

삼겹살 구이로부터 발생하는 유해물질의 특성 연구

A Study of Odorants and Volatiles Released from Pork Belly Meat When Treated by Different Cooking Methods

김보원 · 김기현* · 김용현 · 안정현

한양대학교 건설환경공학과

(2014년 3월 31일 접수, 2014년 5월 26일 수정, 2014년 6월 9일 채택)

Bo-Won Kim, Ki-Hyun Kim*, Yong-Hyun Kim and Jeong-Hyeon Ahn

Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

(Received 31 March 2014, revised 26 May 2014, accepted 9 June 2014)

Abstract

Pork belly meat is one of the most preferred food items for many Korean people. The odorants released from cooking of pork belly meat were measured by three kinds of cooking methods (Charcoal-grill (C), Electric Pan (E), and Gas burner-pan (G)). A total of 16 target compounds including carbonyl compounds, volatile organic compounds, and poly aromatic hydrocarbon were selected and analyzed for comparative purposes. Their emission concentrations were quantified using HPLC-UV, GC-MS, GC-TOF-MS, etc. The gas samples collected by Charcoal-grill cooking showed generally enhanced concentrations of most target compounds among all three kinds of cooking methods. In Charcoal-grill, concentration of benzene, formaldehyde and pyrene went up to 543, 516, and 402 ppb, respectively. If the results are compared in terms of the sum of odor intensity, the highest value (4.25) was also seen from Charcoal-grill. The results of this study confirm that the significantly reduced emission of harmful pollutants can be attained, if pork belly meat is cooked by the Gas or electric pan instead of Charcoal-grill.

Key words : Pork belly, Odorant, Cooking method, Gas Chromatography (GC), Liquid Chromatography (LC)

1. 서 론

과거에는 대부분 관광지를 중심으로 여행지를 선택하고 부가적으로 그에 따른 음식을 선택하는 경향이 다반사였다. 그러나 요즘은 먹거리 여행이라고 불

릴 만큼 음식을 위주로 여행지를 선택하는 경로도 다양하다. 음식은 그 지역과 나라의 문화를 직간접적으로 보여주는 데 중요한 요소로서, 음식문화의 마케팅도 이제 관광수입의 중요 재원으로 자리 잡고 있다 (Lee and Lee, 2011). 한국관광공사에서 발간한 외래관광객 실태조사 (Korean tourism organization, 2012)에 따르면, 한국을 방문대상으로 선택 시 주 고려 요인들을 나열해보면 쇼핑 (66.0%), 음식/미식 탐방 (44.3%), 자연풍경 (32.1%) 순으로 나타난다 (즉, 음식과 관련한

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)70-7560-9151, E-mail : kkim61@nate.com

기준이 2위를 차지하고 있다). 이 수치는 2008년 41.5%에서 매년 조금씩 올라 2012년에 44.3%로 최고치로 나타났다. 또한, 한국여행의 만족도에서도 음식부분이 5점 만점에 4.12점으로 높은 점수를 기록하였다. 콜롬비아와 중국에서는 포파안과 청두라는 자국의 음식을 유네스코의 세계문화유산 목록에 등재하는 사례들이 늘어나고 있다(UNESCO, 2010). 우리도 이런 상황을 고려하여 여러 가지 음식문화에 대한 등재전략을 개발하고 있다(Kim *et al.*, 2012).

대표적인 한식 중 한 가지로 삼겹살 구이가 많은 관심을 받고 있다. 한 가지 예를 들면, 목포대학교에 재학 중인 중국유학생을 대상으로 한식에 대한 인지도 및 선호도를 조사한 바 있다(Jung and Jeon, 2011). ‘매우 그렇지 않다’는 1점에서 ‘매우 그렇다’에 5점을 부여하는 방식으로 조사한 결과, 삼겹살 구이의 인지도(3.63 ± 1.06)와 선호도(3.69 ± 0.93)는 상대적으로 높게 나타났다. 또한, 18세 이상을 포함한 성인을 대상으로 조사한 결과, 전 연령층에서 1달에 2~3번 정도 프라이팬을 이용한 삼겹살 구이를 섭취할 정도로 높은 선호도를 보였다(Lee and Yoon, 2011). 특히 남성의 경우, 주 1회 정도 섭취하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 많은 사람이 선호하는 삼겹살 구이를 대상으로 선정하여, 이를 조리하기 위한 구이방식의 차이에 따라, 대기오염물질들의 발생특성을 조사하였다. 이를 위해, 삼겹살을 숯불, 전기프라이팬, 프라이팬과 같이 세 가지 구이방식을 동원하여 조리과정에서 배출되는 물질들을 채취분석하여 조리방식과 배출물질의 연계성을 판단하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 채취한 기체상 시료는 냄새물질 및 VOC 등을 중심으로 정량분석하기 위하여 High performance liquid Chromatography (HPLC, Thermo Scientific, USA) - UV (Spectra system UV2000, Thermo Scientific, USA), Gas Chromatography (GC-2010, Shimadzu, Japan) - Mass spectrometer (MS-QP2010, Shimadzu, Japan), Gas Chromatography (GC-7890, Agilent, USA) - Time of flight mass spectrometry (TOF-MS, Markes, USA) 등의 장비들을 활용하였다. 이를 통해, carbonyl compounds (CC), volatile organic compounds (VOC), poly aromatic hydrocarbon (PAH)와 같은 주요 냄새 및 유해성분들을 중심으로 주요성분들의 배출특성을 조리방식에 연계하여 설명하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 분석시료 준비

2.1.1 조사대상선정 및 작업용 표준시료 준비

본 연구에서는 여러 가지 조리도구를 이용하여 삼겹살을 굽는 동안 발생하는 유해물질의 발생특성을 알아보고자 하였다. 이를 위해, CC, VOC 계열들 중 지정악취물질에 해당하는 16종과 여러 개의 벤젠고리를 가진 PAH를 중심으로 정량분석을 하였다(표 1). 그리고 이들 외에도 참고성분 8종을 추가로 포함하여 측정하였다. CC 계열의 작업용 표준시료를 제조하기 위해, 9종의 성분을 혼합한 원표준시료(TO11/IP-6A Aldehyde/Ketone-DNPH Mix, Supelco, USA)를 Acetonitrile (ACN)에 희석하여 작업을 진행하였다. 작업용 표준시료는 총 4단계의 농도로 희석하였으며, Acetaldehyde (AA)를 기준으로 $3.0 \sim 72 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ 의 농도로 제조하였다. VOC 계열은 순도 97.0% 이상의 24종 원표준시료(Sigma-aldrich, USA)를 methanol (99.8%, J.T. Baker, USA)에 희석하는 작업을 진행하였다. 작업용 표준시료는 총 5단계의 농도로 희석하였으며, Benzene (B)을 기준으로 $2.91 \sim 58.2 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ 의 농도로 최소농도와 최대농도의 차이를 20배 수준으로 제조하였다. PAH 계열은 13종의 성분을 혼합한 원표준시료(EPA 610 Polynuclear Aromatic Hydrocarbons Mixture, Sigma-aldrich, USA)를 methanol (99.8%, J.T. Baker, USA)에 희석하여 활용하였다. 작업용 표준시료는 Benzo[a]pyrene (BAP)성분을 기준으로 $2.00 \sim 20.0 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ 의 범위에서 총 4단계의 농도로 제조하였다. 각각의 작업용 표준시료를 분석하여, 도출한 검량선(Response factor: RF)을 이용하여 조사대상 성분들을 정량분석하였다. 또한, 정도 관리의 주요 변수(검출한계(Method detection limit: MDL))들을 표 1에 제시하였다.

2.1.2 재료 준비 및 시료채취

본 연구를 위해 대형상점에서 국내산 삼겹살(돼지고기)를 구매하여 시료의 채취분석을 위한 기본소재로 사용하였다. 삼겹살은 전자저울을 사용하여 약 200 g씩 측정 후, 대략 가로 3 cm, 세로 5 cm로 잘라 구이에 사용하였다. 비교실험을 위해 다음과 같이 세 가지 조리방식을 택하였다. (1) Gas burner-pan (G)은 휴대용 Gas burner에 가정용 pan을 사용하였다. (2)

Table 1. Information of the target compounds selected for the investigation of CCs, VOCs, and PAHs released from the smoke of pork belly meat.

Order	Group	Full name	Short name	CAS No.	Chemical formula	Molecular weight (g/mol)	2013-10-10 ^b			2013-12-26 ^b		
							slope	R ²	MDL (ng) ^c	slope	R ²	MDL (ng)
1	Carbonyl compounds ^a (CC)	Formaldehyde	FA	50-00-0	CH ₂ O	30.0	15,935	0.9903	0.03	16,208	0.9994	0.03
2		Acetaldehyde	AA	75-07-0	C ₂ H ₄ O	44.1	12,310	0.9934	0.04	12,537	0.9996	0.04
3		Propionaldehyde	PA	123-38-6	C ₃ H ₆ O	58.1	9,592	0.9935	0.06	9,770	0.9998	0.06
4		Butyraldehyde	BA	123-72-8	C ₄ H ₈ O	72.1	7,796	0.9923	0.07	7,964	0.9998	0.07
5		Isovaleraldehyde	IA	590-86-3	C ₅ H ₁₀ O	86.1	6,679	0.9926	0.08	6,816	0.9997	0.08
6		Valeraldehyde	VA	110-62-3	C ₅ H ₁₀ O	86.1	6,433	0.9925	0.08	6,485	0.9996	0.08
7		Acrolein	AL	107-02-8	C ₃ H ₄ O	56.1	11,088	0.9972	0.05	11,405	0.9993	0.05
8		Acetone	AT	67-64-1	C ₃ H ₆ O	58.1	9,676	0.9931	0.06	9,844	0.9997	0.05
9		Crotonaldehyde	CA	123-73-9	C ₄ H ₆ O	70.1	8,702	0.9920	0.06	8,804	0.9995	0.06
10		Benzaldehyde	BZA	100-52-7	C ₇ H ₆ O	106	5,715	0.9908	0.09	5,829	0.9991	0.09
11	Volatile organic compounds (VOC)	Methyl ethyl ketone	MEK	78-93-3	C ₄ H ₈ O	72.1	25,918	0.9892	0.06	123,720	0.9940	0.06
12		Methyl isobutyl ketone	MIBK	108-10-1	C ₆ H ₁₂ O	100	26,696	0.9968	0.06	114,479	0.9960	0.07
13		Butyl acetate	BuAc	123-86-4	C ₆ H ₁₂ O ₂	116	26,212	0.9967	0.06	117,968	0.9978	0.05
14		Isobutyl alcohol	i-BuAl	78-83-1	C ₄ H ₁₀ O	74.1	23,920	0.9995	0.07	109,638	0.9938	0.05
15		Benzene	B	71-43-2	C ₆ H ₆	78.1	20,971	0.9485	0.07	108,124	0.9961	0.08
16		Toluene	T	108-88-3	C ₇ H ₈	92.1	34,302	0.9828	0.05	210,088	0.9920	0.05
17		p-Xylene	p-X	106-42-3	C ₈ H ₁₀	106	37,961	0.9886	0.04	202,993	0.9946	0.06
18		m-Xylene	m-X	108-38-3	C ₈ H ₁₀	106	38,112	0.9879	0.04	230,189	0.9960	0.05
19		o-Xylene	o-X	95-47-6	C ₈ H ₁₀	106	37,431	0.9943	0.04	212,223	0.9979	0.05
20		Styrene	S	100-42-5	C ₈ H ₈	104	30,352	0.9957	0.05	195,217	0.9974	0.05
21		Propionic acid	PPA	79-09-04	C ₃ H ₆ O ₂	74.1	2,953	0.9927	0.53	23,394	0.9927	0.05
22		n-Butyric acid	BTA	107-92-6	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	8,534	0.9926	0.18	61,364	0.9958	0.05
23		i-Valeric acid	IVA	503-74-2	C ₅ H ₁₀ O ₂	102	8,094	0.9922	0.19	54,600	0.9991	0.05
24		n-Valeric acid	VLA	109-52-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	102	10,444	0.9864	0.15	75,691	0.9994	0.05
25	Poly aromatic hydrocarbon (PAH)	Naphthalene	NAP	91-20-3	C ₁₀ H ₈	128	609,185	0.9990	0.23	—	—	—
26		Acenaphthylene	ACL	208-96-8	C ₁₂ H ₈	152	514,073	0.9972	0.27	—	—	—
27		Acenaphthene	ACN	83-32-9	C ₁₂ H ₁₀	154	598,740	0.9989	0.23	—	—	—
28		Fluorene	FLR	86-73-7	C ₁₃ H ₁₀	166	529,755	0.9969	0.26	—	—	—
29		Phenanthrene	PHN	85-01-8	C ₁₄ H ₁₀	178	559,347	0.9977	0.25	—	—	—
30		Anthracene	ANT	120-12-7	C ₁₄ H ₁₀	178	529,455	0.9933	0.26	—	—	—
31		Fluoranthene	FLT	206-44-0	C ₁₆ H ₁₀	202	706,303	0.9991	0.20	—	—	—
32		Pyrene	PYR	129-00-0	C ₁₆ H ₁₀	202	665,691	0.9973	0.21	—	—	—
33		Benz[a]anthracene	BAA	56-55-3	C ₁₈ H ₁₂	228	323,265	0.9834	0.43	—	—	—
34		Chrysene	CHY	218-01-9	C ₁₈ H ₁₂	228	367,068	0.9889	0.38	—	—	—
35		Benzo[b]fluoranthene	BBF	205-99-2	C ₂₀ H ₁₂	252	142,500	0.9978	0.98	—	—	—
36		Benzo[k]fluoranthene	BKF	207-08-9	C ₂₀ H ₁₂	252	260,830	0.9892	0.54	—	—	—
37		Benzo[a]pyrene	BAP	50-32-8	C ₂₀ H ₁₂	252	18,629	1.0000	7.50	—	—	—

^a Using HPLC system for CCs analysis

^b Using different Q-MS in '13-10-10' data and '13-12-26' data

^c MDL: Method detection limit

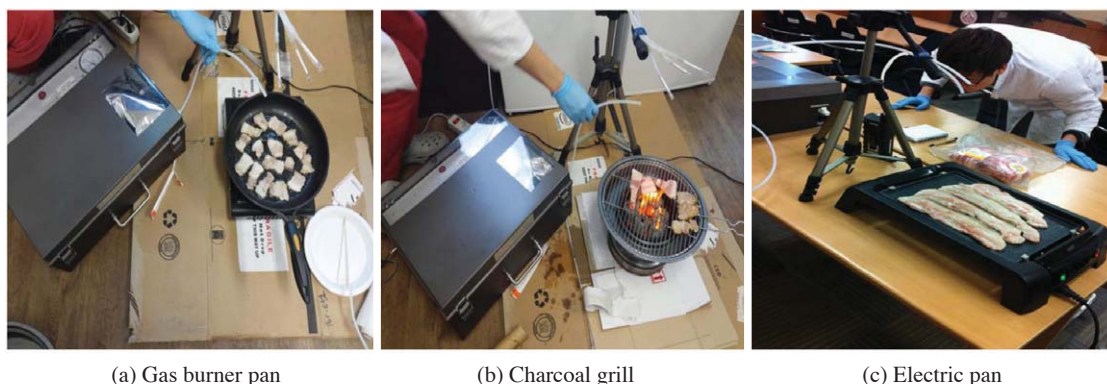


Fig. 1. Illustration of gas sampling system from cooking of pork belly meat.

Table 2. Information of target sample codes used for cooking Kor pork belly meat between three different cooking methods in this study.

Order	Roasting approach	Sample code	Weight (g)	Cooking status	Sampling date
1	Gas burner pan	G	200	Well done	8-Oct-13
2	Charcoal grill	C	"	"	"
3	Electric pan	E	"	"	26-Dec-13

Charcoal-grill (C)은 소형화로에 불을 붙인 솥에 야외에서 자주 사용하는 철재로 만든 Grill을 사용하였다. (3) 마지막으로 전기를 이용하여 조리할 수 있도록 제작한 Electric Pan (E)를 이용하여 실험재료를 조리하였다(그림 1). (1)과 (3)에 비해, (2)의 경우 고기의 육즙이 솥불에 직접 접촉할 수 있으므로 상대적으로 오염에 노출될 가능성이 가장 크다고 예측할 수 있다. 조리 기구인 Gas burner-pan, Charcoal-grill, Electric Pan으로 채취한 조사대상기체 시료들은 각각 G, C, E로 약식코드로 명명하였다. 시료는 각각의 도구로 삼겹살을 굽기 시작한 시점으로부터 10분 후, 조리기구 상단 30 cm 높이에서 연기시료를 채취하였다. 사용한 고기의 무게 및 시료채취일 등에 대한 자세한 정보를 표 2에 정리하여 제시하였다. 시료 채취는 성분별에 따라 두 가지 방법으로 진행하였다. 먼저, VOC, CC 계열의 성분을 분석하기 위해 lung sampler를 이용하여 총 10 L Polyester aluminum bag (PEA bag; TOP Trading Eng., Korea)에 유속 $5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 으로 10 L의 기체시료를 채취하였다. 동시에 PAH 계열의 성분을 채취하기 위해, 석영솥을 채운 석영튜브 (Quartz tube: QT)에 펌프(MP- Σ 300, Sibata,

JAPAN)를 연결하여, 일정한 유속 ($1.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$)의 음압으로 20분간 총 30 L의 시료를 직접 흡착 채취시켰다. 채취한 시료들은 검출하는 성분별에 따라 적절한 전처리 과정을 거친 후 분석하였다.

2.2 발생특성 물질들의 기기분석 방법

삼겹살 구이로부터 발생하는 유해물질 중 환경부에서 지정악취성분으로 관리하는 성분들은 아래에 설명을 제시한 바와 같이 악취방지법 상의 측정법을 기반으로 측정하였다. CC 성분들은 HPLC 분석법에 그리고 VOC 및 PAH 성분들은 GC-MS 분석법에 기반하여 분석하였다. 이 때 동시에 측정이 가능한 성분들도 참고성분으로 동시에 정량관측을 실시하였다.

2.2.1 HPLC기기를 이용한 CC 분석 방법

지정악취물질 중 5개의 성분과 그 외 다섯 가지의 참고성분을 포함하는 총 10종의 CC 계열 성분들의 경우, HPLC-UV시스템을 이용하여 분석하였다. 전처리 과정으로 시료들의 DNPH 유도화를 위해 DNPH- cartridge sampler (TOP Trading, Korea)로 흡수하였다. 이들 시료는 다시 Acetonitrile (99.9%, J.T. Baker, USA)

으로 용출 단계를 거쳤다. 시료 흡수 시 불순물의 간섭을 최소화하기 위해, 요오드화 칼륨(KI)으로 충전한 Ozone scrubber (TOP Trading, Korea)로 여과하였다. HPLC전용 펌프(Spectra System P4000, Thermo Scientific)를 이용하여, 이동상의 압력을 조절하여 노이즈(noise)를 최소화하였다. 이동상 용액은 70% acetonitrile (acetonitrile : water=7 : 3)으로 사용하였으며, ZORBAX Extend-C18 column (4.6×250 mm, 5 µm)에 유량 1.5 mL·min⁻¹으로 설정하였다. 분석대상 CC성분들은 UV검출기로 유도체의 감응도가 가장 이상적인 360 nm에서 검출하였다.

2.2.2 Q-MS 기기를 이용한 VOC 분석 방법

VOC 계열 중 지정악취물질로 선정한 11가지의 성분과 3개의 참고성분을 포함한 총 14가지 물질을 GC-MS분석 방식에 기반을 두어 정량하였다. 제조한 작업용 표준시료와 또는 조사대상 기체시료는 3단 고체흡착관 (Sorbent tube: ST, Tenax TA+Carbopack B+Carbopack X (in quartz))에 흡착을 유도하였다. 전처리 장비인 저온농축탈착시스템 (Thermal desorber (TD), Unity, Markes International, Ltd, UK)과 Gas Chromatography (GC-2010, Shimadzu, Japan) - Mass spectrometer (GC MS-QP2010, Shimadzu, Japan)를 조합하여, ST에 흡착한 시료를 분석하였다. TD기기 내부에 Cold Trap (CT, Carbopack B+Carbopack C) 장치를 -10°C에서 시료의 저온농축을 유도한 후, 320°C에서 10분간 열탈착한 다음 GC column으로 이동시켰다. Oven은 초기온도를 40°C로 4분간 유지하였다가 5°C·min⁻¹으로 220°C까지 승온 후 다시 3분간 유지하는 분석방식으로, 총 40분으로 분석주기에 맞추어 분석을 진행하였다. CP-Wax column ((1) diameter: 0.25 mm, (2) length: 60 m, (3) film thickness: 0.25 µm)을 통해 분리한 시료들은 Q-MS를 통해 최종적으로 검출하였다.

2.2.3 TOF-MS기기를 이용한 PAH 분석 방법

본 연구에서는 13종의 PAH 계열을 선정하여 검량 자료를 도출하였다. PAH 성분들은 환경대기 중에 분포하는 양이 매우 적고 고분자성분들은 주로 입자상에 존재한다. 본 연구에서는 VOC 분석에 맞추어 소량의 시료를 채취하는 실험구성조건을 고려하여, 단순히 열탈착분석이 용이한 기체상 PAH의 분석에 주력하였다. PAH 성분들은 대부분 높은 분자량을 가지고 있으며 끓는점도 높으므로 Tenax와 같은 일반적

인 흡착제를 사용하여 분석하는 것이 곤란하다.

흡착한 시료의 탈착을 쉽게 유도할 수 있게끔 앞서 언급한 QT를 특수 제작하여 시험에 사용하였다. 본 연구에서는 기체상 영역의 PAH를 주 분석대상으로 설정하고, QT에 30 L의 시료를 직접 흡착하였다. 전처리 과정으로 TD장비를 사용하였으며, TOF-dx MS (TOF-MS: Markes International, Ltd., UK)장비를 연동시켜 분석을 진행하였다. TD내부의 ST도 QT와 비슷하게 Quartz wool+Carbopack C로 제작하여 사용하였다. 20°C에서 ST에 시료를 흡착하였으며, 탈착 시 350°C로 온도를 10분간 유지하였다. 또한, TS에서 GC로 시료이동을 원활하게 하도록 Flow path line의 온도를 215°C로 설정하였다. DB-5 column (diameter: 0.25 mm, Length: 30 m, film thickness: 0.25 µm)을 통해 시료를 분리하였다. 이를 위해, Oven은 초기에 80°C로 5분간, 20°C·min⁻¹으로 320°C까지 승온 후 10분간 총 27분으로 분석 주기를 설정하였다. 분석에 사용한 모든 분석장비의 세부적인 분석방법은 표 3에 제시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 구이방식에 따른 냄새의 특성

3.1.1 STD로 정량한 Target 성분

본 연구에서는 조사대상으로 설정한 삼겹살을 구이방식에 따라 조리 시 발생하는 VOC 및 냄새물질들의 배출특성을 파악하고자 하였다. 분석대상 성분에 맞추어 시료채취 방법, 전처리 및 분석장비를 최적의 조건으로 선택하여 정량, 정성분석을 하였다. 최초 조사대상 성분들의 농도는 몰분율 (ppb) 단위로 산출하여 비교 분석하였다 (표 4). 성분들은 분석장비에 따라 CC, VOC, PAH 계열로 구분하였으며, 계열별로 유사한 발생특성을 확인할 수 있었다. C시료는 다른 시료에 비해 유해물질들이 전반적으로 높은 수치들이 나타났다. PAH 계열 중 PYR, PHN, FLT 성분이 C시료에서 402, 245, 196 ppb으로 높게 발생하였다. G시료에서 FLT, ANT 성분이 12.3, 11.7 ppb로 다른 성분에 비해 상대적으로 높은 수치로 나타났다. E시료는 연구실의 기기점검 등과 관련한 문제로 PAH 계열의 성분들에 대한 측정을 하지 않았다. PAH 계열은 석탄, 석유 등과 같은 화석연료의 사용 및 쓰레기 등의 불완전 연소로 발생하여, 자연계에 상당량이 존재한

Table 3. Operation conditions of HPLC, TD/GC/Q-MS, and TD/GC/TOF-MS system for the analysis of target compounds (VOC, CC, and PAH) in this study.

(A) Laboratory condition

Sample ID	Temp °C	mVol (1 atm) L/mole
Lab	25	24.5

(B) Operational conditions of HPLC system for CCs analysis

Pump (SPECTRA SYSTEM P4000, Thermo Scientific)

Column: ZORBAX Extend-C18, 4.6 × 250 mm, 5 μm (Agilent Technologies)

Mobile phase 70 : 30

(Acetonitrile : H₂O)

Injection volume : 20 μL

Flow rate : 1.5 mL/min

Detector (SPECTRA SYSTEM UV2000, Thermo Scientific)

Analysis time : 16 min

Wavelength : 360 nm

(C) Operational conditions of TD/GC/Q-MS system for VOCs analysis

GC (SHIMADZU GC-2010, JAPAN), MS (SHIMADZU GCMS-QP2010, JAPAN)

Column: CP Wax (diameter: 0.25 mm, Length: 60 m, film thickness: 2.5 μm)

1) Oven setting

Oven temp : 40 °C (4 min.)

Oven rate : 5 °C min⁻¹

Max oven temp : 220 °C (3 min.)

Total time : 40 min

Carrier gas : He (99.999%)

2) Detector setting

Ionization mode : EI (70 eV)

Ion source temp : 230 °C

Interface temp : 230 °C

TIC scan range : 35 ~ 600 m/z

TD (UNITY, Markes International, Ltd., UK)

Cold trap : Carbo-pack C+Carbo-pack B

Split ratio : 1 : 10

Split flow : 5 mL/min

Hold time : 10 min

Trap low : -10 °C

Trap high : 320 °C

Flow path temp : 180 °C

Sampling Tube

Absorbent : TenaxTA+Carbo-pack B+Carbo-pack X (in quartz)

Desorb time : 5 min

Desorb flow : 100 mL min⁻¹

Desorb temp : 300 °C

¹TD (UNITY, Markes International, Ltd., UK)

(D) Operational conditions of TD/GC/TOF-MS system for PHAs analysis

GC (Agilent 7890), MS (Bench TOF-dx)

Column: DB-5 (Length: 30 m, Diameter: 0.25 mm, and Film thickness: 0.25 μm)

1) Oven setting

1st oven temp : 80 °C (5 min.)

1st oven rate : 20 °C min⁻¹

2nd oven temp : 320 °C (10 min.)

Total time : 27 min

Carrier gas : He (99.999%)

Column flow : 2.5 mL min⁻¹

2) Detector setting

Ionization mode : EI (70 eV)

Ion source temp : 230 °C

Interface temp : 230 °C

TIC scan range : 35 ~ 600 m/

Table 3. Continued.

Thermal desorber (Unity, Markes, International Ltd., UK)				
Cold trap :	Quartz wool+Carbopack C (volume ratio=1 : 1)			
Split ratio :	1 : 2		Trap low :	20 °C
Split flow :	5	mL min ⁻¹	Trap high :	350 °C
Trap hold time :	10	min	Flow path temp :	215 °C
Sampling Tube				
Absorbent :	Quartz wool in empty quartz trap			
Desorb time :	10	min	Desorb temp :	350 °C
Desorb flow :	100	mL min ⁻¹		

다 (Rojo Camargo and Toledo, 2003). 또한, 지방함량이 높은 식품에 많이 존재하며, 일반적으로 지방함량이 낮은 생식품을 굽거나 튀김, 볶음 등의 조리 및 가공을 하였을 때, PAH 계열의 수치가 높아지는 것으로 나타난다 (Phillips, 1999). 커피를 볶는 과정에서 20분간 7개의 시간대를 설정 후, PAH 계열의 성분들의 발생특성을 HPLC 방식으로 분석한 결과를 살펴보면, PHN, PYR, BAA, BAP 성분이 각각 8.39~17.37, 3.27~53.05, 0.2~12.67, 0.2 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 나타났다 (Houessou *et al.*, 2008). 그리고 참깨를 25분간 볶는 과정 중에서도 BAA, BBF, BAP 성분이 각각 0.91~1.14, 0.15~0.17, 0.10~0.14 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 수준으로 발생하는 것으로 나타났다 (Seo *et al.*, 2009). 커피와 참깨 같이 볶아주는 음식의 경우, 볶는 시간이 지날수록 PAH 계열의 성분들의 발생량이 증가한다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서도 삼겹살을 굽는 과정 중에서 PAH가 나타나는 것으로 확인하였다. C시료에서 높은 수치로 나타나는 요인으로 삼겹살을 고온으로 조리 시 삼겹살에서 나오는 육즙이 석쇠 아래로 떨어져 달구어진 숯불에 직접접촉 시 화학분해로 인해 다량 발생하는 것으로 설명할 수 있다. PAH계열은 발암성과 돌연변이성을 지니고 있으며 인체에 위험한 성분들로 분류하고 있다 (Baan *et al.*, 1994).

CC 계열은 다른 성분들에 비해 높은 농도의 분포를 차지하고 있다. FA (G: 53.1, C: 516 ppb), AA (G: 72.9, C: 210, E: 16.3 ppb), AL (G: 19.4, C: 140 ppb) 성분들이 각각의 시료에서 높은 수치로 나타났다. 환경 대기 중의 CC는 일반적으로 FA와 AA 성분이 가장 고농도로 분포하는 것으로 알려졌다 (Muller, 1997; Williams *et al.*, 1996). 그리고 이들 성분이 실내에 존재할 경우, ppb 단위의 낮은 농도에도 건강에 해로운

영향을 미칠 수도 있다 (Horvath *et al.*, 1988). 본 연구와 유사하게 DNPH 유도체 및 HPLC 장비를 이용하여 5종의 멸치액젓을 분석한 선행연구결과를 보면, 이런 음식류에도 FA, AA, AT 성분들이 적정 수준 존재하는 것을 알 수 있다 (Chang and Rhee, 1985). 이들의 연구에 의하면, 상기 성분들이 각각 0.49~6.04, 3.07~6.93, 1.29~35.4 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 수준으로 검출되었다. 따라서 주위환경에서 쉽게 발생하는 CC 계열의 성분들을 식물을 이용하여 제거하는 방법에 대한 연구가 필요한 상태이다 (Kil *et al.*, 2008).

VOC 계열의 성분들은 C시료의 B (543 ppb), T (94.8 ppb), S (28.5 ppb)를 제외하고 전반적으로 낮은 수치로 나타났다. 청국장을 끓이면서 발생하는 VOC 계열의 성분을 GC-MS 장비를 이용하여 분석한 사례를 살펴보면, B, T, IVA 성분이 각각 0.94, 13.1, 166 ppb로 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 음식에서도 일부 해로운 VOC 계열의 성분들이 과다하게 발생 가능하다. 따라서 구이방식과 같은 음식 조리 시 인체에 피해를 최소화하기 위해 적절한 환기를 하는 부분에 대해 주의할 필요가 있다 (Ahn *et al.*, 2013). 본 실험의 분석결과는 그림 2에 직접 비교할 수 있다.

3. 1. 2 ECN방식으로 정량한 Non-target 성분

본 연구에서는 조사대상시료를 GC/MS시스템을 이용하여 작업용 표준시료를 확보하기가 어려운 성분들을 Non-target 성분들로 분류하였다. 이들의 경우, ECN (Effective Carbon Number) 이론 (Szulejko *et al.*, 2013)을 적용하여 농도를 정량적으로 추정하였다. Target 성분을 정량 시 사용하였던 작업용 표준시료에 대한 감응계수를 ECN 방식을 이용하여 미지시료에 대한 감응계수를 산출하였다 (Kim and Kim, 2013).

Table 4. Concentration of target compounds measured between three types of cooking methods: concentration in ppb unit.

Order	Group	Compound	G	C	E
A. Target compound					
1	Carbonyl compounds (CC)	FA	53.1	516	<u>0.20</u>
2		AA	72.9	210	16.3
3		PA	<u>0.28^a</u>	33.6	0.38
4		BA	6.72	31.8	1.41
5		IA	<u>0.27</u>	<u>0.27</u>	<u>0.17</u>
6		VA	<u>0.28</u>	<u>0.28</u>	<u>0.18</u>
7		AL	14.7	140	<u>0.17</u>
8		AT	19.4	18.5	12.2
9		CA	<u>0.26</u>	37.8	<u>0.16</u>
10		BZA	<u>0.26</u>	<u>0.26</u>	<u>0.16</u>
11	Volatile organic compounds (VOC)	MEK	<u>0.10</u>	15.9	<u>0.04</u>
12		MIBK	2.77	<u>0.07</u>	<u>0.03</u>
13		BuAc	0.23	<u>0.06</u>	<u>0.02</u>
14		i-BuAl	<u>0.11</u>	<u>0.11</u>	<u>0.03</u>
15		B	3.64	543	<u>0.05</u>
16		T	7.35	94.8	<u>0.03</u>
17		p-X	0.38	2.62	<u>0.03</u>
18		m-X	0.65	3.53	<u>0.02</u>
19		o-X	0.30	8.30	<u>0.02</u>
20		S	0.30	28.5	<u>0.02</u>
21		PPA	<u>0.88</u>	15.3	0.34
22		BTA	5.95	11.1	2.43
23		IVA	<u>0.23</u>	<u>0.23</u>	<u>0.02</u>
24		VLA	0.29	7.15	<u>0.03</u>
25	Poly aromatic hydrocarbon (PAH)	NAP	1.15	16.5	—
26		ACL	2.21	22.2	—
27		ACN	<u>1.34</u>	<u>1.34</u>	—
28		FLR	<u>1.41</u>	28.0	—
29		PHN	9.14	245	—
30		ANT	11.7	65.6	—
31		FLT	12.3	196	—
32		PYR	8.63	402	—
33		BAA	<u>1.68</u>	<u>1.68</u>	—
34		CHY	<u>1.48</u>	<u>1.48</u>	—
35		BBF	<u>3.44</u>	<u>3.44</u>	—
36		BKF	<u>1.88</u>	<u>1.88</u>	—
37		BAP	<u>26.3</u>	<u>26.3</u>	—
B. Reference compound^b					
1	etc.	1-Hexene	<u>0.06</u>	214	—
2		1-Heptene	<u>0.04</u>	106	—
3		Propanone	48.5	172	—
4		1-Octene	<u>0.03</u>	39.1	—
5		2-Propenal	<u>0.31</u>	366	—
6		Ethyl acetate	9.77	<u>0.11</u>	—
7		n-Hexanal	2.59	78.2	—
8		Heptanal	<u>0.04</u>	54.5	—
9		Octanal	<u>0.03</u>	18.5	—
10		n-Nonanal	0.57	27.3	—
11		Ethanoic acid	314	768	—
12		2-Decenal	<u>0.02</u>	11.6	—
13		2,5-dimethyl-2,5-Hexanediol	1.01	28.2	—

^a The underlined values imply below detection limit (BDL) of each sample in each analysis

^b Reference compound was selected if concentration is above 0.3 ppb or detected from more than two samples

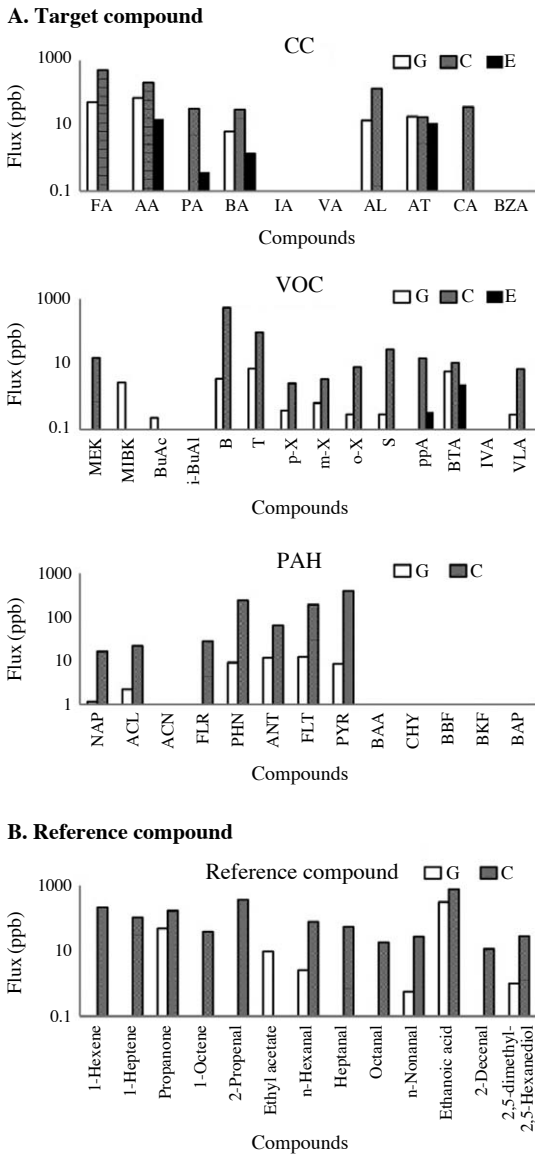


Fig. 2. Concentration of target compounds determined from gas samples collected during cooking of pork belly meat: comparison between different cooking methods (G, C, and E).

산출한 감응계수를 바탕으로 계산한 물질(ppb) 농도의 수치를 산출하였다(표 4). Kim *et al.* (2013)의 참고논문에서 ECN 방식을 체계적으로 사용한 내용을 확인할 수 있다.

Non-target 성분은 G와 C시료에서만 산출하여 비

교해 보았다. E시료는 구이 시 Electric Pan에는 전기 온도 센스에 의해 일정한 온도를 유지하므로 조리재료들이 타는 것을 방지하는 점에 특화하였다. 또한, 조리 시 발생하는 Non-target 성분이 거의 나타나지 않을 것으로 파악하여 산출하지 않았다. 결과치는 Target 성분과 비슷한 경향성을 보였다. G와 C시료는 거의 2~3배 이상의 차이가 나는 수치로 나타났다. C시료에서 ethanoic acid (768 ppb), 2-propenal (366 ppb), 1-hexene (214 ppb) 성분이 대표적으로 가장 높은 농도를 기록하였다. 구이방식에 따라 성분의 농도 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

3. 2 CC, VOC 계열의 성분에 대한 악취강도 비교

기체상 시료를 LC와 GC시스템으로 분석하여 산출한 물질(ppb) 농도자료를 선행 연구에서 활용한 악취도환산식에 대입하여, 개별성분들의 악취강도(odor intensity=OI) 값을 기준으로 제시하였다(Nagata, 2003). Nagata의 변환식을 이용하여, PAH 계열의 성분을 제외한 CC, VOC 계열의 성분을 위주로 냄새에 영향을 주는 정도를 수치상으로 환산해 보았다. 24가지 성분에 대한 변환결과들을 표 5에 제시하였다. 검출한계 이하로 검출한 값들은 미산출(Not calculated: NC)로 표기하였다. OI 값은 사람이 후각적으로 냄새를 감지할 때, 영향을 미치는 성분들을 단순하게 비교하는데 용이하다.

전체적으로 개별 OI를 취합한 악취강도의 합(Sum of odor intensity; SOI)을 다음 식과 같이 산출하였다.

$$SOI = \text{Log}\{10^{OI(i)1} + 10^{OI(i)2} + 10^{OI(i)3} + \dots + 10^{OI(i)n}\} \quad (1)$$

(i: 24가지 성분들 중 시료에서 검출한 악취도)

SOI는 개별성분의 기여도를 지수 함수적으로 더해 주는 개념이므로, 결과적으로 가장 기여도가 큰 성분의 효과를 극대화하여 보여주는 특성이 있다. OI수치가 2.5 이상을 상대적으로 높은 수치로 임의적인 기준을 잡았을 때, C시료에서는 VLA (3.90), BTA (3.85), AA (3.16), BA (2.83)가, G시료는 BTA (3.50), AA (2.70)가, E시료는 BTA (3.00)가 높게 나타났다. AA의 농도는 72.9(G), 210(C), 16.3(E) ppb로 높게 나타났고, OI로 전환했을 때도 높은 수치를 기록하였다. 그러나 BTA 같은 성분의 경우 5.95(G), 11.1(C), 2.43(E) ppb

Table 5. Odor intensity (OI) formula for each VOC, CC, and PAH and the resulting OI values.

Order	Group	Compound	OI formula*	G	C	E
1		FA	$Y=1.530\log X+1.59$	-0.36	1.15	NC ^a
2		AA	$Y=1.010\log X+3.85$	2.70	3.16	2.05
3		PA	$Y=1.010\log X+3.86$	NC	2.37	0.41
4		BA	$Y=0.900\log X+4.18$	2.22	2.83	1.62
5	Carbonyl compounds (CC)	IA	$Y=1.350\log X+6.01$	NC	NC	NC
6		VA	$Y=1.360\log X+5.28$	NC	NC	NC
7		Acrolein	$Y=1.510\log X+3.30$	0.53	2.01	NC
8		Acetone	$Y=1.790\log X-1.64$	-4.70	-4.74	-5.07
9		CA	NA			
10		BZA	NA			
11		MEK	$Y=1.850\log X+0.149$	NC	-3.18	NC
12		MIBK	$Y=1.650\log X+2.27$	-1.95	NC	NC
13		BuAc	$Y=1.140\log X+2.34$	-1.81	NC	NC
14		i-BuAl	$Y=0.790\log X+2.53$	NC	NC	NC
15		B	NA			
16	Volatile organic compounds (VOC)	T	$Y=1.400\log X+1.05$	-1.94	-0.38	NC
17		p-X	$Y=1.570\log X+2.44$	-2.93	-1.61	NC
18		m-X	$Y=1.460\log X+2.37$	-2.28	-1.21	NC
19		o-X	$Y=1.660\log X+2.24$	-3.61	-1.21	NC
20		S	$Y=1.420\log X+3.10$	-1.90	0.91	NC
21		PPA	$Y=1.380\log X+4.60$	NC	2.09	-0.19
22	BTA	$Y=1.290\log X+6.37$	3.50	3.85	3.00	
23	IVA	$Y=1.090\log X+5.65$	NC	NC	NC	
24	VLA	$Y=1.580\log X+7.29$	1.70	3.90	NC	
		SOI		3.59	4.25	3.06

* Refer to Nagata (2003); X: concentration (ppm), Y: odor intensity

^aNC: Not calculated

으로 비교적 낮은 농도를 기록하였지만, OI 값으로 산출하였을 때 상대적으로 높은 수치를 기록하였다. 즉 발생성분들의 농도와 실제로 후각에 영향을 끼칠 부분은 성분들의 경향성에서 어느 정도 차이를 확인하였다. 개별시료의 OI를 포괄적으로 취하여, SOI로 전환할 경우 $G=3.59$, $C=4.25$, $E=3.06$ 으로서 예상과 같이 C시료가 가장 높은 결과를 기록하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 한국을 대표하는 음식의 하나로 손꼽히는 삼겹살 구이를 조리기구(또는 구이방식)에 따라 발생하는 냄새물질의 차이를 비교 조사하였다. 보다 많은 사람이 선택하여 사용하는 두 가지 조리방식(Gas burner-pan, Charcoal-grill)과 다른 조리기구보다 구이기능에 특화된 전기조리기구(Electric Pan)을 선

택하여 비교분석을 하였다. 여러 가지 구이방식 중 숯불방식으로 구이할 때, VOC 및 냄새물질이 현저하게 높은 수준으로 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 삼겹살을 숯불구이방식으로 조리할 경우, PAH 계열의 성분들도 가장 고농도로 나타났다. Charcoal-grill 방식은 삼겹살을 굽는 주 화력으로 숯을 사용하는데, 숯에 떨어진 육즙이 기화하면서, 다량의 PAH 계열의 성분이 방출하는 것으로 나타났다. 또한, 방출한 CC, VOC 계열의 농도로부터 냄새물질들의 OI 값을 산출한 결과, 주요 냄새 성분들의 농도와 이들이 사람의 후각에 미치는 영향을 파악할 수 있었다. 그리고 SOI 값을 기준으로 모든 결과를 비교했을 때 Charcoal-grill 방식이 가장 큰 SOI 값을 기록하는 것을 확인하였다. 본 연구는 조리방식에 따라 오염물질의 배출농도를 정량적으로 제시하고자 하였다. 그러나 조리방식, 음식물의 양, 열의 강약, 채취방식 등과 같은 변수에 의해 결과가 달라질 수 있으므로 절대적인 농도에 의미를 두

기 어려울 수 있다. 그러나 상대적인 경향에서 조리 방식에 따른 결과의 차이가 뚜렷하게 나타나는 점을 감안할 때, 이러한 비교분석에 중요한 의미를 발견할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 결과 Charcoal-grill를 이용하여 삼겹살을 조리하는 것보다 삼겹살 또는 고기 육즙이 직접 불에 닿지 않는 팬 방식의 조리가 오염물질의 발생을 현저히 낮출 수 있다는 것을 확인하였다. 앞으로 위의 실험과 같이 센서를 통해 전기의 흐름을 조절하여 팬의 열을 자동으로 조절해주는 Electric Pan과 같이 진일보한 구이 기술을 더 확장 적용할 경우 사람들의 식생활에서 오염물질의 노출을 줄여주는 데 도움을 줄 것이란 점을 예측할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (과제번호 2009-0093848).

References

- Ahn, J.H., K.H. Kim, Y.H. Kim, and B.W. Kim (2013) Comparison of different collection methods for the environmental samples when cooking the old Korean style soy-bean soup (Cheonggukjang), *J. Korean Soc. Odor Res. Eng.*, 12(4), 157-167.
- Baan, R.A., M.J. Steenwinkel, P.T. van den Berg, R. Roggeband, and J.H. van Delft (1994) Molecular dosimetry of DNA damage induced by polycyclic aromatic hydrocarbons; relevance for exposure monitoring and risk assessment, *Hum. Exp. Toxicol.*, 13, 880-887.
- Chang, P.K. and H.S. Rhee (1985) Separation and Quantitative Determination of Carbonyl Compounds in the Filtered Myulchichuts by HPLC, *Korean J. Nutr.*, 18(3), 198-193.
- Horvath, E., H. Anderson, W. Pierce, L. Hanarahan, and J. Wendlick (1988) Effects of formaldehyde on mucous membrane and lungs: A study of an industrial population, *J. Amer. Med. Assoc.*, 259, 701-707.
- Houessou, J.K., D. Goujot, B. Heyd, and V. Camel (2008) Modeling the formation of some polycyclic aromatic hydrocarbons during the roasting of Arabica coffee samples, *J. Agr. Food Chem.*, 56, 3648-3656.
- Jung, H.Y. and E.R. Jeon (2011) Preference for Korean Food and Satisfaction of Dormitory Foodservice by Chinese Students Studying at Mokpo National University, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 40(2), 283-289.
- Kil, M.J., K.J. Kim, J.K. Cho, and C.H. Park (2008) Formaldehyde Gas Removal Effects and Physiological Responses of *Fatsia japonica* and *Epipremnum aureum* according to Various Light Intensity, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 26(2), 189-196.
- Kim, E.H., G.O. Lee, and W.K. Lee (2012) Study on the Registration Strategy of World Intangible Cultural Heritage in the Korean Food, *Kastm*, 27(5), 41-74.
- Kim, Y.H. and K.H. Kim (2013) A statistical estimation approach for quantitative concentrations of compounds lacking authentic standards/surrogates based on linear correlation between directly measured detector responses and carbon number of different functional groups, *The Scientific World Journal*, 2013, Article ID 241585.
- Kim, Y.H., K.H. Kim, J.E. Szulejko, and D. Parker (2013) Quantitative Analysis of Fragrance and Odorants Released from Fresh and Decaying Strawberries, *Sensors*, 13, 7939-7978.
- Korean National Commission for UNESCO (2010) Series of UNESCO the creative cities.
- Korea Tourism Organization (2012) International visitor survey.
- Lee, J.K. and K.S. Yoon (2011) A Study of Adult's Consumption of Cooked Food with High Heat, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 40(2), 290-307.
- Lee, S.J. and K.H. Lee (2011) Understanding the Perceptions and Service Quality of Korean Foods: A Comparative Cross-cultural Study of International Tourists Visiting Korea, *Kocon. A*, 11(10), 467-478.
- Muller, K. (1997) Determination of aldehydes and ketones in the atmosphere-a comparative long time study at an urban and a rural site in eastern Germany, *Chemosphere*, 33, 2093-2106.
- Nagata, Y. (2003) Measurement of odor threshold by triangle odor bag method, *Odor Measurement Review*, MOE, Japan, 118-127.
- Phillips, D.H. (1999) Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet, *Mutat. Res.*, 443, 139-149.
- Rojo Camargo, M.C. and M.C.F. Toledo (2003) Polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian vegetables and fruits, *Food Control*, 14, 49-53.
- Seo, I.W., H.j. Nam, and H.S. Shin (2009) Influence of Poly-

- cyclic Aromatic Hydrocarbons Formation in Sesame Oils with Different Roasting Conditions, Korean J. Food Sci. Technol., 41(4), 355-361.
- Szulejko, J.E., Y.H. Kim, and K.H. Kim (2013) Method to predict gas chromatographic response factors for the trace-level analysis of volatile organic compounds based on the effective carbon number concept, J. Sep. Sci., 36, 3356-3365.
- Williams, I.D., D.M. Revitt, and R.S. Hamilton (1996) A comparison of carbonyl compound concentrations at urban roadside and indoor sites, Sci. Total Environ., 189, 475-483.