

자갈 하중주에서 식생의 공간 분포 및 동태: 방태천의 사례

피정훈 · 김혜수 · 김경순 · 오우석 · 구본열 · 이창석^{1,*}

(서울여자대학교 대학원 생물학과, ¹서울여자대학교 생명환경공학과)

Spatial Distribution and Dynamics of Vegetation on a Gravel Bar: Case Study in the Bangtae Stream. Pee, Jung-Hun, Hye-Soo Kim, Gyung-Soon Kim, Woo-Seok Oh, Bon-Yoel Koo and Chang-Seok Lee^{1,*} (Department of Biology, Graduate School of Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea; ¹Department of Bio and Environmental Technology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea)

We clarified the background for establishment of vegetation by comparing the spatial distribution maps of vegetation and substrate on a gravel bar in the Bangtae stream located on Inje-gun of Gangwon-do, the central eastern Korea. The total vegetation coverage was higher in the interior and lower in the marginal parts of the gravel bar. Spatial distribution of vegetation on the longitudinal section of the gravel bar tended to be arranged in the order of shrub, subtree, and tree dominated vegetation types from the front (upstream) toward the rear (downstream) parts. Coverage of the herbaceous plants was higher in the central and rear parts and lower in the front and right parts of the gravel bar. Vegetation height was higher in the rear part and became lowered as move toward the front part. Substrate was distributed in the order of boulder, gravel, sand, and boulder from the front toward the rear parts. Ordination of stands based on vegetation data was arranged in the order of annual plant, perennial herb, shrub, and tree dominated vegetation as move from the right to the left parts on the axis I. Species richness was higher in the order of *Pinus densiflora* community, *Phragmites japonica* community, *Salix gracilistyla* community, *Fraxinus rhynchophylla* community, annual plant dominated vegetation, and *Prunus padus* for. *padus* community based on the species rank-abundance curve. The order based on the Shannon's index was some different; diversity of *Phragmites japonica* community and *Salix gracilistyla* community, which showed higher dominance degree, were low differently from species richness. In conclusion, it was evaluated that the gravel bar newly established toward the upstream and vegetation dynamics of the gravel bar seemed to follow ecosystem mechanisms of succession. As were shown in the above results, the Bangtae stream corresponded to the upstream and thereby particle size of substrate was big. Therefore, they move by rolling and are accumulated for the

* Corresponding author: Tel: +82-2-970-5666, Fax: +82-2-970-5822, E-mail: leecs@swu.ac.kr

upstream. Vegetation types were arranged in the order of woodland, shrub-land and grassland from the rear toward the front parts of the gravel bar and thereby reflected the formation process of the bar. However, the gravel bar is disturbed frequently by not only the running water but also the suspended sand as the dynamic space. Such disturbances cause habitat diversity and consequently led to high biodiversity.

Key words : gravel bar, spatial distribution, species diversity, substrate, vegetation dynamics

서 론

하천은 연간 또는 계절적으로 변동하는 유수로 인해 지형 그 자체가 변화되는 동적인 장소이다. 이러한 장소에서 생물군집의 갱신은 매우 짧은 기간에 이루어지고 있다. 그 기간은 길어봐야 수십 년으로 100년이 되지 않는 것도 있고 하천경관 내의 대부분은 오히려 1년 내지는 수년 내의 짧은 간격으로 변동하고 있다. 하천경관에서 초본식물군락이 우세한 생태계이고 그 중에서도 일년생 초본식물이 많은 부분을 차지하고 있다는 사실이 그것을 입증해 주고 있다. 즉, 하천은 여러 가지 시간계의 동적생태계가 복합된 장소라고 할 수 있다(Lee *et al.*, 2009).

하천환경의 특징은 유수가 존재하는 데 있다. 하천은 침식, 운반, 퇴적이라는 세 가지 작용을 끊임없이 수행하고 있다. 즉 하천은 동적인 생태공간으로서 교란이 상존하는 곳이다(Gregory *et al.*, 1991; Chun *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2009, 2010; Lee *et al.*, 2011). 이러한 하천의 동적 산물로서 하중주는 유수의 침식 및 퇴적작용에 의해 형성·발달되기도 하고, 이와 반대로 소멸되기도 하는 하나의 하천환경요소이다. 하중주를 형성하는 물질은 주변 하상에서 공급된 것으로 이때 하천의 수위에 따라 다양한 크기의 입자들이 퇴적된다(Kollmann *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2009). 하중주는 다른 퇴적지형에 비해 하천이 범람할 때마다 침수되어 주기적인 교란으로 서식처를 파괴하거나 다른 것을 창조하는 것과 같이 환경을 재배열한다(Arscott *et al.*, 2002).

하천생태계는 유수의 작용에 의해 만들어지는 터의 구조, 즉 하천의 형태와 식생에 의해 주로 유지된다. 특히 자연하천에서 소규모 하중주는 홍수에 의해 일시적으로 형성되었다가 사라지기도 하지만 식생이 정착하여 안정화되고 규모가 커지면서 비교적 장기적으로 유지되며 하천생물의 서식 공간 또는 경관요소로 작용하기도 한다(Kollmann *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2009).

식물생태학자들은 일반적으로 식생 동태의 두 가지 양

상, 즉 방향성을 가진 천이와 순환 과정을 인식하고 있다(Miles, 1979; van Andel *et al.*, 1993; McCook, 1994). 천이는 교란 후 안정된 상태를 향해 진행되는 생태계 발달의 점진적 과정을 의미한다. 순환과정은 소규모의 동태 또는 미소 천이로서 그것을 통해 안정된 식생의 특성이 유지된다(Watt, 1947; White and Pickett, 1985; van der Maarel and Sykes, 1993). 식생의 동적 과정에 대한 두 종류의 연구에서 식물생태학자들은 생태계 발달을 가져오는 자발적 과정(autogenic process)에 주로 관심을 가져왔다(Chun *et al.*, 2007). 그러나 외적 또는 타발적 과정(allogenic process, 예를 들면, 산사태 후 나지의 발생) 또한 천이를 개시하거나 어느 한 상태로부터 다른 상태로 천이적 변화를 야기하는 중요한 요인으로 인식되고 있다. 그러나 천이의 개념을 처음 소개한 Clements(1916) 이후 생태학자들은 식물들이 그들의 환경을 수정하여 천이적 서열을 이루어내는 방법에 주로 관심을 가져왔다(Barbour *et al.*, 1999). 식생동태의 자발적 과정에 대한 생태학자들의 편중된 관심으로 우리는 외적 과정이 생태계 발달에 어떻게 기여하는지를 인지하지 못할 위험에 처할 수 있다.

근래 하천관리는 생태적 관리를 강조하는 방향으로 변화하고 있다(Gore, 1985; Petts and Calow, 1996; Lee *et al.*, 2009). 하천복원은 현재 복원생태학 분야에서 가장 활발한 분야 중의 하나이지만, 복원된 하천은 여전히 자연 하천과는 거리가 멀다(Lee *et al.*, 2011). 종종 수로를 따라 식생과 몇몇 레크리에이션 시설을 도입하는 것이 취해진 유일한 복원의 수단이다. 큰키나무와 관목을 도입하여 응달을 늘리고, 그리하여 수역의 1차 생산을 줄이며 제방과 댐을 적당히 제거하여 수로에 인접한 지역에 어느 정도 범람을 허용하는 궁정적인 면도 있다. 새로운 사행천을 유도해내도 수로의 경로는 대체로 고정되고, 침전물 수송은 조절되며 표류목은 제거하여 하천의 동적 특성은 무시되고 있다. 따라서 식생발달의 초기에 필요한 조건은 여전히 드물다(Dynesius and Nilsson, 1994). 특히 물 흐름의 다양성을 창출하고 그것이 서식처 다양성

과 생물다양성으로 이어져 멸종 위기종 유지와 복원에도 크게 기여하는 것으로 알려진 (Kollmann *et al.*, 1999) 하중주 식생의 시·공간적 패턴에 대한 정보는 거의 없다.

방태천은 비교적 교란되지 않은 자연적 과정과 하천생태계에서 초기 식생의 발달과정에 대해 연구할 중요한 기회를 제공한다. 이들 과정에 대한 철저한 조사는 장래에 하천의 생태적 복원을 위한 모델로 기능할 수 있다. 어떤 과학적 기준도 없이 전국적으로 하천복원이 시행되고 있고, 대부분의 상류하천에서 그것이 자연의 한 현상임에도 불구하고 홍수 후에는 하상을 일괄적으로 정비하는 작업이 매년 반복되고 있는 현실에서 이러한 연구는 시급히 요청되고 있다. 주요 식생단위에 대한 기술과 그들의 공간분포에 대한 정보가 우선적으로 수집될 필요가 있다 (Kollmann *et al.*, 1999).

본 연구는 궁극적으로는 한강으로 합류하는 하나의 지천으로서 한강의 상류하천에 해당하는 방태천의 수로에 형성된 자갈 하중주상에 성립된 식생의 구조와 공간분포를 조사한 후 그 결과를 하천의 동적 과정의 결과물로서 그것이 성립한 지소의 하상과 연관시켜 그 성립배경과 동태를 분석하였다. 나아가 이러한 결과를 통하여 하천 복원과 복원된 하천의 사후 관리에서 요구되는 생태정보를 구축하였다. 우리의 연구는 다음의 질문에 초점을 맞추고 있다. 1. 자갈 하중주에는 어떤 식생이 성립하는가? 2. 자갈 하중주에서 식생의 성립을 지배하는 비생물 요인은 무엇인가? 3. 자갈 하중주에서 식생성립의 역사는 중수 증가를 가져오는가?

조사지 및 방법

1. 조사지 개황

방태천 유역은 128° 18'45"~128° 31'5", 북위 37° 56'40"~38° 3'20"에 위치하고 북서사면인 점봉산(1,424.4 m)과 북사면인 단목령(855.5 m)에서 발원하여 기린면 진동리를 지나며 남서쪽으로 흘러 인제군 현리에서 내린천으로 유입되는 하천으로 총 유로 연장 약 35 km, 유역면적은 195.65 km²이다. 유역의 평균 고도는 EL. 768.42 m이며 평균 하천 경사는 6.41°이다. 일대의 삼림은 인간의 간섭을 거의 받지 않은 자연림으로 이루어져 있고(The Korean Association for Conservation of Nature, 1995), 우리나라에서 유일한 원시림을 형성하고 있다(Ministry of Environment, 1992). 방태천 유역은 본 연구는 방태천 상류에 위치한 폭 40 m와 길이 180 m의 자갈 하중주에서 이루어졌다. 하중주가 위치한 주변 삼림은 소나무군락으로 이루어져 있고 하천의 폭은 64 m이다.

2. 연구방법

현장 조사는 2009년 7월에 수행되었다. 자갈 하중주 내의 식생 및 기질의 공간분포를 분석하기 위하여 하중주 전체에 25 m² (5 m×5 m)의 방형구 188개를 설치하였다. 방형구 내에 출현한 식생을 4개의 계층(초본층; <1 m, 관목층; 1.1 m~2.0 m, 아교목층; 2.1 m~8.0 m 및 교목층;

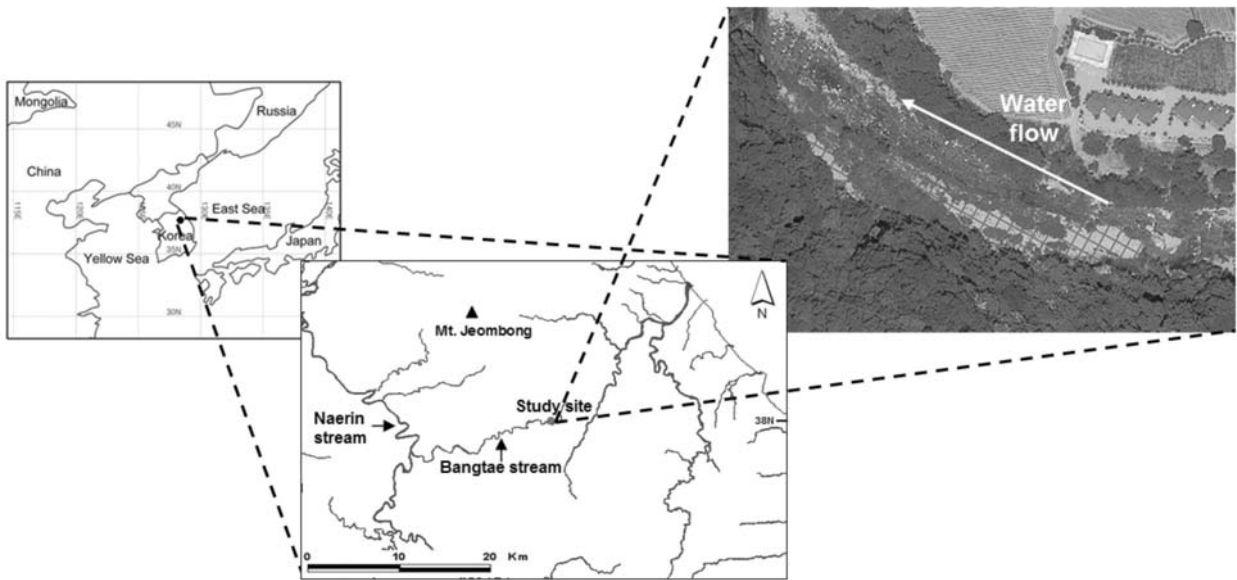


Fig. 1. A map showing the location of study site in Bangtae stream, central eastern Korea.

>8.0 m)으로 구분하여 각 계층의 식피율, 수고 및 하상 재료에 대해 조사하였고, 그 결과를 Arc GIS 9.3을 이용하여 지도로 작성하였다.

식생조사는 각 식물군집에서 비교적 상관이 균질한 곳을 선택하여 Braun-Blanquet (1964)법을 적용하여 수행하였다. 조사구 면적은 초본, 관목 및 교목 우점식생에서 각각 4 m² (2 m×2 m), 25 m² (5 m×5 m) 및 100 m² (10 m×10 m)로 정하였다.

각 조사지의 종 조성을 비교하기 위하여 서열법 (DCA)를 적용하였다. 분석용 자료는 수집된 식생자료에서 각종의 피도계급을 그 계급이 나타내는 식피율 범위의 중간값으로 전환한 후 전체 출현종의 합에 대한 각 종의 상대 값으로 구한 중요치 (importance value)로 삼았다. 이 과정에서 출현빈도 5% 이하의 종은 제외하였다.

종 다양성은 각 조사지소의 종 순위-우점도곡선 (Kent and Cocker, 1992; Lee *et al.*, 2002; Magurran, 2003)과 Shannon Index (H') (Shannon and Weaver, 1949; Brower and Zar, 1977)에 기초하여 검토하였다. 식물의 동정은 Lee (1996), Park (1995), Park (2001)을 따랐다.

하상물질은 입자 크기에 근거하여 모래 (sand, <2 mm),

자갈 (gravel, 2~64 mm), 호박돌 (boulder, 64~256 mm) 및 거석 (rock, >256 mm)으로 구분하였고 (Cowan, 1956), 각 방형구에서 우세한 물질로 표현하였다.

모든 자료의 통계 분석은 Excel 2007과 Sigmaplot 2001을 이용하였고, 군집 및 지소 간 종 조성을 비교하기 위한 서열화 (DCA, Detrended Correspondence Analysis)는 PC-ORD (Version 4.20; McCune and Mefford, 1999)를 이용하여 수행하였다.

결 과

1. 자갈 하중주에서 식생의 공간 분포

전체적인 식피율은 하중주 내부에서 높고 가장자리에서 낮은 경향이였다. 선단부와 후미의 식피율을 비교하면, 전자보다 후자에서 높은 경향이였다 (Fig. 2-a). 교목우점 식생은 유수에 의한 직접적 교란의 영향이 적은 하중주의 후미에 제한적으로 분포하였다 (Fig. 2-b). 아교목우점 식생 역시 교란의 영향이 상대적으로 적은 하중주의 중앙 이하에 분포하였다 (Fig. 2-c). 관목우점 식생은 하중주

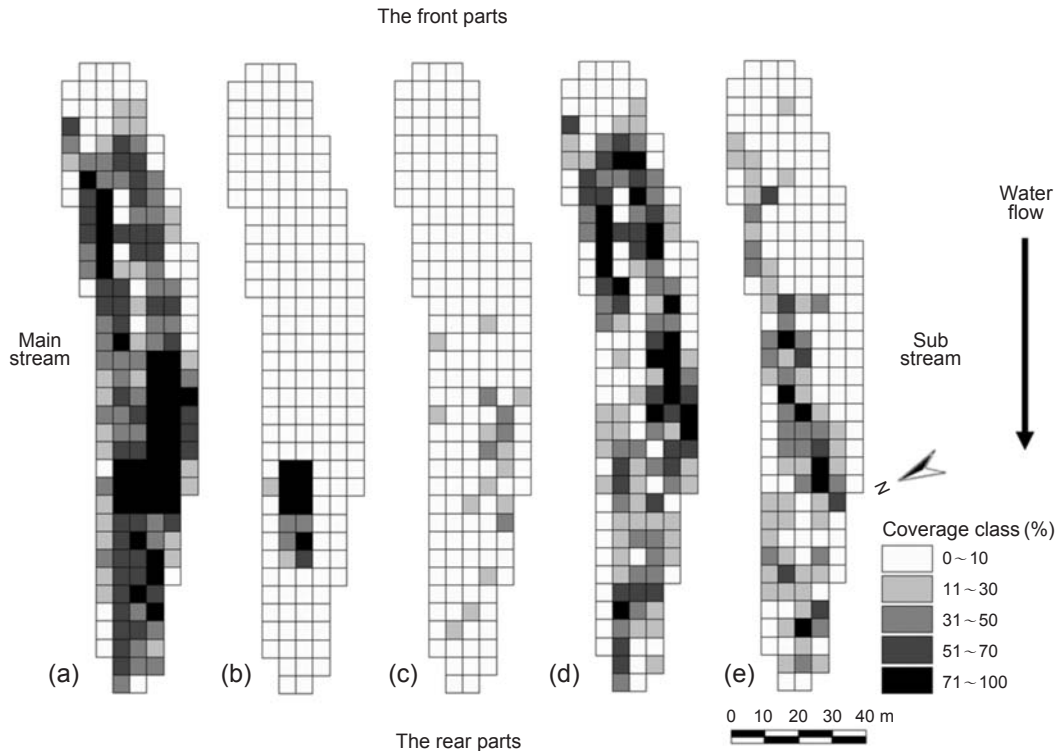


Fig. 2. Spatial distribution of the total coverage of vegetation and coverage of tree, subtree, shrub and herb dominated vegetation established on a gravel bar formed in the Bangtae stream, central eastern Korea (a: total, b: tree, c: subtree, d: shrub and e: herb).

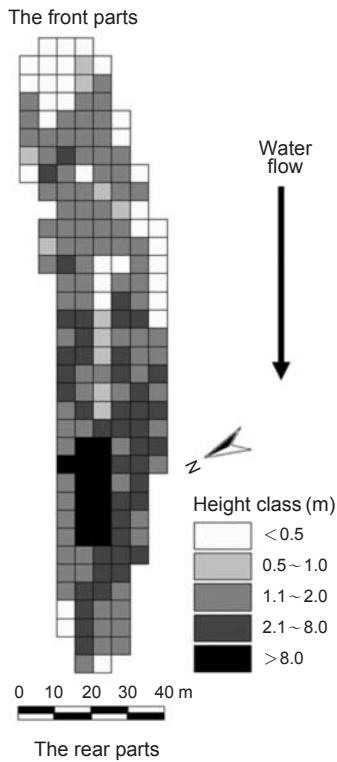


Fig. 3. A spatial distribution of the height of vegetation established on a gravel bar formed in the Bangtae stream, central eastern Korea.

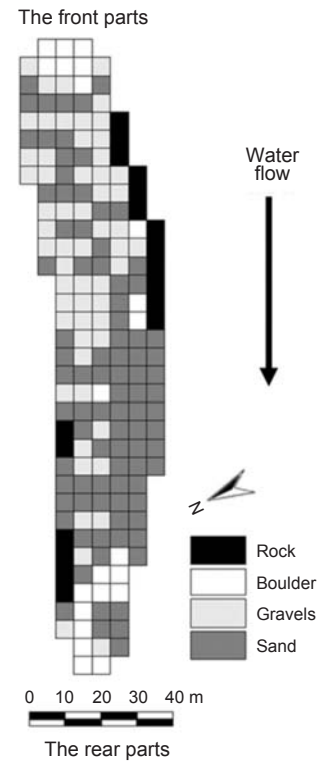


Fig. 4. A spatial distribution of the bed substrate on a gravel bar formed in the Bangtae stream, central eastern Korea.

의 선단부와 좌우 가장자리를 제외하고 하중주 전체에 분포하는 경향이나 식피율은 중앙 이상에서 높은 경향이였다 (Fig. 2-d). 초본우점 식생의 경우는 주수로가 위치하는 하중주의 왼편에서 식피율이 높은 경향이였다. 한편, 초본우점 식생의 식피율은 하중주에서의 위치보다는 식생의 영향을 받아 관목 및 야교목 우점 식생이 주로 분포하는 부분에서는 상대적으로 식피율이 낮았다 (Fig. 2-e). 수고분포는 각 부분에서 우점하는 식생의 생활형을 반영하여 하중주의 후미에서 높게 나타났다 (Fig. 3).

2. 자갈 하중주에서 하상물질의 공간 분포

하상물질은 하중주의 선단부에서 후미를 향해 호박돌, 자갈, 모래, 호박돌의 순서로 나타나는 경향이였다. 한편, 하중주 선단의 우측과 후미의 좌측 가장자리에는 거석이 분포하였다 (Fig. 4).

3. 자갈 하중주에 성립된 식생의 종 조성

수집된 식생자료에 기초하여 식분을 서열화한 결과 (Fig.

5), I축과 II축의 고유치 (eigenvalue)는 각각 0.79와 0.59로 나타났고, 각 축의 변이 (variation)에 대한 설명율은 각각 43.9%와 19.4%로 나타났다. 식분의 배열은 I축 상의 오른쪽에서 왼쪽으로 이동함에 따라 1년생 식물 우점 식생, 달뿌리풀 (*Phragmites japonica*) 군락 (다년생 초본), 갯버들 (*Salix gracilistyla*) 군락 (관목), 물푸레나무 (*Fraxinus rhynchophylla*) 군락, 소나무 (*Pinus densiflora*) 군락 및 귀룽나무 (*Prunus padus for. padus*) 군락 (교목)의 순서로 나타나 식생의 발달단계에 따라 분포하는 경향이였다.

4. 자갈 하중주에 성립된 식생의 종 다양성

식물군락 별 종 순위-우점도 곡선 (Fig. 6)에서 종 풍부도는 소나무군락, 달뿌리풀군락, 갯버들군락, 물푸레나무군락, 1년생 식물 우점군락 및 귀룽나무군락 순으로 높게 나타났다. 곡선의 기울기에서 1년생 식물 우점군락과 귀룽나무군락은 급경사를 보였고 나머지 식물군락은 완만한 경사를 보였다. Shannon지수에 의한 다양성은 소나무군락 ($H' = 4.59$)이 가장 높았고, 1년생 식물 우점군락 ($H' = 4.18$), 물푸레나무군락 ($H' = 2.96$), 귀룽나무군락 ($H' =$

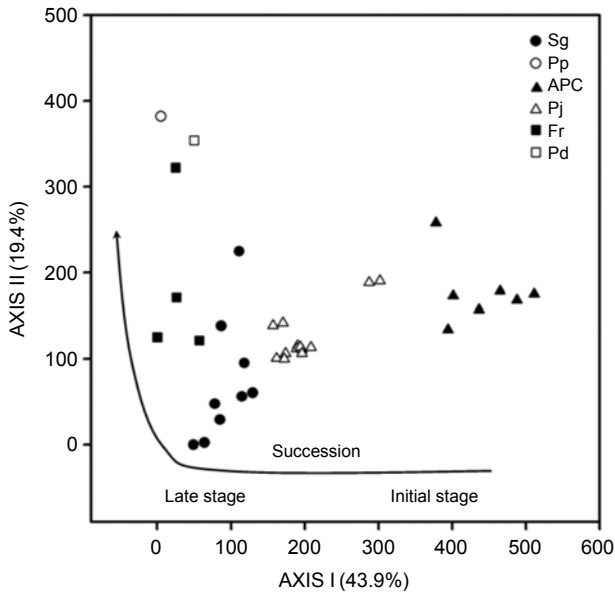


Fig. 5. The result of stand ordination based on species composition of vegetation established on the gravel bar formed in the Bangtae stream, central eastern Korea. Pp: *Prunus padus* for. *padus* community, APC: Annual plant dominated community, Sg: *Salix gracilistyla* community, Pj: *Phragmites japonica* community, Pd: *Pinus densiflora* community, Fr: *Fraxinus rhynchophylla* community.

2.68), 갯버들군락 ($H'=2.11$) 및 달뿌리풀군락 ($H'=1.43$) 순으로 낮아졌다.

고찰

1. 하중주의 형성과 생태적 중요성

본 연구를 수행한 방태천과 같은 상류하천에서 하중주는 서식처 다양성을 이끌어내는 데 중요한 역할을 하고, 궁극적으로는 희귀 동·식물을 비롯하여 다양한 동·식물을 보유하는 데 기여하여 높은 생물다양성을 유지하는 데 기여한다 (Kollmann *et al.*, 1999). 실제로 유사한 지리적 위치에 자리한 하천의 수변식생이 달뿌리풀군락이 우점하고, 갯버들군락이 부분적으로 섞여나는 수준이지만 본 연구가 이루어진 하중주에는 소나무군락, 귀룽나무군락, 물푸레나무군락 같은 교목 우점 식생도 출현하여 이러한 결과를 뒷받침하고 있다 (Figs. 2 and 5 참고). 이처럼 생태적으로 중요한 가치가 있는 하중주의 형성은 주변에서 수로로 유입된 대형 목재 파편 (large woody debris)이 그 형성의 핵 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 즉 대형

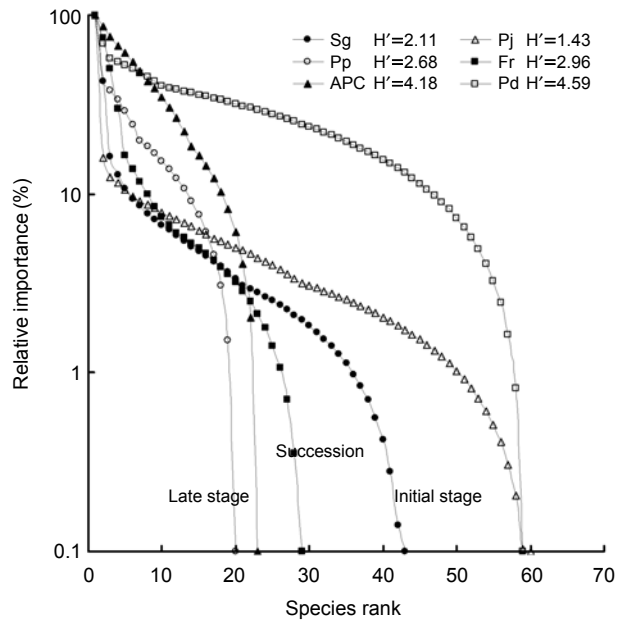


Fig. 6. Species rank-abundance curves and Shannon index (H') of major plant communities established on the gravel bar formed in the Bangtae stream, central eastern Korea. Pp: *Prunus padus* for. *padus* community, APC: Annual plant dominated community, Sg: *Salix gracilistyla* community, Pj: *Phragmites japonica* community, Pd: *Pinus densiflora* community, Fr: *Fraxinus rhynchophylla* community.

목재파편은 하중주 형성을 개시하고 그것의 발달에 기여한다 (Abbe and Montgomery, 1996). 대형 목재 파편은 수로의 형태를 결정할 뿐만 아니라 하중주에서 식물의 정착에도 영향을 미치며 식생발달에서도 중요한 역할을 하고 있다 (Fetherston *et al.*, 1995). 대형 목재파편 주변에 퇴적되는 미세 퇴적물은 상당한 양의 종자를 함유하고 있어 이러한 역할이 가능하다 (Schwabe, 1991; Langlade and Decamps, 1995). 나아가 이러한 하중주에 넓게 분포하는 버드나무류는 미세퇴적물의 축적을 촉진하여 (Heller, 1969) 그 성립역사가 길어짐에 따라 더 높은 생물다양성을 유지하게 된다. 그러나 본 연구가 이루어진 방태천의 경우는 거석 또는 호박돌이 대형 목재 파편의 역할을 대신하고 있다.

2. 하중주의 동태와 천이과정

국지적 퇴적과 하중주 형성은 목본식생에 의해 촉진되고 (Abbe and Montgomery, 1996), 하중주의 발달과 식생 천이는 밀접하게 연관된다 (Kollmann *et al.*, 1999). 이러한 천이과정은 나지, 초본식물이 우점하는 초기단계 그리

고 관목이나 교목성 식물이 우점하는 정착단계로 이루어진다(Kollmann *et al.*, 1999). 역동적인 상류하천에서 특히 하중주에서의 천이는 수로부터 멀고 고도가 높아 교란이 빈번하게 발생하지 않는 범람원과 달리 성숙한 낙엽활엽수림과 같은 천이 후기단계의 식생에까지 이르지 않는다(Hupp and Osterkamp, 1985; Ellenberg, 1988; Schnitzler, 1997; Chun *et al.*, 2007). 하중주에서 천이는 홍수주기, 목본 우점식생의 정착과 퇴적작용 사이의 상호작용, 더 많은 식생의 정착에 따른 하중주의 안정화 등에 의해 지배된다(Kollmann *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2009). 본 연구가 이루어진 하중주에서 그 성립역사가 오래된 후미에는 교목 우점 식생이 분포하고, 상대적으로 교란이 빈번한 선단부에는 관목 우점 식생이 분포하며, 그 사이에는 상대적으로 식피율은 낮지만 아교목성 식물이 높은 식피율을 보여 이러한 천이 추세를 반영하였다(Fig. 2).

한편, 초본 우점 식생의 분포는 홍수 자체가 가져오는 교란과 홍수 시 물에 떠 이동하는 모래와 자갈이 만들어 내는 나지와 연관된 분포를 보이고 있다(Fig. 2). 이처럼 하중주에서 식생의 발달은 자발적 과정 (autogenic process) 보다는 주로 타발적 과정 (allogenic process)에 의해 추진된다(Decamps, 1996; Chun *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2009). 하지만 역동적인 하중주에서 두 기작은 뚜렷하게 구분하기 힘들고 특히 천이는 두 기작의 상호작용에 의해 조절되고 있다. 이런 점에서 본 연구에서 조사된 하중주에서의 식생동태는 van Andel *et al.* (1993)이 제안한 '천이의 생태계 기작 (ecosystem mechanisms of succession)'을 따른다고 볼 수 있다.

3. 하중주의 발달과 식생의 반응

하천에서 하중주의 식생에 의해 포집된 모래는 홍수 시 흐르는 물에 의해 부유되었다가 그 하류 방향으로 퇴적되며 하중주의 크기를 늘려 나간다(Tsujimoto, 1999; Lee *et al.*, 2009). 한편, 모래보다 무거운 자갈은 보통 물에 떠서 이동하기보다는 굴러서 이동된다. 따라서 자갈 하중주에서 자갈은 상류 방향으로 퇴적되며 그 방향으로 크기를 늘려간다(Tsujimoto, 1998; Lee *et al.*, 2009).

실제로 본 연구에서 자갈 하중주에 성립한 식생의 분포는 상류로부터 하류를 향해 관목우점군락, 아교목우점군락 및 교목우점군락의 순서로 분포하는 경향을 보여(Fig. 3) 이러한 이론을 뒷받침하고 있다. 이러한 식생의 배열로부터 하중주는 상류방향으로 새로 성립하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 기질을 이루는 자갈의 중력이 흐르는 물의 힘에 밀려나지 않고 물의 흐름을 바

꾸어 나타나는 결과로 해석된다(Tsujimoto, 1999; Lee *et al.*, 2009). 초본우점 식생은 주수로가 지나는 하중주 왼편에서 식피율이 높은 경향이었고, 관목 우점 식생 및 아교목 우점 식생의 분포와 상반된 분포를 보였다. 이러한 분포는 우선 주수로가 가져오는 교란의 영향에 기인한 결과로 해석된다. 나아가 목본 우점식생이 정착된 장소는 안정된 장소로서 상대적으로 경쟁력이 약한 초본식물들이 경쟁에서 밀려난 데 기인한 결과로 해석된다(Connell and Slatyer, 1977). 한편, 초본우점식생은 하중주 후미에서도 다소 높아지는 경향을 보였는데, 이러한 결과는 그 부분에 쌓인 호박돌이 나지로서의 기능을 하고, 홍수 시 부유한 모래가 후미에 떨어져 쌓이는데 기인한 결과로도 해석된다(Figs. 2 및 4 참고, Lee *et al.*, 2009).

4. 하중주 식생의 구조와 다양성

자갈 하중주에는 1년생식물 우점군락, 달뿌리풀군락, 갯버들군락, 물푸레나무군락, 귀룽나무군락, 소나무군락 등이 성립하였다. 이러한 식생자료를 서열법으로 처리한 결과, 식분의 배열은 언급한 순서로 나타나 천이경향을 반영하였다(Fig. 5). 또 그 순서로 수로부터의 거리가 멀고, 표고가 높은 경향이였다. 이런 점에서 천이단계를 지배하는 요인은 하중주의 미지형에 의해 결정된 교란빈도와 지하수위 높이가 천이단계를 지배하는 것으로 판단된다(Chun *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2009).

하중주 식생의 발달은 식물의 분산에 의해 제한되지 않기 때문에 초기 하천생태계의 모든 천이 단계 사이의 빠른 전이가 촉진된다(Kollmann *et al.*, 1999). 하중주의 초기 천이단계에는 수분 및 영양염류 요구도가 높은 식물이 우점한다. 그러나 시간이 지남에 따라 영양염류 부족 및 건조 내성종이 발생한다(Kollmann *et al.*, 1999). 하중주상의 목본식물은 많은 양의 미세퇴적물을 붙잡아 수분 및 영양염류 유용성을 증가시킨다. 계속된 침전물 퇴적으로 하중주의 높이가 높아짐에 따라 하중주는 점차 건조해지고, 영양염류가 부족해지는데 종 조성이 이를 반영하고 있다(Fig. 5, Ellenberg, 1998).

종 풍부도는 소나무군락, 달뿌리풀군락 및 갯버들군락에서 높았는데, 소나무군락의 높은 종 풍부도는 소나무군락이 성립한 장소가 이 하중주에서 가장 오랜 시간이 경과된 지소로서, 표고도 높아 유수의 힘이 미치지 못하여 교란으로부터 벗어나 안정성을 갖췄는데 기인한 결과로 해석된다(Yang, 1997). 한편, 달뿌리풀군락과 갯버들군락의 높은 종 풍부도는 이 하중주에서 그들이 차지하는 면적이 넓어 자료수집 면적이 늘어난 것과 관계된다(Kelly *et*

al., 1989; Kohn and Walsh, 1994). 종 순위-우점도 곡선의 기울기는 종 풍부도가 낮은 귀룽나무군락, 1년생 식물 우점군락 및 물푸레나무군락에서 가파르고, 종 풍부도가 높은 소나무군락에서는 완만하였다. 이러한 결과는 각 식물군락의 종풍부도가 균등도와 대체로 일치하고 있음을 반영한다 (Magguran, 2003). 한편, 달뿌리풀군락과 갯버들군락은 종 순위가 높은 구역에서는 기울기가 가파르고, 나머지 구역에서는 경사가 완만한 중간 형태를 보였는데, 이러한 결과는 달뿌리풀군락과 갯버들군락에서 우점종에 중요치가 집중된 데 기인한다.

Shannon 지수에 근거한 종다양성은 1년생 식물 우점군락을 제외하면, 교목 및 아교목 우점식생, 관목우점식생 및 초본우점식생의 순으로 낮아져 식생의 발달단계에 따라 종 다양성이 높아지는 경향을 보였다. 이 지수에 근거할 때 1년생 식물 우점식생도 높은 종 다양성을 보였는데, 이러한 결과는 이 식생이 성립한 장소가 서로 이질성을 보이고, 물 흐름에 의존하는 종자 공급원의 다양성에 기인한 결과로 해석된다 (Schwabe, 1991; Langlade and Decamps, 1995; Kollmann et al., 1999). 이에 더하여 식피율이 상대적으로 낮은 이 식생을 이루는 종들이 서로 유사한 중요치를 보여 높아진 균등도 또한 다양성지수를 증가시키는 요인으로 기능한 것으로 평가된다 (Magguran, 2003).

그러나 하천환경의 동적 특성을 고려할 때 본 연구처럼 짧은 기간의 일시적 조사로부터 발견된 사실을 일반화하기는 매우 어렵다. 이런 점에서 자갈 하중주에서 식생의 성립패턴에 대해 의미있는 해석을 내리기 위해서는 보다 장기적인 생태 연구가 반드시 필요하다.

적 요

강원도 인제군에 위치한 방태천의 하중주에 성립된 식생과 하상물질을 지도화한 후 양자를 비교하여 식생의 성립 배경을 밝혔다. 전체적인 식피율은 하중주의 내부에서 높고 가장자리에서 낮은 경향이였다. 선단부(상류 방향)와 후미(하류 방향)를 비교하면, 전자보다 후자에서 식피율이 높은 경향이였다. 교목은 유수에 의한 교란의 영향이 적은 하중주의 후미에 제한적으로 분포하였고, 아교목 역시 교란의 영향이 적은 하중주의 중앙 이하에 분포하였다. 관목은 하중주의 종단면에 따른 차이는 적었지만 횡단상으로는 차이를 보여 부수로가 흐르는 하중주의 우측(좌안)보다 주수로가 흐르는 좌측(우안)에 주로 분포하였다. 초본류의 경우는 하중주의 위치에 따른 차이 없

이 전체적으로 고르게 분포하였다. 수고분포는 하류부근에서 높이가 높고 상류로 갈수록 낮아지는 경향이였다. 이러한 식생과 하상물질의 분포로 보아 하중주는 상류방향으로 새로 형성되는 것으로 평가되었다. 하중주에서 수집된 식생자료에 기초하여 식분을 서열화한 결과, 식분의 배열은 I축 상의 오른쪽에서 왼쪽으로 이동함에 따라 1년생 초본식생, 다년생초본, 관목 그리고 교목의 순서로 나타나 식생의 발달단계에 따라 분포하는 경향이였다. 식물군락 별 종 순위-우점도 곡선에서 종 풍부도는 소나무군락, 달뿌리풀군락, 갯버들군락, 물푸레나무군락, 1년생 식물 우점군락 및 귀룽나무군락 순으로 높게 나타났다. 이상의 결과에서 보여지듯이 방태천은 하천의 상류에 해당하여 저질의 입자가 컸다. 따라서 그들은 굴러서 이동하므로 하중주는 주로 상류 방향으로 새로 형성되었다. 하중주의 후미에서 선단부를 향해 교목림지, 관목림지 및 초지의 순서로 배열된 식생의 공간배열이 하중주의 형성 과정을 반영하였다. 그러나 하중주는 역동적인 공간으로서 유수에 의한 교란은 물론 부유사에 의한 교란도 빈번하게 받고 있다. 그러한 교란이 서식처 다양성을 이끌어내고, 궁극적으로 높은 생물다양성을 가져왔다.

인 용 문 헌

- Abbe, T.B. and D.R. Montgomery. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics, and habitat formation in large rivers. *Regulated Rivers: Research and Management* **12**: 201-221.
- Arscott, D.B., T. Klement, N. Dimitry and J.V. Ward. 2002. Aquatic habitat dynamics along a braided alpine river ecosystem; Tagliamento River, Northeast Italy. Springer-Verlag. *Ecosystems* **5**: 802-814.
- Barbour, M.G., J.H. Burk, W.D. Pitts, F.S. Gilliam and M.W. Schwartz. 1999. *Terrestrial Plant Ecology*. 3rd ed. The Benjamin/Cummings Co., Menlo Park.
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Ed. 3. Springer. Verlag.
- Brower, J.E. and J.H. Zar. 1977. *Field and laboratory method for general ecology*. Wm. C. Grown Co. Publ., Zowa.
- Chun, Y.M., S.A. Park and C.S. Lee. 2007. Structure and dynamics of Korean red pine stands established as riparian vegetation at the Tsang stream in Mt. Seorak National Park, Eastern Korea. *Journal of Ecology and Field Biology* **30**(4): 347-356.
- Clements, F.E. 1916. *Plant Succession: Analysis of the Development of Vegetation*. Carnegie Institute of Wash-

- ington Publication, No 242, Washington DC.
- Connell, J.H. and R.O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* **111**(982): 1119-1144.
- Cowan, W.L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research* **37**: 473-475
- Décamps, H. 1996. The renewal of floodplain forest along rivers: a landscape perspective. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* **26**: 35-59.
- Dynesius, M. and C. Nilsson. 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Journal of Science* **266**: 753-762.
- Ellenberg, H. 1988. Vegetation ecology of central Europe. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fetherston, D., J.W. Lillard and R.D. Perry. 1995. Analysis of the pesticin receptor from *Yersinia pestis*: role in iron-deficient growth and possible regulation by its siderophore. *Journal of Bacteriology* **77**: 1824-1833.
- Gore, J.A. 1985. The Restoration of River and Stream. Butterworth Publishers, Boston.
- Gregory, S.V., F.J. Swanson, W.A. McKee and K.W. Cummins. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience* **41**(8): 540-551.
- Heller, H. 1969. Lebensbedingungen und Abfolge der Flussvegetation in der Schweiz. *Mitteilungen der Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen* **45**: 1-124.
- Hupp, C.R. and W.R. Osterkamp. 1985. Bottomland vegetation distribution along passage creek, Virginia, in relation to fluvial landforms. *Journal of Ecology* **66**: 670-681.
- Kelly, B.J., J.B. Wilson and A.F. Mark. 1989. Causes of the species-area relation: a study of islands in Lake Manapouri, New Zealand. *Journal of Ecology* **77**: 1021-1028.
- Kent, M. and P. Cocker. 1992. Vegetation Description and data Analysis: A Practical Approach. Belhaven Press, London.
- Kohn, D.D. and D.M. Walsh. 1994. Plant species richness - the effect of island size and habitat diversity. *Journal of Ecology* **82**: 367-377.
- Kollmann, J., M. Vieli., P.J. Edwards, K. Tockner and J.V. Ward. 1999. Interactions between vegetation development and island formation in the Alpine river Tagliamento. *Applied Vegetation Science* **2**: 25-36.
- Langlade, L.R. and H. Décamps. 1995. Accumulation de limon et colonisation végétale d'un banc de galets-Comptes Rendus Acad. *Sciences Paris, III* **318**: 1073-1082.
- Lee, C.S. and Y.H. You. 2002. Ecological consideration for restoration of the degraded urban river. *Journal of Ecology and Field Biology* **25**(4): 247-252.
- Lee, C.S., Y.C. Cho, H.C. Shin, G.S. Kim and J.H. Pi. 2010. Control of an invasive alien species, *Ambrosia trifida* with restoration by introducing willows as a typical riparian vegetation. *Journal of Ecology and Field Biology* **32**(3): 207-215.
- Lee, C.S., Y.C. Cho, H.C. Shin and S.A. Park. 2009. Differences between sand and gravel bars of streams in patterns of vegetation succession. *Journal of Ecology and Field Biology* **132**(1): 55-60.
- Lee, C.S., Y.M. Jeong and H.S. Kang, 2011. Concept, direction, and Task of ecological restoration. *Journal of Restoration Ecology* **2**(1): 59-71 (in Korean).
- Lee, T.B. 1985. Illustrated Flora of Korea. Hyangmoonsa Seoul (in Korean).
- Magurran, A.E. 2003. Measuring Biological Diversity. Blackwell, New York.
- McCook, L.J. 1994. Understanding ecological community succession: Causal models and theories, a review. *Journal of Plant Ecology* **110**: 115-147.
- McCune, B. and M.J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4, MJM software Design, Glenden Beach, Oregon, USA.
- Miles, J. 1979. Vegetation Dynamics. Chapman and Hall, London.
- Ministry of Environment. 1992. The detailed survey report on the natural ecosystem-The Jindong valley of Mt. Jumbong. Ministry of Environment (in Korean).
- Park, S.H. 1995. Colored Illustrations of Naturalized Plant of Korea. Ilchokak, Seoul (in Korean).
- Park, S.H. 2001. Colored Illustrations of Naturalized Plants of Korea. Ilchokak, Seoul (in Korean).
- Petts, G. and P. Calow. 1996. River Biota, diversity and dynamics. Blackwell, Oxford, Gran Bretaña.
- Schnitzler, A. 1997. River dynamics as a forest process: Interaction between fluvial systems and alluvial forests in large European river plains. *The Botanical Review* **63**: 40-64.
- Schwabe, A. 1991. Zur wiederbesiedlung von auwald-vegetationskomplexen nach hochwasserereignissen: bedeutung der diasporen-verdriftung, der generativen und vegetativen etablierung. *Phytocoenologia* **20**: 65-94.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- The Korean Association for Conservation of Nature. 1995. The comprehensive academic survey report on the nor-

- thern slope of Mt. Bangtae. The Korean Association for Conservation of Nature Research Report Vol. 35 (in Korean).
- Tsujimoto, T. 1998. Development of sand island with vegetation in fluvial fan river under degradation. *In: Proceedings of Water Resources Engineering '98*, Vol. 1 (Apt SR, ed). ASCE: Reston, VA. pp. 574-579.
- Tsujimoto, T. 1999. Fluvial processes in streams with vegetation. *Journal of Hydraulic Research* **37**: 789-803.
- Van Andel, J., J.P. Bakker and A.P. Grootjans. 1993. Mechanisms of vegetation succession: a review of concepts and perspectives. *Acta Botanica Neerlandica* **42**: 413-433.
- Van der Maarel, E. and M.T. Sykes. 1993. Small-scale plant species turnover in a limestone grassland: the carousel model and some comments on the niche concept. *Journal of Vegetation Science* **4**: 179-188.
- Watt, A.S. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology* **35**: 1-22.
- White, P.S. and S.T.A. Pickett. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction, *In: Disturbance and patch dynamics* (Pickett, S.T.A. and P.S. White, eds.). Academic Press, New York. pp. 3-13.
- Yang, H.K. 1997. Bar development in gravel-bed river. *The Korean Geographical Society* **32**(4): 435-444 (in Korean).

(Manuscript received 26 March 2013,
 Revised 15 April 2013
 Revision accepted 13 June 2013)