한국항해항만학회지 제47권 제3호
J. Navig. Port Res. Vol. 47, No. 3 : 134-146, June 2023 (ISSN:1598-5725(Print)/ISSN:2093-8470(Online))
DOI : http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2023.47.3.134

블루카본 바이오매스 서식지를 중심으로 한 탄소저감형 해안도시 조성의 필요성

† 황선아

† 부산대학교 도시공학과 도시문제연구소 전임 연구원

Protect Blue Carbon Biomass Habitat and Create a Carbon Reducing Coastal City

† *Sun-Ah, Hwang*

† *Full-time Researcher, Urban Affairs Research Institute, Pusan National University, Pusan DaeHak-Ro, 63, Busan, Korea*

요 약 : '탄소저감' 문제는 전세계적으로 가장 중요한 이슈 중 하나라고 할 수 있다. 효율적인 탄소저감을 위해서는 배출량 감소는 물론, 흡수량을 늘리는 방법도 고려할 필요가 있다. 이에 최근 블루카본 바이오매스를 활용해 탄소흡수량을 늘리는데 많은 관심이 쏠리고 있다. 블루카본은 염생식물, 잘피 등 연안에 서식하는 식물과 갯벌 등의 퇴적물을 포함한 해양 생태계가 흡수하는 탄소를 말한다. 또한 블루카본 바이오매스는 블루카본과 관련된 생태계를 의미하며 이는 내륙 생태계보다 탄소흡수율이 높고, 포집 기간도 길어 탄소저감에 매우 효율적이라는 평가를 받고 있다. 하지만 국내에서는 아직까지 이에 대한 연구활동이 활발하지 않은 실정이며, 무엇보다도 블루카본 바이오매스 서식지 보존을 위한 공간계획과의 연계성이 부족하고, 관련 정책도 구체적으로 마련되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 탄소저감 문제 해결에 적극적인 대응을 위하여 블루카본 바이오매스의 중요성을 인식하고, 서식지를 보존하여, 향후 이를 중심으로 한 국내 환경에 적합한 형태의 탄소저감형 해안도시를 조성할 필요가 있음을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 기후변화, 탄소저감, 블루카본 바이오매스, 해안도시, 표적집단면적(FGI)

Abstract : *The issue of 'carbon reduction' can be said to be one of the most important issues worldwide. For efficient carbon reduction, it is necessary to consider ways to increase absorption and reduce emissions. Accordingly, much attention has been paid to increasing carbon absorption using blue carbon biomass. Blue carbon biomass refers to an ecosystem related to blue carbon, which has a higher carbon absorption rate than inland ecosystems and a longer collection period. It is very efficient in reducing carbon. Therefore, in this study, a current status survey was conducted on domestic and foreign policies, studies, and plans related to the preservation of blue carbon biomass habitats. Basic research was conducted to prepare plans for future preservation of blue carbon biomass habitats suitable for the domestic environment.*

Key words : *climate change, carbon reduction, blue-carbon biomass, coastal city, focus gruop interview*

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

기후변화는 21세기에서 가장 크고, 중요한 이슈 중 하나라고 할 수 있다. 특히 기후변화와 직접적으로 연계되는 탄소저감 문제는 더 이상 선택이 아닌 필수가 되었다. 이에 일부 국가에서는 이미 탄소배출량 감소를 위한 다양하고 폭넓은 연구 및 사업을 시행하고 있다. 특히 탄소흡수 속도가 내륙 흡수원보다 50배가 높은 블루카본 바이오매스에 대한 관심이 점차 높아지고 있다.

따라서 본 연구에서는 환경적, 생태적으로 높은 가치가 있는 블루카본 바이오매스 서식지를 보존하고, 향후 국내 환경을 고려하여 블루카본 바이오매스를 중심으로 한 탄소저감형 해안도시 조성의 필요성을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 목표는 효율성 높은 탄소흡수원으로 각광받고 있는 블루카본 바이오매스의 중요성 인식과 블루카본 바이오매스 서식지를 중심으로 한 탄소저감형 해안도시 조성의 필요성 제시이다.

우선, 선행연구 고찰을 통해 블루카본 바이오매스의 개념을 정리하였다. 이후 블루카본 바이오매스 중 대표적으로 인식되는 맹그로브, 해초, 습지의 탄소흡수율 조사 및 서식지 현황에 대하여 조사하였다. 국외 선진사례 조사 대상지는 호주, 미국, 일본이며, 각 국가에서 시행되고 있는 블루카본 바이오매스와 관련된 연구 및 정책, 현황분석을 통해 시사점을

† Corresponding author : 정회원, sahwang38@gmail.com 051)510-3520

도출하고, 국내의 관련 정책에서의 취약점도 도출하였다. 이후 국외 선진사례의 시사점과 국내 연구 및 사업의 취약점을 토대로 FGI(Focus Group Interview)[1]를 시행한 뒤, 분석 결과를 바탕으로 탄소저감형 해안도시 조성을 위한 방향 모색을 통해 필요성을 제시하였으며, 연구과정은 다음의 Table1과 같다.

Table 1 Research process

Introduction	Blue carbon biomass	Concept study
Main Contents	Carbon absorption rate of blue carbon biomass / Habitat status	Presenting the need for habitat conservation
	Related to blue carbon biomass Policy / Research / Plan	Status Analysis
Conclusion	Conservation of blue carbon biomass habitat Implications + Domestic Vulnerability + FGI	Complementing vulnerabilities and seeking direction
Presenting the necessity and direction of carbon reduction coastal city development		

2.개념정립 및 선행연구

2.1 블루카본 바이오매스의 개념

해양생물의 광합성을 통한 탄소흡수원 기능을 일컬어 '블루카본(blue carbon) 바이오매스'라고 하며, 이는 산림을 일컫는 그린카본(green carbon)과 구별한 말이다. 최근 발표된 2021년 글로벌 탄소수지 보고서(Global Carbon Budget)에 따르면 연안 블루카본(108억톤)은 육상삼림(104억톤)과 탄소흡수 총량은 비슷하지만 흡수 속도는 최대 50배 빠른 것 을 알 수 있다.(Park, 2017) 또한 삼림이 노후하면서 흡수능력이 떨어지는 것과 비교해 볼 때, 바다는 꾸준한 탄소흡수가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

지난 2009년 세계자연보전연맹(IUCN) 보고서에서 열대 해양식생숲에 주목하며 등장한 블루카본 개념은 2013년 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, The Intergovemental Panel on Climate Change)에서 주요 탄소 감축원으로 갈대나 칠면초 등 염습지, 해양에서 자라는 나무인 맹그로브, 해초인 잘피 등을 블루카본 바이오매스로 인정하며 주목을 받고 있다.

또한 최근 국내 대학교의 연구팀은 갯벌이 매우 높은 탄소저장능력을 가지고 있으며, 다양한 해양생태계의 서식지이며, 블루카본 저장소 역할을 할 수 있을 것이라는 연구를 발표한 바 있다.(Kim, 2021)

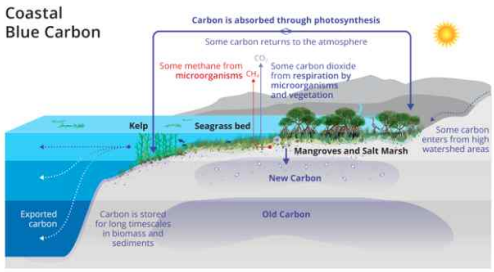

Fig. 1 Blue carbon eco-system[2]

2.2 선행연구

호주, 미국, 일본을 포함한 몇 개 국가에서는 이미 블루카본과 관련된 연구를 수년 전부터 수행해 오고 있는 것에 비하여 우리나라에서의 관련 연구는 시행 초기 단계라 할 수 있으며, 대부분 해양생태계, 환경, 기후변화 등과 관련된 연구로, 블루카본 바이오매스 서식지 보존과 관련된 도시계획 및 설계 즉, 공간계획 측면에서의 연구는 전무한 실정이다.

Alongi(2022)는 "Impacts of climate change on blue carbon stocks and fluxes in mangrove forests" 에서 맹그로브 숲의 높은 탄소저장량과 이를 통한 탄소감축률을 조사하였다. 그는 맹그로브 숲이 아열대 및 열대 해안지역의 1.5%만 차지할 만큼 적은 비율이지만 이산화탄소 배출량 개선을 위해 높은 탄소 저장력을 가진 맹그로브 숲을 복원하고 이를 통해 기후변화 프로젝트의 잠재력을 증진시킬 필요가 있음을 서술하고 있다.

Macredies(2009)는 "The future of blue carbon science"를 통해서 블루카본의 용어에 대해 설명하고, 지난 10년간 블루카본의 역할이 어떻게 중요시되어 왔는지를 서술하고 있다. 또한 그는 향후 블루카본의 가치를 높이기 위한 효과적인 관리방법, 향후 필요한 연구의 방향에 대해 서술하고 있다.

E.lovelock(2019) 은 "Dimensions of blue carbon and emerging perspectives"에서 블루카본의 탄생과 지금까지 진행되어 오고 있는 관련 연구의 동향을 서술하고 있다. 그는 블루카본의 컨셉이 현대사회에서 점점 더 중요해 지고 있음

1) 특정 제품이나 제도 등에 관심 있는 이해당사자 중 6~12명 정도의 소수 인원을 선발, 한 장소에 모이게 한 후 면접자의 진행 아래 조사목록과 관련된 토론을 유도하고 이 과정에서 자료를 수집하는 정성적 조사 기법

2) www.noaa.gov

을 생태시스템과 연계하여 설명함으로써, 해양생태계와 기후변화의 연계 연구의 중요성을 강조하고 있다.

Kwon(2009)의 “2050탄소중립을 위한 새로운 블루카본 후보군” 연구에서는 탄소흡수율이 높은 블루카본 바이오매스에 대해 조사, 분석 하였으며, 그 중 갯벌이 국내환경에 적합한 형태의 탄소저감을 위한 흡수원으로써 활용될 수 있을 것이라 서술하고 있다.

Yoon(2022)은 “동해안 블루카본 자원의 가치와 활용방안” 연구를 통해서 해조류 자원을 활용하여 탄소흡수원으로 활용할 수 있는 방향을 제시하고 있다.

Eum(2020)은 “블루카본 거래를 위한 어촌 마을단위 탄소권 설정의 행정법적 고찰” 논문을 통해서 블루카본을 보존하는 경우, 양식장, 염전 등 다른 경제활동을 못함으로써 받는 손해 배상을 국제사회가 지불해야 한다는 주장으로 서술하고 있다.

이처럼 국외연구는 블루카본에 대한 명확한 개념정립, 필요성, 탄소흡수율, 관련 학문간 연계연구의 중요성, 공간계획 관련 정책과의 연계방안 모색 등이 주를 이루고 있으며, 국내에서도 최근 몇 년 전부터 블루카본 바이오매스에 대한 연구가 다양하게 수행되고 있으나 아직까지는 개념정립과 필요성, 블루카본 바이오매스의 후보군 연구가 주를 이루고 있다.

3. 블루카본 바이오매스의 탄소흡수율 및 서식지 현황

3.1 블루카본 바이오매스의 탄소흡수율

기후변화에 관한 정부 간 협의체인 IPCC가 가장 먼저 인정한 탄소흡수원은 맹그로브, 해초, 습지대이다. 해당 식물들의 서식지인 해안생태계는 탄소흡수에 매우 중요한 역할을 하며, 서식지를 보존하지 않으면 기후변화로 인한 문제 발생에 지속적인 영향을 미칠 것이다.(Chmura. 2003 ; Duarte, 2005 ; Bouillon, 2008 ; Laffoley, 2009 ; Nellemann, 2009; Duarte, 2010.) 이에 본 절에서는 블루카본의 선두주자라 할 수 있는 맹그로브, 해초, 습지대 각각의 이산화탄소 흡수율 및 특성, 생태적, 환경적 가치를 살펴보았다.

맹그로브는 동남아시아와 호주, 아프리카 등의 열대 해안에서 바닷물에 잠긴 채 살아가는 여러 종류의 나무들을 의미하며 지하 퇴적물을 풍부하게 저장하고 있는 삼림요소라 할 수 있다. 맹그로브 숲은 토양 1m 내의 탄소량까지 포함해서, 평균적으로 1헥타르당 3,754 톤의 이산화탄소를 흡수할 수 있다.[3)]

해초는 광범위한 해저 목초지를 형성하는 개화성 해양식물로, 남극을 제외한 모든 대륙의 바다 근처에 분포하고 있다. 전체 바다 면적의 약 0.1%에 불과하지만, 해저 탄소 저장률의 10~18%를 차지하며, 1헥타르당 약 7,665톤의 이산화탄소를 유지한다.(Ik. K.C., 2010; Ellen, O., 2022)

습지대는 비바람이 들이치지 않는 해안지역에 있는 지대로, 생물학적 다양성을 보유한 평평한 조간대 모래 및 진흙 서식지를 의미한다. 이 공간에는 주로 바닷새와 무척추동물이 서식하며, 다양한 생물들이 탄소를 흡수하거나, 최대 8m까지 바이오매스 퇴적물을 형성하는 등 생태학적으로 매우 높은 가치를 지닌 지대라고 할 수 있다.

습지대 1헥타르당 900~1,700톤 사이의 이산화탄소를 흡수한다. 특히 연안습지는 단위면적당 탄소 축적률이 산림 생태계보다 30~50배가 높다.(Bridgham, 2006 ; Mcleod, 2011 ; Ouyang X, 2013)

Table 2 Carbon absorption rate of blue carbon biomass

Division	Rate of Carbon absortion
Mangrove	3,754/hec
Sea weed	7,665/hec
Wetland	900~1,700/hec

3.2 블루카본 바이오매스 서식지 현황

맹그로브 서식지 훼손율은 점차 증가하고 있는 실정으로, 1980년대부터 2000년대까지 많은 나라들이 경제개발이라는 명목하에 맹그로브 숲을 없애고, 매립지, 호텔, 항구 등을 건설하거나 염전을 개발하고, 맹그로브를 벌채하여 자원으로 사용해 왔다. 그 결과 세계의 맹그로브 숲의 1/3이 지난 50년간 사라졌으며,(James, H. 2013.) 특히 동남아시아의 많은 국가들에서는 맹그로브 숲을 없애고, 새우 양식장을 만들고 있는데, 이는 시간이 지날수록 독성 물질이 생기고, 전염성 세균 오염으로 인해 대부분 3~4년이면 폐기해야 하며, 결과적으로 맹그로브 숲은 지속적으로 훼손되고 있는 실정이다. 그 결과 현재 맹그로브 숲의 손실률은 평균 전세계 산림 손실률보다 3~5배 빠른 속도에 달하고 있다.(James, H. 2013.)

Fig. 3 Mangroves and shrimp farms in India[4)]

3) www.unesco.org
4) https://www.themarinediaries.com

맹그로브는 높은 탄소흡수율 뿐만 아니라 태풍, 쓰나미, 침식 등으로부터 해안선을 보호하고, 침전물 여과를 통해 수질을 개선하는데 긍정적인 영향을 주고 있는데, UNEP(UN Environment Programme)는 맹그로브 1ha를 경제적 가치로 환산할 경우 연간 3만 3,000~5만 7,000달러의 이익을 기록한다며 복원의 필요성을 강조하고 있다.

해초 서식지 또한 최근 해안 부영양화, 해수 온도 상승, 광합성률 감소를 유발하는 해수면 상승 및 침강, 해안개발 증가 등으로 인해 훼손률이 증가하고 있으며, 그 결과 해초 또한 감소하고 있다. 이에 해초 서식지는 현재 1970년대 대비, 전 세계 서식지 면적의 30%가 감소한 실정이며 이는 전 세계적으로 매년 약 7%의 면적이 사라지고 있는 것으로 분석할 수 있다.(Matt.J. 2023)

습지는 크게 내륙습지와 연안습지로 구분할 수 있는데, 그 중 연안습지는 탄소유출을 차단해 지구온난화의 주요 원인인 이산화탄소의 양을 조절함과 동시에 생물들에게 서식지를 제공하고, 수질 및 공기정화를 하는 역할도 한다. 하지만 연안습지 즉, 갯벌은 최근 해수면 상승으로 인해 점차 감소하고 있으며, 도시개발과 매립 등 각종 개발행위로 인한 손실률도 매우 높은 실정이다.(Cahoon, 2006 ; Deegan, 2012 ; Keeling, 2009)

현재 전 세계 습지는 1900년 이후 전체의 50%가 훼손된 실정이다. 습지 면적의 변화에 대한 189건의 보고서를 검토한 결과, 보고된 자연 습지의 장기적 손실은 평균 54~57%이지만 1700년 이후로 손실이 87%에 달했을 수 있다. 이는 1900년 이후 습지의 64-71%가 손실되면서 20세기와 21세기 초에 습지 손실률이 3.7배 더 빨라졌다고 할 수 있다.(Nick C. 2014) 각 블루카본 바이오매스 서식지의 대표적인 훼손 현황은 Table 2와 같다.

Table 3 Damage status of bluecarbon biomass

	Damage status	
	Cause of damage	Damage rate
Mangrove	-Salt field development -Development of shrimp farm -Landfill	-3 to 5 times faster than the global forest loss rate - Reduced area by 1/3 in the last 50 years
Seaweed	- Coastal eutrophication -Sea temperature and sea level rise - Coastal development	-30% reduction in global area compared to 1970 - Decreased by 7% every year
Wetland	-Sea level rise - Urban development and reclamation	-64-71% loss since 1900 -20th to early 21st century loss rate 3.7 times faster

4. 국내외 블루카본 관련 연구, 정책 및 계획 현황

4.1 국외 현황

4.1.1 호주

호주 정부에서는, 지난 2019년, Blue Carbon Strategy (2020-2025)를 발표하여 블루카본의 중요성을 강조하고, 관련 연구, 사업, 계획 및 제도 마련 등을 추진해오고 있다. 특히 그들은 블루카본의 효과와 잠재력을 구체화하기 위한 시범사업, 연구개발 등에 중점을 두고 있으며 이를 주 정부계획과 토지이용계획 등에 반영하고 있다. 대외적으로는 미국, 인도네시아, 프랑스 등 여러 나라와 국제적 동반관계를 유지하고 있고, 대내적으로는 기업, 시민단체, 비정부기구 등을 통한 네트워크를 구축하고 있으며 내용은 다음의 Table 3과 같다.

Table 4 Australian policy on blue carbon biomass

Division	Main contents
Pilot project	-Conducted a pilot project to prove the carbon reduction effect and potential of blue carbon -Restoration of the blue carbon ecosystem and connection with the carbon emission trading market and other financial means -Calculation and evaluation of the amount of carbon reduced due to sea area restoration -Providing economic incentives to the private sector and institutions of the local government according to the reduced rate
Research and development	-Conducting and supporting research to materialize the economic benefits of blue carbon -Support investment cost for the research through evaluation of research results -South Australia, which has geographical and environmental advantages related to carbon reduction through blue carbon, seeks ways to realize it through technical support for research in the region -Research and verification of blue carbon project types suitable for each region according to the coastal location, physical characteristics, residential type, vegetation distribution, etc. -Searching for cost-effective business

	locations through consultations with state and local government, communities and stakeholders −Promote awareness of blue carbon through case studies, and guidelines, −Promote wetland conservation at the international level by reflecting its advantages in plans and investment strategies (Ramsar Convention)

Source : https://www.environment.sa.gov.au

또한 호주정부는 호주의 청정에너지 규제 기구(CER, Clean Energy Regulator)를 통해 탄소농법(carbon farming method)을 개발 중이며, 해당 사업 개발에 참가하는 토지소유자에게는 맹그로브와 염생습지 등의 복원으로 발생하는 탄소상쇄권을 부여받을 수 있도록 지원하고 있다.(NCCC. 2011)

호주해양보존협회(AMCS, Australian Marine Conservation Society)는 유네스코 해양 세계 유산 보존 및 복원(Great Barrier Reef, Shark Bay, Ningaloo-Exmouth Gulf)에 대한 추가 투자를 촉구함과 동시에 블루카본 서식지 보호를 위한 청원이 진행 중이며, 연방 정부에 생태계 복원의 정량화 방법론 개발을 가속화하여 블루카본이 호주의 파리 협정 목표에 포함될 수 있도록 요청하고 있다.

Table 5 Spatial planning and schemes related to blue carbon biomass in Australia

Division	Main contents
Spatial plan and policy	−Reflect the direct and indirect effects of blue carbon (acting as a carbon sink, maintaining local ecosystem services, and economic benefits) in coastal policies, plans, and management strategies, and specify coastal environment preservation in national policies −Reflect contents such as blue carbon biomass, the amount of carbon reduction resulting from it, and the blue carbon potential of a specific area in land use planning and design codes (Design Codes)

특히 그들은 남호주의 해안선이 길이가 5,000km 이상이며, 백만 헥타르가 넘는 블루카본 바이오매스가 잠재되어 있는 것으로 분석하고 있다.(Lovelock, 2022) 이에 정부에서는 블루카본 바이오매스 서식지를 보호 및 복원하고, 현재 진행 중인 도시개발 행위로부터 훼손되는 것을 방지하기 위해 노력하고 있으며, 그 일환으로 블루카본 바이오매스를 통한 탄소감축량, 해당 지역의 블루카본 잠재력 등의 내용을 토지이용계획 및 설계코드에 반영하고 있다. 주요 내용은 위의 Table 4와 같다.

Table 6 Oregon policy regarding blue carbon biomass

Division	Goal	Main cintents
Spatial plan	−Recognize and protect Oregon's distinctive environmental, economic, and social values −Protection, maintenance, and development of estuaries and wetlands; −Maintain long−term environmental, economic and social values, and diversity of the Oregon Estuary	−Establish specific requirements for planning and review of development projects −Coordination and management of related state and federal agencies −Implemented through intra−regional planning, but some applied through state permit review −Directed to designate specific uses for areas within each estuary based on biological and physical characteristics and functions; −Specific but flexible requirements provide a framework for implementing carbon sequestration targets and planning for sea level rise
Coastal Ecosystem conservation	−Focusing on the protection and management of coastal resources −Local planning and zoning regulations	−Critical Coastal Habitat Designation −Designation of potential restoration areas in consideration of use and public accessibility −Projects for restoration or compensation: carbon storage areas with high potential to meet the state's sequestration goals. −Adjacent coastal water use: change to be compatible with carbon reduction targets

4.1.2 미국

미국의 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)은 2017년부터 국가의 총 온실가스 배출량에 대한 종합 계획을 수립하면서 온실가스 배출 및 흡수원 목록에 해안습지를 포함시켰다. 2021년 조사에 따르면, 48개 주의 해안습지는 2019년에 총 480만 MT(미터톤)의 이산화탄소를 격리했으며, 이는 토양이 총 약29억 MT(미터톤)을 흡수한 것과 비교할 때 매우 높은 흡수율이라는 것을 알 수 있다. 이는 해안생태계를 보존 및 복원에 대한 중요성을 뒷받침 한다.(U.S. Environmental Protection Agency, 2021)

미국의 블루카본 관련 정책현황 조사는 대표적인 생태도시인 오레곤을 대상으로 하였으며, 오레곤은 그 지역만의 독특한 생태계에 관한 연구를 수행하고, 이를 실질적인 공간계획에 반영하고 있었다. 이러한 시스템은 블루카본 관련 생태계를 지역만의 고유 자원으로 인식하는데 큰 영향을 미칠 수 있으며, 보존을 위한 효율적인 공간계획 마련에도 적지않은 영향을 미칠 수 있다고 사료된다. 오레곤의 블루카본 관련 정책 현황은 위의 Table 5 와 같다.

4.1.3 일본

일본은 현재 각 지역별로 서식하는 블루카본 바이오매스의 보존 및 탄소흡수률 분석에 관한 연구를 수행하고 있다. 본 연구에서는 그 중 남부의 요코하마와 북부의 홋카이도를 중심으로 일본의 블루카본 바이오매스 연구 및 계획 현황을 조사하였다.

요코하마는 2016년, 자국 내에서 블루카본을 보다 명확하게 정의하기 위해 블루카본 프로젝트를 수행하기 시작하였다. 그들은 가나자와에서 요코하마 연안에 서식하는 블루카본 바이오매스 현황 조사분석을 시행하였으며, 요코하마 연안에 서식하는 블루카본 바이오매스들의 탄소흡수량을 수치화 하고, 이를 보존하기 위한 다양한 학계간 연구와 지역 간 네트워킹 시스템 조성의 필요성을 강조하고 있다.(Masato, 2019.)

홋카이도의 홋카이도 대학교와 필리핀 연구자 팀은 지난 2016년, 블루카본 생태계에 의존하는 해안지역 사회의 사회적 취약성을 관리하기 위한 보존방안을 제시하였다. 그들은 필리핀 팔라완 주 섬의 10개 어촌을 대상으로 해초, 맹그로브와 같은 블루카본 바이오매스의 손실 또는 악화 현상에 대한 대응방안을 연구하였다. 또한 블루카본 바이오매스가 손실될 경우 그들에게 미치는 영향 정도를 조사하고, 블루카본 바이오매스가 지역의 주요 자원으로 인식될 필요가 있음을 명시하고 있다.

해당 프로젝트에서는 블루카본 바이오매스에 대한 교육의 접근성 보완, 블루카본 바이오매스 주변의 NGO활동 및 조직수 보완, 취약한 해초 및 맹그로브 어업을 위한 어업관리의 필요성을 강조하고 있다.(Angela, etalon, 2021.)

일본은 주로 블루카본 바이오매스 보존을 위한 방안과 해당 지역의 특성에 적합한 형태의 시스템 마련을 위한 기초연구를 시행하고 있었다. 특히 지역산업과 연계하여 지역 내 일자리 창출 또한 도모하고 있어 장기적으로 블루카본 바이오매스를 통한 탄소저감이 환경적, 경제적으로 반드시 필요하다는 인식을 강조하고 있는 것으로 조사되었다.

일본은 지자체에서의 연구 활동 이외에도 주정부 차원에서 탄소포집을 위한 입법 및 재정지원 내용은 다음의 Table 6과 같다.

Table 7 Yokohama Blue Carbon Project Objectives and Contents

Goal	Main contents
Use of marine resources in line with regional characteristics	−Research focusing on Yokohama's distinctive marine resources −Development of a carbon reduction certification system −Research on measures to preserve the local environment −Linking marine resource conservation projects with job creation in the region
Marine ecosystem and local fishery regeneration	−Yokohama City provides funding to preserve and regenerate the marine ecosystem through the Blue Carbon Project −Increase CO2 uptake and promote new jobs and opportunities for local fisheries
Creating a new regional network	−Share information about the blue carbon project with other local authorities −Yokohama Carbon Reduction Certification granted to Hyuuga City in Miyzaki and Hannan City in Osaka −Spreading knowledge about blue carbon biomass and creating new networks

4.2 국내 정책 현황

현재 국내에는 블루카본 관련 정책이 별도 수립되어 있지는 않다. 따라서 탄소저감과 직접적으로 연계되어 있는 '기후변화', 블루카본 바이오매스와 연계되어 있는 '해양', '연안', '습지' 와 관련된 국내 정책 현황을 조사하였다. 정책현황은 현재 운영되고 있는 법령을 중심으로 조사하였으며, 법령 내용 중 본 연구의 목적과 관련된 내용은 다음의 Table 7과 같다.

Table 8 Domestic laws and regulations related to climate change and marine, coastal and wetland

Keyword	Law title	Basic principles and purpose
Climate and Greenhouse Gases	Climate Change Response Technology Development Promotion Act.	−Create a research base for technologies related to greenhouse gas reduction and climate change adaptation −Systematic fostering and development based on research −Promote cooperation with the international community −To contribute to the realization of carbon neutrality and the development of the national economy
	Act On The Allocation And Trading Of Greenhouse−gas Emission Permits	−Comply with the principles of the United Nations Framework Convention on Climate Change and related protocols. −Considering international negotiations on climate change −Considering the impact of the Emissions Trading System on the international competitiveness of the economy −Operate the policy in accordance with international standards by considering the connection with the international carbon market
Coastal	Coastal Management Act	−It is appropriate for the public interest and ensures that ecological, cultural, and economic values can coexist harmoniously. Preserve, use, and develop from a comprehensive and future−oriented perspective. −The use and development of the coast shall be harmonious and balanced with the preservation of the coastal environment. −Increase public participation in policies for coastal environment conservation and management and opportunities for healthy use. −Safely manage the coast from coastal disasters caused by climate change.
Ocean	Marine Environment Preservation and Utilization Act	−Goal setting and step−by−step strategy for marine environment conservation and utilization −Matters concerning marine health, evaluation of marine environmental quality, and marine environmental standards −Matters concerning the comprehensive space management of the marine environment −Matters concerning international cooperation for the conservation and utilization of the marine environment
	Conservation And Management Of Marine Ecosystems Act	−As an asset of all citizens, it shall be preserved, managed, and used sustainably in accordance with the public interest. −The use of the sea shall be harmonized and balanced with the conservation and management of the marine ecosystem. −Ensure that endangered or ecologically important marine organisms are protected and that marine biodiversity is conserved. −The burden of conservation and management of the marine ecosystem is shared fairly.
Wetland	Wetland Conservation Act	−Wetland survey, establishment of wetland conservation basic plan −Designation and cancellation of wetland protection area −Restrictions on activities and access within wetland protection areas −Inland wetland and coastal wetland management departments are divided and operated

국내에서 현재 시행 중인 관련 정책들은 국제탄소시장, 국내 시장경제 활성화, 해양환경보전, 해양생물의 다양성 보존 등과 연계되어 있었다. 하지만 블루카본 및 블루카본 바이오매스는 구체적으로 명시되어 있지 않은 실정이다.

5. 탄소저감형 해안도시 조성을 위한 방향 모색

5.1 해외사례를 통한 시사점 도출

본 절에서는 우선 호주, 미국, 일본사례를 통한 시사점을 다음과 같이 도출하였다.

호주 사례에서는 탄소저감과 경제성의 연계, 블루카본 관련 연구 지원 시스템 구축, 블루카본 바이오매스 서식지 보존을 위한 이해관계자들 간 네트워킹 및 공간계획과의 접목, 토지이용계획 및 설계코드에 블루카본 서식지 보존에 대한 내용을 포함하는 것이 가장 큰 시사점이라 할 수 있다.

국내는 현재 관련 정책 마련도 미비한 상태이고, 관련 연구도 활발하지 않은 실정이다. 블루카본 바이오매스의 생물학적 특성과 서식지의 지리적 특성을 고려할 때, 공간계획과 연계할 필요성이 매우 높다. 따라서 향후 효율적이고, 지속가능한 탄소저감을 위해서 호주 사례로부터의 시사점을 심도 깊게 살펴 볼 필요가 있다고 판단된다.

미국 사례에서는 블루카본 바이오매스와 관련된 특정 용

도 지정, 관련 분야 간 공동 프레임워크 마련, 탄소저감과 관련된 이슈들 간 네트워킹을 통한 시너지 효과 기대라는 시사점을 도출 할 수 있었다. 미국은 이미 공간계획과 연계하여 블루카본 바이오매스 서식지를 특정용도 지역으로 지정하는 방안을 마련하고 있었다. 또한 블루카본 바이오매스가 환경, 생태, 도시 등 다양한 분야 간의 협력 연구 및 활동이 필요함을 인식하고 있다는 점은 국내에 시사하는 바가 크다고 판단된다.

일본은 블루카본 바이오매스와 관련된 기초연구 활동을 지속적으로 수행해 오고 있었으며, 탄소저감인증 시스템을 구축하여, 연안지역 간에 지속적인 교류활동을 해 오고 있다는 점이 가장 큰 시사점이었다. 또한 블루카본 바이오매스 서식지의 지역 내 일자리 창출 및 경제활동과 연계하며, 서식지의 지속적인 관리 및 운영이 가능하도록 유도하고 있었다.

이에 우리나라 또한 국내 현황에 적합한 형태의 블루카본 바이오매스에 대한 연구를 확대 시행하고, 해당지역을 중심으로 탄소저감형 도시를 조성해 나갈 필요성이 있다고 판단된다. 각 해외사례로부터 도출한 시사점은 다음의 Table 8과 같다.

Table 9 Deriving implications from advanced overseas cases

Division	Implications	Keyword
Australia	−Linkage with carbon emission trading market and financial means −Provision of economic incentives through calculation and evaluation of reduced carbon amount −Support for blue carbon−related research and technology investment costs −Reflect the effects of blue carbon in coastal policies, plans, and management strategies −Reflect the potential of blue carbon biomass in the land use plan and design code −Categorize appropriate blue carbon projects according to coastal location/physical characteristics/residential type/vegetation distribution, etc. −Searching for highly efficient business locations through consultations with state and local governments, communities, and stakeholders	−Carbon emission trading market −incentive −Research and technology investment cost −Reflected in related policies −Land use plan −Design code of blue carbon biomass −Potential analysis −Consultation among stakeholders
USA	−Designation of specific uses related to blue carbon biomass −Provides a joint framework for implementing carbon sequestration targets and planning for sea level rise −Designation of the restoration area −Toward the use of seawater compatible with carbon reduction targets	−Designation of specific use −Joint framework −Restoration area −Seawater use
Japan	−Research on regional characteristics of marine resources −Development of a carbon reduction certification system −Research on measures to preserve the local environment −Funding for Blue Carbon Project −Creating jobs for local fisheries −Sharing projects with other regions −Knowledge dissemination and creation of new networks	−Regional characteristics −Marine resources −Carbon Reduction Certification System −Regional environment conservation research −Funding −Network

5.2 국내 정책의 취약점 도출

현재 국내에서 시행되고 있는 관련 정책에서 도출한 향후 블루카본 바이오매스 서식지 보존 블루카본 바이오매스를 활용한 탄소저감형 해안도시 조성 측면에서의 취약점은 Table 9와 같다.

첫째, 블루카본 및 관련 해양생태계 보존을 위한 세부 정책의 부재이다.

전세계적으로 블루카본 바이오매스는 탄소저감을 위해 매우 효율성 있는 자원으로 인식되고 있다. 하지만 국내 정책 내용에는 아직까지 이에 대한 내용이 포함되어 있지 않은 실정이며, 기후변화, 탄소저감과 블루카본, 해양 생태계 보존 정책이 미흡한 실정이다.

둘째, 해양 생태계 관련 정책 내용 중 연안, 습지 등의 보존을 위한 구체적인 도시계획 및 공간계획의 미수립이다.

블루카본 바이오매스의 서식지인 연안지역은 지리적, 환경적 특성이 내륙지역과 상이하며, 각 연안에 따라 서식하는 블루카본 바이오매스 또한 상이하다. 따라서 해양생태계 관련 정책이나 연안지역의 도시계획 내용 중, 블루카본 바이오매스 및 서식지 보존을 위한 공간계획이 세부적으로 명시될 필요가 있다고 사료된다.

셋째, 미흡한 연구지원 정책이다. 국내에서 블루카본 바이오매스는 아직까지 생소한 대상이고, 많은 연구지원이 필요한 단계이다. 따라서 기후, 온실가스, 해양과 관련된 주요 법령 내용에 블루카본 바이오매스 관련 연구가 체계적으로 수행될 수 있도록 정책적 측면에서의 뒷받침이 필요하다고 사료된다.

넷째, 블루카본 바이오매스 서식지의 지역경제 활성화를 위한 제도의 부재이다. 현재 운영되고 있는 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률에 지역경제 활성화 방안이 명시되어 있다. 하지만 보다 구체적으로 블루카본 바이오매스가 생태적으로 중요한 해양생물이라는 점을 명시하고, 이를 해당 지역의 고유 자원화 하여, 지역경제 활성화 방안과 연계할 수 있는 정책마련이 필요하다고 사료 된다.

Table 10 Weaknesses in domestic policy

Divison	Weaknesses	Keyword
Conservation	−Lack of awareness of the importance and necessity of blue carbon biomass −No details for preservation	−Importance −Necessity −Conservation plan
Spatial plan	−Insufficient specific plans for preserving the marine ecosystem −Insufficient spatial planning for coastal and wetland preservation in connection with current urban planning and spatial planning	−Space planning −Habitat distribution analysis −Conservation
Research system	−Lack of research on blue carbon −Necessity of cooperation between related research fields	−Blue carbon research −Collaborative research
Government support	−It is necessary to recognize blue carbon biomass as a unique resource of the region −Need to continuously improve preservation ability in connection with job creation in the region	−Local unique resources −Creating a job −Improve retention ability

5.3 탄소저감형 해안도시 조성방향 모색을 위한 우선순위 도출

본 절에서는 해외사례로 부터의 시사점과 국내 취약점을 토대로, 향후 국내 탄소저감형 해안도시 조성을 위한 방향 모색을 위해 우선시 되어야 할 사항에 대한 FGI를 시행하였다.

앞서 정리한 국외 해외사례의 시사점과 현재 블루카본 바이오매스의 정책 및 연구현황에 대한 국내의 취약점을 크게 공간계획, 정책 마련, 연구지원에 따라 내용을 Table 10과 같이 재정리하였다.

Table 11 Foreign implications and domestic weaknesses

Division	Implications main keyword	Domestic weakness
Spatial plan	−Land use plan −Design code −Designation of specific use	−Executive director in connection with spatial planning −Conservation area unspecified
Policy preperation	−Carbon emission trading market −Provide incentives −Consultation between stakeholders −Prepare a common framework −Carbon Reduction Certification System −Financial support	−Executive director of blue carbon biomass policy introduction
Research	−Support for research investment costs −Analysis of the potential of blue carbon biomass −Marine resource research −Regional environment preservation research	−Lack of related research −Lack of joint and linked research between academia −Need for research on the necessity and importance of blue carbon biomass −Need analysis of blue carbon biomass habitat distribution status

위의 내용을 바탕으로 로 2022년 11월 1일부터 20일까지 환경, 생태, 도시분야의 전문가 15인[5]을 대상으로 FGI를 시행하였으며, 면접조사 시행을 위하여 재정리한 각 항목별 키워드는 다음의 Table 11과 같다.

Table 12 Implications and vulnerabilities for FGI implementation key content

Major category	Implication
Spatial plan	−Reflected in the land use plan −Realization of space planning through the establishment of an urban design code −Designation of specific use for preservation
Policy preparation	−Establishment of a carbon emission trading market −Establishment of an incentive system −Establishment of a consultation system among stakeholders −Prepare a common framework −Establishment of a carbon reduction certification system −Establishment of a funding support system
Research support	− Support for research investment costs −Analysis of the potential of blue carbon biomass −Marine resource research − Regional environment preservation research

위의 표 내용을 중심으로 FGI를 시행한 결과는 다음과 같다.

우선 각 대분류 즉, 공간계획, 정책마련, 연구지원 중 탄소저감형 해안도시 조성을 위한 방안 모색을 위해 가장 우선적으로 고려해야 하는 항목은 다음의 Table 12와 같이 1)공간계획, 2)정책마련, 3)연구지원 순으로 우선순위가 높은 것으로 조사되었다.

Table 13 Priority between major categories

Ranking	Contents	Rate(%)
1	Spatial plan	40
2	Policy preparation	33
3	Research Support	27

이후 각 대분류에 따른 소분류 항목들을 대상으로 2차 설문조사를 시행한 결과 공간계획에서는 1)보존을 위한 특정용도지역 지정, 2)토지이용계획에 반영, 3)도시설계 코드 구축 순으로 우선순위가 도출되었으며, 각 항목별 응답률 및 순위는 Table 13과 같다.

Table 14 Priorities in terms of spatial planning

Ranking	Contents	Rate(%)
1	Designation for specific use area for cpnservation	43
2	Reflected in land use plan	34
3	Realization of space planning through establishment of ueban design code	23

정책마련에서는 1) 탄소저감 인증 시스템 구축이 우선순위가 가장 높은 것으로 도출되었으며, 2)탄소배출 거래시장 구축과 인센티브 제공 시스템 마련이 다음으로 우선순위가 높은 것으로 도출되었으며, 항목별 응답률 및 순위는 Table 14와 같다.

Table 15 Priority in terms of policy preparation

Ranking	Contents	Rate(%)
1	Establishment for carbon reduction certification system	27
2	Building a carbon emission trading market	23
	Establishment of an incentive system	
3	Establish a common framwork	10
	Establishment of consultation system among stakeholder	
4	Funding support system	7

연구지원에서는 1)지역환경 보존연구, 2)블루카본 잠재력 분석연구, 3)연구투자비용, 4)해양자원연구 순으로 우선순위가 높은 것으로 도출되었으며, 응답률 및 순위는 Table 15와 같다.

Table 16 Priorities in terms of research support

Ranking	Contents	Rate(%)
1	Regional environment preservation research	43
2	Potential analysis of blue carbon biomass	37
3	Research investment coast sustem	17
4	Marine resource research	3

주어진 조사 항목 이외의 의견으로 기존의 도시계획 내용에 블루카본 바이오매스 서식지 보존을 위한 항목을 추가하기 보다는 2050년도의 탄소저감 목표 달성을 위한 특별법을 보다 구체적으로 마련하여 보다 유연하게 활용할 필요성이 있다는 의견도 있었다. 또한 탄소저감형 해안도시는 해양, 생태, 환경, 도시분야에서 모두 중요한 이슈이며, 단독 연구만으로는 효율적인 방안 마련이 어려울 것으로 짐작되므로, 각 연구분야 간 협력 연구가 무엇보다도 중요하다는 의견도 있

5) 환경계획학 분야 전문가 5인, 해양생태학 분야 전문가5인, 도시계획학 박사과정생 5인

었다.

Table 17 Highest FGI per major category

Category	Subdivision
Spatial plan	Designation of specific use area for conservation
Policy preparation	Establishment of a carbon reduction certification system
Research support	Regional environment preservation research

5.4 탄소저감형 해안도시 조성을 위한 방향 모색

본 절에서는 시사점 및 취약점의 핵심 내용으로 시행한 전문가 대상 설문조사 결과를 바탕으로 탄소저감형 해안도시 조성을 위한 방향을 다음의 Table 17과 같이 제시하였다.

Table 18 Plans for the creation of a carbon-reducing coastal city

Major category	Direction of develop
Spatial plan	Designation of conservation areas through consultations among various stakeholders
Policy preparation	-Establish policies linking carbon emissions and economic incentives -Creation of synergy effects in connection with local industries
Research support	-Research on the ecological environment within the region -Linked research between various academia

첫째, 공간계획 측면에서는 주정부, 지방정부, 관련 전문가 집단, 지역 주민 간 협의를 통해 보존지역 지정을 제안한다. 블루카본 바이오매스를 보존할 수 있는 공간계획 시행을 위해서는 명확한 서식지 지정이 매우 중요하다 할 수 있다. 따라서 블루카본 바이오매스 서식지를 지속적으로 보존, 관리하고, 탄소중립형 해안도시로 조성하기 위해서는 다양한 이해관계자들 간 협의를 통한 보존지역 지정이 우선적으로 시행되어야 한다고 판단된다.

둘째, 정책적 측면에서는 탄소배출과 경제적 인센티브 연계 정책을 마련하고, 해당 지역 내 관련 산업과도 연계하여 경제성을 창출 할 수 있는 방안 모색을 제안한다. 탄소중립형 해안도시는 기후변화에 적극 대응하고, 지속발전 할 수 있는 도시라고 할 수 있다. 따라서 블루카본 바이오매스를 해당 지역의 고유 자원으로 인식하고, 이를 통한 탄소저감 효과는 물론 경제적 발전도 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 연구지원 측면에서는 탄소중립형 해안도시 조성을 위해서 블루카본 바이오매스의 주요 서식지를 지정 후, 해당 지역 내 생태환경 조사 및 연구활동이 충분히 뒷받침 될 필요가 있다. 또한 블루카본 바이오매스의 생태적 특성과 높은 탄소 흡수율 등을 고려하여, 환경, 해양, 기후, 도시 등 관련 학계간 연계 연구가 반드시 수행될 필요가 있다고 판단된다.

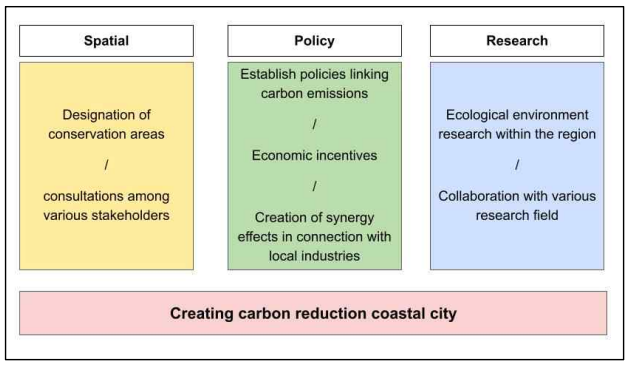

Fig. 5 Direction for the creation of a carbon-reducing coastal city

6. 결 론

본 연구의 목표는 최근 높은 탄소 흡수율로 인해 각광받고 있는 블루카본의 필요성 및 중요성을 인식하고, 블루카본 바이오매스 서식지 보존과 탄소저감형 해안도시 조성의 필요성 제시이다.

일부 선진국가에서는 이미 수 년 전부터 블루카본 바이오매스를 중심으로 한 생태, 환경, 기후에 관한 연구를 수행해 오고 있으며, 최근에는 기존의 도시계획 내용에 블루카본 바이오매스 서식지 보존에 관한 사항을 포함시키고 있다. 또한 블루카본 바이오매스 보존방안과 서식지 내 지역산업을 연계할 수 있는 방안도 마련하고 있어, 기후변화에 적극 대응함과 동시에 지역경제 활성화에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 시스템을 구축하고 있다.

특히 탄소저감과 맹그로브, 해초, 염습지.간의 생태학적 흡수과정에 대한 지식을 향상시키는 연구가 생태계의 보호와 복원을 주장하는데 필수적이라는 인식이 점차 강해지고 있다. 하지만 블루카본 바이오매스 보존을 위해 필요한 기본 요건에 대한 충분한 연구와 이해는 여전히 부족한 실정이다. 특히 해안 생태계에 대한 이해를 개선하고 블루 카본 흡수원의 가치에 대한 사례를 강화하기 위한 연구가 반드시 필요하다고 할 수 있다.(Elizabeth M, 2011)

따라서 향후 국내 환경에 부합하는 블루카본 바이오매스의 서식지를 보존하고, 탄소저감형 해안도시를 조성하여, 기후변화에 적극 대응할 수 있는 지속적인 연구가 수행될 필요가 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 2021 한국연구재단 지역대학우수과학자지원사업(2021R1I1A3055805)의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

[1] Alongi, D. M.(2022), Impacts of Climate Change on Blue Carbon Stocks and Fluxes in Mangrove Forests, Forests, Vol 13, No. 2, pp. 2-15.

[2] Angela, T. E.(2021), "Blue Carbon Ecosystem Services Through a Vulnerability Lens: Opportunities to Reduce Social Vulnerability in Fishing Communities", Marine Conservation and Sustainability, Vol 8. pp. 1-19.

[3] Bouillon, S.(2003), "Sources of organic carbon in mangrove sediments: variability and possible implications for ecosystem functioning. Hydrobiologia", Vol. 495, pp. 33-39.

[4] Bridgham, S. D.(2016), "The carbon balance of North American wetlands. Wetlands", Vol. 26, No. 4, pp. 889-916

[5] Cahoon, D.(2006), "Coastal wetland vulnerability to relative sea-level rise: wetland elevation trends and process controls", Wetlands and natural resouce management, Vol. 190, pp. 271-292.

[6] Catherine, E.(2022), "An Australian blue carbon method to estimate climate change mitigation benefits of coastal wetland restoration, Restoration Ecology".

[7] Chen, Y.(2020). Exploring new blue carbon plants for sustainable ecosystems. Trends Plant Sci. 25, pp. 1067-1070.

[8] Chmura, G. L.(2003). "Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils". Global Biogeochem Cy, Vol. 17.

[9] Crooks. S.(2014), Coastal Blue Carbon Opportunity Assessment for the Snohomish Estuary: The Climate Benefits of Estuary Restoration, Environmental Science Associates, Western Washington University, EarthCorps and Restore America's Estuaries.

[10] Deegan, L. A.(2012), "Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss. Nature", Vol. 490, No. 7420, pp. 388-392.

[11] Duarte, C. M.(2005), "Major Role of Marine Vegetation on the Oceanic Carbon Cycle," Biogeosciences Vol. 2, No. 1.

[12] Duarte, C. M.(2010), "Seagrass community metabolism: assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows". Global Biogeochem, Vol. 24.

[13] Duarte, C. M.(2010). "Seagrass community metabolism: assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. Global Biogeochem". Vol. 24.

[14] Elizabeth Mcleod(2011), "A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering Co", The Ecological Society of America.

[15] Ellen, O.(2022), "The potential of seaweed for carbon capture", CABI Reviews.

[16] Eum, D. B.(2020), Administrative Legal Consideration of Carbon Rights Establishment in Fishing Villages for Blue Carbon Transactions, Kyung Hee University Law Research Institute, Vol. 55, No. 3, pp. 107-138.

[17] Howard, J.(2017), "Clarifying the Role of Coastal and Marine Systems in Climate Mitigation," Frontiers in Ecology and the Environment Vol. 15, No. 1, pp. 42-50.

[18] Hwang, M. H.(2017), The economoc impact of the coasta wetland management, Journal of Korean Regional Development Association, Vol. 29, No. 1, pp. 137-152.

[19] Ik, K. C.(2010), "Using marine macroalgae for carbon sequestration : a critical appraisal", Journal of applied phycology, Vol. 23, pp. 877-886.

[20] Keeling, R. F.(2009), "Ocean deoxygenation in a warming world".

[21] Kim, J. S.(2021), "Marine biodiversity in Korea : a review of macrozoobenethic assemblages, their distributions, and long-trem community changes from human impacts", Oceanand coastal management, Vol. 59, pp. 483-532.

[22] Ko, J.(2007), "The Economic Value of Ecosystem Services Provided by the Galveston Bay/Estuary System" , Geotechnology Research Institute.

[23] Kwon, B. O.(2019), Loss of blue carbon by changes of land use in the Yellow Sea during 40 years, The korean society for marine environment & energy, Conferene.

[24] Laffoley, D.(2009). "The management of natural coastal carbon sinks. Gland, Switzerland: IUCN".

[25] Lovelock, C. E.(2019), Dimensions of blue carbon and emerging perspectives, Royal society

[26] Macreadie, P. I.(2019), The future of blue carbon science, Nature communications, Vol. 10. No. 1. pp. 1-13

[27] Masato Nobutoli(2019), "Carbon offset utilizing coastal waters : Yokohama blue carbon project : carbon dynamics, policy, and implemention" Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems, pp. 321-346.

[28] Matt J. Nimbs.(2023) Climate change threatens unique

evolutionary diversity in Australian kelp refugia, Scientific reports, Vol. 13, p. 1248.
[29] McLeod(2011), “A Blueprint for Blue Carbo : Toward an improved undertanding of the role of vegetated coastal habitats in sequwesteting CO2”, Frontiers in ecology and the environment, Vol. 9, No. 10.
[30] McLeod, E.(2011), “A Blueprint for Blue Carbon: Toward an Improved Understanding of the Role of Vegetated Coastal Habitats in Sequestering CO2,” Frontiers in Ecology and the Environment Vol. 9, No. 10.
[31] Moomaw, W. R.(2018), “Wetlands in a Changing Climate: Science, Policy and Management,” Wetlands Vol. 38, No. 2, pp. 183-205.
[32] Nellemann, E.(2009), Blue carbon. A rapid response assessment. GRID-Arendal, United Nations Environment Programme,
[33] Nick C. Davidson,(2014), “How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area Marine and Freshwater Research“, Vol. 65, No. 10, pp. 936-941.
[34] Ouyang, X.(2013) “Carbon accumulation rates in salt marsh sediments suggest high carbon storage capacity”, Biogeosci Discuss. Vol. 10, No. 191, pp. 55-88.
[35] Park. H. S.(2017) Blue Carbon International Symposium.
[36] Pendleton, L.(2012), “Estimating Global ‘Blue Carbon’ Emissions From Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems,” PLOS ONE 7, No. 9.
[37] Ricart, A. M.(2021), “Coast-Wide Evidence of Low pH Amelioration by Seagrass Ecosystems,” Global Change Biology Blue carbon latest trend, Vol. 27, No. 11 pp. 2580-2591.
[38] U. S. Environmental Protection Agency(2021), “Greenhouse Gas Emissions From a Typical Passenger Vehicle”.
[39] U. S. Environmental Protection Agency(2021), “Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, 1990-2019”.
[40] Yoon, H. S.(2022), “Blue Carbon Resources in the East Sea of Korea and Their Values and Potential Applications”, Journal of life science, Vol. 32, No. 7, pp. 578-587.
[41] Blue Carbon, National Centre for Coasts and Climate (2023), https://nccc.edu.au/
[42] Conserve, sustain and prosper(2023), https://www.environment.sa.gov.au
[43] Climate Change(2023), U.S. Environmental Protection Agency, https://www.epa.gov
[44] Global ocean roiled by marine heatwaves, with more on the way(2023), https://noaa.gov
[45] The importances of wetlands, http://www.ramsar.org

Received 19 December 2022
Revised 26 January 2023
Accepted 13 March 2023