

20230917

# 최 종 보 고 서

최    종  
연구보고서

연안생태계 정화 및 수산생산성 향상을 위한  
인공 잘피서식지 조성

Seagrass habitat restoration for improvements of  
coastal ecosystem and production

부 산 대 학 교

해 양 수 산 부

# 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “연안생태계 정화 및 수산생산성 향상을 위한 인공 잘피서식지 조성” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 년 09 월 20 일

주관연구기관명 : 부산대학교  
주관연구책임자 : 이 근 섭  
세부연구책임자 : 강 창 근  
연 구 원 : 김 종 빈  
연 구 원 : 박 정 임  
연 구 원 : 김 영 균  
연 구 원 : 윤 병 선  
연 구 원 : 김 종 협  
연 구 원 : 박 미 정  
연 구 원 : 장 은 정  
연 구 원 :곽 정 현  
연 구 원 : 박 미 란

# 요 약 문

## 과제명 : 연안생태계 정화 및 수산생산성 향상을 위한 인공 잘피서식지 조성

본 보고서는 연안생태계 정화 및 수산생산성 향상을 위한 인공 잘피서식지 조성을 최종목표로 수행한 연구결과이다. 연안의 잘피서식지는 일차생산자로서 연안생물의 서식지를 제공하고 먹이원의 역할을 하며, 생태계 정화능력을 가지고 있어 연안생태계를 유지하는데 중요한 역할을 한다. 하지만 현재 우리나라의 잘피서식지는 과거에 비해 크게 감소하였고 이와 더불어 수산생산성이 현저하게 감소하였다. 따라서 본 연구를 통하여 인공 잘피서식지를 조성하여 연안생태계를 환경친화적으로 복원하고 수산생산성을 향상효과를 알아보기로 한다.

본 연구에서는 잘피서식지 조성의 성공률을 높이기 위하여 이식 장소 선정 기법을 개발하였고, 이러한 결과를 통하여 실제적인 규모의 잘피서식지를 조성하였다. 또한 잘피서식지를 조성하는 방법에 있어 저질의 조성 차이에 따라 시간과 비용을 줄일 수 있는 효과적인 이식 방법을 개발하고자 하였다. 이러한 연구 결과를 통하여 인공 잘피서식지를 조성하고 이식 성공률을 평가하기 위하여 각 서식지 잘피의 생리생태학적 특성을 조사하였다. 자연 잘피서식지와 비교를 통한 이식된 잘피서식지 잘피의 생리생태학적 특성은 이식 후 약 8개월이 지나면 대체로 안정화되는 결과를 보였다. 또한 이식된 잘피서식지에 비료를 투입함으로써 서식지 안정화에 기여한다는 결과를 확인하였다. 이식할 잘피의 원활한 공급을 위하여 잘피 이식묘를 대량 생산기법을 개발하고 이를 현장에 적용함으로써 잘피 공급 서식지의 피해를 주지 않고 인공 잘피서식지를 조성할 수 있게 되었다. 이러한 결과들을 토대로 「잘피서식지 조성 관리지침」을 개발하여 잘피서식지 복원 및 관리에 유용한 정보를 제공하고자 한다.

잘피서식지 조성과 더불어 조성된 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원조성 효과를 평가하였다. 자연의 잘피서식지와 복원된 잘피서식지 및 잘피가 없는 연성저질생태계의 먹이연쇄를 통한 물질 순환을 이해하고 비교함으로써 1) 연안역 개발과 환경변동에 의한 잘피생태계를 구성하는 기능군별 생물군집변동과 그에 따른 생물생산 및 물질순환구조를 분석하고, 2) 연안의 생물생산에 대한 잘피생태계의 역할과 기여를 평가하였다.

본 연구과제에서 기존에 자연 잘피림이 무성한 광양만과 동대만의 잘피서식지와 새롭게 이식한 앵강만의 잘피서식지의 물질순환과 먹이망 구조를 안정동위원소분석을 이용하여 평가하였다. 자연 잘피서식지의 연안생태계에 대한 생태학적 기능은 본 연구에서 잘피장과 비잘피장 서식생물 사이의  $\delta^{13}\text{C}$  값 분포에서 뚜렷하게 나타났다. 이전 많은 연구들은 잘피장은 더욱 많은 종의 생물을 보육하는 효과를 가지는 것으로 나타났는데, 본 연

구에서 가장 흥미로운 결과는 여기에 실제로 연안 생물에 대한 영양 공급 기능을 가진다는 것이 본 연구에서 뚜렷하게 관찰되었다. 본 연구에서는 잘피장으로부터 물리적인 수송에 의해 유출되는 유기물과 잘피장에서 적극적인 섭이활동으로 잘피서식지가 연안생태계에서 종다양성 증대와 잘피장 기원 유기물이 영양공급원으로써의 기여를 하고 있음을 밝혀내었다. 또한 인공으로 조성된 앵강만과 자연 잘피장이 무성한 동대만과 광양만의 안정동위원소비값의 결과 인공잘피장이 조성된 앵강만의 소비자 동물군의 탄소 및 질소 안정동위원소비값의 경향이 유의한 것으로 보아 인공잘피장의 자연잘피장으로서의 기능을 가짐을 시사하여 준다.

## SUMMARY

### **Title : Seagrass habitat restoration for improvements of coastal ecosystem and production**

Seagrass bed is an important component in coastal and estuarine systems, providing food and shelter to a wide variety of marine organisms. Recently, seagrass coverage has declined significantly due to anthropogenic influences such as reclamation, dredging, and eutrophication and consequently, necessity of seagrass habitat restoration is rising. Selections of suitable planting sites and transplanting methods are essential for success of seagrass habitat restoration. In this project, we developed protocol for selection of suitable planting site using various parameters and assessed the feasibility and efficiency of eelgrass transplanting methods depending on the sediment type at the planting site. We have selected suitable planting sites and then seagrass transplantation has been conducted using efficient seagrass transplanting methods at these sites. Success of eelgrass transplantation has been evaluated by comparing shoot morphology, productivity, survival rate and tissue C and N content of transplants and plants in adjacent natural eelgrass beds. These results suggest that eelgrass transplants became established after 8 months following transplantation. For an adequate supply of donor plants, we developed eelgrass seedling mass-produced method through germination of seeds. These produced seedlings have been transplanted at experimental sites. To assess the effects of fertilizer on establishment of transplants, we added fertilizer to transplanted sites and measured characteristics of morphology, production, and photosynthetic efficiency. Fertilization enhanced success of transplant establishment and increase of eelgrass productivity. Finally, we developed 「Guidelines for conservation and restoration of seagrasses」 to provide available information for conservation and restoration of seagrass habitats on the coasts of Korea.

Carbon and nitrogen stable isotope ratios of primary producers and consumers in Kwangyang and Dongdae Bay covered by extensive *Zostera marina* bed and Aenggang Bay artificially restored *Z. marina* bed were investigated from December 2004 to April 2007 in order to identify the trophic structure and to assess the improvement of production of coastal ecosystem through seagrass habitat restoration. Results of C isotopic signatures of abovementioned *Z. marina* beds confirmed which

were seriously different from those in the non-vegetated habitats, significantly indicating that seagrass organic matter contribute to secondary production as well as functions of nursery and habitats for consumers. Besides, it showed that  $\delta^{13}\text{C}$  of animals inhabiting *Z. marina* bed is very different from those living in open sea based by phytoplankton, by the export of organic matter from *Z. marina* bed to adjacent habitats. In conclusions, seagrass-derived organic matters as a source of carbon and nitrogen for consumers are considerably an important role, supporting high biodiversity and production in estuarine ecosystems. In addition to, there is not much differences between each isotopic compositions of animals in natural seagrass bed of Kwangyang and Dongdae Bay and the restored seagrass bed of Aenggang Bay, it is suggested that artificial seagrass bed can be sufficiently ecological roles as natural seagrass bed.

## CONTENTS

Chapter 1. Summary .....	10
Part 1. Research goals .....	10
Part 2. Necessity of research and development .....	11
1. Technical aspect .....	11
2. Economical and industrial aspect .....	11
3. Social and cultural aspect .....	12
Part 3. Ranges of research and development .....	12
1. Development of transplanting method for seagrass habitat restoration and technique for seedling production .....	12
2. Estimation of ecological function and effects on coastal ecosystems of restored seagrass habitats .....	13
Chapter 2. Research background .....	14
Part 1. Domestic situation .....	14
Part 2. International situation .....	14
Part 3. Information on scientific technique .....	15
Chapter 3. Research contents and result .....	16
Part 1. Methods .....	16
1. Development of transplanting method for seagrass habitat restoration and technique for seedling production .....	16
a. Development of suitable site selection method .....	16
b. Selection of site-specific transplanting methods .....	17
c. Seagrass habitat restoration .....	19
d. Efficient supply of seedling for seagrass transplantation .....	25
e. Effects of fertilizer on transplant growth .....	27
2. Estimation of ecological function and effects on coastal ecosystems of restored seagrass habitats .....	29
a. Study sites .....	29
b. Sampling methods .....	30
c. Analysis of stable isotope ratio .....	31
Part 2. Results .....	33

1. Research contents .....	33
2. Results .....	33
a. Development of transplanting method for seagrass habitat restoration and technique for seedling production .....	33
1) Development of suitable site selection method .....	33
2) Selection of site-specific transplanting methods .....	35
3) Seagrass habitat restoration and morphological and physiological characteristics of seagrass transplants .....	36
4) Production of seedling and transplantation at study site .....	51
5) Effects of fertilizer on transplant growth .....	55
6) Guidelines for conservation and restoration of seagrasses .....	62
b. Estimation of ecological function and effects on coastal ecosystems of restored seagrass habitats .....	63
1) Analysis of community structure .....	63
2) Food web analysis using stable isotope ratio .....	75
3) Estimation of food web at transplanted habitat using stable isotope ratio .....	90
 Chapter 4. Research attainment and contribution .....	 91
Part 1. Annual goals of research .....	91
Part 2. Point of evaluation .....	92
Part 3. Research attainment .....	93
Part 4. Contribution .....	94
1. Technical aspect .....	94
2. Economical and social aspect .....	94
 Chapter 5. Application of developed techniques .....	 95
 Chapter 6. References .....	 96
Appendix #1 Guidelines for conservation and restoration of seagrasses .....	98

# 목 차

제1장 연구개발과제의 개요 .....	10
제1절 연구개발의 목적 .....	10
제2절 연구개발의 필요성 .....	11
1. 기술적 측면 .....	11
2. 경제·산업적 측면 .....	11
3. 사회·문화적 측면 .....	12
제3절 연구개발의 범위 .....	12
1. 인공 잘피서식지 조성을 위한 이식방법 및 잘피묘 생산기술 개발 .....	12
2. 인공 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원 조성효과 평가 .....	13
제2장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보 .....	14
제1절 국내 현황 .....	14
제2절 국외 현황 .....	14
제3절 과학기술정보 .....	15
제3장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	16
제1절 연구수행 방법 .....	16
1. 인공 잘피서식지 조성을 위한 이식방법 및 잘피묘 생산기술 개발 .....	16
가. 적정 잘피서식지 조성 장소 선정 기법 개발 .....	16
나. 저질차이에 따른 적정이식 방법 선정 .....	17
다. 인공 잘피서식지 조성 .....	19
라. 이식을 위한 잘피묘의 효과적인 공급 .....	25
마. 시비가 이식된 잘피에 미치는 영향 .....	27
2. 인공 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원 조성효과 평가 .....	29
가. 조사지역의 개황 .....	29
나. 시료의 채집과 분석준비 .....	30
다. 안정동위원소비분석 .....	31
제2절 연구 내용 및 결과 .....	33
1. 연구내용 .....	33
2. 연구결과 .....	33
가. 인공 잘피서식지 조성을 위한 이식방법 및 잘피묘 생산기술 개발 .....	33
1) 적정 잘피서식지 조성 장소 선정 기법 개발 .....	33

2) 저질차이에 따른 적정이식 방법 선정 .....	35
3) 인공 잘피서식지 조성 및 이식된 잘피의 생리생태학적 특성 .....	36
4) 잘피묘 대량 생산 및 현장 이식 .....	51
5) 시비가 이식된 잘피에 미치는 영향 .....	55
6) 잘피서식지 조성 관리지침 .....	62
나. 인공 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원 조성효과 평가 .....	63
1) 군집구조분석 .....	63
2) 안정동위원소비 분석을 이용한 먹이망 분석 .....	75
3) 안정동위원소비 분석을 이용한 복원된 잘피서식지의 먹이망 평가 .....	90
제3장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에서의 기여도 .....	91
제1절 연차별 연구개발 목표 .....	91
제2절 연차별 연구평가 착안점 .....	92
제3절 연구개발 목표의 달성도 .....	93
제4절 관련분야에의 기여도 .....	94
1. 기술적 측면 .....	94
2. 경제·사회적 측면 .....	94
제5장 연구개발결과의 활용계획 .....	95
제6장 참고문헌 .....	96
별첨 #1 잘피생육지의 효과적인 복원 및 관리지침 .....	98

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 목적

연안의 잘피서식지는 많은 수산어족자원들에게 서식지, 산란장 및 치어 생육지를 제공하고, 높은 일차생산성을 통하여 먹이를 공급함으로써 수산생산성의 향상과 밀접하게 연관되어 있다 (McRoy and McMillan, 1977; Zieman and Wetzel, 1980; West et al., 1990; Gillanders, 2006). 또한 잘피서식지는 연안으로 과도하게 유입되는 무기영양염류 및 오염물질을 흡수 제거하는 뛰어난 생태계 정화능력을 가지고 있어 연안생태계를 유지하는데 중요한 역할을 한다 (Iizumi and Hattori, 1982; Thursby and Harlin, 1982, 1984; Short and McRoy, 1984; Stapel et al., 1996; Terrados and Williams, 1997; Lee and Dunton, 1999). 하지만 산업화의 과정을 통한 연안해역의 수질 악화 및 매립, 준설, 부영양화 등의 인위적인 요인에 의한 연안의 잘피서식지가 과거에 비해 크게 감소하였다 (Lee and Lee, 2003). 이러한 인위적인 환경 교란에 의한 잘피서식지의 감소는 70-80%에 이르는 것으로 추정되고 있다. 현재 우리 연안에서 흔히 발생하는 연안수산생산성의 감소와 부영양화 및 적조와 같은 환경재해의 빈번한 발생이 잘피서식지 감소와 무관하지 않은 것으로 추정된다. 따라서 잘피서식지 조성 및 복원은 훼손된 연안 해역을 환경친화적으로 정화할 수 있고, 이렇게 조성된 잘피서식지는 많은 수산어족자원들에게 서식지를 제공함으로써 연안의 수산생산성을 높일 수 있다. 많은 선진국에서는 이미 잘피서식지 조성을 통한 수산생산성 향상 및 연안해역 정화를 시도하고 있으며, 우리나라에서도 어족자원 고갈이나 심한 적조현상과 같은 환경재해를 예방하기 위하여 잘피서식지 복원의 필요성이 부각되고 있다.

전 세계적으로 잘피서식지 복원을 위한 여러 가지 기술의 개발과, 효과적인 서식지 복원을 위한 연구가 진행 중이며 (Churchill et al., 1978; Bosworth and Short, 1993; Fonseca et al., 1996), 잘피서식지 보호를 법으로 명문화하여 서식지 파괴를 최소화 하기 위한 노력을 보이고 있다 (Clean Water Act; 33 USC 1341-1987; Section 404c). 따라서 본 연구에서는 한국연안의 환경에 적합한 잘피서식지 복원 기술을 개발하고 (Park and Lee, 2007), 조성된 잘피서식지를 효과적으로 관리함으로써 훼손된 연안생태계를 정화하고, 수산자원의 확충과 수산생산성의 향상을 꾀하고자 한다. 또한 조성된 잘피서식지를 통한 수산자원의 확충과 수산생산성 향상효과를 정량화할 수 있는 기법을 개발하여 조성된 잘피군락의 생태학적 기능을 평가하고자 한다. 본 연구는 훼손된 연안생태계에서 잘피서식지를 복원할 수 있는 기술 개발과 더불어 서식지 조성 효과를 종합적으로 평가하여 잘피서식지 보존 및 복원에 관한 효과적인 지침을 확립함으로써 최종적으로는 연안생태계의 정화 및 수산생산성의 향상을 꾀하고자 한다.

## 제 2 절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

연안생태계에서 잘피는 높은 생산성을 가진 일차 생산자로서 많은 수산어족자원들에게 서식지 및 산란장을 제공하고 먹이원으로서의 역할을 하며, 연안으로 유입되는 무기영양염류 및 오염원을 흡수 제거하는 생물자원으로 알려져 왔다. 현재 우리 연안은 남획과 서식지 파괴 등으로 인하여 수산자원이 고갈되고 생산성이 크게 저하되었다. 또한 연안해역의 매립이나 준설 및 부영양화 등의 영향으로 현재 연안의 환경은 심각하게 훼손되어 있는 실정이다. 이러한 연안생태계의 훼손과 더불어 과거에 풍부했던 잘피서식지가 크게 감소한 것으로 보고되어 있다. 따라서 잘피의 생태학적 역할을 고려해볼 때 훼손된 연안생태계를 환경 친화적으로 정화하고, 연안의 수산생산성 향상을 위해 잘피서식지 복원의 필요성이 부각되고 있다.

잘피서식지 복원 기술은 많은 선진국에서 개발되어 왔으며, 이러한 기술을 토대로 우리 연안의 환경에 적합한 효과적인 잘피서식지 복원 기술의 개발이 필요하다. 이와 더불어 개발된 잘피서식지 복원 기술을 현장에 적용하여 잘피서식지를 조성함으로써 수산생산성 향상을 꾀하고 실제적인 복원 효과를 증명하기 위한 연구가 병행되어야 한다. 따라서 연안생태계 구조와 물질순환 구조를 파악하기 위해 소화관 내용물 분석법과 본 연구에서 응용하려는 안정동위원소 응용기법을 이용한 연안생태계 먹이망에 대한 정확한 분석이 요구된다. 이러한 종합적인 연구를 통해 복원된 잘피서식지를 구성하는 생물군집 변동과 물질순환 구조의 변동을 파악할 수 있으며 연안의 생물군집에 대한 잘피생태계의 역할과 기여를 종합적으로 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

### 2. 경제·산업적 측면

연안역은 인간에 의해 다양하게 개발 및 이용되어 왔으며 패류 갑각류, 연체류, 어류 등의 수산생물자원에 대한 이용은 인류의 삶과 더불어 오랫동안 이루어져 왔다. 매립, 간척, 골재 및 모래채취, 준설, 부영양화 등에 따른 생태계 변화는 현재 사회적인 논란거리가 되고 있으며 이는 수산자원의 고갈과 연결된다. 이와 같은 생태계 변화는 기존의 생태학적으로 중요한 기능을 수행하는 생물군들을 사라지게 하였고 다른 기능을 가진 생물군들로 대체되는 현상을 야기하였다. 이러한 현상은 생물생산 구조와 관련된 물질순환 구조를 변화시켜 궁극적으로 연안생태계 전체의 변동을 수반할 것으로 예상된다. 따라서 훼손된 연안생태계의 복원을 통한 생물종 다양성과 생물생산의 증대를 꾀하기 위한 노력이 요구된다. 현재 어족자원의 고갈과 수산생산성의 저하가 잘피서식지 감소와 밀접한 관련되어 있어 연안의 수산생산성 향상을 위해 훼손된 잘피서식지의 복원이 시급한 실정이다. 잘피서식지 복원을 통한 연안의 수산생산성 향상은 수산자원 증강과 더불어 어

민들의 소득 증대에 크게 기여할 것으로 사료된다.

### 3. 사회·문화적 측면

인류에 의한 생태계 서식지 파괴는 생물권 전체의 다양성을 위협하는 수준에 이르고 있다. 연안역에 인구가 집중되고 산업규모가 확대됨에 따라 연안역의 과도한 개발과 이용, 연안 습지 자원의 과도한 이용과 함께 육상의 과도한 오염물질이 연안역으로 집중되면서 생물들의 서식지 변화는 심각한 수준에 이르고 있다. 가장 생산력이 높은 생태계인 하구나 연안 습지 또는 잘피 생태계와 같은 해양 생물 서식지의 소실은 생물다양성의 위기를 초래하고 인간이 이용할 수 있는 자원을 점차 고갈시키고 있다. 회복생태학의 핵심 전략은 생물치료(bioremediation) 방법과 생태계 진행 촉진과정(augmentation of ecosystem process) 등을 들 수 있는데, 잘피서식지는 이러한 회복생태학의 좋은 예가 될 수 있다. 즉, 연안으로 유입되는 영양염과 같은 오염물질을 정화하는 능력은 생물치료의 예가 되며, 잘피 군락의 형성은 토착 동식물의 군집 형성에 도움을 주기 때문에 생태계 진행과정 촉진의 좋은 예가 될 수 있다. 또한 잘피서식지 조성은 연안생태계 내의 종 다양성을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 주변 환경을 정화하여 좋은 관광자원으로 사용될 수 있으며, 또한 새로 조성된 잘피서식지가 생태학습장으로 사용될 수 있다. 그리고 잘피서식지 조성과 복원을 일반시민들의 자원봉사활동과 연계하여 수행함으로써 경비를 절감하고 홍보 및 교육효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## 제 3 절 연구개발의 범위

### 1. 인공 잘피서식지 조성을 위한 이식방법 및 잘피묘 생산기술 개발

인공 잘피서식지 조성을 위한 적정 장소 선정 및 효과적인 이식방법 개발을 위해 선정된 지역을 대상으로 환경요인을 정량화하고 평가하기 위한 적정이식 장소 선정 기법을 개발하고, 저질 차이에 따른 다양한 이식방법을 적용하여 이식 성공률을 평가하고 효과적인 이식방법을 선정한다. 선정된 적정 장소 및 이식 방법을 통하여 실제적인 인공 잘피서식지를 조성한다. 조성된 잘피서식지에서 시비의 영향을 알아보기 위하여 비료를 투입한 실험구와 대조구 내의 잘피서식지의 생리생태학적 특성을 비교하였으며, 이러한 비료의 투입이 부착생물, 저서 및 부유생물에 미치는 영향을 평가하였다. 조성된 잘피서식지의 효과적인 관리를 위하여 생육밀도, 형태, 저장탄소 함량 및 광합성 특성을 모니터링하여 생리생태학적 특성을 파악하고 서식지 관리를 위한 효과적인 관리지침을 개발한다. 잘피묘의 대량생산을 위하여 비료를 투입하여 잘피묘의 성장 및 분지 향상 효과를 측정하고, 필수적인 환경요인들을 최적으로 조절하여 효과적인 잘피묘의 대량생산을 꾀한다.

## 2. 인공 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원 조성 효과 평가

잘피서식지와 연성저질생태계의 수산자원 조성 효과를 측정하기 위해 각 서식지의 저서 및 부유생물 군집구조 및 먹이그물의 구조를 분석하고, 잘피군집 내 생물군집 조성 효과를 평가한다. 자연 및 인공 잘피서식지의 기능을 비교하기 위해 이식된 잘피의 생존능을 측정하고, 저서 및 부유생물 군집구조 및 먹이그물을 비료 분석한다. 또한 복원 후 시간경과에 따른 잘피군락의 효과 분석을 위해 잘피가 복원된 기간에 따른 효과를 평가하고, 저서 및 부유생물군집 조성효과 및 주변 생태계에 미치는 영향을 평가한다. 이와 더불어 먹이망에 미치는 효과와 잘피 조성기술의 현장적용 가능성을 평가한다. 마지막으로 잘피서식지 조성으로 인한 수산생산성 및 경제성 효과를 평가한다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

### 제 1 절 국내 현황

1. 잘피서식지의 생태학적 그리고 수산경제학적 기능의 중요성이 현재 많이 인식되고 있으나 우리나라에 분포하고 있는 잘피의 생리생태학적 특성에 관한 정보가 아직까지 많이 부족한 형편임.
2. 우리 연안에 서식하는 잘피의 분류학적 연구는 다수 수행되었으나 전체적인 분포나 서식면적 등이 아직 파악되어 있지 않아 우리나라 연안에 서식하는 잘피의 수산자원 조성능력과 같은 경제적 가치를 현재까지는 산정할 수 없음.
3. 따라서 우리나라 연안에 분포하는 잘피의 현황 파악이 시급한 실정임.
4. 해저 초원생태계 복원을 위한 잘피의 생태학적 기능에 관한 연구가 수행된 바 있음.
5. 훼손된 잘피서식지의 복원이나 인공 잘피림 조성은 아직까지 수행된 바 없으며, 본 연구팀에 의해 예비 이식실험이 수행되어 졌으며 효과적인 복원 및 이식방법 등이 개발되어 일부는 특허등록 하였음.
6. 개발된 잘피서식지 조성 기술을 현장에 적용하여 실용적이고 실제적인 인공 잘피서식지를 조성하는 것이 훼손된 연안생태계를 정화하고, 고갈된 수산자원의 확충과 저하된 연안의 수산생산성 향상을 꾀하기 위해 필수적이라고 사료됨.

### 제 2 절 국외 현황

1. 잘피서식지의 중요성을 오래 전부터 인식하여 중요한 연안의 자원으로 보호받고 있으며 잘피에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔음.
2. 연안생태계에서 차지하는 잘피서식지의 중요성으로 인해 잘피 연구가 갈수록 활발하게 진행되고 있으며 전 세계적으로 잘피생태에 관한 과학적 연구 실적이 매 4년 당 약 2배로 증가하고 있음 (Duarte, 1999).
3. 외국의 경우도 연안개발이나 환경오염, 그리고 Wasting disease와 같은 질병 등에 의해 잘피서식지가 급격하게 감소하여 보호와 복원에 많은 노력을 기울이고 있음.
4. 적정 잘피이식장소 선정 방법 및 다양한 이식 방법이 개발되어 있으며 연안 생태계 정화 및 수산생산성 향상을 위하여 대규모의 잘피이식이 수행되고 있음.
5. 실제적인 잘피서식지 조성이 시민단체 및 지방정부와 연계하여 수행되고 있으며 새로운 잘피서식지 조성에 따른 수산자원의 증가가 관찰됨.
6. 잘피서식지 복원 및 조성에 따른 연안생태계 정화와 같은 생태학적 기능 회복에 관한 고찰은 많이 이루어져 왔으나 수산자원 증가효과의 정량적인 분석은 미흡한 실정임.

### 제 3 절 과학기술정보

1. 연안생태계와 수산생산성에 미치는 잘피서식지의 중요성이 인식되어 있고 우리 연안에 분포하는 잘피의 생리생태학적 연구가 활발하게 수행되고 있으므로 우리연안 잘피의 특성 및 현황에 대한 정보가 점점 축적됨에 따라 우리연안의 실정에 적합한 복원 및 이식기술이 발달될 것임.
2. 개발된 이식기술을 통하여 훼손된 잘피서식지가 복원되고 새로운 인공 잘피림이 조성되어 연안초지생태계의 기능이 회복되면 수산자원의 다양성 확보와 생산성 향상을 꾀할 수 있을 것임.
3. 잘피림 조성을 통한 연안의 생산성 향상이 어민의 소득증대로 이어질 수 있음.
4. 일부 선진국의 경우 오래 전부터 잘피서식지의 복원 및 조성을 수행하여 왔으므로 복원에 관한 많은 기술이 축적되어 있으나 본 연구책임자는 국외에서 다수의 잘피연구를 수행하였고, 잘피서식지 복원사업에 관여하였으므로 외국 기술의 도입은 불필요한 것으로 사료됨.
5. 또한, 외국의 사례에서 살펴본 바와 같이, 잘피서식지의 복원은 환경에 영향을 많이 받기 때문에 국내환경에 적합한 복원방법의 개발이 필요하므로 외국 기술의 도입의 필요성은 없음.
6. 현재 본 연구팀에 의해 우리나라 연안의 실정에 적합한 이식기술이 개발되어 있어 기술력은 외국에 비해 결코 뒤떨어져 있지 않음.
7. 연구자의 자문이나 교류 및 정보교환은 가능함.

-Fred Short (University of New Hampshire, USA)

-Ken Dunton (University of Texas at Austin, USA)

-Jim Kaldy (US-EPA, USA)

-Blaine Kopp (US Geological Survey, USA)

-Jin Anderson (Aquatic Subsurface Injection Systems, Inc, USA)

-Hitoshi Iizumi (Hokkaido National Fisheries Research Institute, Japan)

-Toshinobu Terawaki (National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Japan)

-Robert Coles (Department of Primary Industries, Queensland Government, Australia)

-이필용 (국립수산과학원 남해수산연구소)

-김정배 (국립수산과학원 남해수산연구소)

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 연구수행 방법

1. 인공 잘피서식지 조성을 위한 잘피이식방법 및 잘피묘 생산기술 개발  
가. 적정 잘피서식지 조성 장소 선정 기법 개발

- 1) 환경요인 분석

잘피서식지 조성을 위한 예비 장소로서 거제도 다포, 남해 앵강만, 마산 진동만, 부산 수영만 하구, 일광, 낙동강 하구를 선정하였으며, 각 장소에서 잘피서식지 조성을 위한 환경요인을 분석을 실시하였다(Fig. 1). 각 조사장소에서 잘피의 분포와 생산성을 조절하는 아래의 물리 화학적 환경 요인들을 모니터링하고 이 결과를 정량화하여 적정 잘피이식장소를 선정하는 기법을 개발하였다.

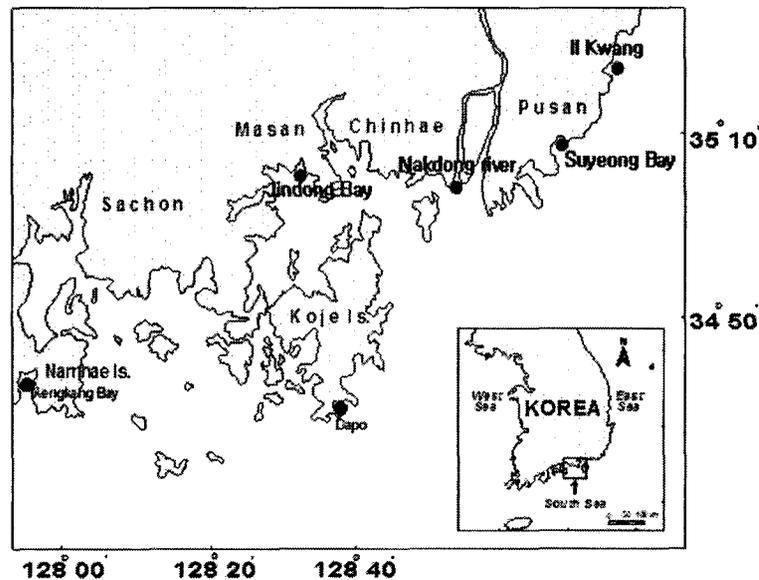


Fig. 1. 적정 잘피서식지 조성 장소 선정을 위한 환경조사 장소

- 가) 수심, 입사광량, 수온 및 염도

수심 및 염도(YSI85)를 각 조사장소에서 측정하였다. 입사광량 (PAR; Photosynthetically active radiation)은 잘피 잎이 위치하는 수심에서 spherical quantum sensor (LI-193SA)를 이용하여 매 15초 간격으로 연속적으로 측정하여 측정치를 LI-COR data-logger (LI-1400)에 저장하였다(Lee and Dunton, 1997). 수온은 HOBO sensor (HOBO, Onset Computer)를 현장에 설치하여 매 15분 간격으로 측정하였다.

## 나) 저질 및 해수 내 무기 영양염류 농도

해수 및 저질 내 무기 영양염류 농도 측정을 위하여 6-10개의 해수 및 퇴적물 시료를 무작위로 채취하였다. 저질 내 무기염류 농도 측정을 위해 퇴적물시료를 원심분리하여 공극수를 채취하였다. 해수 및 공극수 내의  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$  와  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 standard colorimetric techniques으로 분석하였다. (Lee and Dunton 1999).

## 다) 부유물 질량 및 해수 내 chlorophyll 측정

부유물 질량은 해수 750~1000ml을 glass fiber filter로 여과하여 건조 후 무게를 측정하였고 해수 내 chlorophyll 농도는 해수 100ml을 cellulose nitrate membrane filter로 여과한 후 90% acetone으로 chlorophyll을 추출한 후 spectrophotometer로 측정하였다.

## 2) 환경요인 정량화

위 측정된 환경요인들을 정량화하여 조사지 환경상태를 평가하고 적정 잘피이식 장소를 선정하였다.

## 나. 저질차이에 따른 적정이식 방법 선정

여러 잘피이식 방법을 저질의 특성이 다른 여러 장소에 적용하고 이식된 잘피의 생리생태학적 상태를 모니터링하여 각 장소에 가장 효과적인 이식방법을 알아보았다.

### 1) 이식방법

#### 가) Staple Method

1970년도 후반에 개발된 이후로 가장 널리 쓰이는 방법 중에 하나다. 이식할 개체를 staple에 고정한 후 잠수하여 이식하는 방법이다. 이 방법은 Plug Methods 보다 시간이 덜 소요되지만, 준비단계에 시간이 많이 소요된다. 비교적 비용이 적게 드는 방법이나 긴 다이빙 시간을 요하는 단점이 있다.

#### 나) TERFS (Transplanting Eelgrass Remotely with Frame Systmes)

다른 방법처럼 직접 사람이 이식하는 방법과는 달리 다이빙 작업이 힘든 지역이나, 대규모로 이식이 이루어질 때 적합한 방법으로 식물체를 TERFS라는 기구에 묶은 후 물 속에 투하하는 방식이다. 한 TERFS당 수십의 개체를 이식할 수 있으며, 물위에서 모든 작업을 할 수 있고, 이식 장소에 교란이 덜 가해지게 된다. 투하 후 뿌리가 내린 시점을 관찰해서 다시 TERFS는 수거해야하는 단점이 있다.

## 다) 패각을 이용하는 방법

패각에 잘피를 고정하여 투하하는 방법이다. 다이빙 시간을 줄일 수 있으며, TERFS처럼 이식기구를 수거할 필요가 없다. 이식 비용과 시간을 줄일 수 있는 장점이 있어 대규모 이식에 매우 효과적인 방법이다. 본 연구팀에 의해 개발되어 특허를 출원하였다 (특허등록 10-0583208)

## 2) 이식실험

저질의 차이에 따른 이식방법별 생존률을 조사하기 위해 저질이 사질, 사니질, 니질로 이루어진 3개 지역을 선정하여 2004년 12월 이식 실험을 수행하였다. 실험장소는 주성분이 사질로 구성된 거제 다대, 사니질로 이루어진 마산 명주, 니질로 이루어진 고성 신월이다(Fig. 2). 퇴적물의 입도분석은 약 5g의 시료를 취하여 탄산염과 유기물을 제거하기 위해 HCl과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 처리하여, 잔류물질을 1/16mm(4φ)체로 물체질하여 sand부분과, silt 및 clay 부분으로 분리한 후, sand 부분은 110℃에서 24시간이상 건조하여 측정하고 4φ이하의 세립질 퇴적물은 calgon을 첨가하여 입자를 분리한 후 Sedigraph 5100으로 분석하였다(Fig. 3). 이식은 위의 staple method(Fig. 4A), TERFS method(Fig. 4B), 그리고, 패각을 이용한 이식방법(Fig. 4C)을 사용하였다. Donor plant는 거제 영북에서 채취하였고, 채취 후 2일 이내에 각 장소에서의 이식 실험을 완료하였다.

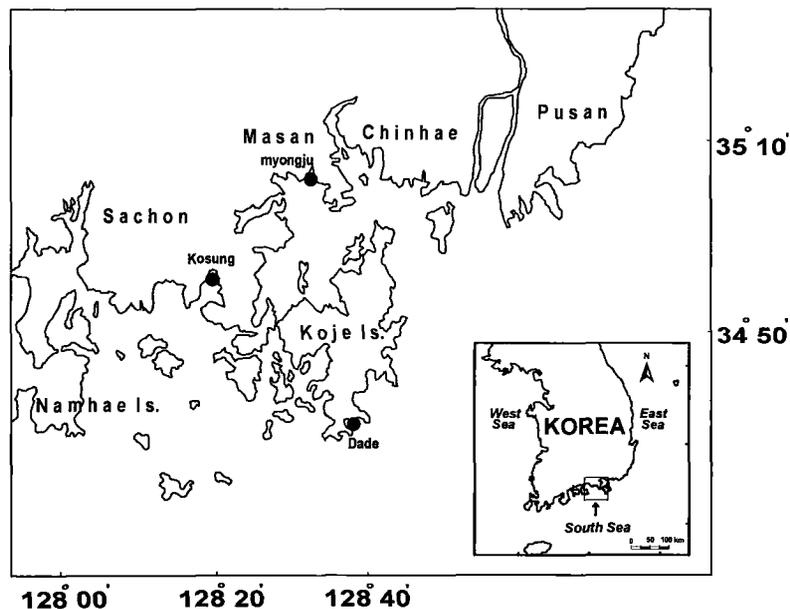


Fig. 2. 저질차이에 따른 적정 이식방법 선정을 위한 조사지역.

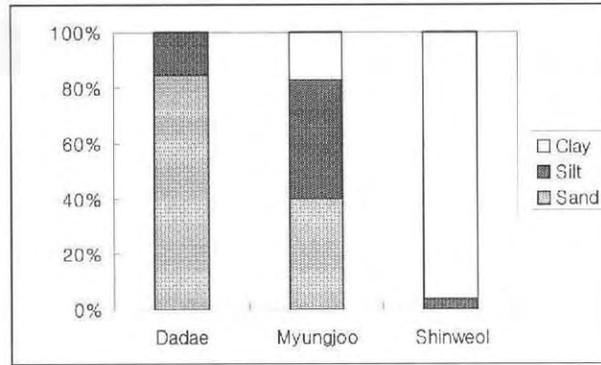


Fig. 3. 적정 이식 방법 선정을 위한 조사지의 퇴적물 입도.

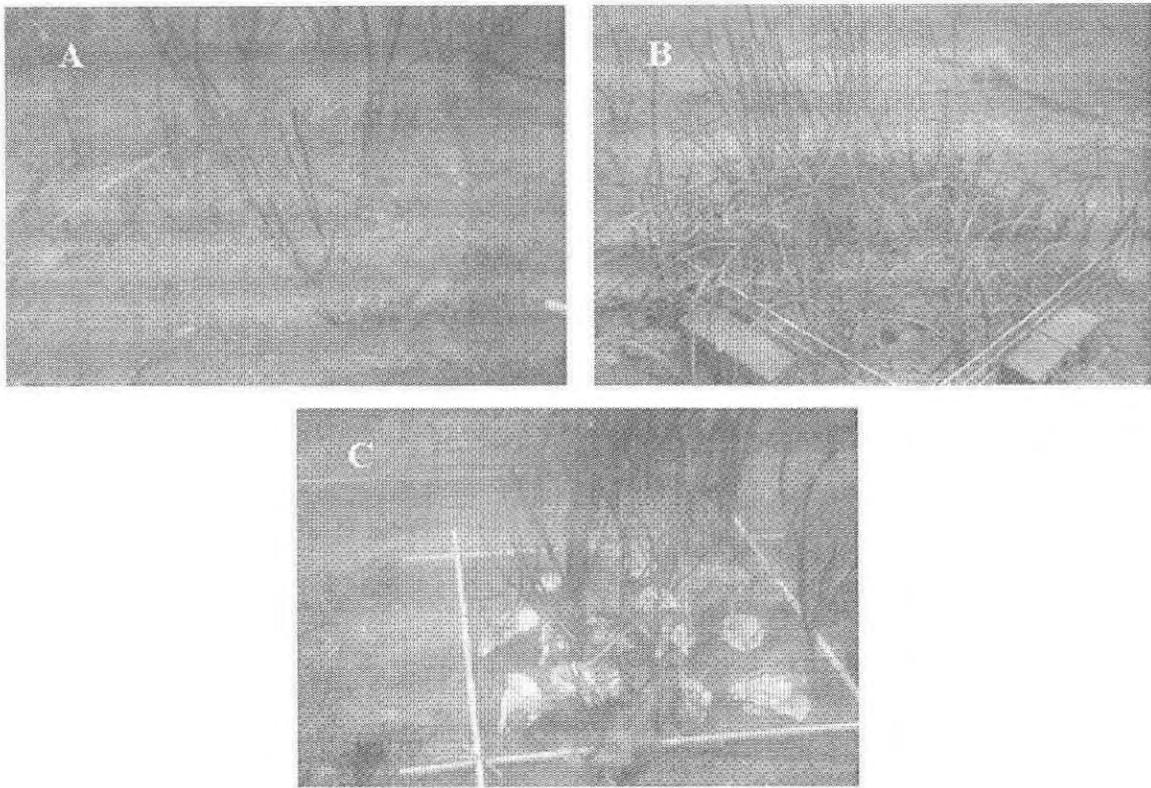


Fig. 4. 저질의 차이가 있는 각 조사장소에 사용된 이식 방법. A, staple method. B, 이식 망(TERFS)을 이용한 이식방법. C, 폐각을 이용한 이식방법.

다. 인공 잘피서식지 조성

1) 실제적인 규모의 인공 잘피서식지 조성

실제적인 규모의 인공 잘피서식지 조성을 위하여 거제만의 다포(1, 2차년도), 남해 앵강만(1차년도), 울산 일산지역(2차년도), 진동만의 내포(3차년도)를 선정하고 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 5). 각 지역의 저질 조성은 거제만 다포, 울산 일산지역, 진동

만의 내포가 사니질이며, 남해 앵강만이 사질이다.

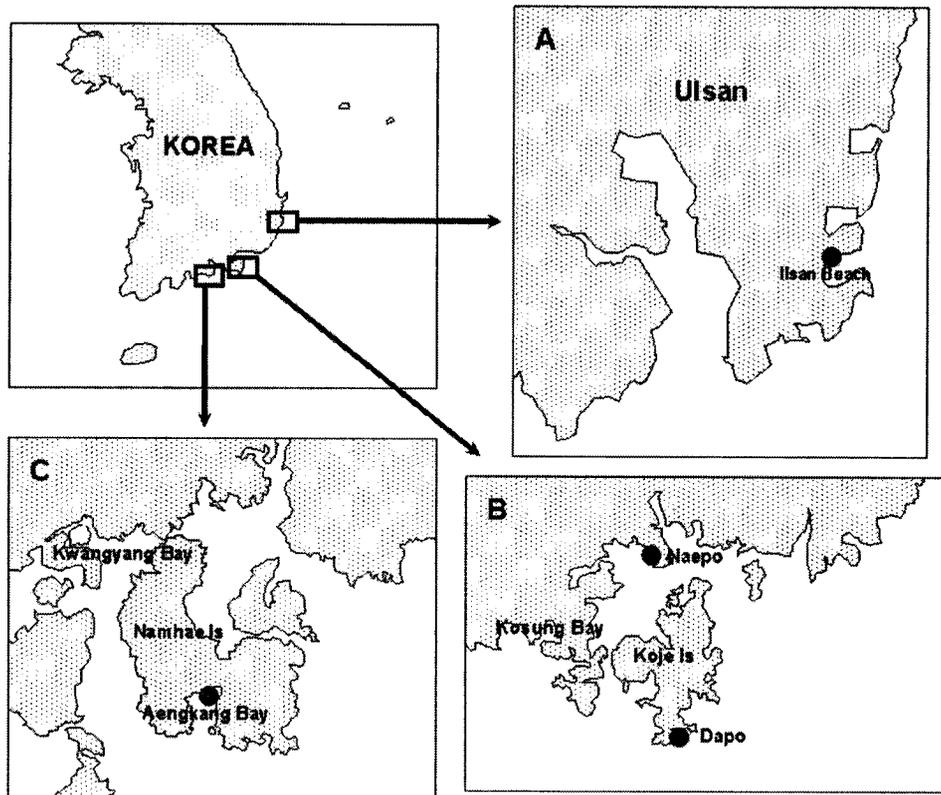


Fig. 5. 연안 생태계 정화 및 수산생산성 향상을 위하여 조성된 인공 잘피서식지. 울산일산지역(A, 2차년도), 거제만 다포(B, 1, 2차년도), 진동만 내포(B, 3차년도), 남해 앵강만(C, 1차년도).

## 2) 인공 잘피서식지 조성 방법

거제 다포에서는 1차년도에 TERFS와 staple method를 이용하여 2004년 10월 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 6). 이식은 5m×5m 면적을 하나의 이식단위 (transplanting unit)로 설정하여 수행하였다. 거제 다포지역은 TERFS와 Staple 방법으로 각각 5개 이식단위의 인공 잘피서식지를 조성하였다. TERFS 이용한 잘피 이식은 TERFS (60×60cm)에 32개체의 잘피를 고정하여 이식단위 당 16개의 TERFS를 설치하였다(Fig. 6A). Staple을 이용한 이식은 30cm 간격으로 잘피 2개체씩을 이식하여 이식단위 당 578개체의 잘피를 이식하였다(Fig. 6B). 2차년도에는 기존에 조성된 인공 잘피서식지 부근에 약 250m<sup>2</sup> 규모로 2005년 10월 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 7). 2m×2m 면적을 하나의 이식 단위로 설정하였으며 staple method를 이용하여 30cm간격으로 2개체씩 이식하였다. 각 이식단위당 98개체씩 32개 이식단위로 약 250m<sup>2</sup> 규모의 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 8).

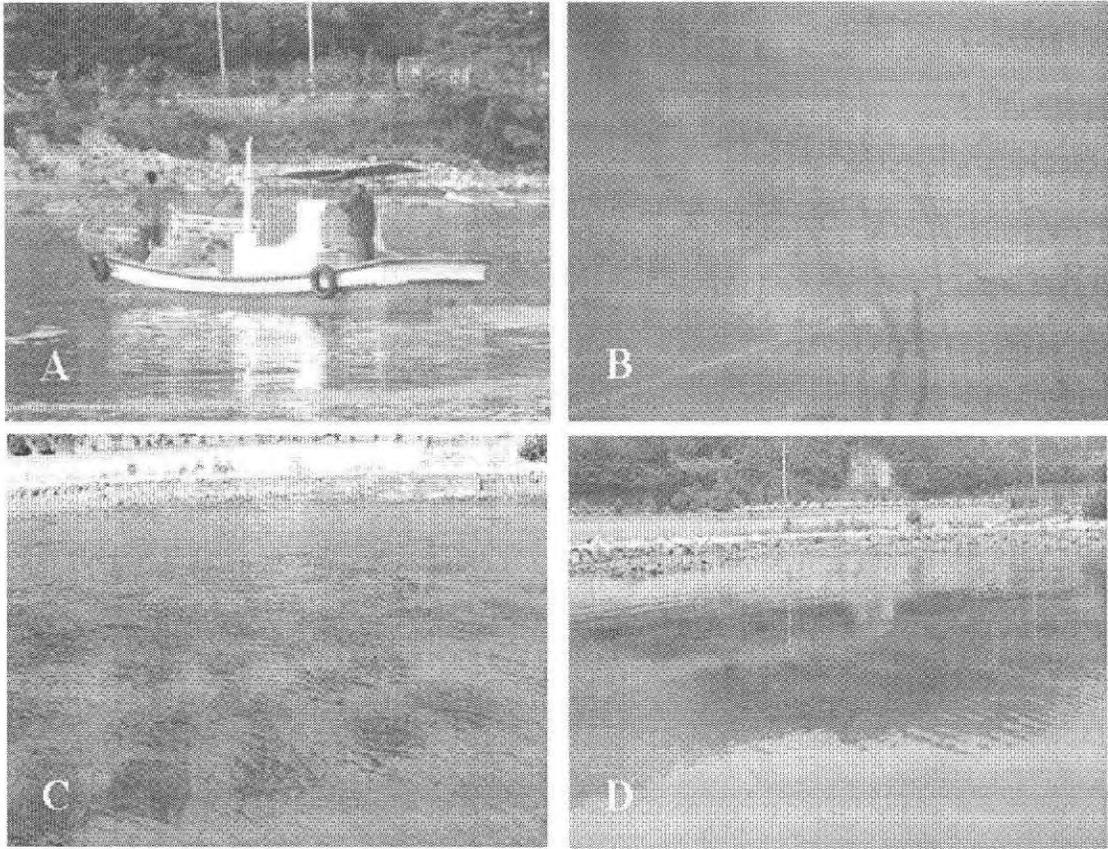


Fig. 6. 거제도 다포지역에 조성된 인공 짚피서식지. TERFS를 이용한 짚피이식(A). Staple method를 이용한 짚피이식(B). TERFS 방법으로 조성된 인공 짚피서식지(C). Staple 방법으로 조성된 인공 짚피서식지(D).

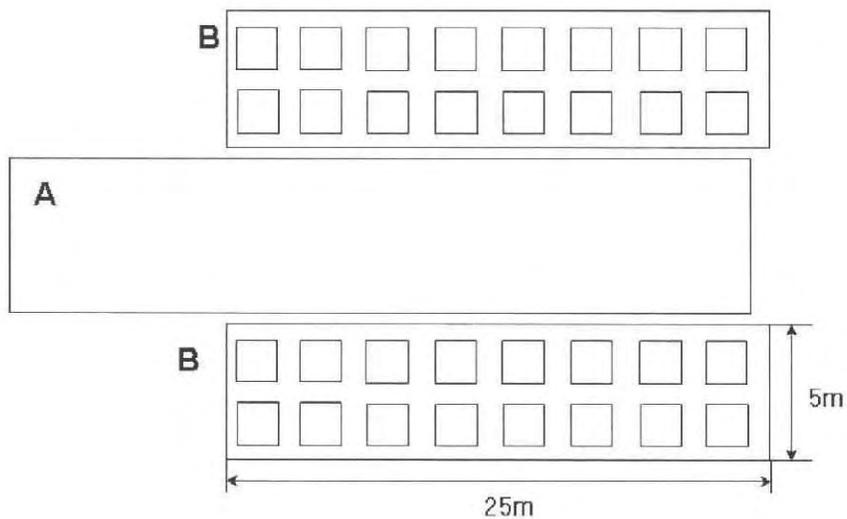


Fig. 7. 거제도 다포지역에 조성된 인공 짚피서식지(2차년도). 1차년도에 조성한 인공 짚피서식지(A), 2차년도에 조성한 인공 짚피서식지(B).

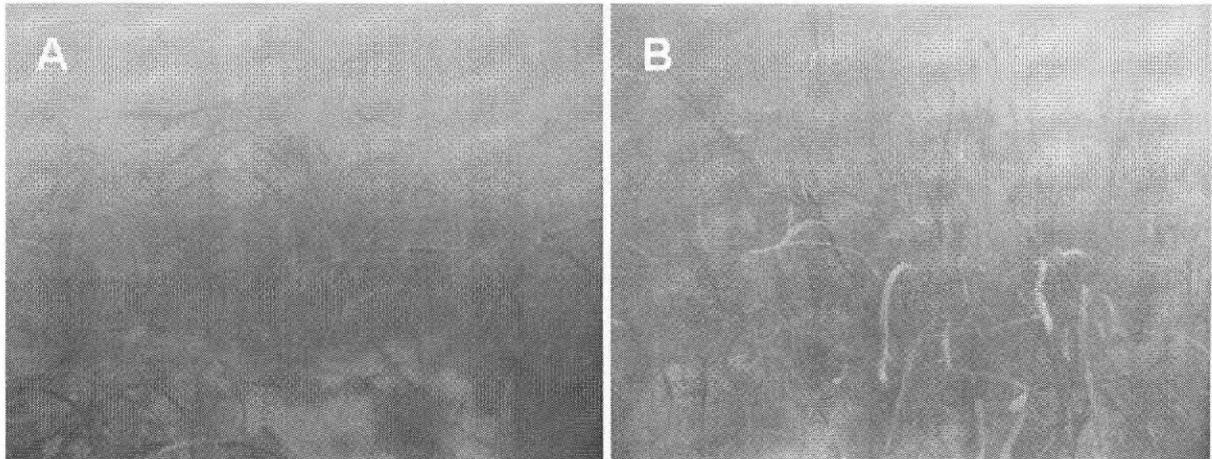


Fig. 8. 거제만 다포지역에 조성한 인공 잘피서식지의 이식 개체(각각 2005년 12월 촬영). 1차년도에 조성한 인공 잘피서식지(A), 2차년도에 조성한 인공 잘피서식지(B)

남해 앵강만에서는 2004년 11월 staple method를 이용하여 총 30m×10m 규모의 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 9). 이식은 5m×5m 면적을 하나의 이식단위(transplanting unit)로 설정하여 12개 이식단위로 서식지를 조성하였다. 울산 일산지역은 2005년 12월에 2m×2m 면적을 하나의 이식 단위로 설정하여 16개 이식단위로 총 26m×5m 규모의 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 10). A와 D지역은 30cm간격으로 2개체씩 98개체를 이식하였으며, D지역에는 비료를 투입하여 비료가 이식개체의 생존에 미치는 영향을 알아보았다(Fig. 10A, D). 그리고 B지역은 50cm간격으로 50개체, C지역은 70cm간격으로 18개체를 이식하여 이식 간격에 따른 이식개체의 생존률과 분지향상 능력을 측정 하였다(Fig. 10B, C). 진동만의 내포는 2006년 11월에 2m×2m 면적을 하나의 이식 단위로 설정하여 8개 이식단위로 총 16m×8m 규모로 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 12).

### 3) 이식된 잘피의 생리생태학적 특성

이식된 잘피의 생리생태학적 특성을 알아보기 위하여 인공 잘피서식지와 자연 잘피서식지의 생육환경과 식물체의 형태학적 특성 및 생산성을 매월 측정하여 비교 분석하였다.

#### 가) 연구지역

조성된 잘피서식지 내 잘피의 생리생태학적인 특성을 서식지 특성에 따라 모니터링 하였다. 먼저 거제만 다포는 이식 방법에 따른 생존률 및 생리생태학적 특성을 모니터링 하였고, 남해 앵강만과 진동만의 내포는 조성된 인공 잘피서식지와 자연 잘피서식지

잘피의 특성을 비교 분석하였다. 울산 일산에 조성된 잘피서식지에서는 잘피 개체의 이식 간격에 따른 생존률 및 생육밀도와 시비가 이식된 잘피에 미치는 영향을 조사하였다.

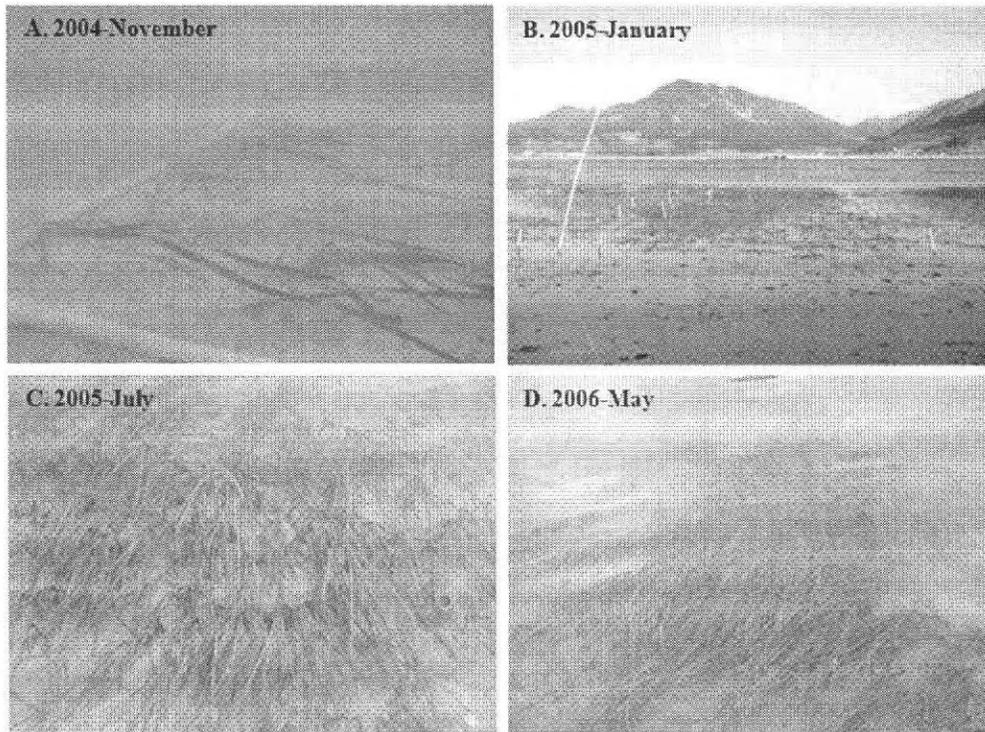


Fig. 9. 남해 앵강만에 조성된 인공 잘피서식지.

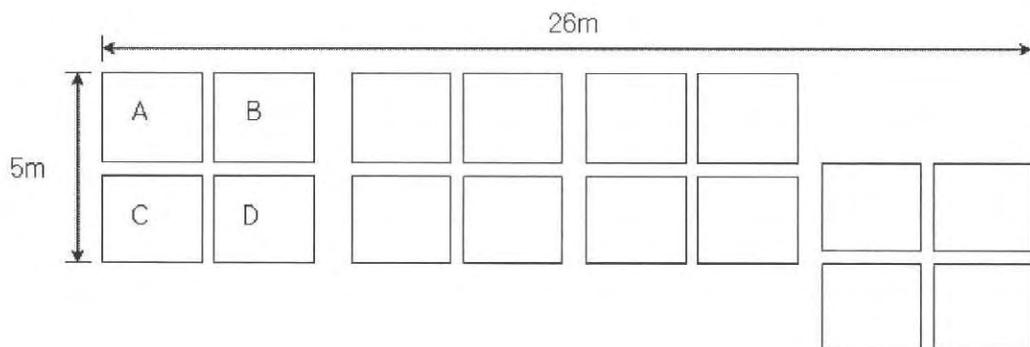


Fig. 10. 울산 일산지역에 조성된 인공 잘피서식지. 30cm간격으로 이식한 지역(A), 50cm간격으로 이식한 지역(B), 70cm간격으로 이식한 지역(C), 30cm간격으로 이식하여 시비한 지역(D).

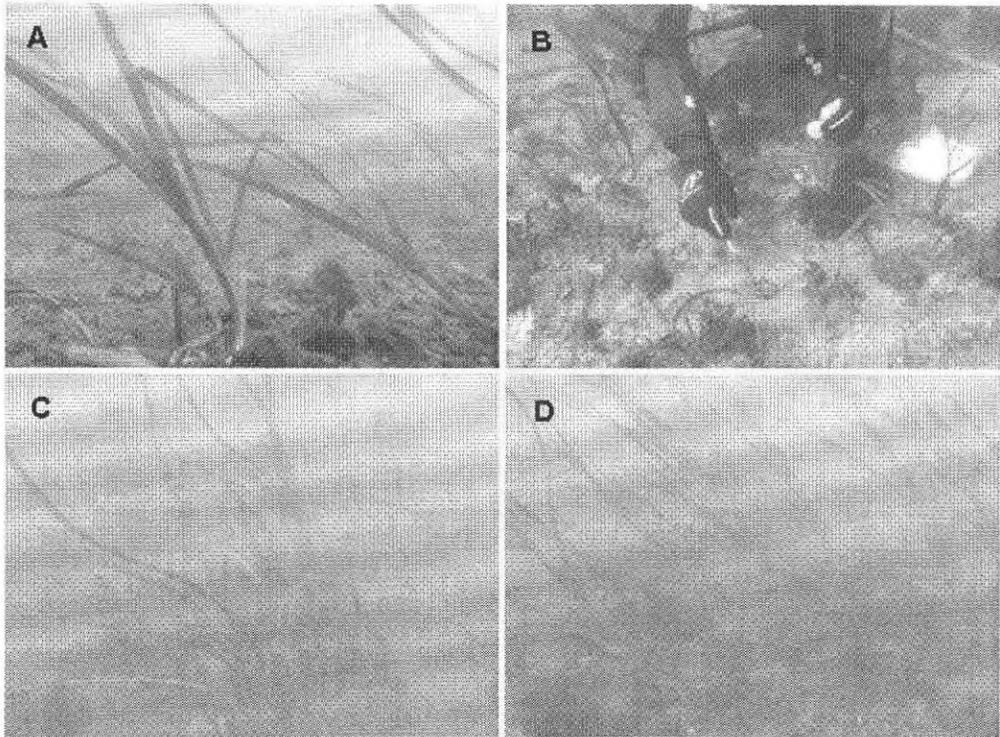


Fig. 11. 울산 일산지역에 조성한 인공 잘피서식지. 이식 직후 촬영(A), 시비하는 모습(B), 2006년 4월 인공 잘피서식지의 대조군 지역(C)과 시비한 지역(D).

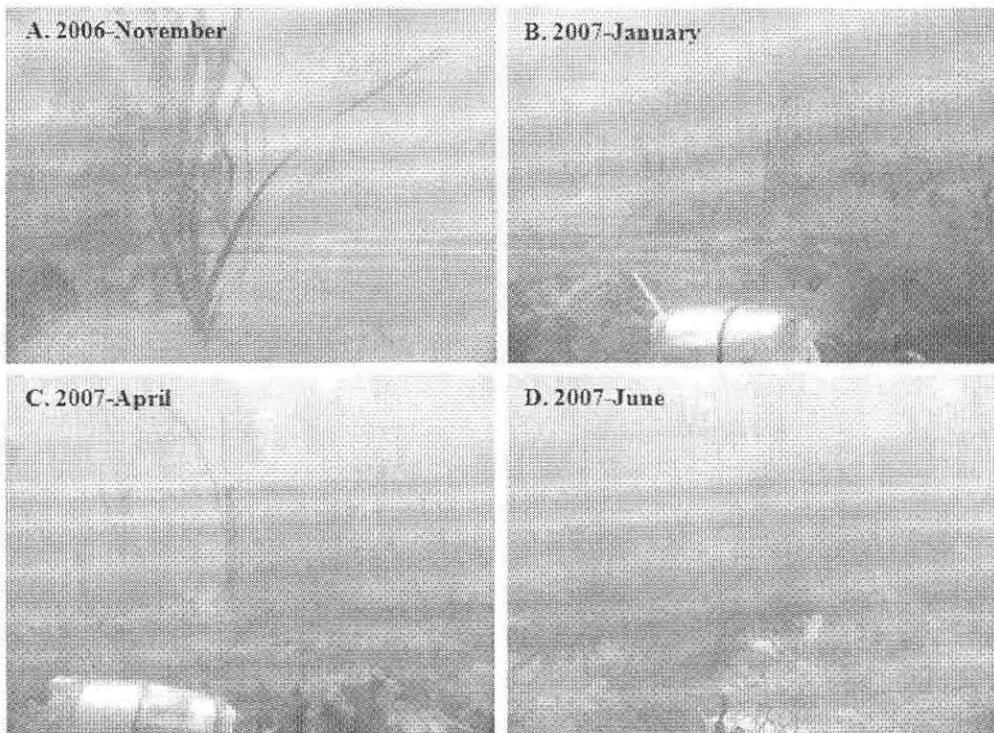


Fig. 12. 진동만의 내포에 조성된 인공 잘피서식지.

#### 나) 잘피서식지의 물리화학적 환경요인

입사광량(PAR; Photosynthetically active radiation)은 인공 잘피서식지에서 잘피 잎이 위치하는 수심에 spherical quantum sensor (LI-193SA)를 이용하여 매 15초 간격으로 연속적으로 측정하여 측정치를 LI-COR data-logger (LI-1400)에 저장하였다(Lee and Dunton, 1997). 수온은 HOBO sensor (HOBO, Onset Computer)를 현장에 설치하여 매 15분 간격으로 측정하였다. 해수 및 퇴적물 공극수 내 무기영양염류 농도를 측정하기 위하여 6-10개의 해수 및 퇴적물 시료를 매월 각 조사장소에서 무작위로 채취하였다. 퇴적물 내 공극수를 추출하기 위하여, 퇴적물시료를 5000×g에서 20분간 원심분리하여, 공극수를 취하였다. 해수 및 공극수 내의  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 standard colorimetric technique으로 분석하였다(Lee and Dunton, 1999).

#### 다) 잘피의 형태학적 특성

각 조사장소에서 매월 10여 개체를 채취하여, 식물체 길이, sheath의 길이, 잎의 폭등의 형태학적 특성을 측정하였으며, 잎 단위 면적 당 무게 (area specific leaf mass), 잎 조직 내 엽록소의 함량 등을 측정하였다. 2번째 또는 3번째 잎의 중간부분을 선택하여, N,N- dimethyl formamide(DMF)로 엽록소를 추출 후, 흡광도를 측정하여 엽록소함량을 결정하였다.

#### 라) 잘피의 서식밀도 및 생체량

각 인공 잘피서식지내의 잘피 서식밀도는 50cm×50cm 방형구 내의 개체수를 세어 결정하였으며, 잘피의 생체량은 형태학적 특성 조사에 사용된 잘피의 지상부조직 (blade+sheath)과 지하부조직(rhizome+root)으로 분리하여 건조 중량을 측정한 후 밀도를 곱하여 계산하였다. 자연 잘피서식지의 잘피 서식밀도는 지름 20cm의 원통 방형구를 이용하여 방형구 내의 개체수를 세어 결정하였고, 생체량은 방형구 내 식물체의 모든 부분을 채취하여, 지상부조직과 지하부조직으로 분리한 후 건조 중량을 측정하였다.

#### 마) 잘피의 생산성 측정

잘피의 생산성은 blade marking technique (Kentula and McIntire, 1986)을 이용하여 측정하였다. 평방미터당 생산성과 개체 당 생산성을 계산하여, 서식지에 따른 잘피의 생산성을 비교 분석하였다.

#### 라. 이식을 위한 잘피묘의 효과적인 공급

##### 1) 잘피묘 대량생산을 위한 비료의 효과

자연 잘피서식지에서 모니터링된 환경자료를 토대로 잘피 묘포장의 환경조건을

최적으로 관리하고, 시비(N:P=18:8)에 의한 잘피묘 성장 및 분지효과 등을 측정하여 잘피 이식묘의 대량생산을 위한 최적 방안을 알아보았다. 시비에 의한 잘피묘의 성장 및 분지향상 효과는 형태학적 특성 및 생산성을 측정하여 정량화하였다. 잘피의 형태학적 특성은 시비지역과 비시비지역에서 매월 잘피 개체들을 채취하여, 전장, sheath의 길이, 잎의 폭과 같은 형태학적 특성을 측정하고, 잎 단위 면적 당 무게, 엽록소의 함량 등을 측정하였다. 잘피의 생산성을 blade marking technique를 이용하여 측정하였다. 형태학적 특성 조사에 사용된 잘피의 지상부조직 (blade+sheath)과 지하부조직 (rhizome+root)으로 분리하여 생체량을 측정하였다. 시비에 의한 분지향상 효과는 시비지역과 비시비지역에서 방형구 내의 terminal shoot와 lateral shoot의 밀도를 측정하여 알아보았다.

### 2) 현장에서의 잘피묘 생산

인공 잘피묘를 생산함에 있어 수조를 사용하지 않고, 현장에서 종자를 파종하여 발아 및 성장시킴으로써 경제적으로 묘의 공급을 도모하고자 현장에서의 발아 실험을 수행하였다(Fig. 13). 실험 장소로 거제도 다포를 선정하여 2005년 11월 일반 잘피 종자와 코팅종자(특허등록: 10-0587127호)를 400 shoots m<sup>2</sup>의 밀도로 기존 잘피가 없는 지역과 잘피 성체가 이식된 지역에 살포하여 발아율과 성장률을 관찰하였다.

### 3) 유식물의 현장 이식

대량 종묘 생산을 위해 2005년 10월에 수조에서 발아하여 성장한 유식물의 일부를 이용하여 예비이식 실험을 2006년 3월에 다포에서 수행하였고, 월 1회 생존율을 조사하였다(Fig. 13).

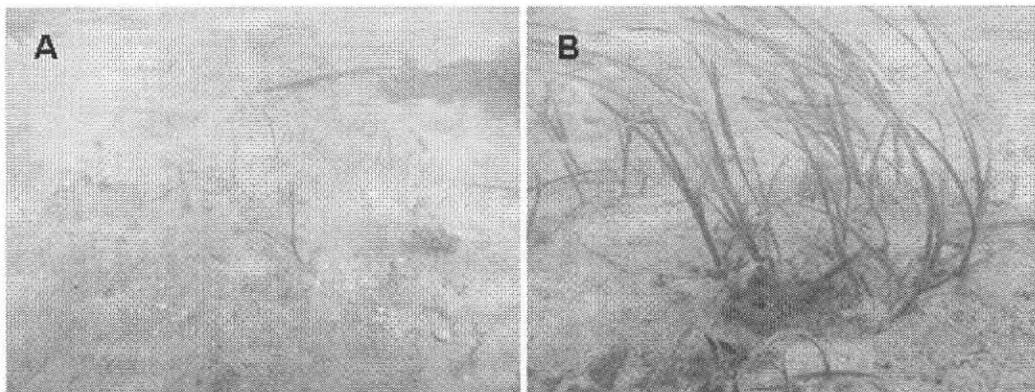


Fig. 13. 잘피묘의 현장 생산(A) 및 수조에서 발아한 잘피묘의 현장 이식(B).

마. 시비가 이식된 잘피에 미치는 영향

1) 광합성 효율

시비가 이식된 잘피에 미치는 영향을 울산 일산지역에 조성된 인공 잘피서식지에서 조사하였다. 비료는 남해화학의 완효성 비료(N:P=18:8)를 이용하였으며, 일산지역의 인공 잘피서식지에 30cm 간격으로 이식하여 비료를 처리한 처리군과 그렇지 않은 대조군의 이식 개체의 생리생태학적 특성을 비교 분석하였다. 또한 Diving-PAM을 이용하여 대조군과 처리군내 잘피 개체의 광합성 특성을 비교하여 시비가 이식된 잘피에 미치는 영향을 평가하였다.

이식된 잘피와 자연 잘피 개체의 광합성 효율 비교는 Diving-PAM을 이용하여 일산지역에 위치한 조사장소에서 수행되었다. Diving-PAM은 광합성 과정에서 발생하는 형광을 인지하여 광합성량을 상대적으로 측정할 수 있다.(Fig. 13)

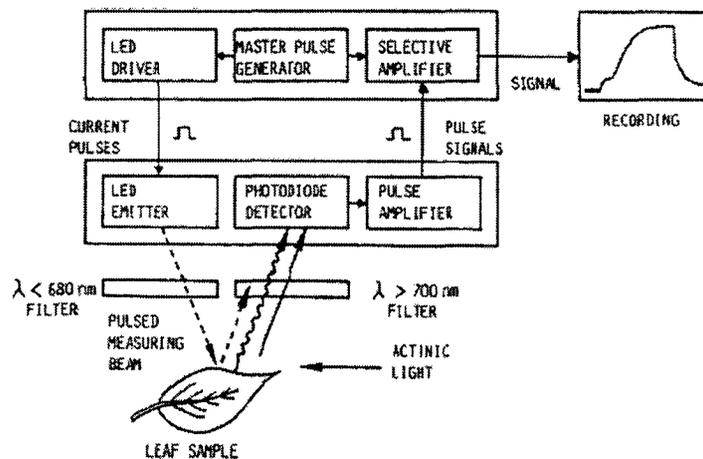


Fig. 13. Diving-PAM의 개요도.

광합성 효율은 potential quantum yield와 effective quantum yield로 표현된다. 전자는 식물을 암적응시켜 quantum yield를 계산하는 방법이고 후자는 자연 상태의 빛에 적응된 식물의 quantum yield를 계산하는 방법이다. 이번 실험에서는 상대적인 quantum yield의 계산을 위해 potential quantum yield 방법을 이용하였으며 다음의 식으로 표현된다.

$$Y = (F_m - F_o) / F_m = F_v / F_m \quad (1)$$

F<sub>o</sub>는 암적응 상태의 초기 형광, F<sub>m</sub>은 암적응된 상태에서 포화광에 의한 최대 형

광을 나타내며, 두 값을 이용해서 암적응 상태에서 광계II의 광화학 반응에 대한 최대 양자수율을 도출하였다. Fv는 Fm에서 Fo를 뺀 값으로 변화된 형광물질의 양을 말한다. 광합성은 실제로 물의 광분해에 의해 발생한 전자가 전자 전달계(electron transfer chain)를 통해 광계 II에서 광계 I으로 이동하면서 에너지(ATP와 NADPH)를 합성하는 과정이므로 광합성효율은 ETR(electron transfer rate)-전자 전달율로 표현된다. 일반적으로 육상식물의 ETR은 다음과 같은 식으로 이루어져있다 (Schreiber et al. 1997; Ralph et al. 1998).

$$ETR = Y * PAR * 0.5 * 0.84 \quad (2)$$

PAR은 광량, 0.84는 엽록체의 평균 흡수된 빛을 의미하고 0.5는 광계 II에 흡수된 빛을 의미한다. 보통 엽록소에 흡수된 빛은 광계 I과 광계 II에 똑같은 비율로 나누어진다고 가정하기 때문에 0.5를 사용한다. 본 연구에서는 대상 종의 엽록체에서 흡수된 빛을 직접 측정하지 않고 일반적으로 고등 식물에 통용되는 0.84를 이용하였으므로 이하에서는 상대전자전달속도(rETR : relative electron transport rate)로 표현한다. PAR(광량)의 변화에 따른 rETR의 변화를 그래프로 나타낸 것을 Rapid Light Curves (RLCs) 라 한다. RLCs는 Platt et al. (1980)에 의해 고안된 방법을 이용해서 나타낼 수 있다.

$$P = P_s [1 - \exp(-\alpha E_d / P_s)] \exp(\beta E_d / P_s) \quad (3)$$

여기에서 P는 구하고자 하는 총 일차생산력, Ed는 광합성에 이용되는 파장의 광량(wavelength 400~700 nm) Ps는 광저해 현상이 없을 때의 최대 잠재 전자전달속도로서 정의되는 매개변수, α는 광합성의 최대 양자수율과 관련된 매개변수로서 세포가 입사광을 모을 수 있는 능력을 나타내는 값으로, 포화광 이하에서 광합성-광도 모델의 초기 기울기를 나타내고 β는 광저해 정도를 나타내는 매개변수이다. 광저해 현상이 없을 때 (β=0) 위 식은 다음과 같이 요약할 수 있다.

$$P = P_m [1 - \exp(-\alpha E_d / P_s)] \quad (4)$$

광저해가 있을 경우 포화광에서 상대 전자전달속도의 최대 비율 (relative ETR<sub>max</sub>)은 광합성 수용능력(P<sub>m</sub>)으로 표현할 수 있고, 다음과 같이 식으로 요약할 수 있다.

$$rETR_{max} = P_s [\alpha / (\alpha + \beta)] / [\beta / (\alpha + \beta)]^{\alpha / \beta} \quad (5)$$

또한 전자전달을 위한 포화광량 (E<sub>k</sub>)은 P<sub>m</sub>와 α를 이용해서 구하였다.

$$E_k = rETR_{max} / \alpha \quad (6)$$

## 2) 부착생물 및 부유생물에 미치는 영향

시비에 따른 부착생물 및 부유생물에 미치는 영향은 남해 앵강만에 조성된 인공 잘피서식지에서 조사하였다.

## 2. 인공 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원조성 효과 평가

### 가. 조사지역의 개황

#### 1) 앵강만

잘피군락에 서식하는 대형저서동물의 생물다양성 및 군집구조를 파악하기 위하여, 경상남도 남해군 고현면(차면리 일원, 잘피가 없는 해역-차면리와 이락사)과 이동면(앵강만, 잘피가 서식하는 해역)을 대상으로 현장조사를 실시하였다.

#### 2) 광양만

전라남도 여수반도 동쪽에 위치한 만이다. 광양만은 한반도 중앙에 위치한 천해성 내만으로 대도를 비롯하여 태인도, 묘도등의 많은 섬들이 산재되어 있다. 만 내로는 섬진강, 동천, 서천, 수어천등의 여러 하천이 유입되고, 동쪽으로는 노량해협을 통해 진주만으로 연결되며, 남쪽으로는 여수해만과 연결되어 외해로 통하는 해역이다. 해수의 유동이 비교적 적고 수심이 얕아 잘피와 같은 해초군락이 서식하기에 적당한 해역이다.

#### 3) 동대만

경남 사천시와 남해군 창선도 사이에 위치하며 좁고 긴 호로병 형태의 내만역으로 만의 양쪽으로 잘피밭이 길게 잘 발달되어 있는 다른 두 만에 비하여 비교적 소규모의 만으로 잘피장의 기능을 평가하기에 적합한 해역으로 판단되어 잘피장 내에 조사 정점을 설정하고 만의 중앙부에 설정한 정점에서 채집한 생물들과 비교하여 자연 잘피장의 영양학적 중요성을 살피고자 하였다.

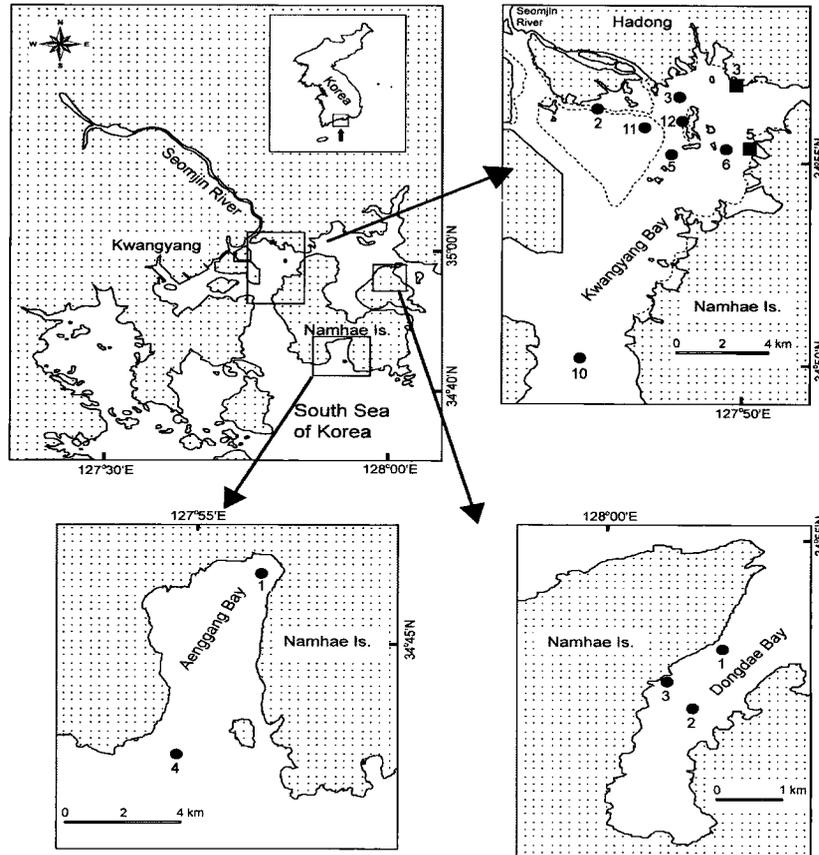


Fig. 14. 현장채집 지역, 위에서부터 시계방향으로 광양만, 동대만, 앵강만.

#### 나. 시료의 채집과 분석준비

##### 1) 이화학 조사와 입자물질 및 퇴적물 채취

수온과 염분은 CTD meter로 현장에서 측정하였다. 안정동위원소 분석을 위하여 현장 해수 약 5 L를 채수하여 여과지를 이용하여 부유입자물질을 여과하였으며, 10% 염산(HCl) 2~3 방울을 가해서 탄산칼슘을 제거하고 증류수로 세척한 후 동결건조하여 냉동 보관하였다. 퇴적물은 소형 core를 이용하여 현장에서 채취하고 동결하여 실험실로 운반한 후 일정량(약 200 g)의 퇴적물을 10% 염산(HCl)으로 처리하여 탄산칼슘 등의 무기탄소를 제거하고 증류수로 세척하여 동결건조한 후 전기분쇄기를 이용하여 고운 분말을 만들어 안정동위원소 분석을 위해서 냉동 보관하였다.

##### 2) 잘피와 잘피엽체에 서식하는 부착조류

잘피는 각 조사지점에서 엽조(shoot)와 근경(rhizome)을 절단하여, 엽조는 방형구를 이용하여 채집하였고, 근경은 코어채집기를 이용하여 채집하였다. 부착조류는 반복 채집된 잘피를 실험실로 옮긴 뒤, 슬라이드 글라스를 이용하여 잘피잎 표면을 긁어낸 후,

부착조류를 분리하였다.

### 3) 대형 무척추동물

저서동물의 채집은 조사정점을 대상으로 하여 채집면적이 0.1m<sup>2</sup>인 van Veen grab(채니기)을 이용하여 정점별로 2회(0.2m<sup>2</sup>)씩 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 1mm 망목의 체(sieve)를 사용하여 퇴적물과 분리하고, 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 현미경으로 검경하여 종 동정을 실시하였다. 안정동위원소 분석용 시료는 고정과정이 없이 현장에서 동결하여 실험실로 운반한 후 깨끗하게 세척하여 냉동 보관하였다. 동정은 실험실에서 해부현미경을 이용하여 가능한 종 수준까지 분류하였다. 현장조사를 기초로 생물지수(출현 종수, 개체수 및 생체량)는 단위면적당(m<sup>2</sup>)으로 환산하여 기술하였다.

### 4) 동물플랑크톤과 어류시료 채집

동물플랑크톤은 원추형 Norpac net(망목 330 $\mu$ m, 망구 0.45m, 길이 2m)로 저층에서 표층까지 수직 채집하였고, 밀집분포에 대한 오차를 줄이기 위하여 정점당 2회씩 반복 채집하고 냉장하여 실험실로 운반한 후 현미경으로 대분류 분급하여 냉동 보관하였다. 어류의 채집은 개선된 저인망(modified otter trawl)을 이용하여 평균 2 knot로 15분간 예인하였고, 인망 후 채집된 시료는 냉장 보관하여 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반한 시료는 종별로 선별하여 개체수와 생물량을 계측 및 동정하였다. 안정동위원소 분석용 어류 시료는 고정과정 없이 현장에서 동결하여 실험실로 운반하여 근육부위를 절개 채집한 후 동결 보관하였다. 어류시료는 methanol과 chloroform을 이용하여 lipid extraction을 수행한 후, 건조하여 분말화한 뒤, 분석 시까지 데시케이터에 보관하였다.

### 5) 군집구조분석

저서동물의 군집구조를 파악하기 위하여, 종다양도 (Shannon and Weaver, 1949), 종풍부도 (Margalef, 1958), 종균등도 (Pielou, 1975)와 종우점도(Simpson, 1949) 등의 생태학적 지수를 구하였다. 출현 종과 개체수의 자료를 이용한 집괴분석은 Bray and Curtis(1957)의 상사도지수(similarity index)를 이용하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 시기와 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 적용하였다. 통계분석은 PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 수지도 (dendrogram)와 다차원배열법 (MDS ordination)으로 표현하였다.

### 다. 안정동위원소비분석

채집된 모든 시료들은 현장에서 아이스박스에 얼음과 함께 채워 실험실로 운반하

였다. 실험실에서 먼저 입자물질 및 플랑크톤 등의 시료는 원심분리를 하여 포집하였고, 생물시료는 종 단위까지 생물을 분류한 후 잘 세척하여 식물의 잎은 절단하고 동물체는 조심스럽게 근육부위를 절개 혹은 절단하여 동결건조를 하였으며, 건조된 시료는 잘 갈아서 미세한 분말을 만들고 분석 때까지 데시케이터에 보관한 후 이 분말들을 약 1-2 mg 분취하여 분석에 이용하였다.

안정동위원소조성은 CNS 원소분석기와 연결된 Micromass사의 IsoPrime급 안정동위원소 질량분석기(IRMS, Isotope Ratio-Mass Spectrometer)를 이용하여 분석하였다. 동·식물체, 입자물질과 퇴적물 등의 각종 시료가 가지는 안정동위원소 비값은 아래 식과 같이 표준물질에 대한 시료의 그 비값 변위를 천분율 (‰)로 나타내어  $\delta$  기호로 표현하게 되는데, 여기서 사용한 표준물질은 탄소의 경우는 PDB (Pee Dee Belmnite)와 질소의 경우 air N<sub>2</sub> 등 국제표준 기준을 사용하였다.

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left[ \frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left[ \frac{\left(\frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}\right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}\right)_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000$$

본 연구에서 동위원소 분석을 위한 carrier gas로는 헬륨 (He) 가스를 이용하였고, 원소분석기의 온도를 1030℃로 조절하여 모든 유기물을 완전 연소시킨 후 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 가스를 헬륨으로 안정동위원소 질량분석기로 주입하여 각 원소를 측정하고 위의 식에 따라 국제 표준에 맞는 동위원소 비값을 계산하였다. 이를 위해서 내부 표준물질로 동위원소 비 값을 알고 있는 peptone을 이용하였다. 한편, 각각 총 20개의 peptone과 lysine을 이용하여 안정동위원소를 분석한 결과 standard deviation은 탄소에서 ± 0.1‰과 질소에서 ± 0.2‰을 나타내어 매우 높은 정밀도와 재현성을 나타내었다.

## 제 2 절 연구 내용 및 결과

### 1. 연구내용

가. 인공 잘피서식지 조성을 위한 잘피이식 방법 및 잘피묘 생산기술 개발

- 1) 적정 장소 선정 개발을 위하여 대상 지역의 환경요인을 정량화하여 평가
- 2) 저질의 차이에 따른 효과적인 이식 방법 선정
- 3) 실제적인 규모의 인공 잘피서식지 조성 및 이식된 잘피의 생존능 측정
- 4) 이식된 잘피의 생리생태학적 특성
- 5) 효과적인 잘피 이식묘의 대량생산
- 6) 시비가 이식된 잘피에 미치는 영향

나. 인공 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원 조성 효과 평가

- 1) 연성저질로 구성된 생태계와 잘피 군락 생태계 비교
- 2) 저서 및 부유생물 군집구조와 먹이그물 비교 분석
- 3) 잘피서식지 복원 기간에 따른 효과 평가
- 4) 저서 및 부유생물군집 조성효과 및 주변 생태계에 미치는 영향 평가
- 5) 잘피서식지 복원이 먹이망에 미치는 효과 평가
- 6) 잘피서식지 조성 기술의 현장적용 가능성 평가
- 7) 잘피서식지 조성으로 인한 수산생산성 및 경제성 효과 평가

### 2. 연구결과

가. 인공 잘피서식지 조성을 위한 잘피이식 방법 및 잘피묘 생산기술 개발

- 1) 적정 잘피서식지 조성 장소 선정 기법개발

적정잘피서식지 조성 장소 선정을 위하여 7개 지역에서 잘피의 분포와 성장을 조절하는 물리화학적 환경요인을 정량화하였다. 각 예비 선정지역에서 과거 잘피의 분포 여부와 현재 잘피서식지의 존재 여부를 파악하였다. 빛은 잘피의 성장과 분포에 가장 중요한 환경요인이므로(Lee and Dunton 1997) 잘피 잎 조직에 도달하는 빛을 감소시키는 요인들을 조사하였다. 수중 광량의 감소를 정량화하기 위하여 light attenuation coefficient( $K_d$ )를 측정하였고, 수층의 부유물 입자량과 엽록소 농도를 측정하였다. 저질과 해수의 무기영양염류의 농도를 측정하였으며, 각 지역의 생물교란 정도를 파악하였다(Table 1). 각 환경 요인의 등급을 곱하여 16보다 높은 값을 가지는 장소를 적정 잘피서식지 조성 장소로 결정하였다(Table 3). 거제도 다포가 가장 적합한 지역으로 평가되었고, 마산 내포와 명주, 남해 앵강만 또한 적합한 잘피서식지 조성 장소로 평가되었다.

Table 1. 잘피서식지 적합성을 평가하기 위한 환경 요인 등급

Parameter	PTSI rating	Reference
Historical eelgrass distribution (HED)	1 for previously unvegetated 2 for previously vegetated	Fonseca et al. (1998)
Light attenuation coefficient ( $K_d$ )	1 for $> 0.5 K_d$ 2 for $< 0.5 K_d$	
Total suspended solid (TSS)	1 for $> 50 (mg/\ell)$ 2 for $< 50 (mg/\ell)$	Batiuk et al. (1992)
Water column chlorophyll (WC)	1 for $> 10 (\mu g chl/\ell)$ 2 for $< 10 (\mu g chl/\ell)$	Batiuk et al. (1992)
Water column nutrient (WN)	0 for poor or eutrophic 1 for good	
Sediment pore water nutrient (SN)	0 for poor or eutrophic 1 for good	
Sediment type (ST)	0 for rock or cobble 1 for $>70\%$ silt-clay 2 for $<70\%$ silt-clay	Short (1987, 1993)
Bioturbation (BT)	1 for existence 2 for absence	

Table 2. 잘피서식지 조성을 위한 예비 선정지역의 환경 요인.

	HEM	$K_d$	TSS ( $mg/\ell$ )	WC ( $\mu g/\ell$ )	ST (%)	BT	WN ( $\mu M$ )			SN ( $\mu M$ )		
							$NH_4^+$	$NO_2^- + NO_3^-$	$PO_4^{3-}$	$NH_4^+$	$NO_2^- + NO_3^-$	$PO_4^{3-}$
다포	○	0.34	23.3	7.2	18	×	2.5	0.6	0.2	111.1	0.7	8.9
낙동강	○	1.89	57.7	21.4	75	×	5.4	13.3	1.0	407.8	5.2	10.4
일광	○	0.29	18.7	6.6	Rock	×	2.7	4.1	0.2	78.5	1.0	5.5
명주	○	1.19	21.5	6.0	61	○	4.9	0.6	0.2	543	1.0	71.28
내포	○	0.38	21.6	6.5	63	○	4.5	0.5	0.3	521	1.0	69.3
앵강만	○	0.30	34.5	8.2	12	○	0.6	0.2	0.2	70	1.8	4.3
수영만	×	ND	54.4	23.5	ND	×	156.4	60.2	10.0	ND	ND	ND

ND : no data

Table 3. 잘피서식지 조성을 위한 예비 선정지역의 환경 요인 등급 및 이식 적정도 평가

	HEM	K <sub>d</sub>	TSS	WC	BT	ST	WN	SN	Score
다포	2	2	2	2	2	2	1	1	64
낙동강	2	1	1	1	2	1	1	1	4
일광	2	2	2	2	2	0	1	1	0
명주	2	1	2	2	1	2	1	1	16
내포	2	2	2	2	1	2	1	1	32
앵강만	2	2	2	2	1	2	1	1	32
수영만	1	ND	1	1	2	ND	0	1	0

ND : No data

## 2) 저질의 차이에 따른 적정 이식 방법 선정

이식된 잘피의 생존 개체수의 변화를 2개월 단위로 측정하였다. 사질로 이루어진 거제 다대에서 이식 6개월 후 staple 기술을 이용한 이식의 경우 생존 개체수가 이식개체의 약 128%로 증가하여 TERFS를 이용한 경우의 76%, 패각을 이용한 경우의 4% 생존율보다 월등히 높았다(Fig. 15A). 사니질로 구성된 마산 명주에서도 staple 기술을 이용한 경우 6개월경과 시 개체수가 초기이식수보다 약 121%로 증가하여, 이식망을 이용한 경우(약 88%)나 패각을 이용한 경우(84%)보다 높았다(Fig. 15B). 니질로 이루어진 고성 신월에서도 6개월경과 후 개체의 생존율이 staple method로 이식한 경우 131%로 패각을 이용한 경우(90%) 보다 높았다(Fig. 15C).

Staple method를 이용한 이식이 모든 조사장소에서 높은 생존율을 나타내었으며, 사니질의 명주와 니질의 신월에서는 3가지의 이식 방법 모두 80% 이상의 생존율을 나타내어, 대량 이식 시 작업의 경제성을 기준으로 이식 방법을 선정하는 것이 적절할 것으로 사료된다. 한 편, 사질로 이루어진 다대에서는 패각을 이용하는 방법의 경우 생존율이 현저히 낮았는데, 이는 지하부 조직이 저질에 착생하기 전에 조류의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 사료된다.

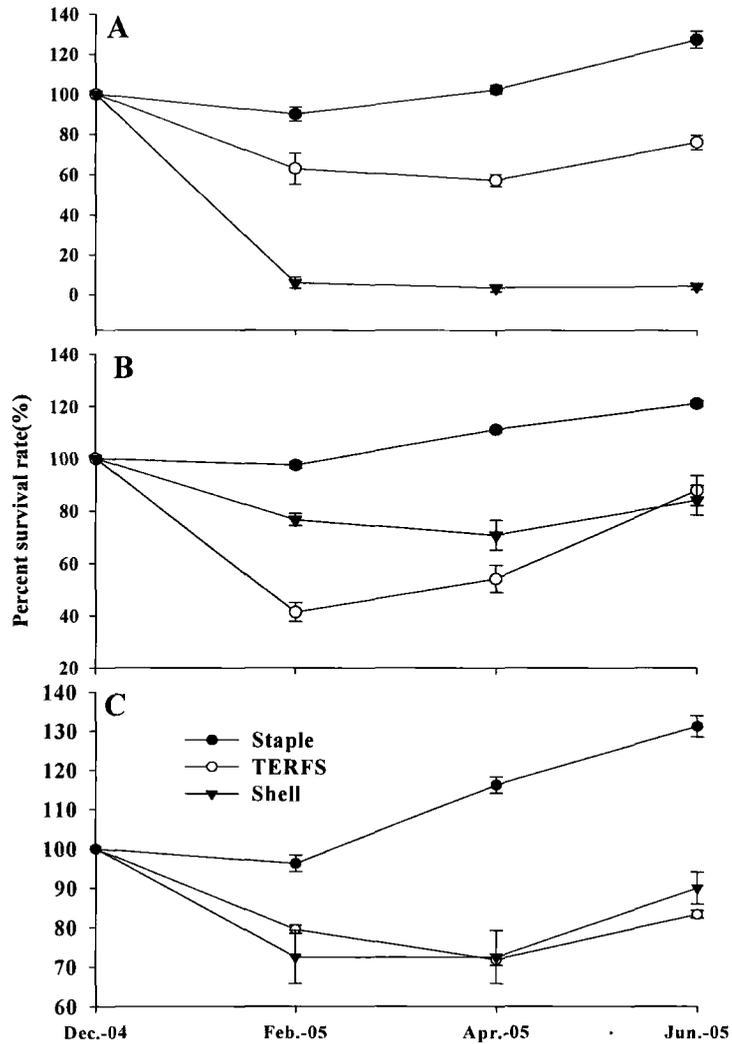


Fig. 15. 이식 방법에 따른 이식잘피의 생존율. 거제 다대(A). 마산 명주(B). 고성 신월(C).

### 3) 인공 잘피서식지 조성 및 이식된 잘피의 생리생태학적 특성

#### 가) 실제적인 규모의 인공 잘피서식지 조성 및 이식된 잘피의 생존률

실제적인 규모의 인공 잘피서식지 조성을 위하여 거제만의 다포(1, 2차년도), 남해 앵강만(1차년도), 울산 일산지역(2차년도), 진동만의 내포(3차년도)를 선정하고 인공 잘피서식지를 조성하였다(Fig. 5).

1차년도에 조성한 남해 앵강만과 거제도 다포의 인공 잘피서식지에서 이식 잘피의 개수를 측정하였다(Fig. 16). 남해 앵강만의 이식 잘피 수는 인공 잘피서식지를 조성한 이후 지속적으로 증가하였으며 2005년 7월과 12월에 급격히 증가하였다. 2006년 5월에는 단위면적당 개체수가 243.2 shoots m<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났다. 다포에 이식된 잘피 개체는 겨울과 봄을 지나면서 급속히 증가하여 2005년 7월에는 이식 밀도의 5배를 초과하는

114 shoots  $m^{-2}$  까지 증가하다가 가을을 지나면서 감소하였고, 2006년 봄에 다시 95 shoots  $m^{-2}$ 로 증가하였다. 반면, TERFS로 이식된 잘피는 2005년 봄에 개체 수가 소폭 증가하다가 2006년 봄에 급속히 증가하여 최초 이식한 개체의 3배를 초과하는 107 shoots  $m^{-2}$ 로 최대 개체 수를 나타내었다. 다포의 개체 수는 초기에 앵강만보다 빠르게 증가하였으나 2005년 9월부터 다포의 개체 수는 감소한 반면 앵강만의 개체 수는 꾸준히 증가하여 2006년 6월에는 두 지역의 개체 수가 2배의 차이를 나타내었다. 1차년도에 조성된 거제도 다포와 앵강만의 인공 잘피서식지는 생존률의 안정화를 보이며, 각 서식지에 잘 적응하고 있다는 것을 알 수 있다.

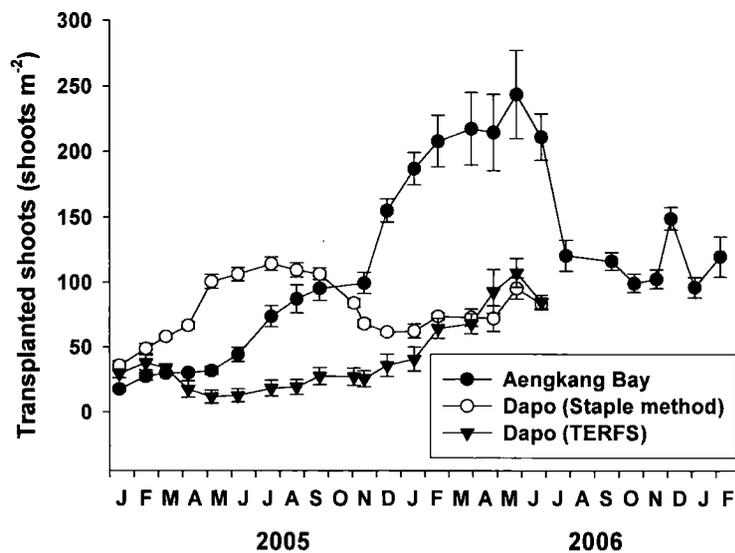


Fig. 16. 거제도 다포와 남해 앵강만의 인공 잘피서식지 내 잘피의 개체수 변화.

2차년도에는 거제도 다포에 이식한 개체들은 이식 4개월에 3 shoots  $m^{-2}$ 로 최저치를 보이다가 서서히 증가하고 있지만, 1차년도에 이식된 개체들과 비교할 때 초기 생존 개체의 비율이 현저히 낮은 것으로 조사되었다(Fig. 17A). 일산해수욕장에 이식한 개체들은 30cm, 50cm, 70cm의 간격을 두고 이식을 실행하였다(Fig. 17B). 이들은 각각 처음 2개월까지는 급격한 감소를 보였으나 이후 서서히 회복하여 2006년 6월에 급격히 증가하였다. 70cm의 간격으로 이식한 지역의 개체수가 가장 낮으며, 30cm와 50cm의 간격으로 이식한 지역은 초기에는 차이를 보였으나 6월에는 인공 잘피서식지 내 잘피 개체 수가 비슷해졌다. 따라서 2006년 6월까지 50cm간격으로 이식한 지역이 생존률 및 분지 향상효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. 3차년도에 조성된 진동만의 내포 인공 잘피서식지 내 잘피 개체 수는 이식 초기에 낮은 생존률을 보였으나 서서히 개체 수가 증가하여 2007년 3월에 20.5 shoots  $m^{-2}$ 로 가장 높았다(Fig. 18)

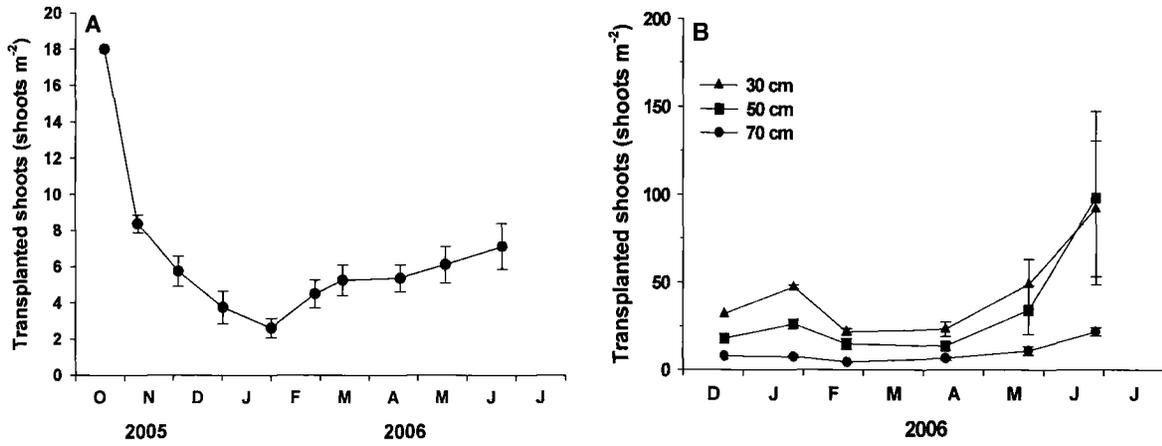


Fig. 17. 2005년 10월 및 12월에 각각 조성된 다포(A)와 일산해수욕장(B)의 인공 잘피서식지 내 이식 잘피의 개체 수 변화.

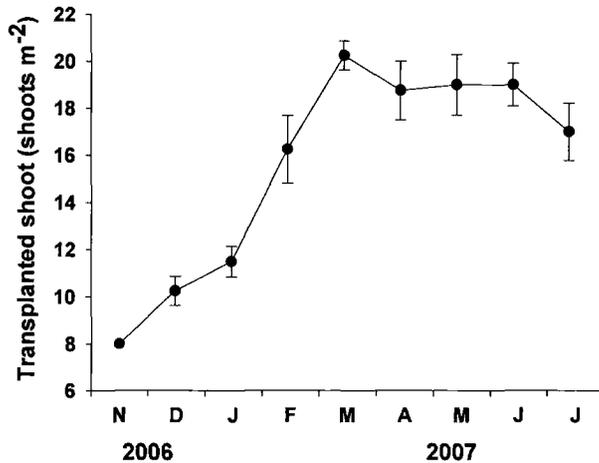


Fig. 18. 2006년 11월에 조성된 진동만 내포 지역의 인공 잘피서식지내 이식 잘피의 개체 수 변화.

나) 이식된 잘피의 생리생태학적 특성

이식된 잘피의 생리생태학적 특성은 1차년도에 조성된 거제도 다포의 인공 잘피서식지에서 이식 방법(TERFS, Staple method)에 따른 생리생태학적 특성을 지속적으로 모니터링 하였다. 또한 1차년도와 3차년도에 각각 이식한 남해 앵강만과 진동만 내포의 인공 잘피서식지를 자연 잘피서식지와 비교하였다.

(1) 물리화학적 환경요인

조사기간 중 다포의 수중 광량은 일평균 33.4 mol photons m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>이었다(Fig.

19A). 2006년 평균 수중 광량은 2005년에 비해 다소 높게 나타났다. 다포지역의 수온은 뚜렷한 계절적인 변화를 보이고 있으며, 평균 수온은 13°C였다(Fig. 19B). 2006년 2월초에 7.2°C로 가장 낮게 나타났고, 2005년 6월에 20.8°C로 최고치를 나타내었다.

앵강만 인공 잘피서식지의 수중 광량은 일평균 26 mol photons m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>로 나타났으며 4월에 75.4 mol photons m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>로 가장 높게 나타났다(Fig. 20A). 수온은 2월에 5.1°C로 가장 낮고 7월에 25.1°C로 가장 높았다(Fig. 20B). 내포 지역의 인공 잘피서식지 수중 광량은 일평균 62.9 mol photons m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>로 나타났으며 2007년 3월에 214 mol photons m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>로 가장 높게 나타났다(Fig. 21A). 내포 잘피서식지의 일평균 수온은 14.2°C로 2007년 2월에 가장 낮았고, 2007년 7월에 가장 높은 값을 나타내었다(Fig. 21B).

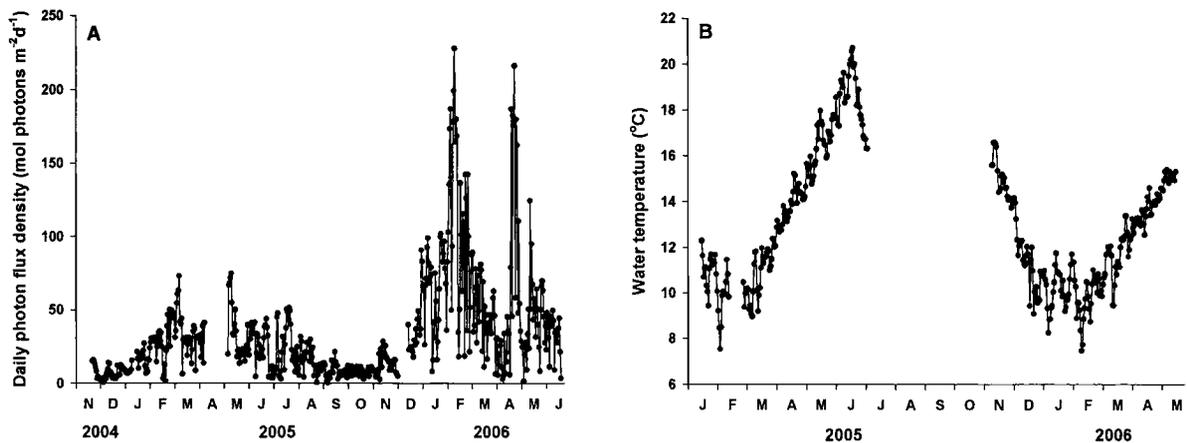


Fig. 19. 거제만 다포지역에 조성된 인공 잘피서식지의 일일 평균 수중광량(A)과 평균 수온(B).

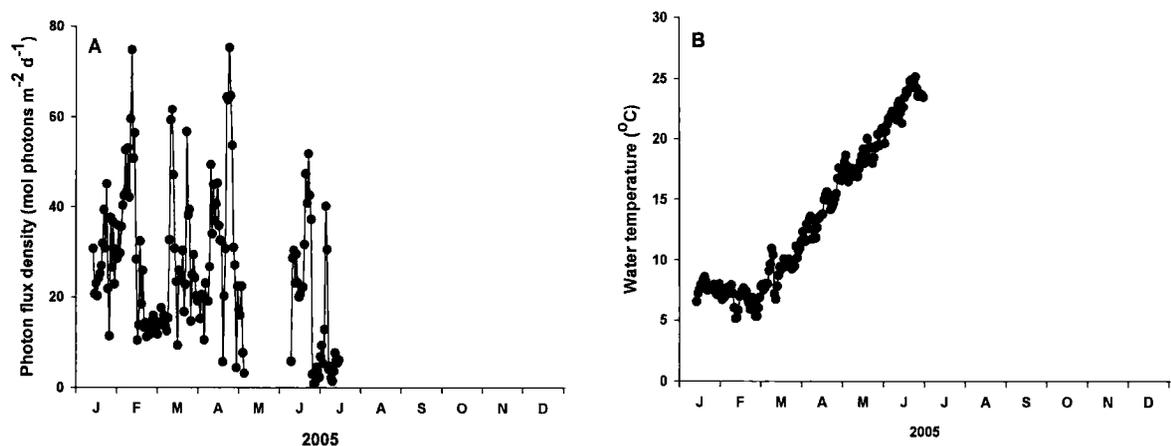


Fig. 20. 남해 앵강만 지역에 조성된 인공 잘피서식지의 일일 평균 수중광량(A)과 평균 수온(B). 2005년 7월 이후의 수중광량과 수온 데이터는 지역의 특성상 센서의 설치 불가능하여 측정할 수 없었다.

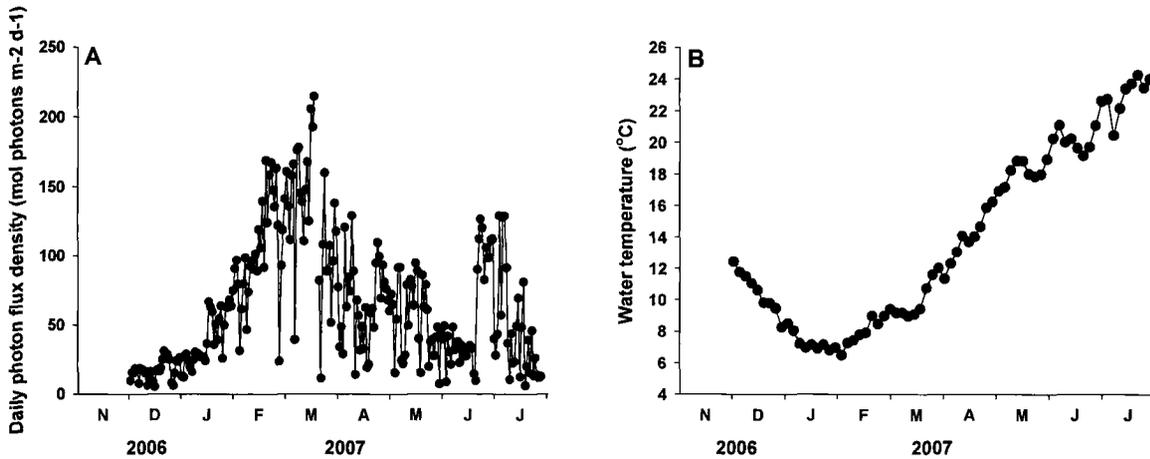


Fig. 21. 진동만 내포 지역에 조성된 인공 잘피서식지의 일일 평균 수중광량(A)과 평균 수온(B).

앵강만과 다포의 인공 잘피서식지 내 수층의  $\text{NH}_4^+$ 의 농도는 서로 유사한 계절적인 분포를 보였다(Fig. 22A). 앵강만과 다포 모두 봄과 가을에 높게 나타났으며 여름과 겨울에 낮은 계절성을 보였다. 내포지역의  $\text{NH}_4^+$ 의 농도는 계절성을 보이지 않으며, 평균 농도가  $2.4\mu\text{M}$ 로 분포한다(Fig. 22D). 수층의  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ 의 농도는 앵강만과 다포 모두 뚜렷한 계절변화를 나타내지 않았다(Fig. 22B). 앵강만은 2006년 6월에  $6.3\mu\text{M}$ 로 가장 높게 나타났으며 2005년 5월에  $0.2\mu\text{M}$ 로 가장 낮게 나타났다. 다포는 2005년 12월에  $9.3\mu\text{M}$ 로 가장 높았으며, 2005년 4월에  $0.4\mu\text{M}$ 로 가장 낮았다. 내포의 경우 뚜렷한 계절변화는 나타나지 않으며, 2006년 12월에  $7.3\mu\text{M}$ 로 가장 높았고, 2007년 6월에  $0.5\mu\text{M}$ 로 가장 낮았다(Fig. 22E). 수층의  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 농도 역시 앵강만과 다포 모두 계절적인 경향은 보이지 않았다(Fig. 22C). 수층의  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 다포가 앵강만보다 높게 나타났다. 앵강만은 2006년 6월에  $0.8\mu\text{M}$ 로 가장 높게 나타났고, 2005년 3월에  $0.3\mu\text{M}$ 로 가장 낮았다. 내포의  $\text{PO}_4^{3-}$  농도 역시 계절성이 나타나지 않으며 2006년 11월에  $1.7\mu\text{M}$ 로 가장 높고, 2007년 7월에  $0.7\mu\text{M}$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 22.F).

앵강만의 퇴적물 공극수  $\text{NH}_4^+$  농도는 자연 및 인공 잘피서식지에서 비슷한 분포를 보였으며 자연 잘피서식지가 약간 높게 나타났다(Fig. 23A). 앵강만에서 퇴적물 공극수의  $\text{NH}_4^+$  농도는 여름에 가장 낮게 나타났으며 가을과 겨울에 약간 높은 경향을 보였다. 다포 지역의 퇴적물 공극수  $\text{NH}_4^+$  농도는 2006년 2월에  $231.8\mu\text{M}$ 로 가장 높게 나타났다(Fig. 23D). 앵강만의 퇴적물 공극수  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  농도는 자연 서식지와 인공 서식지에서 유사한 분포를 보였으나, 2007년 6월부터 인공 잘피서식지의 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 23B). 다포 지역의 경우 퇴적물 공극수  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ 의 농도는 앵강만보다 대체로 낮게 나타났으며, 다포 역시 겨울과 초봄에 높은 경향을 볼 수 있었다(Fig.

23E). 앵강만의 퇴적물 공극수  $\text{PO}_4^{3-}$  농도 역시 자연 서식지와 인공 서식지에서 유사한 분포를 보이고 있으며, 2006년 2월에 가장 높게 나타났다(Fig. 23C). 다포 지역의 퇴적물 공극수  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 계절적인 변화를 보이지 않으며, 앵강만 보다 다소 높은 경향을 보였다(Fig. 23F). 내포 지역의 인공 잘피서식지 내 퇴적물 공극수의  $\text{NH}_4^+$  농도는 타 지역에 비해 크게 낮은 것으로 나타났으며, 2007년 2월에  $44\mu\text{M}$ 로 가장 높게 나타났다(Fig. 24A). 내포 지역의 퇴적물 공극수  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ 의 농도는 다른 서식지 보다 높은 값을 나타내고 2007년 2월에  $77\mu\text{M}$ 로 가장 높게 나타났다(Fig. 24B). 퇴적물 공극수의  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 다른 지역보다 낮게 분포하며, 2007년 6월  $5.6\mu\text{M}$ 로 가장 높게 나타났다(Fig. 24C).

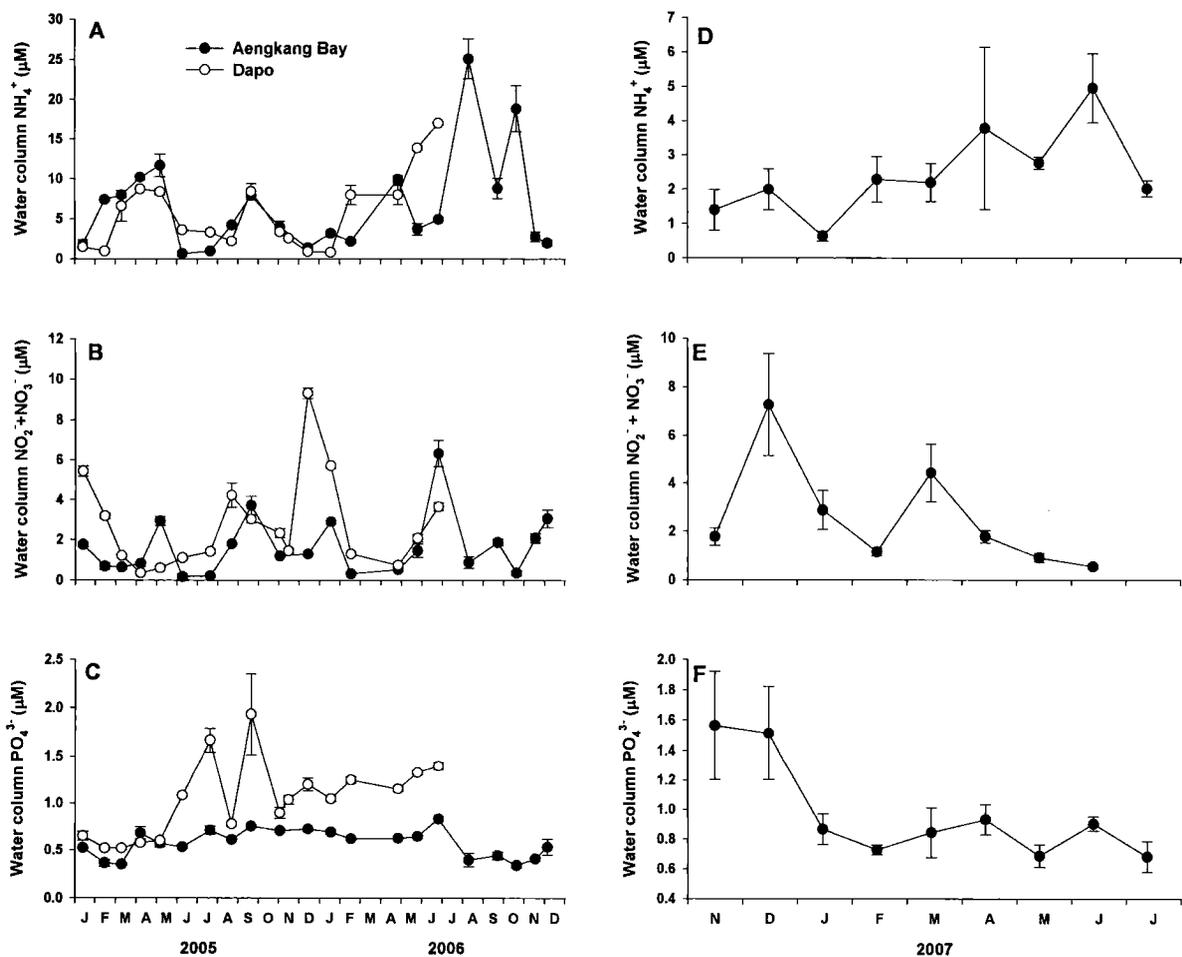


Fig. 22. 남해 앵강만과 거제 다포지역의 인공 잘피서식지 내 수층의 무기영양염 농도(A, B, C)와 진동만 내포지역의 인공 잘피서식지 내 수층의 무기영양염 농도(D, E, F).

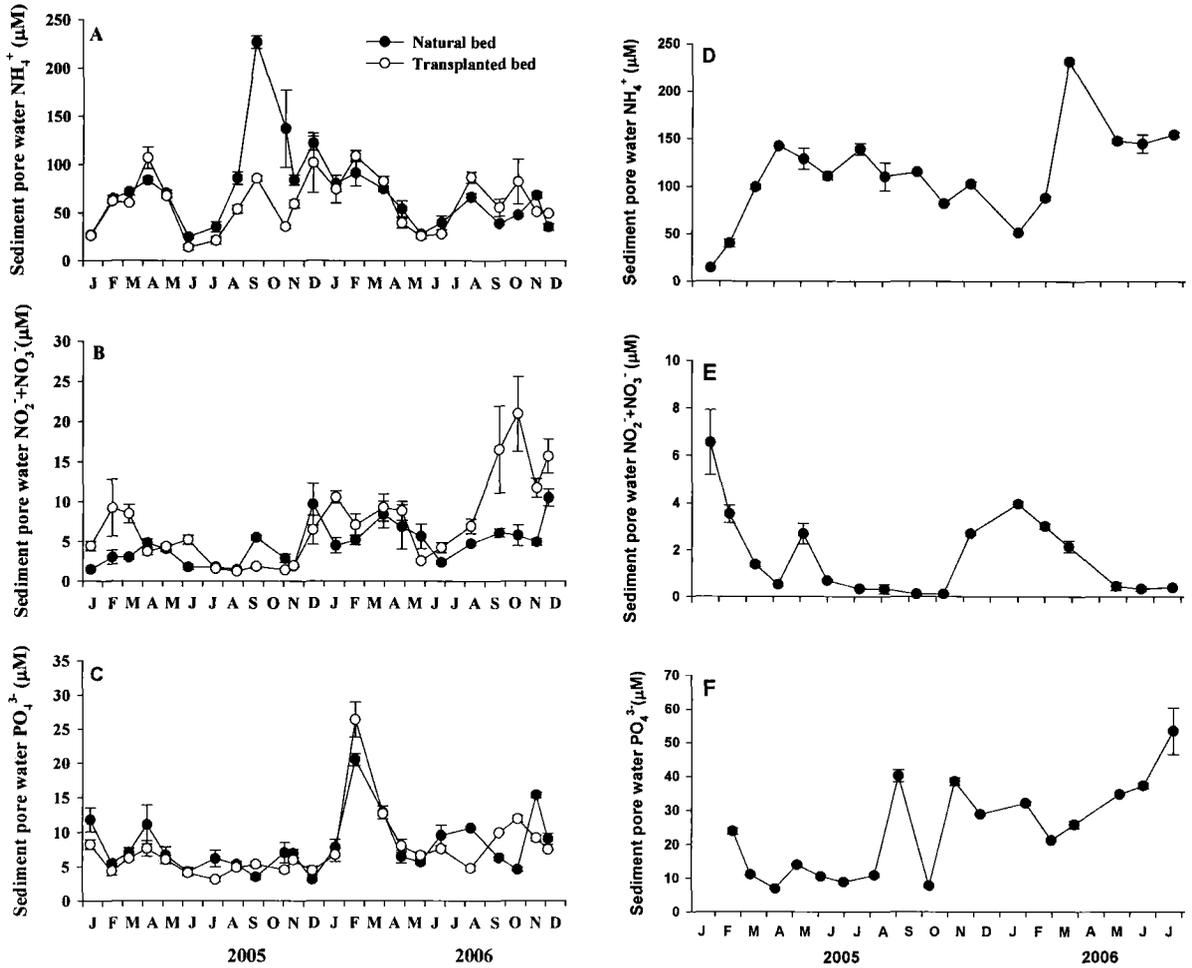


Fig. 23. 남해 앵강만 지역의 자연 잘피서식지와 인공 잘피서식지의 퇴적물 공극수의 무기영양염 농도(A, B, C). 거제 다포지역의 인공 잘피서식지 내 퇴적물 공극수의 무기영양염 농도(D, E, F).

(2) 이식된 잘피의 형태학적 특성

앵강만 자연 잘피서식지의 개체 크기는 봄과 여름에 증가하고 가을과 겨울에 감소하는 계절성을 나타내었다(Fig. 25A). 인공 잘피서식지의 개체 크기는 이식 초기에 약간 감소하였으나 시간이 지남에 따라 점차 증가하였다. 인공 잘피서식지 잘피의 크기는 이식 초기에는 자연 잘피서식지 잘피 개체보다 작았으나 2005년 9월부터는 거의 차이가 나지 않았다. 인공 잘피서식지 잘피는 이식 초기에는 계절적인 경향을 보이지 않았으나 2006년 봄부터 증가하기 시작한 잘피의 크기는 자연 잘피서식지와 유사한 계절성을 보였으며 2006년 6월에는 자연 잘피 개체보다 크게 나타났다. 앵강만에서 자연 잘피서식지와 인공 잘피서식지의 개체 당 잎의 수는 겨울과 봄에 증가하고 여름에 감소하는 경향을 보였다(Fig. 25B). 자연 잘피서식지 잘피의 개체 당 잎의 수는 이식된 잘피의 개체 당 잎의 수보다 많았으나, 2005년 7월부터 유의한 차이를 보이지 않았다. 잘피 잎의 너비는 자연

잘피와 이식 잘피 개체 모두 봄과 여름에 증가하고 겨울에 감소하는 계절적인 경향을 보였다(Fig. 25C). 잘피 잎의 너비는 전반적으로 자연 잘피 개체가 더 넓게 나타났으나, 2006년 5월부터 두 지역의 잎의 너비 차이는 나타나지 않았다. 잎 너비의 계절적인 변동 양상은 이식 잘피 개체가 더 크게 나타났다.

다포 지역에서 이식 방법에 따른 개체 크기의 차이는 거의 없었으나 2006년 1월에 TERFS로 이식한 지역의 잘피 개체 크기가 크게 감소하였다가 2006년 6월에는 동일한 크기를 보였다(Fig. 25D). 앵강만과 다포의 이식 잘피의 크기는 이식 초기에 크게 감소하였는데 이는 잎의 탈락과 함께 잎의 성장이 원활하지 않아서 나타난 결과로 추정된다. 다포 지역에서 인공 잘피서식지 잘피 잎의 개수는 두 지역 모두 계절성을 보이지 않았으나, 변동 양상은 유사한 경향을 보였다(Fig. 25E). TERFS와 staple method에 따른 잎의 너비 차이는 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 25F). 잘피 잎의 너비는 두 지역 모두 이식 초기에 다소 감소하였으나, 2005년 4월부터 안정화되었다.

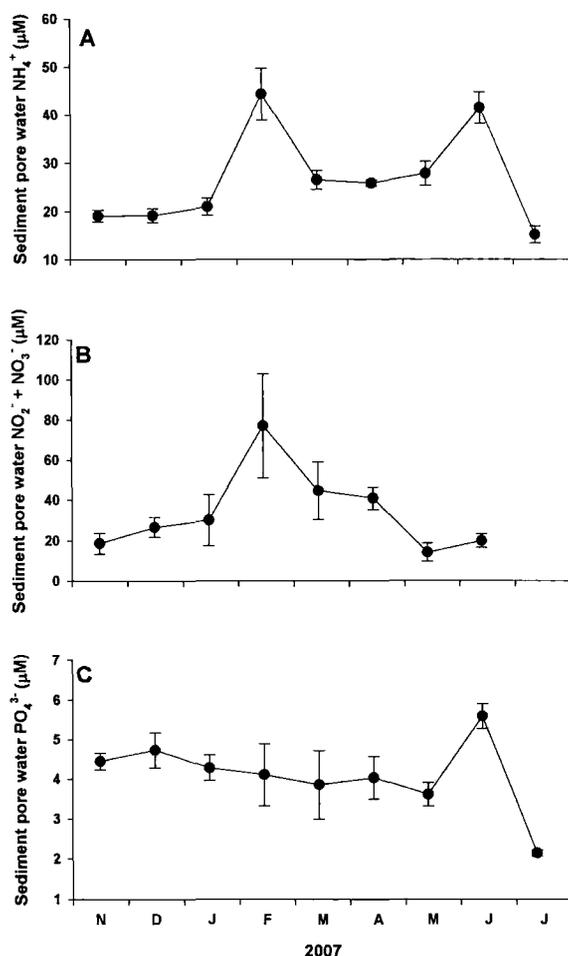


Fig. 24. 진동만 내포 지역에 조성된 인공 잘피서식지 퇴적물 공극수의 무기영양염 농도.

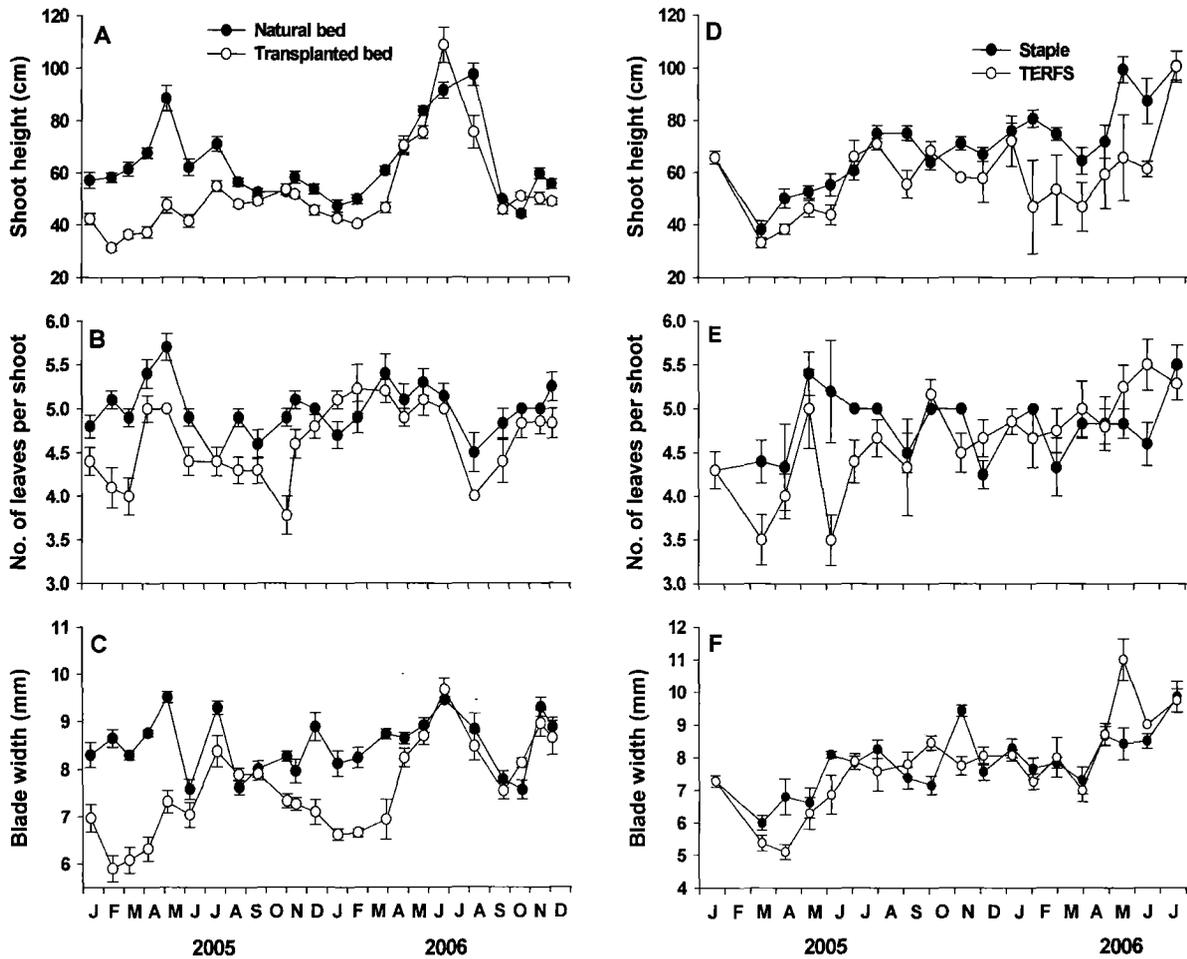


Fig. 25. 남해 앵강만의 자연 잘피서식지와 인공 잘피서식지 내 잘피의 형태학적 특성 차이(A, B, C)와 거제 다포에서 이식방법(TERFS와 staple method)에 따른 잘피 개체의 형태학적 특성 차이 (D, E, F).

내포에 조성된 인공 잘피서식지 개체의 크기는 자연 잘피 개체와 비교했을 때 이식초기에는 자연 잘피 개체보다 작았으나 2007년 4월 이후로는 개체의 크기에 있어 차이가 거의 나타나지 않는다(Fig. 26A). 또한 수온의 상승과 더불어 개체의 크기가 증가함을 알 수 있었다. 잎의 수에 있어서 인공 잘피서식지 개체는 자연 잘피서식지 개체와 유의한 차이를 보이지 않으며 수온 상승과 더불어 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 26B). 잎의 너비 역시 이식된 잘피 개체와 자연 잘피 개체가 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 이식된 잘피 개체와 자연 잘피 개체는 수온이 따뜻해짐에 따라 약간 증가하는 경향을 보였다(Fig. 26C). 내포 지역의 이식된 잘피 개체의 형태학적인 특성은 시간이 지남에 따라 앵강만과 다포 지역의 이식된 잘피 개체의 특성과 유사한 경향을 보여주고 있다.

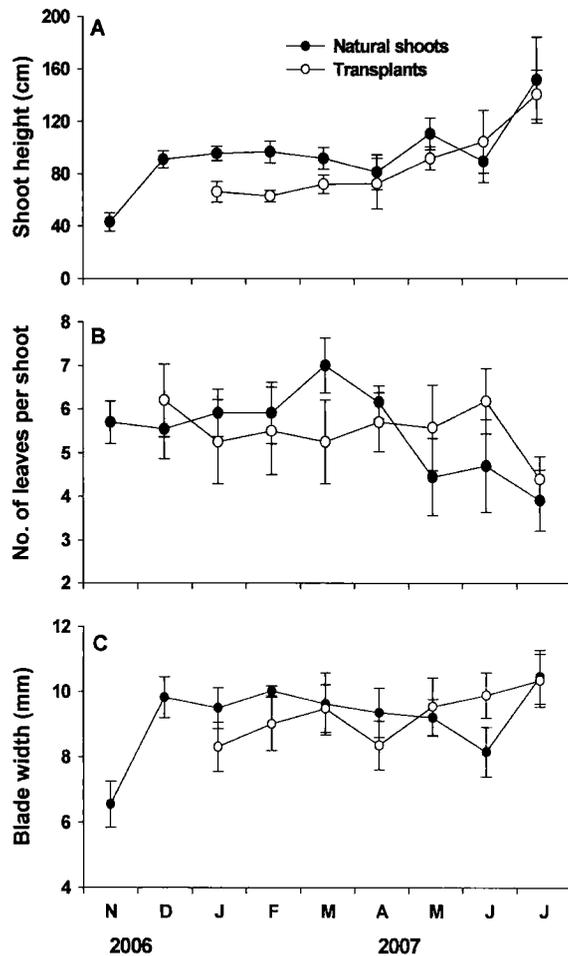


Fig. 26. 진동만 내포 지역에 조성된 잘피서식지 내 잘피의 형태학적 특성.

앵강만에서 잘피 잎의 엽록소 함량은 자연 잘피서식지와 인공 잘피서식지 모두 계절적인 변화를 나타내지는 않았으나 두 지역 모두 유사한 변화 양상을 보였다(Fig. 27A). 그리고 자연 잘피 개체 잎의 엽록소 함량이 이식된 잘피 개체보다 다소 높게 나타났다. 주로 가을과 초겨울에 잘피 잎의 엽록소 함량이 가장 높게 나타났다. 다포 지역에 조성한 인공 잘피서식지는 두 지역 모두 봄과 여름에 낮고 겨울에 높은 계절성을 보였으며, 두 지역의 엽록소 함량은 거의 비슷하게 나타났다(Fig. 27B). 진동만 내포 지역의 이식된 잘피 개체의 엽록소 함량은 자연 잘피 개체와 비교했을 때 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 28). 이식된 잘피 개체의 엽록소 함량이 자연 잘피 개체보다 다소 낮게 나타났으나 2007년 6월 부터는 거의 비슷한 값을 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

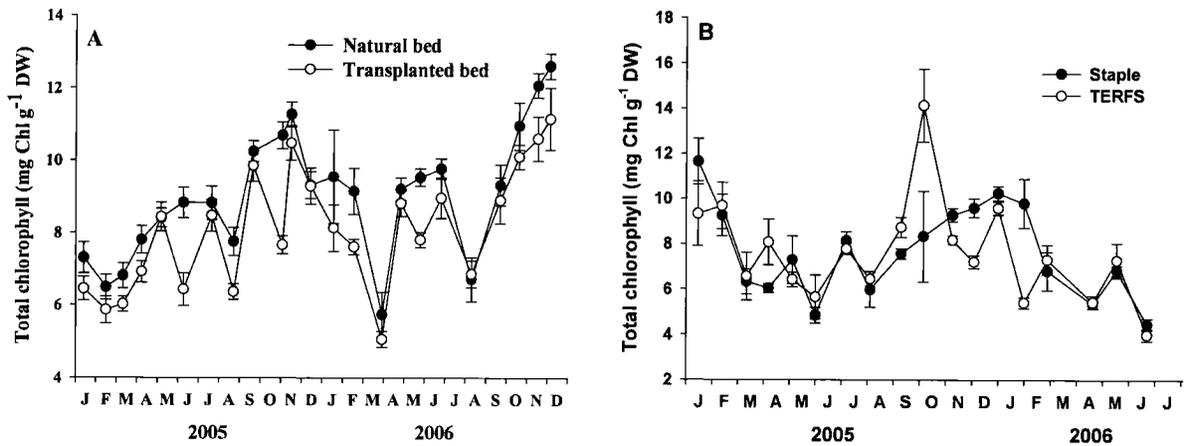


Fig. 27. 남해 앵강만의 인공 잘피서식지와 자연 잘피서식지 내 잘피 잎의 엽록소 함량 (A)과 거제 다포에 조성된 인공 잘피서식지 내 잘피 잎의 엽록소 함량(B).

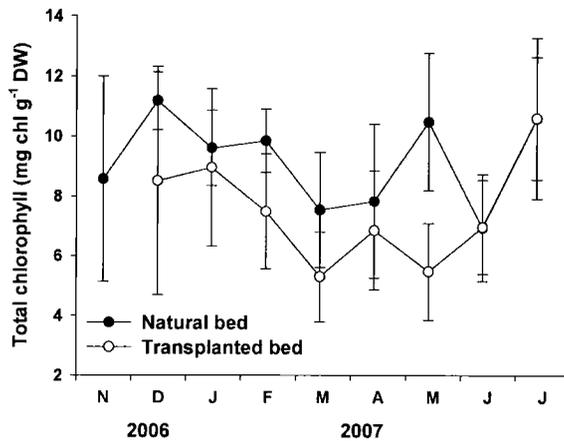


Fig. 28. 진동만 내포 지역의 인공 잘피서식지와 자연 잘피서식지 내 잘피 잎의 엽록소 함량

### (3) 이식된 잘피의 서식밀도 및 생체량

앵강만의 잘피 생육밀도는 자연 서식지가 인공 서식지보다 매우 높게 나타났다 (Fig. 29A). 자연 잘피서식지는 봄에 가장 높게 나타났고, 늦은 여름부터 서서히 감소하는 경향을 보였다. 인공 잘피서식지는 자연 잘피서식지에 비해 매우 낮은 밀도 분포를 보이거나 지속적으로 증가하였다. 앵강만의 인공 잘피서식지는 최초 단위면적당 18개체였으나, 2006년 5월엔 243.2개체로 크게 늘어난 것을 확인할 수 있었다. 따라서 인공 잘피서식지의 생육밀도는 시간이 지남에 따라 자연 잘피서식지의 생육밀도와 유사한 밀도 분포를 보일 것으로 사료된다. 다포지역의 인공 잘피서식지 생육밀도는 staple method로 이식한 지역이 TERFS로 이식한 지역보다 빠르게 증가하는 것을 볼 수 있었다(Fig. 29B). 하지만

TERFS로 이식한 지역의 생육밀도가 지속적으로 증가하여 2006년 5월부터는 staple method로 이식한 지역과 거의 유사한 분포를 보이고 있다. 인공 잘피서식지의 생육밀도는 앵강만이 다포보다 높은 것으로 나타났으며 이는 앵강만 지역이 분지향상 효과가 높다는 것을 보여준다. 내포에 조성된 인공 잘피서식지의 잘피 생육밀도는 초기에 낮은 분포를 보였으나 서서히 증가하여 2007년 3월에 20.5 shoots m<sup>-2</sup>로 가장 높았다(Fig. 30). 인공 잘피서식지의 생육밀도는 자연 잘피서식지에 비하여 유의하게 낮지만 점차 시간이 지남에 따라 비슷해 질 것으로 사료된다.

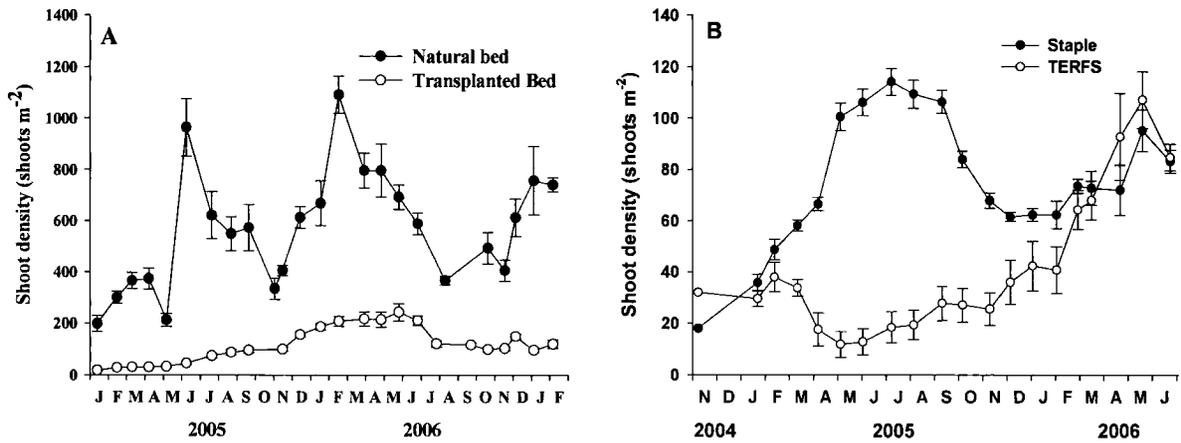


Fig. 29. 인공 및 자연 잘피서식지 내 잘피의 생육밀도 변화. 남해 앵강만의 자연 잘피서식지와 인공 잘피서식지의 생육밀도(A). 거제도 다포 지역의 인공 잘피서식지내의 이식방법에 따른 잘피의 생육밀도 변화 차이(B).

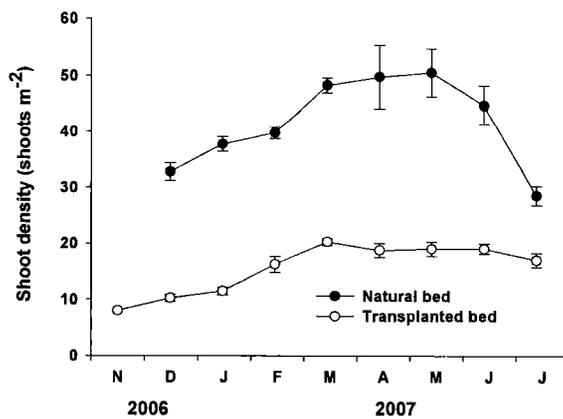


Fig. 30. 진동만 내포 지역의 인공 및 자연 잘피서식지 내 잘피의 생육밀도 변화.

앵강만 자연 잘피 개체의 단위면적당 생체량은 여름에 높고 겨울에 낮은 뚜렷한 계절성을 보였다(Fig. 31A). 인공 잘피서식지 잘피의 단위면적당 생체량은 서식지를 조성한 이후로 지속적으로 증가하는 경향을 보였고, 주로 7월에 급격하게 증가하였다. 인공 잘피서식지의 단위면적당 생체량은 자연 잘피서식지의 단위면적당 생체량보다 작게 나타났으나, 인공 잘피서식지 생체량의 지속적인 증가로 인하여 현재는 그 차이가 크게 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 다포 지역에서 staple method를 이용하여 이식한 지역의 단위면적당 생체량은 여름에 높고 겨울에 낮은 뚜렷한 계절성을 보였다(Fig. 31B). TERFS를 이용하여 이식한 지역의 단위면적당 생체량은 계절성은 보이지 않으나, 인공 잘피서식지를 조성한 이후로 지속적으로 증가하였다. 다포의 두 지역은 이식 초기에는 staple method를 이용한 잘피서식지가 생체량에 있어서 훨씬 높게 나타났으나 2006년 1월부터는 두 지역의 생체량은 거의 비슷해진 것으로 나타났다.

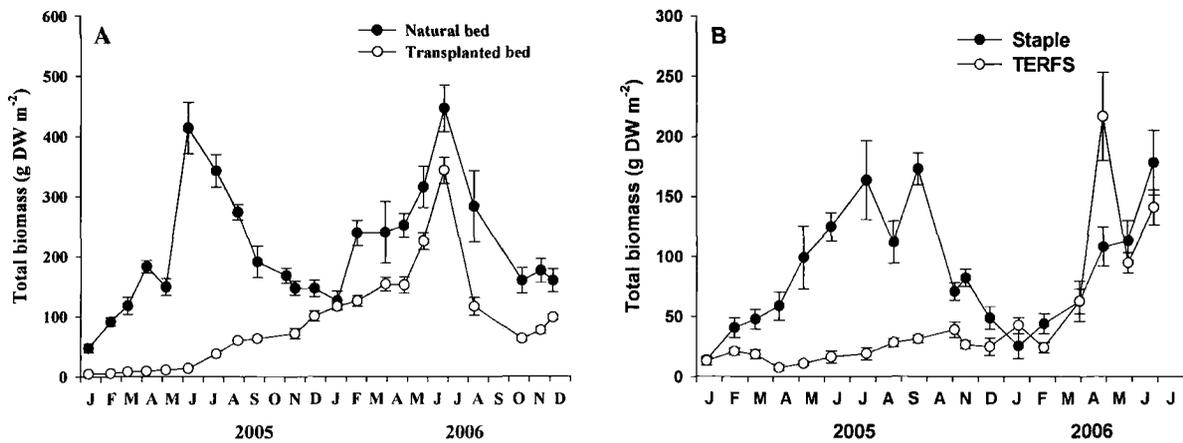


Fig. 31. 인공 및 자연 잘피서식지내 잘피의 단위면적당 생체량. 남해 앵강만의 자연 잘피 서식지와 인공 잘피서식지내 잘피의 생체량(A)과 거제 다포에 조성된 인공 잘피 서식지 내 잘피의 생체량(B).

### (3) 이식된 잘피의 생산성 측정

앵강만 자연 잘피서식지와 인공 잘피서식지 잘피의 잎의 생산성은 봄과 여름에 높고 가을과 겨울에 낮은 뚜렷한 계절 변화를 보였다(Fig. 32A). 이식된 잘피는 자연 서식지의 잘피보다 잎의 생산성이 낮게 나타났으나 2005년 8월부터는 잎의 생산성 차이가 나타나지 않았다. 다포에 조성된 인공 잘피서식지는 두 지역 모두 여름에 높고 겨울에 낮은 계절성을 보였다(Fig. 32B). 이식 초기에는 staple method를 이용하여 조성한 인공 잘피서식지의 잎의 생산성이 더 높게 나타났으나 2005년 10월부터는 TERFS를 이용하여 조성한 인공 잘피서식지의 생산성이 더 높게 나타났다. 이식 잘피의 생산성은 앵강만과 다

포 모두 시간이 지남에 따라 자연 잘피서식지 잘피의 생산성과 유사한 계절성을 보이는 것을 확인할 수 있었고, 이는 이식된 잘피가 서식지에 잘 적응하고 있다는 것을 나타낸다. 내포 지역의 이식된 잘피 개체의 생산성은 이식 초기에는 자연 잘피 개체보다 낮았으나 2007년 5월부터는 자연 잘피 개체보다 높은 생산성을 나타내었다. 따라서 내포 지역에 이식된 잘피는 서식지에 빠르게 적응하고 있다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 33).

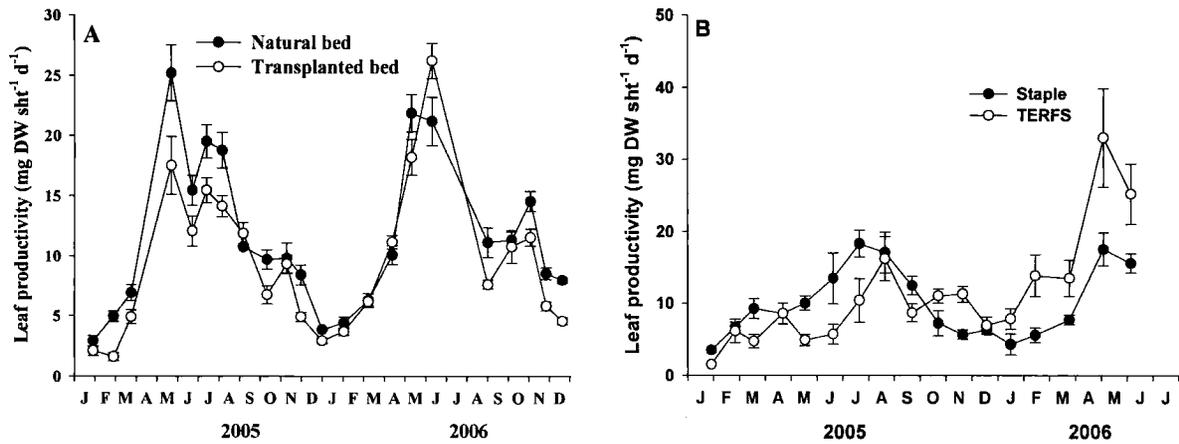


Fig. 32. 인공 및 자연 잘피서식지내 잘피 생산성의 계절 변화. 남해 앵강만 자연 잘피서식지와 인공 잘피서식지의 잘피 생산성(A)과 거제 다포 인공 잘피서식지에서 이식방법에 따른 잘피 생산성 변화(B).

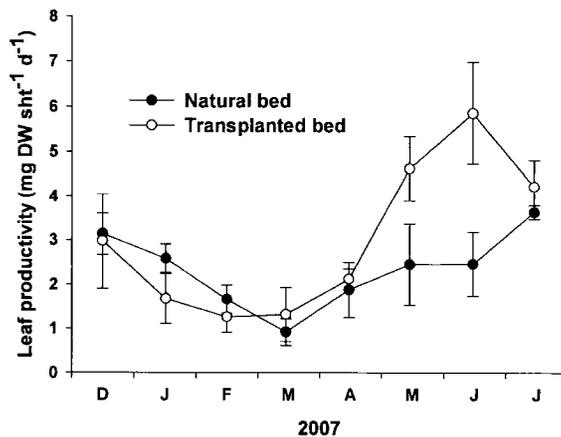


Fig. 33. 진동만 내포 지역의 인공 및 자연 잘피서식지 내 잘피의 생산성 변화.

#### (4) 이식된 잘피의 조직 내 질소 및 탄소함량

잘피 잎의 조직 내 탄소 함량은 자연 잘피서식지와 이식된 잘피서식지가 큰 차이를 보였다(Fig. 34A). 이식된 잘피 개체는 2005년도에 자연 잘피 개체보다 탄소함량이 높았으나 2006년도에는 낮게 나타났다. 지하경의 탄소 함량은 가을과 겨울에 높고 봄과 여름에 낮은 계절성을 보였다(Fig. 34D). 이식된 잘피 개체의 지하경 탄소 함량은 자연 잘피 개체보다 낮게 나타났다. 잘피 잎의 질소 함량은 두 지역이 유의한 차이를 보이지 않았으며 봄과 초여름에 낮고 가을과 초겨울까지 높은 계절성을 보였다(Fig. 34B). 지하경의 질소 함량은 여름과 가을에 높고 겨울과 봄에 낮은 계절성을 보였으며, 자연 잘피 개체가 이식된 잘피 개체보다 다소 높은 분포를 보였다(Fig. 34E). 잎과 지하경의 C:N ratio는 두 지역이 비슷한 분포를 나타내며 2005년 6월에 가장 높은 값을 나타내었다(Fig. 34C, F). 따라서 자연 및 인공 잘피서식지에서의 잘피 조직 내 질소 및 탄소함량의 유사한 경향은 이식된 잘피가 생리적으로 안정화되어 있음을 보여준다.

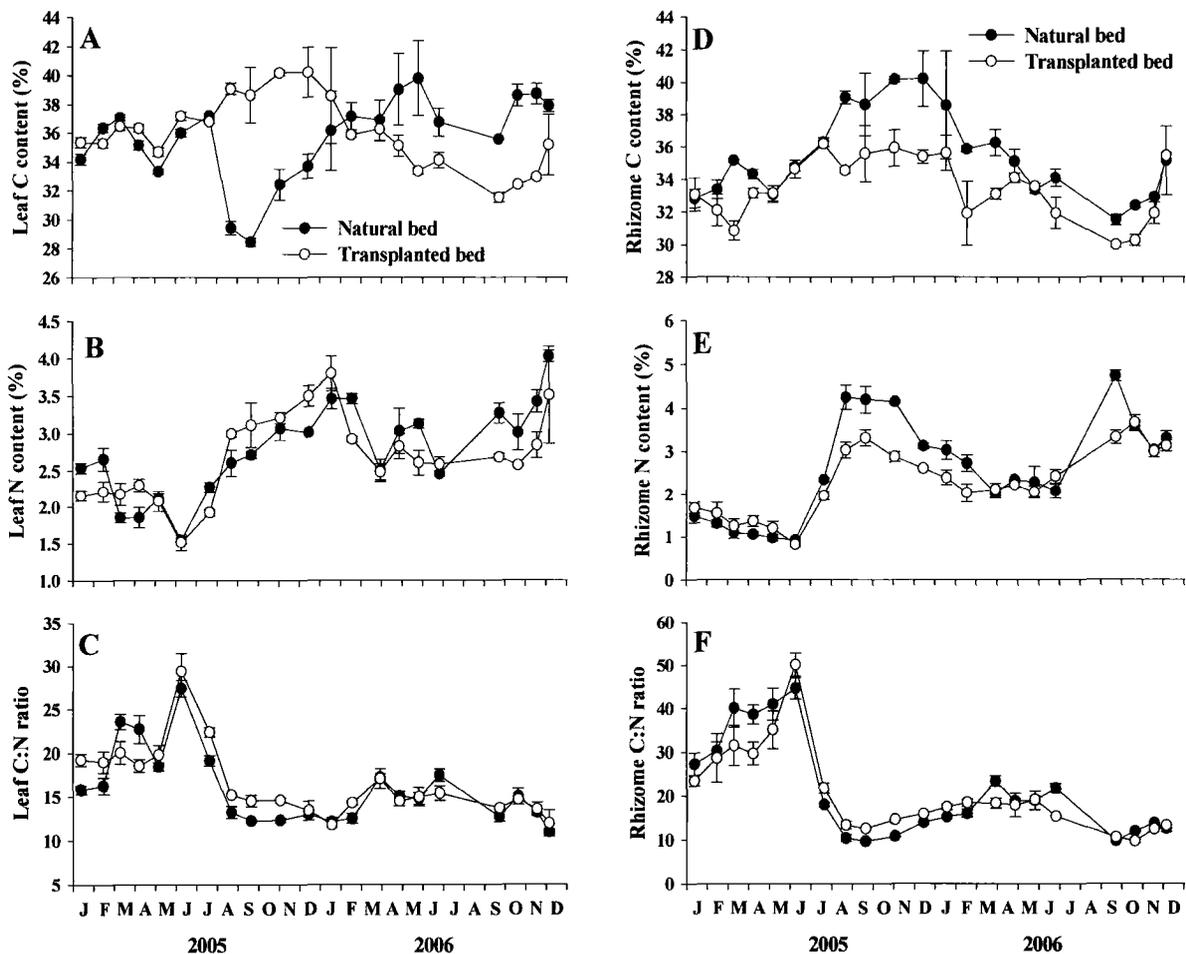


Fig. 34. 자연 및 인공 잘피서식지 잘피 개체의 조직 내 탄소(A, D)와 질소(B, E) 함량 및 C:N ratio(C, F).

#### 4) 잘피묘 대량 생산 및 현장 이식

##### 가) 잘피묘 대량생산을 위한 비료의 효과

##### (1) 잘피 묘포장의 물리화학적 환경

잘피묘 생산을 위한 비료 효과를 알아보기 위하여 묘포장을 조성하고 비료를 투입하여 그 효과를 확인하였다(Fig. 35). 조사기간 중의 평균 수중 광량은  $14.1 \text{ mol photons m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이었으며, 봄에 가장 높게 나타났다. 평균 수온은  $10.3^\circ\text{C}$ 로 1월에  $4.2^\circ\text{C}$ 로 가장 낮았으며, 6월에  $21.6^\circ\text{C}$ 로 가장 높은 수온을 나타내었다(Fig. 36).

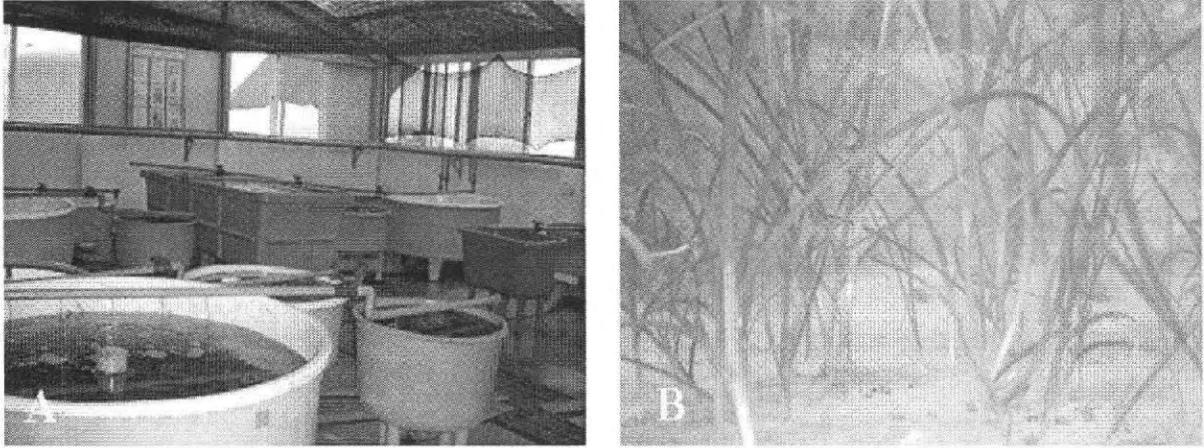


Fig. 35. 효과적인 잘피묘의 대량생산을 위한 잘피 묘포장.

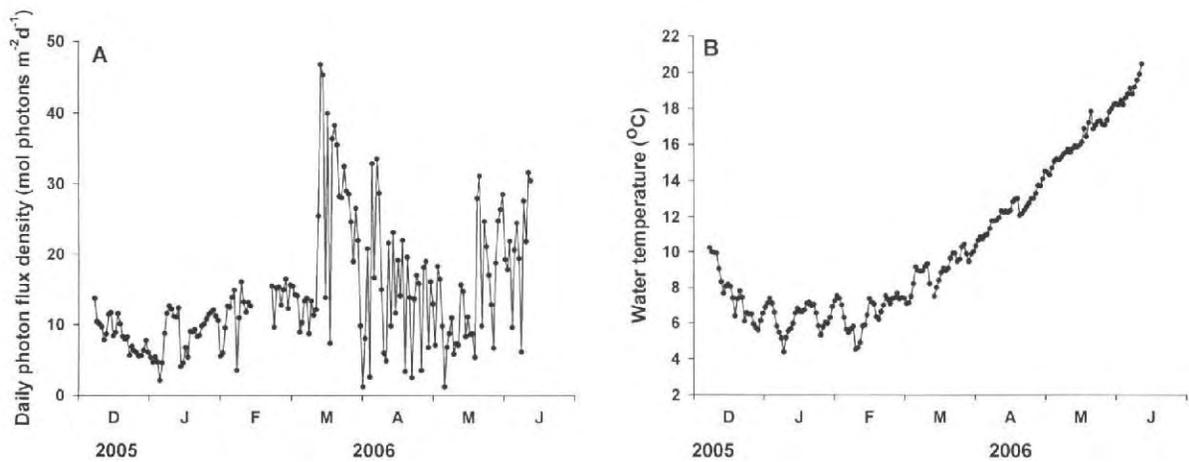


Fig. 36. 잘피 묘포장 수조의 일평균 수중 광량(A), 평균 수온(B).

수층의 무기 영양염 농도는 대조구와 시비구에서 유의한 차이가 없었으며, 수층의  $\text{NH}_4^+$ 과  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ 의 농도는  $10 \mu\text{M}$ 이하로 분포하였으며,  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 농도는  $1 \mu\text{M}$ 이하의 농도를 나타내었다. 퇴적물 공극수  $\text{NH}_4^+$  농도는 시비한 지역이  $566.2 \mu\text{M}$ 이며 대조군의 농도는  $51.4 \mu\text{M}$ 로 나타났다. 또한 퇴적물 공극수  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  농도는 시비한 지역이  $21.5 \mu\text{M}$ 이었고, 대조군이  $7.0 \mu\text{M}$ 로 나타났다. 퇴적물 공극수  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 비료를 처리한 지역이  $82.8 \mu\text{M}$ 이며, 대조군의 농도는  $4.5 \mu\text{M}$ 로 나타났다(Fig. 37).

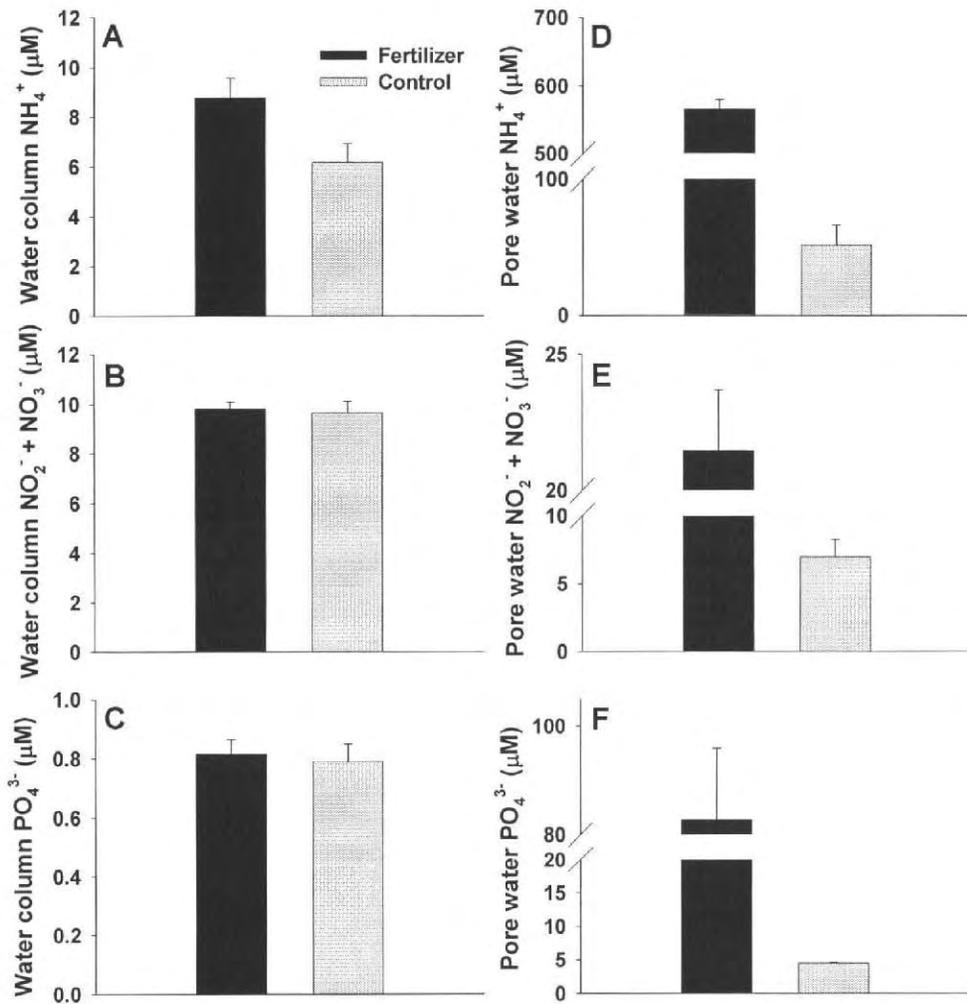


Fig. 37. 잘피 묘포장 수조의 해수와 퇴적물 공극수 무기영양염 농도.

## (2) 잘피묘의 발아율 및 형태학적 특성

파종 후 6개월이 경과한 후 대조구의 발아율이 18.8%인데 비해, 시비한 수조에서는 26.3%로 조사되었다. 시비는 잎의 수, 잘피묘의 키, 잎의 폭에도 뚜렷한 영향을 주었으며, 6개월 후 대조구에서 각각 2.9개, 121.3mm, 2.9mm였으며, 시비한 수조에서는 각각 4.8개, 925mm, 6.3mm로 나타났다(Fig. 38).

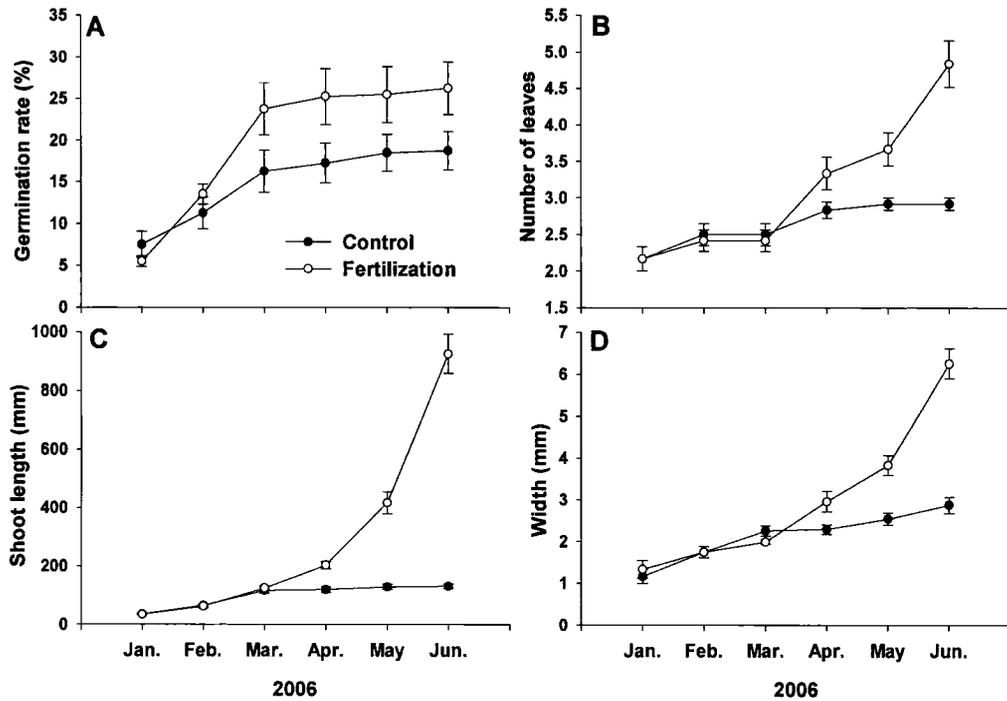


Fig. 38. 시비가 잘피묘의 발아율과 형태학적 특성에 미치는 영향. 발아율(A), 잎의 수(B), 개체 크기(C), 잎의 너비(D).

#### 나) 현장에서의 잘피묘 생산

인공 잘피묘를 생산함에 있어 수조를 사용하지 않고, 현장에서 종자를 파종하여 발아 및 성장시킴으로써 경제적으로 묘의 공급을 도모하고자 현장에서의 발아 실험을 수행하였다(Fig. 39). 실험 장소는 성체의 초기 정착율이 높은 거제도 다포를 선정하여 2005년 11월 일반 잘피 종자와 코팅종자(특허등록 : 10-0587127호)를 400 shoots m<sup>-2</sup>의 밀도로 기존 잘피가 없는 지역과 잘피 성체가 이식된 지역에 파종하여 발아율과 성장률을 관찰하였다. 잘피가 없는 곳에서는 코팅된 종자의 초기 발아율이 약 2배 정도 높았지만, 시간이 경과되면서 유식물의 생존에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 파종 후 6개월이 경과하면서 유식물의 키는 약 30cm로 성장하였으나, 종자코팅에 따른 차이는 미비하였다. 잎의 수는 잘피가 없는 곳에서 일반 종자와 코팅된 종자의 유식물이 잘피가 있는 곳에서도 높게 나타났다(Fig. 40).

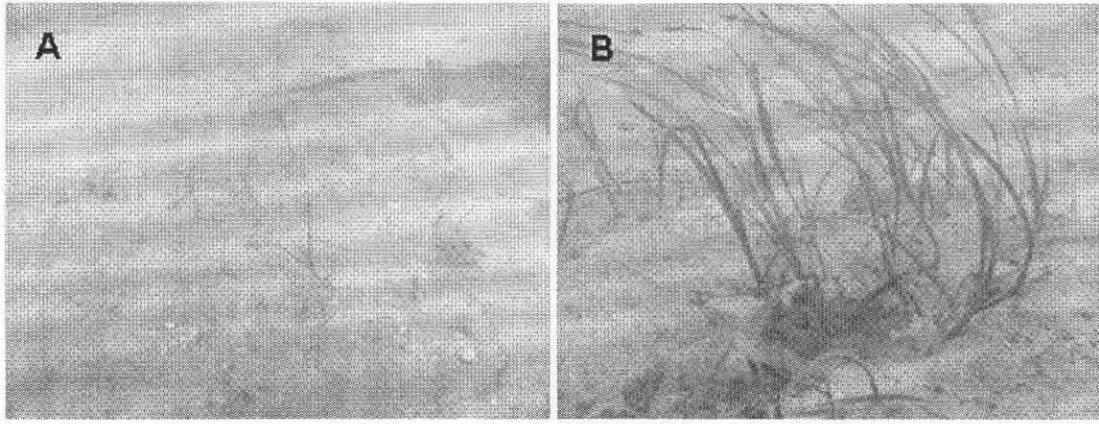


Fig. 39. 잘피묘의 현장 생산(A) 및 수조에서 발아한 잘피묘의 현장 이식(B).

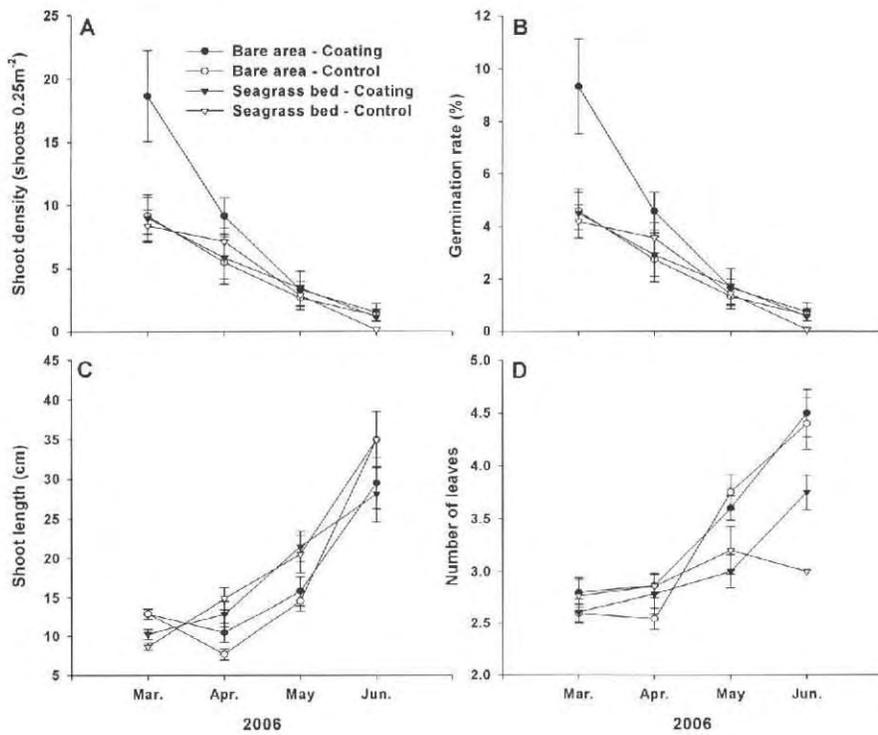


Fig. 40. 잘피가 없는 지역과 잘피가 있는 지역에서의 일반 종자와 피복된 종자를 이용한 종자의 발아 실험. 발아된 종자의 밀도(A), 발아율(B), 개체 크기(C), 잎의 수(D).

#### 다) 유식물의 현장 이식

대량 종묘 생산을 위해 2005년 10월에 수조에서 발아하여 성장한 유식물의 일부를 이용하여 예비 이식 실험을 2006년 3월에 다포에서 수행하였고, 월 1회 생존율을 조사하였다(Fig. 39). 평균 30-40cm로 자란 유식물 60개체를 10개체씩 6 세트로 만들어 staple 방법으로 이식하였다. 이식된 개체의 생존율은 2개월이 경과 할 때까지 감소하였으나, 이

후 측지를 생산하기 시작하여 개체수가 증가되었다(Fig. 41).

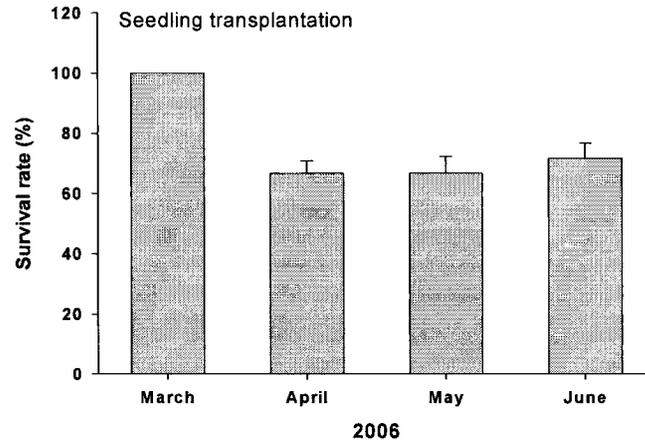


Fig. 41. 인공 잘피묘의 예비 이식 실험에서 유식물의 생존율.

유식물의 크기에 따른 생존률과 형태학적인 특성을 알아보기 위해 2005년에 채집한 개화주를 수조에서 발아시켜 크기에 따라 분류한 후 2006년 11월에 거제도 다포에 이식하였다. 잘피묘의 크기가 약 40cm 미만, 50cm, 70cm 이상인 잘피를 각각 소형, 중형, 대형 개체로 구분하여 단위면적당 350-375개체를 이식하였다. 소형 개체들은 이식 후 2개월이 경과하면서 전체가 사멸하였고, 중형 개체들은 3개월경과 시 밀도가 감소하다가 그 후에 다시 증가하는 경향을 보였으며, 대형 개체들은 이식 후 서서히 밀도가 증가하였다(Fig. 42A). 개체의 크기는 이식 후 모든 조건에서 증가하였고(Fig. 42B), 잎의 너비는 중형 개체는 서서히 증가한데 비해, 대형 개체들은 이식 후 두 달이 경과하면서 감소한 후 서서히 증가하는 경향을 보였다(Fig. 42C). 따라서, 수조에서 종묘생산을 한 후 잘피의 유식물을 이식 할 때에는 50cm 이상 성장한 개체들을 이식하는 것이 효과적이라 할 수 있다.

#### 5) 시비가 이식된 잘피에 미치는 영향

##### 가) 이식된 잘피서식지의 환경요인

시비가 이식된 잘피에 미치는 영향을 알아보기 위하여 인공 잘피서식지에 비료를 처리하여 퇴적물 공극수의 무기 영양염의 농도를 높였다. 퇴적물 공극수의  $\text{NH}_4^+$  농도는 비료를 처리한 지역이 대조군보다 약 10배 정도 높게 나타났다(Fig. 43A). 퇴적물 공극수의  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  농도는 대조군에 비해 약 2-3배 정도 높게 나타났으며,  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 4-6배 높게 나타났다(Fig. 43B, C). 퇴적물 내 유기물 함량은 대체로 비료를 처리하지 않은 대조군이 대체로 높게 나타났다(Fig. 43D).

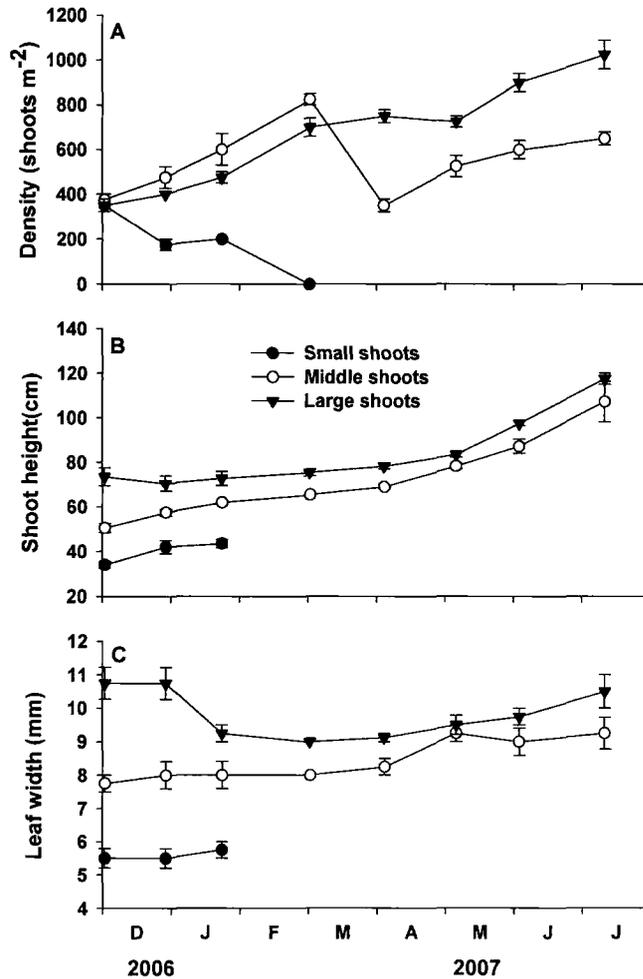


Fig. 42. 종묘생산으로 성장한 유식물을 개체의 크기를 기준으로 소형, 중형, 대형 개체로 구분 후 이식한 개체의 생육밀도(A), 개체의 크기(B), 잎의 너비(C) 변화.

나) 형태학적 특성

이식된 잘피 개체의 크기는 자연 잘피 개체에 비하여 이식 초기에는 낮았으나 시간이 지남에 따라 점차 증가하였다(Fig. 44A). 시비한 이식 잘피 개체는 대조군의 잘피 개체보다 비교적 크게 관찰되었으며, 6월에는 자연 잘피 개체보다 크게 나타났다. 잘피 엽초의 길이는 수온이 증가하면서 점차 증가하는 경향을 보였다(Fig. 44B). 잘피 엽초의 길이는 4월 이후 자연 잘피, 대조군 잘피 및 시비한 지역의 잘피 개체들 사이에 유의한 차이는 보이지 않았다. 잘피 잎의 수는 조사기간 중 세 지역이 유의한 차이를 보이지 않았으나, 5월에 시비한 지역의 이식 잘피 개체가 가장 높게 나타났다(Fig. 44C). 이식 잘피 잎의 너비는 이식 초기에 자연 잘피 개체보다 매우 낮았으나, 시간이 지남에 따라 점차 증가하였다(Fig. 44D). 시비한 이식 잘피 개체의 잎의 너비는 대조군 잘피 개체보다 약간 높게 나타났으나 유의한 차이는 보이지 않았다.

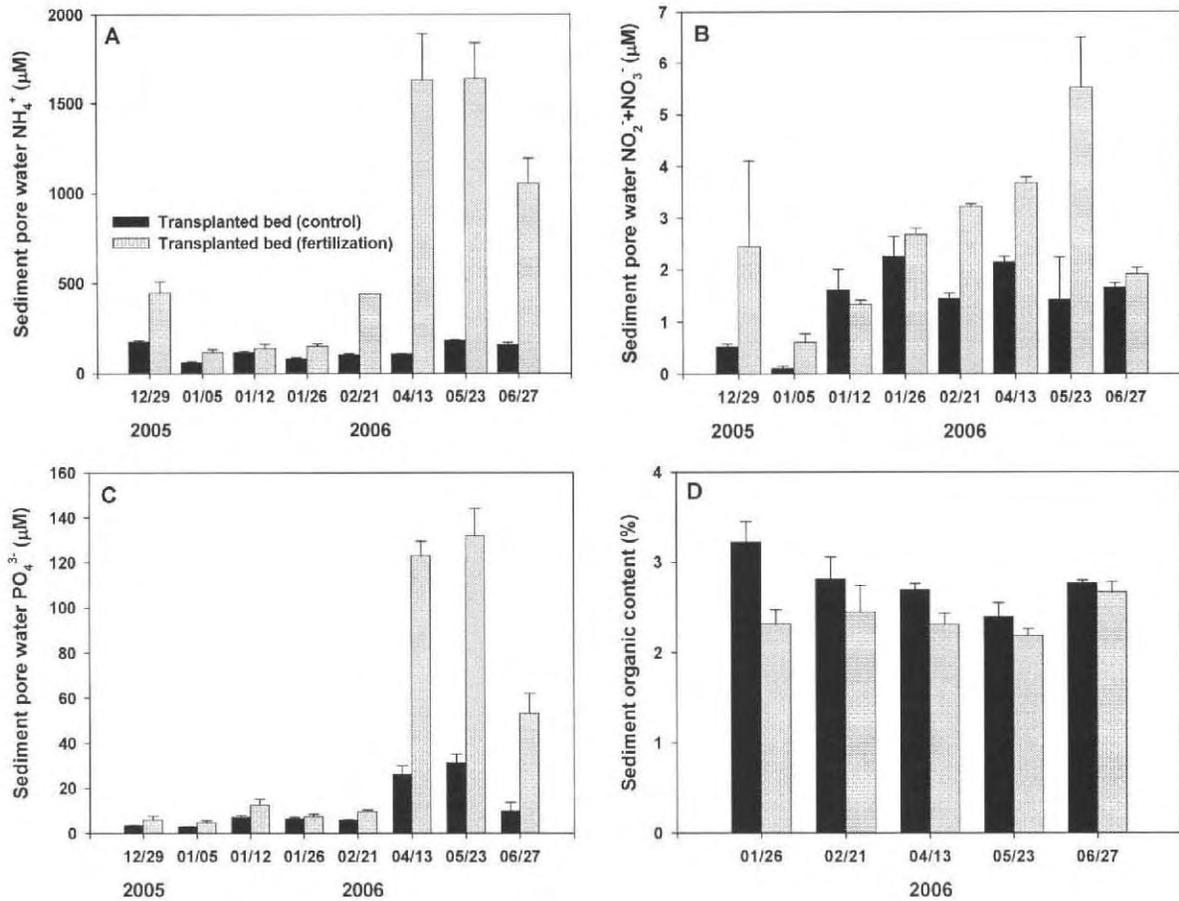


Fig. 43. 울산 일산지역에 조성한 인공 잘피서식지에서 시비한 후 퇴적물 공극수 무기영양염의 농도(A, B, C) 및 퇴적물 내 유기물 함량(D) 변화.

#### 다) 잘피의 생육밀도

시비한 잘피 서식지와 대조군의 잘피서식지는 이식 후 한달동안은 증가하였으나 이후 급격한 감소를 보였다(Fig. 45). 이는 이식된 잘피 엽초 내에 있던 측지가 밀도를 증가시킨 것으로 사료된다. 시비한 잘피서식지는 4월부터 대조군의 잘피서식지보다 높게 나타났으며, 시간이 지남에 따라 더욱 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과를 통하여 시비가 잘피의 생육밀도를 증가시키는데 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 라) 잘피 잎의 생산성

인공 잘피서식지에서 잘피 개체당 생산성은 이식 초기에 비해 시간이 지나면서 급격히 증가하였다(Fig. 46A). 이식 잘피 개체당 생산성은 시비한 잘피 개체가 더 크게 나타났다. 단위면적당 잎의 생산성 역시 시간이 지남에 따라 증가하였다(Fig. 46B). 단위면적당 잎의 생산성은 비료를 처리한 서식지가 대조군보다 2배 정도 높게 나타났다.

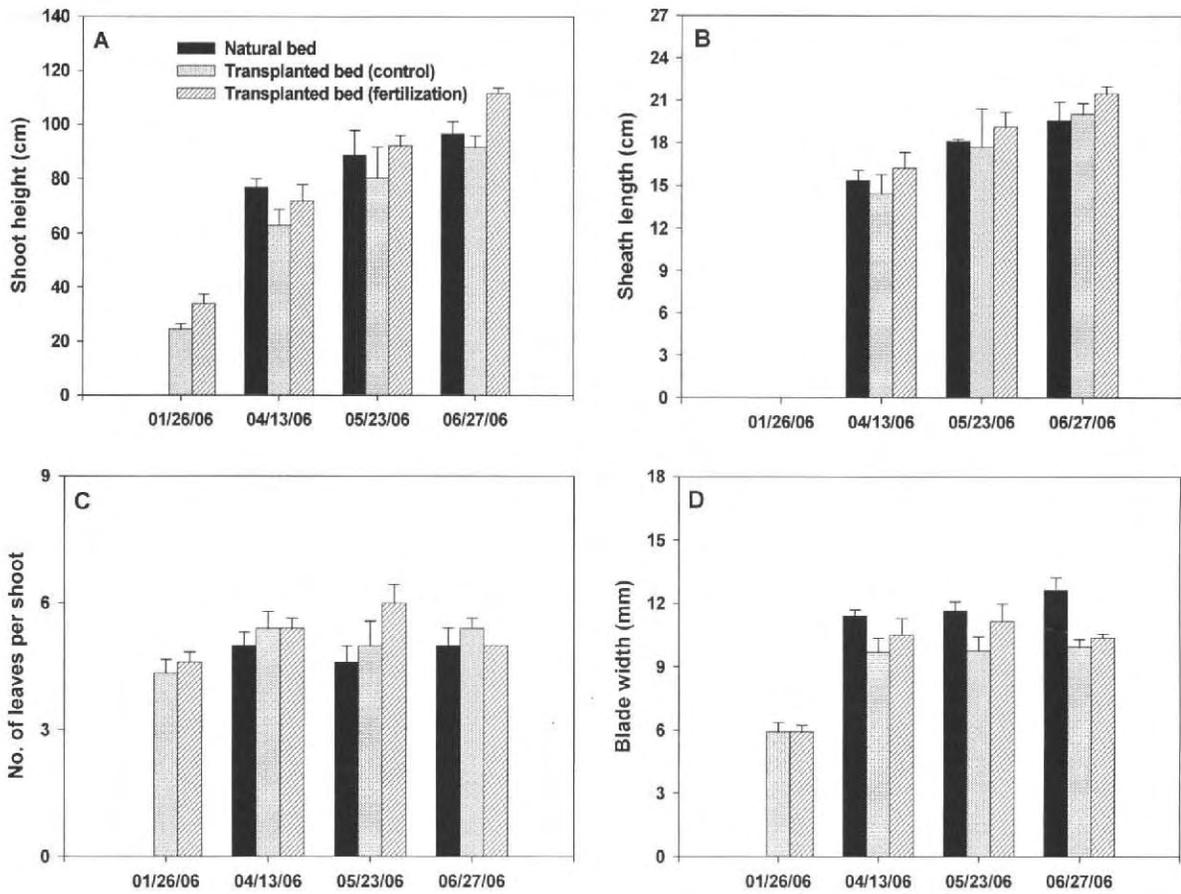


Fig. 44. 시비가 이식된 잘피의 형태학적인 특성에 미치는 영향. 잘피의 크기(A), 엽초 길이(B), 잎의 수(C), 잎의 너비(D)

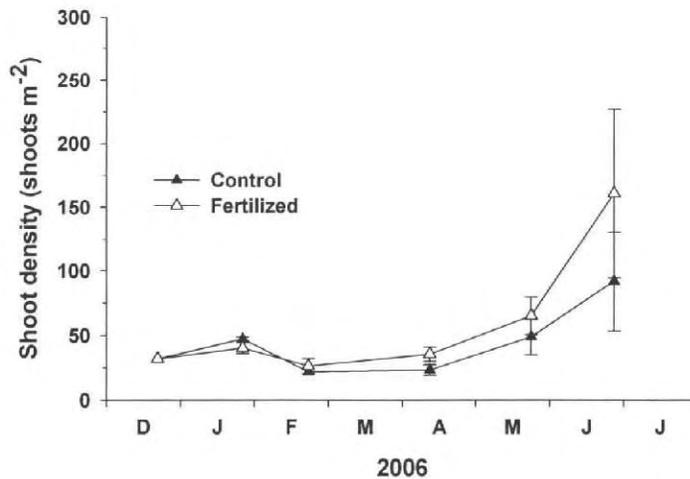


Fig. 45. 시비가 이식된 잘피의 생육밀도에 미치는 영향.

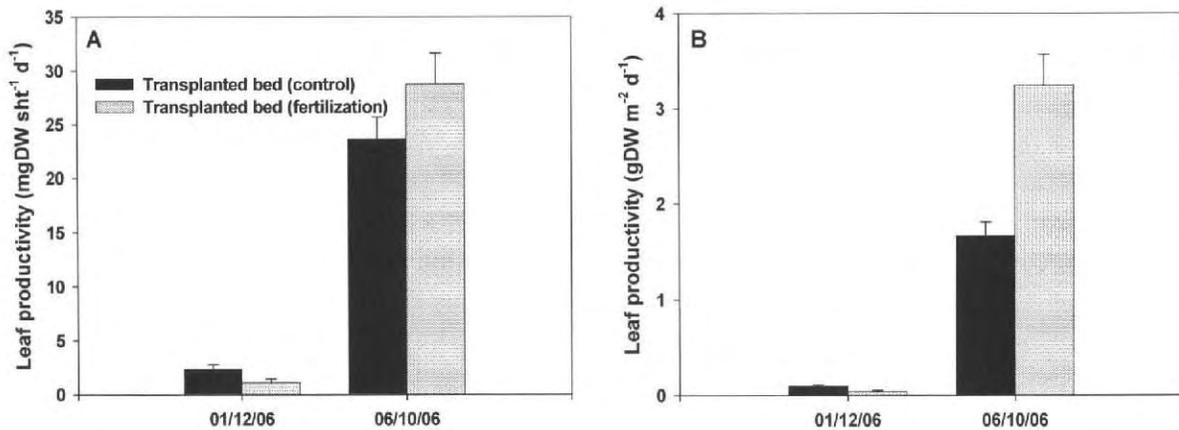


Fig. 46. 시비가 이식된 잘피의 생산성에 미치는 영향.

#### 마) 잘피의 광합성 특성

인공 잘피서식지에서 이식 직후(2005-12-29) 대조군과 처리군 잘피는 상대적인 전자전달속도와 광량의 관계로 본 광합성 특성이 비슷하였으며 자연 잘피 개체보다 높게 관찰되었다. 그러나 2주후 비료를 처리한 지역 잘피의 광합성 효율이 대조군의 잘피보다 낮게 나타났다(2006-01-12). 인공 잘피서식지를 조성한지 한달 후 세 지역 모두 잘피 광합성 효율이 다소 감소하였으며, 비료를 처리한 지역의 잘피 개체의 광합성 효율은 자연 잘피 개체와 비슷하게 나타났고, 대조군 잘피의 광합성 효율이 가장 낮게 나타났다(2006-01-26). 4월과 5월은 세 지역 잘피의 광합성 효율이 거의 유사한 분포를 보였으며, 6월에는 자연 개체의 광합성 효율이 다소 높게 나타나고 이식 잘피 개체는 서로 유사한 분포를 보였다. 이러한 광합성 특성의 결과는 이식 잘피가 새로운 환경에 어느 정도 적응하고 있는지 잘 보여주며 시비는 이식 잘피의 초기 적응에 효과적인 것으로 사료된다(Fig. 47).

이식된 잘피 개체의 광포화량( $E_k$ )은 이식 초기에는 자연 잘피 개체보다 높게 나타났으나 서서히 감소하여 자연 잘피 개체와 유사한 분포를 보였다(Fig. 48A). 대조군 잘피 개체의 광포화량은 한달 후 자연 잘피 개체보다 유의하게 낮았으나 비료를 처리한 잘피 개체는 자연 잘피 개체와 유의한 차이를 보이지 않았다. 최대 양자수율(MQY)은 이식된 잘피 개체가 자연 잘피 개체에 비해 다소 낮게 관찰되었으나 시간이 지남에 따라 비슷한 분포를 나타내었다(Fig. 48B). 최대 상대전자전달속도( $rETR_{max}$ )는 이식 초기에는 이식 잘피 개체가 자연 잘피 개체보다 높게 관찰되었지만, 한달 후 자연 잘피 개체와 비료를 투입한 개체는 비슷한 분포를 보였고 대조군 잘피 개체는 이들보다 유의하게 낮은 분포를 보였다(Fig. 48C). 비료에 의한 이식 잘피 개체의 광합성 특성의 변화는 주로 이식 초기에 비교적 큰 영향을 주는 것으로 추정되며, 4개월 이후부터는 시비가 잘피의 광합성

효율을 향상시키는 데는 크게 관여하지 않는 것으로 사료된다. 따라서 시비는 이식된 잘피가 이식 초기에 새로운 환경에 적응하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

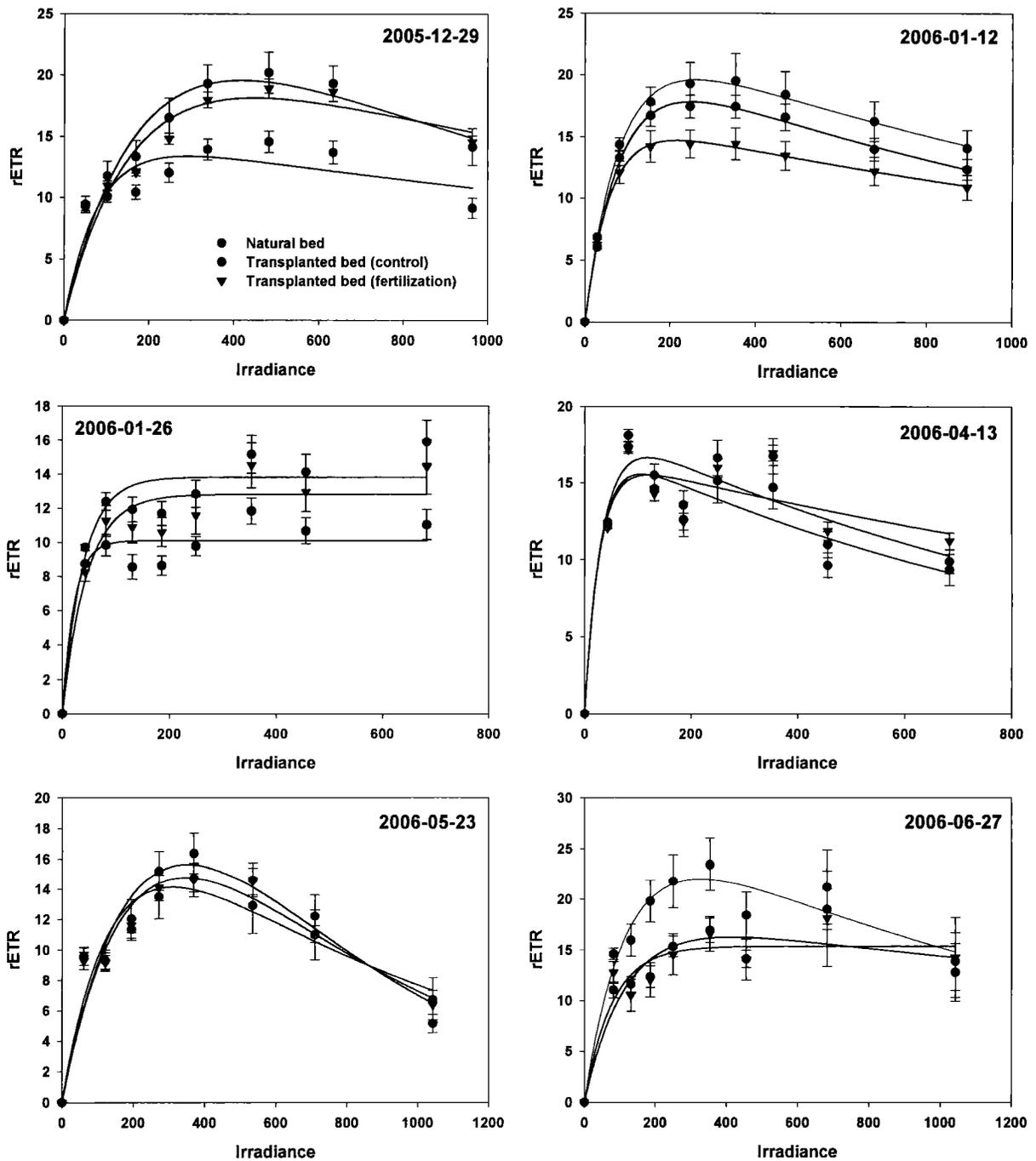


Fig. 47. 시비가 이식된 잘피의 광합성 특성(상대적인 전자전달속도와 광량의 관계)에 미치는 영향.

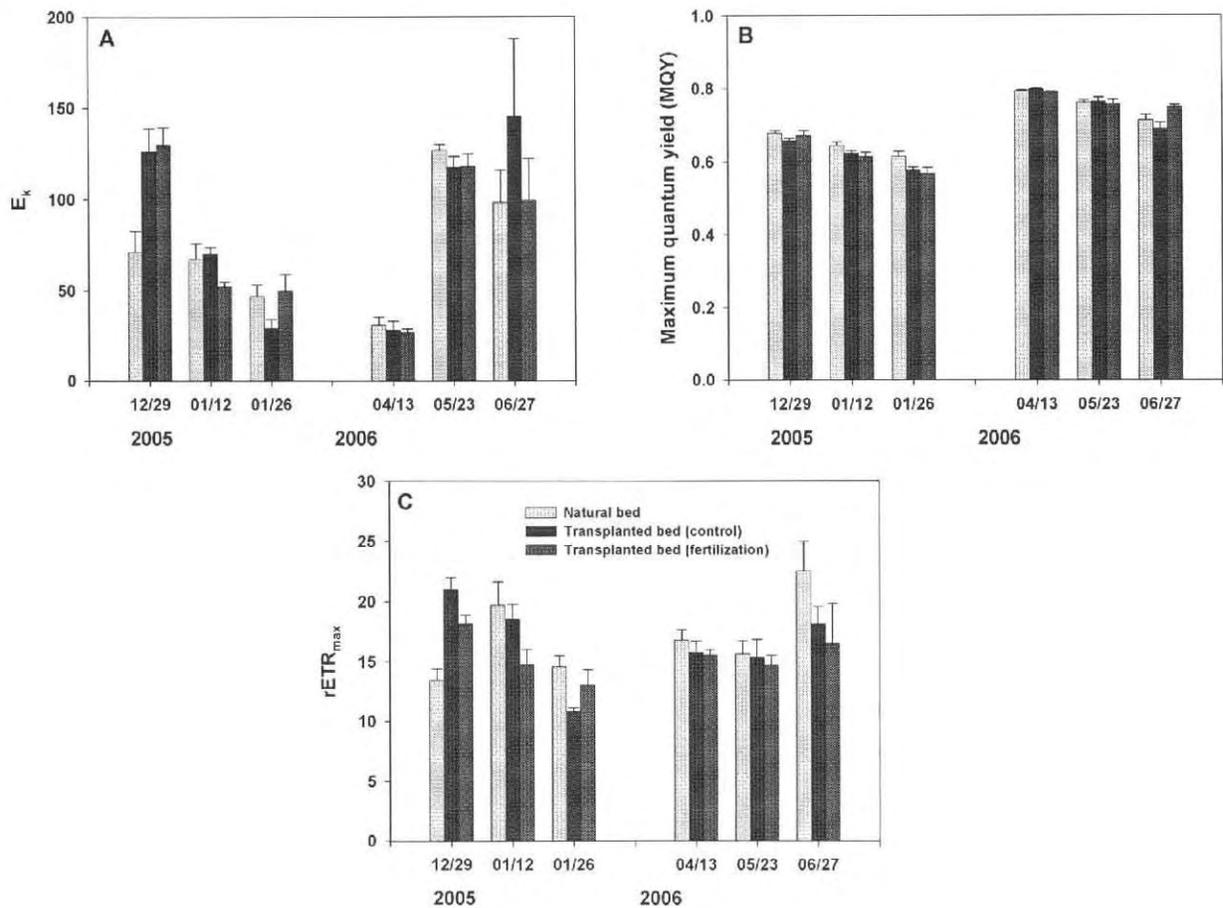


Fig. 48. 시비가 이식된 잘피의 광합성 효율에 미치는 영향. 광포화량(A), 최대 양자수율 (B), 최대 상대전자전달속도(C).

바) 시비가 잘피서식지의 부착생물 및 부유생물에 미치는 영향

시비가 잘피서식지의 부착생물에 미치는 영향은 남해 앵강만에 조성된 인공 잘피서식지에서 실험하였다. 시비는 이식된 잘피 개체가 새로운 서식지에 정착하고 적응하는 것을 돕는 것으로 확인되었다. 이식된 잘피서식지가 정착 및 안정화되면서 부착생물 역시 새로운 서식지를 확보하게 된다. 자연 잘피서식지에서 부착생물의 생체량은 가을과 겨울에 비해 봄철에 가장 낮게 나타났으며 이식된 잘피서식지의 부착생물 생체량보다 다소 낮게 나타났다(Fig. 49). 시비를 투입한 인공 잘피서식지의 부착생물 생체량은 비료를 투입하지 않은 서식지 및 자연 잘피서식지와 유의한 차이를 보이지 않았다. 부유생물의 생체량은 자연 잘피서식지와 비료를 투입한 인공 잘피서식지에서 실시하였다. 자연 잘피서식지 부유생물의 생체량은 봄철( $8.16 \mu\text{g l}^{-1}$ )이 가을철( $5.93 \mu\text{g l}^{-1}$ )보다 높게 나타났다(Fig. 50). 비료를 투입한 인공 잘피서식지 부유생물의 생체량 역시 봄철( $7.88 \mu\text{g l}^{-1}$ )이 가을철( $6.2 \mu\text{g l}^{-1}$ )보다 높게 나타났다. 하지만 자연 잘피서식지와 비료를 투입한 인공 잘피서식지 부유생물의 생체량은 봄철과 가을철 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서

시비는 잘피의 성장과 이식된 잘피서식지의 안정화에 도움을 주지만 부착생물 및 부유생물의 분포 및 생체량에는 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

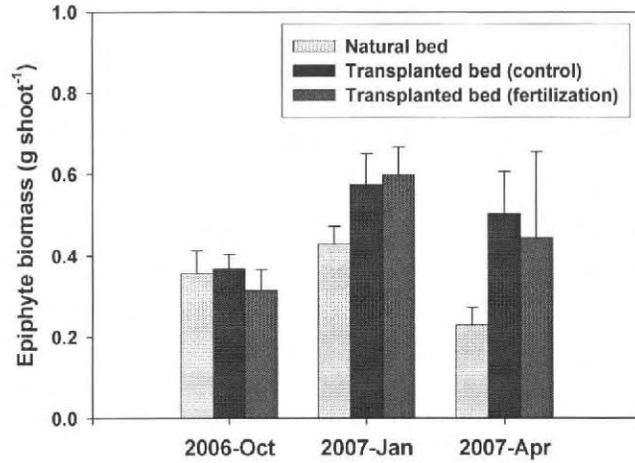


Fig. 49. 자연 및 인공 잘피서식지 내 부착생물의 생체량.

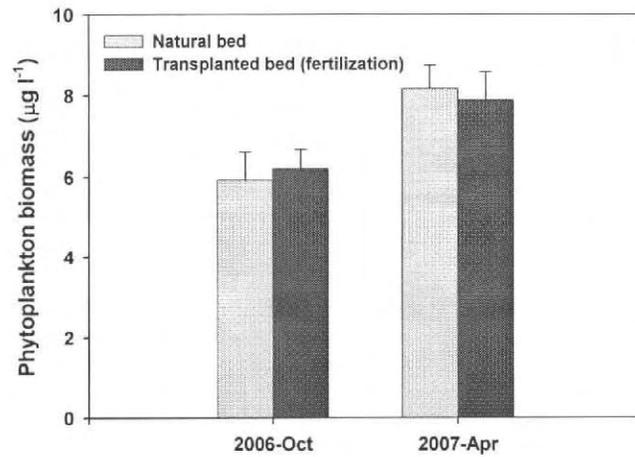


Fig. 50. 자연 및 비료를 투입한 인공 잘피서식지 내 부유생물의 생체량.

6) 잘피서식지 조성 관리지침  
 별첨 #1

## 나. 인공 잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원조성 효과 평가

### 1) 군집구조분석

#### 가) 대형저서동물의 출현종수, 개체수 및 생체량

2005년 앵강만과 차면에서 출현한 저서동물은 총 115종이었고, 평균 개체수와 생체량은 각각 2696 ind./m<sup>2</sup>, 231.04 wwt. g/m<sup>2</sup>이었다(Fig. 51). 출현 저서동물의 종구성을 살펴보면, 환형동물문의 다모류가 59종 (51.3%)으로 가장 우점하였고, 다음으로는 연체동물이 30종 (26.1%)으로 많이 출현하였다. 절지동물, 극피동물과 기타 동물군은 각각 19종 (16.5%), 4종 (3.5%)과 3종 (2.6%)이 출현하여 상대적으로 적었다. 출현 개체수의 조성에도 유사한 경향을 나타내었는데, 환형동물문의 다모류가 평균 1953 ind./m<sup>2</sup> (72.4%)로 가장 많은 개체가 출현하였고, 절지동물과 연체동물은 각각 414 ind./m<sup>2</sup> (15.4), 274 ind./m<sup>2</sup> (10.2%)의 개체수를 보였다. 적은 종수를 보였던 극피동물과 기타동물문에서는 각각 43 ind./m<sup>2</sup> (1.6%), 13 ind./m<sup>2</sup> (0.5%)로 매우 적은 개체수가 출현하였다. 생체량은 패각을 포함하여 단일개체의 생체량이 높은 연체동물이 평균 144.92 wwt. g/m<sup>2</sup> (62.7%)로 가장 높았고, 다음으로는 절지동물에서 57.47 wwt. g/m<sup>2</sup> (24.9%)을 나타내었다. 반면 가장 많은 종수와 개체수를 보였던 환형동물은 평균 22.87 wwt. g/m<sup>2</sup> (9.9%)의 생체량을 보였으며, 극피동물과 기타동물문은 각각 2.36 wwt. g/m<sup>2</sup> (1.0%), 3.41 wwt. g/m<sup>2</sup> (1.5%)을 나타내었다.

정점의 수와 채집면적의 차이는 있지만 지역별 종수, 개체수 및 생체량의 분포현황을 보면, 잘피가 없는 해역인 차면 1과 차면 2에서는 각각 24종과 29종이 출현하였고, 잘피가 분포하는 앵강 1과 2에서는 각각 53종과 72종이 채집되었다 (Fig. 52). 잘피가 서식하는 지역은 잘피가 서식하지 않는 지역에 비해 약 2~3배가 많은 종수가 출현하는 것으로 나타났다. 개체수에서도 종수와 유사한 경향을 나타내었는데, 차면 1과 2에서 각각 출현한 652 ind./m<sup>2</sup>, 1,770 ind./m<sup>2</sup>의 개체수를 보인 반면 앵강 1과 2에서는 각각 3575 ind./m<sup>2</sup>, 4785 ind./m<sup>2</sup>을 나타내어 약 2~8배 이상 많은 개체수를 보였다. 반면, 생체량은 차면1과 2에서 각 개체의 생체량이 높은 연체동물과 절지동물의 출현으로 인하여 각각 378.87 wwt. g/m<sup>2</sup>, 466.24 wwt. g/m<sup>2</sup>의 비교적 높은 생체량을 보였다. 앵강 1과 2에서는 각각 16.71 wwt. g/m<sup>2</sup>, 62.33 wwt. g/m<sup>2</sup>을 나타내었다.

이상의 저서동물 군집의 구성과 출현 종수, 개체수 및 생체량을 볼 때 잘피가 서식하는 앵강 1과 2에서는 비교적 다양한 종수와 높은 서식밀도를 보이는 것으로 나타났다. 반면 잘피가 서식하지 않는 차면 1과 2에서는 종수와 개체수는 적었지만 큰 개체의 출현에 의해 생체량이 높게 나타나는 경향을 보였다.

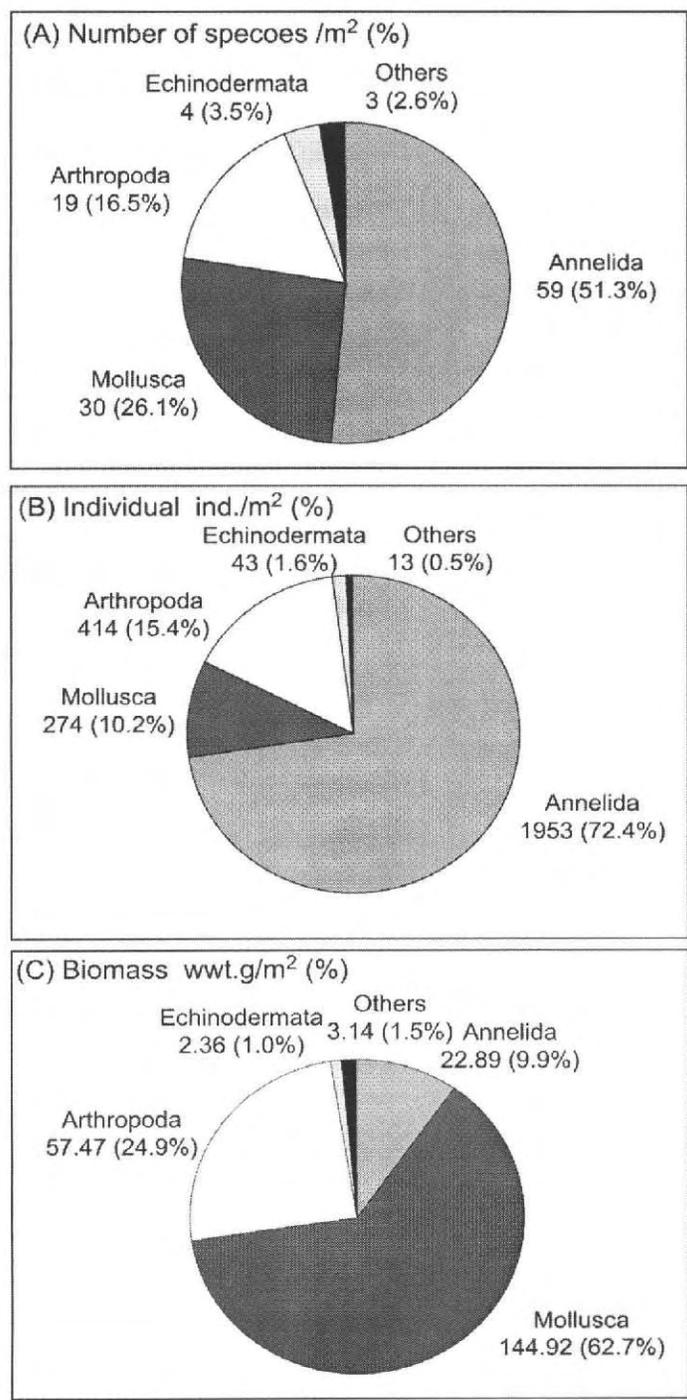


Fig. 51. 2005년에 출현한 저서동물의 (A) 종수, (B) 개체수와 (C) 생체량 조성

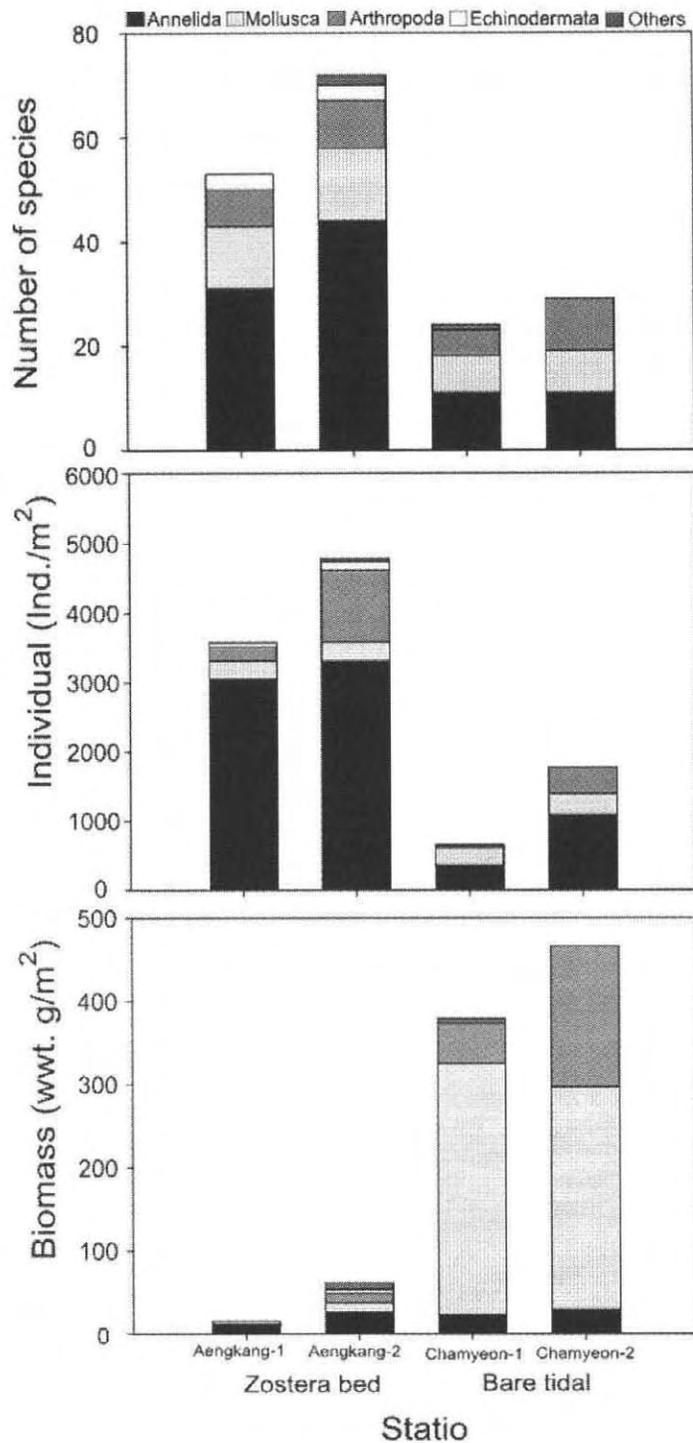


Fig. 52. 2005년에 출현한 저서동물의 지역별 종수, 개체수 및 생체량

2006년에 앵강만의 잘피 서식지역과 잘피가 서식하지 않는 지역에서 출현한 저서 동물은 총 23종이었고, 평균 600 ind./m<sup>2</sup>의 개체수와 평균 143.00 wwt. g/m<sup>2</sup>의 생체량을 나타내었다 (Fig. 53). 출현 저서동물의 종구성을 살펴보면, 환형동물문의 다모류가 13종 (56.5%)으로 가장 우점하였고, 다음으로는 절지동물이 5종 (21.7%)으로 많이 출현하였다. 연체동물과 극피동물에서는 1종 (4.3%), 기타동물문에서는 3종 (13.0%)이 출현하였다. 출

현 개체수의 조성에도 유사한 경향을 나타내었는데, 환형동물문의 다모류가 평균 470 ind./m<sup>2</sup> (78.3%)로 매우 우점하는 경향을 보였고, 다음으로는 기타동물문에서 60 ind./m<sup>2</sup> (10.0%)로 2개의 동물문이 전체 개체수의 대부분을 차지하고 있었다. 절지동물은 55 ind./m<sup>2</sup> (9.2%), 연체동물과 극피동물은 각각 10 ind./m<sup>2</sup> (1.7%), 5 ind./m<sup>2</sup> (0.8%)로 매우 적은 개체수가 출현하였다. 생체량은 기타동물문에서 99.12 wwt. g/m<sup>2</sup> (69.3%)로 가장 높았고, 다음으로는 절지동물에서 31.87 wwt. g/m<sup>2</sup> (22.3%)을 나타내었다. 환형동물은 11.74 wwt. g/m<sup>2</sup> (8.2%)의 생체량을 보였고, 연체동물과 극피동물은 각각 0.19 wwt. g/m<sup>2</sup> (0.1%), 0.08 wwt. g/m<sup>2</sup> (0.1%)로 매우 적은 생체량을 나타내었다.

*Zostera bed*와 인근연성퇴적물군락에서 출현한 저서동물의 종수, 개체수 및 생체량의 분포현황을 보면, *Zostera bed*에는 총 13종의 저서동물이 780 ind./m<sup>2</sup>의 개체수와 110.29 wwt. g/m<sup>2</sup>의 생체량을 보였다 (Fig. 54). 반면, 인근연성퇴적물군락에서는 총 13종의 저서동물이 출현하였는데, 이곳에서는 연체동물과 극피동물이 출현하지 않았으며, 420 ind./m<sup>2</sup>의 개체수와 175.71 wwt. g/m<sup>2</sup>의 생체량을 보였다. 환형동물의 경우 두 지역에서 모두 우점하는 경향을 나타내었는데 *Zostera bed*에서는 12종이 630 ind./m<sup>2</sup>의 개체수를 보였으며, 인근연성퇴적물군락에서는 8종이 310 ind./m<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타내었다. 연체동물과 극피동물은 *Zostera bed*에서만 1종씩 출현하였으며, 각각 20 ind./m<sup>2</sup>, 10 ind./m<sup>2</sup>의 개체수를 보였다. 종수와 생체량이 *Zostera bed*에서 높게 나타났던 반면 생체량은 bare tidal에서 175.71 wwt. g/m<sup>2</sup>로 *Zostera bed*의 110.29 wwt. g/m<sup>2</sup>에 비해 높게 나타났다.

2006년에 채집된 저서동물은 2005년에 비해 정점수의 감소에 의한 영향으로 종수, 개체수가 감소하는 경향을 나타내었지만, 생체량의 경우 2005년에 비해 앵강만 내에서 다소 증가하는 경향을 보였다. 또한 2005년과 동일하게 종수와 개체수에 있어서는 *Zostera bed*가 인근연성퇴적물군락에서 높게 나타나는 경향을 보였다.

2007년에 앵강만의 잘피 서식지역과 인근연성퇴적물군락에서 출현한 저서동물은 총 42종이었고, 평균 860 ind./m<sup>2</sup>의 개체수와 평균 167.24 wwt. g/m<sup>2</sup>의 생체량을 나타내었다 (Fig. 55). 출현 저서동물의 종구성을 살펴보면, 환형동물문의 다모류가 25종 (59.5%)으로 가장 우점하고 있었고, 다음으로는 절지동물이 9종 (21.4%)으로 많이 출현하였다. 연체동물에서는 5종 (21.4%)이 출현하였고, 극피동물과 기타동물문에서는 각각 1종 (2.4%), 2종 (4.8%)이 출현하였다. 2007년에 저서동물의 개체조성을 보면 2005년과 2006년에 비해 환형동물과 절지동물에 의해 우점되는 경향을 나타내었는데, 환형동물과 절지동물이 각각 680 ind./m<sup>2</sup> (79.1%), 120 ind./m<sup>2</sup> (14.0%)로 2개의 동물문이 전체 개체수의 93.1%를 차지하고 있었다. 연체동물, 극피동물과 기타동물문은 각각 15 ind./m<sup>2</sup> (1.7%), 20 ind./m<sup>2</sup> (2.3%), 25 ind./m<sup>2</sup> (2.9%)의 개체수를 보였다. 생체량은 기타동물문에서 124.97 wwt. g/m<sup>2</sup> (74.7%)로 매우 우점하는 경향을 나타내었으며, 다음으로는 절지동물에서

26.57 wwt. g/m<sup>2</sup> (15.9%)로 많은 생체량을 보였다. 환형동물은 12.35 wwt. g/m<sup>2</sup> (7.4%), 연체동물과 극피동물은 각각 0.53 wwt. g/m<sup>2</sup> (0.3%), 2.83 wwt. g/m<sup>2</sup> (1.7%)을 나타내었다.

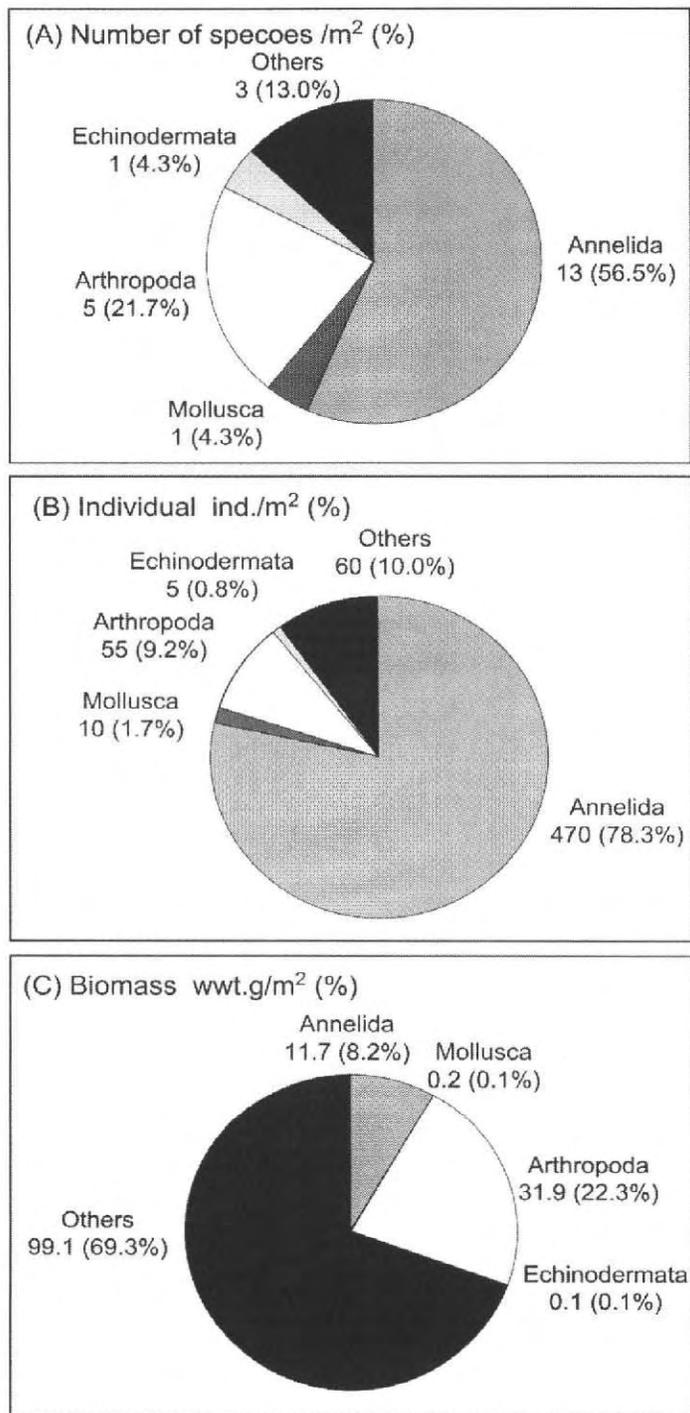


Fig. 53. 2006년에 출현한 저서동물의 (A) 종수, (B) 개체수와 (C) 생체량 조성

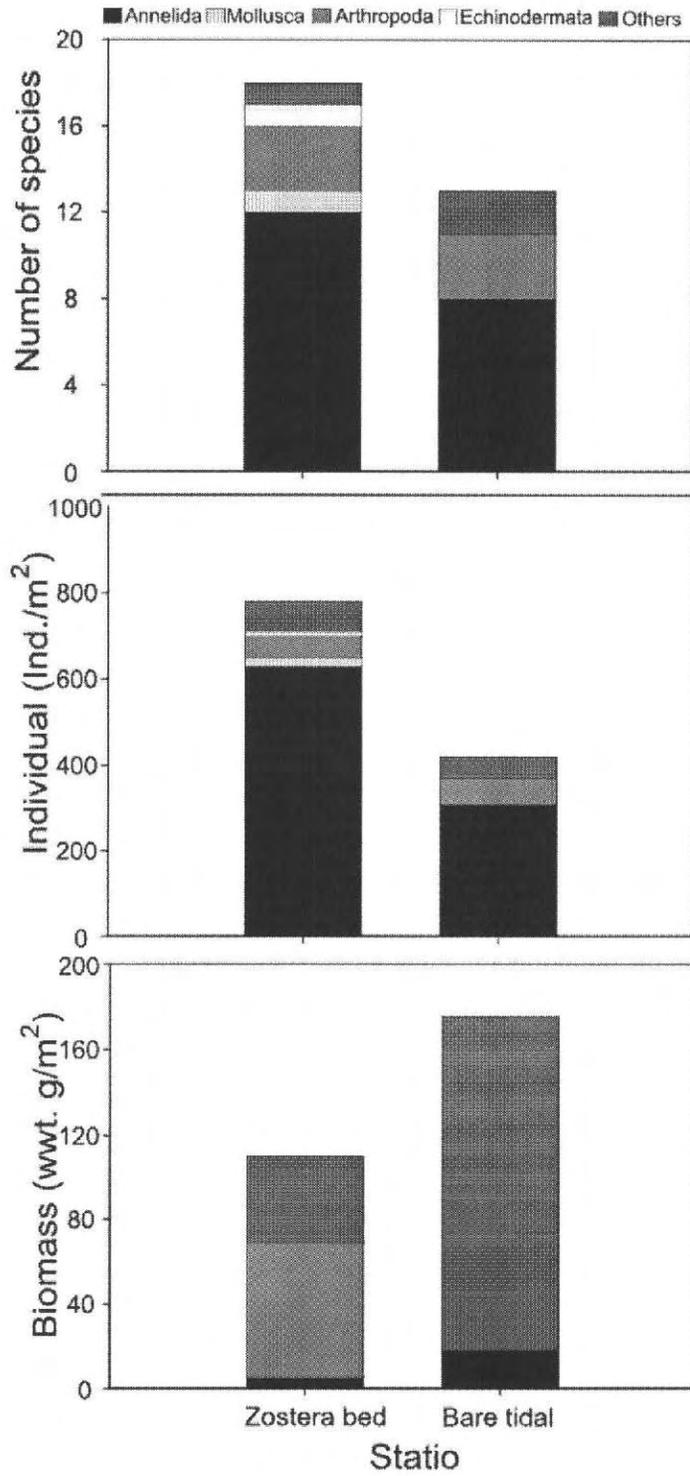


Fig. 54. 2006년에 출현한 저서동물의 지역별 종수, 개체수 및 생체량

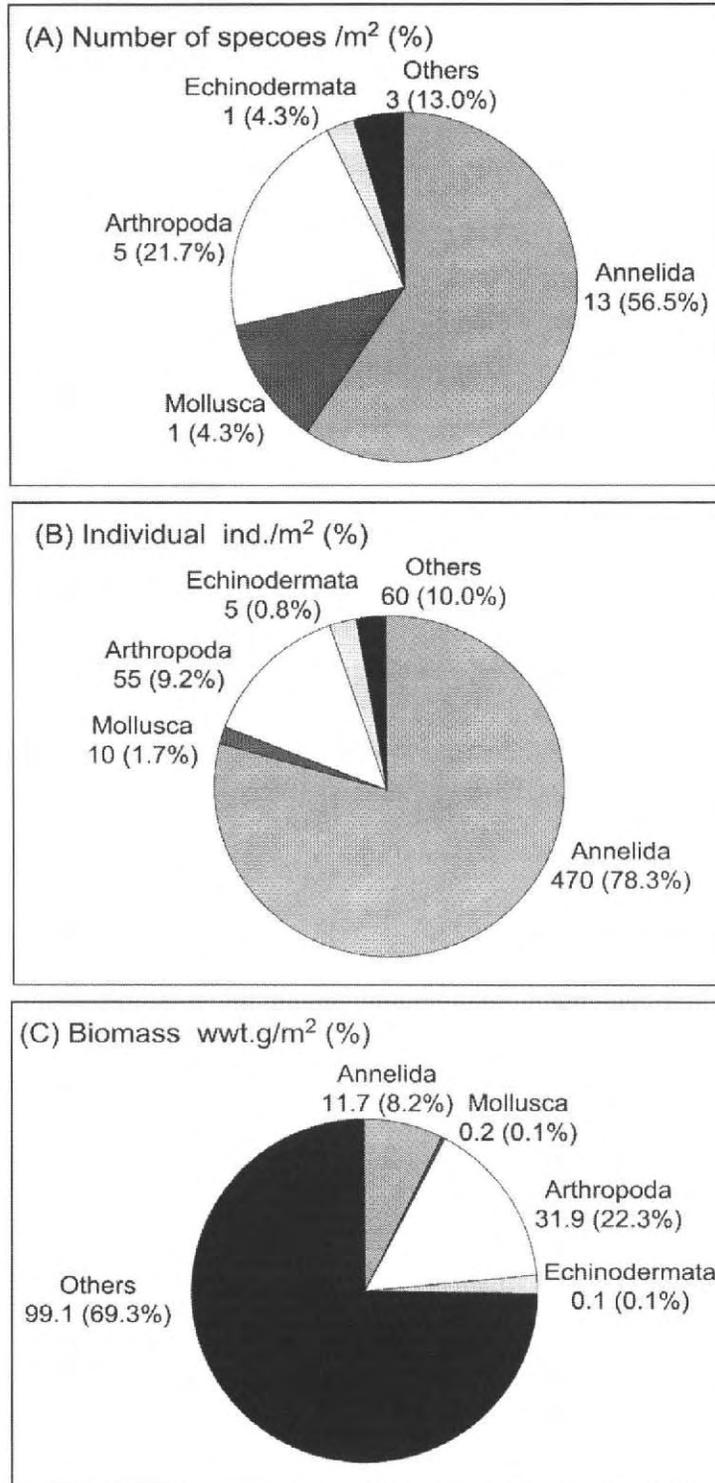


Fig. 55. 2007년에 출현한 저서동물의 (A) 종수, (B) 개체수와 (C) 생체량 조성

*Zostera bed*와 인근연성퇴적물군락에서 출현한 저서동물의 종수, 개체수 및 생체량의 분포현황을 보면, *Zostera bed*에서는 총 33종의 저서동물이 865 ind./m<sup>2</sup>의 개체수와 278.01 wwt. g/m<sup>2</sup>의 생체량을 보였다 (Fig. 56). 반면, 인근연성퇴적물군락에서 출현한 저서동물은 총 23종이었으며, 이곳에서는 환형동물과 절지동물만 출현하는 특징을 나타내며 855 ind./m<sup>2</sup>의 개체수와 56.47 wwt. g/m<sup>2</sup>의 생체량을 보였다. 환형동물의 경우 두 지역에서 모두 우점하는 경향을 나타내었는데, *Zostera bed*와 인근연성퇴적물군락에서 모두 17종이 출현하였지만, 개체수는 각각 630 ind./m<sup>2</sup>, 730 ind./m<sup>2</sup>을 나타내어 상대적으로 bare tidal에서 높았다. 절지동물은 *Zostera bed*와 인근연성퇴적물군락에서 각각 8종과 6종이 출현하였으며, 개체수는 각각 115 ind./m<sup>2</sup>, 125 ind./m<sup>2</sup>를 보였다. 연체동물, 극피동물과 기타동물물은 *Zostera bed*에서 각각 5종 (30 ind./m<sup>2</sup>), 1종 (40 ind./m<sup>2</sup>)과 2종 (50 ind./m<sup>2</sup>)이 출현하였다. 생체량은 *Zostera bed*에서 278.01 wwt. g/m<sup>2</sup>로 bare tidal의 56.47 wwt. g/m<sup>2</sup>에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

2007년에 채집된 저서동물의 종수는 2005년에 비해 다소 감소하였지만 2006년에 비해서는 소폭 증가한 것으로 나타났다. 개체수는 *Zostera bed*에서는 유사한 경향을 나타내었지만, 인근연성퇴적물군락에서는 환형동물의 개체수가 급격히 증가하여 전체 서식밀도 또한 2006년에 비해 상대적으로 높았다. 반면 생체량은 2005년과 2006년 모두 인근연성퇴적물군락에서 높게 나타났지만 2007년에는 *Zostera bed*에서 더 많은 생체량을 보였다.

#### 나) 생물지수 및 군집분석

2005년부터 2007년까지 조사한 저서동물의 종수와 개체수를 바탕으로 생태학적 pw지수를 구한 결과, 종풍부도는 평균 4.95±2.59로 1.99 (인근연성퇴적물군락 2006) ~ 9.74 (앵강2-*Zostera bed*, 2005)의 범위를 나타내었다 (Fig. 57). 2005년에 *Zostera bed*인 앵강 1과 2에서 각각 7.65와 9.74를 나타내어 가장 많은 종들이 출현하였으며, 2006년에 인근연성퇴적물군락과 *Zostera bed*에서 각각 1.99와 2.70을 나타내어 가장 적은 종이 출현한 것을 알 수 있었다. 종균등도는 평균 0.77±0.10을 나타내었는데, 0.61 (앵강1-*Zostera bed*) ~ 0.88 (*Zostera bed* 2007)의 범위를 보여 정점간 큰 차이를 나타내지 않았다. 종다양도는 평균 2.56±0.38을 나타내었으며, 2.10 (차면2-인근연성퇴적물군락) ~ 3.14 (앵강 2-*Zostera bed*)의 범위를 나타내었다. 종다양도는 종풍부도와 함께 *Zostera bed*에서 인근연성퇴적물군락에 비해 다소 높은 값을 나타내는 경향을 보였다. 종우점도는 평균 0.14±0.06을 나타내었으며, 0.06 (*Zostera bed* 2007) ~ 0.23 (차면2-인근연성퇴적물군락)의 범위를 보였다.

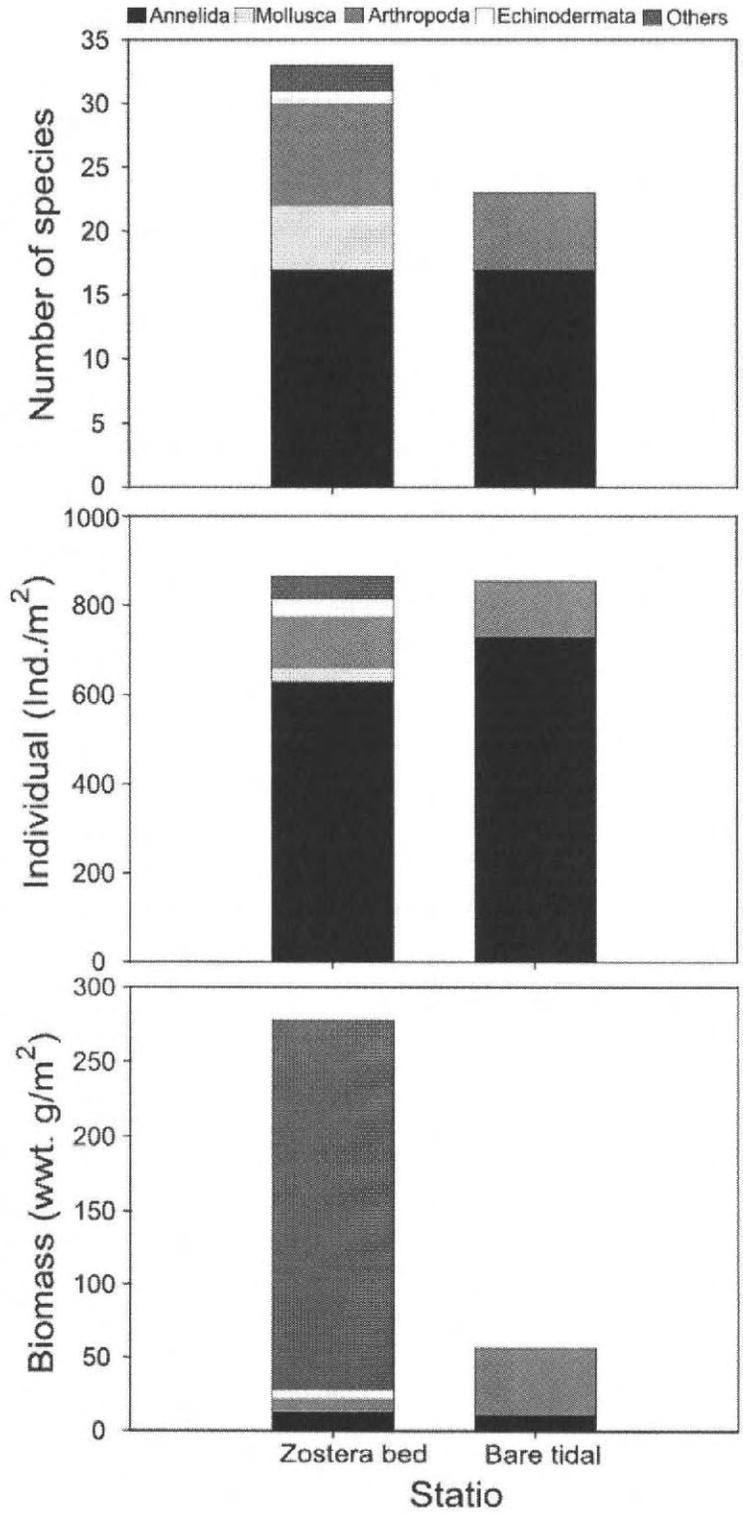


Fig. 56. 2007년에 출현한 저서동물의 지역별 종수, 개체수 및 생체량

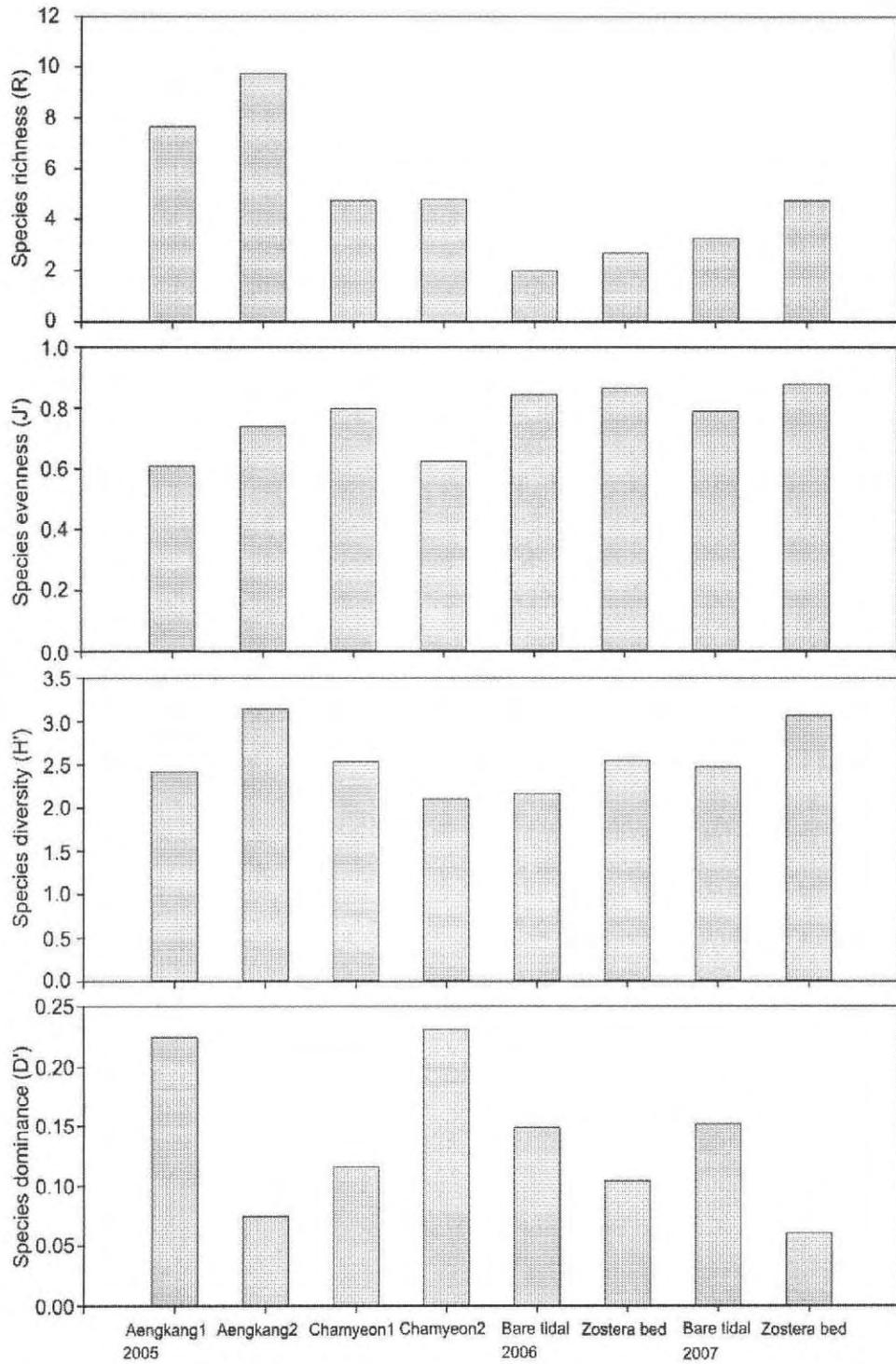


Fig. 57. 조사해역의 저서동물 군집의 종풍부도, 종균등도, 종다양도와 종우점도

조사해역에서 2005~2007년 사이에 출현한 저서동물의 종수와 개체수를 바탕으로 군집군집들의 유사성을 알아보기 위해 집괴분석과 다차원배열법을 실시한 결과, 조사해역은 크게 2개 지역(Group A-앵강, Group B-차면)으로 구별되었고, Group A는 다시 2006년과 2007년의 Group A-1 그룹과 2005년의 *Zostera bed*의 Group A-2그룹으로 나누어지는 특징을 보였다 (Fig. 58). 2005~2007년의 조사는 조사지역에 차이를 보이고 있는데, 2005년의 경우 앵강만과 차면의 주 지역에서 조사가 실시되었으며, 이후부터는 앵강만 내에서만 조사가 이루어졌다. 군집분석에서는 가장 크게 앵강만과 차면 지역의 군집이 다르다는 것을 보여주고 있었다. 반면 앵강만 내에서도 군집의 차이를 보이고 있었는데, 2005년의 잘피장에서의 조사(앵강1과 2)는 2006년과 2007년의 *Zostera bed*와 인근연성퇴적물군락과 비교적 군집의 구조가 다르게 나타났으며 2006년과 2007년의 조사를 살펴보면 다시 *Zostera bed*와 인근연성퇴적물군락의 군집의 구조가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그룹 A에서는 긴자락송곳갯지렁이 (*Scoletoma longifolia*), 남방백금갯지렁이 (*Nephtys polybranchia*), 작은부채발갯지렁이 (*Eteone longa*), 두점참갯지렁이 (*Platynereis bicanaliculata*), 유형동물 (Nemertinea)등의 저서동물이 높은 개체수를 보이면서 출현하였지만, 그룹 B에서는 개체수가 작거나 거의 출현하지 않는 경향을 나타내어 군집간의 비유사도를 증가시키는 것으로 나타났다. 그룹 B에서는 다모류의 버들갯지렁이과에 속하는 *Heteromastus filiformis*, 땡가리 (*Batillaria cumingii*), 왕좁쌀무늬고둥 (*Hinia festivos*), 납작손참집게 (*Pagurus gracilipes*) 등이 높은 개체수를 보이면서 출현했으며, 반면 그룹 A에서는 거의 출현하지 않아 군집분석 시에 그 그룹의 비유사도를 높이는데 기여하는 종으로 나타났다. 그룹 A에서 출현한 종들 중에서 그룹 A-1(2006~2007년 조사)에 높은 개체수를 보이면서 출현하는 종으로는 다모류의 갯모갯지렁이류에 속하는 *Aricidea assimilis*, 긴자락송곳갯지렁이 (*Scoletoma longifolia*), 동정이 되지 않았던 등각류 (Isopoda), 다모류의 얼굴갯지렁이류에 속하는 *Spio martinensis*, 동정이 되지 않았던 단각류 (Amphipoda) 등이 있었는데, 이 종들은 그룹 A-2 (2005년 *Zostera bed*)에서는 거의 출현하지 않았던 종들로 2005년에 조사된 저서동물 군집과 2006~2007년에 조사된 저서동물 군집을 구별하는데 크게 기여하는 저서동물 종으로 나타났다. 그룹 A에서 출현한 종들 중에서 그룹 A-2에 많은 개체수를 보인 반면 그룹 A-1에서는 작은 개체수를 보였던 종들로는 다모류의 버들갯지렁이과에 속하는 *H. filiformis*, 두점참갯지렁이 (*P. bicanaliculata*), 남방백금갯지렁이 (*N. polybranchia*) 등이 있었다.

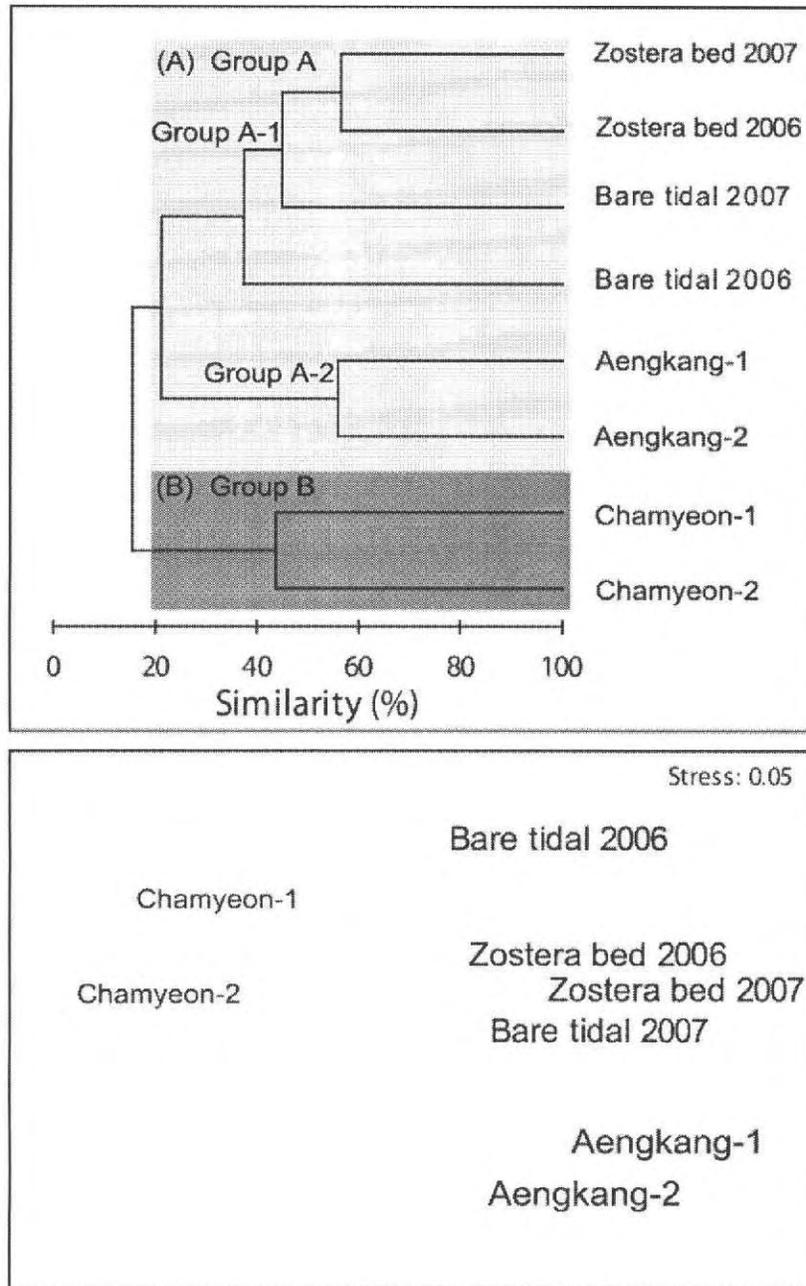


Fig. 58. 조사해역 저서동물 군집의 구조(집괴분석과 다차원배열법)

Seagrass bed는 다양한 영양단계, 복잡한 종우점성 구조를 가지며, 해양에서 가장 생산성이 높은 지역으로 알려져 있다. seagrass bed는 그들의 살아있는 잎과 분해되는 과정에서 생기는 쇄설물 등을 통해 직접적으로 먹이원을 제공할 뿐만 아니라, 그들의 잎과 줄기에 부착하여 서식하는 부착성 미세조류를 통해 다양한 먹이원을 제공하는 것으로 잘 알려져 있다 (Moncreiff and Sullivan, 2001). 또한 seagrass bed 지역은 인근연성퇴적물군락 지역에 비해 다양한 3차원적인 서식공간을 제공하여 산란과 육아장으로서의 역할을 할 뿐만 아니라 seagrass의 생육에 의한 퇴적물 침전효과의 상승은 seagrass 내에 다양한

유기영양분을 침적시키는 작용을 한다. 따라서 seagrass bed에는 퇴적물식성, 부유물을 걸러먹는 식성, 식물을 갉아먹는 식성을 가진 생물 등 다양한 저서동물들이 서식하여 생물다양성이 높게 나타난다 (van Houte-Howes et al., 2004). 본 조사에서도 비슷한 경향을 나타내었는데, *Zostera*가 서식하고 있는 seagrass bed는 인근연성퇴적물군락에 비해 종수와 개체수가 더 많이 출현하는 경향을 나타내었다. 특히 퇴적물식성으로 퇴적물내 유기물을 섭식하며 유기물이 풍부한 곳에서 서식밀도가 높게 나타나는 것으로 알려진 등가시버들갯지렁이 (*S. longifolia*)와 작은 입자의 부유성 유기물질이 많거나 퇴적물내 작은 유기물질이 많은 환경에서 퇴적물을 섭식하거나 유기물을 걸러 먹고 사는 것으로 알려져 있는 등각류 (Isopoda)와 단각류(Amphipoda)의 서식밀도가 높게 나타났다 (Fig. 59).

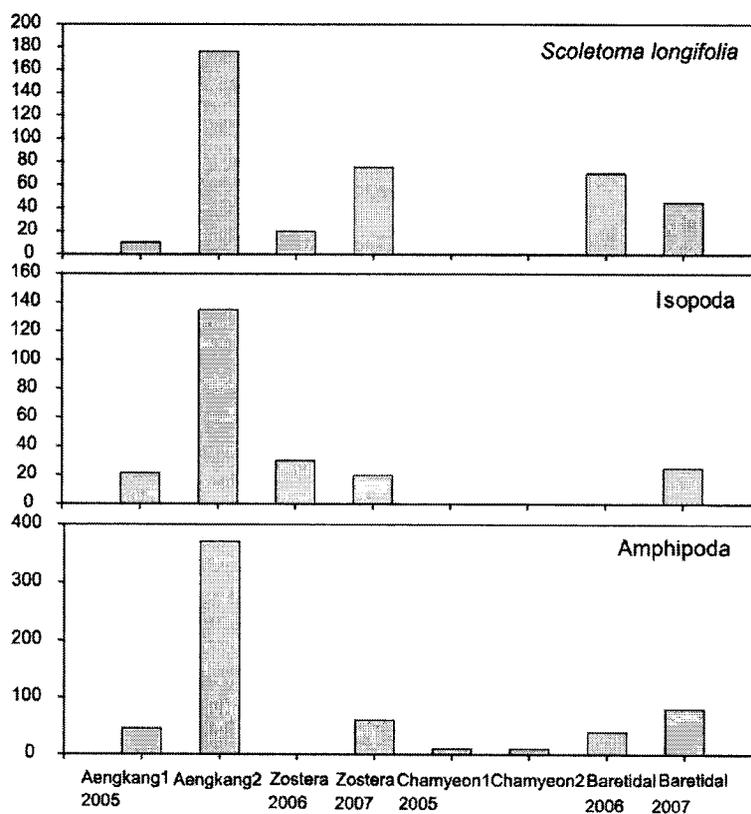


Fig. 59. 등가시버들갯지렁이, 등각류, 단각류의 서식지별 분포

## 2) 안정동위원소비 분석을 이용한 먹이망 분석

앵강만, 동대만 그리고 광양만 등 3개의 내만역에 대해서 잘피장과 수로수로에서 채집된 동물의 탄소안정동위원소의 빈도를 모식화 하였다 (Fig. 60, 61). 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )의 분포를 보면, 3개 내만역에서 공통적으로 잘피장 내에서 채집된 생물군에서 수로에 비하여 매우 높은 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 본 연구 기간 중 연안역

에 서식하는 생물군과 외양역의 생물군 사이의 안정동위원소 비값 조성을 비교하기 위하여 제주도 남방과 서방 및 동방의 3개 외해 정점에서 다양한 동물군을 채집하였는데, 잘피장 외측의 연안역에서 채집된 생물군에 있어서도 외양역에서 채집된 생물군에 비하여 현격히 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 보이는 것으로 나타났다 (Fig. 62). 한편, 질소안정동위원소 비값( $\delta^{15}\text{N}$ )의 분포는 정점간에 뚜렷한 차이를 나타내지는 않았다.

$\delta^{13}\text{C}$  값에 있어서 이와 같은 정점간의 유의한 차이는 연안역과 외양역에 서식하는 생물군이 이용하는 유기물의 기원이 다르다는 것을 잘 나타내어 준다. 또한 연안역에서 외양역에 비하여 대부분의 생물군이 식물플랑크톤이 가지는 동위원소 비값(약 -21‰)보다 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 가진다는 것은 외양의 먹이망이 식물플랑크톤을 영양기저로 하고 있는데 반해, 연안역에 서식하는 생물군들은 식물플랑크톤 외에 더욱 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 가지는 다른 영양원들과 더욱 밀접하게 연결되어 있음을 나타낸다. 본 연구에서 잘 나타난 바와 같이 육상의 C-3형 식물군이나 연안 습지를 구성하는 갈대 등 습지식물군들은 더욱 낮은  $\delta^{13}\text{C}$  값(약 -30‰)을 가지는 반면, 연안역에서 높은 밀도를 나타내는 잘피, 잘피에 부착한 부착미세조류, 해조류 그리고 갯벌의 저서미세조류 등이 식물플랑크톤에 비하여 뚜렷이 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값(-15~-7‰)을 나타내는 것으로 보아 연안의 생물군들에게 유용하게 이용되는 유기물의 기원은 바로 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 가지는 이들 연안 식물군들이므로 예상되었다. 결국 연안역에서 생물의 다양성과 생산력을 높이는데 높은 기여를 보이는 유기물로 나타난 이들 연안의 식물군 중 잘피장에서 서식하는 생물군에서 더욱 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 나타낸다는 것은 잘피장이 연안 동물들의 은신처로서 뿐만 아니라 영양공급처로서도 중요한 생태학적 기능을 하고 있다는 것이 본 연구 결과에서 잘 나타났다.

자연잘피장의 연안생태계에 대한 생태학적 기능은 잘피장과 비잘피장 서식생물 사이의  $\delta^{13}\text{C}$  값 분포에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이전 단락에서 저서동물 군집 분석 결과에서 나타난 바와 같이 잘피장은 더욱 많은 종의 생물을 보유하고 있는 효과를 가지는 것으로 나타났는데, 본 연구에서 가장 흥미로운 결과는 여기에 실제로 연안 생물에 대한 영양공급 기능을 가진다는 것이 본 연구에서 뚜렷하게 관찰되었다. 잘피장 주변의 비잘피장에 서식하는 생물군들이 가지는  $\delta^{13}\text{C}$  값은 흔히 외양의 식물플랑크톤 기저의 생태계 먹이망에서 나타나는  $\delta^{13}\text{C}$  값에 비하여 유의하게 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 가지는 것이 나타났다. 결국 이와 같은 결과는 잘피장에 서식하는 생물 뿐만 아니라 잘피장 인근에서 서식하는 생물군들도 잘피장에 기원을 둔 유기물에 크게 의존하고 있다는 것을 잘 나타내어 준다. 이들이 잘피장으로부터 물리적인 수송에 의해 유출되는 유기물을 이용하는지 아니면 잘피장으로 능동적으로 이동하여 섭식활동을 하는지에 대해서는 앞으로의 연구를 통하여 밝혀질 것으로 예상되지만 본 연구 결과는 잘피장 기원 유기물이 연안생태계에 대단히 중요한 기여를 하고 있다는 것은 확실한 것으로 보인다.

광양만, 동대만, 앵강만 지역의 잘피장과 인근수로에 서식하는 무척추동물의 탄소

안정동위원소 비값의 분포를 나타내었다. 광양만 잘피장 정점의 경우 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )이 -11 ~ -16까지 분포하였으며, 수로 1에서는 -13 ~ -16까지 분포하였고 수로 2에서는 -14 ~ -17까지 분포하여 잘피장 정점의 무척추동물이 수로 지역에 비해 다소 높은 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )을 가지는 경향을 나타내었다. 동대만 지역의 잘피장에서는 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ ) -6 ~ -17까지 넓은 범위의 분포를 보였고, 만중앙 정점에서는 -9 ~ -16까지의 분포를 보였다. 앵강만 지역의 잘피장의 경우 동대만의 잘피장과 유사하게 -6 ~ -17의 넓은 범위를 나타냈고, 만입구 정점의 경우 -14 ~ -17의 비값을 보여 잘피장에 비해 낮게 나타났다.

각각의 광양만, 동대만, 앵강만 지역의 잘피장과 인근수로에 서식하는 어류의 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )을 범위로 나타내었다. 광양만의 잘피장에서는 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )이 -11 ~ -16 사이의 분포를 보였고, 수로 1과 수로 2에서는 잘피장에 비해 좀 더 넓은 범위의 비값을 나타내었다. 동대만의 경우 잘피장에서는 -11 ~ -17의 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )의 범위를 보였고 만중앙에서는 -13 ~ -16의 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )의 분포를 나타냈다. 앵강만 지역의 잘피장 정점과 인근 수로에서 정점을 보면 각각 -13 ~ -16 그리고 -14 ~ -17의 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )을 나타내어 다른 지역에 비해 다소 좁은 범위를 나타내었다.

한편, 본 연구가 인공잘피장 조성을 통한 연안의 생물자원 회복을 목표로 한다는 점을 고려할 때, 앵강만에 인공으로 조성한 잘피장에서도 동대만과 광양만의 자연 잘피장에서 나타난 결과와 동일한 결과를 나타낸다는 점은 인공 잘피장 조성을 통하여 연안 생태계의 회복에 큰 기여를 할 가능성을 제시해 준다.

자연 잘피서식지의 연안생태계에 대한 생태학적 기능은 본 연구에서 잘피장과 비잘피장 서식생물 사이의 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ ) 분포에서 뚜렷하게 나타났다. 이전 많은 연구들은 잘피장은 더욱 많은 종의 생물을 보육하는 효과를 가지는 것으로 나타났는데, 본 연구에서 가장 흥미로운 결과는 여기에 실제로 연안 생물에 대한 영양 공급 기능을 가진다는 것이 본 연구에서 뚜렷하게 관찰되었다. 잘피장 주변의 비잘피장에 서식하는 생물군들이 가지는  $\delta^{13}\text{C}$  값은 흔히 외양의 식물플랑크톤 기저의 생태계 먹이망에서 나타나는  $\delta^{13}\text{C}$  값에 비하여 유의하게 높은 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )을 가지는 것이다. 결국 이와 같은 결과는 잘피장에 서식하는 생물 뿐만 아니라 잘피장 인근에서 서식하는 생물군들도 잘피장에 기원을 둔 유기물에 크게 의존하고 있다는 것을 잘 나타내어 준다. 이들이 잘피장으로부터 물리적인 수송에 의해 유출되는 유기물을 이용하는지 아니면 잘피장으로 능동적으로 이동하여 섭식활동을 하는지에 대해서는 앞으로의 연구를 통하여 밝혀질 것으로 예상되지만 본 연구 결과는 잘피장 기원 유기물이 연안생태계에 대단히 중요한 기여를 하고 있음을 알 수 있다.

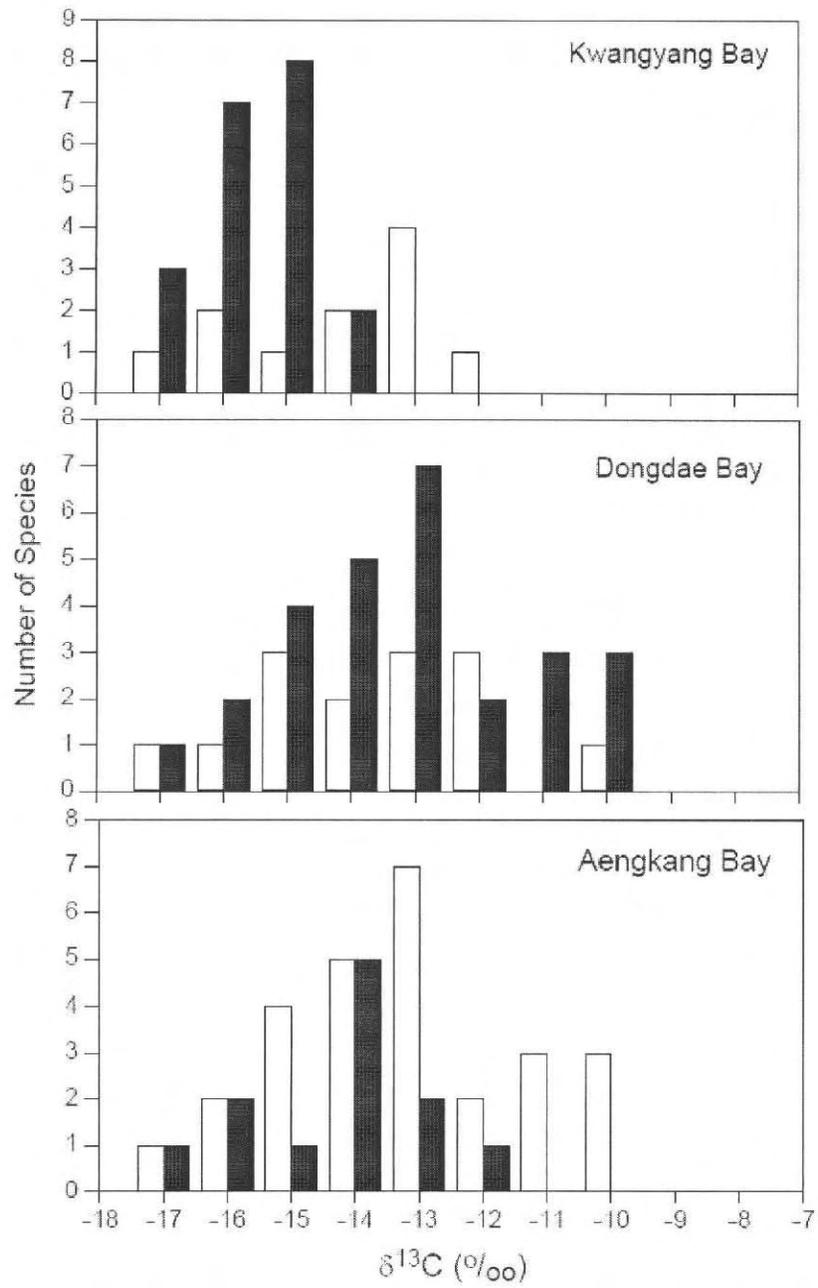


Fig. 60. 광양만, 동대만, 앵강만에서 채집한 저서동물의 탄소안정동위원소비 값의 출현분포  
 흰색: 잘피장, 검정색: 인근수로

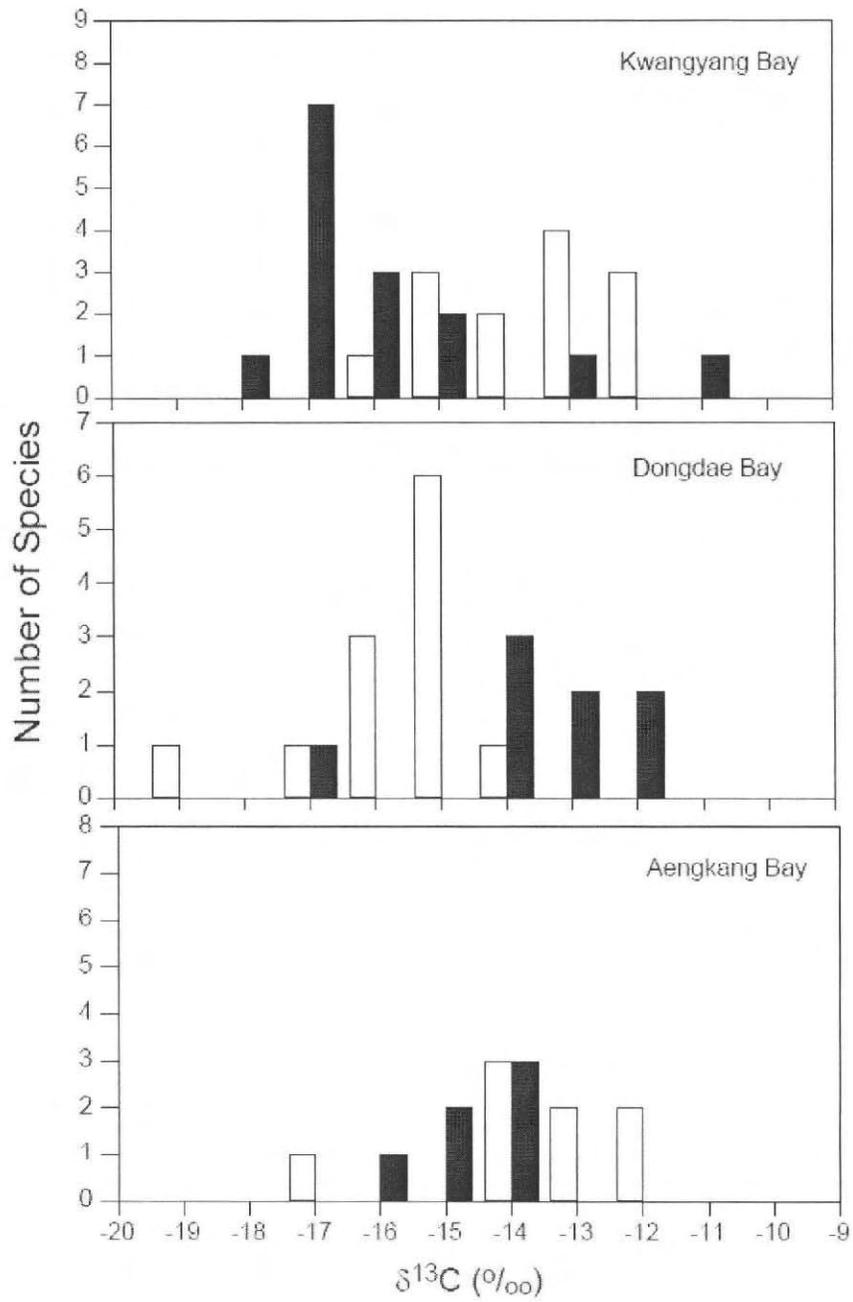


Fig. 61. 광양만, 동대만, 앵강만에서 채집한 유명동물의 탄소안정동위원소비 값의 출현분포  
 흰색: 잘피장, 검정색: 인근수로

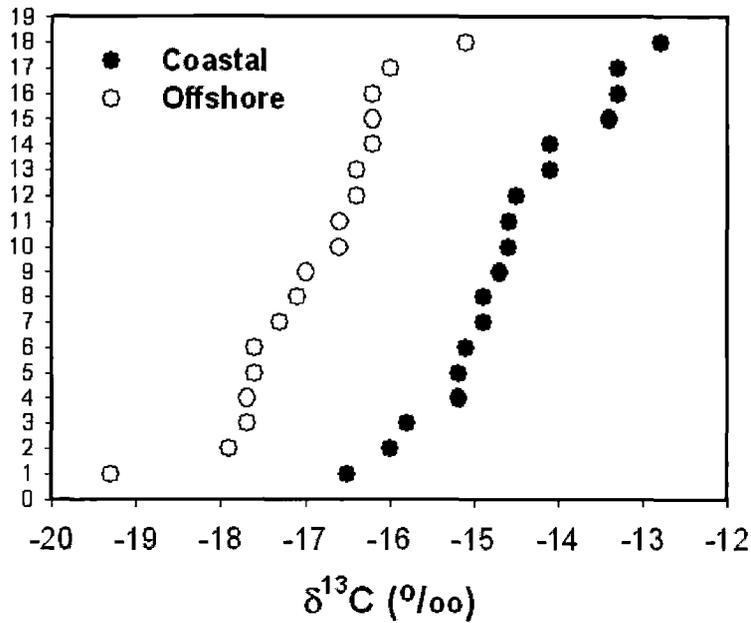


Fig. 62. 잘피서식지와 대조해역에서 채집한 어류의 탄소안정동위원소비 ( $\delta^{13}\text{C}$ )

광양만, 동대만, 앵강만 지역의 잘피장과 인근수로에 서식하는 무척추동물의 탄소안정동위원소비 ( $\delta^{13}\text{C}$ )을 나타내었다. 광양만 잘피장 정점의 경우 탄소안정동위원소 비값이 두점박이민꽃게 (*Charybdis bimaculata*)가  $-12.1\text{‰}$ 로 가장 높았고 뚝뚝이쥘신고둥 (*Crepidula onyx*)이  $-15.8\text{‰}$ 로 가장 낮았다(Fig. 63). 질소안정동위원소 비값( $\delta^{15}\text{N}$ )은 낙지 (*Octopus variabilis*)가  $13.4\text{‰}$ 로 가장 높았고 뚝뚝이쥘신고둥 (*C. onyx*)이  $8.5\text{‰}$ 로 가장 낮은 값을 보였다. 비잘피장 정점인 수로 1과 2 정점에 서식하는 무척추동물의 탄소안정동위원소 비값( $\delta^{13}\text{C}$ )의 분포를 보면 가는혹비늘갯지렁이 (*Halosydropsis pilosa*)가  $-13.1\text{‰}$ 로 가장 높았고 수로2정점에서 채집된 두점박이민꽃게 (*C. bimaculata*)가  $-16.1\text{‰}$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 질소안정동위원소 비값( $\delta^{15}\text{N}$ )은 포식자로 잘 알려진 갯가재 (*Squilla oratoria*)가  $14.3\text{‰}$ 으로 가장 높았고, 큰사슴갯지렁이 (*Amphicteis gunneri*)가  $9.9\text{‰}$ 로 가장 낮게 나타났다. 동대만 지역의 잘피장 정점에서의 탄소안정동위원소 비값은 흰점꽃잎군소 (*Petalifera punctulata*)가  $-6.8\text{‰}$ 의 값을 보여 가장 높았고, 미더덕 (*Styela clava*)이  $-16.2\text{‰}$ 로 가장 낮았다(Fig. 64). 질소안정동위원소 비값은 단각류에 속한 바다대벌레 (*Caprella* sp.)와 옆새우류 (*Gammaridae* unid.)가  $9.4\text{‰}$ 로 가장 낮았고, 갑각류의 긴발줄새우 (*Palaemon ortmanni*)가  $15.5\text{‰}$ 로 가장 높았다. 만중앙에서 별불가사리 (*Asteriana pectinifera*)가  $-9.6\text{‰}$ 로 가장 높은 탄소안정동위원소 비값을 보였고,  $15.8\text{‰}$ 로 가장 낮은 질소안정동위원소비 값을 보였다. 민새우 (*Parapenaeopsis tenella*)는 탄소안정동위원소 비값이  $-15.2\text{‰}$ 로 가장 낮았고, 빨물맞이게 (*Pugettia quadridens*)의 질소안정동위원소 비값이  $12.$

0‰으로 가장 낮은 값을 보였다. 앵강만 지역의 잘피장 정점에 서식하는 무척추동물의 탄소안정동위원소 비값의 경우, 남방얼룩고둥 (*Cantharidus japonicus*)이 -6.1‰의 값을 가져 세 지역중 가장 높은 값을 나타냈고, 광양만과 마찬가지로 뽕뽕이짚신고둥 (*C. onyx*)이 -16.3‰으로 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 65). 질소안정동위원소 비값은 바위털갯지렁이 (*Marphysa sanguinea*)가 14.8‰로 가장 높았고, 역시 뽕뽕이짚신고둥 (*C. onyx*)이 8.1로 가장 낮았다. 만입구 정점에서의 탄소안정동위원소 비값은 큰손딱총새우 (*Alpheus rapax*)가 -14.2‰로 가장 높았고, 자주새우 (*Crangon affinis*)가 -16.4‰로 가장 낮았다. 질소안정동위원소 비값은 두족류의 한종이 11.1‰로 가장 낮았고, 갯가재 (*S. oratoria*)가 12.8로 가장 높았다. 대체적으로 세지역 모두 잘피장 정점에 서식하는 무척추동물의 탄소안정동위원소 비값이 비잘피장 정점에서 서식하는 무척추 동물에 비해 높은 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

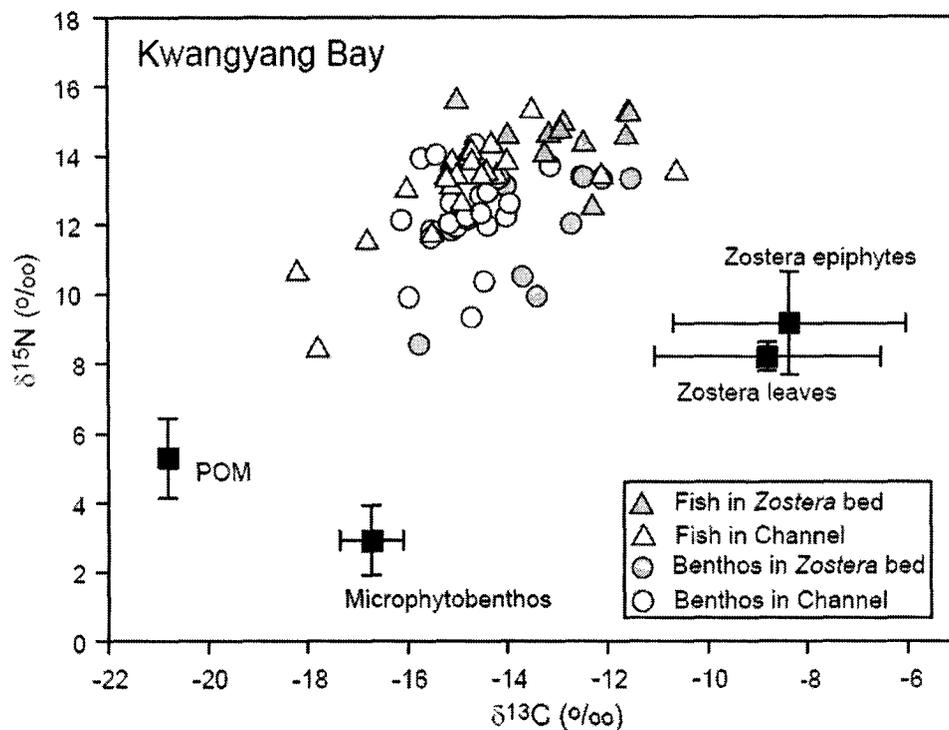


Fig. 63. 광양만의 잘피장과 수로에서 채집된 저서동물과 어류의 탄소와 질소안정동위원소비

세 지역의 각각의 정점에 대한 어류의 탄소 및 질소안정동위원소 비값을 나타내었다. 광양만에서 잘피장과 수로에 서식하는 어류의 탄소안정동위원소 비값의 경우, 수로 1에 서식하는 베도라치 (*Pholis nebulosa*)가 -10.6‰으로 가장 높았고 수로 2에서 채집된 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*)이 -18.2‰로 가장 낮았다. 질소안정동위원소 비값은 잘피장에서 채집된 점농어 (*Lateolabrax maculatus*)가 15.6‰으로 가장 높았고, 비잘피장 정점에서

채집된 조피볼락 (*S. schlegeli*)이 10.6‰으로 가장 낮았다. 동대만 지역의 잘피장과 만중양에 서식하는 어류 중 잘피장에서 채집된 해마 (*Hippocampus coronatus*)는 탄소 및 질소안정동위원소 비값이 각각 -11.1‰과 15.5‰의 값으로 가장 높았고 같은 정점에서 채집된 볼락의 탄소안정동위원소 비값은 -16.8‰로 가장 낮았다. 또한 잘피장 정점의 실고기 (*Sygnathus schlegeli*)의 경우, 질소안정동위원소 비값은 11.6‰의 값으로 가장 낮았다. 앵강만에 서식하는 어류의 안정동위원소 비값을 보면, 잘피장에서 채집된 복점 (*Takifugu niphobles*)이 -13.4‰와 14.0‰의 값을 가져 각각 가장 높았다. 반면 비잘피장 정점인 만입구에서 채집된 병어 (*Pampus argenteus*)는 탄소안정동위원소 비값이 -16.5‰로 가장 낮았고, 잘피장 정점에서 채집된 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)의 질소안정동위원소 비값이 11.8‰로 가장 낮게 나타났다.

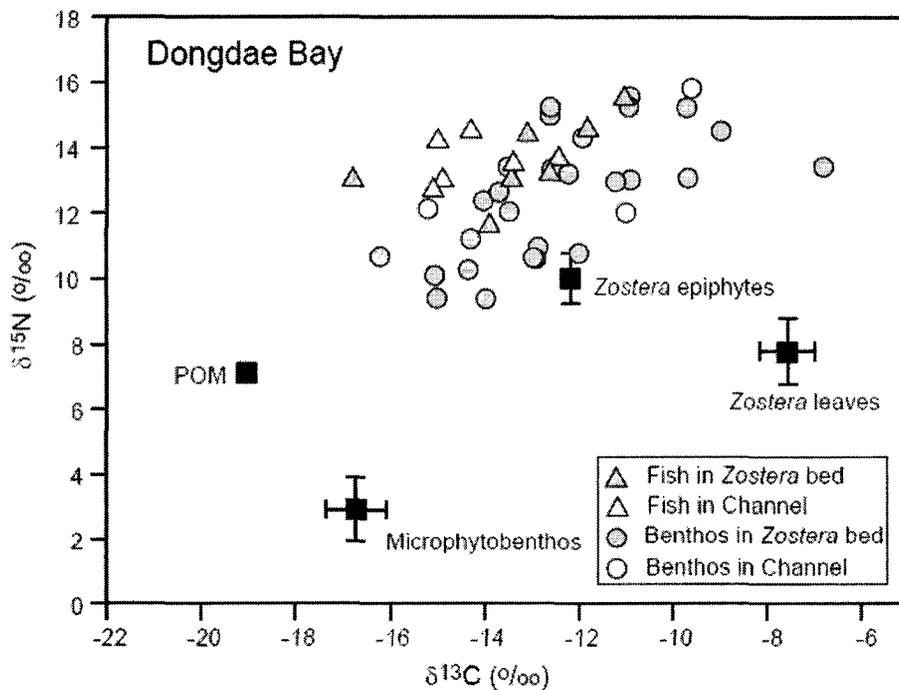


Fig. 64. 동대만의 잘피장과 수로에서 채집된 저서동물과 어류의 탄소와 질소안정동위원소비

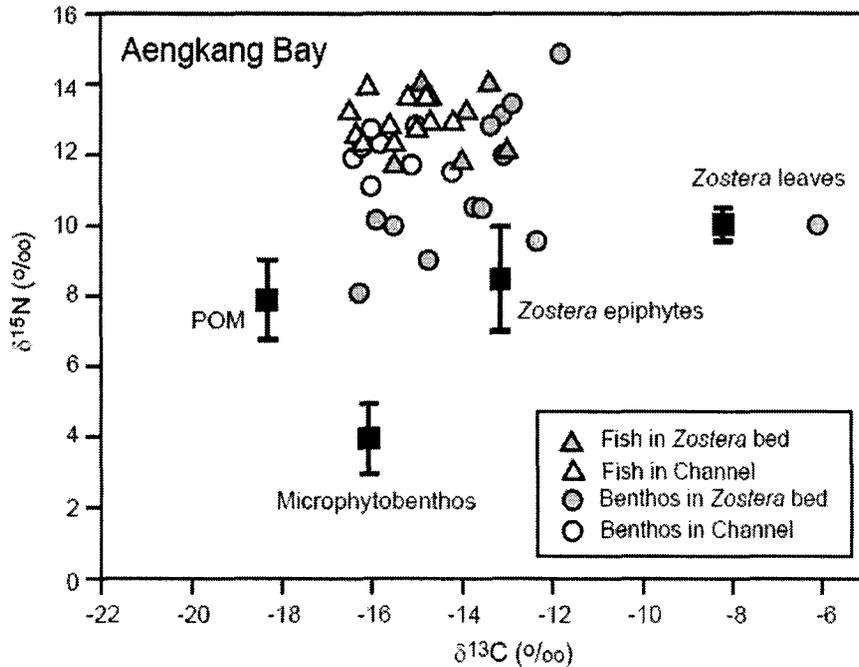


Fig. 65. 앵강만의 잘피장과 수로에서 채집된 저서동물과 어류의 탄소와 질소안정동위원소비

광양만에서 채집된 무척추동물과 어류의 탄소 및 질소 안정 동위원소비값을 이용하여 집괴분석을 실시하였다 (Fig. 66). 광양만에서 채집된 무척추동물은 크게 두 그룹으로 나누어졌다. 그룹1에는 퇴적물식자로 알려진 큰사슴갯지렁이 (*Amphicteis gunneri*)와 여과섭식자인 뚝뚝이꼬신고둥 (*C. onyx*) 등과 잡식자인 집게 (*Pagurus* sp.)와 초식자 또는 퇴적물식자인 중간빨물맞이게 (*P. intermedia*) 등이 포함되었다. 2그룹은 다시 4개의 그룹으로 나뉘는데, 2a 그룹에는 잘피장의 긴좁은빨꼬마새우 (*H. pandaloides*)와 넓적빨꼬마새우 (*Latreutes planirostris*) 등과 포식자인 피빨고둥 (*R. venosa*) 그리고 만입구 정점에서 채집된 포식자인 가는혹비늘갯지렁이 (*Halosydropsis pilosa*)가 속하였다. 2b그룹에는 만입구 정점에서 채집된 상위포식자들인 갯가재 (*S. oratoria*)와 민꽃게 (*C. japonica*)등이 속하였고, 2c그룹에는 잡식자인 빗살거미불가사리 (*Ophiura kinbergi*)와 만입구 정점의 포식자인 피빨고둥 (*R. venosa*)을 제외하고 육식활동을 하는 갑각류인 중하 (*Metapenaeus joyneri*), 꽃게 (*Portunus trituberculatus*) 등이 포함되었다. 마지막으로 2d그룹에는 포식활동을 하는 다모류인 미갯지렁이 (*Glycera* sp.)와 깨점박이참갯지렁이 (*Nereis multignatha*) 등이 속한 그룹과 잡식활동을 하는 덧니거미불가사리 (*Amphipopus tricoides*)와 빨가시거미불가사리 (*Amphipopus ancistrotus*) 등이 속한 그룹으로 나누어졌다. 광양만에 서식하는 어류의 안정동위원소 비값을 이용하여 집괴분석을 실시한 결과, 크게 두 그룹으로 나누어졌고 1

그룹은 다시 세 그룹으로 나누어지는 양상을 보였다. 1a그룹에는 수로에서 채집된 베도라치 (*P. nebulosa*)와 쥐노래미 (*H. otakii*) 등이 속하였고, 1b그룹에는 수로지역에서 채집된 쥐노래미와 포식자인 각시서대 (*Pseudaesopia japonica*)를 제외하면 모두 잘피장에서 채집된 종들로 구성되어있다. 대표적인 종으로 어류도 잡아먹는 포식자인 볼락 (*Sebastes inermis*), 삼세기 (*Hemitripterus villosus*)와 다른 포식자인 복섬 (*Takifugu niphobles*) 등이 속하였다. 1c그룹에는 가장 많은 16종으로 구성되어있으며, 잘피장의 상위포식자인 점농어 (*Lateolabrax maculatus*)와 실고기 (*S. schlegeli*) 등을 제외하면 대부분이 수로 정점에서 채집된 종들로 구성되어 있다. 상위포식자로서 민태 (*Johnius grypotus*), 붕장어 (*Conger myriaster*), 꼼치 (*Liparis tanakai*) 등과 포식자로서 도화망둑 (*Amblychaeturichthys hexanema*)과 주둥치 (*L. nuchalis*) 등이 이 그룹에 포함되어 있다. 2그룹은 4종으로 모두 수로에서 채집된 종으로 구성되어 있으며, 상위포식자인 등가시치 (*Zoarces gilli*)와 포식자인 용서대 (*Cynoglossus abbreviatus*) 등으로 구성되어 있다.

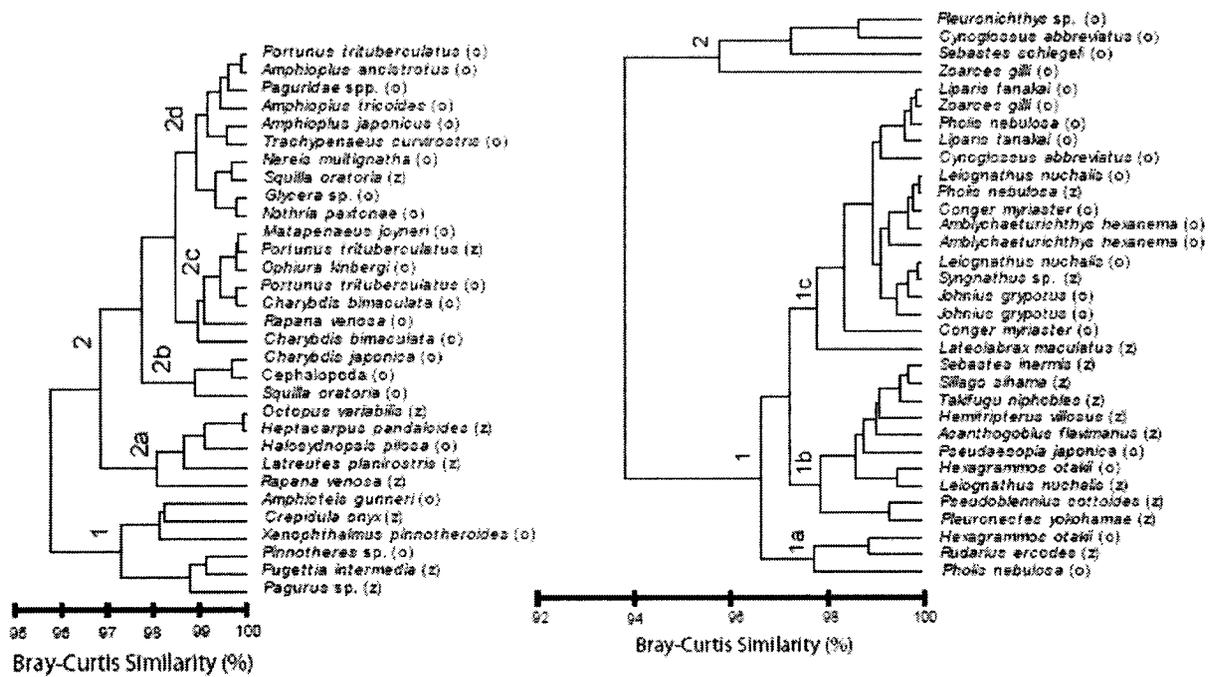


fig. 66. 광양만에 채집된 저서동물(좌)과 어류(우)의 탄소 및 질소 안정동위원소를 이용한 cluster analysis (z: 잘피장, o: 수로)

동대만에서의 잘피장 정점과 만중앙 정점에서 채집된 무척추동물의 안정동위원소 비값을 이용하여 집괴분석을 실시한 결과 (Fig. 67), 초식자인 흰점꽃잎군소 (*Petalifera punctulata*)를 제외하고 두 그룹으로 나누어졌다. 1그룹에 속한 동물은 모두 잘피장에서 채집된 동물로서 초식자인 빨물맞이게 (*Pugettia quadridens*), 미확인된 여섯니세스랑게 (*Camptandrium sexdentatum*), 잡식자인 집게류 (*Pagurus* sp.) 그리고 여과섭식자인 미더덕 (*Styela clava*), 종뭇 (*Musculus senhousia*), 잡식자인 괴물유령갯지렁이 (*Loimia medusa*), 바다대벌레 (*Caprella* sp), 옆새우류 (*Gammaridae* unid.), 퇴적물식자인 아기반투명조개 (*Theora fragilis*)가 속하였다. 2그룹은 다시 두 그룹으로 나누어진다. 2a그룹은 크게 두 무리로 나누어지는데 포식자인 녹색불꽃부채발갯지렁이 (*Eulalia viridis*), 송곳갯지렁이 (*Lumbrineris* sp.)와 잡식자인 자주새우 (*Crangon affinis*), 포식자인 미갑갯지렁이 (*Glycera* sp.), 별거숭이비늘갯지렁이 (*Perolepis stylolepis*) 그리고 포식자인 민새우 (*Parapenaeopsis tenella*), 마루자주새우 (*Crangon hakodatei*), 퇴적물식자인 등각류 (*Isopod* unid.)와 고깔갯지렁이 (*Phylo fimbriatus*), 잡식자인 총채유령갯지렁이 (*Pista cristata*), 거미불가사리 (*Ophioplocus japonicus*)로 나누어진다. 2b그룹은 9종으로 구성되어있으며, 잘피장에 서식하는 새우류의 대부분이 이 그룹에 속하였다. 대표적인 새우류로 포식자인 그라비새우 (*Palaemon gravieri*), 붉은줄참새우 (*Palaemon macrodactylus*) 그리고 잘피나 구조류를 섭이하는 긴좁은빨꼬마새우 (*Heptacarpus pandaloides*) 등이 있다. 이외에 잘피장에서 채집된 1 그룹에 속한 빨물맞이게 (*P. quadridens*)와는 다르게 만입구에서 채집된 빨물맞이게가 2b 그룹에 속하여 지역적인 차이를 보이고 있었다. 그리고 퇴적물식자인 가시땃해삼 (*Protankyra bidentata*) 등이 포함되었다. 동대만에서 채집된 어류의 경우 집괴분석 결과, 크게 2그룹으로 나누어졌다. 2그룹에는 잘피장에서 채집된 곤쟁이류와 무척추동물 유생 등을 섭이하는 해마 (*Hippocampus coronatus*)가 속하였다. 1그룹은 다시 역시 플랑크톤을 주로 먹는 실고기 (*Syngnathus schlegeli*)를 제외하고 크게 두 무리로 나누어졌다. 1a 그룹에는 잘피장에서 채집된 베도라치 (*Pholis nebulosa*)와 문절망둑 (*Acanthogobius flavimanus*)을 비롯하여 포식자인 망상어와 붕장어 (*Conger myriaster*) 등이 속하였으나 1b 그룹에서는 역시 같은 종이지만 만입구에서 채집된 베도라치와 문절망둑을 비롯하여 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*) 등이 포함되었고, 잘피장에서 채집된 종으로 유일하게 상위포식자인 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*)이 여기에 속하였다. 다른 정점에서 같이 채집된 베도라치와 문절망둑의 경우 지역적으로 나누어지는 양상을 보였다.

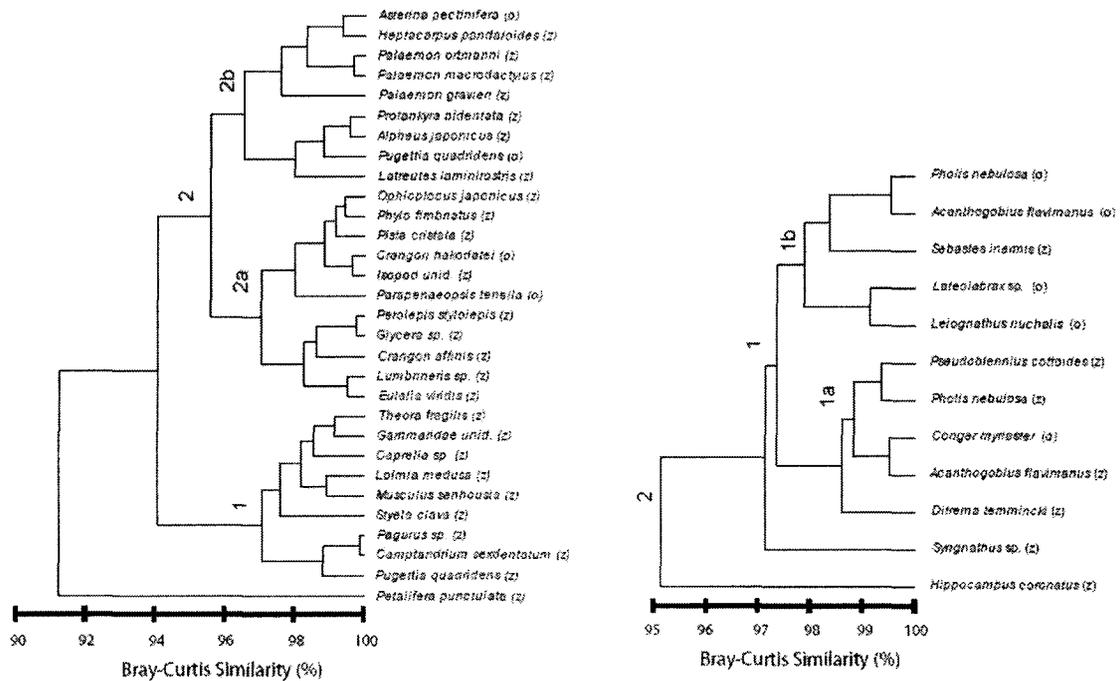


Fig. 67. 동대만에 채집된 저서동물 (좌)과 어류(우)의 탄소 및 질소 안정동위원소를 이용한 cluster analysis (z: 잘피장, o: 수로)

앵강만 지역의 잘피장 정점과 비잘피장인 만입구 정점에서 채집된 무척추동물에 대하여 안정동위원소 비값을 이용하여 집괴분석을 실시한 결과 (Fig. 68), 크게 세 그룹으로 나누어졌다. 잘피장에서 채집된 초식자 (grazer)로 알려져 있는 남방얼룩고둥 (*Cantharidus japonicus japonicus*)은 1그룹에 유일하게 속한 종이였다. 2그룹에서는 잘피장과 만입구 정점에서 서식하는 포식자 (carnivore)와 잡식자 (omnivore)가 대부분 속하였으며, 2그룹은 다시 채집된 정점끼리 다시 두 그룹으로 나누어지는 양상을 보였다. 2a 그룹은 잘피장에서 채집된 세 종으로 포식자인 송곳개지렁이 (*Lumbrineris* sp.)와 입빨고둥 (*Ceratostoma burnetti*) 그리고 잡식자로 알려진 털갯지렁이 (Eunicidae unid.)가 속하였다. 2b 그룹은 만입구에서 채집된 종들로서 총 7종 중에서 6종이 포식자로 알려져 있으며, 나머지 한 종인 자주새우 (*Crangon affinis*)는 잡식자로 알려져 있는 종이다. 3그룹에 속한 7종은 모두 잘피장에서 채집된 종으로서, 퇴적물섭식자 (deposit feeder)인 유형동물 (Nemertinea), 잡식자인 집게류 (*Pagurus* sp.), 포식자인 감생이고둥 (*Sydnaphera spengleriana*) 그리고 여과섭식자 (suspension feeder)인 뚝뚝이쥘신고둥 (*Crepidula onyx*), 퇴적물섭식자인 쪽 (*Upogebia major*)과 개불 (*Urechis unicinctus*), 다양한 먹이 섭식을 하는 옆새우류 (Gammaridae)로 나누어졌다. 앵강만 지역에서 채집된 어류의 안정동위원소 비값을 이용한 집괴분석을 실시하였다. 어류의 경우에는 크게 두 그룹으로 나뉘어졌으며, 1

그룹은 1a그룹과 1b그룹으로 나누어졌다. 1a그룹에는 7종이 속하였으며, 잡식자인 가시망둑 (*Pseudoblennius cottoides*)이 잘피장에서 채집된 유일한 종이었으며 나머지 6종은 만입구 정점에서 채집된 종으로서 대부분의 먹이 섭식방식은 무척추동물 및 어류 등을 잡아먹는 포식자 (piscivore/carnivore)로 보구치 (*Argyrosomus argentatus*), 미역치 (*Hypodytes rubripinnis*), 참서대류 (Cynoglossidae), 붕장어 (*Conger myriaster*), 문치가자미 (*Pleuronectes yokohamae*)가 여기에 속하였으나, 주둥치 (*Leigonathus nuchalis*)는 곤쟁이류나 무척추동물의 유생 등의 플랑크톤을 잡아먹는 플랑크톤식자(planktivore)로 알려져 있다. 1b그룹에 속한 종들 역시 잘피장에서 채집된 플랑크톤식자인 실고기 (*Sygnathus schlegeli*) 외에는 만입구 정점에서 채집되었다. 만입구 정점에서 채집된 종들은 플랑크톤식자인 청멸 (*Thryssa kammalensis*)과 베도라치 (*Pholis nebulosa*), 포식자인 열동가리돔 (*Apogon lineatus*), 병어 (*Pampus argenteus*), 양태 (*Platycephalus indicus*), 도화망둑 (*Amblychaeturichthys hexanema*)이었다. 2그룹에는 3종이 속하였으며 모두 잘피장에서 채집된 종들로서 포식자인 복섬 (*Takifugu niphobles*)과 잡식자인 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)가 속하였다.

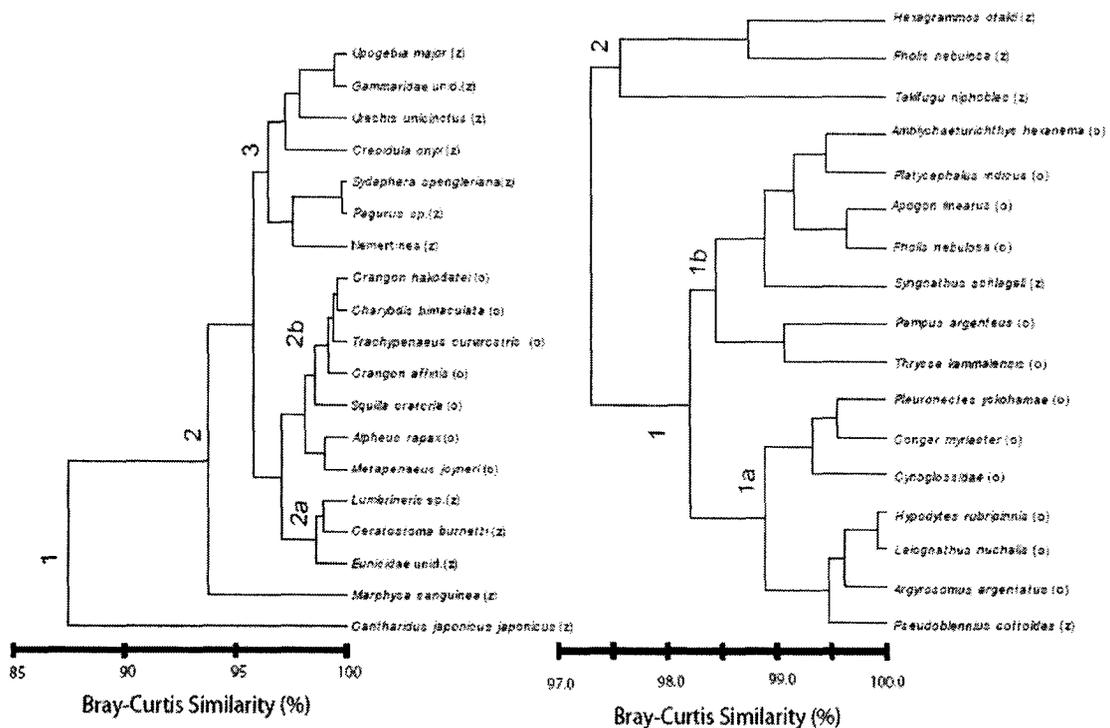


Fig. 68. 앵강만에 채집된 저서동물 (좌)과 어류(우)의 탄소 및 질소 안정동위원소를 이용한 cluster analysis (z: 잘피장, o: 수로)

Table 4. 광양만 동대만, 양강만에서 채집된 저서동물의 안정동위원소비 값과 섭식양식

Species	Common name	광양만				동대만				양강만				Feeding guild
		알피장		수문 1		수문 2		알피장		만중앙		만입구		
		$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$											
<i>Acmaeopleura balssi</i>	관애기리닫게							-12.9	10.9					Unidentified
<i>Alpheus japonicus</i>	긴팔딱총새우							-10.9	13.0					Carnivore
<i>Alpheus rapax</i>	관손딱총새우											-14.2	11.5	Carnivore
<i>Amphicleis gunneri</i>	관사슴갯지렁이			-15.9	9.9									Deposit feeder
<i>Amphioptus tricoides</i>	돛니거미물가사리			-14.4	11.9									Omnivore
<i>Amphioptus ancistrotus</i>	물가서거미물가사리			-14.8	12.1									Omnivore
<i>Amphioptus japonicus</i>	손알거미물가사리			-13.9	12.6									Omnivore
<i>Asterina pectinifera</i>	별물가사리									-9.6	15.8			Omnivore
<i>Camptandrium sexdentatum</i>	여섯니세소랑게							-12.9	10.6					Unidentified
<i>Cantharidus japonicus japonicus</i>	남방벌족고둥									-6.1	10.0			Grazer
<i>Caprella sp.</i>	바다대벌레							-14.0	9.4					Omnivore
Cephalopoda	두족류			-15.7	13.9									Omnivore
<i>Ceratosstoma burnetti</i>	임플고둥									-12.9	13.4			Carnivore
<i>Charybdis bimaculata</i>	두점박이 민꽃게			-15.5	11.8	-16.1	12.1					-15.8	12.3	Carnivore
<i>Charybdis japonica</i>	민꽃게	-12.1	13.3			-15.4	14.0							Carnivore
<i>Crangon affinis</i>	자주새우							-11.9	14.3					Omnivore
<i>Crangon hakodatei</i>	마루자주새우									-13.7	13.2			Carnivora
<i>Crepidula onyx</i>	둥둥이질신고둥	-15.8	8.5							-12.6	13.3			Suspension feeder
<i>Eulalia viridis</i>	녹색물꽃루채물갯지렁이									-12.6	13.3			Carnivore
<i>Euhididae unid.</i>	털갯지렁이									-13.1	12.0			Omnivore
<i>Gammaridae unid.</i>	털새우류									-15.0	9.4			Omnivore
<i>Glycera sp.</i>	촌미갯지렁이	-14.4	12.9							-12.6	15.0			Carnivore
<i>Goniada japonica</i>	큰갈매기고리갯지렁이							-13.5						Carnivore
<i>Halosydropsis pilosa</i>	가는홍바늘갯지렁이			-13.1	13.7									Carnivore
<i>Heptacarpus pandaloides</i>	긴줄물꽃꼬마새우	-12.5	13.4					-9.7	15.2					Grazer/Scavenger
Isopod unid.	투각류							-13.5	13.4					Deposit feeder
<i>Latreutes laminirostris</i>	긴뿔적물꼬마새우							-9.7	13.1					Grazer/Scavenger
<i>Latreutes planirostris</i>	뿔적물꼬마새우	-11.5	13.3											Grazer/Scavenger
<i>Louma medusa</i>	피물유령갯지렁이							-14.3	11.2					Omnivore
<i>Lumbrineris sp.</i>	송곳갯지렁이							-12.2	13.2			-13.4	12.8	Carnivore
<i>Marphysa sanguinea</i>	바위털갯지렁이									-11.8	14.8			Carnivore
<i>Metapenaeus joyneri</i>	물하	-15.0	11.9									-15.1	11.7	Carnivore
<i>Musculus senhousia</i>	종맛							-14.3	10.3					Suspension feeder
Nemertinea	유형동물									-12.3	9.6			Deposit feeder
<i>Nereis multignatha</i>	깨집박이참갯지렁이	-14.1	13.3											Deposit feeder
<i>Nothria paxtonae</i>				-14.5	12.8									Omnivore
<i>Octopus variabilis</i>	낙지	-12.5	13.4											Carnivore
<i>Ophioplocus japonicus</i>	거미물가사리							-13.7	12.6					Omnivore
<i>Ophiura kinbergi</i>	빛살거미물가사리	-15.1	12.0											Omnivore
Paguridae spp.	집게					-14.5	12.3							Omnivore
<i>Pagurus sp.</i>	집게	-13.4	9.9					-13.0	10.6			-13.7	10.5	Omnivore
<i>Palaemon gravieri</i>	그리비새우							-9.0	14.5			-13.1	13.1	Planktivore
<i>Palaemon macrodactylus</i>	붉은줄참새우							-10.9	15.5					Planktivore
<i>Palaemon ortmanni</i>	긴팔참새우							-10.9	15.2					Planktivora
<i>Parapenaeopsis tenella</i>	민새우									-15.2	12.1			Carnivora
<i>Perolepis stylolepis</i>	별겨승이바늘갯지렁이							-12.6	15.2					Carnivore
<i>Petalifera punctulata</i>	흰점꽃알문스							-6.8	13.4					Grazer
<i>Phyto fimbriatus</i>	그갯지렁이							-14.0	12.4					Deposit feeder
<i>Pinnotheres sp.</i>	물속살이게속			-14.4	10.3									Unidentified
<i>Pista cristata</i>	홍채유령갯지렁이							-13.5	12.0					Omnivore
<i>Portunus trituberculatus</i>	물게	-15.1	11.8	-15.5	11.6	-14.8	12.2							Carnivore
<i>Protankyra bidentata</i>	가시뿔해삼							-11.2	12.9					Deposit feeder
<i>Pugelitia intermedia</i>	중간물꽃알이게	-13.7	10.5											Grazer/Deposit feeder
<i>Pugelitia quadridens</i>	물꽃알이게							-12.0	10.8	-11.0	12.0			Grazer/Deposit feeder
<i>Rapana venosa</i>	피물고둥	-12.7	12.0	-15.1	12.6									Carnivora
<i>Squilla oratoria</i>	갯가재	-14.0	13.1			-14.6	14.3							Carnivore
<i>Styela clava</i>	미더덕							-16.2	10.7					Suspension feeder
<i>Sydaphera spengleriana</i>	감상이고둥									-13.6	10.5			Carnivore
<i>Theora fragilis</i>	아기반투명조개							-15.0	10.1					Deposit feeder
<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	꽃새우	-14.0	12.2									-16.0	12.7	Carnivora
<i>Upogebia major</i>	물									-15.9	10.1			Suspension feeder
<i>Urechis unicinctus</i>	갯불									-14.7	9.0			Deposit feeder
<i>Xenopthalmicus pinnotheroides</i>	장님진홍물살이게	-14.7	9.3											Unidentified

Table 5. 광양만 동대만, 양강만에서 채집된 어류의 안정동위원소비 값과 섭식양식

Species	Common name	광양만						동대만				양강만				Feeding guild
		잘피장		수로 1		수로 2		잘피장		만중앙		잘피장		만입구		
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$													
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑	-13.2	14.0					-13.4	13.0	-14.9	13.0					Omnivore
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	도화망둑			-14.2	13.4	-14.0	13.8							-15.6	12.8	Carnivore
<i>Apogon lineatus</i>	열동가리돔													-16.2	12.3	Carnivore
<i>Argyrosomus argentatus</i>	보구치													-15.2	13.6	Piscivore/Carnivore
<i>Conger myriaster</i>	붕장어			-16.0	13.0	-14.5	13.4			-13.4	13.5			-14.7	12.9	Piscivore/Carnivore
Cynoglossidae	참서대구													-15.0	12.7	Carnivore
<i>Cynoglossus abbreviatus</i>	용서대구			-15.5	11.7	-14.9	12.6									Carnivore
<i>Ditrema temmincki</i>	망상어							-13.1	14.4				-13.9	13.2		Carnivore
Gobidae unid.	망둑어							-11.8	14.6							Omnivore
<i>Hemipteropus villosus</i>	삼세기	-12.5	14.3													Piscivore/Carnivore
<i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미	-11.6	15.2	-12.1	13.4	-14.3	14.3						-14.0	11.8		Omnivore
<i>Hippocampus coronatus</i>	해마							-11.1	15.5							Planktivore
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치												-14.8	13.6		Piscivore/Carnivore
<i>Johnius grypotus</i>	민태			-15.1	13.8	-14.7	13.8									Piscivore/Carnivore
<i>Lateolabrax maculatus</i>	점농어	-15.0	15.6							-14.3	14.5					Piscivore/Carnivore
<i>Leiognathus nuchalis</i>	주둥치	-14.0	14.6	-14.7	14.1	-14.4	13.5			-15.0	14.2			-14.7	13.6	Planktivore
<i>Liparis tanakai</i>	곰치			-15.1	13.1	-15.2	13.3									Piscivore/Carnivore
<i>Pampus argentæus</i>	병어													-16.5	13.2	Carnivore
<i>Pholis nebulosa</i>	베도라치	-14.4	13.5	-10.6	13.5	-15.0	13.4	-12.4	13.7	-15.1	12.7	-13.0	12.1	-16.4	12.6	Planktivore
<i>Platycephalus indicus</i>	양태													-15.5	12.3	Piscivore/Carnivore
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	문치가자미	-11.6	14.5											-14.2	12.9	Carnivore
<i>Pleuronichthys</i> sp.	홀림도다리					-16.8	11.5									Carnivore
<i>Pseudaesopia japonica</i>	각서서대구					-13.5	15.3									Carnivore
<i>Pseudobiennius cottoides</i>	가시망둑	-11.5	15.2					-12.6	13.2				-14.9	14.0		Omnivore
<i>Rudarius ercodes</i>	그물코쥐치	-12.3	12.5													Omnivore
<i>Sebastes inermis</i>	볼락	-12.9	14.7					-16.8	13.0							Piscivore/Carnivore
<i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락					-18.2	10.6									Piscivore/Carnivore
<i>Sillago sihama</i>	보리멸	-12.9	14.9													Carnivore
<i>Syngnathus schlegeli</i>	살고기	-14.8	14.1					-13.9	11.6				-15.5	11.7		Planktivore
<i>Takifugu niphobles</i>	복섬	-13.2	14.6										-13.4	14.0		Carnivore
<i>Thyrssa kammalensis</i>	청멸													-16.1	13.9	Planktivore
<i>Zoarces qilli</i>	등가시치			-17.8	8.4	-15.2	13.4									Piscivore/Carnivore

### 3) 안정동위원소비 분석을 이용한 복원된 잘피서식지의 먹이망 평가

인공잘피서식지의 생태학적 기능 및 수산자원조성 효과 평가를 최종목표로 하여 본 연구를 수행하였다. 자연의 잘피서식지와 복원된 잘피서식지 및 잘피가 없는 연성저질 생태계의 먹이연쇄를 통한 물질 순환을 이해하고 비교함으로써 1) 연안역 개발과 환경변동에 의한 잘피생태계를 구성하는 기능군별 생물군집변동과 그에따른 생물생산 및 물질순환구조를 분석하고, 2) 연안의 생물생산에 대한 잘피생태계의 역할과 기여를 평가하였다. 잘피장 (Seagrass bed)은 연안환경 중에서 가장 생산력이 큰 생태계 중 하나이며 높은 종 다양성의 특징을 가지고 있다. 본 연구과제에서 기존에 자연 잘피림이 무성한 광양만과 동대만의 잘피서식지와 새롭게 이식한 앵강만의 잘피서식지의 물질순환과 먹이망 구조를 안정동위원소비 분석을 이용하여 평가하였다. 최근 인공잘피장 조성을 통한 연안의 생물자원 회복을 목표로 한 연구들이 서서히 진행되고 있다는 점을 고려할 때, 그동안 한반도 연안에서 거의 사라져가는 잘피서식지의 복원을 통해서 인간의 간섭이나 기후 변동과 같은 자연적인 변동으로 인하여 큰 변화를 겪고 있는 연안 생태계의 회복에 큰 기여를 할 가능성을 제시해 준다. 자연 잘피서식지의 연안생태계에 대한 생태학적 기능은 본 연구에서 잘피장과 비잘피장 서식생물 사이의  $\delta^{13}\text{C}$  값 분포에서 뚜렷하게 나타났다. 이전 많은 연구들은 잘피장은 더욱 많은 종의 생물을 보육하는 효과를 가지는 것으로 나타났는데, 본 연구에서 가장 흥미로운 결과는 여기에 실제로 연안 생물에 대한 영양 공급 기능을 가진다는 것이 본 연구에서 뚜렷하게 관찰되었다. 잘피장 주변의 비잘피장에 서식하는 생물군들이 가지는  $\delta^{13}\text{C}$  값은 흔히 외양의 식물플랑크톤 기저의 생태계 먹이망에서 나타나는  $\delta^{13}\text{C}$  값에 비하여 유의하게 높은  $\delta^{13}\text{C}$  값을 가지는 것이 나타났다. 결국 이와 같은 결과는 잘피장에 서식하는 생물뿐만 아니라 잘피장 인근에서 서식하는 생물군들도 잘피장에 기원을 둔 유기물에 크게 의존하고 있다는 것을 잘 나타내어 준다. 본 연구에서는 잘피장으로부터 물리적인 수송에 의해 유출되는 유기물과 잘피장에서의 적극적인 섭이활동으로 잘피서식지가 연안생태계에서 종다양성 증대와 잘피장 기원 유기물이 영양원으로서 중요한 기여를 하고 있음을 밝혀내었다. 또한 인공으로 조성된 앵강만과 자연 잘피장이 무성한 동대만과 광양만의 안정동위원소비 값의 결과 인공 잘피장이 조성된 앵강만의 소비자 동물군의 탄소 및 질소 안정동위원소비 값의 경향이 유의한 것으로 보아 인공잘피장의 자연 잘피장으로서의 기능을 가짐을 시사하여 준다.

## 제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 연차별 연구개발 목표

구 분	목 표	내용 및 범위
1차 년도 (2004년)	<p>1. 인공 잘피서식지 조성을 위한 적정 장소 선정 및 효과적인 이식방법 개발</p> <p>2. 잘피묘 대량생산을 위한 비료의 효과 평가</p> <p>3. 잘피서식지(시험구)와 연성저질생태계(대조구)의 수산자원 조성 효과 비교 측정</p>	<p>1-1. 각 조사장소의 환경요인을 정량화하고 평가하여 적정이식 장소 선정 기법 개발.</p> <p>1-2. 저질의 차이가 있는 여러 예비 조성 장소에 다양한 이식방법을 적용하여 이식 성공률을 평가하여 저질 차이에 따른 가장 효과적인 이식방법 선정</p> <p>2. 잘피 이식묘 대량생산을 위한 묘생산장을 설치하고 비료를 투입하여 잘피묘의 성장 및 분지 향상 효과를 측정</p> <p>3-1. 연성저질로 구성된 생태계와 잘피군락 생태계 비교</p> <p>3-2. 저서 및 부유생물 군집구조 분석</p> <p>3-3. 먹이그물 비교 분석</p> <p>3-4. 잘피군집의 생물군집조성 효과 평가</p>
2차 년도 (2005년)	<p>1. 선정된 적정 장소 및 이식 방법을 통한 인공 잘피서식지 조성</p> <p>2. 이식을 위한 잘피묘의 효과적인 공급</p> <p>3. 자연 및 인공 잘피서식지의 기능 비교 연구</p>	<p>1. 선정된 효과적인 잘피이식 기술을 통하여 거제연안에 실제적인 규모의 인공 잘피 서식지를 조성</p> <p>2. 잘피 묘포장에 잘피묘 생장에 필수적인 환경요인들을 최적으로 조절하여 효과적인 잘피묘의 대량생산</p> <p>3-1. 이식된 잘피의 생존능 측정</p> <p>3-2 저서 및 부유생물 군집구조 분석</p> <p>3-3. 먹이그물 비교 분석</p>
3차 년도 (2006년)	<p>1. 조성된 잘피서식지의 효과적인 관리 및 추가적인 대규모 잘피서식지 조성</p> <p>2. 시비가 잘피서식지 및 이식잘피에 미치는 영향 고찰</p> <p>3. 복원 후 시간경과에 따른 잘피군락의 효과 분석</p>	<p>1. 이식된 잘피의 밀도, 형태, 저장 탄소 함량, 광합성 특성 등을 모니터링하여 이식된 개체들의 생리활성 상태를 파악하여 조성된 잘피서식지의 효과적인 관리지침을 개발</p> <p>2-1. 비료를 투입한 잘피서식지와 대조구 내의 잘피의 생리생태학적 상태를 비교하여 비료의 효과를 고찰함</p> <p>2-2. 비료의 투입이 부착생물, 저서 및 부유생물에 미치는 영향 평가</p> <p>3-1. 이식된 잘피의 생존능 측정</p> <p>3-2. 잘피가 복원된 기간에 따른 효과 평가</p> <p>3-3. 저서 및 부유생물군집 조성효과 및 주변생태계에 미치는 영향 평가</p> <p>3-4. 먹이망에 미치는 효과 평가</p> <p>3-5. 잘피 조성기술의 현장적용가능성 평가</p> <p>3-6. 잘피서식지 조성으로 인한 수산생산성 및 경제성 효과 평가</p>

## 제 2 절 연차별 연구평가착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착안 사항	척도 (점수)*
1차년도(2004년)	○ 적정 잘피서식지 조성 장소 선정 방법이 제대로 개발되었는가?	30
	○ 저질 차이에 따른 효과적인 잘피이식 방법이 개발되었는가?	40
	○ 잘피서식지가 수산생산성에 미치는 영향이 잘 파악되었는가?	30
2차년도(2005년)	○ 실제적인 규모의 잘피서식지가 조성되었는가?	30
	○ 잘피 이식묘의 대량생산이 잘 이루어졌는가?	20
	○ 이식된 잘피의 생리생태학적 상태가 잘 파악되었는가?	20
	○ 자연의 잘피서식지와 비교하여 조성된 잘피서식지의 수산경제학적 기능이 잘 파악되었는가?	30
3차년도(2006년)	○ 조성된 잘피서식지가 잘 관리되고 있는가?	30
	○ 개발된 잘피서식지 조성 기술이 추가적인 잘피서식지 조성에 잘 적용되었는가?	30
	○ 경과기간에 따른 잘피서식지의 수산생산성 향상효과가 제대로 평가되었는가?	40
최종평가	○ 우리나라 연안 실정에 적합한 인공 잘피서식지 조성 기술 및 훼손된 서식지 복원기술이 개발되었는가?	40
	○ 잘피서식지의 효과적인 관리지침이 마련되었는가?	30
	○ 잘피서식지의 수산경제학적 및 생태학적 기능이 잘 파악되었는가?	30

### 제 3 절 연구개발 목표의 달성도

연차	세부과제내용	연구개발 내용 및 범위	달성도(%)
1차 (2004)	인공 잘피서식지 조성을 위한 적정 장소 선정 및 효과적인 이식방법 개발	각 조사장소의 환경요인을 정량화하고 평가하여 적정이식 장소 선정 기법 개발	100%
		저질의 차이가 있는 여러 예비 조성 장소에 다양한 이식방법을 적용하여 이식 성공률을 평가하여 저질 차이에 따른 가장 효과적인 이식방법 선정	100%
	잘피묘 대량생산을 위한 비료의 효과 평가	잘피 이식묘 대량생산을 위한 묘생산장을 설치하고 비료를 투입하여 잘피묘의 성장 및 분지 향상 효과를 측정	100%
	잘피서식지(시험구)와 연성저질생태계(대조구)의 수산자원 조성 효과 비교 측정	연성저질로 구성된 생태계와 잘피군락 생태계 비교	100%
		저서 및 부유생물 군집구조 분석	100%
		먹이그물 비교 분석	100%
잘피군집의 생물군집조성 효과 평가	100%		
2차 (2005)	선정된 적정 장소 및 이식방법을 통한 인공 잘피서식지 조성	선정된 효과적인 잘피이식 기술을 통하여 거제연안에 실제적인 규모의 인공 잘피 서식지를 조성	100%
	이식을 위한 잘피묘의 효과적인 공급	잘피 묘포장에 잘피묘 성장에 필수적인 환경요인들을 최적으로 조절하여 효과적인 잘피묘의 대량생산	100%
	자연 및 인공 잘피서식지의 기능 비교 연구	이식된 잘피의 생존능 측정	100%
		저서 및 부유생물 군집구조 분석	100%
먹이그물 비교 분석	100%		
3차 (2006)	조성된 잘피서식지의 효과적인 관리 및 추가적인 대규모 잘피서식지 조성	이식된 잘피의 밀도, 형태, 저장 탄소 함량, 광합성 특성 등을 모니터링하여 이식된 개체들의 생리활성 상태를 파악하여 조성된 잘피서식지의 효과적인 관리지침을 개발	100%
	시비가 잘피서식지 및 이식 잘피에 미치는 영향 고찰	비료를 투입한 잘피서식지와 대조구 내의 잘피의 생리생태학적 상태를 비교하여 비료의 효과를 고찰함	100%
		비료의 투입이 부착생물, 저서 및 부유생물에 미치는 영향 평가	100%
	복원 후 시간경과에 따른 잘피군락의 효과 분석	이식된 잘피의 생존능 측정	100%
		잘피가 복원된 기간에 따른 효과 평가	100%
		저서 및 부유생물군집 조성효과 및 주변생태계에 미치는 영향 평가	100%
		먹이망에 미치는 효과 평가	100%
잘피 조성기술의 현장적용가능성 평가		100%	
잘피서식지 조성으로 인한 수산생산성 및 경제성 효과 평가	100%		

## 제 4 절 관련분야에의 기여도

### 1. 기술적 측면

- 가. 연안생태계와 수산생산성에 미치는 잘피서식지의 중요성이 인식되어 있고 우리 연안에 분포하는 잘피의 생리생태학적 연구가 활발하게 수행되고 있으므로 잘피의 특성 및 현황에 대한 정보가 점점 축적됨에 따라 우리 연안의 실정에 적합한 복원 및 이식기술이 발달할 것이다.
- 나. 우리 연안에 자연적으로 분포하고 있는 잘피와 인위적으로 이식된 잘피개체들의 생리생태학적 상태를 지속적으로 모니터링하여 효과적인 잘피서식지 관리기술 확보할 수 있을 것이다.
- 다. 시비가 잘피 생장에 미치는 효과를 고찰하고, 그 결과를 토대로 비료를 이용한 잘피 이식묘의 대량생산 기술 및 이식 성공률 향상 기술을 확보할 수 있다.
- 라. 잘피서식지의 기능 평가기술의 확보로 연안생태계 변동에 대한 새로운 평가기법 제시해 준다.
- 마. 잘피서식지 조성이후부터 자연 잘피서식지와 동일한 기능을 하기까지의 변화과정을 분석하여 인공 잘피서식지 기능의 시간에 따른 향상효과를 파악할 수 있다.
- 바. 개발된 이식기술을 통하여 훼손된 잘피서식지가 복원되고 새로운 인공 잘피림이 조성되어 연안초지생태계의 기능이 회복되면 수산자원의 다양성 확보와 생산성 향상을 꾀할 수 있을 것으로 사료된다.

### 2. 경제·사회적 측면

- 가. 실제적인 규모의 잘피서식지를 조성함으로써 연안의 수산자원 증가 및 종 다양화로 짧은 기간 내 환경친화적으로 연안의 수산생산성 향상을 꾀할 수 있고, 이러한 연안 수산자원 확충은 어민들의 소득 증대로 이어질 수 있다.
- 나. 잘피서식지 조성으로 연안생태계 내의 종 다양성을 증가를 꾀하고, 주변 환경을 정화하여 좋은 관광자원으로 사용될 수 있으며, 이를 연안의 생태학습장으로 사용할 수 있다.
- 다. 인공 잘피서식지 조성에 일반시민들의 참여로 경비를 절감하고, 홍보 및 교육효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 연구개발 결과를 논문 및 학술대회 발표를 통하여 학계에 보고하여 연안생태계 복원의 중요성을 강조하며, 관련분야 전문가들의 의견을 수렴하여 보다 효과적인 연안생태계 복원 기술 확보하고자 한다.
- 지속적인 연구개발을 통하여 잘피묘 대량생산 방법 및 다른 연구분야(생태계)에 적용할 수 있도록 한다.
- 현재 조성된 잘피서식지는 연안생태계 정화 및 복원의 사례로 관광자원 및 생태학습장으로 활용될 수 있다.
- 개발된 잘피서식지 조성 및 복원 기술을 특허등록하였으며, 그 기술을 환경기술 산업체에 이전하여 인공 잘피서식지 조성을 산업화하고 산업체를 통해 잘피서식지 조성을 우리나라 전 해역으로 확대 실시하여 전체 연안생산성 향상에 기여하게 한다.
- 잘피서식지 조성으로 인한 수산생산성 및 경제성 효과를 장기 모니터링을 통하여 보다 정확한 평가가 이루어 질 수 있도록 한다.
- 복원된 생물서식지의 생태학적 기능에 대한 평가기법은 순수 해양생물과 생태학을 연구하는 대학과 연구기관에 교육 및 연구소재로 활용됨은 물론 훼손된 생물서식지의 복원 기술은 연안생태계 보전을 위한 정책 자료로 활용될 수 있다.
- 본 과제를 통해 제작된 잘피서식지 조성 관리지침은 연안역 관리를 담당하는 기관, 지방자치단체, 시민단체에 연안역 관리를 위한 교육 자료 및 정보로서 활용될 수 있다.

## 제 6 장      참고문헌

- Bosworth, W., Short, F.T., 1993. Mitigation plan for the New Hampshire commercial marine terminal development project in Portsmouth, NH. NH Department of Transportation, Port Authority.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27, 325-349.
- Churchill, A.C., Cok, A.E., Riner, M.I., 1978. Stabilization of subtidal sediments by the transplantation of the seagrass *Zostera marina* L. New York Sea Grant Report Series. NYSSGP RS-78-15.
- DeNiro, N.J., Epstein, S., 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45, 341-351.
- Duarte, C.M., 1999. Seagrass ecology at the turn of the millenium: challenges for the new century. *Aquat. Bot.* 65, 7-20.
- Federal Register. 1990. Memorandums of Agreement (MOA). Clean Water Act Section 404(b)(1) Guidelines. Correction 55(48). pp. 9210-9213.
- Fonseca, M.S., Kenworthy, W.J., Courtney, F.X., 1996. Development of planted seagrass beds in Tampa Bay, FL, USA: I. Plant components. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 132, 1287-139.
- Fry, B., Sherr, E.B., 1984.  $\delta^{13}\text{C}$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in Marine Science* 27, 13-47.
- Gillanders, B.M., 2006. Seagrass, fish, and fisheries, In: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), *Seagrass: Biology, Ecology, and Conservation*. Springer, The Netherlands, pp. 503-536.
- Iizumi, H., Hattori, A., 1982. Growth and organic production of eelgrass (*Zostera marina* L.) in temperate waters of the Pacific coast of Japan. III. The kinetics of nitrogen uptake. *Aquat. Bot.* 12, 245-256.
- Kentula, M.E., McIntire, C.D., 1986. The autecology and production dynamics of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Netarts Bay, Oregon. *Estuaries* 9, 188-199.
- Lee, K.-S., Dunton, K.H., 1997. Effects of in situ light reduction on the maintenance, growth and partitioning of carbon resources in *Thalassia testudinum* Banks ex König. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 210, 53-73.
- Lee, K.-S., Dunton, K.H., 1999. Inorganic nitrogen acquisition in the seagrass *Thalassia testudinum*: Development of a whole-plant nitrogen budget. *Limnol. Oceanogr.* 44, 1204-1215.
- Lee, K.-S., Lee, S.Y., 2003. The seagrasses of the Republic of Korea. In: Green, E.P., Short, F.T., Spalding, M.D. (Eds.), *World Atlas of Seagrasses : present status and*

- future conservation. University of California Press, Berkeley. pp. 193-198.
- Margalef, R., 1958. Diversidad de especies en las comunidades naturales. Publ. Inst. Biol. apl. Barcelona, 9, 5-27.
- McRoy, C.P., McMillan, C., 1977. Production ecology and physiology of seagrasses. In: McRoy, C.P., Helfferich, C. (Eds.), Seagrass ecosystems: a scientific perspective. Dekker, New York, pp. 53-81.
- Michener RH, Schell DM 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. In: Lajtha K, Michener RH (eds) Stable isotopes in ecology and environmental science. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 138-157
- 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. Mar. Poll. Bul. 54, 1238-1248.
- Pielou, E. C., 1975. Ecological Diversity. John Wiley and Sons, New York. 165pp.
- Simpson, E. H., 1949. Measurement of diversity. Nature, 163, 688.
- Short, F.T., McRoy, C.P., 1984. Nitrogen uptake by leaves and roots of the seagrass *Zostera marina* L. Bot. Mar. 27, 547-555.
- Stapel, J., Aarts, T.L., van Duynhoven, B.H.M., de Groot, J.D., van den Hoogen, P.H.W., Hemminga, M.A., 1996. Nutrient uptake by leaves and roots of the seagrass *Thalassia hemprichii* in the Spermonde Archipelago, Indonesia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 134, 195-206.
- Terrados, J., Williams, S.L., 1997. Leaf versus root nitrogen uptake by the surfgrass *Phyllospadix torreyi*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 149, 267-277.
- Thursby, G.B., Harlin, M.M., 1982. Leaf-root interaction in the uptake of ammonia by *Zostera marina*. Mar. Biol. 72, 109-112.
- Thursby, G.B., Harlin, M.M., 1984. Interaction of leaves and roots of *Ruppia maritima* in the uptake of phosphate, ammonia and nitrate. Mar. Biol. 83, 61-67.
- van Houte-Howes, S.S., Turner, S.J., Pilditch, C.A., 2004. Spatial differences in macroinvertebrate communities in intertidal seagrass habitats and unvegetated sediment in three New Zealand estuaries. Estuaries 27, 945-957.
- West, R.J., 1990. Depth-related structural and morphological variations in an Australian *Posidonia* seagrass bed. Aquat. Bot. 36, 153-166.
- Zieman, J.C., Wetzel, R.G., 1980. Productivity in seagrasses: methods and rates. In: Phillips, R.C., McRoy, C.P. (Ed.), Handbook of seagrass biology: an ecosystem perspective. Garland STPM Press, New York, pp. 87-116.

# 잘피생육지의 효과적인 복원 및 관리 지침

연안생태계 정화 및 수산 생산성 향상을  
위한 인공 잘피서식지 조성

부 산 대 학 교

# 1. 목적

우리나라 연안에 분포하는 잘피생육지를 효과적으로 관리 보존하며, 인위적 교란에 의해 훼손된 잘피생육지를 복원하여 건강한 연안생태계를 조성하고 연안의 수산생산성을 향상시키는 것을 그 목적으로 한다.

## 2. 서론

### 1) 잘피란?

- ‘잘피’란 해양에 서식하는 유일한 고등현화식물로 4과 12속 60여종이 전 세계 연안에 분포하고 있다. 잘피는 다양한 해양 동물들의 직간접적인 먹이원이 될 뿐만 아니라 높은 생산성과 풍부한 생체량으로 연안생태계를 지탱한다. 잘피의 잎은 수층의 영양염을 흡수제거하고, 광합성 작용으로 생산된 산소를 주변 생태계에 제공해 주며, 지하경과 뿌리는 퇴적물의 재부유를 방지하여 물을 맑게 하여 수질을 정화하는 기능을 한다.
- 잘피생육지는 수많은 해양 동물들에게 서식처와 산란장, 치어의 서식지를 제공해 주며 다양한 부착생물들이 잘피의 잎에 서식할 수 있도록 해주는 해양 생태계의 중요한 구성요소이다.
- 한반도 연안에는 4속(*Zostera*, *Phyllospadix*, *Ruppia*, *Halophila*) 9종의 잘피가 서식하고 있음(Table 1).

### 2) 잘피생육지의 소실

- 잘피 생육지는 자연적 및 인위적인 교란으로 현재 급격히 감소되었음.
- 자연적 교란은 연안의 침강, 용기를 포함한 지질학적 요인과 장마, 태풍 등의 기상학적 요인 및 섭식이나 질병(wasting disease)과 같은 생물학적 요인 등이 포함됨.
- 인위적인 요인으로는 퇴적물의 부하, 재부유, 부영양화와 같은 수질의 악화와 준설, 매립, 선박의 프로펠러에 의한 물리적인 교란 또는 유류의 유출, 독성물질에 의한 화학적인 요인으로 분류될 수 있음.

- 한반도 연안에는 많은 갈피 생육지가 존재하고 있었으나, 1970년대 이후의 급격한 경제 성장과 산업화를 거치면서 50% 이상(많은 곳은 70-80% 이상)의 갈피 생육지가 감소하였음.
- 현재 우리 연안에는 약 55 - 70km<sup>2</sup>의 갈피 생육지가 분포하는 것으로 보고되고 있으며, 이중 90% 이상이 남해 및 서해 연안에 주로 분포하는 거머리말 (*Zostera marina*)로 추정됨. 지금도 연안의 극심한 부영양화 및 매립 등은 현재 까지 남아 있는 갈피 생육지를 위협하고 있는 실정임.
- 현존하는 갈피 생육지는 감소 전 분포면적의 20 - 50%에 불과하므로 이식을 통한 갈피 생육지 복원이 필요한 면적이 최소 현존하는 갈피생육지 면적인 55 - 70km<sup>2</sup>에 달할 것으로 추정됨.

Table 1. 한반도 연안에 서식하는 갈피의 생육지 특성

종	생육지 저질	파도의 세기	서식수심 (m)	생육지형태
<i>Z. marina</i>	니질, 사니질, 사질	저	0 - 5	만, 개펄
<i>Z. asiatica</i>	사질	중	9 - 15	만, 개방된 해안
<i>Z. caespitosa</i>	니질, 사니질, 사질	저	3 - 8	만
<i>Z. caulescens</i>	니질, 사니질, 사질	저	6 - 12	만
<i>Z. japonica</i>	사니질, 사질	저	조간대	만
<i>P. japonicus</i>	암반	고	0 - 3	개방된 해안
<i>P. iwatensis</i>	암반	고	0 - 3	개방된 해안
<i>R. maritima</i>	니질, 사니질, 사질	저	0 - 2	하구
<i>H. ovalis</i>	니질, 사니질, 사질	저	5 - 10	만

### 3. 갈피 생육지의 복원

#### 1) 갈피 생육지의 복원의 필요성

- 갈피 생육지의 감소는 해양의 생물종 다양성 및 어업 생산성을 감소시키고,

연안의 수질을 악화시킴.

- 잘피 생육지가 훼손된 유역의 오염물 부하량을 줄여 수질을 개선하는 방법으로 잘피 생육지를 자연적으로 복원시킬 수 있으나, 복원에 오랜 시간이 요구됨.
- 따라서 보다 짧은 시간 내에 잘피 생육지를 조성하기 위하여 성체 이식이나 종자 파종을 통한 인위적인 잘피 생육지 복원이 필요함.

## 2) 잘피 생육지 복원 방법

- 잘피 생육지를 복원하는 방법은 크게 성체를 이식하는 방법(adult plant transplanting method)과 종자를 이용하는 방법(seed-based method)으로 나눌 수 있음.
- 성체를 이용하는 방법은 퇴적물을 포함한 잘피묘를 이식하는 방법(sediment-associated method)과 잘피묘만을 이식하는 방법(sediment-free method)으로 나눌 수 있음.
- 잘피와 퇴적물을 함께 이식하는 방법은 지하경과 뿌리가 깊게 박혀 있는 *Enhalus acoroides*, *Posidonia* spp., *Thalassia* spp.와 같은 종의 이식에 유리하나, 이식 잘피를 장거리 이송해야 하는 경우 수송에 불편함이 있음. Sods, Plugs 등의 재료를 사용하며, 호주에서는 ECOSUB와 같이 기계화된 방법을 사용하기도 함.
- 지하경이 퇴적물에 얇게 박혀서 살아가는 잘피 종들은 잘피를 donor beds에서 채집하여 지하부 조직의 퇴적물을 제거한 후 이식하는 방법을 주로 사용함. Anchoring devices로 철사나, 대나무, 끈, 못, 패각 등을 이용하거나, 이식망(TERFS™)을 사용하는 방법 등이 개발되었음.
- 성체를 이식하기 위해서는 기존의 잘피밭(donor bed)에서 이식용 잘피를 채취해야 하기 때문에 부분적인 훼손을 피할 수 없음.
- 이러한 부작용을 줄이기 위해 종자를 채집하여 파종하는 방법이 사용된다. 잘피가 개화되고 종자가 성숙할 즈음에 종자를 채집하여 선별한 후 이식 장소에 파종하게 되는데, 종자를 생분해 가능한 천으로 포장하여 사용하는 방법(Granger et al. 1996), 흙과 종자를 매트에 담은 후 해저에 설치하는 방법, 종자

를 황토로 코팅 한 후 파종하는 방법 (Park and Lee 2007)등이 사용된다.

### 3) 잘피 생육지 복원 체계

- 잘피 생육지 복원을 위해서는 이식 대상 잘피종의 생리생태학적 특성을 파악한 후 적절한 이식 장소와 대상 종을 선정함.
- 선정된 이식 장소의 퇴적물 환경에 적합한 이식 방법을 결정하여 예비 이식 실험을 수행.
- 최적의 방법으로 생육지 복원을 수행.
- 이식개체를 정기적으로 모니터링하면서 필요 시 추가 이식을 수행함.
- 모니터링 결과로 부터 이식 성공 여부를 판단하고, 복원 후의 영향을 평가함.

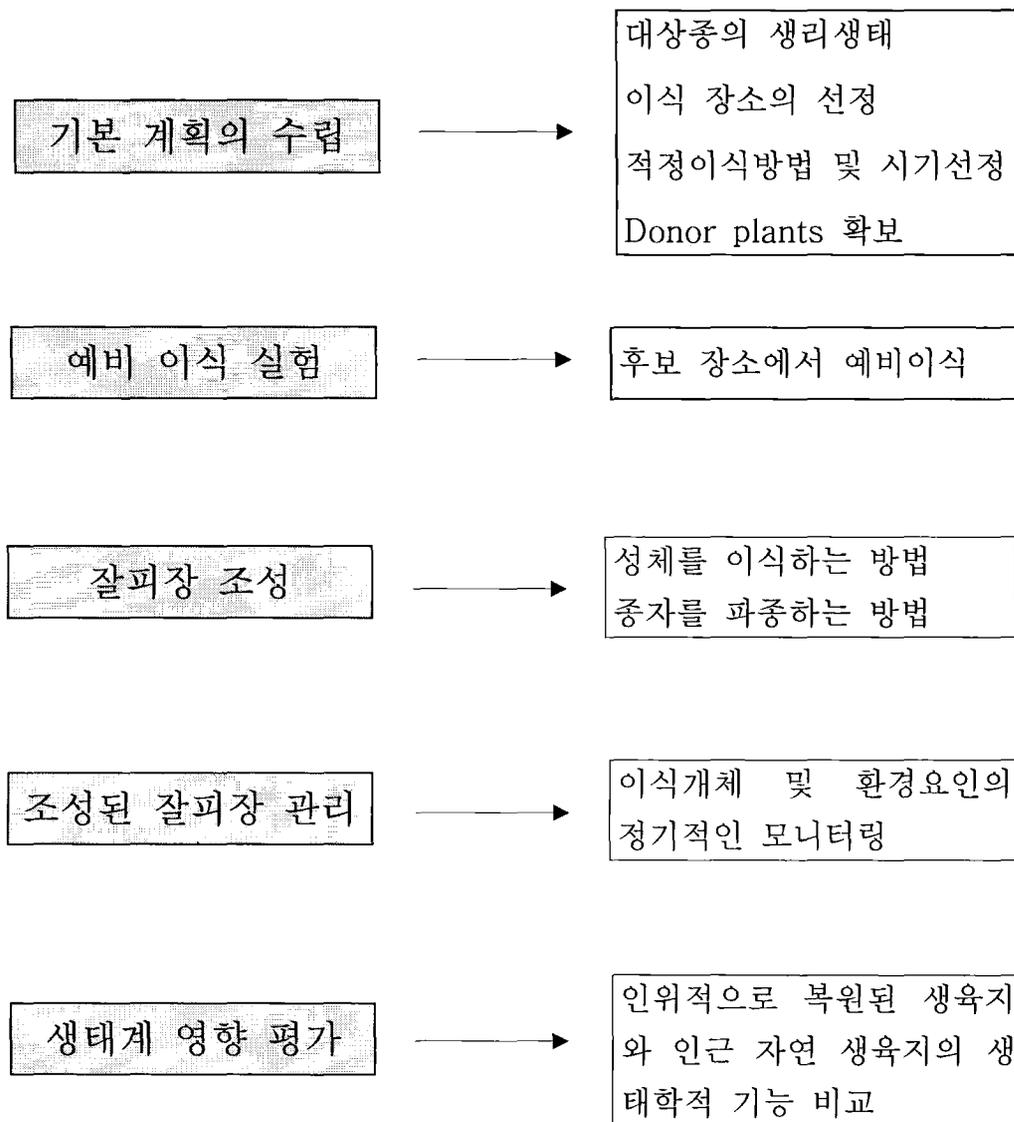
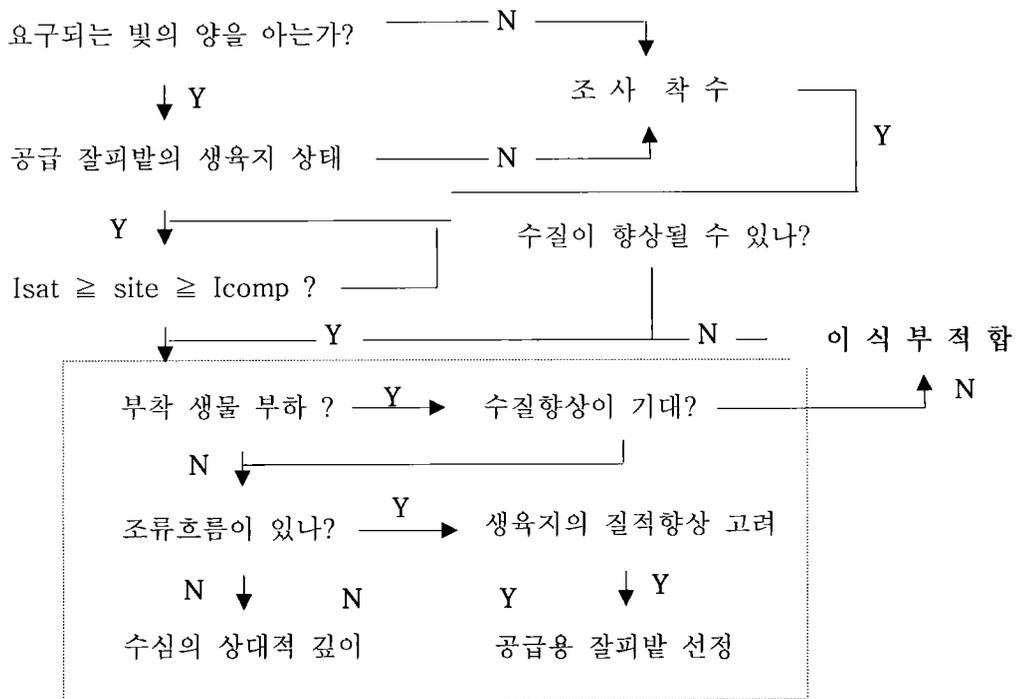


Fig. 1. 잘피장 조성 체계

#### 4) 복원기본계획의 수립

- 이식 대상종의 생리생태학적 특성을 파악한 후 이식 장소, 방법 및 이식시기를 결정하고 donor plant 확보 방안을 마련함.
- 적합한 이식 장소로 선정되기 위해서는 아래의 몇 가지의 조건을 충족해야 하는데, 과거에 그 지역에 잘피 생육지가 존재했는지, 현재 인근에 잘피 생육지가 분포하고 있는지, 이식하려는 지역의 퇴적물 환경과 충분한 양의 빛이 공급되는지, 수심이 적당한지, 조류의 흐름이 너무 빠르지 않은지, 수질은 양호한지 등의 기본적인 조건이 충족되는지 확인함.
- 선정된 이식지역에서 예비 이식 실험을 수행하고 그 결과를 모니터링 하고 분석한 후 본 이식을 수행함. 복원에 적합한 기본적인 장소 선정은 아래 (Campbell et al., 2000)의 순서를 따름.



※ 조건이 점선안과 일치하면 이식 장소 후보로 선정됨.

Fig. 2. 이식 장소 선정 순서(Campbell et al. 2000)

- 위의 기준으로 복원에 적합한 장소로 판단되면, 여러 환경요인을 수치화하여 적정이식 장소를 선정함. 과거 그 지역의 갈피 생육지의 존재 유무, 광소멸계수 ( $K_d$ ), 부유물질의 양, 수층 및 퇴적물 공극수의 영양염 농도, 수층 chlorophyll의 양, 퇴적물 종류, 생물교란 등의 환경요인 등급을 곱하여 그 수치로 이식에 적합한 후보 이식 장소로 판단함(Table 2).

Table 2. 복원 장소 적합성을 평가하기 위한 환경 요인 등급

지표	PTSI 점수	참고문헌
이전 갈피 분포 (HED)	1 과거 존재 하지 않던 곳 2 과거 존재했던 곳	Fonseca et al. (1998)
광소멸계수 ( $K_d$ )	1 $> 0.5 K_d$ 2 $< 0.5 K_d$	
전부유물질량 (TSS)	1 $> 50$ (mg/ℓ) 2 $< 50$ (mg/ℓ)	Batiuk et al. (1992)
수층의 chlorophyll (WC)	1 $> 10$ ( $\mu\text{g chl}/\ell$ ) 2 $< 10$ ( $\mu\text{g chl}/\ell$ )	Batiuk et al. (1992)
수층의 영양염 (WN)	0 과영양 또는 불량한 지역 1 양호	
퇴적물 공극수 영양염 (SN)	0 과영양 또는 불량한 지역 1 양호	
퇴적물 조성 (ST)	0 암반 및 자갈 1 $> 70\%$ 사니질 2 $< 70\%$ 사니질	Short (1987, 1993)
생물교란 (BT)	1 존재 2 없음.	

## 5) 예비이식 실험

- 이식에 적합한 장소로 선정 된 장소에서 예비 이식실험을 수행함.
- 예비 이식에서는 성체를 이식하는 방법과 종자를 파종하는 방법 등 다양한 이식방법으로 이식을 수행하고 각 방법별 이식 개체의 생존율, 증가율 등을 매 월 조사함(Table 3).
- 예비이식 실험 결과를 토대로 이식된 갈피의 생존율과 정착율이 높고, 이식작업이 가장 효율적인 방법을 선정하여 본 이식을 수행함.

Table 3. 예비 이식 조사항목

요 인	조 사 항 목
물리화학환경	빛, 수온, 영양염의 농도, 탁도
생존율	이식 개체의 생존율
밀도변화	이식 개체의 밀도
경쟁식물*	대형조류의 양

\*구멍갈파래와 같은 drifting algae가 과도하게 분포하면 이식된 잘피의 생존율 및 밀도 등이 급격히 감소하므로 이들 해조류의 양을 모니터링함.

### 6) 잘피 생육지 조성 방법

#### ① 성체를 이식하는 방법

- 잘피성체는 양성부력을 가지므로 이들을 이식하기 위해서는 이식개체를 저질에 고정하는 장치가 필요함(Table 4).

Table 4. 대표적인 거머리말 이식방법

방법	Staple method	TERFS method	Shell method	Transplanting boat	Unanchored method
개요	여러 가지 staples를 이용하여 잘피를 고정	이식망에 잘피를 고정하여 이식	패각에 잘피를 고정하여 이식	잘피이식 장치가 달린 소형선박을 사용	고정 장치 없이 잘피개체를 이식
적용 가능한 퇴적물	사니질 사질 빨질	사니질 사질 빨질	사니질 빨질	사니질 사질 빨질	사니질 빨질
생존율	매우 높음	높음	높음	낮음	높음
SCUBA	필수	불필요	불필요	불필요	필수
적용 사례	Park and Lee 2007	Park and Lee 2007 Short et al. 2002	Park and Lee 2007	Fishman et al. 2004	Orth et al. 1999

## ② 종자를 이용한 잘피 생육지 복원

- 잘피종자를 이용하여 잘피 생육지를 복원하는 방법은 성체를 이식하는 방법보다 잘피 생육지의 훼손을 최소화할 수 있다는 장점이 있으나, 이식 장소의 환경 조건에 따라 발아율 및 생존율이 많은 차이를 보임.
- 종자를 파종하는 방법은 자연 잘피생육지에서 성숙한 화지를 채집하여 이들 화지를 해수가 순환되는 수조에 보관한 후 종자를 채집하여 이식 장소에 파종함(Fig.3).

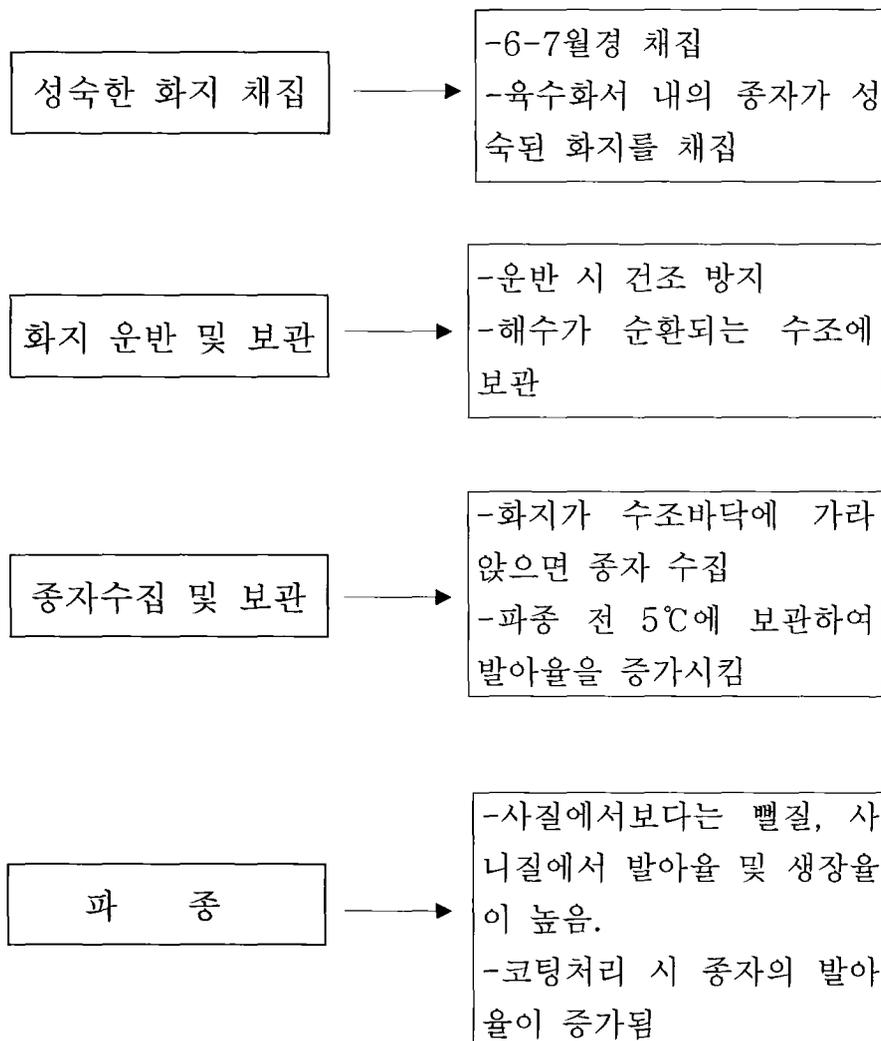


Fig. 3. 종자를 이용한 이식방법

## 4. 잘피 생육지의 효율적인 관리

### 1) 복원된 인공 잘피 생육지 관리

- 이식된 잘피가 새로운 이식지역에서 안정화되기까지는 일반적으로 3년 이상의 오랜 기간이 필요함.
- 잘피의 밀도, 성장속도, 생체량 등은 계절변화를 보이므로 지속적인 모니터링이 요구됨.
- 이식 후 일 년 동안은 매월 모니터링을 통하여 잘피의 생리학적 적응상태를 파악해야 함.
- 이식된 개체가 물리적 교란으로 인하여 유실되는 경우 재이식을 실시함.
- 복원된 잘피생육지의 생태적인 기능을 파악하여 새로 조성된 잘피 생육지가 연안 생태계에 미치는 영향을 평가함.

### 2) 자연 생육지 관리

- 자생하는 잘피 생육지의 보호, 보존 및 효율적인 관리는 이식을 통한 인공 잘피 생육지 조성에 앞서 수행되어야 함.
- 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률에 의해 잘피는 보호대상해양생물로 지정되어있고, 20조 1항의 제1호부터 4호, 6호, 시행규칙 16조 1항에 따라 학술연구, 증식, 복원 등을 위해 채취할 경우 관할 지방해양청으로부터 허가를 얻어야하며, 제 46조에 의하여 파괴·훼손 등으로 종이 위협 받을 경우 해양생태계가 훼손되지 않도록 필요한 조치를 하여야 함(해양수산부 2007).
- 잘피 생육지의 보존을 위하여 상업적인 이용을 위한 채취를 금지시켜야 함.
- 미국의 경우 매립 등 인위적인 사용을 위하여 잘피 생육지를 훼손하는 경우 "No-Net-Loss" 정책에 의하여 그 생태적인 가치의 피해를 줄이기 위해 대체습지를 조성하고 있음(White House Office on Environmental Policy 1993).
- 잘피 생육지 훼손을 일으킬 수 있는 연안의 매립을 최소화하고, 잘피 생

육지 훼손 시 대체 인공 잘피 생육지 조성을 의무화해야 함.

- 이식을 위한 이식 개체(donor plants) 채취 시 donor beds의 훼손을 최소화하기 위하여 일정한 간격을 유지하면서 채집함.

- 채집한 이식개체의 손실을 줄이기 위하여 채집 후 2일 이내에 이식을 수행함.

- 잘피 생육지의 밀도, 형태적 특성 및 생체량 등의 생물학적요소와 빛, 수온, 영양염 등의 환경적 요소를 정기적으로 모니터링 하여 잘피 생육지의 훼손 가능성을 미리 파악함.

## 5. 조사항목

### 1) 생물요인

#### ① 생존율(survival rate)

- 이식 2 - 4 개월 후 나타나는 초기 밀도 감소 후 생존한 이식개체의 백분율로 나타냄.
- 영구방형구(4-5개)를 임의로 설정하여 제곱미터 당 생존율로 표시함.

#### ② 밀도(shoot density)

- 이식단위(PU)별 개체의 밀도(number of shoots  $PU^{-1}$ )와 면적당 개체수(number of shoots  $m^{-2}$ )로 나타냄.
- 이식 밀도는 인근의 자연생육지의 개체밀도보다 일반적으로 낮으며, 인공생육지의 개체밀도가 자연생육지의 밀도와 같아질 때까지 조사함.
- 이식 밀도는 이식 장소의 환경요인에 따라 달라져야함. 예를 들면, 빠른 조류가 흐르는 곳은 더 높은 밀도로 이식하는 것이 바람직함.

#### ③ 피도(coverage)

- 이식 잘피의 피도를 전체생육지의 백분율로 표시.
- $0.25m^2$ 의 방형구를 이용하여 측정함.

#### ④ 형태적 특성(shoot morphology)

- 이식 후 이식개체의 키와 잎의 폭 등의 변화를 매월 측정함.
- 인근의 자연생육지에 생육하는 잘피의 형태적 특성과 유사해질 때까지 조사함.

### ⑤ 생산성(productivity)

- 잎의 생산성을 leaf marking법을 이용하여 측정함.
- 지하경의 생산성을 plastochrone법으로 측정하여 총생산성을 측정함.

### ⑥ 사진촬영

- 매 방문시마다 조성된 잘피 생육지의 변화를 사진촬영으로 기록.

## 2) 환경요인

### ① 입사광량, 수온 및 염도

- 입사광량 (PAR; Photosynthetically active radiation)은 잘피 잎이 위치 하는 수심에서 광량측정장치(LI-1400 datalogger, LI-193SA spherical quantum sensor)를 이용하여 매 15분 간격으로 연속적으로 측정.
- 수온 및 염도는 측정센스(예: HOBO sensor, Onset Computer)를 현장에 설치하여 일정 간격으로 측정.

### ② 해수 및 퇴적물 공극수 내 무기영양염류 농도

- 해수 내 무기 영양염류 농도를 매월 각 장소에서 4 - 10개의 시료를 무작위로 채취하여 측정함.
- 퇴적물 공극수 내 무기염류 농도를 매월 각 장소에서 4 - 10개의 시료를 무작위로 채취하여 측정함.

### ③ 해수 내 chlorophyll 및 부유물질량

- 해수 내 chlorophyll 농도를 각 조사장소에서 매월 측정. 일정량의 해수를 cellulose nitrate membrane filter로 여과한 후 90% acetone으로 chlorophyll을 추출한 후 spectrophotometer로 측정.
- 부유물질량을 각 조사장소에서 매월 측정. 일정량의 해수를 glass fiber filter로 여과하여 건중량 측정

## 3) 생태계 영향 분석

### ① 저서동물

- 잘피 생육지는 다양한 해양동물의 직간접적인 먹이원을 제공하고, 해양동식물

과 상호작용하는 연안생태계의 중요한 구성요소임.

② 먹이망분석

● 복원된 잘피생육지에서 이러한 생태적 기능이 원활히 이루어지고 있는지를 평가하기 위해 안정동위원소를 사용하거나, 소화관 분석을 통하여 먹이망의 구조를 조사함.

③ 생물군집구조

● 잘피생육지 내 저서동물 및 어류의 군집구조를 파악함.

## 6. 참고문헌

Batiuk R.A., Orth, R.J., Moore, K.A., Dennison, W.C., Stevenson, J.C., Staver, L.W., Carter, V., Rybicki, N.B., Hickman, R.E., Kollar, S., Bieber, S., Heasley, P. 1992. Chesapeake Bay submerged aquatic vegetation habitat requirements and restoration targets :A technical synthesis US EPA, Annapolis, MD. CBP/TRS 83/92.

Campbell, M.L., Bastyan, G.R., Walker, D.I. 2000. A decision-based framework to increase seagrass transplantation success. *Biol. Mar. Medit.* 7:332-335.

Fishman, J.R., Orth, R.J., Marion, S., Bieri, J. 2004. A comparative test of mechanized and manual transplanting of eelgrass, *Zostera marina*, in Chesapeake Bay. *Restoration Ecology* 12: 214-219.

Fonseca, M.S., Kenworthy, W.J., Thayer, G.W.1998. Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent Waters. NOAA Coastal Ocean Program/Decision Analysis Series No. 12. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, Maryland, 222 pp.

Short, F.T. 1987. Effects of sediment nutrients on seagrasses, literature review and mesocosm experiment. *Aquatic Botany* 27: 41-57.

Granger, S., Nixon, S.W., Traber, M.S., Keyes, R. 1996. The application of horticultural techniques in the propagation of eelgrass (*Zostera marina* L.) from seed. P. 377. In: J Kuo, RC Phillips, DI Walker, H Kirkman (eds.) *Seagrass Biology: Scientific discussion from an International Workshop*. Rottnest Island, Western Australia, 25-29 January 1996. Faculty of Sciences, The University of Western Australia, Nedlands, Western Australia.

Lee, K.-S., Lee, S.Y. 2003. The seagrasses of the Republic of Korea. In: Green, E.P., Short, F.T., Spalding, M.D. (Eds.), *World Atlas of Seagrasses: Present Status and Future Conservation*. University of California Press, Berkeley, California, USA, pp. 193-198.

Orth, R.J., Harwell, M.C., Fishman, J.R. 1999. A rapid and simple method for transplanting eelgrass using single unanchored shoots. *Aquatic Botany* 64: 77-85.

Park, J.-I., Lee, K.-S. 2007b. Site-specific success of three transplanting methods and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* transplants. *Marine Pollution Bulletin* 54:1238-1248.

Short, F.T. 1993. The port of New Hampshire interim mitigation success assessment report. Report to the New Hampshire Department of Transportation. Jackson Estuarine Laboratory, Durham, NH

Short, F.T., Davis, R.C., Kopp, B.S., Short, C.A., Burdick, D.M. 2002a. Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the northeastern US. Marine Ecology Progress Series 227: 253-267.

Short, F.T., Short, C.A., Burdick-Whitney, C. 2002b. A manual for community-based eelgrass restoration. University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, USA, 56pp.

White House Office on Environmental Policy. 1993. Protecting America's wetlands: A fair, flexible and effective approach. The White House, Wash., D.C. 26pp.

해양수산부. 2007. 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률. 180pp.