V^6z^6 \end{bmatrix} C = \begin{bmatrix} C_{11} \\ C_{12} \\ C_{13} \\ C_{14} \\ C_{21} \\ C_{22} \\ C_{23} \\ C_{24} \\ C_{31} \\ C_{32} \\ C_{33} \\ C_{34} \end{bmatrix} y = \begin{bmatrix} U^1 \\ V^1 \\ U^2 \\ V^2 \\ U^3 \\ V^3 \\ U^4 \\ V^4 \\ U^5 \\ V^5 \\ U^6 \\ V^6 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1z + d_1 &= 0 \\ a_2x + b_2y + c_2z + d_2 &= 0 \dots\dots\dots(3) \\ p_1x + q_1y_1 + r_1z + s_1 &= 0 \\ p_2x + q_2y_1 + r_2z + s_2 &= 0 \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} a_1 &= C_{11} - U_1C_{31} & a_2 &= C_{21} - V_1C_{31} \\ b_1 &= C_{12} - U_1C_{32} & b_2 &= C_{12} - V_1C_{32} \\ c_1 &= C_{13} - U_1C_{33} & c_2 &= C_{13} - V_1C_{33} \\ d_1 &= C_{14} - U_1C_{34} & d_2 &= C_{14} - V_1C_{34} \\ p_1 &= C_{21} - U_2C_{31} & p_2 &= C_{21} - V_2C_{31} \\ q_1 &= C_{22} - U_2C_{32} & q_2 &= C_{22} - V_2C_{32} \\ r_1 &= C_{23} - U_2C_{33} & r_2 &= C_{23} - V_2C_{33} \\ s_1 &= C_{24} - U_2C_{34} & s_2 &= C_{24} - V_2C_{34} \end{aligned}$$

따라서, 원하는 점에 대한 실제 좌표 (x, y, z)를 구하기 위해서는 식(3)을 풀면 된다.

(2) 측도 설정

이 연구에서는 10 cm 간격의 격자모양으로 직선이 그려진 측도판을 그림 3에서와 같이 수직벽에 부착하고 카메라를 수평 이동하면서 측도판 간의 거리를 조절하였다. 그리고, 다음과 같은 방법으로 스테레오 영상 계측을 위한 측도 설정을 수행하였다.

① 먼저, 실험에서 젯소와 카메라와의 실제 거리가 510 cm와 630 cm 부근임을 감안하여, 480 cm, 490 cm, 500 cm, 510 cm, 520 cm 및 530 cm의 6개 거리(이하 근거리 범위라고 함.)와 585 cm, 600 cm, 615 cm, 630 cm, 645 cm 및 660 cm의 6개 거리(이하 원거리 범위라고 함.)로 변화시키면서 스테레오 영상을 획득하였다. 이와 같이 카메라와 측도판의 간격을 근거리 범위에서는 10 cm로, 원거리 범위에서는 15 cm로 다르게 한 것은 원거리일수록 평면 좌표에서의 화소 당 길이가 커

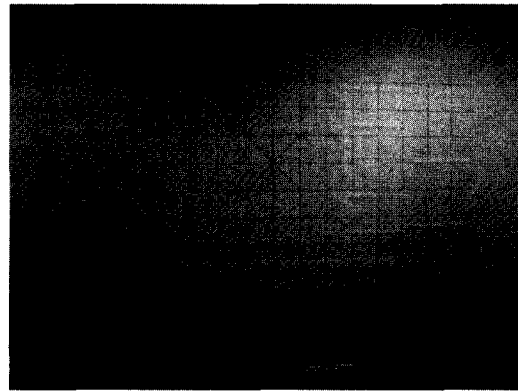


Fig. 3 Calibration board. (Distance between nodes=10cm, Number of nodes (H×V)=16×10).

짐을 감안하여 거리에 대해서도 이를 반영하기 위해 경험에 의해 결정한 것이다.

② 근거리 및 원거리 범위에 대해 각각 6개 거리에서 얻은 측도판의 스테레오 영상에서, 실제 좌표를 알고 있는 하나의 노드점(영상중심에서 반경 100 cm내에 위치함.)에 대한 한 쌍의 영상 좌표를 육안에 의해 검출하였다.

③ 두 범위에 대해, 각각 6개의 노드점에 대한 실제 좌표와 동일 노드점에 대한 스테레오 영상 좌표를 이용하여 3차원 좌표 산출을 위한 변환행렬 C를 구하였다.

마. 젯소의 특징점 검출 및 체위 분석

젯소의 특징점은 각종 체위를 정의하는데 사용되는 지점을 의미한다. 이 연구에서 검출한 특징점은 그림 1의 (a)에서 보인 점 A, 점 C, 점 G, 점 H, 점 I 및 점 J 등 6개의 특징점과 젯소의 사지

를 나타내는 4개의 특징점 등으로 이루어진다. 여기서, 지면이 평탄한 곳에서 젖소의 사지가 바로 세워져 있는 상태가 아니라 목장 내에서 젖소가 이동하는 동안에 스테레오 영상을 얻었기 때문에 부가적으로 사지의 위치에 의해 지면을 정의하는 것이 필요하였으며 이를 위해 사지에 대한 4개의 특징점을 검출하였다.

젖소에 대한 10개의 특징점과 흉폭을 얻기 위해 몸통 내부에 있는 특징점을 추가 검출한 후, 이들 특징점과 5개의 보조점들에 대한 각각에 대한 3차원 좌표를 이용하여 각종 체위치를 산출하였다.

이 때, 5개의 보조점을 산출하거나, 15개 특징점에 대한 3차원 좌표와 이를 이용한 각종 체위치의 산출은 컴퓨터 프로그램에 의해 자동 수행되었다.

이 연구에서 분석 대상으로 한 젖소의 체위는 체고, 십자부고, 체장, 사체장, 흉심, 흉폭 및 흉위 이었다. 흉위를 제외하고는 두 점간 거리, 두 점을 연결하는 직선에 내린 한 점에서의 수선에 대한 거리로써 산출되었으며, 흉위는 흉심 및 흉폭을 독립변수로 하는 회귀분석을 통하여 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 체위 실측 결과

두 목장(A, B)에서 사육중인 젖소를 대상으로 체척계와 흉위용 줄자 등을 이용하여 실측한 체위 값은 표 3 및 표 4와 같았다. 어린 젖소인 #227

Table 3 Measurement of body parameters for cows in Farm A

(Unit : cm)

Cow identification	#105	#110	#111	#113	#119	#125	#126	#137
Withers height	127	136	133	136	133	132	137	127
Pelvic arch height	138	141	140	137	135	134	139	133
Body length	146	155	151	148	153	151	149	144
Chest depth	74	83	84	84	80	82	81	73
Chest width	36	43	50	42.8	44	38	44	39
Slope body length	152	178	173	160	176	174	165	157
Hip width	51	58	60	60	58	58	62	56
Thurl width	48	58	56	51	56	55	42	53
Pin bone width	34	43	36	29	40	38	42	39
Chest girth	183	210	210	201	203	211	198	190

Table 4 Measurement of body parameters for cows in Farm B

(Unit : cm)

Cow identification	#214	#218	#222	#224	#225	#226	#227	#228
Withers height	133	130	127	137	130	125	102	114
Pelvic arch height	137	134	134	141	136	132	104	116
Body length	145	152	144	142	137	145	106	115
Chest depth	78	78	77	78	78	74	50	61
Chest width	47	56	45	48	48	47	28	37
Slope body length	150	154	148	154	149	157	117	114
Hip width	56	57	50	54	58	56	29	40
Thurl width	48	58	45	50	50	46	34	36
Pin bone width	33	32	30	32	32	30	14	28
Chest girth	209	220	195	206	210	201	117	150

및 #228을 제외하면 모든 젓소가 착유기에 있었으며, 두 목장의 젓소간에는 특별한 차이가 없었다.

나. 스테레오 영상 계측을 위한 측도 설정

카메라와 젓소와의 거리는 목장 A에서는 510 cm 부근인 반면에 목장 B에서는 630 cm 부근이었는데, 실제 적용 거리와 측도 설정에 사용한 거리가 큰 차이가 나면 정확한 측도 설정을 기대할 수 없다. 따라서, 이 연구에서는 두 범위에 대한 카메라 보정을 각각 실시하였는데, 측도 설정을 통해 구한 변환행렬 C는 다음과 같았다. 여기서 C₁은 좌측 카메라에 관한 것이고, C₂는 우측 카메라에 관한 것이다.

<480cm ~ 580cm 범위용 변환행렬 C>

$$C_1 = \begin{bmatrix} 3.25981 & 0.35531 & 0.29855 & 530.286 \\ 0.01355 & -2.8615 & -0.2109 & 719.401 \\ 0.000017 & 0.00044 & 0.00047 & 1.00000 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} -47.171 & 0.46923 & -27.844 & 5533.75 \\ 0.12763 & 47.9683 & -16.680 & -235.72 \\ 0.00022 & 0.00064 & -0.0381 & 1.00000 \end{bmatrix}$$

<585cm ~ 660cm 범위용 변환행렬 C>

$$C_1 = \begin{bmatrix} -0.0247 & 0.4847 & -1.2693 & 761.294 \\ 0.02284 & 0.41497 & -0.9900 & 592.976 \\ 0.000025 & 0.00063 & -0.0017 & 1.00000 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0.06099 & 0.40955 & -1.1701 & 716.682 \\ 0.03583 & 0.31533 & -0.9328 & 571.512 \\ 0.000063 & 0.00057 & -0.0016 & 1.00000 \end{bmatrix}$$

3차원 실제 좌표 (x, y, z)를 알고 있는 임의의 점 6개를 선정하고 이들 점들에 대해 식(3)을 이용하여 3차원 계산 좌표 (X, Y, Z)를 구하였다. 그리고, 측도 설정에 대한 오차를 근거리와 원거리에 대해 분석한 결과, 각각 표 5 및 표 6과 같았다.

근거리 범위에서의 오차는 2 cm 이하이었으며 대부분 거리 좌표(Z)에 대한 오차(|Δz|)가 전체 오차(|ΔE|)를 유발하였다. 이에 반하여, 원거리 범위에서 오차는 4.86 cm 이하이었는데, Y 좌표에 대한 오차(|ΔY|)가 상대적으로 지배적이었다. 원거리 범위에서 측도 설정의 오차가 크게 나타난 것은, 측도 설정 시 두 카메라의 광축이 측도판에 수직이 되도록 카메라와 측도판을 설치하여야 하지만 카메라와 측도판간의 거리가 멀수록 서로 수직 상태를 유지하기가 어렵기 때문인 것으로 사료되었다.

다. 젓소의 특징점 검출

스테레오 영상을 이용하여 젓소의 체위를 정확하게 분석하기 위해서는 한쪽 영상 내 임의의 지점에 대한 다른 쪽 영상에서의 대응점을 정확하게 검출할 수 있어야 한다. 이 연구에서는 영상 영역화(Image segmentation)나 윤곽추출(Edge detection)을 수행한 후 젓소 형상과 관련된 특징점을 검출하는 방식을 시도하였으나 성공하지 못하였다. 그 이유로는 젓소의 행동에 어떠한 제약도 주지 않기

Table 5 Calibration errors of sample points for distance range of 480~530 cm

(Unit : cm)

No.	World coordinate			Computed coordinate			Error			
	x	y	z	X	Y	Z	Δx	Δy	Δz	ΔE
1	40	-40	480	39.9	40.3	481.7	0.06	0.31	1.75	1.77
2	-40	-20	490	-40.0	-20.1	489.7	0.01	0.09	0.29	0.31
3	140	0	500	139.9	0.0	498.0	0.08	0.01	2.00	2.00
4	0	60	510	0.0	60.0	510.9	0.02	0.00	0.94	0.94
5	200	80	520	200.2	79.8	520.2	0.16	0.15	0.18	0.28
6	100	-60	530	100.0	-59.9	530.8	0.00	0.08	0.82	0.82

Table 6 Calibration errors of sample points for distance range of 585~660 cm

(Unit : cm)

No.	World coordinate			Computed coordinate			Error			
	x	y	z	X	Y	Z	$ \Delta x $	$ \Delta y $	$ \Delta z $	$ \Delta E $
1	40	-40	585	39.7	-41.1	584.4	0.34	1.13	0.61	1.33
2	-40	-20	600	-41.6	-18.8	600.0	1.57	1.17	0.00	1.96
3	140	0	615	140.5	-4.7	613.7	0.49	4.67	1.26	4.86
4	0	60	630	1.4	59.8	630.2	1.14	0.20	0.18	1.46
5	200	80	645	197.9	82.1	645.5	2.06	2.11	0.55	3.00
6	100	-60	660	98.1	-58.6	656.6	1.86	1.42	3.41	4.14

위해 특별한 배경장치 없이 자연광 아래에서 젓소 영상을 획득함으로써 영상이 매우 복잡하고 다양한 특성을 나타냈기 때문인 것으로 판단되었다(이종환, 2002).

그림 4는 그림 1과 표 2에서 정의된 바에 의해 육안으로 검출한 각종 젓소의 특징점의 위치와 검출 순서(점 1~ 점 11)를, 그림 5는 젓소의 특징점(T, U, V, W, A, C, G, H, I, J, S), 젓소의 체위 분석을 위해 자동 검출한 보조점(b, d, e, f, s) 및 각종 체위를 정의하는 직선들을 나타낸다.

좌, 우 영상에서 22개의 특징점을 지정하면, 컴퓨터 시각 시스템의 측도 설정 결과를 이용하여 각 특징점에 대한 3차원 좌표를 프로그램에 의해 계산하였다. 지면을 정의하기 위해 사지와 지면이

닿은 지점의 3차원 좌표를 이용하였는데, 앞다리(2족)의 평균 좌표와 뒷다리(2족)의 평균 좌표를 서로 연결하는 직선(이를 지면선으로 정의함)을 산출하였다. 또한, 젓소 기갑의 정점에서 지면선에 내린 수직선 및 십자부에서 내린 수직선을 자동으로 계산하였다. 흉곽의 경우, 흉심을 정의하는 직선과 점 S에서 그은 수직선이 만난 점 s간의 거리의 2배로 정의하였는데 3차원 좌표를 이용하여 산출하기 때문에 그림에서 보이는 것보다는 거리가 길다.

실험에서 사용한 젓소 영상들은 사지가 똑바로 서있지 않고 벌어진 상태가 많았으며, 몇몇 젓소의 경우에는 다리가 지면에서 떨어지기도 하였다. 이와 같이 젓소의 다리가 지면상에 있지 않은 경



Fig. 4 Positions and searching order of cow feature points.

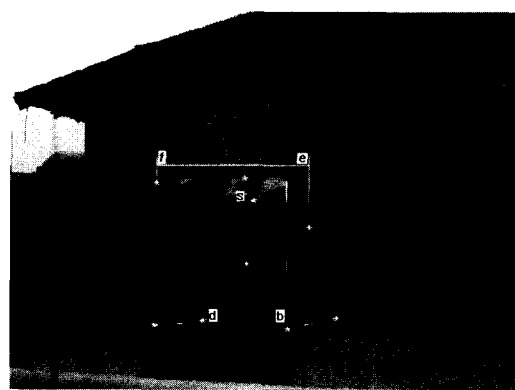


Fig. 5 Lines to define feature parameters of cow.

우에는 사용자가 지면상에 있을 경우를 가정하여 특징점을 지정하였다.

이 연구에서와 같이 사용자로 하여금 영상출력 모니터에 나타난 화면을 보면서 특징점을 결정하는 방식은 탐색 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다 또한, 점 I 및 점 S와 같이 특징점이 젓소의 몸통 내부에 있거나 젓소의 자세가 바르지 않아 윤곽이 변형될 경우에는 육안에 의해 특징점을 검출하는 것이 어려웠다. 그러나, 육안에 의한 검출이 어려운 경우에는 자동 검출은 더욱 어렵기 마련이다. 더욱이, 2개 영상에서 정확한 대응점을 탐색하는 것이 스테레오 영상 계측에 있어서의 관건임을 감안할 때, 인터랙티브 방법(Interactive method)에 의한 특징점 검출이 문제점이 수동의 방식임에도 불구하고 자동 검출방식에 비해 보다 합리적인 것으로 사료되었다.

라. 젓소의 체위 분석

(1) 체고, 십자부고, 사체장 및 체장

그림 5에서 \overline{Ab} 는 체고를, \overline{Cd} 는 십자부고를, \overline{Ij} 는 사체장을 나타낸다. 그리고, \overline{ef} 로 표시한 체장은 \overline{Ij} (사체장)를 Y축에 대해 투영한 후 다시 Z축에 대해 투영하여 얻은 직선에 대한 거리로써 산출하였다.

스테레오 영상분석에 의해 구한 체고, 십자부고, 사체장 및 체장에 대한 측정 오차를 그림 6~그림 9에 나타냈다. 대부분의 젓소에 대한 측정 오차는 10% 미만이었으나 몇몇 젓소의 사체장에 대한 측정 오차는 10% 이상이었다. 이는 사체장을 정의

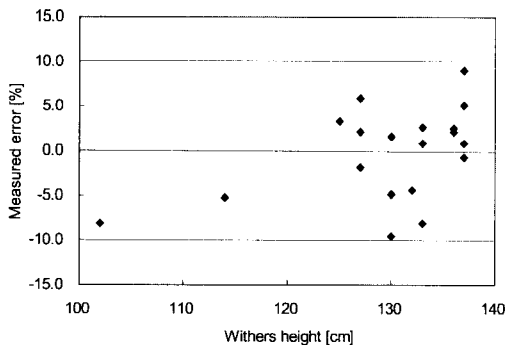


Fig. 6 Measured errors of withers height.

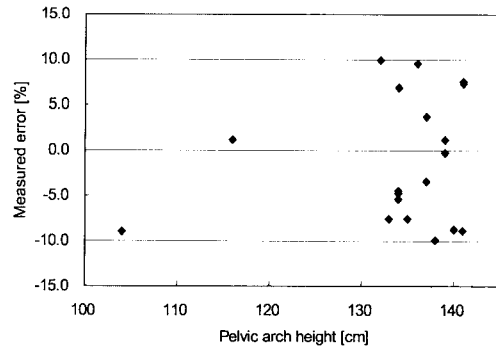


Fig. 7 Measured errors of pelvic arch height.

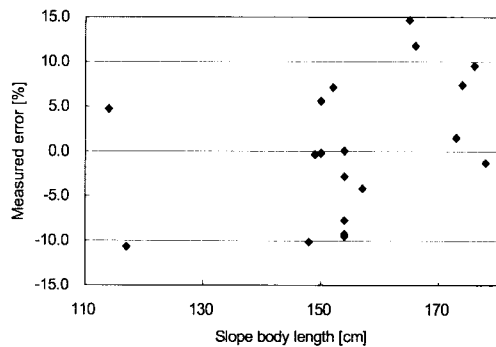


Fig. 8 Measured errors of slope body length.

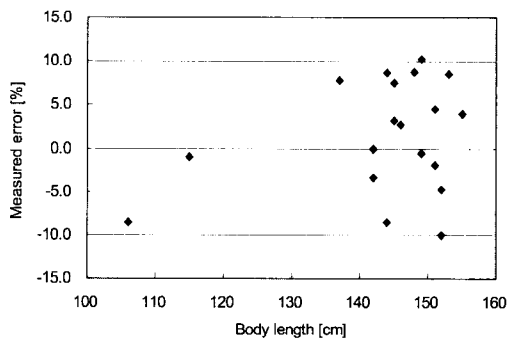


Fig. 9 Measured errors of body length.

하는 점 I의 위치가 몸통 내부에 있기 때문에 좌, 우측 영상에서 점 I에 대한 정확한 대응점을 검출하지 못한 것에 기인한 것으로 사료되었다. 그러나, 젓소가 이동중이거나 머리방향과 젓소의 자세가 변형된 상태에서 얻은 영상으로부터 분석하였

음을 감안한다면 실용적인 측면에서 만족스러운 결과인 것으로 판단되었다.

(2) 흉심, 흉폭 및 흉위

그림 5에서 흉심은 \overline{GH} 에 해당하며 젖소의 측면 영상에서 용이하게 산출할 수 있지만, 흉폭의 경우에는 측면 영상이 아닌 평면 영상에서 구하는 것이 바람직하다. 그러나, 이 연구에서는 스테레오 영상 분석을 통하여 거리 정보를 얻을 수 있기 때문에 $2 \times \overline{S_8}$ 에 의해 흉폭을 산출하다(그림 5 참조).

그림 10과 그림 11은 흉심과 흉폭에 대한 측정 오차를 나타낸다. 흉폭의 경우에도 측정 오차가 약간 높았는데, 사체장에서와 같이 점 S가 몸통 내부에 있기 때문인 것으로 사료되었다.

한편, 젖소의 흉위는 중량을 추정하는데 사용되는 중요한 인자이므로, 이 연구에서는 영상분석에 의해 구한 흉심과 흉폭을 이용하여, 줄자에 의해

실측한 흉위를 추정하여 보았다. 즉, 흉심을 장축의 지름, 흉폭을 단축의 지름으로 하는 기하학적 곡선으로서 흉위를 가정하고, 둘레길이에 해당하는 흉위를 식(4)와 같이 산출하였다.

$$CG = 1.9581 \times CD + 1.0497 CW \quad (R^2 = 0.842) \dots (4)$$

여기서, CG : 흉위 실측치 [cm]
 CD : 흉심 분석치 [cm]
 CW : 흉폭 분석치 [cm]

그림 12는 식(4)를 이용하여 예측한 흉위값과 실측값을 비교하여 나타낸 것이다. 16두의 젖소에 대한 19쌍의 스테레오 영상으로부터 산출한 흉위의 평균 측정오차는 8.2 cm이었고 측정오차에 대한 표준편차는 4.95 cm이었다. 흉위에 대한 측정 오차는 모든 대상 젖소에서 10% 이내로 나타나 비교적 정확하게 흉위를 추정하는 것으로 판단되었다.

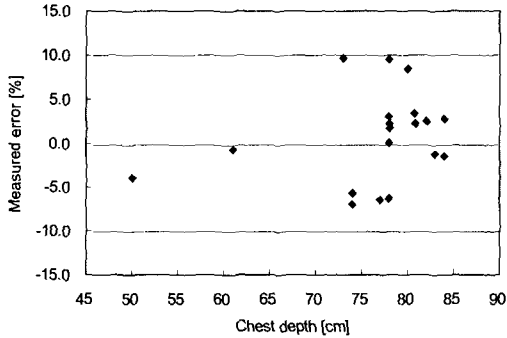


Fig. 10 Measured errors of chest depth.

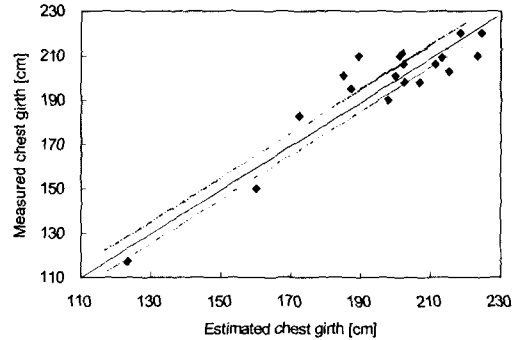


Fig. 12 Comparison of measured values and estimated values of chest girth.

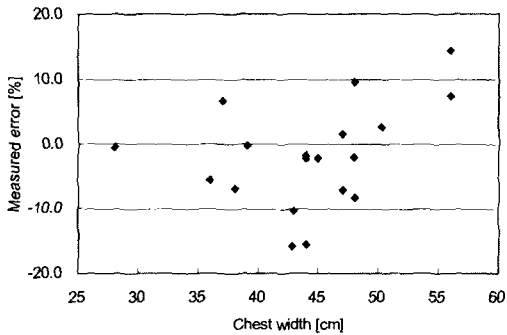


Fig. 11 Measured errors of chest width.

젖소의 측면 방향에 설치한 스테레오 카메라 시스템을 이용하여 젖소의 흉위를 비교적 정확하게 추정할 수 있었다. 따라서, 흉위에 의해 젖소의 중량을 추정할 수 있음을 감안하면, 스테레오 카메라를 젖소의 측면 방향에 설치하여 각종 체위를 분석하고 그 결과를 이용하여 젖소의 중량을 예측할 수 있을 것으로 사료되었다.

이 연구에서와 같은 스테레오 영상을 이용하여 젖소의 체위를 계측할 경우, 젖소의 특징점이 원

래의 정확한 위치인가 하는 것보다는 한 쪽 영상에서 검출한 특징점에 대한 다른 쪽 영상에서의 대응점이 정확한 위치인가 더욱 중요하였다.

한편, 다양한 조명상태와 배경 및 자세를 갖는 젖소를 대상으로 젖소의 특징점을 자동으로 검출하는 영상 분석법이 개발되지 않은 단계에서는, 시간이 많이 걸리더라도 수동의 방법을 통하여 특징점을 검출하게 된다. 따라서, 특징점 검출에 소요되는 시간을 줄일 수 있는 방안을 강구할 필요가 있는데, 한 쪽 영상에서 지정한 특징점의 주위 영역에 대한 영상 특성이나 다른 특징점과의 위치관계를 이용함으로써, 다른 쪽 영상에서의 대응점을 자동으로 검출하는 방법이 고려될 수 있다.

4. 요약 및 결론

젖소의 성장단계별 적정 생육상태 및 사양관리법을 제시하기 위해서는 젖소의 외형적 특징을 분석하는 것이 중요하다. 그러나, 지금 사용되고 있는 가축 심사 및 체위 계측방법은 육안에 의한 관찰과 접촉에 의한 직접적인 방식이므로, 젖소에게 많은 스트레스를 줄뿐만 아니라 고르지 않은 환경으로 인해 정확한 계측이 어렵다. 따라서, 영상처리장치를 이용한 비접촉 방식으로 젖소의 체위를 측정할 수 있는 시스템을 개발하는 것이 바람직하다.

이 연구에서는 목장 내에서 자연스럽게 이동하고 있는 젖소를 대상으로 획득한 스테레오 영상을 이용하여 각종 체위를 분석할 수 있는 영상 분석 시스템을 개발하고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 목장(A, B)에서 생육중인 16두의 홀스타인을 대상으로 체위를 실측하였으며, 젖소의 자세나 행동에 제약을 주지 않은 자연스러운 상태에서 젖소의 스테레오 영상을 우사 밖에서 획득하였다. 그리고, 스테레오 영상을 이용하여 젖소의 체위를 분석하기 위해, 카메라 보정을 실시하고 역투사방법에 의해 실제 좌표를 구하는 과정을 제시하였다.

2) 카메라와 젖소간 거리가 목장 A에서는 510 cm, 목장 B에서는 630 cm를 기준으로 하여 촬영

하였기 때문에 두 가지의 거리범위에 대해 스테레오 영상 분석 시스템에 대한 측도 설정 결과를 별도로 제시하였다. 측도 설정의 최대 오차는 근거리 범위에서 2 cm, 원거리 범위에서는 4.9 cm로 나타났다.

3) 젖소의 체위를 분석하는데 필요한 특징점 중 11개는 사용자에게 의해 수동의 방법으로, 5개의 보조점은 프로그램에 의해 자동 산출하였다. 그런데, 젖소의 특징점이 몸통 내부에 있거나 젖소의 자세가 안정적이지 못함으로써 윤곽이 변형되는 경우에는 특징점의 검출이 어려웠다. 그러나, 체위의 측정 오차를 최소화하기 위해서는 정확한 대응점의 검출이 더욱 중요함을 알 수 있었다.

4) 스테레오 영상 분석에 의해 체고, 십자부고, 사체장, 체장, 흉심 및 흉폭을 측정하고 각각에 대해 측정 오차를 분석한 결과, 대부분의 측정 오차는 10% 이하이었다. 사체장과 흉폭의 경우 몸통 내부에 있는 특징점을 이용하여 산출하기 때문에 약간 큰 측정 오차를 보이는 경우가 있었다.

5) 스테레오 영상 분석에 의해 구한 흉심과 흉폭을 이용하여 흉위를 추정하는 회귀방정식을 제시하였다. 그 결과, 흉위에 대한 추정 오차는 모두 10% 이내이었으며, 평균 측정오차는 8.2 cm이었다.

6) 한 쪽 영상에서 검출한 특징점에 대한 주위 영역의 영상 특성이나 다른 특징점과의 위치관계를 이용하여 다른 쪽 영상에서의 대응점을 자동 검출하는 방안을 개발함으로써, 젖소의 특징점을 검출하는데 소요되는 시간을 단축할 수 있을 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

1. 손삼규 등. 1998. 가축능력 개량에 관한 연구: 한우 체형의 영상화 시스템 개발. 축산기술연구소.
2. Kim, H. T. 2000. Measurement of body parameters, estimation of weight and individual recognition of the dairy cattle by using image processing. Ph. D. Dissertation, Sung Kyun Kwan Univ., Korea.
3. Lee, J. W. 2002. Development of Computer

- Vision System for Individual Recognition and Feature Information of Cow (I) -Individual Recognition using the Speckle Pattern of Cow-. Journal of the KSAM 27(2):151-160.
4. Lee, H. D., K. D. Kim, C. S. Kim, J. P. Kim and H. Jung. 1999. Development of a Transplanting Robot System for Tissue Culture Plants (II) -Machine Vision System-. Journal of the KSAM 24(1):41-50.
 5. Cho, Y. C. 1991. A Study on the Stereo Vision Algorithm using Inverse Perspective Transformation. Ph. D. Dissertation, the Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea.
 6. Hwang, H., Y. C. Chang and D. H. Lim. 1998. Three Dimensional Geometric Feature Detection using Computer Vision System and Laser Structured Light. Journal of the KSAM 23(4):381-390.
 7. Schalkoff, R. J. 1989. Digital image processing and computer vision. John Wily & Sons. Inc.
 8. Vernon, D. 1991. Machine vision. Prentice Hall. pp196-202.