

해파리 대량발생의 연구동향

정미희 · 윤석현 · 윤원득*

국립수산과학원 수산해양종합정보과/해파리대책반

Research Trends of the Jellyfish Blooms

MI HEE CHUNG, SEOK-HYUN YOUN, AND WON DUK YOON*

National Fisheries Research and Development Institute, Fishery and Ocean Information Division/Jellyfish Monitoring and Countermeasure center

기후변화, 수산자원 남획, 연안 간척 및 방조제 건설 등으로 인한 해양환경 변화는 해파리의 잦은 출현과 대량발생을 유발하고 있으며, 결과적으로 해양생태계 파괴, 수산업붕괴, 행락객 해파리 쏘임사고 발생 등 국가적 규모의 사회경제문제를 야기시키고 있다. 해파리로 인한 피해를 경험한 다수의 국가들은 해파리를 관리하기 위한 방법을 마련하는데 많은 투자를 하고 있을 뿐만 아니라, 더 나아가 해파리를 이용할 수 있는 방법을 모색하고 있다. 우리나라에서는 현재 해파리 대량발생을 막기 위한 생리 생태 연구와 해파리 구제를 중심으로 연구가 진행 중에 있다. 유럽 연합은 해파리 대량발생의 원인과 조절, 통합관리를 위한 연구를 수행중이며, 미국은 한 부처를 지정하여 수산자원 보전 및 보호를 목적으로 해파리를 관리하고 있다. 일본은 부처 및 연구기관의 지정으로 짧은 시간에 많은 분야에서 괄목할만한 성과를 거두었으며, 특히 해파리 이동과 대량발생 예측에 관하여 심도 있는 연구를 진행하고 있다. 본 연구는 이러한 국내외 연구방향을 비교하여 1) 통합연구시스템의 설치와 관리방안 마련, 2) 해파리에 대한 접근 방식의 개선, 3) 적극적인 교육과 정보의 제공이라는 세 가지 정책 방향을 제시하였다. 본 연구 결과는 해파리뿐만 아니라 기타 유해해양생물의 정책적 대처 방안에도 기본적으로 필요한 대안이 될 수 있을 것으로 기대해 본다.

The frequency and abundance of jellyfish, presumably related with climate change, fisheries overexploitation, marine pollution including land reclamation and dyke construction, are increasing worldwide. This feature has attracted interest and concerns from general public and public officials, and government is seeking how the damages could be prevented or reduced down. Korean government, having recent huge blooms of jellyfish, engaged in reducing and/or countermeasuring jellyfish damages. Korean research themes include ecology and physiology of blooming jellyfish species, understanding of the blooming mechanism, and focus on the eradication of blooming jellyfish, without governmental integrative management plan. EU is undertaking scientific projects focused on understanding of the mechanism and control of jellyfish blooms, and establishment of an integrative management. In USA, government has established the code on jellyfish management for conserving and protecting the fish and shellfish resources and one of its department is specially assigned to monitor jellyfish appearance, undertake research, and prepare management plan. Japan also assigned a department and research institute for jellyfish research. Their main interest is to predict jellyfish drifting and mass bloom. Compared to Korea, USA, EU and Japan emphasize integrative management that includes ecological understanding, public education and outreaches, communication and control, if possible, of jellyfish blooms, based on scientific data. We suggest then, 1) establishment of an integrative scientific system consisting of policy and scientific experts to prepare inter-ministrial integrative management plan to effectively combat jellyfish blooms and to maximize the scientific result; 2) concept change from harmful to exploitable marine animal in policy making and research; and 3) active education and information service for people. We expect that these suggestions can be useful for jellyfish management and policy making on another harmful marine organisms.

Key words: 해파리, 대량발생, 유해생물, 국제동향, 정책방향

서 론

해양에서 발생하는 재해의 종류는 태풍과 같은 자연재해에서부터 원유유출, 적조, 저산소수피 등 인간활동에 의한 피해까지 매

우 다양하다. 이 가운데 제어 가능할 것으로 판단되었던 해양생물에 의한 피해, 예를 들어 적조 연구는 10여년전부터 시작되었음에도 뚜렷한 기술적 성과는 미미하며, 적조 제어 연구와 모니터링 기법, 적조와 해양환경과의 관계 등에 대한 기초연구는 현재까지도 이루어지고 있다(예: 장 외, 2003; 서와 이, 2007; 이와 문, 2008).

*Corresponding author: wdyoon@nfrdi.go.kr

이 외에 해양생물로 인한 피해는 1990년대 이후의 보름달물해파리와 2003년 이후의 대형 노무라입깃해파리의 대량출현에 의한 것을 들 수 있으며, 이 해파리의 대량출현은 2-3개월의 짧은 시기 동안 매년 수백억에서 수천억원에 이르는 수산업 피해를 입히고 있다(국토해양부, 2009). 그럼에도 이를 과학적으로 이해 또는 해결하기 위한 체계적인 연구방향이나 종합적인 관리정책은 2011년 현재 아직도 제시되지 않고 있다. 이는 해파리 연구의 역사가 일천하다는 과학적 연구 경험의 부족이라는 원인 외에, 해파리 대량출현이 일시적인 현상이라는 정책결정자의 인식도 중요한 원인으로 작용한다.

따라서 이러한 시각과 경험의 갭을 최소화하기 위해서는 과거 문제가 되었던 다른 여러 유해생물로 인한 피해(적조, 불가사리 등)에 대한 대처와 마찬가지로 해파리 피해예방에 대한 효과적 정책 실현의 논의가 필요하리라 본다. 이는 정부정책 및 과학적 연구결과를 비판하고자 하는 것이 아니라, 최초 노무라입깃해파리 대량 발생 시점부터 현재까지 약 7년에 거친 연구경과 및 관련정책 등에 대해 다시 한 번 짚어보고 그 문제점을 논의하여 더 발전된 연구방향을 제시하기 위함이다.

즉, 본 논문에서는 우리나라의 해파리 대량발생의 역사와 연구동향을 분석하고, 이를 외국의 연구동향과 비교하여 국내 연구 및 정책의 방향을 제시함으로써 향후 해파리 관리정책에 도움이 되 고자 한다.

해파리 대량발생의 역사와 연구방향

해파리의 대량 발생의 역사

해파리는 5억년전부터 출현하여 현재까지 생존(Cartwright *et al.*, 2007)하는 유-무성생식의 강장동물로서, 대량발생의 가능성은 항상 존재하였다. 그러나 전세계적인 해파리의 대량발생과 피해는 제2차 세계대전이후부터 발생하기 시작하였고, 본격적인 연구는 1960년대에 들어 시작되었다. 해파리 대량발생의 원인은 지구온난화, 환경오염심화, 해양구조물 구축, 수산자원 고갈(Arai, 2001; Graham, 2001; Parsons and Lalli, 2001; Uye and Ueta, 2004; Yasuda, 2004) 등으로 알려져 있으며, 해파리 대량발생에 의해 미국, 호주, 유럽뿐만 아니라 일본 및 동남아시아 등 전 세계적으로 사회, 경제적인 피해가 확산되고 있다. 우리나라와 인접한 중국 및 일본에서도 지속적인 대형 해파리의 출현을 보고한 바 있으며(Kawahara *et al.*, 2006), 중국에서는 피부접촉에 의한 인사사고도 발생하였다(Fenner, 1997).

우리나라에서는 1814년 조선시대 정약전의 자산어보¹⁾에서 해파리(海八漁, 크기, 홍자색, 형태를 고려할 때 노무라입깃해파리로 유추됨)가 처음으로 기록된 이후, 보름달물해파리가 인천 경기만

및 남해 마산만 등에서 대량 출현하기 시작한 1990년대 후반 본격적으로 사회적인 문제가 되기 시작하였으며, 2000년대 들어서 면서는 노무라입깃해파리가 대량출현하여 심각한 사회문제로 대두되었다(국립수산과학원 2005, 2008a).

해파리의 대량발생은 강력한 포식자로서 해양생태계의 기저를 교란하는 측면에서 중요한 문제가 될 수 있을 뿐만 아니라 인간과 직접적으로 연결되는 사회경제활동, 즉 원자력발전소의 가동과 수산업활동, 그리고 해수욕장에서의 해파리 쏘임사고 발생 등 범국가적 문제로 자리매김하였다. 원자력발전소는 냉각수로 이용하는 해수에 포함된 해파리를 비롯한 부유생물이나 부유물질로 인해 출력 감발 또는 정지 등의 피해가 있으며, 수산업 피해는 모든 어구어법에서 발생하였고, 그 피해상정액이 2009년 한 해 동안 2,000억원을 넘었을 뿐만 아니라, 해파리 쏘임사고는 2008년 부산광역시에서만 123건, 2009년에는 634건으로 5배 이상 증가하였다(부산광역시 재난대응과 자료제공)²⁾.

해파리 관련 국내 법령

우리나라 법령에서 “해파리”를 다루고 있는 법령은 두 개가 있다. 하나는 “농어업재해대책법³⁾”으로서 제 2조 정의부분을 살펴보면 “어업재해란 이상조류(異常潮流), 적조현상(赤潮現象), 해파리의 대량발생, 태풍, 해일, 그 밖에 제5조에 따른 농어업재해대책심의위원회가 인정하는 자연현상으로 인하여 발생하는 수산양식물 및 어업용 시설의 피해를 말한다.”고 되어 있다. 농어업재해대책법의 “어업재해”에 해파리가 포함되게 된 것은 2010년 1월 25일이며, 이 날로부터 해파리로 인해 어구 등의 시설 피해를 입게 된 경우 어업재해로서 인정받아 보상받을 수 있게 되었다. 이처럼 농어업재해대책법은 특성상 재해로 인정되는 현상과 피해의 종류에 대해서만 언급하고 있으며, 해파리 관리 측면에 대해서는 전혀 언급되고 있지 않다.

두 번째는 “해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률(이하 해양생태계법)⁴⁾”으로서 제 2조 정의 부분에 “유해 해양생물이라 함은 사람의 생명이나 재산에 피해를 주는 해양생물로서 국토해양부령이 정하는 종을 말한다.”고 정의하고 해양생태계법 제 5조 별표 4에 총 13종의 유해해양생물종을 명시하였다. 그 종류는 해파리 3종(노무라입깃해파리, 작은부레관해파리, 보름달물해파리), 적조 생물 5종, 이끼벌레 3종, 불가사리 2종으로(총 13종) 2007년 4월 4일 제정부터 현재까지 유지되고 있다.

이와 같이 법령에서의 해파리는 크게 어업에 피해를 입히는 생물, 또는 사람의 생명이나 재산에 피해를 주는 유해 해양생물로서 간주되고 있음을 알 수 있다. 그러나 해양생태계법에서는 제 24조 유해 해양생물의 관리에 대해서 “국토해양부장관은 유해 해양생물로 인한 수산업 등의 피해상황, 유해 해양생물의 종류 및 개체

¹⁾이태원, 「현산어보를 찾아서」, 2002: 현산어보는 자산어보(茲山魚譜)로 알려져 있다. 이 책에서는 해파리를 해타(海鮫) 또는 해팔어(海八漁)라고 하고 있다. “큰 놈은 길이가 5-6자이며 너비도 이와 같다. 머리와 꼬리가 없고, 얼굴도 눈도 없다. 몸은 연하게 영겨 있어 타락죽과 같고, 모양은 종이 샷갓을 쓴 것과 같다. 허리에는 치마를 달고 발을 늘어뜨린 채 물속을 떠다닌다... 중략... 나아갈 때에는 질퍽질퍽 휘저거리는 것이 우산을 떠울리게 한다. 그 성질과 빛깔은 해동과 비슷하다... 생략”라고 형태에 대해 설명되어 있다.

²⁾쏘임피해와 관련한 자료는 현재까지 뉴스 등을 통해서만 알려져 있기 때문에, 부산시 재난대응과의 도움을 받아 정확한 통계 수치를 받았으며, 이 자료는 개인 정보와 치료정보가 포함되어 있어 전체 피해 건수 외에는 외부에 공개되지 않고 있다.

³⁾농어업재해대책법은 1967년 1월 16일 법률 1874호로 제정되었다. 이후 총 13번 동안 전부, 일부, 또는 타법 개정되었으며, 2009년 해파리로 인해 수산업적 피해가 커지자 2010년 1월 25일 마지막으로 일부 개정되어 해파리가 포함되었다.

⁴⁾“해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률(이하 해양생태계법)”은 2006년 10월 4일 법률 제 8045호로 제정되어 다음해 4월 5일부터 시행된 이후 약 10여 차례 타법 개정된 바 있다.

수 등을 종합적으로 고려하여 유해 해양생물을 관리하되, 과도한 포획·채취로 인한 해양생태계의 교란이 발생하지 아니하도록 하여야 한다.”라고 규정함으로써 해파리를 포함한 유해해양생물 관리 방안 일부를 제시하고 있다. 즉, 유해 해양생물이라 하더라도 해양생태계의 교란이 발생할 정도의 포획은 하지 못하도록 규정하고 있다. 또한, 제 1조 목적에서는 “이 법은 해양생태계를 인위적인 훼손으로부터 보호하고, 해양생물 다양성을 보전하며 해양생물 자원의 지속가능한 이용을 도모하는 등 해양생태계를 종합적이고 체계적으로 보전·관리함으로써 국민의 삶의 질을 높이고 해양자산을 보호함을 목적으로 한다.”고 밝힘으로써 해양생태계 내의 어떠한 생물들도 인위적으로 멸종시킬 수 없으며 해양생물들을 지속적으로 이용할 수 있도록 노력함으로써 해양자산을 보호하고자 함을 명시하고 있다.

해파리 관련 국내연구 동향

해파리 관련 연구는 1990년대 후반부터 지속적으로 이루어지고 있으며, 국내의 해파리 관련 첫 번째 연구보고서는 “한국산 히드라충류(자포동물 문: 히드라충 강: 히드라충 목)의 생활사 및 계통분류학적 연구”로 분류학에 속하는 연구이다(박, 1997). 이후 해파리 대량발생에 대한 문제점을 직시하고 적극적인 연구가 시작된 시기는 2005년이었으며, 국립수산물과학원에서 이때부터 2008년까지 해파리 생태, 구제방안, 분리배출, 활용 등에 대한 전반적인 연구를 시행한 바 있다(국립수산물과학원, 2008a). 또한, 같은 기관에서 해파리정보센터의 운영⁵⁾을 통해 장기적 모니터링에 돌입하였으며, 이를 기초로 매주 해파리 속보를 제공하고 있으며, 이러한 자료를 통해 자료집을 제작하여 배포한 바 있다(국립수산물과학원, 2008b).

이 외에 2009년 이후 국토해양부 및 농림수산물부에서 국립수산물과학원을 통해 해파리에 대한 종합적인 연구를 시행하고 있다(Table 1). 연구내용을 살펴보면 국토해양부는 해양생태법에 근거하여 2009년부터 10년 계획으로 해파리 모니터링 및 전반적인 생태연구와 구제연구 등을 수행하고 있으며, 농림수산물부에서

는 2011년 충남 및 전북해안을 시작으로 2015년까지 연차적으로 전국 연안역 해파리 대량발생 보고지역 및 의심지역에 대한 부착유생조사, 개체군변동, 독성파악 등을 수행하고 있다. 또한, 국립수산물과학원 자체에서 해파리 대량발생의 원인을 찾는 연구를 시행하고 있다. 위의 3가지 연구에서는 공통적으로 해파리 구제의 정보획득 및 실험이 함께 시행되고 있다.

상기 법을 운용하는 중앙부처 중, 농림수산물부부는 비정규조직으로 해파리대책반을 구축하고, 행동지침으로 “해파리 대량발생에 의한 어업피해 위기대응 메뉴얼”을 작성하여 해파리 유체와 성체의 제거 등을 통한 수산업 피해에 대응하고 있다. 국토해양부는 법에 근거하여 연구사업을 수행하고 있으나, 중앙부처차원의 대응방안 마련이나 이행과 관련한 정책은 없는 실정이다. 더욱이 양 부처간의 정책교환, 정보교환이나 연구자료 공유또한 매우 제한적이다. 즉, 수산업을 제외한 국가기간산업의 피해, 해수욕객 등 행사객에 대한 피해, 기후변동과 관련된 독성해파리의 유입과 대응방안 마련 및 이행 등에 대하여는 대응정책이 없는 실정이다.

해파리 피해예방과 관련한 국제적 연구동향

해파리 대량출현을 고민하고 있는 다수국가의 연구방향 역시 우리나라와 다르지 않다. 그러나 법령을 근거로 한 정책의 비교는 현 시점에서 매우 난감하며, 그 이유로는 법령을 인터넷으로 공개한 우리나라와 미국과는 달리 현재 해파리에 의해 피해를 입고 있는 일본 등의 해파리 관련 법령을 찾기는 매우 어려운 상황이기 때문이다. 따라서 각 국가에서 현재 국가의 지원을 받아 이루어지고 있는 연구 사업을 통해 그 정책을 유추하여 비교해 보았다(Table 2).

미국은 해파리 및 기타 유해생물의 관리에 대해 법률로서 정리하고 있다. <US Code Title 16 Conservation, Chapter 25 Jellyfish or sea nettles and seaweed in coastal waters: control or elimination>⁶⁾를 살펴보면, 총 5개의 항으로 되어 있으며, 이 법의 목적은 어족자원의 보호와 보전, 국민 건강, 물에서 이루어지는 레크리에이션에

Table 1. Project contents on jellyfish conducted by National Fisheries Research and Development Institute

구분	2011년 예산액 (백만원)	사업 근거	세부사업내용	비고
국토해양부	200	해양생태계 보전 및 관리에 관한법률	- 해파리 모니터링체제 운영 및 정보 제공 - 대량출현 해파리에 의한 해양생태계 구조 및 기능변동 - 보름달물해파리 기원지 탐색 및 시화호 폴립구제 방안 마련 - 해파리 독성 측정을 위한 현장 키트개발	- 2009년 이후 수행 - 관련법에 명시된 유해해양생물 3종 (보름달, 노무라입깃, 작은부레관) 및 맹독성해파리가 대상임
농림수산물부	335	농어업 재해대책법	- 보름달물해파리 부착유생 탐색 및 모니터링 - 보름달물해파리 모니터링 및 개체군 변동파악 및 독성생물의 독성정도 파악 - 보름달물해파리 부유유생, 유체 및 성체의 이동경로예측 - 해파리 부착유생 및 성체 구제에 필요한 정보습득	- 2011년은 충남 및 전북지역이 대상이며, 매년 1~2개 시도를 대상으로함 - 수산업 피해유발 대량출현 해파리 (보름달, 노무라입깃)가 대상임
국립수산물과학원	80	-	- 해파리 발생 및 확산에 대한 정보 축적 및 제공 - 해파리 대량발생원인 파악 - 해파리 대량사멸에 의한 저서생태계 영향파악 - 해파리 등의 종합상황실 운영	- 2005년 이후 수행 - 2개 세부과제(해파리 분리배출, 이용 및 활용)은 중단

⁵⁾국립수산물과학원 해파리모니터링센터는 2006년 구축, 운영되었으며, 어업인 모니터링 요원을 활용하여 해파리의 대량 발생과 이동경로 등에 대한 연구를 해왔다. 이 센터는 2010년 3월 해파리대책반으로 확대 개편되었으며, 현재 전국적으로 294명의 어업인 모니터링 요원을 유지하고 있는데, 모니터링 자료를 취합하여 국립수산물과학원 홈페이지를 통해 매주 목요일 해파리 출현 정보를 제공하고 있다.

⁶⁾http://www.law.cornell.edu/uscode/usc_sup_01_16.html.

Table 2. A comparison with major jellyfish studies and results of each county

Country	Priority policy	Details of programmes	Results
USA	1. Monitoring in major fisheries ground 2. Physiological, Ecological and genetic approach and application	1-1. Intensive and regular monitoring in Bering sea and Chesapeake Bay 2-1. Physiological and ecological studies through EPA, and Sea-grant projects 2-2. Physiological and ecological studies in NSF	- Novel prize for chemistry in 2008 - Data accumulation for prediction of climatic and biological diversity change - Development and application of prediction of jellyfish movement in Chesapeake Bay
EU	1. Understanding the causes of jellyfish mass bloom 2. Physiological and ecological studies 3. Application study on jellyfish	1-1. Food web, environmental pollution, climate change studies 2-1. Study on jellyfish venom 3-1. Industrial use of jellyfish	- Management protocol for jellyfish - Enforcement of pilot program based on the citizen - Enforcement of research program on each ocean area (ex.: Ecojel)
Japan	1. Jellyfish monitoring and prediction of jellyfish movement 2. Application study on jellyfish	1-1. Prediction of movement based on jellyfish monitoring data 2-1. Industrial use of jellyfish	- High precision of jellyfish movement's prediction at regional sea level
Australia	1. Physiological and ecological studies 2. Application study on jellyfish venom	1-1. Physiological and ecological studies on box jellyfish 2-1. Studies on the development of antivenom and application of jellyfish venom	- development of antivenomous ointment for jellyfish sting - development of erectile disfunction pills using irukandji venom
Korea	1. Monitoring at regional sea level 2. Intensive monitoring of polyps and eradication study 3. Physiological and ecological studies	1-1. Extermination studies on jellyfish polyps and medusa 2-1. Understanding the causes on jellyfish mass bloom	- development and application of the extermination techniques of jellyfish polyp - development of extermination net

있어서의 안전 등이며, 상무장관이 모든 책임을 가지고 있다. 상무장관은 해파리 및 기타 유해 생물에 대한 연구, 조사 관찰과 함께 관리대책 수립 등을 수행해야 하는 것으로 나타나 있다.

이러한 법률 하에 미국에서 수행되고 있는 과학정책을 알아보기 위해 해파리 연구 수여 현황을 살펴본 결과, 미국국립과학재단(National Science Foundation, NSF)⁷⁾에서 2000년 이후 해파리 생태 및 생리 관련 연구 15건, 유전학 등과 연계된 연구 16건, 모니터링 관련 연구 4건, 예측 관련 연구 3건 등에 연구비를 지원하고 있었다. 이 외에 각 주의 Seagrant 사업단, EPA(United States Environmental Protection Agency), NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)등에서 해파리 연구비를 지원하고 있었으며, 특히 NOAA 산하 ABL(Auke Bay Laboratories)을 통해 2004년부터 주요 어장인 베링해를 집중 모니터링하고 있고, 버지니아 Seagrant 사업단을 통해 체사피크만의 해파리 이동 및 출현을 모니터링하고 있다. 미국은 교육, 현지 사업단을 이용한 모니터링, 유전학 및 기초 연구 지원 등 해파리 연구를 위한 통합적인 시스템이 갖추어져 있으며, 이를 통해 이미 해파리 발광 유전자들 통한 노벨화학상의 업적이 이루어진 바 있다.

유럽의 해파리 연구는 유럽연합(EU) 국가 및 주변국의 연구기관이 컨소시엄을 형성하여 연구를 진행한다. 대표적인 연구과제로는 유럽프레임워크 연구과제로 2002년~2005년까지 3년간 진행된 EUROJEL(European gelatinous zooplankton: mechanisms behind jellyfish blooms and their ecological social-economical effects)⁸⁾이 있다. EUROJEL의 목적은 해파리의 생리생태 특성규명 및 확산과 대량발생 원인규명으로 총 10개의 세부프로젝트, 즉 성장과 섭식 관계 등 생태학적인 연구, 독성연구, 모니터링, 모델링, 생활사, 상업적 이용 등으로 구성되어 연구되었다. EUROJEL 이후 Irish Sea

를 대상으로 2013년까지 Ecojel⁸⁾이 수행되고 있는 바, 해당 프로젝트는 해파리 위협규명, 대량발생의 기원과 이동 예측, 수산업과 양식업에 대한 영향, 해파리의 산업화 가능성 등의 연구를 포괄하는 등 해파리 위협에 대한 관리를 주 목적으로 하고 있다. 유럽은 미국과 마찬가지로 기초연구 및 모니터링에 큰 부분을 할애하고, 해파리 관리 프로토콜, 시민을 위주로 한 해파리 연구 파일럿 프로그램 실행 등의 성과를 얻고 있다.

일본은 노무라입깃해파리 대량출현 이후, 해파리 피해저감을 중점수산업연구과제로 선정하고, 총괄기관으로서 수산청을, 연구수행기관으로 수산종합연구소를 지정하여 대대적이며 종합적인 연구 지원을 하고 있다. 수산종합연구소의 각 지역 연구소에서는 해역별 해파리 모니터링 및 해파리 생리·생태연구를 하고 있으며, 히로시마대학, 도쿄대학, 나고야대학 등과 공동으로 황해 및 동중국해 등의 해파리 모니터링과 이동예측모델의 개발을 수행하고 있다. 해파리 이동예측모델의 경우 1~2년내에 예측정보제공이 가능한 것으로 파악되었다.

호주는 맹독성해파리인 입방해파리의 출몰이 잦은 관계로 국가 연구정책은 맹독성 해파리의 모니터링과 독성연구 및 해수욕장관리에 집중되어 있다. 주로 독성해파리의 독성을 제거하기 위한 “항독성제” 개발과 해파리 독성 활용 방안 및 해수욕객 인사와 예방책 마련이 주요 연구과제이다.

우리나라 해파리 관리 정책의 방향

대량출현 해파리 중 노무라입깃해파리는 대형(갯길이: 2 m; 체중: 150 kg)의 독성해파리로 중국측 황해 연안이 기원지로 추정되고 있으며, 대량출현시 수산업피해, 원자력발전소 등 기간산업의

⁷⁾미국국립과학재단(NSF)은 연방 독립 기구로 과학과 관련된 연구에 지원을 해주고 있다. 따라서, 이곳에서 수여되고 있는 연구비의 흐름은 현재 미국에서 중요하게 다루어지고 있는 연구 및 과학정책 방향과 일치한다고 할 수 있다(<http://www.nsf.gov/>).

⁸⁾<http://www.jellyfish.ie/index.asp>.

피해, 해수욕객 쏘임사고를 유발하므로 농림수산물부, 국토해양부, 해양경찰청, 소방방재청, 교육과학기술부가 담당부처이다. 국내 대량발생종인 보름달물해파리는 중형(갯길이: 25 m; 체중: 300 g)의 독성이 약한 해파리로 대량출현시 수산업피해, 원자력 발전소 등 기간산업의 피해를 유발하므로 해당부처로는 농림수산물부, 국토해양부, 교육과학기술부가 있다. 아울러 보름달물해파리의 기원지로서 시화호, 새만금호, 마산만이 있으나, 상기 지역의 관리부처는 농림수산물부, 환경부 또는 국토해양부로 분리되어 있다.

해파리에 의한 피해가 사회적인 문제로 대두된 2009년 이후 우리나라의 해파리와 관련한 정부 정책은 주로 성체 구제사업을 중심으로 하여 진행되고 있다. 특히 농림수산물부에서는 각 지자체별로 국내 연안지역에서 해파리의 피해를 막기 위해 대대적인 해파리 구제사업을 펼치고 있으며, 국토해양부는 생리상태 연구를 기초로한 시화호 보름달물해파리 부착유생 제거를 계획하고 있다. 이러한 일련의 정책은 근본적인 해파리의 관리정책이 마련되어 있지 못한 상황에서의 임시방편 시책에 불과하다. 즉 중앙부처에서는 장기적인 안목의 수질정화, 친환경적인 인공구조물 건축 및 관리, 독성해파리 유입에 대비한 국제연구협력 추진 등의 근본적인 처방을 마련하여야 한다. 이러한 장기적인 방안이 없는 상황에서 출현한 해파리의 성체 또는 부착유생에 대한 제거는 해양생태계의 파괴를 심화하고 귀중한 재원의 낭비를 초래할 것으로 보인다. 아울러 모든 생물이 생태계내의 고유한 위치(ecological niche)에 맞는 역할을 수행하고 있음에도 불구하고, 인위적인 원인으로 대량 발생하여 인간사회에 유해한 종으로 분류되어, 제거 또는 구제사업의 대상이 된다는 것은 해양생태계 관리 및 활용차원에서 재고되어야 할 점으로 판단된다.

우리나라의 정책과 비교하여, 유럽은 해파리의 피해에 대한 경고와 해파리 대량발생의 원인을 간단하게 다루면서 해파리 대량발생 외에도 해파리의 일부 종은 이미 멸종되고 있음을 직시함으로써, 해파리의 구제보다는 생태계 균형 및 생물다양성에 초점을 맞추고 있음을 알 수 있다(Fig. 1, EEA, 2006). 또한, 미국 등 대부분의 국가에서는 모니터링 및 생리상태 연구와 같은 기초 연구에 초점을 맞춘 해파리 관리 정책을 수행하고 있는 것으로 나타

났다(Table 2). 우리나라에서도 해파리 피해예방을 위한 연구를 진행하고 있는 여러 과학자들은 해파리 기초 연구의 중요성에 대해 인식하고 있으며, 해파리 구제는 실제적으로 가능하지 않고, 가능하다 하더라도 해파리의 대대적인 구제는 또 다른 생태학적 문제를 야기할 수 있으며, 이러한 작업은 향후 해파리 중 일부 종의 멸종을 초래할 수 있다는 점에 동의하고 있다. 또한, 미국과 유럽의 경우 시민의 교육, 지역에 맞는 모니터링체제, 시민이 주체가 되는 모니터링에서 출발하여 국가 연구기관의 주요 어장 모니터링, 생물, 화학, 물리 등의 기초 연구, 해파리 생태 변화 연구, 해파리의 산업화 등 하나의 큰 기둥 안에서 많은 줄기들이 펼쳐지는 시스템을 갖추도록 해서 그 연구들이 제 기능을 발휘하고 있다. 이러한 시스템이 만들어지기 위해서는 하나의 연구관리 시스템이 필요하다. 예를 들어 유럽에서 실시되었던 컨소시엄 형태의 해파리 연구인 EUROGEL의 경우 유럽연합에서 실시하고 있는 프레임워크 프로그램 하에서 관리가 되어 각 국가간, 민간연구소, 대학 등의 긴밀한 협력체제가 갖추어져 연구되었으며, 이 과제에서 수행된 연구 내용은 웹사이트(<http://cordis.europa.eu>)를 통해 확인 할 수 있도록 하였다.

이에 비하여 국내 해파리연구 정책은 체계적이지 못한 면이 강하다. 국내 유일의 해파리 연구기관인 국립수산물품질관리원의 연구과제 수행내용에서 알 수 있듯이 현재 국내 피해상황에 따른 해파리 대량발생 및 독성피해에 관한 연구를 진행하고 있음에도 국민에 대한 해파리에 대한 교육, 이 외에 해파리의 유전학적 연구를 비롯한 생물학적 연구 등의 기초 연구, 이용 및 활용 등 산업적 측면 등에 대해서는 매우 제한적이거나 미진한 연구진행이 되고 있는 실정이다(Table 1). 또한 정책적인 관점에서 우리나라 해파리의 대량발생과 출현이 인위적인 요인(해양오염, 인공구조물 건설, 수산자원 남획)에 의함에도 불구하고, 수질개선이나 해수유통 개선 혹은 연안 해양생태계 건강도 증진 등 근본적인, 장기적 안목의 방안을 마련하여 시행하지 못하고, 성체나 폴립의 구제를 해파리 피해저감 방안으로 시행하는 것은 국가차원의 장기적인 정책이 결여되어 있는 것으로 판단할 수도 있다.

이러한 문제점은 아래의 사항을 고려하여 개선될 수 있을 것으로 사료된다.

① 통합연구시스템의 설치와 관리방안 마련: 통합연구시스템이라 함은 환경부, 국토해양부, 농림수산물부, 교육과학기술부, 해양경찰청, 소방방재청 등의 해파리 출현 및 피해와 관련된 부처의 정책 및 연구전문가로 구성된 정규조직이 될 수 있으며, 해파리를 비롯한 유해해양생물로서 생길 수 있는 환경, 생태, 생물 및 사회경제적 문제를 전반적으로 다루어 국가정책을 제안, 시행할 수 있어야 한다. 이 시스템에서는 기본적으로 해파리를 비롯한 유해생물을 대상으로 중장기 대처방안의 수립, 연구방향의 제시, 정부의 예산 및 행정지원에 대한 정책을 마련해야 할 것이다. 이와 함께 각 유해해양생물별 민·관·연·학 전문가 풀을 구성하여 지속적인 연구자 모임을 개최함으로써 정부와 연구자와의 끊임없는 의견교환이 이루어질 수 있도록 그 역할을 하여야 할 것이다. 이러한 통합시스템의 마련은 현재 농림수산물부, 환경부, 국토해양부로 나뉘어져서 연구되고 있는 해파리를 비롯한 유해해양생물들을 관리함

Box 21 Warning – jellyfish invasion

The recent invasion of jellyfish in bathing waters occurred along the Mediterranean coast in the second week of August 2005. It affected 127 people along the Catalan coast alone (compared with six people the year before, according to the Red Cross), and led to the red flag being raised at numerous beaches when the sea was otherwise calm and bathing conditions perfect. The sea was converted into a 'huge field of stinging nettles'. Experts have interpreted this invasion as a symptom of the sea losing its ecosystem equilibrium (Pauly, 2003).

This explanation is based on changes in three main parameters in the sea:

- Jellyfish like warm waters. The sea could have become warmer because of climate change, which has contributed to an augmentation of the sea temperature.
- Jellyfish feed on plankton, which reproduce and thrive in warm waters under eutrophication conditions. Waste water offers plenty of nitrates and phosphates. When they are added to loads arriving from agriculture, an excess of nutrients are created which provoke eutrophication. These conditions are perfect for jellyfish and allow them to flourish.
- Predators of jellyfish, such as marine turtles and big fish are disappearing. Each year 25 000 marine turtles are accidentally caught.

Increases in jellyfish numbers are expected worldwide. However, there are instances of a decrease in the population due to heavily impacted coastal areas. Some jellyfish species will undoubtedly become extinct as part of the global loss of biodiversity (Mills, 2001).

Source: ETC-TE, based on Pauly et al., 2003, and Mills, 2001.

Fig. 1. EEA reports on jellyfish invasion⁹⁾.

⁹⁾EEA report. 2006. The changing faces of Europe's coastal area.: 2006년 EEA 보고서는 기후변화로 인해 빠르게 변하고 있는 유럽 연안의 생태계를 중심으로 위협 요소, 기회 요소 등을 분석하고 있다.

에 있어 부처 간의 합의가 필요하여 늦어지는 여러 사안들이 빠르게 진행될 수 있도록 할 것이며, 연구 및 연구 성과의 관리가 통합적으로 이루어질 수 있기 때문에 중복 연구비의 수혜 감소, 연구 성과의 종합 관리를 통해 적은 연구비로 많은 연구 성과를 얻을 수 있을 것이다. 아울러 해파리 등 유해생물의 대량발생제어, 근원적인 대처방안 마련 및 시행, 국제적인 정책 및 연구의 협력을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

② 해파리에 대한 접근방식 개선: 해파리를 유해 해양생물이 아닌 이용가능한 해양생물로 간주해야 할 필요성이 있다. 법령에는 해파리 중 대량 발생으로 피해를 입히는 일부 해파리 종이 유해생물로 분류되어 있으나, 유해생물로서의 해파리는 해양에 서식해서는 안 되는, 멸종되어야 하는 생물로 간주될 수 있다. 이러한 시각에서의 해파리 “구제사업”은 지역 해양생태계 파괴를 가속화시킬 수도 있다. 물론 2000년대에 들어서 해파리는 우리나라 수산업 등 국가 경제에 막대한 피해를 입히는 생물임에는 틀림없으나 그 이전부터 우리 연안에서 빈번히 출현하였던 생물임을 잊어서는 안 될 것이다. 즉, 막대한 연안개발 등 인간의 개입으로 인해 연안 해양생태계의 변화가 있어 왔고, 이에 따른 자연의 반응으로 해파리의 대량 발생이 이루어졌음을 인식하고, 이러한 생물과 어떻게 어울려 살 것인가에 대한 고민이 있어야 할 것이다. 이러한 고민은 정책적, 과학적으로도 함께 이루어져야 할 것이며, 이러한 고민을 통해 해파리의 활용 등에 대한 좋은 아이디어가 도출될 수 있을 것이다. 또한, 이것은 “유해해양생물을 관리하되, 과도한 포획·채취로 인한 해양생태계의 교란이 발생하지 아니하도록 하여야 한다”는 해양생태법 24조의 수행에 부합되는 것이다. 즉, 대량발생이 되는 해파리를 유해생물로서 관리하는 하되, 연구 및 정책적인 면에서는 이용가능한 해양생물로서 다룸으로써 관리와 생태계 균형이 함께 이루어지도록 노력해야만 할 것이다.

③ 적극적인 교육 및 정보제공: 해파리 연구자들과 정책을 담당하는 부서에서는 해파리 및 유해해양생물에 관한 모든 연구 내용을 국민에게 알리고, 국민을 교육시켜 해양 정책에 국민을 참여시켜야 하는 책임이 있어야 함을 인지하여야 할 것이다. 해파리를 비롯한 기타 유해생물에 관한 연구보고서나 논문을 검색 관리할 수 있는 정보시스템을 만들어 해파리 정보가 필요한 사람이라면 누구든지 손쉽게 찾아 볼 수 있도록 해야 한다. 또한 교육 책자의 제작과 홍보 동영상, 블로그 운영, 웹서비스 등을 통한 국민 교육은 현 시대에 매우 필요한 부분이라 할 수 있다. 이러한 교육 활동은 향후 국민을 기반으로 한 모니터링이 시도될 수 있는 기회를 제공할 뿐만 아니라, 인터넷, 트위터, 블로거 등을 통해 해파리 발생, 이동경로에 대한 실시간적인 정보를 제공해 줄 수 있도록 해 줄 것이다.

위의 3가지 제안과 함께 부수적으로 현재 이루어지고 있는 구제사업을 위한 선행연구가 필요할 것으로 생각된다. 이것은 해양생태계의 균형을 유지하기 위해 필수불가결한 요소라 할 수 있다. 이와 함께 해파리 대량발생에 대한 근본적인 연구도 함께 이루어져야만 한다. 연구 성과의 빠른 도출이 어렵다 할지라도 해양생태계의 지속적 모니터링과 생태 연구는 해파리뿐만 아니라 전체 생태계 변화를 함께 관찰할 수 있는 계기가 될 수 있으며, 이는 향후 우리나라 연안 생태계 변화 연구의 중요 자료로 사용될 수 있을 것이다.

결 론

우리나라는 매년 수십억의 예산이 투입되는 대대적인 해파리 구제 사업을 수행하고 있다. 그 중에서 경기도 시화호와 전북도 새만금호의 경우, 방조제 건설이라는 인간의 활동이 호내 수질악화 및 보름달물해파리 폴립에 서식지 제공이라는 결과를 양산하여 해파리의 대량출현을 유도한 하나의 예이다. 해파리 대량발생 문제를 해결하기 위해 정부와 지자체, 그리고 각 연구소는 많은 노력을 기울이고 있다. 인간에 의한 생태계 개입과 그로 인한 피해, 또 그것을 극복하려는 인간의 노력이 연쇄적으로 발생하고 있는 것이다.

또한, 개발과 자연의 이용으로 인해 우리 연안 생태계는 오염이라는 문제에 직면하고 있으며, 기후 온난화에 따른 생태계 변화에도 대처해야만 한다. 현재는 이 모든 현상의 원인은 자연 생태계에 인간의 개입이었음을 인식하고, 이러한 결과를 수용해야 하는 시점이다. 이에 따른 결과로 앞으로도 “해파리 대량발생” 외에도 “해양생태계 변화”라는 자연의 도전을 받게 될 것이며, 이에 대한 대비책도 염두에 두어야만 한다.

본 논문에서 논의된 해파리 피해예방 정책에 대한 고찰은 비단 해파리뿐만 아니라, 앞으로 있을 여러 문제에 대한 해결을 위한 고찰 일 수 있다. 적조문제에서부터 해파리 문제까지 우리는 연구적 입장이나 정책적 입장에서 같은 실수를 반복하고 있음을 인식하여야 할 것이다.

이와 함께, 본 논문에서 논의된 i) 통합연구시스템의 설치와 관리방안 마련, ii) 해파리에 대한 접근방식 개선, iii) 적극적인 교육 및 정보제공 등은 해파리뿐만 아니라 기타 유해해양 생물의 정책적 대처 방안에도 기본적으로 필요한 대안이 될 수 있을 것으로 기대해 본다.

사 사

본 논문을 검토하여 주신 3분의 검토자에 감사드립니다. 본 논문은 “유해해양생물 해파리 피해예방 기획연구보고서(2009.03, 국토해양부)”의 일부를 발췌, 보강한 것으로, 국립수산과학원의 연구비 지원(R2012-OE-14)으로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

- 국립수산과학원, 2005. 2005년 해파리 연구 종합보고서. 117pp.
 국립수산과학원, 2008a. 해파리 대량발생 원인과 피해대책, 이용방안연구. 최종연구보고서. 222pp.
 국립수산과학원, 2008b. 한국 연안 해파리 출현정보 자료집. 63pp.
 국토해양부, 2009. 유해해양생물 해파리 피해예방 기획연구보고서. 225pp.
 박정희, 1997. 한국산 히드라충류(자포동물 문: 히드라충 강: 히드라충 목)의 생활사 및 계통분류학적 연구. 최종보고서, 48pp.
 서형수, 이철우, 2007. 원격탐사를 이용한 남해안의 적조영역 검출과 통계적 특징 분석에 관한 연구. 정보처리학회지, 14: 65-70.
 이문옥, 문진한, 2008. *Cochlodinium polykrikoides* 적조의 최초 발생해역인 나로도 주변해역의 해양환경. 한국해양환경공학회지, 11: 113-123.

- 이태원, 2002. 현산어보를 찾아서 2. 청어람미디어.
- 장영남, 채수진, 배인국, 박맹언, 김필근, 김선옥, 2003. 환경친화성 단일 광물질에 의한 적조구제 실험. 자원환경지질, **36**: 557-561.
- Arai, M.N., 2001. Pelagic coelenterates and eutrophication: a review. *Hydrobiologia*, **451**: 69-87.
- Cartwright, P., S.L. Halgedahl, J.R. Hendricks, R.D. Jarrard, A.C. Marques, A.G. Collins and B.S. Lieberman, 2007. Exceptionally preserved jellyfish from the middle Cambrian. *PLoS ONE*, **2**(10); e1121, doi:10.1371/journal.pone.0001121
- EEA report, 2006. The changing faces of Europe's coastal area. 107pp
- Fenner, P.J., 1997. The global problem of Cnidarian (jellyfish) sting. M.D. Thesis, University of London, 205pp.
- Graham, W.M., 2001. Numerical increase and distribution shifts of *Chrysaora quinquecirrha* (Desor) and *Aurelia aurita* (Linne) (Cnidaria: Scyphozoa) in the northern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*, **451**: 97-111.
- Kawahara, M., S. Uye, and H. Iizumi, 2006. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Marine Ecology Progress Series*, **307**: 161-173.
- Parsons, T.R. and C.M. Lalli, 2002. Jellyfish population explosions: revisiting a hypothesis of possible causes. *La mer*, **40**: 111-121.
- Uye, S. and Y. Yeta, 2004. Recent increase of jellyfish populations and their nuisance to fisheries in the Inland Sea of Japan. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, **68**: 9-19.
- Yasuda, T., 2004. Massive blooms of the giant medusa *Nemopilema nomurai* Kishinouye in Japanese waters from late summer to winter in 2002. *Bull. Plank. Soc. Japan*, **51**: 34-37.

2011년 7월 4일 원고접수

2012년 1월 31일 수정본 접수

2012년 2월 1일 수정본 채택

담당편집위원: 양희철