

천연 해조장 생태계 서비스 및 편익지표에 관한 탐색적 연구[†]

강 석 규*
제주대학교 경영학과

An Exploratory Study on the Ecosystem Service and Benefit Indicators of Natural Seaweed Beds

Seok-Kyu Kang*

Department of Business Administration, Jeju National University, Jeju-si, 63243, Korea

Abstract

The purpose of this study is to explore the ecosystem service and benefit indicators of natural seaweed beds. Ecosystems of natural seaweed beds provide a wide range of services and benefits to human society including provisioning services, regulating services, supporting services, and cultural services. Indicators for each of the ecosystem services are chosen by marine plants ecologists and as follows. Ecosystem indicators of natural seaweed beds for provisioning services are well-being food(amount of seaweed harvested/amount of fish landed, fish biomass, area of natural seaweed beds, the number of species, contribution to the second production), raw materials(amount of biomass by breed, amount of aquaculture feed), genetic resources(amount of genetic material extracted, amount of genetic material contained by age and habitat), and medicinal resources(amount of medicinal material extracted). Ecosystem indicators of natural seaweed beds for regulating services are air purification(amount of fine dust/NO_x or SO₂ captured), climate regulation(amount of CO₂ sequestered), waste treatment(amount of N, P stored, biochemical degradation capacity COD), and costal erosion prevention(length and change of natural coast line, amount of sediment prevented). Ecosystem indicators of natural seaweed beds for supporting services are lifecycle and maintenance(primary production, contribution to the second production) and gene pool protection(amount of compositional factors in ecosystem, introduced species). Ecosystem indicators of natural seaweed beds for cultural services are recreation and tourism(the number of visits of an area) and information for cognitive

Received 10 September 2016 / Revised 28 September 2016 / Accepted 29 September 2016

[†] 이 논문은 한국수산자원관리공단에서 지원한 「천연 해조장의 생태적 가치평가: 해외사례분석과 평가방법」 연구보고서(2015)의 일부를 발췌·수정하여 게재한 논문임을 밝혀둔다.

*Corresponding author : +82-64-754-3120, kangsk@jejunu.ac.kr

© 2016, The Korean Society of Fisheries Business Administration

development(amount of time spent in education, research and individual learning about ecosystem of natural seaweed beds).

Keywords : Ecosystem Service, Indicator, Seaweed Beds, Marine Forest

I. 서 론

본 연구에서는 천연 해조장 생태계가 우리 사회에 제공하는 서비스 및 편익을 정량화 할 수 있도록 천연 해조장 생태계 서비스 및 편익지표를 탐색하고자 한다.

천연 해조장(natural seaweed beds)은 자연적으로 바다에 형성되어 있는 해조류의 군락을 일컫는 것으로 일정 수심에서 자연적으로 형성되어 있는 바다숲(marine forest)이나 해중림(submarine forest)을 말한다. 천연 해조장은 직접적으로 우리 인간에게 식이섬유와 미네랄이 풍부한 웰빙 음식을 제공하고, 알긴산, 베타카로틴, 라미나란 등의 기능성 물질로 구성된 의약품을 제공한다. 또한 간접적으로 연안생태계의 중요한 일차생산자로서 물질순환의 중심을 이루고 있을 뿐만 아니라, 어류 또는 무척추동물을 포함한 다양한 생물의 서식공간으로서 군집의 2차 생산력을 높이는 역할을 하며, 이산화탄소의 흡수뿐만 아니라 오염된 해역의 환경을 정화하여 퇴화된 수산자원 생태계의 복원과 균형을 유지하고, 바이오에너지원으로서의 역할을 하고 있다. 이와 같이 유익한 천연 해조장은 언제부턴가 사라지고, 그 자리에 갯녹음이 발생하여 어업의 피해를 초래할 뿐만 아니라 수산자원 생태계의 균형을 깨고 있는 실정이다.

갯녹음에 의한 바다 사막화의 진전으로 생태계 변화, 생물다양성 훼손 문제 등에 대응하여 중앙정부와 지자체는 2002년부터 갯녹음이 심화된 지자체를 대상으로 해중림 조성사업을 해왔다. 이와 더불어 중앙정부는 수산자원관리법 제2조 제1항 제6호에 바다숲에 대한 개념을 “갯녹음(백화현상) 등으로 해조류가 사라졌거나 사라질 우려가 있는 해역에 연안 생태계 복원 및 어업생산성 향상을 위하여 해조류 등 수산종자를 이식하여 복원 및 관리하는 장소”라 명문화하여 수산자원의 보호·회복 및 조성 등에 필요한 사항을 규정하고, 대규모 바다숲 사업을 추진하고 있다.

이렇게 추진된 바다숲 사업은 갯녹음에 대응하여 수중에 인위적으로 유용한 해조류를 이식·부착하여 해양환경을 개선시킴으로써 마을 어장내에 갯녹음 확산을 억제하고 더 나아가 생태계 복원에 의한 수산생물의 산란장, 서식장 조성을 통하여 수산자원의 증강, 어업생산력 증대에 따른 어업인의 안정적인 소득에도 기여해 오고 있다. 또한 풍부한 어장의 조성은 해수욕, 해변경관 감상, 청정수산물 구매·시식 등 단순한 해양관광활동에서 벗어나 유어 낚시나 스킨 스쿠버 등 해양레저활동을 즐기는 공간으로 자리매김하여 해양체험관광수요의 확산에도 크게 일조한 것으로 파악되고 있다. 이 뿐만 아니라 바다숲 사업은 앞으로 해조류가 탄소 흡수원으로 인정받는다면, 2020년 전망치(BAU) 대비 30% 감축하는 국가 온실가스 중기 감축목표를 지니고 있는 정부의 온실가스 저감노력에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 천연 해조장이 우리사회에 제공하는 서비스 및 편익을 정량화 할 수 있도록 천연 해조장 생태계 서비스 및 편익지표를 탐색하는데 있다. 본 연구의 결과는 우선 직접적으로 천연 해조

장의 가치를 올바르게 평가하는데 기초자료로 활용될 수 있으며, 앞으로 생태계를 기반으로 한 수산자원 조성사업의 경제적 가치평가에도 유용한 정보를 제공할 것으로 기대한다. 또한 바다숲 사업이 연안 생태계 복원 등 공익을 위한 국가인프라 사업으로서의 타당성을 확보하고, 수산자원 생태계 복원사업의 효율적인 관리 및 운영에 유용한 정보를 제공하는데 크게 기여할 것으로 판단된다. 더욱이 천연 해조장 등 수산자원 생태계 서비스를 UN이나 유럽 등 국제표준(global standard)에 맞도록 분류하고, 정량화할 수 있는 생태계 서비스 및 편익지표를 제공함으로써 앞으로 수산자원 조성사업의 정책방향을 결정하는데 있어 정책입안자에게 유익한 정보를 제공할 것으로 기대한다.

II. 해양 생태계의 기능 및 서비스

천연 해조장은 수산자원 생태계의 중요 환경자원으로서 우리 인간사회에 다양한 유·무형의 서비스(재화 포함)를 제공하고 있다.

생태계가 제공하는 기능과 서비스에 대한 개념은 Ehrlich and Ehrlich(1981)가 “생태계 서비스”라는 용어를 만든 이후 De Groot(1992), Costanza et al.(1997), De Groot et al.(2002), Daly and Farley(2004) 등의 연구에서 본격화 되었으며, 유엔환경계획(United Nations Environment Programme: UNEP)의 주도하에 생태계 보전과 지속가능한 이용을 위한 과학적 근거를 제시하기 위한 지구생태계 진단보고서인 새천년생태계평가(MEA, Millenium Ecosystem Assessment, 2005)와 생태계 및 생물다양성의 경제성 계획(TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity programme, 2010) 등의 연구보고서를 거치면서 구체화 되어 왔다.

Costanza et al.(1997)은 생태계 서비스를 생태계 기능으로부터 인간이 직접 또는 간접적으로 이끌어내는 편익이라고 정의하고, 생태계 서비스를 <표 1>과 같이 가스조절, 기후조절, 재해조절, 물 조절, 물 공급, 침식조절 및 침전물 보류, 비옥토양 형성, 영양분 순환, 폐기물 처리, 화분수정, 생물학적 방제, 서식처 제공, 식량생산, 원료, 유전자원, 휴양, 문화 등 17개 생태계서비스로 분류하고 있다. 주요 생태계 서비스를 살펴보면, 가스조절 서비스는 CO₂/O₂ 균형 등을 통해 대기 화학물질 조성의 조절기능을 제공하며, 기후조절 서비스는 온실효과 조절, 구름형성에 영향을 주는 에탄 화합물 형성 등을 통해 지구의 온도, 강수량, 지구적 또는 지역적 차원에서 생물학적으로 연계된 기후변화과정의 조절기능을 한다. 재해조절 서비스는 폭풍으로부터 보호, 홍수조절 기능, 인간의 서식처 보호 등 환경변화에 대응하는 생태계의 용량/수용능력 보전기능을 제공한다. 영양분 순환 서비스는 질소고정, 질소(N) 및 인산(P) 등의 영양분 순환을 통해 영양분의 저장, 재생, 가공 및 획득 기능을 제공한다. 또한 유전자원 서비스는 의약품, 재료과학을 위한 산물, 식물병충해에 저항성 유전자, 화훼종을 통해 독특한 생물적인 재료 및 산물의 근원지를 제공한다. 휴양 서비스는 생태관광, 스포츠용 낚시 등을 통해 여가활동을 위한 기회를 제공한다. 문화 서비스는 심미적, 예술적, 교육적, 영적, 생태계의 과학적 가치 등을 통해 비상업화된 이용기회를 제공하고 있다.

한편, De Groot et al.(2002)은 <표 2>와 같이 생태계 기능을 조절기능(regulation functions), 서식처기능(habitat functions), 생산기능(production functions), 정보기능(information functions)으로 범주화하고 23개의 개별기능으로 분류하고 있다. MEA(2005)와 TEEB(2010)는 선행연구의 결과를 종합하여 생물군계 생태계 서비스의 편익을 공급서비스(provisioning services), 조절서비스(regulating services), 문화서비스(cultural services), 지지서비스(supporting services) 등의 4개의 범주로 구분하고 그 범주 내에 개

<표 1> Costanza et al.(1997)의 생태계 서비스 분류 체계

생태계 서비스	생태계 기능	예시
가스조절	대기 화학물질 조성의 조절	CO ₂ /O ₂ 균형, UVB 보호를 위한 O ₃ , SO _x 수준
기후조절	지구의 온도, 강수량, 지구적 또는 지역적 차원에서 생물학적으로 연계된 기후변화과정의 조절	온실효과 조절, 구름형성에 영향을 주는 에탄 화합물 형성
재해조절	환경변화에 대응하는 생태계의 용량/수용능력 보전	폭풍으로부터 보호, 홍수조절 기능, 한발피해에 대한 동식물, 인간의 서식처 보호
물 조절	수리적 흐름의 조절	농업(관개), 산업(제주시설)과정 또는 운송에 필요한 물의 제공
물 공급	물의 저장 및 보류	물의 유역, 저수지 및 대수층에 의한 물의제공
침식조절 및 침전물 보류	생태계에 토양의 보류	바람, 지표수 흐름에 의한 토양손실의 방지, 호소 및 습지에서서의 silt 저장
비옥토양 형성	비옥한 토양형성 과정	바위의 풍화 및 유기물질의 축적
영양분 순환	영양분의 저장, 재생, 가공 및 획득	질소고정, 질소(N) 및 인산(P) 등의 영양분 순환
폐기물 처리	이동하는 영양분의 복구 및 과잉 공급되는 영양소 및 물질의 제거 또는 분해	폐기물 처리, 오염물질과 독성물질의 제거
화분수정	식물생식 집합체의 이동	식물 개체수 생산을 위한 화분 수정체의 제공
생물학적 방제	생물종수의 조절	주요 포식종(predator)의 조절, 포식종에 의한 초식종의 감소
서식처 제공	거주자 또는 일시적인 생물의 서식처	종묘장, 이주종의 서식처, 지역에 주둔하고 있는 지역종 등을 위한 지역 및 월동 서식처
식량생산	식품으로 이용하는 총1차 생산물	수렵, 농업, 낚시 등을 위한 어류, 수렵동물, 작물, 과일 등의 생산
원료	원자재로 이용하는 총1차 생산물	목재, 원료, 사료 등의 생산
유전자원	독특한 생물적인 재료 및 산물의 근원지	의약품, 재료과학을 위한 산물, 식물병충해에 저항성 유전자, 화훼종
휴양	여가활동을 위한 기회 제공	생태관광, 스포츠용 낚시 야외 여가 활동 등
문화	비상업화된 이용기회 제공	심미적, 예술적, 교육적, 영적, 생태계의 과학적 가치

주 : 서비스는 재화(goods)를 포함하는 개념임.
 자료 : Costanza et al.(1997).

별서비스를 분류·정리하고 있다.

TEEB(2010)은 <표 3>과 같이 생태계 기능을 공급서비스(provisioning services), 조절서비스(regulating services), 문화서비스(cultural services), 지지서비스(supporting services) 등의 4개로 범주화하고 22개의 개별기능으로 구분하고 있다. 여기서 공급서비스는 생태계가 인간에 의해 소비되고 다른 재화의 생산에 이용되는 생산물이나 재화형태를 제공하는 편익을 말하며, 음식, 연료, 물, 유전자원 등이 속한다. 조절서비스는 생태계의 자연 통제과정에서 발생하는 편익으로서 공기정화, 기후조절, 재해방지, 질병통제 등이 이에 속한다. 문화서비스는 레크리에이션, 정서적 가치 및 심미적 쾌락과 같이 사람이 생태계로부터 얻는 비물질적인 편익을 말한다. 지지서비스는 다른 생태서비스 생산에 기반이 되는 편익을 말하며, 광합성, 영양분 순환, 기초 생산력, 생물의 다양성 등이 속한다.

유럽 환경청(European Environment Agency, 2013)의 생물군 생태계 서비스 분류방식 CICES(Common International Classification of Ecosystem Services) V4.3은 기존의 생태계서비스 분류방식에 나타날 수 있는 생태계 기능, 생태계 서비스, 생태계 편익개념의 혼동문제를 해결하기 위하여

<표 2> De Groot et al.(2002)의 생태계 기능과 서비스 분류체계

생태계 기능	생태계의 과정과 요소	재화와 서비스(예시)	
공급 기능	가스조절	대기 화학물질 조성의 조절	대기질의 유지, 기후의 영향
	기후조절	지역적, 생물학적 과정과 연계된 기후의 영향	인간에게 적합한 기후의 유지
	재해방지	생태계 구조 피해의 영향	폭풍, 홍수 방지
	물 조절	육지의 물 공급 중단과 강으로의 방출역할	관개 배수
	물 공급	신선한 물의 여과, 유지, 저장	소비되는 물 제공
	토양유지	식물과 토양 유지역할	경작할 수 있는 토양의 유지
	비옥토양 형성	유기물의 축적	생산 가능한 토양의 유지
	영양조절	영양분의 저장과 재순환	토양의 상태와 생태계 유지
	폐기물 처리	식물, 영양분의 제거 역할 또는 영양분과 화합물의 분해	오염조절, 먼지입자의 여과
	화분수정	식물 생식 접합체의 이동	야생 식물, 작물의 화분수정
	생물학적 방제	영양관계를 통한 개체수의 조절	질병과 재해의 조절
서식처 기능	피난처 기능	야생 동·식물의 태양 에너지 전환	상업적으로 수확할 수 있는 종들의 유지
	양성 기능	번식하기에 적합한 서식지	사냥, 낚시, 과일 등
생산 기능	음식	식용가능한 동·식물의 태양 에너지 전환	건설, 제조, 원료, 에너지, 사료, 비료
	원료	인간의 이용을 위한 태양 에너지 전환	
	유전자원	야생 동·식물의 유전적 원료/개발	의약, 화학적 모델/도구
	의료자원	화학물질, 기타 약물 이용의 다양함	
	장식자원	장식적 이용을 위한 다양함	패션, 보석, 애완동물 자원
정보 기능	심미정보	경관물의 매력	풍경의 즐거움
	휴양	휴양이용의 다양함	생태관광
	문화/예술 정보	자연물의 문화/예술적 가치의 다양함	자연을 연상시키는 책, 영화, 그림, 상징 등을 이용
	영적/역사적 정보	자연물의 영적/역사적 가치의 다양함	종교적 또는 역사적 목적을 위한 자연의 이용
	과학/교육	자연의 과학/교육 가치의 다양함	야외학습을 위한 생태계 이용

자료 : De Groot et al.(2002).

아래와 같이 최종 생태계 서비스, 생태계 재화 및 편익, 인간 웰빙에 대해 정의하고 있다(Haines-Young and Potschin, 2013).

- 최종 생태계 서비스(final ecosystem service)는 가장 직접적으로 인간의 웰빙에 영향을 미치는 생태계의 최종 산출물을 말한다. 기본적인 특징은 생태계 서비스가 그 생태계 서비스를 생성하는 기초 생태계 기능, 과정 그리고 구조와 연결되어 있는 점이다.
- 생태계의 재화 및 편익(ecosystem goods and benefits)은 사람들이 최종 생태계 서비스로부터 창조하거나 파생된 것들이며, 생태계의 최종 산출물은 기능적으로 생태계와 관련없는 생산물이나 경험으로 변환된다. 재화 및 편익은 전적으로 ‘생산물’이라 언급될 수 있다.
- 인간 웰빙(human well-being)은 자유로운 선택 및 행동, 건강, 유익한 사회관계 및 안전을 유지함으로써 건강한 삶에 필요한 기본적 물질에 충분히 접근할 수 있는 것에 의해 발생하며, 웰빙의 상태는 웰빙의 지위를 변화시킬 수 있는 생태계 재화 및 편익의 총산출물에 달려 있다.

<표 3> TEEB(2010)의 생태계 기능과 서비스 분류체계

	생태계 서비스	적용 예
공급서비스	1. 음식	해산물, 다이어트식품, 음식생산메커니즘
	2. 물	물이용
	3. 원재료	바이오메스 연료, 에너지
	4. 유전자원	종자, 유전자조작 바이오기술연구
	5. 의약자원	신화학제품, 약품, 신치료도구
	6. 장식(관상)자원	산호 및 귀중광물, 장식품, 기념품
조절서비스	7. 공기정화	CO ₂ /O ₂ 의 균형, SO _x 수준의 조절
	8. 기후조절	탄소저감포함
	9. 재해방지	홍수방지, 폭풍우 방지
	10. 물흐름조절	가뭄완화
	11. 오염물질정화	수질정화, 정수처리
	12. 침식방지	
	13. 토양비옥도 유지	
	14. 수분(pollination)	
	15. 생물학적 방제	페스트(pest)나 질병 통제
문화서비스	16. 심미적 정보	경관, 풍경
	17. 레크리에이션/관광	
	18. 문화, 예술 및 디자인 영감	민속, 문화유산, 문화다양성
	19. 정신적 경험	정신 및 종교
	20. 인식개발정보	지식, 과학, 교육
지지(서식)서비스	21. 생명순환유지	광합성, 기초생산, 영양분 순환, 보육서비스
	22. 유전자공급원 보호	생물의 다양성 유지

자료 : TEEB(2010).

유럽환경청(European Environment Agency, 2013)의 생태계 서비스 분류방식 CICES V4.3은 <표 4>와 같다.

<표 4>와 같이 CICES V4.3은 생태계 서비스를 섹션(section), 디비전(division), 그룹(group), 클래스(class)로 나누어 구분하고 있다. 공급, 조절 및 유지, 문화 등 3개의 섹션(section)과 영양, 재료, 에너지, 폐기물, 유독, 기타유해물의 조절, 흐름의 조절, 물리, 화학, 생물 및 무생물적 조건의 유지, 육체 및 지적 상호작용, 정신, 상징 및 기타 상호작용 등 8개의 하위 부문(division) 등으로 구분하고 있다.

Böhnke-Henrichs et al.(2013)은 <표 5>와 같이 기존의 생태계 서비스 분류방식에 나타날 수 있는 생태계 서비스, 생태계 기능, 생태계 편익 개념의 혼동문제를 해결하기 위하여 중복된 생태계 서비스 범주화로 나타나는 중복계산(double counting), 생태계의 변화를 반영하지 못하는 생태계 서비스 형태 등을 해결하는 수정된 해양 생태계 서비스 분류방식, 서비스 지표, 직접적 편익을 제안하고 있다. 예를 들면, 해산물 등 공급서비스는 음식물로서 인간소비목적으로 해양환경으로부터 채집된 모든 이용가능한 해양동식물을 말하며, 지표로써 어획 양륙량, 연간 단위당 어획량 등이 있다.

<표 6>과 같이 Hattam et al.(2015) 역시 해양 생태계 서비스를 측정할 수 있는 지표를 제시하고 있는데, 음식물을 자연산과 양식산으로 구분하여 지표를 제시하고 있다.

<표 4> 유럽환경청의 생태계 서비스 분류방식 CICES V4.3*

Section	Division	Group	Class
공급	영양(nutrition)	바이오메스(biomass) 무기물(mineral) 비무기물(non-mineral)	- 재배작물 - 양육동물 및 그 산출물 - 야생식물, 해조류 및 그 산출물 - 야생동물 및 그 산출물 - 양식식물 및 해조류 - 양식어종 - 소금 - 햇빛
		물(water)	- 음료 표층수 - 음료 지하수
	재료(materials)	바이오메스, 섬유질 금속(metallic) 비금속(non-metallic)	- 직접이용이나 가공을 위한 동식물, 해조류의 섬유 및 기타물질 - 농업이용을 위한 식물, 해조류, 동물의 물질 - 모든 생물로부터의 유전물질 - 금속광물 - 무기물, 골재, 천연 색소, 건축재(진흙/점토)
		물	- 비음료목적으로 표층수 이용 - 비음료목적으로 지하수 이용
	에너지(energy)	바이오메스-기반 에너지원 역학적에너지 갱신가능한 무생물에너지원 비갱신가능한 에너지원	- 식물기반자원 - 동물기반자원 - 동물기반에너지 - 바람, 파도, 수력 - 석탄, 오일, 가스
	조절 및 유지	폐기물, 유독, 기타유해물의 조절	생물에 의한 조절
생태계에 의한 조절			- 생태계에 의한 여과/제거/저장/축적 - 대기, 담수 및 해양 생태계의 용해
자연적인 화학 및 물리과정			- 대기확산/용해; 침전물의 물 흡수 및 제거; 자연물리 구조에 의한 스크리닝
흐름의 조절		질량흐름	- 질량안정화 및 침식률 통제 - 질량흐름의 완충 및 경감
		액체흐름	- 물순환 및 물흐름 유지 - 홍수방어
		가스/공기흐름	- 폭풍우 방어 - 통풍 및 증산
물리, 화학, 생물 및 무생물적 조건의 유지		생물주기순환, 서식 및 유전자공급원 보호	- 수분 및 종자확산 - 보육개체군 및 서식처 유지
		페스트 및 질병 방제	- 페스트 통제 - 질병통제
		토양형성 및 구성	- 풍화과정 - 분해 및 고착과정
		수질조건	- 담수의 화학적조건 - 염수의 화학적조건
	대기구성 및 기후조절	- 온실가스저감에 의한 지구기후조절 - 미시 및 지역적 기후조절	
문화	육체 및 지적 상호작용	육체 및 경험 상호작용	- 다양한 환경적 배경으로 동식물 및 경관의 경험적 이용 - 다양한 환경적 배경으로 경관의 물리적 이용
		지식 상호작용	- 과학, 교육, 유산, 문화, 엔터테인먼트, 심미
	정신, 상징 및 기타 상호작용	정신 및 상징	- 심벌 - 성스러운 및 종교적
	기타 문화적 산출물	- 존재 - 유산	

자료 : Haines-Young and Potschin(2013), 일부 수정.

<표 5> Böhnke-Henrichs et al.(2013)의 해양 생태계 서비스 분류, 지표 및 편익

생태계 서비스	내용	지표(indicators)	직접편익의 예시	
공급 서비스	1. 해산물	음식물로서 인간소비목적으로 해안/해양환경으로부터 채집된 모든 이용 가능한 해양동식물(보조재로서 소비는 제외) ex) 어패류, 해조류	- 어획 양륙량(Beaumont et al., 2006; Lange & Jiddawi, 2009; Hunsicker et al., 2010) - 연간해산물수확량(Kasperski & Wieland, 2009; O' Higgins et al., 2010) - 연간 km ² 또는 ha당 어획량(Cesar, 1996; Ruijgrok et al., 2006)	영양분, 단백질 공급원, 생계수단, 맛의 즐거움
	2. 해수	경제 및 산업활동에 이용되는 해수 ex) 해양심층수	- 연간 면적당 추출 해수량	음료수, 건강, 안전(선적 평형수, 핵발전소의 냉각수), 이완(레크리에이션, 레저)
	3. 원재료	연안/해양환경으로부터 원재료의 추출(서비스 6은 제외) ex) 연료, 모래, 소금	- 연간 원재료 추출량(Beaumont et al., 2006; Ruijgrok et al., 2006) - 연간 해조류 성장량(Lange & Jiddawi, 2009)	산업재, 인프라 구조물, 고용
	4. 유전 자원	해양동식물의 유전물질 추출 서비스 20(유전자원연구의 가치)는 제외 ex) 염분조건에 대한 저항성을 개선시킬수 있는 해양동식물의 유전물질	- 연간 면적당 이용된 유전자수	산업생산물, 영양분, 생계수단
	5. 의약 자원	의약품의 제공하는 능력에 대한 해안해양환경으로부터 추출된 물질, 서비스 20(의약자원연구의 가치)는 제외 ex) 건강목적을 위한 해수, 해양식물에서 추출약품	- 발견되지 않은 종양 약품의 수 (Erwin et al., 2010)	건강
	6. 장식 (관상)자원	장식, 기념품 등을 만들기 위한 물질 추출 ex) 조개, 진주, 산호	- 연간 면적당 이용된 장식자원의 량	즐거움(내부장식물, 주얼리, 패션), 생계수단
조절 서비스	7. 공기 정화	연안/해양 생태계에 의한 공기정화 ex) 미세먼지, 특정물질 이산화황, 이산화탄소 등과 같은 오염원의 제거	- 미세먼지/NOx 또는 SO ₂ 흡수량 (kg/ha/year) (Ruijgrok et al., 2006)	건강(깨끗한 공기를 통한)
	8. 기후 조절	해수순환을 통해 기후유지에 미치는 해양 생태계의 생물요소의 공헌도와 대기기후영향에 대한 생물물질의 공헌 ex) 해양유기물에 의한 이산화탄소, 수증기, 아산화질소, 메탄 및 다이메틸설폭시화물 등과 같은 가스 생산, 소비 및 이용	- CO ₂ 저감량(Beaumont et al., 2006; Ruijgrok et al., 2006; Jialin et al., 2009)	선호할만한 생활조건, 건강 및 웰빙
	9. 교란방지 또는 조절	폭풍, 쓰나미, 허리케인과 같은 환경재해의 강도를 약화시키는 해양 생태계의 구조의 공헌 ex) 갯벌, 바다숲, 망그로브와 같은 해양 생태계구조로부터 직접적으로 발생하는 환경교란에 의해 발생하는 손해와 강도를 감소	- 선박이용협곡의 퇴적작용을 방지하는 퇴적물의 양(m ³ /year)	자연어항의 유지, 안전, 생계수단(선박부문)
	10. 물흐름 조절	지역 연안해류구조에 대한 해양연안 생태계의 공헌 ex) 지역해류강도에 대한 대형조류의 효과	- 선박이용협곡의 퇴적작용을 방지하는 퇴적물의 양(m ³ /year)	자연어항의 유지, 안전, 생계수단(선박부문)
	11. 오염물질정화	저장, 매립, 생화학순환과 같은 과정을 통해 인간에 의해 추가적으로 유입된 오염물의 해양 생태계에 의한 정화 ex) 해양마이크로유기물에 의한 화학적오염물질의 분해, 조개류에 의한 연안수 여과	- COD의 생화학적 저감능력(g/m ³ /day) (Wang et al., 2010) - N과 P의 저장량(kg/ha/year)(Souza et al., 2011)	건강(청정해수)
	12. 침식 방지	연안침식방지를 위한 연안/해양생태계의 공헌, 서비스 10에 의해 효과는 제외 ex) 연안수산식물에 의한 사구 유지	- 자연적인 해안선의 길이(Wang et al., 2010) - 연간 생태계 ha당 침식으로부터 보호받는 퇴적물의 양(Ruijgrok et al., 2006)	재산의 보호, 바다경관의 보호, 해안가근처시민의 정신적 유체적 건강 및 웰빙

<표 5> 계속

생태계 서비스		내용	지표(indicators)	직접편익의 예시
조절 서비스	13. 생물학 적방제	먹이망구조 및 흐름의 유지를 통해 생태계 회복력을 지원함으로써 건강한 개체군 형성에 대한 해양 생태계의 공헌 ex) 초식성 어류가 해조류 개체군을 유지함으로써 산호 생태계의 지지, 개체군의 크기를 제한하는 상위포식자의 역할	- 종의 수(Beaumont et al., 2006)	정신적 유체적 건강 및 웰빙
	14. 생명순 환유지	재생산과 성육을 위한 서식처 제공을 통한 회유성어종 개체군에 대한 특정 서식장의 공헌 ex) 그밖의 곳에서 어획되는 상업적 어종의 재생산 서식장	- 생명유지에 필요한 서식장의 면적(해조장의 면적; km ² /당) - 보육 또는 재생산을 위한 서식처의 종수와 다양성(m ² /당)	영양(해산물을 경유하는), 건강, 생계수단, Warm glow(존재 가치 만족)
서비스	15. 유전자 공급원 보호	자연적 선택/진화적 과정을 통한 생균 유전자유지에 대한 해양 생태계 공헌 ex) 환경변화에 대한 종의 적응성을 부가하는 해양 생태계에 의해 지지되는 유전자의 다양성	- 개체군별 종다양성	Warm glow (존재가치)
문화 및 어메니티 서비스	16. 레크리에이션/여가	해양/연안생태계의 특정지역에 의존하는 레크리에이션과 레저 기회의 제공 ex) 새/고래관광, 보트타기, 레크리에이션낚시, 스쿠버다이빙 등	- 사이트 방문자의 수(Dehghani et al., 2010) - 연간 사이트당 여행횟수(Gao & Hailu, 2011) - 사람당 특정활동을 위해 이용된 일수(Tapsuwan & Asafu-Adjaye, 2008) - 지역의 호텔 방수(Lange & Jiddawi, 2009) - 목표어종의 어획량(Cammeron & James, 1987; Bockstael et al., 1989)	휴식, 쾌락, 건강 및 웰빙, 행복, 원기회복, 고용
	17. 심미적 정보	개별관찰자가 느끼는 분명한 정서적 반응을 생성하는 해안 또는 해중경관을 지니는 해안/해양 생태계의 공헌 ex) 개별관찰자가 느끼는 바다풍경에 대해 푸르다는 심미적 정보나 산호풍경에 대해 가지는 풍부한 어종과 형형색색의 해양생물 연상	- 조개줍는날의 면적(Bell, 1986) - 조개줍는날(Bell & Leeworthy, 1986)	즐거움, 흥미유발, 원기회복, 즐거움
	18. 문화, 예술 및 디자인 영감	문화, 예술 및 디자인에 영감을 주는 환경적 특징을 지니는 해안/해양 생태계의 공헌, 서비스 6, 16, 17, 21는 제외 ex) 페인팅의 모티브로서 해양풍경의 이용, 영화에서 해양유기물이나 생태계를 소재로 이용(조스 및 네모 등)	- 연간면적당 문화, 예술 및 디자인 창조에 투입된 시간의 양	창조성, 즐거움, 만족, 생계수단의 영감과 만족
	19. 종교적 경험	공식적인 종교경험에 대한 연안/해양생태계의 공헌, 서비스 17, 21는 제외 ex) 그리스 및 로마신화는 바다와 관련, 크리스찬 심벌은 물고기 형상과 관련	- 연간면적당 연안 및 해양 생태계 관련 공식적 종교의식에 투입된 시간의 양	종교적 감정, 종교의식을 수행하는 능력
	20. 인식개발정보	교육, 연구 등에 대한 연안/해양생태계의 공헌, 생체공학적 설계와 생물모방기술에 이용되는 연안/해안생태계의 공헌; 해양유전자원과 의약품자원연구포함 ex) 어린이와 성인의 해양환경교육; 선박설계를 위한 해양동물의 유체역학 흐름분석의 응용; 엔지니어링설계에서 해양동물 유영메카니즘의 이용	- 생태계, 어종 등에 관한 교육, 연구, 현장체험 등에 소요된 시간의 양	지식탐구를 위한 지적 영감, 호기심이나 교육의 만족
21. 문화유산 및 정체성	문화유산 및 정체성에 대한 연안/해양 생태계의 공헌(심미적 공식적인 종교적인 경험은 제외); 문화적 전통과 민속에서 해양환경의 중요성을 포함; 지역연안/해양환경과 생태계를 위한 해안 공동체의 감사를 포함; 해양절경과 관련된 해양자연유산 ex) 독일 합부르크 바덴 해역(Wadden Sea)의 UNESCO 세계유산 등재	- 문화적 유산지역의 면적 또는 가구수	유산, 공동체의식, 소속감, 건강 및 웰빙의 의미를 지니는 문화적 관습	

자료 : Böhnke-Henrichs et al.(2013).

<표 6> Hattam et al.(2015)의 해양 생태계 편익 및 지표

내용	지표(indicators)	직접편익의 예시
1a. 음식-자연산	- 자연산 어획물 소비로부터 영양 - 인간 소비를 위한 양륙어획량 - 어업소득 및 총부가가치 기여도 - 어업의 고용량	- 단백질 그래프/연/마리 또는 단백질 그래프/가구 - 특정시기 및 장소에서 양륙자료(톤) - 화폐가치 - 일자리 수
1b. 음식-양식산	- 양식수산물의 소비로부터 영양 - 인간 소비를 위한 양식수산물 양륙량 - 양식업소득 및 총부가가치 기여도 - 양식업의 고용량	- 단백질 그래프/연/마리 또는 단백질 그래프/가구 - 특정시기 및 장소에서 양륙자료(톤) - 화폐가치 - 일자리 수
2a. 생물원재료-유전자원	- 양륙된 유전자원량 - 미래이용을 위한 이용가능 유전물질의 지식 - 해양유전자원 이용으로부터 생성된 소득과 총부가가치 기여도 - 해양유전자원 이용산업의 고용량	- 톤 - 잠재적 이용이 알려진 유전자의 개수(옵션가치와 관련) - 화폐가치 - 일자리 수
2b. 생물원재료-의약자원	- 해양의약자원의 이용 - 해양의약자원사업에 의한 소득 및 총부가가치 기여도 - 해양의약자원산업의 고용량	- 의약품 수, 사망률 및 삶의 질의 개선 등 - 화폐가치
2c. 생물원재료-장식자원	- 장식이용의 기여도 - 해양장식자원사업에 의한 소득과 총부가가치 기여도 - 해양장식자원산업의 고용량	- 톤 - 화폐가치
3. 공기정화	- 건강(인간, 축산물 및 애완동물) - 작물생산성	- 건강회피비용: 화폐가치 - 미지의 측정단위
4. 기후조절	- 탄소의 그림자 가격(Treasury Green Book, CO ₂ 등)	- 화폐가치
5. 교란예방 및 조절	- 침식의 예방 및 통제 - 육지 훼손의 손실회피 - 생산감소 손실의 회피 - 감정비용의 손실회피 - 보험비용의 감소(역선택)	- 침식예방 및 통제의 회피비용: 화폐가치 - 회피비용: 화폐가치 - 회피비용: 화폐가치 - 회피비용: 화폐가치 - 회피비용: 화폐가치
6. 물 흐름의 조정	- 항로의 유지 및 추가로 인한 연료소비의 추가적 감소	- 회피비용: 화폐가치
7. 우수처리 및 흡수	- 건강에 반하는 효과의 회피 - 우수처리 및 매장 - 우수여과 - 해변 및 수질의 청정상태(관광관련)	- 건강비용의 회피: 병원입원(정보노출기간동안) - 기본 대 제3의 하수처리비용; 대체비용분석; EU 행정에 따른 시스템변화비용 대 마찰비용의 불; 화폐가치 - 수질에 따른 관광산업; 해변방문객수 - 관광에 반한 청색기상(blue flag) 지위 획득; WTP
8. 연안침식 방지	- 육지/주택의 자연보호 - 연안보호측정의 비용 감소	- 보험비용회피 및 헤도닉가격; 화폐가치 - 하드 대 소프트 방어비용(?)
9. 생물 통제	- 생물보안(생태계의 건강성 유지) - 환경복원의 회피	- 환경질의 변화 관련 인간질병발생의 회피 - 회피비용; 화폐가치
10. 회유 및 보육 서식처	- 서식어장 밖의 어업/어획 비율 - 어업활동의 유지	- 고용의 기여도(일자리수) 및 소득
11. 유전자공급원	- 미래이용할 수 있는 옵션 - 보호어종 및 서식 - 기원 확인(문화적으로 중요한 종)	- 메타분석, 선택실험, 옵션가치분석, 화폐가치 - 보호에 행해진 투자수준, 화폐가치 - 다른 공급원과 비교한 가격프리미엄, 화폐가치
12. 레저, 레크리에이션 및 관광	- 원기회복자의 수 - 해안선 및 바다경관 구경 - 야생동물 구경 - 해변이용 - 물이용	- 병가회피 일수 - 참여자 수 - 야생동물 구경자 수 - 해변방문객 수 - 수영, 다이빙, 서퍼하거나 보트타는 사람의 수
13. 심미적 경험	- 보고 즐기는 대상지	- 사진찍는 관광객 수 - 장소 방문객 수 - 스쿠버다이빙 수

<표 6> 계속

내용	지표(indicators)	직접편익의 예시
14. 문화, 예술 및 디자인 영감	- 해양테마 미디어(영화) - 해양테마 예술품 - 해양테마 디자인 이용(생체공학, 생체모방) - 고용	- 영화의 수, 영화로 인한 소득 - 영화의 수, 영화로 인한 소득 - 개발제품의 수 및 개발제품으로 인한 소득 - 일자리 수
15. 문화적 유산	- 대상지의 문화적 중요성	- 관련테마간의 연관성을 인식하는 담화 분석
16. 문화 다양성	- 미지의 측정 지표 및 단위	
17. 정신적 경험	- 해양환경에서 정신 및 종교적 의미	- 해양환경에서 정신 및 종교에 집착하는 사람들의 수, 담화 분석
18. 인식개발정보	- 자연모형/원형으로 생성된 지식	- 특정대상/생태계로부터 유래된 다큐멘터리/영화/그림/광고의 수, 연구논문 및 과학적 발견물의 수

자료 : Hattam et al.(2015), 일부 수정.

<표 7> *Posidonia oceanica* 해초지의 생태계 서비스 및 경제적 편익

Section	Division	<i>P. oceanica</i> 해초지의 생태계 서비스	경제적 편익*
공급	영양(nutrition)		
	재료(materials)	재료, 바이오지표, 산업오수흡착제(메틸 바이오렛), 양식사료	재료 및 바이오지표로써 이용
	에너지(energy)		
조절 및 유지	폐기물, 유독, 기타유해물의 조절	여과에 의한 수질정화, <i>P. oceanica</i> 종의 영양 및 오염저감, <i>P. oceanica</i> 종 바다숲의 유기물에 의한 영양 및 오염저감	오수처리
	흐름의 조절	<i>P. oceanica</i> 침전물에 의한 해안선침식예방, <i>P. oceanica</i> 바다숲에 의한 파력과 조류 감소	연안침식예방
	물리, 화학, 생물적조건의 유지	- 많은 어종의 서식, 보육, 산란처, 은신처, 어장제공, 보호어종의 서식 등 - 바다숲의 안정화와 견고함 - 용존산소 - 영양순환 - 탄소흡수 및 저감	- 어업에 기여 - 연안침식예방 - 용존산소의 어업에 기여 - 영양순환에 의한 오수처리 - 탄소저감
문화	육체 및 지적 상호작용	- <i>P. oceanica</i> 바다숲관광:스노클링과 해중잠수함관광 - <i>P. oceanica</i> 바다숲상업낚시, 여가낚시 - 연구주제 - 교육기회 - 문화가치 및 유산 - 예술적영감	- 지식에 기여
	정서, 상징 및 기타 상호작용	- 지중해의 상징적인 어종 - 야생 및 카리스마 존재어종의 즐거움 - 미래 세대를 위한 보전의지	

* 는 추정가능한 경제적 편익.

자료 : Campagne et al.(2015), 일부 수정.

또한 Campagne et al.(2015)은 유럽환경청(European Environment Agency, 2013)에 의해 개발되고, 유럽연합집행위원회(European Commission, 2013)에 추천하고 있는 생태계 서비스 분류방식 CICES

<표 8> 한국수산자원관리공단의 바다숲 생태계 공익적 기능

생태계 기능	기대 역할
1. 연안생태계 회복	갯녹음을 억제하고 수산자원 서식처 조성
2. 온실가스저감	온실가스흡수원
3. 바이오에너지원	해조류 바이오매스 활용
4. 웰빙식품	해조류의 혈당조절, 중금속제거, 동맥경화예방 등 웰빙 및 다이어트 식품
5. 기능성물질	알긴산, 베타카로틴, 라미나란 등 약리성화학물질 추출
6. 오염물질정화	질소, 인, 중금속 물질 등의 흡수를 통한 부영양화 저감 및 수질정화

V4.3에 의해 해초 *Posidonia oceanica*의 생태계 서비스와 경제적 편익을 분류하고 있다. 예를 들면, 공급 section에서 재료, 바이오지표, 산업오수흡착제, 양식사료 등 재료를 제공하며, 조절 및 유지 section에서 ① 폐기물, 유독, 기타 유해물의 조절 ② 흐름의 조절 ③ 물리, 화학, 생물적 조건 유지 등의 division을 제공하고 있음을 보여주고 있다.

이와 달리, 한국수산자원관리공단(2015)은 <표 8>과 같이 바다숲 생태계의 공익적 기능을 연안생태계 회복, 온실가스저감, 바이오에너지원, 웰빙식품, 기능성물질, 오염물질정화 등 6개의 기능에 따른 기대역할을 제시하고 있다.

Ⅲ. 천연 해조장 생태계 서비스 및 편익지표

이 장에서는 앞의 해외문헌과 해조 생태 분야 분야의 전문가 자문에 의하여 천연 해조장 생태계의 서비스 및 편익지표를 탐색해 보고자 한다.

한국수산자원관리공단의 바다숲 생태계 6대 공익적 기능을 토대로 TEEB(2010), Böhnke-Henrichs et al.(2013)의 해양 생태계 서비스 분류방식에 따라 분류하고 정리하면 <표 9>와 같이 제시할 수 있다.

<표 9> Böhnke-Henrichs et al.(2013) 분류방식에 따른 천연 해조장의 생태계 서비스

천연 해조장의 생태계 서비스		설명
공급 서비스	1. 웰빙식품	- 해조류의 혈당조절, 중금속제거, 동맥경화예방 등 웰빙 및 다이어트 해조식품 - 어장으로서는 신선한 수산식품
	3. 원재료	바이오매스 연료, 에너지
	4. 유전자원	수산식물종자
	5. 의약자원	알긴산, 베타카로틴, 라미나란, 후코이딘 등 약리화학물질 추출
조절 서비스	7. 공기정화	CO ₂ /O ₂ 의 균형, SOx수준의 조절
	8. 기후조절	탄소저감포함
	11. 오염물질정화	수질정화, 갯녹음 개선
지지 (서식) 서비스	12. 침식방지	연안수산식물에 의한 사구(모래언덕)유지
	14. 생명순환유지	광합성, 기초생산, 영양분 순환, 보육서비스, 서식처제공
문화 서비스	15. 유전자공급원 보호	생물의 다양성 유지
	16. 레크리에이션/관광	바다낚시 포인트 제공, 스킨스쿠버 해중관광포인트
	20. 인식개발정보	해양환경교육, 유전자조작 바이오기술연구 등

<표 10> 유럽환경청(EEA)의 생태계 서비스 분류방식에 따른 천연 해조장의 생태계 서비스

Section	Division	천연 해조장의 생태 계서비스
공급	영양(Nutrition)	해조식품, 수산식품 등 웰빙식품
	재료(Materials)	약리화학물질(알긴산, 베타카로틴, 라미나란, 후코이딘 등), 양식사료, 수산식물 종자
	에너지(Energy)	바이오메스에너지
조절 및 유지	폐기물, 유독, 기타유해물의 조절	수질정화, 영양 및 오염저감, 갯녹음 개선
	흐름의 조절	바다숲에 의한 파력과 조류 감소
	물리, 화학, 생물적조건의 유지	- 많은 어종의 서식, 보육, 산란처, 은신처 등의 어장제공 - 보호어종의 서식 - 바다숲의 안정화와 견고함 - 용존산소 제공 - 영양순환 제공 - CO ₂ /O ₂ 의 균형, - SO _x 수준의 조절, 탄소흡수 및 저감
문화	육체 및 지적 상호작용	- 바다숲관광 : 스노클링과 해중잠수함관광 - 바다숲상업낚시, 여가낚시 - 연구주제 - 교육기회 - 문화가치 및 유산 - 예술적영감
	정서, 상징 및 기타 상호작용	- 미래 세대를 위한 보전

<표 9>에 따르면, 바다숲 생태계는 혈당조절 및 동맥경화 예방 등의 웰빙식품, 바이오매스 등의 원재료, 베타카로틴, 알긴산, 라미나란 등의 기능성 물질, 의약자원, 수산식물종자 등의 유전자원 등 4종의 공급서비스, CO₂/O₂의 균형 등의 공기정화, 탄소저감 등의 기후조절, 질소, 인, 중금속 물질 흡수 등의 오염물질정화, 사구유지 등의 침식방지 등 4종의 조절서비스, 광합성, 영양분 순환 등을 통한 연안 생태계 회복 등의 생명순환 유지 및 유전자 공급원 보호 등 2종의 지지서비스, 레크리에이션/관광, 인식 개발정보 등 2종의 문화서비스를 제공하며, 이들 서비스 제공에 따른 편익을 기대할 수 있다.

한국수산자원관리공단의 바다숲 생태계 6대 공익적 기능을 토대로 유럽환경청(EEA)의 생태계 서비스 분류방식 V4.3에 기초하여 Campagne et al.(2015) 등의 분류방식을 토대로 정리하면 <표 10>과 같이 제시할 수 있다. 천연 해조장의 생태계는 해조식품, 수산식품 등 웰빙식품, 약리화학물질(알긴산, 베타카로틴, 라미나란, 후코이딘 등), 양식사료, 수산식물 종자, 바이오메스에너지 등 영양, 재료, 에너지 3종의 공급서비스, 수질정화, 영양 및 오염저감, 갯녹음 개선, 바다숲에 의한 파력과 조류 감소, 많은 어종의 서식, 보육, 산란처, 은신처 등의 어장제공, 보호어종의 서식, 바다숲의 안정화와 견고함, 용존산소 제공, 영양순환 제공, CO₂/O₂의 균형, 황산화물(SO_x) 수준의 조절, 탄소흡수 및 저감 등 폐기물, 유독, 기타유해물의 조절, 흐름의 조절, 물리, 화학, 생물적조건의 유지 3종의 조절 및 유지 서비스, 바다숲관광(스노클링과 해중잠수함관광), 바다숲 상업낚시, 여가낚시, 연구주제, 교육기회, 문화가치 및 유산, 예술적 영감, 미래 세대를 위한 보전 등 육체 및 지적 상호작용 및 정서, 상징 및 기타 상호작용 2종의 문화서비스를 제공한다.

<표 11>은 국내 저명한 5명의 해조 생태계 전문가에게 해외문헌에서 발굴하고 있는 해양 및 해조 생태계 서비스 및 편익지표를 제시하고, 국내 천연 해조장 생태계의로 적용 가능성에 대한 자문을 통

<표 11> 천연 해조장의 생태계 서비스 및 편익지표

천연 해조장의 생태계 서비스		서비스 및 편익지표
공급 서비스	1. 웰빙식품	- 해조류채취량(kg)/ha/yr; 어획량(kg)/ha/yr - 천연 해조장 면적 - 출현종 - 품종별 해조류의 2차생산량공헌도
	3. 원재료	- 품종별 바이오매스 - 해조류의 양식사료량
	4. 유전자원	- 계절별 추출 가능한 유전물질의 정량 지표 - 서식 연령대별 유전물질의 함량
	5. 의약자원	추출 가능 물질의 함유량 정량 지표
조절 서비스	7. 공기정화	- 해역별 해조품종별 특정물질 이용 및 흡수 가능량에 대한 정량 지표
	8. 기후조절	- 해역별 해조품종별 이산화탄소저감량(g C/m/yr)
	11. 오염물질정화	- 유입된 오염물질을 정화 및 저감할 수 있는 생물 구성 인자의 유무 파악(미세조류, 거대조류 등), COD 저감 능력 - 해조품종별 유입된 오염물질을 정화능력
	12. 침식방지	- 천연 해조장지역 해안선변화 유무 파악 - 해안개발에 의한 침식, 퇴적 등의 정량적 자료
지지 (서식) 서비스	14. 생명순환유지	- 품종별 해조류의 기초생산량 - 먹이원이 되는 생물군의 정량 자료: 품종별 해조류의 2차생산량 공헌도
	15. 유전자공급원 보호	- 생태계 구성 인자의 구성 종류, 밀도, 피도 등의 정량 자료 - 외래종, 유입종 등의 유무 파악
문화 서비스	16. 레크리에이션/관광	- 천연 해조어장 방문유어객수/다이버 수
	20. 인식개발정보	- 생태계, 어종 등에 관한 교육, 연구, 현장체험 등에 소요된 시간의 량

해 그들의 의견을 종합하여 나타낸 국내 천연 해조장 생태계 서비스 및 편익지표를 나타낸다.

천연 해조장의 생태계 서비스 및 편익지표를 나타낸다. 앞에서 언급한 해양 생태계 서비스 및 편익지표를 5명의 해조류 전문가에게 제시하고 그들의 의견을 종합하여 나타낸 지표이다.

천연 해조장 생태계가 제공하는 공급서비스(지표)는 웰빙식품(해조류채취량, 어획량, 어류생체량, 천연 해조장 면적, 면적당 해조류 생체량, 출현종, 품종별 해조류의 2차생산량공헌도), 원재료(품종별 바이오매스, 해조류의 양식사료량), 유전자원(계절별 추출 가능한 유전물질의 정량 지표, 서식 연령대별 유전물질의 함량), 의약자원(추출 가능 물질의 함유량 정량)이며, 천연 해조장 생태계가 제공하는 조절서비스(지표)는 공기정화(해역별 해조품종별 특정물질 이용 및 흡수 가능량에 대한 정량), 기후조절(해역별 해조품종별 이산화탄소저감량), 오염물질정화(유입된 오염물질을 정화 및 저감할 수 있는 생물 구성 인자의 유무 파악, 해조품종별 유입오염물질(N, P)의 정화능력, COD 저감 능력), 침식방지(천연 해조장지역 해안선변화유무파악, 해안개발에 의한 침식, 퇴적 등의 정량적 자료), 천연 해조장 생태계가 제공하는 지지서비스(지표)는 생명순환유지(품종별 해조류의 기초생산량, 먹이원이 되는 생물군의 정량 자료 : 품종별 해조류의 2차생산량공헌도), 유전자공급원 보호(생태계 구성 인자의 구성 종류, 밀도, 피도 등의 정량, 외래종, 유입종 등의 유무), 천연 해조장 생태계가 제공하는 문화서비스는 레크리에이션/관광(천연 해조어장 방문유어객수/다이버 수), 인식개발정보(생태계,

어종 등에 관한 교육, 연구, 현장체험 등에 소요된 시간의 양)이다.

이와 같이 천연 해조장은 우리 인간 사회에 다양한 서비스 및 편익을 제공하고 있음을 확인할 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 천연 해조장의 생태계 서비스를 UN이나 유럽 등 국제표준(global standard)에 맞도록 분류하고, 정량화 할 수 있는 생태계 서비스 및 편익지표를 탐색하고자 하였다.

본 연구의 주요결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 천연 해조장은 수산자원 생태계의 중요 환경자원으로서 우리 인간사회에 다양한 유·무형의 서비스(재화 포함)를 제공하고 있다. 한국수산자원관리공단의 바다숲 생태계 6대 공익적 기능을 토대로 TEEB(2010), Böhnke-Henrichs et al.(2013) 등의 해양 생태계 서비스 분류방식에 따라 재분류하면, 천연 해조장 생태계는 혈당조절 및 동맥경화 예방 등의 웰빙식품, 바이오매스 등의 원재료, 베타카로틴 등의 의약자원, 수산식물종자 등의 유전자원 등 4종의 공급서비스, CO₂/O₂ 균형 등의 공기정화, 탄소저감 등의 기후조절, 질소, 인, 중금속 물질 흡수 등의 오염물질정화, 사육유지 등의 침식방지 등 4종의 조절서비스, 광합성, 기초생산 등을 통한 연안 생태계 회복 등의 생명순환 유지 및 유전자 공급원 보호 등 2종의 지지서비스, 레크리에이션/관광, 인식개발정보 등 2종의 문화서비스를 제공하며, 이들 서비스 제공에 따른 편익을 기대할 수 있다.

둘째, 천연 해조장의 생태계 서비스 및 편익지표를 다음과 같이 설정할 수 있다. 천연 해조장 생태계가 제공하는 공급서비스(지표)는 웰빙식품(해조류채취량(kg)/ha/yr, 어획량(kg)/ha/yr, 어류생체량(g/m²), 천연 해조장 면적, 출현종, 품종별 해조류의 2차생산량공헌도), 원재료(품종별 바이오매스, 해조류의 양식사료량), 유전자원(계절별 추출 가능한 유전물질의 정량 지표, 서식 연령대별 유전물질의 함량), 의약자원(추출 가능 물질의 함유량 정량)이며, 천연 해조장 생태계가 제공하는 조절서비스(지표)는 공기정화(해역별 해조품종별 특정물질 이용 및 흡수 가능량), 기후조절(해역별 해조품종별 이산화탄소저감량(g C/m²/yr)), 오염물질정화(해조품종별 유입오염물질(N, P)의 정화능력), 침식방지(천연 해조장지역 해안선변화유무파악, 해안개발에 의한 침식, 퇴적 등의 정량적 자료), 천연 해조장 생태계가 제공하는 지지서비스(지표)는 생명순환유지(품종별 해조류의 기초생산량, 먹이원이 되는 생물군의 정량 자료 : 품종별 해조류의 2차생산량공헌도), 유전자공급원 보호(생태계 구성 인자의 구성 종류, 밀도, 피도 등의 정량, 외래종, 유입종 등의 유무), 천연 해조장 생태계가 제공하는 문화서비스는 레크리에이션/관광(천연 해조어장 방문유어객수/다이버 수), 인식개발정보(생태계, 어종 등에 관한 교육, 연구, 현장체험 등에 소요된 시간의 양)이다.

본 연구는 천연 해조장의 가치를 올바르게 평가하는데 기초자료로 활용될 수 있으며, 또한 천연 해조장의 생태계 서비스를 UN이나 유럽 등 국제표준에 맞도록 분류하고, 정량화 할 수 있는 생태계 서비스 및 편익지표를 제공함으로써 앞으로 수산자원조성사업의 정책방향을 결정하는데 있어 정책입안자에게 유의한 정보를 제공할 것으로 기대한다.

REFERENCES

- 강석규 외 (2015), “천연 해조장의 생태적 가치평가: 해외사례분석과 평가방법”, 한국수산자원관리공단.
- Beaumont, N., Townsend, M., Mangi, S. and Austen, M. (2006), *Marine Biodiversity of an Economic Valuation: Building the Evidence Base for the Marine Bill*, UK Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, p. 73.
<http://www.earthmind.net/marine/docs/uk-marine-valuation.pdf> (accessed 16.04.11.).
- Bell, F. W. (1986), “Economic policy issues associated with beach renourishment,” *Policy Stud. Rev*, 6, 374–381.
- Bell, F. W. and Leeworthy, V. R. (1986), “An Economic Analysis for the Importance of Saltwater Beaches in Florida. Department of Economics,” Florida State University, Tallahassee.
- Bell, F. W. (1997), “The economic valuation of saltwater marsh supporting marine recreational fishing in the southeastern United States,” *Ecological Economics*, 21 (3), 243–254.
- Böhnke-Henrichs, A., de Groot, R., Baulcomb, C., Hussain, S., Koss, R. and Fofana, A. (2013), “Typology and Indicators of Ecosystem Services for Marine Spatial Planning and Management,” *Journal of Environment Management*, 130, 135–145.
- Cameron, T. and James, M. (1987), “Efficient estimation methods for “closed-ended” contingent valuation surveys,” *Rev. Econ. Stat*, 69, 269–276.
- Campagne, C. S., Salles, J. M., Boissery, P. and Deter, J. (2015), “The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits,” *Marine Pollution Bullertin*, 97, 391–400.
- Cesar, H. (1996). Economic Analysis of Indonesian Coral Reefs. Available via. World Bank, <http://siteresources.worldbank.org/INTEEI/214574-1153316226850/20486385/EconomicAnalysisofIndonesianCoralReefs1996.pdf> (accessed 03.09.12.).
- CICES (2013). CICES V4.3 (January 2013). *CICES for ecosystem service mapping and assessment*. <<http://cices.eu/>>.
- Costanza, R., d’Agre, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, s., O’neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. and Belt, M. (1997), “The Value of the World’s Ecosystem Services and Natural Capital,” *Nature*, 387, 253–260.
- Daly, H. E. and Farley, J. (2004), *Ecological Economics*, Island Press, Washington, DC, USA.
- De Groot, R. S. (1992), “Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management, and Decision Making,” Wolters – Noordhoff, Groningen, 315.
- De Groot, R. S, Wilson, M. and Boumans, M. J. (2002), “A Typology for the Classification, Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services,” *Ecological Economics*, 41, 393–408.
- Dehghani, M., Farshchi, P., Danekar, A., Karami, M. and Aleshikh, A. A. (2010), “Recreation value of Hara biosphere reserve using willingness-to-pay method,” *Int. J. Environ. Res.* 4, 271–280.
- Ehrlich, P. R. and Ehrlich, A. H. (1981), *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*. 1st edition. Random House, New York. xiv.
- Erwin, P. M., López-Legentil, S. and Schuhmann, P. W. (2010), “The pharmaceutical value of marine biodiversity for anti-cancer drug discovery,” *Ecol. Econ.* 70, 445–451.
- Haines-Young, R. and Potschin, M. (2013), *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4*, August-December. EEA Framework Contract No. EEA/IEA/09/003.
- Hattam, C., Atkins, J. P., Beaumont, N., Börger, T., Böhnke-Henrichs, A., Burdon, D., de Groot, R., Hoefnagel, E., Nunes, P., Piwowarczyk, J., Sastre, S. and Austen, M. C. (2015), “Marine ecosystem services: Linking indicators to their classification,” *Ecological Indicators*, 49, 61–75.

- Hunsicker, M. E., Essington, T. E., Watson, R. and Sumaila, U. R. (2010), "The contribution of cephalopods to global marine fisheries: can we have our squid and eat them too?," *Fish and Fisheries*, 11, 421 – 438.
- Gao, L. and Hailu, A. (2011), "Evaluating the effects of area closure for recreational fishing in a coral reef ecosystem: the benefits of an integrated economic and biophysical modeling," *Ecol. Econ.* 70, 1735 – 1745.
- Jialin, L., Dianfa, Z., Xiaoping, Y. and Yiqing, T. (2009), "Effects of land use changes on values of ecosystem functions on coastal plain of south Hangzhou bay bank," *China. Afr. J. Agri. Res.* 4, 542 – 547.
- Kasperski, S. and Wieland, R. (2009), "When is it optimal to delay harvesting? the role of ecological services in the northern Chesapeake Bay oyster fishery," *Resou. Econ.* 24, 361 – 385.
- Lange, G. M. and Jiddawi, N. (2009), "Economic value of marine ecosystem services in Zanzibar: implications for marine conservation and sustainable development," *Ocean Coast. Manage.* 52, 521 – 532.
- MEA (2005a), *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- MEA (2005b), *Chapter 5-Biodiversity in Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being*, Policy Responses, 3, Island Press.
- O' Higgins, T. G., Ferraro, S. P., Dantin, D. D., Jordan, S. J. and Chintala, M. M. (2010), "Habitat scale mapping of fisheries ecosystem service values in estuaries," *Ecol. Soc.* 15.
- Ruijgrok, E. C. M., Smale, A. J., Zijlstra, R., Abma, R., Berkers, R. F. A., Nemeth, A. A., Asselmann, N., de Kluiver, P. P., de Groot, R., Kircholtes, U., Todd, P. G., Buter, E., Hellegers, P. J. G. J. and Rosenberg, F. A. (2006). *Kentallen waardering natuur, water, bodem en landschap; hulpmiddel bij MKBA's*. Witteveen+Bos, Rotterdam, p. 263.
- Souza, F. E. S. and Ramos e Silva, C. A. (2011), "Ecological and economic valuation of the Potengi estuary mangrove wetlands (NE, Brazil) using ancillary spatial data," *J. Coast. Conserv.* 15, 195 – 206.
- Tapsuwan, S. and Asafu-Adjaye, J. (2008), "Estimating the economic benefit of SCUBA diving in the Similan Islands," *Thailand. Coast. Manage.* 36, 431 – 442.
- TEEB (2010), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity, Ecological and Economic Foundations*, edited by Pushpam Kumar.
- UNEP (2014), *Guidance Manual on Valuation and Accounting of Ecosystem Services for Small Island Developing States*, Ecosystem Services Economics Unit, Division of Environment Policy Implementation.
- UNEP-WCMC (2011), *Marine and Coastal Ecosystem Services: Valuation Methods and Their Application*, Biodiversity Series, 33, 1 – 46.
- Wang, X., Chen, W., Zhang, L., Jin, D. and Lu, C. (2010), "Estimating the ecosystem service losses from proposed land reclamation projects: a case study in Xiamen," *Ecol. Econ.* 69, 2549 – 2556.