



해수욕장에 출현하는 유해 해파리 피해 저감 장치의 유형별 장·단점 분석

이동길 · 한인우* · 채진호** · 윤원득*** · 양용수 · 김도훈**** · 이경훈†
국립수산과학원(연구사, 연구관) · *전남대학교(학생) · **해양환경연구소(소장) ·
사람과해양연구소(소장) · *부경대학교(교수) · †전남대학교(교수)

Analysis of the Advantage and Disadvantage of Harmful Jellyfish's Damage Reduction Devices Strategy Types in the Beach.

Donggil LEE · Inwoo HAN* · Jinho CHAE** · Wonduk YOON*** · Yongsu YANG ·
Dohoon KIM**** · Kyoungsoon LEE†

National Institute of Fisheries Science(researcher, researcher institute) · *Chonnam National University(student) ·
Marine Environmental Research Laboratory(chief) · *Humen and Marine Ecosystem Research Laboratory(chief) ·
****Pukyong National University(professor) · †Chonnam National University(professor)

Abstract

This study aims to analyze merits and demerits of jellyfish blocking devices which can be applied to beach in order to reduce the damages caused by jellyfishes appearing in the Korea major coasts during the summer season. It also aims to contribute to revitalizing the local economy by suggesting countermeasures for the toxic jellyfish damages on the coasts. Both optimal design and blocking rate of the jellyfish blocking nets were tested based on environmental monitoring and survey of submarine topography near the waters of swimming beach. It was concluded that mesh-type, mobile tube-type, pile-reinforced type, and fixed fishing gear type could be applicable as jellyfish blocking nets, including the existing method using a scoop net.

Key words : Toxic jellyfish, Jellyfish blocking, Blocking devices, Summer vacation season, Swimming beach

I. 서론

자포동물문에 속하는 해파리류는 유성생식과 무성생식을 동시에 하는 생식능력 및 탁월한 환경적응 능력을 가진 동물이다. 다른 생물과의 공간경쟁에 우위를 점할 수 있으므로 최근 어류 등과 같은 포식자의 감소로 인한 먹이생물이 풍부

할 경우 기하급수적으로 증가 한다(Arai, 1997). 또한, 해파리류의 대량 출현은 자치어에서 소형의 표층성 어류까지 어족자원을 포식하여 해양생태계의 구조 및 기능을 변화시킨다(Feigenbaum and Kelly, 1984; Uye and Shimauchi, 2005).

1960년대 이후 지구온난화, 환경오염 심화, 해양구조물 구축, 수산자원 고갈 등에 의해 해파리

† Corresponding author : 061-659-7124, khlee71@jnu.ac.kr

* 이 논문은 국립수산과학원 수산시험연구사업(RP-2019014) 및 2018년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발-20130265)의 지원에 의해 수행되었습니다.

가 대량 발생하였다(Arai, 2001; Graham, 2001; Parsons and Lalli, 2002; Uye and Ueta, 2004; Yasuda, 2004). 그 결과, 전 세계적으로 인간 사회에 막대한 물질, 심리적 영향을 끼침으로써 사회, 경제적으로 큰 문제를 발생시키고 있다.

우리나라와 인접한 중국 및 일본에서도 지속적인 대형 해파리의 출현이 보고되어 왔으며(Kawahara et al., 2006), 중국에서는 피부접촉에 의한 사망사고가 발생하기도 하였다(Fenner, 1997). 우리나라에서도 해수욕객에 대한 피해가 2003년 이후 매년 500건 이상이 보고되고 있다(NFRDI, 2008). 특히 우리나라에서 현재 출현하거나 출현할 가능성이 있는 해파리는 모두 124종이며(Yu, 2016), 이중 100여 종이 독성 해파리인 것(Wrobe and Mills, 1998)을 고려할 때, 향후 지속적인 모니터링과 대책방안이 요구되고 있다.

우리나라 주요 연근해에서 출현하는 노무라입깃해파리는 갯 길이 1m 넘고, 무게(습중량) 약 200kg 이상의 대형종이며(Kim, 2007), 독성이 강하여 여름철 해수욕장 행락객들에게 등에 쓰임 사고를 유발한다(Hwang et al., 2006; NFRDI, 2008 ; Park et al., 2015).

본 연구에서는 우리나라 주요 연안에 하절기 피서철 해파리로 인해 발생하는 피해 현황에 대해 해수욕장에 발생하는 피해를 저감하기 위한 방안과 해파리 차단 장치의 장·단점을 분석하고, 기관별 협조 체계 방안을 제시하고 한다.

II. 해수욕장에서 해파리 피해 저감 방안

1. 해파리 피해 제거 방안 기술 적용

해파리로 인한 피해를 저감하는 보편적인 방법은 트롤어선이나 쌍끌이저인망어선 등의 예망용 조업선에 구비된 어구를 이용하는 것이 대표적이다(Park et al., 2015). 이러한 방법은 연근해역의 수층에 대량 발생하는 시기에 해파리를 제거하는

활동이 가능하다. 또한, 최근 로봇기술에 대한 관심 증가로 인해 밀집 분포하는 소형 보름달물해파리를 흡입한 후, 특수 프로펠러로 분쇄하는 해파리 제거 군집로봇 시스템(JEROS, KAIST)이 개발되었다(Kim et al., 2013). 하지만, 개발된 로봇의 소형화로 인해 높은 파도와 넓은 해역을 대상으로 적용하기에는 다소 어려움이 있을 뿐만 아니라 제작 비용이 높다는 단점이 있다. 또한, 해수욕장 주변에서 적용할 경우, 해파리의 독성을 가지고 있는 해파리의 촉수부분이 조류 등 해수의 흐름에 따라 해수욕장으로 유입되어 2차적인 오염 및 쓰임 사고를 유발시킬 수 있다는 문제점을 가지고 있기 때문에 현실적인 활용도는 매우 낮은 것으로 판단된다. 해수욕장 주변해역에서 해파리의 대량 유입이 발생하는 시기는 하절기 피서객들이 방문하는 시기와 거의 일치하는 시기이다. 비록 해파리를 대량 제거하는 방안들이 개발되고 있지만 독성을 포함하는 촉수 부분이 해수욕장에 유입되어 2차 오염이 발생할 수 있기 때문에 해수욕장 주변해역에서 절단이나 제거활동은 적절한 방안이 아닌 것으로 판단된다. 오히려, 조류의 흐름에 따라 유입의 영향을 주지 않는 범위 혹은 연근해역에서 제거활동이 바람직한 방안으로 판단된다.

2. 해파리 유입방지방안 검토

연근해역에 설치된 발전소의 취수구에 유입되는 부유성 물질이나 해파리를 포함한 해양생물들을 제거하는 방식으로 해외의 선진국에서는 그물망을 이용한 시스템을 사용하고 있다(Park et al., 2015). 이러한 방식은 국내외 발전소에서 보편적으로 사용되고 있고, 해파리 제거에도 효과가 있다.

그물망은 다른 수중 구조물에 비해 다양한 취수구 형태에 따라 설치가 가능하며, 비교적으로 저렴한 금액으로 차단장치를 설치할 수 있다는 장점이 있다.

해파리의 유입을 방지하기 위한 그물망은 일반적으로 정치망과 같은 고정형 어구에 사용하는 그물감을 이용하여 제작된다. 이러한 그물감은 해양 부착생물의 영향으로 그물의 유체저항이 커지게 된다. 따라서 어구의 손실을 방지하기 위하여 부착생물의 성장이 빠른 하절기의 경우에는 2~3주에 1회 정도의 교체주기를 가지고 있다. 최근 부착생물을 방지하는 그물감이 개발되어 일반 그물감에 비해서 교체주기가 약 2배가량 늘어나는 장점이 있다. 하지만, 그물감 매듭부분의 부착공간의 발생과 유입생물 차단망으로서의 상용화에 대한 많은 문제점을 가지고 있다.

자연발생유원지를 비롯한 산업기반시설이 위치한 연안지역은 발전소 시설 설비 보호를 위하여 주변해역과 해수의 유통이 원활하다. 또한, 대량의 해수유입을 위한 취수구 가동이 상시 이루어져 부유성인 해파리의 집적 현상이 나타나기 용이하다. 이에 따라 해파리 피해 예방을 위하여 취수구의 주변에 다양한 방식의 구제장치 설치 및 가동으로 인해 유입된 해파리를 수거, 제거하는 노동력 집약방식을 적용하고 있다.

성체로 가입된 해파리로 인한 해수욕장 및 발전소 피해를 최소화하기 위해서는 해파리 이동경로 예측모델 개발을 통해 해파리 유입경로를 정확히 파악하여 사전에 피해를 예방할 수 있는 대책 마련이 필요하다. 그리고 해파리의 대량유입에 대비한 저비용으로 효율 높은 기술 개발을 통하여 해수욕장 혹은 국가기간산업의 피해를 최소화해야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위한 최적 효율성은 해역 조건을 기본으로 차단시설을 고려하여야 한다.

3. 해파리 피해방지 해수욕장 기초 조사

해수욕장 주변해역에 독성 해파리가 출현하는 시기에 우선적으로 실행할 수 있는 것은 표층에 분포하는 해파리 대상으로 목시조사 방법을, 중층에 분포하는 해파리 대상으로 음향조사 방법을

적용하여 해파리 성체의 정량적인 분포조사를 실시할 수 있다. 해파리의 대량발생 시기에 조사선박을 이용하여 해수면에서 출현되는 해파리를 육안에 의한 목시조사를 실시하고, 시야가 확보되지 않는 수심에서는 음향조사 방법을 활용하여 5노트 이하의 일정 속도로 조사선박을 항주하면서 해파리의 수층별 분포 및 분포량을 정량적 파악하여야 한다.

또한, 해파리 출현시기의 주변해역에 대한 해양환경, 특히, 수온, 염분, 용존산소, 영양염류, 동·식물플랑크톤 등을 조사하여 테스트베드 주변해역의 계절별 주요 해양환경정보를 주기적으로 모니터링을 하여야 한다. 이 외에도 해파리가 출현하는 시기의 주변 먹이생물과 환경적인 요인의 상관관계를 규명할 필요가 있다.

조석에 따른 해파리 유입 경로를 분석하는 방법으로 해파리차단망을 설치하는 해수욕장에 대한 유속장 측정을 실시하고, 대량발생시기에 따른 주변해역에 대한 유향유속장치를 이용하여 유속장 정보를 주기적으로 파악하여야 한다. 또한, 해파리가 대량으로 출현되는 시기의 바닷물의 흐르는 방향 혹은 최대 유속장을 고려하여 차단·유도장치의 안전 설계 기준을 확보하여 해파리의 대량 발생에 따른 과부하 저항을 최소화시킬 수 있는 적절한 경사 각도를 유지하여 해수욕장 내부로의 차단과 처리 가능한 장소로 용이하게 유집할 필요가 있다.

해수욕장의 해저지형 파악 및 주변시설 검토를 위해서 저비용으로 효과적인 해파리 차단·유도시스템의 최적 설계를 목적으로 어군탐지기(fish finder) 및 다방향음향측심기(Multi Beam Echosounder)를 이용하여 대상 해수욕장의 해저지형정보를 확보하여야 한다. 해수욕장 주변해역에 기존에 설치되어 있는 방파제나 해양구조물 등을 이용하여 차단장치의 효율적인 설치 구조를 계획하고, 주변 어항을 통행하는 조업어선의 불편함을 사전에 예방하고 지역사회에 기여하기 위한 해파리 제거 방식의 선택이 필수적이다.

4. 해파리차단망 안전시스템 적용

유해생물 해파리 차단·유도 시스템의 설치에 의뢰에 의한 충격으로 차단망의 국소적 파손 혹은 상태 변형을 지속적으로 모니터링하기 위해 일정 간격으로 배치된 센서 네트워크를 구성하여 차단시스템의 상태를 모니터링하고 비정상적인 신호가 검출됨을 판단할 수 있는 알고리즘 개발이 필요하다. 육상과 인접된 곳이지만, 광범위한 영역에 설치되는 차단시스템의 특성을 고려하여 전력 및 통신을 위한 전송기 설치와 해양 환경 조건에서 차단망 그물에 인가되는 부하량 감지를 위한 센서군을 고려한 센서 네트워크 설치 방법이 마련되어야 한다. 이러한 센서 네트워크를 보조하기 위한 방법으로 차단시스템의 취약부에 카메라를 활용한 수중모니터링 장치 구축 및 관측되는 영상 정보로부터 해파리차단망의 안전상태 분석을 위한 관련 기술을 적용하는 것도 필요한 사항이다.

효율적 유지보수를 위한 사고 상황에 따른 원격 감지 시스템을 설치하여 운영할 필요가 있다. 해파리차단망의 파단사고 상황 발생 시, 사고 지점 정보를 자동 제공하여 시설담당자가 즉각적으로 시설물의 유지보수가 가능하도록 감시카메라의 위치 정보 및 관측 영상 수집을 통한 시설물 원격 모니터링과 원격 감지 시스템을 활용한 시설물의 사고 상황 적시 대응 및 효율적 관리를 통한 고객 만족도 향상과 관리 비용의 최소화를 고려해야만 한다.

기술적으로는 해파리차단망의 해수욕장 개장기간인 약 3개월간 부착생물 방지기술이나 어류 등의 낚힘 현상 방지 기술을 적용할 필요가 있다. 해파리 차단·유도시스템은 부착생물이나 유속저항에 견딜 수 있는 설계방법이 고안되어야 한다. 기존의 다이아몬드형식의 그물구조는 가격이 저렴하지만 저항에 따른 변형이 있고, 부착생물 등에 의해서 부하가 커지는 단점이 있다. 해파리 차단·유도시스템의 그물감 재료는 변형이 적어야

하고, 해파리의 낚히는 현상을 방지하며, 미끄러져서 포획부로 유도될 수 있는 사각형의 구조로 설치되어야 한다. 또한 이끼나 부유생물 등이 부착하지 못하는 재질로 처리하는 것이 필요하다.

또한, 최대 유속저항에서도 견뎌낼 수 있는 구조로 설치되어야 하며, 파랑 등에 의해서 1차 차단망으로부터 유입되는 것을 예방하기 위하여 차단망 구조를 2차로 설계하여야만 한다.

5. 유입 해파리 제거 시스템 적용

해수욕장 해파리차단망이 설치된 경우, 차단·유도된 해파리는 제안된 해파리의 해수욕장 유입에 대한 차단 및 유도시스템과 포집된 해파리의 이송, 탈수, 제거 등의 시스템의 설계에 따른 설치 정보 제공과 해파리의 대량 발생으로 인한 해수욕장 피서객의 재산 대비책을 마련해야 한다. 또한, 마나나보트 및 제트스키 등 해양레저기구 운영방안에 따른 해파리 피해예방 차단장치 설치 협조와 해양경찰청과의 상호 협력 체계의 구축이 필요하다. 추가적인 관리비용을 최소화하기 위해 제시된 해파리 탐지 및 영상을 전송하는 시스템과 해파리를 차단하고 유도하는 시스템의 효과 검증과 관내 다양한 관련기관 및 어업인의 의견을 수렴하여 개선방향을 제시할 필요가 있다.

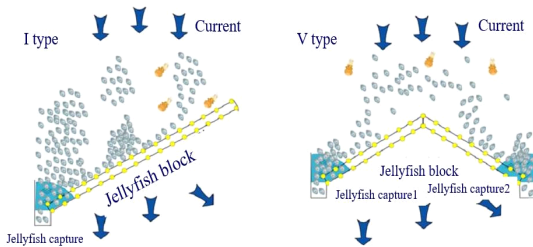
6. 해수욕장 해파리차단망 방안

해저지형정보를 활용한 차단·유도장치 설계로 대부분의 차단시스템은 유연체의 그물을 이용하는 방식이 주로 도입되고 있다. 해안선과 최단거리 등을 고려하여 일직선으로 설치할 경우, 노무라입깃해파리가 대량 출현하는 시기에 밀집되어 조류의 세기로 인해 유입되는 해파리의 규모에 따른 저항으로 발생하는 파손을 고려해야 하고, 해파리 차단장치는 해저지형 및 유속장을 고려한 최적 검토가 필요하다.

유입되는 해파리의 차단·유도를 위한 최적시스템은 해수욕장의 해저지형을 고려하여 설계할 수

있으며, 대량 유입의 경우와 조류의 세기를 동시에 고려한 I형 방식과 V형 방식으로 고안할 수 있다. 차단시스템 V형은 I형에 비해 안전성을 고려하였지만, 유입생물 포획부의 설치에 따른 이송·제거시스템의 추가설치가 필요한 단점이 있다.

이러한 설계안은 해수욕장 주변 해양환경정보를 토대로 최적설계안을 효율성 및 예산 등을 고려하여 제시할 수 있다. 또한, 해수욕장 해파리 피해를 방지하기 위한 소규모 해파리차단망은 유럽 등지에서 개발되어 상용화되어 있으므로, 소형 해파리차단망의 설치방안도 고려할 사항이다 ([Fig 1] 참조).

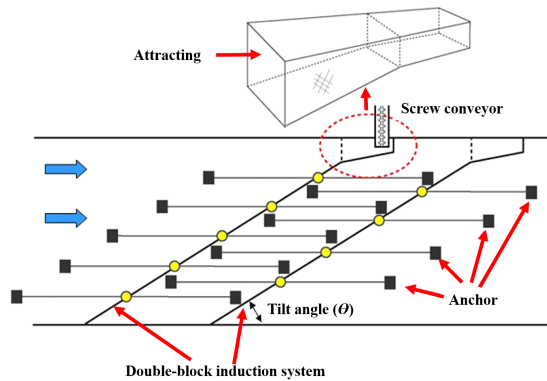


[Fig. 1] The design of a jellyfish shutter considering with the marine environment

해파리의 대량발생으로 인하여 세계 각국에서도 해수욕장 및 해안가에 설치되어 있는 산업발전시설에 유입되어 큰 문제가 되고 있으며, 연안에서 발생되어 유입되는 해파리는 주요 피해원인이 되고 있다.

차단·유도시스템 개발에는 해저지형정보를 활용한 차단·유도장치 설계 최적화와 부착생물 부착방지 및 최대 유속저항에 견딜 수 있는 설계가 필수적이며, 해파리의 차단 및 유도시스템은 해저지형과 유속장을 고려하여 해파리나 유입되는 생물들이 차단망에 의해서 포획부로 흘러갈 수 있도록 최적의 경사각으로 설치되어 있는 구조가 필요하다([Fig. 2] 참조). 다른 방안으로는 해수욕장 주변 고정형 파일 설치에 의한 차단 방안으로 해수욕장 주변 해상에 일정 간격으로 파일(50m, H)을 시공하여 설치된 파일을 따라 차단 그물망

을 설치하고 위쪽(해수면)에는 부표를 설치하여 부력을 높이고, 아래쪽(해저면)에는 추를 설치하여 차단망의 안정성을 높인다. 이러한 방식은 해파리의 처리단계가 없는 장점이 있으나, 선박의 항행에 불편함이 있다. 그러나 해파리가 대량으로 출현하는 시기나 하절기에 일시적으로 운용할 수 있고, 미운용 시 그물망만 철거할 수 있다는 장점이 있다.



[Fig. 2] The system for blocking or inducing the inflow of the marine creatures

해수욕장근처에 적용하기는 시설비용 및 조류에 따라 유입되는 해파리의 근원적인 차단방안은 될 수 없을 것으로 사료되지만, 물리적인 차단이 불가능한 경우에 수중으로부터 유입되는 해파리를 해수면으로 부상시켜서 선박을 이용하여 기존의 뜰채 혹은 제거 기구를 통한 회수방안에 적절하게 적용될 수 있다.

III. 해수욕장 설치 가능한 해파리차단망 장·단점 분석

국내 해수욕장의 경우, 대형 노무라입깃해파리가 대량으로 출현하여 어업 및 산업기반시설의 피해를 저감하기 위한 노력으로 2006년도부터 본격적으로 대응하기 시작하였으나, 국내 해수욕장에 대한 피해대책은 미비한 실정이며, 해파리가

<Table 1> Analysis of advantages and disadvantages of jellyfish fence types.

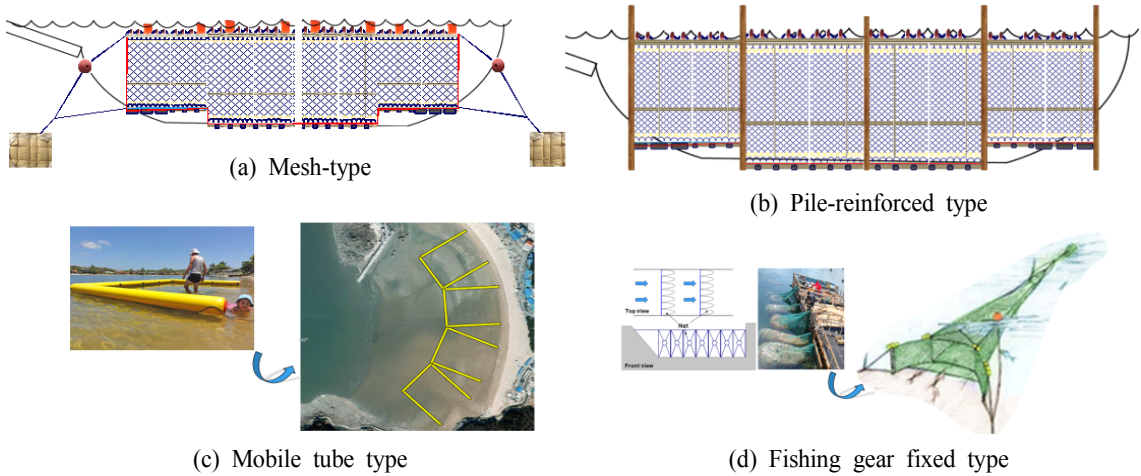
Type	Advantage	Disadvantage
Mesh-type net	<ul style="list-style-type: none"> - Easy to install and remove as the frame net is available. - Capable of screening 95% or higher, not including the blue of surface of the sea. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inconvenient for ship to sail in and out of the beach. - Creates an unpleasant view as jellyfish screening net becomes visible at low tide on the west coast.
Pile-reinforced net	<ul style="list-style-type: none"> - The structure is highly stable due to the installed pile. - Capable of screening 95% or higher owing to structural stability. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inconvenient for ship to sail in and out of the beach and bearing potential risks of accidents. - Creates an unpleasant view as jellyfish screening net becomes visible at low tide.
Mobile tube-type net	<ul style="list-style-type: none"> - Enables quick installation and removal in a short time as well as easy storage. - Capable of reliably screening at the beach (95% or higher). 	<ul style="list-style-type: none"> - Inconvenient to move screening net as visitors move around at low tide - Creates an unpleasant view as jellyfish screening net becomes visible at low tide.
Fishing gear fixed net	<ul style="list-style-type: none"> - Enables quick installation and removal in a short time as well as easy storage. - Relatively low-cost when it comes to the installation and operation cost. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incapable of installing according to the tide, establishing a monitoring system or continuously screening. ※ Consider the influx area and operation hours of the beach. - Relies on workforce of fishermen, etc.
Vessel scoop net	<ul style="list-style-type: none"> - Capable of operating in a short time and removing jellyfish on the surface layer. - Highly cost-effective when it comes to the installation and operation cost. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incapable of continuously screening as it only removes jelly fish on the surface layer ※ Consider the area and water level of the beach. - Relies on workforce of fishermen, etc.

대량 출현하는 시기에 해수욕장 관할 지자체 및 해경 등 관계기관에서는 뜰채를 이용한 수거방법에 의존하고 있는 실정이다. 해수욕장 피해방지용 해파리차단망은 기존 뜰채에 의한 방안을 포함한 주요 방안에 대한 결과, 그물형·파일보강형·튜브식이동형·고정어구형으로 고려할 수 있으며(<Table 1> 참조), 각 제시된 해파리차단망은 아래와 같이 분석되었다.

1. 그물형 차단망 설치를 통한 해수욕장 해파리 피해 저감 방안

그물형 해파리차단망은 대규모 해수욕장 설치에 용이한 형태로서 전 세계적으로 많이 적용되

고 있다. 그물형 해파리차단망은 [Fig. 3]의 (a)의 형태와 같이 해수욕장 입구에 뼈대그물을 설치하고, 해수욕장이 개장하는 시기인 7~8월에 대량 발생하는 해파리의 크기를 고려하여 적절한 그물코의 그물감으로 배치하여 차단할 수 있으며, 해수욕장 입구의 해저지형을 고려할 경우에 보다 설치비용이 저렴해질 수 있다. 특히, 서해안의 조석간만 차가 클 경우를 고려하여 간조 시에는 중앙부에 해수욕객의 통행이 가능하도록 설계하고, 만조 시에는 선박의 통행이 가능하도록 해수면에 게이트(Boat Gate)를 설치하면 용이할 것으로 판단된다. 또한, 해파리의 대량 출현을 대비하여 차



[Fig. 3] Set-up plan of jellyfish fence

단망은 적절한 경사 각도를 유지하고, 해파리가 자연스럽게 유도되어 포집이 가능한 구조로 설치되어야 하며, 최대 유속장 및 해저저질을 고려하고, 해지면 발줄(ropes with added weight)의 길이 등을 계산하여 설치하여야 한다.

2. 파일보강형 차단망 설치를 통한 해수욕장 해파리 피해 저감 방안

[Fig 3] (b)의 파일보강형 해파리차단망은 해수욕장 입구에 일정 간격으로 파일을 해저에 설치하고, 그물형 차단망 구조와 같은 그물감으로 배치할 수 있다. 일반적인 그물형 차단망에 비해, 설치비용이 다소 증가될 수 있으나, 해수욕장 입구의 해저지형 및 수직 및 수평적인 경사 각도를 고려할 경우, 보다 안전한 구조로 판단된다. 서해안의 조석간만 차로 인한 차단망 상부의 부력재에 의해 차단망을 상하부를 안정적으로 이동할 수 있는 장점이 있다.

3. 이동식 튜브형 차단망 설치를 통한 해수욕장 해파리 피해 저감 방안

[Fig. 3]의 (c)의 이동식 튜브형 해파리차단망은 해수욕장 백사장을 중심으로 기존에 개발되어 생산되고 있는 특수 재질의 튜브(고무 혹은 PVC 등)를 차단그물감을 부착하여 소형규모로 제작

및 설치가 가능하다. 그러나 파랑을 고려한 딱딱한 PVC재질의 튜브는 해수욕객의 충격에 의한 피해를 야기할 수 있으므로 가능한 부드러운 재질인 특수 재질 고무를 적용하여야 하고, 해수욕객에 의한 파손을 고려하여 길이를 약 20~30m 정도로 가능한 짧은 규격으로 연결하는 차단망 구조로 적용할 필요가 있다.

4. 고정어구형 해파리차단망을 이용한 해수욕장 해파리 피해 저감 방안

[Fig. 3]의 (d)의 고정어구형의 경우, 서해안의 어업현장에서 주로 사용되는 안강망과 같이 조류에 따라서 유입되는 어업자원을 어획하는 기구로서, 해파리 대량 출현시 어업인의 협조에 의해 해파리가 해수욕장으로 유입되는 밀물 때를 고려하여 운영할 수 있다.

해수욕장 인근해역 해파리의 지속적인 모니터링 체제(모니터링관측시스템 설치 및 어업인 모니터링 협조)가 구비된 상태에서 효과적으로 판단되지만 소규모 해파리 출현현황에 대처할 수 있는 현실적인 방안으로는 기존 차단망에 비해 비교적 효율성에서 떨어지는 것으로 판단된다.

5. 기존 선박 뜰채 수거에 의한 해수욕장 해파리 피해 저감 방안

기존 선박 뜰채 수거에 의한 방안은 해수욕장 해파리 피해 저감을 위해 표층에 유영하는 해파리를 대상으로 제거하는 방안으로 현재까지 주요 해수욕장에서 사용하고 있으나, 제거효율은 미비한 실정이다. 해파리 대량 발생시 피해저감 대응 방안으로 적절하지 않으며, 다수 선박의 해파리 제거활동은 해수욕장을 찾는 피서객의 불안감을 조성할 수 있는 가능성이 있다.

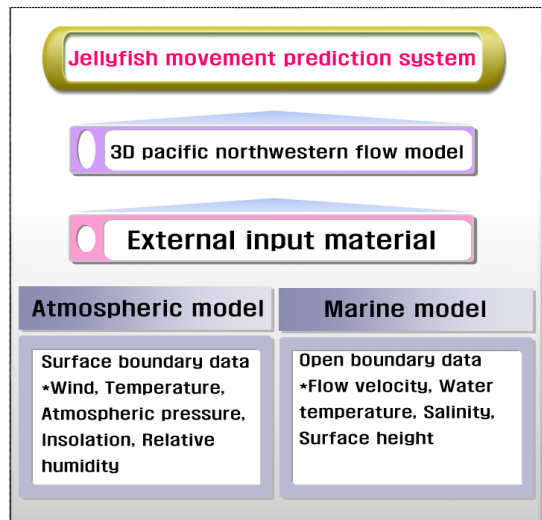
IV. 해파리 피해방지를 위한 기관별 협조체계

유해 해양생물 또는 해양 생태계 교란생물 등의 예보는 국민을 위한 사업으로서 그 의미가 매우 크다. 예보를 통해 국민들은 이에 대한 대처를 하고 행동 지침에 따라 행동할 수 있다. 예보라고 하는 것은 단순히 생물의 이동 경로 또는 어획량을 예측하는 수준이 아니라, 국민의 삶의 형태 및 질을 바꿀 수 있는 매우 중요한 사항일 것이다. 따라서 우리나라 실정에 맞는 예보체제를 구축하고, 이에 따른 행동지침 또는 강령 등의 마련은 향후 해파리 사업의 목적이 될 수도 있을 것이다. 우리나라 국민들 중 많은 수가 여름철 휴양지와 레저를 위한 장소로서 해수욕장을 많이 찾고 있는데, 이러한 현상은 현재 해파리 쏘임 사고와도 밀접한 관련을 가지고 있다고 할 수 있다.

우리나라는 삼면이 바다로서, 농업 이외에 수산업이 매우 발달해 있는 나라 중 하나이다. 특히 국민들은 수산자원을 여러 형태로 이용하고 있으며, 이용 현황에 따라 직접적인 조업을 통한 수산자원의 획득 뿐 아니라 양식을 통해 국민의 수요를 충족하고 있는 실정이다. 해파리의 대량 발생은 어업자원의 손실을 입히고 국민의 수산자원 수요를 막을 수 있는 요인이 되고 있다. 우리나라의 경우, 예보체제는 크게 두 가지 목적을 가지고 그 시스템이 이루어져야 할 것으로 생각

된다. 첫 번째는 대국민 지원 방향의 예보체제로서 현재 국내 연안에서 발견되고 있는 독성해파리의 이동 경로와 향후 예상되는 맹독성 해파리의 이동경로 등을 예측할 수 있어야 하며, 둘째는 수산 자원의 고갈을 막기 위한 어업인 지원 예보체제로서 해파리 대량 발생 근원지, 현황 및 이동 경로를 예측하여 예보해야 할 것이다.

이 두 가지 목적의 예보체제를 갖추기 위해서는 많은 모니터링 자료 및 생태 자료와 모델링 자료 등이 기본적으로 수집되어야 하며, 이렇게 수집된 자료는 해파리정보센터 등 일원화된 연구소에서 분석하여 준 실시간으로 소방방재청 등을 통해 국민들에게 전달되어야 할 것이다. 이러한 예보시스템을 갖추기 위해서는 우선적으로 모니터링 자료의 수집과 함께 해파리 이동 예측이 가능한 모델을 개발하는 것이 중요하다.



[Fig. 4] The modeling of the forecast system of the jellyfish's movement

실시간 해파리 이동 예측과 과거 해파리 이동 경로 추정을 위해 해파리 예측 시스템을 구축하고, 3차원 해수 유동 모델에서 계산된 유속장을 이용하여 한반도 주변 영역에서의 라그랑지(Lagrangian) 유동 계산을 바탕으로 해파리의 이

동 경로와 시간을 예측할 수 있다. 또한, 계산된 과거 유속을 이용하여 해파리의 기원지와 이동 경로도 추정해 볼 수 있다.

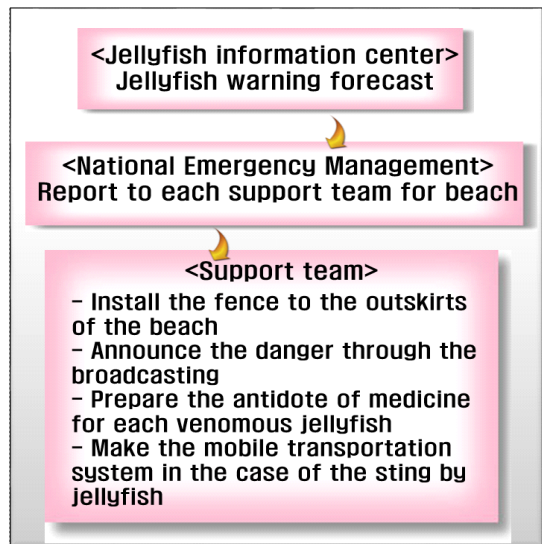
해파리의 과거 이동 경로를 잘 재현하기 위해서는 3차원 해수 유동의 정확한 재현이 선행되어야 한다. 이를 위해서는 해상풍과 열수지 그리고 조석효과 등 실제 자연 현상을 최대한 고려하여야 한다. 실제에 가까운 기상자료의 재현을 위해서는 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 또는 NCEP(National Centers for Environmental Prediction) 등과 같은 검증된 자료를 해수 유동 모델에 사용해야 한다. 이 때, 일별 바람자료를 사용하여 보다 정확한 바람의 효과를 재현 할 수 있다.

대부분의 해양순환모델에서는 월별 평균바람을 사용하여 해수순환과 수온 등을 재현하고 있다. 그러나 월별 백터로 평균된 바람의 속력은 일별 바람 속력의 평균값보다 작다. 이에 따라 해양에 미치는 바람의 영향이 모델에 작게 나타나는 것으로 알려져 있다. 일별 바람을 사용하여 해수 유동 모델의 정확도를 향상 시켜야 하며, 예측 모델은 쿠로시오와 같은 대양의 순환도 잘 재현하여야 한다. 이러한 점을 비롯하여, 모델의 개방 경계 문제를 해결할 수 있는 방법 중 하나로 모델영역을 지구 전체로 확대한 전구 모델이나 태평양 모델의 결과를 이용하는 것이다. 그러나 전구 모델의 경우, 모델의 해상도가 낮으며, 특히 수심이 급격하게 변하는 한반도 주변해역의 해류와 수온 등을 정확하게 분해하지 못하기 때문에 개방 경계 값으로 전구 모델의 결과를 이용하고, 높은 해상도를 갖는 지역규모의 해수 유동모델을 구성한다. 그렇기 때문에 효율적인 해파리 예측 시스템의 활용을 위해 전구모델 결과를 적용할 수 있는 시스템을 구성하여야 한다([Fig. 4] 참조).

현재 국내에는 국립수산물과학원에서 운영하고 있는 해파리정보센터가 있으며, 여기에 적조 모니터링 및 예측과 피해 방지에 대한 요령을 수정

하고 응용하여 해파리 예보체제를 완성할 수 있다([Fig. 5] 참조).

즉, 해파리의 독성 정도에 따른 주의보와 경보 체제를 구축하고, 해파리의 초기출현을 감시하는 모니터링체제를 가동하여 해당 해파리를 발견한 경우, 이동예측모델을 구동하여 시기 및 장소를 예측하여 해당지역에 주의보 또는 경보를 발령함과 동시에 피해 저감 방안을 제공하는 체제이다. 특히, 피해방지 요령 중 하계 집중되는 해파리 쏘임 사고와 관련하여 해수욕장 내 피해 방지 요령 등을 계획한다면, 국민을 위한 연구로서 해파리 연구에 대한 인식을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.



[Fig. 5] The plan to support citizen through the jellyfish forecast

V. 고 찰

기존 해파리를 포함한 해양생물의 대량 유입 시 국내 외 처리방안에 관한 검토(Park et al., 2015)와 해수욕장의 피해대응 방안 및 해파리의 대량 유입에 의한 해수욕장 방문객 쏘임 등에 의한 피해 사고에 대응하기 위해서 다음과 같이 세

가지의 방안을 제시할 수 있다.

첫 번째는 해파리의 대량유입을 막기 위한 차단망 설비 방안과 두 번째는 해파리 대량 발생 시 다양한 제거 방식의 검토를 통한 현장 적용이며, 그리고 세 번째로는 해양생물의 대량유입에 대처하기 위한 감시 시스템 등이다. 그러나, 해양에서 집적하여 분포하는 경향이 강한 해파리가 해수욕장 해안가로 유입될 때, 해수욕장 운영기간에 안전요원이 탑승한 구조선 및 어촌계에서 운항하는 조업어선에 지장을 주지 않는 범위 내에서 설치하는 해파리차단망이 가장 효과적이라고 판단되며, 해운대 및 송정 해수욕장의 경우, 입구의 폭 간격이 각각 약 1.4 km와 0.7 km 정도이므로(Park et al 2015; Jang et al., 2012), 다소 유입되는 해파리를 차단·유도할 수 있는 공간이 넓지만, 각각 미포항과 죽도공원 측의 차단에 의한 해파리를 수거 및 관리 운영하는 것이 효율성이 높은 것으로 판단된다. 또한, 송정해수욕장의 경우, 해풍이 많은 지역으로 윈드서핑 등 다양한 레저 공간으로 활용이 가능한 점을 고려할 때(Lee et al., 2013), 전면 설치보다는 노약자, 어린이 등의 안전 취약층을 대상으로 튜브형 이동식 차단망을 일부 안전유영구역으로 설치하는 방안을 권장한다.

해파리 제거방안으로 제시된 다양한 방법들은 해파리를 절단하여 제거함으로써 우리나라에 유입되는 해파리의 피해 저감 방안으로 볼 수 있으나, 해수욕장 주변에서 어선에 의한 제거방안을 도입할 경우, 독성을 가지고 있는 촉수들이 부유하여 해수욕장 쪽으로 유입될 가능성이 높아 2차 오염에 대한 문제가 심각할 수 있으므로 가급적 지양하는 것이 필요하며, 해당 어촌계 및 어업인들과의 충분한 협의를 거쳐서 해파리에 피해가 없는 전국 유일의 해수욕장을 찾는 방문관광객의 유치에 방향성을 가지고 추진하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

지방자치단체에서 관할 해수욕장에 해파리차단망을 설치하고자 하는 경우, 비용관련 재정 부담

이 클 것으로 판단되므로, 해수욕장을 찾는 피서객의 해파리 피해는 대국민 피해 대책 방안을 고려해야 하는 공통사항이므로, 중앙정부 차원에서 예산지원, 표준안 마련 등의 대책 방안이 절실히 요구된다. 또한, 부산광역시 해운대구청에서는 관할 해수욕장 주변 어촌계 및 해양경찰청, 119소방구조단 등과의 충분한 협의과정을 거쳐서 해파리 대량유입에 대한 피해대책을 수립하는 것이 필요하며, 해당 해운대 및 송정 해수욕장의 해저지형 및 주변 구조물을 고려하여 해파리 차단 및 제거장치의 설치를 통해 효율적인 대책이 마련될 것으로 판단된다.

호주 및 프랑스를 비롯한 유럽국가에서는 독성 해파리로부터의 피해를 예방하기 위하여 해수욕장에 해파리 펜스를 설치하여 어린이 및 노약자의 피해를 방지하고 있다. 특히, 호주에서는 맹독성 해파리로 인하여 증가하는 피해를 저감하기 위하여 안내표지판을 설치하고 대규모 해파리차단망을 설치하고 있으며, 유럽국가에서는 소형규모의 해파리차단망을 설치하여 해수욕장을 운영하고 있는 것으로 조사되었다.

미국의 경우, 2000년대 이후 해파리의 생태와 생리, 유전학, 모니터링, 예측과 관련된 연구를 수행하고 있고, 유럽은 EUROJEL(European gelatinous zooplankton: mechanisms behind jellyfish blooms and their ecological social-economical effects)을 2002년부터 2005년까지 진행하여 생태학, 독성, 모니터링, 모델링 등 10개의 프로젝트를 세부적으로 나누어 연구되어 있으며, 호주의 경우에도 모니터링과 독성연구, 해수욕장 관리에 집중되어 있는 것으로 나타났다(Chung et al., 2012). 이처럼 국외에서 진행되고 있는 해파리 연구의 경우에는 생물의 다양성과 생태계 균형을 중심으로 연구가 진행되고 있으나, 국내의 경우에는 일부 해파리 종을 유해해양생물로 지정하여 부착 유생제거, 해파리 구제 및 차단, 방제 등의 연구를 중심으로 수행하고 있다. 우리나라에서 해파리가 국가적, 경제적, 국민적으로 피해를 유

발하고 있는 것을 사실이지만, 이러한 정책 및 연구는 해파리 피해 방지의 임시방편일 뿐이며 근본적인 원인을 해결하지 못하고, 오히려 생태계의 불균형을 초래할 수 있을 것으로 판단된다. 그렇기 때문에 해파리로 인한 피해를 줄이기 위해서 대량 발생의 원인 파악과 생물학적이고 유전학적 연구를 비롯해서 기초 연구를 수행하여야 하며, 해파리를 활용하고 자원으로써 이용 할 수 있는 연구와 독성 피해 예방 등의 연구도 동시에 활발히 진행되어야 한다고 사료된다.

References

- Arai MN(1997). A functional biology of scyphozoa. Chapman and Hall. Springer Science and Business Media. London. UK. 316.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-97-009-1497-1>.
- Arai MN(2001). Pelagic coelenterates and eutrophication: a review. *Hydrobiologia* 451, 69~87.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1011840123140>.
- Chung MH, Youn SH and Yoon WD(2012). Research trends of the jellyfish blooms. *The Sea*, 17, 25~31.
<https://doi.org/10.7850/jkso.2012.17.1.025>.
- Feigenbaum D and Kelly M(1984). Changes in the lower Chesapeake Bay food chain in the presence of the sea nettle *Chrysaora quinquecirrha* (Scyphomedusa). *Marine Ecology Progress Series* 19, 39~47. <http://dx.doi.org/10.3354/meps019039>.
- Fenner PJ(1997). The global problem of Cnidarian (jellyfish) sting. Diss University of London 205.
- Graham WM(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.
https://doi.org/10.1007/978-94-010-0722-1_9.
- Hwang SW, Cho KJ, Oh DJ, Lee D, Kim JW and Park SW(2006). A Case of delayed cutaneous reaction to a jellyfish sting from the Korean coastline. *Kor J Dermatol*, 44, 1451~1453.
- Jang DH, Kim J. S and Baek SG(2012). Analysis of shoreline change using multi-temporal remote sensed data on Songjeong Beach, Busan. *J Kor Geomorpholo Associ*, 19, 59~71.
- Kawahara M, Uye SI, Ohtsu K and Iizumi H(2006). Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Marine Ecology Progress Series* 307, 161~173.
<https://doi.org/10.3354/meps307161>.
- Kim D, Shin JU, Kim H, Kim H, Lee D, Lee SM, and Myung H(2013). Design and implementation of unmanned surface vehicle JEROS for jellyfish removal. *Journal of Korea Robotics Society*, 8, 51~57. <https://doi.org/10.7746/jkros.2013.8.1.051>
- Kim EH(2007). Target strength of Nomura's jellyfish (*Nemopilema nomurai*). Master Dissertation, Chonnam National University, Yeosu, Korea, 1~42.
- Lee HG(2013). A study on the improvement of functional and characteristic elements of urban marine leisure sports. Master Dissertation, Hanyang University, Seoul, Korea, 1~215.
- NFRDI(National Fisheries Research and Development Institute)(2008). Scientific report on the mass occurrence of jellyfish, and prevention and utilization, NFRDI, Busan, 1~222.
- Park SW, Lee D, Yang Y, Lee H, Lee K, Hahn, M and Lee T(2015). Analysis on underwater stability of the jellyfish sting protection net installed in the Haeundae beach. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 51, 128~135.
<http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.128>.
- Park SW, Lee GH, Yoon WD, Lee DG, Kim SH, Yang YS and Lee GH(2015). A Study on the Damage Reduction Strategy Against a Harmful Aquatic Organism, Jellyfishes Bloom. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 27, 49~62.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.1.49>.
- Parsons TR and Lalli CM(2002). Jellyfish population explosions: revisiting a hypothesis of possible causes. *La mer* 40, 111~121.
<https://ci.nii.ac.jp/naid/10012717995>.
- Uye SI and Shimauchi H(2005). Population biomass, feeding, respiration and growth rates, and carbon

- budget of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the Inland Sea of Japan. Journal of Plankton Research 27, 237~248
<https://doi.org/10.1093/plankt/fbh172>.
- Uye SI and Ueta U(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.
<https://ci.nii.ac.jp/naid/10026582718>.
- Wrobel D and Mills C(1998). Pacific coast pelagic invertebrates: A guide to the common gelatinous animals. Monterey Bay Aquarium 108.
- Yasuda T(2004). Massive blooms of the giant medusa *Nemopilema nomurai* Kishinouye in Japanese waters from late summer to Winter in 2002 (Note). Bull Plank Soc Japan 51, 34~37.
<https://ci.nii.ac.jp/naid/20000588991>.
- Yu WB(2016). Study on the rDNA characteristics of harmful jellyfishes *Aurelia* sp.1 and *Nemopilema nomurai* in Korea. Master Dissertation, Sangmyung University, Seoul, Korea, 1~54.
-
- Received : 12 July, 2019
 - Revised : 01 August, 2019
 - Accepted : 22 August, 2019