휴대용 전자코를 이용한 계육의 냉장 중 신선도 평가

이훈수 · 정창호¹ · 김기복² · 조병관*

충남대학교 바이오시스템기계공학과, ¹다산알앤디, ²한국표준과학연구원

Evaluation of Freshness of Chicken Meat during Cold Storage Using a Portable Electronic Nose

Hoonsoo Lee, Chang-Ho Chung¹, Ki-Bok Kim², and Byoung-Kwan Cho*

Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

¹Dasan R&D, Seongnam 463-760, Korea

²Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Korea

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the freshness of chicken meat during 19 d of storage at 4°C using a portable electronic nose. The portable system consisted of six different metal oxide sensors and a moisture sensor. Determination of volatile compounds with gas chromatography-mass spectrometry, total bacterial count (TBC), and 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) monitored the quality change of the samples. These results were compared with the results measured by the electronic nose system. TBC and TBARS measurements could be separated into five groups and seven groups, respectively, among ten groups. According to principal component analysis and linear discriminant analysis with the signals of the portable electronic nose, the sample groups could be clearly separated into eight groups and nine groups, respectively, among ten groups. The portable electronic nose demonstrated potential for evaluating freshness of stored chicken.

Key words: electronic nose, chicken meat, freshness, metal oxide sensor

서 론

계육은 국내에서 연간 6억마리 이상 도축되어 연간 국민 1인 당 약 13 kg이 소비되는 대표적인 육류 중 하나이다. 계육이 소비자에게 전달되기까지는 도축, 유통과 저장의 과정을 거치게 되는데, 이때 다양한 원인들로 인하여 계육의 품질 저하 현상이 발생하게 된다. 하지만 소비자는 계육을 구매할 시 판매자가 명시한 유통기한과 소비자의 육안에 의존하여 계육을 구매할 수밖에 없어, 실제로 품질을 확인할 수 없는 현실이다. 따라서 소비자들이 안전하고 신선한 계육을 구매할 수 있도록 표준화된 지표와 품질의 측정 기술이 요구된다.

현재 육류의 품질을 측정하는 방법으로는 미생물적 방법, 화학적 방법과 물리적 방법이 사용되고 있다. 미생물적 방법은 육류의 표면에 존재하는 미생물의 수를 측정하

는 방법이고 화학적 방법은 pH, 지방의 산패도와 휘발성 염기태 질소량을 측정하여 육류의 품질을 평가하는 방법이다(Byun, 2000). 이 방법들은 정확한 측정이 가능한데 반해 오랜 작업시간과 전문 인력이 필요한 단점이 있다. 물리적 방법은 육류의 단단함이나 전도도를 이용한 방법으로 표준화된 지표가 존재하지 않아 객관적이지 못하다. 육류의 품질 저하현상은 미생물에 의하여 분비되는 효소에 의해 단백질과 지방이 분해되면서 시작되는데 이때 여러 종류의 가스가 발생하게 된다. 이때 발생하는 가스성분을 분석하여 품질을 평가하는데 전자코 시스템(electronic nose system)이 사용되고 있다. 전자코 시스템은 인간의 후각기능을 모방한 장비로 각기 다른 센서를 어레이로 구성하고 센서의 신호를 통계적인 기법을 사용하여 냄새를 구분한다(Gardner, 1991; Gardner and Bartlett, 1994; James *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2004; Persaud and Dodd, 1982). Lee 등(2004)은 전자코 시스템을 활용하여 소고기와 돈육의 냉장저장 중 발생하는 가스성분을 분석하여 저장기간의 구분이 가능함을 확인하였고, Boothe 등(2002)은 냉장저장에 따른 계육의 품질 변화를 전자코 시스템으로 구분

*Corresponding author: Byoung-Kwan Cho, Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea, Tel: 82-42-821-6715, Fax: 82-42-823-6246, E-mail: chobk@cnu.ac.kr

이 가능함을 확인하였다. 하지만 상용화 되어 있는 전자코 시스템은 고가이고 장비가 이동이 용이하지 않은 크기이기 때문에 실시간으로 품질을 측정하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 이동성이 용이하도록 개발된 휴대용 전자코 시스템을 이용하여 냉장 계육의 품질 변화를 측정하고자 하였다. 저장기간의 변화에 따른 냉장 계육의 품질 변화를 GC-MS, 미생물 총균수, 지방 산패도 측정을 통하여 분석하고 6개의 MOS 센서와 1개의 수분 센서로 구성된 휴대용 전자코 시스템으로 가스성분을 분석함으로써 계육의 신선도를 평가하고자 실시하였다.

재료 및 방법

시료의 준비

시료는 (주)하림에서 전일 도축한 신선육을 구입하였다. 저장기간에 따른 품질의 변화를 측정하기 위해 시료는 잘게 분쇄하여 균질화 시킨 후 저장기간(1일, 3일, 5일, 7일, 9일, 11일, 13일, 15일, 17일, 19일) 별 150 g씩 지퍼백에 넣어 4°C로 저장한 후 차례대로 냉동하였다가 측정 당일 4°C로 2시간 해동하여 사용하였다.

GC-MS에 의한 가스성분 분석

냉장 계육의 저장기간의 변화에 따른 가스성분 분석기는 GC-MS(Saturn 2000, Varian, USA)를 사용하였고, 분석방법은 SPME방법을 이용하였다. 분석에 사용한 Column은 HP-5 capillary column(cross linked 5% PHME siloxane, 30 m×0.32 mm, Hewlett-Packard, USA)이었고, column 온도는 35°C에서 5분 간 유지 후 60°C까지 4°C/min의 비율로, 140°C까지 2°C/min의 비율로, 220°C까지 4°C/min로, 260°C까지는 15°C/min의 비율로 증가시킨 후 4분간 유지하였다. Injector 온도는 260°C로 설정하였고 이송기체는 헬륨을 사용하였다. MS에서 ionization source는 electron ionization(EI mode)로 전압은 70 eV이었고, trap, transfer line, manifold 온도는 각각 200, 180, 50°C로 설정하였다. 가스성분 포집에 사용한 fiber는 divinylbenzene(DVB)/carboxen(CAR)/polydimethyl siloxane(PDMS)이 코팅된 두께 50 µm의 fiber를 사용하였다. 시료 5 g을 25 mL의 vial에 넣고 septum으로 밀폐 후 37°C로 20분 간 incubation하

여 headspace로부터 가스성분을 3분 간 fiber에 흡착시켜 분석하였다. Spectrum은 WILEY Library(Registry of mass spectral data, 6th edition, WILEY, USA)와 NIST Library(Mass spectral search program version 4.5, NIST, USA)를 이용하여 분석하였다.

미생물 측정

미생물 수의 측정은 식품공전의 일반세균수 측정법을 따랐다(KFDA, 2007). 멸균된 polyethylene bag에 10 g의 시료를 넣고 멸균된 식염수(0.85%, NaCl) 90 mL를 첨가하여 혼합 후 10진 희석법으로 희석하여 배지에 도말하였다. 표준한천배양방법으로 37°C에서 24시간 배양하여 계수하였고, 배지는 균수측정용 표준한천배지(standard methods agar)를 사용하였다. 계수된 미생물 수는 시료 1 g 당 CFU(colony forming unit)으로 나타내었다.

지방 산패도 측정(TBARS)

TBARS(2-thiobarbituric acid reactive substances) value 측정은 Brewer 등(1992)의 측정법에 따라 532 nm의 흡광도를 측정하여 지방 분해산물인 malondialdehyde의 함량을 시료 1 kg에 대한 mg으로 계산하여 나타내었다. 시료 5 g과 10% trichloroacetic acid 용액 20 mL, 7.2% BHT in ethanol 용액 100 µL을 50 mL coming tube에 넣어 homogenizer로 균질화 하였다. 원심분리기로 층을 분리하여 상등액을 여과지로 걸러 획득한 2 mL와 20 mM TBA 용액 2 mL를 90°C에서 20분간 반응시켜 분광광도계(UV-1650, Shimadzu, Japan)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

전자코 시스템 설계 및 측정

센서의 모델 및 측정 가능한 가스는 Table 1과 같다. 전자코 시스템은 냉장 계육의 저장기간에 따른 품질 변화로 발생하는 가스성분을 검출할 가능성이 높은 MOS센서(TGS, Figaro, Japan) 6개와 수분센서 1개로 구성되었다. 계육에서는 저장기간의 변화에 따라 가스의 발생과 더불어 수분도 발생하게 되는데 이때 발생하는 수분은 센서의 감도에 영향을 미치게 되므로 수분을 실리카 겔을 이용하여 10% 이하로 제거한 후 센서와 반응시켰다. 하지만 수분의 영향을 확인하기 위하여 수분센서는 장착되었다.

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 826	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 825	Hydrogen sulfide	5-100 ppm	Hydrogen sulfide
6	TGS 821	Hydrogen	30-1,000 ppm	Hydrogen, Carbon monoxide, Ethanol, Methane
7	TGS 2180	Water vapor	1-150 g/m ³	Water vapor

Fig. 1. Schematic diagram of the electronic nose system.

계육의 시료에서 발생하는 가스성분을 획득하여 센서와 반응시키는 과정은 Fig. 1과 같다. 소형진공펌프가 작동되면 외부 공기가 시스템 내부로 유입된다. Charcoal과 silicagel을 지나 불순물과 수분이 제거되고 온도조절장치를 통과하며 일정한 온도로 유지된 공기가 센서 챔버로 유입된다. 챔버 내를 통과하며 센서가 정화된 공기로 안정화가 된 후 측정하고자 하는 가스를 3-way-solenoid valve로 제어하여 센서와 반응시키게 된다. 이 때 측정된 센서의 신호는 RS232 통신으로 컴퓨터에 전송되어 저장된다. 계육에서 발생하는 가스성분은 25 mL vial에 시료 5 g을 넣어 37°C의 water bath에서 10분 간 incubation 하여 획득하였다. 시료는 저장기간별로 4개씩 vial에 획득하여 각각 1회씩 측정하였고, 센서 챔버로 유입되는 온도는 40°C로 설정하였다.

센서의 반응은 저항값의 변화로 나타나는데 아날로그 저항값을 단순히 디지털화하여 표현된 것에 불과하다. 따라서 분석에 사용될 데이터는 센서의 초기 저항값(R_{air})을 기준으로 측정하고자 하는 가스로부터의 저항값의 비율(R_{gas})로 나타내었다. Fig. 2는 가스센서의 저항값의 응답과정을 나타내었다. 센서의 초기 저항값으로 사용될 공기의 저항값(R_{air})은 가스로 인한 반응 시작시간 60초 전 저항값을 사용하였고, 센서 챔버내 가스 유입시간은 15초, 센서의 재안정화 시간은 R_{ratio} 가 0.99 이상이 되는 240초로 설정하였다.

$$R_{ratio}(\text{ratio of resistance}) = R_{gas} / R_{air}$$

센서의 신호 획득은 Visual Basic 소프트웨어를 이용하

Fig. 2. Cycle timing parameters of the electronic nose system.

여 개발된 프로그램을 사용하였다. 데이터 저장과 실시간 그래프 출력 등의 기능을 갖추고 있으며, 초 당 1개의 신호가 txt 파일로 저장되도록 설정하였다.

데이터 분석법

데이터 분석에는 그래프 분석, Pearson's correlation을 이용한 상관관계 분석, 다중비교 분석(multiple comparison analysis), 주성분 분석(principal component analysis)과 선형판별분석(linear discriminant analysis)을 이용하였다. 사용된 프로그램은 그래프 분석에는 Excel(Microsoft, Redmond, Washington, USA)을, 다중비교 분석과 선형판별분석에는 SPSS(version 8, SPSS, USA)를, 주성분 분석에는 MATLAB software(version 7, Mathworks, USA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

GC-MS에 의한 가스성분 분석

계육의 품질 변화에 따른 가스성분의 변화를 분석하기 위해 GC-MS 실험을 하였다. 계육의 저장기간의 증가에 따라 발생한 총 26가지의 가스성분의 변화를 hydrocarbons류, aldehydes류, ketones류, esters류, alcohols류, other nitrogen compounds류, sulfur compounds류로 구분하여 Table 2에 나타내었다. 분류 별 주요 성분은 hydrocarbons류는 methane, aldehydes류는 3-methyl butanal, ketones류는 2-butanone, esters류는 hexyl octyl ether, alcohols류는 2-propanol과 2-ethyl-1-decanol, other nitrogen compounds류는 1,2-propanediamine, sulfur compounds류는 carbon disulfide로 각각 확인되었다. 전반적으로 저장기간이 증가함에 따라 발생하는 가스의 양은 증가하였다. 특히, alcohols류와 aldehydes류는 저장기간이 5일이 지난 후부터 급격한 변화를 나타내었고, esters류, ketones류, sulfur compounds류는 10일이 지난 후부터 급격한 변화를 나타내었다. Table 2에서 저장한지 1일된 계육에서 발생한 가스의 98%를 차지하는 성분은 hydrocarbons류와 sulfur compounds류이다. 그 중 hydrocarbons류가 나타낸 174.41 수치 중 99%를 차지하는 성분이 methane(CH₄)이다. Methane은 탄화수소화합물 중 가장 기본이 되는 물질로 다른 탄화수소화합물을 만드는데 사용되는데, 저장기간이 증가함에 따라 다른 화합물로 전환되어 줄어든 것으로 보인다.

Sulfur compounds류의 성분 중 63%를 차지하는 성분은 carbon disulfide였다. 이 물질은 계육의 지방조직 내 흡수되어 있었던 성분으로 보인다. 저장기간이 10일 이후의 계육의 sulfur compounds의 양이 급격히 증가한 이유는 미생물의 부패로 인해 발생하는 dimethyl disulfide와 dimethyl trisulfide로 인한 결과로 보여진다(Eilamo *et al.*, 1998).

미생물 측정

Barnes 등(1976)은 계육에 존재하는 총균수가 6 log CFU/g 이상일 때를 부패 초기단계라 보고하였고, 8 log CFU/g 이상일 때는 관능적으로 받아들일 수 없는 부패취가 발생한다고 보고하였다. 계육의 저장기간 1일차 총균수는 4.13 log CFU/g이었으며, 저장기간이 증가하면서 총균수는 유의적으로 증가하였다. 특히 저장기간 5일 이후에서는 급격히 미생물수가 증가하였는데, 이때부터 계육의 품질이 급격히 저하되기 시작함을 알 수 있다. 또한 13일이 저장된 계육의 미생물 수는 6.28 log CFU/g으로 부패가 상당히 진행되고 있음을 나타낸다. Table 3은 계육의 TBC와 TBARS의 측정값을 나타낸 표이다. 계육의 미생물 측정결과를 이용한 다중비교 분석결과는 저장기간 별 총 10개의 그룹 중 1일-3일, 5일, 7일-9일, 11일, 13일-15일, 17일, 19일의 7개의 그룹으로 구분이 가능하였다.

지방 산패도 측정

계육의 저장기간에 따른 지방 분해산물인 malondialdehyde 함량을 보여주는 TBARS value를 Table 4에 나타내었다.

Table 2. Changes of volatile compounds detected from chicken meat during storage times

	Storage times (day)				SEM ²
	1	5	10	15	
	Area (ion count × 10 ⁴)				
Alcohols	2.29 ^a	2.28 ^a	117.35 ^b	167.88 ^c	22.48
Aldehydes	-	-	62.96 ^a	71.70 ^a	10.29
Esters	0.72 ^a	0.97 ^a	0.83 ^a	21.49 ^b	2.72
Hydrocarbons	174.41 ^a	388.40 ^a	513.68 ^a	496.81 ^a	80.91
Ketones	-	2.44 ^a	1.45 ^a	70.63 ^b	9.08
Other nitrogen compounds	7.08 ^a	13.27 ^a	27.36 ^a	19.40 ^a	3.65
Sulfur compounds	319.21 ^a	236.39 ^a	243.51 ^a	1362.08 ^b	146.07
Total volatile compounds	503.71 ^a	643.75 ^a	967.14 ^a	2210.00 ^b	224.69

¹)Student-Newman-Keuls test; ^{a-g}Different letters within the same row differ significantly ($p<0.05$).

²)SEM: Standard error of the means (n=12).

Table 3. Changes of total bacterial count (TBC) and 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) of chicken meat during storage times

	Storage times (day)										SEM ²
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
TBC (Log CFU/g)	4.13 ^a	4.22 ^a	4.75 ^b	5.53 ^c	5.71 ^c	5.92 ^d	6.28 ^e	6.43 ^{e,f}	6.53 ^f	6.83 ^g	0.170
TBARS (mg MDA/kg)	0.18 ^a	0.28 ^b	0.30 ^b	0.41 ^c	0.46 ^c	0.46 ^c	0.54 ^d	0.57 ^d	0.62 ^e	0.64 ^e	0.027

¹)Student-Newman-Keuls test; ^{a-g}Different letters within the same row differ significantly ($p<0.05$).

²)SEM: Standard errors of the means (n=30).

Table 4. Resistance change of each MOS sensor for chicken meat during storage times

		Storage times (day)									SEM ²	
		1	3	5	7	9	11	13	15	17		19
Sensor	#1	0.969 ^a	0.973 ^a	0.952 ^b	0.935 ^c	0.912 ^d	0.871 ^e	0.863 ^e	0.882 ^e	0.873 ^e	0.831 ^f	.0076
	#2	0.961 ^a	0.968 ^a	0.933 ^{ab}	0.913 ^{ab}	0.881 ^b	0.818 ^c	0.768 ^c	0.707 ^d	0.701 ^d	0.564 ^e	.0209
	#3	0.931 ^a	0.951 ^a	0.943 ^a	0.909 ^a	0.886 ^a	0.826 ^a	0.558 ^b	0.360 ^c	0.365 ^c	0.200 ^d	.0454
	#4	0.999 ^a	0.999 ^a	0.999 ^a	0.999 ^a	0.997 ^a	0.988 ^c	0.987 ^c	0.994 ^{ab}	0.991 ^{bc}	0.978 ^e	.0011
	#5	0.931 ^a	0.990 ^a	0.880 ^a	0.728 ^b	0.611 ^c	0.461 ^d	0.338 ^e	0.259 ^e	0.269 ^e	0.019 ^f	.0510
	#6	0.966 ^a	0.968 ^a	0.966 ^a	0.964 ^a	0.950 ^a	0.893 ^b	0.869 ^b	0.908 ^b	0.891 ^b	0.747 ^c	.0110

¹)Student-Newman-Keuls test; ^{a-g}Different letters within the same row differ significantly ($p<0.05$).

²)SEM: Standard errors of the means (n=40)

1일 저장된 계육은 0.18 mg MDA/kg이었고, 저장기간 7일 (0.41 mg MDA/kg)과 17일(0.62 mg MDA/kg)에서 상대적으로 급격한 증가현상을 보였다. 이는 7일 저장된 계육의 미생물 총균수가 급격히 증가한 현상과 유사하다. 저장기간이 증가함에 따라 TBARS value가 점차 증가하는 경향을 보였는데, 이는 지방이 지방분해효소에 의해 가수 분해되고, 미생물에 의한 부패로 인해 alcohols류, ketones류, aldehydes류 등의 carbonyl compound가 생성되기 때문인 것으로 사료된다(Brewer, 1992; Park and Kim, 2008). TBARS value는 저장기간에 따른 총 10개의 그룹 중에서 1일, 3일-5일, 7일-11일, 13일-15일, 17일-19일의 5개의 그룹으로 구분이 가능하였다.

전자코 시스템 성능 평가

그래프 분석 및 다중비교 분석

Fig. 3은 계육의 센서 별 저장기간에 따른 저항값의 변화율을 나타낸 그래프이다. 전체적으로 모든 센서가 저장기간에 따라 뚜렷한 저항값의 변화를 보였다. 센서 #3, #4, #6번의 저항값의 변화율은 저장기간이 9일이 지난 후부터

Fig. 3. Resistance change of each MOS sensor for chicken meat with storage times.

급격한 감소를 보였고, 센서 #1, #2, #5번은 저장기간 초기부터 저장기간의 증가에 따라 선형적으로 저항값의 변화율이 감소함을 확인하였다. 저장기간이 9일이 지난 후부터 #3, #4, #6번 센서의 반응이 급격히 증가하는 것은, GC-MS 분석결과에서 alcohols류의 가스가 저장기간이 10일이 지난 후부터 급격히 증가하는 것과 유사한 결과를 나타낸다. 저장기간이 15일과 17일이 경과된 계육의 저항값의 변화율 중 센서 #1, #4, #6번 변화율은 13일 저장된 계육의 저항값의 변화율보다 감소한 것을 Fig. 3에서 볼 수 있다. 이는 methane에 의한 영향으로 보여지는데, GC-MS 분석결과에서 methane의 수치가 저장기간 10일까지는 증가하다가 10일 이후에는 감소하는 현상과 유사한 결과를 나타낸다. Table 4는 계육의 저항값의 변화율을 센서별로 다중 비교 분석한 결과값을 나타낸 표이다. 1번, 5번 센서의 저항값의 변화율은 데이터를 6개의 그룹으로 구분이 가능하였고, 2번, 4번 센서는 5개의 그룹으로, 3번 센서는 4개의 그룹으로, 6번 센서는 3개의 그룹으로 구분이 가능하였다.

상관분석

Table 5는 계육의 저장기간의 증가에 따른 미생물 총균수, TBARS value와 6개 센서의 측정값 간의 상관도를 분석하여 나타낸 표이다. 총균수와 TBARS value의 상관도는 0.959로 매우 높게 나타났다. 6개의 센서 중 1번, 2번, 5번 센서는 총균수와 TBARS value와 -0.889 이상의 높은 상관도를 보였다. 상관분석을 이용하여 전자코의 불필요한 센서를 줄이고 최적화하는 작업을 하였다. 총균수, TBARS value, 6개의 센서와는 상관도가 높고 센서끼리는 상관도가 낮은 센서 #1, #2, #3, #5를 선정하였다.

주성분 분석(principal component analysis)

계육의 각 센서 별 1일에서 19일까지의 저장기간에 따른 저항값의 변화율을 축약하여 도식화한 주성분 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 제1주성분의 기여도는 95.7%, 제2주성분의 기여도는 3.5%로 제1주성분 값만을 이용하여 패턴변화의 인식이 가능함을 확인할 수 있었다. 주성분 분

Table 5. Correlation among TBC, TBARS, and resistance of each MOS sensor for stored chicken

	TBC	TBARS	Sensor No.					
			1	2	3	4	5	6
TBC	1							
TBARS	.959**	1						
1	-.951**	-.909**	1					
2	-.902**	-.889**	.936**	1				
3	-.842**	-.855**	.864**	.972**	1			
4	-.761**	-.737**	.884**	.866**	.786**	1		
5	-.956**	-.933**	.973**	.977**	.937**	.846**	1	
6	-.759**	-.735**	.871**	.896**	.828**	.984**	.853**	1

¹⁾ **Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

²⁾ Pearson correlation (n=30).

Fig. 4. Results of principle component analysis for the discrimination of chicken meat with storage time (1-19 d).

석의 특성 상 제1주성분에 기여하는 특정 향기성분을 정확하게 규정하는 것은 어렵지만 저장기간에 따라 급격한 변화를 보이는 alcohols류, aldehydes류, esters류, ketones류, 그리고 sulfur component류가 복합적으로 결합하여 제1주성분에 영향을 미친 것으로 보여진다. 육류의 경우 저장 초기의 품질변화를 측정하는 것이 중요하다. Fig. 5는 계육의 저장 초기(1일-5일) 결과값을 주성분 분석하여 도식화 한 결과이다. 제1주성분 값으로 1일과 3일, 3일과 5일을 구분할 수 있었고, 제2주성분 값으로 1일과 5일을 구분할 수 있었다. 이때의 제1주성분의 기여도는 95.7%, 제2주성분 기여도는 4.2%로 나타났다.

선형판별 분석(linear discriminant analysis)

계육의 각 센서 별 저장기간에 따른 저항값의 변화율을 이용하여 선형판별 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 제1선형판별력은 68.4%였고, 제2선형판별력은 20.8%였다. Table

Fig. 5. Results of principle component analysis for the discrimination of chicken meat with storage time (1-5 d).

Fig. 6. Results of linear discriminant analysis for the discrimination of chicken meat with storage time (1-19 d).

Table 6. Classification accuracy of linear discriminant analysis for chicken meat

	Storage day									
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
No. of correct prediction/No. of each group	3/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	3/4	3/4	4/4	4/4
% correct discrimination	75	100	100	100	100	100	75	75	100	100

6은 선형판별분석을 나타낸 표이다. 각 센서별 획득된 데이터를 기반으로 선형판별 함수식을 구하고 같은 데이터를 재대입하여 분류능력을 검증하였다. 1일, 13일, 15일의 데이터는 총 4개 중에서 3개를 구분하였는데, 1일 데이터는 3일로, 13일 데이터는 11일 데이터로, 15일 데이터는 17일로 잘못 예측되었다. 나머지 저장기간의 데이터는 모두 정확하게 예측되었으며 전체적으로 92.5%의 정

확도를 보였다. Fig. 7은 계육의 저장 초기(1일-5일) 결과 값을 선형판별분석하여 도식화한 결과로, 제1선형판별력은 88.3%, 제2선형판별력은 11.7%로 나타났다. 저장초기의 1일에서 5일까지의 데이터를 기반으로 한 선형판별분석 결과에서는 제1, 2판별력을 모두 활용할 시 100% 구분이 가능하였다.

요 약

본 연구에서는 저장기간에 따른 계육의 신선도 변화를 GC-MS를 이용한 가스 성분의 변화, 미생물의 총균수와 지방 산패도의 변화를 통해 분석하고, MOS 센서와 수분 센서를 기반으로 한 전자코 시스템을 구성하여, 계육의 품질 평가를 실시하였다. 계육의 GC-MS, 미생물, 지방 산패도를 이용한 품질의 측정결과 저장기간이 증가함에 따라 품질은 저하되었고, 저장기간이 5일 이후부터 급격한 품질의 저하를 나타내기 시작했다. 전자코 시스템을 이용한 실험결과, 그래프 분석을 이용하여 계육은 저장기간 초기부터 저장기간의 증가에 따라 선형적으로 저장값의 변화율이 감소함을 확인할 수 있었다. 전자코 센서의 신호를 이용하여 주성분 분석을 한 결과 저장일수에 따라 제1, 2 주성분이 뚜렷이 구분됨을 확인할 수 있었다. 선형판별을 이용하여 분석한 결과 1일에서 19일까지 전체 분류 정확

Fig. 7. Results of linear discriminant analysis for the discrimination of chicken meat with storage time (1-5 d).

도가 92.5%였다. 저장 초기의 1일에서 5일까지의 데이터를 기반으로 선형판별분석을 한 경우 제1, 2판별함수를 이용할 경우 100%의 정확도를 보였다. 결론적으로 본 연구에서의 전자코를 이용한 계측과 주성분분석 및 선형판별 분석법을 이용할 경우 냉장 저장된 계육의 신선도 변화가 예측 가능함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Barnes, E. M. (1976) Microbiological problems of chicken at refrigeration temperature. *J. Sci. Food Agric.* **24**, 777-781.
2. Brewer, M. S., Ikins, W. G., and Harbers, C. A. (1992) TBA values, sensory characteristics and volatiles in ground pork during long-term frozen storage: Effects of packaging. *J. Food Sci.* **57**, 558-563.
3. Byun, J. S. (2000) Determination of physicochemical freshness indices in fresh meat. MA thesis. Seoul National Univ., Seoul, Korea.
4. Boothe, D. and Arnold, J. (2002) Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage. *J. Sci. Food Agric.* **82**, 315-322.
5. Eilamo, M., Kinnunen, A., Latva-Kala, K., and Ahvenainen, R. (1998). Effects of packaging and storage conditions on volatile compounds in gas-packed chicken meat. *Food Addit. Contam.* **15**, 217-228.
6. Gardner, J. W. (1991) Detection of vapors and odors from a multi-sensor array using pattern recognition. *Sensors Actuators B-chem.* **4**, 109-115.
7. Gardner, J. W. and Bartlett, P. N. (1994) A brief-history of electronic noses. *Sensors Actuators B-chem.* **18**, 211-220.
8. James, D., Simon, M., Zulfiquir, A., and William, T. O. (2005) Chemical sensors for electronic nose systems. *Microchim. Acta* **149**, 1-17.
9. Kim, G., Lee, K. J., Choi, K. H., Choi, D. S., Son, J. R., Kang, S., and Chang, Y. C. (2004) Odor analysis for beef freshness estimation with electronic nose. *J. Biosys. Eng.* **29**, 317-322.
10. Korea Food and Drug Administration. (2007) Korea food code 694-734.
11. Lee, S. K., Kim, J. Y., and Kim, Y. S. (2004). Aroma pattern analysis of hanwoo beef using lectronic nose during refrigerated storage. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **24**, 260-265.
12. Pack, C. I. and Kim, Y. J. (2008) Effects of dietary mugwort powder on the VBN, TBARS, and fatty acid composition of chicken meat during refrigerated storage. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **28**, 505-511.
13. Persaud, K. and Dodd, G. G. (1982) Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature* **299**, 352-355.

(Received 2009.9.10/Revised 1st 2010.1.28, 2nd 2010.3.31/
Accepted 2010.4.2)