

보호대상해양생물종인 잘피의 보전을 위한 해역이용협의의 사례연구

오현택 · 이용민[†] · 김혜진
(국립수산과학원 해역이용영향평가센터)

A Case Study of the Sea Area Utilization Consultation for the Conservation of Marine Protected Seagrass Species

Hyun-Taik OH · Yong-Min YI[†] · Hye-Jin KIM

(Marine and Fisheries Environmental Impact Assessment Center, National Institute of Fisheries Science)

Abstract

This study diagnosed the status of marine environmental impact assessment(MEIA) for project near the habitat of marine protected seagrass species such as *Zostera caespitosa*, *Zostera asiatica*, *Phyllospadix iwatensis*. For the preparation of a marine environmental impact statement, different monitoring parameters are used without any specific guideline for the assessment of current status. And also, both tools and techniques for MEIA are needed to improve for implementing. The monitoring plans and parameters are not considered well with the accuracy of the environmental predictions and effectiveness of any applicable mitigation measures.

This study suggested the reasonable standard of the MEIA for the conservation of the marine protected seagrass species which have the habitat located near affected area. The inshore seagrasses need to be monitored including shoot count based on the “No Net Loss of Seagrass” as part of the monitoring parameters to assess the status of marine environment of environmental impact statement. In a process of effect prediction, we suggested a concentration of 10 mg/L suspended solids which added by the new developmental project near seagrasses habitat, referring to study of overseas case. But a further study for an appropriate standard is necessary effectively. In a mitigating process, priority needs to be considered in order of avoidance, minimization, reduction, compensation. In a post-monitoring process, it is necessary to monitor the seagrass species abundance to identify the variation of b/a (before and after) project. And in a case of implementing transplantation, survival rate need to be included to determine a success of project.

Key words : Seagrass, Impact assessment, Mitigation, Monitoring, Marine environmental impact statement

I. 서론

잘피 생육지는 물리적, 생물학적, 경제적 및 사회적인 혜택을 제공함으로써(Orth et al., 2006), 연

안해양생태계에서 중요한 역할을 한다 (Cullen-Unsworth and Unsworth, 2013; Ji et al., 2014). 잘피는 해양에서 가장 높은 생산성을 나타내는 군집 중 하나로(McRoy and McMillian,

[†] Corresponding author : 051-720-2966, freestyle2m@gmail.com

* 본 논문은 2016년도 국립수산과학원 수산연구사업 어장환경모니터링 (R2016053)의 지원으로 수행된 연구입니다.

1977), 잘피 식물체는 연안 및 하구생태계에서 해양 동물들에게 먹이를 제공하고, 잘피군락은 해양동물들에게 서식처와 산란장 등을 제공해 줌으로써 연안의 수산생산력 향상에 도움을 준다. 뿐만 아니라 지상부 조직을 통해 해수 내의 영양염을 흡수 제거하고, 지하부 조직은 저질을 안정화시켜 수질 향상 및 연안 환경 정화 기능도 담당하고 있다(Fonseca and Fisher, 1986; Short and McRoy, 1984; Ward et al., 1984). 그러나 최근 전 세계적으로 잘피의 서식면적이 급격히 감소하고 있으며(Short et al., 2011; Waycott et al., 2009), 주요 감소 원인은 매립, 준설 등과 같은 인위적인 요인(Lee and Lee, 2003; Short and Wyllie-Echeverria, 1996)과 태풍 및 기후 변화와 같은 자연적인 원인으로 나눌 수 있으나, 최근에는 인위적인 요인에 의한 잘피 생육지의 파괴가 더욱 심각한 것으로 보고되고 있다(Larkum and West, 1983; Short and Wyllie-Echeverria, 1996).

인위적인 요인 중 부지 창출을 위한 공유수면 매립은 지속적으로 증가하고 있고, 매립행위가 생물서식처에 미치는 직접적인 영향과 부유물질 및 탁도 증가와 같은 부가적인 영향은 수중 생물이 필요로 하는 광량을 감소하게 만든다(Lee et al., 2011; Shin and Kim, 2010). 이는 양식어업 및 종묘생산어업 등 다양한 해양 생물의 활동 전반에 큰 영향을 미치게 되고, 특히 보호대상해양생물 중 이동성이 미약한 ‘식물’의 경우에는 심각한 위험에 처하게 된다. 그 예로 보호종인 포기거머리말(*Zostera caespitosa*)의 경우 개발예정지 인근에 서식처가 위치하고 있을 때에는 개발행위에 따른 조류 흐름의 변화로 인해 비정상적인 퇴적과 침식이 일어나 피해가 초래될 수 있다(Kim and Hwang, 2003). 더불어 수중 광량이 감소함에 따라 광합성 저해가 발생하게 되고, 수중 현화식물 군락의 생리생태적인 부작용이 발생하게 되어 단기간에 현존량의 감소 및 군락지의 사멸이 초래될 수도 있다(Park et al., 2011). 우리나라 연안

에는 *Zostera*속 5종, *Phyllospadix*속 2종, 하구종인 *Ruppia martima*와 아열대성 잘피인 *Halophila nipponica*의 9종이 자생하고 있는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2009). 우리나라에 서식하고 있는 잘피는 매년 서식면적이 감소하고 있는데, 특히 1970년대 산업화를 거치면서 잘피 생육지는 50~70% 이상이 감소한 것으로 추정된다(Lee and Lee, 2003).

따라서 매립 또는 준설 행위 등 각종 개발행위에 따른 잘피 생육지의 피해가 발생하지 않도록 하기 위한 노력이 필요하다. 우리나라에서는 다양한 연안이용 및 개발행위를 시행함에 앞서 해양환경에 미치는 영향을 사전예방하고 효율적으로 관리하기 위해 해양환경관리법에 의거한 해역이용협의제도와 해역이용영향평가제도가 2008년 1월부터 본격 시행되고 있다. 하지만 현재의 해역이용협의 제도에는 보호대상해양생물의 분포현황 및 보전대책을 평가항목에 포함하고는 있으나, 평가항목 및 평가방법에 대해서 구체적으로 규정하고 있지 않아 직접적으로 해역이용협의서 작성에 있어 문제가 있을 수 있다.

본 연구에서는 해역에서 일어나는 개발행위에 대하여 보호대상해양생물인 잘피의 보전을 위한 현황조사 및 실효성 있는 보전을 실시하기 위해 필요한 평가내용을 진단하고 개선사항을 찾고자 하였다. 이를 위해 개발행위에 따른 해역이용협의의 사례를 통해서 잘피 보전을 위한 보전대책 및 모니터링 계획에 대한 실태를 파악하였으며 이를 바탕으로 개선방안을 제안하고자 하였다.

II. 연구 방법

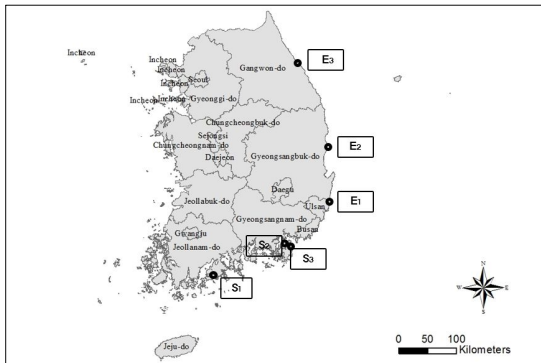
해역이용협의는 해양을 개발 또는 이용하는 행위의 해역이용적정성과 행위로 인해 예상되는 해양환경영향을 사전에 검토·평가하는 제도로, 사업계획의 수립단계에서부터 환경적 측면이 고려될 수 있도록 하는 사전 예방적 환경관리정책수단이

다. 대표적인 해양개발 및 이용행위로는 공유수면매립, 골재채취, 광물채취, 항만건설, 어항건설, 연안 정비 등이 포함되며 이러한 개발행위는 해양환경에 다양한 영향을 미친다. 일반해역이용협의의 평가항목별 작성방법에 따르면 협의서는 현황조사, 사업시행으로 인한 영향예측, 저감방안, 해양환경영향조사계획 등으로 구분된다.

본 연구에서는 우리나라 해역에서 계획되고 있는 개발 사업 중에서 예정사업지 인근에 보호대상해양생물인 잘피가 분포하고 있는 사례를 추출하여 잘피의 현황과악, 영향과악, 저감대책, 모니터링의 계획을 어떻게 수립하고 있는지 파악하고 이를 바탕으로 개선방안을 도출하고자 하였다.

1. 사례지역

사례지역은 사업예정지 인근에서 잘피가 발견된 남해 3곳과 동해 3곳을 대상으로 하였으며 각 사례지역의 위치는 [Fig. 1]과 같다.



[Fig. 1] Map showing location of case studies (S: South Sea Cases, E: East Sea Cases)

대상사례지역의 사업내용을 살펴보면(<Table 1>), S1 사업은 항의 외곽시설을 보강하는 사업으로 파제제 보강, 방파제 신설 등을 포함하고 있으며 물양장을 설치하기 위해서 960m²의 면적을 매립하고 약 17,338m³의 퇴적토를 굴착하는 사업이다. S2 사업은 부지조성을 위해 안벽시설(673m) 및 호안시설(261m)을 설치하고 약

197,500m²에 이르는 면적을 매립하는 사업이다. S3 사업은 해수욕장의 복구 및 쾌적한 연안환경을 조성하기 위한 해수욕장 정비사업으로, 항내 정온도 확보를 위한 이안제(80m), 해수욕장의 연안환경을 개선하기 위한 데크(82.6m) 등이 설치되고 추가적으로 양빈(V=20,027m³) 사업이 포함되어 있다. E1 사업은 어항정비사업으로 물양장 개축(17,552m²), 돌제 신설 및 증설(1,444m²), 호안(2,948m²), 선양장(2,843m²) 등을 포함하여 전체 24,787m²의 공유수면을 매립하고 84,648m³의 퇴적토를 준설하는 사업이다. E2 사업은 항내 정온도 확보를 위한 어항정비사업으로 방파제 연장이 주를 이루고 있으며 준설량은 1,620m³이다. E3 사업은 어항시설 설치사업으로 방파제 신설 및 철거 등이 이루어지며 준설량 39,758m³을 포함하고 있다.

<Table 1> Contents of project by each cases

| Sites | Objective of project | AOUPW (m ²) | Area of reclamation (m ²) | Amount of dredging (m ³) | year |
|-------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------|
| S1 | Fishing port development | 42,363 | 960 | 17,338 | 2015 |
| S2 | Site preparation | 197,500 | 197,500 | - | 2015 |
| S3 | Beach nourishment | 12,083 | - | - | 2015 |
| E1 | Fishing port development | 24,787 | 24,787 | 84,640 | 2014 |
| E2 | Fishing port development | - | - | 1,620 | 2015 |
| E3 | Fishing port development | - | - | 39,758 | 2014 |

AOUPW: Area of occupation and use of public water

2. 평가방법

해역이용협의 상에 잘피와 관련하여 평가현황을 살펴보기 위해서 2014년과 2015년, 2년간의 해역이용협의서를 바탕으로 현황조사, 사업시행으로 인한 영향예측, 저감방안, 해양환경영향조사계획 등으로 구분하여 평가현황을 살펴보았다. 각 사례별로 잘피의 현황과악 및 영향과악을 위

한 항목을 살펴보았으며, 영향과약을 위한 항목으로 주로 이용되고 있는 부유사농도의 경우에는 영향여부 결정을 위한 기준값을 살펴보았다. 또한 저감대책의 경우, 회피(avoidance), 최소화(minimization), 수정(rectifying), 감소·소실(reduction/elimination), 대상 또는 보상(compensation)으로 구분하고 사례별로 접근 방법을 살펴보았다. 다음으로 협의서상에 모니터링을 위한 항목을 살펴보았다. 이를 바탕으로 영향평가에 대한 문제점을 파악하고 이를 해결하기 위한 개선방안을 제시하고자 하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 잘피 현황 파악을 위한 조사항목

사업에 따른 잘피의 영향을 최소화하기 위해서는 우선 잘피의 현황을 파악하는 것이 중요하다. 현재의 해역이용협의 제도 상에서는 보호대상 해양생물의 분포현황 및 보전대책을 평가항목에 포함하고는 있으나, 현황을 파악하기 위한 방법에 대한 구체적인 지침이 제시되어 있지 않은 실정이다. 사례분석을 통해서 해역이용협의시 잘피의 현황과약을 위한 항목을 살펴보았다(<Table 2>).

E1과 E2사업의 경우, 사업에 따른 영향으로 잘피의 이식이 계획되어 있음에도 불구하고 잘피의 현황과약이 제대로 이루어지지 않고 있었다. 잘피 이식의 성공여부를 판단하기 위해서는 훼손되기 이전 잘피의 현황을 정량적으로 파악하는 것이 중요하다. E1의 경우는 현황과약을 위해서 잘피의 분포지역을 지도화하고 있었으나 정량적인 자료는 제시되어 있지 않았다. E2 사업의 경우 정량적인 자료로써 밀도를 통해서 제시하고 있었으나 그 외의 자료에 대한 분석은 이루어지지 않았다. E1과 E2를 제외한 나머지 사업에 대해서는 잘피의 개체수(shoot counts), 밀도(shoot density), 면적(area), 잎장(leaf length), 잎폭(leaf width) 등에 대한 자료분석을 통해서 잘피의 현황

을 파악하고 있는 것으로 나타났다.

<Table 2> Monitoring parameters for identifying status in each case studies

| Parameters | S1 | S2 | S3 | E1 | E2 | E3 |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Shoot counts(ind.) | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| Shoot density(ind./m ²) | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Area(m ²) | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| Leaf length(cm) | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| Leaf width(mm) | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| Rhizome length(mm) | 0 | 0 | - | - | - | - |
| Direct mappaing | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Biomass(g/m ²) | 0 | - | 0 | - | 0 | - |

이와 같이 조사자에 따라서 잘피의 현황과약을 위한 항목에 있어서 서로 차이를 보이고 있고, 추가적으로 E2 사업의 경우 생체량 조사에 있어서 새우말은 습중량으로 조사가 이루어진 반면, 거머리말의 경우는 건중량으로 조사가 이루어져 하나의 조사에서도 서로 다른 방법을 통해서 생체량을 파악하고 있어 자료의 일관성이 부족한 것으로 나타났다. 이는 대상지 내에서 각 생물종에 대한 상대적인 비교는 가능하나 절대적인 비교를 위한 자료 활용 시 문제가 있을 수 있으므로 이에 대한 보완도 필요하다고 판단된다.

보호대상생물종의 보전을 위해서는 장기적인 측면의 일관된 자료확보를 위하여 국가적 차원의 조사항목 및 조사방법에 대한 가이드라인 제시가 필요하리라 판단된다.

2. 사업으로 인한 잘피의 영향과약

사업예정지에서 잘피의 보전을 위해서는 사업에 따른 잘피의 영향예측을 통해서 피해여부의 가능성을 결정하는 것이 중요하다. 이는 사업으로 인한 영향뿐만 아니라 영향을 최소화하기 위한 저감대책의 수립으로 이어지기 때문이다. 사업으로 인한 영향은 생물 서식지 내에서 행해지는 준설과 매립으로 인한 직접적인 영향이 발생할 수 있으며 잘피 생육지 내에서 사업이 이루어지는 것은 아니지만 사업지 인근에 잘피 생육지

가 분포하고 있어 사업에 따른 부유사확산으로 인하여 간접적으로 갈피 생장에 영향을 줄 수 있다.

사례조사에서 나타난 결과에 따르면, 총 6건의 사업 중 갈피 생육지 내의 행위에 따라 직접적인 영향이 발생하는 사업이 2건, 부유사발생에 따라 간접적인 영향이 발생하는 사례가 3건, 직접적인 영향과 간접적인 영향을 모두 포함하고 있는 사례가 1건으로 나타났다(<Table 3>).

<Table 3> Identifying of impact for seagrass by cases

| Sites | Direct impact | Indirect impact | Indirect+ Direct |
|-------|---------------|-----------------|------------------|
| S1 | | O | |
| S2 | | O | |
| S3 | O | | |
| E1 | | | O |
| E2 | O | | |
| E3 | | O | |
| Sum | 2 | 3 | 1 |

S3, E1, E2 사업의 경우, 갈피 생육지 내에서 준설 또는 매립이 이루어지거나 이안제와 같은 시설물이 설치됨에 따라 갈피 생육지에 직접적인 영향이 발생하는 사업으로 나타났다. S1, S2, E1, E3 사업의 경우 사업에 따른 갈피 생육지 내에서 개발행위가 이루어지는 것은 아니지만 준설 또는 매립을 포함하고 있어 이에 따른 부유사의 발생으로 인한 갈피의 영향여부를 파악하고 있었으며 예측된 부유사농도와 적용된 부유사농도 기준은 <Table 4>와 같다.

S1 사업의 경우 외곽시설 보강공사에 따른 부유사확산농도가 갈피 생육지내에서 3-5 mg/L으로 예측되어 해양생물에 피해영향을 미치는 10 mg/L 이상의 고농도 부유사 농도가 아니므로 갈피 생육지에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단하였다. S2 사업의 경우는 부유사에 의한 영향범위를 어업피해 영향농도기준치 0.1-10.0 mg/L 중

에서 가장 최소농도인 0.1 mg/L 이상인 해역으로 범위를 정하였으며 오탁방지막을 설치하지 않은 경우 부유사 농도가 10 mg/L 이상 증가할 것이라 예상되고, 설치한 경우에는 갈피 생육지 내에서 부유사농도가 1 mg/L 증가하는 것으로 예측되어 사업에 따른 갈피 생육지에 영향이 있을 것이라고 판단하였다. E1 사업의 경우, 사업 내용 중 일부는 갈피 생육지 내의 친수호안공사로 인하여 갈피 생육지에 직접적인 영향이 있을 것이라고 예측되었고 부유사확산 농도가 1-3 mg/L로 나타나 갈피 생육지에 미치는 영향이 미미할 것으로 예측하였다. E3 사업의 경우, 어항시설 설치에 따른 직접적인 영향은 없으나 준설에 따른 부유사발생으로 일시적인 영향이 있을 것으로 예상하였다. 오탁방지막 설치 후, 갈피 생육지의 부유사농도가 5 mg/L 로 나타난 것에 따른 것이다. 이와 같이 협의서 상에서는 갈피에 미치는 간접적인 영향을 부유사농도를 통해서 예측하고, 이를 통해서 갈피의 영향여부를 결정하고 있으나 부유사확산모델을 통해서 예측되는 값은 대상지의 부유사농도를 의미하는 것이 아니라 사업에 따라 증가하는 부유사농도를 의미하기 때문에 예측농도를 기준농도와 직접 비교하는 것은 문제가 있을 뿐만 아니라 대상사례에 따라 서로 다른 기준을 적용하여 그 영향여부를 결정하고 있어 동일하게 적용가능한 기준 설정이 필요하리라 판단된다.

<Table 4> Predicted concentration of suspended solid and applied standard level for interpretation of impact in each of cases

| Cases | Predicted concentration of suspended soild | Applied Standard level | Interpretation of impact |
|-------|--|------------------------|--------------------------|
| S1 | 3-5 mg/L | 10 mg/L | Negligible |
| S2 | 1 mg/L | 0.1 mg/L | Able to impact |
| E1 | 1-3 mg/L | - | Negligible |
| E3 | 5 mg/L | - | Temporary |

3. 저감대책

각 사례에 대하여 잘피보전을 위한 저감대책을 살펴보았다. 사업으로 인한 영향을 저감하기 위한 대책의 접근방법으로는 회피(avoidance), 최소화(minimization), 수정(rectifying), 감소·소실(reduction/elimination), 대상 또는 보상(compensation) 등이 있다(Kameyama, 2002). 회피는 사업의 전체 또는 일부를 실행하지 않음으로써 영향을 회피하는 것을 의미하고, 최소화는 사업의 실시정도 또는 규모를 제한하는 것에 의해 영향을 최소화하는 것을 말한다. 수정은 영향을 받는 환경 그 자체를 수복, 재생 또는 회복하는 것에 의해 영향을 수정하는 것을 말하며 저감·소실은 사업기간 중 환경을 보호 및 유지관리 함으로써 시간이 지나서 생기는 영향을 저감 또는 소실시키는 것을 의미한다. 마지막으로 대상(보상)은 대체 자원 또는 환경을 치환 또는 제공하는 것에 의해 영향을 보상하는 것으로 사업으로 인해서 생물종의 이동통로가 절단되는 경우 이를 보상할 수 있는 생태통로를 설치하거나 생태계를 절취하여 가까운 장소에 복원하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 회피, 최소화, 감소, 보상으로 구분하고 각 사례를 적용하여 나타내었다(<Table 5>).

<Table 5> Mitigation for seagrass in each case studies

| Cases | S1 | S2 | S3 | E1 | E2 | E3 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|
| Avoidance | | | O | | | |
| Minimization | | | | O | | |
| Reduction | O | O | | | | O |
| Compensation | | O | | O | O | |

사례조사 결과, 사업 예정 구역에서 잘피 생육지가 발견되었을 경우와 같이 사업에 의한 직접적인 영향이 발생하는 사업에 대한 저감대책으로는 이안제 설치 위치의 변경(S3)과 같이 회피 형태로 접근하거나 매립 규모 축소(E1)를 통해서 잘피의 영향을 최소화하는 방법을 선택한 것으로 나타났다. 부유사확산과 같이 간접적인 영향이

발생하는 사례의 경우에는 육안 점검 및 공사강도를 줄이거나(E3), 오탁방지막 설치를 통한 부유사확산을 저감하는(S1, S2) 방안을 선정하고 있었다. 나머지 세 가지 사례(S2, E1, E2)는 잘피의 이식과 같은 대상 개념으로 접근하는 것으로 나타났다. 잘피의 이식에 있어서 중요한 결정사항으로는 적지선정, 이식방법의 선정, 이식시기 선정 등이 있다. S2, E1, E2 사업은 적지선정을 인근에 잘피가 서식하고 있는 지역을 대상으로 하였으며 그 외의 이식방법 및 이식시기 등에 대해서 검토는 이루어졌으나 구체적으로 선정된 방법은 제시하지 않았다.

4. 모니터링 계획

모니터링은 시스템 내에서 변화를 관측하기 위해 자료를 반복적으로 수집하는 것으로 「해양환경관리법」에는 사업으로 인해 발생할 수 있는 해양환경에 대한 영향의 조사를 의미한다고 정의되어 있다. 사업으로 인한 영향을 실측을 통해서 점검하고 보완한다는 의미에서 중요하다고 볼 수 있다.

사업에 따른 모니터링 계획 중 잘피와 관련된 내용을 살펴보았다. 6개의 사례 중 1개의 사례를 제외한 5개의 사례는 사업예정지 인근에 서식하고 있는 잘피에 대한 지속적인 모니터링 계획을 수립하고 있었다. S2 사례의 경우, 태화강 하구의 잘피 서식지 조성을 위한 시험이식(MOF, 2009)이라는 보고서를 참조하여 잘피의 생육밀도, 생산성, 광합성특성을 모니터링 항목으로 선정하고 있었다. E2 사례의 경우, 이식종의 개체수 및 현존량을 모니터링 항목으로 선정하였다. 나머지 사례에서는 모니터링 계획은 수립되어 있지만 구체적인 항목에 대해서는 제시되어 있지 않아 모니터링의 내용을 파악하는데 한계가 있었다.

이와 같이 사업으로 인하여 잘피의 서식에 미치는 영향을 파악하기 위한 방법에 대한 구체적인 지침은 현재 제시되어 있지 않기 때문에 각

사업자마다 관련 보고서를 참조하여 조사가 이루어지고 있는 실정이고 이는 변화를 파악하는 수준과 정확도에 있어서 차이를 가져올 수 있다. 따라서 보호대상해양생물종에 대한 지속적인 관리차원에서, 국가적인 차원의 일관된 방법이 제시된 가이드라인이 필요하다고 판단된다.

IV. 토 의

1. 잘피의 현황조사

사업에 따른 영향으로부터 해양보호대상생물인 잘피의 보전을 위해서는 우선적으로 잘피 생육지에 대한 철저한 현황파악이 요구된다. 앞선 사례 조사의 결과에서 나타났듯이 현재 해역이용협의 시에는 잘피의 현황파악을 위한 조사항목 및 조사방법에 대한 구체적인 정보를 제시하지 않고 있어 조사자에 따라 조사항목 및 방법에 있어서 차이를 보였다.

국가적인 차원에서 적용가능한 기준을 살펴보면, 우리나라에는 『해양환경관리법』 제 10조의 규정에 의거 해양생물에 관련된 오염물질을 측정함에 있어서 측정결과의 정확도 및 정밀도 그리고 분석방법의 일관성을 유지하기 위해서 해양생물공정시험기준이 고시되어 있으나(MOF, 2013b), 그 내용을 살펴보면, 동·식물 플랑크톤에 대한 조사방법 및 생물체내 중금속 오염농도 파악을 위한 분석방법을 포함하고 있으나 잘피와 같은 해초류 평가를 위한 시험기준은 포함되어 있지 않다.

환경부에서는 사업자, 환경영향평가대행자 또는 환경영향평가 협의·사후관리기관이 대체서식지 조성 및 유지관리와 관련한 환경영향평가서 작성 및 검토, 협의내용 관리 등에 필요한 가이드라인을 제공하기 위하여 대체서식지 조성·관리 환경영향평가 지침을 제시한 바 있다(ME, 2011). 이에 따르면 현황조사 단계에 있어서 개발사업 전·후의 서식지 총량변화를 파악하도록 제시하고 있다.

해양수산부에서는 국가해양생태계 종합조사를 수행하는데 있어 조사자료의 일관성을 유지하고 신뢰성을 확보하는데 필요한 사항을 규정하기 위해 국가해양생태계 종합조사 조사지침서를 제시한 바 있다(MOF, 2014). 이에 따르면, 잘피현황을 조사하기 위한 항목으로 크게 군락특성, 형태적 특성, 생태특성으로 구분되며, 군락특성은 잘피군락의 특성, 면적, 밀도 등이 포함된다. 형태적 특성으로는 잎의 수, 길이 및 너비, 엽초의 길이 및 너비, 지하경 두께가 포함되며 생태 특성으로는 밀도자료에서 영양주와 생식주를 계수하여 단위면적당 각 개체수와 비율을 기록하도록 하고 있다. 또한 피도 및 생물량을 측정하고 생물량의 경우에는 건중량으로 제시하도록 하고 있다.

환경부의 대체서식지 조성·관리 환경영향평가 지침과 해양수산부의 국가해양생태계 종합조사 조사지침서를 종합적으로 고려해 볼 때, 잘피 생육지의 전체적인 보전 및 관리를 위해서는 총량 변화 관점에서 접근할 필요가 있으며 이를 위해서는 총개체수의 파악이 필수적으로 판단된다. 총개체수는 밀도와 면적을 통해서 산출 가능하다.

이와 같이 잘피의 현황파악을 위해서는 하나의 지침서에 따라 일관된 자료를 구축할 필요가 있으며 이를 통해서 확보된 자료는 향후 해양보호대상 생물종의 보전을 위한 자료로도 활용 가능하리라 판단된다.

2. 사업에 따른 잘피의 영향범위 기준

해양에서 매립 또는 구조물의 설치에 따른 조류 흐름의 변화, 퇴적물 조성의 변화, 퇴적물의 이동 등에 의해서 잘피 생육에 영향을 줄 수 있다. 하지만 이러한 변화에 따른 잘피의 영향여부를 판단하기 위한 기준설정과 연결시키는 것은 쉽지 않다. 본 연구에서는 현재 해역이용협의 시에 사업에 따른 잘피의 영향여부를 판단하기 위해 주로 이용되고 있는 항목인 부유사확산농도 기준에 대해서 논의하고자 한다. 부유토사는 해

양에서 사업을 시행할 경우 공사과정에서 해양에 영향을 미치는 주요 요인으로 알려져 있으며, 부유사가 증가하면 수중으로 투과되는 빛의 양이 감소하여 해조류 및 해초류는 일시적으로 성장과 대사활동에 영향을 받게 된다(Tamaki et al., 2002). 부유사 농도가 증가하는 환경에서 해조류의 경우 일정수준 이상의 오염에 도달하지 않을 경우 즉각적인 피해가 드러나지 않아 어린 어류나 패류만큼의 치명적인 영향을 받지 않는 것처럼 보이지만, 궁극적으로 서식지의 파괴와 같은 피해를 입게 된다.

실제 김과 미역 같은 경우에는 전복, 미역, 다시마 등과 함께 개발행위에 따른 어업피해조사를 통해 부유사 농도 증가에 따른 피해 영향이 조사되고 있다(KAERI, 2002). 이러한 어업피해조사는 보상액 산출을 위한 근거산정 관련 조사가 수행되며, 이는 공유수면 매립과 같은 공사가 시행되는 경우 부유토사 발생량이 기존 어업에 미치는 영향을 평가한다(MOF, 2002; KEI, 2005). 해조류 생육에 영향을 미치는 부유물의 농도는 김(*Porphyra yezoensis*)은 10 mg/L 이상에서 광합성에 있어 영향을 받는다고 알려져 있으며, 미역(*Undaria pinnatifida*)은 유주자 착생 시기에는 3~4 mg/L 증가에도 부유토사 흡착으로 인한 유영저해, 착저밀도 저해와 같은 영향을 받게 되며, 광합성 작용의 경우에는 50 mg/L에서 악영향을 받는 것으로 알려져 있다. 부유사에 민감한 생물의 경우 2~5 mg/L 정도의 매우 낮은 농도에서도 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(<Table 6>).

<Table 6> Case study result of seaweed impacts by suspended solids (KEI, 2005).

| Index | Threshold | Life stage | Responses |
|----------------------------|-----------|------------|-----------------------|
| <i>Porphyra yezoensis</i> | 10 mg/L | adult | Photosynthesis |
| <i>Undaria pinnatifida</i> | 3-4 mg/L | zoospore | Adhesion, germination |
| | 50 mg/L | adult | Photosynthesis |

그러나 이와 달리 잘피 생육지의 경우 생태학적, 수산경제학적 기능의 중요성은 인식되고 있으나, 군락이 어느 정도의 부유사 농도 증가로 인해 밀도감소와 현존량 감소의 피해를 입는지, 어느 정도의 기간이 지나면 군락지가 사멸하게 되는지의 연구가 이루어지지 않아 사업으로 인한 잘피 영향여부를 결정하기 위한 기준 설정은 쉽지 않다. 다만, 외국사례에 따르면, 잘피에 있어 영향을 받는 한계 광도값으로 25% 를 설정하고, 광도값과 총부유물질의 관계식에 의해서 총부유물질의 한계값으로 10mg/L 을 제시하고 있어(ERM and Impacto, 2014), 이를 참조할 수는 있으나 우리나라 실정에 맞는 기준값 제시를 위한 추가적인 연구가 필요하리라 판단된다.

3. 저감대책

사업에 따른 잘피의 피해를 저감하기 위한 방법으로는 크게 회피(avoidance), 최소화(minimization), 감소·소실(reduction/elimination), 대상 또는 보상(compensation)으로 나눌 수 있으며 사례조사에서 나타난 저감대책으로는 회피 1건, 최소화 1건, 감소·소실 2건, 대상 또는 보상 3건으로 나타났다. 저감대책의 검토에서는 회피, 최소화, 감소, 대상의 우선순위를 명확하게 할 필요가 있다. 처음에 회피 및 최소화를 검토하고, 다음으로 감소를 검토한다. 대상은 이러한 검토에 의하여 아직도 영향이 남아 있을 경우에 실시한다. 저감대책을 이러한 순위로 검토하는 이유는 생물종은 일단 절멸하여 한번 사라지면 재생되는 일이 거의 없기 때문이다(Kameyama, 2002). 잘피보전을 위한 저감대책을 수립시에는 이러한 우선순위를 가지고 접근하는 것이 중요하다.

본 장에서는 회피 및 최소화, 감소 등의 저감대책 검토 이후에도 영향이 남아있을 경우 실시하는 대상 또는 보상이라는 저감대책 중 세부적인 사항이 요구되는 이식에 대해서 추가적으로 논의하고자 한다.

성공적인 갈피의 이식을 위해서는 적지선정, 이식방법, 이식시기 등에 대한 검토가 필요하다. 갈피의 이식을 위한 적지선정과 관련하여 해양수산부는 우리나라 연안에 분포하는 갈피 생육지를 효과적으로 관리·보존하며, 인위적 교란에 의해 훼손된 갈피 생육지를 복원하기 위해 「갈피 생육지의 효과적인 복원 및 관리지침」을 마련한 바 있다(MOF, 2007). 이에 따르면, 적합한 이식 장소를 선정하기 위해서 과거에 그 지역에 갈피 생육지가 존재했는지, 현재 인근에 갈피 생육지가 분포하고 있는지, 이식하려는 지역의 퇴적물 환경과 충분한 양의 빛이 공급되는지, 수심이 적당한지, 조류의 흐름이 너무 빠르지 않은지, 수질은 양호한지 등의 기본적인 조건이 충족되는지를 확인하여 대상지역이 복원에 적합한 장소로 판단되면, 여러 환경요인을 수치화하여 적정이식 장소를 선정하게 된다. 과거 그 지역의 갈피 생육지의 존재 유무, 광소멸계수, 부유물질의 양, 수층 및 퇴적물 공극수의 영양염 농도, 수층 클로로필의 양, 퇴적물 종류, 생물교란 등의 환경요인 등급을 곱하여 그 지수값이 16 보다 높은 값을 가지는 장소를 이식에 적합한 후보 이식장소로 판단하게 되며 점수화를 위한 기준은 다음과 같다(<Table 7>).

갈피의 이식방법과 관련하여 1997년 이후, 갈피복원을 위한 노력으로 미국(Davis and Short, 1997; Orth et al., 1999; Short et al., 2002), 유럽(Bos and van Katwijk, 2007; van Katwijk et al., 1998; van Karwijk and Hermus; 2000), 일본(Tamaki et al., 2002), 한국(Park and Lee, 2007) 등지에서 거머리말의 이식에 관한 연구가 진행되어 왔으며 이식을 위한 새로운 방법들이 개발되었다. 대표적인 거머리말 이식방법으로는 staple method, TERFS method, Shell method, Unanchored method 등이 있다(<Table 8>). 각각의 이식방법별 생존율을 살펴보면, staple method을 이용하여 이식한 경우 1년 후 생존율이 각각 75-95 %, 98-99 %로 나타났으며(Davis and Short, 1997), 고정장치

<Table 7> Preliminary Transplant Suitability Index (PTSI) for identification of potential eelgrass habitat(MOF, 2007)

| Parameter | PTSI rating | Reference |
|-----------|---|----------------------|
| HED | 1 for previously unvegetated 2 for previously vegetated | Fonseca et al.(1998) |
| LAC | 1 > 0.5 Kd 2 < 0.5 Kd | |
| TSS | 1 > 50(mg/L) 2 < 50(mg/L) | Batiuk et al.(1992) |
| WC | 1 > 10 (µg Chl/L) 2 < 10 (µg Chl/L) | Batiuk et al.(1992) |
| WN | 0 for hypernutrition or poor site 1 for good | |
| SN | 0 for hypernutrition or poor site 1 for good | |
| ST | 0 for rock or cobble 1 for > 70% silt/clay 2 for cobble free with < 70% silt/clay | Short(1987, 1993) |
| BT | 1 for present 2 for not present | |

PTSI: Preliminary Transplant Suitability Index
HED: Historical Eelgrass Distribution, LAC: Light Attenuation Coefficient
TSS: Total Suspended Solid, WC: Water Chlorophyll
WN: Water Nutrition, SN: Sediment Nutrition
ST: Sediment Type, BT: Bioturbation

없이 근경을 그대로 심었을 경우에도 높은 생존율을 보였다(Orth et al., 1999). 또한 굴괘각을 이용하여 거머리말을 이식했을 경우, 니질(muddy)과 미사질(silty)에서는 76.5-81.3 %의 생존율을 보인 반면, 사질에서는 낮은 생존율을 보였다고 보고한 바 있다(Park and Lee, 2007). TERFS (Transplanting Eelgrass Remotely with a Frame System) 방법을 이용해서 이식했을 경우, Short et al(2002)에 따르면 1개월 후의 생존율은 47-86 %로 나타났고 Park and Lee(2007)에 따르면 14개월 후의 생존율이 58.7-69.0%로 나타났다고 보고하였다. Staple method는 높은 생존율을 나타냄으로써 갈피 이식에 효과적인 방법으로 판단되지만 스쿠버와 같은 전문적인 작업이 필요로 하고 TERFS 방법의 경우 사용된 이식망을 제거하는 추가적인 작업과 함께 이러한 과정 중에서 약 60%의 갈피가 훼손되었다고 보고한 바 있다(Kidder and Disney, 2013). Park et al.(2005)은 현

재 개발된 잘피 이식방법을 적용할 경우, 잘피의 생존율은 대부분 높게 나타났지만 추가적인 작업 및 스쿠버의 필요여부를 고려하여 shell method 가 우리 연안의 잘피 생육지 복원사업에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이라고 제안하였다. 하지만, Park and Lee(2007)의 연구에서도 나타났듯이, shell method 은 적용되는 저질의 특성에 따라 생존율에 있어서 큰 차이를 보이므로, 적용에 있어 저질특성을 우선적으로 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한, 잘피의 성공적인 이식을 위해서는 소규모 형태의 예비실험을 우선적으로 실시하는 것이 효과적으로 판단된다.

<Table 8> Characteristics of method of transplanting *Z. marina*(Ganassin and Gibbs, 2008; MOF, 2007)

| Method | Staple method | TERFS method | Shell method | Unanchored shoot method |
|------------------|---|---|--------------------|-------------------------|
| Fixed substrate | Staple | Transplanting net | Shell | None |
| Applied sediment | Silt Sand Clay | Silt Sand Clay | Silt Clay | Silt Clay |
| Survival rate | Very High | High | High | High |
| Additional work | Unnecessary | Necessary | Unnecessary | Unnecessary |
| Scuba | Necessary | Unnecessary | Unnecessary | Necessary |
| References | Davis and Short, 1997 Park and Lee, 2007 | Leschen et al., 2010 Short et al., 2002a | Park and Lee, 2007 | Orth et al., 1999 |

잘피의 최적이식시기의 경우 일반적으로 계절적으로 심한 스트레스가 발생한 후, 생리적으로 서서히 회복단계에 접어드는 시기가 최적이라고 알려져 있다(Calumpong and Fonseca, 2001). Chesapeake Bay와 North Carolina에서 수행된 잘피 이식실험에서 최적의 이식 시기는 가을이라고 보고된 바 있으며(Calumpong and Fonseca, 2001; Orth and Moore, 1982), Mondego estuary에서 수행된 실험에서는 가을과 겨울을 최적 이식 시기라고 보고하였다(Martin et al., 2005). 우리나라의

경우, Park et al.(2005)에 따르면, TERFS, Shell method, staple method의 세 가지 방법을 이용하여 잘피를 이식한 결과에서 최적 이식 시기를 가을과 겨울이라고 보고 하였다. 지역적으로 다양한 환경요인과 잘피 종간의 다양한 생리적 특성으로 최적 이식 시기는 달라질 수 있으나, 앞선 연구를 종합해 볼 때, 가을 및 겨울이 잘피의 이식을 위한 최적시기로 판단되며, 겨울에는 작업과정에서의 어려움이 있을 수 있으므로 가을이 적절할 것으로 판단된다.

4. 모니터링 계획

사업예정지 인근에 잘피 생육지가 분포하는 경우에는 사업에 따른 영향이 미미할 것으로 예측될지라도 사업이 진행되는 동안 모니터링은 지속적으로 포함될 필요가 있다. 잘피 보전을 위한 저감대책이 마련되었다 하더라도 예측하지 못한 결과로 인하여 잘피 성장에 부정적인 영향이 발생할 수 있기 때문이다. 모니터링의 경우, 사업에 따른 영향 여부를 판단하는 관점에서 사업 전·후 잘피의 정량적인 변화여부를 판단하기 위한 모니터링과 이식과 같은 사업에 따른 성공여부를 판단하는 모니터링으로 구분될 수 있으며, 이는 서로 다른 항목을 바탕으로 모니터링이 이루어질 필요가 있다. 전자의 경우에는 사업에 따른 잘피의 정량적인 변화 여부를 판단하기 위해서 잘피의 전체적인 양을 파악할 수 있는 항목, 즉 잘피의 총개체수에 대한 항목의 선정이 중요하다고 판단된다. 사업 전후 잘피의 총개체수 변화 파악을 통해서 이에 적절한 추가적인 저감대책 수립이 요구된다. 후자의 경우에는 이식 이후 잘피의 정착에 있어 성공여부를 판단하기 위한 항목이 반드시 포함되어야 하며 가장 널리 사용되는 항목은 생존율이다(Davis and Short, 1997; Paling et al., 2001; Park and Lee, 2007). Fonseca et al.(1998)은 138건의 문헌연구를 통해 잘피이식과 관련하여 이루어진 모니터링 조사 항목을 분석한

결과, 상시모니터링(74%), 생존율(65%), 줄기수(55%), 밀도(53%), 피도(45%) 등의 순서로 나타났다고 보고한 바 있다(<Table 9>).

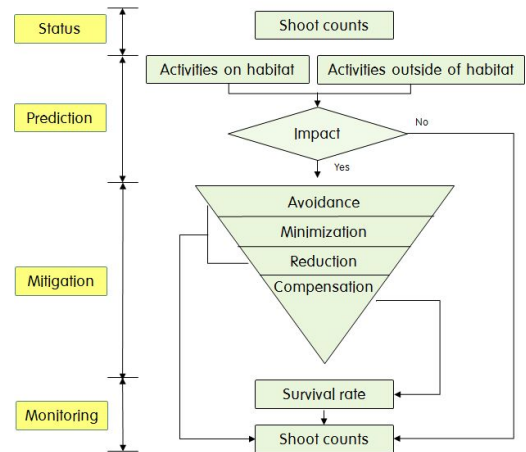
모니터링 조사기간의 경우, 사업의 규모 및 영향을 고려하여 일반해역이용협의 대상사업은 사업시작부터 사업완료까지 사업시행 중 반기별 1회로 명시되어 있다(MOF, 2013a). 하지만 사업대상지에 갈피와 같이 보호대상생물종이 서식하는 경우, 이식된 보호생물이 새로운 지역에 정착하기까지는 일반적으로 3년 이상의 오랜 기간이 필요하다고 알려져 있으며, 해외사례의 연구결과에 따르면 최소한 5년 동안의 모니터링이 필요하다고 제시한 바 있어(Campbell, 2002; den Hartog, 2000; Thom, 2000), 모니터링 할 수 있는 기간의 연장이 필요하다고 판단된다.

<Table 9> List of most common parameters recorded in monitoring of transplant studies(Fonseca et al., 1998)

| Monitoring Parameter | Percent of studies with this parameter |
|--------------------------------|--|
| Irregular frequency monitoring | 74 |
| Percent survival | 65 |
| Shoot counts | 55 |
| Shoot density | 53 |
| Percent cover | 47 |
| Leaf length | 29 |
| Leaf width | 12 |
| Rhizome length | 6 |
| Direct mapping | 3 |
| Biomass | 3 |

5. 영향평가지 전과정 고려사항

본 연구에서는 사례조사를 통해서 갈피보전을 위한 해양환경 조사의 현황을 진단하고 이를 보완하여 환경영향평가과정에서 반드시 포함되어야 할 내용을 제시하고자 하였으며 내용은 다음과 같다([Fig. 2]).



[Fig. 2] Flowchart of Environmental impact assessment for conservation of seagrass

환경영향평가는 현황파악, 영향예측, 저감대책, 모니터링 단계를 통해서 이루어진다. 현황파악 단계에서 이용될 수 있는 조사항목은 다양하게 나타나지만 갈피의 총개체수 파악은 반드시 이루어져야 한다. 이는 향후 사업에 따른 영향여부를 평가하기 위해서 사후 모니터링 자료와 비교하는 자료로 활용 가능하다. 영향예측 단계에서는 본 사업으로 인해서 갈피에 영향을 파악하는 단계로 갈피 생육지 내에서 매립 및 준설, 시설물 설치 등의 행위가 이루어지는 경우에는 직접적인 영향이 명백하므로 이에 맞는 저감방안이 반드시 수립되어야 하며, 갈피 생육지 내에서 행위가 이루어지는 것은 아니지만 사업에 포함된 행위로 인하여 인근에 서식하고 있는 갈피 생육지에 영향을 줄 수 있으므로 이에 따른 영향여부를 판단하여야 한다. 현행상에는 부유사확산농도 파악을 통해서 영향여부를 판단하고 있으나 영향여부를 판단할 수 있는 기준이 없기 때문에 이를 위한 기준설정이 요구된다. 영향이 있을 것이라고 예측되는 경우 적절한 저감대책이 수립되어야 하며 저감대책의 검토에서는 회피, 최소화, 감소, 대상의 우선순위에 따라 처음에 회피 및 최소화를 검토하고, 다음으로 감소를 검토한다. 대상은 이러

한 검토에 의하여 아직도 영향이 남아 있을 경우에 실시한다. 영향이 없을 것이라고 예측되는 경우에는 저감대책은 미수립할 수 있으나 예측하지 못한 영향이 발생할 수 있으므로 모니터링은 반드시 수행될 필요가 있다. 모니터링 단계에서는 회피 및 최소화, 감소와 같은 저감대책을 수립했을 경우에는 잘피의 총개체수에 대한 모니터링을 통해 사업 전의 개체수와 비교를 통해서 그 영향 여부를 파악하게 되고 잘피의 이식을 통한 저감대책 수립 시에는 생존율에 대한 모니터링을 반드시 수행하여야 한다.

References

- Bos, A. R. & Van Katwijk, M. M.(2007). Planting density, hydrodynamic exposure and mussel beds affect survival of transplanted intertidal eelgrass, *Marine Ecology Progress Series*, 336, 121~129.
- Calumpong, H. P. & Fonseca, M. S.(2001). Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods. In: Short F.T., Coles R.G. and Short C.A. (eds), *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier, Amsterdam. 424~443.
- Campbell, M. L.(2002). Getting the foundation right: A scientifically based management framework to aid in the planning and implementation of seagrass transplant efforts. *Bulletin of Marine Science*, 71(3), 1405 - 1414.
- Cullen-Unsworth, L. C. & Unsworth, R.(2013). Seagrass meadows, ecosystem services, and sustainability, *Environment: Science and Policy Sustainable Development*, 55, 14~28.
- ERM & Impacto(2014). Environmental impact assessment(EIA) report for the liquefied natural gas project in Cabo Delgado.
- Davis R. C. & Short, F. T.(1997)Restoring eelgrass, *Zostera marina L.*, habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method. *Aquatic Botany*, 5(9), 1~15.
- den Hartog, C.(2000). Procedures for the restoration of lost seagrass beds, *Biologia Marina Mediterranea*, 7(2), 353~356.
- Fonseca, M. S. & Fisher, J. S.(1986). A Comparison of canopy Friction and sediment movement between four species of seagrass with reference to their ecology and restoration. *Marine Ecology Progress Series*, 29(1), 5~22.
- Fonseca, M. S. · Kenworthy, W. & Thayer, G. W.(1998). Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA's Coastal Ocean Program. 1~151.
- Ganassin, C. & Gibbs, P. J.(2008). A Review of seagrass planting as a means of habitat compensation following loss of seagrass meadow, 1~43.
- Ji, H. S. · Seo, H. J. · Kim, M. W. · Lee, M. O. & Kim, J. K.(2014). Marine environmental characteristics of seagrass habitat in Seomjin river estuary, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 28(3), 236~244.
- KAERI(Korea Atomic Energy Research Institute)(2002). A State of the art on coastal environmental protection using radioisotope tracer technology, 1~37.
- Kameyama, A.(2002). *Ecological Engineering*, Asakura Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan.
- KEI(Korea Environment Institute)(2005). A Study on effective mitigation measures for environmental impacts of oceanic reclamation projects. 1~272.
- Kidder, G. & Disney, J.(2013). A comparison of transplant methods for eelgrass(*Zostera marina L.*) restoration in frenchman bay, *The Bulletin, MDI Biological Laboratory*, 52, 37~39.
- Kim, J. S. & Hwang, S. D.(2003). Biomass of shellfish in the Saemangeum tidal flat on the west coast of Korea, *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(6), 757~761.
- Kim, J. B. · Park, J. I. · Jung, C. S. · Lee, P. Y. & Lee, K. S.(2009). Distributional range extension of the seagrass *Halophila nipponica* into coastal waters off the Korean peninsula. *Aquatic Botany*, 90(3), 269~272.
- Larkum A.W.D. & West, R. J.(1983). Stability, depletion and reservation of seagrass beds, *Proc. Linn. Soc. NSW*, 106, 201~212.
- Lee, D. I. · Kim, G. Y. · Jeon, K. A. · Eom, K. H. · Yu, J. · Kim, Y. T. & Kam, M. J.(2011). An application status and consideration of system

- improvement on the sea area utilization conference and impact assessment, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, 14(4), 239~248.
- Lee, K. S. & Lee, S. Y.(2003). The seagrasses of the Republic of Korea. In: World Atlas of seagrasses: Present status and future conservation, edited by Green E.P., Short F.T. and Spalding M.D., University of California Press, Berkeley, USA., 193~198.
- Martins, I. · Neto, J. M. · Fontes, M. G. · Marques, J. C. & Pardal, M. A.(2005). Seasonal variation in short-term survival of *Zostera noltii* transplants in a declining meadow in Portugal, Aquatic Botany, 82(2), 132~142.
- ME(Ministry of Environment)(2011). Guideline for environment impact assessment of creation and management of alternative habitat.
- MOF(Ministry of Ocean and Fisheries)(2002). Studies on the estimation of turbidity generated by dredging and performance of silt screens(III).
- MOF(Ministry of Ocean and Fisheries)(2007). Seagrass habitat restoration for improvements of coastal ecosystem and production. 1~112.
- MOF(Ministry of Ocean & Fisheries)(2009). Experimental seagrass transplatation in the Taehwa river estuary. 1~47.
- MOF(Ministry of Ocean & Fisheries)(2013a). Marine Environment Act Enforcement Decree. Table 17.
- MOF(Ministry of Ocean & Fisheries)(2013b). Notification No. 2 of the Ministry of Ocean and Fisheries, Table 3.
- MOF(Ministry of Ocean & Fisheries)(2014). National investigation of marine ecosystem protocol.
- McRoy, C. P. & McMillan, C.(1977). Production ecology and physiology of seagrasses, In: McRoy C. P. and Helfferich, P.(eds). Seagrass ecosystem: A Scientific perspective. Dekker, New York. 53~88.
- Orth, R. J. · Carruthers, T. J. B. · Dennison, W. C. · Duarte, C. M. · Fourqurean, J. W. · Heck, K. L. · Hughes, A. R. · Kendrick, G. A. · Kenworthy, W. J. · Olyarnik, S. · Short, F. T. · Waycott, M. · Williams, S. L.(2006). A Global crisis for seagrass ecosystems, Bioscience, 56, 987~996.
- Orth, R. J. · Matthew, C. · Harwell, C. & Fishman, J. R.(1999). A rapid and simple method for transplanting eelgrass using single, inanchored shoots, Aquatic Botany, 64(1), 77~85.
- Orth R. J. & Moore, K. A.(1982). The biology and propagation of *Zostera marina*, eelgrass, in the Chesapeake Bay, Virginia. Final report to the U.S.E.P.A. Chesapeake Bay Program. Annapolis, Maryland.
- Paling E. I. · van Keulen, M. · Wheeler, K. D. · Phillips, J. · Dyhrberg, R.(2001). Mechanical seagrass transplantation in western Australia. Ecological Engineering, 16, 331~339.
- Park, J. I. · Kim, Y. K. · Park, S. R. · Kim, J. H. · Kim, Y. S. · Kim, J. B. · Lee, P. Y. · Kang, C. K. · Lee, K. S.(2005). Selection of the Optimal Transplanting Method and Time for Restoration of *Zostera marina* Habitats. Algae, 20(4), 379~388.
- Park, J. I. & Lee, K. S.(2007). Site-specific success of three transplanting methods and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* Transplants. Marine Pollutant Bulletin, 54, 1238~1248.
- Park, J. I. · Lee, K. S. & Son, M. H.(2011). Growth dynamics of *Zostera Marina* transplants in the Nakdong Estuary related to environmental changes, Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 44(5), 533~542.
- Shin, B. S. & Kim, K. H.(2010). Prediction of environmental change and mitigation plan for large scale reclamation, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 22(2), 95~100.
- Short F. T. & McRoy, C. P.(1984). Nitrogen uptake by leaves and roots of the seagrass *Zostera marina* L., Botanica Marina, 27, 547~555.
- Short, F. T. · Polidoro, B. · Livingstone, S. R. · Carpenter, K. E. · Bandeira, S. · Bujang, J. S. · Calumpong, H. P. · Carruthers, T. J. · Coles, R. G. · Dennison, W. C. & Erftemeijer, P. L.(2011). Extinction risk assessment of the world's seagrass species, Biological Conservation, 144(7), 1961~1971.
- Short, F. T. · Short, C. A. & Burdick-Whitney, C. L.(2002). A manual for community-based eelgrass restoration. report of the NOAA restoration center, Jackson Estuarine Laboratory, University of New Hampshire, Durham, NH.

- Short, F. T. & Wyllie-Echeverria, S.(1996). Natural and human-induced disturbance of seagrasses, *Environmental Conservation*, 23(1), 17~27.
- Suzuki, Y. · Maruyama, T. · Takami, T. & Miura, A.(1998). Inhibition effects of suspended and accumulated particles on adhesion and development of *Undaria Pinnatifida* Zoospores, *Journal of Japan Society on Water Environment*, 21, 670~675.
- Tamaki H. · Tokuoka, M. · Nishijima, W. · Terawaki, T. & Okada, M.(2002). Deterioration of eelgrass, *Zostera Marina L.*, meadows by water pollution in Seto Inland Sea, Japan, *Marine Pollution Bulletin*, 44(11), 1253~1258.
- Thom, R. M.(2000). Adaptive management of coastal ecosystem restoration projects, *Ecological Engineering*, 15, 365~372.
- van Katwijk, M. M. & Hermus, D. C. R.(2000). Effects of water dynamics on *Zostera marina*: transplantation experiments in the Intertidal Dutch Wadden Sea, *Marine Ecology Progress Series*, 208, 107~118.
- van Katwijk, M. M. · Schmitz, G. H. W. · Hanssen, L. S. A. M. & den Hartog, C.(1998). Suitability of *Zostera marina* populations for transplantation to the Wadden Sea as determined by a mesocosm shading experiment, *Aquatic Botany*, 60(4), 283~305.
- Ward L. G. · Kemp, W. M. & Boynton, W. R.(1984). The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment, *Marine Geology*, 59, 85~103.
- Waycott, M. · Duarte, C. M. · Carruthers, T. J. · Orth, R. J. · Dennison, W. C. · Olyarnik, S. · Calladine, A. · Fourqurean, J. W. · Heck, K. L. · Hughes, A. R. & Kendrick, G. A. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377~12381.
-
- Received : 25 April, 2016
 - Revised : 13 May, 2016
 - Accepted : 26 May, 2016