

조간대 저토 환경과 갈대의 생장 특성

민 병 미

단국대학교 과학교육과

Sediment Properties and Growth of *Phragmites australis* in Mud Tidal Flat

Min, Byeong Mee

Science Education, Dankook University.

ABSTRACT

This study examined the relationship between *Phragmites australis*' growth and sediment properties at mud tidal flat of Donggum-ri, Gilsang-myeon, Gangwha-gun, Incheon city. Field survey was carried out from May, 2010 to October, 2010. Water content, soil texture, electric conductivity and water table depth for sediment, density, height, dry weight and flowering for *P. australis* were examined at several plots from the starting point (the coastal embankment) to the end point of the two populations. The result was as follows. Firstly, the water table increased along distance from the embankment at one line (N-line) but was similar at the other line (S-line) in a *P. australis* population. Water tables were higher out of than within a *P. australis* population at two populations. Secondary, in N-line, the height and dry weight of *P. australis* decreased along the distance from embankment but, in S-line, those were similar in its population. *P. australis*' growth was dependent on electric conductivity at lower layer (water table level) rather than upper one (the surface). Thirdly, density of *P. australis* changed during growing season and was similar in a population, except for the end point of patch. In summary, the growth and distribution of *P. australis* were dependent on salt content of tidal flat's sediment (water table level) and this was affected by fresh water of the inland.

Key Word : *Costal salt marsh, Density, Dry weight, Phragmites australis, Sediment, Water table.*

Corresponding author : Min, Byeong Mee, Science Education, Dankook University,
Tel : +82-31-8005-3843, E-mail : bmeemin@hanmail.net

Received : 30 March, 2011. **Revised** : 18 April, 2011. **Accepted** : 23 May, 2011.

I. 서 론

해수의 영향을 받는 해안이나 하구에 넓은 면적으로 분포하고 있는 갈대는 염분에 대한 내성이 대단히 넓기 때문에(Waisel, 1972) 해안식생을 구성하고 있는 중요한 식물종 중의 하나이며(Brix, 1999), 특히 하구에서는 기수역을 식별하는 지표종으로 이용되고 있다(Meyerson et al., 2000). 최근 들어 조간대의 면적이 감소함에 따라(Bakker et al., 2002; Bouma et al., 2005) 이곳의 주요한 식생인 갈대를 보전하거나 복원하기 위한 노력이 필요한 시점이다(Bodensteiner and Gabriel, 2003; Schmieder et al., 2004; Hotes et al., 2005). 그러나 일부 지역에서는 갈대가 종다양성을 저해하고 있다는 의견이 제시됨에 일정량 제거가 필요한 지역도 발생되고 있다(Marks et al., 1994; Meyerson et al., 2000; Findlay et al., 2003).

한편, 갈대의 생육에 영향을 주는 환경 인자는 염분, 물에 침수되는 시간, 저토 내 수분함량, 광선, 무기염류, pH, 수온 등이 있으며(Reimold and Queen, 1974), 그 중에서도 중요한 두 가지는 저토 내의 염분과 만주시 해수에 의한 침수시간이다. 갈대는 염분에 대한 내성이 강하지만 최적의 생육 조건은 해수보다 낮은 염분 농도이다. 이것은 전술한 바와 같이 갈대가 해수가 아닌 기수 지역의 지표종으로 이용하는 데에서도 잘 나타나고 있다. 그런데 기수성을 나타내는 조간대의 경우 염분은 수분함량, 침수시간, 지하수위의 위치 및 토성 의해 영향을 받으며 식물이 이용할 수 있는 수분의 양은 함수량 자체뿐만 아니라 삼투압의 결정 인자인 염분도 매우 중요하다. 다음으로, 침수시간은 갈대의 지하부와 지상부가 서로 달라 전자는 계속 침수되어 있는 상태를 선호하지만 후자는 가끔적 짧아야 좋다. 이것은 비록 갈대의 줄기와 지하경 모두 골속이 공기로 채워져 있지만 침수되어 있는 시간이 길어지면 지상부의 호흡이 어렵기 때문이다(Nakamura et al., 2007).

그 결과 어느 한계 이상 장기간 침수되면 갈대는 생존하지 못한다.

한국에서 갈대에 대한 연구는 다양한 방향에서 진행되어 왔다(이연규 등, 2008). 특히 분포 특성이나 생산성에 관한 연구는 많다(Lee and Kim, 1976; Lee and Yang, 1993; Min and Kim, 1999a, b; Lim et al., 2005). 또한 근래에 해안선의 복원 사업이 시작되면서 갈대의 식재 방법(주용규, 1998; 정대영 · 심상렬, 1999; 강호철 · 주용규, 1999)이나 복원 방법(이점숙 · 김하송, 2008; 이점숙 등, 2009)이 제시된 바 있다. 그러나 해안식생에 대한 보존이나 복원 사업이 성공적으로 이루어지기 위해서는 갈대의 식재공법의 개발도 중요하지만 생육에 미치는 저토의 환경 인자에 대한 자료 수집이 선행되어야 한다. 한국에서 갈대 근계의 저토 환경과 갈대의 생육에 대한 연구는 다소 부족한 실정이다(Choung and Kim, 1989; 이연규 등, 2008). 특히 갈대의 근계는 식물량이 대단히 많고 3m 이하의 깊은 곳까지 분포하기 때문에 지하부의 연구에 어려움이 있다(Fiala, 1978).

본 연구는 저토 환경 중 염분 농도와 이에 관련된 요인이 해안의 주요한 식생인 갈대 군락의 분포 및 생육 정도(초장, 밀도 및 건중량)에 미치는 영향을 규명하는데 목적이 있다. 이를 위하여 우선 육지에서 해양으로 유입되는 담수의 영향력은 격리된 거리에 반비례 할 것으로 가정하였다. 이러한 가정 하에서 첫째, 육지에서 유입되는 담수의 영향력은 직선거리상으로 얼마까지 나타나는가를 저토의 전기전도도로 파악하였고 둘째, 담수와 해수가 혼합되는 정도에 영향을 줄 수 있는 지하수위와 토성을 조사하였으며 셋째, 육지로부터 격리된 거리에 따른 갈대의 생육 정도를 초장, 밀도 및 건중량의 자료로 분석하였고 넷째, 군락의 경계지역에서 군락 내측과 외측의 저토를 분석하여 저토 환경과 갈대의 분포관계를 유추하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지의 지형적 현황

본 연구의 조사 지역은 행정구역상 인천시 강화군 길상면 동검리 동부의 조간대(37°35'N, 126°31'E)이다(그림 1). 조사지역의 서쪽과 북쪽은 동검도의 인공제방과 접하고 있으며 동쪽과 남쪽은 해양이다. 이 인공제방은 2008년에 자연석으로 축조되었으며 조간대로부터 약 2m 높이다. 이 제방의 하부 조간대에도 폭 2m, 조간대와의 높이 차이 약 30cm의 석축이 있다. 이 조간대는 해수에 침수되는 시간은 하루 평균 8시간 미만이다. 조간대는 대단히 평평하여 만조시 해수는 중앙의 큰 물골을 따라 유입되다가 다시 여러 갈래로 나뉘어 유입된다. 작은 물골을 따라 유입된 해수는 전체 면적을 일시에 침수시킨다. 제방 내측의 육지는 대부분 산지이고 일부 밭으로 경작하고 있으며 논이나 저수지의 면적은 좁다. 평상시 이 조간대로 유입되는 지표수의 양은 적을 것으로 예상되는데 그것은 집수역이 좁기 때문이다. 다만 민가와 논이 있어 건기에도 담수가 해양으로 유입될 수 있다(그림 2 참조).

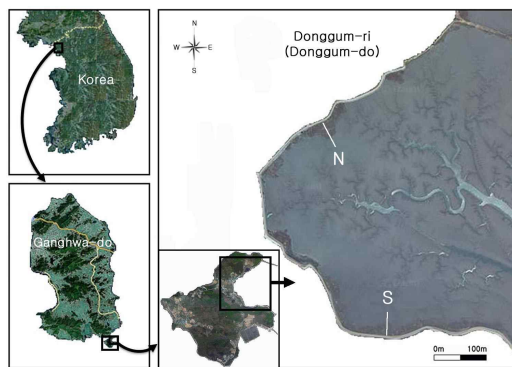


Figure 1. Map showing the study area.

2. 조사지의 식생 현황

본 지역의 개괄적인 식생도는 그림 2와 같다. 이 지역의 식생은 해안선을 따라 0~50m 폭에 식생이 형성되어 있으며 대부분은 갈대군락이다.

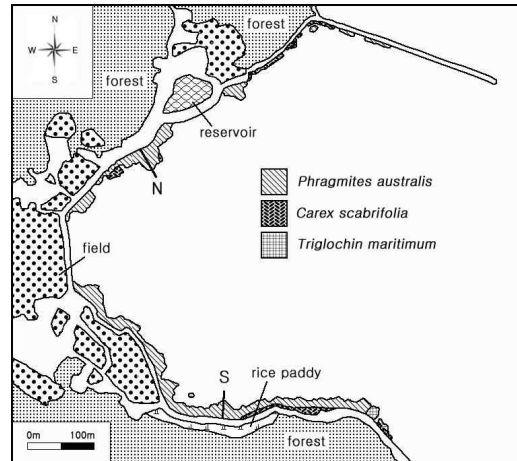


Figure 2. Vegetation map and location of the two line transects. N; north line, S; south line.

갈대군락의 피도는 해양방향의 주변부 폭 1~2m 부분은 20~90%이지만 나머지는 모두 100%이다. 이외에 천일사초(*Carex scabrifolia*)와 지채(*Triglochin maritimum*)가 소규모의 군락을 이루고 있다. 전자는 높이가 40cm, 피도는 100%, 후자는 높이가 15~25cm, 피도는 70%이다. 특히 지채는 제방에 접하여 분포하는데 이는 육지로부터 지표면을 흐르는 담수를 선호하기 때문으로 생각되며 2010년 5월 주민들이 채취해간 흔적이 발견되었다. 따라서 식생은 전체적으로 대단히 단순한 형태를 보이고 있다. 식생을 형성하고 있지는 않지만 석축의 하부에 간헐적으로 출현하는 식물종으로는 칠면초(*Suaeda japonica*)와 기수초(*Suaeda malacosperma*)가 있고 동쪽 제방이 없는 만조선 부분에는 갯잔디(*Zoysia sinica*)가 생육하였다. 일반적으로 해안에서 식생은 해발고도나 해수의 영향력에 따라 식생이 순차적으로 변하여 대상구조를 나타내지만 본 지역에서는 이러한 식생이 나타나지 않고 있다(Min and Kim, 1999b). 이것은 아마도 제방의 축조로 조간대의 경사가 사라졌기 때문으로 생각되나 이 지역의 과거 식생에 대한 자료가 없어 현재와 비교가 불가능하다. 한 가지 가능한 해석은 제방 하부로부터 해양 방향으로 식생이 있는 지역까지는 조간

대의 고도 차이가 30cm 이내로 침수되는 시간이 동일하고 갈대 이외의 식물종은 갈대와 경쟁에서 불리하여 갈대군락으로 바뀌어 식생이 단순해졌을 수가 있다는 것이다.

3. 야외 조사 및 채집

야외 조사는 2010년 5월부터 2010년 10월까지 실시하였다. 그림 2의 식생도를 근거로 하여 조사 대상 갈대군락을 북쪽과 남쪽에서 각각 1개씩 선정하였는데 이들은 제방으로부터 해양 방향으로 폭이 가장 긴 군락이고 좌표상의 위치는 표 1과 같다. 이때 폭이 긴 두 지역을 선정 한 이유는 첫째, 육지로부터 지하수의 형태로 이동되는 담수가 영향을 주는 최대 거리를 조사하는데 짧은 거리의 군락보다 유리하고 둘째, 북쪽의 갈대군락 내에서는 시작점과 끝점의 전년도 초

장 차이가 현저하나 남쪽의 것에서는 거의 유사하여 생육에 미치는 저토의 영향을 비교하기 쉬운 곳으로 판단되었기 때문이다. 북쪽 군락의 육상에는 민가와 위치하고 50m 동쪽으로 격리된 위치에 작은 저수지가 있다. 한편, 남쪽 군락의 내륙에는 좁지만 논이 접하고 있어 담수가 지하수의 형태로 항시 조간대의 저토로 유입될 수 있는 지역이다. 두 지역에서 제방으로부터 해양 방향 직각으로 라인을 설치하였는데 그 이유는 육지의 담수가 저토에 미치는 영향력은 육지로부터 격리된 거리와 반비례할 것으로 생각되었기 때문이다. 조사지점은 각각 군락의 시작점, 1/4지점, 1/2지점, 3/4지점 및 끝점을 원칙으로 하였으나 전년도의 갈대 성장(주로 초장)에 따라 3-4 구역을 나누고 초장이 유사한 군락 내에서 군락의 중앙지점 및 갈대군락의 내·외 비교가

Table 1. Location of *P. australis* populations from the starting point to the end point along the distance from the embankment.

Locate	Starting point	End point
North	37°35' 40.44 "N, 126°31' 10.56 "E	37°35' 39.04 "N, 126°31' 11.89 "E
South	37°35' 22.37 "N, 126°31' 17.90 "E	37°35' 23.49 "N, 126°31' 17.94 "E

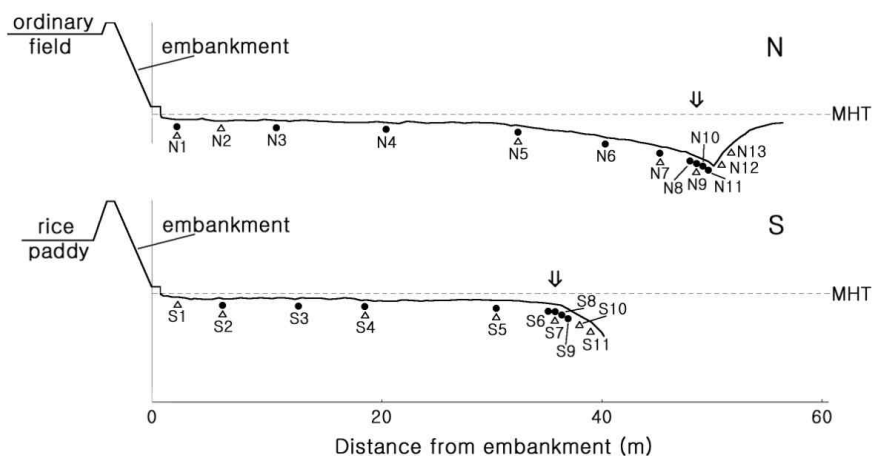


Figure 3. Schematic profile of two line transect, and the sampling plot of the *P. australis* (·) and the sediments (△) at N-line and S-line. ↓ indicates the end point of the *P. australis* stand. MHT is mean sea level at high tide.

용이한 위치로 정하였다(그림 3). 각 조사지점에서 50cm×50cm 방형구를 4개씩 설치하여 갈대의 지상부를 모두 채취하였다. 채취된 갈대를 실험실로 운반하여 한 개체씩 길이를 측정하고 80℃ 건조기에서 72시간 건조시킨 후 방형구별로 무게를 측정하였다. 갈대의 조사 시기는 어린 개체가 충분히 올라온 시기로 판단되는 5월 8일, 개화 직전인 6월 20일, 개화가 완료된 10월 8일의 3차례이었다.

한편, 지하수위 및 저토는 크게 4개 지점으로 구분하여 조사 및 채취하였다. 조사지점의 선정 근거는 첫째, 육안으로 파악할 때 갈대의 성장(초장과 밀도) 차이가 현저하게 달라지는 군락의 첫 부분이고 둘째, 지하수가 서로 혼합될 가능성이 적도록 거리를 충분히 격리시켰으며 셋째, 군락의 내·외를 비교하여 갈대의 분포에 염분의 영향력을 판단할 수 있는 지점으로 정하였다. 그 결과 제방 바로 밑 지점, 제방과 5m 격리된 지점, 군락 중앙 근처 지점, 군락 끝 지점 및 군락 외측 지점이 각각 선정되었다. 특히 군락의 첫 지점, 끝 지점 및 군락 외 지점에서는 각각 두 지점씩 조사하였다. 따라서 갈대 조사지점과 저토 조사지점은 일치하지 않았는데 이것은 갈대는 대표성을 위하여 균일한 군락의 중앙지점에 정하였고 저토의 특성은 갈대의 크기가 현저하게 바뀌는 첫 부분이 중요할 것으로 예상되었기 때문이다. 각 위치에서 지하수위가 나타날 때까지 저토를 충분히 파내고 지하수의 위치가 안정될 때까지 방치한 다음 지하수의 깊이를 측정하였다. 저토는 각 지점 당 두 위치에서 채취하였는데 하나는 표면의 10cm 깊이까지로 해수와 저토 표면의 담수 영향력을 조사하기 위한 것이고 다른 하나는 지하수위 상부로 갈대의 지하부가 대부분 분포하며 지하수의 영향을 상대적으로 적게 받는 위치이다. 공극수가 좁은 공간 내에서 서로 이동할 것을 감안하여 한 지점에서 세 곳에서 저토를 채취하여 하나의 시료로 만들었다.

4. 토양 및 통계 분석

채취한 저토는 즉시 실험실에서 일부에 대하여 수분함량을 측정하고 나머지는 음지에서 건조시켰다. 토성과 전기전도도는 건조된 저토를 이용하여 측정하였다. 토성은 건조시킨 저토에서 낙엽을 완전히 제거한 후 63 μ m 표준체를 사용하여 모래 이상의 입자와 이토(mud)를 구분하였다. 이토는 다시 Sedigrph 5100을 사용하여 각 1 ϕ 간격으로 입도를 구분하고, 각 입도별 무게 백분율을 구하였다. 한편, 저토의 전기전도도는 건조토양 4g를 증류수 20g에 넣어 30분간 진탕시킨 후 전기전도도 측정기(150A+ Orion Research, Inc.)로 측정하였다.

갈대의 밀도, 초장 및 건중량에 대한 평균치는 4개의 방형구로부터 산출하였고 동일 시기별 지점간 차이의 유의성은 *t*-test로 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 저토의 특성

육지로부터 해양방향으로 이행함에 따른 지하수위 변화는 북쪽 조사지선(N)과 남쪽 조사지선(S)이 서로 다른 결과를 보였다(그림 4). 즉, 북쪽 군락에서 제방과 접한 지점인 N1에서는 60cm이었으나 중앙부인 N5(32m 지점)에서는 45cm였고 군락의 끝 부분에서는 20cm 혹은 40cm로 높아졌다. 따라서 군락 내에서만은 지하수위가 서서히 높아지는 경향성을 보였다. 그러나 제방으로부터 50m 이상 격리된 군락의 외부에서는 40cm 혹은 50cm로 다시 깊어졌다. 그런데 북쪽의 갈대 군락은 시작점부터 끝점으로 갈수록 조간대의 고도가 낮아졌으며 갈대군락의 끝 지점과 군락 외부 사이에는 작은 물결이 분포하고 있었다. 따라서 지하수위의 절대 높이는 거의 일정하게 유지되지만 조간대 표면의 고도에 의해 깊이가 달라지는 것으로 생각되었다. 한편, 남쪽군락 내에서는 군락의 시작점부터 거의 끝점에 해당하는 S7(32m 지점)까지 55cm를 유지하다가 이후

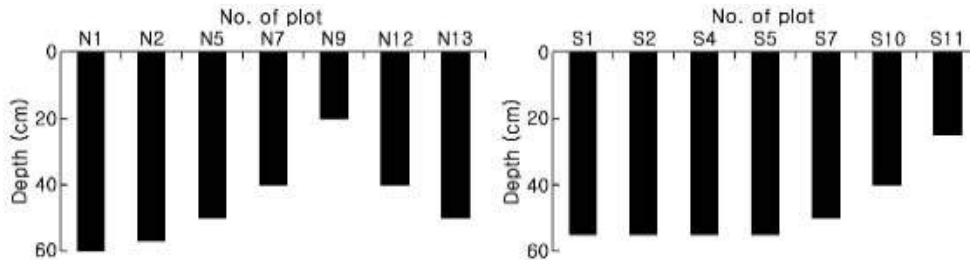


Figure 4. Depth (cm) of water table level along sampling plot.

갈대군락이 끝나면 25-40cm로 높아졌다. 따라서 남쪽 군락에서는 지하수위가 갈대군락 내부에는 유사하였으나 내부와 외부는 현저한 차이를 보였다. 두 조사지선의 공통점은 갈대군락의 끝 지점과 바로 이웃한 군락 외부는 지하수위의 깊이가 40cm에서 20cm 정도로 급격히 증가한다는 것이다. 일반적으로 갈대가 근계에 많은 물이 있는 환경을 선호하는 것을 고려하면 지하수위가 높은 것이 갈대의 생육에 유리하지만 오히려 그 반대로 나타났다(Min and Kim, 1983). 따라서 근계에 자유수가 높은 위치까지 있는 것만이 갈대가 생육하는데 유리한 환경으로 파악할 수는 없었다. 저토 내에서 물의 이동이 자유롭다면 지하수위는 조건대의 고도, 조석시간 및 물골의 위치의 영향을 받을 것으로 추정되지만 실제 저토 내에서 물의 이동에 대한 조사는 더 필요하다. 객관적인 자료를 제시할 수는 없지만 한 가지 사실은 지하수위를 조사하기 위해 저토를 채취하는 동안 횡적으로 만들어진 계의 굴이 흔하게 목격되었으며 계의 굴에는 자유수가 일부 남아 있었다. 이 굴을 통하여 해수가 계의 굴 내로 자유롭게 이동할 것으로 예상되었으며 상당히 넓은 지역의 저토가 유사한 염분 농도를 나타낼 수 있을 것이나 실제 이 자유수가 염분에 미치는 정도는 더 조사가 필요하다고 생각되었다.

저토의 토성에서 볼 때 미사가 가장 많은 양을 차지하였고 다음으로 점토이었으며 모래는 거의 없었는데 대부분의 지점에서 미사와 점토를 합하면 99% 이상이였다(그림 5A). 각 조사지선에서 미사가 가장 적은 지점은 제방과 가까운 부분인

N1와 S1이었고 지하수위의 경우 이들의 값은 각각 46.7%, 50.5%이었다. 한편, 북쪽군락의 경우, 표면에서는 미사가 점토보다 많았다. 지점에 따라 비교하면 표면의 미사의 양은 N1이 47%로 다소 적었고 군락 외측이 60%로 다소 많았으나 이외에는 53-57%로 유사하였다. 지하수위의 미사의 양도 N1이 가장 적었고 이외에는 54-60%로 유사하였다. 그리고 점토의 양은 육지로부터 멀어질수록 감소하였으나 모든 지점에서 42-46%로 유사하여 감소나 증가의 경향성은 뚜렷하지 않았다. 남쪽군락에서 미사의 양은 표면과 지하수위 모두 육지에서 멀어질수록 증가하는 경향을 보였다. 이와는 반대로 점토의 양은 해양방향으로 이행할수록 적어지는 경향을 나타내었다(그림 5B). 이와 같이 갈대군락이 있는 곳은 없는 곳보다 저토의 입자가 작은 것은 갈대의 한 가지 기능으로 해석할 수 있다. 즉, 갈대는 조건대에서 식생이 없는 지역보다 저질의 퇴적 속도를 증가시키기며 상대적으로 작은 입자까지도 침강시킨다(Yang, 1998; Dame et al., 2000; Davison-Arnott et al., 2002; Leonard et al., 2002; Widdows and Brinsley, 2002; Bouma et al., 2005). 그 결과 갈대군락 내에는 군락 외측보다 점토의 함량이 많은 것으로 생각된다.

저토의 함수량은 북쪽군락과 남쪽군락, 표면과 지하수위가 다소 다른 경향을 보였지만 대체적으로는 제방에서 해양방향으로 갈수록 감소하였다(그림 5C). 먼저, 북쪽군락에서 표면은 제방 근처인 N1에서 44%, 중앙 부분인 N5에서 46%, 군락 끝부분인 N11에서는 43%로 거의 일정하였으나

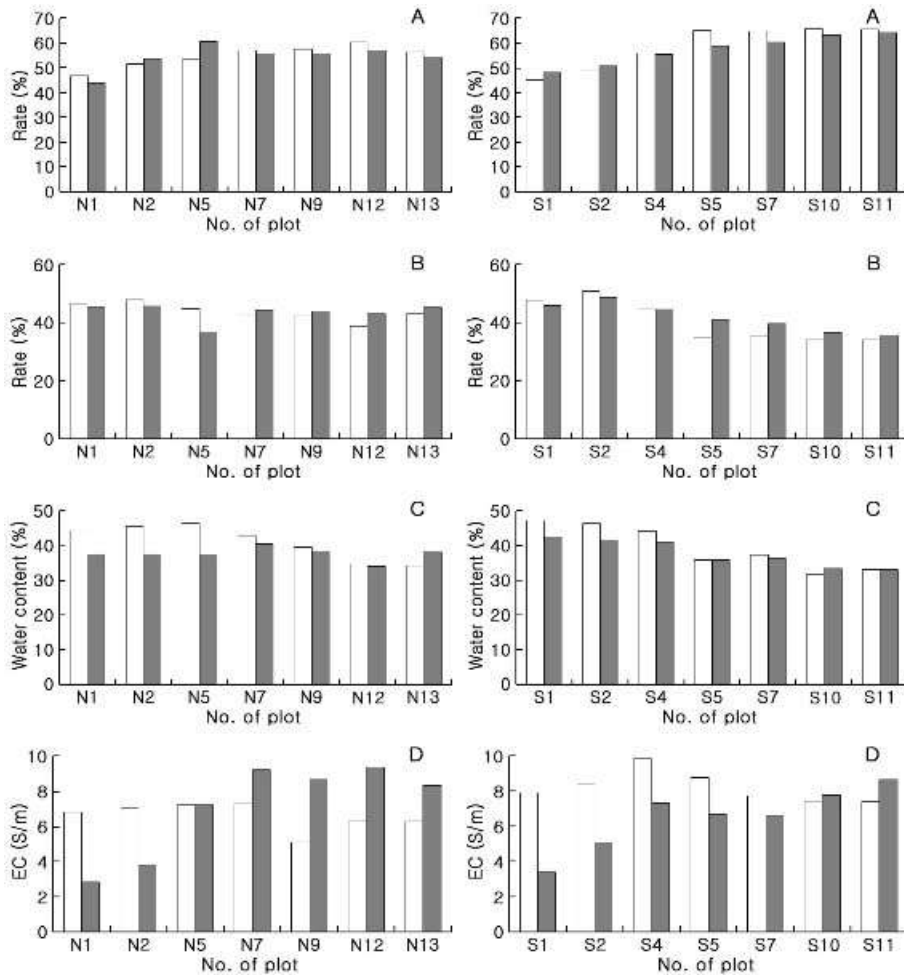


Figure 5. Sediment properties along sampling plot. A; silt content, B; clay content, C; water content, D; electric conductivity. □; surface (0-10cm, ■; water table level.

군락의 외부에서는 34%로 낮았다. 이러한 자료에 의하면 갈대군락 내부에는 표면에 물이 비교적 많지만 군락 외부 표면에는 적은 것으로서 볼 수 있었다. 한편, 지하수위에서의 함수량은 거의 유사하였고 군락의 외부는 위치에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 이것은 후술하는 바와 같이 지하수위의 위치에서는 물이 포화상태에 있을 것으로 가정하면 이 지점의 수분함량은 포장용수량과 동일하거나 더 많다. 다음으로, 남쪽군락의 표면에서는 제방으로부터 해양방향으로 이행함에 따라 S1의 46%에서 S5의 37%로 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 갈대군락의 외측인 S6과

S7에서는 함수량이 각각 32%, 33%로 비교적 적었다. 한편, 지하수위에서의 함수량은 제방 근처인 S1의 46%로부터 군락의 끝 부분인 S5에서는 36%로 제방에서 멀어질수록 감소하였으며 군락의 외측에서는 33%를 나타내어 군락의 내측보다 적은 값을 보였다. 대체적으로 함수량은 표면에 서는 위치에 따라 다르지만 지하수위에서는 비교적 일정한 것으로 볼 수 있었으며 군락 내는 군락 외보다 높았다.

저토의 전기전도도의 값은 표면과 지하수위의 것이 달랐다(그림 5D). 즉 표면은 제방으로부터 해양방향으로 이행함에 따라 증가 혹은

감소가 뚜렷하지 않으나 지하수위에서는 증가가 뚜렷하였다. 특히 지하수위 위치에서 제방 근처(N1과 S1)의 두 조사지선에서 모두 4mmho 이하의 적은 값을 보였다. 그런데 북쪽군락에서는 제방 근처의 2.81mmho(N1)로부터 군락의 끝에 가까운 지점인 N7(45m 지점)까지 계속 증가하였고 이후부터 군락의 외측까지는 8mmho 이상으로 유사하였지만 남쪽군락에서는 제방 근처의 3.71mmho(S1)로부터 갈대군락의 끝 지점까지 8mmho(S7) 이하이었고 군락의 외부에서만 8mmho 이상을 보였다. 이와 같이 표면의 저토에서는 제방으로부터 갈대군락 외부까지 유사하였고 또한 높은 전기전도도의 값을 보였는데 이것은 만조시 유입된 해수가 일부 남아있기 때문으로 해석할 수 있다. 그러나 지하수위에서는 담수가 지하수의 형태로 유입되고 이것은 만조시 해수와 쉽게 섞이거나 간조시 흘러나가지 않고 그대로 남아있어 낮은 전기전도도를 유지시켜주는 역할을 한 것으로 판단된다. 특히 토성에서 점토가 많을 경우는 물의 이동이 대단히 억제되어 서서히 평형상태에 도달하고 매일 2회씩 해수가 조간대 표면으로 유입되더라도 지하수위의 염분에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 추정된다. 지하 50cm 지하수위 근처는 갈대의 근계가 대부분 분포해 있는 곳으로 이 부분의 염분은 갈대의 생육에 큰 영향을 줄 수 있다. 그러나 갈대군락의 끝 부분의 전기전도도도 결과에 의하면 본 조사 지역에서 갈대군락의 형성 가능성을 결정하는 저토의 염분은 8mmho 근처로 추정되지만 명확히 한계가 있는 것은 아닌 것으로 나타났다. 다만 후술하는 바와 같이 갈대의 생육은 8mmho 근처의 전기전도도에서는 극히 제한을 받는 것으로 볼 수 있었다.

2. 갈대의 생장 특성

각 위치별 갈대의 밀도는 시기에 따라 달랐지만 대체로 생육초기에 밀도가 높은 지역은 생육 후기에 감소하였고 그 반대로 성립하였다(표 2).

이와 같이 동일 위치에서 시기에 따라 밀도가 감소하는 것은 줄기가 고사하는 개체에 발생함을 의미하고 증가하는 것은 새로운 줄기가 출현하기 때문으로 볼 수 있다. 보고된 바에 의하면 갈대는 7월 이후에도 새로운 줄기가 출현할 수 있다(Min, 2005). 또한 동일 군락 및 동일 조사지점에서 편차가 매우 심하여 지점 내 혹은 지점간 밀도의 차이를 비교하기가 다소 어려웠다.

한편, 갈대군락의 증가나 감소를 초래할 수 있는 주변부의 밀도를 보면 북쪽군락에서, N8이 50plants · m²로 군락 내에서 거의 없는 N9만 제외하면 가장 적었지만 남쪽군락에서는 거의 군락의 끝에 해당하는 S6이 127plants · m²로 군락 내에서 가장 많았다. 따라서 본 조사지역에서는 군락 주변부의 밀도가 서서히 감소하는 경우도 있지만 급격히 감소하는 경우도 있었다. 일반적으로 새로 생성되는 갈대군락 내에서 주변부는 중앙부보다 밀도가 낮다(이연구 등, 2008). 그러나 이 지역에서는 다른 결과가 나타나 그 원인을 규명할 필요가 있는 것으로 생각된다. 순천만에서는 안정된 군락에서 갈대의 밀도는 78~104plants · m²이지만 높은 지역에서는 268plants · m²이다(이연구 등, 2008). 따라서 본 조사지역의 갈대 밀도는 안정된 군락에서 나타나는 수치에 해당되었다. 북쪽군락은 군락의 끝 부분에서 밀도가 서서히 낮아지지만 남쪽군락에서는 S8만 제외하면 거리에 따른 증감의 경향성은 유의적인 차이가 없었다.

한편, 갈대의 초장은 생육초기인 5월에는 육지와 가까운 N1과 가장 먼 N9, S2와 S8의 차이가 크지 않았다(표 2). 그러나 개화 직전인 6월에는 N1에서 N7로 이행함에 따라 초장이 점차 감소하다가 N7과 N8에서는 현저히 감소하였다. 그리고 이 시기에 S2와 S7도 큰 차이를 보였다. 한편, 개화가 완료된 시기인 10월에는 북쪽군락과 남쪽군락이 다소 다른 경향을 보였다. 즉, 북쪽군락에서는 제방 근처인 N1의 180.9cm으로부터 해양방향으로 이행함에 따라 서서히 감소하여 N8에서

는 94.8cm를 기록하였다. 한편, 남쪽군락에서는 S2에서 208.8cm로 가장 컸으나 이외의 지점에서는 145~165.5cm이었고 끝 부분인 S8에서는 141.87cm로 중앙부보다 현저히 작은 것이었다. 따라서 본 조사에서 갈대군락은 해양방향으로 이행함에 따라 초장이 증가와 감소를 반복하였는데 유의적인 차이는 5%정도에 불과하였

다. 또한 북쪽군락에서는 6월 10월 사이에도 평균 30cm가 증가하였으나 남쪽군락에서는 10cm 증가에 불과하였다. 특히 이삭의 길이를 고려하면 오히려 감소한 것으로 볼 수 있었다. 그러나 마지막 지점인 S7에서는 6월의 120cm에서 10월의 147.67cm로 어느 정도 증가하여 생육후기에도 왕성한 생장을 하는 것으로 나타났다. 더욱이

Table 2. Density, height and biomass of *P. australis* at each site.

May 8

Area	Site	Density	t-test	Height	t-test	Biomass	t-test
North	N1	65±26	a, b	55.08±10.66	a	46.2± 13.7	b*
	N3	84±24	a*	52.16±11.41	a	68.6± 15.6	a, b
	N4	87±12	a*	51.93± 7.45	a	91.3± 20.2	a
	N5	76±14	a	51.30± 9.75	a	72.4± 19.4	a
	N6	54±17	b*	50.29±12.65	a	64.3± 11.6	a, b
	N7	29± 5	c*	48.19±10.59	a, b	25.7± 10.2	c*
	N8	13± 6	d*	32.84±10.55	b	7.1± 3.3	d*
	N9	5± 4	e	25.80±12.00	b*	2.6± 1.5	d*
	South	S2	79±25	b*	67.26±15.65	a	74.3± 22.4
S3		93±16	b	63.05±13.32	a	88.0± 31.3	a, b
S4		130±42	a	59.65±12.05	a	143.5± 40.1	a
S5		102±30	a	60.17±12.65	a	108.6± 35.9	a
S6		154±58	a	41.99±11.74	a, b	84.7± 25.4	a, b*
S7		124±41	a	35.35±11.92	b	74.2± 23.0	b
S8		15±10	c*	31.83± 9.33	b*	8.99± 4.0	c*

June 20

Area	Site	Density	t-test	Height	t-test	Biomass	t-test
North	N1	111±37	a	154.37±34.28	a	598.5±150.6	a
	N3	110±33	a	144.99±34.17	a	648.1±134.9	a
	N4	108±15	a	141.78±28.57	a	641.7±111.4	a
	N5	112±23	a	118.80±28.69	a, b	526.2±120.5	a
	N6	123±42	a	109.07±38.31	b	455.2± 96.0	a, b
	N7	92±29	b	94.80±27.41	b, c	301.5± 58.1	b, c
	N8	40±11	c*	58.98±20.24	c	76.0± 20.4	d*
	N9	14± 8	d*	34.62±15.88	c	11.6± 11.5	e*
	South	S2	80±11	b	193.24±18.54	a	528.2±180.3
S3		82±10	b	159.60±35.57	a	481.6±155.2	a, b
S4		104±33	a	137.65±25.82	a, b	501.8±134.7	a
S5		89±21	a, b	141.65±40.32	a	541.2±163.9	a
S6		155±53	a	119.93±32.02	a, b	591.6±155.0	a
S7		130±34	a	97.73±28.64	b, c	411.4±120.1	b
S8		20±14	c*	63.18±17.45	c	16.8± 8.5	c*

Table 2. Continued.

October 8

Area	Site	Density	t-test	Height	t-test	Biomass	t-test
North	N1	122±31	a	180.93±37.25	a	866.4±120.7	a
	N3	101±11	a	178.00±31.52	a	769.4±100.5	a, b
	N4	105±22	a	164.59±32.98	a	801.0±111.9	a
	N5	122±36	a	160.17±31.63	a, b	838.1±150.7	a
	N6	125±36	a	143.42±42.73	b	721.1±131.0	a, b
	N7	117±41	a	139.80±40.13	b	622.6± 68.7	b
	N8	50±15	b*	94.82±38.10	b, c	205.9± 69.2	c*
	N9	11± 9	c*	65.34±16.70	c	36.1± 22.3	d*
	South	S2	95±32	a	208.82±40.32	a	982.2±164.1
S3		88±13	a	165.51±46.35	a, b	759.6±100.8	b
S4		108±21	a	144.87±38.04	b	955.1±150.7	a
S5		81±17	a	160.43±46.34	a, b	891.4±147.8	a, b
S6		127±48	a	160.76±35.73	a, b	850.1±191.7	a, b
S7		121±33	a	147.67±30.81	b	822.5±166.4	a, b
S8		9± 6	b*	141.87±27.07	b	34.2± 19.9	c*

a, b, c, d; significant difference at 5% level.

b*, c*, d*, e*; significant difference at 1% level.

밀도가 121plants · m⁻²임을 감안하면 초장은 매우 큰 것으로 볼 수 있다.

단위면적 당 갈대의 건중량은 북쪽군락의 경우 5월에는 모두 100g · dw · m⁻² 미만이었으나 1.5월 후인 6월에는 무려 9.2배 이상 증가하였다. 그리고 10월에는 6월보다 1.7배 증가하여 생육 후기에도 건중량은 계속 증가하는 것으로 나타났다.

각 위치별로 비교하면 생육기말 건중량에서 제방 근처의 N1(866.4g · dw · m⁻²)로부터 N7(622.6g · dw · m⁻²)까지는 큰 차이가 없었고 N8(205.9g · dw · m⁻²)만 현저히 적었다. 그리고 초장과 같이 해양방향으로 진행함에 따라 일정하게 감소하기보다는 위치에 따라 다르게 나타났다. 한편, 남쪽군락에서는 5월에 74.3~143.5g · dw · m⁻²이었고 6월에는 481.6~591.6g · dw · m⁻², 10월에는 759.6~982.2g · dw · m⁻²이었다. 따라서 6월은 5월의 5.6배, 10월은 6월의 1.7배 증가하였으며 10월에는 전 구간에서 유사한 것으로 나타났다. 북쪽군락과 비교하면 남쪽군락에서 건중량

은 5월부터 10월까지 서서히 증가하였으며 군락 내에서 위치에 따른 차이가 없었다. 일반적으로 국내에서 갈대의 생산성은 많을 경우 2,981g · dw · m⁻²이지만 보통은 248~1,147g · dw · m⁻²이다(Kim, 1975; Min and Kim, 1983). 따라서 본 조사 지역의 갈대의 지상부 생산량은 중간 정도에 해당하는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구의 궁극적인 목적은 내륙의 수체가 조간대의 갈대군락 형성에 미치는 영향을 규명하여 해안선의 갈대군락을 효율적으로 관리하는데 있다. 이에 따라 담수가 영향을 줄 것으로 예상되는 육지의 논과 직접 접한 갈대군락(남쪽 조사지선)과 민가와 접한 갈대군락(북쪽 조사지선)을 대상으로 저토의 환경 즉 지하수위, 토성, 함수량 및 염분율, 갈대에서 밀도, 초장 및 건중량을 조사하였다. 담수가 갈대의 분포 혹은 생육에 미치는 관계에 대하여 갈대의 밀도, 초장 및 건중량을 저토

의 특성과 관련시켜 해석하면 다음과 같다. 먼저, 민가와 접한 북쪽군락에서는 제방에서 해양방향으로 이행함에 따라 담수의 영향력의 완만한 감소(32m 정도) → 지하수위와 미사량의 완만한 증가 → 만조시 해수의 영향력 증가 → 지하수위의 염분 증가 → 갈대의 초장, 식물량 및 밀도 감소로 요약할 수 있었다. 그러나 갈대의 개화는 저토의 염분에 크게 좌우되지 않는 것으로 나타났다. 그것은 제방 근처 지하수위 저토의 염분은 담수의 영향을 크게 받아 매우 낮으나 육지로부터 해양방향으로 이행함에 따라 담수보다는 해수의 영향이 더욱 증가하여 육지와 32m 이상 격리되면 전기전도도 자체의 값이 크게 상승할 뿐만 아니라 해수의 영향을 직접 받는 표면보다 오히려 지하수위 위치의 염분 농도가 높아졌다. 염분농도를 높이는 데는 미사의 양이 증가한 것도 한 몫을 하였는데 이것은 미사가 점토보다 포장용수량이 적어 상대적으로 건조시킨 동일 무게의 저토 내에는 염분이 적은 것으로 해석할 수 있다. 한편, 논과 직접 접하는 남쪽 조사지선에서는 군락의 해양방향 끝 부분만 제외하고 북쪽 조사지선과 상대적으로 비교하였을 때, 담수의 영향력이 군락 전체에 균일 → 전 지역의 지하수위가 유사 → 함수량 및 염분량 유사 → 갈대의 생장량(초장, 식물량 및 밀도) 유사로 요약된다. 그런데 북쪽군락과 남쪽군락에서 나타난 공통점은 첫째, 담수가 미치는 거리는 육지의 수체 크기와 관계없이 대략 32m로 비교적 유사하다는 것이고 둘째, 갈대군락의 외부는 지하수위가 높고, 미사의 양과 염분이 많았다는 것이며 셋째, 갈대가 분포할 수 있는 저토의 염분은 전기전도도로 대략 8mmho 이하라는 것이다.

본 연구에서 해양으로 유입되는 담수의 양을 정량적으로 측정하지 못하였다는 것은 앞으로 해결해야 할 과제이다. 그러나 내륙에 수체가 있으면 담수가 조간대의 저토로 이동하고 그 결과 조간대 내 갈대의 지하부가 분포하는 위치의 염분이 낮아지며 갈대의 생장이 양호해진다. 이러한

담수의 영향은 육지로부터 멀어질수록 적어지며 본 조사 지역에서는 10m까지는 크고 이후로는 계속 감소하여 최대 육지로부터 32m 지점까지인 것으로 나타났다. 그런데 육지의 수체가 현재보다 더 크다면 담수의 영향력은 더 먼 곳까지 줄 수 있을 것으로 추정되었다.

인용문헌

- 강호철 · 주용규. 1999. 자연습지의 구조적 특성과 갈대 (*Phragmites japonica*)의 적정생육수심. 한국정원학회지 17 : 191-200.
- 이연규 · 김신 · 이혜원 · 민병미. 2008. 순천만 갈대군락의 면적 증가와 저토의 이화학적 특성. 한국습지학회지 10 : 9-26.
- 이점숙 · 김하송. 2008. 연안생태계 식생복원을 통한 연안관리 기술개발. 해양수산부 177쪽.
- 이점숙 · 임병선 · 명현호 · 박정원 · 김하송. 2009. 한국 서 · 남해안 염습지 복원을 위한 염생식물의 생육지의 토양환경 분석. 한국자원식물학회지 22(1) : 102-110.
- 이창복. 2003. 한국원색식물도감. 향문사. 서울 525 p.
- 정대영 · 심상렬. 2000. 천연섬유를 이용한 식생복원용 갈대 및 억새속 식물의 뗏장개발. 한국조경학회지 28(1) : 54-61.
- 주용규. 1998. 간석지에서의 갈대 시공법에 관한 연구. 한국전통조경학회지 16(3) : 35-40.
- Bakker, J. P., Esselink, P., Dijkema, K. S., and W. E. van Duin. 2002. Restoration of salt marshes in the Netherlands. Hydrobiologia 478 : 29-51.
- Bodensteiner, L. R., and A. O. Gabriel. 2003. Response of mid-water common reed stands to water level variations and winter conditions in Lake Poyga, Wisconsin, USA. Aquatic Bot 76 : 49-64.
- Bouma, T. J., de Vries, M. B., Low, E., Kusters,

- L., Herman, P. M. J., Tanczos, I. C., Temmerman, S., Hesselink, A., Meire, P., and S. van Regenmortel. 2005. Flow hydrodynamics on a mudflat and in salt marsh vegetation : identifying general relationships for habitat characterisations. *Hydrobiologia* 540 : 259-274.
- Brix, H. 1999. The European research project on reed die-back and progression (EUREED). *Limnologica* 29 : 5-10.
- Choung, Y. S., and J. H. Kim. 1989. Clonal growth and shoot modules dynamics of *Phragmites longivalvis* in a reclaimed land. *Korean J Ecol* 12 : 171-182.
- Dame, R. F., Koepfler, E., and L. Gregory. 2000. Benthic-Pelagic coupling in marsh-estuarine ecosystems. *In* : Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology, (Weinstein MP, Kreegerd DA eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands, pp. 369-390.
- Davidson-Arnott, R. G. D., Van Proosdij, D., Ollerhead, J., and L. Schostak. 2002. Hydrodynamics and sedimentation in salt marshes : examples from a macrotidal marsh, Bay of Fundy. *Geomorphology* 48 : 209-231.
- Fiala, K. 1978. Seasonal development of halophyte polycormones and relationship between underground and aboveground organs. *In* : Pond Littoral Ecosystems, Dykyjová D, and J Květ (ed.). Springer-Verlag. Berlin, New York, pp. 174-181.
- Findlay, S., Groffman, P., and S. Dye. 2003. Effects of *Phragmites australis* removal on marsh nutrient cycling. *Wetlands Ecol Manage* 11 : 157-165.
- Hotes, S., Adema, E. B., Grootjans, A. P., Inoue, T., and P. Poschlod. 2005. Reed die-back related to increased sulfide concentration in a coastal mire in eastern Hokkaido, Japan. *Wetlands Ecol Manage* 13 : 83-94.
- Kim, C. S. 1975. A study on standing crops in *Phragmites communis* communities and their environmental factors. *J Plant Biol* 18 : 129-134.
- Lee, C. Y., and Y. H. Kim. 1976. Studies on the indoles in the common reed. II. Changes of indole compounds during the growth of sprouts. *J Kor Agri Chem Soc* 19 : 65-69.
- Lee, H. J., and H. S. Yang. 1993. Adaptation of *Phragmites communis* Trin. population to soil salt contents of habitats. *Korean J Ecol* 16 : 63-74.
- Lim, Y., Ma, S. M., Na, S. T., Choi, H. K., and H. Shin. 2005. Flora and ecological characteristics of halophytes in the littoral zone of Paldang Reservoir. *Korean J Limnol* 38 : 30-44.
- Leonard, L. A., Wren, P. A., and R. I. Beavers. 2002. Flow dynamics and sedimentation in *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* marshes of the Chesapeake Bay. *Wetlands* 22 : 415-424.
- Marks, M., Rapin, R., and J. Randall. 1994. *Phragmites australis* (*P. communis*) : Treats, management and monitoring. *Natural Areas J* 14 : 285-294.
- Meyerson, L. A., Saltonstall, K., Windham, L., Kiviat, E., and S. Findlay. 2000. A comparison of *Phragmites australis* in freshwater and brackish marsh environments in north America. *Wetlands Ecol Manage* 8 : 89-103.
- Min, B. M. 2005. Growth properties of *Phragmites communis* along distance from land and cutting aboveground part. *J Korean Wetlands Soc* 7 : 145-158.

- Min, B. M., and J. H. Kim. 1983. Distribution and cyclings of nutrients in *Phragmites communis* communities of a coastal salt marsh. *J Plant Biol* 26 : 17-32.
- Min, B. M., and J. H. Kim. 1999a. Plant distribution in relation to soil properties of reclaimed lands on the west coast of Korea. *J Plant Biol* 42 : 279-286.
- Min, B. M., and J. H. Kim. 1999b. Plant community structure in reclaimed lands on the west coast of Korea. *J Plant Biol* 42 : 287-293.
- Nakamura, K., Kayaba, Y., Nishihiro, J., and N. Takamura. 2007. Effects of submerged plants on water quality and biota in large-scale experimental ponds. *Landscape Ecol Eng* 4 : 1-9.
- Reimold, R. J., and W. H. Queen. 1974. Ecology of halophytes. Academic Press, Inc. New York.
- Schmieder, K., Dienst, M., Ostendrop, W., and K. Jöhnk. 2004. Effects of water level variations on the dynamics of the reed belts of Lake Constance. *Ecohydrol Hydrobiol* 4 : 469-480.
- Waisel, Y. 1972. Biology of halophyte. Academic Press, New York. 395 pp.
- Widdows, J., and M. Brinsley. 2002. Impact of biotic and abiotic processes on sediment dynamics and the consequences to the structure and functioning of the intertidal zone. *J Sea Research* 48 : 143-156.
- Yang, S. L. 1998. The role of *Scirpus* marsh in attenuation of hydrodynamics and retention of fine sediment in the Yangtze estuary. *Estuarine Coastal Shelf Science* 47 : 227-233.