

가공식품 중 다환방향족탄화수소 분석

허수정* · 진선희 · 이광호 · 최동미

식품의약품안전평가원 식품위해평가부
(2010. 1. 7. 접수, 2010. 3. 2. 승인)

Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in processed foods

Soojung Hu*, Sunhee Jin, Kwangho Lee, Dongmi Choi

Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation
#194 Tongil-Ro, Eunpyung-Gu, Seoul 122-704, Korea

(Received January 7, 2010; Accepted March 2, 2010)

요 약: 가공식품의 특성에 따른 PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 다환방향족탄화수소) 분석방법 확립 및 실패 파악을 위하여 가공식품 24종 165건 및 조리육류 6종 45건 총 210건을 분석하였다. 가공식품의 특성에 따라 식육·어육가공품, 유가공품, 조리육류 등은 알칼리분해방법, 음료류는 액-액 추출방법, 견과류가공품, 과채가공품은 초음파 추출방법으로 추출하고 Sep-Pak Florisil Cartridge로 정제하여 HPLC/FLD (High Performance Liquid Chromatography/Fluorescence Detector)로 동시 정량 분석하였다. 각각의 PAHs에 대한 회수율은 약 92~103%였고 검출한계는 PAH에 따라 차이가 있었으며 0.1~1.0 µg/kg 수준이었다. 대상식품 총 30종 중 26종에서 8종의 PAHs가 모두 불검출이었으며 검출된 식품 중 PAHs의 평균농도는 훈제연어에서 benzo(b)fluoranthene 0.9 µg/kg, 건바나나에서 benzo(b)fluoranthene 1.0 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.3 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.9 µg/kg, 훈제치킨에서 benzo(b)fluoranthene 0.2 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.1 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.2 µg/kg, 돼지고기 숯불석쇠구이에서 benzo(b)fluoranthene 1.3 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.3 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.9 µg/kg이었다.

Abstract: In this study, the following concentrations of some PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) were investigated; [benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene] in processed foods (n=165) and cooked meats (n=45) and established the analytical method by characteristics of processed foods. The methodology involved extraction (alkali digestion, liquid-liquid extraction, microwave extraction), clean-up on Sep-Pak Florisil Cartridges and determination by HPLC/FLD (High Performance Liquid Chromatography/Fluorescence Detector). The recovery of overall method for 8 PAHs spiked into these products ranged from 92 to 103%. The mean level of detected foods was found to be benzo(b)fluoranthene 0.9 µg/kg in smoked salmon, benzo(b)fluoranthene 1.0 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.3 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.9 µg/kg in dried banana, benzo(b)fluoranthene 0.2 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.1 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.2 µg/kg in smoked chicken, benzo(b)fluoranthene 1.3 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.3 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.9 µg/kg in charcoal grilled pork, respectively.

Key words: Polycyclic aromatic hydrocarbons, benzo(a)pyrene, processed food, HPLC/FLD

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-380-1822 Fax : +82-(0)2-388-6451

E-mail : sjhu@kfd.go.kr

1. 서 론

다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 이하 PAHs)는 2006년 7월 제29차 Codex 총회에서 훈제 및 건조과정에서 생성되는 PAHs 오염의 저감화를 위한 실행규범(PROPOSED DRAFT CODE PRACTICE FOR THE REDUCTION OF CONTAMINATION OF FOOD WITH POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAH) FROM SMOKING AND DIRECT DRYING PROCESSES)이 신규 작업으로 채택되었으며 제32차 총회에서는 동 실행규범(초안)을 5 단계로 채택하는 등 식품 중 유해물질 우선 목록에 포함시키고 있다.¹ 특히 PAHs 중 벤조피렌은 국제암연구소 IARC에서 1989년에 1차 독성평가를 하였고, 2006년 8월 재평가하여 인체발암물질인 Group 1으로 분류하였다.^{2,3} Santodonato 등의 자료를 인용한 미국의 ATSDR(Agency for Toxic Substances and Disease Registry) 보고서에서는 일반인의 벤조피렌 인체노출 기여도가 대기 : 수질 : 식품이 5.6% : 0.6% : 93.8% 로써 식품을 벤조피렌의 주요 노출기여 요인으로 보고하고 있다.⁴ 식품 중 벤조피렌은 환경오염으로 인하여 폐유, 농산물 등 조리·가공하지 않은 식품에도 존재하지만 주로 식품의 조리나 제조·가공 과정 시 식품의 주성분인 탄수화물, 지방, 단백질 등이 열분해되어 생성되는 것으로 알려져 있다. 식품 조리과정 중 훈연(Smoking), 건조(Drying), 요리(Roasting, baking, frying, barbecuing) 등을 예로 들 수 있으며 특히, 숯불구이 육류 등과 같이 고온에서 조리된 식품이나 특유한 훈연향과 색택 및 보존성 증진을 위해 제조된 훈연식품 등에 PAHs가 존재하는 것으로 알려져 있다. 연어, 햄, 소시지 등과 같은 훈연식품의 보존성과 안정성은 훈연성분 중 방부성이 강한 formaldehyde가 곰팡이나 효모 등의 발생이나 생육을 억제함으로써 가능한 것으로 알려져 있다.^{5,7} 훈연과정에서 발생하는 유기화합물은 약 1,000여종으로 추정되고 있으며, 이 중 약 500여종이 제품의 향미에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 훈연 성분은 주로 phenol류, organic acid, alcohols, carbonyls, hydrocarbons 등과 같은 화합물로 이루어져 있으며 이 중 phenol 성분은 항산화성, 보존성 및 특유한 풍미를 생성하는데 기여하는 반면 hydrocarbons는 주로 PAHs로서 불완전 연소에 의하여 생성되는 화합물들인 phenanthrene, anthracene, benzo(a)anthracene, pyrene, chrysene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(k)fluoranthene 및 fluorene 등으로

구성되어 있다. 훈연과정 중 유기물의 불완전 연소에 의하여 생성되는 PAHs는 나무의 주성분인 lignin이 360°C 이상의 고온에서 연소 분해될 때 생성되며, 500°C 이상에서는 그 생성량이 현저하게 증가되기 때문에 훈연의 이상적인 온도는 400°C 이하라고 보고된 바 있다.⁷ Draudt 등은 PAHs의 생성량은 훈연에 사용되는 나무의 형태, 연소장치(generator)의 형식, 연소온도, 연소장치의 공기 공급량, 나무의 수분함량 등에 의하여 영향을 받는다고 하였다.⁸ 또한, 제32차 Codex 총회의 훈제 및 건조과정에서 생성되는 PAHs 오염의 저감화를 위한 실행규범(안)에서는 연료(목재 및 기타 식품성 재료, 디젤, 가스, 액체/고체 쓰레기 및 기타 연료), 조리법(훈연 또는 건조(직접 또는 간접)), 열분해를 위한 온도와 연기 생성기 내의 공기흐름에 관련된 연기 생성 과정, 식품과 열원(heat source)간의 거리, 열원에 대한 식품의 위치, 식품의 지방 함량 및 가공과정 중 지방함량의 변화, 가공처리 시간, 가공 온도, 장비의 청결성 및 유지 보수, 연기와 공기를 혼합하기 위해서 사용되는 smoking chamber와 장비의 디자인 등을 훈연 및 건조과정 중 발생하는 PAHs 형성에 영향을 미치는 요인으로 보고하고 있다. 일반적으로 가공 기술에 따라 가공 중 형성되거나 가공 처리된 식품에서 발견되는 PAHs의 양을 감소시킬 수 있는데, 기술 대체 방법으로는 직접 건조 및 훈연(smoking) 대신 간접건조 및 훈연공정(smoking process) 사용, 건조에 사용되는 연료와 훈연에 사용되는 목재 종류 및 기타 식물 선택, 시간 및 가공온도 결정 등이 있다.

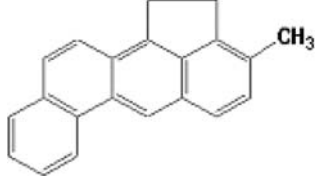
따라서 본 연구에서는 훈연, 건조 등의 방법으로 제조된 가공식품(훈연식품, 견과류가공품, 과채가공품, 음료류 등)을 위주로 PAHs 모니터링 및 데이터베이스 확보로 식품 중 PAHs 안전평가에 기여하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시약 및 기구

분석에 사용되는 시약은 Wako Pure Chemical Industries Inc. (Japan) 및 Merck Inc. (USA) 등에서 HPLC급이나 잔류농약용을 구매하였다. 표준물질인 8종의 PAHs는 Chem Service Inc. (USA), 내부표준물질인 3-메틸콜란트렌(Table 1)은 Supelco Inc. (USA)에서 구매하였다. 추출가열기는 EME series (Barnsted, USA), 회전감압농축기는 EYELA (Tokyo Rikakikai Co. Ltd., Japan), 질소농축기는 Turbo Vap (Zymark, USA)를 사

Table 1. Chemical structure and properties of 3-Methylcholanthrene

Structure	Molecular formula	Molecular weight	Melting point(°C)	Boiling point(°C)
	C ₂₁ H ₁₆	268	179~180	bp ₈₀ 280

용하였다. 또한 시료의 정제 과정에서는 Supelco의 Visiprep Solid Phase Extraction Vacuum Manifold를 사용하였고 Sep-Pak Florisil Cartridge는 Waters Inc. (Ireland) 1 g을 사용하였다.

2.2. 기기

고성능액체크로마토그래프(High Performance Liquid Chromatograph) 및 형광검출기(Fluorescence Detector)는 Model 1100 series (Agilent, USA)를 사용하였으며, 컬럼은 Supelguard LC-18 (Supelco, USA)을 장착시킨 LC-PAH column (25 cm×4.6 mm, I.D. 5 µm, Supelco, USA)을 사용하였다.

2.3. 실험방법

2.3.1. 대상물질

분석대상물질은 PAHs 중 IARC (WHO) 및 IRIS (EPA) 등에 발암등급이 분류되어 있는 benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene의 8종의 PAH로 선정하였다.

2.3.2. 대상시료

국민 다소비식품 중 섭취량⁹⁾이 많고 최근 새롭게 선호되고 있는 가공식품 위주로 식육가공품 2종(훈연햄, 훈연소세지), 어육가공품 1종(훈제연어), 특수용도식품 1종(이유식), 유가공품 4종(분유, 치즈, 우유, 요구르트), 음료류 6종(원두커피, 캔커피, 병녹차, 병보리차, 병콩차, 병옥수수수염차), 견과류가공품 3종(아몬드, 땅콩, 피스타치오), 과채가공품 4종(건포도, 건자두, 건마나나, 건블루베리), 즉석섭취식품 2종(훈제치킨, 후라이드치킨), 기타가공품 1종(볶음참깨)과 조리육류 6종(돼지고기(목심) : 수육, 석쇠구이, 불판구이, 소고기(등심) : 수육, 석쇠구이, 불판구이) 등 총 30종 210건의 시료를 대상으로 하였다(Table 2).

Table 2. List and average consumption of food samples

식품군	식품명	1일평균 섭취량 시료수 (g/day)		
식육가공품	훈연햄	2.7	5	
	훈연소세지	1.7	5	
어육가공품	훈제연어	0.4	10	
특수용도식품	이유식	-	10	
유가공품	분유	0.0	10	
	치즈	0.6	10	
	우유	66.5	10	
	요구르트	2.6	10	
음료류	원두커피	3.5	10	
	캔커피	2.6	10	
	병녹차	0.0	10	
	병보리차	0.0	3	
	병콩차	-	2	
	병옥수수수염차	-	5	
견과류	아몬드	0.0	5	
	땅콩	1.2	5	
	피스타치오	0.0	5	
과채 가공품	건포도	0.0	5	
	건자두	-	5	
	건마나나	0.0	5	
	건블루베리	0.0	5	
즉석섭취식품	훈제치킨	1.1	10	
	후라이드치킨	-	5	
기타가공품	볶음참깨	1.6	10	
소계	24종	90.6	165	
조리육류	수육	-	10	
	돼지고기	석쇠구이	25.9	10
	불판구이	-	10	
	수육	-	5	
	소고기	석쇠구이	17.8	5
	불판구이	-	5	
소계	6종	43.7	45	
합계	30종	134.3	210	

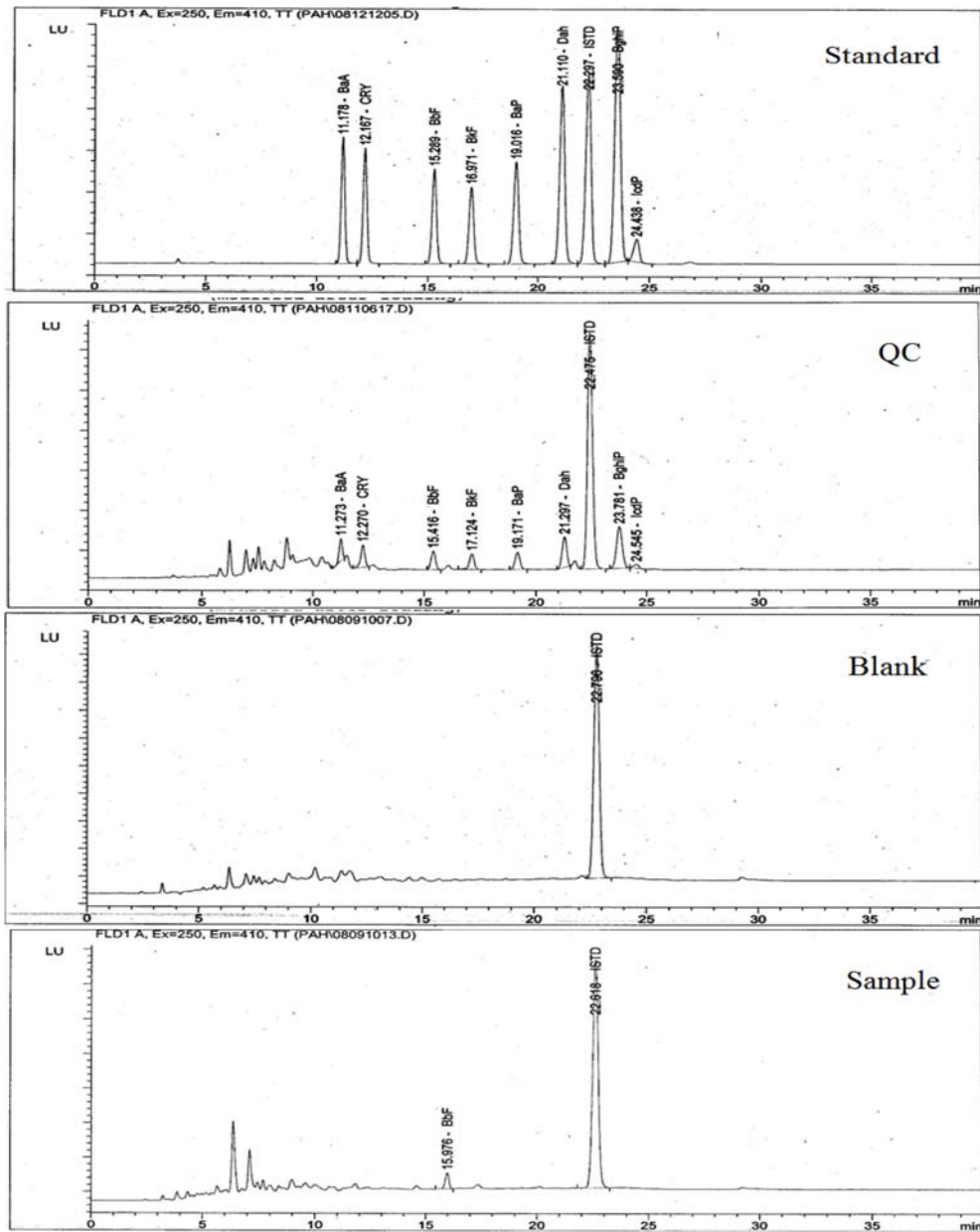


Fig. 1. HPLC/FLD Chromatograms of PAHs. BaA: benzo (a)anthracene, CRY: chrysene, BbF: benzo(b) fluoranthene, BkF: benzo(k)fluoranthene, BaP: benzo(a) pyrene, DahA: dibenzo(a,h)anthracene, ISTD: 3-methylcholanthrene BghiP: benzo(g,h,i)perylene, IcdP: indeno(1,2,3-c,d)pyrene.

2.3.3. 실험방법

1) 시료 조제

식육 · 어육가공품, 견과류가공품, 과채가공품, 즉석 섭취식품, 기타가공품 등은 blender로 혼합 · 균질화하고 1회 분석량씩 소분하여 전처리 전까지 냉동 보관 (-30°C)하였다. 특수용도식품, 유가공품, 음료류 등은

전처리 전에 해당 분석량 만큼 칭량하였다.

2) 추출

(1) 알칼리분해 방법(Alkali digestion method)

대상식품은 식육가공품(훈연소세지 · 훈연햄), 어육가공품(훈제연어), 특수용도식품(이유식), 유가공품(분

유 · 치즈 · 우유 · 요구르트), 즉석섭취식품(훈제치킨 · 후라이드치킨), 기타가공품(볶음참깨)이었다. 분쇄 및 균질화 된 검체 약 10 g을 달아 1M KOH · ethanol 용액 100 mL와 함께 둥근바닥 플라스크에 넣고 내부표준물질 1 mL를 첨가한 후 환류냉각장치를 부착시킨다. 가열추출기(80°C)에서 3시간 동안 알칼리 분해시키고 신속히 냉각시킨 후 n-hexane 50 mL를 환류냉각기를 통하여 넣고 ethanol:n-hexane(1:1)용액 50 mL를 이용해서 분액깔대기에 옮긴다. 분액깔대기에 50 mL의 물을 넣고 진탕시켜 물층과 n-hexane층으로 분리시킨 후 n-hexane층을 분리하여 다른 분액깔대기에 받아두고 물층에 n-hexane 50 mL를 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 얻은 n-hexane층을 모두 합친다. n-hexane층에 물 100 mL씩을 넣고 흔들어 섞은 후 정치하여 물층은 버리는 조작을 2회 되풀이한다. n-hexane층을 무수황산나트륨 약 15 g을 넣은 여과지를 사용하여 탈수여과한 후 40°C 이하의 수욕상에서 감압하여 약 2 mL로 농축한다.

(2) 액-액 추출방법(Liquid-liquid extraction method)

대상식품은 음료류(원두커피 · 캔커피 · 병녹차 · 병보리차 · 병콩차 · 병옥수수수염차)였다. 균질화 된 검체 약 100 g을 달아 내부표준용액 1 mL를 첨가하고 분액깔대기(I)에 옮기고 n-hexane 100 mL를 넣어 격렬하게 흔들어 섞은 후 정치하여 물층을 분리하여 다른 분액깔대기(II)에 옮긴다. 물층에 n-hexane 50 mL씩을 넣고 위와 같이 2회 되풀이하여 n-hexane층을 분액깔대기(I)에 합친다. 물 50 mL씩을 넣고 흔들어 섞은 후 정치하여 물층은 버리는 조작을 2회 되풀이한다. n-hexane층에 에멀전이 생성된 경우에는 5~10 mL의 메탄올을 첨가한 후 방치하여 에멀전을 제거하고 물층은 버린다. n-hexane층은 무수황산나트륨 약 15 g을 넣은 여과지를 사용하여 탈수여과한 후 40°C 이하의 수욕상에서 감압하여 약 2 mL로 농축한다.

(3) 초음파 추출방법(Microwave extraction method)

대상식품은 건과류가공품(아몬드 · 땅콩 · 피스타치오), 과채가공품(건포도 · 건자두 · 건바나나 · 건블루베리)이었다. 분쇄 및 균질화 된 검체 약 5 g을 달아 물 50 mL에 넣어 침지시킨 후 내부표준용액 1 mL와 n-hexane 100 mL 첨가하여 균질화 한 후 20분 동안 초음파 추출한다. 단, 균질화 하는 동안 에멀전이 생성될 경우에는 5~10 mL의 메탄올을 첨가하여 초음파 추출한다. n-hexane층을 분액깔대기로 옮기고 다시 n-hexane 50 mL로 2회 되풀이 하여 초음파 추출하고 n-hexane층을 분액깔대기에 합친다. 물 50 mL씩을 넣고

Table 3. Operating conditions of HPLC/FLD

Column	Supelcosil LC-PAH column (25 cm×4.6 mm, I.D. 5 μm) with Supelguard LC-18		
Column Temp.	35 °C		
Flow rate	1.0 mL/min		
Solvent system		ACN	H ₂ O
	0 min	80%	20%
	20 min	100%	0%
	25 min	100%	0%
	27 min	80%	20%
40 min	80%	20%	
Injection volume	10 μL		
Wavelength (Ex/Em)	0-15 min	254 nm/390 nm	
	15-26 min	260 nm/420 nm	
	26-40 min	293 nm/498 nm	

흔들어 섞은 후 정치하여 물층은 버리는 조작을 2회 되풀이한다. n-hexane층은 무수황산나트륨 약 15 g을 넣은 여과지를 사용하여 탈수여과한 후 40°C 이하의 수욕상에서 감압하여 약 2 mL로 농축한다.

3) 정제

Sep-Pak Florisil Cartridge (Waters, USA)를 dichloromethane 10 mL와 n-hexane 20 mL로 활성화한 후 사용하였다. 활성화시킨 Sep-Pak Florisil Cartridge에 시험용액을 가하여 n-hexane 5 mL와 n-hexane:dichloromethane (3:1) 15 mL로 차례로 용출시켰다. 정제가 끝난 용출액은 수욕조(35°C)에서 질소가스로 농축한 후 잔사를 acetonitrile로 녹여서 전량을 1 mL로 하여 이를 0.45 μm membrane filter를 통과시켜 HPLC/FLD용 시험용액으로 사용하였다.

4) 기기 분석

HPLC 컬럼은 LC-PAH column (25 cm×4.6 mm (I.D.), 5 μm)를 사용하였으며 Table 3의 조건으로 분석하였다. 분석결과 머무름 시간에 의해 정성 확인하였으며 내부표준법에 따른 피이크 면적법에 의해 정량 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

내부표준물질로 정성 · 정량 분석한 대상물질 8종 PAHs에 대한 표준용액(Standard), 대조시료(QC), 공시료(Blank), 시료(Sample)의 HPLC/FLD 크로마토그램은 Fig. 1와 같았다. 검출한계는 PAH에 따라 0.1~1.0

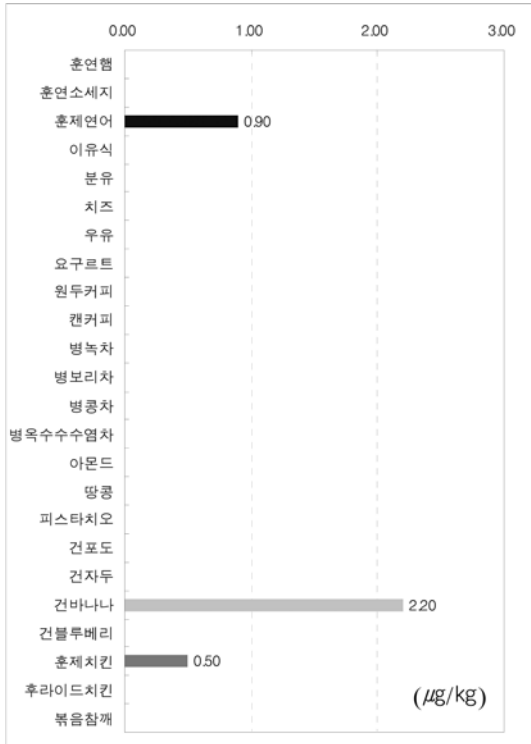


Fig. 2. Levels of total PAHs in processes foods.

µg/kg이었고 분석방법의 정확도를 알 수 있는 회수율은 약 92~103%로 EU와 EPA의 허용회수율^{10,11}과 비교 시 매우 만족한 값을 얻을 수 있었으며, 분석방법의 정밀도를 보여주는 변동계수(CV)도 4.6% 이하로 만족할만한 수준이었다. 또한 이들 모두 내부표준물질을 사용한 검량선 작성 시 0.999 이상의 상관계수를 나타내었다(Table 4).

식품 중 PAHs 분석은 시료 전처리와 기기분석으로 이루어지며 시료 전처리는 추출과 정제과정이 포함된다. 즉, PAHs를 분석하기 위해서 시료는 추출하기 전에 반드시 균질화 시켜야 하며 시료 중 미량으로 존

Table 4. Limits of detection(LOD), mean recoveries(R) and coefficients of variation(CV) of PAHs spiked to samples(n=10)

PAHs	LOD (µg/kg)	R (%)	CV (%)	r ²
Benzo(a)anthracene	0.2	92	4.6	0.9999
Chrysene	0.2	100	1.9	0.9999
Benzo(b)fluoranthene	0.2	94	1.8	0.9999
Benzo(k)fluoranthene	0.1	97	1.4	0.9999
Benzo(a)pyrene	0.1	94	2.3	0.9999
Dibenzo(a,h)anthracene	1.0	96	2.2	0.9999
Benzo(g,h,i)perylene	0.5	103	3.2	0.9999
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	1.0	103	4.1	0.9997

재하고 있는 PAHs의 검출은 적절한 추출과 정제과정을 거쳐야 분석 시 방해물질로부터 영향을 받지 않아 보다 정확한 분석 자료를 얻을 수 있다. 일반적으로 식품 전반에 적용 가능한 추출방법으로는 알칼리분해(alkali digestion)방법이 있으며 이 방법은 식품의 지방 조직 내 벤조피렌을 추출하는 방법이다. 지방 함량이 거의 없는 식품에는 액-액 추출방법을 적용할 수 있고 음료류와 같은 액상 식품이 가능하며 초음파추출(microwave extraction) 방법은 건조과일류와 같은 식품에 적용 가능한 추출방법으로 복잡한 추출조건 없이 쉽게 추출할 수 있다. 추출 후 정제방법으로는 비교적 극성이 강한 고정상을 가진 Sep-Pak Florisil Cartridge가 정제방법으로 많이 사용되고 있으며 비극성인 PAHs와 극성인 방해물질의 분리에 매우 효과적이다. 또한, HPLC/FLD는 PAHs의 특성적 형광파장을 이용하여 검출하는 방법으로 시료의 방해물질로부터 효과적으로 PAHs를 분리·정량할 수 있는 기기분석방법이다. 식품 중 PAHs 분석시 정제(Sep-Pak Florisil Cartridge) 및 기기분석(HPLC/FLD)은 동일 조건 및 방법으로 분석 가능하지만, 식품 중 PAHs의 추출방법은 대상식품에 따라 여러 가지 방법을 비교·검토하여

Table 5. Analytical methods in concerned foods

추출방법	대상식품	검체량(g)	정제	기기분석
알칼리분해 (alkali digestion)	식육·어육가공품 특수용도식품, 유가공품 즉석섭취식품, 조리육류	10		
액-액 추출 (liquid-liquid extraction)	음료류	100	Florisil Cartridge	HPLC/FLD
초음파 추출 (microwave extraction)	건과류가공품 과채가공품	10		

Table 6. Concentrations of PAHs in processed foods (Unit : $\mu\text{g}/\text{kg}$)

		BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	DahA	BghiP	IcdP	Total
식육가공품	훈연소세지	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	훈연햄	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
어육가공품	훈제연어	ND	ND	0.9 (ND~1.4)	ND	ND	ND	ND	ND	0.9 (ND~1.4)
특수용도식품	이유식	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
유가공품	분유	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	치즈	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	우유	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	요구르트	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
음료류	원두커피	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	캔커피	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	병녹차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	병보리차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	병콩차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	병옥수수수엿차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
견과류 가공품	아몬드	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	땅콩	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	피스타치오	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
과채 가공품	건포도	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	건자두	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	건바나나	ND	ND	1.0 (ND~2.2)	0.3 (ND~0.9)	0.9 (ND~2.1)	ND	ND	ND	2.2 (ND~2.2)
	건블루베리	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
즉석섭취식품	훈제치킨	ND	ND	0.2 (ND~0.8)	0.1 (ND~0.3)	0.2 (ND~1.0)	ND	ND	ND	0.5 (ND~1.0)
	후라이드치킨	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
기타가공품	볶음참깨	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Table 7. Concentrations of PAHs in meats (Unit : $\mu\text{g}/\text{kg}$)

		BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	DahA	BghiP	IcdP	Total	
조리 육류	날것	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	수육	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	돼지고기	석쇠구이	ND	ND	1.3 (ND~3.3)	0.3 (ND~0.9)	0.9 (ND~2.3)	ND	ND	ND	2.5 (ND~3.3)
		불판구이	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
소고기	날것	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	수육	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	석쇠구이	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	불판구이	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

최적의 추출방법을 선택하여야 한다. PAHs는 식품의 고온 조리·가공 시 식품의 주성분인 탄수화물, 지방, 단백질 등이 불완전 연소되어 생성되는 물질로서 지용성(lipophilic)인 PAHs의 특성을 고려하여 대상 가공

식품의 지방함유 여부, 물성 및 Naoya¹²⁻¹⁵ 등의 관련 논문을 참고하여 대상식품인 가공식품 중 PAHs 추출 방법을 확립하였다(Table 5).

가공식품과 조리육류에 대한 8가지 PAH의 개별 및

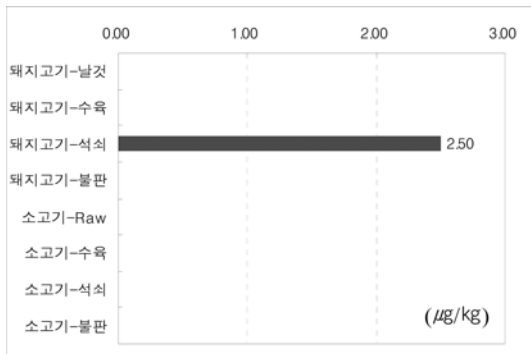


Fig. 3. Levels of total PAHs in meats.

총 농도는 Table 6, 7과 같았으며 총 PAHs 농도는 Fig. 2, 3과 같다. 대상식품으로 선정된 가공식품 165건 중 식육가공품(훈연소세지, 훈연햄), 특수용도식품(이유식), 유가공품(분유, 치즈, 우유, 요구르트), 음료류(원두커피, 캔커피, 병녹차, 병보리차, 병콩차, 병옥수수수염차), 견과류가공품(아몬드, 땅콩, 피스타치오), 기타가공품(볶음참깨) 등 약 85%인 140건에서 8종의 PAH가 모두 불검출이었다.

훈연식품으로 선정된 식육가공품인 훈연소세지와 훈연햄은 스모크향 첨가 제품으로 8종의 PAH가 모두 불검출이었다. 어육가공품인 훈제연어는 BbF만 검출되었으며 평균(최소~최대)농도는 0.9(불검출~1.4) µg/kg이었고 BaP는 불검출이었다. 이러한 검출 수준은 EU의 모니터링 자료 중 스모크향 첨가 훈연어류(smoked fishes/liquid flavouring)에서 BaP 평균농도 0.03 µg/kg, 훈연법에 의한 훈연어류(smoked fishes/method unknown~traditional method)에서 BaP 평균농도 1.4~5.2 µg/kg과 비교할 때¹⁶ 비교적 낮은 수준이었다.

과채가공품 중 건포도, 건자두, 건블루베리에서는 8종의 PAH가 모두 불검출이었으며 건바나나의 경우는 BbF의 평균(최소~최대)농도는 1.0(불검출~2.2) µg/kg, BkF의 평균(최소~최대)농도는 0.3(불검출~0.9) µg/kg, BaP의 평균(최소~최대)농도는 0.9(불검출~2.1) µg/kg이었다. 건조과일류 중 건바나나에서 BaP이 검출되었지만 EU의 모니터링 자료에서 건조과일류(Dried fruits) 중 BaP 검출농도 범위 불검출~100 µg/kg, 평균(중간)농도 48.1(0.2) µg/kg과 비교할 때¹⁶ 낮은 수준이었다.

즉석섭취식품으로 분류된 후라이드치킨에서는 8종의 PAH가 모두 불검출이었으며 훈제치킨의 BbF 평균(최소~최대)농도는 0.2(불검출~0.8) µg/kg, BkF의 평

균(최소~최대)농도는 0.1(불검출~0.3) µg/kg, BaP의 평균(최소~최대)농도는 0.2(불검출~1.0) µg/kg이었다. 훈제치킨에서 BaP가 평균농도 0.2 µg/kg로 검출되었지만 이러한 검출수준은 EU의 모니터링 자료와 비교하면, 훈연법에 의한 훈연제품(smoked products/method unknown~traditional method)에서의 BaP 평균농도 1.7~3.2 µg/kg¹⁶보다는 낮은 수준이었다.

또한, 조리시 PAHs 생성이 우려되는 조리육류 중 돼지고기(목심)로 조리한 수육, 불판구이와 소고기(등심)로 조리한 수육, 불판구이, 석쇠구이에서 8종의 PAHs가 모두 불검출이었다. 다만, 돼지고기 숯불석쇠구이에서는 BbF의 평균(최소~최대)농도는 1.3(불검출~3.3) µg/kg, BkF의 평균(최소~최대)농도는 0.3(불검출~0.9) µg/kg, BaP의 평균(최소~최대)농도는 0.9(불검출~2.3) µg/kg이었다. 수육과 불판구이는 조리 시 불꽃이 직접 고기에 닿지 않기 때문에 PAHs가 검출되지 않았으며 소고기 숯불석쇠구이 경우는 돼지고기와 달리 살짝 익혀먹는 조리 및 식습관에 의해 PAHs가 생성되지 않은 것으로 사료된다.

4. 결 론

가공식품의 특성에 따른 PAHs 분석방법 확립 및 실태 파악을 위하여 가공식품 24종 165건 및 조리육류 6종 45건 총 210건을 분석하였다. 가공식품의 특성에 따라 식육·어육가공, 유가공품, 조리육류 등은 알칼리분해방법, 음료류는 액·액 추출방법, 견과류가공품, 과채가공품은 초음파 추출방법으로 추출하고 Sep-Pak Florisil Cartridge로 정제하여 HPLC/FLD (High Performance Liquid Chromatography/Fluorescence Detector)로 동시 정량 분석하였다. 대상식품 총 30종 중 26종에서 8종의 PAHs가 모두 불검출이었으며 검출된 식품 중 PAHs의 평균농도는 훈제연어에서 benzo(b)fluoranthene 0.9 µg/kg, 건바나나에서 benzo(b)fluoranthene 1.0 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.3 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.9 µg/kg, 훈제치킨에서 benzo(b)fluoranthene 0.2 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.1 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.2 µg/kg, 돼지고기 숯불석쇠구이에서 benzo(b)fluoranthene 1.3 µg/kg, benzo(k)fluoranthene 0.3 µg/kg, benzo(a)pyrene 0.9 µg/kg이었다.

참고문헌

1. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Addi-

- tives(FECFA),ALINORM 08/31/41 APPENDI.
2. C. Smith, T. Perfetti, M. Rumble, A. Rodgman, D. Doolittle, *Food Chem. Toxicol.*, **38**, 371-386(2000).
 3. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 92, 2006.
 4. Reports on tasks for scientific cooperation, Report of participating in Task 3.2.12 October 2004.
 5. W. D. Miller, *Fleischwirtschaft*, **71**, 61-67(1991).
 6. P. Karl, E. Gertrud, *Fleischwirtschaft*, **66**, 1261-1268(1986).
 7. H. G. Kang, M. S. Lee, K. H. Lee, C. H. Kim, *KOREAN J. Food SCI. ANI. RESOUR.*, **18**(1), 42-49(1998).
 8. H. G. Kang, K. H. Lee, H. S. Hong, S. J. Park, C. H. Kim, *KOREAN J. FOOD SCI. ANI. RESOUR.*, **18**(3), 203-208(1998).
 9. 보건복지부, 제3기 국민건강영양조사, 2006.
 10. Commission. Directive 2005/10/EC of 4 February 2005.
 11. U.S. EPA, U.S. EPA Method TO-13A Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 1999.
 12. A. V. T. Silvia, F. T. Cecilia, *Food Control*, **18**, 948-952(2007).
 13. K. Noaya, W. Mitsuhiro, K. Naotaka, A. Syuzo, N. Kenichiro, *Journal of Chromatography B*, **789**, 257-264(2003).
 14. L. Daohui, J. Youying, Z. Lizhong, *Food and Chemical Toxicology*, **43**, 41-48(2005).
 15. H. P. David, *Mutation Research*, **443**, 139-149(1999).
 16. Report on for scientific cooperation, Report of experts participating in Task 3.2.12, October 2004.