

## 서울시 생태계 보전지역 3곳에서의 토양 종자은행

김재근\* · 주은정

서울대학교 생물교육과

## Soil Seed Banks at Three Ecological Preservation Areas in Seoul

Kim, Jae Geun\* and Eun Jung Ju

Department of Biology Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

**ABSTRACT:** Soil seed banks at ecological preservation areas in Seoul, Jinkwannae-dong, Bangi-dong and Bam-sum, were studied by seedling emergence method from May to October 2004. Total number of species and individuals in seed banks were 42 and 5,190 at Jinkwannae-dong, 39 and 2,290 at Bangi-dong, and 39 and 1,047 at Bamsum. *Salix koreensis* community at Jinkwannae-dong has the highest number of seedlings among all sites. The most abundant species were *Lindernia procumbens* in Jinkwannae-dong and Bam-sum and *Typha* spp. in Bangi-dong. The dominant species of seed banks were different from that of plant communities such as *Phragmites communis* community, *Salix koreensis* community, *Persicaria thunbergii* community, *Phragmites japonica* community, and *Populus tomentiglandulosa* community. However the dominant species of seed banks in *Typha* community was *Typha* spp. Total 63 species emerged in either the wet or submerged conditions. Fifty six species appeared in the wet condition and 25 in the submerged condition. Eighteen species appeared in both conditions. Numbers of species and individuals were much less in the submerged condition than in the wet condition but free-floating hydrophytes including *Rorippa islandica* and floating-leaved hydrophytes including *Monochoria vaginalis* appeared only in the submerged condition. In the investigation of soil seed bank by distance from water edge (Bamsum), water side 3 (300~350m from water) edge, where water level is fluctuating frequently, has the highest number of seedlings.

**Key words:** Ecological preservation areas, Germination, Seedling emergence method, Soil seed bank, Wetland

## 서론

토양 종자은행은 일반적으로 특정 지역 토양 속에 발아능이 있으나 휴면 중인 종자들의 집합으로 정의된다(Bigwood and Inouye 1988). 토양 종자은행은 식생 다양성, 교란지 회복, 초기 식생 구성 등에 중요한 영향력을 가지며 천이, 식생사, 종자 발아 특성 등을 연구하기 위한 목적으로 조사되기도 한다(van der Valk and Davis 1979, Haag 1981, Galatowitsh and van der Valk 1996, Brock and Rogers 1998, Harwell and Havens 2003). 뿐만 아니라 일정한 조사기간 동안 한정된 종만을 조사할 수 있는 야외 조사와 비교하였을 때 식물 생육기간 동안 존재하는 거의 모든 종이 포함되어 있는 토양 종자은행 연구는 습지에 현존하고 있는 더 많은 식생을 조사할 수 있는 방법이라고 할 수 있다(Galatowitsh and van der Valk 1996).

최근에는 농사, 교외 개발, 고속도로 건설, 수로 정리 등에 의한 습지 손실을 회복하기 위한 습지 복원 및 조성이 주목을 받고 있다(Mitsch and Gosselink 2000). 토양 종자은행 종 구성과

환경 요인에 따른 발아 종 차이를 검증하는 것은 습지 복원 및 조성 시 정착될 식물 종을 결정하는데 도움을 준다. 뿐만 아니라 홍수, 가뭄, 개발 등으로 교란된 지역에서 종이 재정착할 때 수문학적 조건이 구성된 이후에 어떠한 식물군락이 정착될 것 인지를 예측할 수 있도록 해준다(Cronk and Fennessy 2001). 이는 습지식물은 교란 기간 동안 영양 빈식체로 살아남을 수 있는 종이 많지 않아 대다수가 토양 속에 토양 종자은행을 구성하여 살아남게 되기 때문이다(Warwick and Brock 2003). 뿐만 아니라 종자, 발아, 유묘단계와 같은 식물 생활사 초기는 개체 생존에 있어서 가장 결정적인 시기로 간주되고 있다(Schupp 1995). 따라서 토양 종자은행을 연구하는 것은 해당 지역 식생 회복력과 잠재식생을 알아볼 수 있는 방법이며 습지 복원과 교란지 회복에 있어서 중요한 기초조사이다.

습지에서는 습윤과 침수 환경이 반복되면서 서로 다른 길드의 식물이 발아하므로 수위의 주기적 변동에 따라 순환적인 천이가 일어난다(van der Valk and Davis 1976, 1978, Smith and Kadlec 1983). 이는 종에 따라 발아하는 물의 깊이가 다르므로 (Keddy and Ellis 1985) 습지의 수문학적 조건이 토양 종자은행으

\* Corresponding author; Phone: +82-2-880-7896, e-mail: jaegkim@snu.ac.kr

로부터 출현하고 정착하는 군집 종류의 많은 부분을 결정하기 때문일 수도 있다(van der Valk and Davis 1978). 외국에서는 습지 식물의 수위에 따른 발아조건에 대한 연구가 어느 정도 이루어지고 있으나(Smith and Kadlec 1983, Avernethy and Willby 1999, Casanova and Brock 2000) 국내 토착종들에 대한 발아 시 필요한 수위조건에 대한 연구 결과는 많지 않으므로 이를 위해서는 기초가 되는 토양 종자은행 수준 연구가 반드시 필요하다. 이러한 중요성에도 불구하고 국내에서는 토양 종자은행에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있으며 특히 습지 토양 종자은행 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 서울시 생태계 보전지역에서 1) 각 생태계 보전지역 주요 군락별 출현종과 토양 종자은행 크기를 알아보고 2) 수변으로부터 거리에 따라 달라지는 토양 종자은행의 구성종과 개체수를 알아보며, 3) 침수 정도에 따라 다르게 발아되는 종을 확인하고 4) 각 시기에 따라 발아하는 종을 확인하고자 한다.

**연구 장소**

본 연구는 서울시 생태계 보전지역 중 은평구 진관내동 습지, 송파구 방이동 습지, 한강 밤섬에서 채집한 토양 종자은행으로 이루어졌다(Fig. 1).

북한산국립공원 경계 내에 위치하는 은평구 진관내동 습지는 북한산성 입구에서 약 500m 내외에 위치하고 있으며 대상지 전체 면적은 18,719m<sup>2</sup>이다. 과거에 논농사를 짓던 곳으로 농사를 포기한 후 수생식물들이 번성한 자연성이 높은 지역이며 주변은 북한산 국립공원의 녹지가 연결되어 있다(서울시정개

발연구원 2001). 이 지역의 현존식생은 고마리(*Persicaria thunbergii*)가 가장 넓은 지역을 차지하며 갈대(*Phragmites communis*), 부들(*Typha orientalis*), 달뿌리풀(*Phragmites japonica*), 버드나무(*Salix koreensis*) 등이 그 뒤를 이었다(서울특별시 2005).

송파구 방이동 습지는 올림픽선수촌아파트와 경기도 하남시 경계사이 평야지대 중앙에 위치한 저수지형 습지로 주변은 밭과 논으로 이루어져 있고 지하수위가 상대적으로 높다. 이 지역은 벽돌원료를 채취하는 과정에서 웅덩이가 형성되었다가 후에 일정기간 양어장으로 이용되었으나 현재는 방치되어 수생식물이 번성한 자연성이 높은 장소이며 전체 면적은 56,067m<sup>2</sup>이다(서울시정개발연구원 2001). 현존식생은 갈대가 가장 넓은 지역을 차지하며 부들, 버드나무, 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa*) 등이 다음으로 많은 지역을 차지하였다(이경재 등 2003).

한강 밤섬은 동단의 윗밤섬과 서단의 아랫밤섬, 2개의 섬으로 구성되어 있으며(서울특별시 2004) 본 연구에서는 윗밤섬의 수변에서부터 식생대까지 거리별로 토양 종자은행을 채취하였다(Fig. 1c). 이 지역은 명아주(*Chenopodium album*) 및 갈대 군락과 닿아 있으나 본 연구 지역에는 다년생 우점 군락이 형성되어 있지 않다(서울특별시 2002).

**연구 방법**

2004년 3월 식생군락별 토양 종자은행 채집을 위해 진관내동 고마리, 갈대, 부들, 달뿌리풀, 버드나무 등 5개 군락(Fig. 1a)과 방이동 갈대, 부들, 은사시나무, 버드나무 등 4개 군락을 선정하였으며(Fig. 1b) 수변으로부터 거리별 토양 종자은행 채집을 위

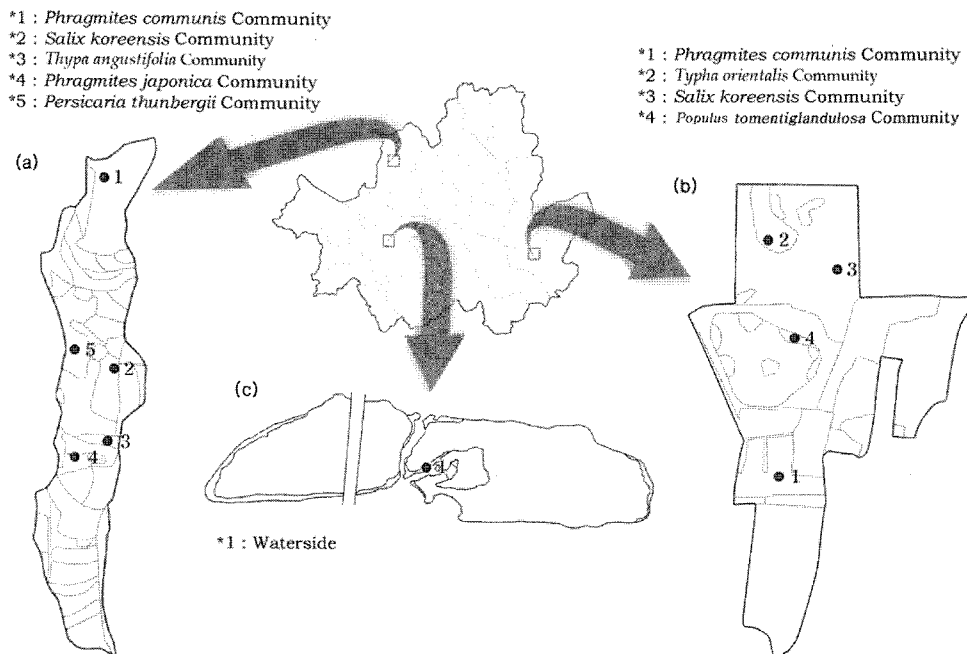


Fig. 1. Ecological preservation areas in Seoul when seed banks were studied. a: Jinkwannae-dong, b: Bangi-dong, c: Bam-sum. \*1~\*5: Vegetation type in each sampling site.

해서 밤섬에서 5개의 조사지선을 선정하였다. 진관내동과 방이동에서는 각 군락마다 50cm × 50cm인 방형구를 4반복으로 놓고 방형구당 5개의 토양 코어(core)를 채집하였다. 토양 코어는 지름 5.5cm의 PVC관을 사용하여 깊이 5cm로 방형구의 네 모서리와 중간에서 채취하였으며 채집한 뒤 혼합하여 토양 종자은행 실험에 사용하였다. 밤섬에서는 수변에서부터 식생대까지 5개의 조사지선(5m)을 설치한 후 1m 간격으로 토양 코어를 채집하여 각 조사지선에서 수변으로부터 거리가 0~50cm인 수변 1, 150~20cm인 수변 2, 300~350cm인 수변 3, 450~500cm인 수변 4 샘플의 데이터를 합산하여 수변으로부터 거리별 토양 종자 개체수를 확인하였다. 한 방형구에서 채집한 샘플의 표면적은 약 175cm<sup>2</sup>이며 부피는 약 2,376cm<sup>3</sup>이다.

채집한 토양 종자은행은 4℃에서 냉장 보관하였으며 2004년 5월 초에 온실에서 발아실험을 시작하였다. Inner tray(580×365×135cm<sup>3</sup>)에 약 3cm의 sterile sand를 깔고 그 위에 토양 종자은행을 약 1cm의 두께로 골고루 깔 후 outer tray(400×235×100cm<sup>3</sup>) 안에 놓았다. 주 1회 이상, outer tray에 물을 공급하여 습윤조건의 tray에는 -2~0cm, 침수조건의 tray는 2cm이상 수위가 유지되도록 하였다. Tray에서 발아한 개체는 주 1회 동정한 후 제거하였다(이창복 1999). 동정이 잘 되지 않는 유묘의 경우, 옮겨 심거나 tray에서 생육시켜 꽃이 핀 후 확인하였으며 실험은 10월말까지 진행되었다.

## 연구 결과

### 진관내동과 방이동 습지에서 토양 종자은행

식물 군락 별로 토양 종자은행을 확인한 진관내동에서는 총 42종, 5,190개체가 출현하였다(Fig. 2). 그 중 발톱외풀(*Lindernia procumbens*)이 2,695개체로 가장 많은 수의 종자가 포함되어 있었으며 그 뒤를 이어 부들속 식물(*Typha* spp.), 방동사니대거리(*Cyperus sanguinolentus*), 방동사니(*Cyperus amuricus*)가 많이 출현하였다. 또한 병아리방동사니(*Cyperus flaccidus*), 미국가막사리(*Bidens frondosa*), 여뀌바늘(*Ludwigia prostrata*), 벼룩이자리(*Arenaria serpyllifolia*), 중대거리풀(*Centipeda minima*)의 출현 개체수가 많았다.

진관내동 애기부들군락에서는 총 28종의 종자가 발아되었는데 골풀(*Juncus effusus*)이 195개체로 가장 많이 출현하였으며 다음이 부들속 식물(137개체), 발톱외풀(87개체), 방동사니대거리(80개체) 순이었다. 진관내동 버드나무군락에서는 38종이 출현하여 토양 종자은행을 채집한 군락 중에서 가장 많은 종수를 나타내었다. 가장 많은 개체수가 출현한 종은 발톱외풀(803개체)이었으며 골풀도 307개체가 발아하였다. 총 출현 개체수 역시 1,574개로 실험 군락 중 가장 많았다. 진관내동 갈대군락은 총 31종이 출현하였으며 총 출현 개체수는 1,234개체였다. 버드나무군락과 마찬가지로 발톱외풀이 가장 많은 개체수를 보였으며(865개체), 다음으로는 골풀(86개체), 왜떡쑥(*Gnaphalium uliginosum*: 58개체) 순이었다. 가장 많은 개체수가 출현한 발톱

외풀과 그 다음 순서인 골풀의 개체수가 약 8배 정도 많은 큰 차이를 보였으며, 침수 처리구에서는 개구리밥(*Spirodela polyrhiza*)이 출현하였다. 진관내동 달뿌리풀군락에서는 총 30종이 출현하였으며 출현 개체수는 진관내동 버드나무군락 다음으로 많은 1,293개체를 기록하였다. 갈대군락이나 버드나무군락과 마찬가지로 발톱외풀이 가장 많이 출현하였으며(805개체) 다음으로는 방동사니대거리였다(121개체). 이는 다른 진관내동 군락에서 출현한 방동사니대거리 개체수 총합의 약 절반을 차지할 정도로 많은 수였다. 골풀은 진관내동 갈대군락과 비슷한 개체수(100개체)를 보였다. 진관내동 고마리군락에서는 17종, 406개체가 출현하여 토양 종자은행의 크기가 상대적으로 작았다. 출현 종과 개체수의 경향은 버드나무군락이나 갈대군락과 비슷하여 발톱외풀이 가장 많은 개체수를 차지하였으며(135개체) 그 다음이 골풀(124개체)이었으나 그 차이가 크지 않았다. 진관내동의 다른 군락들과는 달리 주름잎(*Mazus pumilus*: 40개체)과 벼룩이자리(31개체) 등이 많은 수를 나타내었다. 그러나 침수 처리에서 발아한 종은 전혀 없었다. 진관내동의 군락별 토양 종자은행 발아실험에서 지상부 우점종이었던 갈대, 달뿌리풀, 버드나무 등은 토양 종자은행에서 발아되지 않았으며 애기부들군락의 토양 종자은행만이 많은 수의 부들속 식물의 종자를 가지고 있었다.

방이동 습지에서 채집한 부들군락, 갈대군락, 은사시나무군락, 버드나무군락의 토양 종자은행에서 출현한 종의 총수는 39종이었으며 총 개체수는 2,265개였다. 방이동 습지에서는 가장 많은 개체수를 보인 종은 부들속 식물(1,297개체)이었으며 다음으로 골풀, 발톱외풀이 많은 개체수를 보였다. 이 외에도 사초속 식물(*Carex* spp.), 개망초(*Erigeron annuus*), 속속이풀(*Rorippa islandica*), 방동사니 등도 많은 개체수를 보였다. 침수식물인 개구리밥과 민나자스말(*Najas marina*)도 많은 개체가 출현하였다(Fig. 2).

방이동 부들군락에서는 총 20종 663개체가 출현하였으며 개체수는 진관내동 애기부들군락과 비슷하였다. 부들속 식물의 출현 개체수가 월등하게 많았으며(561개체) 다음으로 여뀌(*Persicaria hydropiper*)가 많은 개체수를 보였다(15개체). 방이동 갈대군락은 총 28종 752개체가 출현하였는데 방이동의 군락별 토양 종자은행에서는 가장 많은 개체수와 종수를 나타내었다. 이곳에서는 골풀이 가장 많이 출현하였으며(212개체), 바닥에 낮게 자라는 미동정 종이 침수조건에서 많은 수를 보였다. 다음으로 발톱외풀(148개체)과 부들속 식물(83개체), 사초속 식물(24개체)이 많이 출현하였다. 방이동 은사시나무군락에서 출현한 유묘는 총 21종, 285개체로 군락별 토양 종자은행 중에서는 가장 적은 개체수를 가지고 있었으나 종수는 진관내동 고마리군락이나 방이동 부들군락, 방이동 버드나무군락보다 많았다. 이곳에서는 부들속 식물의 유묘가 가장 많았으나(86개체) 사초속 식물과 별 차이는 없었다(80개체). 다른 군락별 토양 종자은행과는 달리 발톱외풀의 개체수가 적어(10개체) 전체적인 개체수가 매우 적었다. 방이동 버드나무군락은 총 20종 565개체가

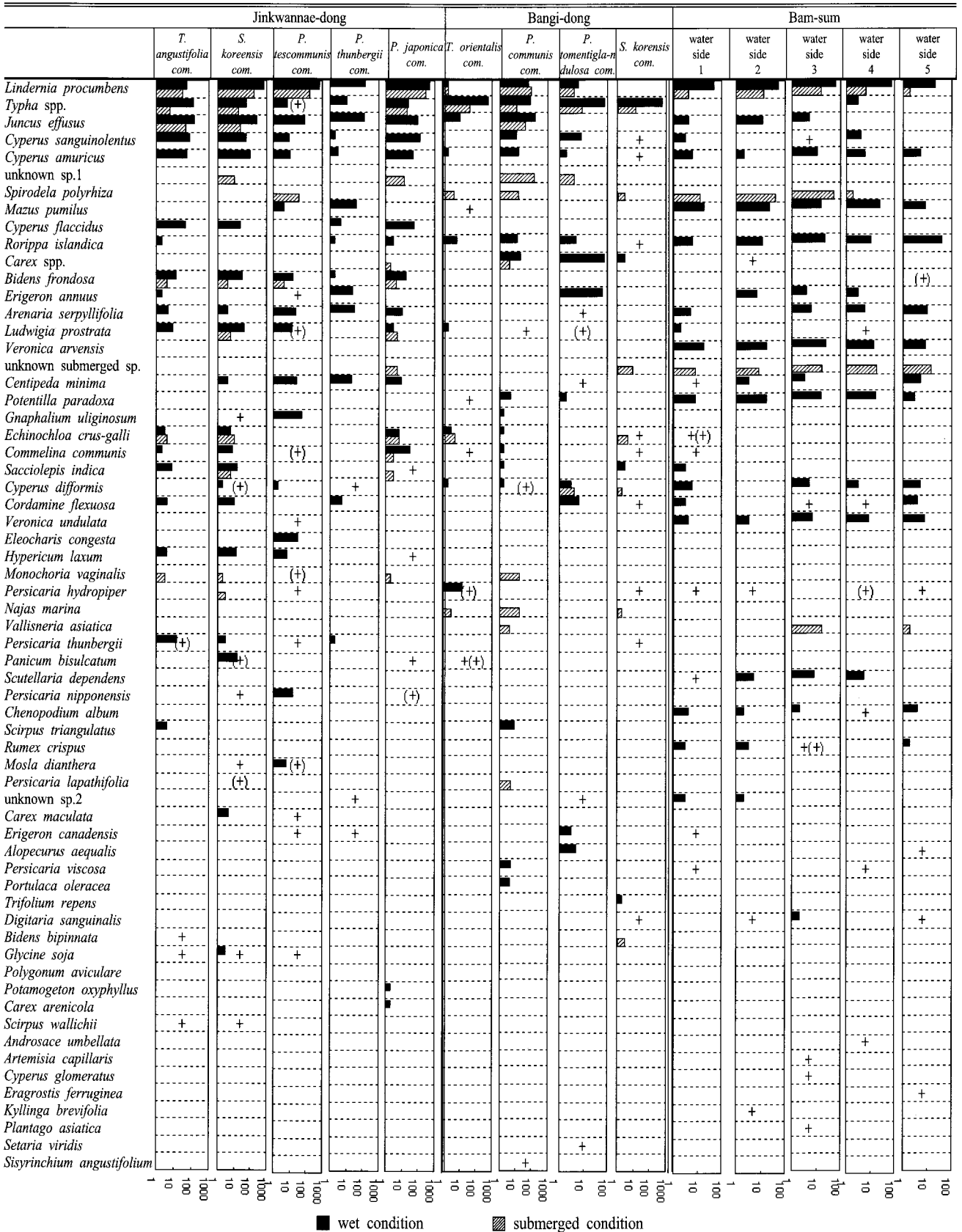


Fig. 2. Total number of seedlings per species at each community in two hydrologic conditions: log scale. '+' and '(+)' indicate one seedling in 'wet condition' and 'submerged condition', respectively.

출현하였으나 출현 개체수의 대부분이 부들속 식물이었다(513 개체). 방이동에서도 부들군락에서만 부들속 종자가 가장 많은 개체수를 차지하였으며 다른 군락에서는 지상부 우점종이 지하부에서 거의 출현하지 않았다.

### 밤섬의 수변으로부터 거리별 토양 종자은행

밤섬의 토양 종자은행에서는 총 39종, 1,047개체가 발아하였다(Fig. 2). 비교적 진관내동, 방이동에 비해 적은 수의 종자를 보유하고 있었다. 밤섬에서는 진관내동과 마찬가지로 발톱외풀이 총 290개체로 가장 많은 개체수를 차지하였으며 진관내동, 방이동과는 달리 밤섬에서는 부들속 식물이 거의 발아되지 않았다. 대신 개구리밥과 같은 부유식물이 상당수 출현하였으며 속속이풀과 주름잎 등도 많은 유묘가 출현하였다.

수변으로부터 거리가 300~350cm이었던 밤섬 수변 3에서 가장 많은 수의 개체(297개체)와 종(26종)이 출현하였다. 가장 많은 개체가 출현한 종은 발톱외풀(77개체)이었으며 침수조건에서는 개구리밥과 같은 부유식물과 나사말(*Vallisneria asiatica*), 미동정 침수식물 등도 다양하게 출현하였다. 다음으로 많은 개체수를 포함하고 있었던 토양 종자은행은 수변으로부터 거리가 450~500cm인 수변 4로 총 221개체가 출현하였으며 종수는 21종이었다. 수변으로부터 거리가 150~200cm이었던 수변 2에서 출현한 개체수(208개체) 및 종수(22종)는 수변 4와 비슷하였다. 수변에서 가장 멀었던 수변 5(600~650cm)에서는 170개체가 출현하여 출현 개체수는 가장 적었으나 종수는 26종으로 수변 3과 같았다. 그러나 수변 3에서는 침수식물이 많이 포함된 것에 비해 수변 5는 식물군락에 가까이 있었으므로 여뀌, 쯤물뚝새(*Sacciolepis indica*), 여뀌바늘, 돌피(*Echinochloa crus-galli*), 닭의장풀(*Commelina communis*) 등의 식물들이 포함되어 있었다. 수변에서 가장 가까운(0~50cm) 수변 1에서 출현한 개체수는 밤섬 수변의 토양 종자은행 샘플 중 가장 적었다(151개체, 21종). 부유식물인 개구리밥이 출현하지 않았으며 발톱외풀의 출현 개체수가 적었기 때문이다. 밤섬 수변으로부터 거리별 토양 종자은행은 수변 3, 수변 4, 수변 2, 수변 5, 수변 1의 순으로 개체수가 많았다.

### 습윤조건과 침수조건에서의 출현종 차이

습윤 조건과 침수조건에서 출현한 총 종수는 63종이었으며 그 중 습윤조건에서만 출현한 종은 38종, 침수조건에서만 출현한 종은 7종이었고 두 조건에서 다 출현한 종은 18종이었다. 개구리밥과 같은 부유식물과, 나사말, 민나자스말(*Najas marina*), 말(*Potamogeton oxyphyllus*) 등의 침수식물, 일부 정수식물인 물닭개비(*Monochoria vaginalis*) 등은 침수조건에서만 출현하였다(Fig. 3).

발톱외풀과 부들속 식물, 골풀은 습윤과 침수, 두 조건에서 모두 많은 수가 발아되었다. 뿐만 아니라 사초속 식물, 돌피, 미국가막사리, 여뀌바늘, 닭의장풀, 쯤물뚝새, 알방동사니(*Cyperus difformis*), 여뀌 등의 정수식물들도 습윤조건 뿐만 아니라 수위 2cm이상인 침수조건에서도 발아하였다.

정수식물 중에서도 방동사니대가리, 방동사니, 병아리방동사니, 물칭개나물(*Veronica undulata*), 바늘꽃(*Eleocharis congesta*), 쯤고추나물(*Hypericum laxum*), 송이고랭이(*Scirpus triangulatus*) 등은 수위가 0cm이하인 조건에서만 발아하였다. 또한 습지에서 잘 관찰되는 식물인 속속이풀, 주름잎, 황새냉이(*Cordamine flexuosa*), 애기골무꽃(*Scutellaria dependens*), 딱새풀(*Alopecurus aequalis*) 등도 습윤조건에서만 발아되었다. 개망초(*Erigeron annuus*), 개소시랑개비(*Potentilla paradoxa*), 선개불알풀(*Veronica arvensis*), 중대가리풀, 명아주(*Chenopodium album*), 왜떡쑥 등의 건생식물은 종자가 포함되어 있는 토양 종자은행이라도 침수조건에서는 발아하지 않았으며 습윤조건에서만 발아하였다.

### 종별 출현 시기

각 토양 종자은행에 포함된 종자들은 종에 따라 5월부터 10월까지 시기를 달리하여 계속적인 발아가 이루어졌으며 구체적인 시기는 Fig. 4와 같다. 5월에 발아한 종은 돌콩(*Glycine soja*), 고마리, 미국가막사리, 여뀌, 명아주, 닭의장풀 등이었다. 6월부터 발아한 종은 쥐개풀(*Mosla dianthera*), 황새냉이, 속속이풀, 주름잎, 물칭개나물, 발톱외풀, 개소시랑개비, 넓은잎미꾸리늪시(*Persicaria nipponensis*), 왜떡쑥, 여뀌바늘 등이었으며 이 중 황새냉이, 속속이풀, 주름잎, 발톱외풀, 개소시랑개비, 벼룩이자리, 여뀌바늘 등은 10월까지 계속적으로 발아하였고, 특히, 발톱외풀은 6월부터 10월까지 꾸준하게 많은 수의 종자가 발아하였다. 왜떡쑥과 쥐개풀 등은 6월에 많은 수가 발아하였으며 8월까지 발아하는 개체가 있기는 하였으나 적은 수였다. 7월에 발아하기 시작한 종은 방동사니, 부들속 등이었으며 그 이후에도 많은 수가 발아하였다. 골풀, 중대가리풀, 방동사니대가리, 애기골무꽃 등은 8월에 발아하였다.

## 고 찰

### 토양종자 은행의 크기와 종다양성

일반적으로 토양 종자은행에서 종의 수는 군집 다양성을 반영한다. 예를 들어, 염습지보다는 담습지에서 단위면적당 종자수와 종 다양성이 높으며, 더 오래된 습지일수록 새로 형성된 습지보다 더 많은 종자를 가지는 경향이 있다는 결과가 보고된 바 있다(Johnson 2004). 그러므로 토양 종자은행의 종 다양성을 살펴보는 것은 습지의 중요한 변이를 설명할 수 있는 방법이다. 본 연구의 세 연구지역 중 진관내동이 개체수 및 종수가 가장 많다. 따라서 진관내동은 지하부 식물상에서의 종 다양성이 높으며 식생 잠재성이 풍부하다고 볼 수 있다. 가장 많은 개체가 출현했던 군락은 진관내동의 버드나무군락이었으며 그 다음은 진관내동의 달뿌리풀군락과 갈대군락이었으므로 이들 군락은 다른 군락들에 비하여 잠재 식생이 풍부한 지역이다.

### 지상부와 지하부의 우점종 차이

몇몇 습지에서 현존 식생이 토양 종자은행에 존재하는 종과

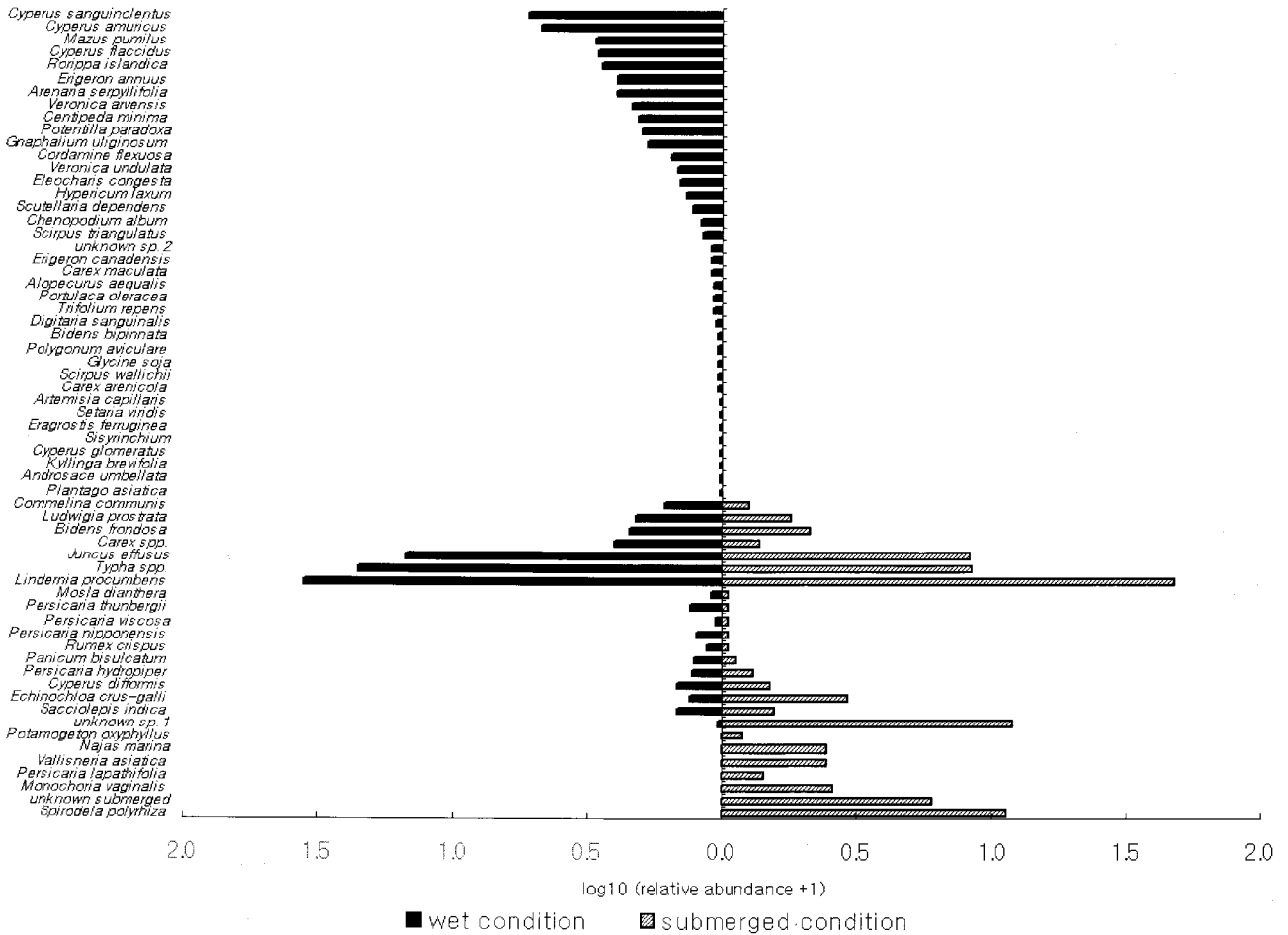


Fig. 3. Relative abundance of each species in two hydrologic conditions.

관계가 있다는 보고가 있으나(van der Valk and Davis 1978, Schneider and Sharitz 1986), 다른 연구들은 토양 종자은행이 반드시 현존 식생과 일치하지는 않는다고 밝히고 있다(van der Valk and Davis 1979, Baldwin *et al.* 1996). 또한 토양 종자은행의 종 구성이 식물군락의 구성과 흡사한 습지라 하더라도 토양 종자은행이 식생을 반영하는 범위에는 상당한 변이가 있다(Parker and Leck 1985). 대부분 현존식생과 토양 종자은행 간의 상관관계가 관찰되지 않는 경우가 많고 실험조건을 야외와 비슷하게 설치했을 때조차 아예 우점종의 종자가 발견되지 않는 경우도 있다(van der Valk and David 1979, Baldwin *et al.* 1996). 이는 지상부를 우점하고 있는 식물의 종 특성과 발아환경에 기인하는 경우가 많다. 본 연구의 식물군락별 토양 종자은행 확인실험 결과 갈대, 달뿌리풀, 버드나무, 은사시나무, 고마리 등 대부분의 군락에서 지하부 우점종은 지상부에서의 우점종과 일치하지 않았을 뿐 아니라 토양 내에 종자가 거의 포함되어 있지 않았다. 토양 종자은행에 목본이 드문 것은 목본의 종자가 피식율과 분해율이 높으며 생식물에 있어서 차이가 크기 때문이다(Leck 1989). 또한 목본과 같은 수명이 긴 종들은 종자 생산이 적기 때문일 수 있다. 따라서 은사시나무 군락이나 버드

나무군락에서 목본의 유묘가 잘 발아되지 않는 것이다. 또한 지상부 우점종이 대부분 무성생식으로 번식하여 토양 종자은행에 종자를 거의 첨가시키지 않는 다년생 종일 때에도 지상부와 지하부의 식물상 간에 종 구성 차이가 발생하기도 한다(Leck 1989). 본 연구 결과 중 달뿌리풀, 갈대, 고마리 등의 다년생이 우점하는 군락의 토양 종자은행에서 우점종이 토양 종자은행에서 거의 관찰되지 않은 것은 그와 같은 이유라고 설명할 수 있다. 예외적으로 군락별 토양 종자은행 연구 결과 지상부에서 부들속 식물(부들 및 애기부들)이 우점하는 경우에는 지하부와 우점종이 일치하였다. 부들 속은 다년생이지만 토양 종자은행 연구에서도 많은 수의 유묘가 출현하였다. 따라서 부들속은 많은 종자를 생산하여 토양 종자은행에 첨가시키며 발아되는 개체수도 많아 종자 의존성이 높다고 볼 수 있다.

어떤 종들은 토양 종자은행에는 종자가 풍부하지만 현존식생에서는 잘 발아되지 않는 경우가 있다(Leck 1989). 본 연구에서 골풀, 발톱외풀 등은 토양 종자은행에서 출현 개체수의 대다수를 차지할 만큼 많은 수가 발아되었으나 보통 야외에서는 발아가 많이 이루어지지 않으며 개체의 크기가 작아 피도, 생산성 등에서 차지하는 비중이 높지 않다. 지상부 식생 구성에서 일년

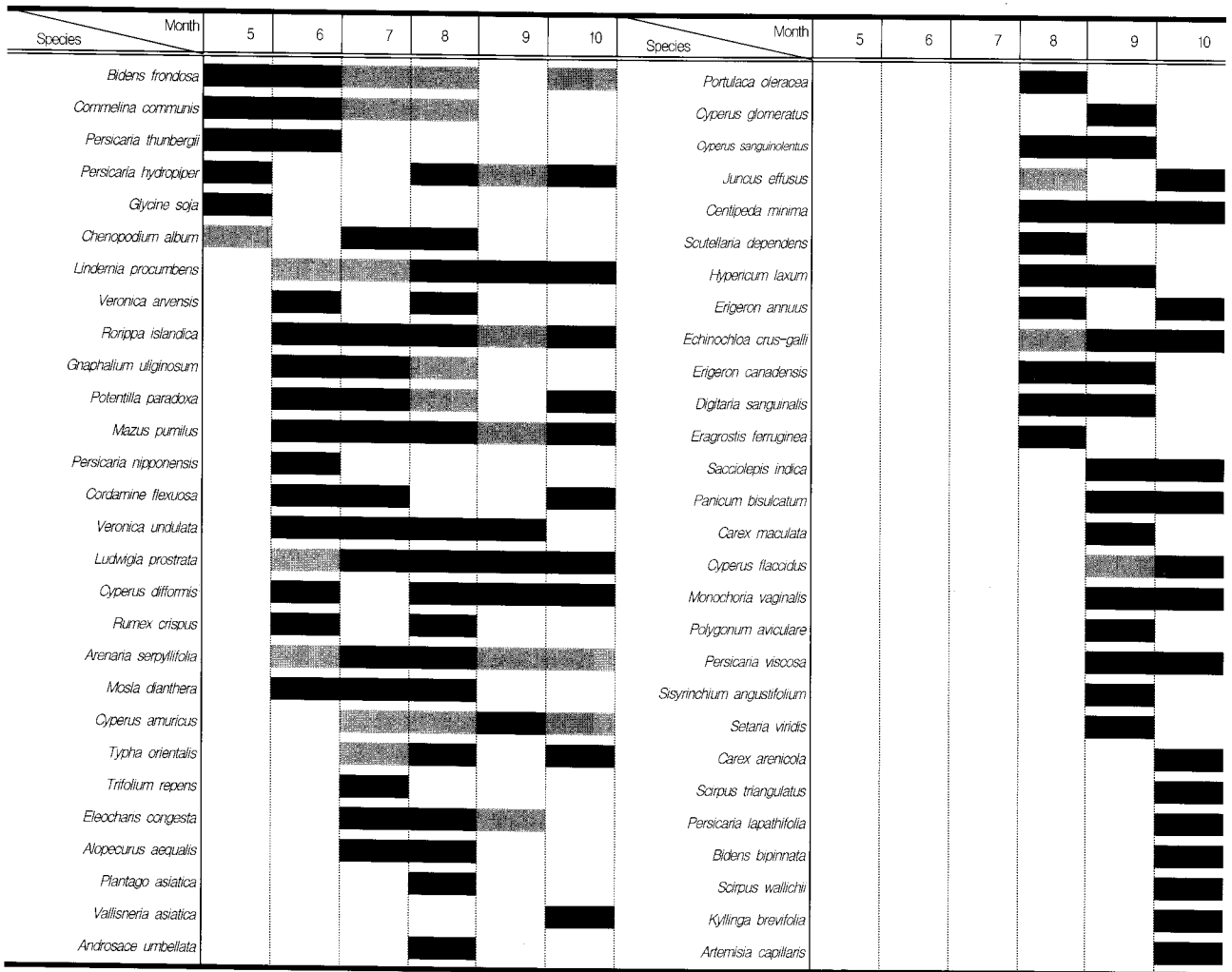


Fig. 4. The germination period of each species (■ : >10% of total germinations in each species, ▒ : <10% of total germinations in each species).

생 식물의 중요도가 높고 벼과 또는 사초과 식물이 적은 군락일 수록 현존식생이 좀 더 토양 중자은행에 잘 반영되는 경향이 있다(Leck 1989). 이와 같이 토양 중자은행에 대한 검증은 야외에서 잘 발아하기 어려운 1년생의 종자에 대한 조사가 가능하므로 복원 계획을 세울 때 유용하다.

수위 조건에 따른 발아종의 차이

습지의 수문학적 조건은 토양 중자은행으로부터 출현하고 정착하는 군집의 종류를 대부분 결정하며(van der Valk and Davis 1978) 각각의 종들은 구계를 따라 침수 정도에 다르게 반응한다(Keddy and Ellis 1985). 사실상 물의 깊이는 습지식물의 발아에 가장 큰 영향을 미치는 요소이며 이는 물의 깊이가 산소, 염, 빛 등에 영향을 미치기 때문이다(Casanova and Brock 2000). 본 연구에서 동일한 토양 중자은행이라 하더라도 습윤조건에서 토양 위로 2cm이상의 물을 유지해준 침수조건보다 더 많은 개체수와 종수가 출현하였다. 이는 습지식물의 다수를 차지하는 대부분의 정수식물과 mud-flat species 등이 물에 잠겨 있지 않을

때 발아하기 때문이다(van der Valk and Davis 1978). 많은 정수식물들의 종자는 물 속에서는 발아할 수 없으며 살아남지도 못하는 경우도 많다. 이러한 종들은 보통 범람 조건 동안에는 영양 번식에 의존하며 시간과 장소 조건이 적당할 때만 발아한다(Titus and Hoover 1991). 이러한 이유로 침수조건에서는 습윤조건에 비하여 종수 및 개체수가 현저하게 적다. 그러나 습윤조건에서 출현하지 않는 침수 및 부유 식물이 발아하였으며 일부 정수식물도 발아하였다. 일반적으로 종자들은 산소가 부족한 상태에서 계속 물을 흡수하면 종자는 죽게 되지만 어떤 종들의 종자는 물에 잠겨 산소가 없는 상태에서만 발아가 일어난다(Rumpho and Kennedy 1981). 즉, 부유식물이나 침수식물, 일부 정수식물들이 침수조건에서 발아가 가능한 것은 저산소 상태의 스트레스가 오히려 휴면을 타파시켜 종자에 발아능을 부여하기 때문이다(Cronk and Fennessy 2001). 본 연구의 침수조건에서만 출현한 개구리밥과 같은 부유식물이나 민나자스말 등의 침수식물, 그리고 물닭개비 등의 일부 정수식물들은 토양 위에 물이 유지되어 저산소 조건의 스트레스를 통해 휴면이 타파되어 발아

한 것으로 보인다. 이러한 적응을 통해 토양 위에 물이 덮여 있어야만 생육이 유리한 부유식물, 침수식물, 일부 정수식물은 생육환경을 선택해서 살아남을 수 있게 되는 것이다.

Rumpho와 Kennedy(1981)의 연구결과에 따르면 벼와 돌피는 무산소 조건과 산소 조건 둘 다에서 모두 잘 발아한다. 본 연구를 통해 국내 습지식물 중 두 종 이외에도 본 연구 결과에서 발뚝외풀, 골풀, 부들속 식물, 여뀌바늘, 미국가막사리, 닭의장풀, 좁물뚝새 등도 침수 및 습윤조건에서 모두 발아하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 이러한 종들은 산소조건과 무산소조건에서 모두 발아할 수 있는 것으로 추후 발아실험을 통해 결과에 대한 뒷받침이 필요하다.

야외에서의 수문주기 상으로 잘 침수되지 않는 지역인 진관내동 고마리군락과 방이동 은사시나무군락은 침수조건에서 실험했을 때 발아한 종자가 거의 없었다. 이러한 군락의 경우 홍수에 의한 교란이 일어났을 때 식생 회복이 다른 군락에 비하여 늦어질 수 있다. 고마리군락은 고마리가 일반적으로 정수가 있는 습지에서도 우점하는 종인 것을 감안할 때 침수 조건에서 발아한 개체가 거의 없었다는 점은 특이한 사항이며 이를 밝히기 위해 고마리의 발아 특징에 대한 연구가 추후에 더 이루어져야 할 것으로 생각된다.

수변으로부터 거리에 따른 토양 종자 은행

밤섬의 거리별 토양 종자은행에서는 수변 3(수변으로부터 거리 300~350cm)에서 가장 많은 종자가 관찰되었으며 다음으로 수변 4, 수변 2, 수변 5, 수변 1의 순이었다. 수변 3은 수변과 식생의 중간 지대로써 가장 수위 변동이 많은 곳이다. 종자 살포에 있어서 물에 의존하는 경향이 강한 습지식물 종자의 특성상 수위 변동이 많은 수변 3에 가장 많은 종자를 첨가시킨 것으로 보인다. 수변 3과 멀어지는 순으로 개체수가 적어지며 가장 적은 곳은 수변 1로, 식생대에서도 멀며 수위 변동도 많지 않아 토양 종자은행의 크기가 비교적 작다. 따라서 하천변 토양 종자은행에서는 물의 흐름을 따라 종자가 이동하며 수위변동을 따라 토양 종자은행이 형성되는 것으로 보인다.

외래식물의 발아와 수위조건

특이할 만한 것은 출현 식물 중 외래식물로 알려진 개망초, 망초(*Erigeron canadensis*), 미국가막사리, 소리쟁이(*Rumex crispus*), 토끼풀(*Trifolium repens*)이 습윤조건에서는 모두 나타난 반면 침수조건에서는 미국가막사리만이 출현하였다. 따라서 토양 위에 물이 덮여있으면 습지식생을 위협하는 침입성 식물들의 왕성한 번식을 어느 정도 제어할 수 있으리라고 예상된다.

출현 종의 발아 기간

본 토양 종자은행 연구에서 출현한 종들의 발아기간을 살펴 보면 발뚝외풀, 속속이풀, 주름잎, 물칭개나물 등 많은 1년생 식물들의 종자가 봄부터 가을까지 지속적으로 발아되고 있다. 그러나 야외에서는 갈대, 달뿌리풀, 고마리 등의 다년생 식물이 우

점하고 있어 많은 수가 발아되지 않을 뿐 아니라 지속적인 발아가 이루어지고 있지 않다.

적 요

서울시 생태계 보전지역인 진관내동 습지, 방이동 습지와 밤섬에서 2004년 3월 토양을 채취한 후 5월부터 10월까지 유묘출현법(seedling emergence method)으로 토양 종자은행을 관찰하였다. 그 결과 진관내동에서는 총 42종, 5,190개체가 출현하였고, 방이동에서는 총 39종, 2,265개체, 밤섬에서는 총 39종, 1,047개체가 발아하였으며 가장 개체수가 많았던 곳은 진관내동 버드나무군락이었다. 진관내동 습지와 밤섬에서 가장 많은 개체수를 보인 것은 발뚝외풀이었고 방이동 습지에서는 부들속 식물들이었다. 진관내동과 방이동에서 실시한 군락별 토양 종자은행 조사 결과 갈대군락, 버드나무군락, 고마리군락, 달뿌리풀군락, 은사시나무군락 등에서 지상부 우점종과 지하부 우점종이 서로 다른 반면 애기부들군락과 부들군락에서는 일치하였다. 습윤조건에서 56종, 침수조건에서 25종이 출현하였고, 두 조건에서 다 출현한 종은 18종이었다. 개구리밥 등의 부유식물과 물닭개비 등의 일부 정수식물은 침수조건에서만 발아하였다. 부들속 식물, 돌피 골풀 등의 정수식물은 습윤과 침수 조건 모두에서 발아하였다. 밤섬에서 채취한 수변으로부터의 거리별 토양 종자은행에서는 수위의 유동성이 큰 수변 3(식생대로부터 거리 300~350m)에서 가장 많은 수의 종자가 관찰되었다.

감사의 글

서울시 생태계 보전지역에서 본 연구를 수행할 수 있도록 협조하여 준 서울시에 감사드립니다. 본 연구는 과학기술부 목적기초연구(R08-2004-000-10225-0)의 지원으로 수행되었다.

인용문헌

서울시정개발연구원. 2001. 서울시 우수 생태계지역 정밀조사 연구. 서울특별시. pp. 283-316.  
서울특별시. 2002. 밤섬 생태계 보전지역의 생태변화관찰 및 관리 대책. 33p.  
서울특별시. 2004. 밤섬 생태계 보전지역의 생태변화관찰 및 관리 대책. 143p.  
서울특별시. 2005. 진관내동 생태계 보전지역 생태변화관찰 및 관리 대책. 85p.  
이경재, 권전오, 이수동. 2003. 서울시 주요 습지유형별 생태적 특성 분석. 한국환경생태학회지 17: 44-55.  
이창복. 1999. 대한식물도감. 향문사. 990p.  
Avermthy, V.J. and N.J. Willby. 1999. Changes along a disturbance gradient in the density and composition of propagule banks in floodplain aquatic habitats. Plant Ecol. 140: 177-190.  
Baldwin, A.H., K.L. McKee and I.A. Mendelsohn. 1996. The influence of vegetation, salinity, and inundation on seed banks of oligohaline



- coastal marshes. *Am. J. Bot.* 83: 470-479.
- Bigwood, D.W. and D.W. Inouye. 1988. Spatial pattern analysis of seed banks: an improved method and optimized sampling. *Ecology* 69: 479-507.
- Brock, M.A., K.H. Rogers. 1998. The regeneration potential of the seed bank of an ephemeral floodplain in South Africa. *Aquatic Bot.* 61: 123-135.
- Casanova, M.T. and M.A. Brock. 2000. How do depth duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? *Plant Ecol.* 147: 237-250.
- Cronk, J.K. and M.S. Fennessy. 2001. *Wetland Plants: Biology and Ecology*. CRC Press. U.S.
- Galatowitsh, S.M. and A.G. van der Valk. 1996. The vegetation of restored and natural prairie wetlands. *Ecol. Applic.* 6: 102-112.
- Haag, R.W. 1981. Emergence of seedlings of aquatic macrophytes from lake sediments. *Can. J. Bot.* 61: 148-156.
- Harwell, M.C. and K.E. Havens. 2003. Experimental studies on the recovery potential of submerged aquatic vegetation after flooding and desiccation in a large subtropical lake. *Aquatic Bot.* 77: 135-151.
- Johnson, S. 2004. Effects of water level and phosphorus enrichment on seedling emergence from marsh seed banks collected from northern Belize. *Aqua. Bot.* 79: 311-323.
- Keddy, P.A. and T.H. Ellis. 1985. Seedling recruitment of 11 wetland plant species along a water level gradient: shared or distinct responses? *Can. J. Bot.* 63: 1876-1879.
- Leck, M.A. 1989. *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press. New York. 462p.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2000. *Wetlands*. Van-Nostrand-Reinhold. New York. 920p.
- Parker, V.T. and M.A. Leck. 1985. Relationships of seed banks to plant distribution patterns in a freshwater tidal wetland. *Am. J. Bot.* 72: 161-174.
- Rumpho, M.E. and R.A. Kennedy. 1981. Anaerobic metabolism in germinating seed of *Echinochloa crus-galli* (barnyard grass) metabolite and enzyme studies. *Plant Physiol.* 68: 165-168.
- Schneider, R.L. and R.R. Sharitz. 1986. Seed bank dynamics in a southeastern riverine swamp. *Am. J. Bot.* 73: 1022-1030.
- Schupp, E.W. 1995. Seed-seedling conflict, habitat choice, and patterns of plant recruitment. *Am. J. Bot.* 82: 399-409.
- Smith, L.M. and J.A. Kadlec. 1983. Seed banks and their role during drawdown of a North American marsh. *J. App. Ecol.* 20: 673-684.
- Titus, J. and D.T. Hoover. 1991. Toward predicting reproductive success in submersed freshwater angiosperms. *Aquatic Bot.* 41: 111-136.
- van der Valk, A.G. and C.B. Davis. 1976. The seed banks of prairie glacial marshes. *Can. J. Bot.* 54: 1832-1838.
- van der Valk, A.G. and C.B. Davis. 1978. The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes. *Ecology* 59: 322-335.
- van der Valk, A.G. and C.B. Davis. 1979. A reconstruction of the recent vegetational history of a prairie marsh, eagle lake, Iowa, from its seed bank. *Aquatic Bot.* 6: 29-51.
- Warwick, N.W.M. and M.A. Brock. 2003. Plant reproduction in temporary wetlands: the effects of seasonal timing, depth, and duration of flooding. *Aquatic Bot.* 77: 153-167.

(2005년 8월 2일 접수; 2005년 10월 15일 채택)