

영상처리와 인공신경망을 이용한 돼지의 체온조절행동 분류 시스템 개발

Development of Classification System for Thermal Comfort Behavior of Pigs by Image Processing and Neural Network

장 동 일*	임 영 일*	장 흥 희**
정회원	정회원	정회원
D. I. Chang	Y. I. Lim	H. H. Chang

ABSTRACT

The environmental control based on interactive thermoregulatory behavior for swine production has many advantages over the conventional temperature-based control methods. Therefore, this study was conducted to compare various feature selection methods using postural images of growing pigs under various environmental conditions. A color CCD camera was used to capture the behavioral images which were then modified to binary images. The binary images were processed by thresholding, edge detection, and thinning techniques to separate the pigs from their background. Following feature were used for the input patterns to the neural network; ① perimeter, ② area, ③ Fourier coefficients(5×5), ④ combination of (① + ②), ⑤ combination of (① + ③), ⑥ combination of (② + ③), and ⑦ combination of (① + ② + ③). Using the above each input pattern, the neural network could classify training images with the success rates of 96%, 96%, 96%, 100%, 100%, 96%, 100%, and testing images with those of 88%, 86%, 93%, 96%, 91%, 90%, 98%, respectively. Thus, the combination of perimeter, area and Fourier coefficients of the thinning images as neural network features gave the best performance (98%) in the behavioral classification.

주요 용어(Key Words): 돼지 행동(Pig behavior), 영상처리(Image processing), 인공신경망(Neural network), 환경제어(Environmental control)

1. 서 론

돈사 내부의 환경제어는 돼지의 쾌적함, 건강, 그

리고 생산 능력을 유지하기 위하여 필수적이며, 이에 가장 많이 영향을 미치는 요소는 체감온도이다. 체감온도는 공기 온도, 공기 속도, 바닥 온도의 복합

* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

** 경상대학교 농과대학 축산과학부 축산학전공

작용에 의해 결정되므로 복합적으로 이 세 가지 요소를 제어하는 것이 필요하다(Boon, 1981; Geers et al, 1986).

현재 대부분의 환경제어는 공기 온도만을 근거로 하여 이루어지고 있기 때문에 생산성의 저하 및 건강 문제를 초래할 가능성이 있다. 또한 현재까지 공기 온도, 공기 속도, 바닥 온도와 체감온도 사이의 복합관계가 명확히 구명되지 않았으므로 이 요소들의 값에 근거하여 환경을 제어한다는 것은 매우 어려운 일이다.

이와 같은 복합적인 열환경을 제어하기 위해서 돈사내 열환경 요소들의 예측값에 근거하지 않고, 공기 온도, 공기 속도, 그리고 바닥 온도의 복합작용에 의해 체감온도의 변화에 따라 다르게 나타나는 돼지의 체온조절 행동에 따라 행동을 분류하여, 열환경을 제어한다면 열환경 요소들을 복합적으로 제어하는 효과를 나타낼 수 있다.

이는 기존의 돈사내 환경제어를 위하여 사용되어 왔던 각종 센서가 돈사내 열악한 환경에서 유해 가스와 먼지에 따른 센서의 정밀도 저하, 내구성 저하, 유지보수의 어려움 등 많은 문제점을 갖고 있었다면, 체온조절 행동을 분류하기 위한 영상처리시스템은 유해가스와 먼지의 영향을 받지 않고 영상을 획득하여 그에 따라 환경제어를 할 수 있게 되어, 센서 사용시의 많은 문제점들을 해결할 수 있음을 의미한다. 또한 영상 처리기술은 돼지의 사양관리, 이상행동 감시, 건강상태 파악, 침입자의 침입 여부를 파악하는데 이용될 수도 있기 때문에 장기적으로 보아 영상처리 기술을 이용하여 환경제어를 함이 바람직하다고 사료된다.

이와 같은 돼지의 자발적인 체온조절행동에 근거하여 돈사내 환경을 제어하기 위하여 Geers et al (1991)은 영상처리를 이용하여 돈방에서의 돼지의 위치와 그 위치에 따른 돼지의 면적을 이용하였고, Shao et al(1998)은 영상처리와 인공신경망을 이용하여 돼지의 체온조절행동을 분류하였다. 그러나 이들

연구에서는 행동분류상의 문제점과, 시스템적인 구성에 의한 영상 획득 및 체온조절행동의 분류가 이루어지지 않고, 영상처리와 행동분류가 별도의 상용 프로그램에 의해 수행되어졌다.

따라서, 본 연구에서는 영상처리와 인공신경망을 이용한 돼지의 체온조절행동 분류 시스템을 개발하고, 개발된 시스템을 이용하여 효과적인 체온조절행동 분류 방법을 제시하고자 하였으며, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1) 돼지의 체온조절행동 영상을 획득할 수 있도록 영상처리 시스템의 하드웨어를 구성한다.

2) 돼지의 체온조절행동 유형별로 영상을 획득하여 영상처리 후, 이 영상에 대한 둘레, 내부면적, 푸리에 계수(Fourier coefficient)를 산출하고, 이와 같이 산출된 값과 조합형 값들을 인공신경망의 입력패턴으로 이용하여 체온조절행동을 분류할 수 있는 알고리즘과 프로그램을 개발한다.

3) 개발된 돼지의 체온조절행동 분류 시스템을 이용하여 체온조절행동을 분류한 결과를 토대로 돼지의 체온조절행동을 가장 효과적으로 분류할 수 있는 방법을 제시한다.

2. 재료 및 방법

가. 돼지의 체온조절행동 분류

Mount(1968), Geers et al(1991), 그리고 Shao et al (1996)은 돼지의 체온조절행동은 추운 경우, 적정한 경우, 더운 경우의 행동으로 나타난다고 보고하였다. 그림 1에서와 같이 추운 경우 돼지는 체온을 유지하기 위하여 최대한 밀집하여 누우며, 적정한 경우 돼지는 거의 접촉하여 나란히 눕는다. 그리고 더운 경우 돼지는 발생하는 체열이 많이 손실되도록 최대한 멀리 분산하여 눕는다. 따라서, 이것을 기준으로 획득된 영상을 행동유형별로 분류하였다.

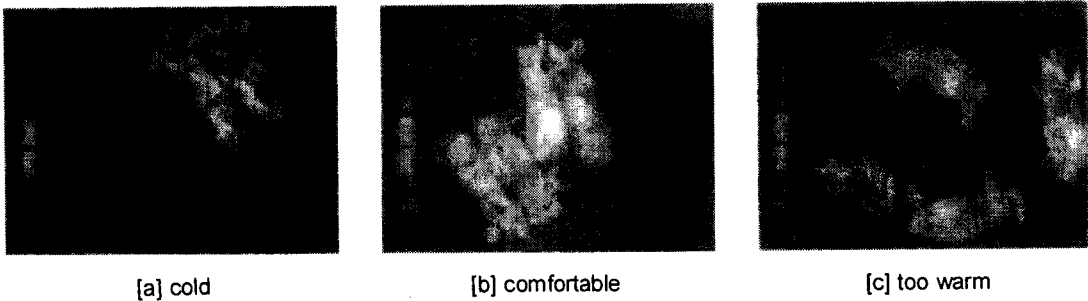


Fig. 1 Behaviors of pigs under the different environmental conditions.

나. 실험 환경

실험은 충남대학교 농과대학 부설 동물 사육장에 설치한 무창돈사에서, 크기가 1.4m(W)×2.2m(L)×2.0m(H)인 3칸의 돈방에 평균 체중이 25kg인 랜드레이스×라지화이트 교잡종(F1) 돼지를 각각 4두씩 위치시켰다.

돼지의 체온조절행동을 관찰하기 위한 열환경은, 더운 환경을 조성하기 위하여 온풍기(용량 : 15,000 kcal/h)에 알루미늄 주름관(직경 : 200mm)을 연결하여 돈사 내부로 계속적으로 열풍을 불어넣어 주었으며, 추운 환경은 겨울(1998년 2월 2일~2월 12일 : -6.4~8.5℃)에 실험하였기 때문에 단지 환기량을 조절함으로써 제공하였다. 그리고, 센서를 설치하여 실험기간동안 돈사내부의 주요환경요소를 계속하였다.

인위적으로 조성한 각각의 열환경에서 돼지의 영상은 20분 간격으로 획득되었으며, 이때 측정된 주요환경요소의 값도 획득, 저장하였다.

군사육을 하는 자돈사와 육성·비육돈사 내부의 권장 조도는 각각 107.6 lx와 53.8 lx 이다(MWPS-8, 1991). 그러나 영상처리 시스템을 이용하여 돼지의 체온조절행동을 분류한 결과를 근거로 환경제어를 하려면 24시간 동안 영상 획득을 위한 최소한의 조명이 요구되며, 돼지의 증체 및 사료효율을 높이기 위하여 돼지의 여러 행동을 최대한 억제하기 위해서

는 최소의 조도가 필요하다. 그리고, 돼지의 영상을 명확하게 획득하는데 최소한 10 lx가 요구되었기 때문에 24시간동안 조도를 10 lx로 하였다.

돼지의 체온조절행동을 완전하게 영상 처리하려면 하나의 돈방을 모두 영상 처리하여야 한다. 따라서 하나의 돈방을 모두 영상 처리할 수 있도록 6mm 렌즈(WV-LZ62/2)를 사용하였고, 10 lx의 조도에서 영상을 획득한 후 돼지를 정확하게 분리하기 위해서 칼라용 CCD 카메라를 돈방 바닥으로부터 1.8m 위에 설치하였다. 이때, 흑백 CCD 카메라를 사용하여 돼지의 영상을 획득할 수도 있으나, 어두운 조명과 돼지의 몸에 오물이 묻었을 경우, 돈방 바닥의 상태에 따른 영상처리가 어려울 것으로 판단하여 칼라용 CCD 카메라를 사용하였다.

본 실험에서 사용된 렌즈의 왜곡도 보정을 위해, 카메라의 설치 후 돈방내에서 동일물체(300×300 mm)를 높이를 변화시키며 여러 위치로 옮겨 놓았을 때의 면적과 둘레를 분석한 결과, 각각 최대 ±23, ±6 pixel의 오차를 보였으나, 돼지 영상에서의 면적과 둘레의 픽셀 값보다 무시할 수 있을 정도로 작으므로 왜곡도는 고려하지 않았다.

다. 행동 분류 시스템

(1) 하드웨어

행동 분류 시스템의 하드웨어는 CCD 카메라, 영상처리 보드, 그리고 컴퓨터로 구성되었다. CCD 카메라와 영상처리 보드에는 각각 칼라용 WV-CBP410 (Panasonic, Inc) 모델과 DT3153(Data Translation, Inc.) 모델이 사용되었고, 컴퓨터는 133Hz, 64MB Pentium 이 사용되었다.

(2) 행동 분류 알고리즘

행동 분류 알고리즘은 영상처리 단계와 인공신경망에 의한 행동분류 단계로 하여 구성하였다. 영상처리단계에서 획득된 영상을 처리하여 얻어진 둘레와 내부 면적은 영상내에서의 사물의 영역, 분포의 정도 등을 분석할 수 있고, 푸리에 계수는 영상내에서 사물의 공간적 분포 상태를 분석할 수 있다. 그러나 이들 값은 동일한 열환경에서도 비선형적인 다양한 값을 갖을 수 있으므로 이러한 수치적 패턴을 인식하고 판별할 수 있는 인공신경망에 의해 행동 분류를 하였다.

가) 영상처리 단계

그림 2와 같이 영상처리 단계는 영상을 획득 (640×480)하여 이진화 처리를 하였고, 시스템의 처리속도를 향상시키기 위하여 영상을 1/16로 축소 (160×120)하였다. 축소된 영상은 잡음을 제거하여 최종 영상을 생성하였다. 생성된 이진 영상으로부터 둘레, 면적, 푸리에 계수를 산출하였으며, 이들을 인공신경망의 입력 패턴으로 이용하였다.

나) 인공신경망에 의한 행동분류 단계

각 열환경에서 획득된 행동유형별(더운 상태, 적정 상태, 추운 상태) 영상은, 동일한 열환경하에서의 행동유형 영상 중 많은 행동변화가 보이는 10장의 영상을 각각 취하여 둘레, 내부면적, 푸리에 계수를 산출하였다.

본 연구에서는 인공신경망의 입력 패턴을 25개로 설정하여, 획득된 영상에서 둘레, 내부면적, 푸리에 계수를 그에 맞게 변환시켰다. 산출된 둘레와 내부 면적을 원소가 모두 1인 5×5 행렬에 각각 곱하여 5×5 행렬로 변형시켰으며, 식 (1)에 의해 계산된 푸

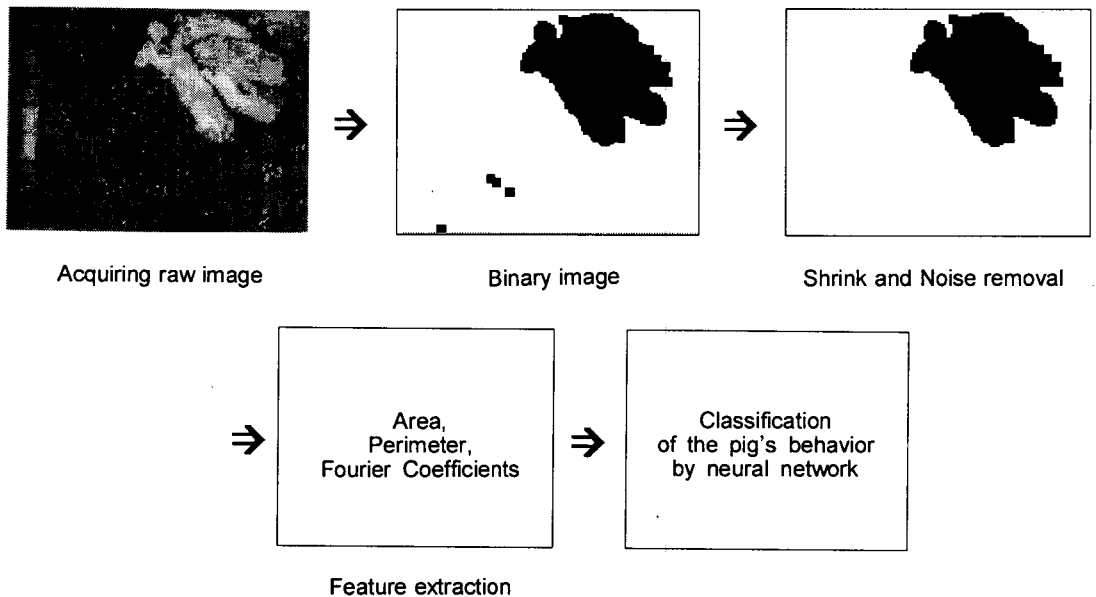


Fig. 2 Algorithm for classifying the pig's behavior by image processing and neural network.

리어 계수는 처음의 5×5 배열, 즉, 상관관계가 높은 25개의 퓨리어 계수만을 이용하였다. 그리고 둘레와 내부면적의 조합은 원소가 모두 1인 5×5 행렬에 내부면적에 대한 둘레의 비를 곱하여 얻었으며, 둘레와 퓨리어 계수, 내부면적과 퓨리어 계수의 조합은 퓨리어 계수의 5×5 행렬에 각각 둘레, 내부면적의 값을 곱하여 얻었다. 둘레와 내부면적 및 퓨리어 계수의 조합은 퓨리어 계수의 5×5 행렬에 각각 내부면적에 대한 둘레의 비를 곱하여 얻었다.

$$F(\mu, v) = \sum_x \sum_y f(x, y) e^{-j2\pi(\mu x - \nu y)/N} \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, x, y = 공간 영역 좌표
- μ, ν = 주파수 영역 좌표
- f(x, y) = (x, y)에서의 픽셀 값
- N = 영상의 크기

이상의 방법으로 얻은 5×5 행렬의 자료를 인공지능망의 입력 패턴으로 사용하였으며, 출력 패턴은 더움, 적정, 추움의 상태로 하여 학습을 시켰다. 더움, 적정, 추움의 출력은 출력층에서 각 상태의 해당 패턴이 0.9 이상의 값을 갖으면 그 상태로 결정하도록 하였다.

여기서 신경망의 학습방법에는 오류 역전파 알고리즘(이, 1993)이 사용되었으며, 신경망 구조는 입력층에 대하여 한 개의 은닉층과 한 개의 출력층을 갖는 3층 구조로 하였다. 이때 입력층의 패턴 수는 25로 하였으며, 은닉층과 출력층의 패턴 수는 각각 10과 3으로 하였다. 또, 전달함수는 식 (2)와 같은 로그-시그모이드(log-sigmoid) 함수를 사용하였으며, 학습횟수를 2,000회로 한 결과, 학습 패턴의 오차가 0.01 이하로 나타났다. 이때 학습시 발생할 수 있는 지역 최소점 문제를 피하고, 학습 속도를 높이기 위해, 연결가중치 조절시 모멘텀항을 추가하였고, 가중합을 구할 때 bias를 추가하여 처리하였다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, a = 로그-시그모이드 함수의 기울기
(여기서는 a = 1)

학습이 끝난 후 행동유형별로 각각 20장의 영상 정보를 인공지능망에 입력하고, 이때 출력된 값을 근거로 하여 행동 분류 성공 여부를 결정하였다.

알고리즘은 C++과 호환이 되고, 계측제어용 언어인 LabWindows/CVI를 이용하여 구현하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 열환경별 영상 획득

실험기간동안 인위적으로 조성되어진 각 열환경에서 측정된 주요 환경요소의 평균은 표 1과 같다.

표 1에서 각각의 열환경에서 획득된 영상은 그림 1과 같다.

나. 영상처리

그림 1과 같이 획득된 영상을 이진화한 영상은 그

Table 1 Means of major environmental factors under three environmental conditions

Item	Cold	Comfortable	Too warm
Air temperature(℃)	14.9	21.6	24.7
Floor temperature(℃)	13.9	19.2	23.5
Air velocity(m/s)	0.12	0.16	0.19
Relative humidity(%)	46.3	51.0	66.6
CO ₂ (ppm)	999	1,001	742
NH ₃ (ppm)	3.8	4	3.3

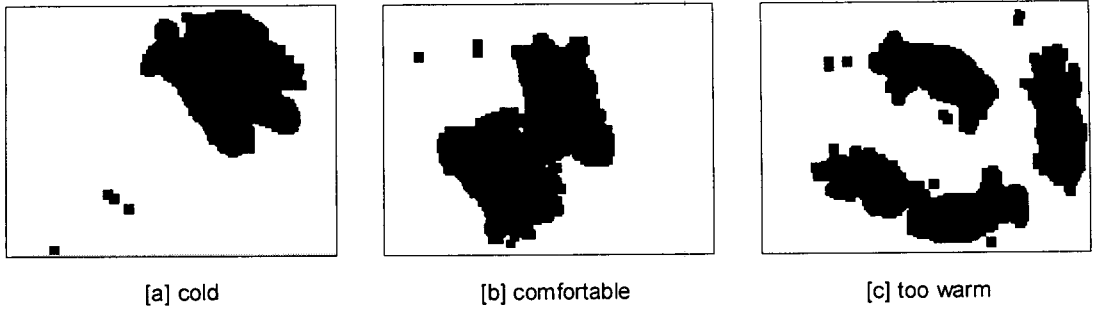


Fig. 3 Processed binary images of pigs under three environmental conditions.

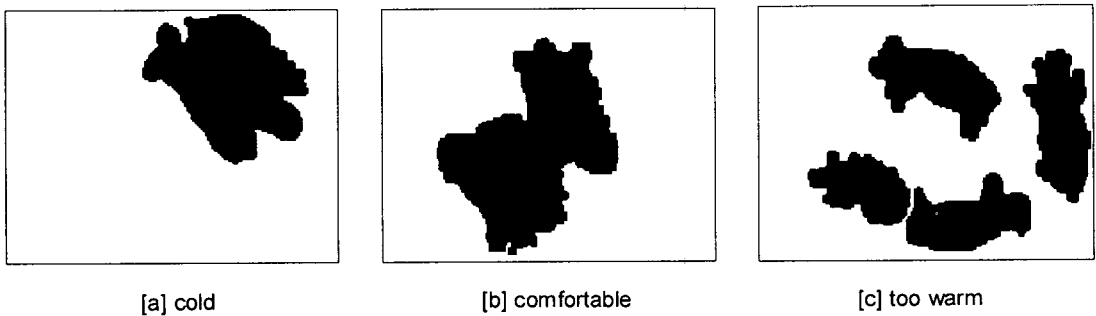


Fig. 4 Pig's images processed using shrink and noise removing under three environmental conditions.

림 3과 같다. 그리고 그림 3의 영상의 1/16 축소된 뒤 노이즈를 제거한 이진영상은 그림 4와 같다.

다. 퓨리에 계수, 면적 및 둘레의 계산

그림 4의 영상을 이용하여 퓨리에 계수, 면적, 둘레를 각각 계산한 결과는 표 2와 같다. 산출된 퓨리에 계수는 표 2와 같이 행동유형별간에 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 그리고 전체 실험에 사용된 각 행동별 영상의 둘레와 면적의 평균과 표준편차는 표 3과 같다.

라. 인공신경망에 의한 행동 분류

이진 영상의 픽셀에 따른 둘레, 내부면적, 퓨리에 계수, 둘레와 내부면적, 둘레와 퓨리에 계수, 내부면

적과 퓨리에 계수, 둘레와 내부면적 및 퓨리에계수를 입력패턴으로 하여 인공신경망에 각각 학습시킨 후 학습결과를 이용하여 돼지의 체온조절행동을 분류한 결과는 표 4와 같다.

학습 자료는 각 항목에 따라 95% 이상 학습된 것으로 나타났으며, 그 학습 결과를 이용하여 돼지의 체온조절행동을 분류한 결과, 둘레만을 이용한 경우 88%, 내부면적만을 이용한 경우 86%, 퓨리에 계수만을 이용한 경우 93%, 내부면적과 둘레를 조합한 경우 96%, 둘레와 퓨리에 계수를 조합한 경우 91%, 내부면적과 퓨리에 계수를 조합한 경우 90%, 둘레와 내부면적 및 퓨리에 계수를 조합한 경우 98%로 나타나, 둘레와 내부면적 및 퓨리에 계수를 조합하여 돼지의 체온조절행동을 분류하는 것이 가장 효과적인 방법인 것으로 나타났다.

여기서 둘레나 내부면적이 90% 이하로 나온 것은

Table 2 Fourier coefficients, areas, and perimeters calculated from binary images

Environmental conditions	Fourier coefficients(5×5)					Area	Perimeter
Cold	2,521	1,556	255	493	29	3,582	333
	556	259	208	348	102		
	1,680	1,079	392	181	70		
	780	353	274	531	202		
	472	304	356	94	115		
Comfortable	3,094	959	585	48	193	4,849	455
	373	522	128	548	47		
	1,794	630	119	61	177		
	632	828	314	703	100		
	126	44	226	116	113		
Too warm	3,921	1,413	573	1,916	756	5,702	770
	526	234	286	261	351		
	886	34	352	668	253		
	297	105	139	452	205		
	1,086	732	106	380	684		

Table 3 Means and standard deviation of the feature characteristics extracted from pig's images under three environmental conditions

Item		Cold	Comfortable	Too warm
Total number of sample		30	30	30
Perimeter	Mean	3,756	4,697	5,484
	s.d.	674	764	694
Area	Mean	330	504	634
	s.d.	38	155	111

표 3의 높은 표준편차에서 알 수 있듯이, 동일한 체온조절행동에서도 둘레와 내부면적의 변화가 넓게 분포되어 있어서 인공지능경망의 판별 능력을 떨어뜨린 것으로 사료된다. 이는 돼지의 하루하루 증체에 따른 영향과 주요 환경요소의 복합적인 작용에 따라, 동일한 체온조절행동에서 돼지 상호간의 접촉밀도 변화에 의한 것으로 사료된다. 결국, 둘레와 내부면적 각각의 자료는 계속적으로 성장하는 돼지의 행동분석을 위해서는 부적당할 것으로 판단된다. 그리

고 둘레와 내부면적의 조합시에는 두 특성간의 비율로서 분석한 결과 높은 성공률을 보였으며, 그것에 다시 퓨리어 계수를 조합한 것이 가장 높은 성공률을 보였다.

위의 성공률은, 15분 간격으로 환경제어가 이루어지는 돈사에서 예를 들어 생각해보면 86% 성공시 돼지가 하루에 3시간 이상을, 90% 성공시 2시간 이상을, 98% 성공시 30분을 부적당한 환경에 놓이게 된다.

Table 4 Classification efficiency of neural network using different feature characteristics

Item	No. of training data	No. of testing data	Training data (%)	Testing data (%)
Perimeter	30	60	29/30 (96%)	53/60 (88%)
Area	30	60	29/30 (96%)	52/60 (86%)
Fourier coefficients	30	60	29/30 (96%)	56/60 (93%)
Area and perimeter	30	60	30/30 (100%)	58/60 (96%)
Perimeter and Fourier coefficients	30	60	30/30 (100%)	55/60 (91%)
Area and Fourier coefficients	30	60	29/30 (96%)	54/60 (90%)
Perimeter, area, and Fourier coefficients	30	60	30/30 (100%)	59/60 (98%)

4. 요약 및 결론

본 연구는 돼지의 체온조절행동에 근거하여 환경을 제어할 때 필요한 체온조절행동 분류 시스템을 개발 및 개발된 시스템을 이용하여 효과적인 체온조절행동 분류 방법을 제시하기 위하여 수행되었으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 영상처리 시스템의 하드웨어는 CCD 카메라, 영상 처리 보드, 컴퓨터로 구성되었으며, 프로그램은 LabWindows/CVI 언어로 작성되었다.

2) 돼지의 체온조절행동 분류를 위한 알고리즘은 획득된 영상을 영상처리 후, 그 영상에서 얻어진 둘레, 면적, 퓨리어 계수, 둘레와 면적, 둘레와 퓨리어 계수, 면적과 퓨리어 계수, 둘레와 면적 및 퓨리어 계수를 이용하여 인공신경망으로 행동을 분류하는 순으로 구성되었다.

3) 개발된 돼지의 체온조절행동 분류 시스템을 이용하여 분류 성능을 평가한 결과, 여러 방법 중에서 둘레와 내부면적 및 퓨리어 계수를 조합하여 행동을 분류하는 것이 98%로 가장 성공률이 높았다. 따라서, 돼지의 체온조절행동을 효과적으로 분류하기 위해서는 획득한 영상의 둘레와 내부면적 및 퓨리어

계수를 조합한 자료를 인공신경망의 입력패턴으로 이용하여 분류하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 이상원. 1993. 학습하는 기계 신경망. 한솔기획.
2. Boon, C. R. 1981. The effect of departures from lower critical temperature on the group postural behavior of pigs. Anim. Prod. 33:71-79.
3. Geers, R., H. Ville, V. Goedseels, M. Houkes, K. Goossens, G. Parduyns and J. Van Bael. 1991. Environmental temperature control by the pig's comport behavior through image analysis. Transactions of the ASAE 34(6):2583-2586.
4. Geers, R., V. Goedseels, G. Parduyns and G. Vercruysse. 1986. The group postural behavior of growing pigs in relation to air velocity, air and floor temperature. Appl. Anim. Behav. Sci. 16:353-362.
5. Mount, L. E. 1968. The Climate Physiology of the Pig. Edward Arnold, London.
6. MWPS. 1991. Structures and Environment Handbook. Publication MWPS-8, Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, IA.
7. Shao, J., H. Xin and J. D. Harmon. 1996. Evaluating thermal comfort behavior of young pigs by neural network. ASAE Paper No. 96-4058. St. Joseph, Michigan.
8. Shao, J., H. Xin and J. D. Harmon. 1998. Comparison of image feature extraction for classification of swine thermal comfort behavior. Computer and Electronics in Agriculture 19:223-232.