

시중에서 유통되는 가쓰오부시의 미생물학적 · 화학적 위해요소분석 및 안전성 평가

송민규¹ · 김소희¹ · 김진수^{1,2} · 이정석^{1,2} · 허민수^{2,3} · 박신영^{1*}

¹경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소, ²경상국립대학교 수산식품산업화 기술지원센터, ³경상국립대학교 식품영양학과

Risk Analysis and Safety Assessment of Microbiological and Chemical Hazards in Katsuobushi Products Distributed in the Market

Min Gyu Song¹, So Hee Kim¹, Jin Soo Kim^{1,2}, Jung Suck Lee^{1,2}, Min Soo Heu^{2,3} and Shin Young Park^{1*}

¹Department of Seafood Science and Technology/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

²Research Center for Industrial Development of Seafood, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

³Department of Food and Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

For the safety assessment of microbiological and chemical hazards in katsuobushi, fifteen samples of katsuobushi were purchased from supermarkets. The contamination levels of total viable bacteria, coliforms, *Escherichia coli*, and nine pathogenic bacteria [*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, *Enterohemorrhagic E. coli* (EHEC), *Yersinia enterocolitica* and *Campylobacter jejuni/coli*] were quantitatively or qualitatively assessed. Additionally, the heavy metals (total and methyl mercury) content, radioactivity (¹³¹ I, ¹³⁴ Cs⁺ and ¹³⁷ Cs) were quantitatively assessed. Microbial and chemical analyses were performed using standard methods in Korean food code. The contamination level of total viable bacteria was 2.70 (1.18–4.42) log CFU/g. Coliforms, *E. coli* and *S. aureus* were not detected in any samples. Other eight pathogenic bacteria were negative in all samples. The contamination levels of total and methyl mercury were 0.366 (0.227–0.481) and 0.120 (0.002–0.241) mg/kg, respectively. In addition, radioactivity was not detected in any samples. The results will be helpful in revitalizing domestic use and boosting exports of katsuobushi because the microbiological and chemical safety of katsuobushi has been assured. Furthermore, the results may be used as a basis for performing chemical and microbial risk assessments of katsuobushi.

Keywords: Heavy metal, Katsuobushi, Pathogenic bacteria, Radioactivity, Safety assessment

서 론

최근 사회 전반적으로 건강에 대한 대중들의 관심이 증대됨에 따라 건강식품으로 인식되고 있는 수산물의 소비가 지속적으로 증가하고 있다(Park et al., 2014). 하지만 수산물은 일반 공산품과 달리 어획이나 채취 이후 품질이 떨어지거나 쉽게 부패된다는 특징을 가진다(Kim, 2019). 이러한 수산물의 단점인 저장성을 향상시킨 제품으로 통조림, 한천, 연제품, 건제품 등 여러 형태의 수산가공품이 개발되어 소비자들에게 제공되고 있다.

가쓰오부시는 수산가공품 중 하나로 일본의 전통적인 식재료이다. 가쓰오부시는 보통 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)를 원료로 자숙, 건조, 훈연, 곱팡이 입히기 등 다양한 단계를 거쳐 만들어지며 자숙과 훈연만을 거친 아라부시, 아라부시에 건조 단계를 거친 하다카부시, 하다카부시에 곱팡이를 생성시킨 후 다시 곱팡이를 제거한 것이 최종적으로 가쓰오부시가 된다(Sriwahyu, 2020). 이처럼 가쓰오부시는 풍미를 위해 훈연과 곱팡이 처리를 반복하는데 이는 다른 식품의 제조에 사용되지 않는 독특한 절차이다. 가쓰오부시는 주로 물에 넣고 가열하여 육

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 771. 9143 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: sypark@gnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0431>

Korean J Fish Aquat Sci 55(4), 431-436, August 2022

Received 21 March 2022; Revised 22 April 2022; Accepted 11 July 2022

저자 직위: 송민규(대학원생), 김소희(대학원생), 김진수(교수), 이정석(교수), 허민수(교수), 박신영(교수)

수로 사용되며 가쓰오부시로 우려낸 육수는 감칠맛(inosinate, amino acids), 신맛(lactate), 쓴맛(histidine, anserine) 그리고 맛과 향을 내는 400가지 이상의 향료를 함유하고 있기에(Kawaguchi, 2005) 독특한 감칠맛과 특유의 향기를 가져 다양한 요리의 맛을 내는데 이용되고 있다(Oh and Lee, 1989). 또한 가쓰오부시는 피로회복, 시각피로 개선, 피부상태 개선에 효과가 있는 등 기능성 면에서도 우수하다(Kuroda et al., 2005; Honda et al., 2006; Ishizaki et al., 2006). 이로 인해 뛰어난 맛과 기능을 가진 가쓰오부시를 많은 소비자들이 애용하고 있다. 하지만 가쓰오부시 등을 포함한 수분활성도가 낮은 건조식품은 제조하는 과정에서 대기에 노출 되어있는 시간이 길어 다양한 미생물에 의해 오염될 가능성이 높다(Lee et al., 1993). 또한 수분활성도가 낮은 식품일수록 주변환경 중 습도의 영향을 많이 받는데 이는 건조 식품일수록 수증기압 차가 커지기 때문에 저장습도가 높아진다면 식품내로 흡수되는 수분함량이 많아져 미생물이 증식하기 쉬운 환경으로 바뀌어 식중독 발생을 일으킬 수 있다(Rhee and Cho, 1991). 실제로 Ham et al. (2010)에 의하면 수산 견제품에서 대장균군, 바실러스균, 포도상구균, 리스테리아균이 검출되었다고 보고된 바가 있다.

최근 일본원전사고와 산업화 등의 해양오염 문제로 가쓰오부시를 포함한 수산가공품은 국내 수산물 기준규격상에 중급속 위주로 이루어지고 있다(Kang et al., 2017). 주로 생물 농축 가능성이 높은 육식성 어류에 중급속 농도가 높으며, 실제로 가쓰오부시의 주원료로 사용되는 육식성 어종인 가다랑어의 경우 수은 농도가 다른 어종에 비해 매우 높다고 보고된 바 있다(Sakong, 2011). 그러므로 시중 유통되는 가쓰오부시의 화학적 오염도 평가도 지속적으로 이루어져야 한다고 판단된다.

따라서 본 연구는 시중에서 유통중인 가쓰오부시의 일반세균수, 대장균군, 대장균과 식중독세균인 *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Enterohemorrhagic Escherichia coli* (EHEC), *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus* 및 *Campylobacter jejuni/coli* 총 9종의 오염도 분석을 실시하였고 총 수은, 메틸수은 및 방사능과 같은 화학적 오염도를 조사하여 가쓰오부시의 미생물학적 및 화학적 안전성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

연구재료

시중에서 유통중인 가쓰오부시 시료는 15건을 구입하여 사용하였다. 가쓰오부시는 경상남도 거제시, 전라남도 여수시, 경상북도 포항시, 경상남도 진주시, 부산광역시 기장군 및 경상남도 밀양시에 있는 대형마트, 전통시장, 식자재 마트 및 온라인 쇼핑을 통하여 구입하였으며 시료의 오염을 방지하기 위해 아이스 박스에 저온보관을 하여 6시간 이내로 실험실에 운반 후 분석을

실시하였으며, 온라인 쇼핑을 통해 구매한 시료는 도착 당일 즉시 분석을 실시하였다.

일반세균, 대장균군 및 대장균 오염도 분석

일반세균, 대장균군 및 대장균 실험의 분석은 시료 25 g에 멸균된 생리식염수 225 mL를 가하여 균질기(BagMixer® 400; Interscience, Saint-Nom la Bretèche Arpents, France)를 이용하여 2분간 균질화 하였다. 이후 균질액 1 mL을 취한 후 10진 희석법에 따라 멸균 생리식염수 9 mL에 단계 희석하여 희석액을 실험에 사용하였다. 주입평판법(pour plate method)에 따라 희석액 1 mL를 평판에 분주하고 45–50°C정도로 식힌 plate count agar (PCA; Difco Laboratories, Sparks, MD, USA)를 15–20 mL씩 petri dish에 부어서 혼합하였다. 미생물의 증식은 표준 한천 평판배양법으로 35±1°C에서 48시간 배양한 후 15–300개의 집락을 형성한 평판만 계수하여 log₁₀CFU/g으로 나타냈다. 대장균군 및 대장균은 3M Petrifilm *E. coli*/Coliform Count Plate (3M, St. Paul, MN, USA) 건조필름을 사용하였으며 균질액 1 mL를 건조필름에 접촉 후 35±1°C에서 24±2시간 배양하였다. 대장균군은 기포가 형성된 적자색 집락, 대장균은 기포가 형성된 청색 집락을 확인하여 계수하였다. 미생물 집락의 단위는 colony forming unit (CFU/g)으로 표기하였다.

식중독세균의 오염도 분석

본 연구에서 가쓰오부시의 식중독세균에 대한 분석은 식품공전(MFDS, 2021)에서 고시한 방법에 따라 실시하였으며, *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *Cl. perfringens*, *L. monocytogenes*, EHEC, *Y. enterocolitica*, *B. cereus* 및 *C. jejuni/coli* 총 9종을 선정하여 오염도 분석을 실시하였다.

*S. aureus*의 정량적 분석을 위해 전처리 시료는 앞에서 언급한 일반세균 측정용 전처리 균질액 1 mL와 멸균 생리식염수를 10진 희석법에 따라 희석하여 실험에 사용하였다. *S. aureus*의 정량을 위한 배지는 Baird-parker agar (Difco Co.)를 사용하였으며 3장의 평판 배지에 1 mL가 되게 spread 하여 완전히 흡수시킨 후 35–37°C에서 48±3시간 배양하였다. 배양 후 평판당 15–300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 투명한 띠로 둘러싸인 광택성의 검정색의 집락을 계수하였다. 계수한 평판에서 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 보통한천배지에 접종하고 35–37°C에서 18–24시간 배양하여 그람양성구균, coagulase 응집 유무등의 확인시험을 실시한 후, 확인 동정된 균수의 평균에 희석배수를 곱하여 최종 정량하였다.

Salmonella spp.의 정성분석을 위해 시료 25 g과 펩톤식염완충용액(MBCCell, Seoul, Korea) 225 mL를 혼합하여 36±1°C에서 18–24시간 증균배양한 후, 이 시험용액 1 mL를 Tetrathionate broth (Oxoid Ltd., Hampshire, UK)에 접종함과 동시에 Rappaport vassilidas broth (RV; Difco Co.)에 0.1 mL에 접종하여 각각 36±1°C 및 41.5±1°C에서 20–24시간 2차 증균배양하였다. 이어 각각의 증균배양액을 xylose lysine desoxycho-

late agar (XLD; Oxoid Ltd.) 및 brilliant green sulfa (BG Sulfa; Oxoid Ltd.) 배지에 획선도말한 후 $36\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 20–24시간 배양하였다. 그 후 의심집락을 5개 이상 채취하여 tryptic soy agar (TSA; Difco Co.)에 획선도말하고 $37\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 20–24시간 배양하였다.

*V. parahaemolyticus*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 alkaline 펩톤수 225 mL를 혼합하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–21시간 증균 배양하였으며, 이 후 증균배양액을 thiosulfate citrate bile salt sucrose agar (TCBS; Difco Co.)에 획선도말하여 $36\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 18–21시간 분리배양 하였다. 배양 결과 청록색의 서당 비분해 집락을 tryptic soy agar (TSA; Difco Co.)에 획선도말하고 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–21시간 배양하였다.

*C. perfringens*의 정성분석을 위해 전처리 시료는 앞에서 언급한 일반세균수 측정용 전처리 균질액 1 mL를 10 mL Cooked meat medium (MBCell) 배지에 접종하고, $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 동안 혐기환경을 조성하여 증균배양하였다. 그 후 난황첨가 tryptose sulfite cycloserine agar (TSC; Oxoid Ltd.)에 증균 배양액을 획선도말 한 다음, 이를 $36\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 혐기 배양하였다

*L. monocytogenes*의 정성분석을 위해 시료 25 g에 listeria enrichment broth (Oxoid Ltd.) 225 mL를 가하여 30°C 에서 48시간 증균배양하였으며, 증균배양액을 oxford 한천배지에 도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 24–48시간 배양하였다. 의심집락이 확인되면 0.6% yeast extract가 포함된 tryptic soy agar (TSA; Difco Co.)에 접종하여 30°C 에서 24–48시간 배양하였다.

EHEC의 정성분석을 위해 시료 25 g과 modified tryptone soya broth (mTSB; Oxoid Ltd.) 225 mL를 혼합하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 24시간 증균배양하였으며, tellurite cefixime sorbitol macconkey agar (TC-SMAC; Difco Co.)와 5-bromo-4-chloro-3-indolyl- β -D-glucuronide (BCIG; Difco Co.)에 획선도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 배양하였다. TC-SMAC (sorbitol을 분해하지 않는 무색집락)과 BCIG (청록색 집락)에서 형성한 전형적인 집락은 보통한천배지에 옮겨 배양 후 verotoxin PCR (polymerase chain reaction)법에 의해 확인시험을 실시하였다.

*Y. enterocolitica*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 225 mL peptone sorbitol bile broth (PSBB; MBCell)에 가함과 동시에 PSBB 배지를 가한 시험용액 10 mL를 취하여 irgasan ticarcillin and potassium chlorate broth (ITC; MBCell) 90 mL에 가한 후 혼합하여 $36\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 증균배양하였고 검체를 가하지 않고 동일한 방법으로 제조한 irgasan ticarcillin and potassium chlorate broth (ITC; MBCell)를 대조시험액으로 하여 시험조작의 무균여부를 확인하였다. 증균배양액 0.1 mL를 0.5% KOH가 함유된 0.5% 멸균생리식염수 1 mL와 골고루 혼합하여 macConkey agar (Difco Co.)와 cefsulodin irgasan novobiocin agar (CIN; MBCell)에 각각 접종하였으며 30°C 에서 24 ± 2 시간 배양하였다.

*B. cereus*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 멸균생리식염수 225 mL를 가한 후 mannitol egg yolk polymyxin agar (MYP; Difco Co.)에 도말하여 30°C 에서 24시간 배양하였다.

*C. jejuni/coli*의 정성분석을 위해 시료 25 g를 100 mL의 preston broth (MBCell)에 혼합하여 $42\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 44 ± 4 시간 미호기적으로 증균배양 하였으며 모든 시험액은 대조 시험액으로 하여 시험조작의 무균여부를 확인하였다. 증균배양액을 preston agar (MBCell)에 도말하여 42°C 에서 24–48시간 미호기적 압소에서 배양하였고 전형적인 집락을 항생제를 넣지 않은 Abeyata-Hunt Blood에 접종하여 42°C 에서 24–48시간 배양하였다.

식중독 세균의 확인시험

분리배양을 실시하고 난 후 의심집락을 확인한 후 VITEK (Compact 30; Biomerieux, Marcy-l'Étoile, France)를 사용하여 확인시험을 실시하였다. 그 후 최종 결과를 판정하였다.

중금속 오염도 분석

총수은의 분석은 식품공전(MFDS, 2021)에 제시된 방법과 동일하게 진행하였으며, 직접수은분석기(DMA-80; Milestone, Milano, Italy)를 사용하여 분석하였다. 총수은은 균질화된 시료 0.1 g을 취하여 수은분석기에 투입하여 건조(650°C 에서 90초), 분해(650°C 에서 180초) 및 아말감화(amalgamation) (850°C 에서 12초)의 과정으로 실시하였다. 분석조건은 온도를 $1,000^\circ\text{C}$, detection은 dual-beam A.A. spectrophotometer, 파장 253.7 nm, 주입량 10–50 mg, absorption cell은 dual cell/thermostat 및 carrier gas는 산소로 설정하여 진행하였다. 총 수은

분석의 정확성 및 재현성 확인은 표준인증물질(certified reference material)인 DORM-4 (Fish protein; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada) 및 1566b (Oyster; NIST, Gaithersburg, MD, USA)을 사용하였다. 총수은 분석에 대한 결과는 easy-DOC3 (Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone; GitHub Inc., San Francisco, CA, USA)를 이용하여 산출하였다.

메틸수은은 식품공전(MFDS, 2021)에서 언급한 방법에 따라 시험 용액을 제조한 다음 HR-Thermon-HG (0.53 mm \times 15 m; Shinwa Chemical Industries, Ltd., Kyoto, Japan) 칼럼이 장착된 GC-ECD system (Gas chromatography-Electron capture detector system; Agilent 7890A; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)으로 분석하였다. 이 때 메틸수은의 분석은 injection과 detection temperature를 각각 $150\text{--}160^\circ\text{C}$ 및 $150\text{--}170^\circ\text{C}$ 로, column oven temperature를 80°C 에서 3분간 유지한 후 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 130°C 까지 상승시켜 유지하였고, carrier gas를 질소로 하였으며, 주입량을 1 μL 로 하였다.

방사능 분석

방사능 분석은 식품공전(MFDS, 2021)에서 언급한 방법을 참고하여 실시하였다. 방사능 분석을 위한 시료의 전처리는 표준체(20 mesh)에 얹어 약 5분간 수분기를 제거한 후 분

쇄기(HMF-3800SS; Hanilelec, Ulsan, Korea)로 같이 제조하였다. 이어 marinelli 비커에 넣고 약 1 kg을 취한 후 밀봉하여 고순도 게르마늄 감마핵종분석기(OCTEC GEM-60195-P; Ortec, Tennessee, TN, USA)를 사용하여 방사능을 측정하였다. 측정에너지의 범위는 0–2 MeV로 하였으며, 측정시간은 최소 10,000초 및 분석 핵종은 아이오딘(^{131}I)과 세슘(^{134}Cs , ^{137}Cs)으로 하였다.

결과 및 고찰

시중에 유통중인 가쓰오부시의 일반세균, 대장균군 및 대장균 오염도 분석

시중에서 유통중인 가쓰오부시의 일반세균, 대장균군 및 대장균 오염도는 Table 1에 나타내었다. 일반세균수는 15건의 시료에서 평균오염도는 2.70 log CFU/g 수준으로 나타났으며 가장 높은 오염도를 보인 제품에선 4.42 log CFU/g의 오염도를 보였다. Kim et al. (2017)의 연구에 의하면 수산 건제품에서 일반세균 오염도가 3.13–3.68 log CFU/g으로 평균적으로 본 연구보다 높은 수준의 오염도를 보였다. 가쓰오부시의 국내 기준규격 중 일반세균에 대한 기준은 없으나 Solberg et al. (1990)가 제시한 일반세균 안전기준치인 6 log CFU/g 이하로 나타나 비교

Table 1. Contamination level of total viable bacteria, coliform group, and *Escherichia coli* in katsuobushi distributed in the market

	Positive no./total	Mean (log CFU/g)
Total viable bacteria	15/15	2.70±0.73
Coliform group	0/15	ND
<i>E. coli</i>	0/15	ND

ND, Not detected. Data represent mean±standard deviations of three measurements.

Table 2. Contamination level of food-borne pathogens in katsuobushi distributed in the market

	Positive no./total	
<i>Staphylococcus aureus</i>	0/15	ND
<i>Salmonella</i> spp.	0/15	Negative
<i>Listria monocytogenes</i>	0/15	Negative
<i>Bacillus cereus</i>	0/15	Negative
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0/15	Negative
<i>Clostridium perfringens</i>	0/15	Negative
EHEC	0/15	Negative
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0/15	Negative
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	0/15	Negative

EHEC, Enterohemorrhagic *Escherichia coli*; *S. aureus*, qualitative analysis; ND, Not detected. Data represent mean±standard deviations of three measurements.

적 안전한 것으로 판단된다. 하지만 수분활성도가 낮은 건제품의 경우 수증기압차로 인해 주변환경의 수분을 흡수하여 미생물 증식을 촉진할 수 있어 별도의 주의가 필요하다. 실제로 Kim et al. (2017)의 연구결과에서 수분 활성도가 낮은 식품을 대상으로 다양한 상대습도에서 저장하여 미생물의 변화를 본 결과 대부분의 시료에서 상대습도가 증가할수록 미생물 증식이 유의적으로 증가한다고 보고하였다. 따라서 제조업체의 경우 가쓰오부시의 제조, 보관 및 유통 중 알맞은 상대습도를 유지하여야 하며 소비자의 경우 구매 직후 제품의 밀봉여부 확인과 개봉 후 상대습도에 의해 변질되지 않게 밀봉하여 습도가 낮은 곳에 보관하는 것이 중요하다.

시중에서 유통중인 가쓰오부시 15건 중 대장균군 및 대장균은 모두 불검출되었다(Table 1). Kim et al. (2019)의 연구에서 시판되는 수산 건제품의 대장균군 및 대장균 오염도를 분석한 결과 기준치 이하 또는 불검출로 나타났음을 보고하였고 Solberg et al. (1990)은 식품 내 대장균군 안전 기준치를 3 log CFU/g 이하로 제시하였다. 이에 따라 본 연구에서 분석한 가쓰오부시 샘플은 비교적 안전하다고 판단된다. 대장균군은 장내세균의 일종으로 분변오염의 척도를 나타내는 지표 세균 중 하나이다(Park, 2009). 대장균군은 질병을 직접 유발하지는 않지만 검출 시 *Salmonella* spp. 및 *Shigella* spp. 등 병원균의 존재 가능성을 나타낼 수 있어 식품의 가공 또는 조리 시 불충분한 가열이나 비위생적인 취급 여부 등을 판단하는 기준이 된다(Lee et al., 2019). 대장균 또한 분변오염의 척도를 직접적으로 판단할 수 있으며 식품에 다량으로 존재할 시 면역이 약한 어린이나 노약자에게 질병을 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서 분석한 제품은 대장균군 및 대장균이 모두 불검출로 나타났지만 제조, 보관 및 유통 단계에서 비위생적인 취급 및 교차오염으로 세균의 증식을 유발할 수 있기에 지속적인 주의가 요구된다.

시중에 유통중인 가쓰오부시의 병원성세균 오염도 분석

시중에서 유통중인 가쓰오부시 중 병원성세균의 오염도 결과는 Table 2에 나타냈다. *S. aureus*의 경우 정량분석한 결과 불검출로 나타났으며 나머지 *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *C. perfringens*, *L. monocytogenes*, EHEC, *Y. enterocolitica*, *B. cereus*, *C. jejuni/coli* 총 8종에 대해 정성분석한 결과 음

Table 3. Contamination level of chemical sanitation in katsuobushi distributed in the market

	Total	Mean (Range)
Heavy metal (mg/kg)	Total Hg	15 0.366±0.085 (0.227-0.481)
	Methyl Hg	15 0.120±0.068 (0.002-0.241)
Radioactivity (Bq/kg)	^{131}I	15 ND
	^{134}Cs , ^{137}Cs	15 ND

ND, Not detected. Data represent mean±standard deviations of three measurements.

성으로 나타났다. Ham et al. (2010)의 연구에 의하면 수산건제품 210건 중 대장균군, 바실러스균, 포도상구균 및 리스테리아균이 5-15%의 시료에서 분리되었다고 보고된 바 있다. 해당 연구에선 비교적 공정이 단순하고 별도의 살균처리가 없는 수산건제품을 대상으로 분석을 실시하였지만 본 연구의 가쓰오부시는 훈연처리 등의 미생물 증식을 억제할 수 있는 공정이 있기에 식중독균이 검출되지 않았을 것으로 판단된다. 실제로 Lovdal (2015)는 훈연과정에서 형성되는 페놀화합물 등의 성분이 미생물의 생장을 억제한다고 보고하였다. 국내의 가쓰오부시 식중독균의 기준규격은 제시되어 있지 않으며 미국 및 캐나다의 경우 *S. aureus* 10⁴ MPN/g, *Salmonella* spp. 음성, 베트남의 경우 *S. aureus* (<10² CFU/g), *Salmonella* spp. 음성, *V. parahaemolyticus* (<10² CFU/g), *Cl. Perfringens* (<10² CFU/g)을 제시하여 관리하고 있다. 본 연구에서 분석한 가쓰오부시 15건의 제품은 위생적인 환경에서 제조, 보관 및 유통되고 있음이 판단된다. 하지만 가쓰오부시는 주로 가열하여 육수로 섭취하지만 타코야끼 등 음식의 토핑으로 곁들여 별도의 가열처리가 없이 섭취하기도 한다. 따라서 제조 공정중 또는 잘못된 보관 방법으로 유해균이 증식하여 식중독 문제를 일으킬 수 있어 이에 대한 지속적인 모니터링과 관련 연구가 필요하다.

시중에 유통중인 가쓰오부시의 총수은 및 메틸수은 오염도 분석

시중에서 유통중인 가쓰오부시 시료 15건에 대한 총수은 및 메틸수은의 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 가쓰오부시 15건의 시료에 대한 총수은의 평균은 0.366 mg/kg으로 가장 높은 오염도를 보인 제품은 0.481 mg/kg로 나타났다. 메틸수은의 경우 가쓰오부시 15건의 시료에 대해서 평균 0.120 mg/kg 최대 0.241 mg/kg 수준의 오염도를 보였다. 총수은 및 메틸수은에 대한 가쓰오부시의 국내 기준규격은 제시되어 있지 않으며 국외의 경우 미국 메틸수은 1.0 mg/kg 이하, 캐나다 총수은 1.0 mg/kg 이하, 중국 메틸수은 1.0 mg/kg 이하, 태국 메틸수은 0.5 mg/kg 이하, 베트남 총수은 및 메틸수은 1.0 mg/kg 이하, EU 총수은 1.0 mg/kg 이하로 제시 되어있다. 본 연구에서 가쓰오부시 시료 15건은 모두 국외의 기준치 이내로 적합함을 보였다. 수은은 상온에서 액체 상태로 존재하는 금속으로 화학적 형태에 따라 원수은, 무기수은, 유기수은으로 구분되며, 해양 환경 중에 존재하는 수은은 대체로 무기수은의 형태이다. 무기수은은 토양과 퇴적물 내 혐기성 세균에 의한 활동으로 유기수은인 메틸수은으로 변환될 수 있으며(Craig, 2003), 변환된 메틸수은은 친유성으로 세포막을 쉽게 통과하여 중추신경계 내의 단백질 합성에 관여하는 효소를 불활성화시킴으로서 중추신경계에 영향을 미치며 여러 형태의 수은 중에서 독성이 가장 강하다(Kim et al., 2005). 메틸수은은 광화학 반응에 의해 디메틸화를 통하여 다시 무기수은으로 변환되기도 하나, 햇빛이 닿기 힘든 심해에서는 광화학반응의 가능성이 낮아, 수심이 깊어질수

록 고농도 상태로 존재한다(Jensen and Jernelov, 1969). 해양환경으로 배출된 유기수은은 생태계의 먹이 연쇄과정을 거치면서 생물농축이라는 특성으로 인해 고등생물체에 농축되기 때문에 수생 먹이사슬의 높은 위치에 있는 육식성 어종의 경우 많은 양의 메틸수은이 축적되며, 실제로 Sakong (2011)의 연구에 의하면 다른 어종에 비해 가쓰오부시의 주원료인 가다랑어 등 대형 육식성 어류의 수은 농도가 매우 높다고 보고된 바가 있다. 따라서 가쓰오부시의 원료 어종인 가다랑어는 수은으로 인한 위해 가능성이 높기 때문에 지속적인 분석과 제조공정 중 원료선별시 주의가 요구된다.

시중에 유통중인 가쓰오부시의 방사능 오염도 분석

시중에서 유통중인 가쓰오부시의 방사능 오염도 분석은 Table 3에 나타났다. 방사능 분석은 아이오딘(¹³¹I)와 세슘(¹³⁴Cs⁺, ¹³⁷Cs) 함량을 측정하였으며 시료 15건 모두 불검출로 나타났다. Lee et al. (2021)의 연구에 의하면 건조 어류 가공품 30건에서 ¹³¹I 함량을 0.04-0.20 Bq/kg, ¹³⁴Cs⁺ 함량을 0.05-0.24 Bq/kg 및 ¹³⁷Cs 함량을 0.09-0.24 Bq/kg로 나타났음을 보고하였다. 방사능은 인체에 노출 시 갑상샘에 축적되어 암을 유발시키거나 DNA 변화를 일으킬수 있는 위험한 물질이다(Kwon et al., 2020). 특히 후쿠시마 원전 사고 이후 많은 방사성 오염수가 바다로 누출되어 일본과 인접한 나라의 경우 수산물 기준규격을 엄격하게 조정하였다. 가쓰오부시의 방사능에 대한 국내외 기준규격은 우리나라 ¹³⁴Cs⁺, ¹³⁷Cs와 ¹³¹I가 모두 100 Bq/kg, 미국의 경우 각각 1,200 Bq/kg 및 170 Bq/kg, 중국의 경우 각각 800 Bq/kg 및 470 Bq/kg, 베트남과 CODEX의 경우 각각 1,000 Bq/kg 및 100 Bq/kg, EU의 경우 각각 1,250 Bq/kg 및 2,000 Bq/kg, 캐나다의 경우 모두 1,000 Bq/kg으로 설정하고 있다. 본 연구에서 가쓰오부시 시료 15건 모두 국내와 제외국의 기준치에 만족하였으나 우리나라는 일본과 인접한 국가인 만큼 가쓰오부시를 포함한 수산제품에 대한 방사능 분석은 지속적으로 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 실시한 결과 시중에서 유통중인 가쓰오부시의 미생물학적 및 화학적 분석결과들은 국내 및 국외 기준규격에 대해 초과하지 않았다. 그러나 수분이 낮은 가쓰오부시의 경우 주변 수분의 영향을 많이 받기에 가공 및 보관 시 별도의 주의가 요구된다. 본 연구 결과는 제조업체 및 가공제품 생산업체의 기준규격 수립, 미생물학적 및 화학적 안전성 검증 등의 과정에서 유용한 자료로써 이용될 수 있을 것이다. 또한 국외로 수출하는 경우에도 미생물학적 및 화학적 규격에 적합하여 국내 사용의 활성화와 수출증진에 도움이 될 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(PJT201277, 대일 검사강화조치 대응 수출시장 다변화 수산식품 개발).

References

- Craig PJ. 2003. Organometallic Compounds in the Environment. John Wiley and Sons Ltd., Southern Gate, England, 32-38. <https://doi.org/10.1002/0470867868>.
- Ham HJ, Kim SE, Ryu SH, Hwang YO and Choi SM. 2010. Bacterial distributions of *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* etc. isolated from dried seasoned marine products in garak fishery wholesale market in Seoul, 2009. *J Food Hyg Saf* 25, 10-15.
- Honda M, Ishizaki T and Kuroda M. 2006. The effect of dried skipjack soup stock on visual fatigue. *J Jpn Soc Food Sci Tech* 53, 443-446.
- Ishizaki T, Kuroda M and Sugita M. 2006. The effect of dried skipjack soup stock on mood and emotional states, especially the fatigue state. *J Jpn Soc Food Sci Tech* 53, 225-228.
- Jensen S and Jernelov A. 1969. Biological methylation of mercury in aquatic organisms. *Nature* 223, 753-754. <https://doi.org/10.1038/223753a0>.
- Kang SH, Lee MJ, Kim JK, Jung YJ, Hur ES, Cho YS, Moh A and Park KH. 2017. Contents of total mercury and methylmercury in deep-sea fish, tuna, billfish and fishery products. *J Food Hyg Saf* 32, 42-49. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2017.32.1.42>.
- Kawaguchi H. 2005. Analysis of dried bonito stock and application to development of food product. *Jpn J Taste Smell Res* 12, 123-130.
- Kim DY. 2019. Current status and policy implication of quality and hygiene management of fishery products in Japan. *JFMSE* 31, 810-819. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.6.31.3.810>.
- Kim HJ, Lee DS, Kim IH, Kim YM and Shin IS. 2019. Bacteriological and chemical hazard analysis in commercial fish products minimally processed. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 19-26. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0019>.
- Kim HY, Chung SY, Sho YS, Oh GS, Park SS, Suh JH, Lee EJ, Choi WJ, Eom JY, Song MS, Lee JO and Woo GJ. 2005. The study on the methylmercury analysis and the monitoring of total mercury and methylmercury in fish. *Korean J Food Sci Technol* 37, 882-888.
- Kim JY, Bae YM, Hyun JE, Kim EM, Kim JC and Lee SY. 2017. Microbiological quality of dried and powdered foods stored at various relative humidities. *J East Asian Soc Diet Life* 27, 576-582. <https://doi.org/10.17495/easdl.2017.10.27.5.576>.
- Kuroda M, Yamada K, Nozawa Y, Ishizaki T, Hisano M and Umeki Y. 2005. Anti-fatigue effects of skipjack-tuna extract. *Ann Nutr Metab* 49, 390.
- Kwon HJ, Lee JY, Lee SN, Jeong JA, Choi OK and Yoon MH. 2020. Monitoring the radioactive contamination in imported processed food items. *J Environ Anal Health Toxicol* 23, 112-117. <https://doi.org/10.36278/jeaht.23.2.112>.
- Lee HJ, Kim JK, Lee SJ and Cho HO. 1993. Microbial growth in dried fishes during preservation. *Korean J Food Hyg Saf* 8, 135-140.
- Lee JY, Jeong JA, Jeon JS, Lee SB, Kwon HJ, Kim JE, Lee BH, Mo AR and Choi OK. 2021. Monitoring of radioactivity and heavy metal contamination of dried processed fishery products. *J Food Hyg Saf* 36, 248-256. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.3.248>.
- Lee SH, Mun KH, Kim NYS and Kim JB. 2019. Isolation and identification of false positive and false negative strains on coliform dry rehydratable film. *Korean J Food Preserv* 26, 330-335. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2019.26.3.330>.
- Lovdal T. 2015. The microbiology of cold smoked salmon. *Food Control* 54, 360-373. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.025>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021. Standard for Food. MFDS, Cheongju, Korea. Retrieved from www.food-safetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp on Aug 9, 2021.
- Oh KS and Lee EH. 1989. Studies on the processing of powdered katsuobushi and its flavor constituents. 4. Extractive conditions and sensory evaluation of taste compounds of powdered Katsuobushi. *Korean J Fish Aquat Sci* 22, 228-232.
- Park HG. 2009. Evaluation of dry rehydratable film method for detection of coliform bacteria and *Escherichia coli*. *Korean J Food Nutr* 22, 696-700.
- Park JA, Jang YS and Kim DH. 2014. An analysis on the change of seafood consumption patterns by demographic characteristics. *J Fish Bus Adm* 45, 1-17. <https://doi.org/10.12939/FBA.2014.45.3.001>.
- Rhee C and Cho SY. 1991. Effect of dextrin on sorption characteristics and quality of vacuum frying dried carrot. *Korean J Food Sci Technol* 23, 241-247.
- Sakong J. 2011. Health effects of mercury exposure through fish. *J Yeungnam Med Sci* 28, 105-115.
- Solberg M, Buckalew JJ, Chen CM, Schaffner DW, O'Neill K, Mcdowell J, Post LS and Boderck M. 1990. Microbiological safety assurance system for food service facilities. *Food Technol* 44, 68-73.
- Sriwahyu IT. 2020. Traditional spices in Japanese modern food. In: *The 5th International Conference on Energy, Environmental and Information System*. E3S Web Conf 202, 07083. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020207083>.