

숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량
실태조사

Monitoring of polycyclic aromatic
hydrocarbons in barbecued meat products

2014. 12

식품위해평가부 오염물질팀

식품의약품안전평가원

자체연구개발과제 최종보고서

단위과제명	식품 등 안전성평가 및 위해요소 저감화 연구			과제번호		14161식품안012	
연구과제명	숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사						
책 임 자	소 속	오염물질과		성 명		윤혜정	
연구자 및 참여율 ※연구에 참여한 모든 연구자 기재	책임자	윤혜정	5%	연구자	강영운	5%	
	연구자	서정혁	5%	연구자	조민자	5%	
	연구자	김형수	5%	연구자	김현아	5%	
	연구자	박성수	10%	연구자	최훈	5%	
	연구자	이준구	20%	연구자	곽지연	5%	
	연구자	백옥진	5%	연구자	이승일	5%	
	연구보조원	김수연	10%	연구보조원	문정식	10%	
연구 구 결 과	필요성 및 목표	○ 숯불구이, 훈연 등의 가공 중에 많이 발생하는 다환방향 족탄화수소 저감화 연구 필요 ○ 숯불조리방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사 ○ 숯불조리방법에 따른 다환방향족탄화수소 저감화 방안 연구					
	방 법 및 결 과	○ 숯불조리 식품 섭취 패턴 조사 ○ 숯불조리 식품 중 다환방향족탄화수소 시험법 검토 ○ 숯불조리 방법에 따른 식품 중 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사 - 숯불조리 시간, 조리부위, 조리방법에 따른 생성량 실태조사 - 지방함량에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 상관관계 비교					
	기대성과	○ 숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 DB 구축 ○ 숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 저감화 기술 기초자료 확보					
활 용 계 획		○ 식품 안전관리 정책마련을 위한 과학적 근거자료로 활용 ○ 숯불구이 조리방법 및 섭취 가이드라인 마련					
연구비(천원)		책정액	150,000		사용액	150,000	
발표(게재)계획		연보	o	학술지명		학술대회명	
비 고		보안성 유() 무(o)					

위와 같이 자체연구개발과제 최종보고서를 제출합니다.

2014년 12월 31일

오염물질과장 성명 : 윤혜정 (서명 혹은 인)

식품의약품안전처장 또는 식품의약품안전평가원장 귀하

국문 요약문

과 제 명	숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사		
수행부서	식품의약품안전평가원 오염물질과	연구책임자	윤혜정
연구기간	2014.01.01 ~ 2014.12.31	연구비(원)	150,000,000
저자	성명	소속	
	윤혜정	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	서정혁	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	김형수	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	박성수	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	이준구	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	백옥진	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	강영운	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	조민자	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	김현아	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	최훈	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	곽지연	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	이승일	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	김수연	식품의약품안전평가원 오염물질과	
	문정식	식품의약품안전평가원 오염물질과	
<p>다환방향족탄화수소는 식품의 훈연, 볶음, 건조 등의 조리과정에서 자연발생되거나 환경(대기, 물, 토양)으로부터 오염되는 물질이다. 특히 식품 중 다환방향족탄화수소는 숯불조리 중 많이 발생하며, 숯불조리 방법에 따른 생성량 실태조사를 통해 저감화 기술개발이 필요하다. 숯불조리 중 다환방향족탄화수소를 분석하기 위해 GC/MS 시험법을 검토하였으며, 유효성 검증은 직선성, 검출한계, 정량한계, 정확도 및 측정불확도를 통해 수행되었다.</p> <p>조리방법에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하기 위해, 우리나라 국민이 숯불구이를 통해 많이 섭취하는 소고기(등심, 갈비살)와 돼지고기(목살, 삼겹살)를 구이정도, 조리시점, 기름제거, 발생연기 제거 등의 조리방법으로 실태조사하였다.</p> <p>실태조사 결과, 조리 중 발생하는 기름이 숯불이 직접 떨어지지 않도록 할 때, 그리고 발생하는 연기를 제거할 때 다환방향족탄화수소의 생성량이 48%~89%, 63%~71% 로 저감화되었다.</p>			
중심단어	다환방향족탄화수소	숯불구이	실태조사

Summary

Title of Project	Monitoring of polycyclic aromatic hydorcarbons in barbecued meat products		
Institute	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	Project Leader	Hae-Jung Yoon
Project Period	2014.01.01 ~ 2014.12.31	Project Budget	150,000,000
Authors	Name	Institute	
	Hae-Jung Yoon	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Jung-Hyuck Suh	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Hyoung-Soo Kim	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Seong-Soo Park	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Joon-Goo Lee	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Ok-Jin Paek	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Young-Woon Kang	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Min-Ja Cho	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Hyeon-A Kim	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Hoon Choi	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Ji-Yeon Kwak	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Seung-Il Lee	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Su-Yeon Kim	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
	Jeong-Sik Moon	Natinoal Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Food Contaminants Divison	
<p>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) contamination arises from several sources including processing of food(smoking, Frying, drying process) and environmental contamination of air, water, or soil. Specially, PAHs were mainly occurred during barbecueing meat, and it is needed to develop the reduction technology over the monitoring of PAHs in accordance with cooking methods.</p> <p>Experiments were carried out for method verification of determination polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) with GC/MS, and validation was carried out by linearity, limit of detection, limit of quantification, accuracy, and uncertainty.</p> <p>In order to compare the production of PAHs, grilling degree, cooking periods, removal of fat droplet and venting of smoke were used with pork and beef, which Korean have mainly consumed.</p> <p>As a result of the investigation, The PAHs were reducted by 48%~89%, 63%~71% respectively, when oil occurred during cooking prevented to fall directly on the charcoal and smoke from charcoal was removed.</p>			
Key Words	PAHs	barbecue	monitoring

목 차

I . 연구개발과제 연구결과	4
제1장 연구개발과제의 개요	4
제2장 연구개발과제의 국내 · 외 연구개발 현황	10
제3장 연구개발과제의 연구수행 내용 및 결과	23
제4장 연구개발과제의 연구결과 고찰 및 결론	71
제5장 연구개발과제의 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	83
제6장 연구개발과제 연구개발 결과 활용계획	84
제7장 참고문헌	85

연구개발과제 연구결과

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발과제의 목표

1. 연구목표

- 숯불구이 식품의 조리방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사를 통한 저감화 방안 연구를 통해 사전 예방적 식품안전 관리의 기초자료 확립

2. 연구개발의 내용 및 범위

가) 연구개발의 내용

- 숯불조리 식품 섭취 패턴 조사
 - 숯불조리 식품 섭취 빈도, 조리방법 등 조사
- 숯불조리 식품 중 다환방향족탄화수소 시험법 검토
 - 대상항목 : PAHs 4종
- 숯불조리 방법에 따른 식품 중 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사
 - 대상항목 : PAHs 4종
 - 대상식품 : 소고기, 돼지고기 등 식육
 - 숯불조리 시간, 조리부위, 조리방법에 따른 생성량 실태조사
 - 지방함량에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 상관관계 비교
- 숯불조리 이외의 방법에 따른 생성량 실태조사
 - 가스불, 전기열판, 적외선 열판 등

나) 연구개발의 범위

○ 국내·외 숯불구이 식품 중 PAHs 관련 자료 수집

- 숯불구이 식품 중 PAHs 시험법 개선방안을 위한 국내·외 문헌검토
- 국내·외 숯불구이 중 PAHs 실태조사 결과 조사
- 국내·외 숯불구이 조리방법과 PAHs 생성과의 상관관계 연구 조사

○ 숯불조리 식품 섭취 패턴 조사

- 우리나라 국민의 외식 및 야외 활동을 통한 숯불구이 섭취 빈도 조사
- 우리나라 국민의 숯불구이 조리방법 조사
- 우리나라 국민의 숯불구이 식육부위의 소비패턴 조사

○ 숯불구이 식품 중 PAHs 시험법 검토

- 대상항목 : PAHs 4종

(Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benz(b)fluoranthene, Benzo(a)pyrene)

- 직선성, 검출한계, 재현성, 회수율, 측정불확도 산출

○ 숯불조리 방법에 따른 식품 중 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사

- 대상식품 : 소고기, 돼지고기 등
- 숯불조리 시간 : 숯불조리 방법 조사에 따른 평균 조리시간 및 전후 시간
- 조리부위 : 숯불조리 방법 조사에 따른 다소비 식육부위 및 지방함량 고려
- 조리방법 : 지방의 숯불 직화 유무 및 발생하는 연기의 훈연 유무,
- 대상항목 : PAHs 4종

(Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benz(b)fluoranthene, Benzo(a)pyrene)

○ 숯불조리 이외의 방법에 따른 생성량 실태조사

- 대상식품 : 소고기, 돼지고기 등
- 조리방법 : 가스불, 전기열판, 적외선 열판 등

3. 추진전략 및 방법

가) 추진전략

- 국내·외 숯불구이 식품 중 PAHs 관련 자료 수집
 - 국내·외 학술지를 통한 자료수집
 - 국내·외 식품 안전관련 기관의 웹사이트를 통한 자료수집
 - 국제 학술대회 참석을 통한 전문가 인력교류를 통한 자료수집
- 숯불조리 식품 섭취 패턴 조사
 - 전문 설문조사 기관을 통한 숯불구이 국민 소비 패턴조사
 - 전문가 자문을 통한 조사문항 선정
 - 지역별, 성별, 연령별 대표집단 선정
- 숯불구이 식품 중 PAHs 시험법 검토
 - 국제기구 및 관련 기관의 가이드라인에 따른 유효성 검증
 - GUM과 Eurachem에 근거한 모델관계식 설정하여 측정불확도 산출
- 숯불조리 방법에 따른 식품 중 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사
 - 숯불조리 시간에 따른 숯불온도와 PAHs 생성량 상관관계 분석
 - 조리부위별 지방함량에 따른 PAHs 생성량 상관관계 분석
 - 지방의 직화 및 발생하는 연기의 훈연 유무에 따른 PAHs 생성량 상관관계 분석
- 숯불조리 이외의 방법에 따른 생성량 실태조사
 - 동일한 식육부위를 동일한 정도로 조리할 시 PAHs 생성량 비교

나) 연구방법

- 국내·외 숯불구이 식품 중 PAHs 관련 자료 수집
 - 국내·외 학술지를 통한 자료수집을 위하여 'polycyclic aromatic carbons', 'PAHs', 'Benzo(a)pyrene', 'barbecue', 'method', 'determination', 'carcinogenicity' 등의 key word 검색을 통한 문헌조사 활용
 - 국내·외 식품 안전관련 기관의 웹사이트를 통한 자료수집을 위하여 일본의 Food

Safety Commission(FSC), 미국의 Food and Drug Administration(FDA), Environmental Protection Agency(EPA), 유럽의 European Union(EU), joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives(JECFA), European Food Safety Authority(EFSA) 등 해당 기관의 웹사이트에 접속하여 자료 수집

- 국제 회의 참석을 통한
- 국제 학술대회 참석을 통해 전문가 인력교류를 통한 자료수집

○ 숯불조리 식품 섭취 패턴 조사

- 외식, 야외활동, 가정조리 중 섭취방법 조사
- 조리부위 및 조리정도 조사
- 연간, 월간 섭취 빈도 및 1회 섭취 시 섭취량 조사
- 거주지역, 성별, 연령 조사

○ 숯불구이 식품 중 PAHs 시험법 검토

- 분석방법의 신뢰성을 검증하기 위해 직선성(Linearity), 검출한계(LOD), 정량한계(LOQ), 정밀도(Precision), 회수율(Recovery)을 확인
 - 직선성(linearity) 확인: calibration curve를 이용한 측정 범위 내에서의 직선성 검증. 최소 4개 포인트, 3반복을 이용하여 linear calibration curve를 구함.
 - Limit of detection (LOD)/limit of quantification (LOQ): LOD는 측정최소농도를 7회 반복측정하여 나온 표준편차를 검량선의 기울기로 나누어 3배한 값으로 정의하고 LOQ는 LOD의 3배로 정의
 - 정밀도(precision) 확인: 3회 이상의 반복성(repeatability)으로 재현성 검증
 - 회수율(recovery) 확인: 농도별 standard의 정량값 대비 샘플 내 첨가 후 회수율 검증
- 측정불확도를 계산하기 위하여 측정 모델량을 선정하여 Fish bone diagram을 이용하여 불확도 요인별 표준불확도 및 자유도 계산을 통해 합성불확도를 구함

○ 숯불조리 방법에 따른 식품 중 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사

- 숯불 발화 이후 시간에 따른 숯불온도 측정 및 조리시간 선택
- 동일 개체로부터 동일 부위 샘플링하고 균질화하여 패티를 제작함으로써 조리방법에 따른 PAHs 생성량 비교시 샘플간의 차이를 최소화
- 농촌진흥청 식품성분표 DB를 통해 지방함량에 따른 샘플 부위 선정

- 지방의 직화에 따른 PAHs 생성량 비교를 위해 샘플을 단순 조리한 경우, 숯불에 미리 추출한 지방을 일정량 추가 직화 시킨 경우, 샘플에서 지방이 숯불에 떨어지는 것을 차단한 경우로 나누어 PAHs 실태조사
- 숯불에서 발생하는 연기의 혼연정도에 따른 PAHs 생성량 비교를 위해 샘플을 단순 조리한 경우, 숯불에서 발생하는 연기를 펌프를 통해 제거한 경우로 나누어 PAHs 실태조사

제2절 연구개발과제의 필요성

다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs)는 2개 이상의 벤젠고리가 선형으로 각을 지어 있거나 밀집된 구조로 이루어져 있는 유기 화합물로서 화학연료나 유기물의 불완전 연소시 부산물로 발생하는 물질이다. 동종 화합물이 수백종에 이르며 일부는 환경 및 인체에 치명적인 영향을 주는 유기 오염원으로, 이중 독성이 있는 것으로 알려진 대표적인 화합물에는 Benzo(a)pyrene 외 50여종이 밝혀졌다. 인위적 발생원으로는 경우, 휘발유 등 화석연료를 사용하는 자동차의 배출가스, 화석연료의 연소 배출물, 자동차 폐오일, 담배연기 등이 있으며 자연 발생원에는 원유, 화산, 숲의 화재 등이 있다. 식품원에서는 굽기, 튀기기, 볶기 등의 조리, 가공 과정에 의한 탄수화물, 지방 및 단백질 탄화에 의해 생성되며, 농산물 등 조리 가공하지 않은 식품에서도 대기 입자의 직접 유입 또는 오염토양에서의 작물 재배 등으로 오염될 수 있다. PAHs는 내분비계장애물질이면서 발암가능물질로 알려져 있으며 잔류기간이 길고 독성도 강하여 Codex에서 위해관리 대상물질로 선정하였고, JECFA(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)의 위해성평가를 위한 우선순위 목록에 포함되는 등 세계적 관심의 대상 물질이 되고 있다. 국제암연구소(IARC: International Agency for Research on Cancer)는 최근 벤조피렌의 독성을 Group 1의 확인된 인체발암물질 (carcinogenic to humans)로 등급을 상향조정 하였다[1].

다환방향족탄화수소는 주로 가열처리된 식품에서 발생하며, 숯불조리 육류에서 특히 다환방향족탄화수소가 많이 발생한다. 또한 우리나라 국민의 식품을 통한 다환방향족탄화수소의 노출 또한 숯불조리 육류의 섭취를 통해 많이 일어난다[2]. 우리나라는 식용유지를 비롯한 일부 식품에서 PAHs 중 벤조피렌의 기준을 설정하여 관리하고 있다. 외국의 경우 미국과 일본에서는 아직 기준을 설정하여 관리하고 있지 않으며, 캐나다, 중국, EU에서는 일부 식품에 대하여 기준을 설정하여 관리하고 있다. 특히 EU의 경우에는 PAHs를 관리시 벤조피렌만으로는 부족하다 판단하여 2013년부터 PAHs 4종 (벤조피렌, 벤즈(a)안트라센, 벤조(b)플루오란텐, 크라이

센)의 기준을 적용하고 있다(표1)[3]. 하지만 전 세계적으로 숯불조리 식품에 대하여는 기준규격을 설정하지 않고 저감화를 통해 노출을 줄이고 있어, 특히 숯불구이 조리식품을 많이 섭취하는 우리나라의 경우 숯불조리방법에 따른 생성량 실태조사를 통해 저감화 기술개발 및 실용화 설비 개발이 필요하다.

표1. 유럽의 식품 중 PAHs 4종 기준규격

식품 카테고리	최대 허용량(Maximum levels, $\mu\text{g/kg}$)	
Benzo(a)pyrene, benz(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, chrysene	Benzo(a)pyrene	Sum of benzo(a)pyrene, benz(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, chrysene
Oils and fats (excluding cocoa butter and coconut oil) intended for direct human consumption or uses as an ingredient in food (오일과 지방유지)	2.0	10.0
Cocoa beans and derived products (코코아콩과 그 제품)	2013.4.1.부터 5.0 $\mu\text{g/kg}$ fat	- 2013.4.1.부터 2015.3.31.까지 35.0 $\mu\text{g/kg}$ fat - 2015.4.1.부터 30.0 $\mu\text{g/kg}$ fat
Coconut oil intended for direct human consumption or use as in ingredient in food (코코넛 오일)	2.0	20.0
Smoked meat and smoked meat products (훈제고기 및 그 제품)	-2014.8.31.까지 5.0 -2014.9.1.부터 2.0	-2012.9.1.부터 2014.8.31.까지 30.0 -2014.9.1.부터 12.0
Muscle meat of smoked fish and smoked fishery products, excluding fishery products listed in points 6.1.6 and 6.1.7. The maximum level for smoked crustaceans applies to muscle meat from appendages and abdomen. In case of smoked crabs and crab-like crustaceans (Brachura and Anomura) it applies to muscle meat from appendages (훈제 생선, 갑각류 근육부분으로 제조된 제품)	-2014. 8. 31.까지 5.0 -2014. 9. 1.부터 2.0	-2012. 9. 1.부터 2014. 8. 31.까지 30.0 -2014. 9. 1.부터 12.0
Smoked sprats and canned smoked sprats (sprattus sprattus) : bivalve molluscs(fresh, chilled or frozen); heat treated meat and heat treated meat products sold th the final consumer (훈제 청어 및 훈제 쌍각류 연체동물 통조림)	5.0	30.0
Bivalve molluscs(smoked) (훈제 쌍각류 연체동물)	6.0	35.0
Processed cereal-based foods and baby foods for infants and young children (곡물 제품과 유아식품)	1.0	1.0
Infant formulae and follow-on formulae, including infant milk and follow-on milk (영유아용 조유 포함한 영유아용 조리 식품)	1.0	1.0
Dietary foods for special medical purposes intended specially for infants (특수 유아용 식이용법용 식품)	1.0	1.0


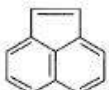
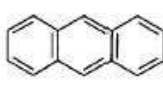
제2장 연구개발과제의 국내·외 연구개발 현황

제1절 일반적 현황

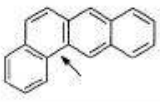
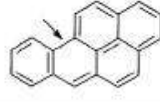
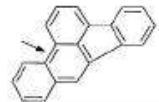
1. 다환방향족탄화수소


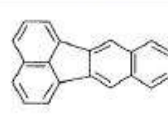
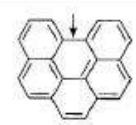
다환방향족탄화수소(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)는 2개 이상의 벤젠고리로 이루어진 황색 결정성 유기화합물로서, 유기물이 고온에서 불완전연소 시 생성되기 때문에 다양한 오염원을 가지며, 인간활동에서 인위적으로 발생하는 원인은 화석연료를 사용함으로써 환경중으로 배출되는 경로가 있으며, 자동차 폐오일, 담배연기 등을 통한 오염원도 있다. 식품에서 PAHs 발생원인은 고온가열 조리 중 탄수화물, 지방 및 단백질의 탄화에 의해 생성되는 것이 주 원인이며, 농산물 등 조리가공하지 않은 식품에서도 존재하고 있다. 축산물, 수산물 등은 대사(Bio-transformation)로 인해 PAHs 오염도가 상대적으로 낮으며, 농산물의 경우는 대기와 토양으로부터 오염될 수 있다(표2)[4].

표2. 다환방향족탄화수소의 물리·화학적 성질

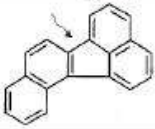
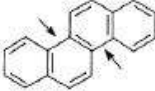
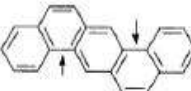
	Acenaphthene	Acenaphthylene	Anthracene
CAS No.	83-29-9	208-96-8	120-12-7
동의어	1,2-Dihydroacenaphthylene; 1,8-Dihydroacenaphthalene; 1,8-Ethylenenaphthalene	Cyclopenta[d,e]naphthalene	Anthracin ; Green oil ; Paranaphthalene
상품명	자료 없음	자료 없음	Tetra olive NZG, Anthracene oil
분자식	C ₁₂ H ₁₀	C ₁₂ H ₈	C ₁₄ H ₁₀
구조식			
분자량	154.21	152.20	178.2
녹는점 (°C)	95	92-93	218
끓는점 (°C)	96.2	265-275	342
용해도	물 : 1.93 mg/L 유기용매 : 알코올, 메탄올, 프로판올, 클로로포름, 벤젠, 톨루엔, 빙초산에 녹음	물 : 3.93 mg/L 유기용매 : 알코올, 에테르, 벤젠에 녹음	물 : 0.076 mg/L 유기용매 : 아세톤, 벤젠, 사염화탄소, 클로로포름, 에테르, 에탄올 등에 녹음
비중	1.0242 (90°C/4°C)	0.8988 (16°C/2°C)	1.25 (27°C/4°C)
밀도 (20/4°C)	1.225 g/cm ³ (0°C)	자료 없음	자료 없음
증기압	4.47x10 ⁻³ mmHg	0.029 mmHg (20°C)	1 mmHg (145°C), 1.7x10 ⁻⁶ mmHg (25°C)
분배상수			
Log Kow	3.98	4.07	4.45
Log Koc	3.66	1.40	1.15

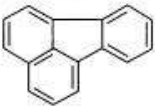
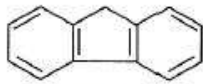
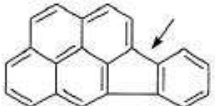
(계속)

	Benzo[a]anthracene	Benzo[a]pyrene	Benzo[b]fluoranthene
CAS No.	56-55-3	50-32-8	205-99-2
동의어	BA ; Benz[a]anthracene ; 1,2-Benzanthracene ; Benzo[b]phenanthrene ; Tetraphene	BP ; Benzo[d,e,f]chrysene ; 3,4-Benzopyrene ; Benz[a]pyrene ; B[a]P	3,4-Benz[e]acephenanthrylene ; 2,3 or 3,4-Benzfluoranthene ; 2,3 or 3,4-Benzofluoranthene ; Benzo[e]fluoranthene ; B[b]F
상품명	자료 없음	자료 없음	자료 없음
분자식	C ₁₈ H ₁₂	C ₂₀ H ₁₂	C ₂₀ H ₁₂
구조식			
분자량	228.29	252.3	252.3
녹는점 (°C)	158-159	179-179.3	168.3
끓는점 (°C)	400 (435°C에서 승화됨)	310-312 (10 mmHg)	자료 없음
용해도	물 : 0.010 mg/L 유기용매 : 벤젠에 매우 잘 녹고, 아세톤, 디에틸에테르 에 녹으며, 초산 및 뜨거운 에탄올에 약간 녹음	물 : 2.3×10^{-5} mg/L 유기용매 : 에탄올, 메탄올에 드물게 녹고, 벤젠, 톨루엔, 크 실렌, 에테르에 녹음	물 : 0.0012 mg/L 유기용매 : 벤젠, 아세톤에 약간 녹음
비중	자료 없음	자료 없음	자료 없음
밀도	1.274 g/cm ³ (20°C)	1.351 g/cm ³	자료 없음
증기압	2.2×10^{-8} mmHg (20°C)	5.6×10^{-9} mmHg	5.0×10^{-7} mmHg (20-25°C)
분배상수			
Log Kow	5.61	6.06	6.04
Log Koc	5.30	6.74	5.74

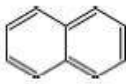
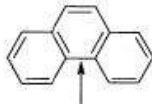

	Benzo[e]pyrene	Benzo[k]fluoranthene	Benzo[g,h,i]perylene
CAS No.	192-97-2	207-08-9	191-24-2
동의어	1,2 or 4,5-Benzopyrene ; 1,2 or 4,5-Benzpyrene ; B[e]P	8,9-Benzfluoranthene ; 8,9 or 11, 12-Benzofluoranthene ; 2,3,1,8-Binaphthylene ; Dibenzo[b,j,k]fluorene	1,12-Benzoperylene
상품명	자료 없음	자료 없음	자료 없음
분자식	C ₂₀ H ₁₂	C ₂₀ H ₁₂	C ₂₂ H ₁₂
구조식			
분자량	252.30	252.3	276.34
녹는점 (°C)	178-179	215.7	273
끓는점 (°C)	310-312 (10 mmHg)	480	550
용해도 (25°C)	물 : 6.3×10^{-6} mg/L 유기용매 : 아세톤에 녹음	물 : 7.6×10^{-4} mg/L 유기용매 : 벤젠, 초산, 에탄올 에 녹음	물 : 2.6×10^{-4} mg/L 유기용매 : 벤젠, 디클로로메 탄, 아세톤에 녹음
반응성			
안정성			
비중	자료 없음	자료 없음	자료 없음
밀도	자료 없음	자료 없음	자료 없음
증기압	5.7×10^{-9} mmHg (25°C)	9.59×10^{-11} mmHg	1.03×10^{-10} mmHg (25°C)
분배상수			
Log Kow	자료 없음	6.06	6.50
Log Koc	자료 없음	5.74	6.20

(계속)

	Benzo[i]fluoranthene	Chrysene	Dibenz[a,h]anthracene
CAS No.	206-82-3	218-01-9	53-70-3
동의어	7,8 or 10,11-Benzofluoranthene ; B[i]F ; Benzo-12,13-fluoranthene ; Dibenzo[a,j,k]fluorene ;	1,2-Benzophenanthrene ; Benzo[a]phenanthrene ; 1,2-Benzphenanthrene ; Benz[a]phenanthrene ; 1,2,5,6-Dibenzonaphthalene	DB[a,h]A ; DBA ; 1,2,5,6-Dibenz[a]anthracene
상품명	자료 없음	자료 없음	자료 없음
분자식	C ₂₀ H ₁₂	C ₁₈ H ₁₂	C ₂₂ H ₁₄
구조식			
분자량	252.32	228.3	278.35
녹는점 (°C)	166	255-256	262
끓는점 (°C)	자료 없음	448	자료 없음
용해도	물 : 6.76×10^{-3} mg/L (25°C) 유기용매 : 알코올, 초산에 약간 녹고, 가열 시 황화수소 (hydrogen sulfide)에 녹음	물 : 2.8×10^{-3} mg/L 유기용매 : 아세톤, 이황화탄소 (carbon disulfide), 디에틸에테르 등에 약간 녹고, 벤젠에 녹음.	물 : 5×10^{-4} mg/L 유기용매 : 에틸알코올에 약간 녹고, 아세톤, 초산, 벤젠, 톨루엔, 크실렌에 약간 녹음
비중	자료 없음	1.274 (20°C)	자료 없음
밀도	자료 없음	자료 없음	1.282g/cm ³
증기압	1.50×10^{-8} mmHg (25°C)	6.3×10^{-7} mmHg (25°C)	1×10^{-10} mmHg (20°C)
분배상수			
Log Kow	6.12	5.16	6.84
Log Koc	4.7-4.8	5.30	6.52

	Fluoranthene	Fluorene	Indeno[1,2,3-c,d]pyrene
CAS No.	206-44-0	86-73-7	193-39-5
동의어	1,2-[1,8-Naphthylene]benzene; 1,2-Benzacenaphthene; 1,2-[1,8-Naphthalenediyl]-benzene ; Benzo[i,k]fluorene	ortho-Biphenylene methane; Diphenylenemethane; 2,2-Methylenebiphenyl; 2,3-Benzidene	Idenopyrene; IP; ortho-Phenylenepyrene; 1,10-[1,2-phenylene]pyrene; 2,3-ortho-Phenylenepyrene
상품명	자료 없음	자료 없음	자료 없음
분자식	C ₁₈ H ₁₀	C ₁₃ H ₁₀	C ₂₂ H ₁₂
구조식			
분자량	202.26	166.2	276.3
녹는점 (°C)	11	116-117	163.6
끓는점 (°C)	-375	295	530
용해도	물 : 0.20-0.26 mg/L 유기용매 : 알코올, 에테르, 벤젠, 초산에 녹음	물 : 1.68-1.98 mg/L 유기용매 : 초산, 아세톤, 벤젠, 에탄올, 피리미딘, 톨루엔 등에 녹음	물 : 0.062 mg/L 유기용매에 녹음
비중	1.262 (0°C/4°C)	1.203 (0°C/4°C)	자료 없음
밀도	자료 없음	자료 없음	자료 없음
증기압	5.0×10^{-8} mmHg (25°C)	3.2×10^{-4} mmHg (20°C)	10^{-11} - 10^{-8} mmHg (20°C)
분배상수			
Log Kow	4.90	4.18	6.58
Log Koc	4.58	3.86	620

(계속)

	Naphthalene	Phenanthrene	Pyrene
CAS No.	91-20-3	85-01-8	129-00-00
동의어		Phenanthrin	Benzo[d,e,f]phenanthrene; 8-Pyrene
상품명		자료 없음	자료 없음
분자식	C ₁₀ H ₈	C ₁₄ H ₁₀	C ₁₆ H ₁₀
구조식			
분자량	128.18	178.2	202.3
녹는점 (°C)	80.2	100	156
끓는점 (°C)	218	340	393
용해도 (25°C)	물 : 약 30 mg/L 유기용매 : 벤조산, 이황화탄소, 사염	물 : 1.20 mg/L 유기용매 : 벤조산, 이황화탄소, 사염화탄소, 에탄올, 톨루엔에 녹음	물 : 0.077 mg/L 유기용매 : 알코올벤젠, 이황화탄소, 디에틸에테르, 석유에테르, 톨루엔 등에 녹음
비중		자료 없음	1.271 g/cm ³ (23°C/4°C)
밀도	1.14 g/cm ³	0.980 g/cm ³ (4°C)	1.271 g/cm ³ (23°C)
증기압	1.1x10 ⁻² mmHg (25°C)	6.8x10 ⁻⁴ mmHg (25°C)	2.5x10 ⁻⁶ mmHg (25°C)
분배상수			
Log Kow		4.45	4.88
Log Koc		4.15	4.58

PAHs는 내분비계장애물질이면서 발암가능물질로 알려져 있으며, 독성이 강하여 Codex 및 JECFA(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)의 위해성평가를 위한 우선순위 목록에 포함되어 있다. 또한 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 최근 대표적인 다환방향족탄화수소인 Benzo(a)pyrene을 Group I인 인체 발암물질로 등급을 상향조정하였다(표3)[4].

표3. 국제암연구소의 발암등급

Group 1		확인된 인체 발암물질 (The agent is carcinogenic to humans)
Group 2	2A	인체 발암추정 물질 (The agent is probably carcinogenic to humans)
	2B	인체 발암가능 물질 (The agent is possibly carcinogenic to humans)
Group 3		인체 발암성있는 물질로 분류할 수 없는 물질 (The agent is not classifiable as to its carcinogenicity into humans)
Group 4		인체 비발암성 물질 (The agents is probably not carcinogenic to humans)

PAHs 는 폐, 위장, 피부를 통해 흡수되며, 특히 폐의 흡수율은 PAHs의 형태와 흡수되는 입자의 크기에 의해 결정된다. 위에서의 흡수는 설치류에서 빨리 일어나며, 대사물질은 담즙 배설을 통해 장으로 들어가 탈독성화 되거나, diol-epoxide로 활성화 되어 종양을 유발하게 된다. 대사체들은 오줌이나 대변으로 배설되며, 장에서 장내세균의 효소에 의해 가수분해 되어 체내에 잔존하지않게 된다[5].

PAHs 중 가장 대표적인 발암물질인 benzo(a)pyrene은 여러종의 동물실험에서 피부암, 폐, 기관지암을 일으키는 것으로 알려져 있다[6-8].

PAHs 연구를 통해 체내에서 diol epoxide의 생성 여부가 PAHs의 발암성을 결정하는 주요 체내 대사 경로임이 밝혀졌으며 방향족 고리의 수 및 위치에 따라 발암성 정도에 차이가 있다고 보고 되었다[9-10]. 일부 PAHs의 돌연변이성과 발암성은 대사과정 중 생성되는 dihydrodiols, phenols, quinones나 이들의 복합체와 같은 epoxide 대사체에 의한 것이며, 특히 benzo(a)pyrene 이나 benzo(a)anthracene 등은 K(external corner of phenanthrenic moiety in a PAH), L(a pair of opposed open anthracenic point atoms), bay region(그림1)을 갖고 있어 diol epoxide 대사체로 전환되어 carbocation을 형성하고 이들이 돌연변이원성과 발암성을 일으키는 원인으로 작용한다고 알려져 있다[11-12].

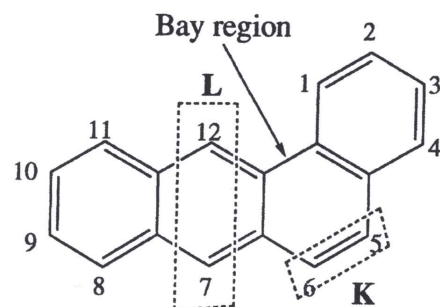


그림1. 벤조피렌의 K, L and Bay 구조

benzo(a)pyrene의 대사과정에서 생성되는 중간물질인 diol epoxide의 이성체인 benzo(a)pyrene 7,8-diol-9,10 epoxide(BPDE)는 PAHs 대사물질 중 가장 독성이 강한 것으로 알려져있다[13]. diol epoxide는 단백질, DNA, RNA 등과 같이 세포 내 거대분자들과 상호작용하여 세포독성, 세포 돌연변이, 종양 등을 유발시킨다(그림2,3)[14-15].

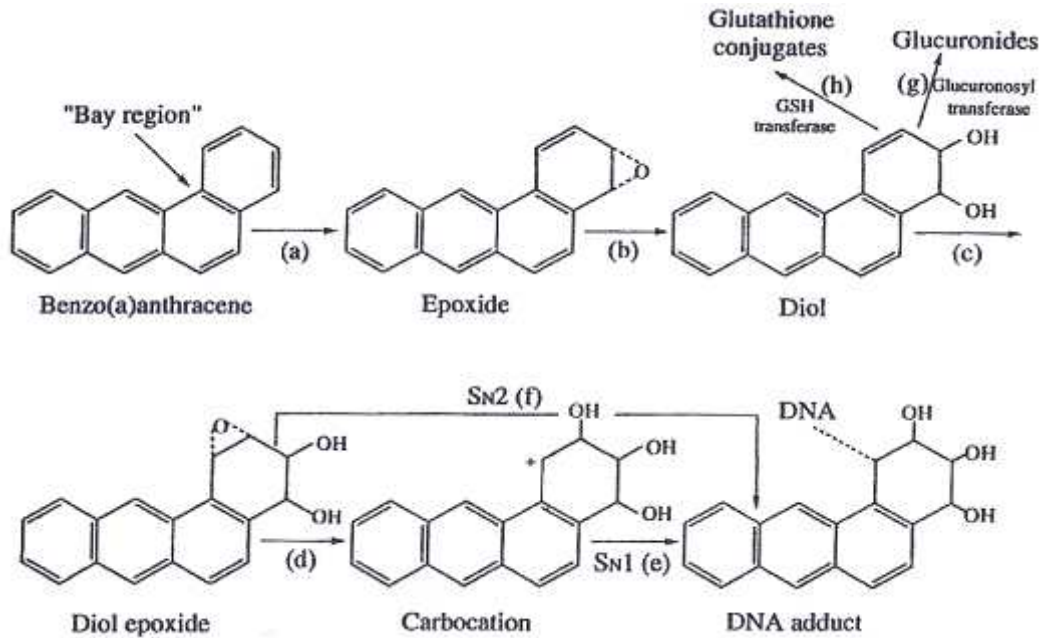


그림2. 벤조피렌의 대사를 통한 발암성

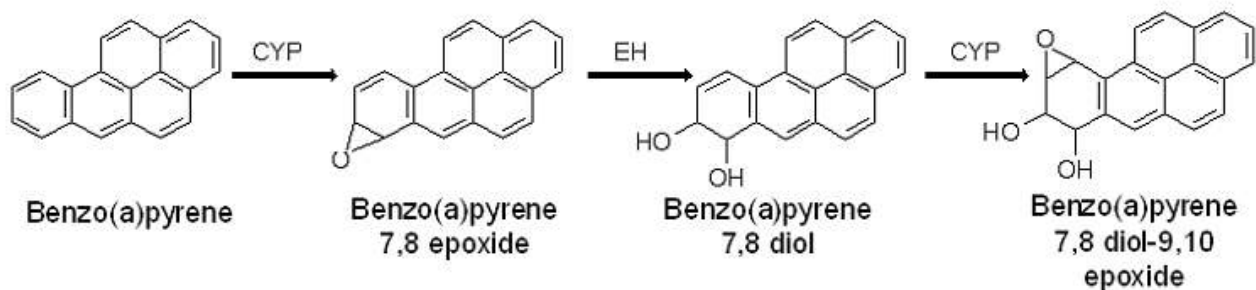


그림3. 벤조피렌의 대사과정

제2절 식품 중 다환방향족탄화수소 분석연구

1. 국내 식품 중 다환방향족탄화수소 분석

국내 식품 중 다환방향족탄화수소의 분석법은 대상 식품의 특성에 여러방법들이 연구되었다. 분유류 및 조제유류 등에서의 다환방향족탄화수소의 분석은 알칼리분해를 이용한 비누화 과정 후 유기용매로 추출하고 실리카겔을 이용하여 고체상 정제 후 GC/MS를 이용하여 분석하는 방법이 사용되었으며(16), 식용유지는 유기용매를 이용한 액액추출과 플로리실을 이용한 고체상 정제 후 GC/MS와 HPLC/FLD를 이용하여 분석하는 방법이 연구되었다(17). 또한 지방함량이 높은 식품은 알칼리분해를 이용한 비누화 과정 후 유기용매로 추출하고 실리카겔을 이용하여 고체

상 정제 후 GC/MS를 이용하여 분석하는 방법이 사용되었다(18).

또한 분쇄원두커피 중 다환방향족탄화수소 분석을 위해 고체-액체 추출법과 GC-tandem mass spectrometry를 이용한 분석법이 연구되었으며, Benzo[a]pyrene의 MDL(method detection limit), MQL(method quantitative limit)은 각각 0.006, 0.02 µg/kg이었다(19)

2. 국외 식품 중 다환방향족탄화수소 분석

식품 중 다환방향족탄화수소 분석을 위해서 다양한 방법들이 연구되어왔다. 호주, 뉴질랜드 FSANZ에서는 모든 식품군 중 다환방향족탄화수소를 분석하기 위해 알칼리분해를 이용한 비누화 과정 후 유기용매로 추출하고 실리카겔을 이용하여 고체상 정제 후 GC/MS를 이용하여 분석하였다. 이때 내부표준물질로 동위원소를 사용하였다[20]. 또한 유럽연합에서는 탄소 동위원소로 치환된 내부표준물질을 이용하며 고체식품의 경우, 알칼리 분해를 통한 비누화 과정을 거쳐 액액 추출의 전처리 과정을 거치고, 기름과 같은 액체 시료의 경우, 액액 추출법을 많이 사용한다. 이후 정제를 위해 SPE, GPC 등을 이용하며, HPLC/FLD 또는 GC/MS를 이용하여 분석한다(표4)[21].

표 4. 국외의 다환방향족탄화수소 분석법 비교

	일본 Speed98	미국 EPA		미국 AOAC
매질	토양, 저질, 생물	토양, 폐기물		식품
추출	시료 20gr	[sonication]	[soxhlet]	시료 100gr
	알칼리분해	시료 30gr	시료 10gr	알칼리분해
	LLE(n-hexane)	LLE(acetone/ hexane 1:1)	LLE(acetone/ hexane 1:1)	LLE(isooctane)
정제	Silica gel cartridge	Silica gel/GPC		Florisil column
기기	GC/MS-SIM	GC/MS or HPLC/FLD		TLC/UV/FL
검출한계	1 µg/kg	-		-

제3절 식품 중 다환방향족탄화수소 모니터링 현황

1. 국내 식품 중 다환방향족탄화수소 모니터링 현황

국내에서는 2001년 이후 식품의약품안전처를 중심으로 다환방향족탄화수소에 대한 모니터링을 지속적으로 수행하고 있다. 농,축,수산물 및 가공식품에 대한 실태조사를 수행하였으며, 최근 2012년에는 식품 중 다환방향족탄화수소에 대한 모니터링 결과를 발표하였다. 모니터링 결과 다환방향족탄화소 4종이 가장 높게 검출된 식품은 숯불구이 돼지고기였으며 돼지목살, 돼지삼

겹살이 각각 평균 5.284, 5.781 $\mu\text{g/kg}$ 수준이었다(표5)[18].

표5. PAHs contents of various food categories in korea

Food Category	n	B(a)A		Chr		B(b)F		B(a)P		4PAHs	
		Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)
조제분유	40	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.093	0-0.587	0.045	0-0.345	0.138	0-0.587
성장기용 조제분유	20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	0-0.227	0.023	0-0.188	0.035	0-0.416
기타 조제분유	20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.068	0-0.513	0.080	0-0.590	0.149	0-0.590
혼합분유	20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.014	0-0.173	0.025	0-0.207	0.039	0-0.207
유아용 특수용도식품	52	0.004	0-0.163	N.D.	N.D.	0.039	0-0.590	0.037	0-0.580	0.080	0-0.590
초콜릿	41	0.025	0-0.450	0.034	0-0.685	0.003	0-0.105	0.216	0.04 -0.677	0.278	0.04 -1.244
코코아 가공품	9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.123	0.04 -0.228	0.123	0.04 -0.228
훈제치킨	13	0.073	0-0.358	0.164	0.06 -0.404	0.017	0.055 -0.281	0.099	0.04 -0.225	0.353	0.100 -0.808
훈제오리	15	0.010	0-0.139	0.025	0-0.377	0.058	0-0.355	0.148	0.04 -0.605	0.240	0.04 -0.676
훈제돈육	11	0.012	0-0.080	0.034	0-0.198	0.043	0-0.269	0.083	0.04 -0.261	0.171	0.04 -0.526
훈제연어	15	0.007	0-0.102	0.019	0-0.283	0.033	0-0.283	0.077	0-0.506	0.135	0-0.715
훈제베이컨	4	N.D.	N.D.	0.048	0-0.193	0.114	0-0.269	0.192	0-0.344	0.240	0-0.536
가스불판돼지 목살	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.018	0-0.088	0.018	0-0.088
가스불판돼지 삼겹살	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.029	0-0.147	0.029	0-0.147
가스불판 소등심	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.101	0.04 -0.165	0.075	0.04 -0.114	0.176	0.08 -0.279
가스석쇠 돼지목살	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.170	0.081 -0.263	0.170	0.081 -0.263
가스석쇠 돼지삼겹살	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.136	0.098 -0.206	0.136	0.098 -0.206
가스석쇠 소등심	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.098	0.04 -0.184	0.098	0.04 -0.184
가스석쇠 소안심	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.113	0.04 -0.198	0.113	0.04 -0.198
숯불석쇠 돼지목살	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.927	2.857 -2.985	2.357	2.229 -2.463	5.284	5.104 -5.437
숯불석쇠 돼지삼겹살	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.839	2.729 -2.882	2.942	2.833 -3.010	5.781	5.561 -5.883
숯불석쇠 소등심	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.476	0.451 -0.498	0.275	0.263 -0.287	0.751	0.715 -0.785
숯불석쇠 소안심	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.319	0.314 -0.323	0.257	0.254 -0.260	0.576	0.570 -0.583
계	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.151	0.084	0.151	0.084

									-0.231		-0.231
새우	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.422	0.345	0.422	0.04
									-0.579		-0.579
고등어	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.045	0-0.256	0.078	0.04	0.123	0.04
									-0.155		-0.355
삼치	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.466	0.04	0.466	0.04
									-0.662		-0.662
오징어	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.121	0.04	0.121	0.04
									-0.321		-0.321
꾸꾸미	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.017	0-0.174	0.017	0-0.174
꼬막	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.206	0.119	0.136	0.04	0.342	0.213
							-0.388		-0.243		-0.436
홍합	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.017	0-0.089	0.191	0.04	0.208	0.04
									-0.320		-0.320
참치통조림	10	N.D.	N.D.	0.021	0-0.211	N.D.	N.D.	0.084	0-0.447	0.105	0-0.517
꽁치통조림	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.312	0.152	0.312	0.152
									-0.501		-0.501
오징어포	7	0.018	0-0.128	0.106	0-0.217	0.031	0-0.214	0.132	0.04	0.238	0-0.783
									-0.436		
올리브유	60	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.6666	0.0270	0.6666	0.0270
									-1.3861		-1.3861
참기름	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.5519	0.0270	0.5519	0.0270
									-1.1222		-1.1222
콩기름	16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.5915	0.2161	0.5915	0.2161
									-1.3704		-1.3704
옥수수유	8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.7418	0.1973	0.7418	0.1973
									-1.3528		-1.3528
카놀라유	21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.4773	0.0270	0.4773	0.0270
									-1.4328		-1.4328
포도씨유	57	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.6478	0.0270	0.6478	0.0270
									-1.2587		-1.2587
현미유	12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.4127	0.0270	0.4127	0.0270
									-1.1178		-1.1178
해바라기유	19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.6496	0.0270	0.6496	0.0270
									-1.0370		-1.0865
튀김전용유	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.1942	0.0270	0.1942	0.0270
									-0.5287		-0.5287

또한 2004년 식품의약품안전청의 “식품 중 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons의 위해성 평가” 연구에 따르면 PAHs의 주요노출식품으로 알려져 있는 숯불구이 쇠고기, 숯불구이 돼지고기, 숯불구이 닭고기, 햄류, 베이컨 및 식용유지(올리브유, 옥수수유, 대두유)를 대상으로 PAHs 함량을 평가하였다. 닭고기의 경우 숯불을 이용하여 석쇠위에서 구이를 하였으며 소고기와 돼지고기는 일상에서 흔히 사용되는 숯불구이 방법으로 조리하였다. PAHs 함량 평가 결과 숯불구이 닭고기에서 총 PAHs 가 9.3 ppb로 가장 높게 검출되었고 벤조피렌의 경우 1.876 ppb로 검출되었으며, 숯불구이 소고기의 경우 총 PAHs 0.219 ppb, 벤조피렌 0.041 ppb, 숯불구이 돼지고기의 경우 총 PAHs 0.697 ppb, 벤조피렌 0.191 ppb로 검출됨. 식용유지의 경우 총 PAHs 1.169 ppb, 벤조피렌 0.175 pp로 숯불구이 닭고기를 제외한 다른 육류식품보다 높은 PAHs 농도를 나타냈다. 섭취량을 통한 위해도를 결정한 결과 PAHs 주요 노출식품 섭취로 인해 나타날 수 있는 성인기 위상부암의 초과발암위해도는 백만명당 3~4명 수준으로 나타났다[22].

2. 국외 식품 중 다환방향족탄화수소 모니터링 현황

가. 영국의 4 PAHs 실태조사

영국 FSA에서 식품 중 다환방향족탄화수소에 대한 실태조사를 수행하였으며, 식품군별 다환방향족탄화수소 4종에 대한 실태조사 결과는 다음의 표4와 같다(표6)[23]. 훈연수산물에서 가장 높은 평균 검출량 1.44 µg/kg을 보였다.

표6. 영국의 식품별 4 PAHs 실태조사 결과

Food Category	n	B(a)A		Chr		B(b)F		B(a)P		4PAH	
		Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)
Smoked Fish and Shellfish	46	0.52	-	0.59	-	0.17	-	0.16	-	1.44	-
Smoked Meat and Products	18	0.23	-	0.27	-	0.08	-	0.09	-	0.67	-
Smoked Poultry and Game	28	0.31	-	0.34	-	0.10	-	0.08	-	0.82	-
Vegetables and Vegetable Products	40	0.05	-	0.05	-	0.03	-	0.02	-	0.15	-
Cereal Products, Bread and Flour	62	0.07	-	0.08	-	0.06	-	0.04	-	0.26	-

나. 유럽의 4 PAHs 실태조사

유럽연합 EFSA에서는 식품 중 다환방향족탄화수소 실태조사를 수행하고 그 결과를 다음의 표5와 같이 발표하였다(표7)[24].

표7. 유럽의 식품별 4 PAHs 실태조사 결과

Food Category	n	B(a)A		Chr		B(b)F		B(a)P		4PAH	
		Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Range (µg/kg)
oils and fats (excluding cocoa butter)	9,714	1.03	-	3.13	-			0.89		5.05	
smoked meat and		0.78	-	0.79	-			0.75		2.32	

meat products											
smoked fish and some smoked fishery products	1.29	-	1.64	-				0.81		3.74	
fresh muscle meat of fish	0.12	-	0.18	-				0.12		0.42	
muscle meat of fish	4.98	-	5.51	-				1.78		12.27	
fresh bivalve molluscs	3.24	-	8.33	-				1.97		13.54	
cocoa butter	2.90	-	3.74	-				1.93		8.57	
food supplements	4.89	-	9.11	-				2.54		16.54	
dried fruit	0.70	-	0.91	-				0.10		1.71	
canned smoked fish	9.62	-	8.66	-				2.97		21.25	

다. 독일의 4 PAHs 실태조사

독일에서 식품 중 다환방향족탄화수소 실태조사를 수행하고 그 결과를 다음의 표 6과 같이 발표하였다. 이중 식용유지에 대한 실태조사는 참기름, 올리브기름 등 7종류의 식용유지에 이루어졌으며, 옥배유 및 엿기름에서 Benzo(a)Pyrene이 1.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 가장 높은 평균검출율을 보였다(표8)[25].

표8. 독일의 식품별 4 PAHs 실태조사 결과

Food Category	n	B(a)A		Chr		B(b)F		B(a)P		4PAH	
		Mean ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Range ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Mean ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Range ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Mean ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Range ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Mean ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Range ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Mean ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Range ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
olive oil	7	1.6	1.0-1.9	-	-	-	-	0.7	0.2-1.2	-	-
Safflower oils	8	0.2	n.d.-3.8	-	-	-	-	0.3	n.d.-4.1	-	-
Sunflower oils	5	0.8	0.1- 1.3	-	-	-	-	0.7	0.1- 0.8	-	-
Maize germ oils	5	1.3	0.7-6.1	-	-	-	-	1.3	0.5-2.3	-	-
sesami oil	1	<0.1	-	-	-	-	-	n.d.	-	-	-
Linseed oil	1	2.2	-	-	-	-	-	0.9	-	-	-
Wheat germ oil	1	2.4	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-
mussels and oysters	-	1.1	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-
Mussels	-	1.9	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-

(canned)											
Sea Mussels	-	3.6	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-
(canned)											
smoked oysters in oil	-	-	-	-	-	-	-	75.8	-	-	-
smoked oyster meat	-	-	-	-	-	-	-	12.2	-	-	-

라. 호주, 뉴질랜드의 4 PAHs 실태조사

호주/뉴질랜드의 FSANZ에서는 식품 중 다환방향족탄화수소 실태조사를 수행하고 그 결과를 다음의 표7과 같이 발표하였다. 식용유지로는 채종유에 대하여 실태조사 하였으며, Benzo(a)Anthracene이 0.06 $\mu\text{g/kg}$ 이하, Chrysene 0.1 $\mu\text{g/kg}$ 이하, Benzo(a)Pyrene 0.08 $\mu\text{g/kg}$ 이하로 검출되었다(표9)[26].

표9. 호주 및 뉴질랜드의 식품별 4 PAHs 실태조사 결과

Food Category	n	B(a)A		Chr		B(b)F		B(a)P		4PAH	
		Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)	Mean ($\mu\text{g/kg}$)	Range ($\mu\text{g/kg}$)
Ice cream		<0.01	-	<0.03	-	-	-	<0.02	-	-	-
Infant formula		<0.02	-	<0.05	-	-	-	<0.02	-	-	-
Milk, full fat		<0.007	-	<0.02	-	-	-	<0.01	-	-	-
Milk, modified, low fat		<0.006	-	<0.01	-	-	-	<0.007	-	-	-
Butter, regular		<0.1	-	<0.2	-	-	-	<0.2	-	-	-
Margarine		<0.2	-	<0.4	-	-	-	<0.2	-	-	-
		<0.06	-	<0.1	-	-	-	<0.06	-	-	-
Cheese, cheddar, full fat		<0.06	-	<0.1	-	-	-	<0.09	-	-	-
Cream, pure, not thickened		<0.01	-	<0.04	-	-	-	<0.01	-	-	-
Yoghurt, fruit, full fat		<0.02	-	0.045	-	-	-	<0.008	-	-	-
Chicken breast fillet		0.017	-	0.12	-	-	-	<0.005	-	-	-
Infant dinner, containing meat		0.058	-	0.13	-	-	-	<0.03	-	-	-
Pizza		<0.03	-	<0.05	-	-	-	<0.03	-	-	-
Hamburger		1.1	-	1.5	-	-	-	1.2	-	-	-

Liver, sheep	<0.05	-	<0.1	-	-	-	<0.03	-	-	-
Bread, white	0.029	-	0.065	-	-	-	0.075	-	-	-
Infant cereal	<0.006	-	0.029	-	-	-	<0.007	-	-	-
Carrots	<0.02	-	<0.04	-	-	-	<0.04	-	-	-
Infant dessert, dairy based	<0.01	-	<0.03	-	-	-	<0.01	-	-	-
Infant dessert, fruit based	<0.01	-	<0.03	-	-	-	<0.01	-	-	-
Water, tap 1	<0.03	-	<0.02	-	-	-	<0.04	-	-	-
Water, tap 2	<0.02	-	<0.006	-	-	-	<0.04	-	-	-
Sausage, beef	<0.1	-	<0.2	-	-	-	<0.1	-	-	-
Coconut, desiccated	<0.5	-	<0.6	-	-	-	<0.4	-	-	-
Potato crisps	<0.2	-	0.71	-	-	-	<0.3	-	-	-
Bacon	0.2	-	0.25	-	-	-	<0.1	-	-	-
Lamb chops	<0.06	-	<0.07	-	-	-	<0.04	-	-	-
Milk chocolate	0.49	-	1	-	-	-	0.29	-	-	-
Oil, canola	<0.06	-	<0.1	-	-	-	<0.08	-	-	-
Peanut butter	<0.1	-	<0.2	-	-	-	<0.1	-	-	-
Eggs, boiled	<0.04	-	<0.07	-	-	-	<0.02	-	-	-
Tuna, canned in brine	<0.05	-	<0.1	-	-	-	<0.05	-	-	-
Potatoes, cooked	<0.004	-	<0.01	-	-	-	<0.003	-	-	-
	<0.01	-	<0.02	-	-	-	<0.02	-	-	-

제3장 연구개발과제의 연구수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 방법

1. 시험법 검토

가. 사용된 시약 및 시액

실험에 사용된 표준품(Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(a)pyrene)은 Supelco사에서 구입한 순도 99% 이상(Supelco사, USA)의 제품을 사용하였고, 내부 표준물질로 사용된 Chrysene-d12 와 Benzo(a)pyrene-d12 역시 Supelco사에서 구입한 순도 99% 이상(Supelco사, USA)의 제품을 사용하였다. 사용된 용매인 헥산과 에탄올은 Merck사의 HPLC급을 사용하였다. 디클로로메탄은 Burdick & Jackson사의 HPLC grade를 사용하였으며, 물은 3차 증류수를 사용하였다.

1 M 수산화칼륨·에탄올 용액 조제 시 Wako사의 시약급을 이용하였고, 탈수여과에 사용한 무수황산나트륨은 대정화금사의 시약급을 사용하였다.

정제 카트리지는 6 mL 실리카 카트리지 (Waters사, Ireland)와 사용하고 컬럼은 DB-5MS (Agilent Technologies사, USA)을 사용하였다.

(1). 표준원액 및 내부표준원액 제조 방법

4종 PAHs 표준품(Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(a)pyrene) 및 Chrysene-d12 와 Benzo(a)pyrene-d12 내부표준품을 각각 정밀히 달아 디클로로메탄에 녹여 100 µg/mL가 되게 하였다.

(2). 표준용액 및 내부표준용액 제조 방법

디클로로메탄을 가해 Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(a)pyrene 표준 용액을 함께 적당한 농도로 혼합희석 하고 Chrysene-d12과 Benzo(a)pyrene-d12 내부표준 용액은 함께 희석하여 400 µg/mL이 되게 하였다.

(3). 검량곡선표준용액 제조 방법

각 농도별 4종의 표준용액과 2종의 내부표준용액을 디클로로메탄에 녹여 내부표준용액의 농

도 200 $\mu\text{g/mL}$, 표준용액의 농도가 각각 10, 50, 100, 200, 500 $\mu\text{g/mL}$ 로 되게 제조하였다.

다. 시험용액 조제

(1). 추출

둥근바닥 플라스크에 균질화된 검체 약 10 g을 달아 혼합내부표준용액 Chrysene-d12과 Benzo(a)pyrene-d12을 200 μL 를 첨가하고 1 M 수산화칼륨·에탄올 용액 100 mL와 함께 환류냉각 장치를 부착시킨다. 이를 미리 80℃로 예열된 전열기에서 3시간 동안 가열하여 알칼리 분해시키고 신속히 냉각 후 헥산 50 mL를 환류냉각관을 통하여 넣어준다. 둥근바닥 플라스크의 알칼리 분해액을 분액깔대기에 옮기고 에탄올 : 헥산(1:1)용액 50 mL로 세척하여 분액깔대기에 합친다. 이 액에 50 mL의 물을 넣어 심하게 흔들어 섞은 후 헥산층을 분리하여 다른 분액깔대기에 받아두고 물층에 헥산 50 mL를 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 얻은 헥산층을 모두 합친다. 이 헥산층에 물 50 mL를 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 얻은 헥산층을 모두 합친다. 이 헥산층에 물 50 mL를 넣고 흔들어 섞은 후 정치하여 물층은 버리는 조작을 3회 되풀이하고 헥산층을 무수황산나트륨 약 15 g을 넣은 여과지(150mm $\varnothing \times 100$ circles)를 사용하여 탈수여과한 후 40 ℃ 이하의 수욕상에서 약 2 mL이 되도록 감압농축한다.

(2). 정제

실리카카트리지는 미리 디클로로메탄 10 mL 및 헥산 20 mL를 초당 2~3방울의 속도로 유출시켜 활성화한 뒤 사용한다. 이 카트리지에 위의 농축액을 1 mL/분의 속도로 가한다. 이어서 헥산 10 mL와 헥산/디클로로메탄 (3:1) 혼합액 20 mL로 각각 순차적으로 용출시킨 후 이 용출액 40 ℃ 이하 수욕상에서 질소가스 하에 농축·건고한 후 잔류물을 디클로로메탄에 녹여 전량을 200 μL 가 되도록 하여 시험용액으로 한다.

라. GC-MS 분석법

(1). 실험기구

GC-MS는 gas chromatograph(CP-3800, Varian, USA)에 MS detector(model 1200L, Varian, USA)을 부착한 GC-MS 시스템을 사용하였다.

(2). 분석조건

(가) GC 분석조건

GC-MS의 분석조건으로 컬럼은 DB-5MS Column (30m x 0.25mm i.d., 0.25 μ m, Agilent Technologie, USA)을 사용하였고, oven온도는 80℃에서 1분간 유지한 후 4℃/분의 비율로 245℃까지 온도를 상승시키고, 다시 270℃까지 30℃/분 승온한 뒤 10분간 유지하였다. 캐리어가스는 helium 가스를 1.5 ml/min로 흘려주었으며, 이때 GC inlet의 온도는 320℃이고 splitless mode로 시료를 주입하였다.

표10 . GC-MS 분석조건

	Items	Conditions
GC	Instrument	Agilent Technology 7890A/5975C MSD
	Column type	DB-5MS (30m x 0.25mm i.d. x 0.25 μ m film)
	Injection type and temperature	Splitless/320℃
	Column temperature program	80℃(1 min)→ 245℃(4℃/min) →270℃(30min, 10min)
	Carrier gas	Helium (1.5mL/minute)
	Injection volume	1 μ L
	MS Source temperature	250℃

표11. GC/MS parameters

Compound name	Quantitative ion (m/z)	Qualitative ion 1 (m/z)	Qualitative ion 2 (m/z)
B(a)A Chr	228	229	226
B(a)P B(b)F	252	253	250
Chr-d12	240	241	236
B(a)P-d12	264	265	260

(나) 정성 및 정량

Detection mode는 SIM mode로 226, 228, 229, 236, 240, 241, 250, 252, 253, 260, 264, 265 m/z를 측정하였으며, 미지의 시료의 4종 PAHs 정성은 표준물질과 내부표준물질의 피크 머무름시간이 일치하고, 시험용액의 선택이온 (m/z 228은 226, 229과 252는 250, 253과, m/z 264는 260, 265와, m/z 240은 236, 241)의 반응세기의 비가 표준품의 반응세기의 비와 20%로 이내로 일치하는지 확인하였다.

정량은 검량곡선표준용액에서 얻어진 표준물질과 내부표준물질의 (m/z 228, 264)에 대한 면적비를 $[A_S/A_{IS}]$ 를 Y축으로 하고 표준물질의 농도를 X축으로 하여 검량곡선을 작성하고 시험용액의 면적비 $[A_{SAM}/A_{SAMIS}]$ 를 Y축에 대입하여 4 PAHs의 농도를 계산하였다.

A_S : 검량곡선표준용액의 표준물질 피크면적

A_{IS} : 검량곡선표준용액의 내부표준물질 피크면적

A_{SAM} : 시험용액의 4 PAHs 피크면적

A_{SAMIS} : 시험용액의 내부표준물질 피크면적

2. 시험법 유효성 검증

본 연구에서 수행한 4 PAHs 시험법의 유효성을 검증하기 위해 IUPAC과 Eurachem working group에서 제시한 가이드라인에 따라 아래와 같이 수행하여 돼지고기 목살, 소고기 등심 중 PAHs 4종 분석의 실질적인 적정성 여부를 판단하였다. In-house laboratory validation으로 검출한계 (LOD) 및 정량한계 (LOQ), 직선성 (linearity), 정확성 (accuracy) 및 반복성 (repeatability), 회수율 등을 측정하였다. 또한 실험실간 교차검증을 통해 분석법의 재현성을 확인하였다[27-29].

가. 선택성(Selectivity)

다른 성분이 존재할 때 분석물만을 명확하게 식별(assess)해 낼 수 있는 능력을 의미하며, 특이성을 입증하기 위하여 blank 시료와 표준물질을 첨가한 시료의 크로마토그램을 비교하여 제시하였다.

나. 검출한계(Limits of detection) 및 정량한계(Limits of quantitation)

검출한계 및 정량한계의 측정방법에는 시그널(signal) 대 노이즈(noise)에 근거하는 방법과 반응의 표준편차와 검량선의 기울기에 근거하는 방법이 있다. 시그널 대 노이즈 비는 기지의

저농도 분석대상물질을 포함한 검체의 시그널과 공시험 검체의 시그널을 비교하여 구하고, 일반적으로 3~2:1의 시그널 대 노이즈비가 산출되는 분석대상물질의 최저 농도를 검출한계, 10:1의 시그널 대 노이즈비가 산출되는 분석대상물질의 최저 농도를 정량한계로 한다. 반면에 반응의 표준편차와 검량선의 기울기에 근거한 방법의 검출한계는 반응 농도값의 표준편차에 3배, 정량한계는 반응의 농도값의 표준편차에 10배를 계산하여 구한다. 본 연구에서 정량한계를 구하기 위해 반응의 표준편차와 검량곡선의 기울기에 근거한 방법을 사용하였으며 다음의 식에 따라 계산하였다.

$$LOD = 3 \times \delta/S$$

$$LOQ = 10 \times \delta/S$$

δ : 검량선 절편의 표준편차 S : 검량곡선의 기울기

다. 직선성(Linearity)

검량곡선은 기기의 반응과 분석물질의 기지농도와의 관계를 나타낸다. 검량선은 6 가지 농도 정량 범위에서 검량선을 작성하여 직선성을 확인하였다.

라. 회수율(Recovery)

회수율은 표준액첨가법(standard addition)을 이용하여 2가지 농도에 대하여 5회 반복 측정한 측정값의 회수율을 확인하였다.

마. 정밀성

정밀성을 확인하기 위해 재현성(Reproducibility) 및 반복성(repeatability)을 확인하였다. 2개 농도(1 $\mu\text{g/kg}$, 2 $\mu\text{g/kg}$)의 PAHs 4종을 함유하도록 돼지고기 목살과 소고기 등심에 표준물질을 첨가하여 7개 실험실에서 5회반복 측정한 값으로부터 상대표준편차(RSD)를 구하였으며, Horrat equation에서 제시하고 있는 농도별 허용가능 범위에 대한 만족도를 확인하였다 [30].

3. 측정불확도

GUM과 EURACHEM에 근거하여 모델 관계식을 설정하고, 각각의 불확도 요인들로부터 불확도를 산출하였다[31-33]. 측정불확도를 계산하기 위하여 측정 모델량을 선정하여 Fish bone diagram을 이용하여 불확도 인자를 검토한 후, 요인별 표준불확도 및 자유도 계산을 통해 합성

불확도를 구하였다. 불확도 요인은 크게 시료전처리(저울의 반복성, 저울의 교정성적서, 저울의 분해능, 피펫의 반복성, 피펫의 교정성적서), 표준용액제조(저울의 반복성, 저울의 교정성적서, 저울의 분해능, 피펫의 반복성, 피펫의 교정성적서, 정용플라스크의 교정성적서, 정용플라스크의 반복성), 표준검량곡선의 불확도, 시료측정의 반복성으로 나누어 각각의 상대불확도와 자유도를 구하였다. 이렇게 얻은 합성불확도와 포함인자(k)를 이용하여 확장불확도를 계산하여 측정불확도를 산출하였다.

(1) 모델관계식 설정

숫불조리 식품 중 유해물질 함량을 산출하기 위한 식은 (1)과 같이 설정하였다. 또한, 전체적인 불확도 요인 및 인자들에 대해 Fish bone diagram을 작성하였다.

$$\text{식(1)} \quad C_x = \frac{C_{cal}}{m_x} \quad C_{cal}: \text{검정곡선에 의해 계산된 시료 용액의 농도}, m_x: \text{채취한 시료량}$$

(2) 요인별 측정값과 표준불확도

여러 번 측정한 평균값을 측정값으로 사용할 경우, 무게측정 시 저울 및 기기의 반복성 등과 같은 불확도는 평균값의 표준불확도를 적용하여 A type 표준불확도로 평가하였으며, 저울 등의 교정성적서 상의 결과를 사용하는 경우나 반복측정하지 않는 경우는 B type 표준불확도로 평가하였다. 분해능은 삼각형 분포를 이용하여 표준불확도를 평가하였으며, 자유도는 KOLAS에서 발간한 측정 결과의 불확도 산정 및 표현을 위한 지침에 따라 구하였다. 반복 측정 시 자유도를 $n-1$ 로 계산하였고, 직선의 절편과 기울기는 $n-2$ 로 계산하여 불확도를 산출하였다.

(3) 검량곡선의 불확도

검량곡선의 경우, 표준용액을 여러 농도로 희석하여 작성하였으며, 1차 회귀식(2)을 사용하였으며, 상대 표준불확도는 식(3)을 이용하여 산출하였다. 이를 위해 엑셀 프로그램에서 회귀분석 함수를 사용하였다.

$\text{식(2)} \quad y = m x + b$	y : 분석기기 측정값, x : 작업 표준용액의 농도, m : 검정곡선의 기울기, b : 검정곡선의 y 축 절편
---------------------------------	---

$\text{식(3)} \quad U_c(C0) = \frac{s}{B_1} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(C_o - \bar{C})^2}{s_{xx}}}$	<p>s: 잔차의 표준편차, p: 최종결과값을 얻기위한 반복측정횟수 n: 표준물질의 총 측정횟수 C₀: 최종결과값 S_{xx}: 표준물질 입력량들의 변동값</p>
---	---

(4) 합성표준불확도

측정결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질 때 이 측정 결과의 표준불확도를 불확도 전파의 법칙에 따라 식(4)에 의해 합성표준불확도를 산출하였다.

$\text{식(4)} \quad u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2}$	<p>u_c: 합성표준불확도, u_i: 표준불확도</p>
---	--

(5) 포함인자

합성표준불확도(u_c)의 유효자유도(v_{eff})를 Welch-Satterthwaite 공식(5)를 이용하여 구한 후, Student t -test 표로부터 포함인자(k)를 산출하였다.

$\text{식(5)} \quad v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{v_i}}$	<p>u_c: 합성표준불확도, u_i: 표준불확도 v_i: 자유도</p>
---	---

(6) 확장불확도

확장불확도는 산출된 합성표준불확도에 약 95% 신뢰수준에 해당하는 포함인자 k 를 곱하여 식(6)을 이용하여 산출하였다.

$\text{식(6)} \quad U = k u_c$	<p>U: 확장불확도, k: 포함인자, u_c: 합성표준불확도</p>
-------------------------------	--

(7) 소급성 확인방법

측정기관의 소급성 유지를 위한 지침서(KOLAS-R-008:2008)에 의거하여 분석기기 및 장비에 대하여 공인 교정기관으로부터 시험 또는 교정을 받아 측정불확도 계산에 사용하였으며, 외부

공인교정기관의 결과를 바탕으로, 분석기기 및 장비에 대한 내부교정을 시행하여 실험에 사용하였다.

4. 숯불조리 식품 섭취 실태조사

우리나라 국민의 섭취패턴에 맞는 저감화 방안을 도출하고 소비자 맞춤형 숯불구이 조리방법에 대한 저감화 가이드라인을 마련하기 위해 숯불조리 식품 섭취 실태조사를 수행하였다. 우리나라 국민의 숯불조리 식품 섭취 빈도 파악하고 숯불조리 방법에 대한 표준화를 위해 전국 16개 시도의 19~59세 남녀 1,000명을 대상으로 조사를 수행하였다. 조사방법은 On-Line Survey 방식으로 전문조사기관인 ‘마크로밀엠브레인’에 의뢰하여 수행하였으며, 기관의 100만 패널 중 응답자를 선정하여 조사를 진행하였다. 표본은 성/연령/지역에 따른 인구비례 할당을 통해 2014년도 행정안전부 ‘주민등록인구통계’에 의해 추출하였다.

5. 숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사

숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사를 위해 숯불조리 시간, 구이 시간, 조리 시 발생하는 지방의 숯불 연소, 조리 시 발생하는 연기, 숯불 열원에 따른 숯불조리 식품에서의 다환방향족탄화수소 생성량을 조사하였다. 이때 숯불조리방법의 차이에 의한 생성량 변화를 최소화 하기 위해 조리방법을 표준화하였으며, 조리방법 및 조리 대상 식육 부위 선정 등은 숯불조리 식품 섭취 실태조사를 통해 도출된 우리나라 국민의 숯불조리 섭취 방법에 따라 실험하였다. 숯불구이 조리방법의 표준화를 위해 구이 샘플 크기 및 굽는 정도를 표준화하였으며, 동일한 숯불구이 설비를 이용하여 동일한 방법으로 숯불을 붙여 조리하였으며, 불판 온도, 복사열온도, 숯불의 상태를 고려하여 숯불구이 시점을 선정하였다.

제2절 시험법의 유효성 검증결과

1. 시험법의 유효성 검증 결과

가. 선택성(selectivity)

PAHs 4종 및 내부표준물질 2종이 방해물질의 영향없이 분석 가능한가를 확인하기 위하여

PAHs 4종의 표준용액, 공시료, 표준액 첨가한 시료를 분석하였다. 그림4에서 보여지는 바와 같이 PAHs는 주변의 다른 기질의 방해 없이 잘 분리되어지는 것을 확인하였다. 또한 내부표준물질인 PAHs 2종의 동위원소 역시 다른 기질의 방해 없이 잘 분리되어 선택성을 가졌다(그림4).

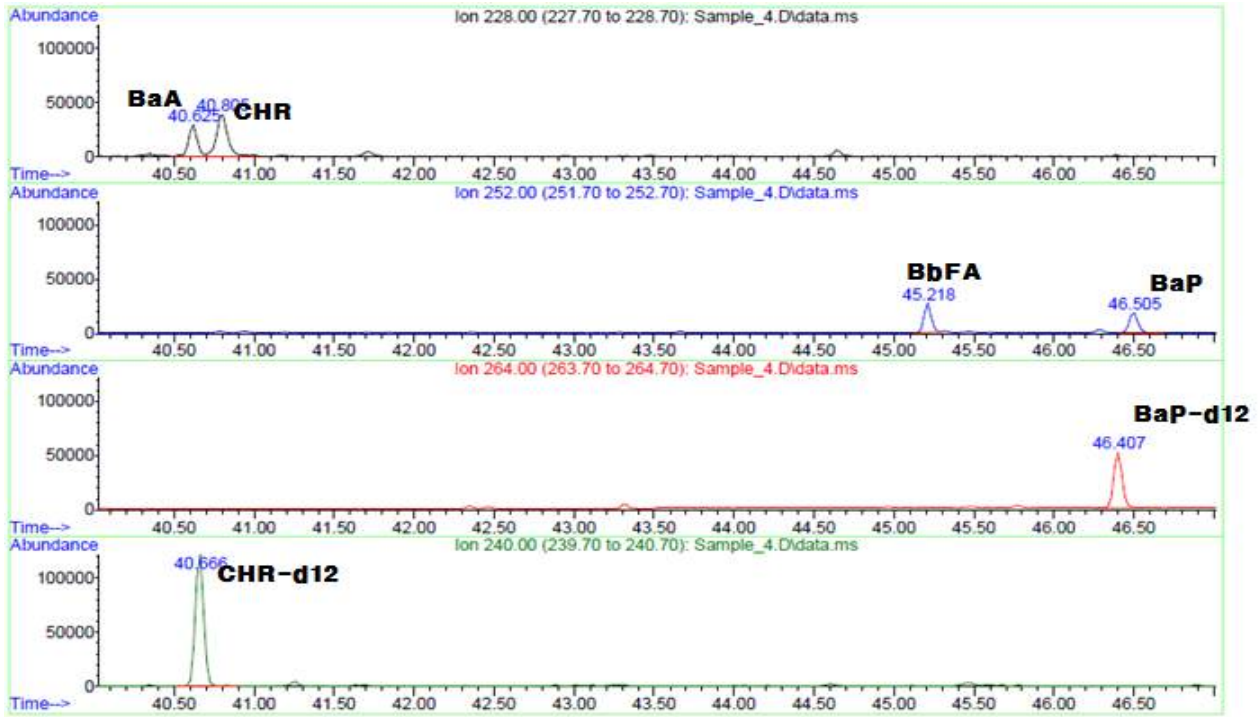


그림4. 4 PAHs의 크로마토그램

또한 벤조(b)플루오란텐과 구조적으로 유사한 벤조(k)플루오란텐과 벤조(a)프렌과 구조적으로 유사한 벤조(e)피렌이 간섭하지 않고 잘 분리되어지는 것을 확인하였다(그림5).

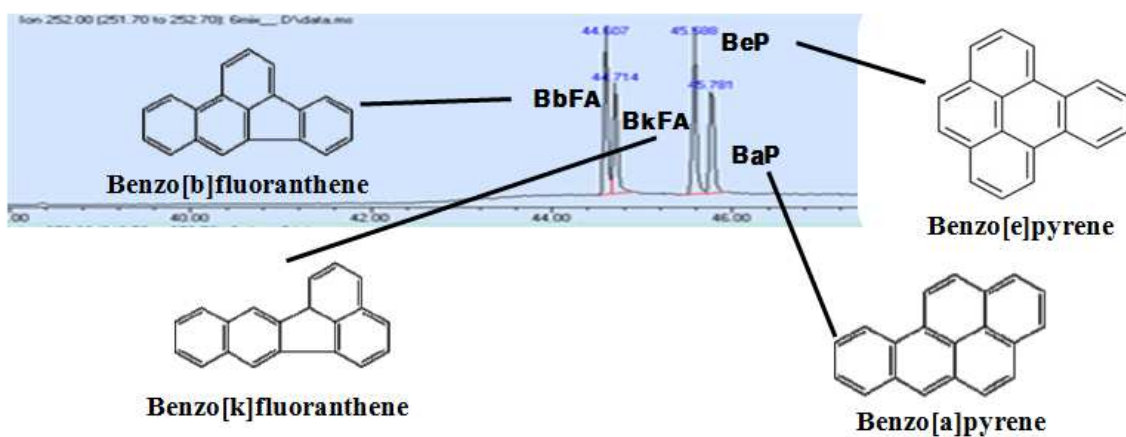


그림5. BbFA, BaP와 유사 PAHs와의 분리도 확인

나. 내부표준물질

다환방향족탄화수소 4종의 내부표준물질로 크라이센과 벤조(a)피렌의 동위원소를 사용하였으며, 상대회수율 검토 결과 크라이센-d12으로 벤즈(a)안트라센, 크라이센, 벤조(b)플루오란텐을 보정하고 벤조(a)피렌-d12로 벤조(a)피렌을 보정할 때 상대회수율이 85%이상으로 양호하였다 (표12,13).

표12. Relative Recovery of Benz(a)anthracene in accordance with isotope internal standards

Conc.	Sample	No.	CHR-d12로 보정시 Recovery (%)	BaP-d12로 보정시 Ecovery (%)
1 µg/kg	Pork	1	109.8	52.7
		2	110.0	63.5
		3	120.0	93.2
		4	109.3	81.2
		5	117.3	68.0
	Beef	1	98.1	38.4
		2	96.5	38.1
		3	99.4	39.8
		4	96.2	44.9
		5	95.3	45.3
2 µg/kg	Pork	1	111.9	52.12
		2	110.2	55.70
		3	107.4	54.50
		4	112.8	61.74
		5	111.0	62.71
	Beef	1	109.1	55.7
		2	112.5	57.8
		3	110.6	69.8
		4	110.8	51.0
		5	112.1	49.5

표13. 표10. Relative Recovery of Benzo(b)fluoranthene in accordance with isotope internal standards

Conc.	Sample	No.	CHR-d12로 보정 시 Recovery (%)	BaP-d12로 보정 시 Ecovery (%)
1 µg/kg	Pork	1	105.7	51.0
		2	102.8	59.1
		3	97.1	74.5
		4	87.4	64.2
		5	98.8	57.1
	Beef	1	89.9	35.4
		2	91.3	36.2
		3	94.0	37.8
		4	85.0	39.7
		5	86.9	41.3
2 µg/kg	Pork	1	104.7	48.9
		2	100.4	50.9
		3	90.7	46.2
		4	101.9	56.0
		5	102.1	58.0
	Beef	1	91.1	47.1
		2	92.8	48.3
		3	98.5	63.2
		4	105.2	48.7
		5	109.3	48.5

다. 직선성(Linearity)

시료 정량을 위한 PAHs 4종의 검량선을 작성하기 위해 10 - 500 µg/kg의 농도범위의 PAHs 4종(Benzo(a)Anthrance, Crysene, Benz(b)Fluoranthene, Benzo(a)pyrene)의 표준용액에 내부표준 물질 Crysene-d12, Benzo(a)pyrene-d12의 양을 200 µg/L이 되도록 표준용액을 제조하여 검량선을 작성하여 직선성을 확인한 결과 상관계수 $r^2=0.99$ 이상으로 직선성을 나타냈다(표14).

표14. 직선성

Characteristics	Results
BaA	$Y=0.0068 X - 0.0593, R^2=0.9999$
CHR	$Y=0.0119 X + 0.3210, R^2=0.9974$
BbFA	$Y=0.0083 X - 0.0165, R^2=0.9997$
BaP	$Y=0.0119 X - 0.0739, R^2=0.9999$

라. 검출한계(Limit of Detection) 및 정량한계(Limit of Quantification)

검출한계 및 정량한계는 50 µg/kg의 4PAHs 표준용액으로 7회 반복 측정하여 구한 농도 표준편차의 3배를 LOD, 10배를 LOQ로 계산한 결과 다음의 표와 같이 측정되었다(표15).

표15. 검출한계 및 정량한계

	sample	LOD(µg/kg)	LOQ(µg/kg)
BaA	소고기	0.09	0.27
	돼지고기	0.15	0.45
CHR	소고기	0.09	0.27
	돼지고기	0.08	0.24
BbFA	소고기	0.20	0.60
	돼지고기	0.18	0.54
BaP	소고기	0.18	0.54
	돼지고기	0.21	0.63

마. 정확도(Accuracy)

(1) 정밀도(precision)

BaA의 경우 1 µg/kg의 농도가 첨가된 돼지고기, 소고기에서 RSD_f 1.5~8.7%, RSD_R 8.4~12.2%으로 각각 Horrat equation에 의한 허용범위 22%와 44%에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 RSD_f 0.7~13.6%, RSD_R 14.4~14.5%으로 허용범위 22%, 44%를 만족하였다. CHR의 경우 1 µg/kg의 농도에서 RSD_f 1.5~8.2%, RSD_R 9.5~12.9%으로 허용범위 22%와 44%에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 RSD_f 1.3~6.3%, RSD_R 12.8~13.9%으로 허용범위 22%, 44%를 만족하였다. BbFA의 경우 1 µg/kg의 농도에서 RSD_f 3.6~12.9%, RSD_R 15.4~16.8%으로 허용범위 22%와 44%에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 RSD_f 2.8~9.4%, RSD_R 12.2~19.5%으로 허용범위 22%, 44%를 만족하였다. BaP의 경우 1 µg/kg의 농도에서 RSD_f 1.5~11.4%, RSD_R 14.1~14.7%으로 허용범위 22%와 44%에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 RSD_f 1.5~9.3%, RSD_R 13.2~15.0%으로 허용범위 22%, 44%를 만족하였다(표 14,15).

식(9)	$RSD(\%) = 2^{(1-0.5\log C)}$	C : concentration expressed as a power of 10
------	-------------------------------	--

(2) 회수율

BaA의 경우 1 µg/kg의 농도에서 돼지고기, 소고기에서 96.6~113.0%로 CODEX에서 제안하고 있는 허용범위(40~120%)에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 101.9~111.0%으로 허용범위(40~120%)에 만족하였다. CHR의 경우 1 µg/kg의 농도에서 84.2~103.2%로 CODEX에 의한 허용범위(40~120%)에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 81.6~108.5%으로 허용범위(40~120%)에 만족하였다. BbFA의 경우 1 µg/kg의 농도에서 92.2~119.4%로 CODEX에 의한 허용범위(40~120%)에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 83.6~120.7%으로 허용범위(40~120%)에 만족하였다. BaP의 경우 1 µg/kg의 농도에서 71.2~103.0%로 CODEX에 의한 허용범위(40~120%)에 만족하였으며, 2 µg/kg의 농도에서 83.4~106.6%으로 허용범위(40~120%)에 만족하였다(표16,17).

표16. BaA과 CHR의 정확도 및 회수율

항목	Sample	Lab.	Mean [µg/kg]							
			1				2			
			Mean [µg/kg]	Recovery [%]	RSD _r [%]	RSD _R [%]	Mean [µg/kg]	Recovery [%]	RSD _r [%]	RSD _R [%]
BaA	PORK	1	1.13	113.0	4.1	12.2	2.21	110.7	1.9	14.4
		2	1.00	100.2	8.7		2.20	110.1	5.5	
		3	1.02	102.4	2.6		2.12	106.0	1.9	
		4	1.13	112.8	3.6		2.04	102.0	13.6	
		5	1.09	108.6	3.8		2.10	104.8	11.4	
	BEEF	1	0.97	97.0	1.5	8.4	2.22	111.0	1.2	14.6
		2	0.97	96.6	4.2		2.06	103.0	4.7	
		3	1.00	100.2	4.5		2.04	101.9	3.4	
		4	1.11	111.2	4.3		2.20	110.1	11.1	
		5	1.00	100.4	4.5		2.05	102.3	0.7	
CHR	PORK	1	0.95	94.6	1.6	9.6	1.84	92.2	2.1	13.9
		2	0.98	97.8	8.1		1.98	98.8	4.9	
		3	1.02	102.4	4.4		2.08	104.2	3.0	
		4	0.84	84.2	3.5		1.65	82.5	3.6	
		5	1.02	101.6	4.6		1.98	99.1	6.3	
	BEEF	1	0.86	86.2	2.1	12.9	2.03	101.7	1.5	12.8
		2	1.03	103.2	5.4		2.17	108.5	2.4	
		3	0.98	97.6	6.7		1.88	94.1	3.7	
		4	0.91	90.6	8.2		1.63	81.6	5.0	
		5	1.03	102.6	5.0		2.02	101.1	1.3	

표17. BbFA, BaP의 정확도 및 회수율

항목	Sample	Lab.	Mean [μ g/kg]							
			1				2			
			Mean [μ g/kg]	Recovery [%]	RSD _r [%]	RSD _R [%]	Mean [μ g/kg]	Recovery [%]	RSD _r [%]	RSD _R [%]
BaA	PORK	1	1.13	113.0	4.1	12.2	2.21	110.7	1.9	14.4
		2	1.00	100.2	8.7		2.20	110.1	5.5	
		3	1.02	102.4	2.6		2.12	106.0	1.9	
		4	1.13	112.8	3.6		2.04	102.0	13.6	
		5	1.09	108.6	3.8		2.10	104.8	11.4	
	BEEF	1	0.97	97.0	1.5	8.4	2.22	111.0	1.2	14.6
		2	0.97	96.6	4.2		2.06	103.0	4.7	
		3	1.00	100.2	4.5		2.04	101.9	3.4	
		4	1.11	111.2	4.3		2.20	110.1	11.1	
		5	1.00	100.4	4.5		2.05	102.3	0.7	
CHR	PORK	1	0.95	94.6	1.6	9.6	1.84	92.2	2.1	13.9
		2	0.98	97.8	8.1		1.98	98.8	4.9	
		3	1.02	102.4	4.4		2.08	104.2	3.0	
		4	0.84	84.2	3.5		1.65	82.5	3.6	
		5	1.02	101.6	4.6		1.98	99.1	6.3	
	BEEF	1	0.86	86.2	2.1	12.9	2.03	101.7	1.5	12.8
		2	1.03	103.2	5.4		2.17	108.5	2.4	
		3	0.98	97.6	6.7		1.88	94.1	3.7	
		4	0.91	90.6	8.2		1.63	81.6	5.0	
		5	1.03	102.6	5.0		2.02	101.1	1.3	

2. 시험법 측정불확도

PAHs 4종에 대한 측정불확도를 산출하기 위하여 측정 모델량을 선정하여 Fish bone diagram을 이용하여 불확도 인자를 검토한 후, 요인별 표준불확도 및 자유도 계산을 통해 합성 불확도를 구하였다. 불확도 요인은 크게 시료전처리(저울의 안정성, 저울의 교정성적서, 피펫의 안정성, test tube의 안정성), 표준액제조(저울의 안정성, 저울의 교정성적서, 용량플라스크 교정성적서, 피펫의 안정성, 흘피펫의 안정성, 흘피펫의 교정성적서), 표준검량곡선의 불확도, 회수율의 불확도, 시료측정의 반복성으로 나뉘어 각각의 상대불확도와 자유도를 구하였다(그림6). 이렇게 얻은 합성불확도와 포함인자(k)를 이용하여 확장불확도를 계산하여 측정불확도를 산출하였다(표18).

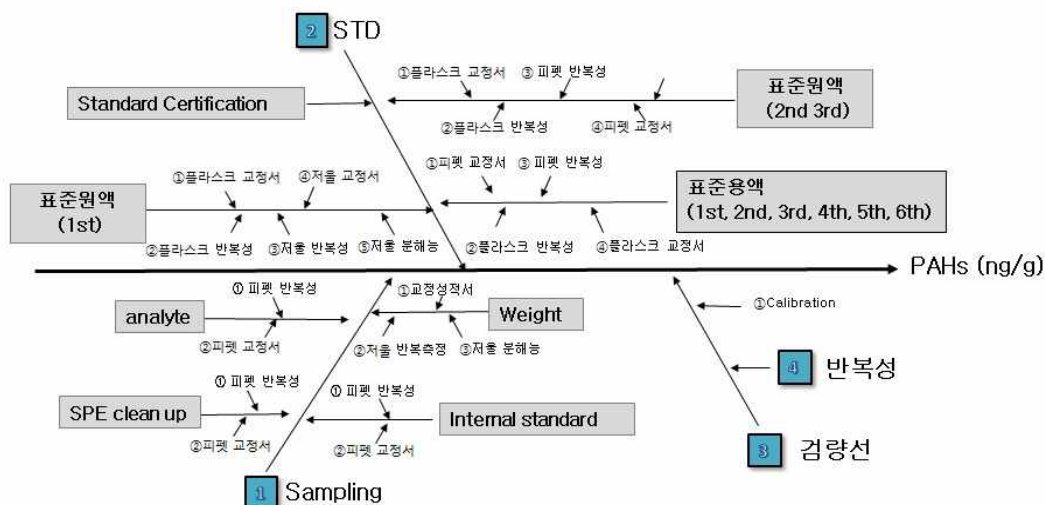


그림6. 불확도 인자 및 Fishbone diagram

표18. 측정불확도 인자

Description (Parameter)		Uncertainty source
1. Sampling	1) weight(balance) - 10g	① Balance 교정성적서 ② Balance 반복성 ③ Balance 분해능
	2) Internal standard - 200uL	① Pipette 교정성적서 (100uL) ② Pipette 반복성 (100uL)
	3) SPE cleanup (loading) - 2mL	① Pipette 교정성적서 (1ml) ② Pipette 반복성 (1ml)
	4) analyte - 1 mL	① Pipette 교정성적서 (1ml) ② Pipette 반복성 (1ml)
2. STD	1) 1st standard (100mg/L표준원액) - 10mg/10mL	① Volumetric flask 교정성적서 (10 mL) ② Volumetric flask 반복성 (10 mL) ③ Balance 교정성적서(10mg) ④ Balance 반복성(10mg) ⑤ Balance 분해능
	2) 2nd,3rd standard (10,1mg/L표준용액) - 1mL/10mL	① Volumetric flask 교정성적서 (10 mL) ② Volumetric flask 반복성 (10 mL) ③ Pipette 교정성적서 (1ml) ④ Pipette 반복성 (1ml)
	3) 2nd, 4th, 6th standard (500,50,5 ng/mL 표준용액) - 5mL/10mL	① Volumetric flask 교정성적서 (10 mL) ② Volumetric flask 반복성 (10 mL) ③ Pipette 교정성적서 (5ml) ④ Pipette 반복성 (5ml)
	4) 1st, 3rd, 5th standard (100,10,1 ng/mL 표준용액) - 2mL/10mL	① Volumetric flask 교정성적서 (10 mL) ② Volumetric flask 반복성 (10 mL) ③ Pipet 교정성적서 (2ml) ④ Pipet 반복성 (2ml)
3. Calibration curve	1) 최소자승법을 이용한 검량선의 불확도 계산	① Calibration 내의 3회이상의 평균값
4. Repeatability	1) 반복측정	① Repeatability - 시료분석의 반복성

가. Sampling에 의한 측정불확도

시료전처리는 시료 10g의 무게를 잰 후 내부표준첨가용액 200 μ L를 첨가하고 1 M 수산화칼륨·에탄올 용액 100 mL와 함께 환류냉각장치를 부착시킨다. 이를 미리 80℃로 예열된 전열기에서 3시간 동안 가열하여 알칼리 분해시키고 신속히 냉각 후 헥산 50 mL를 환류냉각관을 통하여 넣어 준다. 둥근바닥 플라스크의 알칼리 분해액을 분액깔대기에 옮기고 에탄올 : 헥산(1:1)용액 50 mL로 세척하여 분액깔대기에 합친다. 이 액에 50 mL의 물을 넣어 심하게 흔들어 섞은 후 헥산층을 분리하여 다른 분액깔대기에 받아두고 물층에 헥산 50 mL를 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 얻은 헥산층을 모두 합친다. 이 헥산층에 물 50 mL를 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 얻은 헥산층을 모두 합친다. 이 헥산층에 물 50 mL를 넣고 흔들어 섞은 후 정치하여 물층은 버리는 조작을 3회 되풀이하고 헥산층을 무수황산나트륨 약 15 g을 넣은 여과지(150mm $\varnothing \times 100$ circles)를 사용하여 탈수여과한 후 40 ℃ 이하의 수욕상에서 약 2 mL이 되도록 감압농축한다. 이때 불확도는 시료의 무게측정과 내부표준용액 200 μ L 첨가를 위한 저울의 교정성적서, 표준분동 20mg, 50mg, 100mg, 1000mg을 이용하여 측정한 반복성, 저울의 분해능, 내부표준용액의 첨가를 위한 200 μ L pipet의 안정성, 분해능, 반복성, SPE 카트리지를 로딩 및 용출을 위한 1 mL 피펫의 교정성적서, 반복성을 통해 계산되었다. 시료의 무게측정을 위한 저울의 상대표준불확도는 0.000020, 시험용액 제조를 위한 100 μ L 피펫의 상대표준불확도는 0.000005, 내부표준용액 첨가를 위한 100 μ L 피펫의 상대표준불확도는 0.000005 이었으며, 시료전처리의 상대표준불확도는 각각의 상대표준불확도값을 합산한 0.000202, 유효자유도 9였다.

(1). 저울의 교정성적서를 이용한 표준불확도

95 % 신뢰수준에서 $k = 2$ 일때, 교정성적서에 의해, $u_{r(calibration)} = 0.00020$

$$u_{calibration} = \frac{U}{k} = \frac{0.0004}{2} = 0.00020 \text{ g}$$

(2). 저울의 안정성을 이용한 표준불확도

분동의 4 회 반복측정시의 합동표준편차(SP) $SP = 0.00004 \text{ g}$

$$u_{stability} = \frac{SP}{\sqrt{m}} = \frac{0.00004}{\sqrt{4}} = 0.00002 \text{ g} \quad (m : \text{반복측정 set 수})$$

(3). 저울의 분해능을 이용한 표준불확도

직사각형분포에 의하며 100% 신뢰할 때

$$u_{sep} = \frac{\text{저울눈금} \times 1/2}{\sqrt{3}} = \frac{0.00001}{\sqrt{3}} = \mathbf{0.00006 \text{ g}} \quad (m : \text{반복측정 set 수})$$

(4). 저울에 의한 합성표준불확도

$$u_{weight1} = \sqrt{u_{calibration}^2 + u_{stability}^2 + u_{sep}^2} = \sqrt{0.00020^2 + 0.00002^2 + 0.00006^2} = \mathbf{0.000201 \text{ g}}$$

(5). 저울에 의한 샘플채취 상대표준불확도

$$u_{r(weight)} = \frac{u_{weight}}{\text{측정값}} = \frac{0.000207 \text{ (g)}}{10 \text{ (g)}} = 0.000020$$

(6). 시험용액 조제를 위한 100 μL 피펫의 상대표준불확도는

$$u_{r(analyte)} = \frac{u_{analyte}}{\text{측정값}} = \frac{0.000010 \text{ (}\mu\text{L)}}{2 \text{ (100}\mu\text{L)}} = 0.000005$$

(7). SPE 카트리지를 위한 1mL pipet의 안정성

1mL pipet의 안정성은 물의 비중을 이용하여 물 1 mL의 무게를 측정한 표준편차를 통해 구한다.

10번 반복하여 측정한 합동표준편차(SP)는 0.00127 mL이며,

$$u_{stability} = \frac{SP}{\sqrt{m}} = \frac{0.00127}{\sqrt{10}} = \mathbf{0.000401 \text{ mL}} \quad (m : \text{반복측정 set 수})$$

따라서 상대표준불확도는

$$u_{r(pipet)} = \frac{u_{stability}}{\text{측정값}} = \frac{0.000401 \text{ (mL)}}{2 \text{ (mL)}} = 0.000201$$

(8). IS 첨가를 위한 100 μ L 피펫의 상대표준불확도는

$$u_{r(IS)} = \frac{u_{IS}}{\text{측정값}} = \frac{0.000401 (\mu\text{L})}{2 (100\mu\text{L})} = 0.000005$$

(9). sampling의 상대합성표준불확도

전처리를 통한 상대합성표준불확도는 각각의 상대표준불확도를 합성하여 0.000202을 구하였다(표 19).

표19. 샘플링의 불확도

	표준불확도(U)	측정값	상대표준불확도(Ur)	유효자유도
Weight	0.000201	10	0.000020	350761
Analyte	0.000010	2	0.000005	9
SPE	0.000401	2	0.000201	9
IS	0.000010	2	0.000005	9
Sampling	-		0.000202	9

나. 표준원액(내부표준원액) 제조의 측정불확도

표준원액은 10 mL 용량플라스크에 일정량의 DCM을 넣고 표준품 1mg을 넣어 충분히 섞이도록 한 후 정용하여 100 mg/L의 표준원액을 제조한다. 이때 불확도는 표준품 무게측정을 위한 저울의 교정성적서, 표준분동 20mg, 50mg, 100mg, 1000mg을 이용하여 측정한 반복성, 저울의 분해능, 10 mL의 용량플라스크의 교정성적서, 반복성을 이용하여 구하였다. 저울의 상대표준불확도는 0.020110, 정용플라스크의 상대표준불확도는 0.000289 이었으며, 표준원액 제조를 위한 상대표준불확도는 0.0202113 이었다.

(1). 저울에 의한 상대표준불확도

저울에 의한 합성표준불확도는 앞서 전처리 과정에서 산출한 것처럼 교정성적서, 반복성, 분해능을 합성하여 0.000201g을 얻었다. 그리고 상대표준불확도는 측정값인 0.01g으로 나누어서 0.020110을 얻었다.

$$u_{r(weight)} = \frac{u_{weight}}{\text{측정값}} = \frac{0.000020 \text{ g}}{0.001 \text{ g}} = 0.029035$$

(2). 정용플라스크에 의한 상대표준불확도

정용플라스크에 의한 상대표준불확도는 우선 정용플라스크에 표시되어 있는 확장불확도 0.01000을 $\sqrt{3}$ 으로 나누어 표준불확도 0.002891 mL을 구한다. 그리고 10mL의 반복측정을 통한 표준편차 0.00049를 구하고 $\sqrt{10}$ 으로 나누어 표준불확도 0.00016를 구하였다. 두 표준불확도를 합성하여 합성표준불확도 0.002891을 구하였으며, 실제 측정값 10 mL을 나누어주어 상대표준불확도인 0.000289 구할 수 있다.

(3). 표준원액 제조에 의한 상대합성표준불확도

표준원액 제조에 의한 상대합성표준불확도는 각각 구해진 상대표준불확도를 합성하여 0.029037의 상대합성표준불확도, 유효자유도 152를 구하였다.

다. 표준용액(내부표준용액) 제조에 의한 측정불확도

표준용액 및 내부표준용액의 제조는 표준원액과 내부표준원액을 10mL 정용플라스크에 1 mg 넣고 DCM으로 정용하여 10, 100 mg/L 제조하고 다시 10mL 정용플라스크에 1m 넣고 DCM으로 정용하여 1 mg/L 제조하였다. 그리고 10 mL 정용플라스크에 5mL을 넣고 DCM으로 정용하여 6th 표준용액을 만들고, 다시 10 mL 정용플라스크에 2mL을 넣고 DCM으로 정용하여 5th 표준용액을 만들었다. 그리고 10 mL 정용플라스크에 5mL을 넣고 DCM으로 정용하여 4th 표준용액을 만들고 10 mL 정용플라스크에 2mL을 넣고 DCM으로 정용하여 3rd 표준용액을 만들었다. 이와 같이 반복하여 2nd, 1st 표준용액을 만들었다. 이때 표준용액 조제를 위한 표준불확도는 표준용액제조, 표준용액 제조를 위한 상대표준불확도를 합성하여 0.029330, 유효자유도 159를 산출하였다.

라. 검량곡선에 의한 측정불확도

검량곡선의 비직선성은 측정결과 값의 주요한 불확도 요인이 된다. PAHs 4종을 정량분석하기 위해 표준용액의 검량곡선을 구하였으며, 2 µg/kg의 PAHs 4종을 소고기, 돼지고기에 각각 첨가한 시료를 반복 측정하여 검량곡선을 통해 결과값을 구하였다. 이때 검량곡선은 선형최소제

곱법을 이용하여 산출하였으며, 검량곡선을 통해 산출된 시험용액의 농도에 대한 표준불확도를 구하고 이를 분석결과로 나누어 상대표준불확도를 산출하였다. 이때 구해진 상대표준불확도 값들의 평균을 구해 돼지고기 BaA, CHR, BbFA, BaP의 상대표준불확도 0.01899, 0.01320, 0.01633, 0.01315와 자유도 3을, 소고기 BaA, CHR, BbFA, BaP의 상대표준불확도 0.00020, 0.01412, 0.01840, 0.01511와 자유도 3 구하였다.

사. 반복성에 의한 측정불확도

PAHs 4종의 CRM이 없어 2µg/kg 농도의 PAHs 4종을 공시료에 첨가하여 5회 반복측정하여 반복측정에 의한 불확도를 계산하였다. 5회 반복측정값의 표준편차를 $\sqrt{5}$ 로 나누어 표준불확도를 구하였으며, 돼지고기의 B(a)A, Chr, B(b)F, B(a)P에 대한 상대표준불확도 0.00852, 0.00918, 0.02439, 0.02037와 자유도 4를, 소고기의 B(a)A, Chr, B(b)F, B(a)P에 대한 상대표준불확도 0.00552, 0.00652, 0.03526, 0.04169와 자유도 4를 구하였다.

아. 확장불확도

PAHs 4종의 정량분석시 확장불확도(약 95% 신뢰구간, $k=2$)는 앞서 산출된 각 요인별 상대표준불확도를 합성하여 합성표준불확도를 구하고 k 값을 곱하여 확장불확도를 구하였다(표 20-21).

표20. 돼지고기에서의 확장불확도

	측정 결과	단 위	상대 불확도	합성표준불확도	유효자유도	k
B(a)A	2.21	ug/kg	0.022	0.050	6	2.45
확장불확도	0.13	ug/kg	2.21±0.13 µg/kg (95%신뢰구간에서 $k=2.57$)			
CRY	1.95	ug/kg	0.041	0.039	5	2.57
확장불확도	0.11	ug/kg	1.95±0.11 µg/kg (95%신뢰구간에서 $k=2.36$)			
B(b)F	2.00	ug/kg	0.030	0.061	8	2.31
확장불확도	0.15	ug/kg	2.00±0.15 µg/kg (95%신뢰구간에서 $k=2.45$)			
B(a)P	1.67	ug/kg	0.026	0.043	8	2.31
확장불확도	0.10	ug/kg	1.67±0.10 µg/kg (95%신뢰구간에서 $k=2.57$)			

표21. 소고기에서의 확장불확도

	측정 결과	단 위	상대 불확도	합성표준불확도	유효자유도	k
B(a)A	2.22	ug/kg	0.022	0.049	5	2.57
확장불확도	0.13	ug/kg	2.22±0.13 µg/kg (95%신뢰구간에서 k=2.57)			
CRY	2.03	ug/kg	0.018	0.036	7	2.36
확장불확도	0.09	ug/kg	2.03±0.09 µg/kg (약95%신뢰구간에서 k=2)			
B(b)F	1.99	ug/kg	0.041	0.081	6	2.45
확장불확도	0.20	ug/kg	1.99±0.20 µg/kg (약95%신뢰구간에서 k=2)			
B(a)P	1.80	ug/kg	0.045	0.081	5	2.57
확장불확도	0.21	ug/kg	1.80±0.21 µg/kg (약95%신뢰구간에서 k=2)			

자. 불확도 요인별 기여도

돼지고기, 소고기 중 B(a)A, Chr, B(b)F, B(a)P 분석시 전체 불확도에 미치는 영향을 각 불확도 인자별 %값으로 구하였다. 불확도 인자의 상대불확도가 최종 실험결과 값에 미치는 영향은 검량곡선에 의한 불확도가 가장 크게 기여하였으며, STD 제조에 의한 불확도와 반복측정에 의한 불확도가 다음으로 기여하였다(그림7,8).

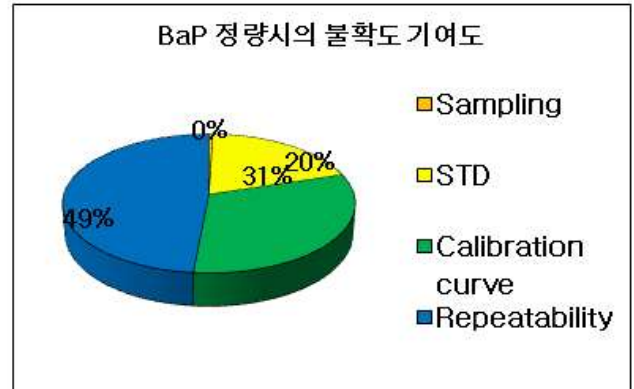
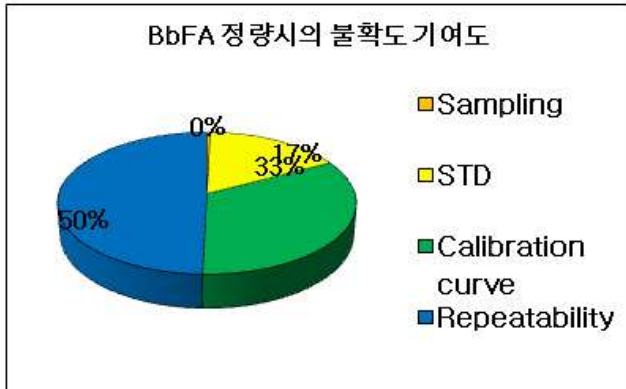
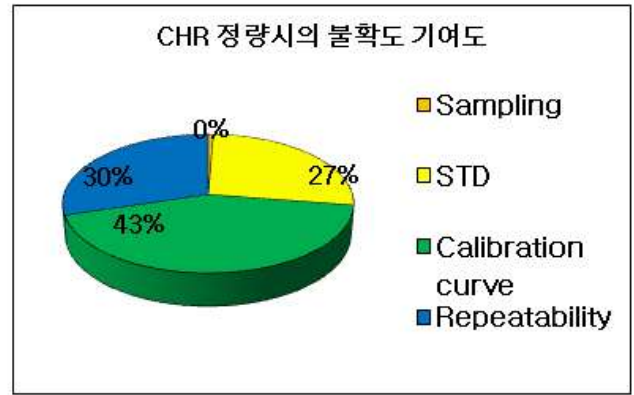
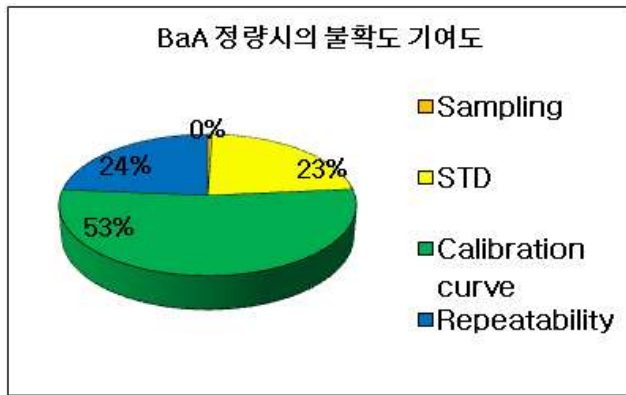


그림7. 돼지고기 불확도 인자 기여도

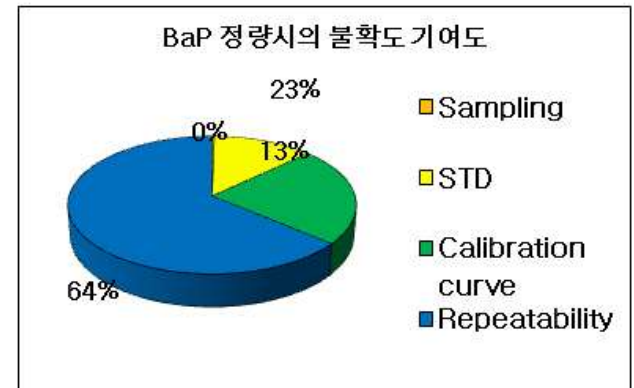
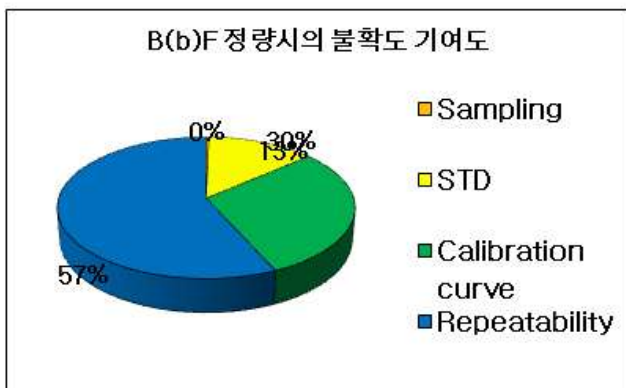
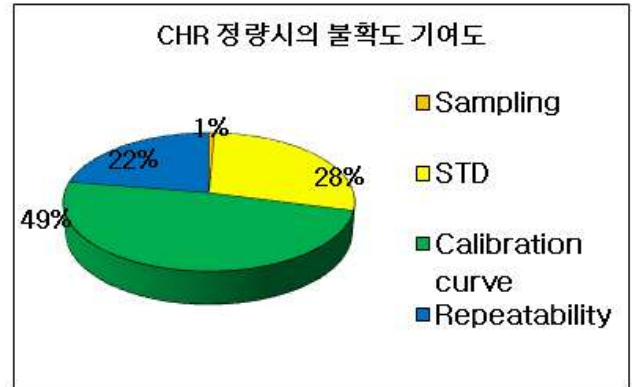
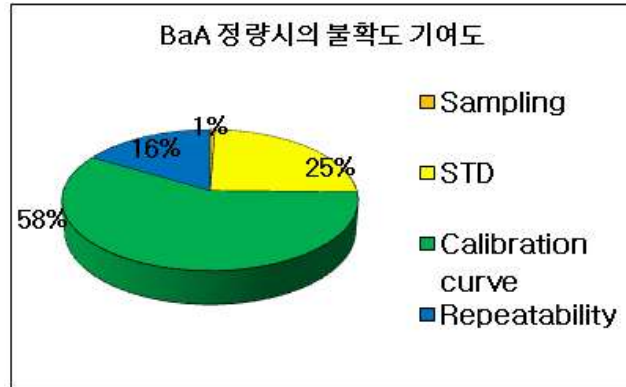


그림8. 소고기 불확도 인자 기여도

제3절 숯불조리 식품 섭취 실태조사

1. 조사방법

숯불조리 식품 섭취 실태조사를 위해 전문 조사기관 (주)마크로밀엠브레인에 의뢰하여 2014년 7월8일부터 7월 11일 4일간 조사기관의 100만 패널 DB에서 추출된 적격 응답자를 대상으로 인터넷 설문지에 의해 자료를 수집하였다. 조사대상은 전국 16개 시도 만 13~59세 국내 국민 중 최근 1년 이내 숯불구이 조리 식품 섭취 경험자를 대상으로 조사하였으며, 안전행정부의 주민등록통계를 바탕으로 전국 인구비례에 의한 표본할당하였다. 표본수는 총 1,000명이었으며 지역별 연령별 표본수는 다음의 표 22과 같았다.

표22. 지역별 연령별 표본할당수

구분	서울		부산		대구		인천		광주		대전		울산		경기		강원		충북		충남		전북		전남		경북		경남		제주	
	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여	남	여
13~19세	15	14	5	5	4	4	5	4	3	3	3	3	2	2	22	20	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	4	4	6	5	1	1
20~29세	19	19	6	6	5	4	5	5	3	3	3	3	2	2	22	20	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	5	4	6	5	1	1
30~39세	23	23	7	7	5	5	6	6	3	3	3	3	3	2	27	26	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	5	5	7	6	1	1
40~49세	23	23	8	8	6	6	7	7	3	3	4	4	3	3	31	30	4	3	4	3	5	4	4	4	4	4	6	6	8	8	1	1
50~59세	21	22	8	9	5	6	6	6	3	3	3	3	3	2	25	24	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	6	6	7	7	1	1
합계	101	101	34	35	25	25	29	28	15	15	16	16	13	11	127	120	17	13	16	13	19	18	17	17	17	16	26	25	34	31	5	5
	202		69		50		57		30		32		24		247		30		29		37		34		33		51		65		10	

응답자의 특성은 남자와 여자의 비율은 51.1%와 48.9% 였으며, 연령은 10대, 20대, 30대, 40대, 50대 각각 16.3%, 17.6%, 20.9%, 23.8%, 21.4% 였으며, 직업은 직장인 51.9%, 학생 23.7%, 주부 12.8% 순이었다. 가구소득은 300만원 이상 450만원 미만인 29.4%로 가장 많았으며, 450만원 이상 600만원 이하가 26.1%, 150만원 이상 300만원 미만인 22.9%였다(표 23).

표23. 설문 응답자 특성

구분	항목	비율(%)	빈도수(명)
전체		100.0	1,000
성별	남	51.1	511
	여	48.9	489
연령	10대	16.3	163
	20대	17.6	176
	30대	20.9	209
	40대	23.8	238
	50대	21.4	214
직업	직장인	51.9	519
	개인 사업자	7.6	76
	실직자	2.5	25
	은퇴	0.5	5
	학생	23.7	237
	전업주부	12.8	128
학력	기타	1.0	10
	중학교 이하	3.1	31
	고등학교	19.3	193
	2년/3년제 대학	15.8	158
	4년제 대학	53.5	535
	대학원 이상	8.3	83
가구 소득	150만원 미만	4.9	49
	150~300만원 미만	22.9	229
	300~450만원 미만	29.4	294
	450~600만원 미만	26.1	261
	600만원 이상	16.7	167

2. 구이조리식품 섭취 행태 조사

가. 구이음식 섭취 경험 및 조리방법 경험 조사

전체의 89.9%가 생애 한번이라도 구이음식을 섭취해 본 경험이 있었으며, 주로 돼지고기(96.0%)와 소고기(91.0%)를 구이조리방법으로 섭취한 것으로 나타났다. 세부 구이조리방법으로는 가스불구이(85.3%), 숯불구이(79.5%), 전기불판구이(66.4%) 방법을 주로 이용하였다(그림9).

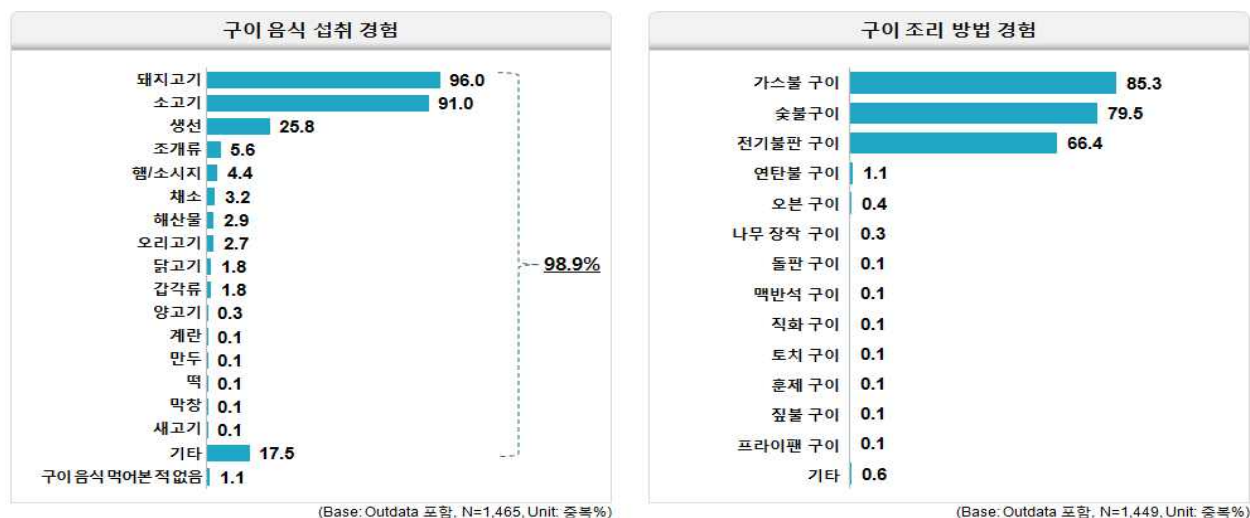


그림9. 구이음식 섭취 경험 및 조리방법 경험

또한 구이음식 섭취 경험자 중 98.4%가 최근 1년 이내 구이 음식 섭취 경험이 있었으며, 주로 돼지고기(96.5%), 소고기(87.6%)를 섭취한 것으로 나타났으며(그림10), 고기 종류별 조리방법은 소고기와 돼지고기의 경우 숯불구이를 통해 섭취하는 경우가 가장 많았으며, 다음으로 가스불과 전기불판 순이었다(그림11).

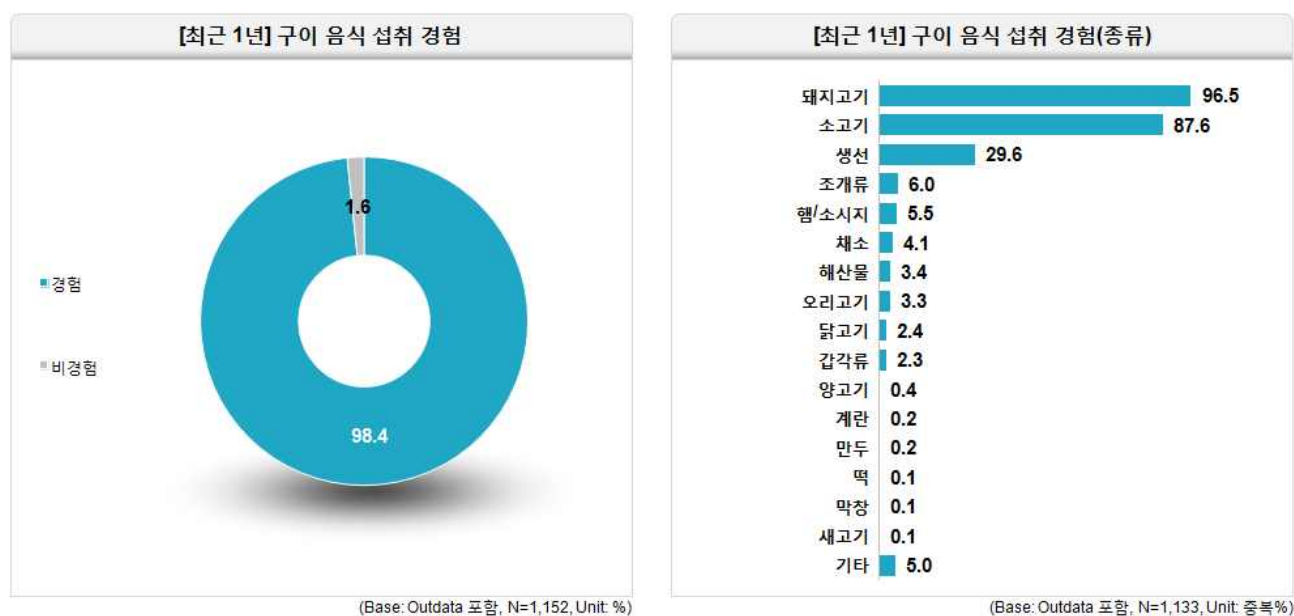


그림10. 구이음식 섭취 경험자 중 최근 1년 경험 및 조리방법

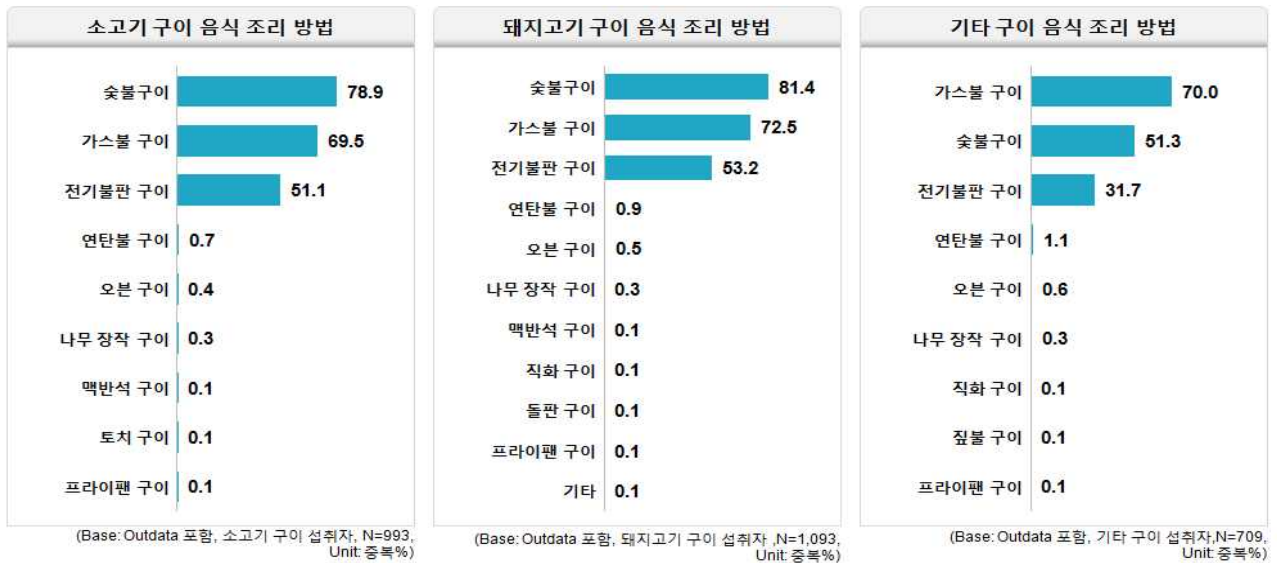


그림11. 고기종류별 구이 조리방법

나. 숯불구이 섭취 시 탄부위 제거 및 배기시설 고려여부 조사

숯불구이 식품 섭취 시 그을음 및 탄부위 처리에 대한 조사에서는 그을음의 경우 그을음 생긴 부위에 대해서 17.6%가 그대로 섭취하고 70.5%는 어느정도 제거 후 섭취하며, 8.9%는 모두 제거 후 섭취하고, 3.0%는 그냥 버린다고 조사되었다. 또한 탄 부위에 대한 처리여부는 66.0%는 어느정도 제거 후 섭취하고 18.9%는 모두 제거 후 섭취, 7.9%는 버린다고 응답하여 탄부위는 그을음 발생 부위에 비해 제거율이 높았다(그림12). 또한 숯불구이 식당 선택시 고기 종류에 관계없이 70%이상이 연기 배기시설 유무에 대한 고려를 하는 것으로 나타났다(그림13).

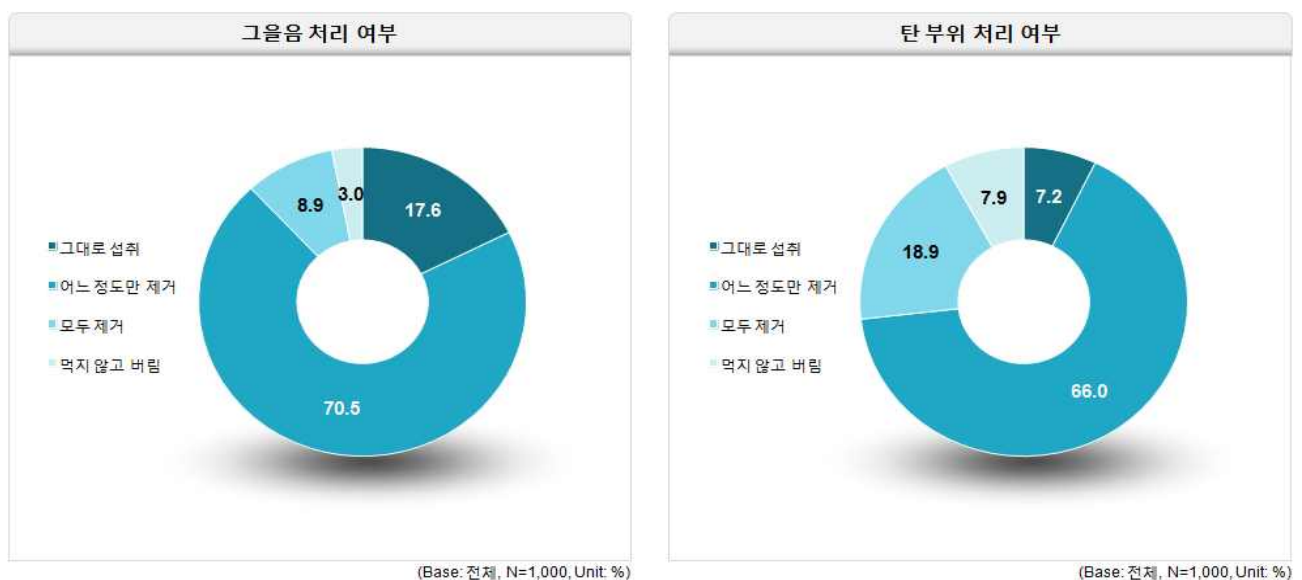


그림12. 그을음 및 탄부위 처리 여부

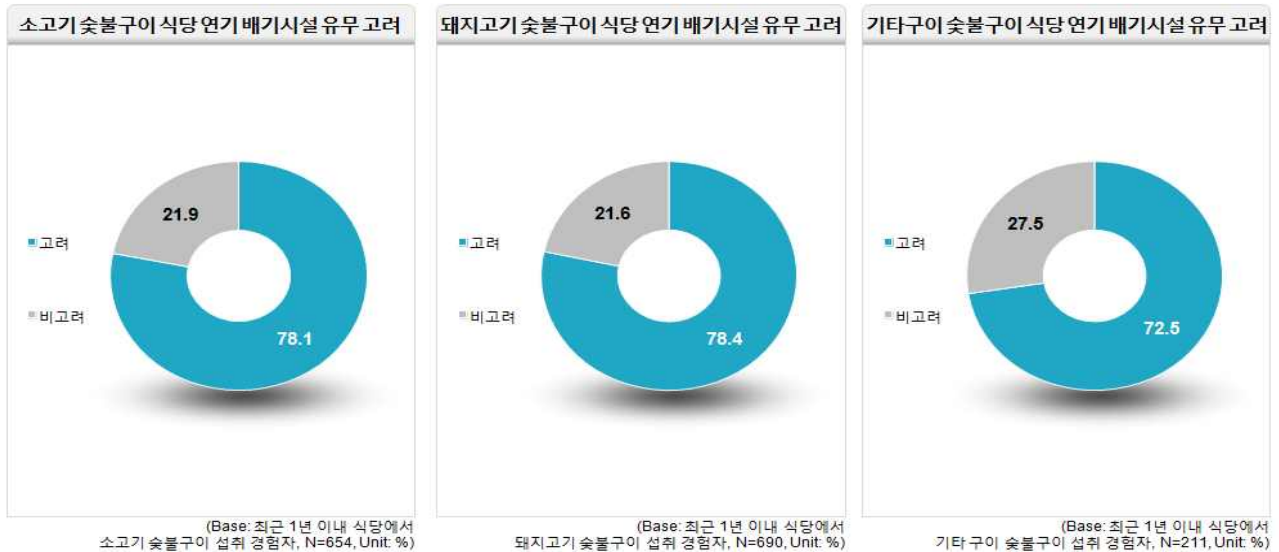


그림13. 식당 선택시 배기시설 고려 정도

3. 소고기 숯불구이 조리 및 섭취 실태

가. 소고기 구이 섭취 빈도 및 섭취량 조사

최근 1년 이내 소고기를 숯불구이 조리방법으로 섭취한 경험자의 51.0%가 월 1~3회 정도 섭취하는 것으로 나타났으며, 1회 평균 1.65인분을 섭취하는 것으로 나타났다. 또한 숯불구이 방법으로 섭취하는 소고기 부위 선호도는 등심(37.7%)을 가장 선호하였으며, 다음으로 갈비(24.5%), 안심(12.1%) 순으로 나타났다(그림14).

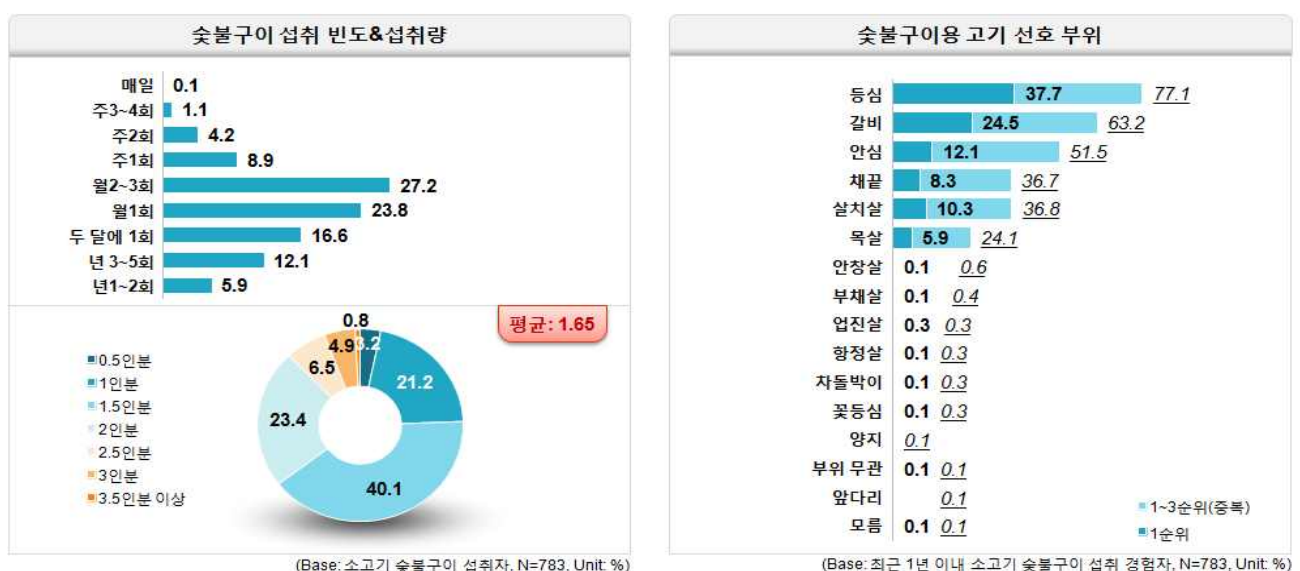


그림14. 소고기 섭취 빈도 및 선호부위

나. 소고기 구이 조리방법 조사

소고기 숯불구이 섭취시 이용 경험 및 주 이용 불판으로는 식당에서는 석쇠를 주로 이용한다고 응답한 수가 70.3%였으며, 야외에서는 78.3%가 석쇠를 주로 이용하였다(그림15), 또한 숯불구이를 굽기 시작하는 시간은 식당의 경우 숯불이 들어오고 난 후 5분 미만이 42.%, 5분에서 10분이 46.8%로 10분 이전에 굽기 시작하는 비율이 88.8%로 가장 많은 비율을 차지하였다. 또한 야외에서 고기를 구울때는 5분 미만이 17.0%, 5분에서 10분 미만이 46.0%, 10분에서 15분이 25%였으며, 식당보다는 다소 굽기 시작하는 시간이 늦었으나 10분 미만이 전체의 63.0%를 차지하였다. 우리나라 국민들은 숯불에 불을 붙인 후 빠른시간내에 고기를 굽기를 원하는 것으로 나타났다(그림16)

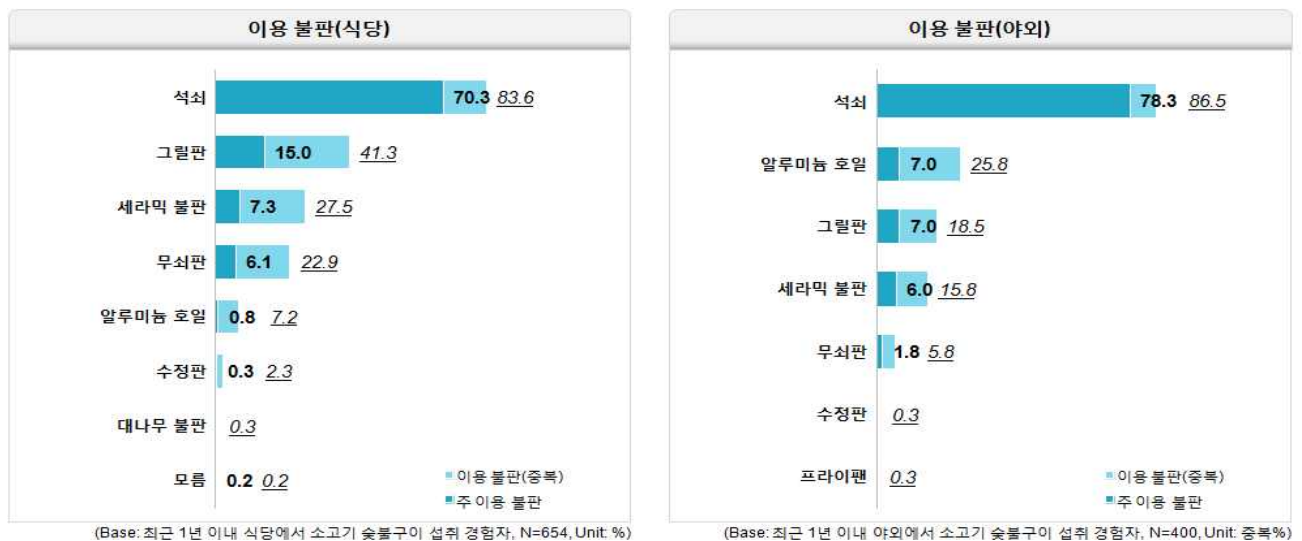


그림15. 소고기 숯불구이 시 주 이용 불판

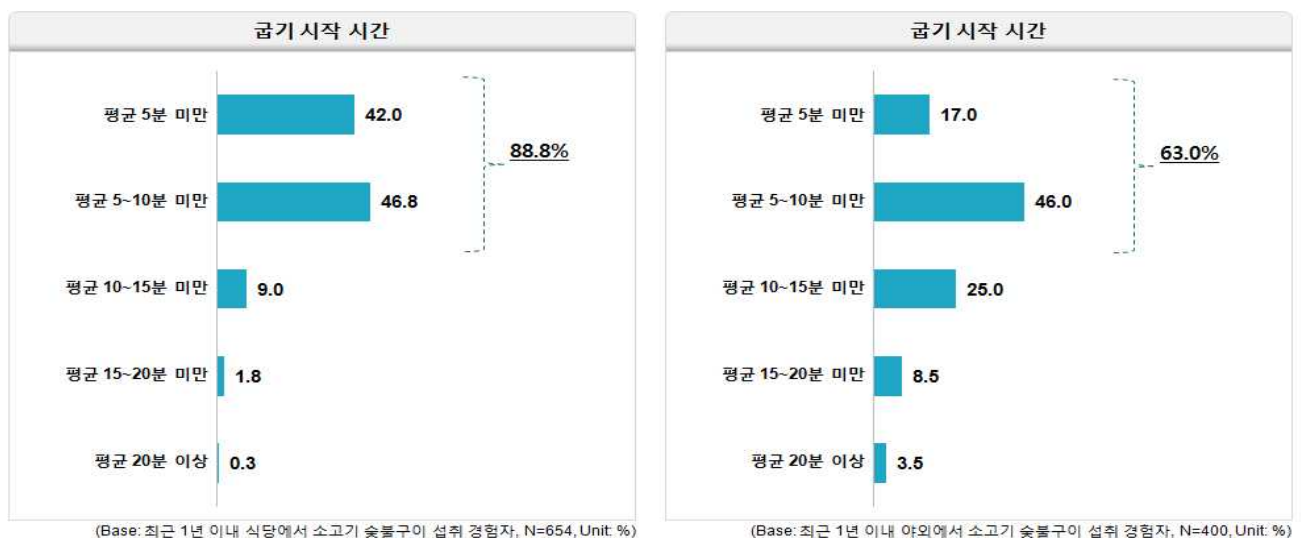


그림16 소고기 숯불구이 시 굽기시작 시점

소고기 숯불구이 구이 시 소고기 조리 두께와 조리정도에 대해서 조사하였다. 식당에서 조리시 조리 두께는 0.5~1cm가 58.0%로 가장 선호하는 두께였으며, 1~2cm가 32.3%로 그 다음으로 선호하는 두께로 나타났다. 또한 굽는 정도는 노릇노릇한 정도가 60.9%로 가장 선호하는 조리정도였으며, 다음으로 찢기만 가실정도가 24.2%, 살짝 그을린 정도가 13.9%였다(그림17). 반면, 야외에서는 조리두께가 0.5~1cm가 47.3%로 가장 선호도가 높았으며, 다음으로 1~2cm 가 36.3%였다. 조리정도에 대한 선호도는 노릇노릇한 정도가 60.8%로 가장 높았으며, 살짝 그을린 정도가 19.0%, 찢기만 가실정도가 18.8%였다(그림18). 소비자들은 식당에서보다 야외에서 좀더 두꺼운 고기를 좀더 구워 먹는 것으로 나타났다.

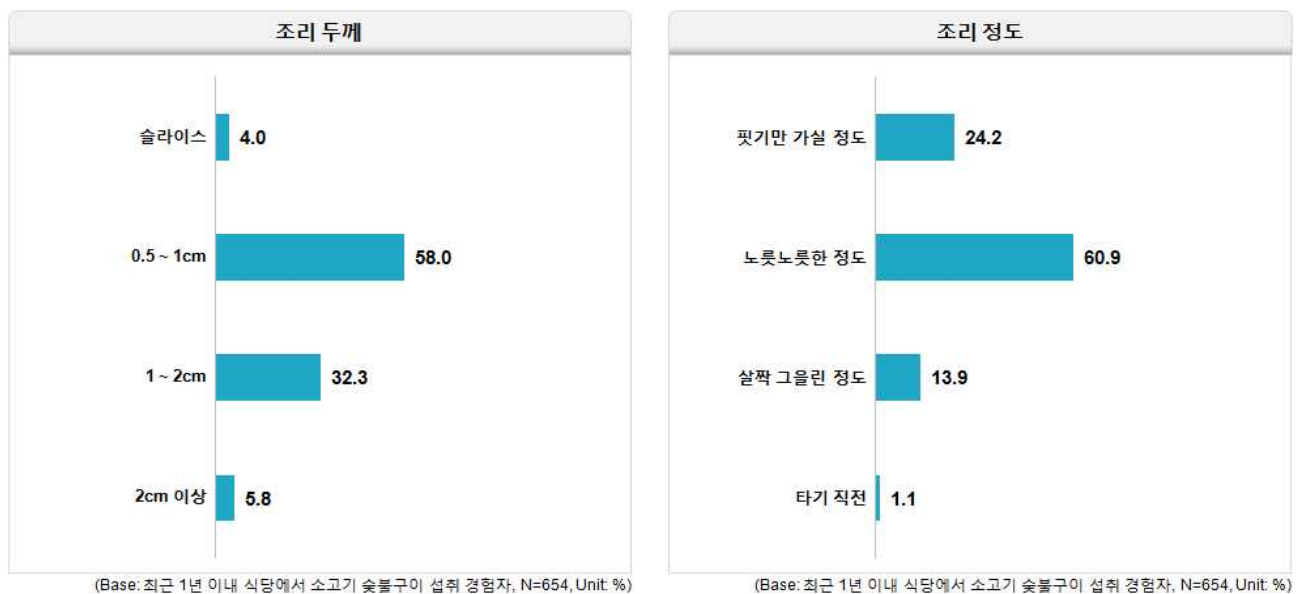


그림17 소고기 숯불구이 시 조리두께 및 조리정도(식당)

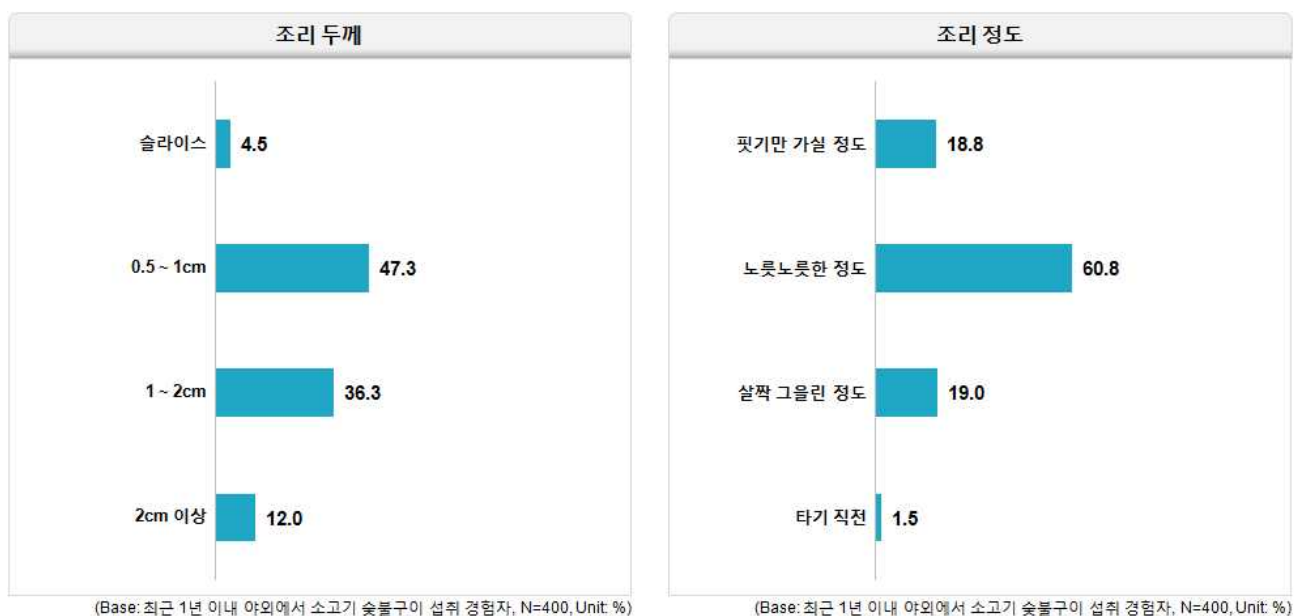


그림18 소고기 숯불구이 시 조리두께 및 조리정도(야외)

4. 돼지고기 숯불구이 조리 및 섭취 실태4

가. 돼지고기 구이 섭취 빈도 및 섭취량 조사

최근 1년 이내 돼지고기를 숯불구이 조리방법으로 섭취한 경험자의 30.4%가 월 2~3회 정도 섭취하는 것으로 나타났으며, 1회 평균 1.65인분을 섭취하는 것으로 나타났다. 또한 숯불구이 방법으로 섭취하는 돼지고기 부위 선호도는 삼겹살(59.7%)을 가장 선호하였으며, 다음으로 목살(24.3%), 갈비(11.7%) 순으로 나타났다(그림19).

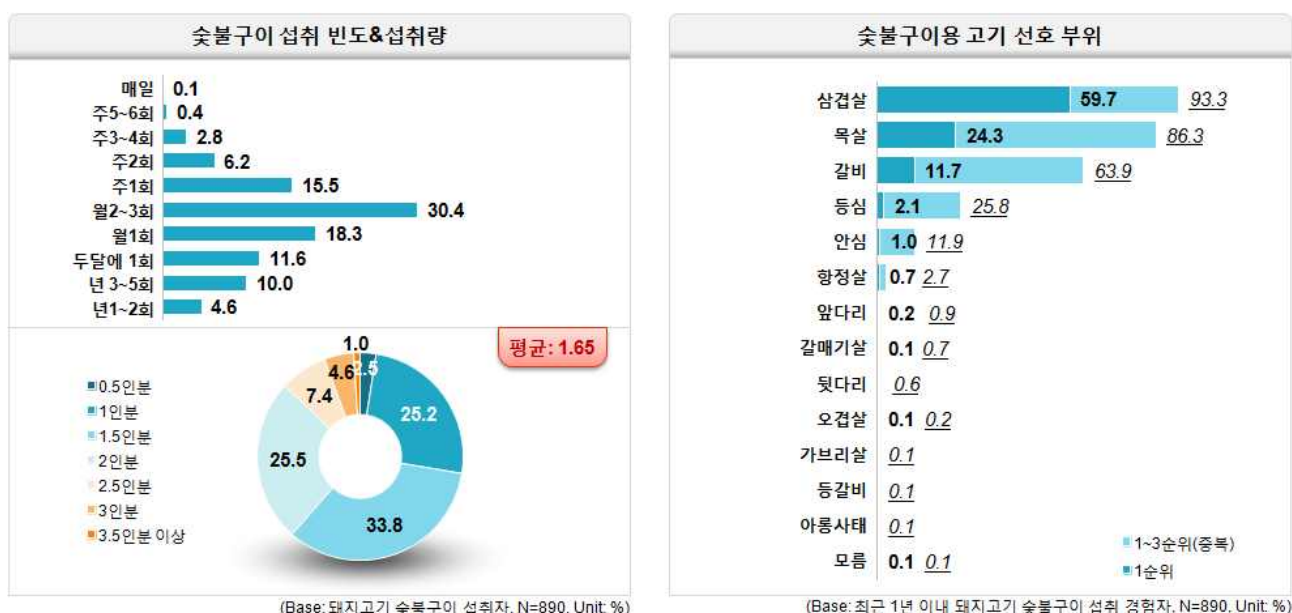


그림19. 소고기 섭취 빈도 및 선호부위

나. 돼지고기 구이 조리방법 조사

돼지고기 숯불구이 섭취 시 이용 경험 및 주 이용 불편으로는 식당에서는 석쇠를 주로 이용한다고 응답한 수가 33.8%였으며, 야외에서는 76.4%가 석쇠를 주로 이용하였다. 야외활동에서는 거의 대부분의 사람들이 석쇠를 이용하여 숯불구이를 하는 것으로 나타났다(그림20), 또한 숯불구이를 굽기 시작하는 시간은 식당의 경우 숯불이 들어오고 난 후 5분 미만이 33.9%, 5분에서 10분이 49.3%로 10분 이전에 굽기 시작하는 비율이 83.2%로 가장 많은 비율을 차지하였다. 또한 야외에서 고기를 구울때는 5분 미만이 15.8%, 5분에서 10분 미만이 46.3%, 10분에서 15분이 25.9%였으며, 식당보다는 다소 굽기 시작하는 시간이 늦었으나 10분 미만이 전체의

62.1%를 차지하였다. 우리나라 국민들은 숯불에 불을 붙인 후 빠른시간내에 고기를 굽기를 원하는 것으로 나타났다(그림21).

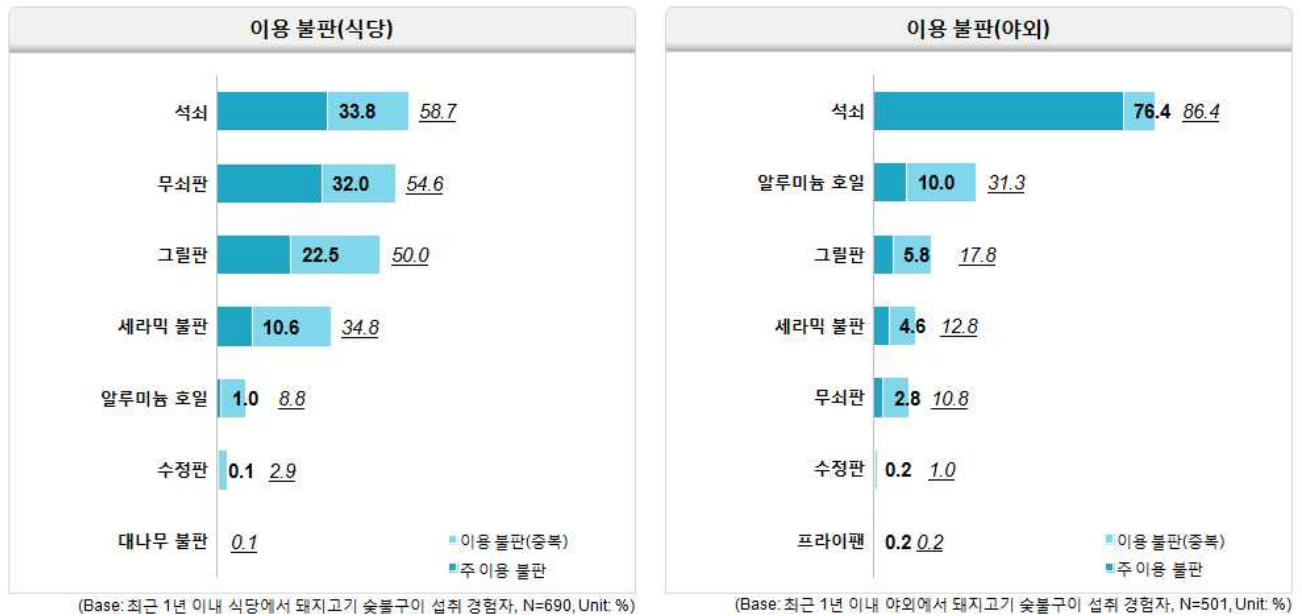


그림20. 돼지고기 숯불구이 시 주 이용 불판

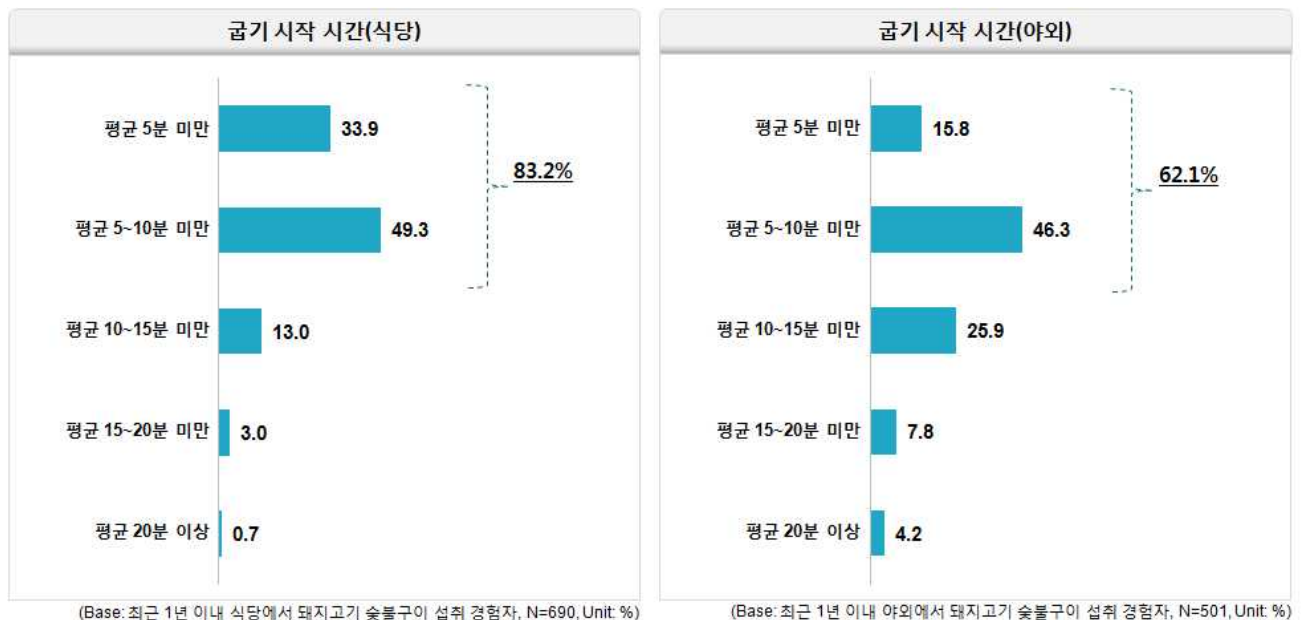


그림21 돼지고기 숯불구이 시 굽기시작 시점

돼지고기 숯불구이 구이 시 돼지고기 조리 두께와 조리정도에 대해서 조사하였다. 식당에서 조리시 조리두께는 0.5~1cm가 53.9%로 가장 선호하는 두께였으며, 1~2cm가 33.0%로 그 다음으로 선호하는 두께로 나타났다. 또한 굽는 정도는 노릇노릇한 정도가 63.2%로 가장 선호하는

조리정도였으며, 다음으로 살짝 그을린 정도가 32.2%였다(그림22). 반면, 야외에서는 조리두께가 0.5~1cm가 46.3%로 가장 선호도가 높았으며, 다음으로 1~2cm가 36.9%였다. 조리정도에 대한 선호도는 노릇노릇한 정도가 60.3%로 가장 높았으며, 살짝 그을린 정도가 35.1%였다(그림 23). 소고기보다 돼지고기를 조리할 때 좀더 많이 구워서 섭취하는 것으로 나타났다.

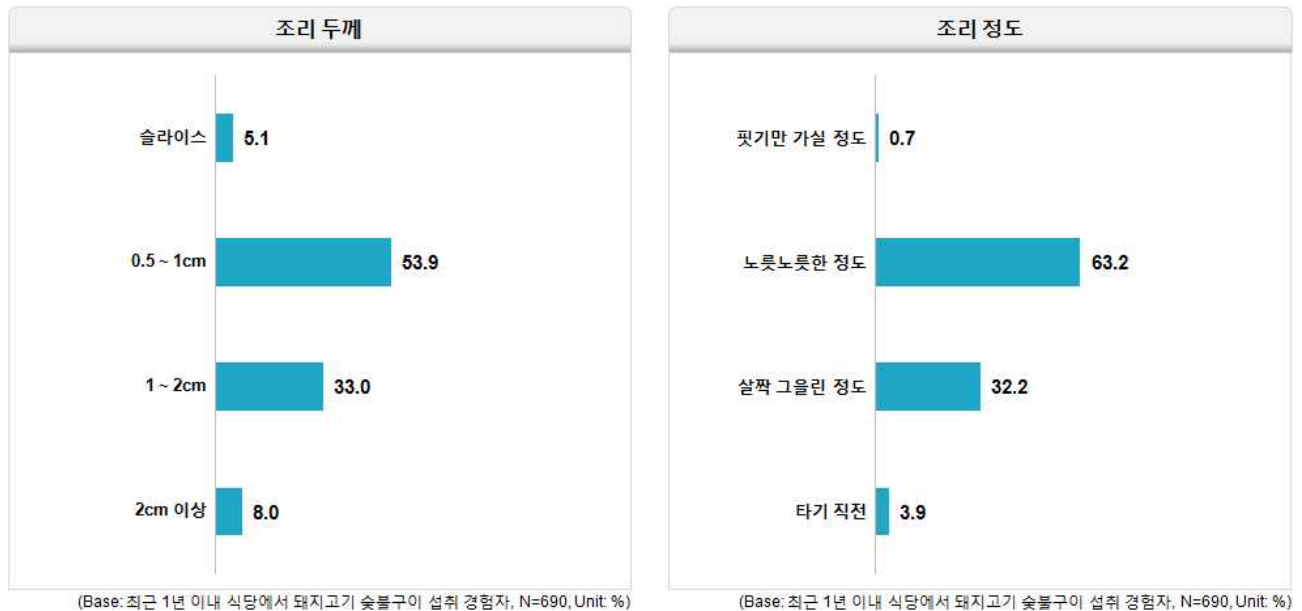


그림22 돼지고기 숯불구이 시 조리두께 및 조리정도(식당)

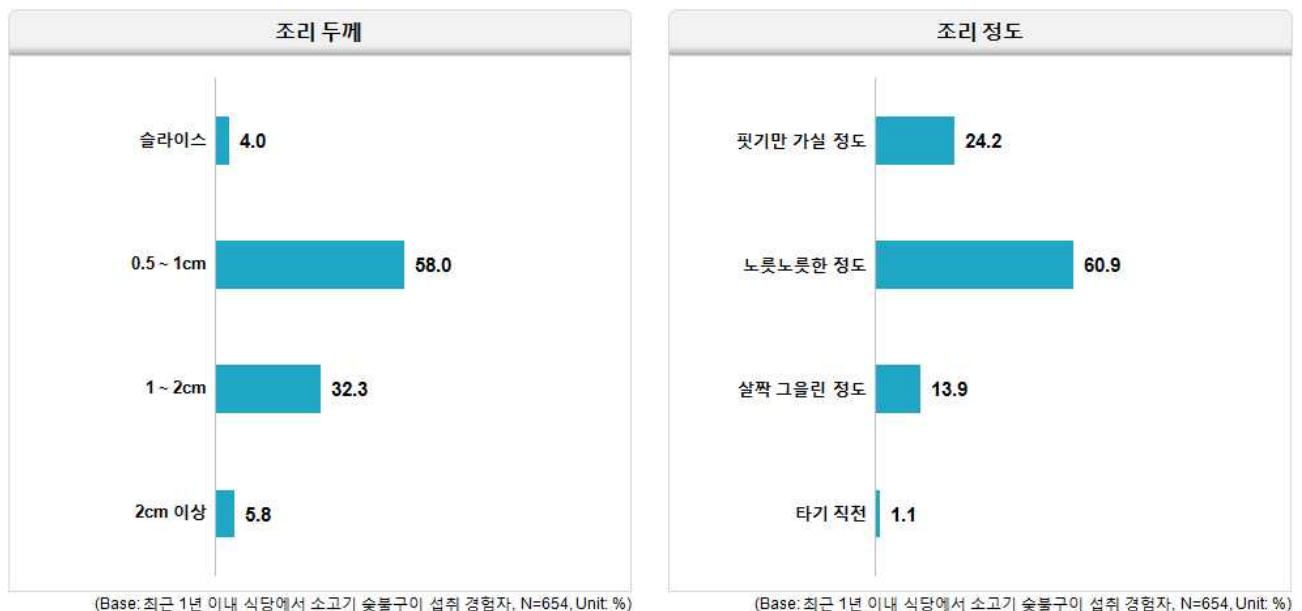


그림23 돼지고기 숯불구이 시 조리두께 및 조리정도(야외)

제4절 숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사

숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 조사하기 위해 숯불구이 조리 섭취 실태조사 결과를 바탕으로 숯불구이 방법을 표준화하였으며, 이렇게 표준화된 방법을 숯불상 태, 숯불구이 시작시간, 숯불조리 시간, 조리시 발생하는 기름의 제거유무, 숯에서 발생하는 연 기의 제거유무에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 조사하였다.

1. 숯불구이 방법 표준화

전체국민을 대상으로 참기름, 들기름, 고추씨기름, 고추맛기름, 올리브기름 섭취에 의한 노출 평가는 1인 1일 대상 식용유지의 섭취량과 평균검출량을 통해 산출되었다. 이때 참기름, 들기름, 고추씨기름, 고추맛기름의 섭취량은 평균섭취량과 극단 섭취량(95th percentile)을 구분하여 0.012 ng/kg b.w./day, 극단 섭취(95th)시 0.046 ng/kg b.w./day의 노출량을 보였다(표3).

전체국민의 평균 섭취시 0.0001 ng/kg b.w./day, 고추맛기름은 전체국민의 평균 섭취시 0.0001 Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene의 합으로 노출량을 평가하였다. 참기름의 경우 전체국

가. 식육부위 및 굽는 정도 표준화

숯불구이 대상 고기로 숯불구이 소비 섭취 실태조사를 통해 조사된 우리나라 국민의 다소비 식육인 소고기와 돼지고기를 선정하였다. 또한 소고기는 숯불구이로 가장 선호하는 등심과 갈비를, 돼지고기는 삼겹살과 목살을 대상 식육부위로 선정하였다. 특히 각 부위별 지방함량은 소고기 등심 41.2%, 갈비 31.7%, 돼지고기 목살 14.3%, 삼겹살 58.1% 이었으며[34], 이 부위들은 지방의 함량이 소와 돼지 중 높은 부위와 낮은 부위로 구분이 되므로 추후 지방함량에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하는데 적당한 샘플이었다(그림24). 또한 구이샘플은 부위별로 조금의 차이는 있으나, 지름 8.6cm, T=1cm, 10으로 정하였다. 구이정도는 핏기만 가실 정도(72℃, 7분조리), 노릇노릇한 정도(80℃ 2N) 살짝 그을린 정도(90℃, 15분, 타기 직전(100℃, 18분)으로 4단계로 조사였으며, 핏기만 가실 정도를 가장 선호하신 것으로 나타났다(그림25).

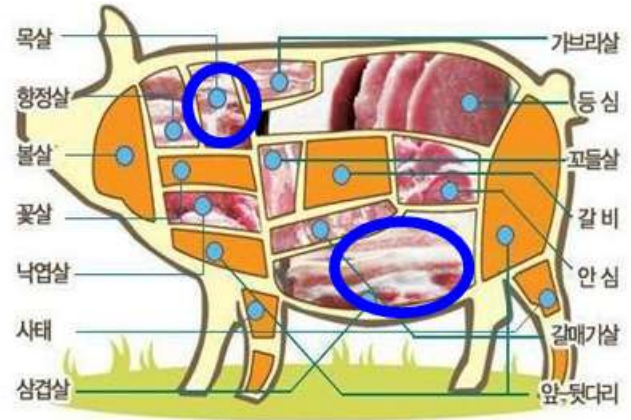
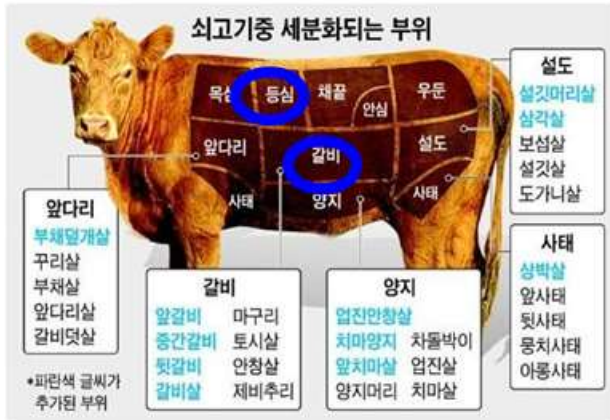


그림24 돼지고기 및 소고기 부위들



그림25 돼지고기 및 소고기 부위들

나. 숯불구이 설비 표준화

숯불구이 조리 시 실험방법에 따라 결과의 오차를 줄이기 위해 실험방법을 표준화하였다. 숯불조리 설비는 4인 가구를 기준으로 시중에 판매되는 조리설비를 사용하였으며, 윗면 34cm×32cm, 아랫면 17cm×17cm. 숯불과 불판간의 거리 8cm였다(그림26).

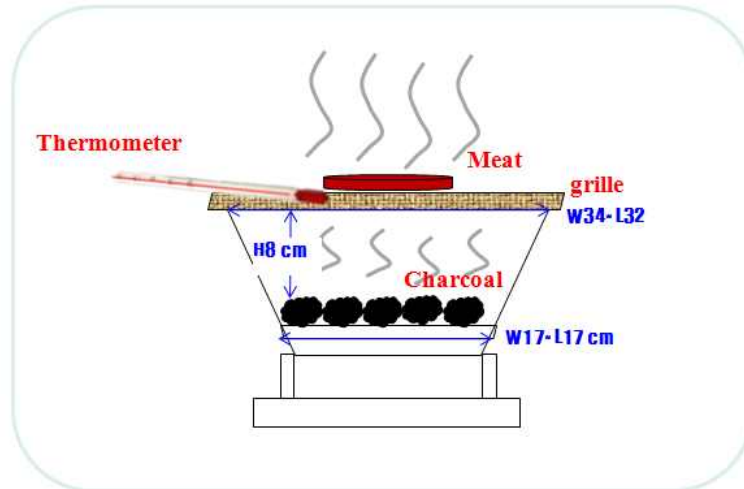


그림26 숯불구이 설비 모식도

다. 숯불 및 구이시점 표준화

숯불의 세기를 표준화하기 위해 숯은 동일자 동일제품 700g을 사용하였으며, 초기의 불 점화는 토치를 이용하여 2분동안 불을 붙인 후에 실험을 진행하였다. 또한 석쇠와 복사열 온도, 숯불의 상태를 고려하여 구이시점을 정하였다(그림27).

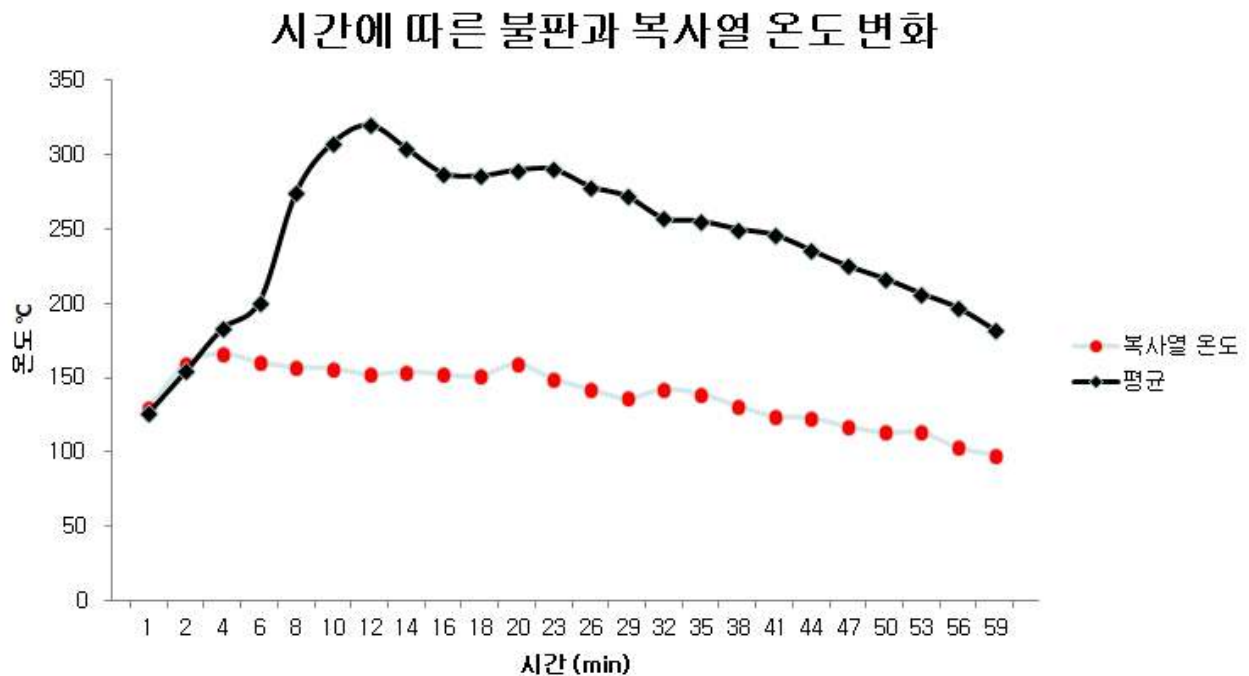


그림27 시간에 따른 불판과 복사열 변화

구이 시점은 총 4 지점을 정하였으며, 처음 불을 붙인 후 1분 경과 시점으로 막 불이 달아오르기 시작하는 단계로서 불판과 복사열이 상승하는 지점이다. 이때 고기를 굽는데는 12분 정도의 시간이 소요되었다. 다음으로 불판이 온도가 가장 높은 부분으로 불 붙인 후 15분 경과 시점이다. 이때는 고기 굽는데 12분이 소요되었으며, 불판의 온도가 가장 높은 지점에서 조금씩 온도가 떨어지는 단계이다. 그리고 숯불을 붙인 후 25분 경과시점이다. 이때는 고기를 조리하는데 12분이 소요되었으며, 불꽃이 사라지고 숯이 달아올라있는 지점이다. 마지막으로 숯불을 붙인 후 40분 경과지점이다. 이때는 불이 잦아들고 숯의 불이 사그라질때이다. 고기를 조리하는데 24분이 소요되었다(그림28)

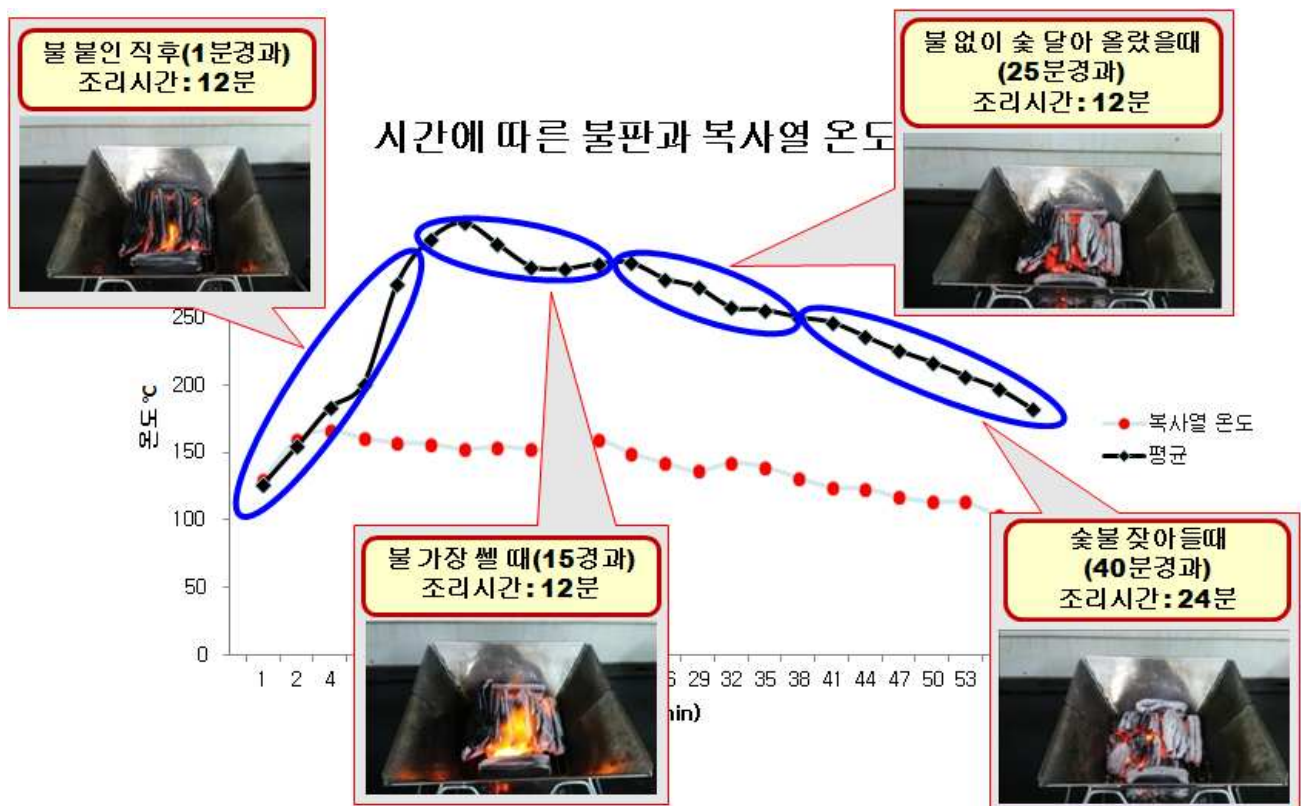


그림28 구이시점 4단계

2. 숯불조리에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량

숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량을 비교하기 위해 구이시점, 구이시간, 발생하는 기름 및 연기의 제거, 열원을 변화시켜 실험하였다. 특히 각 실험마다 실태조사 요인을 제외한 다른 조건들은 일정하게 유지하기 위해 모든 실험은 1회 실험 후 새로운 숯과 불판 등으로 교체하여 실험을 진행하였다. 또한 매 실험마다 복사열 및 구이식품의 품온을 측정하여 조리조건을 최대한 일정하게 유지할 수 있도록 하였다.

가. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

숯불구이 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하기 위해 돼지고기 목살과 삼겹살, 소고기 등심과 갈비살을 각각 숯불 점화 이후 1분, 15분, 25분, 40분 시점에서 굽기 시작하였다. 돼지고기, 소고기 부위별 시간조건 4단계에 5회 이상 반복 실험을 실시하였다(표24).

표24. 구이시점에 따른 실험조건

	실험종류	돼지고기		소고기		비 고
		목심	삼겹	등심	갈비살	
조리방법	숯불시간	1분	○	○	○	16건* 5 반복
		15분	○	○	○	
		25분	○	○	○	
		40분	○	○	○	

실험결과 돼지고기의 경우 목살은 숯에 불 붙인 후 1분 경과 시 4PAHs는 16.96 µg/kg, BaP의 경우 3.04 µg/kg으로 다른 시점에 비해 가장 높은 생성량을 보였으며, 삼겹살은 숯불 붙인 후 1분 경과 시점에 구운 경우 4PAHs 33.17 µg/kg, BaP의 경우 5.99 µg/kg이 생성되었다. 삼겹살의 경우 15분 이후 구운 경우에서도 4 PAHs 21.77 µg/kg, BaP 5.76 µg/kg으로 다소 높은 생성량을 보였다. 그리고 15분, 25분, 40분 경과 후에 구운 대부분의 경우에는 상대적으로 낮은 생성량을 보였다(표25).

표25. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기)

구분		생성량 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
		1분	15분	25분	40분
돼지 목살 (n=6)	4PAHs	16.96 \pm 7.61	5.6 \pm 2.51	7.63 \pm 2.06	4.38 \pm 1.04
	BaA	5.45 \pm 1.64	1.75 \pm 0.62	2.24 \pm 0.68	1.14 \pm 0.3
	CHR	2.8 \pm 1.12	0.94 \pm 0.64	0.97 \pm 0.4	1.3 \pm 0.8
	BbFA	5.66 \pm 3.66	1.71 \pm 0.82	2.7 \pm 0.84	1.26 \pm 0.54
	BaP	3.04 \pm 1.43	1.21 \pm 0.49	1.73 \pm 0.62	0.68 \pm 0.21
돼지 삼겹살 (n=5)	4PAHs	33.17 \pm 15.4	21.77 \pm 10.6	11.44 \pm 4.4	11.54 \pm 8.5
	BaA	10.27 \pm 5.4	3.09 \pm 2.15	2.45 \pm 1.35	3.13 \pm 3.05
	CHR	7.97 \pm 4	4.15 \pm 1.93	2.16 \pm 1.11	2.33 \pm 2.31
	BbFA	8.93 \pm 4.18	8.77 \pm 4.86	3.81 \pm 1.69	3.27 \pm 1.66
	BaP	5.99 \pm 3.32	5.76 \pm 3.53	3.03 \pm 0.98	2.81 \pm 1.73

소고기의 경우 등심은 숯에 불 붙인 후 1분 경과 시 4PAHs는 28.72 $\mu\text{g}/\text{kg}$, BaP의 경우 5.07 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 다른 시점에 비해 가장 높은 생성량을 보였으며, 갈비살은 숯불 붙인 후 1분 경과 시점에 구운 경우 4PAHs 23.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$, BaP의 경우 4.81 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 생성되었다. 그리고 15분, 25분, 40분 경과 후에 구운 대부분의 경우에는 상대적으로 낮은 생성량을 보여다(표26).

표26. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기)

구분		생성량 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
		1분	15분	25분	40분
소 등심 (n=6)	4PAHs	28.72 \pm 0.09	13.65 \pm 8.64	10.93 \pm 3.89	12.7 \pm 8.07
	BaA	6.96 \pm 3.84	3.62 \pm 1.94	2.15 \pm 1.01	2.68 \pm 1.88
	CHR	7.14 \pm 4.17	3.8 \pm 1.22	2.67 \pm 1.2	2.95 \pm 1.84
	BbFA	9.54 \pm 7.26	6.25 \pm 2.09	3.91 \pm 1.46	4.59 \pm 2.86
	BaP	5.07 \pm 6.27	3.23 \pm 1.85	2.2 \pm 1.58	2.48 \pm 2.62
소 갈비살 (n=6)	4PAHs	23.8 \pm 4.97	10.98 \pm 3.69	9.20 \pm 2.43	12.70 \pm 9.62
	BaA	7.45 \pm 1.63	3.21 \pm 0.96	2.76 \pm 0.82	2.89 \pm 2.27
	CHR	2.31 \pm 2.53	2.27 \pm 0.88	2.14 \pm 0.76	2.65 \pm 2.58
	BbFA	2.31 \pm 0.68	2.19 \pm 1.08	1.95 \pm 0.48	2.81 \pm 2.33
	BaP	4.81 \pm 1.32	3.3 \pm 1.13	2.35 \pm 0.86	4.35 \pm 4.13

나. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

숯불구이 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하기 위해 돼지고기 목살과 삼겹살, 소고기 등심과 갈비살을 각각 숯불 점화이후 15분 경과 후 돼지고기, 소고기 부위별로 구이시간을 각각 7분, 12분, 15분, 18분으로 구이조건 4단계에 6회 이상 반복 실험을 실시하였다(표48). 각 구이시간별 고기 조리 방법은 7분의 경우 2회 뒤집어 구웠으며, 12분, 15분, 18분 구이시간은 총 4번 뒤집어 구웠다. 뒤집기 전 구이시간은 약 4분정도 구웠다(표27,28).

표27. 구이시간에 따른 실험조건

	실험종류	돼지 고기		소고기		비 고
		목심	삼겹	등심	갈비살	
조리방법	구이시간	대조군 (12분)	○	○	○	16건* 6 반복
		구이시간 (7분)	○	○	○	
		구이시간 (15분)	○	○	○	
		구이시간 (18분)	○	○	○	

표28. 구이시간에 따른 구이방법

시간	고기 뒤집는시점			
	1회	2회	3회	4회
7분	3분 30초	3분 30초	-	-
12분	4분	4분	4분	4분
15분	4분	4분	3분 30초	3분 30초
18분	4분	4분	5분	5분

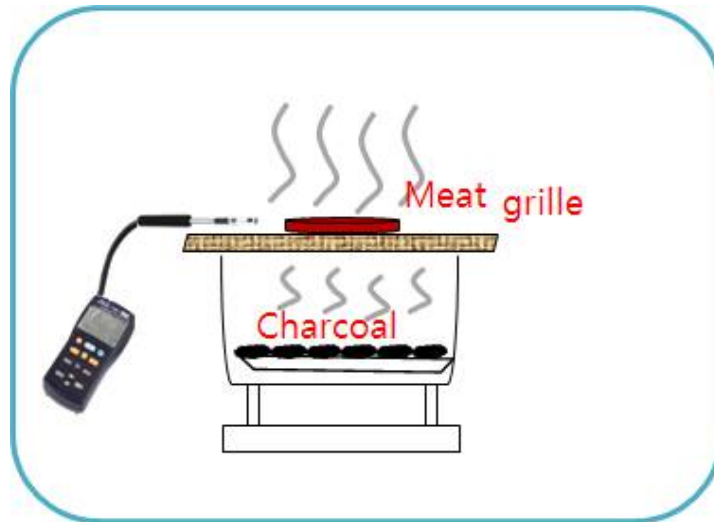


그림29. 구이시점 및 구이시간에 따른 실험설비
모식도

실험결과 돼지고기의 경우 목살은 구이시간이 길어질수록 4PAHs와 BaP의 생성량이 모두 증가하였다. 7분, 12분, 15분, 18분 구울 때 4PAHs은 1.94 $\mu\text{g/kg}$, 5.29 $\mu\text{g/kg}$, 14.98 $\mu\text{g/kg}$, 28.79 $\mu\text{g/kg}$ 가 생성되었으며, BaP의 경우 0.94 $\mu\text{g/kg}$, 1.21 $\mu\text{g/kg}$, 3.88 $\mu\text{g/kg}$, 6.73 $\mu\text{g/kg}$ 이 생성되었다. 삼겹살은 15분 구울경우 4PAHs 21.78 $\mu\text{g/kg}$, 7분 구울 경우 BaP 4.69 $\mu\text{g/kg}$ 로 가장 높은 생성량을 보였다. 돼지목살과는 다르게 삼겹살의 경우 지방함량이 높아 구이시간에 따른 생성량이 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되었다(표29).

표29. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기)

구분		생성량 ($\mu\text{g/kg}$)			
		7분	12분	15분	18분
돼지 목살 (n=5)	4PAHs	1.94±1.17	5.29±2.74	14.98±1.32	28.79±9.06
	BaA	0.44±0.41	1.75±0.62	3.98±1.37	8.62±3.55
	CHR	0	0.94±0.64	3.38±0.19	5.68±1.46
	BbFA	0.55±0.33	1.71±0.82	3.74±0.84	7.76±2.34
	BaP	0.94±0.63	1.21±0.49	3.88±0.34	6.73±1.9
돼지 삼겹살 (n=5)	4PAHs	5.36±3.15	18.88±10.56	21.78±8.28	17.1±6.24
	BaA	1.56±0.78	1.28±0.73	1.68±1.07	1.62±0.72
	CHR	3.09±2.15	4.15±1.93	8.77±4.86	5.76±3.53
	BbFA	5.89±2.8	5.1±2.29	6.35±3.04	5±2.3
	BaP	4.69±2.02	4.23±1.85	3.9±1.25	4.37±1.38

소고기의 경우 등심은 구이시간이 길어질수록 4PAHs와 BaP의 생성량이 모두 증가하였다. 7분, 12분, 15분, 18분 구울 때 4PAHs은 7.60 µg/kg, 16.91 µg/kg, 29.9 µg/kg, 90.31 µg/kg가 생성되었으며, BaP의 경우 1.63 µg/kg, 3.23 µg/kg, 5.56 µg/kg, 38.57 µg/kg이 생성되었다. 소갈비살은 15분 구울 경우 4PAHs 22.4 µg/kg, BaP 3.30 µg/kg로 가장 높은 생성량을 보였다. 등심과는 다르게 갈비살의 경우 지방함량이 높아 구이시간보다는 기름이나 연기 등 구이조건에 더 크게 영향을 받는 것으로 판단되어지며, 돼지고기의 삼겹살과 비슷한 경향을 보였다.(표30).

표30. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기)

구분		생성량 (µg/kg)			
		7분	12분	15분	18분
소 등심 (n=6)	4PAHs	7.6±3.87	16.91±5.62	29.911±3.06	90.31±33.72
	BaA	2.69±1.05	3.62±1.94	7.8±3.75	16.15±6.17
	CHR	1.13±0.93	3.8±1.22	6.89±3.19	15.32±5.75
	BbFA	2.16±0.84	6.25±2.09	9.66±4.85	20.27±6.22
	BaP	1.63±1.34	3.23±1.85	5.56±3.2	38.57±15.7
소 갈비살 (n=6)	4PAHs	7.17±10	10.98±3.69	22.4±7.82	8.71±7.16
	BaA	1.19±0.7	3.21±0.96	7.72±7.53	1.99±1.77
	CHR	1.39±1.31	2.27±0.88	3.14±1.5	1.77±2.25
	BbFA	1.18±0.46	2.19±1.08	2.8±1.37	1.31±0.89
	BaP	3.4±2.51	3.3±1.13	8.68±3.32	3.64±2.49

다. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

숯불구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량을 비교하기 위해 돼지고기 목살과 삼겹살, 소고기 등심과 갈비살을 각각 숯불 점화 이후 15분 경과 후 돼지고기, 소고기 부위별로 아래 모식도와 같이 기름을 제거하며 6회 이상 반복 실험을 실시하였다(표31).

표31. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 실험조건

조리방법	실험종류	돼지고기		소고기		비고
		목심	삼겹	등심	갈비살	
	기름제거	대조군	○	○	○	8건*
		육즙제거	○	○	○	6회

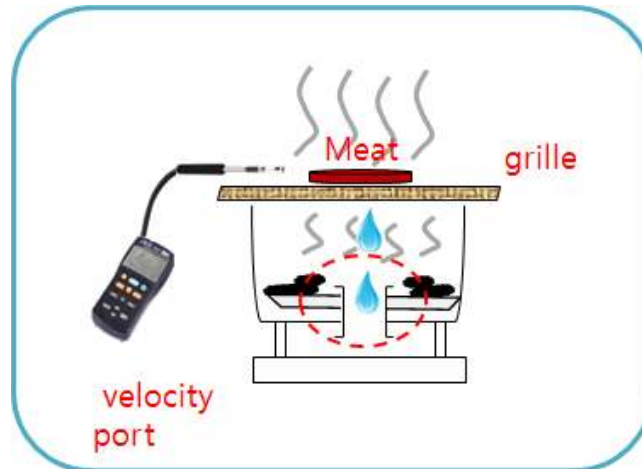


그림30. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 실험설비 모식도

특히 고기 구울 때 발생하는 기름의 제거유무 실험에 앞서 떨어지는 기름의 성분을 분석하였다. 돼지고기와 소고의 2종에 대하여 조리 시간대 1~4분, 5~8분, 9~12분에 각각 떨어지는 육즙을 받아서 조지방, 수분의 함량을 측정하였다. 측정결과 삼겹살의 경우 1~4분대에 떨어지는 육즙은 수분 18.8%, 지방 76.8% 였으며, 5~8분과 9~12분때에 떨어지는 육즙은 95%이상이 지방이었다. 소등심의 경우 최초 1~4분대에 떨어지는 육즙은 28.2% 수분, 55.8% 지방, 이었으며, 5~8분, 9~12분에 지방이 각각 64.5%, 76.3%로 증가하였다. 즉 고기를 조리함에 따라 초기에 수분이 많이 나오나 일정 시간이 지난 후 부터는 떨어지는 육즙이 거의 기름성분임을 알 수 있었다. 또한 지방 함량이 높은 삼겹살의 경우 지방이 더욱 많은 비율을 차지하고 있었다(그림31).

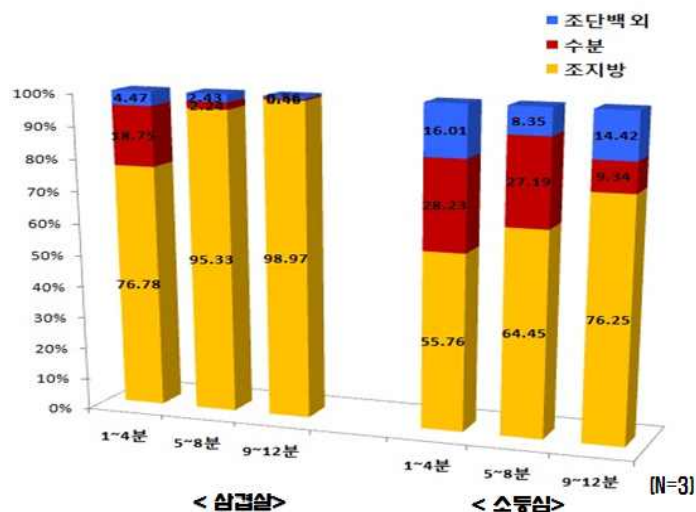


그림31. 구이시간에 따른 기름 성분변화

구이 조리 중 솟으로 떨어지는 기름의 제거 유무에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량 실태조사한 결과, 돼지고기의 경우 목살은 기름 제거전 4PAHs 5.60 μ g/kg, BaP 1.21 μ g/kg이었으며, 기름 제거 후에는 4PAHs 2.93 μ g/kg, BaP 0.56 μ g/kg 이었다. 또한 삼겹살은 기름 제거전 4PAHs 21.77 μ g/kg, BaP 5.76 μ g/kg이었으며, 기름 제거 후에는 4PAHs 2.38 μ g/kg, BaP 0.66 μ g/kg 이었다(표32).

표32. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기)

구분		생성량 (μ g/kg)	
		제거 전	제거 후
돼지 목살 (n=5)	4PAHs	5.6 \pm 2.51	2.93 \pm 0.78
	BaA	1.75 \pm 0.62	1.05 \pm 0.34
	CHR	0.94 \pm 0.64	0.44 \pm 0.16
	BbFA	1.71 \pm 0.82	0.89 \pm 0.34
	BaP	1.21 \pm 0.49	0.56 \pm 0.02
돼지 삼겹살 (n=6)	4PAHs	21.77 \pm 10.56	2.38 \pm 1.17
	BaA	3.09 \pm 2.15	0.4 \pm 0.31
	CHR	4.15 \pm 1.93	0.54 \pm 0.21
	BbFA	8.77 \pm 4.86	0.78 \pm 0.48
	BaP	5.76 \pm 3.53	0.66 \pm 0.37

소고기의 경우 등심은 기름 제거전 4PAHs 16.91 μ g/kg, BaP 3.23 μ g/kg이었으며, 기름 제거 후에는 4PAHs 2.47 μ g/kg, BaP 0.78 μ g/kg 이었다. 또한 갈비살은 기름 제거전 4PAHs 10.98 μ g/kg, BaP 3.30 μ g/kg이었으며, 기름 제거 후에는 4PAHs 2.61 μ g/kg, BaP 1.13 μ g/kg 이었다(표33).

표33. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기)

구분		생성량 (μ g/kg)	
		제거 전	제거 후
소 등심 (n=6)	4PAHs	16.91 \pm 5.62	2.47 \pm 1.19
	BaA	3.62 \pm 1.94	0.6 \pm 0.19
	CHR	3.8 \pm 1.22	0.27 \pm 0.22
	BbFA	6.25 \pm 2.09	0.81 \pm 0.31
	BaP	3.23 \pm 1.85	0.78 \pm 0.64
소 갈비살 (n=6)	4PAHs	10.98 \pm 3.69	2.61 \pm 0.6
	BaA	3.21 \pm 0.96	0.63 \pm 0.09
	CHR	2.27 \pm 0.88	0.14 \pm 0.35
	BbFA	2.19 \pm 1.08	0.7 \pm 0.05
	BaP	3.3 \pm 1.13	1.13 \pm 0.26

라. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

숯불구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량을 비교하기 위해 돼지고기 목살과 삼겹살, 소고기 등심과 갈비살을 숯불 점화이후 25분 경과 후 돼지고기, 소고기 부위 별로 아래 모식도와 같이 기름을 제거하여 6회 반복 실험을 실시하였다(표34).

표34. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 실험조건

조리방법	실험종류	돼지고기		소고기		비 고
		목심	삼겹	등심	갈비살	
연기	대조군	○	○	○	○	8건*
	연기제거	○	○	○	○	6 반복

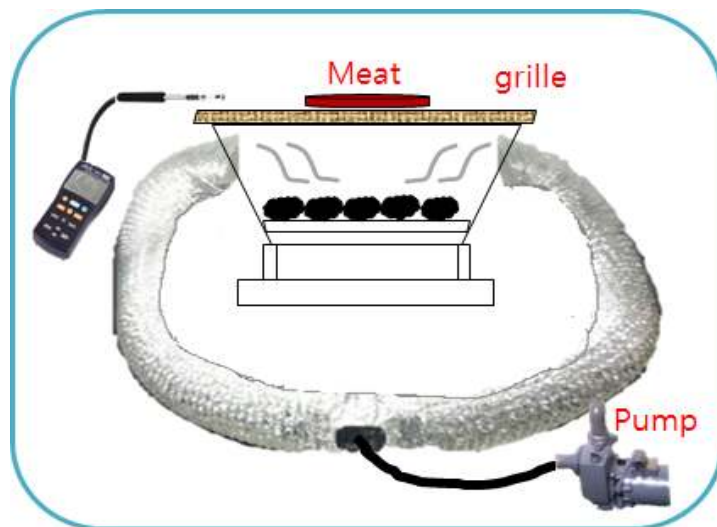


그림32. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 모식도

특히 고기 구울 때 발생하는 연기를 제거하는 과정에서 불판과 복사열의 변화로 인해 연기 제거 전과 연기 제거 후의 실험 결과 차이가 발생할 가능성이 있어 실제 연기를 제거하는 과정에서 불판온도와 복사열의 온도를 측정하였다. 연기를 배기하기 전과 배기하고 난 후의 불판온도는 17℃~50℃ 정도 온도가 낮았으며, 복사열의 온도는 4℃~30℃ 정도 온도가 낮았다. 앞서 조리시점에 따른 생성량 실태조사 결과 숯에 불을 붙인 이후 15분 이후에는 다환방향족탄화수소의 생성량이 조리시험에 따라 크게 차이가 나지 않는 점을 미뤄보건데 배기로 인해 발생하는 온도의 변화는 연기 제거로 인한 다환방향족탄화소 생성량에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단하였다(그림33).

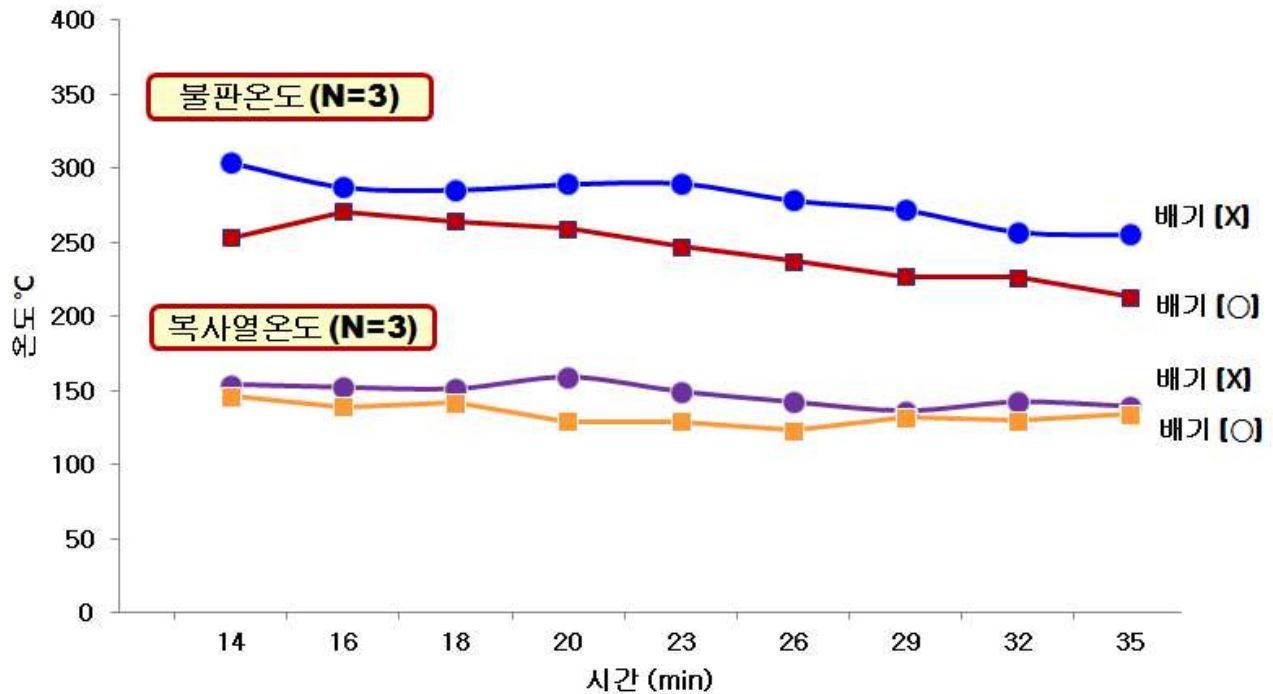


그림33. 연기 배기에 의한 불판 및 복사열 온도변화

구이 조리 중 발생하는 연기 제거 유무에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량 실태조사 한 결과, 돼지고기의 경우 목살은 연기 제거전 4PAHs 5.60 μ g/kg, BaP 1.21 μ g/kg이었으며, 연기 제거 후에는 4PAHs 3.31 μ g/kg, BaP 10.30 μ g/kg 이었다. 또한 삼겹살은 연기 제거 전 4PAHs 21.77 μ g/kg, BaP 5.76 μ g/kg이었으며, 연기 제거 후에는 4PAHs 5.69 μ g/kg, BaP 1.48 μ g/kg 이었다(표35).

표35. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기)

구분		생성량 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
		제거 전	제거 후
돼지 목살 (n=6)	4PAHs	5.6 ± 2.51	3.31 ± 1.69
	BaA	1.75 ± 0.62	0.84 ± 0.37
	CHR	0.94 ± 0.64	0.68 ± 0.33
	BbFA	1.71 ± 0.82	0.78 ± 0.79
	BaP	1.21 ± 0.49	10.3 ± 6
돼지 삼겹살 (n=6)	4PAHs	21.77 ± 10.56	5.69 ± 3.93
	BaA	3.09 ± 2.15	1.48 ± 1.21
	CHR	4.15 ± 1.93	1.31 ± 1.31
	BbFA	8.77 ± 4.86	1.42 ± 0.81
	BaP	5.76 ± 3.53	1.48 ± 1.15

소고기의 경우 등심은 연기 제거 전 4PAHs $16.91 \mu\text{g}/\text{kg}$, BaP $3.23 \mu\text{g}/\text{kg}$ 이었으며, 연기 제거 후에는 4PAHs $4.56 \mu\text{g}/\text{kg}$, BaP $1.58 \mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다. 또한 삼겹살은 연기 제거 전 4PAHs $10.98 \mu\text{g}/\text{kg}$, BaP $3.20 \mu\text{g}/\text{kg}$ 이었으며, 기름 제거 후에는 4PAHs $3.30 \mu\text{g}/\text{kg}$, BaP $1.40 \mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다 (표36).

표36. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기)

구분		생성량 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
		제거 전	제거 후
소 등심 (n=6)	4PAHs	16.91 \pm 5.62	4.56 \pm 1.76
	BaA	3.62 \pm 1.94	1.17 \pm 0.33
	CHR	3.8 \pm 1.22	0.2 \pm 0.48
	BbFA	6.25 \pm 2.09	1.6 \pm 0.44
	BaP	3.23 \pm 1.85	1.58 \pm 0.59
소 갈비살 (n=6)	4PAHs	10.98 \pm 3.69	3.2 \pm 1.49
	BaA	3.21 \pm 0.96	0.64 \pm 0.21
	CHR	2.27 \pm 0.88	0.32 \pm 0.6
	BbFA	2.19 \pm 1.08	0.84 \pm 0.35
	BaP	3.3 \pm 1.13	1.40 \pm .65

마. 열원의 종류에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

구이 시 열원의 종류에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량 실태조사를 위해 숯불조리 소비습취 실태조사에서 나타난 우리나라 국민이 가장 많이 이용하는 조리방법인 가스불과 저기열판을 이용하여 조리하였다. 돼지고기 목살과 삼겹살, 소고기 등심과 갈비살을 이용하였으며 3반복 실험 하였다. 구이조건은 우리나라 국민이 구이 시 가장 선호하는 노릇노릇한 정도(품온 80℃)로 구웠으며 구이시간은 열원의 차이로 인해 일정하게 유지하기 힘들어 최종 구워진 정도로만 판단하였다(표37).

표37. 열원 종류에 따른 실험조건

	실험종류	돼지고기		소고기		비 고
		목살	삼겹살	등심	갈비살	
조리방법	숯불	○	○	○	○	12 건 * 3 반복
	가스불	○	○	○	○	
	전기 열판	○	○	○	○	

구이 시 열원의 종류에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량 실태조사 결과 전기불판구이와 가스불판구이에서는 다환방향족탄화수소 4종과 벤조피렌 모두 불검출 수준으로 생성되었다(표38).

표38. 열원 종류에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

대상	성분	생성량 [μg/kg]		
		숯불구이	전기불판구이	가스불구이
돼지고기	목살	4.67	N.D.	N.D.
	삼겹살	18.88	N.D.	N.D.
소고기	등심	16.91	N.D.	0.58
	갈비살	10.98	N.D.	N.D.

제4장 연구개발과제의 연구결과 고찰 및 결론

제1절 연구결과 고찰

1. 숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 실태조사

가. 고기 종류별 다환방향족탄화수소 생성량

숯불구이 시 대상 고기 및 부위에 따른 다환방향족탄화수소 생성량을 비교하였다. 조리방법은 우리나라 국민이 가장 선호하는 방법인 숯불 점화 후 15분 후에 조리, 구이정도는 노릇노릇한 정도(품온 80℃, 12분)로 하였다. 4PAHs의 경우 돼지삼겹살이 21.77 µg/kg으로 가장 많이 생성되었으며, 돼지목살이 5.6 µg/kg으로 가장 낮은 수준으로 생성되었다. 또한 BaP의 경우에도 삼겹살이 5.76 µg/kg으로 가장 높게 생성되었으며, 돼지목살이 1.21 µg/kg으로 가장 낮게 생성되었다(그림34). 이는 지방함량이 돼지삼겹살이 58.1%로 가장 높으며 목살이 14.3%로 가장 낮다. 따라서 지방함량이 높은 부위에서 다환방향족탄화수소가 가장 높게 생성됨을 알 수 있다.

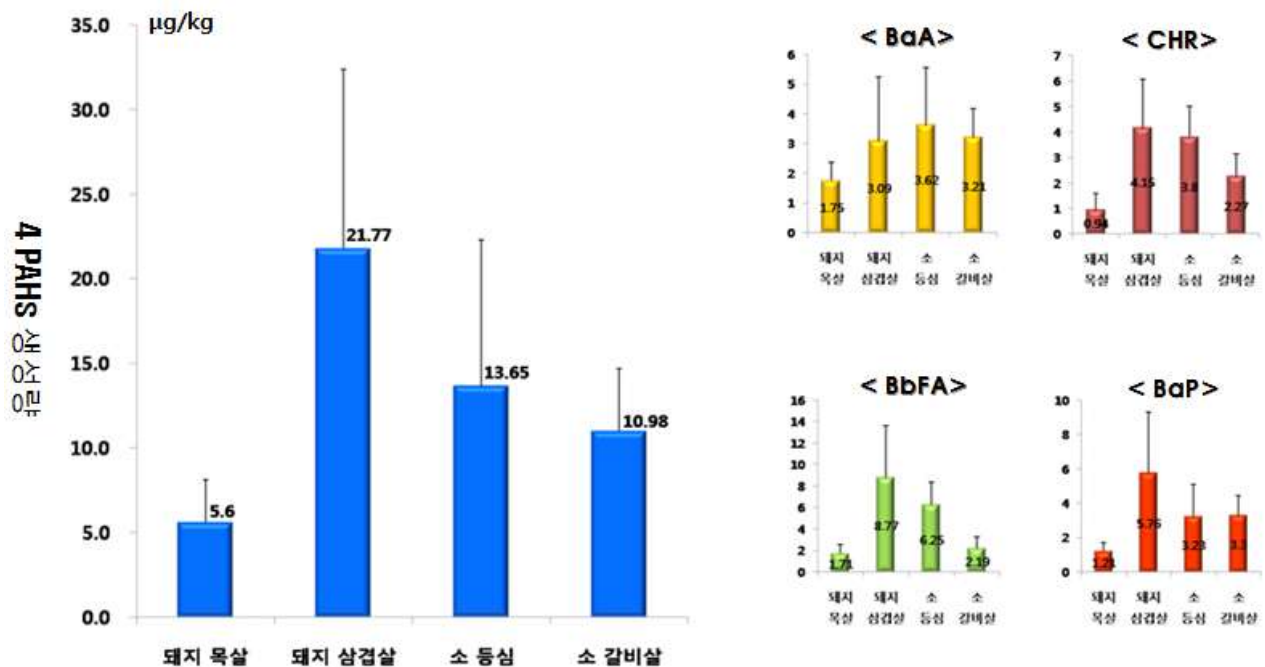


그림34. 고기종류별 다환방향족탄화수소 생성량

나. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

구이시점에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하였다. 돼지목살, 소갈비살에서 1분에서 구운 것 보다 15분에서 구울 시 33% ~ 46% PAHs 생성량이 줄어들었다. 돼지삼겹살과 소등심에서도 48% ~ 66% 수준으로 줄어들었으나 유의적 차이가 없었다(그림35~38). 돼지목살의 경우 지방함량이 작아 구이시점에 크게 영향을 받는 것으로 판단되며, 삼겹살과 등심과 같이 지방함량이 높은 고기의 경우 지방에 의한 생성량의 편차가 커 유의적인 차이를 보이지 않았다. 숯불구이 조리 섭취 실태조사에서 국민들은 숯불 점화 후 5~10분 내외에 고기를 굽기 시작하는 것을 선호하였으며(46%), 따라서 숯불이 충분히 발화되고 난 후 고기를 굽는 것이 다환방향족탄화수소에 노출되는 것을 줄일수 있는 방법으로 판단되었다.

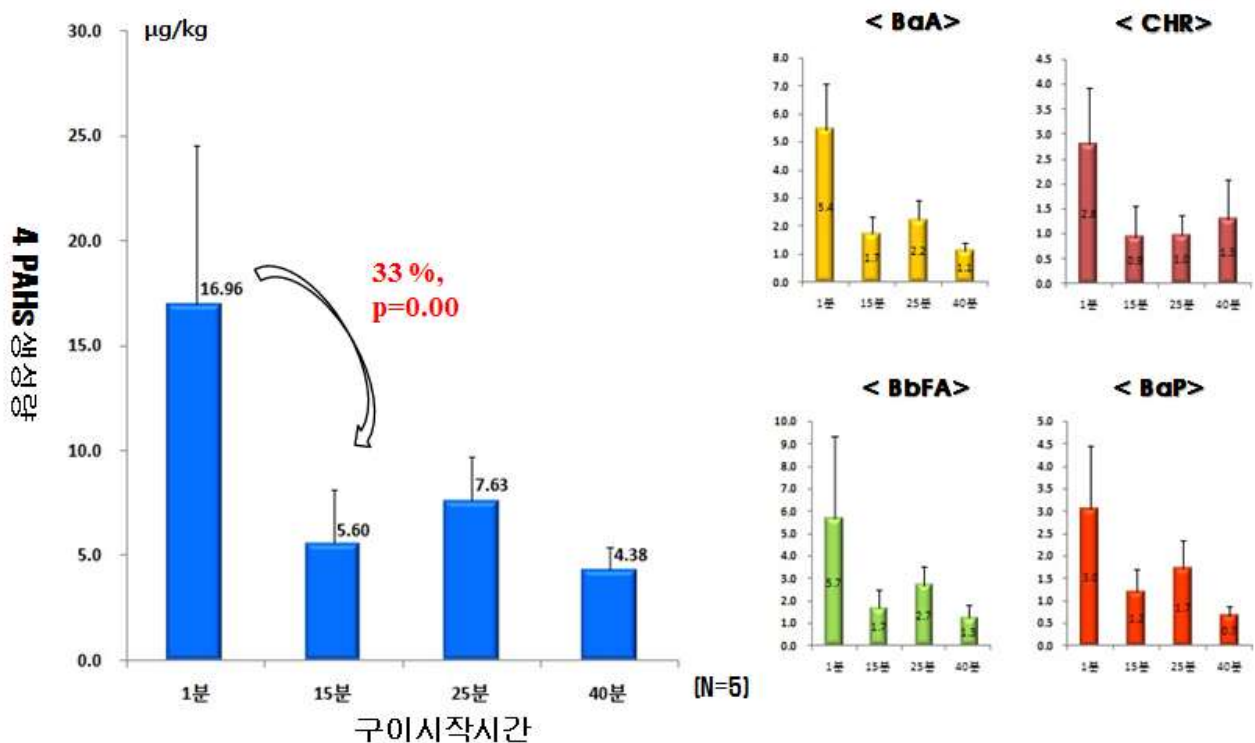


그림35. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기 목살)

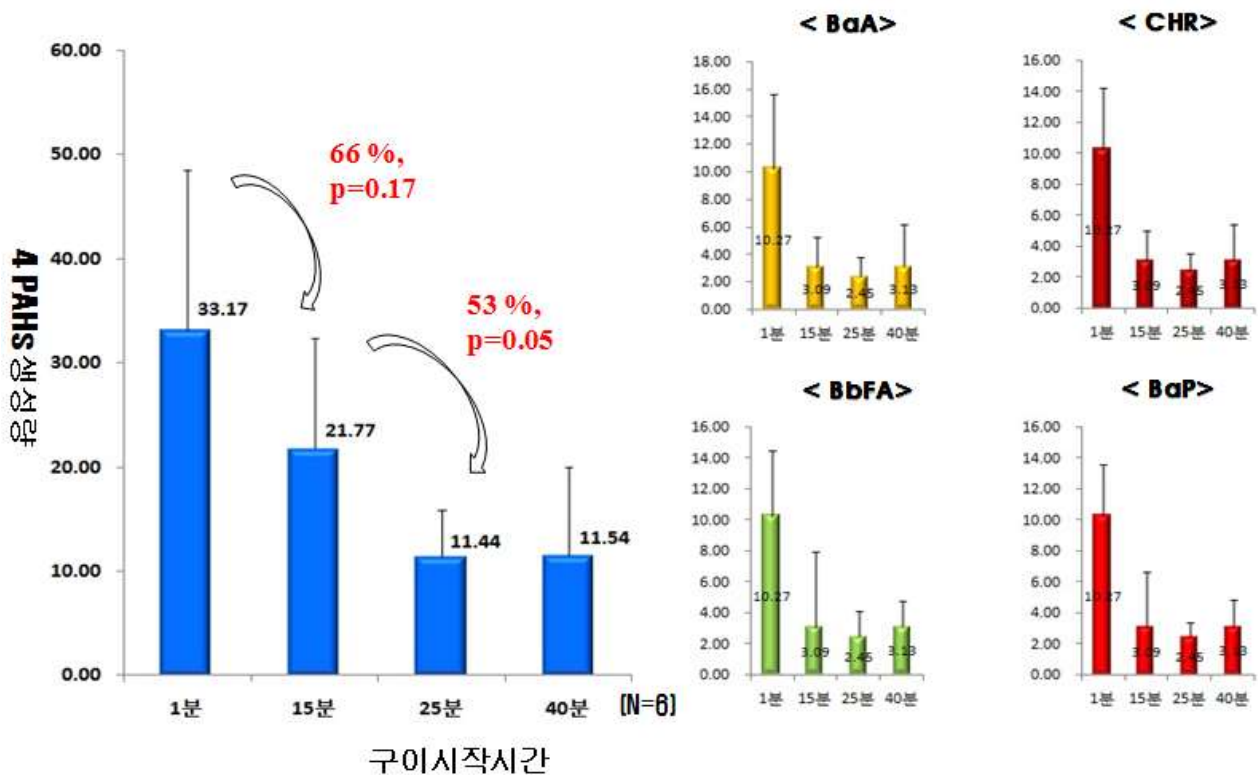


그림36. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 비교(돼지고기 삼겹살)

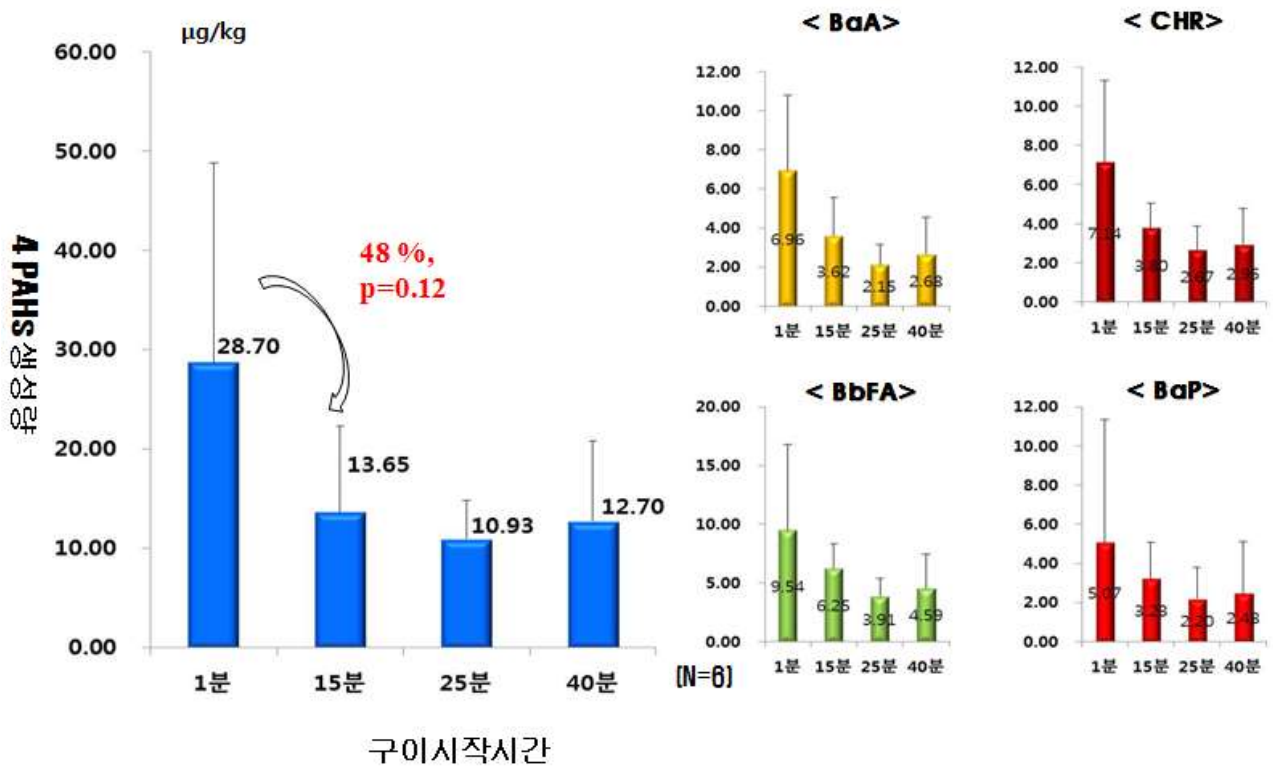


그림37. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 비교(소고기 등심)

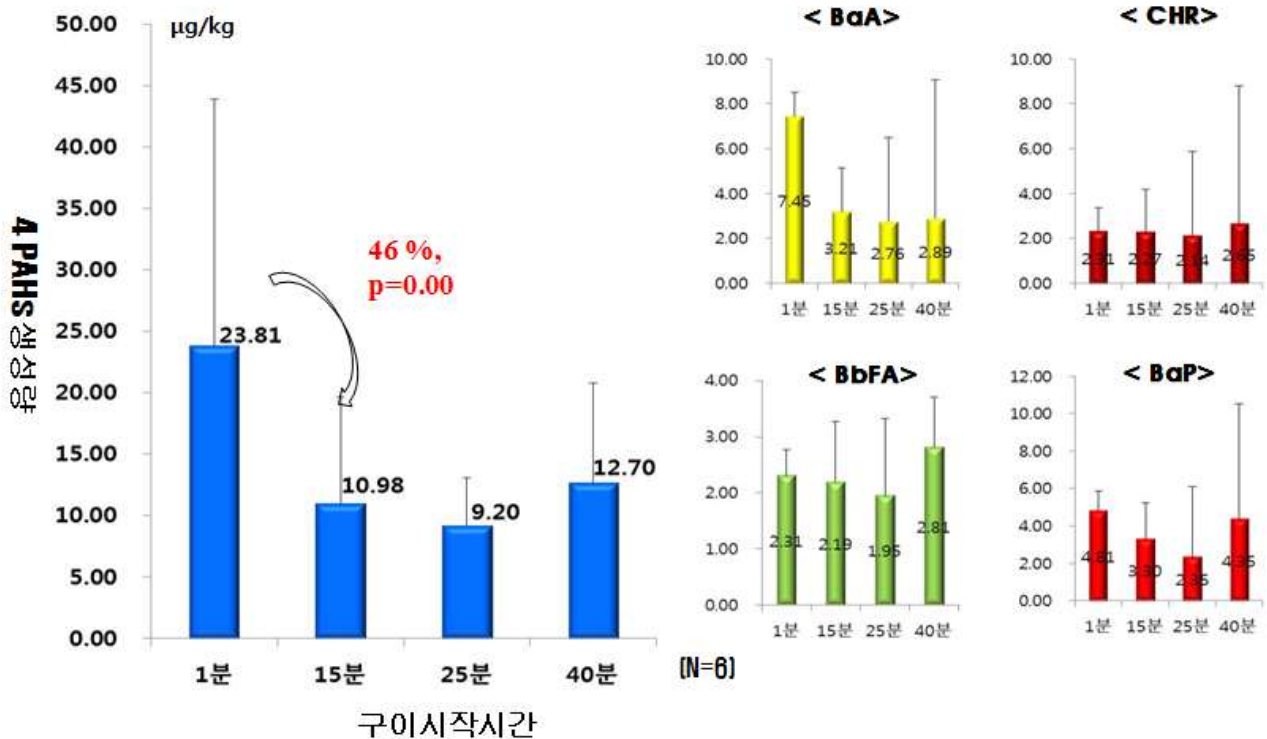


그림38. 구이시점에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 비교(소고기 갈비살)

다. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

구이시간에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하였다. 돼지목살 소등심에서 구이 시간이 길어질수록 1.8배~3배 다환방향족탄화수소의 생성량이 증가하였으며, 돼지삼겹살, 소갈비에서는 일부 구이시간이 길수록 생성량 증가하였으나 대부분의 경우 유의적 차이가 없었다(그림39~42). 구이시점과 유사하게 돼지목살의 경우 지방함량이 작아 구이시간에 크게 영향을 받는 것으로 판단되며, 돼지삼겹살과 소갈비살 같이 지방함량이 높은 고기의 경우 지방에 의한 생성량의 편차가 커 유의적인 차이를 보이지 않은 것으로 생각된다. 구이 시간이 길어질수록 다환방향족탄화수소가 증가하는 것은 조리 중 탄 부분이 생기기 때문이라고 판단된다.

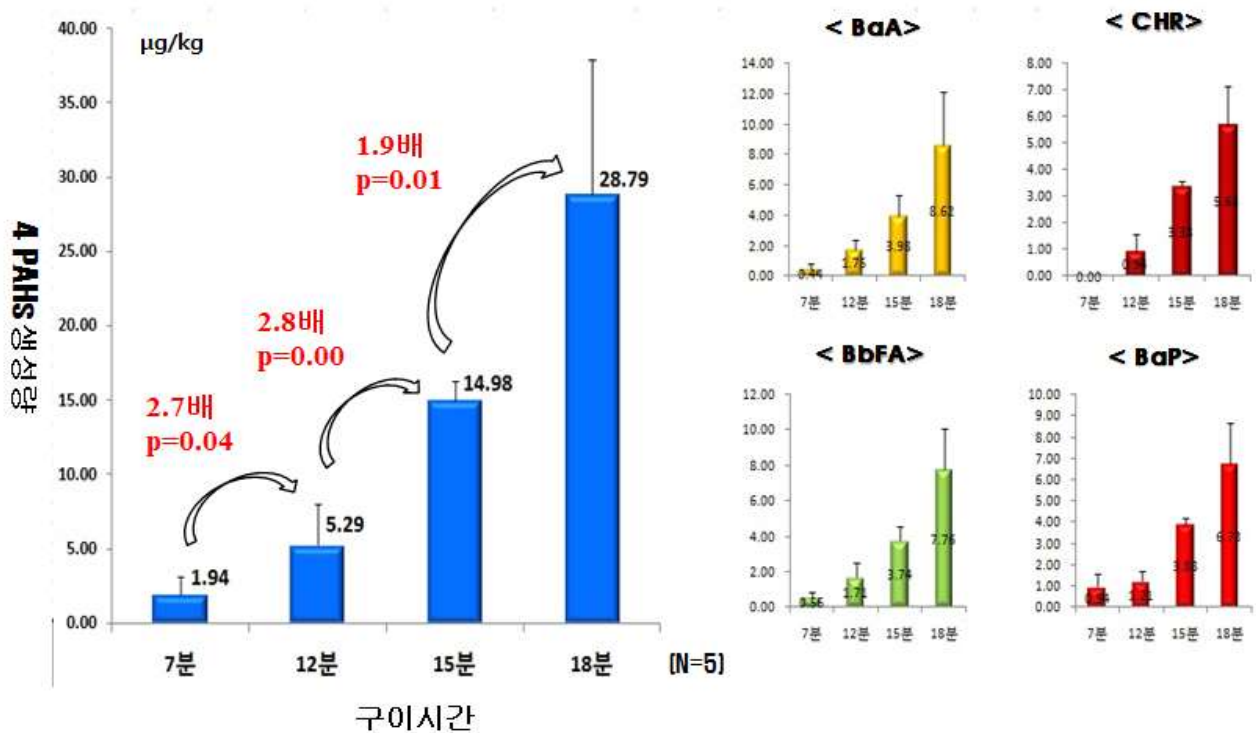


그림39. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기 목살)

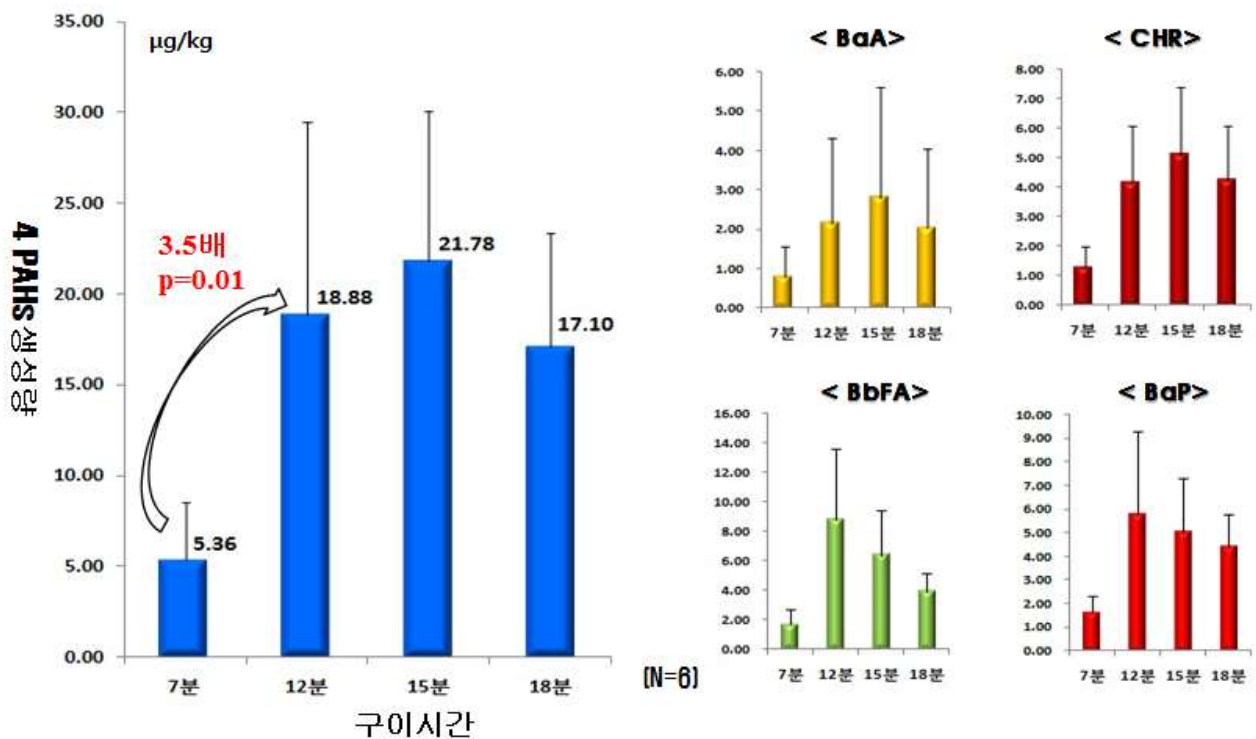


그림40. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기 삼겹살)

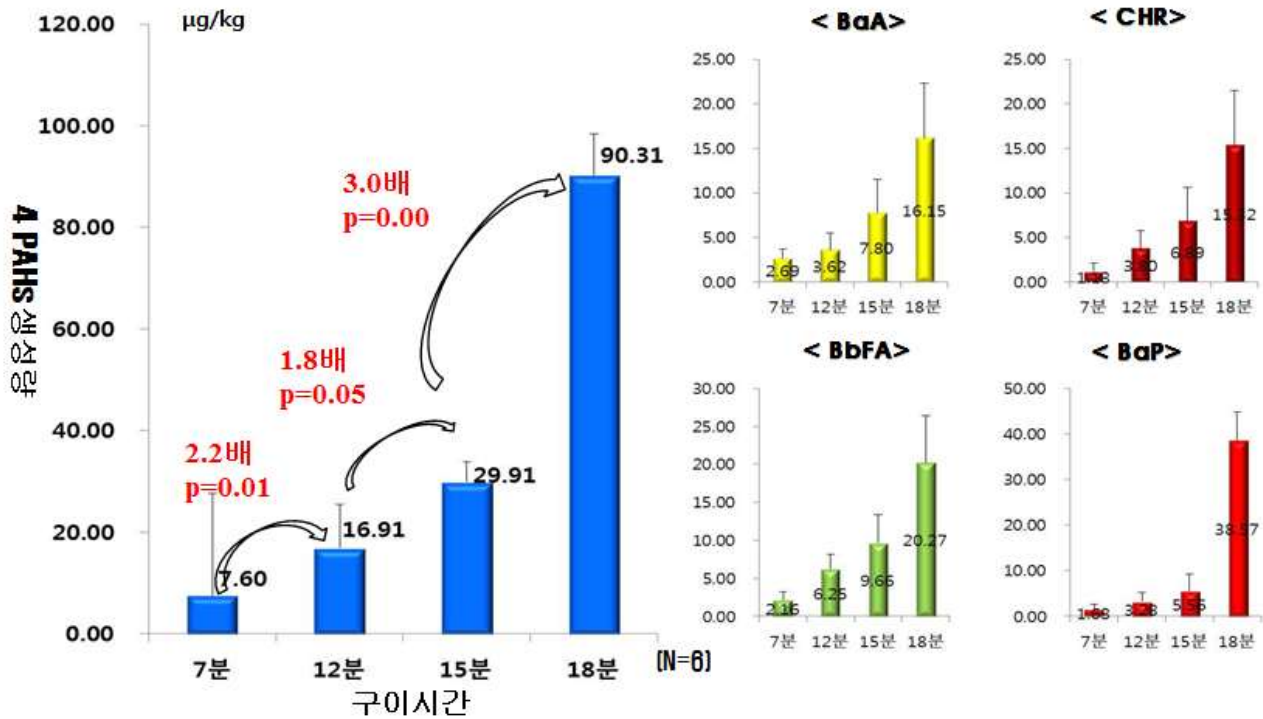


그림41. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기 등심)

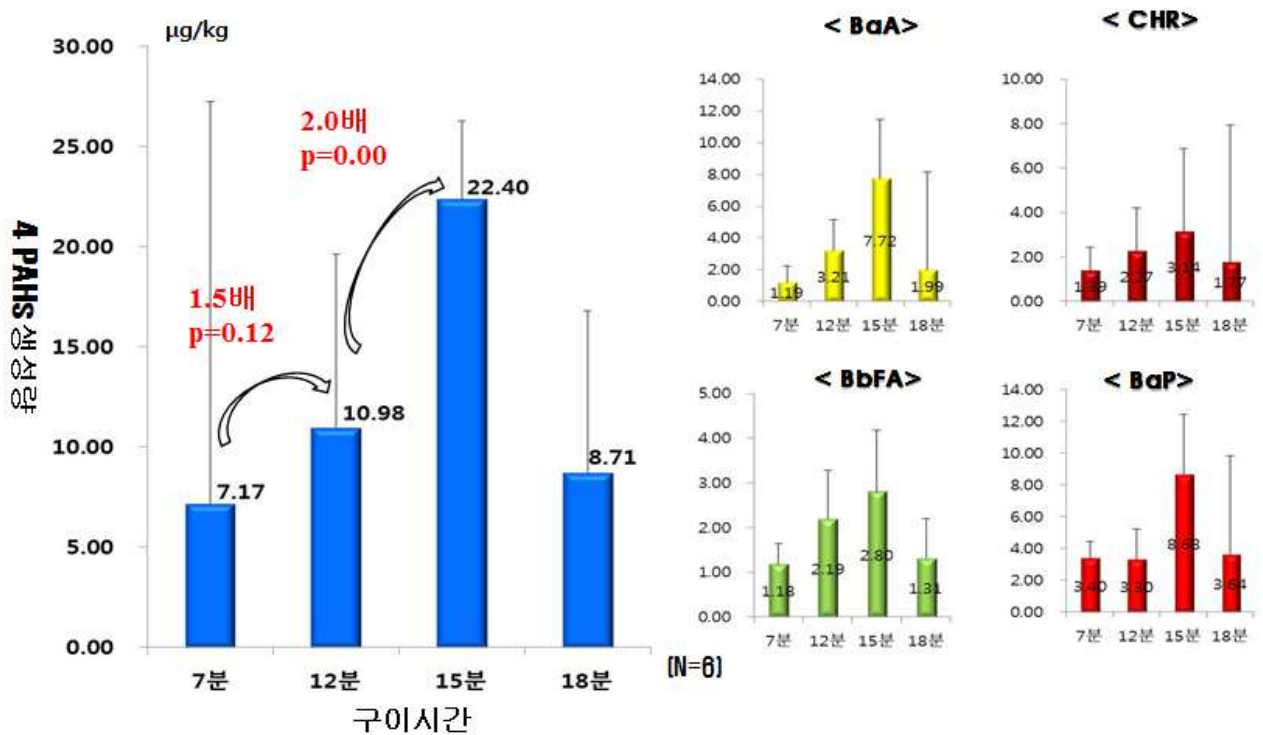


그림42. 구이시간에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기 갈비살)

라. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

숯불에 떨어지는 기름 제거 유무에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하였다. 숯불에 떨어지는 기름을 제거함으로써 돼지목살, 돼지삼겹살, 소등심, 소갈비살 각각 48%, 89%, 85%, 84% PAHs 생성량이 줄어들었으며, 고기 종류와 상관없이 모든 부위에서 다환방향족탄화수소가 저감화 되었다(그림43~46). 이는 숯불에 떨어지는 지방의 불완전 연소를 막음으로써 다환방향족탄화수소 생성을 줄이는 것으로 판단된다.

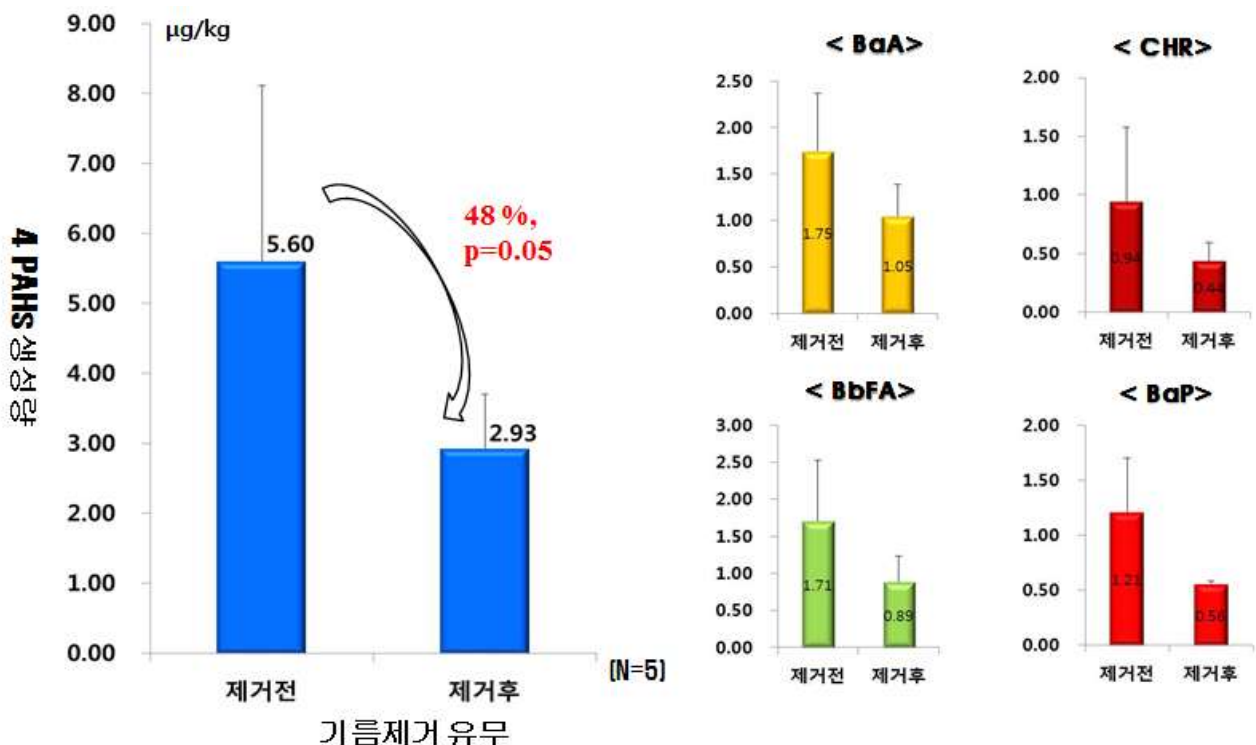


그림43. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기 목살)

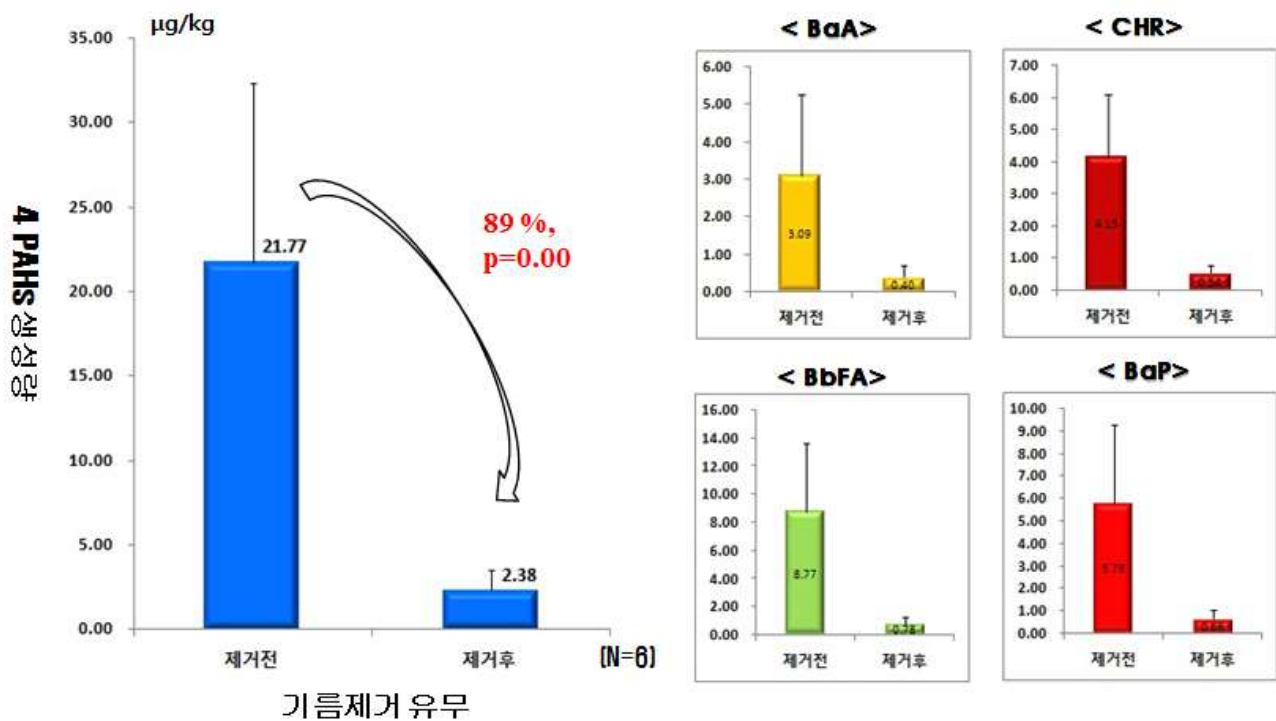


그림44. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기 삼겹살)

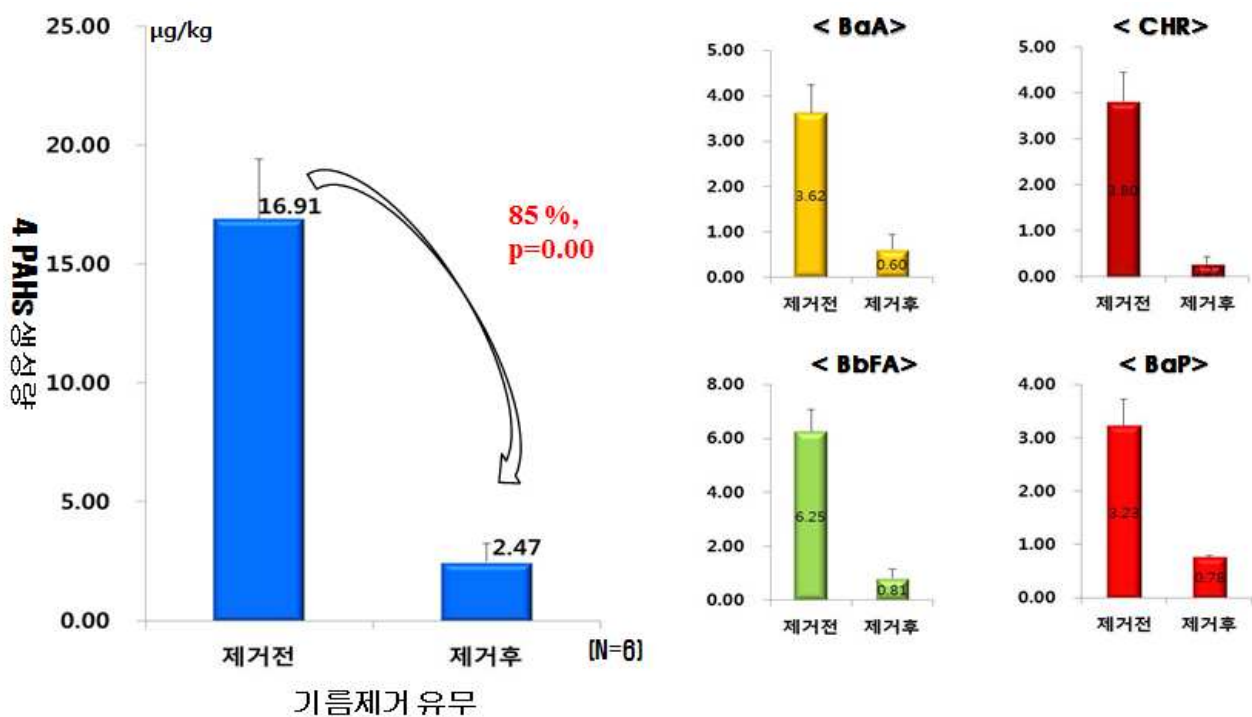


그림45. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기 등심)

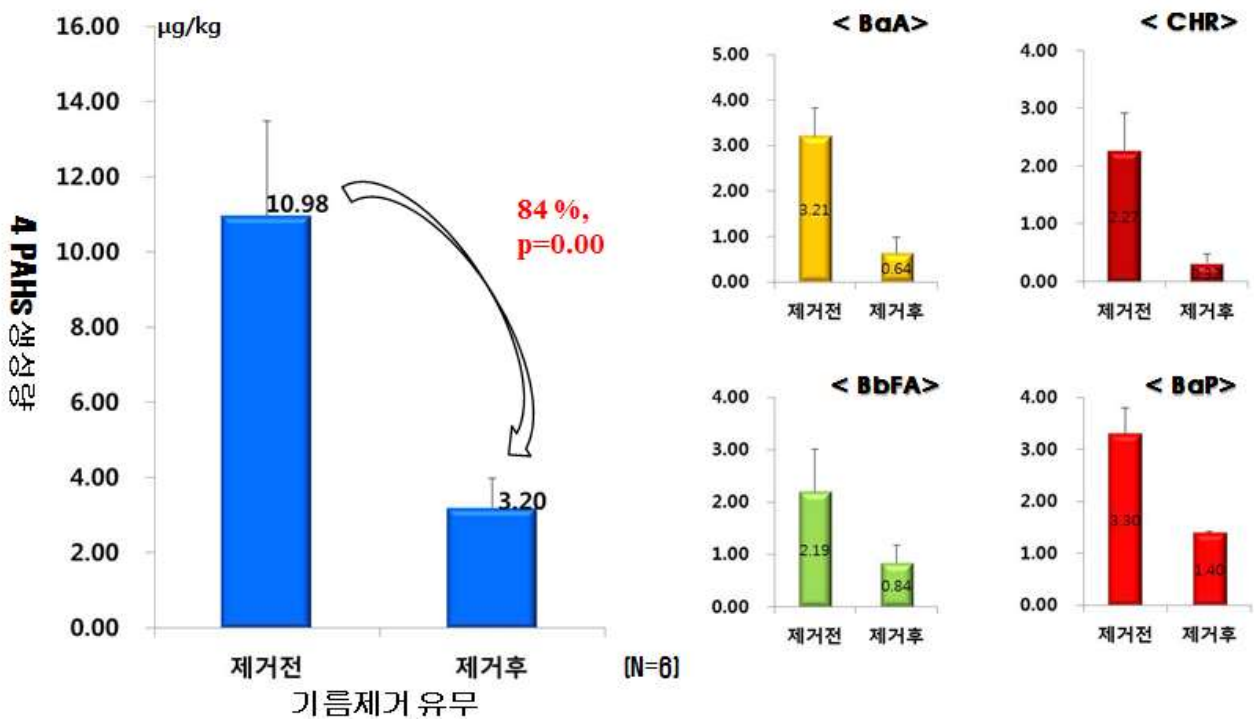


그림46. 구이 중 떨어지는 기름 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기 갈비)

마. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량

숯에서 발생하는 연기 제거 유무에 따른 다환방향족탄화수소의 생성량을 비교하였다. 숯에서 발생하는 연기를 제거함으로써 돼지목살, 돼지삼겹살, 소등심, 소갈비살 각각 48%, 63%, 69%, 71% PAHs 생성량이 줄어들었으며, 고기 종류와 상관없이 모든 부위에서 다환방향족탄화수소가 저감화 되었다(그림47~50). 이는 숯불에 떨어지는 지방의 불완전 연소로 다환방향족탄화수소가 발생하여 연기 중 미세먼지에 흡착하여 식품으로 이행되는 것을 차단하기 때문으로 판단된다.

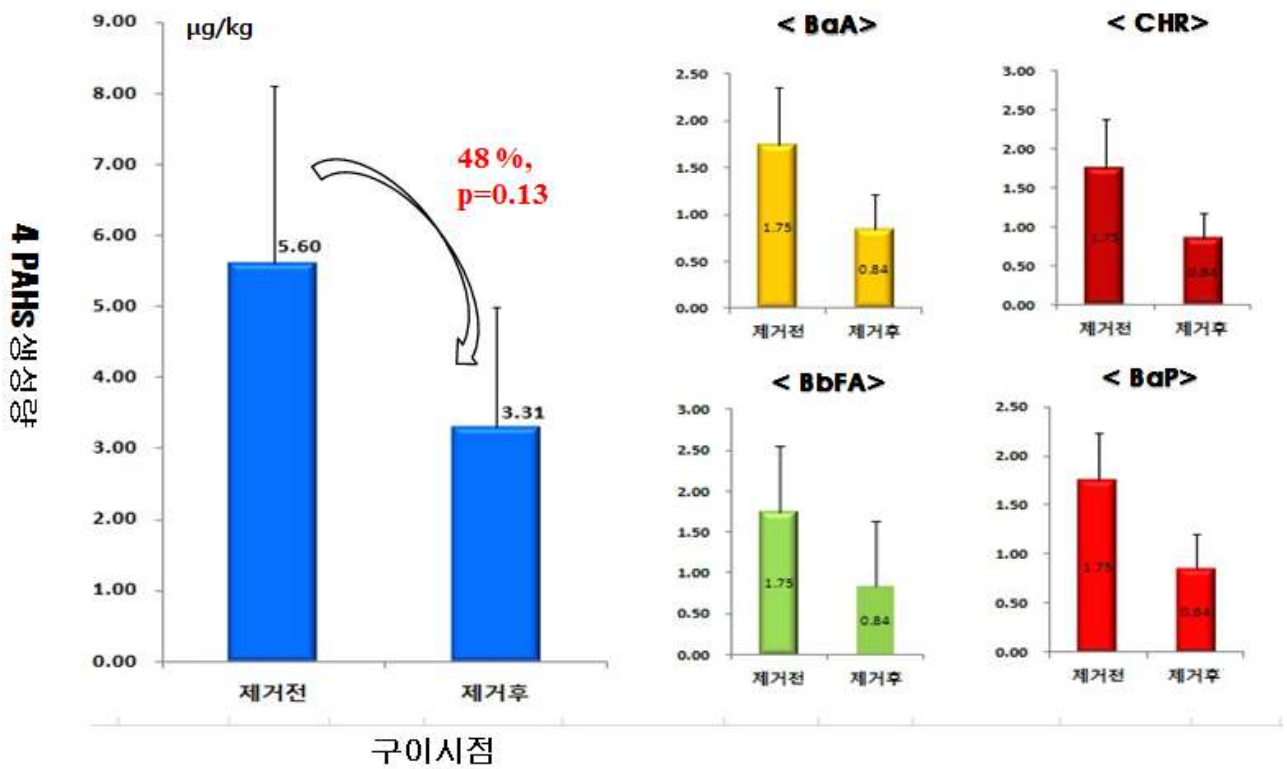


그림47. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기 목살)

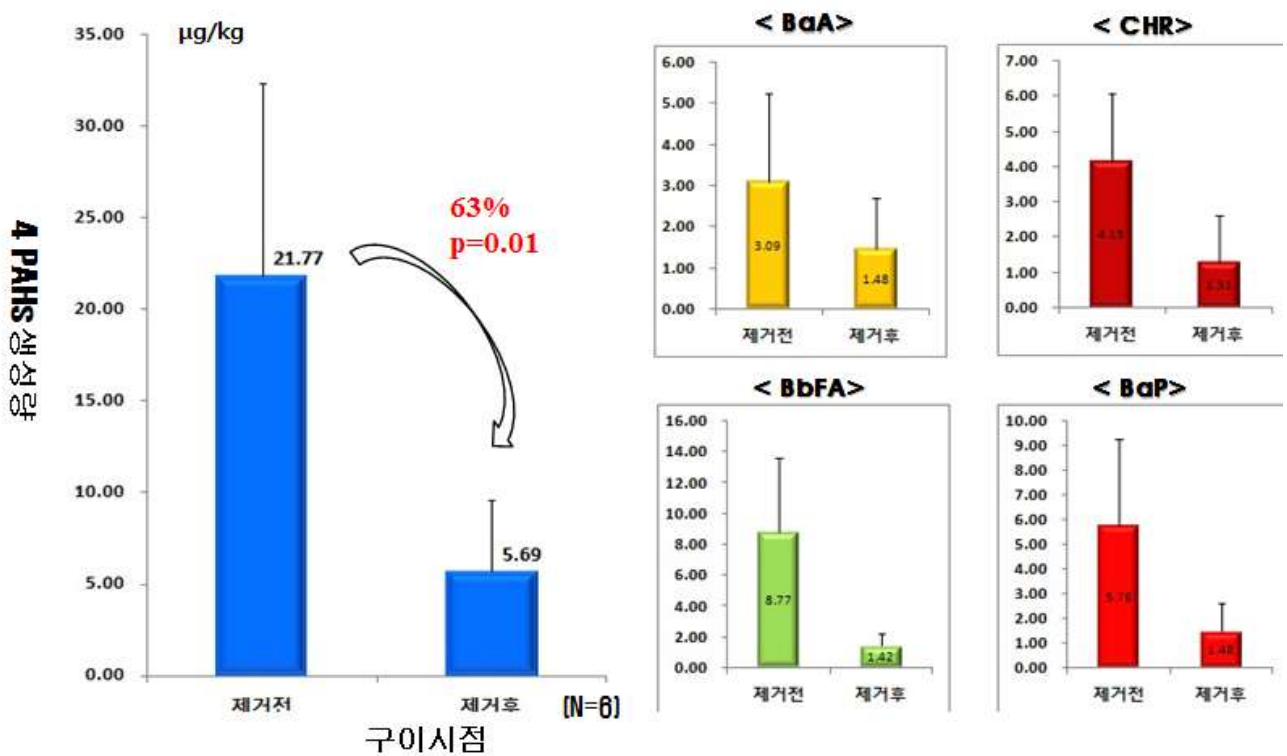


그림48. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(돼지고기 삼겹살)

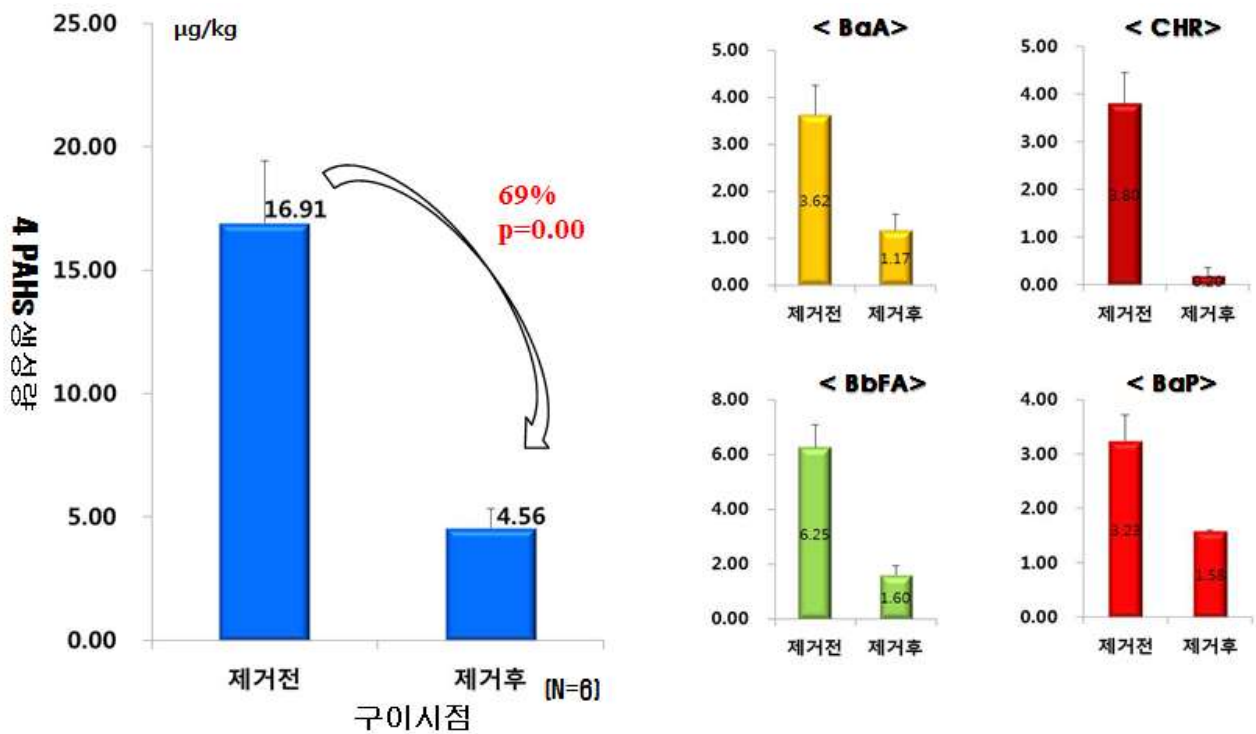


그림49. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기 등심)

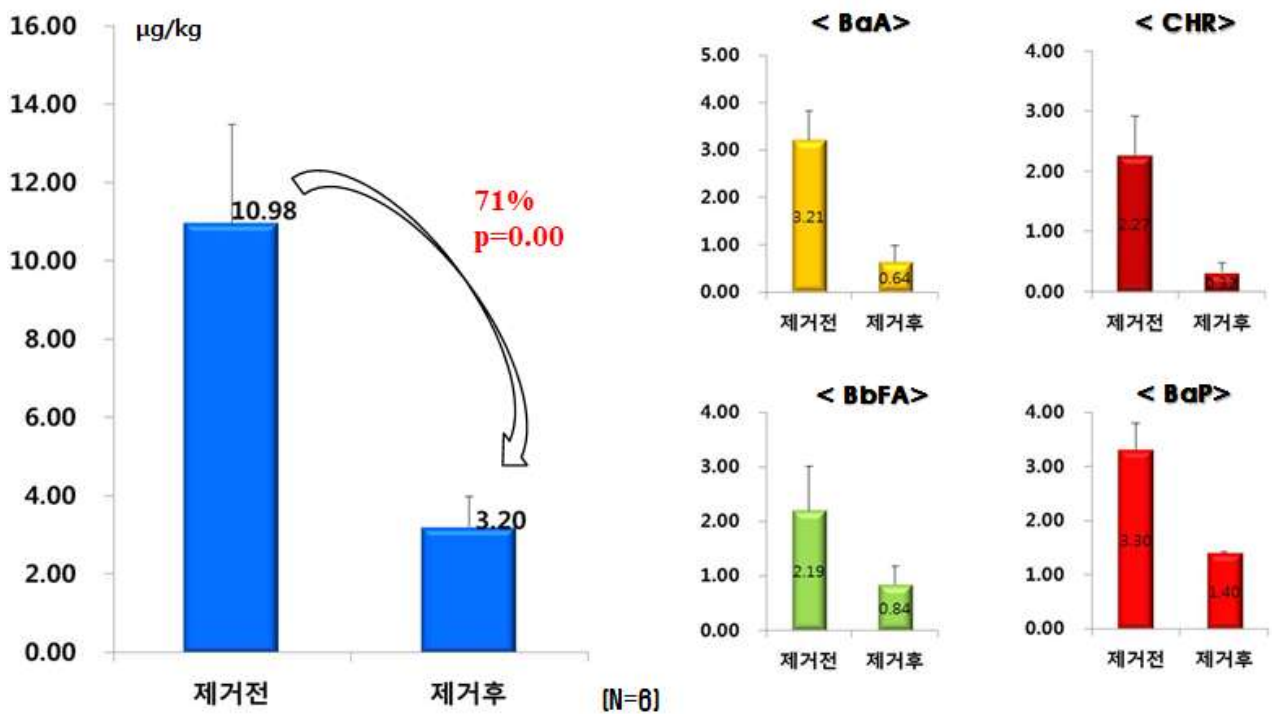


그림50. 구이 중 발생하는 연기 제거에 따른 다환방향족탄화수소 생성량(소고기 갈비)

3. 숯불조리 중 다환방향족탄화수소 저감화 방안 연구

식품을 통한 다환방향족탄화수소의 노출에 주요한 요인인 숯불구이 식품 중 다환방향족탄화수소를 저감화 하기위해 숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소의 생성 실태조사를 하였다. 조리시점, 시간, 연기 및 떨어지는 기름의 제거 등을 통해 다환방향족탄화수소의 생성 또는 식품으로의 이행을 막음으로써 식육 부위에 따라 차이가 있음에도 불구하고 다환방향족탄화수소를 저감화 할 수 있었다. 특히 조리 중 발생하는 기름이 숯불에 직접 떨어져 불완전 연소되는 것을 막음으로써 다환방향족탄화수소의 생성을 상당히 높은 수준으로 저감시킬 수 있었다. 따라서 이런 저감을 위해 향후 숯불구이 중 탄화를 막을 수 있는 불판 이나 소재의 개발이 필요할 것으로 생각되며, 현재 많은 식당에서 운영중인 배기시설은 숯불에서 발생한 연기가 고기를 지나쳐 빠져나가는 관계로 향후 숯불과 고기사이에서 사전에 연기를 배기시킬 수 있는 후드장치 개발이 필요한 것으로 나타났다. 특히 숯불조리 중 발생하는 기름이 숯불에 직접 떨어지지 않도록 화덕의 가운데를 비우는 등의 숯불화덕에 대한 기술적용도 필요한 것으로 나타났다.

제5장 총괄연구개발과제의 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 목표달성도

예 상 목 표	수 행 내 용	달성 결과
① 숯불구이 식품 중 4PAHs 문헌조사 및 공정연구	○ 국내외 4PAHs 분석법 검토 - 전처리 조건 및 기기분석 검토 ○ 숯불구이 중 4PAHs 실태조사 현황 - 돼지고기, 소고기 등	100% 달성
② 숯불구이 식품 중 4PAHs 분석법 확립	○ 대상 숯불구이 식품 전처리 조건 검토 - 돼지고기, 소고기 중 PAHs 분석법 검토 - 직선성, 검출한계, 정량한계, 정확도, 회수율, 측정불확도 등 유효성 검증	100% 달성
③ 숯불구이 조리섭취 실태조사	○ 숯불구이 조리섭취 실태조사 - 구이 조리식품 섭취 경험 및 조리방법 조사 - 숯불구이 조리 및 섭취 방법 실태조사	100% 달성
④ 숯불조리 방법에 따른 4PAHs 생성 실태조사	○ 조리 중 생성 실태조사 - 조리시점, 조리시간 중 생성량 실태조사 - 조리 중 발생하는 연기 및 기름제거에 의한 PAHs 생성량 조사	100% 달성

제2절 관련분야에의 기여도

관련 분야	연구결과	기여도
정책활용	오염실태조사 자료 DB화 저감화 관리를 위한 기초자료 확보	100%
교육 및 홍보	국내 학술대회 포스터 발표 산업계 등 관련기관에 정보 제공 대국민 올바른 식습관 보도자료 배포	100%

제6장 연구개발과제의 연구개발 결과 활용계획

제1절 활용성과

과제명	숯불조리 방법에 따른 다환방향족탄화수소 생성량 실태조사
과제책임자	윤혜정 / 오염물질과 / 화학

제2절 활용계획

가. 정책활용

1. 식품안전정책 기초자료로 활용 - 숯불조리 식품 중 PAHs 저감화 정책 활용 - 소비자 맞춤형 정책 수립 기초자료 확보 2. 교육 및 기술지원 - 산업계에 관련 기술 교육 및 정보 제공 - 국내외 학술대회 발표

나. 언론홍보 및 대국민교육

유해물질 저감화를 위한 안전한 식생활 홍보자료 배포

다. 연구논문

번호	논문제목	저자명	저널명	게재연월	권(호)	페이지	국내/국외*	SCI여부**
1								
2								

* 국내발간학술지인 경우 ‘국내’, 국외발간학술지인 경우 ‘국외’로 표기

** SCI, SCIE, 비SCI로 구분하여 표기

라. 학술발표

번호	발표제목	발표형태	발표자	학회명	국내/국제
1	Method Validation for Determination of Polycyclic aromatic hydrocarbons in food by GC-MS	포스터	윤혜정 등	국제질량분석학회	국제
2	Method Validation for Determination of Polycyclic aromatic hydrocarbons in food by GC-MS	포스터	윤혜정 등	한국영양과학회	국내
3	Food Chemical Contaminants and Risk Assessment	포스터	윤혜정 등	한국독성학회	국내

제7장 참고문헌

1. 식품의약품안전처, 다환방향족탄화수소, 유해물질총서, 2010
2. 식품의약품안전처, 가공식품 중 PAHs 모니터링 및 위해평가, 식품의약품안전청 연구보고서, 2008
3. EUROPEAN COMMISSION, Regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs. Commission Regulation No 835, (2011)
4. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Some Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures, 92, (2010)
5. Agency for toxic Substances and Disease Registry, Toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (2009)
6. Levin, W.; Wood, A. W.; Yagi, H.; Dansette, P. M.; Jerina, D. M.; Conney, A. H. "Metabolism of benzo[a]pyrene: conversion of (+/-)-trans-7,8-dihydroxy-7,8-dihydrobenzo[a]pyrene to highly mutagenic 7,8-diol-9,10-epoxides" *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **1976**, 7, 243.
7. Jay, H. I.; Wilam, J. B.; Franco, R.; Robert, F.; Charles, R. G.; Michael, K.; Dietrich, S.; Giuseppe, V., "Patterns of lung cancer risk according to type of cigarette smoke". *Int. J. Cancer*, **1984**, 33, 569.
8. Mahmooda, S. K.; Marshall, W. A.; "Persistence of benzo(a)pyrene metabolite:DNA adducts in lung and liver of mice" *Cancer Res.*, **1984**, 44, 97.
9. Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR), *Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs)*, U. S. Department of health

and human services, public health service, 1995.

10. Thaker, D.; Yagi, H.; Nordqvist, M.; Lehr, R.; Levin, W.; Wood, A.; Chang, R.; Conney, A., *Polycyclic aromatic hydrocarbons and carcinogenesis*, New York Academic Press, 1982.
11. Amin, S.; Hussain, N.; Balanikas, G., “Mutagenicity and tumor initiating activity of methylated benzo[k]fluoranthenes” *Cancer Lett.*, 1985, 26, 343.
12. Guilen, M. D.; Sopelana, P.; Partearroyo, M. A., “Food as a source of polycyclic aromatic carcinogens” *Reviews on environmental health*, 1997, 12(3), 133.
13. Klaassen, C. D., *Casarett and Doull's Toxicology*, The Basic Science of Poisons 6th Edition. New York: McGraw Hill Medical publishing Division, 2001
14. Gelboin, H. V., “Benzo[alpha]pyrene metabolism, activation and carcinogenesis: role and regulation of mixed-function oxidases and related enzymes” *Physicol review*, 1980, 60, 1107.
15. Yang, S. K.; McCourt, D. W.; Lentz, J. C.; Gelboin, H. V., “Benzo[a]pyrene diol epoxides: mechanism of enzymatic formation and optically active intermediates” *Science*, 1977, 196, 1199.
16. 신한승. 분유류 및 조제유류 중 다환방향족탄화수소(PAHs) 실태조사 및 안전성 평가 연구. 식품의약품안전처. (2010)
17. 신한승. 식품 중 벤조피렌 시험법 개선 및 실태조사. 식품의약품안전평가원 연구 보고서. (2010)
18. 신한승. 식품 중 다환방향족탄화수소(PAHs) 실태조사. 동국대학교 (2012)

19. 정소영, 박주성, 손여준, 최수정, 이운정, 김미선, 박소현, 이상미, 채영주. C-tandem mass spectrometry를 이용한 분쇄원두커피 중 PAHs(polycyclic aromatic hydrocarbons) 분석법 연구 및 인체노출량 평가. Korean J. Food Sci. Technol. Vol. 43, No. 5, pp. 544-552 (2011)
20. Food Standards Australia New Zealand : Survey of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Australian Foods, 2004
21. EFSA 2008 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *The EFSA Journal*, **724**, 1-114, 2008
22. 이효민 외 11인. 식품중 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons의 위해성평가. 한국식품위생안전성학회. 19(1): 1-8(2004)
23. Food Standards Agency : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Cereals, Cereal Products, Vegetables, Vegetable Products and Traditionally Smoked Foods, 2012
24. European Food Safety Authority, A Report from the Unit of Data Collection and Exposure on a Request from the European commission, 2008
25. Speer K., Steeg E., Horstmann P., Kuhn Th., and Montag A., Determination and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Native Vegetable oils, Smoked Fish Products, Mussels and Oysters, and Bream from the River Elbe, *Journal of High Resolution Chromatography*, 13, 104-111 (1990)
26. Food Standards Australia New Zealand, Survey of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAH) in Australian Foods_Dietary Exposure Assessment and

Risk Characterisation, 2004

27. Michael T., Stephen L.R.E., Roger W., harmonized Guidelines for Single-laboratory Validation of Methods of Analysis (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, 74: 835-855 (2002)
28. Eurachem Working Group, The Fitness for purpose of analytical methods, a laboratory guide to method validation and related topics, Eurachem guide (1998)
29. Canas B.J., Joe FL Jr., Diachenko G.W., Burns G., Determination of ethyl carbamate in alcoholic beverages and soy sauce by gas chromatography with mass selective detection: Collaborative study, *Journal of AOAC International*, 77 (6), 1530-1536 (1994)
30. Food and Drug Administration, Guidelines for the validation of chemical Methods for the FDA Foods Program (2012)
31. Choi J.O., Hwang E.J., So H.Y., Kim B.J., An Uncertainty Evaluation for Multiple Measurements by GUM. *Accred.Qual.Assu.*, 8, 13-15 (2003)
32. Choi J.O., Kim D.H., Hwang E.J., So H.Y., An Uncertainty Evaluation for Multiple Measurements by GUM, II. *Accred.Qual.Assu.*, 8, 205-207 (2003)
33. Park J.S., Nam G.H., Choi J.O., Parameters in Cause and Effect Diagram for Uncertainty Evaluation. *Accred.Qual.Assu.*, 16, 325-326 (2011)
34. 농촌진흥청, 농식품종합정보시스템, 우리아이 영양길잡이 식품성분표
http://koreanfood.rda.go.kr/fct/frameCustView01.aspx?url_path=Easy/Kaa01.aspx?sikpumgun=육류

주 의

1. 이 보고서는 식품의약품안전처에서 시행한 자체연구개발과제의 최종 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 식품의약품안전처에서 시행한 자체연구개발과제의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니 됩니다.
4. 이 보고서 내용을 신문, 방송, 참고문헌, 세미나 등에 인용 시에는 해당 주관부서 또는 연구책임자와 사전에 상의하여 주시기 바랍니다.