국내 미관리 주요 해양생물독소 5종에 대한 제외국 관리기준 및 검출사례

Current status of international management criteria and monitoring of five marine biotoxins

이희석*, 최돈규, 이지현, 최창순, 박기환

Hee-Seok Lee*, Don Kyu Choi, Jihyun Lee, Changsun Choi, Ki-Hwan Park

중앙대학교 생명공학대학 식품공학부

School of Food Science and Technology, Chung-Ang University

1. 서론

해양생물독소는 일반적인 해양 환경에서 정상적으로 성장 중인 생물체가 생산하는 자연독소로 기후변화에 비교적 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적 예로 지금까지 해양생물독소 발생 사례가 전무했던 국가에서 온난화로 인한 해수 온도 상승 등에 따른 새로운 유독 플랑크톤의 토착화와 함께 이들에 의해 생성되어지는 해양생물독소의 분포 범위가 확산되는 등 기후변화는 해양생물독소의 출연 지역의 변화에 크게 기여하고 있다. 한반도 역시도 지구온난화로 인한 해수 온도의 상승으로 인해 아열대성 및 신종 해양 생물체의 출현과 해양생물독소의 검출 빈도 증가 및 지역이 확대되고 있는 추세이다. 최근 유엔 식량농업기구(FAO)는 기후 변화에 따른 해양생물독소 등의 검출 빈도 및 지역의 확대 변화는 국제사회의 관심이 시급한 이슈임을 보고하였다(FAO, 2020).

이러한 신종 해양생물독소의 국내 출현 및 유입 가능성의 증가는 국내 수산물 시장의 사회 · 경제적 손실은 물론 수산식품 안전에 큰 위협이 되고 있다. 따라서, 해양생물독소로부터 우리 국민의 안전을 확보하고, 사전예방적 안전관리 체계 구축을 위해 우리나라에서는 현재 규제하고 있지 않지만 FAO, CODEX, 유럽연합, 미국, 캐나다, 및 호주 · 뉴질랜드에서 기준을 설정하고 관리 중인 5가지 해양생물독소(예소톡신, 펙테노톡신, 아자스피로산, 브레베톡신, 시구아톡신)의 규제 현황 및 각국 정부에서 수행한 모니터링 중 검출사례에 대해 살펴보고자 한다.

2. 독소별 특징

2.1. 예소톡신(Yessotoxin)

예소톡신은 와편모조류인 *Protoceratium reticulatum* 등에 의해 생산되는 독소로, 2개의 황산 에스테르와 1개의 불포화 곁사슬기, 11개의 교차접합 고리를 가진 열에 안정한 폴리에스터 화합물이며, 설사성 패류독소에 속하지만 설사를 유발하지는 않는다. 예소톡신의 인체 중독에 관한 역학 데이터는 존재하지 않는다(EFSA, 2009)

* Correspondence to: Hee-Seok Lee
Department of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Republic of Korea
Tel: +82-31-670-3258 Fax: +82-31-670-3108 E-mail: hslee0515@cau.ac.kr

2.2. 펙테노톡신(Pectenotoxin)

펙테노톡신은 *Dinophysis* spp. 등 여러 와편모조류에 의해 생산되는 패류독소로 거대고리형 폴리에테르 지용성 화합물이다. 강염기 조건에서 쉽게 파괴되며, 설사성패류독소에 속하지만 설사를 유발하지 않는 것이 특징이다. 이 독소는 호주, 이탈리아, 일본, 뉴질랜드, 노르웨이, 포르투갈, 스페인에서 미세조류와 가리비, 홍합 등 이매패류에 발견되고 있다. 인체에 유해하다는 근거는 없다(FAO/IOC/WHO, 2004; Munday, 2017).

2.3. 아자스피로산(Azaspirocid)

아자스피로산은 와편모조류인 *Protoperidinium crassipes*와 *Azadinium spinosum*에 의해 생산되는 독소로 지방족 카르복시산과 고유의 트리 스피로 집합체, 헤테로사이클릭 아민으로 구성된 폴리에테르 화합물이다. 원인 생물은 *Protoperidinium* spp.으로 알려져 있으며, 굴, 가리비, 바지락, 꼬막, 맛조개 등에서 검출되고 있다. 중독 시 설사를 유발하는 것으로 알려져 있다. 현재까지 규명된 아자스피로산 이성질체는 30여 종으로 그중 주된 독성을 가진 것은 AZA-1, AZA-2, AZA-3이다.

2.4. 브레베톡신(Brevitoxin)

브레베톡신은 신경성패류독소(NSP)로 10-11개 교차접합 고리로 구성된 지용성의 폴리에테르 화합물로, 열과 산에 안정하다. 주요 원인 생물은 *Karenia* spp.(*K. brevis* 등)이며, 이 외에 *Chattonella* spp.와 *Heterosigma akashiwo*도 원인 생물로 보고되고 있다.

2.5. 시구아톡신(Ciguatoxin)

시구아톡신은 주로 열대와 아열대 지역에서 발견되는 와편모조류 *Gambierdiscus toxicus*와 *Fukuyoa* spp.에 의해 생산되는 독소이다. 시구아톡신은 사다리 형태의 구조로 13-14개의 접합 고리를 가진 지용성 폴리에테르 화합물이다. 가열이나 냉동, 산 또는 염기 조건에 안정하며 독성을 유지한다. 시구아톡신은 시구아테라(Ciguatera)를 일으키는데 시구아테라 중독의 지리적 분포는 위도 북위 35도에서 남위 35도에 해당하는 태평양과 인도양, 카리브해에 흔한 것으로 알려져 있지만, 최근 카나리아 제도, 지중해 동쪽, 멕시코 만 서쪽이 새로운 위험지역으로 부상해 시구아테라 독소 중독의 지리적 분포와 발생 범위가 확대되고 있다. 시구아테라와 관련된 어류는 바리과, 전갱잇과, 놀래기과 등 425종이 보고되어 있다.

3. 제외국 관리기준

전반적으로 해외에서 설사성패류독소는 오카다익산(OA)과 다이노파이시스톡신(DTX) 및 그 이성질체에 대하여 기준을 마련하고 있으며, 그 외 주요 설사성패류독소인 펙테노톡신과 예소톡신은 국가별 독소 출현 여부에 따라 포함하여 설정하고 있다.

예소톡신은 유럽이 유일하게 활이미패류 전체 또는 모든 가식 부위 각각에 대하여 3.75 mg/kg(YTX, 45 OH YTX, homo YTX 및 45 OH homo YTX)로 설정하고 있다. 예소톡신 기준 미설정국가인 미국은 펙테노톡신과 마찬가지로 연체패류와 플랑크톤에서 추가적으로 확인되는 독소로만 언급하고 있다.

펙테노톡신의 경우, 유럽과 뉴질랜드에서 오카다익산 OA 및 DTX와 함께 설사성패류독소에 포함하여 기준을 마련하고 있다. 특이적으로 캐나다는 펙테노톡신에 대한 기준을 단독으로 설정하고 있다. 펙테노톡신 기준 미설정국가인 미국의 경우 수산물 가공업자를 위한 위해요소관리 지침서를 통해 연체패류와 플랑크톤에서 추가적으로 확인되는 독소로 펙테노톡신을 언급하고 있지만, 현재로서는 관리에 대한 어떠한 권고도 하지 않는 입장이다(FDA, 2020). 한편, 뉴질랜드는 펙테노톡신을 설사성패류독소에 포함하고 있는 현 규정의 관리대상에서 이를 삭제하려는 움직임을 보이고 있다. 최근 뉴질랜드 일차산업부(MPI)가 발표한 위해평가보고서에 따르면, 인체 건강에 대한 펙테노톡신의 유해성 근거가 없고(FAO/IOC/WHO, 2004; Munday, 2017), 기준규격을 설정하지 아

니하여도 된다는 CODEX의 권고를 들어 제안 근거를 밝혔다(MPI, 2020). 아일랜드 식품안전청(FSAI)도 이와 유사한 입장이다(FSAI, 2016).

아자스피로산에 대한 기준은 미국과 유럽, 국제식품규격위원회에서 모두 이매패류 중 0.16 mg/kg으로 설정하고 있다.

신경성패류독소인 브레베톡신 기준은 미국과 호주 · 뉴질랜드 그리고 국제식품규격위원회가 설정하고 있다. 미국은 신선, 냉동 또는 캔포장 형태의 조개류, 홍합류, 굴류, 가리비관자에 대해서 0.8 mg/kg (20 MU/100 g)을, 뉴질랜드는 이매패류에 대해 0.8 mg/kg을 설정하고 있다. CODEX의 활이매패류 기준 (CODEX STAN 292-2008)에서는 200 MU/kg을 제시하고 있다.

시구아톡신은 전 세계적으로 흔한 해양독소임에도 불구하고, 기준설정 국가는 미국이 유일하다. 미국은 산호초가 주 서식지인 어류 (Finfish)에 대해 P-CTX-1(Pacific ciguatoxin-1)은 0.01 μg/kg 이하, C-CTX-1(Caribbean ciguatoxin-1)은 0.1 μg/kg 이하로 관리하고 있다. 유럽은 규정 (Regulation (EC) No. 853/2004)에 따라 시구아톡신을 함유한 수산식품은 시장에 출시되어서는 아니 된다고 명시하고 있을 뿐, 구체적 기준이나 분석법에 대한 언급은 없다. 유럽식품안전청(EFSA)은 어류에 함유된 시구아톡신계 독소 함량 수준이 가공에 미치는 영향을 판단할 수 있는 데이터가 충분하지 않다고 밝혔

표 1. 5개 해양생물독소에 대한 제외국 검출 기준

	예소톡신	펙테노톡신	아자스피로산	브레베톡신	시구아톡신
대한민국	–	–	–	–	–
미국	–	–	≦ 0.16 mg/kg: 이매패류	≦ 0.8 mg/kg (20 MU/100 g) 또는 5,000 cells/L: 신선, 냉동 또는 캔포장 형태의 조개류, 홍합류, 굴류, 가리비관자	–Caribbean ciguatoxins: ≦ 0.1 μg/kg C-CTX-1: Finfish (주로 산호초 서식 어류) –Pacific ciguatoxins: ≦ 0.01 μg/kg P-CTX-1: Finfish (주로 산호초 서식 어류)
EU	≦ 3.75 mg/kg: 활이매패류 전체 또는 가식부위	–[1]	≦ 0.16 mg/kg: 이매패류	–	–[2]
CODEX	–	–	≦ 0.16 mg/kg: 이매패류	≦ 200 MU/kg: 활이매패류 전체 또는 가식부위	–
호주	–	–	–	≦ 200 MU/kg: 활이매패류	–
뉴질랜드	–	–[3]		≦ 0.8 mg/kg: 이매패류 가식부위	–
캐나다		– ≦ 0.2 mg/kg: 이매패류 가식부위 – ≦ 1 mg/kg: 이매패류 중장선			

[1] 활이매패류 전체 또는 가식부위 kg당 okadaic acid, dinophysistoxins 및 pectenotoxins 총합이 160 μg

[2] Fishery products containing ciguatoxins must not be placed in the market(출처: 규정 (EC) No. 853/2004)

[3] 설사성패류독소로서 이매패류 가식부위 kg당 okadaic acid, dinophysistoxins (DTX1 및 DTX2) 및 pectenotoxins(PTX1 및 PTX2)의 총합이 0.16 mg (출처: 뉴질랜드 일차산업부 식용 이매패류 관리계획서)

다(EFSA, 2010a).

4. 제외국 검출 사례

5개 해양생물독소에 대해 검출 기준을 설정하여 관리하고 있는 제외국을 대상으로 정부에서 시행한 모니터링 중 해당 해양생물독소의 검출사례에 대해 살펴보았다.

뉴질랜드 일차산업부(MPI)가 발표한 펙테노톡신 리스크 프로파일 자료에 따르면, 2009년에서 2019년 기간 중 주요 펙테노톡신 유사체인 PTX2가 패류 샘플 1.3%에서 검출되었으며, 검출 최대농도치는 0.079 mg/kg 수준이었다(MPI, 2020). 아일랜드의 해양생물독소 현황 조사보고서에 따르면, 2012년과 2013년 기간 중 홍합 (*Mytilus edulis*)과 가리비 (*Pecten maximus*)에서 유럽의 기준을 크게 하회한 펙테노톡신이 검출되었다(FSAI, 2016).

아일랜드 3개년 수산식품 모니터링 결과(2011-2013년)에 따르면 아자스피로산 기준을 초과한 샘플 수는 2011년에 6건(n=1,738), 2012년에 427건(n=2,389), 2013년에 220건(n=2,489)으로 나타났다(FSAI, 2016).

유럽에서의 패류 중 브레베톡신의 검출 사례 및 노출에 따른 관련 증상에 사례에 대해서는 아직까지 보고된 바 없다(EFSA, 2010b).

5. 결론

기후변화에 따른 새로운 유독 플랑크톤의 토착화와 이에 따른 해양생물독소의 검출 범위의 확대에 따라 우리나라 역시도 기존에 출현하지 않았던 5종의 해양생물독소에 대해 더 이상 안전지대라 단정할 수 없을 것이다. 또한, 지속적으로 활발해지는 교역에 따른 수입 수산물에서의 독소 출연 역시도 눈여겨 보고 대응이 필요한 시점이다.

이에, 소개한 5종의 해양생물독소에 대해 시험분석법을 확립하고 수입 수산물로부터의 모니터링을 통해 주요 제외국의 관리기준과 비교하여 그 검출 수준을 평가하고자 한다. 더 나아가, 검출 시료에 대해 모니터링 수준과 해당 수산물의 우리 국민의 섭취량 등을 고려하여 노출 수준에 대한 위해도를 살펴보기 위해 노력하고자 한다.

참고 문헌

1. European Food Safety Authority(EFSA), Marine biotoxins in shellfish – Yessotoxin group Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain (2009)
2. European Food Safety Authority(EFSA), Scientific Opinion on marine biotoxins in shellfish – Emerging toxins: Ciguatoxin group (2010a)
3. European Food Safety Authority(EFSA), Scientific Opinion on marine biotoxins in shellfish – Emerging toxins: Brevetoxin group (2010b)
4. FAO, Climate Change: Unpacking the Burden on Food Safety (2020)
5. FAO/IOC/WHO, Report of the Joint FAO/IOC/WHO ad hoc Expert Consultation on Biotoxins in Bivalve Molluscs. Food and Agriculture Organization of the United Nations: 31 (2004)
6. Food Safety Authority of Ireland(FSAI), The Occurrence of Marine Biotoxins and Risk of Exposure to Seafood Consumers in Ireland (2016)
7. Miles, C.O., Wilkins, A.L., Munday, R., Dines, M.H., Hawkes, A.D., Briggs, L.R., Sandvik, M., Jensen, D.J., Cooney, J.M., Holland, P.T. (Holland, PT); Quilliam, MA (Quilliam, MA); MacKenzie, AL (MacKenzie, AL); Beuzenberg, V. & Towers, N.R., Isolation of pectenotoxin-2 from Dinophysis acuta and its conversion to pectenotoxin-2 seco acid, and preliminary assessment of their acute toxicities. Toxicon, 43(1): 1-9 (2004)
8. Munday, R., Toxicology of seafood toxins: a critical review. pp. 197-290, in: L.M. Botana (ed). Seafood and Freshwater Toxins: Pharmacology, Physiology and Detection, 3rd ed. CRC Press, Boca Ratón, FL, USA. (2014)
9. Munday, R., Toxicology of Seafood Toxins: Animal Studies and Mechanisms of Action. Recent Advances in the Analysis of Marine Toxins 78: 211 (2017)

10. New Zealand Ministry for Primary Industries(MPI), Pectenotoxins in New Zealand bivalve molluscan shellfish, 2009–2019: risk assessment (2020)

11. U.S. Food and Drug Administration(FDA), Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance Fourth Edition (2020)