

## 돈육의 신선도 평가를 위한 전자코 시스템 개발

이훈수 조병관 정창호 이기택 조철훈

### Development of an Electronic Nose System for Evaluation of Freshness of Pork

H. S. Lee B. Cho C. Chung K. Lee C. Jo

#### Abstract

The aim of this study was to develop a portable electronic nose system for freshness measurement of stored pork. An electronic nose system was constructed using seven different MOS sensor array. To determine the quality change of pork with storage time, the samples were divided into ten groups in terms of storage time with an increment of 2 day up to 19 storage days. GC-MS, total bacteria's count (TBC), thiobarbituric acid reactive substance (TBARS), and pH analyses as well as the analysis of the electronic nose system measurement were performed to monitor the freshness change of the samples. To investigate the performance of the electronic nose system for detecting the change of freshness of pork, the acquired signal values of the system were compared with those of GC-MS, TBC, TBARS, and pH analysis values. According to principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) with the signals of the electronic nose system for the pork samples, the sample groups were clearly separated into two groups of 1-9 days and 11-19 days, and four groups of 1-3 days, 5-9 days, 11 days, and 13-19 days respectively. The results show that the electronic nose system has potential for evaluating freshness of pork.

**Keywords :** Electronic nose, Pork, Freshness, Metal oxide sensors, GC-MS

#### 1. 서론

국내 육류 소비량은 매년 증가되는 추세에 있으며, 특히 신선하고 안전한 육류에 대한 소비자들의 선호도와 관심도 계속 높아지고 있다. 육류는 도축, 유통, 저장과정에서 오염과 부패에 노출될 수 있어 철저한 관리와 확인이 필요하다. 그러나 현재 소비자가 육류를 구매할 때 안전성과 신선도를 확인할 수 있는 방법은 육안과 냄새를 이용한 감각적 방법과 유통기한을 확인하는 방법 외에는 다른 방법이 이용되고 있지 않다. 결국, 육류의 신선도를 현장에서 측정할 수 있는 기술과 정량화 된 표준지표가 없기 때문에 현장에서 신속히 확인 가능한 정량화된 신선도의 측정 기술 개발이 요구되고 있다.

육류의 신선도를 측정하는 방법은 미생물적 방법, 화학적 방법과 물리적 방법이 있다(Byun, 2000). 미생물적 방법은 식품에 존재하는 미생물의 총균수를 측정하는 방법이고, 화학적 방법은 육류의 pH 수치, 지방의 산패정도, 휘발성 염기 질소 함량 등을 이용하는 방법이다. 물리적 방법으로는 육류의 경도와 전기저항을 측정하는 방법이 있다. 하지만 미생물적 방법과 화학적 방법은 측정시간이 오래 걸리고 시험자의 숙련도에 따라 측정값의 차이가 많이 발생하는 단점이 있다. 또한, 물리적 방법은 아직 정량화 된 지표가 확립되어 있지 않아 객관성이 떨어지는 단점이 있다.

최근 식품 품질측정과 관련하여 전자코를 이용하는 방법이 많이 연구되고 있다. 전자코란 다양한 전기화학식 가스센서

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication on 2009-08-18, reviewed on 2009-10-22, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-11-11. The authors are Hoon Soo Lee, KSAM member, Graduate Student, Byoung-Kwan Cho, KSAM member, Assistant Professor, Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Chungnam National University, Chang-Ho Chung, CEO, Dasan R&D, Seongnam, Ki-Teak Lee, Associate Professor, Dept. of Food Science and Technology, and Cheorun Jo, Assistant Professor, Dept. of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University. Corresponding author: B. Cho, KSAM member, Assistant Professor, Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea; Fax: +82-42-823-6246; E-mail: <chobk@cnu.ac.kr>.

와 통계적 기법을 이용하여 냄새를 구분하는 장비이다(Gardner and Bartlett, 1994). Lee와 Kim(2008)은 전자코 시스템을 현장에서 적용하기 위해 휴대용으로 개발하였고, Noh 등(1998a, 1998b)은 MOS(metal oxide semiconductor)로 구성된 전자코를 이용하여 된장의 숙성정도와 두부 및 특용작물의 산지를 예측하는데 활용하였다. Lee 등(2004)은 쇠고기와 돈육의 저장기간에 따른 냉장저장 중 발생하는 가스성분의 분석에 전자코를 활용하였고, Blixt와 Borch(1999)도 저장기간에 따른 쇠고기의 품질변화에 전자코를 이용하여 구분이 가능함을 확인하였다. 전자코를 이용한 육류의 신선도 측정 방법은 미생물적인 방법과 화학적 방법과 달리 신속, 정확하게 신선도를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 현재 상용화 되어있는 전자코 장비는 고가이며, 실험실용으로 제작되어 이동하며 측정하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 돈육을 대상으로 하여 빠른 시간에 신선도를 측정할 수 있는 이동성이 용이한 전자코 시스템을 개발하고자 하였다. 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

1. 저장기간의 변화에 따른 돈육의 신선도 변화를 GC-MS(gas chromatograph-mass spectrometry) 측정, 미생물의 총균수 측정, 지방산패도 측정, pH 측정을 통해 분석한다.
2. 상용화 되어있는 MOS(metal oxide semiconductor) 센서를 이용하여 돈육의 신선도의 변화에 따라 발생하는 가스성분을 측정할 수 있는 전자코 시스템을 구성한다.
3. 구성된 전자코 시스템을 활용하여 돈육의 신선도 측정 능력을 평가한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료 및 저장

시료는 대전 축산물유통센터에서 당일 도축한 돼지고기의 삼겹살 부위를 구입하여 사용하였다. 저장기간에 따른 신선도의 변화를 측정하기 위하여 저장기간별 150 g을 저장하였고, 지방과 살점의 균질화를 위해 시료를 분쇄하여 이용하였다. 냉장 저장 기간 별 신선도를 확인하기 위하여 시료는 지퍼백에 넣어 1일, 3일, 5일, 7일, 9일, 11일, 13일, 15일, 17일, 19일 동안 4°C로 냉장 저장한 후 차레대로 냉동(-20°C)하였다가 측정 당일 해동하여 사용하였다.

### 나. GC-MS를 이용한 가스성분 분석

시료의 저장기간에 따른 신선도의 변화 시 나타나는 가스성분의 변화를 측정하기 위해 GC-MS(Saturn 2000, Varian, Palo Alto, CA, USA)를 이용하여 가스성분을 분석하였다. 시료는 저장기간을 1일, 5일, 10일, 15일의 4개로 구분하여

분석하였고, 칼럼은 HP-5 capillary column(Cross linked 5% PHME siloxane, Hewlett-Packard, Houston, Texas, USA)을 사용하였다. 칼럼온도와 injector 온도는 260°C, 이송기체는 헬륨을 사용하였다. 시료의 가스성분 포집은 SPME(Solid Phase Microextraction) 방법을 활용하였고, 사용된 fiber는 divinylbenzene(DVB) / carboxen(CAR) / polydimethylsiloxane (PDMS) 이 코팅 된 것을 사용하였다. 시료 5 g을 25 mL의 vial에 넣은 후 septum으로 밀폐하고 시료가 열에 의해 변성되지 않는 온도인 37°C로 20분간 incubation하여 headspace로부터 가스성분을 3분간 fiber에 흡착시킨 후 분석하였다. 측정으로 얻은 spectrum은 기기에 내장된 소프트웨어인 WILEY Library(Registry of mass spectral data 6th edition, WILEY, Hoboken, NJ, USA)와 NIST Library(Mass spectral search program version 4.5, NIST, Gaithersburg, MD USA)를 이용하여 분석하였다.

### 다. 미생물 측정

시료에 존재하는 총 미생물 수(Total bacterial counts, TBC)의 측정은 식품공전의 일반세균수 측정법을 따랐다. 멸균된 polyethylene 백에 시료 10 g을 넣은 후 멸균된 식염수(0.85%, NaCl) 90 mL를 첨가하여 혼합한 후 10진 희석법으로 희석한 후 배지에 도말하였다. 미생물 증식은 표준한천배양방법으로 37°C에서 24시간 배양한 후 계수하였으며, 배지는 균수측정용 표준한천배지를 사용하였다. 계수된 미생물 수는 colony forming unit(CFU)으로 나타내었다.

### 라. 지방 산패도 측정

TBARS(thiobarbituric acid reactive substance)는 지방분해 산물인 malonaldehyde의 함량을 측정하는 것이다. TBARS value는 532 nm에서 흡광도를 측정하여 시료 1 kg에 대한 malonaldehyde(MDA) 양을 mg으로 계산한 것이다. 시료 5 g과 10% trichloroacetic acid(TCA) 용액 20 mL, 7.2% BHT in ethanol 용액 100 uL을 50 mL corning tube에 취하여 homogenizer를 이용하여 1분 동안 균질화 하였다. 원심분리기로 층을 분리한 후 상등액을 여과지로 걸러서 취한 2 mL와 20 mM TBA 용액 2 mL를 test tube에 취하여 90°C에서 20분간 반응한 후 분광광도계(UV-1650, Shimadzu, Nakagyo-ku, Kyoto, Japan)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

### 마. pH 측정

시료 3 g을 취하여 증류수 27 mL과 함께 homogenizer를 이용하여 1분 동안 균질화 하였다. 균질화한 시료를 pH-meter(3-Star pH, Thermo, Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였다.

**바. 전자코 시스템 설계**

전자코 시스템에 사용되는 가스센서는 GC-MS 실험결과를 토대로 돈육의 신선도 변화로 발생하는 가스성분을 검출할 가능성이 가장 높다고 판단되는 MOS 센서(TGS, Figaro, Mino, Osaka, Japan) 6개와 수분센서 1개를 선정하여 구성하였다. 실험에서는 실리카겔을 이용하여 수분의 영향을 제거하였지만 수분의 영향성을 점검하기 위해 수분센서를 장착하였다.

총 7개의 센서를 수평으로 배열하였으며 가스의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 세라믹 히터를 장착하는 개념으로 설계하였다. 센서의 모델 및 측정 가능한 가스는 표 1에 나타내었다. 실험을 위해 전자코 시스템의 가스 샘플링 및 전처리 시스템을 그림 1과 같이 구성하였다. 소형진공펌프가 작동되면 공기가 전자코 내부로 유입된다. 유입된 공기는 숯과 실리카겔의 저장 공간을 지나면서 불순물과 수분이 제거된 후 온도조절장치를 거쳐 일정한 온도로 센서작동부로 들어가게 된다. 센서를 통과한 공기는 전자코 시스템 외부로 배출된다. 일정시간이 경과하여 가스센서의 안정화가 이루어지면 측정하고자 하는 가스를 3-way-solenoid-valve의 제어를 통해 센서부로 주입하게 된다. 이 때 측정된 센서의 신호는 RS232를 통하여 컴퓨터로 전송된다.

특정 가스와 반응한 센서의 신호를 획득하기 위하여 사용된 소프트웨어는 Visual Basic 소프트웨어를 이용하여 개발

되었다. 소프트웨어는 PC와 시스템과의 통신 속성을 설정할 수 있게 되어 있으며, 명령전송, 데이터 저장, 그리고 그래프로 실시간 화면 출력 등의 기능을 갖추고 있고, 초당 1개의 신호가 저장되도록 설정하였다.

**사. 전자코 시스템 측정**

돈육에서 발생하는 가스성분은 시료 5 g을 25 mL vial에 넣어 37°C의 water bath에서 10분간 incubation 하여 획득하였다. 이때 센서는 수분에도 반응을 하기 때문에 발생가스에 포함되어 있는 수분을 제어하기 위하여 실리카겔을 이용하여 습도를 10% 이하로 제거하였다. 가스센서로 유입되는 온도는 40°C로 설정하였고, 시료는 저장기간별로 4개씩 vial에 취하여 각각 1회씩 계측하였다.

유입된 가스와 센서의 반응은 저항값의 변화로 나타난다. 센서로부터 입력된 데이터는 아날로그 저항값을 단순히 디지털화 한 것에 불과하기 때문에 분석에 사용될 데이터는 센서의 초기 저항값을 기준으로 하여 측정하고자 하는 가스로부터의 저항값의 비율로 나타내어야 한다. 최초 공기가 유입되고 그 후 특정 가스가 유입될 때의 센서의 응답과정은 그림 2에 나타내었다. 센서의 초기 저항값으로 사용될 공기의 저항값( $R_{air}$ )은 가스 반응 시작시간 60초 전 저항값을 사용하였다. 센서와 가스의 반응 시간은 15초, 센서의 재안정화 시간은  $R_{ratio}$ 가 0.99 이상이 되는 240초로 설정하였다. 센서로부터 입력된 데이터

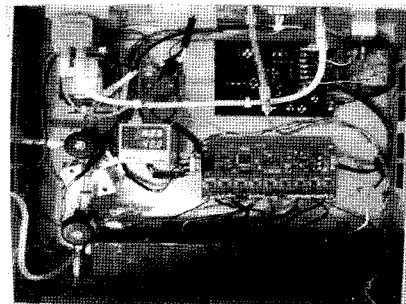
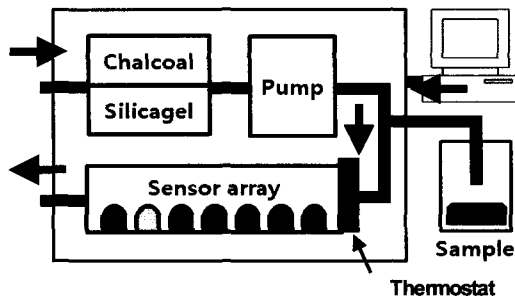


Fig. 1 Schematic diagram (a) and photo (b) of the electronic nose system.

Table 1 MOS sensors and their target gas

Sensor No.	Model	Target gas	Typical detection range	Detectable Gas
1	TGS 2600	General air contaminants	1 - 30 ppm	Iso-butane, Ethanol, Hydrogen, Carbon monoxide, Methane
2	TGS 2620	Alcohol, Solvent vapors	50 - 5,000 ppm	Iso-butane, Ethanol, Hydrogen, Carbon monoxide, Methane
3	TGS 8260	Ammonia	30 - 300 ppm	Ammonia, Iso-butane, Ethanol, Hydrogen
4	TGS 2612	Methane, LP gas	500 - 10,000 ppm	Methane, Iso-butane, Propane
5	TGS 8250	Hydrogen sulfide	5 - 100 ppm	Hydrogen sulfide
6	TGS 8210	Hydrogen	30 - 1,000 ppm	Hydrogen, Carbon monoxide, Ethanol, Methane
7	TGS 2180	Water vapor	1 - 150 g / m <sup>3</sup>	Water vapor

에서 가스로 인해 변한 고유한 결과값은 저항의 최고값( $R_{gas}$ )과 공기의 저항값( $R_{air}$ )의 비를 이용하여 표현하였다.

$$\text{Ratio of resistance} = R_{gas} / R_{air}$$

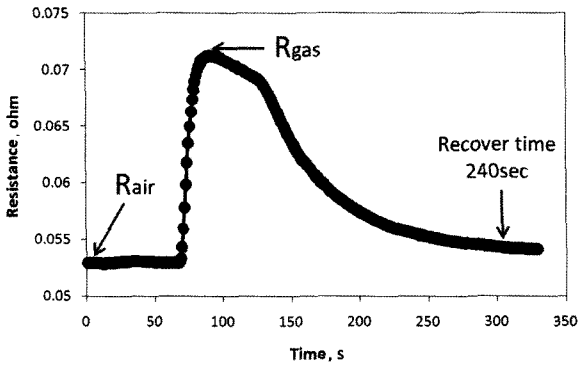


Fig. 2 Cycle timing parameters of the electronic nose for a representative pork sample.

아. 데이터 분석법

전자코 시스템을 통해 획득된 데이터는 그래프 분석, 상관관계 분석, 다중비교 분석(multiple comparison analysis), 주성분 분석(principal component analysis), 선형판별분석(linear discriminant analysis)을 이용하여 시료의 저장기간별, 센서별 반응도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. GC-MS를 이용한 가스성분 분석

돈육의 신선도 변화에 따른 가스성분의 변화를 분석하기 위해 GC-MS 실험을 하였다. 돈육의 저장기간의 증가에 따라 발생한 총 48가지의 가스성분의 변화를 hydrocarbons 류,

ketones 류, esters 류, alcohols 류, other nitrogen compounds 류, sulfur compounds 류로 구분하여 표 2에 나타내었다. 전반적으로 저장기간이 증가함에 따라 발생하는 가스의 양이 증가함을 볼 수 있다. 발생한 가스의 총량의 변화는 저장한지 1일된 돈육보다 저장한지 15일된 돈육에서 300배 이상 증가하였다. 그 중에서 hydrocarbons 류와 alcohols 류는 두드러진 증가를 보여주었는데, 저장한지 15일된 돈육에서 발생하는 가스의 양은 1일 저장된 돈육에서 발생하는 가스의 양보다 각각 400배, 370배 이상 증가한 것을 볼 수 있다. 결국, hydrocarbons 류와 alcohols 류는 돈육의 신선도의 변화로 발생하는 주된 가스성분으로 볼 수 있다.

나. 미생물 측정

저장기간에 따른 돈육의 총균수 측정결과를 그림 3에 나타내었다. 저장기간 1일차 총균수는 4.19 log CFU/g으로 나타났다. 이 수치는 Nottingham(1982)이 보고한 삼겹살의 부패 시작점인 6-7 log CFU/g 보다 낮은 수치로 실험에 사용한 재료가 신선한 재료임을 나타낸다. 저장기간이 증가하면서 총균수는 유의적으로 증가하였는데, 특히 11일째에서는 급격하게 미생물수가 증가하였다. 이때부터 삼겹살의 부패가 상당 부분 시작되고 있음을 나타낸다. 표 3은 돈육의 TBC, pH, TBARS의 측정값과 다중비교분석결과를 나타낸 표이다. TBC 측정결과를 이용하여 다중비교분석을 한 결과, 저장기간에 따른 총 10개의 그룹 중에서 1일, 3일~5일, 7일~9일, 11일~13일, 15일~19일의 5개 그룹으로 구분이 가능하였다.

다. 지방 산패도 측정

돈육의 저장기간에 따른 지방분해산물인 malonaldehyde (MDA) 함량을 보여주는 TBARS value를 그림 4에 나타내었다. 저장한지 1일된 TBARS value는 0.15 mg MDA/kg 이

Table 2 Changes of volatile compounds detected from stored pork by using GC-MS

	Storage (day)				SEM
	1	5	10	15	
	Area (ion count × 10 <sup>4</sup> )				
Alcohols	3.58 <sup>a</sup>	24.6 <sup>a</sup>	103.46 <sup>a</sup>	1504.22 <sup>a</sup>	192.84
Esters	-	-	-	1.23 <sup>a</sup>	0.20
Hydrocarbons	5.55 <sup>a</sup>	33.50 <sup>a</sup>	143.04 <sup>a</sup>	2076.69 <sup>a</sup>	272.43
Ketones	2.07 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>	2.47 <sup>a</sup>	74.63 <sup>a</sup>	12.27
Other nitrogen compounds	-	3.20 <sup>a</sup>	107.48 <sup>a</sup>	154.63 <sup>a</sup>	23.06
Sulfur compounds	0.78 <sup>a</sup>	0.70 <sup>a</sup>	2.48 <sup>a</sup>	10.69 <sup>a</sup>	1.82
Total volatile compounds	11.98	63.44	358.93	3822.09	103.37

a-g Different letters within the same row differ significantly (p<0.05). SEM : Standard errors of the mean (n=12).

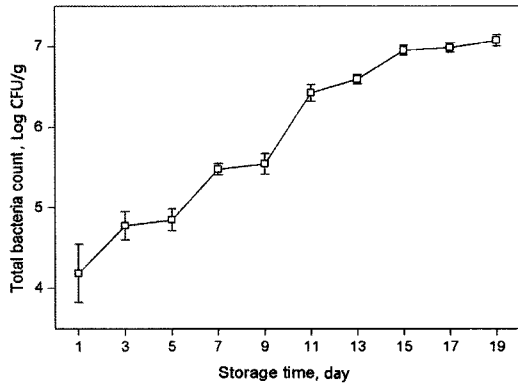


Fig. 3 Changes of the number of TBC of pork with storage time.

있고, 저장기간이 증가함에 따라 TBARS value는 점차로 증가하는 경향을 보였다. 특히, 저장기간 9일(0.23 mg MDA/kg)과 19일(0.47 mg MDA/kg)에서 증가의 폭이 상대적으로 크게 나타났다. 이런 증가의 이유는 돈육의 지방이 지방분해 효소에 의해 가수 분해되고, 미생물에 의한 부패로 인해 alcohols 류, ketones 류, aldehydes 류 등의 carbonyl compound가 생성되기 때문인 것으로 사료된다(Brewer et al., 1992). TBARS value는 저장기간에 따른 총 10개의 그룹 중에서 1일~7일, 9일, 11일, 13일, 15일, 17일, 19일의 7개의 그룹으로 구분이 가능하였다.

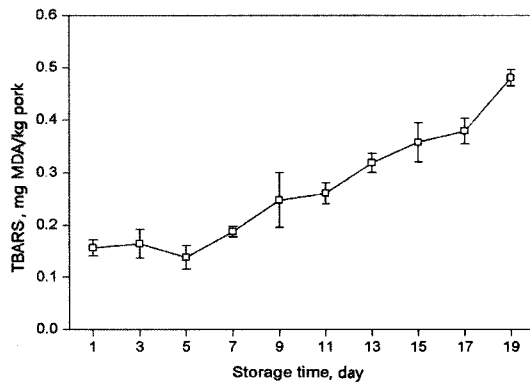


Fig. 4 Changes of TBARS value in pork with storage time.

라. pH 측정

돈육의 pH는 저장기간이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5). James(1972)는 신선한 돈육의 pH는 5.5~5.8을 유지하며 점차 증가한다고 보고하였다. pH는 저장기간 3일째부터 11일째까지 지속적인 증가를 보였으며, 저장기간 13일째에 상대적으로 급격한 증가현상을 보였다. 저장기간의 증가에 따라 pH가 증가하는 원인은 단백질 완충물질의 생성과 암모니아의 생성, 아미노산의 분해 때문인 것으로 사료된다(Demeyer et al., 1979). pH 결과값은 저장기간에 따른 총 10개의 그룹 중에서 1일, 3일, 5일, 7일, 9일, 11일~19일의 6개 그룹으로 구분이 가능하였다.

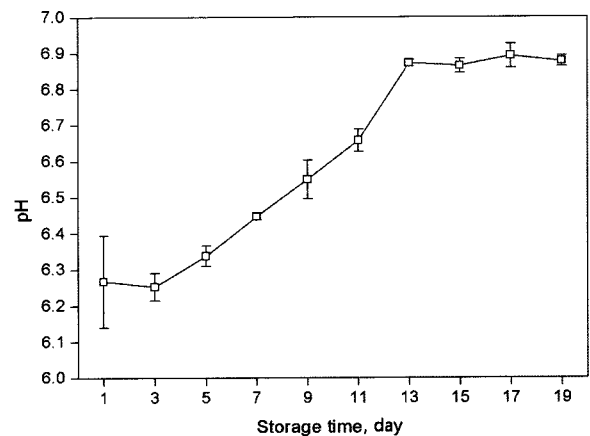


Fig. 5 Changes of the pH of pork with storage time.

마. 전자코 시스템 성능 평가

1) 그래프 분석

저장기간에 따른 각 센서별 저항값의 변화율은 그림 6과 같다. 그림 6에 나타난 저항값은 저장기간별 시료 4개의 측정값을 평균값으로 나타내었다. 전체적으로 모든 센서가 저장기간에 따라 뚜렷한 저항값의 변화를 보였다. 저장기간 1일~9일까지는 큰 변화를 보이지 않다가 저장기간 9일 이후부터는 급격한 변화를 보였는데 이는 미생물 측정결과에서 저장기간 9일 이후 급격한 증가를 보이는 결과와 유사하게 나타났다. 특히 hydrogen과 hydrogen sulfide 류의 가스를 감

Table 3 Changes of TBC, TBARS, and pH of stored pork

	Storage (day)										SEM
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
TBC (Log CFU/g)	4.19a	4.78b	4.85b	5.48c	5.54c	6.43d	6.60d	6.96e	6.99e	7.08e	0.187
pH	6.21a	6.27b	6.32c	6.44d	6.53e	6.64f	6.87f	6.88f	6.88f	6.90f	0.489
TBARS (mg MDA/kg)	0.15a	0.15a	0.18a	0.18a	0.23b	0.27c	0.31d	0.34e	0.39f	0.47g	0.195

a-g Different letters within the same row differ significantly (p<0.05). SEM : Standard errors of the mean (n=30).

지하는 sensor #5와 sensor #6의 반응도가 뚜렷하였다. 이는 GC-MS 분석결과에서 저장기간이 10일 이후부터 sulfide compounds 류의 가스성분의 증가와 관련이 있는 것으로 판단된다. 저장기간이 13일, 15일 경과된 돈육의 저항값의 변화율은 11일 저장된 돈육의 저항값의 변화율보다 감소한 것으로 나타났지만 통계적으로 차이가 없는 범위 내의 감소이다. TBC, TBARS, pH 값은 1일부터 9일까지 지속적으로 변화하였으나 MOS 센서는 1일부터 9일까지의 변화를 감지하지 못하였다. 이는 1일부터 9일까지의 시료에서 발생한 가스의 농도가 센서가 감지할 수 있는 최소감지농도에 미치지 못하였기 때문으로 보인다.

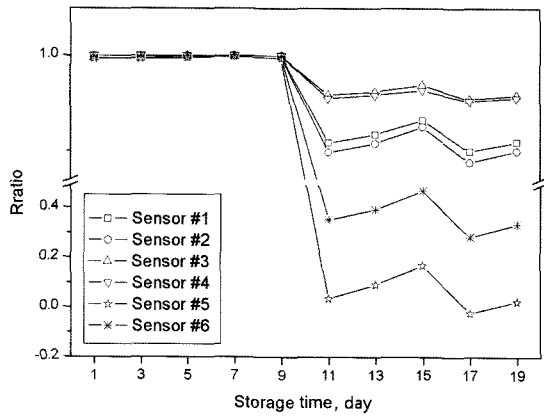


Fig. 6 Resistance change of each MOS sensor for pork with storage time.

2) 상관분석

표 4는 돈육의 저장기간의 증가에 따른 미생물 총균수, TBARS value, pH, 6개 센서의 측정값간의 상관도를 분석하여 나타낸 표이다. 총균수, TBARS value, pH의 상관도는 각각 0.906, 0.966, 0.913으로 높은 상관도를 보였다. 또한, 6개의

센서와의 상관도 역시 -0.857~-0.906으로 높은 상관도를 보였다. 상관분석결과를 이용하여 전자코의 불필요한 센서를 줄이고 최적화 하는 작업을 하였다. 총균수와 TBARS value, pH와 센서와의 상관도가 높고 센서끼리는 상관도가 낮은 센서 #1, #3, #4, #5를 선정하였다.

3) 주성분 분석(principal component analysis)

돈육의 각 센서별 저장기간에 따른 저항값의 변화율을 이용하여 주성분 분석한 결과는 그림 7과 같다. 그래프 분석에서는 저장기간이 9일이 지난 11일부터의 가스성분들의 변화가 뚜렷이 구분됨을 확인할 수 있었다. 주성분 분석도 그래프 분석과 비슷한 결과를 나타내었다. 제1주성분의 기여도는 99.4%였고, 제1주성분 값만을 이용하여도 패턴변화의 인식이 가능함을 확인하였다. 주성분 분석결과에서는 저장기간별 총 10개의 그룹 중에서 1일~9일, 11일~19일의 두 개의 그룹으로 구분되었다. 전자코 시스템의 센서가 저장초기의 1일부터 9일까지의 변화를 구분하지 못한 이유는 발생한 총 가

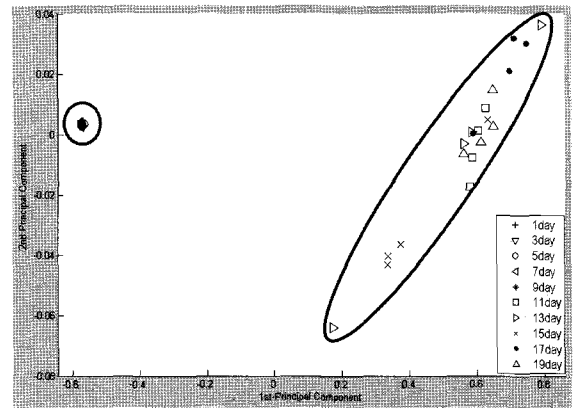


Fig. 7 Results of principle component analysis for the discrimination of the stored pork.

Table 4 Correlation among TBC, TBARS, pH, and resistance of each MOS sensor for stored pork

	TBC	TBARS	pH	Sensor No.						
				1	2	3	4	5	6	
TBC	1									
TBARS	.906**	1								
pH	.966**	.913**	1							
1	-.886**	-.857**	-.873**	1						
2	-.885**	-.857**	-.872**	1.000**	1					
3	-.875**	-.858**	-.863**	.999**	.999**	1				
4	-.899**	-.862**	-.888**	.997**	.997**	.996**	1			
5	-.906**	-.868**	-.896**	.994**	.993**	.992**	.999**	1		
6	-.898**	-.869**	-.889**	.998**	.998**	.997**	.999**	.998**	1	

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level

a. Pearson Correlation      b. Listwise N=30

스의 양이 센서가 감지할 수 있는 최저 감도에 못 미쳤기 때문으로 보여진다.

전자코 시스템 최적화 과정에서 불필요한 센서의 개수를 줄이기 위하여 상관분석을 통해 선정된 #1, #3, #4, #5번 센서의 결과값을 이용하여 주성분 분석을 실시하였다. 6개 센서의 결과값을 이용하여 실시한 주성분 분석 결과값과 거의 동일한 결과를 보였다. 이는 4개의 센서를 사용하더라도 돈육의 신선도 변화의 측정이 가능함을 보여준다.

**4) 선형판별 분석(linear discriminant analysis)**

돈육의 각 센서별 저장기간에 따른 저항값의 변화율을 이용하여 선형판별분석한 결과는 그림 8과 같다. 주성분 분석 결과에서는 저장기간이 1일~9일, 11일~19일의 두 그룹으로만 구분 가능했었다. 그러나 선형판별분석 결과, 저장기간이 1일~3일, 5일~9일, 11일, 13일~19일의 크게 네 그룹으로 구분이 가능하였다. 결국, 돈육의 전자코 실험결과의 분석에는 주성분 분석방법을 이용한 구분보다 선형판별 분석방법을 이용한 분석이 더 우수한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

상관분석을 통해 최적화 된 #1, #3, #4, #5번 센서를 이용하여 선형판별분석을 실시한 결과 또한, 6개 센서의 결과값을 이용하여 실시한 선형판별분석 결과값과 거의 동일한 결과를 보였는데, 이는 4개의 센서를 사용하더라도 신선도 변화의 측정이 가능함을 보여주고 있다.

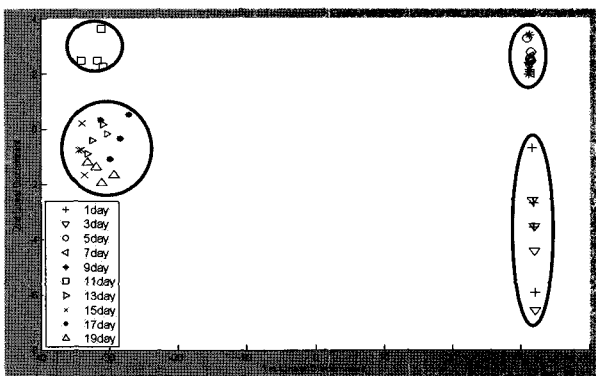


Fig. 8 Results of linear discriminant analysis for the discrimination of the stored pork.

**4. 요약 및 결론**

본 연구에서는 저장기간에 따른 돈육의 신선도 변화를 GC-MS를 이용한 가스 성분의 변화, 미생물의 총균수, 지방 산패도와 pH의 변화를 통해 분석하고, MOS 센서를 기반으로 한 전자코 시스템을 구성하여, 돈육의 신선도 평가를 실시하였다. 그 구체적인 결론은 다음과 같다.

- (1) 돈육의 GC-MS, 미생물, 지방 산패도, pH를 이용한 신선도의 측정결과 저장기간이 증가함에 따라 신선도는 저하되기 시작했고, 저장기간이 9일 이후부터 급격한 신선도의 저하를 나타내기 시작했다.
- (2) 전자코 시스템은 신선도 인자를 선택적으로 감지하여 저장기간에 따른 신선도의 변화를 측정할 수 있다고 판단되는 상용화 되어있는 7개의 센서(MOS 가스센서 6개+수분센서 1개)로 구성하였다.
- (3) 전자코 시스템을 이용한 실험결과, 그래프 분석을 통하여 돈육은 저장기간 9일 이후부터 저항값의 변화율을 확인할 수 있었고, 주성분 분석을 통하여 저장기간이 1일~9일, 11일~19일의 두 그룹으로 구분이 가능하였다. 선형판별 분석결과에서는 주성분 분석으로 구분이 어려웠던 저장기간 1일~9일의 데이터가 1일~3일과 5일~9일로 구분이 가능하였고, 11일~19일의 데이터는 11일과 13일~19일로 총 4개의 그룹으로 구분이 가능하였다. 전자코 시스템 결과값 분석에는 주성분 분석을 이용한 구분보다 선형판별분석을 이용한 결과값의 구분이 더 우수함을 확인할 수 있었다.
- (4) 전자코 시스템 최적화 과정에서 불필요한 센서의 개수를 줄이기 위하여 총균수, 지방산패도와 상관도가 높고 센서 상호간의 상관도가 낮은 센서 4개를 선정하였다. 선정된 4개의 센서를 이용하여 주성분 분석과 선형판별 분석한 결과는 6개의 센서를 사용한 결과와 동일하게 총 10개의 그룹 중 각각 2개와 4개의 그룹으로 구분이 가능하였다. 따라서 4개의 센서만으로도 신선도 측정이 가능한 전자코 시스템 구성이 가능함을 확인할 수 있었다.
- (5) 전자코 시스템의 가스성분 분석결과와 미생물, 지방산패도, pH 측정결과와 비교하였을 때, 그 변화가 유사함을 확인할 수 있어 측정의 신뢰도를 검증할 수 있었다.

본 연구에서는 전자코 시스템 구축과 이를 돈육에 적용해서 돈육의 신선도 측정에 대한 가능성을 제시하였다. 그러나 돈육의 경우 부위, 저장장소와 변질요인에 따라 신선도의 변화가 차이가 발생할 수 있기 때문에 향후연구에서는 다양한 환경조건에서 다양한 부위(등심, 전지 등)를 대상으로 실험을 실시하여 전자코 시스템을 이용한 종합적인 돈육 신선도 측정법을 개발할 필요가 있다고 사료된다.

**참 고 문 헌**

1. Blixt, Y. and E. Borch. 1999. Using an electronic nose for determining the spoilage of vacuum packaged beef. International

- Journal of Food Microbiology 46(2):123-134.
2. Brewer, M. S., W. G. Ikins and C. A. Harbers. 1992. TBA values, sensory characteristics and volatiles in ground pork during long-term frozen storage : Effects of packaging. *Journal of Food Science* 57:558-563.
  3. Byun, J. S. 2000. Determination of Physicochemical Freshness Indices in Fresh Meat. Master's Thesis. Seoul National University, Seoul, Korea. (In Korean)
  4. Demeyer, D. I., P. Vandekerckhove and R. Moermans. 1979. Compounds determining pH in dry sausage. *Meat Science* 3:161-164.
  5. Gardner, J. W. and P. N. Bartlett. 1994. A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B* 18:211-220.
  6. James, M. J. 1972. Mechanical and detection of microbial spoilage in meat at low temperature. *Journal of Milk and Food Technology* 35:467-471.
  7. Lee, J. W. and S. M. Kim. 2008. Development of a portable electronic nose system(I). *Journal of Biosystems Engineering* 33(5):333-339. (In Korean)
  8. Lee, S. K. J. Y. Kim and Y. S. Kim. 2004. Aroma pattern analysis of Hanwoo beef using electronic nose during refrigerated storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resource* 24(3):260-265. (In Korean)
  9. Noh, B. S., J. W. Ko, S. Y. Kim and S. J. Kim. 1998a. Application of electronic nose in discrimination of the habitat for special agricultural products. *Korean Journal of Food Science Technology* 30(5):1051-1057. (In Korean)
  10. Noh, B. S., Y. M. Yang, T. S. Lee, H. K. Hong, C. H. Kwon and Y. K. Sung. 1998b. Prediction of fermentation time of Korean style soybean paste by using the portable electronic nose. *Korean Journal of Food Science Technology* 30(2):356-362. (In Korean)
  11. Nottingham, P. M. 1982. *Meat Microbiology*. Applied Science Publishers, London, UK.