

침수지에서 식물 생태 천이와 군집변화

허만규* · 최주수 · 문성기¹

동의대학교 분자생물학과, ¹경성대학교 생물학과

Received July 21, 2006 / Accepted October 13, 2006

Plant Succession and Changes on Community at Flooding Area. Man Kyu Huh*, Joo Soo Choi and Sung Gi Moon¹. Dept. of Molecular Biology, Dong-eui University, Busan 614-714, ¹Dept. of Biology, Kyungsung University, Busan 608-736 – Community structure varies not only in space but also in time. We stand in one position which located at Sinhung-ri, Sacheon-ci and observe the flora of area as time passes. This area begins after disturbance on sites where organisms are already present like secondary succession. In 2001, there are invaded by *Trapa japonica*, *Salvinia natans*, and *Potamogeton cristatus*. Four or five years later, this abandoned areas support of clover, pine, and oak, resulting in a shifting pattern of species dominance and diversity through time. Patterns of community structure such as species composition and ecological diversity have shown through seasons and five years, that is the topic of this study. The values of turnover (TO) were changes through time intervals at three regions. The gradual and seemingly directional change in the structure of the community through time from aquatic like to field. Thus, we can observe the process of secondary succession at Sinhung-ri in the very short time.

Key words – Community structure, secondary succession, turnover

서 론

생태계는 환경의 일주기나 계절주기에 관계없이 보다 큰 시간적 규모로 군집은 환경의 변화와 더불어 일정한 방향으로 군집상을 바꾸어간다[7]. 이와 같은 군집 변천을 생태천이(ecological succession)라 한다. 생태계는 군집구조는 공간이나 시간에서 무질서하게 변화하는 것이 아니라 반복적이고 때로는 예상 가능한 패턴으로 변화하게 된다. 여기서 주도적인 역할을 수행하는 것이 보통 식물군락의 천이이다[13].

육상의 생태계에는 식물의 종조성과 생활형의 변화와 함께 군락내의 미기후나 토양조건이 현저하게 변한다[3]. 생물군락의 변화는 그 속에 서식하고 있는 동물군집에 대해서도 영향을 미쳐서 동물의 종조성과 밀도를 변화시키고 그와 동시에 미생물의 활동도 변화하여 토양의 이화학적 성질도 바꾸는데 중요한 역할을 한다. 흔히 생태 천이는 나지, 모암, 해중에 유기한 새로운 섬, 화산의 분출 등 불모의 상태에서 출발하는 것을 1차 천이계열이라 하며 이러한 입지는 보통 식물의 생육에 부적당하므로 개척자(pioneers)는 극단의 조건에서 생존할 수 있는 능력을 가지지 않으면 안 된다. 처음 혹은 초기 연속적인 종(종종 개척종이라고 부른다)은 보통 높은 성장률과 작은 크기, 넓은 분포와 빠른 증식과 같은 특징이 있다. 반대로 늦은 천이의 종은 일반적으로 느린 성장률과 높은 수고, 그리고 수명이 길다. 초기와 말기의 단어가 함

축하듯이 시간에 따른 종의 교체 패턴은 임의분포가 아니다.

그리고 기존의 군락의 파괴(이러하면 화재, 벌목, 홍수 등)에 의해 중요한 종이 대부분 소멸한 곳에 2차 천이 계열이 일어난다. 이 때 다른 곳에서 종자 등이 이동해 오는 경우도 있으나 잔존한 근계나 종자 등이 다시 발육하여 군락을 형성하고 천이가 시작되기도 한다[7].

방해는 군집이 집단을 분열시키고 매질을 변화시키고 자원의 유용함을 바꾸고 새로운 종에게 기회를 준다. 방해는 공간적이고 일시적인 특징을 가지고 있다. 이런 특징은 방해받는 지역의 크기, 단위시간당 방해받는 개체수, 방해의 정도, 단위 시간을 포함하고 있다. 또한, 방해는 규모의 문제이다. 방해는 한 나무의 죽음과 같이 작고 잦은 방해와 산불, 화산, 산사태, 벌목 활동에 의한 광활한 지역의 방해가 있다. 작은 규모의 방해를 결정하는 것은 방해가 일어나는 지역의 크기와 관련 있다[8]. 아주 작은 숲에서 한 그룹의 나무가 멸종되는 것은 흩어진 나무의 멸종과 넓은 숲의 작은 그룹의 나무가 멸종하는 것보다 영향이 더 크다. 나무의 개별적이거나 단체적인 죽음은 기질이나 양지의 발생을 일으킨다. 숲의 이런 구멍은 공간(gap)은 유용성과 토양, 온도, 영양소 그리고 감소된 토양의 수분과 상대습도를 증가시킨다.

억압받았던 성장은 이런 갑작스런 생김 요소에 의해서 자극을 받는다[9]. 작은 수관사이의 틈새는 음지에 강한 식물에게 유익하다. 만약 구멍이 크다면(벌목, 벌레공격, 바람, 그리고 얼음 폭풍에 의해서 생김) 나무 그루터기는 썩어 트고 억압받았던 묘목과 기회주의적인 종의 번식이 일어날 것이다. 구멍의 조성은 다양한 종의 경쟁에 의해서 결정될 것이다.

*Corresponding author

Tel : +82-51-890-1529, Fax : +82-51-890-1521

E-mail : mkhuh@deu.ac.kr

빠르게 자라나고 음지를 싫어하는 종은 음지를 좋아하고 나 중에 구멍을 막을 아래층에 사는 종을 압도할 것이다. 구멍은 군집의 천이의 다른 상태를 만들어 낸다. 장기간의 작은 규모의 방해는 종의 풍부도와 성숙한 숲의 생태시스템에서 구조적인 다양성을 유지하는데 중요하다.

본 연구의 목적은 억압받았던 농지에서 갑자기 생긴 댐으로 인해 저습지로 변화하였고, 잦은 침수로 침수되어 그 주변지역은 퇴적물로 육화가 일어나고 있다. 따라서 생태계내 이런 차이와 연도에 따른 생태 천이가 어떻게 바뀌어 가는 지, 주기적인 담수에 따른 환경변화가 생태 천이에 어떻게 영향을 주는지 조사하였다.

재료 및 방법

조사 지역

본 조사지역은 경상남도 사천시 곤명면 신흥리 일대의 남강댐 상류의 저습지(35°05'181"N~35°05'182"N, 127°45'290"~28°00'00") (Fig. 1). 이 지역은 남강댐 건설(1962~1970)이후 잦은 침수와 남강댐 보강 공사(1992~1996)이후 주변 농경지가 소실되고 하천은 댐 상류 저습지로 방치된 지역이다. 주변구역에 있던 자연 마을도 외부로 이주하여 인위적 간섭이 배제된 지역이다.

구역 구분

조사지역내 3개 구역으로 나누어 구역 내 종조성, 생물종 다양도, 생태적 다양도 지수 등을 산출하였다. 세 구역으로 나누는 기준은 지형을 고려하여 편의상 기존 하천지역(B), 좌측 수변지역(A), 우측 수변지역(C)으로 나누었다(Fig. 2).

조사 시기 및 내역

조사 시기는 2001년부터 2005년까지 5년간 사계절로 나누어 실시하였다. 계절별로 나누는 것은 초본류가 우점하므로 냉이같이 봄에 출현하여 가을에 소멸하거나, 국화같이 여름과

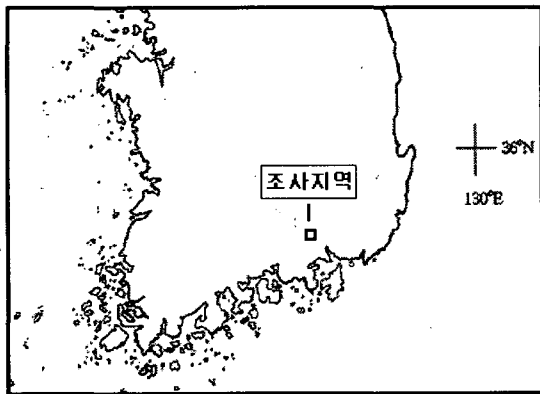


Fig. 1. The studied area (Sinhung-ri, Saceon-ci, Gyeongsangnam-do).

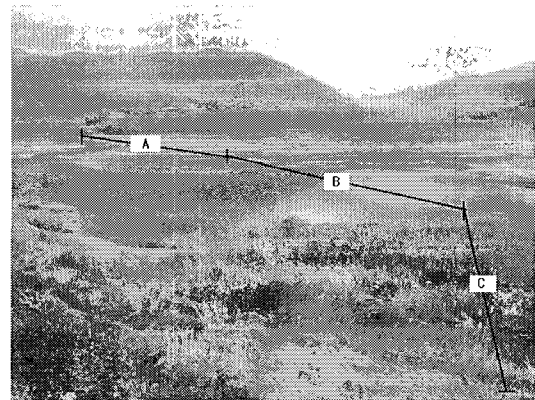


Fig. 2. Three regions in the studied area. A: The left water's edge, B: The edge of water and water's edge, C: The right water's edge (grass fields near water system)

가을에 출현하여 겨울에 소멸하는 특성과 여름 집중호우 이후 토양 세탈과 더불어 뿌리까지 소멸하여 여름과 가을을 전후하여 차이가 있는 종이 발생하였기 때문에 계절별 조사를 실시하였다. 주된 조사 시기 외 수시로 현장에서 확인하여 식생의 변화를 조사하였다.

종다양도와 통계처리

구역별 얻어진 1차 데이터 간 유의한 차이가 있는지 통계 프로그램 SAS을 사용하여 비교하였다. 종풍부도는 Shannon-Weiner index를 사용하였다[12].

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i)(\ln p_i)$$

s는 전체 종수이고, p_i는 i번째 종에 속하는 개체들의 빈도이다.

종 다양도는 생태학 연구에 일반적으로 많이 이용되는 다음과 같이 두 식을 이용하였다. 첫째는 군집내 종수로 흔히 species richness라 부르며 R로 표시된다[15]. 둘째는 종 균등도 지수로 species evenness or equitability라 부르며 E로 표시된다[10].

$$R1 = \frac{s-1}{\ln(n)} \quad (s: \text{군집내 전체 종 수})$$

$$R2 = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (n: \text{관찰된 개체들의 총 수})$$

지역에서 종조성의 변화는 이주하는 종과 절멸되는 종에 대해 치환율(turnover, TO)로 산출하였다[5].

$$TO = \frac{I + E}{S_t + S_{t+1}}$$

I: 이주율(t시기에는 출현하지 않으나 t+1시기에는 출현하는 종). E: 절멸율(t시기에는 출현하나 t+1에는 출현하지 않는 종). S_t: t시기의 종 수.

유사도 지수는 Jaccard's coefficient (J)로 구역간 유사 정도를 산출하였다[14].

$$J = \frac{\text{구역 A와 B에 공통으로 나타난 종 수}}{\text{구역 A에 나타난 종 수} + \text{구역 B에 나타난 종 수}}$$

결 과

2001년도

2001년도 이 지역에 강우는 1546.9 mm였다. 이 지역은 6월에 3일, 7월에 2일간 침수되어 총 5일간 침수되었다. 이 지역에 출현한 식물 종은 물피, 피, 생이가래, 억새, 갈대, 개구리밥, 미나리 등 모두 초본이었다(Appendix 1). 농경지에 분포하는 종수가 많아 아직 이 지역의 생태가 기존의 잔근이나 주변의 종자 유입으로 형성되어 있었다. 수생천이계열의 2차 천이의 초기 양상과 유사하나 침수식물로 보기 어려운 미나리, 피, 조개풀, 새 등이 있다. 조사한 5년 중에만 국한 한다면 가장 천이의 초기에 해당된다.

다양도 지수는 구역 C가 가장 다양도가 높고, 구역 B순으로 가장 낮았다. 이는 구역 B가 연중 수계를 형성하므로써 봄과 여름에 마름이나 생이가래 등만 분포하였기 때문이다. 풍부도 지수는 세 구역간 유의한 차이를 나타내었다(p<0.05). 균등성 지수는 세 구역간 유의한 차이를 나타내지 않았다(p>0.05).

2002년도

농경지에 분포하는 종수가 이 지역에 형성되어 있었다. 천이단계로 수생천이계열의 2차 천이의 초기 양상과 유사하나 침수식물로는 마름, 생이가래, 가는가래, 물피의 출현으로 매우 빠른 천이를 나타내었다. 이는 이 지역이 척박한 토양이 아니라 기존의 농경지였고 또한 상류에서 유입되는 식물, 주변에서 유입되는 종자 등에 기인한 것으로 보인다.

다양도 지수는 구역 C가 가장 높고, 구역 B순으로 가장 낮았다. 이는 전년도와 유사한 경향이였다. 풍부도 지수는 세 구역간 유의한 차이를 나타내었으나 균등성 지수는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Table 1. Capitulation and environmental characteristics at this area

Year	Capitulation (mm)				Year	Flooding	
	June	July	August	October		Region	Day
2001	323.5	266.6	137.1	107.3	1216.3	A, B, C	5
2002	81.7	300.0	760.1	116.5	1817.1	A, B, C	9
2003	259.6	481.0	343.0	321.1	2151.2	A, B	5
2004	243.0	229.5	348.5	213.6	1575.0	A, B	6
2005	113.5	273.6	297.3	54.8	1113.7	A, B	3
Mean/yr	217.8	291.1	286.2	156.2	1493.2	-	-

Table 2. Species composition and ecological diversity indices in 2001

Season	Region			Total & Significance
	A	B	C	
Spring				
Species	6	4	7	8
Species diversity	1.577	1.182	1.752	***
Species richness	1.242	0.851	1.274	**
Species evenness	0.802	0.686	0.664	ns
Summer				
Species	6	4	8	12
Species diversity	1.654	1.316	1.907	***
Species richness	1.207	0.837	1.423	*
Species evenness	0.756	0.667	0.683	ns
Fall				
Species	6	4	9	10
Species diversity	1.647	1.292	1.920	***
Species richness	1.299	0.910	1.646	**
Species evenness	0.875	0.770	0.792	ns
Winter				
Species	5	3	9	9
Species diversity	1.479	0.960	1.931	***
Species richness	1.228	0.805	1.668	***
Species evenness	0.981	0.866	0.818	ns

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001.

Table 3. Species composition and ecological diversity indices in 2002

Season	Region			Total & Significance
	A	B	C	
Spring				
Species	8	5	11	11
Species diversity	1.789	1.530	2.260	***
Species richness	1.642	0.965	1.849	***
Species evenness	0.949	0.630	0.737	*
Summer				
Species	9	6	11	13
Species diversity	2.027	1.629	2.247	***
Species richness	1.778	1.169	1.810	**
Species evenness	0.949	0.707	0.694	*
Fall				
Species	4	2	6	8
Species diversity	1.307	0.673	1.765	***
Species richness	0.921	0.621	1.216	**
Species evenness	0.784	0.894	0.768	ns
Winter				
Species	4	2	6	8
Species diversity	1.320	0.673	1.754	***
Species richness	1.001	0.621	1.285	**
Species evenness	0.894	0.894	0.857	ns

2003년도

민들레나 귀화식물인 서양민들레 같은 풍산포 종자의 유입이 있었다. 천이의 초기 양상에 해당되는 초본류와 중간단계에 나타나는 개수양버들이나 버드나무가 형성되어 있었고, 천이가 매우 오랜 후에 나타나는 소나무의 분포는 천이가 혼란한 상태로 보이거나 소나무의 개체수가 군락을 형성할 정도가 아니므로 아직은 천이의 초기에 해당되나 진행이 빠른 것만은 사실이다. 또, 귀화식물의 침투가 있었다.

다양도 지수는 구역 C가 가장 다양도가 높고, 구역 B순으로 가장 낮았다. 이는 전년도와 유사한 경향이였다. 풍부도 지수는 세 구역간 유의한 차이를 나타내었다. 균등성 지수는 세 구역간 유의한 차이를 나타내지 않았다.

계절별 차이는 봄과 겨울에 형성된 식생은 크게 차이가 났다. 이는 여름에 집중호우로 기존의 초본이 많이 소멸되는 방해요인이 작용한 탓으로 보인다.

2004년도

신갈나무, 아카시나무 등 목본류가 처음으로 침입하였다. 천이의 초기 양상에 해당되는 초본류와 중간단계에 나타나는 육상 초본류(매듭풀, 토끼풀) 등이 형성되어 있었고, 육상 수목의 출현도 있어 여러 천이 단계가 혼재한다.

다양도 지수는 구역 C가 가장 높고, 구역 B순으로 가장 낮았다. 이는 전년도와 유사한 경향이 지속되고 있었다. 풍부도 지수는 세 구역간 유의한 차이가 크게 나타나고 있었다. 균

등성 지수는 세 구역간 유의한 차이를 나타내지 않았다.

계절별 차이는 봄과 겨울에 형성된 식생은 크게 차이가 없었다. 이는 전년 여름에 집중호우 같은 방해요인이 크게 작용하지 않을뿐더러 침수되는 날짜도 길지 않은 탓으로 보인다.

2005년도

소나무, 신갈나무, 아카시나무 등 목본류의 침입이 계속 진행되었고, 초본류는 다른 지역의 평균 밀도보다 높아 중간 경쟁이 발생할 것으로 추정된다. 천이의 초기 양상에 해당되는 초본류가 우점인 구역 C는 전형적인 초본이 우점 하는 군락을 나타내었다. 이들은 중간단계에 나타나는 육상 초본류 들이다.

다양도 지수는 구역 C가 가장 높고, 구역 B가 가장 낮았다. 이는 전년도와 유사한 경향이 지속되고 있었다. 풍부도 지수는 세 구역간 유의한 차이가 크게 나타났다(p<0.01). 균등성 지수는 세 구역간 유의한 차이를 나타내는 계절이 많았다.

계절별 차이는 봄과 겨울에 형성된 식생은 크게 차이가 없었다. 이는 여름에 집중호우 같은 방해요인이 크게 작용하지 않을뿐더러 침수되는 날짜도 길지 않은 탓으로 보인다. 또한 구역 C는 거의 침수가 되어도 길지 않아 육상화가 이루어지고 있었다.

고 찰

심한 방해는 원래 군집을 바꾸기도 한다. 방해가 너무나

Table 4. Species composition and ecological diversity indices in 2003

Season	Region			Total & Significance
	A	B	C	
Spring				
Species	5	3	7	9
Species diversity	1.305	0.973	1.725	***
Species richness	1.003	0.614	1.272	**
Species evenness	0.680	0.588	0.661	ns
Summer				
Species	6	3	8	11
Species diversity	1.476	0.973	1.837	***
Species richness	1.211	0.614	1.440	**
Species evenness	0.762	0.588	0.704	ns
Fall				
Species	5	3	6	9
Species diversity	1.482	0.934	1.671	**
Species richness	1.134	0.692	1.141	*
Species evenness	0.857	0.707	0.671	ns
Winter				
Species	5	3	7	9
Species diversity	1.518	0.861	1.630	**
Species richness	1.228	0.739	1.369	*
Species evenness	0.981	0.775	0.783	ns

Table 5. Species composition and ecological diversity indices in 2004

Season	Region			Total & Significance
	A	B	C	
Spring				
Species	7	5	9	15
Species diversity	1.630	1.439	1.988	**
Species richness	1.478	1.084	1.665	**
Species evenness	0.919	0.791	0.815	ns
Summer				
Species	9	5	10	17
Species diversity	1.879	1.389	2.126	***
Species richness	1.801	1.092	1.789	**
Species evenness	0.976	0.801	0.808	ns
Fall				
Species	10	4	11	16
Species diversity	2.005	1.183	2.167	***
Species richness	1.942	0.831	1.949	***
Species evenness	0.985	0.658	0.846	*
Winter				
Species	7	3	9	14
Species diversity	1.689	0.780	2.035	***
Species richness	1.337	0.657	1.617	***
Species evenness	0.742	0.655	0.758	ns

Table 6. Species composition and ecological diversity indices in 2005

Season	Region			Total & Significance
	A	B	C	
Spring				
Species	8	6	10	15
Species diversity	1.798	1.677	2.125	**
Species richness	1.710	1.765	1.893	ns
Species evenness	1.033	1.455	0.928	*
Summer				
Species	10	6	12	18
Species diversity	2.100	1.750	1.414	***
Species richness	1.995	1.375	1.867	**
Species evenness	1.048	0.973	0.631	*
Fall				
Species	10	5	10	15
Species diversity	2.088	1.567	1.333	***
Species richness	2.042	1.384	1.511	***
Species evenness	1.104	1.179	0.509	**
Winter				
Species	7	4	8	13
Species diversity	1.442	1.050	1.457	*
Species richness	1.511	0.944	1.607	**
Species evenness	0.962	0.816	0.906	ns

심해서 원래 있던 군집은 회복될 수 없고 다른 군집이 그 자리를 차지한다. 예를 들어 스코틀랜드의 소나무가 북영국에 의해 잘렸을 때 황무지가 되었다. 아마존 지역의 광범위한 벌목은 열대 숲을 관목 사바나로 바꾸었다. 이런 큰 규모는 아니지만 본 조사지역에서 2002년에 침수기간이 다른 연도에 비해 길어 2003년에는 많은 종이 감소했다.

세 지역에서 연도별 종수의 치환율은 지역 A는 2003년과 2004년 사이가 가장 많이 이루어졌다(Table 7). 지역 B에서는 2002년과 2003년 사이가 가장 많이 이루어졌으나 전반적으로 다른 지역보다 낮았으며 2004년과 2005년에는 전혀 일어나지 않았다. 지역 C는 2003년 이후부터 가장 많이 이루어졌다.

세 지역에 대한 유사도는 육상화가 일어나는 A와 C가 가장 높았다(0.875) (Table 8). 갈수기를 제외하고 대부분 침수 상태로 있는 B지역은 다른 지역과 유사도가 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

Table 7. The values of turnover rate between time interval (TO) in three regions

Year	TO		
	A	B	C
2001-2002	0.077	0.150	0.048
2002-2003	0.412	0.625	0.290
2003-2004	0.560	0.200	0.368
2004-2005	0.350	0.000	0.347

Table 8. Jaccard's similarity coefficient among regions (below diagonal) and significance (above diagonal)

Region	A	B	C
A	-	**	ns
B	0.642	-	*
C	0.875	0.688	-

2001년도에는 이차천이의 초기단계로서 농경지에 분포하는 종수가 많았는데 기존의 잔근이나 주변의 종자 유입에 기인한다. 이는 고전적인 예로 잘 거론되는 미국 북캐롤라이나 Piedmont 지역 내 농경지가 환경변화 이후 이차천이계열과 유사한 양상이었다[2]. 본 연구에서 천이초기에 출현하는 종은 음지에 내성을 가지지 못하는 종이 우점하였다. 이는 초본 내에서도 음지에 내성을 없는 종이 빠른 성장을 하고 그늘에 내성을 가지는 종은 느리게 성장하는 생태학의 일반적 개념과 일치한다[1,6]. 또한 이 지역의 생태계에 중요한 환경인자는 물이다. 따라서 초기에는 가래과, 생이가래과, 화본과 같은 침수식물이 우점 하였다. 그러나 퇴적이 이루어진 A와 C지역에서는 침수하는 날짜가 적어 식물 군락을 형성하는 중요한 요인은 광선이다. 따라서 초본류 중에서도 수광량이 많은 식물이 우점 하였다. 한편, 2003년에는 특이적으로 귀화식물인 미국자리공의 출현이 있어 생태계의 교란을 유발할 수 있다[4,15]. 본 연구기간의 후반기에 속하는 2004년과 2005년에는 억새, 참억새, 달뿌리풀 같은 수생식물이 우점한 것은 B지역이고 A와 C지역은 비록 간헐적 침수가 이루어지지만 수중에서 생육할 수 있는 이들 식물은 생육이 제한되었다. 그러나 이들 식물은 퇴적물의 증가를 유발하고 토양의 안정화에 기여하므로 다른 육상 식물이 침입할 수 있도록 중요한 기능을 수행하였다.

본 연구에서 수 백 년 또는 수 천 년에 걸쳐 일어나는 생태 천이 과정을 보다 빠르게 진행 되는 현상이 발견되어 현장학습 장소나 자료로 매우 유익하게 제공될 수 있다. 이를 더 축소하면 방해요인으로 생태가 어떻게 교란이 일어나는지 관찰 할 수 있는 시뮬레이션과 같은 효과를 얻을 수 있다. 또한 농경지로 개발 되었던 곳에 환경파괴가 일어난 후 다시 방치된 지역에서 생태계가 발달 하는 것을 살펴봄으로써 환경변화에서 생태계가 어떻게 서서히 회복되는가를 배움으로써 인위적 환경파괴에 대한 경각심을 깨우칠 수 있다[11].

본 연구로 거시적으로 일어나는 생태천이 과정을 연구할 수 있는 매우 유익한 지역을 현장에서 볼 수 있었다. 이 지역은 천이의 초기 단계, 중간 단계, 그리고 비록 극상이나 아극상에 이르지 못했지만 목본류 출현 등 나중 단계까지 관찰 할 수 있는 지역으로 사료된다. 또한 방해요인으로 홍수나 침수에 의해 생태 천이가 어떻게 방해되고 새로 형성 되는가를 잘 살펴 볼 수 있는 현장 학습 자료로 매우 유익할 수 있다.

Appendix 1. The list of plant species

Scientific names	2001	2002	2003	2004	2005
Pinaceae					
<i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zucc.				A	A
Salicaceae					
<i>Salix dependens</i> Nakai				A,C	A,C
<i>S. koreensis</i> Andress.				A	A
Fagaceae					
<i>Quercus mongolica</i> Fisch.				A	A
Cannabaceae					
<i>Humulus japonicus</i> Siebold et Zucc.					A
Polygonaceae					
<i>Rumex acetocella</i> L.				A	A
<i>Persicaria blumei</i> Gross				B,C	B,C
<i>P. perfoliata</i> H. Gross				C	
<i>P. thunbergii</i> H. Gross				A,C	A,C
Phytolaccaceae					
<i>Phytolacca americana</i> L.				A	A,C
Cruciferae					
<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	A,C	A,C	A		
Leguminosae					
<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Sschin.			C	C	
<i>Robinia pseudo-acacia</i> L.			A	A	A
<i>Trifolium repens</i> L.			C	C	C
<i>T. pratense</i> L.			C	A,C	A,C
Umbelliferae					
<i>Ostericum stolonifera</i> (Bl.) DC.	B,C	B,C	C	C	C
Hydrocaryaceae					
<i>Trapa japonica</i> Flerov	B,C	B			
Compositae					
<i>Taraxacum mongolicum</i> H. Mazz.			A,C	A,C	
<i>T. officinale</i> Weber			A,C	A,C	
<i>Xanthium strumarium</i> L.				C	A,C
Alismataceae					
<i>Alisma canaliculatum</i> All. Br. et Bouche					A,C
<i>Sagittaria longiloba</i> Engelman					A,C
<i>Sagittaria aginashi</i> Makino					A,C
<i>Sagittaria pygmaea</i> Miquel					C
Salvinaceae					
<i>Salvinia natans</i> (L.) All.	B	B			
Potamogetonaceae					
<i>Potamogeton cristatus</i> Regel et Maack	B	B			
<i>P. crispus</i> L.	B	B			
Gramineae					
<i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino	A,C	A,C	C	C	
<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka	C	C	C	C	A,C
<i>Beckmannia syzigachne</i> (Steud.) Fern.					A,C
<i>Dactylis glomerata</i> L.					A,C
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	A,C	A,B,C	B,C		
<i>E. crus-galli</i> (L.) var. <i>oryzicola</i> Ohwi	A,B,C	A,B,C	A,C		
<i>E. crus-galli</i> var. <i>frumentacea</i> Wight	A,B,C	A,B,C	A,C		
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertner	A,C	A,C	A,C		
<i>Eragrostis ferruginea</i> (Thunb.) P. Beauv			C		
<i>E. multicaulis</i> Steud.					C
<i>Eriochloa villosa</i> (Thunb.) Kunth					A,C
<i>Festuca ovina</i> L.					A,C
<i>Hemarthria compressa</i> var. <i>japonica</i> Y. Lee					C
<i>Miscanthus robustus</i> Nakai				C	A,C
<i>M. sacchariflorus</i> Benth.				A,C	A,C
<i>M. sinensis</i> Anderss.				A,C	A,C
<i>M. sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Anderss.	C	C	A,C	A,C	A,C
<i>Phragmites communis</i> Trin.	C	B,C	B,C	A,B,C	B,C
<i>P. japonica</i> Steud.		A,B,C	A,B,C	A,B,C	A,B,C
Lemnaceae					
<i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schl.	B	B			
Typhaceae					
<i>Thypha latifolia</i> L.			A,B	A,B	C
<i>Thypha orientalis</i> Presl			B,C	B,C	C

참 고 문 헌

1. Bazzaz, F. A. 1979. The physiological ecology of plant succession. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **10**, 351-371.
2. Billings, W. D. 1938. The structure and development of odfield shortleaf pine stands and certain associated physical properties of the soil. *Ecol. Monographs* **8**, 437-499.
3. Connell, J. H. and R. O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Am. Natl.* **111**, 1119-1144.
4. Daehler, C. C. 2003. Performance comparisons of co-occurring native and alien invasive plants: Implications for conservation and restoration. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **304**, 183-211.
5. Huston, M. A. 1994. Biological Diversity: *The Coexistence of Species on Changing Landscapes*. pp. 681, Cambridge University Press, Cambridge, England.
6. Huston, M. and T. M. Smith. 1987. Plant succession: life history and competition. *Am. Natl.* **130**, 168-198.
7. Krebs, C. 2001. *Ecology*. pp. 385-458, 5th ed., Benjamin Cummings. San Francisco.
8. Legendre, P., M. R. T. Dale, M. J. Fortin, P. Casgrain and J. Guveritch. 2004. Effects of spatial structures on the results of field experiments. *Ecology* **85**, 3202-3214.
9. Oppenheimer, M. 1995. Context, connection, and opportunity in environmental problem solving. *Environment* **37**, 10-15.
10. Pielou, E. C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection, *J. Theoret. Biol.* **13**, 131-144.
11. Pyke, C. R. 2004. Habitat loss confounds climate change impacts. *Frontiers in Ecol. Environ.* **2**, 178-182.
12. Shannon, C. E. and W. Weaver. 1963. The measurement theory of communication. pp. 1-117, Univ. of Illinois Press, Urbana.
13. Smith, T. M. and M. Huston. 1987. A theory of spatial and temporal dynamics of plant communities. *Vegetation* **3**, 49-69.
14. Sørensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant biology based on similarity of species content. *Detkon. Danske. Vidensk. Biol. Skr.* **5**, 1-34.
15. Wisser, S. K., R. B. Allen, P. W. Clinton and K. H. Plarr. 1998. Community structure and forest invasion by an exotic herb over 23 years. *Ecology* **79**, 2071-2081.