

습지생태공원의 갈대확장 조절 기술 개발*

성기준¹⁾ · 이용민¹⁾ · 정용현¹⁾ · 박소영²⁾

¹⁾ 부경대학교 생태공학과 · ²⁾ 부경대학교 해양공학과

Development of *Phragmites communis* Expansion Control Methods
at the Wetland Ecological Park*

Sung Kijune¹⁾ · Yee Yongmin¹⁾ · Chung Yong hyun¹⁾ and Park Soyoung²⁾

¹⁾ Department of Ecological Engineering, Pukyong National University,

²⁾ Department of Ocean Engineering, Pukyong National University.

ABSTRACT

It is very difficult to control the expansion of reed at a wetland ecological park due to their aggressive reproduction capability. Therefore, proper topography and wetland hydrology should be provided before the construction of a wetland ecological park. Appropriate measures should be taken at the initial stages to prevent reed expansion. Field experiments were conducted at the newly constructed wetland ecological park for 15 months to develop methods to control the reproduction and expansion of *Phragmites communis*. A complete shading method had the best effect on the prevention of reed reoccurrence among other methods. Complete removal of the rhizomes controlled the reed growth to a greater extent than cutting the aboveground shoots. Water-level manipulation was also better than a half-shading method for the prevention of reed reproduction. These results indicated that soil properties and edge effects can influence the reed growth. Cutting only the aboveground shoots facilitates the growth of reed. These results suggest that reed control should be implemented repeatedly and an alteration in the wetland topography and hydrology may be more effective in the long term.

* 본 연구는 부산지역환경기술개발센터의 2006년도 연구사업비(06-1-70-71-1)의 지원과 2008년도 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

Corresponding author : Sung, Kijune, Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea,
Tel : +82-51-629-6544, E-mail : ksung@pknu.ac.kr

Received : 11 December, 2009. **Revised** : 25 May, 2010. **Accepted** : 16 June, 2010.

Combination of treatments such as water-level management with shading should be considered to control the growth of reed. Adoptive management for created or restored ecosystem might be considered for accomplishment of its original purpose.

Key Words : *Reed expansion, Adoptive management, Shading, Water level manipulation.*

I. 서 론

자연생태계가 아닌 인공생태계 특히 교육이나 서식지 복원을 목적으로 조성된 지역에서 특정 종이 세력을 확장하게 되면 처음에 설계하였던 것과는 다른 경관 구조를 형성하게 된다(성기준, 2006). 인공습지를 조성하였을 때 빈번히 발생하는 갈대세력의 확장(Gratton and Denno, 2005; Chambers et al., 1998)은 조류 서식처를 목적으로 조성된 생태공원에 있어서는 다양한 조류의 서식에 불리한 환경을 만들 수 있다. 특히 북미에 위치한 습지에서 갈대 세력의 확장은 조류(tidal current)의 영향을 받는 담수습지(tidal freshwater wetlands)의 생물다양성을 감소시키고 지역의 자생종을 감소시키는 것으로 알려져 있다 (Chambers et al., 1999). 하천의 중·하류지역과 하구 또는 수로와 습지에서 자생하는 갈대는 종자 및 뿌리줄기에 의하여 대량 번식하고 군생하면서 자라는 화분과의 다년생 초본으로(구자옥 등, 2005), 우리나라에서 서식하는 갈대의 경우 4월에 발아하여 10월에서 11월까지 성장하며 꽃을 피우고 종자를 만들며 1~3m 높이로 성장한다(박우하·박희진, 2009). 갈대는 동일한 지역에서도 조류나 미지형적인 차이에 따라 다양한 환경조건에서 생육하고 있는데(김창호, 1997), 하구 생태계에서 갈대는 수계로 유입된 오염물질을 정화하며 인간에 의한 압력요인을 감소시키는 완충 역할을 수행하는 등 생태계에서의 긍정적인 기능 또한 담당하고 있다(USEPA, 1988; US ACE, 2000). 하지만 갈대의 땅속줄기는 영양생식기관으로 땅속 20~100cm의 깊이로 존재하며 두세 마디만 있어도 살 수 있을 정도로 생존력이

강해서 일단 세력을 확장하게 되면 제거가 힘들고 양분과 공간, 햇빛을 차단하여 타 식물의 생육을 저해할 수 있어 다양한 생물의 서식처를 필요로 하는 생태공원에서는 오히려 장애 요소로 작용할 수도 있다(원병호, 2004; 정용현 등, 2008). 갈대가 과도하게 우점하게 되면 습지의 구조와 기능이 변화될 수 있으며, 습지의 표면을 높이고 평평하게 하거나 수로를 메워 서식처로서의 가치를 감소시킬 수 있다(Teal and Peterson, 2005). 정수식물인 갈대가 세력을 확장하면 생물다양성의 감소를 초래할 수 있다. 갈대는 물새들이 뚫고 지나가기 어려울 정도로 밀생할 수 있는데 이러한 환경에서는 특정 오리류만 갈대 밀집지역의 가장자리에 등지를 틀 수 있는 단조로운 환경을 구성할 수 있기 때문이다. 또한 과도 번식한 갈대는 다른 유용한 정수식물을 몰아내기도 하여, 그들이 제공하고 있는 종자, 피경 및 새싹들의 먹이와 등지로서의 역할을 제한할 수 있는 것으로 알려져 있다(원병호, 2004).

본 연구의 대상지역인 을숙도를 포함한 낙동강 하구는 과거 동양최대의 철새도래지라 불리어졌지만 각종 개발사업과 서식지 훼손으로 이전의 습지환경과 철새도래지의 역할을 많이 잃어버리게 된 지역이다. 이에 2002년부터 을숙도에 생태공원을 조성하여 조류서식지 및 생태교육장으로 활용하고자 하였으나, 복원되거나 새로이 조성된 습지생태계에서 갈대의 세력이 확장하고 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

지금까지 갈대와 관련하여 국내에서 수행되었던 연구들은 대부분 습지식물들의 영양물질 흡수능, 분포, 환경요인에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있으며, 생태공원이나 습지 조성 시 습지식

물의 관리 측면보다는 습지식물의 이용 측면이나 현상 파악에 대한 연구가 주로 이루어져왔으나 (양홍모, 2006; 이효혜미 등, 2001; 강호철 · 주유규, 1999; 이호준 · 양효식, 1993), 습지 복원 혹은 생태공원 조성지역에서의 갈대 세력 확장을 관리하기 위한 연구는 거의 전무한 형편이다. 또한 이전의 갈대 조절에 관한 국내의 연구는 습지 관리 차원이 아닌 농경지에 침입하는 갈대 처리를 목적으로 하는 제초제 사용에 관한 것(권오도 외, 2006)과 습지식물의 지상부제거가 생산력과 영양염류의 제거량에 미치는 영향(정연숙 외, 1999)과 같이 갈대의 관리보다는 영양물질의 제거에 더 많은 관심을 갖고 수행한 연구이다. 최근에 들어서야 갈대의 지상부제거가 갈대군락의 성장에 미치는 영향(김구연 외, 2007), 인공습지에서 소각에 의한 갈대의 지상부제거 영향(김호준 · 정철원, 2008), 인공습지 운영을 위한 갈대 관리(박우하 · 박희진, 2009)와 같이 습지 관리 차원의 연구가 진행되었다. 하지만 실험기간이 한 성장기간으로 짧아 습지복원 지역이나 생태공원 내 갈대 관리에 적용하는 데에는 한계를 가질 수 있다.

인공습지 조성 이후 별 대책마련 없이 사업의 진행에 급급한 우리나라의 실정과는 달리 외국의 경우 생태복원이나 조성시 생태계의 다양성과 역동성의 회복에 중점을 두고 있고, 적절한 모니터링을 통한 생태계의 관리가 매우 중요한 역할을 차지하고 있으며, 갈대세력을 조절하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다(Minchinton et al., 2006; Findlay et al., 2003; Ailstock et al., 2001; Weinstein et al., 1997). Coops et al.(1994)은 갈대의 성장에 미치는 수심과 파랑의 영향을 조사한 연구에서 파랑과 수심에 의하여 갈대의 생체량이 영향을 받을 수 있음을 보여주었다. 제초제를 이용하여 갈대의 성장을 조절하는 연구(Ailstock et al., 2001; Truner and Warren, 2003)와 동물들의 섭식에 의한 갈대성장 효과(Wyngaert et al., 2003; Hayball and Pearace, 2004) 등 생물학적

방제에 대한 다양한 연구도 진행되었다.

본 연구에서는 인공습지생태계에서 갈대세력의 확장을 효과적으로 제어할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 국외에 적용 중인 갈대관리 기술 중 관리의 용이성과 제거효율성을 고려하여 비교적 쉽게 도입이 가능한 갈대 확장 억제 기술을 선별하여 적용하였다. 실험은 갈대의 확장이 문제가 되고 있는 습지생태공원 조성지역 내에 현장 실험구를 설치하여 진행하였으며, 서식처 기능이 있는 생태공원에서 적용이 어려운 화학적 조절방법은 고려하지 않았다. 본 연구는 갈대의 세력 확장이 문제가 될 수 있는 조류 서식지 목적의 인공습지생태공원의 효율적인 갈대관리 방안으로 활용될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

본 연구를 위한 실험구는 부산광역시에 소재한 을숙도 생태공원내에 설치하였는데, 을숙도를 포함한 주변 지역은 문화재보호구역, 습지보호지역 등에 의하여 특별 관리되는 지역이므로 실험구의 설치에 제약을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 실험구의 설치가 가능한 을숙도 내부의 담수 습지 주변의 갈대밀집 지역을 선정하여 실험구를 설치하였으며 가급적 기존 생태계에 대한 영향을 최소화하기 위하여 실험구의 크기 또한 현장조건에 맞추어 설정하였다. 그림 1과 같이 기존에 갈대가 왕성히 서식하고 있는 지역에 0.5m×0.5m 크기의 총 11개의 실험구를 설치하여, 인위적으로 갈대를 제거한 후 시간경과에 따른 갈대의 재발생률과 성장량(초장, 직경, 건물중) 및 토양온도, pH 및 산화환원전위(ORP) 등과 같은 토양 환경요인의 변화를 조사하였다. 본 연구에서 적용된 갈대 제어 방법은 침입식물(invasive plant)의 관리를 위해 외국에서 수행된 연구의 결과와 현재 사용되고 있는 관리방안(표 1)을 참조하여 비교적 쉽게 현장에서 도입하여 관리할 수 있는 방법을 선택하였다. 적용된 처리

Table 1. Common wetland invasive plant control methods.*

방법	특징	적용 방법
기계적 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 인력 혹은 장비를 사용 갈대의 경엽부 혹은 전체를 제거. - 고립 혹은 작은 규모로 성장하는 경우 파내기 적합. - 근경을 완전히 제거하는 것이 바람직함. - 제거된 뿌리, 근경과 줄기에서도 다시 새싹이 나올 수 있으므로 주의 요구. - 습지의 형태와 경관적인 변화를 가져올 수 있음. - 파낸 근경에 적절한 온도와 수분이 공급되면 다시 근경에서 새로운 개체가 성장 할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> - 1년에 5회 이상 5년에서 10년 정도 지속적인 관리 바람직함. - 제거횟수와 지속 시기는 기후와 대상지역의 특성에 따라 다를 수 있음. - 봄에 제거하면 원래 상태보다 밀도가 더욱 증가될 수 있음. - 베어내기는 늦가을 혹은 늦은 성장시기가 효과적임. - 늦여름에 갈대를 처리하면 겨울의 저온과 서리 등에 의하여 근경이 완전 제거 될 수도 있으나 제거지역을 건조하게 유지시키는 것이 중요함.
생물학적 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 먹이사슬에 의한 갈대의 섭식이 주요 제거 기작임. - 나방유충(moth larvae), 진딧물(aphids), 잠엽곤충(leaf miners), 혹파리(gall midges), 설치류(rodents), 조류(birds), 소(cattle) 등을 이용. 	<ul style="list-style-type: none"> - 물닭은 등우리 주변의 어린 줄기를, 소는 어리고 줄이 많은 줄기를 제거하므로, 갈대 발생초기에 적용이 가능. - 머스크랫(muskrats)이나 누트리아(nutria)와 같은 설치류의 경우에 인위적인 조절이 안 됨.
수위 조절	<ul style="list-style-type: none"> - 수심을 30cm 이상 유지하여 갈대를 제어. - 정확한 갈대의 경우 제거가 어려움. 	<ul style="list-style-type: none"> - 갈대 발생기에 적용. - 다른 방법과 함께 사용 가능.
노출/차광/멀칭	<ul style="list-style-type: none"> - 투명하거나 검은 플라스틱을 이용하여 갈대온도 조절. - 광합성능력을 감소시켜 갈대의 성장 억제. - 특정지역의 세부적인 조절에 효과적으로 사용됨. 	<ul style="list-style-type: none"> - 1년여 정도 (전체성장기간) 지속적으로 적용이 필요. - 적용 후 목표종의 재식재 등 갈대의 재침입 방지 필요.
화학적 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 제초제를 사용하여 갈대를 제거. - 지역적 특성, 주민의 반발, 주변 생물의 독성, 적용규제 등 여러 가지 제약이 따를 수 있음. - 사용된 제초제가 근경까지 이동하여야 함. 	<ul style="list-style-type: none"> - 성장기에 생성된 영양분과 함께 제초제가 근경으로 이동할 수 있기 때문 실제 성장기간에 적용이 바람직함. - 종자를 생성하는 시기가 제초제를 적용하기에 가장 적합한 시기.
환경 변화와 소각	<ul style="list-style-type: none"> - 갑작스러운 염분변화 등의 환경변화를 이용함. - 소각하여 제거함. 	<ul style="list-style-type: none"> - 겨울이나 봄에 태우는 것은 오히려 다음해의 갈대생장을 촉진시킬 수 있음. - 소각의 경우 늦여름이 가장 적합함. - 이른 여름의 경우에도 새로운 싹이 나와 성장 할 수 있음.
복합 처리 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 복합처리의 경우 그 효과가 클 수 있음. - 배수-기계적 혹은 화학적 처리-수위조절 혹은 화학적 처리와 소각의 병행. 	<ul style="list-style-type: none"> - 적용방법에 따라 달라질 수 있음.

*Barnes, 2003; Ailstock et al., 2001; Kay, 1995; Cross and Fleming, 1989; Apfelbaum and Sams, 1989.

방법은 크게 경엽부제거구, 근권제거구의 2 가지로 나눌 수 있으며 여기에 침수조건과 비침수조건, 복토 및 차광 조건 등을 병행하여 실험하였다. 차광의 경우 완전히 빛을 차단하는 완전차광과 빛을 어느 정도 투과하는 반차광의 2 가지로 나누어 적용하였는데, 갈대의 경엽부 혹은 근권

을 제거한 후 지표면과 밀착하여 차광막을 설치하였다. 이때 완전차광의 경우 타포린 재질의 차광막을, 반차광의 경우 농업용 차광막을 설치하였다. 경엽부제거는 갈대의 지상부를 완전히 베어내었으며, 근권제거는 지상부제거와 함께 50cm 깊이의 토양에 존재하는 뿌리를 제거하여

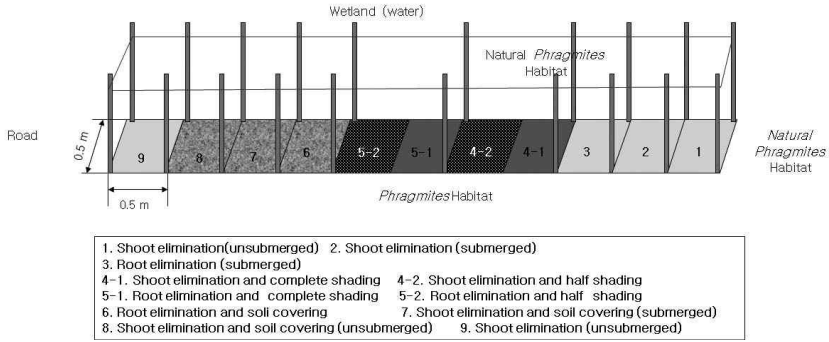


Figure 1. Experimental setup for reed control at the ecological park.

적용하였다. 물론 갈대의 뿌리는 1m 이상 성장할 수 있으나 사전 조사결과 근경이 많이 존재하는 50cm 깊이내 존재하는 뿌리를 제거하여 근권제거에 의한 효과를 조사하였다. 이는 향후 현장 관리에 있어서 비교적 용이하게 적용될 수 있는 깊이로 판단된다. 침수조건은 주변 습지로 부터 물이 공급되도록 지형을 낮추어 침수조건이 유지되도록 하였다. 복토처리는 영양물질을 함유하지 않은 미사토를 이용하여 갈대 서식토양을 개량하여 적용하였다. 조성한 실험구의 후면은 습지와 인접하여 있으며 우측은 기존의 갈대서식지와 좌측은 사람이 통행할 수 있는 길에 인접하고 있으며, 각각의 실험구의 배치는 현장조건에 맞추어 임의로 정하였다(그림 1). 15개월 경과 후 실험구의 양 측면에 설치한 실험구와 동일 크기의 면적을 갖는 대조지역의 갈대를 측정하여 실험구의 생체량과 비교하였다.

그림 1은 대상지역의 갈대제어 실험의 모식도이다. 재발생물은 조사 시기별로 새로 출현한 갈대의 초본수를 개수하여 계산하였으며, 초장은 줄자로, 직경은 버니어캘리퍼스로 측정하였으며, 갈대의 실험구별 생장물은 측정된 초장의 생장량을 조사기간으로 나누어 계산하였다. 토양온도와 pH 및 ORP는 YK-2001(Sechang, Korea)을 사용하여 현장에서 측정하였다.

실험구는 갈대의 밀도가 높은 8월에 설치하였으며, 갈대의 발생과 생장은 실험구 설치 후 일

부 실험구에서 갈대의 재발생이 관찰되기 시작한 3주 후부터 조사를 시작하여 이듬해 갈대의 생장이 완료되는 겨울철(실험구 설치 후 약 15개월 후)까지 실험을 진행하였다. 마지막 조사 시점에서는 경엽부를 모두 제거한 후 생체량을 측정하여 처리방법에 따른 생체량의 차이를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 2는 실험구 설치 3주 후부터 465일후인 약 15개월간 갈대의 재발생본수와 재발생물을 조사한 결과이다. 조사 결과 갈대 재발생의 억제를 위해서는 완전차광법이 가장 효과가 있는 것으로 나타났다. 완전차광의 경우 경엽부제거(4-1)나 근경제거(5-1)와 관계없이 초기에는 재발생이 일어나지 않았으며, 경엽부제거의 경우에만 이듬해에 주변 실험구에서 영양번식으로 침입한 개체만이 발견되었다. 반차광 처리의 경우, 근권제거 실험구(5-2)가 경엽부제거 실험구(4-2)보다 재 발생 본수가 적게 나타나, 반차광의 경우에는 가능한 근권을 제거하여 처리하는 것이 더 효과적임을 알 수 있었다. 침수조건하에서 근권을 제거한 실험구(3)와 반차광 조건에서 근권을 제거한 실험구(5-2)를 비교하면, 설치 당해년도인 약 4개월 까지는 침수조건의 실험구(3)에서 재 발생 본수가 많았으나, 이후에는 발생 본수가 감

소하여 장기적으로는 더 효과적일 수 있는 것으로 나타나 동일하게 근권을 제거하여 처리하였어도 침수조건이 반차광조건보다 갈대의 재발생을 감소시키는데 더 효과적일 수 있음을 보여주었다. 따라서 완전차광을 도입할 수 없을 경우에 효과적인 대안으로 수문조절이 근권제거와 함께 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 이는 수위가 갈대의 생장에 중요한 영향인자라는 이전의 연구들과 일치하는 결과이다(Hayball and Pearce, 2004; Croops et al., 1994).

복토로 처리한 실험구(6, 7, 8)에서는 근권제거 실험구(6)에서 경엽부제거 후 침수 실험구(7)와 경엽부제거 후 비침수 실험구(8) 보다 재 발생 본수가 낮았으나, 복토를 처리하지 않은 방법과 비교할 때 처리방법과 상관없이 모두 재 발생 본수가 많은 수준이었다. 한편 경엽부제거 후 복토 처리한 실험구에서 침수조건(7)과 비침수조건(8)을 비교하면 비침수조건에서 재발생률이 높아서 복토와 경엽부제거에 의해서는 갈대 조절의 효과가 없으며 오히려 발생을 촉진할 수도 있음을 알 수 있었다. 이는 복토에 의한 환경변화와 토양 특성 변화에 의한 것일 수 있다. 실험구 별 토양산화환원전위(ORP), 토양 pH, 토양온도를 비교하면, 토양산화환원전위의 경우 복토처리구(6, 7, 8)에서 282 ± 148 mV로서 실험구 설치전의 -180 ± 70 mV이나 그 외 다른 실험구의 -169 ± 144 mV 보다 높은 산화환원전위를, 토양 pH의 경우 역시 복토처리구에서 원습지 토양의 4.96 ± 1.07 이나 다른 실험구의 5.22 ± 0.50 보다 높은 6.70 ± 0.28 을 나타낸 것을 알 수 있다. 토양온도의 경우도 복토처리에서 $13.5 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 로서 다른 실험구의 $9.9 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 보다 높은 것으로 조사되었다(그림 3). 이는 복토 후 높아진 지반 때문에 복토처리 실험구들의 산화환원전위와 토양 온도가 높아진 결과이며, 토양 pH 경우도 유사한 수문조건으로 실험구간 차이가 크지 않았던 다른 실험구와는 달리 복토한 토양의 특성과 침수조건의 영향을 받은 것으로 판단된다.

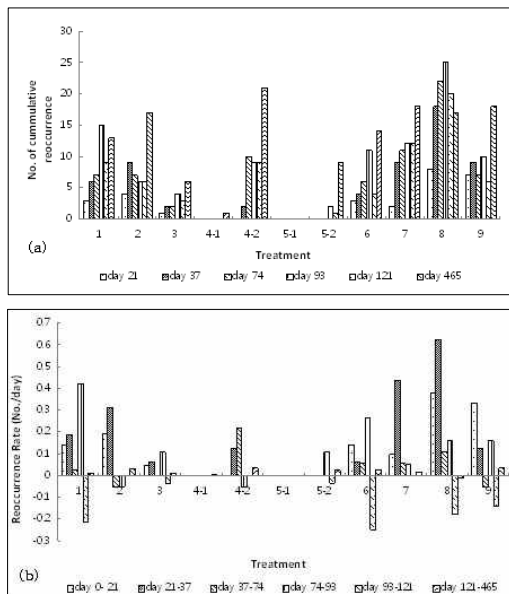


Figure 2. (a) Number of recurrence and (b) occurrence rate at each treatment for *Phragmites* control.

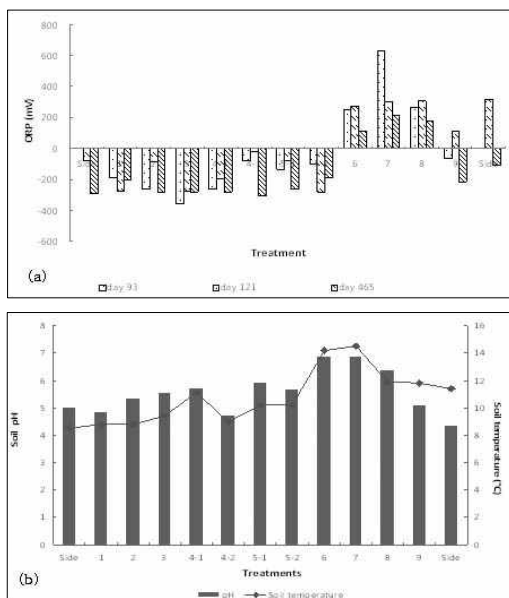


Figure 3. (a) soil oxidation reduction potential(ORP) and (b) pH and temperature (late fall) of each treatment for *Phragmites* control.

경엽부를 제거한 실험구(1, 2, 9)의 경우에는 초기에만 재 발생 본수의 차이가 있었을 뿐, 15개월 경과 후 조사에서는 침수조건과 비침수조건

실험구에서 유사한 결과를 보여주어, 경엽부 제거에 의한 제어효과는 수문조절 여부와 관련 없이 장기간 처리효과가 매우 낮을 수 있음을 알 수 있었으며, 이는 일단 경엽부가 성장하면 수문 처리의 효과가 매우 적을 수 있음을 의미한다. 특히 경엽부제거를 복토처리와 병행한 실험구(8)에서 매우 높은 재발생 본수를 나타내어 수위의 변화가 없는 단순한 복토와 경엽부제거 방법은 갈대 제어 효과가 매우 낮을 수 있음을 보여주었다. 이러한 결과는 경엽부를 제거한 선행연구에서도 잘 나타나고 있는데 소각이나 절취로 지상부를 제거했을 경우에 오히려 발생밀도가 증가하거나 성장량이 증가한다고 보고된바 있다(정연숙외, 1999; 김호준·정철원, 2008). 따라서 경엽부 제거효과는 일시적일 수 있으며 지속적인 관리가 필요하다고 제안된바 있다(Cross and Fleming, 1989).

차광법을 제외한 거의 모든 실험구에서 갈대 재발생률이 한 달 이내에 증가하는 것으로 조사되었다. 반차광의 경우 경엽부제거 실험구(4-2)에서는 30일 이후, 근권제거 실험구(5-2)의 경우에는 60일 이후에 증가하여 처리 방법에 따른 시차를 보여주긴 하였지만 완전한 제어는 불가능함을 보여주었다(그림 2(b)). 4개월 이후의 조사에서 재 발생률이 일시적으로 감소하는 것으로 조사되었으나 이는 겨울철이라는 계절적인 요인 때문이며, 15개월 이후의 조사결과에서 완전차광처리를 제외하고는 다시 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 증가율은 크지 않아 이전 조사와 비교할 때 갈대의 서식 밀도 변화는 크지 않는 것으로 추정할 수 있다. 본 연구에서 적용한 실험구에서 갈대의 재 발생률은 재 발생 본수와 마찬가지로 완전차광, 침수조건, 근권제거의 순으로 효과가 있음을 보여주었다.

그림 4는 동일기간 갈대 초장을 측정하여 실험구 별 평균 초장과 성장률을 조사한 결과이다. 초장의 경우 완전차광을 제외한 모든 실험구에서 지속적으로 성장하는 것으로 관찰되었다. 최종

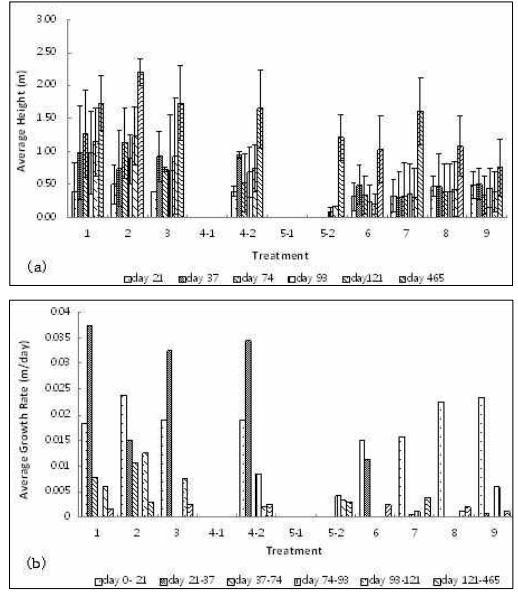


Figure 4. (a) average height and (b) average growth rate of each treatment for *Phragmites* control.

조사시점인 15 개월 경과 후 경엽부제거 실험구 (1, 2, 4-2, 7)에서 평균 1.6~2.2m의 초장을 나타내어 평균 0.75 ~ 1.2m의 초장을 나타낸 다른 실험구 보다 초장 생장이 빠른 것으로 나타나 경엽부 베어내기가 갈대의 세력을 오히려 확장시킬 수 있음을 보여주었다(그림 4(a)). 예외적으로 근권제거 후 침수조건을 유지한 실험구 3에서도 평균 1.74(±0.56)m의 높은 초장 성장을 나타내었는데, 이와 같은 결과는 근권제거와 침수조건을 유지하였더라도 일단 근경의 영양물질을 이용하여 광합성을 원활히 수행할 수 있을 정도로 자라게 되면, 이후에는 침수조건과 관계없이 지속적인 생장이 가능함을 보여주는 것이라 하겠다. 이는 갈대를 효율적으로 처리하기 위해서는 1회적인 처리가 아닌 지속적인 처리가 필요함을 보여주는 결과라 하겠다.

한편 설치한 실험구의 위치적인 요인도 초장 성장에 영향을 미친 것으로 파악되는데 바깥쪽에 위치한 실험구(7, 8, 9) 보다 습지 쪽에 근접한 실험구(1, 2, 3)에서 생장이 더 빠른 것으로 나타났다. 이와 같이 갈대서식지와 인접한 실험

구에서 길가에 인접한 실험구보다 생장이 큰 것은 길가에 인접한 실험구가 외부의 영향을 더 많이 받아 나타난 일종의 변두리 효과인 것으로 판단되는데, 이러한 효과는 재발생 본수 보다는 생장에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 본 실험이 현장에서 적용되어 주변갈대의 이입을 완전히 차단할 수 없는 상태에서 실험이 진행되었으므로 외부의 간섭에 의한 영향도 배제할 수 없다. 한편 복토처리 실험구(6, 7, 8)에서 다른 실험구보다 낮은 성장률을 보였는데, 이는 앞에서 언급한 바와 같이 변두리 효과일 가능성과 복토로 인한 영양물질 부족에 의한 두 가지 요인이 복합적으로 작용했을 가능성을 배제할 수 없다.

갈대의 기간별 초장 성장률의 경우 조사 초기에는 완전차광 실험구들을 제외하고는 0.014~0.023m/day로 비슷한 수준을 나타내었으나, 이후에는 습지내부 쪽으로 위치하거나 경엽부 제거 실험구(1, 2, 3, 4-2)가 복토처리 실험구(6, 7, 8)보다 높은 성장률을 나타내었다. 이러한 결과는 각 실험구의 초장 차이와 마찬가지로 변두리효과와 토양의 영양 상태의 차이에 의한 것으로 판단된다. 특이한 것은 근권처리 후 침수조건을 유지한 실험구(3)과 경엽부 제거 후 반차광 처리한 실험구(4-2)에서 모두 높은 성장률을 보인 것으로 나타나 이러한 결과 역시 일단 영양생장에 의하여 경엽부가 수면위나 차광높이 위로 성장하게 되면 이후에는 생장이 지속적으로 일어날 수 있음을 나타내므로, 1회적인 처리가 아니라 지속적인 관리가 필요함을 의미한다(Cross and Fleming, 1989).

갈대의 직경을 측정된 결과에서도 초장 측정 결과와 유사하게 나타났는데 습지내부 쪽으로 위치한 실험구 또는 경엽부 제거 실험구(1, 2, 3, 4-2)에서 복토처리 실험구(6, 7, 8)보다 갈대 직경 측정치가 높게 나타났다(그림 5). 이 또한 변두리효과와 토양 영양 상태에 의한 것으로 판단된다.

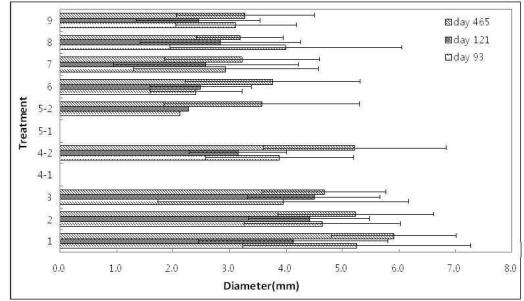


Figure 5. Diameter of *Phragmites* at day 465 of each treatment.

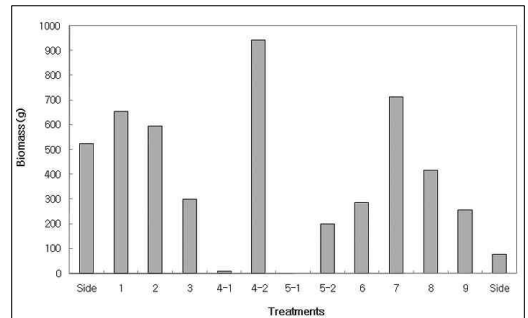


Figure 6. Aboveground biomass of *Phragmites* at day 465 of each treatment.

그림 6은 조사 기간 동안의 갈대의 총 성장량을 조사하기 위하여 15개월 이후에 각 실험구와 실험구 주변에서 지상부를 채취하여 건물중을 측정된 결과이다. 조사결과 경엽부 제거 후 반차광 처리를 하였지만 지속적으로 생장이 일어났던 실험구(4-2)에서 총 941g의 건물중으로 가장 높은 지상부의 생체량을 나타내었으며, 경엽부 제거와 복토 처리한 침수조건 실험구(7)에서 713g, 경엽부 제거 후 비침수 조건을 유지한 실험구(1)에서 654g, 경엽부 제거 후 침수조건을 유지한 실험구(2)에서 594g, 경엽부 제거 후 복토처리한 비침수 조건 실험구(8)의 417g 순으로 조사되어, 경엽부를 제거한 실험구에서 전반적으로 높은 건물중을 나타내었다. 이는 경엽부 베어내기가 오히려 갈대의 성장을 오히려 촉진할 수 있음을 보여주었으며 이러한 경엽부의 제거가 습지의 영양염류의 흡수능을 증가시키게 되므로(정연숙외, 1999), 서

식지 목적이 아닌 오염물질 정화를 위한 처리습지(treatment wetland)에서 적합한 습지식물의 관리방법으로 판단된다. 아울러 일단 갈대가 다시 발생하여 수면위로 성장하게 되면 침수조건이 재발생 본수에 미쳤던 것과는 달리 생체량에는 영향이 미치지 않음을 나타낸다.

IV. 결 론

습지를 조성하여 조류생태공원으로 활용할 경우, 단일 식물종이 세력을 확장하는 것을 제한하기 위하여 인위적 또는 자연적으로 습지에 유입되는 식물들에 대한 관리가 필요하다. 오염물질의 정화 목적이 아닌 서식처 조성을 목적으로 습지를 조성할 때 습지의 지형과 습지 수위 등을 고려하여 습지를 설계함으로써 갈대의 확장을 최소화 할 수 있도록 조성하는 것이 중요하며, 또한 조성 이후에도 지속적인 모니터링을 통하여 갈대가 세력을 지나치게 확장하기 시작하면 초기에 대상지역에 적합한 갈대 관리 방법을 적용하는 것이 필요하다(성기준, 2006). 이는 일종의 생태복원지역의 적응관리(adoptive management)로서 모니터링 결과를 활용하여 복원지역내 발생하는 문제를 순응적으로 해결하여 성공적인 복원을 이루어내기 위한 생태계 복원지역의 관리방안이라 할 수 있다.

본 연구에서는 인공습지 생태계에서 갈대확장 조절기술을 개발하기 위하여 현재 갈대의 확장이 문제되고 있는 을숙도 생태공원 조성 지역에 비교적 쉽게 도입이 가능한 갈대 제어 방법을 적용한 현장 실험구를 설치하여 효과적인 갈대제어 기술을 개발하고자 하였다.

갈대 재발생 억제에 완전차광법이 가장 효과가 있는 것으로 나타났으며, 경엽부 제거 보다는 근권제거가, 또한 침수와 같은 수문조절이 반차광방법 보다는 갈대의 재 발생을 제어하는데 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 완전차광을 도입할 수 없을 경우에 효과적인 대안으로 수문

조절이 근권제거와 함께 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 갈대의 초장과 직경 성장에는 변두리 효과와 토양의 영양 상태에 따른 차이가 있는 것으로 판단되었다. 하지만 본 실험이 주변갈대의 이입을 완전히 차단할 수 없는 현장에서 진행되었으므로 외부의 간섭에 의한 영향도 배제할 수 없다. 초장 성장의 경우 실험 초기에는 완전차광 실험구들을 제외하고는 비슷한 수준을 나타내었으나, 이후에는 습지내부 쪽에 위치한 실험구와 경엽부제거 실험구가 복토처리 실험구보다 높은 성장률을 나타내었다. 또한 근권처리 후 침수조건을 유지한 실험구와 경엽부제거 후 반차광 처리를 한 실험구에서 모두 높은 성장률을 보여, 일단 영양생장에 의하여 경엽부가 수면위나 차광높이 위로 성장하게 되면 이후에는 생장이 지속적으로 일어날 수 있음을 나타내므로 지속적인 관리가 필요함을 알 수 있었다.

생체량은 경엽부를 제거한 실험구에서 전반적으로 높게 나타나, 경엽부 베어내기가 오히려 갈대의 성장을 촉진할 수 있음을 보여주었으며, 아울러 일단 갈대가 다시 발생하여 수면위로 성장하게 되면 침수조건이 재발생 본수에 미쳤던 것과는 달리 생체량에는 영향이 미치지 않음을 나타내었다. 따라서 갈대의 제어는 1회적인 처리가 아니라 지속적으로 실시하여 근경을 약하게 하거나 갈대의 활력도를 낮추어 확산을 방지하고 이와 함께 수문조절을 적용하는 복합적인 처리방법이 고려되어야 할 것이다. 조사결과 차광법의 도입이 가장 효과적인 것으로 나타났으나, 광범위하게 적용할 경우 전체 경관이나 기능을 악화시킬 수 있으므로, 국부적이거나 핵심지역에 선택적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

습지복원 지역이나 생태공원에서 갈대 세력의 확장을 제어하기 위해서는 생태계를 조성 할 때 침입식물의 세력 확장을 억제할 수 있는 지형 및 수문 구조를 제공하여 사전 예방적인 환경을 조성하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이 후 시간경과에 따른 변화에 적절히 대응하는 적응관리도

고려할 수 있다. 하지만 생태계 조성 후 갈대 세력이 일단 확장되기 시작하면 시간이 경과할수록 조절이 어려워지기 때문에 초기에 갈대의 확산을 제어하는 것이 중요하며, 이와 더불어 필요시 지형이나 수문 구조에 변화를 주는 것도 장기적으로는 더 효과적일 수 있을 것이다. 지형이나 수문 구조의 조절이 어려울 경우에는 조성된 환경조건에 적합한 식물이 자연적으로 도입되도록 해야 하나 조성 목적상 특별한 관리가 요구되는 소규모의 핵심적인 지역의 경우에는 본 연구에서 제안하는 차광, 수위, 근권제거 등 적절한 방법을 단독 혹은 복합적으로 적용할 수 있을 것이다.

또한 갈대 조절 이후 대상지역을 대체 식물의 서식지로 활용할 것인지 혹은 갯벌과 같은 나지로 유지할 것인지에 대한 처리 후 대상지역의 이용목표가 정해져야 하고, 이에 따라 적용 가능한 갈대 관리 기술들이 고려되어야 하며, 여러 대안들 중에 대상 현장에 가장 적합한 기술을 선택하여야 한다. 갈대관리 기술의 도입 시기는 관리의 목적과 적용의 기술에 따라 정해질 수 있다. 또한 대체 식물의 경우 이들의 종류와 도입방법 등도 갈대관리기술을 결정하는데 중요한 요인이 될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 부산지역환경기술개발센터의 2006년도 연구사업비(06-1-70-71-1)의 지원과 2008년도 교육과학기술부와 한국산업기술재단 지역혁신인력양성사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 강호철 · 주용규. 1999. 자연습지의 구조적 특성과 갈대의 적정생육수심. 한국정원학회지 17(4) : 191-200.
- 권오도 · 국용인 · 김석연 · 박홍규 · 신해룡 · 최형국. 2006. 간척지 배 재배지에서 갈대발생 정도에 따른 수량감소와 경엽처리제초제의 방제효과 26(1) : 56-63.
- 구자옥 · 김창석 · 이도진 · 임일빈 · 권오도 · 국용인 · 천상옥 · 한성욱. 2005. 한국의 잡초도감. 한국농업시스템학회.
- 김구연 · 박희순 · 주기재. 2007. 낙동강하구 갈대군락의 성장에서 지상부제거에 따른 영향. 한국환경생태학회 학술대회논문집 62-68.
- 김창호. 1997. 낙동강 하구의 습지환경 변화와 갈대 개체군의 성장동태. 부산여자대학교 자연과학연구소 논문집 3 : 1-13.
- 김호준 · 정철원. 2008. 인공습지에서 소각에 의한 갈대의 지상부제거영향, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2008 공동추계학술발표회 논문요약집 57-58.
- 박우하 · 박희진. 2009. 인공습지 갈대관리. 한국수자원학회지 42(3) : 29-32.
- 성기준. 2006. 을숙도 및 낙동강 하구의 갈대관리 방안에 관한 연구. 부산지역환경기술개발센터 98pp.
- 양홍모. 2006. 하천수정화 여과습지에서 성장하는 갈대의 영양염류 흡수량. 한국환경복원녹화기술학회지 9(1) : 89-99.
- 원병오. 2004. 자연생태계의 복원과 관리 : 조류 서식지 조성과 보호를 중심으로. 다른세상.
- 이호준 · 양효식. 1993. 생육지의 토양염분농도에 대한 갈대개체군의 적응. Korean J. Ecol., 16(1) : 63-74.
- 이효혜미 · 권오병 · 석정현 · 조강현. 2001. 인공 식물섬에 적합한 식물의 선발-4종 정수식물의 식생구조와 생장의 비교, 한국환경복원녹화기술학회지 4(1) : 87-96.
- 정연숙 · 오현경 · 노찬호 · 황길순. 1999. 습지식물의 지상부 제거가 생산력과 영양염류 제거량에 미치는 효과. 한국환경생물학회지 17(4) : 459-465.
- 정용현 · 강대석 · 이석모 · 성기준. 2008. 을숙도 생태공원내 서식지별 환경요인과 갈대분포

- 특성. 한국환경복원녹화기술학회지 11(3) : 50-61.
- Ailstock, M. S., C. M. Norman and P. J. Bushmann. 2001. Common reed *Phragmites australis* : control and effects upon biodiversity in freshwater nontidal wetlands, Restoration Ecology, 9(1) : 49-59.
- Apfelbaum, S., and C. E. Sams. 1989. Ecology and control of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.), Applied Ecology Services, Inc.
- Barnes P. V. 2003. Identification and control of common reed (*Phragmites australis*) in Virginia, Crop and soil environmental science publication, 427-101.
- Chambers, R. M., T. J. Mozdzer and J. C. Ambrose. 1998. Effects of salinity and sulfide on the distribution of *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in a tidal salt marsh, Aquatic Botany, 62 : 161-169.
- Chamber, R. M., L. A. Meyerson and K. Saltonstall. 1999. Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America, Aquatic Botany, 64 : 261-273.
- Coops, H., N. Geilen and G. Velde. 1994. Distribution and growth of the helophyte species *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris* in water gradient in relation to wave exposure, Aquatic Botany, 48(3-4) : 273-284.
- Cross, D. H., and K. L. Fleming. 1989. Control of *Phragmites* or Common Reed, USFWS Leaflet, 13.4.12.
- Findlay, S. P., and Groffman, D. Dye. 2003. Effects of *Phragmites australis* removal on marsh nutrient cycling, Wetland ecology and management, 11 : 157-165.
- Gratton, C., and R. F. Denno. 2005. Restoration of arthropod assemblages in a *Spartina* salt marsh following removal of the invasive plant *Phragmites australis*, Restoration Ecology, 13 (2) : 358-372.
- Kay, S. H. 1995. Efficacy of wipe-on applications of glyphosate and imazapyr on common reed in aquatic sites, Journal of Aquatic Plant Management, 33 : 25-26.
- Minchinton, T. E., J. C. Simpson and M. D. Bertness. 2006. Mechanisms of exclusion of coastal marsh plants by an invasive grass, J. Ecology, 94 : 342-354.
- Teal, J. M., and S. Peterson. 2005. The interaction between science and policy in the control of *Phragmites* in oligohaline marshes of Delaware bay, Restoration Ecology, 13(1) : 223-227.
- Turner, R. E., and R. S. Warren. 2003. Valuation of continuous and intermittent *Phragmites* control, Estuaries, 26(2B) : 618-623.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1988. Design manual : constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. EPA/625/1-88/022.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2000. Wetland Engineering Handbook, ERDC/EL TR-WRP-RE-21.
- Weinstein, M. P., J. H. Balleto, J. M. Teal and D. F. Ludwig. 1997. Success criteria and adaptive management for a large-scale wetland restoration project, Wetland ecology and management, 4(2) : 111-127.
- Wyngaert, I. J. J. van den, L. D. Wienk, S. Solлие, R. Bobbink and J. T. A. Verhoeven. 2003. Long-term effects of yearly grazing by moulting Greylag gees (*Anser anser*) on reed (*Phragmites australis*) growth and nutrient dynamics, Aquatic Botany, 75 : 229-248.