

하천변 버드나무군락의 1차 순 생산량, 유기탄소 흡수량과 낙엽분해

한 승 주* / 김 현 우** / 김 해 관*** / 김 혜 주**** / 한 동 옥***** /
박 상 규* / 유 영 한**+

Net Primary Production, Annual Accumulation of Organic Carbon and Leaf Decomposition in *Salix* Plant Community

Seung Ju Han* / Hyun Woo Kim** / Hae Ran Kim*** / Hyea Ju Kim**** /
Dong Uk Han***** / Sang Kyu Park* / Young Han You**+

요약 : 남한강과 낙동강의 버드나무군락에서 생태계 기능의 지표인 식물군집의 1차 순 생산량, 탄소흡수량과 낙엽분해율을 각각 측정하였다. 순 1차 생산량과 유기탄소흡수량은 각각 22.5ton/ha/yr(16.7ton/ha/yr-31.2ton/ha/yr), 9.7ton C/ha/yr(7.5ton C/ha/yr-14.0ton C/ha/yr)로서 최대값은 우리나라에서 보고된 값 중에서 가장 높았다. 이는 다른 군락보다 버드나무군락을 하천변에 조성하면, 이산화탄소를 빠르게 제거할 수 있음을 의미한다. 낙엽분해는 버드나무군락의 주변에서 가장 빠르게 분해가 일어났고, 버드나무군락 안, 초본군락 순으로 느리게 일어났다. 그 분해속도는 수생식물보다는 느리고, 육상식물보다는 빨랐다.

핵심용어 : 버드나무군락, 1차 순 생산량, 유기탄소흡수량, 낙엽분해

Abstract : We measured net primary productivity, annual accumulation of organic carbon and leaf decomposition of *Salix* community in the flood plain of the Han River and the Nakdong River. Net primary productivity, annual accumulation of organic carbon of the *Salix* community were 22.5ton/ha/yr(16.7ton/ha/yr-31.2ton/ha/yr) and 9.7ton C/ha/yr(7.5ton C/ha/yr-14.0ton C/ha/yr) respectively, which showed the highest values among the woody plant communities reported in the Korea. It means that planting *Salix* in the flood plain of the river is the best way to remove carbon dioxides. The faster leaf decomposition occurred around, under and the herb of *Salix* community in order. Leaf decomposition rate of *Salix* was higher than that of mesophytes, but lower than that of hydrophytes.

Keywords : *Salix* community, Net primary productivity, Organic carbon, Leaf decomposition

+ Corresponding author : youeco21@kongju.ac.kr
* 준회원 공주대학교 생물학과 석사과정
** 비회원 공주대학교 생물학과 석사과정
*** 비회원 공주대학교 생물학과 이학석사
**** 비회원 김해주자연환경계획연구소 이학박사
***** 비회원 서울대학교 생명과학부 이학석사
* 비회원 아주대학교 자연과학부 이학박사
** 정회원 공주대학교 생명과학과 이학박사 부교수

1. 서 론

습지는 주기적으로 수생식물이 우점하고, 기질은 배수가 불량한 습토이고, 특정 생육기간에 기질이 물에 포화되어 있거나 얇은 물에 덮여 있는 생태계이다(Cowardin 등, 1979). 습지는 오염된 물을 정화하고 홍수를 막아 주고 수변부 침식을 억제하며 지하수를 재충전케 하는 동시에 육상과 수중생태계의 전이지대로서 양쪽의 환경이 섞이는 독특한 특성을 가지고 있어, 이 습지 식물을 이용하는 다양한 동물과 미생물의 생육지를 제공한다(Keddy, 2002). 특히 습지는 다양한 멸종위기식물이 생육하는 중요한 서식처이다(최홍근, 2000).

또한 습지 내 식생은 생산자로서 다른 생물의 먹이자원으로 활용되며 수생먹이사슬의 탄소원이 되고 물질순환의 토대이다. 다른 한편으로는 어류나 수서성 무척추동물의 산란장소로 이용되고, 환경스트레스로부터 피할 수 있는 피난처가 되는 등 다른 생물들의 서식환경으로 작용하고, 물리적으로는 홍수를 조절하고, 토양의 침식을 억제하고, 수질을 정화한다(Keddy, 2002). 이러한 습지의 기능을 이해하고, 종합적으로 평가하고, 이를 효과적으로 관리하고, 복원하기 위해서는 그 지역에서 생육하는 식생과 식물군락을 먼저 밝히는 것이 필수적이다(이울경과 김종원, 2005; 송종석과 송승달, 1996).

생태계의 기능은 에너지 흐름과 물질순환을 통해 유지된다. 식물은 광합성을 통해 태양에너지를 유기물질로 고정하고 이 유기물질은 식물을 포함하여 생태계를 구성하는 모든 생물의 에너지원이 된다. 1차 총생산량은 생태계에서 독립영양생물에 의해 생산된 총에너지로서 총 광합성량과 같다. 순1차생산량은 1차 총생산량 중에서 호흡으로 소비하고 남은 양으로 생태계의 다양한 특성을 비교하는 기준이 되고 생태계기능을 연구하는 시발점이 된다(김준호 등, 2007).

습지는 호소에서 육지로 전환되는 중간지역으로 많은 생물종이 서식하며 지구상 어느 지역보다 생산성이 높고, 높은 생산성은 다른 생물의 생육

에 큰 영향을 준다(김성봉, 2000; 김태근 등, 2007). 한편 자연하천변의 연목림을 대표하는 버드나무는 넓은 생태적 범위를 가지고, 손쉽게 영양변식이 가능하며, 선구식물로서 척박한 토양에서도 성장속도가 빨라 사주와 하천제방을 안정화시킨다(허은복, 2009; 김혜주 등, 1998; 김혜주 등, 2008; Ottenbreit and Staniforth, 1992).

본 연구는 우리나라의 대표적인 하천인 남한강과 낙동강의 습지에서 자라는 버드나무군락에서의 1차 생산량과 낙엽분해율 그리고 탄소함량을 조사하여 하천변 습지에서의 물질순환과 에너지흐름을 이해하는데 활용하고자 한다.

2. 방 법

2.1 조사지개황

본 연구에서 조사한 버드나무군락은 여주군 강천면 적금리 남한강교와 대구시 달성구 하빈면 성주대교 부근이다(Fig. 1). 각 조사지소의 기후는 여주지역은 내륙부에 위치하여 기온의 교차가 심하고 강수량은 비교적 많은 편이다. 연평균 기온은 11.7℃, 연평균 강수량은 1,250mm이다. 기상대에 따르면 대구지역의 기후는 연평균기온 13.8℃, 상대습도 64.1%, 연평균 강수량 1027.7mm이다.

2.2 순1차 생산량과 유기탄소 흡수량 측정

순 1차 생산량의 계산은 식물주위 공기의 O₂와 CO₂농도의 변화를 측정하는 것이 직접적인 방법이고, 그 외 수확법, 상대생장법 등을 사용한다. 큰 나무는 생물량을 측정하는 것은 불가능해 일반적으로 상대생장식을 사용한다. 본 연구에서는 상대생장식을 이용해 버드나무 군락의 순 1차 생산량을 계산하였다. 버드나무 군락에 10 x 10m 방형구를 설치하여 방형구 내 수목의 매목조사를 실시하였다. 각 수목에 번호를 부여하고 흉고직경(D)과 수고(H)를 측정하였다. 그리고 방형구 주변에서 고립된 정상적인 수형을 가진 개체로서 흉고

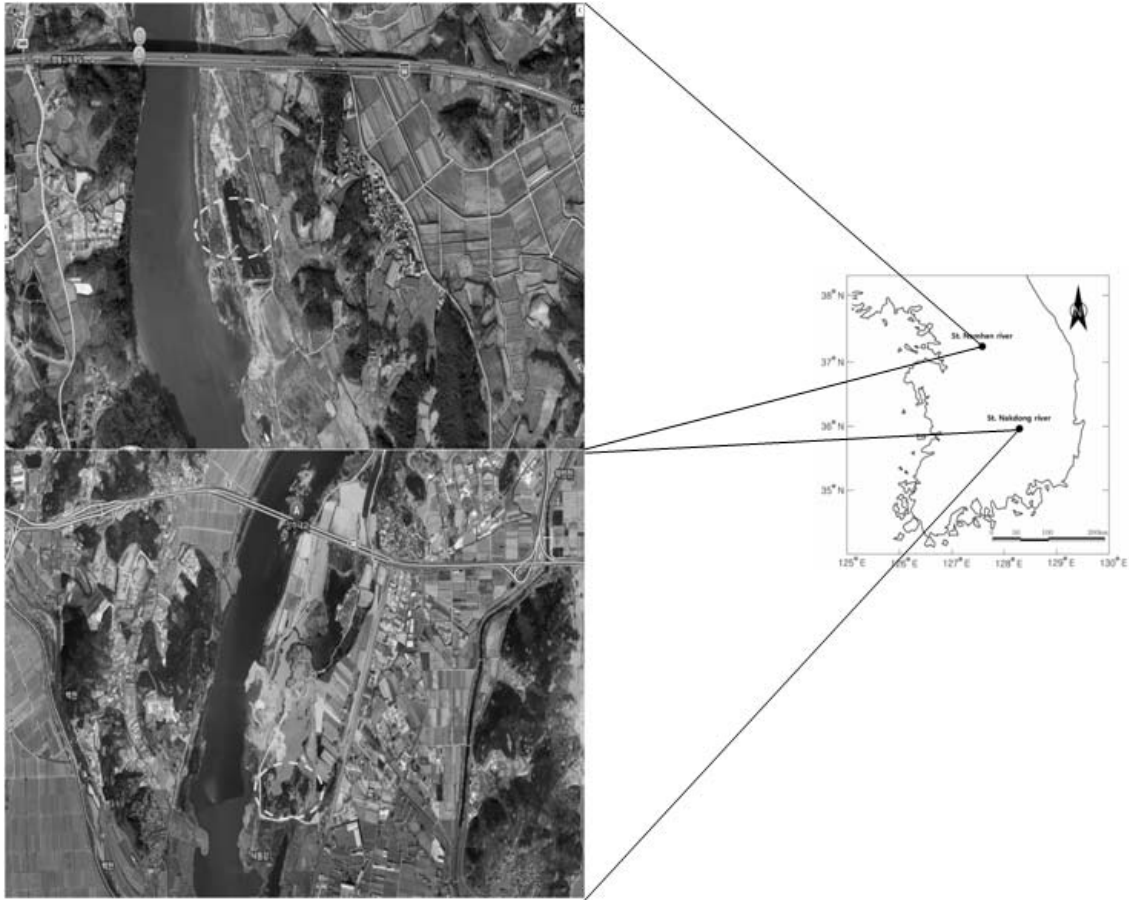


Fig. 1. Aerial photo of the studied area Dashed circles indicates the *Salix* spp. community

직경(D)과 수고(H)가 다른 다수의 개체를 선발하여 벌목하고, 줄기(W_S), 가지(W_B), 잎(W_L)의 건중량을 구한 뒤 상대생장식을 유도하였다. 순1차 생산량은 1년 전과 후에 측정한 흉고직경과 수고의 자료를 이용하여 계산한 1년 전의 현존량과 1년 후의 현존량의 차이로 계산하였다. 유기탄소량은 건중량의 45%를 탄소의 양으로 추정하였다 (Houghton 등, 1983).

2.2 낙엽분해를 측정

버드나무의 낙엽은 각 조사 지소에서 수거하여 65°C 건조기에서 48시간 이상 건조한 후 사용하였다. 낙엽분해주머니 제작은 2mm x 2mm 모기

장을 이용하여 20cm x 20cm 크기로 제작하였다. 각 낙엽분해주머니 속에는 10g 정도의 낙엽을 넣었다. 그리고 낙엽분해주머니는 각 조사 지소에서 초본군락, 버드나무군락의 주변부 그리고 버드나무 군락 안에 각각 흩어 놓은 뒤 낙엽으로 덮고, 낙엽분해주머니의 이동을 막기 위해 한 모서리를 못으로 고정하였다. 낙엽분해주머니 수거는 설치 후 1개월마다 수거하여 걸의 이물질 제거한 후 안에 있는 낙엽을 측정하는 다음 80°C 건조기에서 48시간 이상 건조한 후 건중량을 측정하여 계산하였다. 분해상수(k)는 Olson의 공식 $X_t = X_0 e^{-kt}$ 를 이용하여 계산하였다. X_0 은 건조 전의 무게, X_t 는 t시간 이후의 무게, t는 시간(년)이다(Olson, 1963).

3. 결과 및 고찰

3.1 순1차생산량과 탄소흡수량

조사지역의 버드나무군락에서 DBH 분포는 1-4cm가 9.5%, 5-9cm가 36.8%, 10-14cm가 43.3%, 15-19cm가 10.4%로 나타났다. Szczukowski 등(2005)의 연구에서 버드나무류는 1년 동안 줄기 직경이 2cm정도 자라는 것으로 측정되었다. 이와 비교해보면 조사지역의 버드나무군락이 10년 미만의 어린 숲이라는 것을 나타낸다. 이러한 숲의 연령은 1차 순 생산량과 탄소 흡수량에 큰 영향을 미치게 된다.

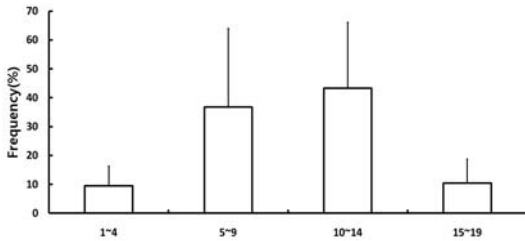


Fig. 2. DBH size distribution of *Salix* community

버드나무군락의 순1차 생산량은 16.7ton/ha/yr-31.2ton/ha/yr(평균 22.5ton/ha/yr)이었다. 각 기관별 평균 순1차생산량은 가지가 4.66ton/ha/yr, 잎이 1.76ton/ha/yr, 줄기가 10.74ton/ha/yr 그리고 뿌리가 4.29ton/ha/yr이었다(Fig. 3). 이러한 버드나무 군락의 순1차 생산량은 우포늪 왕버

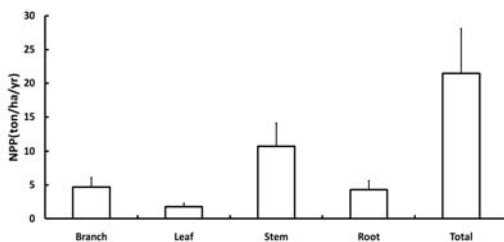


Fig. 3. Net primary production(NPP, ton/ha/yr) of each organ for *S. koreensis*

들 군락에서의 10.06ton/ha/yr(김태근 등, 2007)보다 높았다. 이는 국내의 산림에서 측정된 잣나무군락의 9.12ton/ha/yr(김용택 등, 1988), 상수리나무림의 17.9ton/ha/yr(채명인과 김준호, 1977), 신갈나무림의 9.96ton/ha/yr, 굴참나무림의 8.64ton/ha/yr(송칠영 등, 1997)보다 높았다. 특히 순1차생산량 31.2ton/ha/yr은 우리나라에서 보고된 값 중에서 가장 높은 것이다(Table. 1). 이러한 결과는 본 조사지 버드나무의 수령이 낮고 임목밀도가 높아 순1차 생산량이 높은 것으로 판단된다. Szczukowski 등(2005)의 연구에서 버드나무류의 생산량은 5.20-29.56ton/ha/yr으로 나타났다고, Kopp(1997)의 연구에서는 11.0-23.8 ton/ha/yr으로 보고되었다. 이러한 버드나무류의 빠른 성장은 재생에너지로 높은 가능성을 보이고 있다(Szczukowski 등, 2003).

조사지역의 순1차 생산량을 1년간 탄소흡수량으로 환산하면 버드나무군락은 1년간 7.5ton-14.0ton(평균 9.66ton)의 탄소를 흡수하는 것으로 나타났다. 이는 송칠영 등(1997)이 계산한 신갈나무와 굴참나무의 지상부에서 고정되는 탄소의 양인 4.78ton/ha/yr, 4.28ton/ha/yr보다 높은 값이었다. 이는 조사지의 버드나무 수령이 낮고 임목밀도가 높아 순 1차 생산량이 높기 때문이라고 판단된다. 이를 습지관리에 적용할 경우 대기 중의 이산화탄소 제거효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

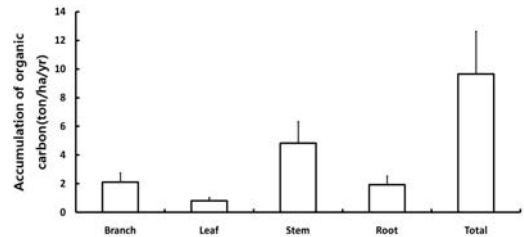


Fig. 4. Annual accumulation carbon(ton/ha/yr) of each organ for *S. koreensis*

Table. 1. Net primary production and accumulation of organic carbon in natural forest, Korea

군락명	조사지	연 순생산 (ton/ha/yr)	연 유기탄소 흡수량 (ton/ha/yr)	연구자
버드나무림 35000개체 · ha ⁻¹	남한강/ 낙동강	16.7 - 31.2	7.5 - 14.0	본 연구
서어나무 혼합림	피아골	3.87	1.74	金俊鎬 등, 1982
서어나무 35년생	피아골	7.24	3.26	張楠基 · 金仁子, 1983
줄참나무 49년생	피아골	11.36	5.11	張楠基 · 金仁子, 1983
줄참나무 25-29년생	-	14.5	6.53	朴仁協 · 文侑宣, 1994
신갈나무 683본 · ha ⁻¹	춘천	8.74	3.93	金俊鎬 · 尹成模, 1972
신갈나무(1984년 측정)	남병산	8.76	3.94	Kwak and Kim, 1992
신갈나무(1990년 측정)	남병산	11.6	5.22	Kwak and Kim, 1992
신갈나무 39년생	충주	9.96	4.48	宋七永 등, 1997
신갈나무	충주	10.0	4.50	宋七永 · 李壽煜, 1996
신갈나무25-29년생	-	12.6	5.67	朴仁協 · 文侑宣, 1994
굴참나무 6600개체 · ha ⁻¹	산청군	4.27	1.92	金是環 · 鄭容, 1985
굴참나무 4300개체 · ha ⁻¹	산청군	8.99	4.05	金是環 · 鄭容, 1985
굴참나무 40년생	충주	8.38	3.77	宋七永 등, 1997
굴참나무 25-29년생	-	23.2	10.44	朴仁協 · 文侑宣, 1994
굴참나무	충주	8.6	3.87	宋七永 · 李壽煜, 1996
물오리나무	관악산	8.56	3.85	蔡明仁 · 金俊鎬, 1977
상수리나무	관악산	11.70	5.27	蔡明仁 · 金俊鎬, 1977
상수리나무 25-29년생	-	25	11.25	朴仁協 · 文侑宣, 1994
후박나무	보길도	16.06	7.23	李偵錫 · 金椿植, 1988
소나무 938개체 · ha ⁻¹	춘천	12.66	5.70	金俊鎬 · 尹成模, 1972
소나무 자연림	홍천	15.87	7.14	李壽煜, 1985
소나무 인강형	원성군	3.72	1.67	朴仁協 · 李錫逸, 1990
소나무 중남부 평지형	승주군	10.80	4.86	朴仁協 · 李錫逸, 1990
소나무 중남부 고지형	남원군	13.10	5.90	朴仁協 · 李錫逸, 1990
소나무 금강형	명주군	16.50	7.43	朴仁協 · 李錫逸, 1990
소나무 682개체 · ha ⁻¹	-	15.87	7.14	Hong, S.K., et al., 1994
소나무 938개체 · ha ⁻¹	-	12.66	5.70	Hong, S.K., et al., 1994
소나무 1030개체 · ha ⁻¹	-	10.80	4.86	Hong, S.K., et al., 1994
소나무1150개체 · ha ⁻¹	-	13.10	5.90	Hong, S.K., et al., 1994
소나무-굴참나무림	-	8.3	3.74	朴仁協 · 文侑宣, 1994

3.2 낙엽분해율

버드나무군락, 초본군락, 버드나무군락주변에 낙엽분해주머니를 설치하여 3달간 낙엽분해율을

알아보았다. 그 결과 3개월 뒤 낙엽잔존량은 초본군락에서 85.1%, 버드나무군락 주변에서 71.1% 그리고 버드나무군락에서 79.1%로 낙엽분해 속도는 버드나무군락 주변에서 가장 높았고 초본군락

에서 가장 낮았다(Fig. 5). 가장 분해속도가 빠른 시기는 초기 1개월간이었고, 점차 시간이 지날수록 분해는 느리게 일어났다. 낙엽의 분해율은 7-8월에 높는데(김재근과 장남기, 1989) 조사시기가 8월부터 10월까지여서 특히 초기 1개월간의 분해율이 높았던 걸로 판단된다. 산림에서 신갈나무는 12개월 후의 분해율이 21%로 보고되어(Mun 2009), 조사된 버드나무군락에서의 3개월 후의 분해율과 비슷하였다. 광양 백운산 지역에서 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무의 낙엽분해는 6개월 경과 후 6.0%, 5.4%, 3.7%로 조사지역의 분해율보다 낮았다. 낙엽의 분해율은 미소환경의 차이로 변하며 특히 높은 습도와 온도로 인해 증가한다(장남기와 유준희, 1986; 문형태 2009; Fogel and Cromack, 1977). 하천변의 버드나무림은 수시로 침수가 되어 높은 습도로 인해 낙엽의 분해율이 높은 것으로 사료된다. 신진호 등(2006)의 연구에서 수생식물인 줄의 낙엽 분해는 약 3개월 후 잔존율이 21.2%이었고, 김구연(2002)의 연구에서 줄의 낙엽이 50% 분해되는 기간은 72-131일로 정수식물은 버드나무낙엽보다 빠르게 분해되었다.

낙엽의 분해에 따른 분해상수(k)는 초본군락, 버드나무군락 주변, 버드나무군락에서 1개월째에 1.31, 2.35, 1.72이었으며, 2개월째에 0.83, 1.35, 1.15이었다. 3개월째에는 0.64, 1.37, 0.94로 시

간이 지남에 따라 분해상수 k는 감소하는 경향이 나타났다. 3개월째 분해율을 기준으로 초본군락, 버드나무군락 주변, 버드나무군락에서 반감기(t50)는 각각 1.08년, 0.51년, 0.74년이었고, 95%가 분해되는 시간(t95)은 4.66년, 2.20년, 3.20년이 었다. 99%가 분해되는 시간(t99)은 7.77년, 3.66년, 5.33년 이었다(Table 2). Kim(2007)의 연구에서 참나무류인 졸참나무, 굴참나무, 신갈나무의 반감기는 각각 2.3년, 1.7년, 2년으로 본 연구보다 길었다. 또한 장남기와 박남창(1986)이 침엽수림에서 조사한 반감기는 3.627-5.683년으로 본 연구보다 길었다. 하지만 대형수생식물인 침수식물들(새우가래 붕어마름의 혼합), 줄, 애기부들 낙엽의 반감기는 131일(0.35년), 140일(0.38년), 185일(0.51년)로 본 연구의 반감기보다 짧았다(조강현, 1992).

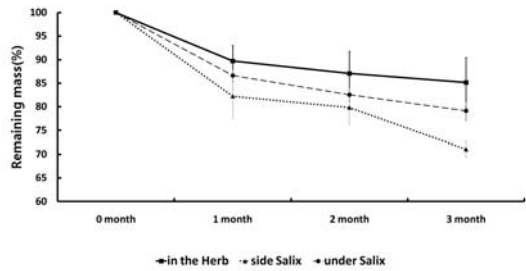


Fig. 5. Remaining mass (%) in decomposing leaf litter of *S. koreensis*

Table. 2. Decay constant (k) and required time for the loss of 50%, 95% and 99% in decomposing leaf litter of the *S. koreensis*

Month	k $Y=e^{-kt}$			50% remaining $0.693/k$			95% remaining $3/k$			99% remaining $5/k$		
	in the Herb	around <i>Salix</i>	under <i>Salix</i>	in the Herb	around <i>Salix</i>	under <i>Salix</i>	in the Herb	around <i>Salix</i>	under <i>Salix</i>	in the Herb	around <i>Salix</i>	under <i>Salix</i>
1	1.31	2.35	1.72	0.53	0.30	0.40	2.30	1.28	1.74	3.38	2.13	2.90
2	0.83	1.35	1.15	0.83	0.51	0.51	3.61	2.22	2.61	6.02	3.70	4.34
3	0.64	1.37	0.94	1.08	0.51	0.74	4.66	2.20	3.20	7.77	3.66	5.33

감사의 글

본 연구는 2006년 정부(교육과학기술부)의 한국연구재단(KRf-2006-0050313), 환경부의 2009년 장기생태연구(LTER), 국토해양부의 자연과 함께하는 Eco-River(2008-2009)의 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 김구연, 주기재, 김현우, 신건성, 윤혜순, 낙동강 하류에서 수서무척추동물에 의한 정수식물의 낙엽분해, 한국하천호수학회지 35(3), pp. 172-180, 2002.
- 김성봉, 습지와 환경자원 도서출판, 월인, p. 168, 2008.
- 김시경, 정좌용, 굴참나무 천연림의 생산구조 및 물질생산력에 관한 연구, 한림지, 70, pp. 91-102, 1985,
- 김용택, 이승우, 김준호, 잣나무 유림의 수령에 따른 생산량 및 태양에너지 이용효율 비교, 한국생태학회지, 11(2), pp. 83-95, 1988.
- 김재근, 장남기, 관악산에 식재된 리기다소나무림에서의 낙엽의 생산과 분해, 한국생태학회지, 12(1), pp. 9-20, 1989.
- 김준호, 서계홍, 정연숙, 이규송, 고성덕, 이점숙, 임병신, 문형태, 조강현, 이희선, 유영한, 민병미, 이창석, 이은주, 오경환, 현대생태학, 교문사, pp. 206-207, 2007.
- 김준호, 임영득, 조도순, 고성덕, 민병미, 지리산 피아골 극상림의 군락구조, 식물량 및 일차생산에 관한 연구, 한국자연보존협회사보고서, 21, pp. 53-73, 1982.
- 김태근, 이괄홍, 오경환, 우포늪 지역에서 버드나무류 군집의 현존식생도, 현존량 및 1차 생산성, 한국습지학회지, 9(2), pp. 33-43, 2007.
- 김혜주, 신범균, 유영한, 김창환, 홍수터복원을 위한 국내 잠재자연하천 식생에 대한 연구, 한국환경생태학회지, 22, pp. 564-594, 2008.
- 김혜주, 이준현, Salix종의 생물공학적 이용성에 관한 연구, 한국조경학회지, 26(3), pp. 143-151, 1998.
- 박인협, 문광선, 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구, 한림지, 83, pp. 246-256, 1994.
- 박인협, 이석면, 한국산 4개 지역형 소나무천연림의 물질생산에 관한 연구, 한림지, 79, pp. 196-204, 1990.
- 송종석, 송승달, 낙동강 상류 한천 일대의 하천변 식생의 식물사회학적 연구, 한국생태학회지, 19(5), pp. 431-451, 1996.
- 송철영, 이수옥, 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질생산성에 관한 연구, 한림지, 85, pp. 443-452, 1996.
- 송철영, 장관순, 박관수, 이승우, 신갈나무와 굴참나무 천연림의 탄소 고정량 분석, 한림지, 86, pp. 35-45, 1997.
- 신진호, 최상규, 연명훈, 김정명, 심재국, 대형 수생식물의 초기 분해에 관한 연구, Ecol. Field Biol, 29(6), pp. 565-572, 2006.
- 이수옥, 강원도산 소나무천연림 생태계의 biomass 및 net primary production에 관한 연구, 한림지, 71, pp. 74-81, 1985.
- 이울경, 김종원, 한국의 하천식생, 계명대학교출판부, 2005.
- 이정석, 김춘식, 후박나무 물질생산량에 관하여, 한림지, 77, pp. 10-165, 1988.
- 장남기, 김인자, 지리산 피아골 졸참나무와 서나무군락의 물질생산과 분해에 관한 연구, 한국생태학회지, 6, pp. 198-207, 1983.
- 장남기, 박남창, 남한의 송백림에 있어서 낙엽의 생산과 분해에 관한 연구, 한국생태학회지, 9(2), pp. 79-90, 1986.
- 장남기, 유준희, 리기다소나무림 부식토내의 Cellulase, Xylanase의 활성과 토양미생물의 연간변동과 수직분포, 한국생태학회지, 9(4), pp. 231-241, 1986.
- 조강현, 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 염소와 인의 순환, 서울대학교, 박사학위논문, 1992.

채명인, 김준호, 물오리나무와 상수리나무숲의 생산성 비교 한국생태학회지, 1, pp. 57-65, 1977.

최홍근, 수생관속식물, 생명공학연구소, 2000.

허은복, 하천의 생태적 복원을 위한 자연하천변의 목본성 식물군락에 대한 연구, 공주대학교 석사학위논문, 2010.

Cowardin, L. M., V. Carter, F. C. Golet, and E. T. LaRoe., Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States, FWS/OBS-79/31, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C, 1979.

Fogel R, Cromack Jr K., Effect of habitat and substrate quality on Douglas fir litter decomposition in western Oregon, Canadian Journal of Botany, 55, pp. 1632-1640, 1977.

Hong, S K, Nobugazu Nakagoshi, Song, H K, Productivity of Secondary Pine Forests and their Sustainable Management in Korea, Proceed, IUFRO International Workshop on Sustainable Forest Management, Furano, Hokkaido Japan(October, 17-21, 1994). pp. 81-89, 1994.

Houghton, R.A., J.E. Hobbie, J.M. Melillo, B. Moore, B.J. Peterson, G.R. Shaver and G.M. Woodwell., Change in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980; a net release of CO₂ to the atmosphere, Ecological Monographs, 53, pp. 235-262, 1983.

Kwak Y S, Kim, J H, Secular Changes of Density, Litterfall, Phytomass and Primary Production in Mongolian Oak(*Quercus mongolica*) Fores, Koerea J Ecol, 15, pp. 19-34, 1992.

Keddy, P. A., Wetland ecology: Principles and conservation. Cambridge University Press, Cambridge, 2002.

Kimberley A. Ottenbreit and Richard J.

Staniforth, Life cycle and age structure of ramets in an expanding population of *Salix exigua* (sandbar willow), Can. J. Bot., 70(6), pp. 1141-1146, 1992.

Kim C S, Lim JH, Shin JH, Nutrient dynamics in litterfall and decomposing leaf litter at the Kwangneung deciduous broad-leaved natural forest, Kor Jour Agri For Meteorol, 5(2), pp. 87-93, 2003.

Kim, J S, Litter Decomposition and Nitrogen Release in Three *Quercus* Species at Temperate Broad-Leaved Forest, Forest Science and Technology, 3(2), pp. 123-131, 2007.

Kopp R.F., Abrahamson L.P., White E.H., Burns K.F., Nowak C.A., Cutting cycle and spacing effects on a willow clone in New York, Biomass and Bioenergy, 12, pp. 313-319, 1997.

Mun, H T, Weight Loss and Nutrient Dynamics during Leaf Litter Decomposition of *Quercus mongolica* in Mt. Worak National Park, J. Ecol. Field Biol, 32(2), pp. 123-127, 2009.

Olson J S., Energy storage and balance of producers and decomposers in ecological system, Ecology, 44, pp. 321-331. 1963.

Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Characteristic of willow coppice biomass as a stock material for methanol production, Warszawa, pp. 143-150. 2003.

Szczukowski, S., Stolarski, M., Tworkowski, J., Przyborowski, J., Klasa, A., Productivity of willow coppice plants grown in short rotations, Plant Soil Environ, 51(9), pp. 423-430, 2005.

○논문접수일 : 10년 04월 12일

○심사의뢰일 : 10년 04월 12일

○심사완료일 : 10년 04월 18일