

# 모돈의 일반 발성음과 발정기 특이음의 비교분석

전중환\* · 연성찬\*\* · 장홍희\*

경상대학교 동물자원과학부 · 농업생명과학연구원\*, 경상대학교 수의과대학\*\*

## Comparative Analysis for General and Estrus-related Vocalizations in Sows

J. H. Jeon\*, S. C. Yeon\*\* and H. H. Chang\*

Division of Animal Science and Technology-Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Republic of Korea\*

College of Vet Medicine, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Republic of Korea\*\*

### ABSTRACT

The aim of this study was to divide vocalizations of sows into general(GVs) and estrus-related vocalizations(EVs) and to find out their phonetic characteristics. Ten sows(Landrace) were recorded using digital video recorders twice daily(06:00~08:00h and 17:00~19:00h) during the anestrus and estrus periods. The GVs and EVs were divided based on the shapes of spectrum and spectrogram. The GVs and EVs were identified as 5 and 3 types, respectively. Pitch, formant 1, formant 2, and formant 3 between GVs and EVs were not significantly different( $P > 0.05$ ), whereas intensity( $P < 0.001$ ), duration( $P < 0.05$ ), and formant 4( $P < 0.01$ ) were significantly different. Three parameter groups(Group I:Formant vector alone, Group II:Formant vector+parameters from time signal, Group III:Formant vector+parameters from time signal-parameters eliminated by stepwise discriminant analysis backward) were compared by discriminant function analysis. The classification system adopted in the Group II represented the higher discrimination rate than those in other groups(Group I:76.1%, Group II:88.1%, Group III:87.3%). These results suggest that EVs are present and intensity, formant 2, and formant 4 are available parameters for discrimination of EVs in sows.

(Key words : Sow, Vocalization, Estrus)

### I. 서론

돼지는 발성음을 중요한 의사소통의 수단으로 이용하며, 약 20가지 이상의 발성음을 이용하는 것으로 추측되고 있다(Hafez and Signoret, 1969). 이렇게 많은 발성음 중에서 모돈이 포유자돈에게 수유할 때 내는 꿀꿀거림(grunting)이나 포유자돈이 위험에 처했을 때 내는 비명(squeal) 등은 그동안 연구자들에게 경제적인

측면에서 중요하게 여겨졌기 때문에 이에 대하여 많은 연구가 이루어져 음성학적 특징과 의미는 자세히 알려져 있다(Schon 등, 1999; Walser, 1986; Xin 등, 1989; 전 등, 2003). 이와 같이 돼지의 발성음에 대한 그동안의 연구가 꿀꿀거림(grunting) 및 비명(squeal) 등과 같은 특정 발성음에 대해서만 극히 제한적으로 수행되었기 때문에 현재 다양한 발성음에 대한 음성학적 특징과 의미를 모르고 있는 실정이다.

Corresponding author : H. H. Chang, Division of Animal Science and Technology · Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Republic of Korea. Tel : 82-55-751-5510, E-mail : hhchang@nongae.gsnu.ac.kr

따라서 앞으로 돼지의 발성음에 대한 연구가 다양하게 수행되어야 할 것으로 판단된다.

최근 가축복지에 대한 관심이 높아짐에 따라 가축복지의 수준을 과학적으로 평가할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있으며, 가축복지의 수준을 평가하는 방법 중에서 발성음을 가지고 평가하는 방법에 관심이 집중되고 있다(Weary and Fraser, 1995a; Weary and Fraser, 1995b; White 등, 1995). 또한 가축에게 가축의 특정 발성음을 들려주어 생산성을 향상시킬 수 있는 방법들이 개발되고 있을 뿐만 아니라(McCowan 등, 2002) 가축의 발성음을 분석하여 그 의미를 관리자에게 알려줄 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

돼지의 발정은 일반적으로 이유 후 4~6일 사이에 재귀되며(Walton, 1968), 현재 주로 육안 관찰과 등을 눌러 확인하는 방법(back pressure test) 등을 통하여 감지되고 있다(Diehl 등, 2001). 이러한 관행의 방법을 이용하여 발정을 정확하게 감지하기 위해서는 숙련된 기술과 풍부한 경험이 요구되며, 미약발정일 경우 발정을 감지하기가 매우 어렵다. 부정확한 발정감지는 수태율을 감소시켜 공태기간을 증가시키는 주요 원인이 될 수 있다. 공태기간이 길어질 경우, 모돈의 사료비, 유지비 및 기타 경비의 손실이 발생하며, 모돈회전율이 감소되어 연간 이유자돈두수가 감소하게 된다(정과 정, 2000). 그러므로 모돈의 발정을 정확하게 감지하는 것이 매우 중요하다.

모돈의 발정기 특이음은 매우 독특하다고 알려져 있으나(정과 정, 2000; Houpt, 1991), 이에 대한 음성학적 연구는 현재까지 체계적으로 이루어지지 않았다. 모돈의 발성음에 대한 음성학적 연구를 통하여 일반 발성음과 발정기 특이음을 분류하고 이를 판별할 수 있는 음성인식기술을 개발하여 발정감지에 이용한다면 보다 쉽고 정확하게 발정을 감지할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구는 경산돈의 일반 발성음과 발정기 특이음을 분류한 후 음성학적 특성을 분석하고 각종 파라미터들을 이용하여 일반 발성음과 발정기 특이음을 판별할 수 있는 방법

을 제시하고자 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시동물 및 녹화방법

Landrace 품종의 경산돈 10두를 공시하여 이유 후 2일째부터 발정이 감지된 날까지 하루 2시간씩 2회(06:00~08:00 및 17:00~19:00)에 걸쳐서 디지털캠코더를 이용하여 모돈의 행동과 발성음을 녹화하였다. 모돈의 발정은 1일 2회(06:00~08:00 및 17:00~19:00) 육안관찰, 웅돈접촉 및 등을 눌러 확인하는 방법(back pressure test) 등의 관행방법에 의하여 판단하였다(Diehl, 2001). 돈사형태는 무창돈사였으며, 공시동물은 3칸의 돈방에서 각각 3두, 3두, 4두씩 사육되었다.

### 2. 발성음의 분류

녹음된 모돈의 발성음은 Cool Edit 2000(Syntrillium, USA)에서의 스펙트럼(Spectrum) 및 스펙트로그램(Spectrogram)의 형태와 직접 귀로 들었을 때의 소리형태를 기준으로 일반 발성음과 발정기 특이음으로 분류되었다. 일반 발성음은 발정감지 전 2일의 발성음만을 가지고 분류되었으며, 발정기 특이음은 발정이 감지된 날의 발성음만을 가지고 분류되었다. 일반 발성음(General vocalizations: GV)은 비발정기와 발정기에서 공통적으로 나타나는 발성음을 의미하며, 발정기 특이음(Special estrus-related vocalizations: SEV)은 비발정기에 나타나지 않고 발정기에서만 나타나는 독특한 발성음을 의미한다. 일반 발성음과 발정기 특이음으로 분류된 발성음들은 또 다시 스펙트럼과 스펙트로그램을 비교하여 세부적으로 분류되었다.

### 3. 측정 파라미터

Praat(Paul Boersma and David Weenink, Netherlands)를 이용하여 발성음들에 대한 기본 주파수(Pitch), 음의 강도(Intensity), 음의 길이

(Duration), 제 1포먼트(Formant)(F1), 제 2포먼트(F2), 제 3포먼트(F3), 제 4포먼트(F4)를 측정하였다(전 등, 2003). 이때 FFT크기(Fast fourier transform-size)는 512포인트(32 ms)로 하였으며(Schon 등, 1999; 양 2003), 창 함수는 Hamming Window 함수를 이용하였다(김 등, 2000; 오, 1998; 박, 1999). 기본주파수는 발성기관인 성대가 1초 동안에 몇 번 열리고 닫히는지를 보여주는 것이며, 포먼트는 성도 안 공기의 공명주파수와 일치하는 배음으로 낮은 주파수부터 제 1, 제 2, 제 3, 제 4포먼트 등으로 불린다(김 등, 2000).

4. 통계분석

일반 발성음과 발정기 특이음의 각 파라미터들에 대한 분산분석은 SPSS(SPSS Inc., Version 9.0) 통계프로그램의 General Linear Model(GLM)을 이용하여 실시하였으며, 일반 발성음과 발정기 특이음간의 각 파라미터별 유의성 검정은 Duncan의 다중검정법을 이용하여 실시하였다. 또한 일반 발성음과 발정기 특이음의 판

별은 포먼트(F1 ~ F4)들만을 파라미터로 하는 군(Group I), 포먼트들에 기본주파수, 음의 강도 및 음의 길이를 파라미터로 추가한 군(Group II), stepwise 기법을 적용하여 유용하지 않은 파라미터들을 탈락시키고 남은 파라미터들로 이루어진 군(Group III)으로 구분하여 Discriminant 분석기법을 이용하여 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일반 발성음의 음성학적 특성

비발정기의 모돈 뿐만 아니라 발정기의 모돈이 공통적으로 나타내는 일반 발성음을 형태별로 분류한 결과, Fig. 1과 같이 총 5가지의 형태로 나타났다. 각 형태간의 스펙트럼과 스펙트로그램을 비교하였을 때 그 차이가 매우 명확하게 나타났으며, 사람의 청각으로도 서로 다른 발성음을 알 수 있었다. 5가지 형태의 일반 발성음을 음성학적으로 분석한 결과, Table 1과 같이 나타났다. 각 파라

Table 1. Acoustic parameters of general vocalizations

Parameter	General vocalizations <sup>1)</sup>					P
	GV1	GV2	GV3	GV4	GV5	
Pitch (Hz)	238.10 ± 92.93 <sup>b</sup>	418.84 ± 73.73 <sup>a</sup>	227.47 ± 42.91 <sup>b</sup>	247.97 ± 50.92 <sup>b</sup>	307.87 ± 37.21 <sup>ab</sup>	< 0.01
Intensity (dB)	68.70 ± 2.15	70.33 ± 1.58	68.70 ± 2.15	67.41 ± 4.04	71.39 ± 0.66	> 0.05
Duration (s)	0.31 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.63 ± 0.29 <sup>b</sup>	0.31 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.54 ± 0.89 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.06 <sup>b</sup>	< 0.001
F1 (Hz)	828.22 ± 80.49 <sup>ab</sup>	876.64 ± 126.14 <sup>a</sup>	828.22 ± 80.49 <sup>b</sup>	943.58 ± 131.25 <sup>a</sup>	837.97 ± 130.19 <sup>ab</sup>	< 0.01
F2 (Hz)	1,665.95 ± 236.99	1,758.52 ± 394.55	1,665.95 ± 236.99	1,694.01 ± 245.80	1,687.92 ± 226.85	> 0.05
F3 (Hz)	2,691.10 ± 123.66	2,747.31 ± 129.73	2,691.10 ± 123.66	2,730.15 ± 202.48	2,835.65 ± 87.35	> 0.05
F4 (Hz)	3,779.45 ± 218.98	3,650.73 ± 244.60	3,779.45 ± 218.98	3,718.67 ± 301.56	3,852.66 ± 173.86	> 0.05

<sup>1)</sup>: See Fig. 1.

<sup>ab</sup>: Means in rows with different superscripts differ significantly.

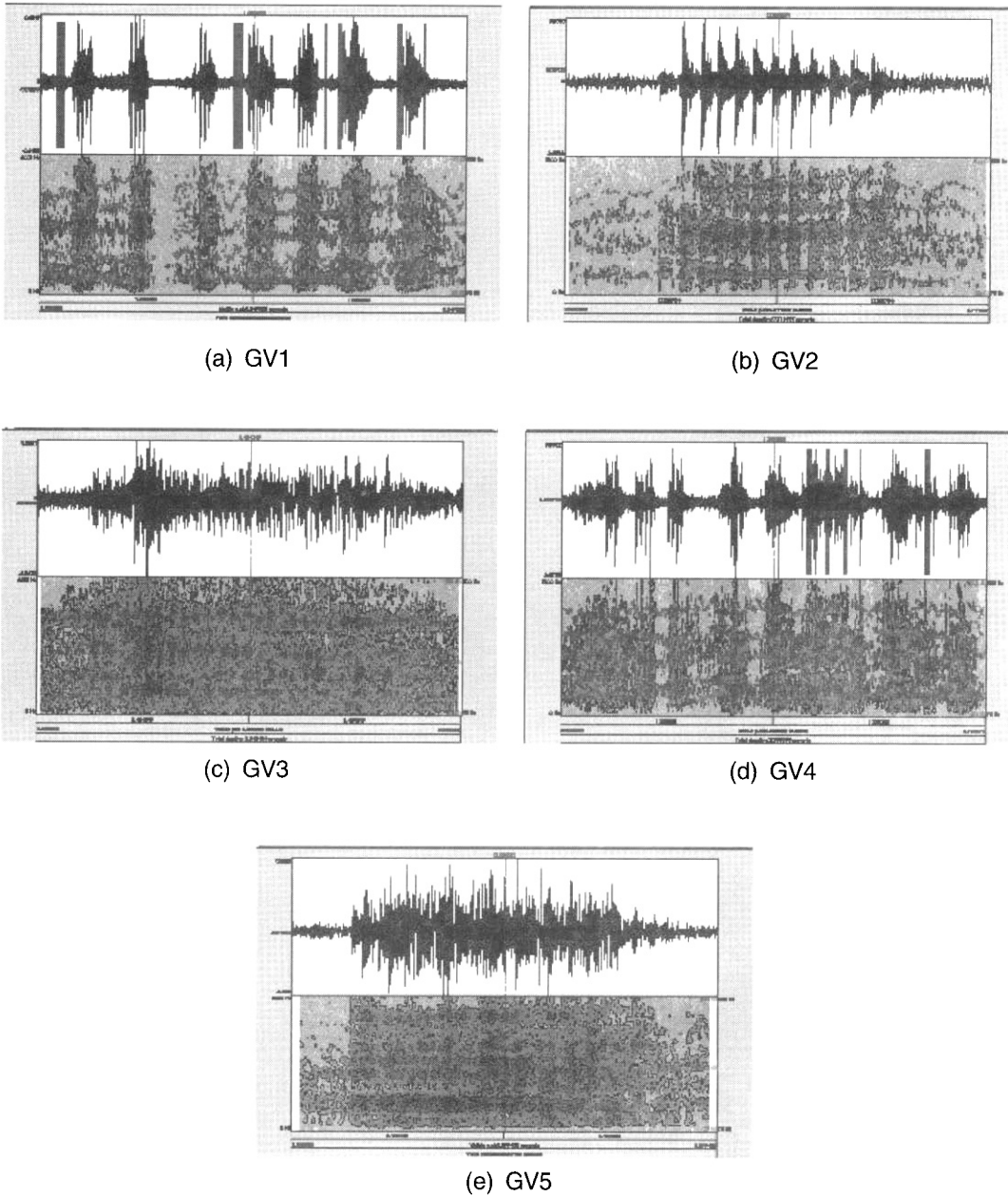


Fig. 1. Sample spectrums and spectrograms of general vocalizations(GV).

미터별로 5가지 일반 발성음간의 유의성을 검정한 결과, 음의 강도, 제 2포먼트, 제 3포먼트 및 제 4포먼트에서는 유의차가 나타나지 않았으나( $P > 0.05$ ) 기본주파수( $P < 0.01$ ), 음의 길이( $P < 0.001$ ), 그리고 제 1포먼트( $P < 0.01$ )에서는 유의차가 나타났기 때문에 일반

발성음과 발정기 특이음을 판별할 때 기본주파수, 음의 길이, 그리고 제 1포먼트가 중요한 파라미터로 작용할 것으로 판단된다. 그러나 전 등(2003)이 모돈의 수유음을 가지고 모돈간 유의차를 검정한 결과에 의하면, 기본주파수, 음의 강도, 제 1포먼트, 제 2포먼트

트, 제 4포먼트에서 유의차가 나타났다. 이러한 결과들을 종합해 볼 때 검정대상에 따라 각 파라미터별로 유의차가 나타날 수도 있고 나타나지 않을 수도 있음을 알 수 있다. 각 형태별 일반 발성음의 의미가 각기 다를 것이라 생각되지만, 명확하게 무엇을 의미하는 것인지에 대해서는 알 수 없었다. 따라서 앞으로 각 형태별 일반 발성음의 의미를 밝힐 수 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 2. 발정기 특이음의 음성학적 특성

경산돈의 발정기 특이음을 형태별로 분류한 결과, Fig. 2와 같이 총 3가지 형태로 나타났다. 각 형태간의 차이는 스펙트럼과 스펙트로그램을 비교하였을 때 일반 발성음처럼 명확하지

않았지만 청각적으로는 오히려 일반 발성음보다 명확하였다. 발정기 특이음으로 분류한 3가지의 발성음 형태들은 발정기 모돈에게만 들을 수 있는 발성음들로 일반적인 상황에서는 나타나지 않는 발성음들이며, 실제 발정기 특이음을 들어보면 매우 독특한 소리임을 알 수 있었다(정과 정, 2000; Houpt, 1991). 3가지 형태의 발정기 특이음을 음성학적으로 분석한 결과, Table 2와 같이 나타났다. 3가지 형태의 발정기 특이음에 대하여 각 파라미터별로 비교하였을 때 기본주파수, 제 2포먼트, 제 3포먼트 및 제 4포먼트에서는 유의차가 나타나지 않았으나( $P > 0.05$ ) 음의 강도( $P < 0.01$ ), 음의 길이( $P < 0.01$ ), 그리고 제 1포먼트( $P < 0.05$ )에서는 유의차가 나타났다. 이것은 일반 발성음에서 기본주파수, 음의 길이, 그리고 제 1포먼트에서 유의차가 나타난 것과는 다른 결과인데, 이는 앞에서 설

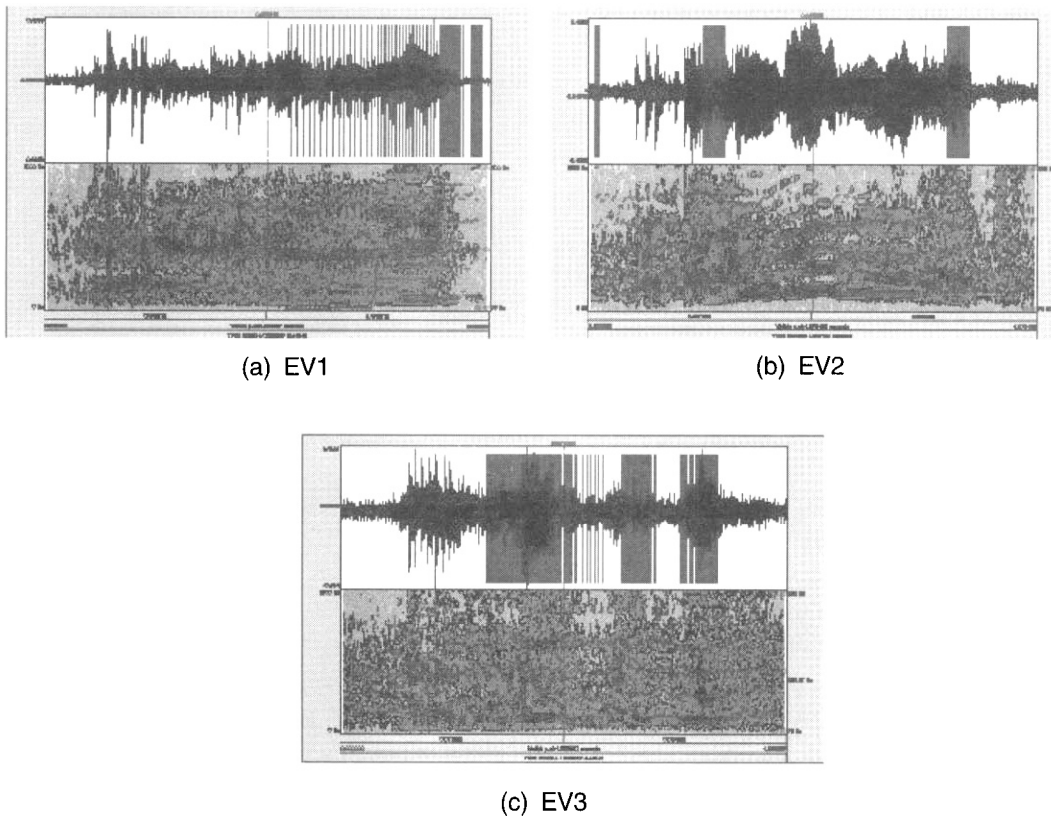


Fig. 2. Sample spectrums and spectrograms of estrus-related vocalizations(EV).

Table 2. Acoustic parameters of estrus-related vocalizations

Parameter	Estrus-related vocalizations <sup>1)</sup>			P
	EV1	EV2	EV3	
Pitch (Hz)	213.65 ± 140.64	252.08 ± 79.07	269.53 ± 15.30	> 0.05
Intensity (dB)	71.16 ± 1.82 <sup>b</sup>	73.39 ± 1.41 <sup>a</sup>	72.89 ± 1.98 <sup>a</sup>	< 0.01
Duration (s)	1.22 ± 0.38 <sup>b</sup>	1.64 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.23 ± 0.43 <sup>b</sup>	< 0.01
F1 (Hz)	769.72 ± 167.24 <sup>ab</sup>	849.98 ± 39.42 <sup>a</sup>	738.53 ± 36.20 <sup>b</sup>	< 0.05
F2 (Hz)	1,845.25 ± 162.50	1,755.97 ± 99.40	1,825.68 ± 156.69	> 0.05
F3 (Hz)	2,745.05 ± 137.20	2,667.97 ± 86.17	2,731.58 ± 98.97	> 0.05
F4 (Hz)	3,532.97 ± 270.91	3,598.50 ± 94.59	3,703.87 ± 75.11	> 0.05

<sup>1)</sup>: See Fig. 2.

<sup>ab</sup>: Means in rows with different superscripts differ significantly.

명한 것처럼 검정대상에 따라 각 파라미터별로 유의차가 나타날 수도 있고 나타나지 않을 수도 있음을 의미한다(전 등, 2003).

### 3. 일반 발성음과 발정기 특이음의 판별

형태에 관계없이 발성음을 일반 발성음과 발정기 특이음으로만 구분하여 비교한 결과, Table 3과 같이 나타났다. 기본주파수, 제 1포먼트, 제 2포먼트 및 제 3포먼트에서는 일반 발성음과 발정기 특이음간의 차이가 없었다( $P > 0.05$ ). 하지만 음의 강도는 일반 발성음이  $69.2 \pm 2.9$ dB, 발정기 특이음이  $72.6 \pm 1.9$ dB로 발정기 특이음이 상대적으로 높게 나타났으며 ( $P < 0.001$ ), 음의 길이는 일반 발성음이  $1.0 \pm 1.0$ s, 발정기 특이음이  $1.4 \pm 0.4$ s로 발정기 특이음이 길게 나타났다( $P < 0.05$ ). 제 4포먼트는 일반 발성음이  $3,766.2 \pm 271.0$ Hz, 발정기 특이음이  $3,597.8 \pm 175.5$ Hz로 발정기 특이음의 주파수가 높게 나타났다( $P < 0.01$ ). 발성음을 이용한 모든 개체구분에 있어 maximum frequency, minimum frequency 및 maximum volume 등을 이용할 때보다(Blackshaw 등, 1996) 기본주파수, 음의 강도, 음의 길이, 제 1포먼트, 제 2포먼트, 제 3포먼트 및 제 4포먼트 등을 이용할 때가(전 등, 2003) 개체구분율이 높다. 따라서 본 연구에서는 기본주파수, 음의 강도, 음의 길이,

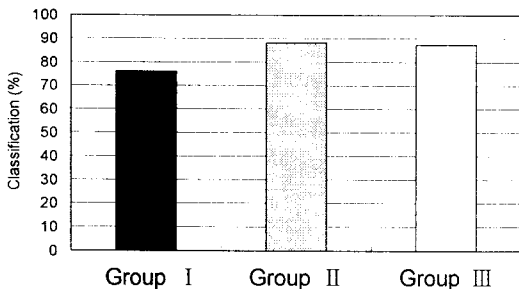
제 1포먼트, 제 2포먼트, 제 3포먼트 및 제 4포먼트 등을 세 개의 Group으로 조합하여 일반 발성음과 발정기 특이음에 대한 Discriminant 분석을 실시하였는데, Fig. 3과 같이 Group I 은

Table 3. Mean( $\pm$ SD) of acoustic parameters of general and estrus-related vocalization

Parameter	General vocalizations	Estrus-related vocalizations	P
Pitch (Hz)	267.4 ± 95.3	243.1 ± 96.7	> 0.05
Intensity (dB)	69.2 ± 2.9 <sup>b</sup>	72.6 ± 1.9 <sup>a</sup>	< 0.001
Duration (s)	1.0 ± 1.0 <sup>b</sup>	1.4 ± 0.4 <sup>a</sup>	< 0.05
F1 (Hz)	847.9 ± 120.0	802.5 ± 107.9	> 0.05
F2 (Hz)	1,718.5 ± 271.4	1,798.3 ± 135.7	> 0.05
F3 (Hz)	2,734.3 ± 191.3	2,705.1 ± 110.0	> 0.05
F4 (Hz)	3,766.2 ± 271.0 <sup>a</sup>	3,597.8 ± 175.5 <sup>b</sup>	< 0.01

<sup>a,b</sup>: Means in rows with different superscripts differ significantly.

76.1%, Group II는 88.1%, Group III는 87.3%의 판별율을 나타내었다. Stepwise 기법에 의하여 유용하지 못한 파라미터들을 제외한 나머지 파라미터들인 음의 강도, 제 2포먼트 및 제 4포먼트를 이용하였을 때의 판별율이 전체 파라미터들을 이용하였을 때의 판별율과 거의 대등한 결과를 나타내었다. 이는 음의 강도, 제 2포먼트 및 제 4포먼트가 발정기 특이음을 판별하는데 매우 유용한 파라미터들임을 의미한다. GLM 분석에서 유의차가 나타났던 파라미터들과 stepwise 기법을 이용한 분석에서 유용하였던 파라미터들이 일치하지 않았는데, 이는 GLM 분석과 달리 stepwise 기법은 t의 절대값에 의하여 순차적으로 결정되기 때문이다. Schon 등(1999)은 모돈의 꿀꿀거림(grunting)을 분석하는데 기본주파수, 음의 길이, 음의 간격 및 제 1포먼트 등을 이용하였다. 하지만 본 연구의 결과에서와 같이 발성음을 판별하는데 제 2포먼트와 제 4포먼트가 중요한 파라미터가 되는 점과 다양한 언어를 구사하는 인간에 있어서 화자를 인식하는데 기본주파수, 제 1포먼트, 제 2포먼트 및 제 3포먼트가 중요한 파라미터가 되는 점(김 등, 2000; 오, 1998; 박, 1999) 등을 고려해 볼 때, 돼지 발성음의 분석 및 판별에 있어 포먼트 측정은 제 4포먼트까지 이루어져야 할 것으로 판단된다.



Group I : Formant vector alone  
 Group II : Formant vector+parameters from time signal  
 Group III : Formant vector+parameters from time signal-parameters eliminated by stepwise discriminant analysis backward

Fig. 3. Results of three chosen parameter groups using the discriminant function analysis.

#### IV. 요약

본 연구는 경산돈의 일반 발성음과 발정기 특이음에 대하여 음성학적 특성을 분석하고 각종 파라미터들을 이용하여 일반 발성음과 발정기 특이음을 판별하고자 수행되었다. 일반 발성음은 총 5가지의 형태로 분류되었으며, 이에 대한 기본주파수는  $267.4 \pm 95.3\text{Hz}$ , 음의 강도는  $69.2 \pm 2.9\text{dB}$ , 음의 길이는  $1.0 \pm 1.0\text{s}$ , 제 1포먼트는  $847.9 \pm 120.0\text{Hz}$ , 제 2포먼트는  $1,718.5 \pm 271.4\text{Hz}$ , 제 3포먼트는  $2,734.3 \pm 191.3\text{Hz}$ , 제 4포먼트는  $3,766.2 \pm 271.0\text{Hz}$ 이었다. 발정기 특이음은 총 3가지의 형태로 분류되었으며, 이에 대한 기본주파수는  $243.1 \pm 96.7\text{Hz}$ , 음의 강도는  $72.6 \pm 1.9\text{dB}$ , 음의 길이는  $1.4 \pm 0.4\text{s}$ , 제 1포먼트는  $802.5 \pm 107.9\text{Hz}$ , 제 2포먼트는  $1,798.3 \pm 135.7\text{Hz}$ , 제 3포먼트는  $2,705.1 \pm 110.0\text{Hz}$  그리고 제 4포먼트는  $3,597.8 \pm 175.5\text{Hz}$  이었다. 발정기 특이음은 일반 발성음과 비교하였을 때 기본주파수, 제 1포먼트, 제 2포먼트 및 제 3포먼트에서는 유의차가 나타나지 않았으나 음의 강도, 음의 길이 및 제 4포먼트에서는 유의차가 나타났다. 포먼트들만을 파라미터로 하는 Group I의 판별율은 76.1%, 포먼트들에 기본주파수, 음의 강도 및 음의 길이를 추가한 Group II의 판별율은 88.1%이었으며, stepwise 기법을 적용하여 유용하지 않은 파라미터들을 탈락시키고 남은 파라미터들을 이용한 Group III의 판별율은 87.3%이었다. 따라서 stepwise 기법을 적용하여 유용하지 않은 파라미터들을 탈락시키고 남은 음의 강도, 제 2포먼트 및 제 4포먼트가 발정기 특이음을 판별하는데 매우 유용한 파라미터들인 것으로 판단되며, 음성학적으로 일반 발성음과 발정기 특이음을 판별할 수 있다.

#### V. 인용 문헌

1. Blackshaw, J. K., Jones, D. N. and Thomas, F. J. 1996. Vocal individuality during suckling in the intensively housed domestic pig. *Appl. Anim. Behav.* 50:33-41.
2. Diehl, J. R., Day, B. N. and Flower, W. 2001. *Pork industry handbook*. Purdue university coopera-

- tive extension service. PHI-64.
3. Houpt, K. A. 1991. Domestic animal behavior. Iowa state university press.
  4. McCowan, B., iLorenzo, A. M., Abichandani, S. Borelli, C. and Cullor, J. S. 2002. Bioacoustic tools for enhancing animal management and productivity: effects of recorded calf vocalizations on milk production in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 77:13-20.
  5. Schon, P., Puppe, B., Gromyko, T. and Manteuffel, G. 1999. Common features and individual differences in nurse grunting of domestic pigs(*sus scrofa*): a multi-parametric analysis. *Behav.* 136:49-66.
  6. SPSS Institute. 1999. SPSS Base 9.0 User's Guide. SPSS, Inc., Chicago, U.S.A.
  7. Walser, E. E. S. 1986. Recognition of the sow's voice by neonatal piglets. *Behav.* 99:177-188.
  8. Walton, J. S. 1986. Effect of boar presence before and after weaning on estrus and ovulation in sows. *J. Anim. Sci.* 62:9-15.
  9. Weary, D. M. and Fraser, D. 1995a. Calling by domestic piglets: reliable signals of need?. *Anim. Behav.* 50:1047-1055.
  10. Weary, D. M. and Fraser, D. 1995b. Signalling need: costly signals and animal welfare assessment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44:159-169.
  11. White, R. G., DeShazer, J. A., Tressler, C. J., Borchers, G. M., Davey, S., Waninge, A., Parkhurst, A. M., Milanuk, M. J. and Clemens, E. T. 1995. Vocalization and physiological response of pigs during castration with or without a local anesthetic. *J. Anim. Sci.* 73:381-386.
  12. Xin, H., DeShazer, J. A. and Leger, D. W. 1989. Pig vocalizations under selected husbandry practices. *ASAE.* 32(6):2181-2184.
  13. 김기호, 양병곤, 고도홍, 구희산. 2000. 음성과학. 한국문화사.
  14. 박경범. 1999. 음성의 분석 및 합성과 그 응용. 도서출판 그린.
  15. 양병곤. 2003. 프라트(Praat)를 이용한 음성분석의 이론과 실제. 만수출판사.
  16. 오영환. 1998. 음성언어정보처리. 홍릉과학출판사.
  17. 전중환, 장홍희, 하정기, 김현희, 구자민, 이효종, 연성찬. 2003. 수유행동시 모돈(랜드레이스×요크셔) 발성음의 개체 판별을 위한 음성 파라미터. *대한수의학회지* 43(1):165-169.
  18. 정영철, 정현규. 2000. 돼지사양가이드. 미국곡물협회.  
(접수일자 : 2004. 12. 2. / 채택일자 : 2005. 1. 10.)