

로스팅 정도에 따른 원두커피의 벤조피렌 함량 연구

- 연구노트 -

김상은 · 김종환 · 이상원 · 이문조[†]

(주)희창유업 기술연구소

A Study of Roasting Conditions on Benzo[a]pyrene Content in Coffee Beans

Sang Eun Kim, Jong Hwan Kim, Sang Won Lee, and Moon Jo Lee[†]

Dept. of Technical Research Center, Heechang Dairy Food Co. Ltd., Gyeongnam 626-230, Korea

Abstract

Benzo[a]pyrene, a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) whose metabolites are mutagenic and highly carcinogenic, is listed as a Group 1 carcinogen by the IARC. In this study, Arabica and Robusta green coffee beans were roasted under controlled conditions and the formation of benzo[a]pyrene during the roasting process was monitored. The concentration of benzo[a]pyrene in ground coffee and brewed coffee were determined by a HPLC-fluorescence detector. The limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) of benzo(a)pyrene were 0.03 and 0.09 µg/kg, respectively. Benzo[a]pyrene was only detected in the dark roast of ground coffee, with a concentration ranging from 0.147~0.757 µg/kg. The content of benzo[a]pyrene in Ethiopia Mocha Harrar G4 is the highest (0.757 µg/kg).

Key words: benzo[a]pyrene, coffee bean, roasting, polycyclic aromatic hydrocarbons

서 론

다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)는 2개 이상의 벤젠고리 구조를 가진 화합물로서 200여종의 유도체 화합물들이 알려져 있으며(1,2), 자연계에 폭넓게 분포되어 있고 물에 잘 용해되지 않기 때문에 토양, 퇴적물, 대기 중의 입자들과 결합하여 장기간 존재한다(3). PAHs는 내분비계장애물질이면서 또한 발암가능물질로 위해평가를 위한 우선순위 목록에 포함되어져 있는데, US EPA(United States Environmental Protection Agency)에서는 PAHs 중 우선대상물질로 16종을 선정하였고 IARC(International Agency for Research on Cancer)와 IRIS(Integrated Risk Information System)에서는 PAHs에 대해 위해성 확인평가를 위해 발암등급을 4등급으로 분류하고 있으며 발암등급 분류는 Table 1과 같다(4).

다양한 PAHs 중 인체발암물질로 가장 잘 알려진 benzo[a]pyrene(B[a]P)은 황색의 결정체로 구조식, 물리·화학적 성질은 Table 2에 나타내었다. B[a]P은 체내에 유입되면 산화되어 독성을 나타내며(5) 장기 노출 시 폐암(6), 위암, 피부암, 췌장암, 대장암, 유방암(7) 등을 유발할 수 있어 WHO/IARC에서는 B[a]P을 Group 1(인체 발암물질)로 분류하고 있다(8). 일반적으로 PAHs는 한 종류의 화합물보다는 여러 개의 PAHs 화합물이 섞여서 나타나는데 벤조피렌을 포함

한 PAHs 화합물들은 주로 300~600°C 사이 온도에서 화석 연료나 식물 등의 유기물이 불완전연소 될 때 생성된다. 주된 오염원은 콜타르, 자동차배출가스, 담배연기 등이며, 환경오염으로 인해 농산물, 어패류 등 조리, 가공하지 않은 식품에도 존재하고(9-11) 식품의 조리, 가공 시 식품의 주성분인

Table 1. Classification of EPA 16PAHs

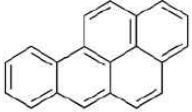
No.	PAHs	IARC ¹⁾	IRIS ²⁾
1	Naphthalene	2B	D
2	Acenaphthylene	2B	D
3	Acenaphthene	3	D
4	Fluorene	3	D
5	Phenanthrene	3	D
6	Anthracene	3	D
7	Fluoranthene	3	D
8	Pyrene	3	D
9	Benzo(a)anthracene	2B	B2
10	Chrysene	2B	B2
11	Benzo(b)fluoranthene	2B	B2
12	Benzo(k)fluoranthene	2B	B2
13	Benzo(a)pyrene	1	B2
14	Dibenzo(a,h)anthracene	2A	B2
15	Benzo(g,h,i)perylene	3	D
16	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	2B	B2

¹⁾Group 1: carcinogenic to human, Group 2A: probably carcinogenic to human, 2B: possibly carcinogenic to human, Group 3: not classifiable as to its human.

²⁾Group B2: probable human carcinogen, Group D: not classifiable as to human carcinogenicity.

[†]Corresponding author. E-mail: lmj@heechang.co.kr
Phone: 82-55-911-3070, Fax: 82-55-912-1212

Table 2. Chemical structure and properties of benzo[a]pyrene

Structure	Benzo[a]pyrene
Structure	
IUPAC name	benzo[a]pyrene, 1,2-benzopyrene
CAS No.	50-32-8
Molecular formula	C ₂₀ H ₁₂
Molecular weight	252.31
Melting point (°C)	179~179.3
Boiling point (°C)	310~312

탄수화물, 단백질, 지질 등이 분해되어 생성되기도 한다(12).

커피는 쓴맛, 신맛, 구수한 맛 등이 조화되어 전 세계적으로 가장 널리 음용되고 있는 대표적인 기호음료 식품으로 arabica 종, robusta 종, liberica 종으로 나눌 수 있다. 커피 고유의 맛과 향은 생두의 산지 기후 및 특성과 커피 생두를 배전하는 과정 동안의 배전 온도, 시간에 따라 결정된다(13). 따라서 원두커피는 생두를 볶는 과정에서 고온의 배전 과정을 거치는 커피 제조공정을 감안할 때 벤조피렌이 생성될 가능성이 있어 최근 다양한 연구가 진행되고 있다(14-18). 이에 본 연구에서는 커피의 종류와 배전조건에 따른 원두커피와 원두커피 커피추출액의 벤조피렌 함량을 조사하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

생두는 Arabica 종으로 Colombia supremo, Brazil Santos No.2를 사용하였고 Robusta 종으로 Ethiopia mocha harrar G4, Indonesia robusta를 대형마트에서 구입하여 시료로 사용하였다. 표준물질인 B[a]P과 내부표준물질인 3-methylcholanthrene(3-MC)은 Supelco사(Bellefonte, PA, USA) 제품을 사용하였다. 정제에 사용된 카트리지는 Agilent사(Wilmington, DE, USA)의 Mega BE-FL 6 mL였다. 그 밖에 사용된 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

생두 로스팅, 분쇄 및 추출

열풍식, 배치식 드럼로스터(Cafe Rosto Pro 1, IMEX, Seoul, Korea)를 사용하여 3단계(약배전: light, 중간배전: medium, 강배전: dark)로 배전하였으며, 약배전 조건은 210 °C에서 210초, 중간배전은 220°C에서 230초, 강배전은 230 °C에서 250초 동안 배전하였고, 배전이 끝난 모든 시료는 실온에서 충분히 냉각한 후 분쇄기(Caimano, ANFIM, Milano, Italy)를 이용하여 10도 분쇄하여 시료로 사용하였다. 원두커피의 추출은 커피메이커(Braun KF600, Praha, Czech)를 이용하여 추출하였고 일반적인 용법에 따라 분쇄시료 20 g을 취해 증류수 300 mL로 추출하여 실험에 사용하였다.

색도 측정

색도의 측정은 생두와 로스팅된 시료를 분쇄 후 Hunter 체계를 이용한 색도계(CR-300, Minolta, Tokyo, Japan)를 사용하여 명암도를 나타내는 L값(lightness), 적색도를 나타내는 a값(redness), 황색도를 나타내는 b값(yellowness)을 측정하여 평균값으로 나타내었다. 이때 사용한 standard color value는 L=96.28, a=0.08, b=1.80인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

표준용액 제조

B[a]P 0.1 g을 acetonitrile 100 mL에 녹여 이를 표준원액으로 하고 acetonitrile로 희석하여 0.1, 0.5, 1, 5, 10 µg/kg의 농도가 되도록 제조하여 검량선 작성에 사용하였다. 내부표준물질인 3-MC는 acetonitrile에 녹여 30 µg/kg으로 만들어 사용하였다.

검출한계와 정량한계

공시험 검체를 분석하여 noise signal의 3배와 10배가 되는 signal에 해당되는 농도가 포함되는 직선성 범위가 좋은 부분을 이용하여 검량선을 작성하여 검출한계(LOD)와 정량한계(LOQ)를 산출하였다.

$$\text{검출한계} = 3.3 \times \sigma/S$$

$$\text{정량한계} = 10 \times \sigma/S$$

이때 σ 는 반응의 평균표준편차이며, S는 기울기의 평균을 의미한다.

추출 및 정제, 벤조피렌 분석

추출 및 정제는 Jung 등(19)의 방법을 변형하여 사용하였다. 로스팅된 원두를 분쇄기로 분쇄한 분말 5 g을 cornical tube에 취한 후 증류수 10 mL을 넣고 30분간 방치한 후 1:1의 iso-octane/cyclohexane 19 mL와 30 µg/kg 3-MC 1 mL를 넣고 30분간 초음파(Ultrasonicator 2510, Branson, Danbury, CT, USA)로 추출하였다. 초음파로 추출한 시료를 3,000 rpm으로 10분간 원심분리(MF600, Hanil, Seoul, Korea) 하여 상층액을 이용하였다. 카트리지를 활성화 용매로 acetonitrile 5 mL를 사용하였고 활성화 한 카트리지에 원심분리 상층액 10 mL를 넣고 1:1 iso-octane/cyclohexane 15 mL로 카트리지를 씻어주면서 지방성분을 제거한 후 dichloromethane 6 mL로 용출시켰다. 용출된 액을 질소 농축기(Toyko Rikakikai, Toyko, Japan)를 이용해 40°C 이하에서 용매를 제거한 후 acetonitrile 1 mL로 정용하여 0.45 µm nylon syringe로 filter하여 HPLC(1200 series, Agilent Technology, Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다. 칼럼은 Zorbax Eclipse XDB-C18(4.6×250 mm, Agilent Technology), 검출기는 Agilent사의 Fluorescence Detector(Ex 294 nm, Em 404 nm)를 사용하였다. 이동상으로는 acetonitrile과 증류수를 사용하여 Table 3과 같은 조건으로 분석하였다. 로스팅된 원두커피 추출물에 대한 벤조피렌 함량 역시 동일한 방법으로 실험하였다.

Table 3. The analytical conditions of HPLC

Instrument	HPLC condition
Column	Zorbax Eclipse XDB-C18, 4.6×250 mm
Detector	Fluorescence detector Ex=294 nm, Em=404 nm
Flow rate	1.0 mL/min
Column temp.	32°C
Mobile phase	Acetonitrile : Distilled water (80:20)
Injection volume	20 µL

통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리간의 차이 유무를 one-way ANOVA(Analysis of Variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

색도 측정

산지별 원두의 배전 정도에 따른 색도 변화는 Table 4에 나타내었다. L값의 경우는 green bean 상태일 경우 Indonesia 원두가 50.42로 가장 높게 측정되었고 약배전 시 가장 높은 것은 31.95의 Ethiopia 종이였으며, 중배전에서는 28.39의 Indonesia 종이였다. 강배전 시에는 Brazil 종이 27.40으로 가장 높은 것으로 나타났으나 4종 모두 유의적인 차이는 없었다. 전체적으로 배전 조건이 강해질수록 원두의 L값은

Table 4. Hunter's color value of roasted coffee by different roasting condition

Samples	L	a	b	
CS ¹⁾	green bean	39.42±0.02 ^{2(a3)}	0.61±0.05 ^b	5.61±0.04 ^j
	light	30.31±0.00 ^h	4.64±0.03 ⁱ	3.99±0.03 ^h
	medium	27.58±0.02 ^d	2.11±0.70 ^{fg}	1.06±0.01 ^e
	dark	26.57±0.02 ^a	1.06±0.06 ^{cd}	0.11±0.04 ^b
BS	green bean	40.93±0.01 ^l	1.17±0.04 ^d	7.12±0.01 ^k
	light	29.99±0.01 ^g	3.78±0.06 ^h	2.36±0.02 ^f
	medium	28.17±0.01 ^e	1.80±0.01 ^{ef}	0.22±0.03 ^c
	dark	27.40±0.01 ^c	1.23±0.08 ^d	-0.22±0.00 ^a
EM	green bean	41.03±0.12 ^m	1.72±0.01 ^e	8.34±0.02 ^l
	light	31.95±0.18 ^j	5.29±0.08 ^j	5.03±0.06 ⁱ
	medium	27.39±0.01 ^c	1.82±0.09 ^{ef}	0.85±0.05 ^d
	dark	26.51±0.02 ^a	0.82±0.22 ^{bc}	0.03±0.02 ^b
IR	green bean	50.42±0.01 ⁿ	0.09±0.03 ^a	9.50±0.01 ^m
	light	31.71±0.01 ⁱ	4.57±0.04 ⁱ	3.84±0.02 ^g
	medium	28.39±0.05 ^f	2.25±0.03 ^g	0.85±0.02 ^d
	dark	27.27±0.01 ^b	1.26±0.02 ^d	0.03±0.04 ^b

¹⁾CS: Colombia supremo, BS: Brazil Santos No.2, EM: Ethiopia mocha harrar G4, IR: Indonesia robusta.

²⁾Results were expressed as the average of triplicate samples with mean±SD.

³⁾Values with different letters in the same column are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

감소하는 경향을 보였으며 이는 배전시간과 온도에 따라 감소한다는 결과(20)와 유사하게 나타났다. Hunter scale의 L값과 b값은 배전 조건이 강해질수록 Maillard 반응으로 인해 감소하는 경향을 보였고 a값은 약배전 시기까지는 증가하였다가 중, 강배전으로 배전 조건이 높아질수록 감소하는 결과를 보였는데 green(-)과 red(+)를 나타내는 a값은 배전에 의해 녹색이 적색으로 변하면서 증가하다가 배전 조건이 강할수록 감소하는 것을 알 수 있다.

원두커피중 벤조피렌 함량

커피 중의 벤조피렌의 검출한계는 공시험 검체를 분석하여 noise signal의 3배와 10배가 되는 signal에 해당되는 농도가 포함되도록 5개의 벤조피렌 표준용액을 제조하여 작성한 검량선의 상관계수 $r^2=0.999$ 이었으며 검출한계는 0.03 µg/kg이었고 정량한계는 0.09 µg/kg이었다.

로스팅 정도에 따른 커피 4종의 벤조피렌 함량 분석 결과와 크로마토그램을 Table 5와 Fig. 1에 각각 나타내었다. 강배전을 실시한 경우의 B[a]P은 Arabica 종의 Colombia supremo는 0.552 ± 0.013 µg/kg, Brazil Santos No.2는 0.142 ± 0.007 µg/kg의 함량을 보였고 Robusta 종의 Ethiopia mocha harrar G4는 0.757 ± 0.010 µg/kg, Indonesia robusta는 0.154 ± 0.007 µg/kg의 함량을 보였다. 전체적으로 원두커피 분말 중 강배전을 실시한 시료에서 $0.142 \sim 0.757$ µg/kg의 B[a]P 함량을 보였으며 중배전, 약배전을 실시한 경우에는 모두 불검출의 결과를 보였다. 이는 Houessou 등(16)이 보고한 쿠바산 arabica 종의 생두를 180~240°C, 180~250°C의 범위에서 20분간 로스팅 시 0.2 µg/kg의 B[a]P이 검출되었고 그 이하의 온도에서는 불검출된 것과 유사한 결과를 보였다. 각 시료마다의 B[a]P 함량이 다른 것은 시료의 지방함량, 로스팅 시간의 차이에 따른 것으로 판단된다(21,22). 원두커피 추출물에서의 B[a]P 함량은 모두 불검출이었는데, Kwon 등(13)은 커피전문점, 유통점의 원두커피 추출액의 B[a]P 함량을 분석한 결과 평균적으로 0.027 µg/L의 함량을 보였고 강배전의 경우 더 높게 나타난 것으로 보고하여 본 실험 결과와 상이하였으나, 이는 원두의 재배지역, 품종, 로스팅 조건 및 원두커피 추출방식에 따른 차이에서 비롯된 것으로 추측된다. 이번 연구결과에서 모든 시료에서의 B[a]P 검출 수치는 식품의약품안전청에서 일부 식품에 대해 설정한 기준치에 못 미치는 안전한 수준이었으며 이는 180~230°C에서 이루어지는 원두의 로스팅 과정이 벤조피렌이 생성되는 고온에 미치지 못하고, 열원방식이 직화식이 아닌 전기적인 열풍방식으로 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.

벤조피렌을 포함한 PAHs에 대한 국내 모니터링 결과를 살펴보면, 2009년 식약청이 성인들이 주로 안주로 즐기는 훈제 소세지, 돼지고기 석쇠구이 등 육류 6종 45건 및 훈제햄 등 가공식품 24종 165건, 총 30종 210건을 대상으로 벤조피렌 함유실태 조사 및 인체 위해영향 평가 연구를 수행한 결과, 건조 바나나 등 3종 15건에서 벤조피렌이 0.2~0.9 µg/kg

Table 5. Benzo[a]pyrene content of roasted coffee bean and coffee brew by different roasting condition

Samples	Coffee brew (µg/kg)			Ground coffee (µg/kg)		
	Light roasting	Medium roasting	Dark roasting	Light roasting	Medium roasting	Dark roasting
Arabica	CS ¹⁾	ND ²⁾	ND	ND	ND	0.552 ± 0.013 ³⁾⁴⁾
	BS	ND	ND	ND	ND	0.142 ± 0.007 ^a
Robusta	EM	ND	ND	ND	ND	0.757 ± 0.010 ^c
	IR	ND	ND	ND	ND	0.154 ± 0.007 ^a

¹⁾CS: Colombia Supremo, BS: Brazil Santos No.2, EM: Ethiopia mocha harrar G4, IR: Indonesia Robusta.

²⁾ND=not detected.

³⁾Values are mean ± standard deviation (n=3).

⁴⁾Values with different letters in the same column are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

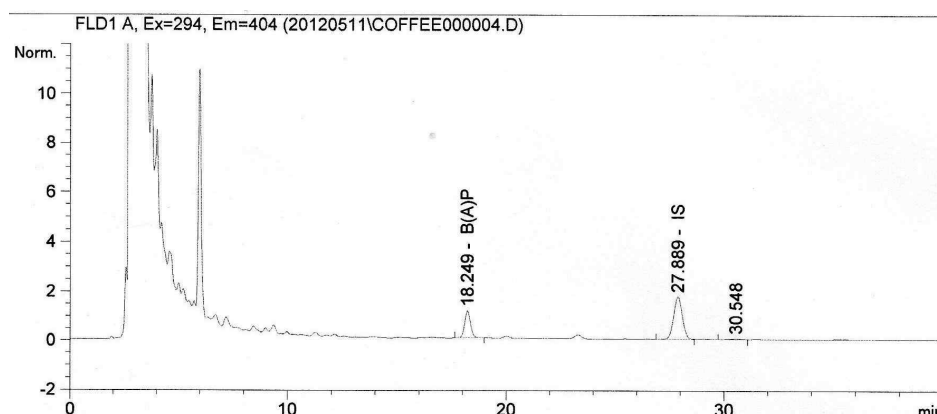


Fig. 1. Chromatogram of benzo [a] pyrene in sample (Ethiopia mocha harrar G4).

수준으로 검출되었으며, 이는 세계에서 벤조피렌 기준이 가장 강화된 EU기준 혼제육·어육 및 그 가공품의 벤조피렌 기준 5.0 µg/kg보다 5배가 낮은 안전한 수준이었다고 보고한 바 있다. 또한 식약청은 2007년 12월 발생한 서해안 원유 유출사고와 관련하여 서해안 전역에서 유통·판매되는 수산물과 횃집 수족관 물 95건을 수거하여 관능 및 이화학적 (PAHs 16종) 검사를 실시한 결과 32건에서는 PAHs가 검출되지 않았고, 어패류는 81건 중 57건에서 0.01~3.38 µg/kg, 수족관 물은 14건 중 6건에서 0.001~0.027 µg/kg으로 검출되었으나, 이는 자연 상태에서도 검출될 수 있는 수준으로 EU의 기준치 2.0~10.0 µg/kg과 WHO의 먹는 물 권고 기준치 0.7 µg/kg보다 현저히 낮은 수준이었다고 보고한 바 있다.

벤조피렌에 대한 국내 관리 현황을 살펴보면 2001년부터 다양한 식품군에 대한 모니터링 및 위해평가를 거쳐 식용유지에 대해 2.0 µg/kg(식약청 고시 제2008-71호), 혼제 어육과 혼제 건조어육은 각각 5.0 µg/kg과 10.0 µg/kg(식약청 고시 제2009-227호), 지황과 숙지황에 대해 5.0 µg/kg(식약청 고시 제2009-13호) 이하로 기준을 설정했고, 현재는 식품일반의 기준 및 규격에서 벤조피렌 규격을 식용유지, 어육 2.0 µg/kg, 숙지황, 건지황, 연체류, 갑각류, 혼제어육, 혼제식육제품 및 그 가공품 5.0 µg/kg, 패류 10 µg/kg, 특수용도식품 중 일부를 1.0 µg/kg 이하로 설정하고 있으며 기준 식품설정을 지속적으로 늘려가고 있다. 따라서 이번 연구결과에서 커피원두와 원두 추출액의 벤조피렌 함량이 우려하였던 배전과정에 의한 벤조피렌 생성은 안전한 수준이기는 하나,

앞으로 원두커피의 벤조피렌 및 발암성이 있는 PAHs에 대해서 지속적으로 잔류량을 모니터링 하여야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

요 약

벤조피렌은 IARC에 의해 그룹 1로 분류된 다환방향족 탄화수소 유기물로서 불완전 연소 시 부산물로 발생되며 유전독성과 발암성이 강한 것으로 알려져 있다. 벤조피렌의 오염원은 매우 다양하여 환경오염 등으로 인해 조리 또는 가공 과정에서 열분해 되어 생성되는 것으로 알려져 있다. 전 세계적으로 가장 널리 음용되고 있는 대표적인 기호음료인 원두커피 또한 생두를 볶는 과정에서 고온의 배전 과정을 거치는 제조공정을 감안할 때 벤조피렌이 생성될 가능성이 있어 본 연구에서는 생두의 종류와 로스팅 정도에 따른 원두커피 분말과 원두커피 추출물의 색도 및 벤조피렌 함량을 조사하였다. Hunter scale의 L값과 b값은 배전이 진행될수록 감소하는 경향을 보였고 a값은 약배전 시까지는 증가하였다가 중, 강배전으로 진행될수록 감소하는 결과를 보였다. 벤조피렌의 검출한계(LOD)와 정량한계(LOQ)는 0.03과 0.09 µg/kg이었다. 원두커피 분말의 벤조피렌 함량은 강배전의 조건에서 로스팅한 원두분말에서만 검출되었다. 생두를 강배전 조건으로 로스팅을 실시한 경우에는 0.142~0.757 µg/kg의 함량을 보였고 중배전 및 약배전 조건의 커피분말과 원두커피 추출물 모두 불검출의 결과를 보였다. 이는 식품의약품안전

청에서 식용유지에서 벤조피렌의 기준을 2.0 µg/kg 이하로 설정한 기준에 미치지 않는 안전한 수준이며, 원두의 로스팅 과정이 벤조피렌이 생성되는 고온에 미치지 못하고 열원방식이 직화식이 아닌 전기적인 열풍방식으로 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.

문 헌

1. Tilgner DJ, Daun H. 1969. Polycyclic aromatic hydrocarbons (polynuclears) in smoked foods. *Residue Rev* 27: 19-41.
2. Gunther FA, Buzzetti F. 1965. Occurrence, isolation and identification of polynuclear hydrocarbons as residues. *Residue Rev* 9: 90-113.
3. Howsam M, Jones KC, Ineson P. 2000. PAHs associated with the leaves of three deciduous tree species. I-Concentrations and profiles. *Environ Pollut* 108: 413-424.
4. Hu S, Jin S, Choi D. 2008. Analysis of benzo(a)pyrene in red ginseng beverage. *J Fd Hyg Safety* 23: 26-30.
5. Gelboin HV. 1980. Benzo[a]pyrene metabolism, activation, and carcinogenesis: role and regulation of mixed-function oxidases and related enzymes. *Physiol Rev* 60: 1107-1166.
6. Hecht SS. 1999. Tobacco smoke carcinogens and lung cancer. *J Natl Cancer Inst* 91: 1194-1210.
7. Sadikovic B, Rodenhiser DI. 2006. Benzopyrene exposure disrupts DNA methylation and growth dynamics in breast cancer cells. *Toxicol Appl Pharmacol* 216: 458-468.
8. Dabestani R, Ivanov IN. 1999. A compilation of physical, spectroscopic and photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Photochem Photobiol* 70: 10-34.
9. Hu S, Oh NS, Kim SY, Lee H. 2006. Determining of polycyclic aromatic hydrocarbons in domestic vegetables and fruits. *Anal Sci Technol* 19: 415-421.
10. Tao S, Cui YH, Xu FL, Li BG, Cao J, Liu WX, Schmitt G, Wang XJ, Shen WR, Qing BP, Sun R. 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in agricultural soil and vegetables from Tianjin. *Sci Total Environ* 320: 11-24.
11. Camargo MCR, Toledo MCF. 2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian vegetables and fruits. *Food Control* 14: 49-53.
12. Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR). 1995. toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA, USA.
13. Kwon HD, Kim BJ, Ku HS, Park SH, Lee YJ, Lee MO. 2009. Study on the contents of harmful substance in the extractions of coffee bean. The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment. Vol 19, p 42-51.
14. Houessou JK, Goujot D, Heyd B, Camel V. 2008. Modeling the formation of some polycyclic aromatic hydrocarbons during the roasting of arabica coffee samples. *J Agric Food Chem* 56: 3648-3656.
15. García-Falcón MS, Cancho-Grande B, Simal-Gándara J. 2005. Minimal clean-up and rapid determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in instant coffee. *Food Chem* 90: 643-647.
16. Houessou JK, Maloug S, Leveque AS, Delteil C, Heyd B, Camel V. 2007. Effect of roasting conditions on the polycyclic aromatic hydrocarbon content in ground arabica coffee and coffee brew. *J Agric Food Chem* 55: 9719-9726.
17. Houessou JK, Delteil C, Camel V. 2006. Investigation of sample treatment steps for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in ground coffee. *J Agric Food Chem* 54: 7413-7421.
18. Badolato ESG, Martins MS, Aued-Pimentel S, Alaburda J, Kumagai EE, Baptista GG, Rosenthal A. 2006. Systematic study of benzo[a]pyrene in coffee samples. *J Braz Chem Soc* 17: 989-993.
19. Jung SY, Park JS, Son YJ, Choi SJ, Kim MS, Park SH, Lee SM, Lee JI, Yu IS, Chae YZ. 2009. Determination of benzo(a)pyrene in ground coffee. Report of Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health & Environment. Vol 45, p 12-20.
20. Rhi JW, Shin HS. 1993. Antioxidative effect of brown materials extracted from roasted coffee beans. *Korean J Food Sci Technol* 25: 220-224.
21. Stumpe-Viksna I, Bartkevičs V, Kukare A, Morozovs A. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chem* 110: 794-797.
22. Reinik M, Tamme T, Roasto M, Juhkam K, Tenno T, Kiis A. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in meat products and estimated PAH intake by children and general population in Estonia. *Food Addit Contam* 24: 429-437.

(2012년 6월 11일 접수; 2012년 12월 20일 채택)