

메조코즘 실험에 의한 염생식물의 서식안정성 평가

류성훈* · 이인철**† · 김경희** · 윤한삼***

*, ** 부경대학교 해양공학과, *** 부경대학교 생태공학과

Assessment in Habitat Stability of Halophyte by using Mesocosm Experiment

Sung-Hoon Ryu* · In-Cheol Lee**† · Kyung-Hoi Kim** · Han-Sam Yoon***

*, ** Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

*** Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요 약 : 본 연구에서는 갯벌토 및 준설토를 기질로 이용한 Mesocosm 실험을 통하여 염생식물의 서식안정성을 평가하였다. Mesocosm 실험구는 기질 및 식생의 식재 여부에 따라 Mesocosm A(갯벌토+통통마디 식재), Mesocosm B(준설토), Mesocosm C(준설토+통통마디 식재)로 조성하였다. 그리고 Mesocosm 실험구 내 염생식물의 서식안정성을 평가하기 위해 수질(COD, T-N, T-P, 수온, 염분), 저질(COD, T-N, T-P), 식생성장률의 서식환경 인자에 대한 모니터링을 실시하여 서식안정성지수(HSI)를 산정하였다. Mesocosm C에서의 HSI는 0.87~0.95로서 Mesocosm A에 비하여 상대적으로 HSI가 높게 산정되어, 준설토를 이용한 해안염습지의 복원/조성에 이용될 수 있을 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 갯벌토, 준설토, 메조코즘, 염생식물, 서식안정성지수(HSI)

Abstract : In this paper, it was constructed the halophyte Mesocosm experimental which was used tidal flat and dredged sediment as a substrate material. Depending on the vegetation and substrate material of Mesocosm, Mesocosm A(tidal flat sediment + Salicornia herbacea), Mesocosm B (only dredged sediment), Mesocosm C(dredged sediment + Salicornia herbacea). Monitoring was carried out of Water quality factors(Chemical Oxygen Demand(COD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P), water temperature, salinity), Sediment factors(Chemical Oxygen Demand(COD), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P)) and growth of Salicornia herbacea. Habitat Stability Index of vegetation was calculating by using the monitoring results. HSI of Mesocosm C was calculated from 0.87 to 0.95 as compared to the relatively high HSI in Mesocosm A, it was evaluated to be able to be used in the restoration and construction of the coastal salt marsh with dredged sediment.

Key Words : Tidal flat sediment, Dredged sediment, Mesocosm, Halophyte, Habitat Stability Index(HSI)

1. 서 론

해안염습지는 조석에 의해 주기적으로 잠김과 노출이 반복되는 독특한 생태계로서 지구상에 존재하는 여러 생태계 가운데 생산성이 가장 높은 곳으로 알려져 있다(Poliakff-Mayber and Gale, 1975). 해안염습지의 높은 생산성으로 인해 많은 종류의 종속영양생물 및 각종 수생식물과 이를 서식처로 하는 많은 동물들이 있는데, 수생식물의 표면이나 이들의 부니 질 표면은 미생물, 원생동물, 부착조류 등이 서식할 수 있는 장소를 제공하여 수체 내 유기물 분해를 촉진한다

(Teal and Weishar, 2005). 더구나 해안염습지에 서식하는 염생식물은 육상으로부터 유입되는 각종 오염물질을 직접 흡수하여 해양오염을 방지하며, 염생식물의 뿌리가 토양 내에 존재하는 미생물에 산소와 영양물질을 공급하거나 미생물을 잘 분해할 수 있는 조건을 제공한다. 염생식물의 분포는 각종 저서동물의 서식처 및 피신처를 제공하여 종 다양성을 증대시키는 등 해양생태계에 있어 매우 중요한 역할을 수행한다(Ihm and Lee, 1998). 최근에는 염생식물 군락이 중요한 carbon sink로도 주목받고 있다(Chmura et al., 2003). 이러한 해안염습지 및 염생식물의 중요성이 부각되면서 해안염습지의 경제적 가치 평가 및 훼손된 해안염습지의 복원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

해양생태계 연구에 유용한 도구로서 다양한 분야에 이용

* First Author : firesinger@gmail.com, 051-629-6586

† Corresponding Author : ilee@pknu.ac.kr, 051-629-6586

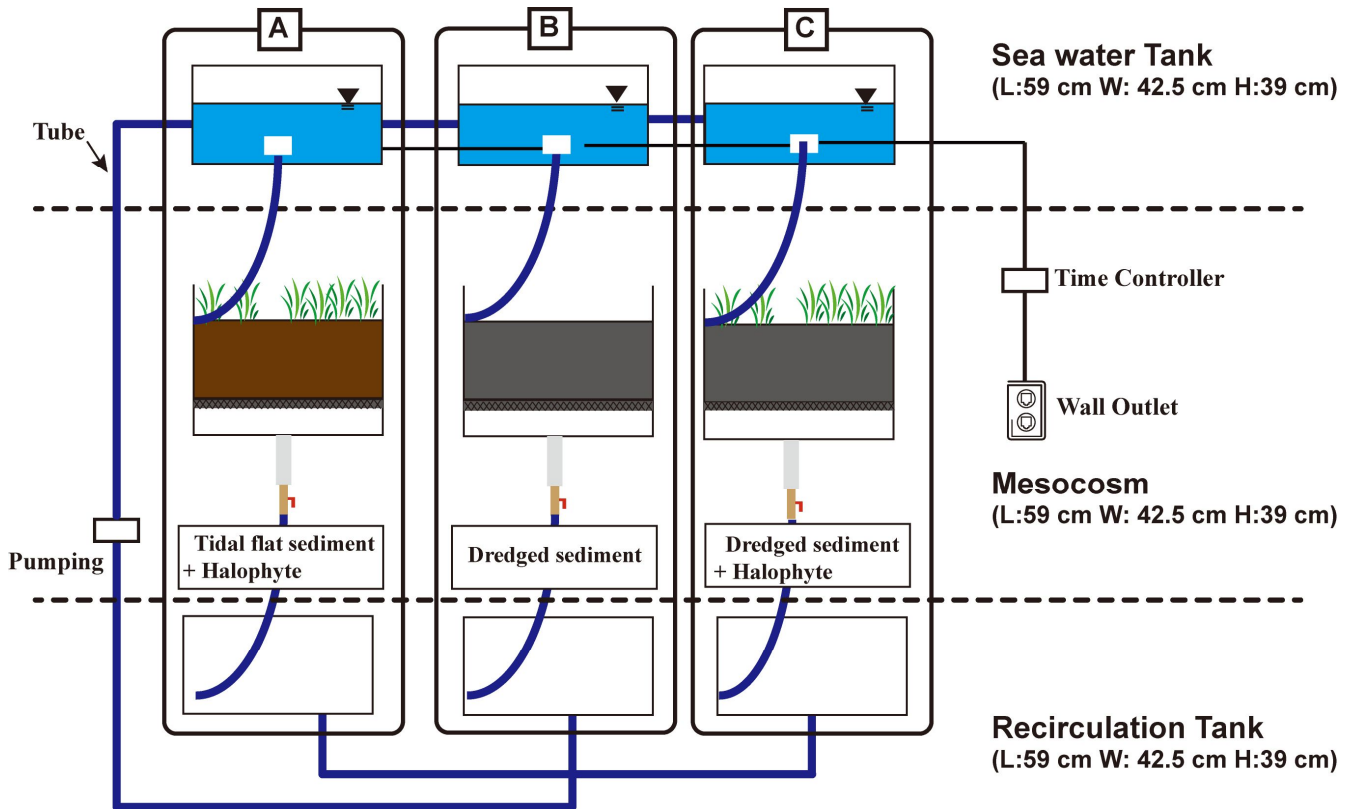


Fig. 1. Schematic diagram of mesocosm experiments in this study.

되는 Mesocosm 실험은 자연생태계 시스템의 기능과 구조를 단순화 시킨 생태계 실험의 방법이다. Mesocosm 실험은 주위환경에 대한 통제가 가능하며, 반복적인 생태계 실험을 상대적으로 적은 비용으로 수행 할 수 있는 장점이 있으나, 복합적인 자연현상의 상호작용에 대한 연속적 재현성에는 제약이 수반된다(Carpenter, 1996; Schindler, 1998). Mesocosm 연구는 초기에 해양플랑크톤이 주 연구 대상이었으나, 독성화학물질의 화학적인 거동 및 생태학적 반응, 지구환경 변화에 대한 연구, 유류 유출사고에 대한 갯벌생태계의 반응에 대한 연구 등 다양한 분야에서 수행되고 있다(Yang and Jeong, 2011).

한편 항만 개발 및 항로준설 등에 인해 발생하는 준설토는 신항만 건설등의 대규모 연안개발사업으로 인해 매년 발생량이 꾸준히 증가추세를 보이고 있으며 연안오염의 가중과 함께 경제적 처리비용이 증가되고 있다. 발생한 준설토는 폐기물로 분리되어 단순히 외해로 투기되거나 육상매립용 자재로 처리되고 있다. 육상매립의 경우 매립지 선정에 어려움을 겪고 있으며, 해양투기에 의한 처분의 경우는 런던협약과 의정서로 인해 폐기물 해양배출 규제를 대폭 강화하여야 하므로 친환경적인 준설토의 처리 및 재활용에 대한 다양한 방안이 요구되고 있는 실정이다. 선진국의 경

우 해안염습지의 복원 및 손실과 같은 환경복원의 개념으로 준설토를 활용하는 등의 다양한 연구가 시도되고 있으며, 우리나라의 경우 Lee et al.(2008)은 준설토 배합비에 따라 현장시험구를 조성하여 생물화학적 환경인자에 대한 모니터링 결과를 통해 복원지수를 제안하여 연안생태환경공간 조성에 따른 복원정도를 정량적으로 평가하였으며, Lee et al.(2014)은 준설토의 친환경적 재활용을 위해 고화준설토를 제작하여 역학적 특성과 식생 발아 특성을 분석하였다.

본 연구에서는 연안생태환경의 복원 및 조성을 위한 기초적 연구로서 갯벌토와 준설토를 이용한 염생식물의 Mesocosm 실험을 실시하였다. 각 실험구의 수질, 저질 및 식생성장률의 서식환경 모니터링결과를 기초로 하여 서식안정성지수(HSI)를 산정한 후 염생식물의 서식안정성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 Mesocosm

(1) Mesocosm 구성

염생식물의 서식안정성 평가를 위해 Fig. 1과 같이 염생식물 Mesocosm을 조성하였다. Mesocosm은 해수를 보관하는 3개의 Sea water tank와 3개의 Mesocosm, 3개의 Recirculation

메조코즘 실험에 의한 염생식물의 서식안정성 평가

tank로 구성하였으며, Mesocosm 내에 퇴적층이 일정한 두께와 형태를 유지하게 하기 위해, 59 cm(L) × 42.5 cm(W) × 39 cm(H) 크기의 아크릴 수조에 담았다. Mesocosm은 Time controller와 솔레노이드 밸브를 이용하여 반일주조의 조석주기를 재현하였으며, 각각의 tank는 튜브로 연결되어 밸브를 통해 해수의 유·출입이 이루어지도록 설계하였으며, 용호만의 해수를 채취하여 사용하였다. 또한 실내에 설치하였기 때문에, 식생의 성장을 위한 빛의 공급을 위해 06~18시까지의 형광등을 이용하여 빛을 공급하였고, 18~06시까지는 빛의 공급을 차단하였다.

(2) Mesocosm 조성

Mesocosm의 기질물질 따른 서식안정성 평가를 위해 갯벌토 및 준설토를 이용하여 Mesocosm을 조성하였다. Mesocosm에 사용한 갯벌토는 충남 당진군 신평면 삽교호 관광단지에서 채취하였고, Mesocosm B와 C에 사용한 준설토는 울산 신항에서 채취하였다. Table 1은 Mesocosm에 사용된 갯벌토와 준설토의 물성치를 나타낸 것으로 갯벌토의 경우 N.200체 통과율이 98%로 세립질의 점토질로 분류되었으며, 준설토는 N.200체 통과율이 97%로 세립질의 점토질로 분류되었다.

Mesocosm은 기질물질 및 염생식물인 통통마디의 식재여부에 따라 Mesocosm A(갯벌토+통통마디), Mesocosm B(준설토), Mesocosm C(준설토+통통마디)로 각각의 조건을 설정하였으며, Mesocosm A와 C에는 파종하여 40일간 안정화된 통통마디를 30개체씩 식재하였다. 또한 해수탱크로부터 유입되는 해수에 의해 3시간 동안 침수되도록 하였고, 침수깊이는 10cm를 유지하도록 설정하였다.

(3) Mesocosm 조성시 유의사항

Mesocosm 실험이 여러 가지 장점을 가지고 있는 것은 사실이나, 한계점 또한 존재하므로 이를 보완하기 위한 설계인자들에 대한 고찰이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 설계인자들을 고려하였다.

① 크기

일반적으로 Mesocosm의 크기는 규모가 클수록 자연 현상의 물리적, 생지화학적 특성을 재현하기 좋다고 알려져 있으나, 대규모 Mesocosm 시설은 설치 및 운영에 있어 많은 비용이 든다. Mesocosm의 크기에 대한 엄격한 기준은 정해져 있지 않으나, 용도에 맞게 적절한 크기의 Mesocosm을 조성하는 것이 중요하다. 본 논문에 이용된 Mesocosm은 0.25 m²로 작은 크기에 속한다. 그러나 Philson and Nixon(1980)과 Ruth et al.(1994)의 연구결과에 따르면 소규모로 지어진 Mesocosm의 실험결과와 대규모로 지어진 Mesocosm의 결과상의 큰 오차는 발생하지 않았던 것으로 나타났다.

Table 1. Geotechnical properties of dredged and tidal flat sediment in this study

Sediment type	Moisture ratio(%)	Passed ratio of N.200(%)	U.S.C.S
Dredged Sediment	56.4	97	C.L
Tidal flat sediment	28.2	98	C.L

② 퇴적물 두께와 침수 시간 및 높이

염습지에서의 퇴적물은 영양염 순환이나 재생에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 많은 연구자료에서 염습지의 퇴적물 내 생지화학적 반응과 물질의 수직 분포 등에 대해 일반적으로 30~40 cm 이내에서 규명하고 있는 사례들(Barbanti et al., 1992; Lee and Kim, 1990)에 따라, 퇴적층의 두께를 그와 비슷한 범위인 평균 30 cm 정도로 설정하였다.

침수시간의 설정에 있어서 식재한 통통마디의 성장환경에 대한 고려가 필요한데, 일반적으로 통통마디는 조석작용이 빈번하고 불안정한 저토환경에서 정착에 유리한 성장 전략을 가지며, 저위염습지에서 주로 군락을 이루고 있고, 일반적으로 3시간의 침수시간을 가지는 것으로 나타났다(Kim, 2009). 상층수의 높이의 경우 식재한 통통마디가 평균적으로 침수되게 하기 위해 만조시 표면으로부터 10 cm의 수위를 유지하도록 하였다.

③ Mesocosm의 안정화 기간

새로 조성한 Mesocosm은 퇴적물을 이식하는 과정에서 교란이 발생할 수 있으므로 Mesocosm의 상태를 물리적인 작용으로 복원할 필요가 있다. 따라서 조석 순환을 통해 갯벌의 안정화 및 고착화시켰다. 새로운 해수를 Mesocosm에 주입하여 약 4주에 걸쳐서 매 6시간마다 조석을 순환시키면서 퇴적물이 다져지도록 하였다.

2.2 서식환경모니터링

Mesocosm의 서식안정성지수를 산정하기 위해 식생의 서식 안정성에 영향을 미치는 수질(수온/염분/화학적 산소요구량(COD), 총 질소(T-N), 총 인(T-P)) 및 저질(화학적 산소요구량(COD), 총 질소(T-N), 총 인(T-P))인자에 대한 모니터링을 1개월 동안 실시하였다. 한편 Mesocosm A와 C에서는 식재한 통통마디의 식생성장률 모니터링을 위해 줄기의 길이(최대, 평균, 최소)를 측정하였다.

(1) 수질인자

수질인자의 분석항목은 수온, 염분, COD, T-N, T-P이며 Mesocosm을 통과한 해수를 1주일에 2회 1ℓ 용량의 폴리에틸렌 채수병에 채수하여 분석을 실시하였다.

수온과 염분은 ALEC사의 CT계(ACT-HR)를 사용하여 분

석하였으며, COD는 과망간산 칼륨법으로, T-N은 Cd-Cu 환원법으로, T-P는 ascorbic acid법으로 분석을 실시하였다.

(2) 저질인자

저질인자의 분석항목은 COD, T-N, T-P이며, 기질물질로서의 준설토와 갯벌토의 이화학적 환경변화를 모니터링하기 위해 Mesocosm 내 3개지점에서 10 cm 깊이로 sampling을 실시하였다. 채취한 시료를 4°C 상태로 실험실로 이동한 후, 1~2일 동안 자연 풍화를 통해 완전히 건조 시킨 후, 시료를 혼합하여 COD, T-N, T-P의 농도를 분석하였다. COD는 해양환경공정시험방법에 의거하여 분석하였으며, T-N은 Kjeldahl 법을, T-P는 회화법을 이용하여 분해한 후 아스크로빈산에 의한 몰리브덴(Mo)청법에 의거하여 분석을 실시하였다.

(3) 식생인자

해안염습지에 의한 오염물질의 정화에 있어 식생의 기능 및 생태공간으로서의 복원 가능성에 대한 기능성 평가를 위해 Mesocosm A와 C에 통통마디를 60일 동안 각각 갯벌토와 준설토에 식재하여 발아를 시킨 후, 조석 실험을 실시하였다. 각각 30개체씩 통통마디를 식재 하였으며, 식생성장률 조사를 위해 주 1회 간조시 바닥으로부터 식생의 높이를 측정하였다. 한편 본 실험에 사용한 통통마디의 경우 1년생의 다육성 식물로서 생체량(습중량)에 대한 분석이 필요하나 본 실험에서는 수행하지 못하였으며, Mesocosm 실험의 특성상 장기간 모니터링 대신 60일간 실험을 수행하였다.

2.3 서식안정성지수(Habitat Stability Index) 산정

Mesocosm A와 C에 식재한 식생의 서식안정성지수 산정을 위해 수질, 저질 및 식생성장 모니터링 결과를 식 (1)을 이용하여 표준화를 실시하였으며, 각각의 인자에 대한 영향도를 고려하여 식(2)를 이용하여 가중치를 산정하였다. 각 인자들에 대한 가중치를 적용하여 시간별로 Mesocosm A와 C의 서식안정성점수(Habitat Stability Score)를 식 (3)을 통하여 산정하였다. 이를 조성 초기 HSS값을 기준으로 Lee et al.(2011)이 현장시험구의 복원정도를 정량적으로 파악하기 위해 제안한 식(4)를 이용하여 시간별 서식안정성지수(Habitat Stability Index)를 산정하였다. Mesocosm 조성시 초기 서식안정성지수 값을 기준으로 경과시간별 HSI값을 산정하여 비교 분석하였으며, HSI값이 1에 가까울수록 서식안정성지수가 높은 것으로 판단 할 수 있다.

$$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \tag{1}$$

$$\gamma_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \tag{2}$$

$$HSS = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot \gamma_i \tag{3}$$

$$HSI = 1 - \frac{\sqrt{(V_{Ri} - V_{Ci})^2}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{(V_{Ri} - V_{Ci})^2}} \tag{4}$$

여기서, x_i : raw data, μ : mean, σ : S.D

γ_i : 인자별 가중치

D_i : 인자별 모니터링 값

Z_i : Mesocosm 내 환경인자의 표준값

n : Mesocosm 내 환경인자의 수(n=9)

V_{Ri} : Mesocosm 조성초기 인자 값

V_{Ci} : Mesocosm 실험 값

3. 결과 및 고찰

3.1 서식환경모니터링

1) 수질모니터링 결과

1개월 동안의 각 Mesocosm을 순환한 수온, 염분, COD, T-N, T-P의 변화는 Fig. 2와 같으며 각각의 결과는 다음과 같다.

(1) 수온

Fig. 2(a)의 수온 변화를 살펴보면, 유입 해수의 수온은 16.1°C로서 1개월 후 Mesocosm A, B, C를 통과한 수온 값은 각각 16.2°C, 16.3°C, 16.0°C로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

(2) 염분

Fig. 2(b)는 실험기간동안의 염분 변화를 나타내며, 초기 염분농도 32.6 psu에서 12일 후 까지는 염분이 감소하다가 21일부터는 안정된 값을 보여주고 있으며, 1개월 후에는 모든 Mesocosm에서 초기에 비해 높은 염분 값을 나타내었다. 이는 Mesocosm 내의 해수 증발로 인한 것으로 보인다.

(3) 화학적산소요구량(COD)

실험기간 동안 COD의 변동양상을 살펴보면, Mesocosm A의 COD 농도는 2.99 mg/ℓ, Mesocosm B와 C는 각각 3.16 mg/ℓ 및 3.08 mg/ℓ로 초기 유입해수농도인 3.25 mg/ℓ에 비해 전반적으로 농도가 감소하는 추세를 나타냈다(Fig. 2(c)). 1개월 후 Mesocosm A와 C에서의 COD 농도가 Mesocosm B보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 Mesocosm A와 C에 식재한 식생에 의한 유기물의 흡착에 의한 것으로 보인다.

(4) 총 질소(T-N)

Mesocosm을 통과한 해수의 T-N 농도는 Fig. 2(d)와 같다.

메조코즘 실험에 의한 염생식물의 서식안정성 평가

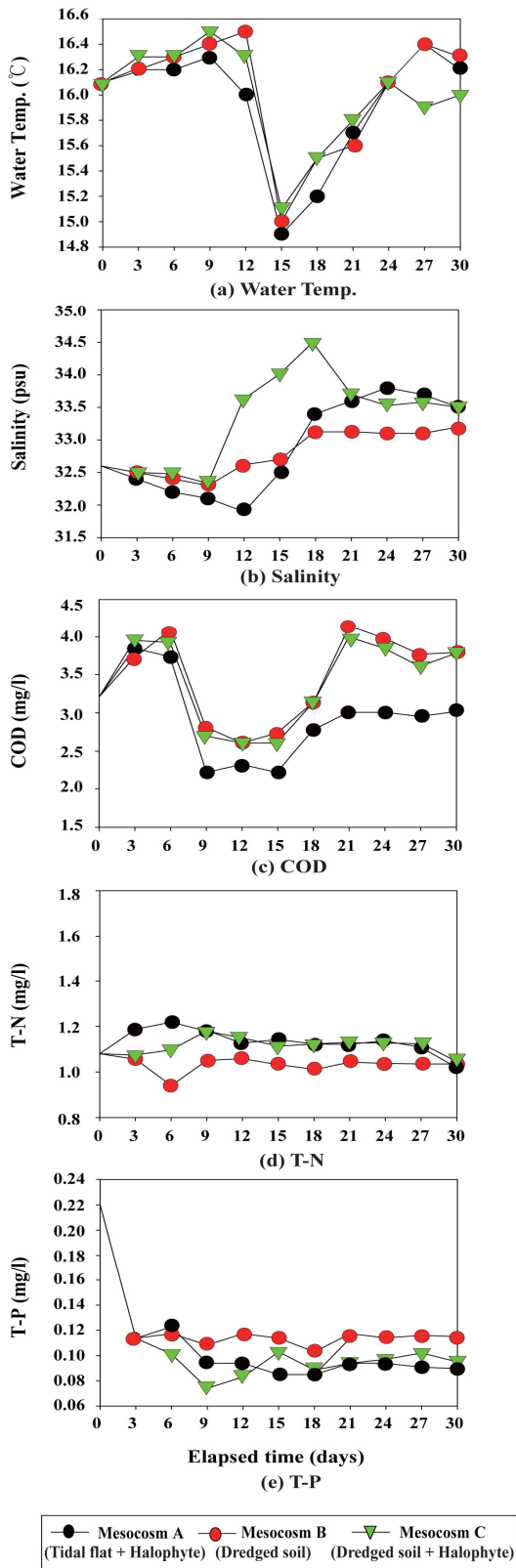


Fig. 2. Variation of physico-chemical factors in seawater.

Mesocosm A에서의 T-N의 농도는 1.026 mg/l, Mesocosm B와 C는 각각 1.037 mg/l, 1.032 mg/l로 나타났으며, 전반적으로 초기농도(1.08 mg/l)에 대한 감소율이 낮은 것으로 나타났다. 일반적으로 질산화와 탈질화가 습지에서 주요 질소 제거 기작이나, 주위 환경으로 부터의 물질순환을 차단한 본 실험에서는 질산염 공급이 제한되어 질산화 및 탈질산화가 원활히 이루어지지 않아 T-N의 제거율이 낮은 것으로 판단된다.

(5) 총 인(T-P)

Fig. 2(e)의 T-P 농도 변화를 살펴보면, 전반적으로 초기 유입수의 T-P 농도 0.22 mg/l에 비해 감소하는 경향을 보였으며, 1개월 후 T-P 농도는 Mesocosm A, B, C에서 각각 0.070 mg/l, 0.115 mg/l, 0.095 mg/l로 나타났다. 식생을 식재한 Mesocosm A와 C에서 높은 T-P 제거율을 보였으나 식생을 식재하지 않은 Mesocosm B에서도 비교적 높은 T-P 제거율을 보인다. 일반적으로 인의 제거는 저질과 같은 filter media에 침전과 흡착에 의해 주로 이루어 진다고 알려져 있는데(Nichols, 1983), 식생에 의한 흡수뿐만 아니라 저질에 흡착 또한 중요한 요인임을 알 수 있다.

2) 저질모니터링 결과

(1) 화학적산소요구량(COD)

1개월 동안 저질 COD의 농도 변화는 Fig. 3(a)와 같다. Mesocosm A는 초기농도 30.81 g/kg에서 17.3 g/kg으로 Mesocosm B와 C는 각각 44.8 g/kg에서 41.4 g/kg, 42.3 g/kg에서 29.9 g/kg로 감소한 것으로 나타났다. 한편 준설토를 이용하여 조성한 Mesocosm B와 C의 경우, Mesocosm C의 COD 농도 감소율이 높은 것을 알 수 있는데, 이는 Mesocosm C에 식재한 통통마디에 의한 유기물질 흡수로 인한 것으로 보인다.

(2) 총 질소(T-N)

Fig. 3(b)는 저질 T-N의 농도 변화를 나타내고 있다. Mesocosm A는 초기농도 107.52 g/kg에서 101.3 g/kg로 Mesocosm B와 C는 각각 143.92 g/kg에서 220.8 g/kg, 138.5 g/kg에서 162.1 g/kg로 나타났다. Mesocosm A에서는 농도가 감소했으며, 식생을 식재한 Mesocosm C의 농도 증가가 Mesocosm B에 비해 적은 것을 알 수 있는데, 이는 식생에 의한 영양염류의 흡수로 인한 것으로 보인다.

(3) 총 인(T-P)

Mesocosm 저질 T-P의 농도 변화를 살펴보면, Mesocosm A는 초기농도 91.9 g/kg에서 75.1 g/kg으로 Mesocosm B와 C는 140.0 g/kg에서 141.1 g/kg, 120.1 g/kg에서 89.1 g/kg로 나타났다 (Fig. 3(c)).

Mesocosm A와 C의 경우 초기 농도에 비해 1개월 후 농도가 감소한 것을 알 수 있으며, Mesocosm B는 시간이 경

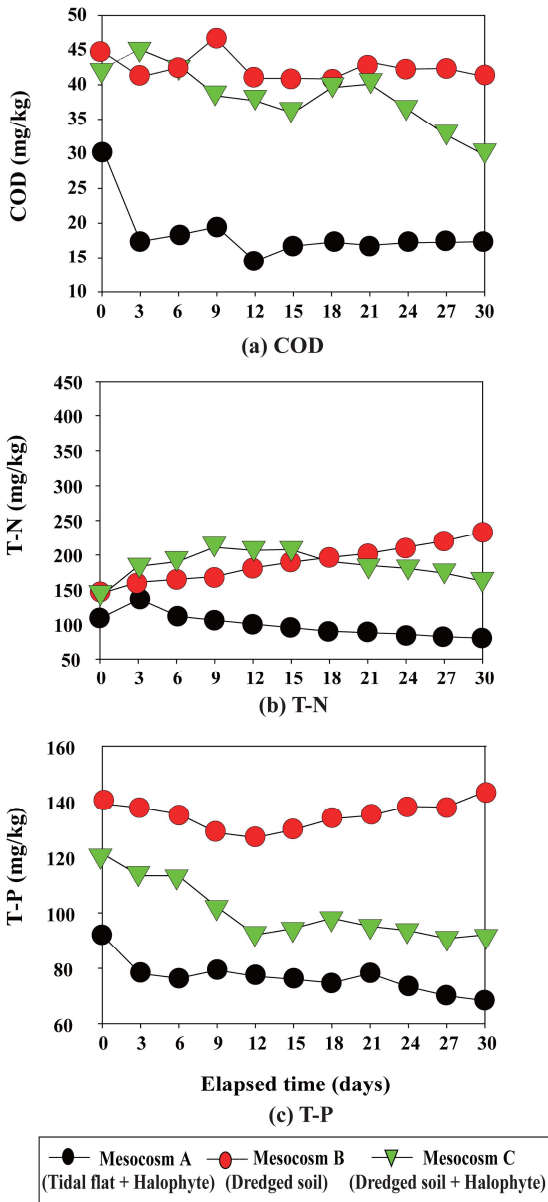


Fig. 3. Variation of physico-chemical factors in sediment.

과함에 따라 T-P 농도가 다소 증가한 것을 알 수 있다. 전반적 농도 변화가 적은 것을 알 수 있으며, T-N과 마찬가지로 식생을 식재한 Mesocosm에서 농도가 감소하는 것으로 보아, 식생에 의한 흡수가 농도 변화에 중요한 역할을 하는 것으로 보인다.

3) 식생성장률 모니터링 결과

① 줄기 길이 변화

Table 2는 Mesocosm에 식재한 줄기 길이의 변화를 나타낸 것으로, 갯벌토를 이용하여 조성한 Mesocosm A에서 통

통마디의 평균 줄기 길이는 7.3 cm였으며, 1개월 후 평균길이는 7.9 cm로 이식 당시에 비해 0.6 cm 증가 하였다. 준설토를 이용하여 조성한 Mesocosm C의 경우 통통마디의 평균 줄기 길이가 6.8 cm였으며, 1개월 후 평균길이는 7.1 cm로 이식 당시에 비해 0.3 cm 길이가 증가하였다(Table 2). 전반적으로 줄기의 길이 변화가 적은 것을 알 수 있는데, Mesocosm의 폐쇄적 시스템 및 적은 규모로 인해 영양물질의 순환이 활발히 이루어지지 않기 때문인 것으로 보인다.

② 성장률변화

Table 2의 통통마디를 식재한 Mesocosm A와 C에서의 줄기 길이의 변화결과를 이용하여 통통마디의 일일 평균성장률을 산정하였다. Mesocosm A의 경우 0.02 cm/day로 나타났으며, Mesocosm C는 0.01 cm/day로 나타났다.

3.2 서식안정성지수(Habitat Stability Index) 산정 결과

수/저질 모니터링 결과 및 식생성장률 모니터링 결과를 이용하여 산정한 HSI값은 Table 3과 같다. Mesocosm A와 C에서의 HSI를 비교해 보면 Mesocosm A에서는 0.82~0.93로 나타났으며, Mesocosm C에서는 0.84~0.94로 나타났다.

전반적으로 서식안정성이 높게 나타났으며, 이는 염생식물의 서식환경에 적합한 것을 의미 한다. 시간에 따른 HSI 변화를 살펴보면, Mesocosm A와 B 모두 HSI값이 감소하다가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 단기간 수행한 실험의 특성상 단기 변동은 크지 않으나, 장기간 실험을 수행시 좀 더 유의한 결과를 얻을수 있을 것으로 판단된다. 한편 준설토를 기질물질로 이용한 Mesocosm C의 경우 갯벌토를 이용한 Mesocosm A보다 HSI가 다소 높은 것으로 나타나는데, 이를 통해 준설토를 이용한 염습지 또한 염생식물의 서식에 적합한 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 연안생태환경의 복원 및 조성을 위한 기초적 연구로서 갯벌토와 준설토를 이용한 염생식물의 3개 Mesocosm 실험을 실시하였다. 각 실험구의 수질, 저질 및 식생성장률 등의 서식환경 모니터링결과를 기초로 하여 서식안정성지수(HSI)를 산정한 후 염생식물의 서식안정성을 평가하였다.

본 논문의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 수질특성의 변화

① 수온 및 염분 : 해수의 수온 및 염분의 변동 특성을 살펴보면, 전반적으로 세 개의 Mesocosm 모두 유사한 변화 양상을 보였으며, 세 개의 Mesocosm 모두 1개월 후, 초기

메조코즘 실험에 의한 염생식물의 서식안정성 평가

Table 2. Variation of Shooting height of Halophytes [Unit : cm]

	Mesocosm Tank A		Mesocosm Tank C	
	Max.	Min.	Max.	Min.
Initial Condition	18.1	3.2	13.5	3.1
	Avg. 7.3		Avg. 6.8	
	3.2	3.2	3.1	3.1
10/30 ~ 11/6	18.1	3.2	13.0	3.1
	Avg. 7.4		Avg. 6.8	
	3.2	3.2	3.1	3.1
11/6 ~ 11/12	18.1	3.3	13.5	3.2
	Avg. 7.5		Avg. 6.9	
	3.3	3.3	3.2	3.2
11/12 ~ 11/18	18.4	3.3	13.5	3.4
	Avg. 7.7		Avg. 7.0	
	3.3	3.3	3.4	3.4
11/18 ~ 11/24	19.0	3.4	14	3.5
	Avg. 7.9		Avg. 7.1	
	3.4	3.4	3.5	3.5

Table 3. HSI index and Grade at Mesocom Tank A and C

	Days	HSI
	Mesocosm A	0
3		0.93
6		0.92
9		0.92
12		0.88
15		0.82
18		0.85
21		0.88
24		0.89
27		0.90
Mesocosm C	0	-
	3	0.94
	6	0.93
	9	0.87
	12	0.85
	15	0.84
	18	0.90
	21	0.91
	24	0.92
	27	0.92
30	0.91	

수온 값과 비슷한 값을 나타내어 수온의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 한편 염분의 경우 모든 Mesocosm에서 초기값에 비해 높은 염분 값을 보였다.

② COD, T-N, T-P : 수질의 시간에 따른 COD, T-N, T-P의 변동 특성을 살펴보면, 전반적으로 유사한 변동양상을 보이며 감소하였으며, Mesocosm A에서의 감소율이 Mesocosm

B와 C보다 높게 나타났으며, Mesocosm B와 C는 유사한 감소율을 나타냈다.

(2) 저질의 이·화학적 특성 : 저질의 시간의 변동에 따른 이·화학적 특성을 살펴보면, COD의 경우 전반적으로 감소하고 있는 경향을 보이며, Mesocosm B와 C에서의 COD 농도가 Mesocosm A에 비해 높은 것으로 나타났다. T-N의 경우, Mesocosm A에서는 농도가 감소했으며, 식생을 식재한 Mesocosm B의 농도 증가가 Mesocosm C에 비해 낮게 나타났다. T-P는 전반적 농도 변화가 작게 나타났다.

(3) 식생인자분석 : Mesocosm A와 C에 식재한 통통마디의 줄기의 길이를 측정된 결과, Mesocosm A의 경우, 1개월 후 식재 당시의 평균 줄기 길이인 7.3 cm에 비해 줄기의 길이가 0.6 cm 성장했으며, Mesocosm C의 경우 식재 시 평균 줄기길이 6.8 cm에서 0.3 cm 증가하였다. 또한 통통마디의 일일 평균성장률은 Mesocosm A의 0.02 cm/day로 나타났으며, Mesocosm C는 0.01 cm/day로 나타났다.

(4) 서식안정성지수 산정 : Mesocosm A와 C에서의 서식안정성 지수를 비교해 보면 전반적으로 Mesocosm C에서의 서식안정성 지수가 더 높게 나타났으며, Mesocosm A보다 서식안정성 지수가 빨리 안정화 되는 것으로 나타났다. 이러한 서식안정성 지수를 앞서 제시한 분류법에 분류해보면 Mesocosm A와 C 모두 Excellent 등급으로 나타나 통통마디의 서식처로서 적합한 것으로 나타났다.

본 연구에서 실시한 염생식물 Mesocosm의 서식안정성 평가를 통해 해안염습지의 복원 및 조성시, 수질 및 저질의 특성에 따른 식생에 미치는 영향에 대한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 생각되며, 추후 현장실험, 식생에 대한 생체량 분석 및 장기 모니터링을 통해 서식안정성에 대한 보다 정교한 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년 : C-D-2014-0417)에 의하여 연구되었음

References

[1] Barbanti, A., V. U. Ceccherelli, F. Frascari, G. Reggiani and G. Rosso(1992), Nutrient regeneration processes in bottom sediments in a Podelta lagoon(Italy) and the role of bioturbation in determining the fluxes at the sediment-water interface, *Hydrobiologia*, Vol. 228, pp. 1-21.

[2] Carpenter, S. R.(1996), Microcosm experiments have limited

- relevance for community and ecosystem ecology, *Ecology*, Vol. 77, pp. 677-680.
- [3] Chmura, G. L., D. R. Anisfeld and J. C. Lynch(2003), Global carbon sequestration in tidal saline wetland soils, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 17, p. 1111.
- [4] Ihm, B. S. and J. S. Lee(1998), Soil Factors Affecting the Plant Communities of Wetland on Southwestern Coast of Korea, *The Korean Journal of Ecology*, Vol. 21, No. 4, pp. 321-328.
- [5] Kim, C. H.(2009), Studies on Vegetation for Ecological Restoration of Salt Marshes in Saemangeum Reclaimed Land-Germination Strategies and Character of Halophytes-, *Jouranal of the Environmental Sciences*, Vol. 18, No. 4, pp. 451-462.
- [6] Lee, C. B. and D. S. Kim(1990), Water chemistry of intertidal mudflat sediments: 1. Seasonal variability of nutrient profiles(S,N,P), *Journal of Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 25, No. 1, pp. 8-20.
- [7] Lee, I. C., B. H. Yi, S. Y. Park and C. R. Ryu(2008), Evaluation of Bio-Chemical Restoration Index at the Creation Site of Ecological Environmental Zone in Coastal Area, *Jouranal of the Korean Society of Civil Engineers B*, Vol. 28, No. 1B, pp. 161-168.
- [8] Lee, I. C., S. Y. Park, S. H. Ryu and N. Kobayashi(2011), Ecological Resotoration Index for Evaluation of Artificial Salt Marsh, *Journal of Coastal Research*, Vol. 27, No. 5, pp. 959-965.
- [9] Lee, M. J., K. J. Mun, G. L. Yoon, H. M. Eum and Y. T. Kim(2014), Mechanical and Germination Charateristics of Stabilized Dredged Soil, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 15, No. 3, pp. 33-40.
- [10] Nichols, D. S.(1983), Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater, *Journal of Water Pollution Control Federation*, Vol. 55, No. 5, pp. 495-505.
- [11] Philson, M. E. Q. and S. W. Nixon(1980), Marine microsom in Ecological Research Reprinted from microsm in ecological research edited by John P. Grey, Jr. published by US technical information center, US Department of energy, Symposium series 52 (CONF-781101), pp. 724-741.
- [12] Poljakoff-Mayber, A. and J. Gale(1975), *Plants in saline environments*. Springer-Verlag. New York, Heidelberg, Berlin, p. 213.
- [13] Ruth, B. F., D. A. Flemer and C. M. Bunrick(1994), Recolonization of estuarine sediments by macroinvertbrates: Does microsm size matter, *Estuaries*, Vol. 17, No. 3, pp. 606-613.
- [14] Schindler, D. W.(1998), Replication Versus realism: The need for ecosystem-scale experiments, *Ecosystems*, Vol. 1, pp. 323-334.
- [15] Teal, J. M. and L. Weishar(2005), Ecological engineering, adaptive management, and restoration management in Delaware Bay salt marsh restoration, *Ecological engineering*, Vol. 25, pp. 304-314.
- [16] Yang, J. S and Y. H. Jeong(2011), Mesocosm as a Scientific Tool for Marine Science : Focused on the Soft-bottom Environment, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 93-106.

Received : 2014. 09. 12.

Revised : 2014. 11. 07. (1st)

: 2014. 11. 17. (2nd)

Accepted : 2014. 12. 26.