

대체서식지 조성을 위한 거머리말 이식 및 모니터링

홍성재 · 최창근*

부경대학교 생태공학과

Seagrass (*Zostera marina*) Transplantation and Monitoring for Replacement Habitat

Seong Jae Hong, Chang Geun Choi*

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Corresponding Author

Chang Geun Choi
 Department of Ecological Engineering,
 Pukyong National University, Busan
 48513, Korea
 E-mail : cgchoi@pknu.ac.kr

Received : May 29, 2018
 Revised : June 02, 2018
 Accepted : June 10, 2018

부산시 천성항 내 훼손이 예상되는 거머리말 서식지의 복원을 위해서 기존 서식지의 현황조사를 실시하고 인근 두문리 해안에 대체서식지를 조성하여 모니터링을 실시하였다. 2014년 1월 항내 자생하는 거머리말은 수심 1.2~3.1 m의 범위에서 출현하였고, 수온은 7.4°C, 염분은 29.1 psu, pH는 8.05를 나타냈다. 거머리말의 서식밀도는 167.1±16.4 shoots m⁻²로 조사되었고, 총길이 48.5±18.1 cm, 엽초길이 9.1±2.8 cm, 엽폭 4.8±1.1 cm로 조사되었다. 2014년 12월에 이식을 실시한 후 다음해 8월까지 모니터링을 실시하였다. 이식 초기 서식밀도는 감소하여 1월에 8.5 shoots patch⁻¹ 값을 나타낸 이후 점차 증가하여 4월에 19.0 shoots patch⁻¹ 까지 증가하였다. 총 길이는 73.3±2.9~121.3±6.1 cm, 엽초길이는 9.6±0.6~21.0±1.2 cm, 엽폭은 5.7±0.1~6.8±0.2 mm로 조사되었고 측정값은 7월까지 꾸준히 증가하다 8월 이후에 감소하는 경향을 나타내었다. 천성항 내 거머리말 서식지와 이식 초기 대체서식지에서 관찰되지 않았던 생식지(flowering shoot)가 2015년 3월부터 나타나기 시작하여 모니터링 기간 동안 계속 관찰되었으며, 2016년 조사 시 생식지의 씨앗에서 발아한 거머리말을 대체서식지에서 관찰할 수 있었다.

We investigated natural habitat of seagrass and created replacement habitat to monitor for restoration of the habitat which is expected to be damaged at Cheonseong harbor in Busan. Depth of water for natural seagrass habitat at Cheonseong harbor was 1.2~3.1 m and the water temperature was 7.4°C, salt concentration was 29.1 psu and pH was 8.05 in January, 2013. The density of seagrass was 167.1±16.4 shoots m⁻², the total length was 48.5±18.1 cm, the height of sheath was 9.1±2.8 cm and the width of leaf was 4.8±1.1 cm, respectively. We transplanted in December 2014 and monitored the habitat during 9 months after transplanted. In the beginning, the density of seagrass was decreased to 8.5 shoots patch⁻¹ in January and was increased to 19.0 shoots patch⁻¹ in April. The total height were 73.3±2.9~121.3±6.1 cm, the length of sheath were 9.6±0.6~21.0±1.2 cm, the width of leaf were 5.7±0.1~6.8±0.2 mm. It showed that all values were increased steadily until July and was decreased rapidly in August. Flowering shoot, which was not observed in the beginning of transplanting, started to be spotted in March and was continued to be seen during the monitoring period. We were able to observe seedling of germinated seagrass in seeds in the replacement habitat next year.

Keywords: Seagrass, Habitat, Restoration, Replacement, Monitoring

서론

해초류(seagrass)는 해조류(seaweed)와 달리 관다발 조직이 발달해 있으며 뿌리, 줄기, 잎의 구분이 뚜렷한 꽃을 피우는 해산현화

식물이다. 극지방을 제외한 대부분의 연안에 분포하며, 전 세계적으로 5과 13속 60여 종이 서식하고(Short et al, 2001) 지하경을 통한 영양번식과 생식지에서 만든 씨앗을 통해 종자번식을 한다. 잘 피쉬는 다양한 해양생물의 직·간접적인 먹이원이 되기도 하며 산

란장, 성육장과 같은 서식처를 제공한다. 또한 수중의 영양염을 뿌리와 잎을 통해 흡수하여 수질을 정화하고, 광합성을 통해 수중에 산소를 제공하며, 지하경과 뿌리는 퇴적물의 재부유를 막는 토양 안정화의 기능을 담당한다(Kim et al., 2010; Kim et al., 2015).

우리나라 연안에 생육하는 잘피는 *Zostera* 속 5종을 비롯하여 총 4속 9종이 보고되었다(Kim et al., 2009). 우리나라 연안에 서식하는 잘피 분포면적의 90% 이상은 거머리말(*Zostera marina*)이며, 과거 많은 거머리말 군락이 존재하였으나, 1970년대 이후 산업화에 따른 매립, 준설과 연안역의 부영양화로 인해 거머리말 서식지의 70~80% 이상이 감소한 것으로 추정된다. 최근 Lee and Lee (2003)의 연구에서 잘피의 서식면적을 55~70 km²로 추정하였으나 현재는 이 면적도 상당 부분 소실되었을 것으로 판단된다.

최근 연안생태계에서 잘피의 생태적 중요성이 인식되고, 훼손된 잘피습 복원의 필요성이 대두되면서 정부에서는 개체수가 현저하게 감소하고 있는 종, 우리나라 고유의 종, 학술적·경제적 가치가 높은 종, 국제적으로 보호 가치가 높은 종 등을 2007년부터 보호대상해양생물로 지정하여 관리하고 있다. 여기에는 *Zostera* 속 4종(*Zostera marina*, *Z. caespitosa*, *Z. caulescens*, *Z. asiatica*)과 *Phyllospadix* 속 2종(*Phyllospadix iwatensis*, *P. japonicus*)이 포함되어 있다(해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률 제2조 11항).

환경부에서는 연안역의 개발사업으로 인해 훼손되거나 영향을 받을 것으로 예상되는 동·식물의 서식지를 보상하기 위해 사업대상지역 또는 주변지역에 원래의 서식지와 동일하거나 유사한 수준의 서식지를 창출, 향상 또는 복원하여 대체서식지를 조성하도록 하는 『대체서식지 조성·관리 환경영향평가 지침』을 2011년에 마련하였다. 또한 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률 46조에서는 개발행위 등을 하는 경우에 생태적 가치가 높은 해양생태계가 훼손되지 않도록 필요한 조치를 취할 것을 명시하고 있다.

이 연구의 공간적 범위인 천성항은 부산시 강서구 천가동 가덕도에 위치한 국가어항으로 최근 방파제, 물양장 등을 건설하는 천성항 국가어항 개발사업이 진행되는 중 천성항 내 거머리말 서식지가 확인되었다.

이에 이 연구는 훼손이 예상되는 천성항 내 거머리말의 서식현황을 조사하고, 대체서식지를 조성 후 모니터링 조사를 통해 이식된 거머리말의 변화양상을 알아보고자 하였다. 이러한 자료는 최근 연안역의 개발사업과 오염으로 인한 보호대상해양생물인 거머리말의 서식지 감소에 대한 보호·보전 방안 등 대안을 제시하고 해초류를 이용한 바다숲 조성사업 등에 활용 가능한 유익한 정보를 제공할 것으로 판단되며 이러한 목적으로 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역

천성항(35°1'38.59"N, 128°48'54.15"E)이 위치한 가덕도는 북쪽의

동쪽 해안으로는 눌차도와 진우도 같은 사주에 의해 형성된 육계도(陸繫島)가 있고, 북서쪽으로는 부산신항이 자리하고 있다. 동남쪽 해안에는 100 m 이상의 해식애(sea cliff)가 발달해 있으며, 섬의 동쪽과 남쪽은 수심이 깊다. 천성항은 가덕도의 서쪽 해안에 위치하여 파도의 영향이 적고 조위 변화가 최대 2 m 정도로 낮아 조류에 의한 유속이 약한 곳이다. 가덕도와 거제도 사이의 진해만을 드나드는 조류는 강하고 빠른 반면 가덕도 연안의 천성항은 내만 형태로 되어 있어 조류의 영향이 약하다. 가덕도 주변은 연안의 일부 암반지역을 제외하면, 대부분 사질 또는 사니질의 퇴적환경을 나타낸다.

2. 거머리말 서식지 현황조사

2014년 1월 천성항 내 거머리말 서식지를 대상으로 기초환경조사와 거머리말의 밀도 및 형태에 대한 현황조사를 실시하였다. 천성항 내 서식지 중에 거머리말이 평균적으로 분포하는 임의의 조사정점 3곳을 정하여 각 조사정점 당 3회씩, 50 cm × 50 cm 크기의 방형구를 이용하여 방형구 내 서식하는 거머리말의 개체수를 조사하였다. 또한 형태조사를 위하여 방형구 내의 거머리말을 채집 후 실험실로 운반하여 식물체의 총길이, 엽초의 길이와 너비, 잎의 길이와 너비, 지하경의 길이와 직경, 생물량 및 엽맥수를 측정하였다. 천성항 내 기초환경을 조사하기 위하여 다중수질측정기(YSI 600 MDS, Multi parameter water quality monitor)를 이용하여 현장에서 수온, 염분, pH를 측정하였다. 수심은 SCUBA diving을 이용하여 수중용 디지털 수심계로 측정하였다.

3. 대체서식지 조성 및 모니터링

2014년 11월 천성항에서 북쪽으로 1 km 떨어진 두문리 해안을 대체서식지로 선정하여 훼손이 예상되는 천성항 내 거머리말 약 25,000 shoots를 7일 동안 이식하였다(Fig. 1). 이식방법은 길이 50 m, 직경 10 mm의 로우프에 선별된 거머리말 약 20~30 shoots를 1 m 간격으로 고정시켜 이식용 로우프를 제작하였으며 이러한 이식용 로우프 20개를 제작하여 거머리말을 이식하였다(Fig. 2). 이식용 로우프는 수중에서 staple을 이용하여 연승 기질에 삽입시켜 단단히 고정하는 방법을 사용하였고, 사용된 staple은 일반적인 철사가 아닌 40 cm 길이의 크롬 고강도 강철 단조팩을 사용하여 이식용 로우프가 뜨는 현상이 발생하지 않도록 하였다. 이식용 로우프를 고정된 후에 1 m 간격으로 고정시킨 거머리말 패치는 호미 등으로 퇴적물을 파낸 뒤 지하부를 묻고 다시 모래나 뽕흙으로 덮여 지하부가 완전히 바닥에 묻히게 하였다.

이식 초기 2개월 동안 약 10일 간격으로 총 5회 모니터링을 실시하여 이식된 거머리말의 이상유무 상태를 점검하였고, 이후에는 6개월 간 월별 1회 모니터링을 실시하였다. 모니터링 조사는 현장에서 해수를 채수하여 실험실로 운반 후 해양환경공정시험방



Fig. 1. Original (Cheonseong Harbor) and replacement (Dumun-ri) habitats of *Zostera marina* at this study.

법에 따라 분석하여 대체서식지 해수의 영양염을 측정하였다. 거머리말의 생육에 중요한 수온과 조도를 측정하기 위하여 HOBO sensor (HOBO-Light Intensity, Onset Computer, USA)를 설치하여 매 15분마다 수온 및 조도 변화를 측정하였다. HOBO sensor는 거머리말 이식지 저질에 PVC 파이프를 고정 후 결착하였고, 2015년 2월에 설치하여 2015년 9월에 회수하였다. 또한 이식한 거머리말의 생육상태를 확인하기 위하여 이식된 거머리말 패치의 평균을 대표할 수 있는 임의의 거머리말 패치 10개를 선정하여 서식밀도를 조사하였다. 외부형태적 변화를 조사하기 위하여 이식한 거머리말 가운데 임의로 30 shoots를 선정하여 총길이, 엽초길이, 잎너비를 측정하였다. 모니터링 조사 시에는 이식되어 생육하는 거머리말의 보호를 위하여 별도의 정량적인 채집은 실시하지 않았고 수중에서 모든 항목을 직접 측정하였다.

결 과

1. 거머리말 서식지 현황조사

2014년 1월, 천성항 내 거머리말 서식지의 환경조사를 실시한 결과 거머리말의 서식면적은 약 7,000 m², 약 25,000 shoots 내외

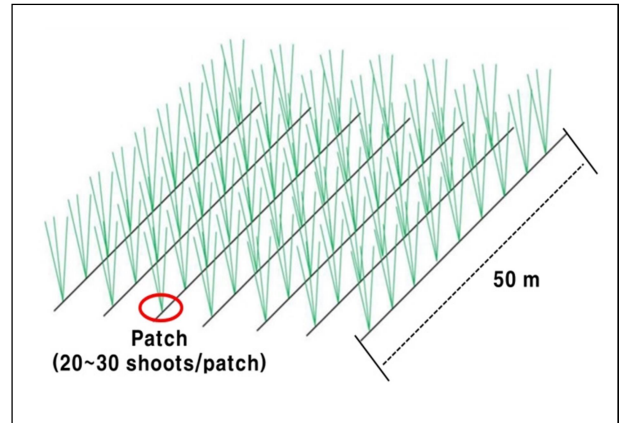


Fig. 2. Schematic diagram of replacement habitat after transplantation.

Table 1. Environmental factor of *Zostera marina* habitat in Cheonseong Harbor on January, 2014

Sites	Depth (m) (max./min.)	Temperature (°C)	Salinity (psu)	pH
St. 1	2.6/1.2	7.21	19.33	7.94
St. 2	3.1/1.3	7.51	34.27	8.13
St. 3	2.8/1.2	7.55	33.86	8.07
Mean	2.5/1.2	7.42	29.15	8.05

였다. 거머리말은 수심 1.2~3.1 m의 범위에서 출현하였으며, 가장 얇은 수심에서 서식하는 거머리말은 간조 시 상부가 공기 중에 노출되는 것이 확인되었다. 천성항 내 거머리말 서식지의 1월 평균 수온은 7.4°C이며, 각 정점별 수온은 정점 1에서 7.2°C, 정점 2에서 7.5°C, 정점 3에서 7.6°C로 측정되었다. 염분은 정점 1에서 19.33 psu, 정점 2에서 34.27 psu, 정점 3에서 33.86 psu의 값을 나타냈으며, pH는 정점 1에서 7.94, 정점 2에서 8.13, 정점 3에서 8.07 값을 나타냈다(Table 1).

천성항 내 서식하는 거머리말은 생식지(flowering shoot)는 관찰되지 않았고, 영양지(vegetative shoot)만 관찰되었다. 거머리말의 서식밀도는 정점 1에서 149.3±18.9 shoots m²로 가장 낮았으며, 정점 3에서 178.6±12.2 shoots m²로 가장 높게 나타났다. 거머리말의 총길이는 정점 1에서 42.9±19.5 cm, 정점 2에서 51.0±21.3 cm, 정점 3에서 51.6±13.7 cm로 평균 48.5±18.1 cm로 조사되었다. 엽초(sheath)의 길이는 8.4~9.8 cm의 범위로 나타났으며, 너비는 5.5~6.0 mm로 측정되었다(Table 2).

천성항 내 정점별 거머리말의 생물량은 정점 1에서 166.84 g dry wt m²으로 가장 낮게 나타났으며, 정점 2에서 225.76 g dry

Table 2. Shoot density and morphological characteristics of *Zostera marina* in Cheonseong Harbor

		St. 1	St. 2	St. 3
Shoot density (shoots/m ²)		149.3±18.9	173.3±18.0	178.6±12.2
Length of total plants (cm)		42.9±19.5	51.0±21.3	51.6±13.7
Sheath	Length (cm)	8.4±3.9	9.8±3.3	9.2±1.4
	Width (mm)	5.6±1.4	5.6±1.3	6.0±2.1
Leaf	Length (cm)	23.7±16.9	25.1±17.4	28.4±13.7
	Width (mm)	5.0±1.0	4.7±1.1	4.8±1.3
Rhizome	Length (cm)	1.1±0.5	1.2±0.3	1.2±0.2
	Width (mm)	3.5±0.7	4.1±1.2	4.2±0.9

wt m⁻², 정점 3에서 가장 높은 값인 262.88 g dry wt m⁻²로 조사되었다.

항내 서식하는 거머리말은 정점별로 모두 이어져 해안을 따라 긴 띠를 이루며 생육하는 것으로 확인되었다.

2. 대체서식지의 환경특성

대체서식지인 두문리 해안의 수온은 뚜렷한 계절적 양상을 보였으며, 조사기간 중 1월에 가장 낮은 4.4°C로 나타났고 8월에 가장 높은 25.8°C로 나타났다(Fig. 3). 염분은 대체적으로 31.50~32.69 psu의 범위로 나타났으며, 큰 변화 없이 유사하였다(Fig. 4). 다만 기상청 자료결과 2015년 4월과 5월에 부산지역 평균 강수량이 예년에 비해 상대적으로 높게 나타난 결과로 인해 5월 염분값이 상대적으로 낮게 나타났다.

조도는 8월에 가장 낮은 20.14 lux ft⁻²로 나타났고, 3월에 가장 높은 469.60 lux ft⁻²로 나타났다(Fig. 5). 조사기간 중 조도의 측정시간별 변화양상을 보면 측정값은 매월 조사 초기에 높은 값을 나타내지만 시간이 지날수록 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 측정장치인 HOBO sensor에 소형의 부착성 갑각류 및 부니가 센서의 표면에 착생하거나 뒤덮는 영향으로 인해 측정값이 낮게 나타났으며 이로 인해 정확한 조도 측정에 어려움이 있었다. 따라서 조사기간 중 조사시기 간의 상대적인 측정값은 적절했지만 실제 조도는 측정값보다 좀 더 높았을 것으로 판단된다.

영양염 농도는 질산염(NO₃⁻-N)이 2015년 5월에 1.33 μM로 가장 낮은 값을 보였고, 2014년 12월에 20.39 μM로 가장 높은 값을 나타냈다. 아질산염(NO₂⁻-N)은 0.13~1.72 μM 범위의 값을 나타냈고, 암모니아(NH₄⁺-N)는 0.20~17.33 μM 범위의 값을 나타냈으며 인산염(PO₄³⁻-P)은 0.15~0.95 μM 범위였다(Fig. 6). 현탁물질(SS)은

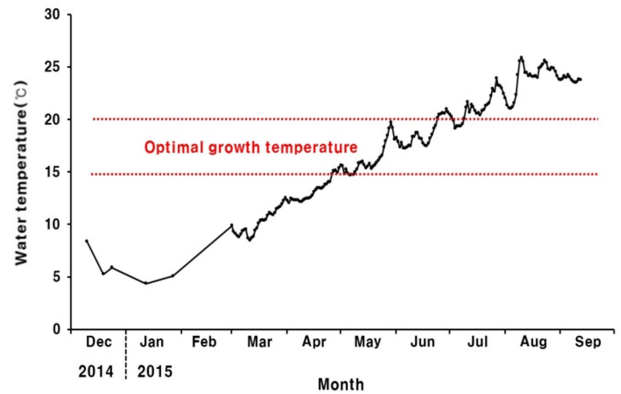


Fig. 3. Change of water temperature at replacement habitat in Dumun-ri shore from December 2014 to September 2015.

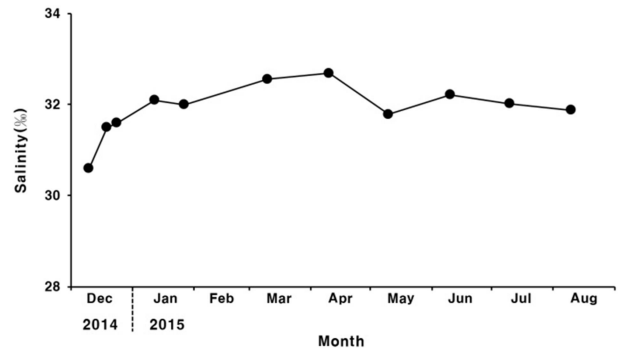


Fig. 4. Change of salinity at replacement habitat in Dumun-ri shore from December 2014 to August 2015.

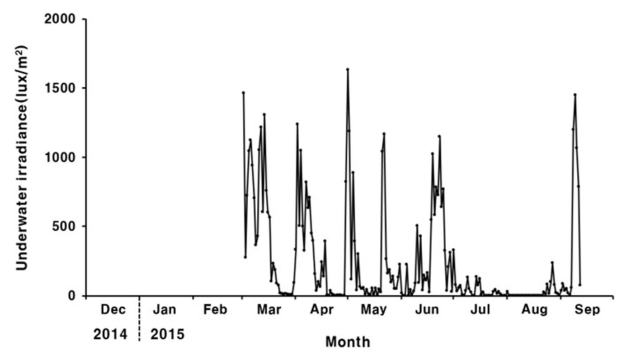


Fig. 5. Change of underwater irradiance at replacement habitat in Dumun-ri shore from December 2014 to September 2015.

2.2~8.2 mg l⁻¹ 범위였으며, 4월에 가장 높은 8.2 mg l⁻¹의 값을 나타냈다.

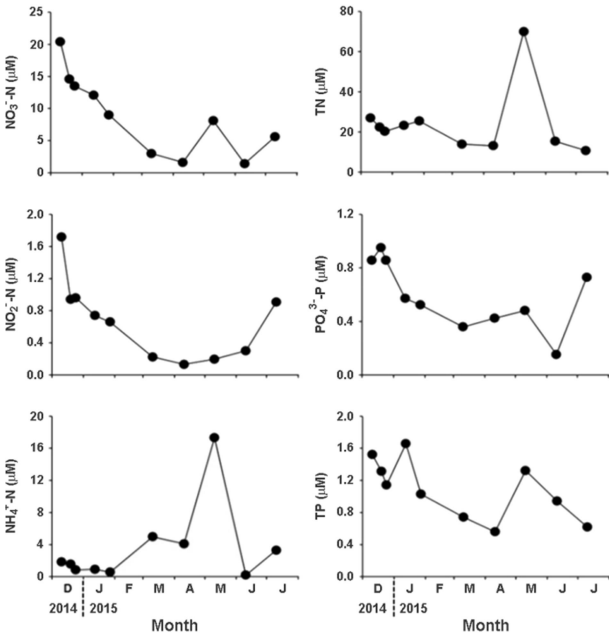


Fig. 6. Change of nutrient concentrations at replacement habitat in Dumun-ri shore from December 2014 to July 2015.

3. 이식된 거머리말의 생장 모니터링

두문리 해안에 이식된 거머리말의 서식밀도는 이식 초기 약 2개월에 걸쳐 감소하는 경향을 보이다가 적응 단계를 거친 이후 증가하는 양상을 보였다. 2015년 1월에 8.5 shoots patch⁻¹로 나타났고, 4월에 가장 높은 19.0 shoots patch⁻¹로 나타났다. 6월부터 서식밀도는 서서히 감소하여 8월에 가장 낮은 7.7 shoots patch⁻¹로 나타났다(Fig. 7).

천성항 내 서식하는 거머리말에서는 계절적인 영향으로 영양지만 관찰되었고, 이식 초기 대체서식지에서도 같은 원인으로 영양지만 관찰되었으며, 생식지는 관찰되지 않았다. 그러나 대체서식지에 이식된 개체 중에서 3월 이후부터 생식지가 나타나기 시작하였으며, 이후에는 지속적으로 관찰되었다.

이식된 거머리말의 총길이, 엽초길이, 잎너비 등 외부형태적 특징을 보면 이식 초기에는 대체적으로 낮은 값을 보였지만 이식에 대한 적응기 이후 수온이 상승하는 시기와 맞물려 7월까지 지속적으로 성장하다가 이후에는 감소하는 경향을 나타냈다. 거머리말의 총길이는 3월에 733.1 mm로 낮은 값을 나타낸 이후 지속적으로 성장하여 7월에 1,213.1 mm로 가장 높은 값을 보였으며, 엽초는 3월에 96.1 mm로 가장 낮은 값을 나타낸 이후 지속적으로 성장하여 7월에 209.2 mm로 가장 높은 값을 보였다. 잎너비의 경우에도 3월에 5.8 mm로 가장 낮은 값을 나타낸 이후 7월에 6.8 mm로 가장 높은 값을 나타냈다(Fig. 8).

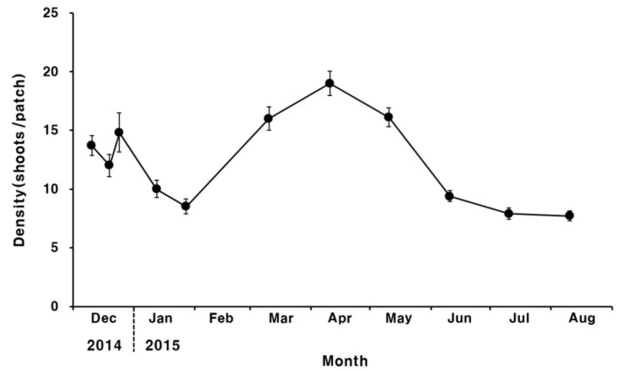


Fig. 7. Change of shoot density at replacement habitat in Dumun-ri shore from December 2014 to August 2015. Bars indicated ± SE.

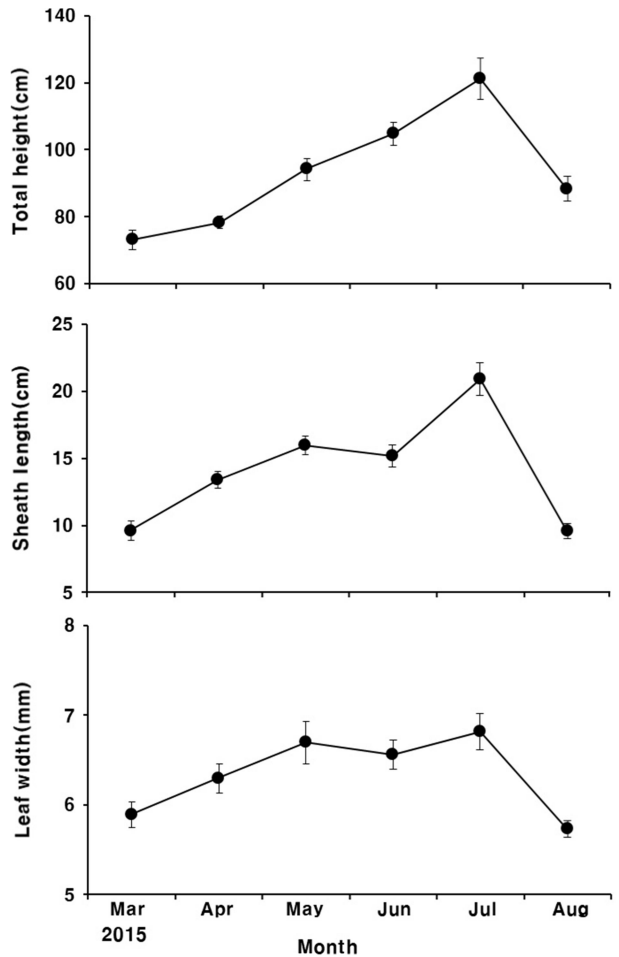


Fig. 8. Changes of morphological characteristics (total height, sheath length, leaf width) at the replacement habitat in Dumun-ri shore from March to August 2015. Bars indicated ± SE.

고 찰

천성항 내 3개의 조사정점 중에서 인근의 하천에서 담수의 영향을 직접 받는 정점 1에서 담수의 영향을 받지 않는 정점 3으로 갈수록 서식밀도, 총길이, 앞길이, 엽초길이, 생물량 등이 상대적으로 높게 나타났다. 거머리말의 감소원인은 여러 요인이 있지만, 그 중 광량은 주요한 요인 중 하나이다. 거머리말의 생장에 필요한 광량은 해조류나 식물플랑크톤에 비해 더 높은 값을 필요(Duarte, 1995)로 하는데, 부유물의 증가는 거머리말 생존에 불리하게 작용한다. 광양만의 경우 1970년대 광양만 개발사업과 인근 화력발전소 건설에 따른 부유물의 증가가 탁도의 증가로 이어져 거머리말 서식지의 대부분이 소실되었다(Kim and Choi, 2004). 정점 1에서 서식밀도 및 거머리말의 생장이 상대적으로 낮은 이유는 담수의 영향으로 인한 부유물의 증가와 담수유입에 의한 염분 농도의 감소 등 서식환경이 생육에 불리하게 작용했던 결과로 판단된다.

수온은 광량과 함께 거머리말 생장의 주요한 요인이며 거머리말의 최적생장수온은 15~20°C로 알려져 있다(Park et al., 2009). 적절한 수온에서 거머리말의 생장은 높아지고, 적정수온보다 낮거나 높아지면 생장은 낮아진다(Lee et al., 2005). 이 수온범위를 기준으로 이번 연구에서 대체서식지에서의 거머리말 서식밀도는 이식 후 6월까지 지속적으로 증가할 것으로 예상되었으나 5월 이후 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 5월에 실시한 모니터링 결과 해수의 영양염 농도가 매우 높았던 것과 관계가 있는 것으로 판단된다. 영양염은 거머리말의 생장에 중요한 요소이지만(Borum, 2004) 지나치게 높아지면 오히려 거머리말 생장에 좋지 않은 환경을 만들기도 한다. 5월 모니터링 현장조사에서 육안으로 관찰했을 때 해수가 붉은 색을 띠고 탁도가 매우 높았으며, 이후 조사에서 이식한 거머리말 앞에 많은 부유물이 뒤덮여 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기상연보 확인결과 4월과 5월 집중강우로 인한 담수 유입에 따른 부유물질의 증가로 광합성이 감소하고 고수온으로 인한 호흡량의 증가가 5월 이후 서식밀도가 감소된 것으로 판단된다.

성공적인 이식을 위한 다양한 이식방법 중 이식과정에서 거머리말의 공기노출을 최소화 하고 지하경을 비롯한 거머리말 몸체에 상처가 나지 않도록 이식충격을 최소화하는 것이 매우 중요하다. 이식된 개체의 생존을 위한 가장 중요한 기간은 이식 후 초기 3개월 정도인데(Kelly et al., 1971) 이는 이식에 따른 거머리말의 스트레스로 인한 초기 사망률이 높기 때문이다.

Park et al. (2005)은 거머리말 서식지 복원을 위한 연구에서 퇴적환경이 각기 다른 지역에 3가지 이식방법을 적용한 결과 지역별, 이식방법에 따른 차이가 다소 발생하기는 하였으나, 이식 초기 2~3개월 동안 서식밀도가 감소하는 경향을 보이다가 초기 적응기간을 지난 후 증가하는 경향을 나타냈다. 이 연구에서도 이식 초기 서식밀도가 감소하는 경향을 보이다가 이식 후 2개월이 지난 시점부터 증가하기 시작해 일반적인 이식적응 양상을 나타냈다.

또한 Park et al. (2009)의 연구에서는 이식된 거머리말의 이식 초기 서식밀도의 감소없이 적응하는 결과를 보이기도 하며, 이식에 따른 스트레스 정도에 따라 이식 초기 서식밀도 변화에 영향을 준다고 판단된다.

또한 이식과정 중 이식충격으로 인한 거머리말의 스트레스 지표 엽폭을 비롯한 외부형태적인 감소를 들 수 있다. Park et al. (2011)은 낙동강 하구에 이식한 거머리말이 이식 초기 엽초의 길이와 너비, 엽폭 등이 감소하는 경향을 보고하였고 Park et al. (2009) 및 Li and Lee (2010)의 연구에서도 이식 초기 거머리말의 형태적 감소가 2개월 이내에 나타난 것으로 발표하였다. 따라서 이식을 위해 채집된 거머리말의 처리방법이 이식의 성패를 결정짓는 중요한 요인이 된다고 할 수 있다. 이 연구에서 채집된 거머리말을 이식 전까지 대체서식지의 조하대에 보관하여 공기노출을 막고, 이식작업 시 거머리말이 받는 이식충격을 최소화하려고 하였으나 이식 초기 서식밀도 및 외부형태적 감소가 일어난 것으로 보아 일정 부분 이식에 따른 스트레스가 발생한 것으로 판단된다.

거머리말은 봄에 생육지(vegetative shoot) 중 일부가 생식지(flowering shoot)로 변하여 종자를 형성하고, 여름에는 고수온으로 인한 스트레스가 증가하여 활력이 떨어지며, 겨울철에는 공기노출 시 저온으로 인한 스트레스가 높아지는 계절적 특성을 지닌다. 따라서 이식에 적합한 계절은 가을이 최적의 시기로 판단되나(Park et al., 2005) 이번 연구에서는 초겨울에 이식이 진행되어 거머리말의 저온 스트레스가 있었을 것으로 추측된다. 하지만 이식된 거머리말 중 안정적으로 활착한 개체는 모니터링 기간 중 전장, 엽초, 앞너비 등이 증가하였으며, 천성항 내 자생하던 거머리말과 비교해 보아도 안정적인 성장 정도를 확인할 수 있어 성공적인 대체서식지 조성의 근거로 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 이식된 거머리말은 시기적으로 2015년 3월부터 2~16 shoots patch⁻¹의 생식지(flowering shoot)가 확인되었다. 생식지는 종자번식을 통하여 서식지에 새로운 유식물(seedling)의 유입을 유도한다(Kim et al., 2008a). 이식 다음 해인 2016년 6월 현장조사 시 이식한 거머리말 이외에도 이식지역보다 얇은 수심에서 생육하는 새로운 거머리말 개체를 확인할 수 있었다. 이 연구에서는 이식 초기에 이식 스트레스로 인한 서식밀도의 감소가 나타났으나 이후 서식밀도와 외부형태적 특징의 증가가 나타났고 생식지 종자에서 발아한 새로운 거머리말의 가입도 확인되어 성공적인 수준의 대체서식지 조성이 이루어졌다고 판단되었다. 하지만 연구 진행의 제약에 의해서 장기적인 모니터링을 수행할 수 없었으며 이에 따라 대체서식지의 거머리말 개체수가 기존 서식지의 개체수 만큼 회복되는 것을 확인할 정량적 데이터를 얻을 수 없었던 것은 매우 아쉽게 평가한다.

거머리말 서식지는 주로 연안역에서 진행되는 대규모 개발사업으로 인한 인위적인 교란으로 상당 부분 훼손된 것으로 알려져 있다. 이 연구는 훼손이 예상되는 거머리말 서식지의 대체서식지를 선정하고, 적절한 이식방법을 통한 효율적인 대체서식지 조성

복원 연구 및 모니터링 자료를 제공하여 추후 연안 개발, 국가어항 개발사업, 환경오염, 기타 서식지 환경의 변화 등 다양한 원인으로 거머리말 서식지가 생육에 불리한 영향을 받을 경우 수행되어야 할 계획수립에 기본적으로 활용될 것으로 판단된다.

참고문헌

- Borum J, Duarte CM, Krause-Jensen D, Greve TM. 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS Project, pp 19-23.
- Davis RC, Short FT. 1997. Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: the horizontal rhizome method. *Aquat Bot* 59: 1-15.
- Duarte CM. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41: 87-112.
- Kelly Jr. JA, Fuss JA, Hall JR. 1971. The transplanting and survival of turtle grass, *Thalassia testudinum* in Boca Ciega Bay, Florida. *Fish Bull* 69: 273-280.
- Kim JB, Park JI, Lee KS. 2009. Seagrass distribution in Deukryang bay. *Kor J Fish Aquat Sci* 42: 509-517.
- Kim JB, Park JI, Jung CS, Lee PY, Lee KS. 2009. Distributional range extension of the seagrass *Halophila nipponica* into coastal waters off the Korean peninsula. *Aquat Bot* 90: 267-272.
- Kim JB, Park J-I, Choi W-J, Lee JS, Lee K-S. 2010. Spatial Distribution and Ecological Characteristics of *Zostera marina* and *Zostera japonica* in the Seomjin Estuary. *Kor J Fish Aquat Sci* 43: 351-361.
- Kim JB, Park JI, Lee WC, Lee KS. 2015. Growth and Population Dynamics of *Zostera marina* Due to Changes in Sediment Composition in the Seomjin Estuary, Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography* 20: 43-52.
- Kim K, Kim JH, Kim KY. 2008a. Using a digital echosounder to estimate eelgrass (*Zostera marina* L.) cover and biomass in Kwangyang Bay. *Algae* 23: 83-90.
- Kim KY, Choi TS. 2004. Variability in abundance and morphological attributes of *Zostera marina* L. from the southern coast of Korea. *Bot Mar* 47: 287-294.
- Kim TH, Park SR, Kim YK, Kim J-H, Kim SH, Kim JH, Chung IK, Lee K-S. 2008b. Growth dynamics and carbon incorporation of the seagrass, *Zostera marina* L. in Jindong Bay and Gamak Bay on the southern coast of Korea. *Algae* 23: 241-250.
- Kwon CJ. 2001. Study on the Morphological Variation in different Habitats of *Zostera marina* L. in Korean Peninsula. Hanyang University.
- Lee KS, Lee SY. 2003. The seagrasses of the republic of Korea. In: World Atlas of Seagrasses: present status and future conservation, edited by Green CP, Short FT and Spalding MD. University of California Press. Berkeley, U.S.A.: 193-198.
- Lee KS, Park SR, Kim JB. 2005. Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two bay systems on the south coast of the Korean peninsula. *Marine Biology* 147: 1091-1108.
- Lee K-S, Park J-I. 2008. An effective transplanting technique using shells for restoration of *Zostera marina* habitats. *Mar Pollut Bull* 56: 1015-1021.
- Li W-T, Lee K-S. 2010. Adaptation success of *Zostera marina* to a new transplant environment. *Algae* 25: 27-35.
- Ok JS, Lee SY, Shin KH, Kim HJ. 2013. Seasonal Variation Characteristics of *Zostera marina* L. in HAENAM SAGUMI on the Southern Coast of Korea. *The Korean Society Of Limnology. Korean Journal of Ecology and Environment* 46: 513-523.
- Park JI, Kim YK, Park SR, Kim JH, Kim YS, Kim JB, Lee PY, Kang CK, Lee KS. 2005. Selection of the Optimal Transplanting Method and Time for Restoration of *Zostera marina* Habitats. *Algae* 20: 379-388.
- Park JI, Wentao L, Kim JB, Lee KS. 2009. Changes in Productivity and Morphological Characteristics of *Zostera marina* Transplants. *Journal of the Korean Society of Oceanography* 14: 41-47.
- Park JI, Lee KS, Son MH. 2011. Growth Dynamics of *Zostera marina* Transplants in the Nakdong Estuary Related to Environmental Changes. *Kor J Fish Aquat Sci* 44: 533-542.
- Park J-I, Park J-Y, Son MH. 2012. Seagrass Distribution in Jeju and Chuja Islands. *Korean J Environ Biol* 30: 339-348.
- Park JI, Park JY, Lee KS, Son MH. 2012. Changes in Morphological Characteristics and Productivity of *Zostera caespitosa* Transplants. *Korean J Environ Biol* 30: 47-53.
- Short Frederick T, Coles Robert G, Short Catherine A. 2001. Global seagrass research methods. Elsevier Science Amsterdam, pp 5-30.