

## 젖소 체중추정을 위한 영상처리 알고리즘

서광욱 김현태 이대원 윤용철 최동윤

### Image Processing Algorithm for Weight Estimation of Dairy Cattle

K. W. Seo H. T. Kim D. W. Lee Y. C. Yoon D. Y. Choi

#### Abstract

The computer vision system was designed and constructed to measure the weight of a dairy cattle. Its development involved the functions of image capture, image preprocessing, image algorithm, and control integrated into one program. The experiments were conducted with the model dairy cattle and the real dairy cattle by two ways. First experiment with the model dairy cattle was conducted by using the indoor vision experimental system, which was built to measure the model dairy cattle in the laboratory. Second experiment with real dairy cattle was conducted by using the outdoor vision experimental system, which was built for measuring 229 heads of cows in the cattle facilities. This vision system proved to a reliable system by conducting their performance test with 15 heads of real cow in the cattle facilities. Indirect weight measuring with four methods were conducted by using the image processing system, which was the same system for measuring of body parameters. Error value of transform equation using chest girth was 30%. This error was seen as the cause of accumulated error by manually measurement. So it was not appropriate to estimate cow weight by using the transform equation, which was calculated from pixel values of the chest girth. Measurement of cow weight by multiple regression equation from top and side view images has relatively less error value, 5%. When cow weight was measured indirectly by image surface area from the pixel of top and side view images, maximum error value was 11.7%. When measured cow weight by image volume, maximum error weight was 57 kg. Generally, weight error was within 30 kg but maximum error 10.7%. Volume transform method, out of 4 measuring weight methods, was minimum error weight 21.8 kg.

**Keywords :** Image processing, Weight, Dairy cattle

#### 1. 서론

동물의 과학적인 개체별 사양관리를 위해서 정기적인 체중 관리가 필요하며, 이를 위해 실시간 체중측정 또는 모니터링의 필요성이 현장에서 요구되고 있다. 기존의 체중측정장치인 우형기는 수시로 이동을 하는 동물을 대상으로 하기 때문에 현장에서는 여러 가지 문제가 발생된다. 예를 들면 소를 우형기로 유도하는 일, 또는 우형기내에서 일정시간 정체시켜야 하는 등의 어려움으로 오차가 생기는 것도 일정부분 인

정할 수밖에 없는 현실이다. 우형기의 구입과 설비에 많은 비용이 소요되어 일부 대규모 목장을 제외하고는 설치 농가가 거의 없기 때문에 젖소의 성장 및 생산단계별 체중을 사료배합 및 급여에 반영하여 성장단계 및 산유 능력에 합당한 영양 성분 공급이 이루어지지 않고 있다. 이런 문제를 극복하기 위하여 가축의 체위를 측정하여 이 측정치를 체중과 서로 비교 계산하여 추정하는 간이 체중 측정 방법을 이용하는 경우도 있다. 체중과 체형과의 상관관계를 나타내는 연구를 살펴 보면, Lee 등(1985)은 육종 번식을 위한 데이터로 한우의 체

The article was submitted for publication on 2011-02-01, reviewed on 2011-02-09, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-02-15. The authors are Kwang Wook Seo, KSAM member, Researcher Professor, Hyeon Tae Kim, KSAM member, Assistant Professor, Gyeongsang National Univ.(Insti. of Agric. & Life Sci.), Jinju 660-701, Korea, Dae Weon Lee, KSAM member, Professor, Dept. of Bio-mechatronic Eng., Sungkyunkwan Univ., Yong Cheol Yoon, KSAM member, Professor, Gyeongsang National Univ.(Insti. of Agric. & Life Sci.), Jinju 660-701, Korea, and Dong Yoon Choi, Senior Researcher, National Institute of Animal Science, Sewon, Korea. Corresponding author: H. T. Kim, KSAM member, Assistant Professor, Gyeongsang National Univ.(Insti. of Agric. & Life Sci.), Jinju 660-701, Korea; Fax: +82-55-762-0610; E-mail: <bioani@gnu.ac.kr>.

중과 체형체측치 간의 상관관계와 유전력을 추정하였고, Yang 등(1990)은 한우의 체중과 흉위 및 전관위에 대한 상관관계를 구명하여 육중가 추정에 관한 연구를 수행하였다.

그 외에 체중을 계측하기 위한 연구로 Lim 등(2000)은 돼지의 머리와 꼬리가 제거된 몸통 영상의 면적과 몸통 높이를 이용하여 자동으로 체중을 추정하는 비접촉 체중 계측시스템을 구성한 후 성능시험을 수행하였다. 이 시스템은 CCD 카메라, 영상처리보드로 구성된 영상처리부와 10개의 직접 반사형 광센서와 데이터 수집 보드로 구성된 몸통 높이 계측부로 구성되었으며, 몸통 영상의 면적과 몸통 높이를 곱하여 체적을 계산하여 얻은 값으로 체적(x)와 체중(y)간의 회귀식을 얻었다. 이때의 평균오차는  $\pm 0.65$  kg, 최대오차는 1.63 kg으로 나타났다고 보고하였다. Jung 등(1993)은 간편하고 정확한 젖소의 체중을 측정하기 위해서 체위의 계측을 통한 체중과의 상관관계를 이용하여 젖소의 체중을 간접적으로 계측한 결과 흉위가 가장 높은 상관관계를 가지고 있다고 보고하였다. 또한 돼지체중측정을 위해서 영상처리를 이용한 연구 등이 시도되었으며(Brandle and Erik, 1996), 돼지의 체중과 영상정보와의 관계에 대한 연구도 보고되어 있다(Schofield, 1990).

이러한 대부분의 연구는 부피 값에 따른 3차원적 체중 환산이 불가능하였으며, 체중과의 상관 관계를 분석하는데 그쳤고, 체중 측정 시스템에 대한 연구는 아직 진행되어 있지 않았다. 따라서 본 연구는 젖소의 체중을 측정하기 위해 비접촉식 영상처리 시스템을 이용하여 젖소의 체중을 측정할 수 있는 알고리즘의 개발 및 영상처리를 이용하여 젖소의 체중

측정 가능성을 구명하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험재료

실험에 이용한 젖소는 모두 홀스타인 종으로 충청남도 천안시 성환읍 소재 국립축산과학원 유우사(A)의 180두와 경기도 수원시 소재 국립축산과학원 유우사(B)의 49두를 실험 공시 젖소로 사용하였다. 실험에 이용한 젖소의 그룹은 4가지로 표 1과 같이 분류하였다. 여기서 그룹 I은 건유를 시작하고 분만 1개월 전까지의 젖소를 의미하며, 그룹 II는 초임 전까지의 젖소를 의미하며, 그룹 III은 분만 1개월 이내에 있는 젖소로서 임신으로 인해서 외형이 많이 변한 소를 의미한다. 마지막으로 그룹 IV는 실험일을 기준으로 현재 착유 중에 있는 젖소를 의미한다.

검증 실험은 경기도 수원시 소재 국립축산과학원 유우사의 49두 가운데 착유우 10두를 이용하여 수행하였다. 검증실험은 현장실험방법에서와 같이 수행하였으며, 실측값과 영상에서 획득한 값을 비교하였다.

### 나. 실험장치

영상처리 실험장치는 젖소의 윗면과 측면의 영상을 획득할 수 있는 CCD-Camera를 포함하여, 사용된 카메라와 렌즈의 사양은 표 2와 같다.

Table 1 Number of experiment cow

(unit : heads)

Groups	Farms	A : Chunan city	B : Suwon city	Total
I : Dry cows		17	7	24
II : Pre-delivery cows		94	19	113
III: Post-delivery cows		13	9	22
IV: Milking cows		56	14	70
Total		180	49	229

Table 2 Specification of camera and lens

Items	Model	Specification	
CCD Camera	Ikegami ICD-703 (NTSC)	Pickup device	1/3" Intreline transfer CCD
		Picture elements(pixels)	771*492, 380,000
		Scanning system	525 lines/59.94Hz, 2:1 interfaced
		Frequency	H:15.734kHz, V:59.94Hz
		Horizontal resolution( TV lines)	480
		S/N ratio(p-p/rms)	50dB
		Shutter(sec)	1/60-1/80,000
		Dimensions(mm)	W70*H60*D140
Lens	C418S	Focal length(mm)	4.8
		Max. aperture ration	1 : 1.8

젖소의 체중측정은 영상 입력시 조명과 측정거리에 따른 오차를 최소화하기 위해 일정한 장소를 선정하여 실행했으며, 측정부위를 다양한 위치에서 관찰하고자 측면과 윗면의 두 곳에 CCD 카메라를 설치했다. 실체중 측정은 250 kg의 측정범위를 가지는 로드셀(Load cell)을 가장자리 4지점에 장착된 하중변환 체중계를 제작하여 사용하였다. 또한 CCD 카메라를 통해 화소 수를 계산하기 위해 Visual C++6.0을 이용하여 자동으로 영상을 획득하고 자료를 처리할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 그림 1은 측정장치의 설계도와 사진을 나타내었다.

영상처리의 과정은 우선 젖소가 일정한 위치를 통과하는 시점에서 실험자가 수동으로 컴퓨터를 작동하여 영상처리를 수행할 수 있도록 하였다. 현장실험에서의 조명장치는 자연 조명, 즉 태양의 강한 빛 등에 의한 영상오차를 최소화하기 위해 실험장소내 직사광선이 직접 도달하지 않는 실내에 설치하였다. 측면카메라에서 실험장치 중심선까지는 265 cm로 하였으며, 윗면카메라는 소의 크기상태에 따라 바닥까지의 높이를 200~310 cm로 조절하면서 측면카메라의 영상획득 비율과 같게 하였다. 젖소의 외형을 획득하기 위한 영상처리의 전체 시스템 개략도는 그림 2와 같다.

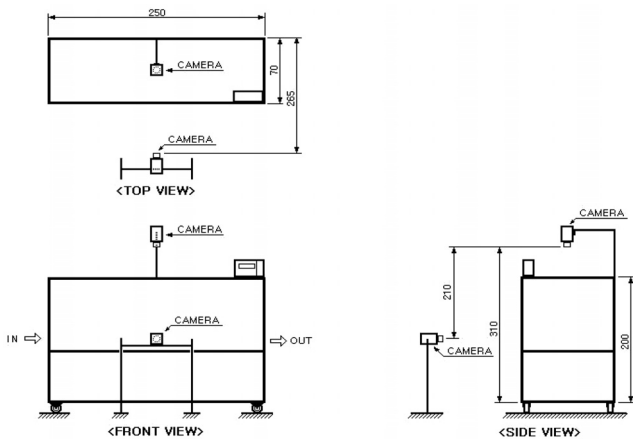


Fig. 1 A drawing of the weighing system for experimental.

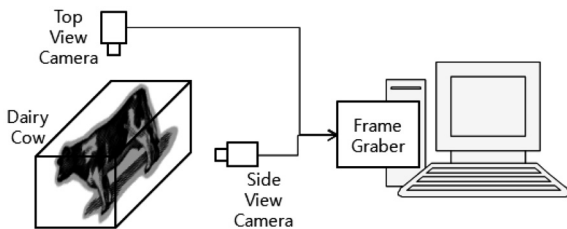


Fig. 2 Block diagram of the image processing system.

현장실험을 통하여 구성된 영상처리 알고리즘의 검증에 위한 실험은 젖소가 하루에 한번 이상 통과하는 장소를 중심으로 카메라를 정면과 윗면에 설치하여 행하였다. 인위적인 조

명장치는 설치하지 않았으며, 카메라의 위치는 측면의 경우 소가 통과하는 중심선에서 250 cm떨어진 위치에 설치하였으며, 검증에 이용한 소가 모두 착유우와 건유우로서 체고가 100 cm를 넘어가기 때문에 윗면카메라는 바닥에서 310 cm 떨어진 곳에 고정하여 설치하였다.

실제 체중을 측정하기 위해서 실험장치의 바닥 가장자리 4 지점에 각각 250 kg이 측정 가능한 로드셀(Load cell)이 장착된 현장실험장치를 이용하였다. 표3은 실제 체중 측정에 사용된 로드셀의 규격을 나타낸다.

Table 3 Specification of load cell

Item	Specification
Model/Manufacture	563T/K TOYO, Korea
Rated Capacity (kgf)	250×4EA
Signal output (mV/V)	2.9940
Non-linearity (%)	0.03

### 다. 현장실험분석

현장실험 분석을 위해 먼저 229두의 전체 젖소를 대상으로 10개 체위를 실측하였다. 체위측정은 체척기와 줄자를 이용하였으며, 체중의 측정은 하중변환기를 이용하여 실측하였다. 또한 영상의 화소값은 측면과 윗면 영상의 화소정보를 이용하였다. 이렇게 획득한 각각의 체위, 체중과 영상에서 획득한 정보를 이용하여 회귀분석에 의한 체중추정 모델을 단순 회귀모델과 다중회귀모델로 분석하였다.

또한 각 체위와 체중간의 상관관계 추정하였다. 각각의 체위를 확률변수로 하였을 경우에 일반적으로 임의의 두 체위 및 체중의 분포는 2변수의 결합정규분포라 가정하고 두 변수 간 선형성의 측도로 상관계수(相關係數: correlation coefficient)를 사용한다. 하지만, 상관계수는 임의의 두 체위 및 체중의 관련정도를 표시하고, 상관계수의 크기는 임의의 체위 또는 체중의 간격에 따라 변한다. 따라서, 하나의 체위의 조절이 가능할 경우에는 상관계수 보다 상관계수의 제곱인 결정계수  $R^2$ 로 나타내어, 전체 변동 중에서 회귀로 설명할 수 있는 변동의 비율을 표시하였다. 설정한 모델을 SAS @6.12 Package/PC를 이용하여 분석하였다(SAS Institute, 2000).

## 3. 영상처리알고리즘

### 가. 외형검출

젖소의 물리적 정보 계측을 위해서 젖소 외형에 관한 영상이 필요하다. 젖소의 외형은 젖소의 유무에 따른 같은 위치에서의 두 가지 영상을 분석하여 검출할 수 있도록 하였다. 분석 방법은 젖소가 포함된 영상과 포함되지 않은 두 가지 영

상을 이용한 화소단위의 밝기 값 빼기(減算)연산을 이용하였다. 화소간 밝기수준을 이용한 감산에서는 각 화소의 밝기 정보가 광원에 따라 변화가 심하다는 불안정함을 가지고 있다. 따라서 인위적인 광원을 가지는 실내실험에서는 화소단위의 감산으로 외형 검출이 가능하지만, 현장에서는 여러 가지 잡음 등의 영향으로 외형검출에 어려움이 있을 것으로 판단하였다. 따라서 배경과 사물의 구별을 위해서 미분 연산자를 이용한 경계선 감산을 통하여 젓소의 외형을 검출하였다.

#### 나. 잡음제거

잡음은 젓소가 없는 배경영상과 젓소가 있는 영상의 화소 정보의 경계선의 차이가 크지 않기 때문에 발생하는 것이 대부분이다. 그 외에도 현장의 상황에 따른 조명의 순간적인 변화 등으로 발생하는 영상의 화소정보 밝기 값의 변화에 따라서도 잡음이 발생한다. 따라서 경계선 감산을 실행한 후 젓소의 외형과 잡음이 검출되면, 잡음제거를 위해 요소해석 방법을 이용하여 적은 영역의 화소는 삭제하도록 하였다. 요소해석 방법은 검출된 경계선 및 잡음에 대해서 각 영역마다 표식을 부쳐 일정범위 이하의 표식에 대해서는 제거하는 방법을 의미한다(Healey, 1994). 젓소 경계선을 검출한 후, 경계선 내부는 모두 일정한 밝기 값을 제공한다. 내부에 제공되는 밝기값은 수평방향을 기준으로 하나의 화소를 증가시키면서 내부와 외부로 구별하도록 하였다. 그 후 각 영역의 젓소 외부 잡음에 대해서 내부의 값과 반대가 되는 밝기 값을 제공한다.

경계선 연산을 행하고 잡음을 제거하여도 젓소 외부나 내부에는 현장상황에 따라 젓소의 외형검출이 용이하지 않는 경우에도 존재한다. 따라서 보다 정확한 외형의 검출을 위해서 젓소가 차지하는 외부와 내부의 영역을 이치화 한 후 수평이동성분과 수직이동성분의 변화율 10이상이 2회 이상 반

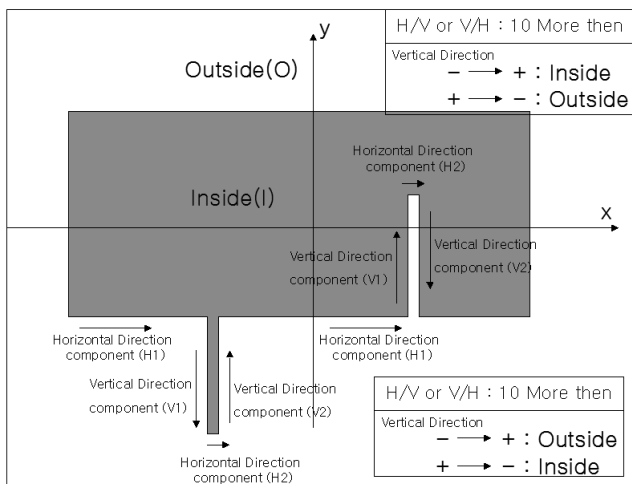


Fig. 3 The method for reducing noises of thin lines.

복 될 경우에 잡음으로 판단하여, 그 부분에 대해서는 외부영역의 밝기 값으로 치환되도록 하는 세선치환법을 이용하였다. 그림 3은 세선치환법을 나타낸 그림이다. 그림 4는 지금까지의 젓소외형검출을 위한 영상전처리과정을 나타낸 흐름도이다.

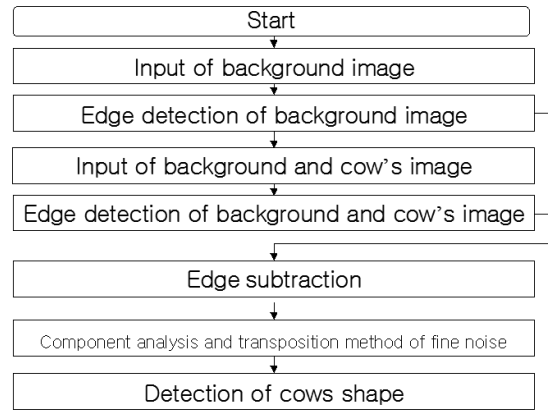


Fig. 4 Flow-chart of pre-processing for shape detection.

#### 다. 체중측정

젓소의 측면영상과 윗면영상을 이용하여 체중을 간접적으로 측정하기 위해 4가지 서로 다른 방법을 적용하였다. 첫 번째는 흉위를 이용한 간이적 추정방법으로써 이는 영상에서 흉심과 흉폭을 측정하여 흉위 값으로 환산하였으며, 환산된 흉위 값을 이용하여 체중과의 회귀관계를 통하여 체중을 추정하였다. 두 번째는 윗면영상과 측면영상에서 획득한 젓소의 외형정보를 이용한 화소 값을 변수로 하여 체중과의 다중 회귀모델을 이용하여 추정하였다. 세 번째는 윗면 영상과 측면영상의 정보를 이용하여 가상적인 젓소의 둘레 합을 구하여 체중과의 회귀관계식을 계산한 다음 이를 이용하여 체중을 간접적으로 구하였다. 네 번째는 둘레합 변환과 같은 방법으로 영상정보의 화소 값을 이용하여 단면적의 합을 구한 다음, 획득한 단면적합을 이용하여 체중과 회귀관계식을 유도하여 체중을 추정하였다.

##### 1) 흉위변환(胸圍變換) 방법

젓소의 체중 추정은 일반적으로 체위의 측정을 통해 체중과의 상관관계를 구하여 간접적으로 체중을 측정하여 왔다. 그러나 이러한 체위는 흉위를 제외하고는 모두 고가의 체척기를 필요로 한다. 흉위는 간단히 형걸 줄자를 이용할 수 있으며, 현장에서는 흉위를 이용하여 간이로 체중을 측정하는 경우가 대부분이다. 따라서 본 연구에서도 카메라를 통한 흉위측정으로 젓소의 체중을 추정하고자 하였다. 흉위의 측정을 통해서 젓소의 체중을 간접적으로 측정하기 위해서 먼저 윗면과 측면카메라를 통하여 획득한 영상정보를 이용하여 흉

위를 측정할 필요가 있다. 측면과 윗면의 카메라에서 획득한 젓소 외형영상에서 직접 흉위부위의 산출이 불가능하다. 이를 직접 측정하기 위해서는 3차원적인 깊이 정보의 측정이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 2차원 평면 사진을 이용하여 측정하는 시스템으로 구성되어 있다. 이를 위해 먼저 측면 영상으로부터 흉심을 측정하였다. 흉심(胸深)은 가슴의 깊이를 나타내는 것으로 등과 가슴의 수직거리로 나타낸다. 윗면 영상으로부터는 흉폭을 측정할 수 있다. 흉폭은 흉심위치의 다른 축에서의 최대 거리를 의미한다.

일반적으로 흉위의 기하학적인 곡선식을 구하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 흉심과 흉폭의 길이를 이용하여 흉심을 장축으로 흉폭을 단축으로 하여 타원으로 가정하였다. 그림 5는 가상적인 흉위부근의 단면모양과 타원의 모양을 나타낸 그림이다.

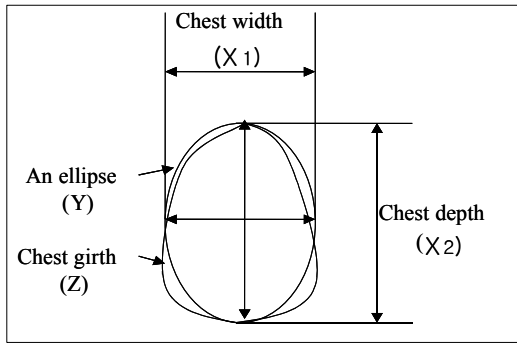


Fig. 5 An ellipse and a chest girth.

일반적인 타원방정식은 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 그림 5에서와 같이 흉위와 흉폭을 적용하였을 경우 a는 단축의 반지름으로  $X_1/2$ ( $X_1$ :흉심길이) 이고, b는 장축의 반지름으로  $X_2/2$ ( $X_2$ :흉폭길이)이다. 따라서 간이로 흉심과 흉폭을 장단축으로 하여 타원둘레를 아래와 같은 식 (2)로 구하였다. 식 (2)에서 Y는 타원의 둘레로 흉위의 추정치이다.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

$$Y = (X_1 + X_2) / 2 \times \pi \quad (2)$$

위의 식을 이용하여 실험 젓소 229두의 흉심과 흉폭의 길이를 체척기로 측정한 실측값을 대입하여 구한 흉위값과 줄자를 이용하여 실측한 흉위값을 비교한 결과 오차의 평균은 7.0482 cm, 표준편차는 4.5561 cm로 나타났다. 이 결과를 기준으로 위의 식 (2)에 평균오차를 보정상수로 하여 식 (3)과 같이 간이적으로 흉위를 계산하였다.

$$Z = (X_1 + X_2) / 2 \times \pi + 7.0482 \quad (3)$$

또한 흉위와 체중은 실측을 통하여 추정된 회귀방정식을 이용하여 체중을 간접적으로 측정할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 대상으로 한 실험젓소 229두의 흉위와 체중과의 단순 회귀모델은 SAS를 이용하여 분석하였다.

## 2) 다중회귀모델 변환

체중을 간접적으로 측정하기 위한 방법 중에 하나로 측면과 윗면의 카메라에서 구한 젓소 외형에 따른 픽셀들의 합으로 이루어진 각각의 면적을 회귀변수로 이용하여 다중회귀모델을 구한 다음 이를 이용하여 체중을 간접적으로 추정하였다. 그림 6은 다중회귀모델을 구하기 위한 임의 도형을 보여주고 있으며, 그림 7은 다중회귀모델에 의한 추정 과정을 Flow chart로 보여주고 있다. 모델을 대상으로 한 실험젓소 229두의 영상정보와 체중을 이용하여 SAS Ver.6.12를 통하여 분석하였다. 통계분석을 통한 다중회귀방정식을 체중예측 프로그램과 연결하여 결과를 볼 수 있도록 하였다.

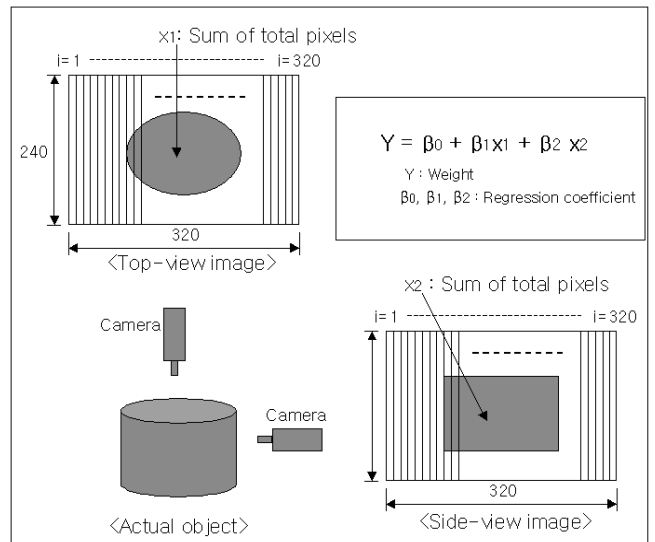


Fig. 6 Multi regression analysis for weight transformation.

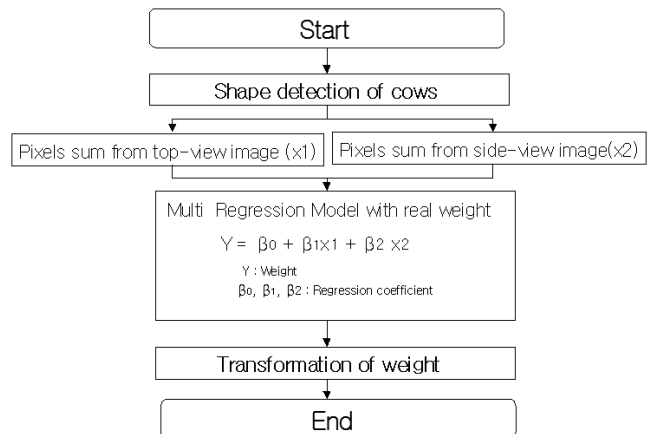


Fig. 7 Flow-chart of multi regression analysis for weight transformation.

### 3) 가상둘레 합 변환

체중을 간접적으로 추정하기 위한 방법 중에 하나로 카메라에서 획득한 영상을 이용하여 가상적인 둘레 합을 구하였다. 둘레 합은 윗면영상과 측면영상에서 획득한 화소를 각 화소의 열이 차지하는 화소수를 이용하였다. 이것은 윗면화소와 측면화소의 각 면을 세분화하여(320개) 각 길이를 이용하여 다음의 식 (4)와 같이 구하였다. 가상둘레 합을 이용한 체중의 변환과정을 그림 9에 나타내었다. 여기서, S는 가상둘레 합이며,  $a_i$  와  $b_i$ 는 각각 i 행의 윗면 및 측면화소합 ( $i=1, 2, 3, \dots, 320$ )이다. 그림 8은 가상 둘레 합 변환에 의한 체중 추정을 임의의 모형에 대하여 나타낸 것이며, 그림 9는 가상 둘레 합 변환에 의한 체중 추정 과정을 Flow chart로 나타낸 것이다.

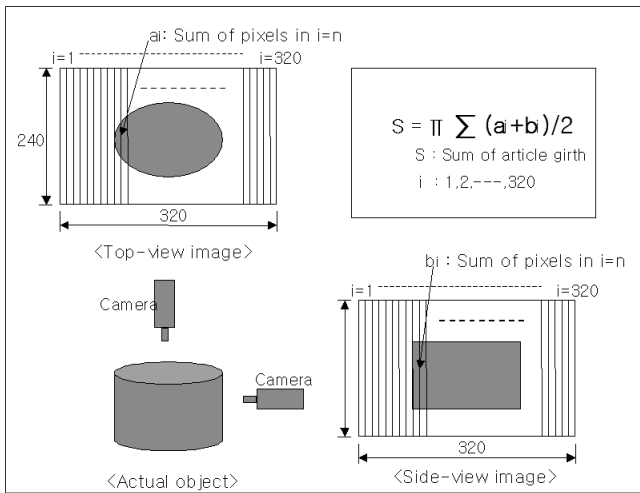


Fig. 8 Weight transformation of total article girth.

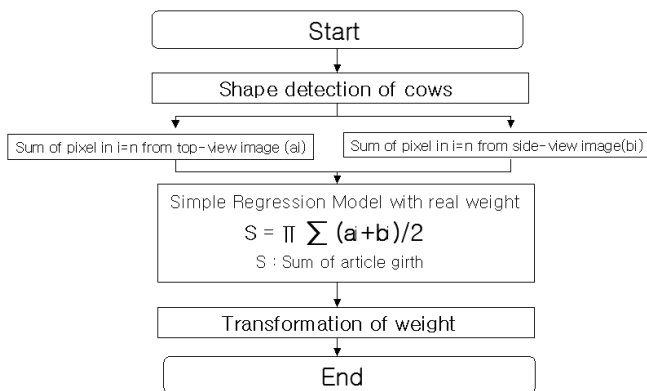


Fig. 9 Flow-chart of weight transformation of total article girth.

$$S = \pi \sum \frac{(a_i + b_i)}{2} \quad (4)$$

위와 같은 방법으로 영상을 통하여 획득한 젓소의 화소정보를 이용하여 체중추정을 위한 가상적인 둘레 합을 구하였

다. 둘레 합과 실제중의 단순회귀모델을 이용하여 젓소의 체중을 예측할 수 있도록 구성하였다. 대상으로 한 실험젓소 229두의 영상정보와 체중을 이용하여 SAS Ver.6.12를 통하여 분석하였다.

### 4) 단면적 합 변환

체중을 간접적으로 추정하기 위한 또 다른 방법으로 카메라에서 획득한 영상을 이용하여 측면 화소값과 윗면 화소값의 수평방향의 각 화소길이를 장축과 단축으로 하여 식 (1)의 형태로 나타나는 타원의 방정식에서 단면적을 구하였다.

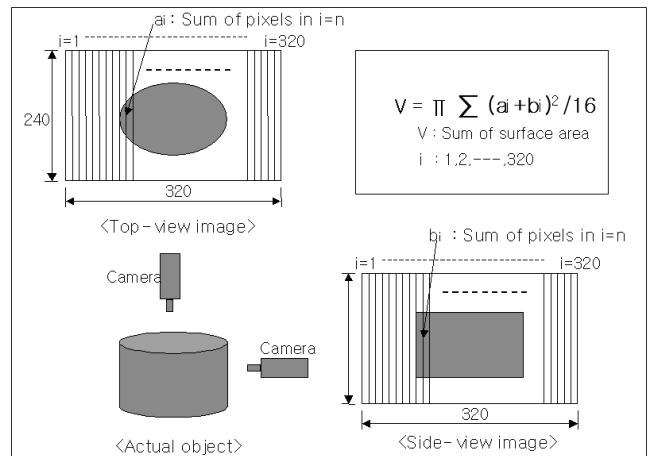


Fig. 10 Weight transformation of total area.

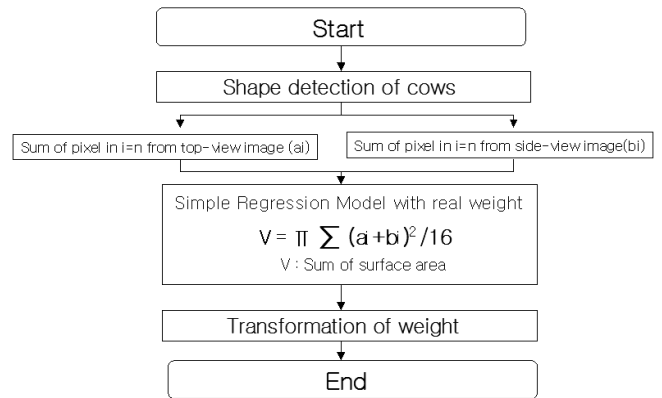


Fig. 11 Flow chart of weight transformation of total area.

가상 둘레합에 의한 체중 환산에 비해서 젓소 내부요소에 대한 보정이 더 강할 것으로 판단되었기 때문이다. 이를 위해 가상 둘레합의 계산에서와 마찬가지로 윗면영상과 측면영상에서 획득한 화소를 각 화소의 열이 차지하는 화소수를 이용하였다. 이는 그림 10과 같이 윗면화소와 측면화소의 각 면을 세분화하여(320개) 각 길이를 이용하여 다음의 식(5)와 같이 구하였다. 단면적 합을 이용한 체중의 변환과정을 그림 11에 나타내었다. 여기서, V는 체적이며  $a_i$  와  $b_i$ 는 각각 i 행의 윗면 및 측면화소합 ( $i=1, 2, 3, \dots, 320$ )이다.

$$V = \pi \sum \frac{(a_i + b_i)^2}{16} \quad (5)$$

위와 같은 방법으로 영상을 통하여 획득한 젓소의 화소정보를 이용하여 체중추정을 위한 단면적의 합을 구하였다. 단면적의 합과 실체중의 단순회귀모델을 이용하여 젓소의 체중을 예측할 수 있도록 구성하였다. 대상으로 한 실험젓소 229두의 영상정보와 체중을 이용하여 SAS Ver.6.12를 통하여 분석하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 가. 체중추정 모델

###### 1) 단순회귀모델

체중의 실측은 하중변환기가 부착된 실험용 체중계를 이용하였으며, 영상을 통한 화소정보는 위에서 언급한 바와 같이 각각 윗면과 측면에 설치된 카메라를 이용하였다. 젓소의 체중을 간접적으로 계측하기 위해서 측정한 각 체위 값과 체중을 이용하여 단순회귀 분석을 행하였다. 먼저 실험젓소 229

두를 대상으로 분석한 결과 표 4와 같이 나타났다.

CCD 카메라를 이용한 영상정보를 통하여 체중을 추정하기 위해 먼저 영상 정보와 체중과의 관계 구명을 위해 측면과 윗면 카메라의 젓소 화소 값과 측면과 윗면 영상에서 얻은 화소 정보의 틀레합 및 단면적합의 계산값과 단순회귀 분석을 수행하였다. 표 5은 전체 실험소를 대상으로 단순회귀식을 만든 것이다.

위의 결과에서는 비교적 높은 결정계수( $R^2$ )를 가지는 단순회귀 방정식을 얻을 수 있었다. 특히 측면 및 윗면의 단순한 화소와의 회귀 방정식 보다 화소의 가상틀레합 또는 화소 단면적합과 체중간의 단순회귀 분석에서 높은 결정계수를 가진다는 것을 알 수 있었다.

###### 2) 다중회귀모델

체위의 실측은 줄자와 체척기를 이용하였고, 체중의 실측은 하중변환기가 부착된 실험용 체중계를 이용하였다. 먼저 실험젓소 229두에 대한 실측한 10개의 체위를 독립변수로 한 체중과의 다중회귀방정식을 구한 결과, 결정계수( $R^2$ )가 0.9626으로 높게 나타났다. 체중추정을 위해서 각 체위를 독

**Table 4** Linear regression analysis of weight with measured body parameters

Y (random variable)	$\beta_0$ (intercept)	x(variable)	$\beta_1$ (inclination)	F-test significant probability	$R^2$
weight (n=229)	-587.004	chest depth	14.868	0.0001	0.8847
	-642.785	chest girth	6.095	0.0001	0.9526
	-961.413	withers height	11.027	0.0001	0.8565
	-600.135	body length	7.535	0.0001	0.8820
	-626.900	slope body length	7.255	0.0001	0.5878
	-1149.551	pelvic arc height	12.017	0.0001	0.8107
	-304.516	hip width	15.354	0.0001	0.8791
	-488.419	thurl width	20.127	0.0001	0.8315
	-339.815	chest width	18.817	0.0001	0.7126
	57.612	pin bone width	14.802	0.0001	0.3998

**Table 5** Linear regression analysis of weight with the total cow's image pixel

Y(random variable)	$\beta_0$ (intercept)	x(variable)	$\beta_1$ (inclination)	F-test significant probability	$R^2$
weight	-139.611	Article girth sum pixel	0.008	0.0001	0.9397
	-1.857	Surface area sum pixel	0.0002	0.0001	0.9626

**Table 6** Multi regression analysis of the weight measured each body parameters

Y	Constant	Variable of body parameter			$R^2$
		Chest girth	Pelvic arc height	Body length	
Weight (n=229)	-642.785	6.094			0.9526
	-561.944	6.740	-1.474		0.9541
	-541.460	6.251	-2.085	1.000	0.9556

립변수로 한 다중회귀방정식을 이용하는 것으로 가능할 것으로 판단되었으나, 영상을 통한 체위의 계측값의 오차를 고려한다면 독립변수가 많아지는 것은 적절하지 못할 것으로 판단되었다. 따라서 상관관계가 높은 순서로 각각의 독립변수를 추가하면서 결정계수의 변화를 살펴 본 결과 표 6과 같은 상관관계가 나타났다.

위의 결과에서 살펴보면 측정된 10개의 체위 가운데 흉위를 이용한 회귀식은 식 (6)으로 결정계수가 0.9526으로 나타났다. 여기에 골반 윗부분 뼈까지의 높이를 나타내는 십자부고를 포함하여 다중회귀식으로 나타내면 식 (7)로 결정계수가 0.9541로 약간 증가하였다. 또한 체장을 포함한 경우의 다중회귀식은 식 (8)로 결정계수는 0.9556으로 나타났다. 그 외의 체위에 대해서는 전체모델에 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 또한 체중 추정을 위하여 측면과 윗면 영상에서 획득한 화소값을 이용하여 다중회귀분석을 수행한 결과 표 7과 같이 나타났다.

$$Weight = -642.785 + 6.094 \times Chest\ girth \quad (6)$$

$$Weight = -561.944 + 6.740 \times Chest\ girth - 1.474 \times Pelvicarchheight \quad (7)$$

$$Weight = -541.460 + 6.251 \times Chest\ girth - 2.085 \times Pelvicarchheight + 1.00 \times Bodyleft \quad (8)$$

측면 영상에서 얻은 화소값과 윗면영상에서 획득한 화소값을 변수로 체중에 대한 다중회귀분석을 수행한 결과, 전체 실험소를 대상으로는 0.9122의 결정계수를 얻었다.

지금까지의 통계분석 자료를 기준으로 젖소의 체중을 추정하고자 하였다. 영상 정보를 이용하는 가장 적절한 모델은 각 젖소의 상태별 모델의 정립보다 전체를 대상으로 정립하는 것이 적절할 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서 체중 추정을 위한 모델은 표 8와 같다.

#### 나. 체중추정

체중추정을 위한 현장 검증실험은 체위 계측 방법과 같게 행하였다. 체중을 추정하기 위한 방법으로 4가지로써, 첫 번째는 흉위의 계측을 통한 체중환산방법으로 체위를 통한 방법이며, 두 번째는 영상이 가지는 화소정보를 이용한 방법으로 윗면과 측면의 카메라를 통하여 획득한 화소를 이용한 다중회귀방법, 세 번째는 가상둘레합을 이용하는 방법이다. 네 번째는 단면적합을 이용한 방법으로 체중을 간접적으로 계측하였다. 그 결과 표 9과 같이 나타났다.

영상처리를 이용하여 젖소의 체중을 간접적으로 측정하기 위해서 젖소를 일정한 공간을 통과하는 과정에서 체중을 추정할 수 있는 검증실험을 하였다. 측면과 윗면에 CCD 카메라를 설치하여 영상정보를 획득한 다음 체중 값으로 변환하도록 하는 방법으로 체중을 간접적으로 계측할 수 있도록 하였다.

그 결과 흉위변환식을 이용한 경우, 8번 젖소가 최대 30%의 오차를 보여 비교적 오차가 크게 나타났다. 물론 오차가 5% 이내로 나타난 젖소도 있지만, 전체적으로 흉위변환에 의한 체중추정의 경우에는 높은 오차를 보이고 있다. 이는 흉위를 측정하는 과정에서 흉심과 흉폭에서 발생하는 오차가 계속 누적되기 때문이라 판단되었다. 따라서 흉위의 계측을 통한 체중의 자동계측은 적절하지 않다고 판단되었으며, 흉위는 체중을 직접 측정할 수 없을 경우, 간이적인 체중의 측정에 유용할 것으로 판단되었다. 또한 측면영상과 윗면 영상이 가지는 화소정보를 이용한 다중회귀방정식을 이용한 체중 추정방법은 5번 젖소의 경우 11%의 오차를 나타낸 경우를 제외하고는 비교적 5% 이내의 낮은 오차를 보였다. 이러한 오차는 착유우의 경우 1회 착유 또는 먹이 섭취등에 따른 체중변화를 고려해 본다면 수용가능 한 오차로 판단된다. 측면영상과 윗면영상이 가지는 화소정보를 이용한 가상 둘레합을 이용하여 체중을 간접적으로 추정하는 방법으로 검증을 행한 결과 9번소의 경우, 최대 약 11.7%의 오차가 생겼다. 그 외 다른 실험젖소의 경우에는 최대 44 kg정도의 오차가 발생하

**Table 7** Multi regression analysis of the weight by the total cow's image pixel

Y	Constant	Regression		
		Side-view pixel	Top-view pixel	R <sup>2</sup>
Weight (n=229)	-191.387	0.0320	0.0030	0.9122

**Table 8** Regression function analysis for estimating the weights

Items	Regression function	R <sup>2</sup>
Chest girth variation	-642.785 + 6.095×(chest girth)	0.9526
Multi regression using pixel	-191.387+0.032×(S-view Pixel)+0.003×(T-view pixel)	0.9122
Article girth sum pixels variation	-139.611+0.008×(Article girth sum pixel)	0.9397
Surface area sum pixels variation	-1.857+0.0002×(Surface area sum pixel)	0.9626



**Table 9** The result of weight estimating

(unit : kg)

No.	Weight			Chest girth variation			Multi regression using pixel			Article girth sum pixel variation			Surface area sum pixel variation		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
1	700	596	104	700	738	38	700	676	24	700	669	31			
2	690	606	84	690	692	2	690	658	32	690	672	18			
3	531	660	129	531	481	50	531	515	16	531	588	57			
4	585	628	43	585	591	6	585	573	12	585	573	12			
5	582	660	78	582	524	58	582	543	39	582	559	23			
6	640	671	31	640	630	10	640	651	11	640	637	3			
7	420	482	62	420	383	37	420	460	40	420	402	18			
8	557	726	169	557	574	17	557	558	1	557	554	3			
9	503	575	72	503	473	30	503	562	59	503	519	16			
10	637	544	93	637	612	25	637	593	44	637	600	37			
Aver.			85.78			27.56			26.00			20.11			
Std. Dev.			40.58			18.79			18.05			16.40			

A : Measured value, B : Calculated value, C : Error

였는데, 이는 앞에서와 마찬가지로 계속시점에 따라서 실측 시에도 발생할 수 있는 오차의 범위로 판단되었다. 측면영상과 윗면 영상이 가지는 화소정보를 이용한 단면적 합을 이용하여 젓소의 체중을 간접적으로 계측한 결과 가장 큰 오차는 3번소에서 57 kg(약 10.7%)이었으며 이것을 제외하고는 대부분 30 kg 이내로 매우 양호한 결과를 보였다.

4가지의 간접적인 체중추정방법에서 오차의 평균을 살펴보면 단면적합변환방법이 21.8 kg으로 가장 낮은 것을 알 수 있었다. 따라서 영상을 이용한 젓소의 체중을 간접적으로 계측하고자 하는 경우에는 영상정보를 이용한 간접적인 추정방법으로 가능할 것으로 판단되었다.

### 5. 요약 및 결론

CCD 카메라를 이용하여 젓소의 체중추정을 위해 젓소의 체중을 실측하였다. 실험 젓소는 축산기술연구소 개량부의 180두, 기술부의 49두, 총 229두를 대상으로 실측하였다. 체중 실측은 로드셀이 부착된 실험용 체중계를 이용하였으며, 영상을 통한 화소정보는 각각 윗면과 측면에 설치된 CCD 카메라를 이용하였다. 실측한 체중과 영상정보의 화소 간의 회귀관계를 추정하여 젓소의 체중을 간접적으로 계측하였다. 영상처리를 이용하여 젓소의 체중을 간접적으로 측정하기 위해서 4가지 추정방법을 이용하여 검증실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 흉위변환식을 이용한 경우, 최대 30%의 오차를 보였으며, 비교적 오차가 크게 나타났다. 이는 흉위를 측정

하는 과정에서 흉심과 흉폭에서 발생하는 오차가 계속 누적되기 때문이라 판단되었다. 따라서 영상을 이용한 흉위값을 체중으로 환산하는 것은 적당하지 않다고 판단되었다.

- (2) 측면과 윗면의 영상정보의 다중회귀식을 이용한 체중추정은 최대 11%의 오차를 나타낸 경우를 제외하고는 비교적 5% 이내의 낮은 오차를 보였다. 측면영상과 윗면 영상이 가지는 화소정보를 이용한 가상 둘레합을 이용하여 체중을 간접적으로 계측하는 방법은 최대 약 11.7%의 오차가 생겼다. 단면적합을 이용하여 체중을 간접적으로 측정할 경우, 가장 큰 오차는 57 kg(약 10.7%)로써 이것을 제외하고는 대부분 30 kg 이내로 매우 양호한 결과를 보였다.
- (3) 4가지의 간접적인 체중추정방법에서 단면적합 변환방법의 평균오차가 21.8 kg으로 가장 낮게 나타났다. 따라서 영상의 화소정보를 이용하는 방법도 체중추정을 위해서 가능하겠지만, 체중추정을 위해서 가장 적절한 방법은 단면적합 변환에 의한 체중추정방법이라 판단되었다.

### 참 고 문 헌

1. Brandel. N and J. Erik. 1996. Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 15:57-72.
2. Healey G. E. and R. Kondepudy, 1994, "Radiometric CCD Camera Calibration and Noise Estimation", IEEE Trans. on

- PAMI, 16(3):267-276.
3. Jung S. K., Han J. D., Lee J. M., Kim H. S., 1993, The Research about Simply Cow Weight Measurement Method, Korea National Institute of Animal Science Report.
  4. Lee, M. Y and B. K. Ohh. 1985. Relation and Estimation of Heritabilities for Body Weight and Body Measurements of Korean Cattle(HAN-WOO). Korean Journal of animal science. 27(11):691-695. (In Korean)
  5. Lim Y. I., D. I. Chang, J. T. Lim, H. H. Chang and K. Y. Oh, 2000, Development of a Automated Noncontact Weighing System for Pigs, Journal of Livestock Housing and Environment, 6(1):23-29. (In Korean)
  6. Schofield. C. P. 1990. An evaluation of image analysis as a mean of estimating weight of pigs. Journal of Agricultural Engineering Research, 47:287-296.
  7. Yang, Y. H and B. K. Ohh. 1990. Studies on Estimation of Breeding Value for Body Weights, Chest Girth, and Shank Circumference in Korean Native Cattle (Han-woo). Korean Journal of animal science. 32(12):740-747. (In Korean)