

시판 냉동굴(*Crassostrea gigas*)의 위생 안전성 평가

박선영¹ · 조혜정² · 이석민² · 허민수^{1,3} · 김진수^{1,2*}

¹경상대학교 수산식품산업화 기술지원센터, ²경상대학교 해양식품생명과학과/해양산업연구소, ³경상대학교 식품영양학과

Safety Evaluation of Frozen Oyster *Crassostrea gigas* as a Raw Material for Seafood Products

Sun Young Park¹, Hye Jeong Cho², Seok Min Lee², Min Soo Heu^{1,3}, and Jin-Soo Kim^{1,2*}

¹Research Center for Industrial Development of Seafood, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

²Department of Seafood and Aquaculture Science/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

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

This study was conducted to investigate the suitability of frozen oysters as a raw material for the preparation of seafood products by measuring the concentrations of harmful microorganisms and chemicals in thawed flesh. The microbial concentrations in thawed oysters were 2.3-5.0 log CFU/g for viable cell counts, not detected (ND)-1.0 log CFU/g for coliform bacteria, and ND for *Escherichia coli* and pathogenic bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, Enterohemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC), and *Clostridium perfringens*. In frozen oysters, the heavy metal concentration for viable cell counts was ND-0.030 mg/kg, for lead was ND-0.393 mg/kg, and for cadmium was 0.021-0.597 mg/kg. Benzo(a)pyrene, shellfish poison (paralytic shellfish and diarrhetic shellfish poisons), and radioactivity were not detected in the thawed oysters. These results suggest that frozen oysters can be safely used as a raw material for the preparation of seafood products.

Keywords: Oyster, Shellfish, Shellfish sanitation

서 론

굴은 라이신(lysine) 등과 같은 필수아미노산, 칼슘과 아연 등과 같은 무기성분, 글리코젠(glycogen) 등과 같은 영양성분이 풍부하면서 EPA (eicosapentaenoic acid, 20:5n-3), DHA (docosahexaenoic acid, 22:6n-3) 등의 오메가-3 지방산(omega-3 fatty acid)과 같은 건강 기능성분의 조성이 높다(Park et al., 1995). 뿐만 아니라 굴은 맛성분인 엑스 성분이 풍부하고, 조 직감이 탱글탱글하면서 쫄면 우유 빛깔을 가지고 있어 예로부터 바다의 우유로 불리고 있다. 굴은 영양 및 건강 기능이 알려 지면서 국내 소비자뿐만 아니라 외국 소비자들도 선호하고 있고, 양식 기술도 발달함에 따라 생산량이 중국, 인도네시아, 인도, 베트남, 필리핀에 이어 세계 6위(2018년도 기준)를 차지 하고 있으며, 국내 패류 생산량의 67.7% (2019년도 기준)로 절 대적인 1위를 차지하고 있는 우리나라 주요 양식 수산물 중의

하나이다(MOF, 2020).

그러나, 굴은 대부분이 육지와 인접한 바다에서 주로 생산되 거나 양식되고 있어(Ha et al., 2018), 인근에 위치한 주거지역, 산업단지 등에서 발생하는 벤조피렌, 중금속 등과 같은 화학적 오염원과 가축 사육지, 이동 선박 등에서 발생하는 일반세균수, 대장균군, 대장균, 식중독세균 등과 같은 생물학적 오염원에 의 하여 위생학적 안전성에 영향을 받기 쉽다(Hunter et al., 1999; Mallin et al., 2001). 이와 같은 바다 환경은 여러 가지 요인에 의하여 좌우되고 있고, 특히 계절에 영향을 받는 수온, 강수량, 폐수량 등에 따라 미생물과 플랑크톤 등의 종류와 농도가 달라 굴의 미생물학적 오염과 이화학적 오염의 발생 강도가 차이가 있을 것으로 예측된다(Ha et al., 2018; Kwon et al., 2019). 뿐만 이 아니라 굴은 패류에 속하여 다른 육상동물이나 수산동물과 는 달리 여과섭이 활동으로 영양소를 섭취함으로써 인하여 각종 생물학적 오염원과 화학적 오염원을 많이 축적하고 있고, 소비

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9146 Fax: +82. 55. 772. 9283

E-mail address: jinsukim@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.2020.0861>

Korean J Fish Aquat Sci 53(6), 861-869, December 2020

Received 3 November 2020; Revised 24 November 2020; Accepted 26 November 2020

저자 직위: 박선영(연구원), 조혜정(대학생), 이석민(대학생), 허민수(교수), 김진수(교수)

자들이 식용하는 식용 부위 또한 근육부 이외에 내장 부위도 섭취하고 있어 가공원료로서 위생 안전성 관리에 어려움이 동반된다(Rippey, 1994; Hold et al., 2001).

굴은 10월부터 3월까지의 경우 대부분이 생굴로 국내에서 소비되고 있고, 이후 저장성을 갖춘 냉동굴을 위시한 통조림, 건조굴 등으로 가공되어 일부 국내에서 소비되고 대부분이 수출되고 있다. 따라서 이들 굴 가공품은 생굴과 비교하여 미생물학적 및 화학적 위해요인에서 그 강도가 다를 수 있으리라 추정된다. 하지만, 굴의 안전성 관리에 대한 연구는 생산 해역별[진해만(Park et al., 2000), 강진만(Park et al., 2010; Shin et al., 2017); 가막만(Ha et al., 2017), 한산-거제만(Mok et al., 2016; Ha et al., 2018), 자란만 사랑도 해역(Kwon et al., 2019), 고성만 해역(Lee et al., 2016), 고흥 나로도 해역(Lee et al., 2018), 남해안(Kim et al., 2003)] 위생학적 및 독물학적 안전성 평가와 중금속 함량에 대한 연구, 지역별[서울시내 수산시장(Ham, 2002), 어판장(Sho et al., 2000), 전국 수산시장(Jang et al., 2005)]의 중금속 함량 및 마비성 패류독소 함량에 대한 조사 등에 대한 연구가 다양하게 진행되었으나 대부분이 생굴용 굴에 초점이 맞추어져 있다. 그리고, 이들 생굴용 굴에 관한 연구도 최근 화학적 위해 요인으로 부상되고 있는 벤조피렌, 방사능 등(Park et al., 2017)에 대하여는 검토된 바가 없다.

한편, 냉동굴은 원료 굴을 단순히 비가열 탈각하고 동결하여 제조된 제품이어서 식품의약품안전처 분류 공정으로 분류하는 경우 수산가공품으로 분류되지 않고 단순가공패류로 분류되어 있어 식품위생관리 사각지대에 있다(Kim et al., 2018). 따라서, 냉동굴 대한 전반적인 위생 관리가 필요하고, 대부분이 수출용이어서, 제외국의 기준 규격에 적합 유무도 검토되어야 하나, 이에 대한 연구도 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 우리나라 패류 생산 중 절대적인 1위를 차지하고 있는 굴 중 냉동굴의 가공 자원으로써 안전성을 검토하고자 일반세균수, 대장균군, 대장균, 식중독세균 등과 같은 생물학적 오염원과 벤조피렌, 중금속, 방사능 등과 같은 화학적 오염원의 농도로 살펴보고, 이를 국내를 포함한 각국 및 기관의 기준 규격과 비교하여 제시하였다.

재료 및 방법

시료

시료 냉동굴(*Crassostrea gigas*)은 2020년 1월부터 5월 사이에 30건을 수거하여 사용하였다. 이들 냉동굴은 부산광역시(7건), 경상남도 창원시(1건), 김해시(4건), 거제시(1건), 통영시(7건), 사천시(1건), 고성군(1건), 경상북도 안동시(2건), 광주광역시(1건), 충남 아산시(1건), 경기도 하남시(4건)에 소재하고 있는 대형소매마트, 전통시장, 온라인 쇼핑몰, 가공공장에서 채취하되, 채취 방법은 식품공전(MFDS, 2020) 제7. 검체의 채취 및 취급방법에 따라 실시하였다. 즉, 시료는 현장에서 2차

오염을 방지하기 위하여 아이스박스(ice box)로 저온($5\pm 3^{\circ}\text{C}$ 이하)을 유지하면서 12시간 이내에 실험실로 운반하여 분석에 사용하였고, 인터넷을 통하여 구매한 시료는 도착 즉시 분석에 사용하였다.

일반세균수, 대장균군 및 대장균 측정

일반세균수, 대장균군 및 대장균의 측정을 위한 전처리 시료를 균질화한 다음 이의 25 g 각각을 3개씩 취하여 Whirl-Pak(Nasco, Janesville, WI, USA)에 넣고, 이의 9배(v/w)가 되는 멸균 식염수(0.85%)를 가하여 Bag-Mixer400 stomacher(Interscience, St. Nom, France)로 균질화(1분 30초)한 다음 단계적으로 희석하여 제조하였다.

일반세균수는 전처리 시료 1 mL를 표준한천평판배지(plate count agar, BD Difco, Sparks, MD, USA)에 접종하고 배양($35\pm 1^{\circ}\text{C}$, 48시간)한 후 집락(colony)을 계측하였고, 계측 집락(colony)수에 희석 배수를 곱하여 산출한 다음 log number of colony forming unit/g (log CFU/g)으로 나타내었다.

대장균군 및 대장균은 정량용 전처리 시료 1 mL를 3M사(3M, St Paul, MN, USA)의 대장균군 건조필름배지 I (Petri-film™ CC, 3M Health Care, St Paul, MN, USA) 및 대장균 건조필름 배지I (Petri-film™ EC, 3M Health Care, St Paul, MN, USA)에 각각 접종하고, 배양($35\pm 1^{\circ}\text{C}$, 24시간)한 후, 대장균군의 경우 가스 방울이 붙어 있는 적색의 집락(red colony)을, 대장균의 경우 가스 방울이 붙어 있는 청색의 집락(blue colony)을 각각 계측하였고, 계측 집락(colony)수에 희석 배수를 곱하여 산출하였다.

식중독세균 측정

본 연구에서 냉동굴의 식중독세균에 대한 검토는 식품공전(MFDS, 2020)에서 언급한 방법으로 실시하였고, 식중독세균은 *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, Enterohemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC), *Clostridium perfringens*로 선정하여 측정하였다.

*S. aureus*의 정량용 전처리 시료는 앞에서 언급한 일반세균수 측정용 전처리 시료 1 mL를 멸균 인산완충희석액 9 mL로 단계별 희석한 것으로 하였다. *S. aureus*의 정량을 위한 배양은 Baird-Parker 한천배지 (Becton Dickinson GmbH, Heidelberg, Germany)에 각각 3장에 전처리 시료가 1 mL가 되게 도말하고, 배지에 완전히 흡수되도록 10분간 실내에 방치한 후 $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 배양하였다. *S. aureus*의 정량은 성장한 집락 주변에 투명한 띠가 있으면서, 광택이 있는 검은색 둥근 집락 중 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 보통한천배지에 배양($36\pm 1^{\circ}\text{C}$, 24시간)한 후 그람양성 구균, coagulase 응집 유무 등을 확인하여 계수한 다음, 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 실시하였다.

Salmonella spp.의 확인은 정성시험으로 실시하였다. *Salmonella* spp.의 증균배양액은 시료 (25 g)에 펩톤식염완충액 225 mL를 가하여 Bag-Mixer400 stomacher (Interscience)로 균질화(2분)하여 증균(36±1°C, 18-24시간)하여 제조하였다. *Salmonella* spp.의 증균배양액 0.1 mL를 10 mL Rappaport-Vassiliadis broth (Merck, Germany)에 접종하여 2차 증균배양(41.5±1°C, 24시간)하였다. 이어서, *Salmonella* spp.의 분리배양 및 확인은 증균배양액을 다시 XLD (xylose lysinen desoxycholate) 한천배지(Merck, Germany)와 BG (brilliant green) Sulfa 한천배지(Merck, Germany)에 획선 도말하고 배양(36±1°C, 24시간)하여 의심되는 집락을 TSA (tryptic soy agar; BD Difco, Sparks, MD, USA)에 옮겨 배양한 다음 Spicer-Edwards 등과 같은 H 혼합혈청과 O 혼합혈청을 각각 사용하여 응집반응으로 확인하였다.

*V. parahaemolyticus*의 측정은 정성시험을 진행하여 집락을 확인한 다음 집락이 형성된 경우 정량시험을 진행하였다. *V. parahaemolyticus*의 확인을 위하여 시료(25 g)에 225 mL의 alkaline 펩톤수를 가하여 Bag-Mixer400 stomacher (Interscience)로 균질화(2분)한 후, 이를 증균 배양(35-37°C, 18-24시간)하였고, 증균배양액을 백금으로 취하여 TCBS (thiosulfate citrate bile salt sucrose agar; BD Difco, Sparks, MD, USA) 한천배지(Merck, Germany)에 획선 도말한 후 분리배양(36±1°C, 24시간)하였다. *V. parahaemolyticus*의 확인은 분리배양 결과 직경 2-4 mm인 청록색의 서당 비분해 집락을 TSI (triple sugar iron agar) 사면배지에 획선 도말하고 배양(36±1°C, 18-24시간)한 후 의심되는 균은 API Kit (API KIT 20E, Biomerieux, Durham, NC, USA)를 통해 확인하였다. *V. parahaemolyticus*의 정량은 확인 실험에서 사용한 동일 시료를 10배 단계 희석하여 희석액으로 만들어 TCBS 한천배지 3장에 총 접종액이 1 mL가 되게 도말하고, 배양(35-37°C, 18-24시간)하였다. *V. parahaemolyticus*의 농도는 청록색의 서당 비분해 집락을 계수하여 희석배수를 곱한 다음 계산하였다.

*L. monocytogenes*의 확인은 정성시험으로 실시하였다. *L. monocytogenes*의 확인을 위한 증균은 시료(25 g)에 Listeria enrichment broth 225 mL를 가하여 stomacher (Bag Mixer 400, Interscience, France)로 균질화(2분)한 후, 증균배양(30°C, 48시간)하여 실시하였다. *L. monocytogenes*의 확인은 증균배양액을 Oxfrud Medium base (BD Difco, sparks, MD, USA) 한천배지에 획선 도말하고, 이어서 배양(36±1°C, 48시간)한 다음, 전형적인 집락을 0.6% yeast extract가 포함된 TSA (tryptic soy agar)에 분리배양(30°C, 48시간)하여, 그람염색을 통하여 실시하였다.

EHEC의 확인은 정성시험으로 실시하였다. EHEC의 확인을 위한 최종산물의 반응액은 시료로부터 Template DNA를 추출하고, 이를 PCR kit인 AccuPower EHEC Taq PCR kit (Bioneer, Daejeon, Korea)에 분주하여 GeneAmp PCR system

9,700 (Applied Biosystems, Boston, MA, USA)으로 증폭하여 제조하였다. EHEC의 확인은 증폭 최종산물의 반응액 5 µL를 2% agarose gel (Gibco, Gaithersburg, MD, USA)에 주입하여 전기영동(MINIS-150VS, Major Science, Saratoga, CA, USA)을 실시하고, 이어서 이를 SafeView (Applied Biological Materials Inc., Richmond, Canada)로 염색한 다음 UV (ImageQuant 300, GE Healthcare Bio-Sciences, Piscataway, NJ, USA)로 DNA band로 하였다.

*Cl. perfringens*의 확인은 정성시험으로 하였다. *Cl. perfringens*의 시험용액은 시료(25 g)에 멸균 생리식염수 225 mL를 가하여 Bag-Mixer400 stomacher (Interscience)로 균질화(1-2분)하여 제조한 후 시험용액 1 mL를 10 mL Cooked Meat 배지(Cooked Meat Medium, BD Difco, sparks, MD, USA)에 접종하고, 증균배양(36±1°C, 24시간)하였다. 난황이 첨가된 TSC 한천배지(tryptose sulfite cycloserine agar; BD Difco, sparks, MD, USA)에 획선 도말한 다음, 이를 배양(36±1°C, 24시간)한 다음, 전형적인 불투명한 환을 가진 황회색 집락을 보통한천배지에 획선 도말하여 혐기배양(36±1°C, 24시간) 및 호기배양(36±1°C, 24시간)을 동시에 실시하였으며, 호기배양은 균의 비발육 확인을 위하여 실시하였다. 이어서, 그람양성간균으로 확인된 집락은 GAM (gifu anaerobic medium) 배지(Cooked Meat Medium, BD Difco, sparks, MD, USA)에 옮겨 배양(36±1°C, 24시간) 후 BTB-MR 지시약을 가하여 붉은색으로 변하는 것을 양성으로 확인하였다.

벤조피렌[benzo(a)pyrene]

벤조피렌의 분석은 식품공전(MFDS, 2020)에서 언급한 방법으로 시험용액을 제조한 다음 Supelguard LC-18을 연결한 Supelcosil LC-PAH (25 cm × 4.6 mm)이 장착된 high performance liquid chromatograph/fluorescence detector (HPLC/FLD) (A-10 Solvent&Sample Module, PDA Detector, FL Detector, PerkinElmer, MA, USA)를 사용하였다. 또한, benzo(a)pyrene의 분석조건은 칼럼온도의 경우 35°C, 이동상의 경우 3차 증류수와 아세토니트릴의 혼합액(2:8), 유속의 경우 1 mL/min, 검출기 파장의 경우 여기파장이 294 nm, 방출파장이 404 nm이었다.

패류독소

패류독소는 마비성 패류독소(paralytic shellfish poison, PSP)와 설사성 패류독소(diarrhetic shellfish poison, DSP)로 나누어 식품공전(MFDS, 2020)에서 제시한 방법으로 실시하였다.

마비성 패류독소를 분석하기 위한 패류는 외부를 물로 깨끗이 씻고 200 g 이상이 되도록 손질하여 제조하였다. 채취된 육은 전량을 표준체(20 mesh)에 얹어 5분 동안 물을 뺀 후 균질기(Waring, Torrington CT 06790, USA)로 균질화 하였다. 마비성 패류독소를 분석하기 위한 전처리 시료는 균질화한 시료를 0.1 N 염산으로 가운 추출한 추출액의 상층액으로 하였다. 독력

은 시험원액을 19-21 g의 수컷 ICR계 마우스 복강에 주입하고 치사시간으로부터 독량을 계산하였다. 독력은 Sommer의 표와 마우스 체중 보정표를 이용하여 산출하였다.

설사성 패류독소의 분석을 위한 추출액은 마비성 패류독소 분석을 위하여 제조한 균질화물 1 g과 90% 메탄올 9 mL를 가하고 교반기(C-Mag HS 7, IKA, Staufen, Germany)를 이용하여 3분 동안 교반, 추출한 다음, 이를 원심분리관에 넣고 90% 메탄올로 10 mL를 맞춘 후 원심분리(1,000 g, 5분)하여 제조하였다. 전처리 시료는 상층액 중 2 mL를 membrane filter (Whatman International, Maidstone, Kent, UK)를 이용하고, 여과하여 제조하였다. 분석 장비는 BEH C₁₈ (2.1 × 100 mm, 1.7 μm)을 장착한 LC/MS/MS (Xevo TQ-S, Waters, MA, USA)를 사용하였고, 설사성 패류독소의 독소성분인 okadaic acid와 dinophysistoxin-1의 크로마토그램상의 특성 이온 피크는 표준용액 특성이온 피크의 머무름 시간과 비교하여 일치 여부로 확인하였다.

중금속

냉동굴의 중금속은 납, 카드뮴 및 총수은에 대하여 분석하였다.

납, 카드뮴 분석을 위한 전처리는 Kim (2014)이 언급한 방법에 따라 실시하였다. 시료의 제조를 위한 예비 반응물은 진공 동결건조한 시료 1 g을 취하여 테프론 분해기(teflon bomb)에 넣고, 여기에 중금속 분석용 고순도 질산 10 mL를 가한 다음 상온에서 150분 동안 반응시켜 제조하였다. 이어서 시료의 완전 분해를 위하여 테프론 분해기를 밀폐시킨 다음 가열판으로 150±5°C에서 400분간 가열한 후 노란색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 실시하였다. 시료의 분해 후 테프론 분해기의 코크를 열어 압력을 제거한 후 뚜껑을 열고 100±5°C에서 질산이 1 mL 정도가 되도록 증발시켰다. 그리고 테프론 분해기에 중금속 분석용 고순도 질산 10 mL를 다시 가하고, 시료의 완전 분해를 위한 테프론 분해기의 밀폐, 가열(150±5°C, 400분)하는 과정을 한번 더 반복하였다. 테프론 분해기의 질산이 1 mL 정도로 거의 증발하였을 때 분해를 종료하고 2% (v/v) 질산 용액으로 재 용해한 다음, 여과 및 정용(100 mL)하여 제조하였다. 납, 카드뮴의 분석은 시험용액을 이용하여 ICP-MS (ELAN DRC II, PerkinElmer, Santa Clara, CA, USA)로 실시하였고, ICP-MS의 분석 조건은 식품공전(MFDS, 2020)에 제시되어 있는 조건

으로 실시하였다.

총수은은 식품공전(MFDS, 2020)에서 언급한 방법에 따라 균질화 시료 0.1 g을 취하여 직접수은분석기(DMA-80, Milestone, Milano, Italy)로 분석하였다. 총수은 분석은 수은분석기에 시료를 주입하고, 건조(650°C에서 90초), 분해(650°C에서 180초) 및 amalgamation(850°C에서 12초)하여 실시하였다. 총수은 분석에 대한 모든 결과는 easy-DOC3 프로그램(Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone, GitHub, Inc, San Francisco, USA)을 이용하여 산출하였다. 총수은 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 사용하여 실시하였다. 이때 수은분석기의 분석 조건은 온도를 1,000°C, detection을 dual-beam A.A. spectrophotometer, 파장을 253.7 nm, 주입량을 10-50 mg, absorption cell을 dual cell/thermostat로 carrier gas를 산소로 하였다.

방사능

방사능 분석은 식품공전(MFDS, 2020)에서 언급한 방법에 따라 실시하였다. 방사능 분석을 위한 전처리 시료는 채취된 육을 표준체(20 mesh)에 얹어 5분 동안 물을 뺀 후 분쇄기(HMF-3800SS, Hanilec, Ulsan, Korea)로 갈아 제조하였다. 방사능 분석은 marinelli 비이커에 넣고 약 1 kg을 달아 밀봉하여 고순도 게르마늄 감마핵종분석기(OCTEC GEM-60195-P, Ortec, Tennessee, TN, USA)로 측정하였다.

측정에너지 범위는 0-2 MeV로 하였고, 측정시간은 최소 10,000초, 그리고 시험 대상 핵종은 요오드(¹³¹I)와 세슘(¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)으로 하였다.

결과 및 고찰

생물학적 위생 특성

냉동굴의 생물학적 특성을 조사하기 위하여 이들의 일반세균수, 대장균군 및 대장균, 식중독세균(*S. aureus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, EHEC, *Cl. perfringens*)의 농도는 Table 1과 같다.

가공용 냉동굴의 일반세균수에 대한 평균 농도 및 범위는 각각 1.9×10^4 CFU/g 및 1.9×10^2 - 1.0×10^5 CFU/g이었다. 한

Table 1. Results on the biological sanitation properties of frozen oyster *Crassostrea gigas*

Microbiological property	n	Mean (Range), CFU/g	Microbiological property	n	Mean (Range), CFU/g
Viable cell count	30	1.9×10^4 (1.9×10^2 - 1.0×10^5)	<i>Salmonella</i> spp.	30	Negative
Coliform group	30	0.2×10 (ND ^a - 1.0×10)	<i>Listeria monocytogenes</i>	30	Negative
<i>E. coli</i>	30	ND	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	30	Negative
<i>Staphylococcus aureus</i>	30	ND	<i>Clostridium perfringens</i>	30	Negative
EHEC ^b	30	Negative			

^aND, Not detected. ^bEHEC, Enterohemorrhagic *Escherichia coli*.

편, 냉동굴의 일반세균수는 시판 중 수집된 본 연구의 검체가 Kwon et al. (2017)의 것보다 낮았는데, 이는 원료 생굴의 일반세균수가 낮았거나, 가공 중 위생적으로 처리되었기 때문이라 추정되었다. 한편, 냉동굴의 일반세균수에 대한 국내의 기준 규격은 국내(식품공전)의 경우 $n=5, c=2, m=1,000,000$ CFU/g, $M=5,000,000$ CFU/g으로, 베트남의 경우 1.0×10^6 CFU/g으로 제시되어 있고, 미국, 캐나다, EU, 일본, 태국, 중국, CODEX의 경우 제시되어 있지 않다. 따라서, 냉동굴의 국내의 기준 규격으로 미루어 보아 본 연구에서 검체로 사용한 시판 냉동굴은 모두 국내의 모든 기준을 충족하고 있을 뿐만 아니라 국내 생식용 굴의 기준 규격($n=5, c=2, m=100,000$ CFU/g, $M=500,000$ CFU/g)도 충족하고 있어, 일반세균수적인 면에서 위생적으로 안전하게 관리되었다고 판단되었다. 일반적으로 수산물은 세균학적으로 선도를 판정하는 경우 10^5 CFU/g 이하를 신선한 것으로 판정하고 있는데(Park et al., 1995), 본 연구에서 검체로 사용한 시판 냉동굴은 모두 이 범위에 있어 신선한 것으로 판단되었다.

대장균군은 35°C 에서 48시간 이내에 배양 기간 중 젓당의 발효에 의하여 가스와 산을 생성하는 통성호기성, 그람음성 간균 중의 하나로, 해양, 흙뿐만 아니라 온혈동물의 배설물에서도 발견되고 있는 미생물 중의 하나이다(Hamdan et al., 2008). 이로 인하여 대장균군의 검출은 분변과의 접촉을 암시하여 원료의 안전성 검증에 주로 이용되고 있다. 가공 소재용 냉동굴의 대장균군의 평균 농도 및 범위는 각각 2.0 CFU/g 및 $ND-1.0 \times 10^4$ CFU/g이었고, 분석 검체 30건 중 6건만이 검출되었다. 한편, 냉동굴의 원료 생굴에 대한 대장균군은 나로도 해역의 것이 $<18-5,400$ MPN/100 g 범위(Lee et al., 2018), 남해안 강진만의 것이 $<18-5,400$ MPN/100 g 범위(Shin et al., 2017), 자란만 사랑도 해역의 것이 $<18-790$ MPN/100 g (Kwon et al., 2019), 고성만의 것이 $<18-13,000$ MPN/100 g (Lee et al., 2016), 브라질에서 생산한 굴이 생산지에서 $<3-1,100$ MPN/g 범위, 판매지에서 $<3-1,100$ MPN/g 범위(Pereira et al., 2006), 냉장 봉지굴 및 냉동굴의 가공공정 중 각각 20-1,300 MPN/100 g 범위 및 130-35,000 MPN/100 g 범위(Kwon et al., 2017), 이들의 유통 중 각각 20-470 MPN/100 g 및 130-790 MPN/100 g (Kim et al., 2018)이었다고 보고한 바가 있다. 한편, 냉동굴의 대장균군에 대한 기준 규격은 국내는 물론이고, 미국, 캐나다, EU, 일본, 중국, 태국, 베트남, CODEX 등에서도 제시되어 있지 않다. 이상의 결과로 미루어 보아 본 연구에서 검토된 시판 냉동굴의 오염 정도는 타 연구자들의 검체 범위 내에 있는 것으로 판단되었다.

대장균은 패류의 위생안전성을 확보하기 위한 대표적인 지표 미생물이고, 이로 인하여 국내외 여러 나라 및 기관에서 기준 규격으로 제시하고 있다(Kwon et al., 2019). 가공 소재용 냉동굴의 대장균 농도는 불검출되었다. 또한, 굴의 대장균 농도는 자란만 사랑도의 것이 $<20-170$ MPN/100 g (Kwon et al., 2019), 강진만의 것이 $<20-80$ MPN/100 g 범위(Shin et al., 2017), 경남

가막만의 것이 $<18-220$ MPN/100 g (Ha et al., 2017), 경남 한산·거제만의 것이 $<18-230$ MPN/100 g 범위(Ha et al., 2018), 유통 중의 것이 각각 $<18-40$ MPN/100 g 및 $<18-45$ MPN/100 g이었다(Kim et al., 2018). 한편, 냉동굴의 대장균에 대한 기준 규격은 국내의 경우 $n=5, c=2, m=0, M=10$ CFU/g, 캐나다의 경우 $n=5, c=1, m=230/100$ g, $M=330/100$ g/ $n=5, c=2, m=4/g, M=40/g$, CODEX의 경우 $n=5, c=1, m=230, M=700$ MPN/100 g, 베트남의 경우 10^2 CFU/g으로 제시되어 있고, 미국, EU, 일본, 중국, 태국 등에서도 제시되어 있지 않다. 따라서, 냉동굴의 국내의 기준 규격으로 미루어 보아 본 연구에서 검체로 사용한 시판 냉동굴은 모두 국내의 모든 기준을 충족하고 있을 뿐만 아니라, 분석 방법에서 차이가 있어 구체적으로 언급하기에는 곤란한 면이 있으나, 대체로 Kwon et al. (2017)의 대장균 농도 및 생식용 굴의 국내 기준 규격($n=5, c=1, m=230, M=700$ MPN/100 g)에 비하여도 낮으리라 추정되었다.

이상의 본 연구에서 검체로 사용한 시판 냉동굴 30건에 대한 위생지표세균(일반세균수, 대장균군, 대장균)의 결과로 미루어 보아 국내 시판 냉동굴은 생식용 굴의 국내의 일반세균수(식품공전 $n=5, c=2, m=10^5, M=5.0 \times 10^5$ CFU/g) 및 대장균 기준 규격(식품공전 불검출, 캐나다 230 MPN/100 g 이하, CODEX의 경우 230 MPN/100 g 이하, 베트남 10^2 CFU/g)을 만족하고 있어, 위생지표세균이 국내의 모든 기준 규격 내에 있어 미생물학적 위생 면에서 안전하다고 판단되었다.

가공 소재용 냉동굴의 식중독균[*S. aureus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, EHEC 및 *Cl. perfringens*] 중 *S. aureus*와 *Cl. perfringens*의 경우 불검출이었고, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus* 및 EHEC의 경우 음성이었다. 한편, Kwon et al. (2017)은 냉동굴 가공공장 3곳(A, B 및 C)에서 가공 중 식중독세균[*S. aureus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus* 및 EHEC] 5종을 수확 직후와 최종 제품에 대하여 조사하였고, 그 결과는 1) 수확 직후의 경우 *S. aureus*와 *V. parahaemolyticus*가 모두 <1.18 log CFU/g, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes* 및 EHEC가 모두 불검출이었고, 2) 최종 제품의 경우 *S. aureus*가 $<1.18-2.57$ log CFU/g 범위, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes* 및 EHEC가 모두 불검출, *V. parahaemolyticus*가 모두 <1.18 log CFU/g이었다고 보고하였다. 그리고, Kim et al. (2018)은 시판 냉동굴 14건에 대하여 식중독세균을 조사한 결과 *S. aureus*가 1.7-2.7 log CFU/g이었고, 나머지 4종의 식중독세균[*Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus* 및 EHEC]이 모두 불검출되었다고 보고한 바가 있다. 한편, 냉동굴의 식중독세균에 대한 기준 규격은 미국의 경우 *S. aureus* 10^4 MPN/100 g으로, 캐나다의 경우 *Staphylococcus aureus* $n=5, c=2, m=10^3$ CFU/g, $M=10^4$ CFU/g, *Salmonella* spp. 음성, *Clostridium perfringens* $n=5, c=0, m=10^2$ CFU/g으로, CODEX의 경우 *Salmonella* spp. 음성, 베트남의 경우

S. aureus, *V. parahaemolyticus* 및 *Cl. perfringens* 모두 10^2 CFU/g, *Salmonella* spp. 음성으로, EU의 경우 *Salmonella* spp. $n=5, c=0, m=0/25$ g으로 제시되어 있고, 국내, CODEX, 중국, 일본, 태국의 경우 제시되어 있지 않다. 따라서, 식중독세균 6종의 실험 결과로 미루어 보아 본 연구에서 검체로 사용한 30종의 냉동굴은 생식용의 봉지굴에 준하는 식품위생학적 기준 규격을 갖추어 위생관리가 철저하게 진행된 것으로 추정되었다.

이상의 위생지표세균과 식중독세균에 대한 결과, 그리고 기준 규격 등에 대한 적용 결과 등으로 미루어 보아 본 연구에서 수거한 냉동굴 30종은 위생적으로 모두 안전하게 가공되고 있거나 유통되고 있어 국내용 또는 수출용 굴가공품의 원료로 이용하여도 미생물학적 안정성 면에서 전혀 문제가 없으리라 추정되었다.

화학적 위생 특성

냉동굴의 화학적 특성을 조사하기 위하여 이들의 벤조피렌 [benzo(a)pyrene], 패류독소(마비성 패류독소 및 설사성 패류독소), 중금속(총수은, 납, 카드뮴) 및 방사능(^{131}I 및 $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$)의 농도는 Table 2와 같다. Benzo(a)pyrene은 화석 연료 또는 식물 등의 유기물이 불완전 연소과정에서 생성되는 벤젠 고리 다섯 개가 결합된 다환방향족탄화수소의 한 종류로, 인체에 축적되는 경우 잔류기간이 길고, 각종 암과 돌연변이를 유발하는 환경오염물질이다(Jeong et al., 2010). 이로 인하여 국제암연구소 [IARC (International Agency for Research on Cancer), 2017]는 Benzo(a)pyrene을 Group 1의 확인된 인체발암물질(carcinogenic to humans)로 제시하고 있다. 벤조피렌은 오염된 환경에 노출된 신선 어패류 등에도 검출 될 수 있을 물질이어서 냉동굴에 대하여 분석한 결과 불검출로 확인되었다. 한편, 타연구자들은 굴의 benzo(a)pyrene 농도가 국내 유류 오염지역에서 채취한 것이 $0.57 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Jeong et al., 2010), 스코틀랜드 해역에서 채취한 5건이 $0.4\text{--}1.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ 범위(McIntosh et al., 2006), 경상남도 창원시, 통영시, 남해군, 전라남도 고흥군, 전라남도 여수시 연안 소재 양식장에서 채취한 것이 $0.280\text{--}0.880 \mu\text{g}/\text{kg}$

범위(Park et al., 2017), 국내 7개 지자체에서 수거한 것이 불검출(MFDS, 2009), 대형소비마트에서 수거한 것이 $2.592 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Shin, 2010)이었다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 굴의 benzo(a)pyrene 함량은 식품의약품안전처(MFDS, 2009)의 결과와 동일하였고, 기타 연구자(McIntosh et al., 2006; Jeong et al., 2010; Shin, 2010; Park et al., 2017)의 결과에 비하여 낮았다. 패류의 benzo(a)pyrene에 대한 기준 규격은 국내의 경우 $10.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 로 제시되어 있으나, 미국, 캐나다, 중국, 일본, CODEX, 태국, 베트남, EU 등과 같은 국외 기준은 아직 제시가 되어 있지 않다. 이상의 굴에 대한 benzo(a)pyrene 분석 결과를 국내 외 패류의 benzo(a)pyrene 기준 규격에 적용하였을 때 이를 초과하는 것이 없어 식품위생 측면에서 안전하다고 판단되었다.

패류독소는 패류가 유독성 플랑크톤을 먹이로 하고, 여과 섭식을 하여 체내 축적되는 성분으로 사람이 이를 섭취하였을 때 식중독 증상을 일으키는 성분을 총칭하여 일컫는 것이다(Lee et al., 2017a). 이들 패류독소는 크게 치사율이 높은 신경성 급성독인 마비성 패류독(paralytic shellfish poison, PSP), 설사성 패류독(diarrhetic shellfish poison, DSP), 기억상실성 패류독(amic shellfish poison, ASP), 신경성 패류독(neurotoxic shellfish poison, NSP) 등이 알려져 있다(Tamao, 1983; Cho et al., 2012; Park et al., 2017). 이들 패류독소 중 흔히 발생하는 패류독소는 *Alexandrium* sp., *Gymnodinium* sp., *Pyrodinium* sp. 등과 같은 식물성 플랑크톤인 편모조류가 생산하는 마비성 패류독소(Hall et al., 1990; Bricelj and Shumway, 1998)와 설사성 패류독소이다. 이러한 일면에서 본 연구에서 검체로 사용한 냉동굴의 마비성 패류독소와 설사성 패류독소는 모두 불검출이었다. 한편, 타 연구자들의 굴에 대한 마비성 패류독소와 설사성 패류독소에 대한 분석 결과는 다음과 같다. 즉, Ha et al. (2017)은 2012년부터 2016년까지 가막만 해역산 굴 77건 중 각각 모든 검체에서 불검출 및 1건 검출(okadaic acid $22 \mu\text{g}/\text{kg}$)로, Shin et al. (2017)은 남해안 강진면에서 1-6월에 생산한 굴 25건 중, 그리고, Lee et al. (2018)은 고흥 나로도 해역산 굴 24건 중 2종의 독소가 모두 불검출로 나타났다고 보고한 바가 있다. 또한, Kim et al. (2012)은 시판 굴 28종을 분석하여 2건에서 설사성 패류독소(okadaic acid)가 검출($0.001\text{--}0.004 \mu\text{g}/\text{g}$ 범위)되었다(Kim et al., 2012)고 보고한 바가 있고, Park et al. (2000)은 마비성 패류독소 출현시기는 경남 진해산 굴의 경우 2월부터 시작하여 4월 중순에 최성기를, 그리고, 6월에 완전히 소멸된다고 보고하였다. 한편, 패류의 마비성 및 설사성 패류독소에 대한 국내외 및 기관의 기준 규격은 국내, 미국, CODEX가 각각 $0.8 \text{ mg}/\text{kg}$ 및 $0.16 \text{ mg}/\text{kg}$ 으로, 캐나다가 각각 $0.8 \text{ mg}/\text{kg}$ 및 $0.2 \text{ mg}/\text{kg}$ 으로, 중국 및 일본이 각각 $4 \text{ MU}/\text{g}$ 및 $0.05 \text{ MU}/\text{g}$, 태국이 모두 미제시, 베트남이 각각 $0.8 \text{ mg}/\text{kg}$ 및 음성, EU가 각각 $0.8 \text{ mg}/\text{kg}$ 및 $0.16 \text{ (OA+DTW+PTX, Azaspiracids) mg}/\text{kg}$; $1 \text{ (Yessotoxin) mg}/\text{kg}$ 등으로 제시하고 있다. 따라서, 본 연구에

Table 2. Results on the biological sanitation properties of frozen oyster *Crassostrea gigas*

Chemical property	n	Mean (Range)	
Benzo(a)pyrene ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	30	ND ¹	
Shellfish poison toxin (mg/kg)	Paralytic	30	ND
	Diarrhetic	30	ND
Heavy metal (mg/kg)	Pb	30	0.124 ± 0.025 (ND-0.393)
	Cd	30	0.255 ± 0.006 (0.021-0.597)
	Total Hg	30	0.007 ± 0.003 (ND-0.030)
Rasioactivity (Bq/kg)	^{131}I	30	ND
	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$	30	ND

¹ND, Not detected.

서 검체로 사용한 냉동굴은 원료굴이 마비성 패류독소와 설사성 패류독소가 생성되지 않은 것으로 제조하여 국내외 기준 규격에 모두 적합한 것으로 나타났다.

패류는 육상과 바다의 여러 가지 오염원에 오염된 해양 플랑크톤을 여과섭취 활동으로 섭취하는 경우 생체 내 단백질과 강한 결합을 이루어 배출이 쉽지 않아 생물농축(bioaccumulation) 과정이 이루어진다(Mason et al., 1995; Kim et al., 2003). 중금속은 저농도에서도 생체 독성을 나타내는 유독성 미량 원소들로, 대표적인 것으로는 수은, 납, 카드뮴 등이 있다. 수은은 장기 노출되면 뇌, 척수 등과 같은 중추신경계에 축적되어 신경 장애를 일으키며, 신장과 임신에 악영향을 미칠 수 있고(Choi, 2011), 납은 신경 장애와 헤모글로빈(hemoglobin)에 의한 빈혈을 유발하며(WHO, 1997), 카드뮴은 이타이이타이병으로 잘 알려진 중금속으로 주로 신장 독성을 일으키고, 비장의 기능 장애, 고혈압, 간장 손실, 폐 손상, 기형 발생 및 뼈 손상 등을 일으킨다(Chung et al., 2000). 본 연구에서 검체로 사용한 냉동굴의 중금속의 농도 및 범위는 총수은의 경우 각각 0.007 ± 0.003 mg/kg 및 불검출- 0.030 mg/kg이었고, 납의 경우 각각 0.124 ± 0.025 mg/kg 및 불검출- 0.393 mg/kg이었으며, 카드뮴의 경우 각각 0.255 ± 0.006 mg/kg 및 0.021 - 0.597 mg/kg이었다. 한편, 굴의 중금속 함량 범위와 평균에 대하여 Kim et al. (2003)은 우리나라 남해안 11개 패류 양식장(진동 2곳, 하청 3곳, 원문 4곳, 어구 5곳, 내간 6곳, 추봉 7곳, 북만 9곳, 자란도 10곳, 돌산 16곳, 화양 17곳, 고흥 18곳)에서 채취한 72건이 총수은의 경우 각각 0.008 mg/kg 및 0.004 - 0.015 mg/kg, 납의 경우 각각 0.220 mg/kg 및 흔적량- 0.864 mg/kg, 카드뮴의 경우 각각 0.519 mg/kg 및 0.030 - 1.198 mg/kg으로, Mok et al. (2014)은 시판 국내산 11건이 총수은의 경우 각각 0.014 ± 0.003 mg/kg 및 0.010 - 0.021 mg/kg, 납의 경우 각각 0.117 ± 0.066 mg/kg 0.018 - 0.201 mg/kg, 카드뮴의 경우 0.600 ± 0.0156 mg/kg 및 0.397 - 0.951 mg/kg으로, Park et al. (2017)은 시판 생굴 58-75건이 총수은의 경우 0.021 ± 0.023 mg/kg 및 불검출- 0.239 mg/kg, 납의 경우 0.156 ± 0.195 mg/kg 및 불검출- 1.091 mg/kg, 카드뮴의 경우 0.352 ± 0.259 mg/kg 및 불검출- 0.968 mg/kg으로, Chouvelon et al. (2009)은 프랑스의 New Caledonia에서 채취한 5건이 각각 총수은의 경우 0.111 ± 0.015 mg/kg 및 0.092 - 0.105 mg/kg, da Silva Carneiro et al. (2013)은 브라질 Silva Sepetiba만에서 채취한 86건의 총수은이 각각 0.052 ± 0.025 mg/kg 및 0.01 - 0.09 mg/kg으로 보고한 바가 있다. 따라서, 본 연구에서 검체로 검토한 냉동굴의 총수은 함량은 Kim et al. (2003)의 우리나라 남해안 11개 패류 양식장에서 채취한 굴, Mok et al. (2014)의 시판 국내산 11건 굴, da Silva Carneiro et al. (2013)의 브라질 Silva Sepetiba 만에서 채취한 86건 보다 높았으나, Park et al. (2017)의 시판 생굴 58-75건과 Chouvelon et al. (2009)의 프랑스 New Caledonia에서 채취한 5건에 비하여 낮았다. 본 연구에서 검체로 검토한 냉동굴의 납 함량은 Kim et al. (2003)의

우리나라 남해안 11개 패류 양식장에서 채취한 굴, Park et al. (2017)의 시판 생굴 58-75건보다 낮았으나, Mok et al. (2014)의 시판 국내산 11건 굴보다 높았다. 또한, 본 연구에서 검체로 검토한 냉동굴의 카드뮴 함량은 Kim et al. (2003)의 우리나라 남해안 11개 패류 양식장에서 채취한 굴, Mok et al. (2014)의 시판 국내산 11건 굴, Park et al. (2017)의 시판 생굴 58-75건보다 낮았다. 한편, 굴의 중금속에 대한 국내외 기준 규격은 국내(식품공전)의 경우 총수은 0.5 mg/kg, 납과 카드뮴 모두 2.0 mg/kg, 미국의 경우 메틸수은 1.0 mg/kg, 중국의 경우 납 1.5 mg/kg, 카드뮴(내장 제거에 한함) 2.0 mg/kg, 메틸수은과 무기비소 모두 0.5 mg/kg, 크롬 2.0 mg/kg으로, 일본의 경우 총수은 0.4 mg/kg 및 메틸수은 0.3 mg/kg, 베트남의 경우 총수은 0.5 mg/kg, 납 1.5 mg/kg, 카드뮴 1.0 mg/kg으로, 태국의 경우 총수은 0.5 mg/kg, 납 1.0 mg/kg, 무기비소 2.0 mg/kg, 주석 250 mg/kg, 구리 20 mg/kg, 아연 100 mg/kg, EU의 경우 납 1.5 mg/kg, 카드뮴 1.0 mg/kg, 캐나다와 CODEX의 경우 어떤 것도 제시되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서 검체로 검토한 냉동굴은 총수은, 납 및 카드뮴과 같은 중금속에 대한 위생 안전성이 확보되어 있다고 판단되었다.

냉동굴에 대하여 방사능을 측정한 결과 모두 불검출로 나타났다. 한편, Park et al. (2017)은 시판 생굴 29건에 대하여 방사능을 측정한 결과 모두 불검출로 나타났다. 굴의 방사능에 대한 국내외 기준 규격은 $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 와 ^{131}I 가 국내의 경우 모두 100 Bq/kg, 중국의 경우 각각 800 Bq/kg 및 470 Bq/kg, EU의 경우 각각 $1,250$ Bq/kg 및 $2,000$ Bq/kg, 베트남과 CODEX의 경우 각각 $1,000$ Bq/kg 및 100 Bq/kg으로 설정되어 있고, 미국의 경우 $1,200$ Bq/kg 및 170 Bq/kg, 캐나다의 경우 모두 $1,000$ Bq/kg, EU의 경우 각각 $1,250$ Bq/kg 및 $2,000$ Bq/kg이었다. 따라서, 본 연구에서 검체로 사용한 냉동굴 29건은 방사능($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 와 ^{131}I)에 대한 국내외 기준 규격에 모두 적합하여 방사능에 대한 위생 안전성이 확보되어 있다고 판단되었다.

하지만, 일반적으로 단순가공 패류에 해당하는 냉동굴은 원료 단계에서 오염된 경우 제조 공정 중 벤조피렌[benzo(a)pyrene], 패류독소(마비성 패류독소 및 설사성 패류독소), 중금속(총수은, 납, 카드뮴, 무기비소) 및 방사능(^{131}I , $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) 등의 제거가 불가능하여 원료 입고 단계에서 철저한 관리가 필요하다고 판단되었다.

사 사

이 논문은 2020년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(대일 검사강화조치 대응 수출시장 다변화 수산식품 개발).

References

Bricelj VM and Shumway SE. 1998. Paralytic shellfish tox-

- ins in bivalve molluscs: Occurrence, transfer kinetics and biotransformation. *Rev Fish Sci* 6, 315-383. <https://doi.org/10.1080/10641269891314294>.
- Cho SD, Lee SH, Yoon EK and Kim GH. 2012. Safe intake methods of meat and fish and shellfish. *Safe Food* 7, 9-14.
- Choi EH. 2011. A study on heavy metal contents in various foods consumed in Ulsan. M.S. thesis, Ulsan University, Ulsan, Korea.
- Chouvelon T, Wammnau M, Churlaud C and Bustamante P. 2009. Hg concentrations and related risk assessment in coral reef crustaceans, molluscs and fish from New Caledonia. *Environ Pollut* 157, 331-340. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.06.027>.
- Chung AH, Kim D J, Jang M R, Yoon YT, Kim JG and Kim MH. 2000. Contents of the trace metals in the grain and beans. *Report of Seoul Instit Health Environ*, 35, 159-166.
- da Silva Carneiro C, Marsico ET, de Oliveria R, Ribeiro R and de Jesus EFO. 2013. Total mercury bioaccumulation in tissue of carnivorous fish (*Micropogonias furnieri* and *Cynoscion acoupa*) and oyster *Crassostrea brasiliiana* from Sepetiba Bay, Brazil. *J Aquat Food Prod Technol* 22, 96-102. <https://doi.org/10.1080/10498850.2011.627007>.
- Ha KS, Lee KJ, Jeong YJ, Mok JS, Kim PH, Kim YK, Lee HJ, Kim DW and Son KT. 2018. Evaluation of sanitary safety for shellfish in Hansan Geojeman, Korea. *J Food Hyg Saf* 33, 404-411. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2018.33.5.404>.
- Ha KS, Shin SB, Lee KJ, Jeong SH, OH EG, Lee HJ, Kim DW and Kim YK. 2017. Evaluation of the bacteriological and toxicological safety for the shellfish growing area in the Kamakman Area, Korea. *J Food Hyg Saf* 32, 542-549. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2017.32.6.542>.
- Hall S, Strichartz G, Moczydlowski E, Ravindran A and Reichardt PB. 1990. The saxitoxins: sources, chemistry and pharmacology. In: *Marine toxins*. Hall S and Strichartz G, eds. American Chemical Society, Washington D.C., U.S.A., 29-65.
- Mallin MA, Ensign SH, McIver MR, Shank GC and Fowler PK. 2001. Demographic, landscape, and meteorological factors controlling the microbial pollution of coastal waters. *Hydrobiologia* 460, 185-193.
- Ham HJ. 2002. Distribution of Hazardous Heavy Metals(Hg Cd and Pb) in Fishery Products, sold at Garak Wholesale Markets in Seoul. *J Fd Hyg Saf* 17, 146-151.
- Hamadan RH, Musa N, Musa N, Wei LS and Sarman A. 2008. Isolation and enumeration of coliform bacteria and *Salmonella* spp. from short necked clam *Orbicularia orbiculata* at East Coast, Malaysia. *Internet J Food Saf* 10, 58-64.
- Hold GL, Smith EA, Rappe MS, Maas EW, Moore ERB, Stroppl C, Stephen JR, Prosser JL, Brikbeck TH and Gallacher S. 2001. Characterisation of bacterial communities associated with toxic and non-toxic dinoflagellates-*Alexandrium* spp. and *Scrippsiella trochoidea*- . *FEMS Microbiol Ecol* 37, 161-173. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2001.tb00864.x>
- Hunter C, Perkins J, Tranter J and Gunn J. 1999. Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire Peak District in the UK. *Water Res* 33, 3577-3586. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00083-4).
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 2017. benzo[a]pyren. Retrieved from <http://www.Iarc.fr/index.php> on Feb 12, 2020.
- Jang JH, Kim BY, Lee JB, Yun SM and Lee JS. 2005. Monitoring of paralytic shellfish poison by highly sensitive HPLC from commercial shellfishes and sea squirts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34, 915-923. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.6.915>.
- Jeong JY, Choi CW, Ryeom TK, Cho KH, Park SR, Shin HS, Lee KH and Lee HM. 2010. Analysis and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seafood from oil contaminated bay. *Anal Sci Technol* 23, 187-195. <https://doi.org/10.5806/AST.2010.23.2.187>.
- Kim HJ, Lee DS, Lee JM, Kim YM and Shin IS. 2018. Bacteriological hazard analysis in minimally processed shellfish products purchased from Korean seafood retail outlets. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 121-126.
- Kim JH, Lim CW, Kim PJ and Park JH. 2003. Heavy metals in shellfishes around the south coast of Korea. *J Fd Hyg Saf* 18, 125-132.
- Kim KH. 2014. Concentration and risk assessment of heavy metal in mainly consumed fishes. M.S. Thesis, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea, 23-58.
- Kim SU, Yuk DH, Park YA, Kim JA, Park AS and Kim YC. 2012. Analysis of diarrhetic shellfish poisoning toxins by liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. *Korean J Food Sci Technol* 44, 390-392.
- Kwon JY, Kwon SJ, Yang JH, Mok JS, Jeong SH, Ha KS, Lee HJ and Jeong YJ. 2019. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolated from oysters *Crassostrea gigas* and major inland pollution sources in the Jaranman-Saryangdo Area in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 605-616.
- Kwon K, Ryu DG, Jeong MC, Kang EH, Shin IS and Kim YM. 2017. Microbiological and physicochemical hazard analysis in processing process of simple-processed shellfish products. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 352-358.
- Lee JH, Shin SB, Jeong SH, Ha KS, Lee KJ, Son KT and Lim CW. 2018. Assessment of sanitary safety of the oyster *Crassostrea gigas* and short neck clam *Ruditapes philippinarum* in Narodo Area, Korea. *Korean J Malacol* 34, 241-249.
- Lee KJ, Kwon SJ, Jung YI, Son KT, Ha KS, Mok JS and Kim JH. 2017a. Comparison of analytical methods for the detection of paralytic shellfish toxins (PSTs). *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 669-674.
- Lee SJ, Jeong WG, Koo JH and Kwon JN. 2016. Sanitary char-

- acteristics of seawater and oyster *Crassostrea gigas* in Gosung Bay, Korea. Korean J Malacol 32, 157-164.
- Mason RP, Reinfelder JR and Morel FM. 1995. Bioaccumulation of mercury and methylmercury. Water Air Soil Poll 80, 1573-2932.
- McIntosh AD, Craig AE, Russell M, Webster L, Phillips LA, Dalgarno EJ, Devalla S, Robinson CD and Davies IM. 2006. Collection and analysis of shellfish flesh from Scottish inshore and of offshore harvesting areas for chemical contaminants. Fisheries Research Services Contract Report No. 16/06, 1-36.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2009. Monitoring of PAHs contents in marine products. Retrieved from <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResult-Detail.do?cn=TRKO201000012755> on Feb 12, 2020.
- MFDS (Ministry of Food and Drug safety). 2020. Korean Food Code. chapter 8. General analytical method. Retrieved from http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_02.jsp?idx=263 on Jul 28, 2020.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2020. Fisheries statistics. Retrieved from <https://www.fips.go.kr/p/S020304/#> on Apr 22, 2020
- Mok JS, Lee TS, Kim PH, Lee HJ, Ha KS, Shim KB and Lee KJ. 2016. Bacteriological quality evaluation of seawater and oysters from the Hansan-Geojeman in Korea, 2011-2013: impact of inland pollution sources. SpringerPlus 5, 6-15.
- Mok JS, Kwon JY, Son KT, Choi WS, Kang SR, Ha NY, Jo MR and Kim JH. 2014. Contents and risk assessment of heavy metals in marine invertebrates from Korean coastal fish markets. J Food Prot 77, 1022-1030.
- Park KBW, Jo MR, Kwon JY, Son KT, Lee DS and Lee HJ. 2010. Evaluation of the bacteriological safety of the shellfish-growing area in Gangjinman, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 43, 614-622.
- Park MJ, Lee HJ, Lee TS, Son KT, Byun HS, Park JH and Jang DS. 2000. Comparison of paralytic shellfish poison contents and components in the different bivalve species. J Fd Hyg Saf 15, 293-296.
- Park SY, Lee KD, Lee JS, Heu MS, Lee TG and Kim JS. 2017. Chemical and biological properties on sanitary of cultured oyster *Crassostrea gigas* intended for raw consumption or use in seafood products. Korean J Fish Aquat Sci 50, 335-342.
- Park YH, Chang DS and Kim SB. 1995. Processing and utilization of seafoods. Hyungsul Publishing Co., Seoul, Korea, 73-79, 685-725.
- Pereira MA, Nunes MM, Nuernberg L, Schulz D and Batista CRV. 2006. Microbiological quality of oyster *Crassostrea gigas* produced and commercialized in the coastal region of Florianopolis-Brazil. Brazilian J Microbiol 37, 159-163.
- Rippey SR. 1994. Infectious diseases associated with molluscan shellfish consumption. Clin Microbiol Rev 7, 419-425.
- Shin HS. 2010. Improvement of analytical method for benzo[a]pyrene in foods and study on monitoring and exposure. Retrieved from <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201100007654> on Mar 2, 2017.
- Shin SB, Ha KS, Lee KJ, Jeong SH, Lee JH, Oh EG, Kim YK and Lee HJ. 2017. Assessment of sanitary safety of the oyster *Crassostrea gigas*, short neck clam *Ruditapes philippinarum* and small ark shell *Scapharca subcrenata* in Gangjin bay, Korea. Korean J Malacol 33, 275-283.
- Sho YS, Kim JS, Chung SY, Kim MH and Hong MK. 2000. Trace metal contents in fishes and shellfishes and their safety evaluations. J Korean Soc Food Sci Nutr 29, 549-554.
- Tamao N. 1983. Shellfish toxins. Hygienic Chem 29, 10-25.
- WHO (World Health Organization). 1997. Environmental health criteria 3 - Lead. 44-54.