

우점종과 토양특성이 다른 한강하구 습지의 갈대군집 비교

Compare of *Phragmites communis* Trin. communities in Han river estuarine wetland of dominant species and different soil characteristics

이상미*, 강호정**
Sang Mi Lee, Ho Jeong Kang

요 지

갈대(*Phragmites communis* Trin.)란 염분이 있는 곳에서 자라는 염생식물로서 우리나라 전역에 분포하고 있다. 지난 50년 동안 우리나라의 여러 습지에 걸쳐서 갈대는 우점종으로 자라왔고, 육지와 수중서식지에서 갈대의 확산범위는 증가하고 있다. 갈대의 확산은 다른 습지 식물의 서식지를 파괴하고, 갈대가 번식하면 동식물들의 번식 자체가 어려울 뿐 아니라 갈대숲에 포식자가 늘어나 살아가기 어려운 환경으로 변하기 때문에 갈대를 체계적으로 관리할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 본 연구는 우점종이 다른 두 습지에서 갈대군집의 성장률을 관찰하고, 토양의 화학적 분석과 식물의 생리적 분석을 통해 갈대군집 성장에 미치는 영양염류의 영향을 규명하였다. 연구 대상지는 한강하구에 위치한 장항습지와 성동습지로서 동일하게 갈대가 분포하며, 장항습지에는 줄 군락이 성동습지에는 새섬매자기 군락이 우점하고 있다. 분석 항목은 이화학적 항목을 비롯하여 용존유기탄소(DOC, dissolved organic carbon), 체외미생물효소활성도(Extracellular enzyme activities), 암모니아성 질소(NH₄⁺), 질산성 질소(NO₃⁻)을 분석하였다.

실험결과, 두 습지 갈대의 성장은 7월부터 9월에 증가하였고 성동습지의 토양성분이 점토질로 형성되어 높은 수분함량과 유기물함량을 유지하고 있기 때문에 갈대의 밀도가 높고 성장률이 활발한 것으로 나타났다. 또한 미생물활성과 환경인자간 양의 상관관계를 보아 환경인자들이 미생물 활성을 자극하고 미생물들은 식물의 성장을 촉진하여 영향을 주며, 반면 식물 뿌리는 enzyme을 생성하는 미생물에게 C 삼출물을 공급해 enzyme 활성에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

핵심용어 : 갈대, 하구습지, 토성, 미생물 체외효소 활성도

1. 서 론

하구는 육수 생태계와 해양 생태계를 연결하는 전이지대로, 두 생태계 사이의 물질순환과 에너지 흐름 등을 조절하는 기능을 가지고 있다. 또한 하구에서의 영양염 농도는 주변육상으로부터의 자연적 또는 인위적 유입에 의하여 높게 유지되고 있는 것이 특징이다. 특히 하구 주변에 존재하는 습지는 토양 내 미생물들과 서식하고 있는 식생들에 의해 매우 다양한 생물 화학적인 반응이 일어나는 장소이다. 그 예로 갈대 군락을 들 수 있다. 갈대(*Phragmites communis* Trin.)는 염분이 있는 곳에서 자라는 염생식물로서 우리나라 전역에 분포하고 있다. 지난 50년 동안 우리나라의 여러 습지에 걸쳐서 갈대는 우점종으로 자라왔고, 육지와 수중서식지에서 갈대의 확산 범위는 증가하고 있다(Chambers et al., 1999). 갈대가 확산되는 원인으로서는 여러 가지가 있지만 복미의 조수 작용이 있는 습지에서는 식물이 성장하면서 증가되는 것을 원인으로 보았다. 씨앗의 생산과 분

* 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해양환경안전연구실 연구원·공학석사·E-mail : jmuin@kict.re.kr
** 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 교수·E-mail : hj_kang@yonsei.ac.kr

산작용은 새로운 서식지로 갈대가 도입될 수 있지만(Gervais et al., 1993), 갈대는 씨앗으로 생존하는 능력이 빈약하기 때문에(Harris and Marshall, 1960; Fernald, 1970; Galinato and van der Walk, 1986) 근권에서 퍼지거나 무성생식을 통해 더 많은 확산이 일어난다고 하였다. 갈대가 퍼지는 지역에서 식물 다양성의 감소 때문에 일반적으로 북미에서 갈대는 같은 서식지의 다른 식물들에게 방해가 되는 종으로도 바라보고 있다(Cronk and Fuller, 1995). 그러므로 갈대의 확산은 다른 습지 식물의 서식지를 파괴하는 역할을 하고 있다고 보여진다. 우리나라의 낙동강에서도 갈대가 점점 확산되어 포식자가 늘어나 동·식물들의 번식 자체가 어려울 뿐 아니라 갈대숲에 포식자가 늘어나 살아가기 어려운 환경으로 변하기 때문에 갈대를 체계적으로 관리할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 본 연구에서는 하구로부터의 거리가 다르고 우점종이 다른 두 습지에서 갈대군집의 성장률을 관찰하고, 토양의 화학적 분석과 식물의 생리적 분석을 통해 갈대군집의 성장에 미치는 영양염류의 영향을 규명하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역 및 시료채취

연구의 대상지는 한강하구의 양안에 발달해 자연 상태가 양호하고 인위적인 교란이 적은 곳으로 식물 분포가 뚜렷한 두 습지이다. 선정된 두 습지는 장항습지와 성동습지로서 이 두 지역에는 갈대가 동일하게 분포하고 있으며, 장항습지에는 줄 군락이 성동습지에는 새섬매자기 군락이 우점종으로 자생하고 있다. 샘플링 지점은 두 습지에서 동일하게 분포하는 갈대군락의 2지점과 각 습지에서 우점종으로 자생하는 줄과 새섬매자기 군락의 2지점으로 총 4개의 샘플링 지점을 선정하였다. 근권 토양은 갈대, 줄, 새섬매자기가 자생하는 군락에 50cm×50cm의 방형구를 만들고, 갈대의 생육상태를 고려해 깊이 50cm까지 토양을 파내어 뿌리에 붙어있는 근권 토양을 채취한 후 폴리에틸렌 비닐에 넣어 아이스박스에 운반한 뒤 실험실로 옮겼다. 식물체 시료도 마찬가지로 같은 방형구에 있는 식물의 줄기와 뿌리 부분을 나누어 폴리에틸렌 비닐에 넣어 실험실로 옮겼다. 연구기간은 2006년 8월부터 2007년 9월까지이며 매월 한번씩 토양을 채취하였다.



그림1. 근권 토양과 식물의 biomass를 위한 sampling

2.2 실험항목 및 방법

토양시료 채취는 깊이 50cm 이내 대상 식생의 근권에서 채취하였고 실험실로 옮겨와 분석하는 동안 4℃에서 보관하였다. 분석 항목은 토성(Soil texture)과 수분함량, 유기물함량, pH를 측정하였으며, 용존유기탄소 (DOC, dissolved organic carbon), 체외미생물효소활성도 (Extracellular enzyme activities), 암모니아성 질소(NH₄⁺), 질산성 질소(NO₃⁻), 페놀 물질과 페놀 분해효소를 분

석하였다. 용존유기탄소는 시료 5ml를 0.45 μ m필터로 여과한 후 증류수 8ml와 희석하여 총 volume 13ml의 시료를 Shimadzu-TOC 분석기(TOC 5000A, Shimadzu)를 이용하여 분석하였으며, 체외미생물효소활성도는 유기물을 분해하는 미생물의 활성도를 나타내는 인자로 토양 1g에 Methylumbelliferyl (MUF)-substrate (MUF-phosphate: 800 μ M, MUF-glucoside: 400 μ M, MUF-N-acetylglucosamine: 400 μ M 그리고 MUF-arylsulfate: 400 μ M) 형태의 기질을 5ml 주입하여 60분 동안 반응시킨 후 12851G에서 원심 분리하여 효소의 유기물 분해반응을 정지시키고 효소에 의해 기질이 이용되는 정도를 fluorometer TD-700(emission 450nm/excitation 330nm)을 이용하여 측정하였다. 암모니아성 질소는 indophenol blue method를, 질산성 질소는 0.5M K₂SO₄ extraction 방법을 적용하여 spectrophotometer를 이용하여 정량하였다(Anderson et al., 1989). 또한 페놀 물질은 Folin Ciocalteu 방법을 이용하여 토양 속의 용존성 페놀 물질을 측정하였으며 페놀 분해효소는 각 샘플에 대조구로 사용할 증류수와 L-DOPA solution을 5ml씩 넣어 충분히 반응시킨 후 22187G에서 원심 분리하여 상등액을 450nm의 파장으로 흡광도를 찍는다. 이 때 L-DOPA만 흡광도를 찍어 L-DOPA에 의한 간섭을 측정하여 고려하여 주었다. 마지막으로 실험실로 옮겨진 식물체는 shoot의 길이, 잎너비, 잎길이 측정을 하였고, shoot 와 root를 세척한 후 80 $^{\circ}$ C 오븐에서 24시간 건조하였다.

3. 결과

3.1 이화학 항목

분석 결과 장항 습지의 근권 토양과 성동 습지의 근권 토양 간의 차이를 발견할 수 있었다. 좀 더 상류 쪽에 위치하고 다양한 식물상을 구성하고 있는 장항습지의 토성은 하류에 위치한 성동습지에 비해 모래(sand)의 비율이 높고 실트나 미사(clay)의 비율이 낮았다. 모래의 비율이 높을 경우 투수율이 좋기 때문에 토양의 수분함량이 낮을 수 있으며 이동성이 강한 NO₃⁻가 계 내부로 유출되기 쉽다. 이러한 환경은 식생이 성장하기에 적합하지 않을 수 있다. 유기물 함량 또한 각 습지 내에서 유의한 차이를 발견할 수 없었으며 두 습지 간에 미비한 차이를 보였다. 두 습지의 근권 토양의 pH는 6.5~7.9로 대체적으로 비슷하였고 계절적 변동도 크지 않았다. 이 외에 미생물과 식물이 이용하는 영양물질로 알려진 암모니아성 질소(NH₄⁺), 질산성 질소(NO₃⁻) 분석 결과, 이 역시 두 습지 간의 차이를 발견하기 어려웠으며 계절적 변동만을 관찰할 수 있었다. 용존유기탄소(DOC, dissolved organic matter)는 성동습지에서 높게 관찰되었고 유의한 차이가 있는 것을 관찰할 수 있었으며($P < 0.05$, 표 1) 특히 겨울에 가장 높았다.

표 1 장항습지와 성동습지의 근권 토양 특성

	Jang Hang <i>P. communis</i>	Jang Hang <i>Z. latifolia</i>	Seong Dong <i>P. communis</i>	Seong Dong <i>S. planicu</i>
water content (%)	21.79 \pm 2.91 a	26.39 \pm 4.11 a	29.46 \pm 2.05 ab	29.09 \pm 2.50 ab
organic matter (%)	3.71 \pm 3.16 a	3.05 \pm 1.24 a	6.07 \pm 5.31 ab	4.04 \pm 0.61 a
pH	7.22 \pm 0.09 a	7.22 \pm 0.10 a	7.45 \pm 0.02 a	7.48 \pm 0.04 a
DOC (mg g ⁻¹ dry soil)	0.04 \pm 0.00 a	0.04 \pm 0.00 a	0.07 \pm 0.02 ab	0.05 \pm 0.01 a
Ammonium (μ g g ⁻¹ soil)	14 \pm 3 a	15 \pm 3 a	16 \pm 3 a	0.04 \pm 0.00 a
Nitrate (μ g g ⁻¹ soil)	7.5 \pm 4.5 a	6.5 \pm 6.9 a	9.6 \pm 2.6 a	0.07 \pm 0.02 a

3.2 미생물 활성과 환경인자 간 상관관계 분석

갈대의 체외 미생물 활성도 측정결과는 두 습지 사이에서 크게 차이를 보이지 않았다. 하지만 미생물들과 다른 환경인자 사이의 상호작용에 의해 식생의 변화가 발생할 수 있으며 토양에 존재하는 미생물이 식생에 어떠한 영향을 미치게 될지는 알 수가 없기 때문에 습지 토양의 물질 순환은 매우 중요한 문제이며 이러한 것들을 제어할 필요성이 있다. 특히 여러 환경인자 중 체외 미생물 효소 활성(Extracellular enzyme activities)과 용존 유기 탄소(DOC)에서 양의 상관관계를 보였다. 그림 2는 두 습지의 체외 미생물 효소 활성도와 용존 유기 탄소를 선형회귀 분석한 것으로서 대체적으로 유의한 양의 상관관계를 나타내었고 용존 유기탄소는 두 습지의 미생물에 관여하는 인자임을 알 수 있었다. 또한 페놀 물질과 페놀 분해 효소, 용존 유기탄소 사이에서도 높은 상관관계를 보였다. 두 습지의 용존유기탄소와 페놀물질 간 선형회귀 분석을 시행한 결과 장항에서의 결과 값의 총수는 21개였으며 $r=0.69$, $P<0.05$ 이었고, 성동의 총수는 18개, $r=0.48$, $P<0.05$ 로 두 습지 모두 상당히 유의함을 관찰할 수 있었다(그림 3). 마찬가지로 용존 유기탄소와 페놀 분해 효소 간의 결과 값에서도 매우 유의한 양의 상관관계를 나타내었다(그림 4).

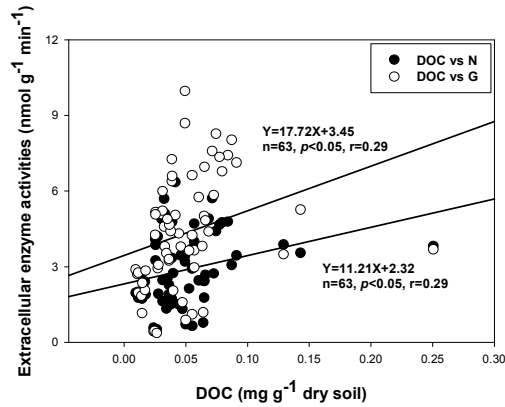


그림 2 두 습지의 체외효소 활성도와 DOC의 양의 상관관계

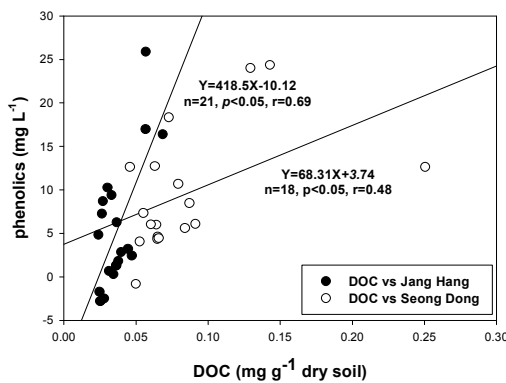


그림 3 DOC와 페놀물질의 상관관계 분석

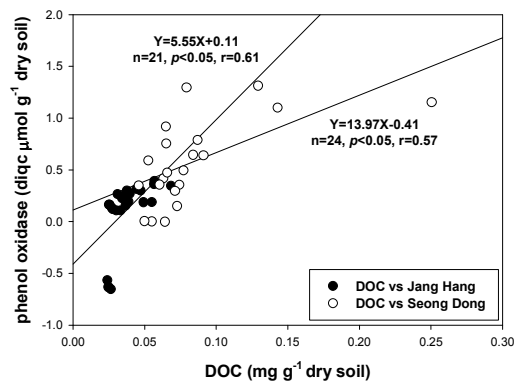


그림 4 DOC와 페놀 분해효소의 상관관계분석

4. 고찰 및 결론

두 지역의 갈대에 있어서 초기 길이와 시간 경과에 따른 생장 동태, 생장 속도를 비교해본 결과, 전반적으로 조사 기간인 8월과 9월에 모든 개체군에서 시간 경과에 따라 초기 길이 생장의 증가를 보였다. 이러한 경향은 갈대 개체군에 있어 초기 길이 및 기관별 신장 생장의 증가가 일반적으로 9월까지 계속되다가 10월부터 생장률의 감소를 보인다고 한 선행 연구들의 결과(Haslam, 1969)와 일치하고 있다. 갈대 개체군에 있어서 초기 길이는 일반적으로 생육지의 침수 정도를 포함한 수분 조건, 영양 상태, 피식, 염분 농도, 밀도 등의 요인에 의해 영향을 받는다(Haslam, 1971). 이 실험결과에서도 장항보다 뚜렷하게 뻗뻗한 밀도로 갈대 개체군이 밀집되어 있는 성동에서 수분 함량과 토양 유기물 함량이 더 높은 것으로 보아 선행연구를 뒷받침 할 수 있다. 두 습지 모두 용존 유기 탄소(DOC)와 체외 미생물 활성도 사이에서 양의 상관관계를 나타내었으며(그림 2), 마찬가지로 용존 유기 탄소와 페놀물질간의 분석결과에서도 양의 상관관계를 보여주었다(그림 3, 4). 용존 유기 탄소는 여름철에 대체적으로 높은 수치를 보였고 체외 미생물 활성도 여름에서 가을로 갈수록 증가되는 경향을 보였다. 미생물 활성은 온도에 많은 영향을 받기 때문에 온도가 높은 여름이나 가을에 활발한 활성을 보이는게 일반적이다. 따라서 높은 용존 유기 탄소는 미생물의 활성을 자극하게 되므로 본 연구 결과도 여름철 미생물 활성도가 높게 나왔을 것이라고 추측된다. 또한 겨울동안에 식생의 생명활동이 거의 없기 때문에 토양에 공급되는 탄소 기반의 물질이 줄어들어 탄소의 전체량이 감소하고 용존 유기 탄소도 감소한 것으로 보인다. 하구 습지 미생물과 식물은 생장에 필요한 무기염류를 습지 내 유기물 분해과정을 통해 얻는다. 따라서 토양의 높은 미생물 활성도는 영양염류 감소에 관여하는 식물과 미생물의 활성을 높일 것으로 예상된다. 또한 장항과 성동습지의 근권 토양 특성에서 enzyme 항목을 관찰해보면 성동습지가 장항습지보다 페놀물질이나 분해효소에 있어서 2배에서 3배가량 높은 수치를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 분해가 쉬운 다른 종류의 탄소들은 상류에서 분해가 되고 분해가 어려운 페놀 물질들이 하류에 축적되었을 것으로 보인다. 특히 장항의 경우 페놀 물질의 월별 증가가 뚜렷하게 나타나는데, 이는 식물체로부터의 지속적인 탄소 유입이 이루어졌고, 그것의 분해가 이루어졌음을 의미한다. 결과적으로 두 습지의 갈대는 가장 활발히 성장하기 시작하는 7월부터 9월에 증가하였고 성동습지의 갈대 밀도가 더 높고 성장률이 활발한 것은 토양의 성분이 점토질이었기 때문에 모래질이었던 장항에 비하여 더 높은 수분 함량과 토양 유기물 함량이 포함되어 있었기 때문으로 판단되며, 미생물활성과 환경인자들 간에 높은 상관관계는 환경인자들이 미생물 활성을 자극하고 토양 속 미생물들은 식물의 성장을 촉진하여 직접적인 영향을 주게 될 것이며 반면 식물 뿌리는 enzyme을 생성하는 미생물에게 C삼출물을 공급해 enzyme활성에 영향을 줄 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 포항공과대학교 차세대바이오환경기술연구센터(R11-2003-006)의 연구지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Anderson, J. M. and Ingram, J. S. I.(1989). Tropical soil biology and fertility : A handbook of methods. CAB International, Wallingford. p. 74-75.
2. Chambers, R. M., Meyerson, L. A., and Saltonstall, K.(1999). Expansion of *Phragmites australis* into

- tidal wetlands of North America. *Aquatic Botany*. 64: 261-273.
3. Cronk, Q.C.B. and Fuller, J. L.(1995). *Plant Invaders*. Chapman & Hall, London.
 2. Fernald, M. L.(1970). *Gray's Manual of Botany*, 8th ed. Van Nostrand, Princeton. NJ.
 3. Galinato, M. I. and van der Walk, A. G.(1986). Seed germination traits of annuals and emergents recruited during drawdowns in the Delta Marsh, Manitoba, Canada. *Aquatic Botany*. 26: 89-102.
 4. Gervais, C., Trahan, R., Moreno, D. and Drolet, A. -M.(1993). Le *Phragmites australis* au Quebec: distribution géographique, nombres chromosomiques et reproduction. *Canadian Journal Botany*. 71: 1386-1393.
 5. Harris, S. W. and Marshall, W. H.(1960). Experimental germination of seed and establishment of seedlings of *Phragmites communis*. *Ecology*. 4: 395.
 6. Haslam, S. M.(1969). The development and emergence of buds in *Phragmites communis* Trin. *Aquatic Botany*. 34: 571-591.
 9. Haslam, S. M.(1971). Community regulation in *Phragmites communis* Trin. I. Monodominant stands. *Journal of Ecology*. 59: 65-73.