한국습지학회지 제9권 제2호, 2007년 8월 (33 - 43)

우포늪 지역에서 버드나무류 군집의 현존식생도, 현존량 및 1차 생산성

김 태 근* / 이 팔 홍** / 오 경 환***+

The Actual Vegetation Map, Standing Crop Biomass and Primary Productivity of *Salix* spp. in the Upo Wetland

Tae-Geun Kim* / Pal-Hong Lee** / Oh Kyung-hwan***+

요약 : 버드나무속의 분포 현황과 생산성을 조사하여 버드나무속 군집을 보전하고 생태공학적으로 이용하는 데 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여 경남 창녕군 우포늪에서 2005년 4월부터 2006년 4월까지 버드나무속의 군집별 분포 면적, 현존식생도, 현존량, 상대생장 및 1차 생산성을 조사하였다.

1. 우포 지역에 분포하는 버들류 7종류 중 선버들이 우점종이고 왕버들이 아우점하였으며, *Salix* 군락은 선버들, 왕버들, 버드나무, 선버들-왕버들, 왕버들-선버들, 선버들-버드나무 군락 등 총 6종류였다.
2. *Salix* 군락의 분포 면적은 선버들 군락이 28.46 ha로 가장 넓고, 선버들-왕버들 군락, 왕버들-선버들 군락이 각각 6.12 ha, 선버들-버드나무 군락 2.92 ha, 왕버들 군락 1.86 ha, 버드나무 군락 0.81 ha 등의 순이었다.
3. *Salix* 군락을 구성하는 선버들은 수령 5~13년, 수고 4.1~7.2 m, DBH 3.0~14.0 cm 등이고, 왕버들은 수령 2~36년, 수고 3.5~10.1 m, DBH 3.2~26 cm 등이었다.
4. 선버들의 현존량은 408 ton 이었으며, 왕버들의 현존량은 336 ton 이었다.
5. 선버들의 연순생산성은 235 g m^{-2} yr^{-1}이고, 이를 우포지역으로 환산한 연순생산량은 86.4 ton yr^{-1}였으며, 왕버들은 1,006 g $m^{-2}yr^{-1}$ 및 80.3 ton yr^{-1}이었다.

핵심용어 : 상대생장, 식생도, 우포늪, 1차생산성, 현존량

Abstract : Distribution area, actual vegetation map, standing crop biomass, relative growth, and primary productivity of *Salix* spp. were investigated to provide the basic data necessary for conservation and ecotechnological application of *Salix* community in the Upo wetland, Changryeong County, Gyeongsangnamdo Province, Korea from April 2005 to April 2006.

1. Among seven *Salix* species, the dominant species was *S. nipponica* and *S. glandulosa* was subdominant. There were six kinds of *Salix* communities such as *S. nipponica, S. glandulosa, S. koreensis, S. nipponica-S. glandulosa, S. glandulosa-S. nipponica*, and *S. nipponica-S. koreensis.*
2. Distribution area of *S. nipponica* community was largest as 28.46 ha among *Salix* communities and those of *S. nipponica-S. glandulosa* community, *S. glandulosa-S. nipponica* community, *S. nipponica-S. koreensis* community, *S. glandulosa* community, and *S. koreensis* community were 6.12 ha, 6.12 ha, 2.92 ha, 1.86 ha, and 0.81 ha,

+ Corresponding author : ohkh@gnu.ac.kr
* 정회원·창원 명지여자고등학교 교사, 교육학석사
** 정회원·산청고등학교 교사, 이학박사
*** 정회원·경상대학교 사범대학 생물교육과 및 경상대학교 환경 및 지역발전연구소, 이학박사

※ 본 연구는 환경부의 "국가장기생태연구사업"으로 지원받은 과제의 일부임.

respectively.

3. The tree age, tree height, and DBH of *S. nipponica* were 5～13year, 4.1～7.2 m, and 3.0～14.0 cm and those of *S. glandulosa* were 2～36year, 3.5～10.1 m, and 3.2～26.0 cm, respectively.
4. The standing crop of *S. nipponic*a was 408 ton and that of *S. glandulosa* was 336 ton in the study area.
5. The productivity of *S. nipponica* was 235 g $m^{-2}yr^{-1}$ and the annual production was 86.4 ton, and those of *S. glandulosa* were 1,006 g $m^{-2}yr^{-1}$ and 80.3 ton in the study area.

Keywords : Primary productivity, Relative growth, Standing crop, Upo wetland, Vegetation map

1. 서 론

습지는 호소에서 육지로 전환되는 중간 지역으로서 다양한 생물상이 나타나는데, 그 중에서 자연늪은 정체수로 분해 과정이 느린 유기물이 다량 축적되어 수질이 약산성을 나타내며 강우 조건에 따라 수위의 변동이 심한 것이 일반적인 특징이다.

우리나라에 분포하는 대부분의 자연늪은 낙동강 유역에 위치하고 있다. 낙동강 수계에는 지형적 특색으로서 배후 습지성 호소(valley blocked lakes and marshes)가 발달하는데, 이는 후빙기(post glacial period)의 해면 상승과 더불어 지류에 비해 본류에서의 운반 퇴적물이 많아 범람시 지류 입구가 먼저 막혀 자연제방(natural levee)이 형성되면서 그 배후에 생기는 습지성 호소이며, 우포·주남저수지·사지포·유전늪 등이 이에 속한다(손, 1985).

대부분의 습지는 생산성이 높아서 다른 생물의 생육에 큰 영향을 준다. 생산 생태학의 입장에서 식물의 생산력을 측정하는 것은 에너지 흐름의 입장에서 중요한데, 초본의 생산성은 단위 면적의 현존량을 일정한 시간 간격에 따라 측정하는 수확법이 이용되며, 산림의 생산성은 흉고직경과 줄기·가지·잎·뿌리·꽃 사이의 상관관계를 이용한 상대생장법으로 추정한다(Kira and Shidei, 1967). 상대생장법에 의한 식물의 생산성은 Kittredge(1944)의 연구를 시작으로 Hozumi(1963)와 Kira(1966)에 의한 산림의 현존량 추정과 Sato(1963)의 초본 및 관목에 대한 연구로 발달하였다. 우리 나라에서 상대생장법에 의한 현존량 추정 연구는 김(1970, 1971) 및 김과 윤(1972)에 의하여 소나무림과 참나무림에서 이루어졌다.

수중 생태계에서 대형 수생식물의 가장 중요한 기능은 일차 생산자로서 다른 영양 단계에 에너지를 공급하고 물질 순환에 기본 원동력을 제공하는 것이다(Hutchinson, 1970; Wetzel, 1983). 하천변에 많이 분포하는 개척자 식물인 버드나무과(Salicaceae)는 사시나무속(*Populus*), 버드나무속(*Salix*), 채양버들속(*Chosenia*) 등의 3개 속으로 구별되거나(Argus, 1986; Clapham *et al.* 1987), 학자에 따라서는 사시나무속과 버드나무속의 2개 속으로 구별된다(Elias, 1980). 버드나무속은 사주와 하천 제방을 안정화시키는 목본성 개척 식물의 우점종이다(Ottenbreit and Staniforth, 1992; 김 등, 1999).

우포늪은 국내에서 가장 큰 원시 자연늪으로서 생태학적으로나 환경적 혹은 경제적으로나 그 가치는 아주 크다. 따라서, 우포늪의 우점목본인 버드나무속의 분포와 이들이 미치는 영향에 관한 연구가 요구된다. 본 연구의 목적은 우포늪에서 버드나무속의 군집별 분포면적, 현존식생도, 현존량, 상대생장 및 1차 생산성을 조사하여 우포늪에서 버드나무속 군집을 보전하고 생태 공학적으로 이용하는 데 필요한 기초 자료를 제공하는 데 있다.

2. 조사 내용 및 방법

2.1 조사장소

본 연구의 조사 대상 지역은 낙동강 수계의 배후습지성 호소 중 하나인 우포늪과 수문학적으로 관련이 있는 토평천 상류이다(Fig. 1). 우포늪은 경남 창녕군 이방면, 대합면, 유어면 일대(35° 32′

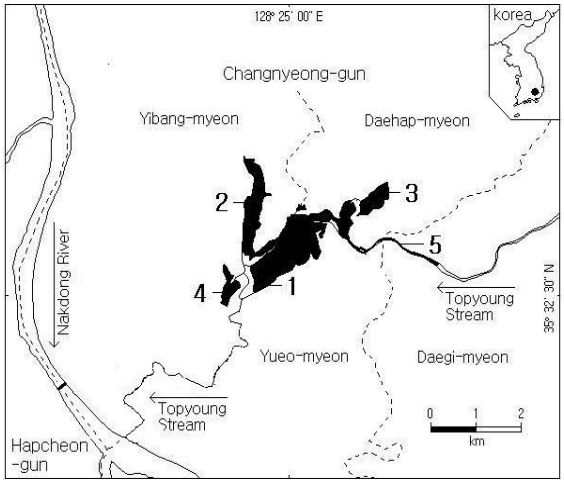


Fig. 1. Map of the study area: 1; Upo 2; Mokpo, 3; Sajipo, 4; Jokjibeol, 5; Topyeongcheon Upstream. A dotted line indicates the township boundary of Changryeong County.

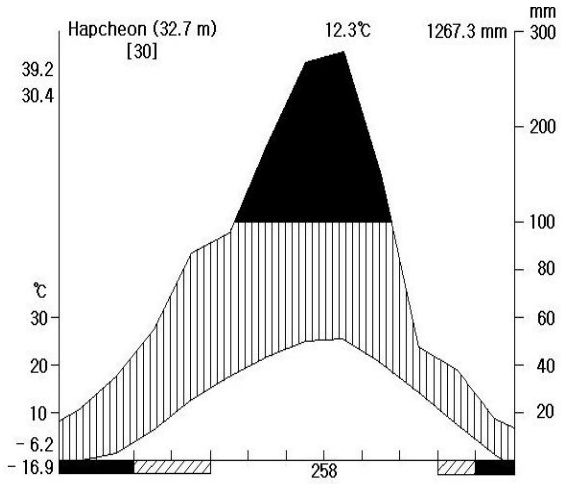


Fig. 2. Climate - diagram for the study area. Data are based on the climatic data of the Hapcheon Meteotological Auxiliary. Located 15 km apart to the west of the Upo wetland(1974~2003).

30″N ~ 35° 33′30″N, 128° 24′00″E ~ 128° 26′30″E)에 걸쳐 있다. 우포늪은 우포, 사지포, 목포, 쪽지벌 등 네 개의 배후습지성 호소로 구성되어 있는데 주변의 배수 구역에서 집수된 농업용수와 생활하수는 서남쪽으로 4 km 떨어진 낙동강으로 유출된다.

조사 지역의 기후는 우포늪에서 서쪽으로 약 15 km 떨어진 곳에 위치한 합천측후소의 기상자료(기상청, 2001) 및 Walter(1973)의 방법에 의해 Fig. 2와 같은 기후도로 나타내었는데, 연평균 기온 12.3℃, 연평균 강수량 1,267.3 mm, 상대습도 68.5%, 무상일수 258일 등이다.

2.2 버드나무속의 분포 현황 조사

조사 대상 지역을 우포, 목포, 사지포, 쪽지벌 등 4개 자연늪과 토평천의 상류부 지역 등 5개 지역으로 구분하여 2005년 4월부터 2006년 4월까지 각 지역에서 출현하는 버드나무속을 조사하여 현존 식생도를 작성하였고 이를 토대로 분포면적을 구하였다.

군집 구조를 조사하기 위하여 10 × 10 m 혹은 5 × 20 m의 방형구를 설치하여 방형구내 출현하는 왕버들과 선버들의 개체수, 흉고직경, 수고 등을 조사하여 기록하였다. 현존 식생도(actual vegetation map)는 식물이 가장 왕성하게 자라는 8월에 조사하여 지형도(1: 5000)에 표시하였다

2.3 현존량 및 생산성의 측정

2.3.1 현존량 측정

각 조사지역의 표준지소에 10 × 10m 방형구를 각각 4개씩 설치하여 출현하는 버드나무속의 개체수, 흉고직경, 수고 등을 측정하였다. 그리고, 최소에서 최대 흉고직경이 포함되는 선버들과 왕버들의 표준목을 직경급별로 각각 18그루를 선정, 벌목한 후 줄기(W_S), 가지(W_B), 잎(W_L), 꽃(W_F) 등의 건중량을 구하였다(Kira, 1966; 김, 1971).

이를 토대로 방형구 내의 생물량을 추정하였고, 우포 지역에서의 버드나무속의 현존량을 구하였다. 생물량의 추정은 subsample의 부피와 건중량의 관계식을 이용하여 표준목의 전체 줄기, 가지, 잎, 꽃 등의 건중량을 추정하였다. 그리고 이 자

료를 토대로 실제 방형구에 나타난 버드나무속의 줄기, 가지, 잎, 꽃 등의 건중량을 추정하여 방형구 내의 생물량을 구하였다.

2.3.2 생산성 추정

생산량 및 생산성의 추정은 각 표준목의 흉고직경(D)과 수고(H)에서 D^2H를 계산하고 줄기(W_S), 가지(W_B), 잎(W_L), 꽃(W_F) 등의 건중량을 양대수 방안지상에 나타내어 그 직선성을 검토하였다.

그리고 $\log D^2H \sim W_S$, $\log D^2H \sim W_B$, $\log D^2H \sim W_L$, $\log D^2H \sim W_F$ 등의 값을 최소자승법에 의해 구한 다음 상대생장식을 유도하였다(Hozumi, 1963). 표준 지소 내의 현존량을 해당하는 상대생장식에 표준 지소의 전 나무에 대하여 그들의 D2H값을 대입하거나 또는 양대수 방안지상의 회귀직선상에서 W_S, W_B, W_L, W_F 등을 읽고 이들을 합산하여 지상부 총현존량으로 추정하였다.

생산성을 측정하기 위하여 줄기(W_S), 가지(W_B)의 건중량의 합을 수령으로 나눈 후 잎의 건중량(W_L)과 꽃의 건중량(W_F)을 더함으로써 1년 동안의 버드나무속의 생산성을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 버드나무속의 분포 및 현존식생도

우포늪에 분포하는 버드나무속은 Table 1과 같이 선버들(*Salix nipponica*), 왕버들(*Salix glandulosa*), 버드나무(*Salix koreensis*), 키버들(*Salix purpurea var. japonica*), 선갯버들(*Salix gracilistyla*), 능수버들(*Salix pseudo-lasiogyne*), 참오글잎버들(*Salix siuzevii*) 등 총 7종이 나타났다. 7종류의 버드나무속 중 선버들, 왕버들, 버드나무, 키버들, 갯버들 등은 모든 조사 지소에서 출현하였으나 능수버들은 토평천 상류에서만, 참오글잎버들은 목포와 토평천 상류에서만 출현하였다.

조사지역의 면적은 우포가 207.98 ha로 가장 넓고, 목포 72.60 ha, 사지포 42.29 ha, 쪽지벌 21.54 ha, 토평천 상류 15.70 ha 등의 순이었다. 우포늪에 분포하는 *Salix* 군락의 분포 면적은 46.29 ha 였는데, 이중 우포가 19.95 ha로 가장 넓고, 목포 14, 36 ha, 쪽지벌 6.92 ha, 토평천 상류 2.93 ha, 사지포 2.13 ha 등의 순이었다 (Table 2).

조사지역의 *Salix* 군락에 대한 현존식생도는 Fig. 3~Fig. 8과 같이 선버들, 왕버들, 버드나무 등의 순군락을 포함하여 선버들-왕버들 군락, 왕버들-선버들 군락, 선버들-버드나무 군락 등 총 6종류였으며, 분포 면적은 선버들 군락이 28.46 ha로 가장 넓고, 선버들-왕버들 군락 및 왕버들-선버들 군락이 각각 6.12 ha, 선버들-버드나무 군락 2.92 ha, 왕버들 군락 1.86 ha, 버드나무 나무 군락 0.81 ha 등의 순이었다. 이를 우포지역 전체의 면적으로 환산하여 백분율로 나타내면 선버들 군락

Table 1. Distritution of *Salix* spp. in the Upo wetland

Species	Upo	Mokpo	Sajipo	Jokjibeol	Topyeongcheon Upstream
Salix nipponica (선버들)	+	+	+	+	+
Salix glandulosa (왕버들)	+	+	+	+	+
Salix koreensis (버드나무)	+	+	+	+	+
Salix purpurea var. *japonica* (키버들)	+	+	+	+	+
Salix gracilistyla (갯버들)	+	+	+	+	+
Salix pseudo-lasiogyne (능수버들)					+
Salix siuzevii (참오글잎버들)		+			+

+ : Existence

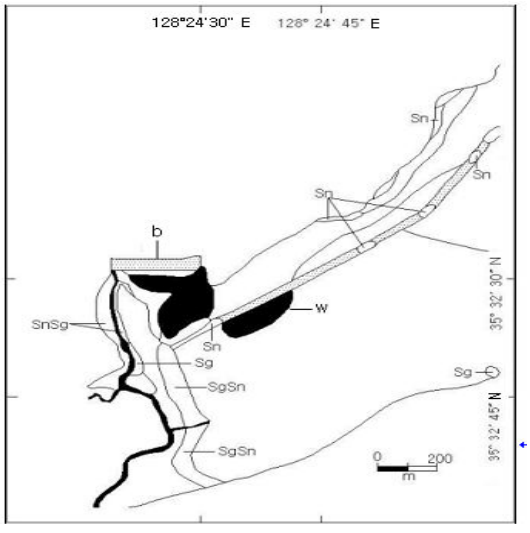


Fig. 3. Actual vegetation map at the culmination for *Salix* spp. in the left region of the Upo wetland: Sn; *S. nipponica, Sg; S. glandulosa, Sk; S. koreensis, SgSn; S. nipponica-S. glandulosa, SnSg; S. glandulosa-S. nipponica*, g; grass, b; bank, w; open water.

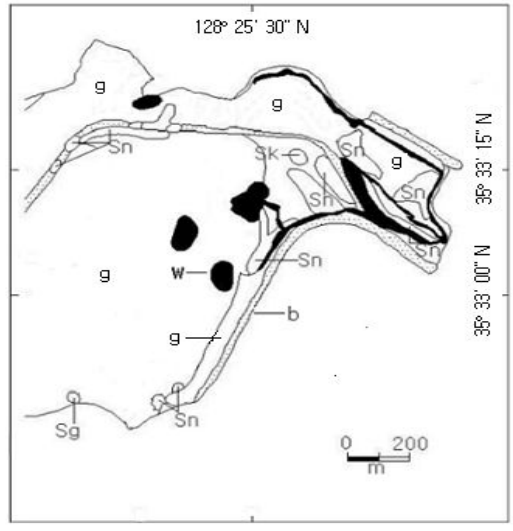


Fig. 4. Actual vegetation map at the culmination for *Salix* spp. in the right region of the Upo wetland: Sn; *S. nipponica, Sg; S. glandulosa, Sk; S. koreensis, SgSn; S. nipponica-S. glandulosa, SnSg; S. glandulosa-S. nipponica*, g; grass, b; bank, w; open water.

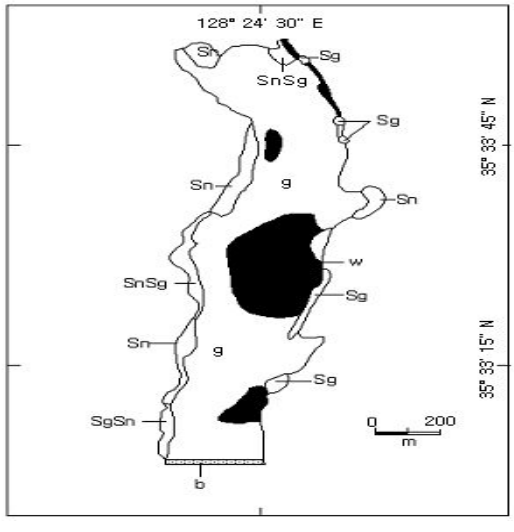


Fig. 5. Actual vegetation map at the culmination for *Salix* spp. in Mokpo wetland: Sn; *S. nipponica, Sg; S. glandulosa, SgSn; S. nipponica-S. glandulosa, SnSg; S. glandulosa-S. nipponica*, g; grass, b; bank, w; open water.

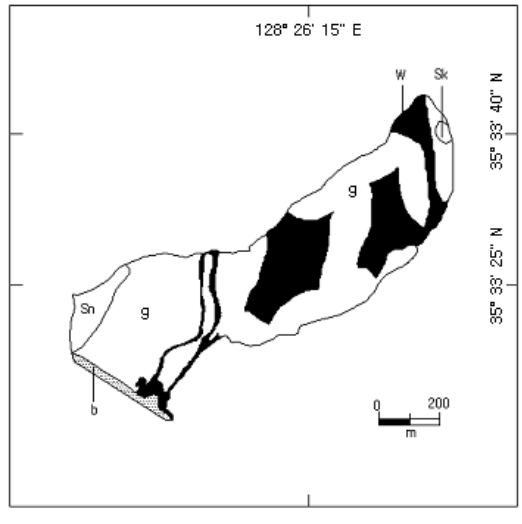


Fig. 6. Actual vegetation map at the culmination for the *Salix* spp. in Sajipo wetland: Sn; *S. nipponica, Sk; S. koreensis*, g; grass, b; bank, w; open water.

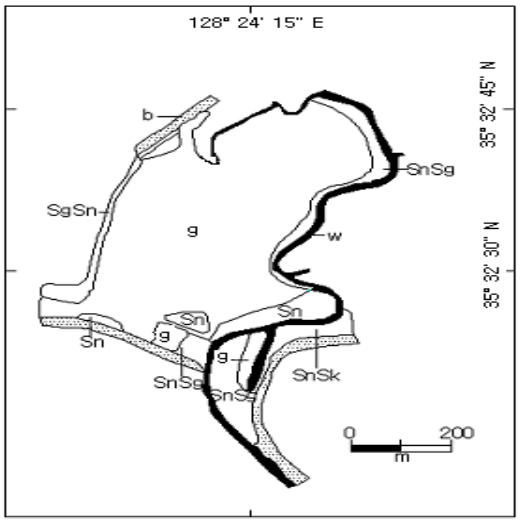


Fig. 7. Actual vegetation map at the culmination for the *Salix* spp. in Jokjibeol wetland: Sn; *S. nipponica, SnSk; S. koreensis–S. nipponica, SgSn; S. nipponica–S. glandulosa, SnSg; S. nipponica –S. nipponica*, g; grass, b; bank, w; open water.

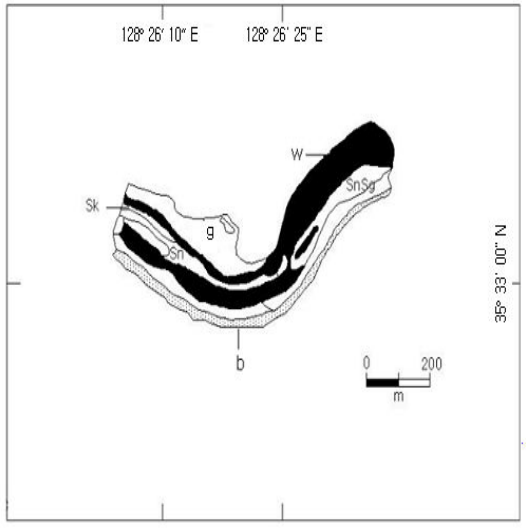
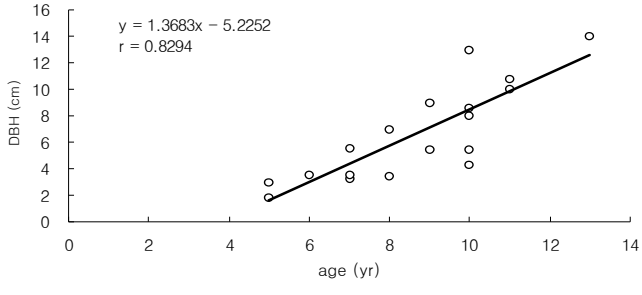


Fig. 8. Actual vegetation map at the culmination for the *Salix* spp. in Topyeongcheon Upstream: Sn; *S. nipponica, Sk; S.koreensis, SnSg; S. glandulosa–S. nipponica*, g; grass, b; bank, w; open water.



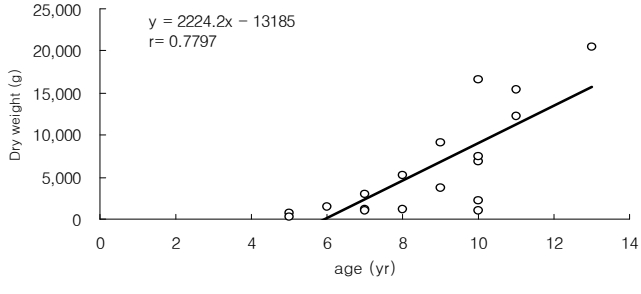


Fig. 9. DBH, dry weight(W_S + W_B + W_L+ W_F), tree height of the age group in the *S. nipponica* community in the Upo wetland ($p < 0.001$).(continued)

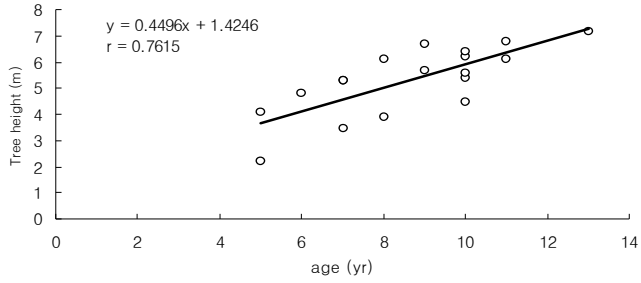


Fig. 9. DBH, dry weight(W_S + W_B + W_L+ W_F), tree height of the age group in the *S. nipponica* community in the Upo wetland ($p < 0.001$).

Table 2. Distribution area(ha) occupied by *Salix* spp. in the Upo wetland

Community		Upo	Mokpo	Sajipo	Jokjibeol	Topyeongcheon Upstream	Total(%)	
Salix	*S. nipponica*	13.30	9.84	1.86	2.13	1.33	28.46	(8.0)
	S. glandulosa-*S. nipponica*		1.86		2.93	1.33	6.12	(1.7)
	S. nipponica-*S. glandulosa*	3.46	1.33		1.33		6.12	(1.7)
	S. nipponica-*S. koreensis*	2.39			0.53		2.92	(0.8)
	S. glandulosa	0.53	1.33				1.86	(0.6)
	S. koreensis	0.27		0.27		0.27	0.81	(0.2)
Other plants		172.87	47.07	28.46	14.09	6.12	268.61	(74.3)
Water area		15.16	11.17	11.70	0.53	6.65	45.21	(12.7)
Total		207.98	72.60	42.29	21.54	15.70	360.11	(100.0)

8.0%, 선버들-왕버들 군락 및 왕버들-선버들 군락 1.7%, 선버들-버드나무 군락 0.8%, 왕버들 군락 0.6%, 버드나무 군락 0.2% 등으로 전체 우포 면적의 약 13%를 차지하였다(Table 2).

3.2 버드나무속(*Salix* spp.)의 현존량

Salix 군락을 구성하는 선버들은 수령 5~13년, 수고 2.2~7.2 m, DBH 3.0~14.0 cm 등이고, 왕버들은 수령 2~36년, 수고3.5~10.1 m, DBH 3.2~26 cm 등이었다. 선버들 및 왕버들의 표준목에서 얻은 수치를 이용하여 선버들의 수령에 따른 DBH ·수고·건중량을 그래프로 작성하고 직선회귀식을 구하였으며(Fig. 9, Fig. 10), 이를 토대로 선버들 및 왕버들의 수고와 DBH에 따른 건중량과 수령을 상대적으로 추정할 수 있었다. 선버들과 왕버들의 표준목에서 얻은 수치를 그래프로 나타낸 결과 수령에 따른 DBH, 수고, 줄기, 가지, 잎과 꽃 부위의 생장은 대체로 비례하였다.

표준 지소는 10 × 10 m 및 경우에 따라 5 × 20 m 방형구를 각 조사지역마다 4개씩 설치하여 출현하는 버드나무속의 개체수와 흉고직경, 수고 등을 기록하였다. 앞에서 구한 수령에 따른 수고, DBH, 건중량 등과의 관계식을 이용하여 방형구 내의 현존량을 구하였다.

선버들의 경우 10 × 10 m 방형구 내에 평균 3개체 58분지가 나타났고 이들의 현존량은 약

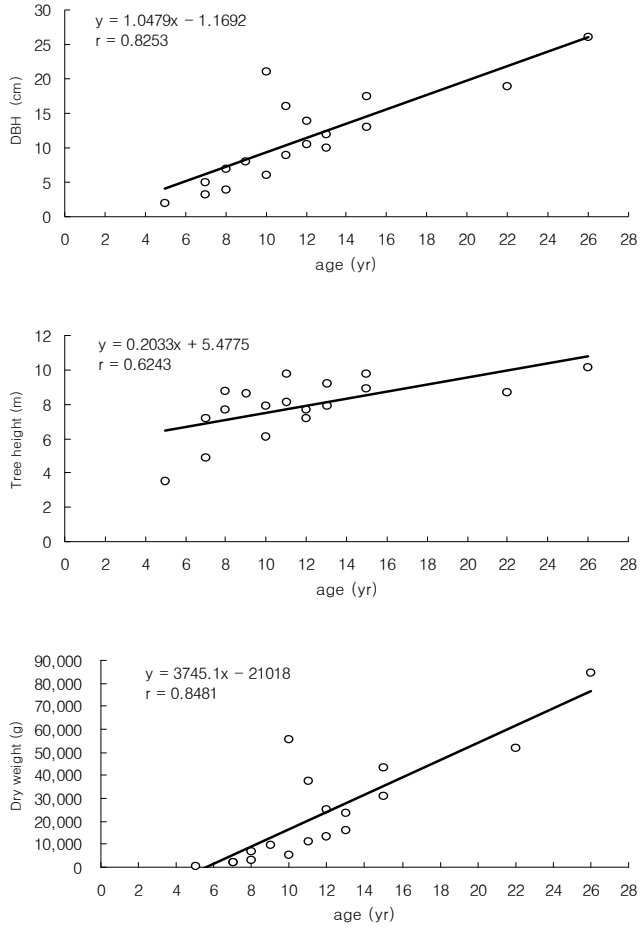


Fig. 10. DBH, dry weight(W_S + W_B + W_L+ W_F), tree height of the age group in the *S. glandulosa* community in the Upo wetland($p < 0.001$).

111 kg이었다. 이들을 우포 전체 선버들의 현존량으로 환산하면 약 408 ton이다. 왕버들의 경우 10 × 10 m와 5 × 20 m 방형구 내에서 평균 27개체가 나타났고, 방형구 내 이들의 현존량은 약 422 kg이었다. 이들을 역시 우포 전체 왕버들의 현존량으로 환산하면 약 336 ton이다(Table 3).

3.3 버드나무속(*Salix* spp.)의 생산성

선버들의 표준목에서 얻은 수치를 log로 바꾸어 최소자승법에 의하여 회귀직선을 유도하여 얻은 선버들의 $D^2H \sim W_S$, $D^2H \sim W_B$ $D^2H \sim W_L$ 및 $D^2H \sim W_F$ 사이의 상대생장계수는 각각 0.9392,

Table 3. The standing crops of *Salix nipponica* and *S. glandulosa* in the Upo wetland

Community	$W_{(S+B+L+F)}$ (kg m^{-2})	Area (ha)	Standing crop (ton)
S. nipponica	1.11	36.77	408
S. glandulosa	4.22	7.98	336

0.8805, 0.9698, 0.7815 등이었다(Fig. 11~Fig. 14). 그리고 왕버들의 D^2H~W_S, D^2H~W_B D^2H~W_L 및 D^2H~W_F 사이의 상대생장계수는 각각 0.9931, 0.9605, 0.9606, 0.9593 등이었다(Fig. 15~Fig. 18).

생산성을 측정하기 위하여 줄기(W_S), 가지(W_B)의 건중량의 합을 수령으로 나눈 후 잎(W_L)과 꽃(W_F)의 건중량을 더함으로써 1년 동안의 버드나무속의 생산성을 구하였다. 방형구 내의 선버들의 생산성은 235 g m^{-2} yr^{-1}이고, 이를 우포 전체의

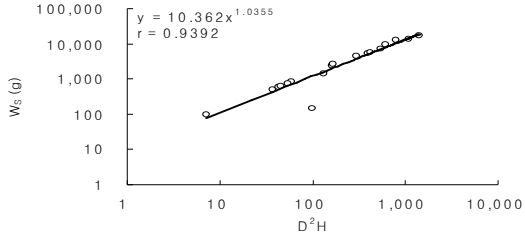


Fig. 11. Allometric relation between stem weight(W_S) and D^2H for eighteen sample trees of *S. nipponica* in the Upo wetland.

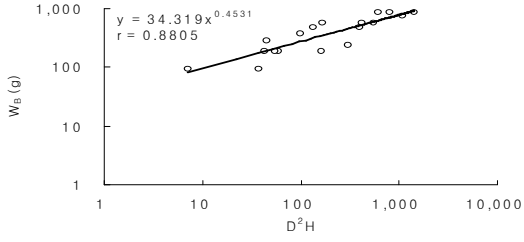


Fig. 12. Allometric relation between branch weight(W_B) and D^2H for eighteen sample trees of *S. nipponica* in the Upo wetland.

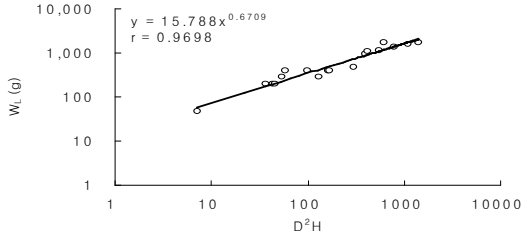


Fig. 13. Allometric relation between leaf weight(W_L) and D^2H for eighteen sample trees of *S. nipponica* in the Upo wetland.

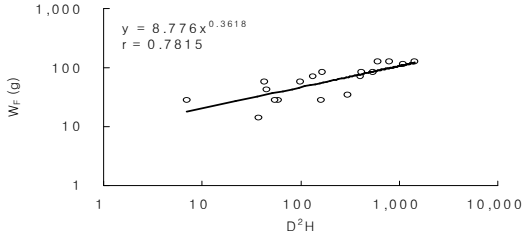


Fig. 14. Allometric relation between flower weight(W_F) and D^2H for eighteen sample trees of *S. nipponica* in the Upo wetland.

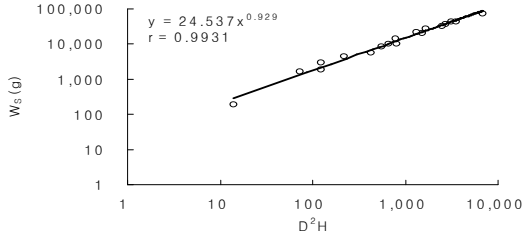


Fig. 15. Allometric relation between stem weight(W_S) and D^2H for eighteen sample trees of *S. glandulosa* in the Upo wetland.

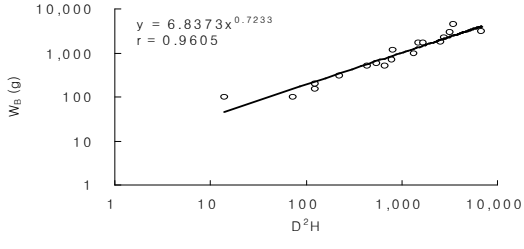


Fig. 16. Allometric relation between branch weight(W_B) and D^2H for eighteen sample trees of *S. glandulosa* in the Upo wetland.

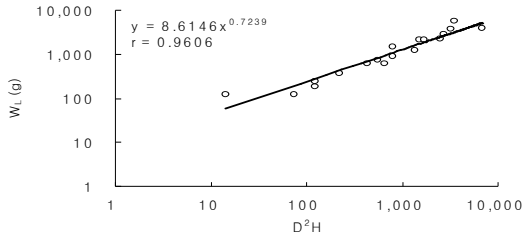


Fig. 17. Allometric relation between leaf weight(W_L) and D^2H for eighteen sample trees of *S. glandulosa* in the Upo wetland.

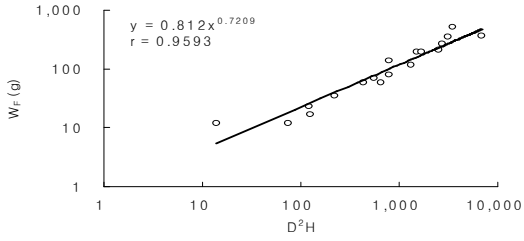


Fig. 18. Allometric relation between flower weight(W_F) and D^2H for eighteen sample trees of *S. glandulosa* in the Upo wetland.

Table. 4. Productivity and annual production of *S. nipponica* and *S. glandulosa* in the Upo wetland

Community	Productivity ($g\ m^{-2}\ yr^{-1}$)	Annual production ($ton\ yr^{-1}$)
Salix nipponica	235	86.4
Salix glandulosa	1,006	80.3

선버들 분포면적으로 환산하면 약 86.4 ton yr^{-1} 이다. 왕버들의 방형구 내 생산성은 1006 g m^{-2} yr^{-1}이고, 이를 우포 전체의 왕버들 분포면적으로 환산하면 80.3 ton yr^{-1}이었다(Table 4).

우포 전체에서 선버들의 분포 면적은 왕버들에 비해 훨씬 넓으나, 선버들과 왕버들의 생산성은 거의 같다. 이는 선버들은 분포 면적이 넓은 대신 개체 크기와 생물량이 왕버들에 비해 훨씬 작기 때문인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

기상청 (2001). 한국기후표 (1971~2000)

김준호 (1970). 육상식물의 생산력 추정을 위한 상대생장법의 이용에 대하여, 한식지 13: 47-55,

김준호 (1971). 산림의 생산 구조와 생산력에 대한 연구, Ⅰ. 리기다소나무 조림지에 대하여, 한식지 14: 155-162

김준호, 윤성모 (1972). 산림의 생산 구조와 생산력에 대한 연구, Ⅱ. 춘천지방의 소나무림과 신갈나무림의 비교, 한식지, 15: pp. 1-8

김철수, 이팔홍, 오경환 (1999). 선버들의 생산성과 생산구조, 한국습지학회지, 1: pp. 61-69

손일 (1985). 경남의 지역구조와 그 특색. 국립지지, 국립지리원, p. 513

Argus, G.W (1986). The Genus *Salix* (Salicaceae) in the Southeastern United States, Syst. Bot. Monogr., 9: pp. 1-170

Clapham, A.R., Tutin, T.G., and Moore, D.M. (1987). Flora of The British Isles(3rd ed), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 318-330

Elias, T.S. (1980). The complete trees of North America, Field guide and natural history, Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp. 456-503

Hozumi, K. (1963). Allometry in higher plants with special reference to the relations concerned with DBH, Seicho, 2: pp. 7-18

Hutchinson, G.E. (1970). The biosphere, Sci. Am, 223 (3): pp. 44-53

Kira, T., (ed) (1966). Studies on the methods of determining primary production in forest communities, Interm Rep., pp. 20-25

Kira, T., and Shidei, T. (1967). Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific, Jap. J. Ecol, 17: pp. 70-87

Kittredge, J. (1944). Estimation of amount of foliage of trees and stands, J. Forstry. Bot. Mag., Tokyo, 42: pp. 905-912

Ottenbreit, K.A., and Staniforth, R.J. (1992). Life cycle and age structure of ramets in an expanding population of *Salix exigua* (sandbar willow), Can. J. Bot., 70: pp. 1141-1146

Sato, H. (1963). Dry matter production by *Abies sachaliensis* forest in Hokkaido, Thesis of Inst. Polytech, Osaka city Univ, (refer to Kim 1970)

Walter, H. (1973). Vegetation of the earth, Springer-Verlag, New York, p. 273

Wetzel, R.G. (1983). Limnology (2nd ed.), Saunder College Pub, Philadelphia, p. 857