

가쓰오부시 훈연기 개선 및 벤조피렌 저감화

홍주희 · 황상민 · 이승주*
동국대학교 식품생명공학과

Improvement of *Katsuobushi* smoking machine for the reduction of benzo(a)pyrene

Ju Hee Hong, Sang Min Hwang, and Seung Ju Lee*

Department of Food Science and Biotechnology, Dongguk University

Abstract A *Katsuobushi* smoking machine was developed and evaluated to determine its benzo(a)pyrene reducing effect. The machine was equipped with two heaters for smoking and chamber heating. The smoke-generating system was equipped with a cadmium sulfide (CdS) smoke sensor, an on/off controller, and a rotating feeder with a smoke inlet. Raw bonito was steamed and then smoked under three smoke levels. After smoking at 45°C for 108 h, the benzo(a)pyrene concentrations were 5.87, 7.83, and 11.41 µg/kg at the low, middle, and high smoke levels, respectively. The benzo(a)pyrene concentrations after low-level smoking at 45, 65, and 85°C for 108 h were 5.87, 4.82, and 3.27 µg/kg, respectively. Accordingly, the optimal conditions for benzo(a)pyrene reduction were a lower smoke level and higher smoking temperature. These optimal smoking conditions can be implemented with the newly developed machine, but is not possible using a conventional *Katsuobushi* smoking machine.

Keywords: *Katsuobushi*, smoking machine, benzo(a)pyrene reduction

서 론

훈연은 고기 등의 식품에 연기 성분이 흡수되도록 하는 조리 및 보존 방법으로써 식품의 저장기간을 늘리거나 향미를 향상시켜 소비자의 선호도를 높인다(1). 훈연 시 발생하는 카복실산(carboxylic acids), 페놀(phenols), 폼알데하이드(formaldehyde)의 훈연 성분들이 식품의 저장성을 높여주며 나무의 불완전 연소로 발생하는 물질(알데하이드(aldehyde), 케톤(ketones), 알코올(alcohols), 산(acids), 탄화수소(hydrocarbons), 에스터(esters), 페놀(phenols), 에테르(ethers) 등)들이 훈연제품의 향미성분에 기여한다(2-4). 한편, 훈연은 주로 햄이나 소시지 등의 육 제품이나 어류 가공에 사용하는데 어류의 대표적인 훈연 가공식품이 가쓰오부시이다(5). 가쓰오부시는 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)를 원료로 하여 해동, 자숙, 절단, 훈연, 건조, 발효 등의 가공공정을 거쳐서 생산된다(6). 이는 특유의 감칠맛으로 국내 뿐 만 아니라 전세계적으로 육수제조에 널리 사용되지만 최근에 가쓰오부시에서 기준치 이상의 벤조피렌(benzo(a)pyrene) 검출이 문제가 되고 있다.

벤조피렌은 여러 고리 방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 200개여종의 유도체 화합물 중 특히 발암성이 강한 것으로 알려져 있다(7). 식품에서는 고온 조리에 의한 탄수화물, 지방 및 단백질의 탄화에 의해 생성되며 주로 튀기거나 훈연 과정에서 많이 발생하는 것으로 알려져 있다(8-10). 또한 벤

조피렌은 체내에 유입 시 독성을 나타내어 폐암, 위암, 피부암, 유방암 등 각종 암을 유발하는 것으로 밝혀져 국제암연구소(International Agency for Research On Cancer; IARC)에서는 인체발암물질은 group I으로 분류하여 관리하고 있다(11,12). 가쓰오부시는 제조 특성상 훈연 과정을 반복하기 때문에 벤조피렌이 생성될 수 있어 국내에서도 2010년 식품의약품안전처에서 훈제 건조어육식품에 대한 벤조피렌 함량을 10 µg/kg으로 제한하고 있지만 최근 기준 초과 제품이 유통되는 사례가 적발되었다(13,14). 따라서 벤조피렌의 주요 노출 경로가 가공식품 섭취에 의한 것인 만큼 소비자들이 가쓰오부시를 안전하게 섭취하기 위해서는 근본적으로 벤조피렌을 저감화 시키는 방안이 필요하다. 가쓰오부시에 벤조피렌의 발생은 가공 중 고온에 의한 성분간 반응이 아닌 훈연 과정 중 연기에 존재하는 벤조피렌이 가쓰오부시 표면에 이행되는 것으로 보고되었다(15).

식품 중 벤조피렌을 저감화 시키기 위해 참기름·들기름 등 유지에서 저감화 시키는 연구는 보고되었으나 가쓰오부시에서 벤조피렌을 저감화 시키는 연구는 미미한 실정이다(16,17). 훈연식품에서 벤조피렌 함량은 연소에 사용하는 나무의 종류, 열원과의 거리, 온도, 훈연 연기농도에 따라 달라지게 된다(18). 특히, 연기로부터 발생하는 벤조피렌 함량은 연기농도가 높을수록 더 많은 양이 검출되므로 훈연 과정에서 연기농도를 제어할 필요가 있다. 또한 연기성분의 흡착은 온도가 높을수록 낮아지는 것으로 알려져 훈연기의 경우 온도가 높을수록 바람직하다(19). 하지만 국내에서 사용되는 가쓰오부시 훈연기는 연기발생과 동시에 열에너지 공급을 하는 형태이기 때문에 온도가 올라가면 연기농도도 높아지고 온도가 낮아지면 연기농도도 낮아지게 된다. 즉, 연기를 생성하는 연소실과 훈연이 이뤄지는 훈연실이 독립적이지 않아 훈연실의 온도를 높이면 더 많은 양의 연기가 발생하기 때문에

*Corresponding author: Seung Ju Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Dongguk University, Goyang 10326, Korea
Tel: +82-31-961-5139
E-mail: Lseungju@dongguk.edu
Received November 8, 2016; revised January 15, 2017;
accepted January 16, 2017

훈연 가다랑어에서 더 많은 양의 벤조피렌이 검출 될 수 밖에 없다. 또한, 기존 식품의약품안전처 보고서에 따르면 가쓰오부시의 벤조피렌과 온도와의 관계에서 높은 온도일수록 벤조피렌의 발생량이 많다고 보고했으나 이는 온도와 연기가 제어되지 않는 기존 훈연기의 낙후성 때문에 나타난 부작용으로 여겨진다(15).

따라서 가다랑어 훈연 시 벤조피렌의 함량을 줄이기 위해서는 높은 훈연 온도와 낮은 연기농도에서 훈연 되도록 제어하는 훈연기가 필요하다. 하지만 이는 기존의 가쓰오부시 훈연기로는 구현할 수 없는 조건이므로 본 연구에서는 연기농도와 훈연 온도를 독립적으로 제어할 수 있는 가쓰오부시 훈연기를 개선하고 이 장치의 벤조피렌 저감화 효과를 확인하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 연구에서 가쓰오부시를 제조하기 위해 사용한 냉동 가다랑어(Badasangin Co., Busan, Korea)를 구입하여 사용하였으며 훈연에 사용된 훈연 칩은 가장 많이 사용되는 참나무 칩(Hayannamoo Co., Daegu, Korea)을 이용하였다. 벤조피렌의 HPLC 분석에 필요한 시약은 표준물질 벤조피렌과 3-메틸콜란트렌(3-methylcholanthrene)은 Sigma-Aldrich Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 조제 및 희석하여 사용하였다. 시료 전처리에 필요한 수산화포타슘(KOH)과 무수황산소듐(Na_2SO_4)은 Dae Jung Co.(Seoul, Korea)에서 구입하였다. 또한 0.45 μm PTFE 막 거름개(Woongki Science Co., Seoul, Korea)와 정제를 위해 Sep-Pak florisil (Waters Co., Massachusetts, USA)를 사용하였으며 실험에서 사용된 유기용매 노말헥세인(*n*-hexane), 아세토나이트릴(acetonitrile), 메탄올, 다이클로로메테인(dichloromethane)과 물은 J.T. Baker사(Pennsylvania, USA)에서 구입하여 사용하였다.

훈연 장치의 개선

훈연기는 연기를 발생시키는 연소실 및 전기히터, 훈연이 진행되는 훈연실 및 전기히터, 발생한 연기를 훈연실로 공급시키는

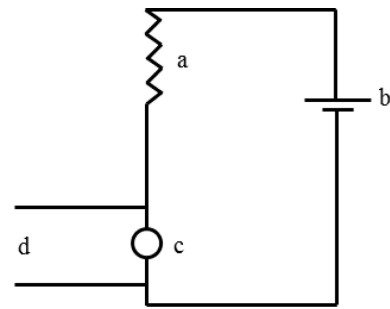


Fig. 1. Schematic diagram of sensing system for measuring smoke levels. a: 10 k Ω resistance, b: 5 V battery, c: CDS sensor d: voltage output.

회전형 원통 개폐기 및 공압식 구동장치로 구성하였다. 센서부는 훈연실 내부의 연기농도를 측정하는 연기센서(CdS cell, Dong-shin electronics Co., Seoul, Korea), 온도를 측정하는 온도센서(Pt100 Ω , Dong-shin electronics Co.)로 구성하였다. 연기 공급 및 훈연실의 온도 제어를 위해 각각 on/off 및 PID 제어기(NX-9, Han young Co., Seoul, Korea)를 사용하였다.

Fig. 1은 훈연실 내부의 연기농도를 측정해 주는 연기 센서부의 회로도를 모식화 한 것이다. 연기농도에 따라 변화하는 센서의 저항값에 의하여 센서부의 전압이 출력된다. 즉, 센서와 수직 방향으로 3 cm 간격을 두고 발광다이오드를 설치하고 그 간극을 통과하는 연기농도의 양에 따라 광센서에 전달되는 빛의 양이 바뀌는 원리를 적용하였다. 센서는 훈연실 문의 감시창 밖에 부착하였고 감시창을 통해 외부의 빛이 훈연실 내부로 들어가지 않도록 검은색 테이프로 감시창을 덮었다. 또한 발광다이오드는 훈연실 내부에 설치하여 사용 중 주기적으로 표면을 세척하여 밝기를 일정하게 유지하였다. 연기농도는 연기 입자 크기, 분포, 양 등 다양한 인자에 의하여 복합적으로 결정되므로(20) 본 연구에서는 연기의 상대적인 농도를 비교하기 위하여 그 농도를 센서부의 출력 전압으로 가정하여 적용하였다.

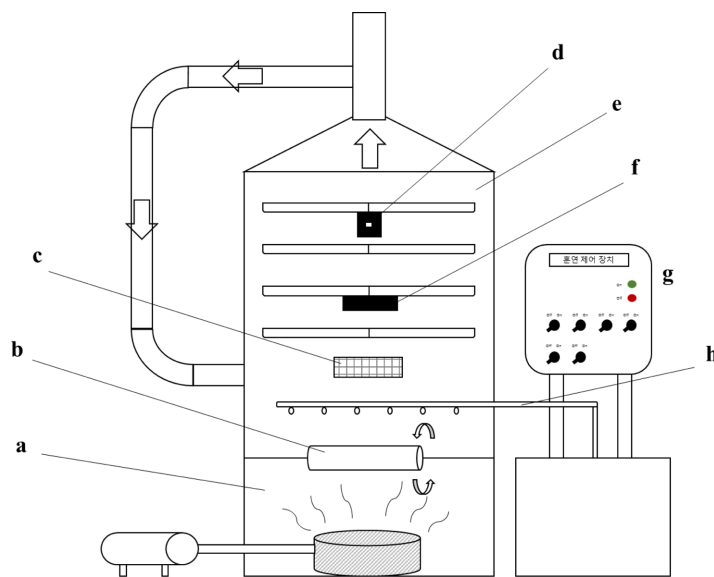


Fig. 2. Schematic diagram of smoking system for *Katsuobushi* production. a: combustion chamber, b: smoke inlet with rotating feeder, c: electric heater for heating smoke chamber, d: smoke sensor, e:smoking chamber, f: oil drip pan, g: controller, h: water sprayer for cooling smoke chamber.

Fig. 2는 개선된 훈연기의 구체적인 설계도면을 나타낸다. 먼저, (a)는 훈연 칩을 태워 연기를 발생시키는 연소실로 직육면체로 설계하였으며 다량으로 발생한 연기가 유실되지 않도록 밀폐되게 설계하였다. 또한 연소실을 훈연실(c)의 하단부분에 설계하여 발생하는 연기가 자연스럽게 위로 올라오도록 설계하였다. 이때 연소실에서 발생하는 연기의 양을 조절하기 위해 공기 주입기를 설치하였으며, 발생된 연기농도를 제어하기 위해 개폐기(b), 연기농도를 측정하기 위한 연기센서(d)를 설치하였다. 훈연실 내부는 가다랑어의 훈연과 건조를 위해 건조용 tray와 기름회수용 tray(f)를 설치하였고 훈연실 내부의 온도를 조절할 수 있는 히터(c)를 설치하였다. 마지막으로 제어부(g)는 측정된 연기 농도에 기초하여 제어부가 연기 개폐기를 작동시키고, 측정된 온도에 기초하여 히터 또는 수분 분사노즐(h)을 작동시킴으로써, 훈연실의 온도 및 연기농도를 독립적으로 제어 할 수 있다.

가다랑어 훈연

훈연 가다랑어 제조를 위해 먼저 냉동 가다랑어를 상온에서 1시간 방치하여 해동하였다. 해동된 가다랑어를 2시간 동안 지속하여(steaming) 가다랑어를 익힌 뒤 20분간 상온에서 냉각하고 훈연 선반에 놓고 훈연하였다. 개선한 훈연기는 연기농도를 제어할 수 있으므로 연기농도를 세가지 수준으로 4.45, 4.60, 4.80 V로 설정하여 각각 훈연할 수 있었다. 또한 훈연 온도는 45, 65, 85°C에서 각각 훈연 가다랑어를 제조하였다.

훈연 가다랑어 중 벤조피렌 함량 분석

훈연 가다랑어의 벤조피렌 함량은 식품공전에 따라 측정하였다(21). 시료로부터 벤조피렌을 추출 하기 위해 균질화 된 시료 10 g에 내부표준물질인 10 µg/kg의 3-메틸콜란트렌(3-methylcholanthrene) 1 mL을 가한 뒤 1M 수산화포타슘 에탄올 용액 100 mL을 넣어 가열 추출기에서 3시간 동안 80°C로 알칼리 분해하였다. 알칼리 분해 후 얼음을 사용하여 냉각한 다음 노말헥세인 50 mL을 환류냉각기에 넣고 에탄올:노말헥세인(1:1)용액 50 mL를 이용하여 분액깔때기에 옮겼다. 그리고 여기에 50 mL의 증류수를 가하여 진탕 시킨 뒤 하층의 물 층과 상층의 노말헥세인 층으로 분리시켰다. 노말헥세인 층을 분리하고 남은 물 층에 노말헥세인 50 mL을 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 얻어진 노말헥세인 을 모두 합하였다. 이후 노말헥세인 층을 무수황산소듐을 넣은 거름종이를 사용하여 탈수 한 후 35의 수욕상에서 회전감압 농축기를 사용하여 약 2 mL로 농축한 뒤 정제 컬럼(florsil cartridge, Waters Co., Massachusetts, USA)을 사용하였다. 정제 컬럼은 미리 다이클로로메테인(dichloromethane) 10 mL과 노말헥세인 20 mL을 사용하여 활성화 시킨 후, 여기에 농축액을 넣고 노말헥세인 10 mL과 노말헥세인: 다이클로로메테인 (3:1) 15 mL로 용출시켰다. 용출액은 질소농축 후 잔류물을 아세트나이트릴 1 mL로 녹여 이를 0.45 µm PTFE 막 거르개로 통과시켜 시험용액으로 사용하였다.

시료의 벤조피렌 분석을 위해 사용된 고성능액체크로마토그래피(HPLC)의 분석조건은 Table 1과 같았다. HPLC/FLD는 1260 infinity (Agilent Technologies, Foster City, CA, USA)를 사용하였으며 컬럼은 LC-PAH C18 (Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 사용하였다.

통계처리

벤조피렌 함량은 3반복 하여 평균값과 표준편차로 결과값을 나타내었으며, 처리간 유의성 검정은 던컨시험(Duncan's multiple

Table 1. Condition for HPLC analysis of benzo(a)pyrene

Column	Supelcosil LC-PAH column (0.25 m×4.6 mm, 5 µm)	
Flow rate	1 mL/min	
Injection volume	10 µL	
Solvent system	Acetonitrile (%)	H ₂ O (%)
	80	20
Wavelength	Excitation (nm)	Emission (nm)
	294	404

range test)을 적용하였으며 $p < 0.05$ 의 유의수준에서 비교하였다. 통계처리는 IBM SPSS Statistic program ver. 21를 이용하였다.

결과 및 고찰

훈연기의 연기농도 및 온도 제어

개선된 훈연기는 연기농도를 제어하도록 제작하였는데, 연기농도를 조절하는데 가장 핵심인 부분은 연기의 농도를 측정하는 연기센서이다. 연기 센서의 작동원리는 발광 다이오드에서 방출된 빛의 세기에 따라 CdS 광센서에 연결된 전압측정기의 출력값을 이용하는 것이다. 즉, 발생되는 연기의 양이 적을 시 CdS 광센서에서 받아드리는 빛의 양이 많아지므로 CdS 광센서의 저항이 높아져 낮은 전압값이 출력된다. 반대로 발생하는 연기의 양이 많다면 CdS 광센서에서 방출되는 빛 중 일부만 광센서로 들어와 저항이 낮아지고 높은 전압값이 출력된다. 이를 이용하여 훈연 시 연기농도가 한계치로 설정한 값을 넘을 때 연기 개폐기가 자동적으로 닫히도록 제작하여 연기 양에 따른 농도를 전압값으로 제어할 수 있도록 제작하였다.

연기 센서가 추가된 훈연기의 성능을 평가하기 위해 연기농도의 설정값을 각각 4.45 V(저농도 연기), 4.6 V(중농도 연기), 4.8 V(고농도 연기)로 설정하여 1시간동안 5분간격으로 전압측정기에서 측정되는 결과는 Fig. 3과 같았다. 1시간 동안 측정된 결과 모든 연기농도 수준에서 일정하게 유지되는 것을 확인 할 수 있었다. 충분한 양의 연기가 있더라도 훈연 시 식품에 연기가 흡착되면서 연기농도가 감소하여 설정값 이하로 떨어지게 되는데 이 때 개폐기가 자동으로 열리며 연기를 추가적으로 유입시켜준다. 또한 반대로 설정값 이상의 과도한 연기가 훈연실로 유입되어 높은 전압이 출력되었을 경우 자동으로 개폐기를 닫아 더 이상의 훈연 연기가 유입되지 않게 한다. 이는 연기센서를 통해 연기농도를 정확하게 측정할 수 있으며 이를 이용하여 자동제어를 할 수 있음을 의미한다.

상기와 같이 연기 공급에 따른 연기농도를 자동 제어할 수 있게 됨에 따라 훈연실 온도의 독립적인 제어가 가능하게 되었다. 이에 비하여 기존의 훈연기에서는 동일한 히터로 연기농도와 훈연실 온도를 동시에 제어하는 한계점에 따라 연기농도와 온도의 독립적인 제어가 불가능하였다. Fig. 4는 훈연기의 제어 set points 가 연기농도는 4.5 V, 온도는 단계적으로 25, 45, 95, 60°C로 주어진 상태에서 in-line 측정된 결과이다. 연기농도와 온도 모두 정확히 독립적으로 제어 됨을 알 수 있다. 단, 온도 set point간 차이가 클수록 지체되는 시간이 증가하는 것으로 나타났다. 결과적으로 연기농도와 온도가 서로 무관하게 제어되어 개선된 훈연기를 사용하면 훈연 조건의 목적에 따라 연기농도와 온도 간 경우의 수를 다양하게 줄 수 있게 되었다. 가스오부시 훈연의 경우에

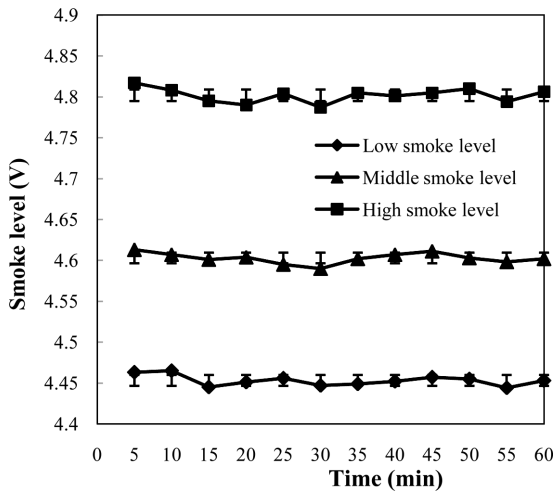


Fig. 3. Automatic control of smoke levels (output voltage of smoke sensor) in smoking chamber by on/off control of smoke feeding from separate combustion chamber. Error bars represent standard deviations (n=3).

는 낮은 연기농도와 높은 온도가 바람직한 조건이므로 기존에 훈연기에서는 구현할 수 없었던 제어 조건의 적용이 가능하다. 또한 기존의 가쓰오부시 훈연기에는 연기농도 제어의 개념 조차 아직 적용된 바 없는 실정이다(15).

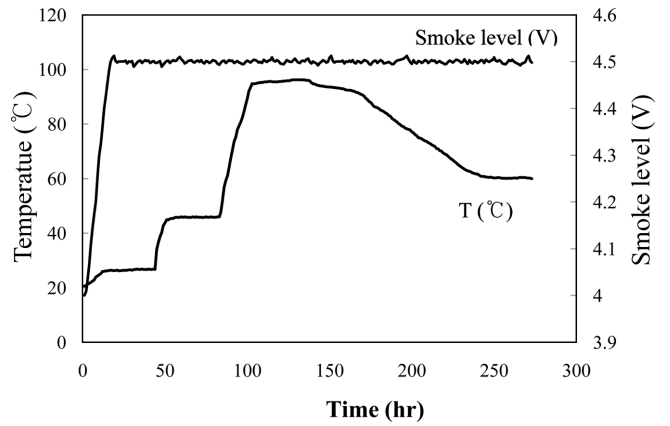


Fig. 4. Automatic control of smoke levels (output voltage of smoke sensor) and temperature in smoking chamber at various control set points. Smoke level at 4.5 V, stepwise temperatures at 25, 45, 95, and 60°C.

벤조피렌 정량을 위한 표준 보정 곡선

벤조피렌 표준물질과 내부표준물질인 3-메틸콜란트렌(3-methylcholanthrene)의 혼합액, 시료와 내부표준물질 혼합액의 HPLC 크로마토그램은 Fig. 5과 같다. 사용된 벤조피렌과 내부표준물질인 3-메틸콜란트렌은 아세트나이트릴에 녹여 제조하였다. 벤조피렌 농도가 0.1, 1.0, 5.0, 10, 20 µg/kg인 표준용액을 제조하고 내부표

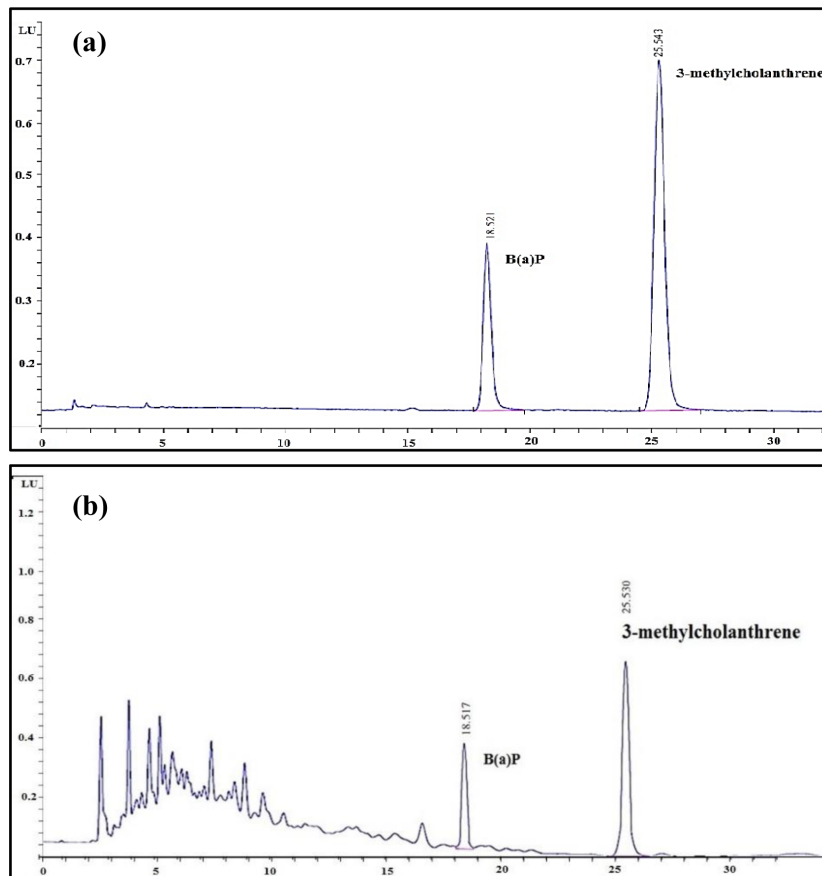


Fig. 5. Typical chromatograms of benzo(a)pyrene for standard (a) and sample (b) with internal standard (3- methylcholanthrene).

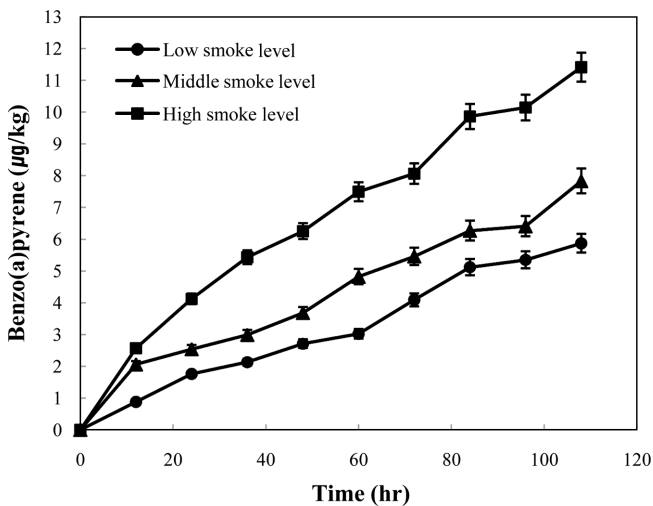


Fig. 6. The effect of smoke levels (4.45, 4.6, 4.8 V) on the Katsuobushi at 45°C. Error bars represent standard deviations (n=3).

준물질 10 µg/kg과 함께 농도별로 분석하여 보정선을 작성하였다 (22). 작성된 보정선은 $Y=0.1926X+0.0183$ 을 나타내고 보정선의 R^2 값이 0.9983으로 나타나 벤조피렌을 분석하기에 적절한 수준을 보였다. 회수율(Recovery)은 92.50%로 시료에 첨가한 대부분의 벤조피렌이 회수되었음을 알 수 있다. 또한 검출한계(Limit of Detection, LOD) 및 정량한계(Limit of Quantification, LOQ)는 표준물질의 크로마토그램의 피크 면적비로 구한 후 LOD는 signal to noise ratio가 3:1인 경우를, LOQ는 10:1인 농도로 계산하였다. 그 결과 LOD, LOQ는 각각 0.12, 0.35 µg/kg이며 LOD, LOQ로 보아 벤조피렌 분석에 적합한 것으로 나타났다.

연기 농도와 온도에 따른 가쓰오부시의 벤조피렌 함량

훈연 식품에서 문제가 되고 있는 벤조피렌은 훈연에 사용되는 나무의 형태, 연소장치(generator)의 형식, 연소온도, 연소장치의 공기 공급량, 나무의 수분함량 등에 영향을 받는다(18). 또한 Codex의 PAHs 오염의 저감화를 위한 실행 규범(안)에서는 연료, 조리법, 열분해를 위한 온도와 연기 생성기 내의 공기흐름에 관련된 연기 생성과정, 가공처리 시간, 가공온도, 장비의 청결성 및 유지 보수 등을 훈연 및 건조과정 중 발생하는 PAHs의 요인으로 보고 있다(23). 하지만 이런 연구 들 중 벤조피렌이 훈연 연기농도에 따라 함량이 다르다는 연구는 보고된 바 없다. 이는 기존의 훈연기들이 연기농도를 제어 할 수 없기 때문에 시도해보지 못한 것으로 사료된다. 따라서 개선된 훈연기로 온도는 45°C에서 고정하고 연기 농도 별 가쓰오부시의 벤조피렌 함량을 측정할 결과는 Fig. 6와 같다. 훈연한 가다랑어의 벤조피렌 함량은 전체적으로 낮은 연기농도에서 보다 높은 연기농도에서 높게 검출되었다. 가다랑어의 벤조피렌의 검출 범위는 0.88-11.41 µg/kg로 노출된 시간이 길수록 벤조피렌 함량이 높게 검출되었다.

온도에 따른 훈연 가다랑어의 벤조피렌 함량은 Fig. 7과 같다. 온도가 높을수록 벤조피렌 함량이 감소하였다. 일반적으로 기체의 흡착은 온도가 증가할수록 그 양이 감소한다는 물리적 원리가 그대로 반영되게 나타났다(19). 기존 식약처 보고서에 의하면 벤조피렌 함량은 높은 온도에서 더 많이 검출 되는 것으로 보고 되었으나 위 결과에서는 온도가 높을 수록 벤조피렌 함량이 더 적게 검출되었다. 이런 상반된 결과가 나온 원인은 이전의 보고서에서는 연기농도는 제어하지 못한 채 훈연 온도를 올렸기 때

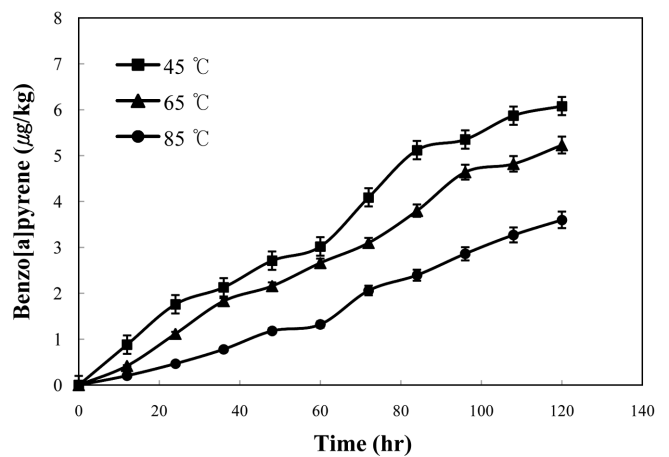


Fig. 7. The effect of temperatures on the Katsuobushi at 4.45 V of smoke level. Error bars represent standard deviations (n=3).

문에 더 많은 양의 연기가 발생하여 벤조피렌 함량이 높게 나온 것으로 보인다. 기존의 훈연기는 훈연 연기 농도와 온도를 독립적으로 제어하지 못하기 때문에 자연스럽게 온도를 높이면 연기가 많이 발생하는 구조이다. 따라서 온도가 높을수록 벤조피렌이 많이 검출된다는 것은 문제가 있다. 하지만 위 실험에서는 기존의 식약처 보고와는 달리 오히려 온도가 낮을 수록 벤조피렌이 많이 검출 됨을 알 수 있다.

결론적으로 가쓰오부시 벤조피렌 저감화 훈연 조건은 상대적으로 낮은 연기농도 및 높은 온도가 바람직한 것으로 나타났다. 또한 상기 최적 조건의 구현은 본 연구를 통하여 개선된 훈연기로 가능성을 보여주었다. 식약처 기준에 따르면 훈제건조어육의 경우 10 µg/kg가 허용 한계치로 나타나 있다. Fig. 7에서 보면 10 µg/kg에 도달하는 시간을 외삽(extrapolation)을 통하여 예측하면 45°C에서는 188시간, 65°C에서는 223시간, 85°C에서는 325시간이다. 이에 비하여 최신 벤조피렌 저감화 기술 개발에 관한 보고서에 따르면 65, 85°C에서 각각 88, 48시간으로 나타났다(15). 일반적으로 현장에서는 가쓰오부시에 고 품질의 풍미를 부여하기 위하여 50-90, 7-15일 장시간 훈연한다. 본 연구 및 기존 보고서(15)의 결과를 일반적인 훈연 조건과 비교해 볼 때 개선된 훈연 장치를 사용할 경우 낮은 연기 농도와 85°C에서 훈연한다면 7-15일 훈연한다 하더라도 벤조피렌 한계허용치를 초과하지 않을 가능성을 타진할 수 있었다. 따라서 새로이 개발된 가쓰오부시 훈연기에 의하여 저감화 효과가 크게 향상된 것으로 판단된다.

요 약

훈연 가쓰오부시의 벤조피렌 저감화를 위하여 훈연기를 개선하고 이의 저감화 효과를 평가하였다. 기존 훈연기는 동일한 히터를 사용하여 연기생성 및 가열을 동시에 행하는데 비하여 개선된 훈연기는 연기생성부 및 가열부를 갖추어 연기생성과 가열이 각각 되도록 하였다. 연기생성부는 훈연실 내부에 설치된 CdS 광센서, on/off 제어기, 연소실과 훈연실 사이에 연기 공급을 개폐하는 압축구동 회전체로 구성하였다. 가열부는 훈연실 내부의 온도센서, PID 제어기, 전기히터로 구성하였다. 자속된 가다랑어를 연기농도를 세가지 수준으로 제어하며 45도에서 훈연한 결과 108시간 경과 후 연기농도가 낮은 순으로 벤조피렌 농도가 5.87, 7.83, 11.41 µg/kg로 각각 나타났다. 연기농도를 가장 낮은 농도에

서 온도를 달리하여 훈연한 결과 벤조피렌 농도가 각각 5.87, 4.82, 3.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 검출되었다. 따라서 벤조피렌 저감화 조건은 낮은 연기농도와 높은 온도가 바람직함을 알 수 있었다. 기존 훈연기는 높은 온도를 사용할 경우 연기농도가 종속적으로 높아지기 때문에 저감화 조건을 만족시킬 수 없는 반면에 본 개선된 훈연기는 저감화를 구현할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 식품의약품안전처 식품 전 단계 유해물질 저감화 연구(과제번호 14162예방안072) 지원을 통해 연구되었으므로 이에 감사 드립니다.

References

- Rahman MS, Conrad OP. Drying and Food Preservation. 2th ed. Handbook of Food preservation. Rahman MS. CRC press, New York, USA. pp. 414-415 (2007)
- Kang HG, Lee KH, Kim JH, Kim CH. Variations of the contents of polycyclic aromatic hydrocarbons on smoking materials and smoking conditions in smoked meat products. Korean J. Food Sci. An. 18: 364-370 (1998)
- Choi SJ, Ko HM, Choi WS, Lee NH, Choi UK. Changes in sensory characteristics of *Cheonggukjang* made with smoked soybeans. Korean J. Food Nutr. 27: 280-286 (2014)
- Kang HG, Lee MS, Lee KH, Kim CH. Effect of smoking process on the contents of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke flavouring. Korean J. Food Sci. An. 18: 42-49 (1998)
- Kwang SO, Lee EH. Studies on the processing of powdered *Katsuobushi* and its flavor constituents. J. Fish. Sci. Technol. 21: 21-29 (1988)
- Wada S, Koike H, Dimici L, Minemura Y. New meat products manufactured with the *Katsuobushi* process, and the chemical nature and organoleptic acceptability of the products. J. Food Process Preserv. 16: 1-11 (1992)
- Gelboin HV. Benzo(a)pyrene metabolism, activation, and carcinogenesis: Role and regulation of mixed-function oxidases and related enzymes. Physiol. Rev. 60: 1107-1166 (1980)
- Kim HY, Chung SY, Sho YS, Park S, Lee EJ, Suh JH, Lee YD, Choi WJ, Kim JS, Eom JY, Park HO, Jin MS, Kim DS, Ha SC, Lee JO. Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in cereals, pulses, potatoes, and their products. Korean J. Food Sci. Technol. 37: 537-541 (2005)
- Chung SY, Sho YS, Park SK, Lee EJ, Suh JH, Choi WJ, Kim JS, Kim M, Kwon K, Lee JO, Kim HY, Lee CW. Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils and fats. Korean J. Soc. Food Sci. 37: 866-872 (2005)
- Phillips DH. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. Mutat. Res. 443: 139-147 (1999)
- Bekim S, David IR. Benzopyrene exposure disrupts DNS methylation and growth dynamics in breast cancer cells. Toxicol. Appl. Pharm. 216: 458-468 (2006)
- International agency for research on cancer. Benzo(a)pyrene. Available from: <https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-14.pdf>. Accessed Nov. 6, 2016.
- MFDS. Korean Food Standards Codex 2010. Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju, Korea (2010)
- Park JY. Exceeding the acceptable concentration of benzo(a)pyrene, a carcinogen, in *Katsuobushi*. Available from: http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2012/03/30/2012033001968.html. Accessed Nov. 6, 2016
- Jang YM, Kim SY, Kim JI, Kim KH, Chang HS, Lee JH, Jung YK, Kim JY. Studies on the reduction of benzo(a)pyrene in *Katsuobushi*. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea (2013)
- Choi SK, Choe SB, Kang ST. Reduction of benzo(a)pyrene content in sesame oil by using adsorbents. Korean J. Food Nutr. 43: 564-569 (2014)
- Shin BR, Yang SO, Kim YS. Trends in the reduction of benzo(a)pyrene in sesame oils. Food Ind. Nutr. 19: 5-14 (2014)
- Kang HG, Lee KH, Hong HS, Park SJ, Kim CH. Mutagenic activity of smoke flavoring processed from oak and apple wood on manufacturing temperature. Korean J. Food Sci. An. 18: 203-208 (1998)
- Tosun I. Ammonium removal from aqueous solutions by clinoptilolite: Determination of isotherm and thermodynamic parameters and comparison of kinetics by the double exponential model and conventional kinetic quantification of smoke produced at fires models. Int. J. Environ. Res. Public Health 9: 970-984 (2012)
- Sharma SK. Measurement of smoke from fires: The present trends. J. Sci. Ind. Res. 54: 98-107 (1995)
- MFDS. Food Code. Korea Food & Drug Administration. Cheongju, Korea (2015)
- Lee BM, Shim GA. Dietary exposure estimation of benzo[a]pyrene and cancer risk assessment. J. Toxicol. Environ. Health Part A 70: 1391-1394 (2007)
- Hu SJ, Jin SH, Lee KH, Choi DM. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in processed foods. Anal. Sci. Technol. 23: 196-204 (2010)