

자연형 하천공법에 따른 식생의 침입 및 정착

윤 기 정 · 연 규 방*

충북대학교 교육대학원 생물교육 전공 · *충청대학 건설교통과

Invasion and Establishment of Vegetation in Different Types of Construction Block for Eco-friendly Stream

YOON, Ki-Jeung · Gyu-Bang YEON

Biology Education Major, Graduate School of Education, Chungbuk National University, Cheongju 361-763

*Dept. of Civil and Transportation Engineering, Chungcheong University, Cheongju 363-792

ABSTRACT

The invasion and establishment of vegetation including herbs and trees was surveyed at eco-friendly stream constructed by different types of blocks in E-dong small stream, Cheongan-myon, Goesan-gun, Chungbuk Province. Among the nine different types of blocks, piles of native rock-2 and -3 stairs was the best construction block rather than other types of blocks judging from ecological point of view such as invasion and establishment of herbs and tree species. The subsequent types of blocks were the order of geo-green cell block, vegetation mat block and green-river block. Inadequate blocks comparing with other blocks were eco-friendly cobble block, environment block, environment H-block, vegetation constructed block and firefly block.

By the comparison of similarity between each constructed block, it suggests that vegetation composition was converged to similar pattern after restoration of eco-friendly stream. And the biological spectrum such as dormancy form, growth form and migrule form was similar pattern in annual herbs, biennial herbs, perennial herbs and tree species.

Four tree species of *Salix gracilistyla*, *S. gilgiana*, *S. koreana* and *Robinia pseudo-acacia* were invaded to the constructed blocks within the first year after restoration and tree species such as *Lespedeza bicolor*, *Ligustrum ovalifolium*, *Rubus crataegifolius* and *Morus alba* from second year after restoration. These tree species will grow and survive in successive years in conditions without any severe disturbance.

Key words : Invasion, establishment, construction block, eco-friendly stream

서 론

최근에 들어서면서 치수(治水)와 이수(利水)만을 중점적으로 다루던 공학적 하천관리는 환경의 중

요성이 부각되면서 하천 환경 및 하천 생태계 전반에 대한 관심이 커져 가고 있다.

하천 환경이란 넓은 의미에서 “하천의 물과 그 주변 공간으로 구성된 하천 그 자체의 모습”이라고 정의할 수 있고, 좁은 의미에서는 “하천에 있어 친수(親水), 공간 활용, 자연 보전, 하천 경관(景觀), 방재(防災) 등을 고려한 정비나 관리를 말한다” (건설교통부 1995). 이와 같이 하천 환경의 요소를 살리고 증진시키기 위하여 추진하는 각종 다양한 형태의 하천 정비를 통털어 하천환경정비(河川環境整備)라 한다(건설교통부 1994).

지금까지의 하천 정비 공법인 홍수와 통수 목적의 직강화(short cut)된 하천은 친수환경과 자연 생태계의 파괴는 물론 과대한 유속의 발생으로 홍수 시 오히려 하천 공사 이전보다 하류 지역에 더 큰 피해를 유발하는 사례가 많고 또 생태학적인 고려가 없다는 문제점이 있어 하천 복원 및 정비에 대한 공법 개선이 요구된다 하겠다.

생태학적인 관점에서 보면, 하천은 수역(水域)과 육역(陸域) 그리고 공역(空域)이라는 3개의 서로 다른 세계가 접하는 장소이고, 또 넓게 이어진 개방 경관으로 다양한 식생과 동물군집이 잔존하는 곳으로, 하천은 생물군집이 가장 다양한 추이대(推移帶, ecotone)를 포함하고 있다(奥田와 佐佐木 1996).

그리고 하천변(riparian zone)은 육지에서 가장 다양하고 Dynamic한 생물 서식지이고 육상생태계와 수계생태계를 연결해 주는 지대이며, 하천에 형성된 습지(wetland)는 지구상에서 가장 영양물질이 풍부하고 생산성이 높은 생태계일 뿐 아니라 기타 여러 가지 생태적 기능을 제공해 주는 것으로 알려져 있다.

하천의 식생이나 생물상 또는 자연형 하천 복원과 관련된 연구는 여러 학자들에 의하여 행해졌는데, 강 및 팍(1998)은 청주 무심천 교란에 따른 식생의 변화, 강 등(2001)은 하천에 축조된 자동보의 수질 개선과 관련된 연구, 강 및 연(2004)은 자연형 하천 복원 후의 모니터링 그리고 김 및 안(2006)은 자연형 도시하천의 식생 및 어류의 평가 등의 연구가 있다.

우리나라에서는 최근에 하천생태계에 관심이 높아지면서 생태적으로 교란된 하천을 복원(restoration)하고 있으며, 특히 도시 하천의 경우 하천이 없고 복개된 지역을 중심으로 기존의 하천을 복원하거나 인공하천(artificial stream)을 만들어 자연형 하천으로 가꾸어 나가는 것이 하나의 유행처럼 되고 있다.

그러나 현재 우리나라에서 시행중인 하천 복원의 경우, 하천 환경이나 생태계에 대한 고려가 없거나, 콘크리트 블록에 의한 획일적인 정비를 하는 등 몇몇 지역의 하천을 제외하고는 그 성공 여부를 판단하기가 곤란한 실정이다.

따라서 본 연구는 다양한 공법(工法)으로 하천 복원사업을 실시하고 있는 충북 괴산군 청안면 이동 소하천(梨洞 小河川)을 대상으로 복원 사업 후 식생의 침입과 정착하는 과정을 조사함으로써 교란된 하천을 자연형 하천으로 복원하는데 생태학적으로 어떤 공법이 최적의 공법인가를 알아보고자 실시하였다.

조사지의 개황

충북 괴산군 청천면 읍내리와 효근리 사이를 흐르는 이동하천(梨洞河川)은 남한강 수계의 한 지류

로서 그 길이가 2.49km밖에 되지 않은 소하천이다. 이 하천은 해발 543m의 칠보산(七寶山)에서 발원하여 평야지대를 흐르는데 이 하천의 물을 이용하여 인근 농경지에서 논농사를 짓고 있다.

괴산군에서는 이동 하천을 자연형 하천으로 복원하기 위하여 상류에서 부터 하류인 청안 제1교에 이르는 지점까지 2004년부터 2005년까지 2년간 여러 가지 친환경적 공법을 이용하여 복원을 하였는데 현지 지형, 토지 이용, 공법 등을 고려하여 식생조사는 A, B, C, D, E 및 F의 6개구간으로 나누어 조사를 하였다(Fig. 1).

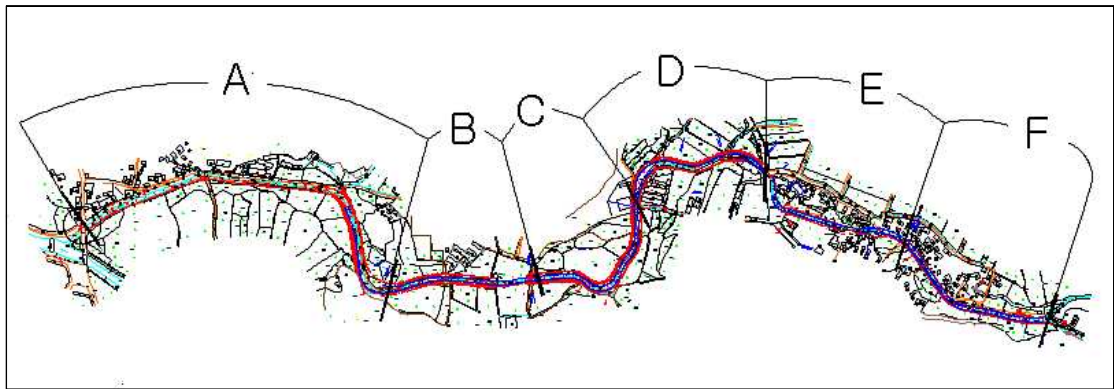


Fig. 1. Sections for vegetation survey.

A: lower region, B, C and D: middle regions, E and F: upper regions

자연형 하천 공법의 종류

충북 괴산군 청천면 이동 소하천은 다음과 같은 공법을 이용하여 복원하였다.

- ① 자연석 2단 및 3단 쌓기(Native rock-2 and 3 stairs block)
- ② 지오 그린 셀(Geo-green cell block)
- ③ 반딧불 블록(Firefly block)
- ④ 친환경 돌망태(Eco-friendly cobble net block)
- ⑤ 식생매트(Vegetation mat block)
- ⑥ 환경블록(Environment block)
- ⑦ 환경 H블록(Environment H block)
- ⑧ 그린리버 · 블록(Green-river block)
- ⑨ 식생축조 · 블록(Vegetation constructed block)

조사방법

식생조사는 각 조사 구간 또는 호안 종류에 따라 10×10m 또는 20×20m 크기로 설치한 방형구에 출현하는 식물의 우점성(dominance)을 Braun-Blanquet(1964)의 피도-수도 계급(cover-abundance scale)으로 나타내었으며 그 계급은 다음과 같다.



Fig. 2. Different types of construction blocks for eco-friendly stream.

- 5: 조사지 면적의 3/4 이상을 피복하고 개체수는 임의(> 75%)
- 4: 조사지 면적의 1/2 ~ 3/4을 피복하고 개체수는 임의(50 ~ 75%)
- 3: 조사지 면적의 1/4 ~ 1/2을 피복하고 개체수는 임의(25 ~ 50%)
- 2: 조사지 면적의 1/20 ~ 1/4을 피복하고 개체수는 임의(5 ~ 25%)
- 1: 개체구는 많으나 피도(cover)가 1/20이하이거나 또는 흩어져 있다(5%)
- +: 개체수도 적고 피도 역시 낮다.
- r: 단독으로 고립하여 출현하며 피도 역시 매우 낮다.

피도-수도 계급치는 沼田(1969)의 방법에 따라 환산하였다. 즉 5에서 1까지는 수치를 그대로 사용했으나 +는 0.2로, r은 0.04의 수치를 준 후, 피도-수도 계급치를 환산하여 중요치 계산에 사용하였다.

하천의 복원 공사를 보면 수로(水路, water channel)는 몇몇 지역을 제외하면 크게 훼손하지 않고 거의 그대로 두었으며, 둑(bank)만을 여러 가지 공법으로 새로 축조하였는데, 식생 조사는 양 둑에 걸쳐

수로가 포함되도록 방형구를 설치, 조사를 실시하였다.

유사도 지수(Similarity index, SI)는 Sørensen(1949)의 방법에 따라 다음의 식으로 계산하였다.

$$S.I. = 2C/A+B$$

A: A 지역에 존재하는 종수
B: B지역에 존재하는 종수

생활형 조성(Biological spectrum)은 Raunkiaer(1934)의 휴면형(dormancy form), 沼田 및 淺野(1956, 1959)의 번식형(migrule form) 및 생육형(growth form)으로 나누어 조사하였는데, 번식형은 과실이나 종자의 산포 type인 산포기관형 D(disseminule form)을 조사하였다.

복원된 하천에 침입한 대표적인 목본식물에 대하여는 수고(樹高, height)와 Digital Caliper(Mitutoyo 500)를 이용하여 지표면의 직경(地表面 直徑, diameter of ground surface)을 측정하였다.

하천공법에 따른 식생의 침입과 정착 과정은 2년 동안 3회에 걸쳐 동일한 지역을 조사한 결과를 기초로 하여 중요치(Importance value)로 나타난 우점식물의 서열 교체(Order replacement) 과정과 목본 식물의 수고 및 수령 등을 참고하여 모식적으로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 식생조성

하천 공법에 따른 식생조성은 2005년 봄과 가을 및 2006년 여름에 조사한 결과를 종합하여 Table 1~3에 나타내었다.

2005년 5월의 결과를 보면(Table 1), 식생매트로 축조된 곳을 제외하고 모든 공법에서 고마리(*Persicaria thunbergii*)가 중요치 227.8로 가장 우점하였고, 망초(*Erigeron canadensis*) 188.0, 억새(*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*) 115.4, 환삼덩굴(*Humulus japonicus*) 80.0, 미나리(*Oenanthe javanica*) 79.0, 미국가막사리(*Bidens frondosa*) 64.6, 토끼풀(*Trifolium repens*) 56.0, 닭의장풀(*Commelina communis*) 51.8, 강아지풀(*Setaria viridis*) 48.1 및 갈대(*Phragmites communis*) 47.9의 순으로 우점성을 보였다.

각 공법에 따라 침입한 식물의 종수는 자연석 3단 쌓기에서 43종, 지오토크 셀에서 36종, 친환경 돌망태에서 18종, 식생매트에서 27종, 반딧불 블록에서 33종, 환경 블록에서 18종, 환경 H블럭과 그린 리버 블럭에서 각각 25종 그리고 식생축조 블록에서 17종의 출현하였다. 가장 많은 식물종이 침입한 공법은 자연석 3단 쌓기이었고, 30종 이상의 식물이 침입한 공법은 지오토크 셀 및 반딧불 블록이었으며, 가장 적게 침입한 공법은 친환경 돌망태, 환경 블록 및 식생축조 블록이었다.

한편, 침입한 목본은 총 16종으로 자연석 3단 쌓기에서 6종, 식생축조 블록에서 6종, 지오토크 셀에서 5종, 식생매트에서 3종, 환경 블록과 그린리버 블록에서 각각 2종, 반딧불 블록과 환경 H블럭에서 각각 1종의 목본이 침입하였다.

침입한 목본을 보면, 아까시나무는 반딧불 블록과 식생축조 블록을 제외한 모든 공법에서, 갯버들은 반딧불 블록, 환경 H블럭 및 식생축조 블록을 제외한 모든 공법에서 침입하였다.

아까시나무가 거의 모든 공법에서 침입한 것은 본 조사지인 이동 소하천의 최상류에는 해발

543m의 칠보산이 있는데, 넓은 면적에 식재된 아까시나무 성숙림이 분포하고 있다.

아까시나무 군락에서 성숙된 종자가 강우에 의해 하천으로 유입되고, 유입된 종자는 증수 때 물 위에 떠서 하천으로 흘러들기 때문으로 생각된다. 이러한 사실은 축조된 독의 일정 수위선(水位線)을 따라 아까시나무가 거의 일렬(一列)로 침입, 정착하고 있다는 사실을 보면 쉽게 이해할 수 있다.

2005년 가을 조사를 보면(Table 2), 큰김의털(*Festuca arundinacea*)이 중요치 204.9로 가장 높고, 갈대 162.8, 고마리 156.6, 억새 142.5, 돌소루쟁이 94.4, 미나리 91.6, 미국가막사리 66.2, 강아지풀 57.5, 쇠뜨기 54.1 및 환삼덩굴 44.5의 순이었다. 7월 조사에서 큰 피도를 보이지 않았던 큰김의털이 우점성을 보인 것은 봄철 생장은 빠르지 못하지만 여름 이후 급속한 생장을 한 때문이다. 본 종은 외래식물로 근년에 사방용으로 이용되고 있고 일부는 야생화된 것도 있어 하천 홍수터(고수부지 등)에 널리 분포하고 있으며 높이 40~180cm로 자라기 때문에 다른 식물의 침입을 방해하는 것으로 생각된다.

공법에 따른 식물종의 침입을 보면, 자연석 3단쌓기 26종, 지오그린 셀 34종, 친환경 돌망태 12종, 식생매트 23종, 반딧불 블록 14종, 환경 블록 12종, 환경 H블럭 및 그린리버 블록 각각 25종, 식생축조 블록 23종으로 지오그린 셀 공법에서 최고 34종이 침입하였다. 20종 이상이 침입한 블록은 자연석 3단쌓기, 지오그린 셀, 식생매트, 환경 H블럭, 그린리버 블록 그리고 식생축조 블록이었다.

여름의 조사 때와 다른 식생 조성을 보이는 것은 봄과 여름에는 햇빛 조사량(照射量)이 많고 피음(被陰)이 되지 않은 상태에서 소위 봄식물(ephedral plant)이 많이 침입하기 때문이고, 여름을 지나 가을이 되기 전까지는 하천 복원을 실시한 지역에 침입한 식물의 생장이 양호한 때문에 봄식물은 초고(草高)가 큰 식물과의 수광량(受光量) 경쟁에서 쇠퇴했기 때문으로 생각된다.

또한 조사 시기마다 출현하는 종수에 차이를 보이는 것은 식물 개체간의 경쟁이 커졌음을 의미한다(Parrish & Bazzaz 1982). 즉 생육 초기의 어린 식물군락에서 경쟁이 일어나 자연숙음(natural thinning)의 과정을 거친 것으로 생각된다.

이 때 생활사가 긴 식물은 짧은 식물보다 봄 동안의 성장속도가 빨라서 전자가 후자를 피압하여 햇빛을 차단하고(Monsi & Ohshima 1955), 또 전자의 뿌리/줄기의 비가 커서(Monk 1966) 수분과 무기 영양소의 흡수가 많아지므로 생활사가 긴 식물이 경쟁에서 유리하게 된다.

한편, 침입한 목본식물을 보면 이전 조사 때 보다 적은 총 8종이 관찰되었는데, 이것은 여름의 홍수로 많은 종이 유실되었거나 매몰된 때문으로 생각되며, 이전 조사에서 관찰되지 않았던 몇 종의 목본식물의 출현은 홍수 후 침입한 것으로 보인다. 자연석 3단쌓기에서 8종으로 가장 많이 침입하였고 기타 공법에서는 1~4종의 목본이 침입하였다. 침입한 목본은 갯버들, 내버들, 아까시나무, 버드나무, 사위질방, 산딸기나무, 복사나무 및 영산홍이었고, 이들 중 갯버들과 아까시나무가 거의 모든 공법에서 침입하였다. 영산홍은 식생축조 블록에 식재된 것이다.

2006년 6월의 조사를 보면(Table 3), 갈퀴나물이 공법에 따라 최고 I.V. 63.2, 최소 I.V. 3.2로 전체의 중요치는 318.8로 가장 높았고, 사초과 식물(중 동정이 불확실) 236.8, 큰김의털 233.8, 환삼덩굴 228.8, 쭉 212.7, 쇠뜨기 196.6, 점나도나물 140.9, 고마리 138.9, 소리쟁이 123.1 및 토끼풀 95.2의 순으로 침입하였다.

공법에 따른 식생의 침입을 보면, 자연석 3단 쌓기 17종, 지오그린 셀 16종, 친환경 돌망태 10종, 식

생매트 22종, 반딧불 블록 21종, 환경블럭 17종, 환경H블럭 19종, 그린리버 블록 16종 그리고 식생축조 블록 10종이었다.

목본은 6종이 관찰되었는데, 자연석 3단 쌓기에서 5종, 식생매트, 환경블럭 및 식생축조 블럭에서 2종, 반딧불 블록, 환경 H블럭, 그린리버 블록에서 각각 1종이 침입하였다.

공법에 따른 식물종의 침입은 자연석 3단 쌓기 17종, 지오그린 셀 16종, 친환경 돌망태 10종, 식생매트 22종, 반딧불 블록 21종, 환경블럭 17종, 환경 H블럭 19종, 그린리버 블록 및 식생축조 블록 각각 16종이 침입하였다. 목본식물은 총 6종으로 아까시나무, 갯버들, 버드나무, 사위질방, 영산홍 그리고 내버들이었다.

본 조사에서 이전의 조사 때 보다 적은 목본 종수를 보이는 것은 작년에 발아 생장했던 목본이 겨울 동안 고사되었기 때문으로 사료된다.

이상의 3회에 걸친 조사 결과, 하천복원 공사가 마무리 된 전 구간에 침입한 초본식물을 보면, 하상의 수로에는 고마리, 미나리, 여뀌, 미국가막사리, 갈대, 닭의장풀, 돌소루쟁이, 소리쟁이, 애기뽕풀, 쑥 등이 우점적으로 침입하였고, 둑에는 큰감의털, 망초, 환삼덩굴, 억새, 토끼풀, 강아지풀, 냉이, 쇠뜨기, 여뀌, 점나도나물, 갈퀴나물 등이 높은 중요치를 보이었다.

이러한 식물은 일반적으로 불안정한 일시적 서식지를 재빨리 발견, 빠른 생장, 자원의 효율적 이용, 서식지 악화에 따른 분산 이동 등이 뛰어난 능력을 갖는 종자 생산(seed production)이 많은 r-선택형(r-selection)식물이라고 할 수 있으며(MacArthur & Wilson 1967), 또 Grime(1979)의 식물 전략 모델(strategy model)에 따르면 스트레스(stress)는 적지만 거친 땅이나 황폐지와 같이 항상 교란이 있는 곳에서 생활하며, 광합성 산물이 종자로 분배되는 비율이 크고 종자 산포력(seed dispersion)도 큰 교란 내성 전략(ruderal strategy) 식물들이 침입했기 때문으로 판단된다.

다시 말하면, 인위적 교란이나 간섭이 가해지는 불안정한 환경에 침입하여 자기의 세대를 유지하기 위해서는 종자 발아 후 재빨리 생장하고 1세대의 길이 단축, 번식 활동에의 에너지 투자율의 증대 등 MacArthur and Wilson(1967)의 r-적응 전략형의 성질을 갖고 있는 식물종이 침입한다(河野 1984).

Bazzaz(1979)는 천이 초기의 식물군집은 나지(bare land)에 침입하므로 나지는 토양 표면의 온도와 수분 함량의 변화가 큰 불안정한 환경이기 때문에 침입하는 종의 변화는 종의 풍부도(species richness) 보다는 종의 균등도(evenness)의 변화에 의한다고 하였다. 본 연구에서도 하천 공법에 따른 종수에 큰 변화가 있다고 하기 보다는 침입하는 식물의 균등도가 공법에 따라 약간 상이했을 뿐이다.

그리고 일부 구간이지만 부들, 애기부들, 줄, 갈대 등 정수식물(emergent plant)인 습지식물이 침입하는 지역이 있는 것으로 보아, 하천 복원 후 서서히 하천식생이 회복되기 시작하는 것으로 생각된다.

목본식물은 갯버들, 내버들, 버드나무와 같은 하천의 수로나 수변에 정착하는 식물이 공사 후 침입한 것임을 알 수 있고, 둑의 사면이나 자연석 쌓기의 공간에는 아까시나무, 사위질방, 복사나무 및 영산홍이 침입, 정착하였다. 특히 영산홍은 식생축조 블록에 인위적으로 식재된 것이지만, 기타의 목본식물은 자연적으로 침입, 정착한 것으로 사료된다.

한편, 생태학적으로 양호하거나 또는 바람직한 하천 복원 공법은 자연석 3단 쌓기(Native rock-2 and 3 stairs)가 식생의 침입과 정착에 가장 바람직한 공법으로 판단되었으며, 그 다음으로 비교적 중

은 공법은 지오그린 셀(Geo-green cell), 식생매트(Vegetation mat) 및 그린리버 블록(Green-river block)으로 자연형 하천을 복원하고자 할 때 추천하여도 무방한 공법이 아닌가 생각된다.

친환경 돌망태 블록(Eco-friendly cobble net), 환경 블록(Environment block), 환경 H블록(Environment H block), 식생축조 블록(Vegetation construction block) 및 반딧불 블록(Firefly block)은 다른 공법에 비하여 침입한 식물의 종수도 적고 또 피도 역시 낮았다. 이것은 침입한 식물의 생육에 부적했음을 의미한다. 다시 말하면, 침입한 식물이 뿌리가 땅속으로 침투할 수 있는 기질이 시멘트로 되어 있어서 뿌리 침투가 불가능하기 때문이다. 이들 공법은 생태학적으로 바람직하지 않은 것으로 판단되었다.

2. 유사도 지수

Sørensen(1949)에 따라 계산된 각 공법간의 유사도 지수(Similarity index)의 값을 보면, 2005년 7월에는 자연석 3단 쌓기와 환경 블록간에 64.7로 가장 높았으나 자연석 3단 쌓기 공법과 식생 조성이 비슷한 공법인 반딧불 블록과 57.9, 그린리버 블록과 55.9 그리고 지오그린 셀과 55.7로 이들 공법 간에는 침입한 식생 조성이 거의 유사하였다. 그리고 유사도 지수의 값이 가장 낮은 공법은 식생축조 블록과 지오그린 셀 블록 간에 30.5로 가장 낮았고, 식생축조 블록과 유사도 지수가 낮은 공법은 식생매트 32.0, 반딧불 블록 32.1, 환경 블록 33.3이었다(Table 4).

Table 4. Similarity index for seven types of construction blocks(July 2005)

	Native rock	Geo-green cell	Vegetation mat	Firefly block	Environment H	Green-river	Vegetation construction
Native rock		55.7	51.4	57.9	64.7	55.9	39.4
Geo-green cell			47.6	46.4	45.9	45.9	30.5
Vegetation mat				40.0	50.0	53.8	32.0
Firefly block					41.4	48.3	32.1
Environment H						56.0	33.3
Green-river							41.7
Vegetation construction							

2005년 10월의 각 공법간에 유사도 지수를 비교해 보면, 자연석 3단쌓기 공법과 식생축조 블록사이에 유사도 지수 69.7로 가장 높았고, 지오그린 셀과 식생매트간의 66.7, 지오그린 셀과 그린리버 블록간의 65.6으로 비교적 식생조성이 비슷하였다. 식생조성에서 유사도 지수가 낮은 공법은 반딧불 블록과 지오그린 셀 공법간의 21.1, 반딧불 블록과 식생매트간의 23.3으로 이들 공법 간에는 서로 다른 식생이 침입했음을 의미한다(Table 5).

2006년 6월의 조사 결과를 보면, 그린리버 블록과 환경 블록간의 78.8로 가장 비슷하였고, 이외에도 환경 블록과 식생매트간의 68.4, 그린리버 블록과 식생매트간의 64.9, 환경 블록과 자연석 3단쌓기

간의 63.2로 식생조성 60% 이상이 비슷했으나, 식생축조 블록과 지오그린 셀 간에는 27.6으로 식생조

Table 5. Similarity index for nine types of construction blocks(October 2005)

	Native rock	Geo-green cell	Eco-friendly cobble	Vegetation mat	Firefly block	Environ. block	Environment H	Green-river	Vegetation construction
Native rock		45.6	26.2	34.3	21.1	26.2	26.5	38.2	69.7
Geo-green cell			33.3	66.7	31.9	33.3	42.6	65.6	57.6
Eco-friendly cobble				31.1	27.5	66.7	27.9	37.2	39.0
Vegetation mat					23.3	31.1	34.6	61.5	44.0
Firefly block						27.5	24.1	27.6	28.6
Environ. block							27.9	37.2	39.0
Environment H								56.0	33.3
Green-river									41.7
Vegetation construction									

성에서 매우 달랐다(Table 6).

2년간 3회에 걸쳐 조사한 공법간의 유사도 지수를 보면, 2005년 7월의 경우 총 21개 Matrix 중 상호 50% 이상의 유사도를 보이는 것은 8개 Matrix, 2005년 10월의 경우 총 36개 Matrix 중 8개 Matrix가 50% 이상의 유사도 지수를, 그리고 2006년 6월의 경우 총 36개 Matrix 중 26개 Matrix가 50% 이상의 유사도를 보이는 것으로 보아, 해가 지남에 따라 식생조성의 유사도가 커지고 있음을 알 수 있다. 이것은 시간이 지남에 따라 하천 복원 후 하천변의 식생이 한 방향으로 서서히 수렴되어 가고 있음을 의미한다.

Table 6. Similarity index for nine types of construction blocks(June 2006)

	Native rock	Geo-green cell	Eco-friendly cobble	Vegetation mat	Firefly block	Environ. block	Environment H	Green- river	Vegetation construction
Native rock		35.3	44.4	63.2	43.2	64.7	55.6	54.5	55.2
Geo-green cell			59.3	52.6	59.5	47.1	50.0	36.4	27.6
Eco-friendly cobble				51.6	46.7	59.3	55.2	53.8	45.5
Vegetation mat					43.9	68.4	60.0	64.9	54.5
Firefly block						54.1	51.3	50.0	56.3
Environ. block							61.1	78.8	62.1
Environment H								51.4	45.2
Green-river									50.0
Vegetation construction									

3. 생활형 조성

식물의 생활양식을 유형화한 것을 생활형(Life-form)이라고 하는데, 그 중 식물의 휴면 형식으로 구분한 Raunkiaer의 생활형을 휴면형(Dormancy form), 식물의 생육, 특히 외부 형태나 구조를 유형화한 것을 생육형(Growth form) 그리고 번식형식을 생태학적인 관점에서 구분한 번식형(Migrule form)의 3가지로 구분하고 이러한 생활형 조성과 식물군락의 구조나 식생조성을 결합시켜 천이의 진단을 하는데 사용되고 있다(沼眞 1969). Fig. 3~Fig. 5는 2005년 7월의 생활형 조성을, Fig. 6~Fig. 8은 2005년 10월의 생활형 조성을, 그리고 Fig. 9~Fig. 11은 2006년 6월의 생활형 조성을 나타낸 것이다.

하천 공사가 끝난 후 새로 조성된 입지에 생육하는 식물은 1년생 초본, 2년생 초본, 다년생 초본

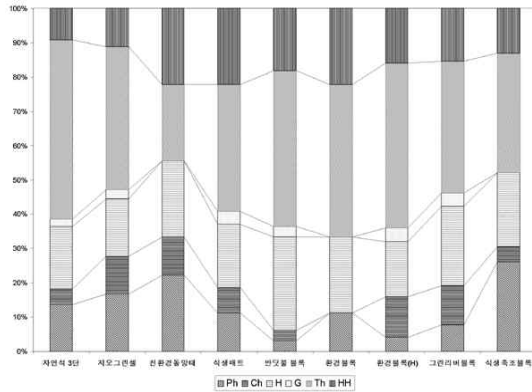


Fig. 3. Dormancy forms based on importance values(IV) in each type of construction block(July 2005).

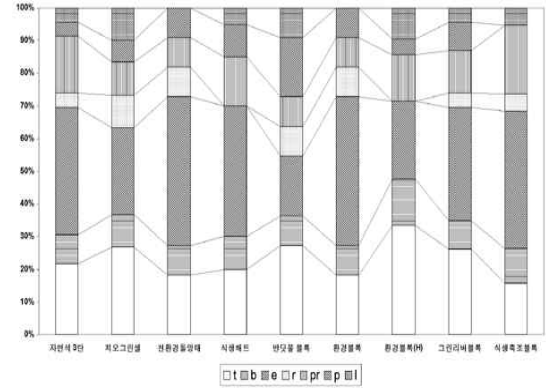


Fig. 4. Growth forms based on importance value(IV) in each type of construction block(July 2005).

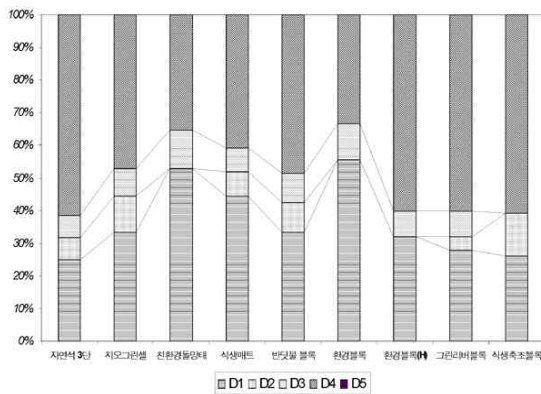


Fig. 5. Disseminule forms based on importance value(IV) in each type of construction block(July 2005).

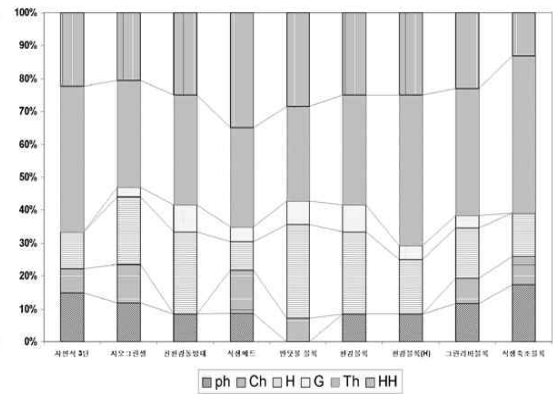


Fig. 6. Dormancy forms based on importance values(IV) in each type of construction block(October 2005).

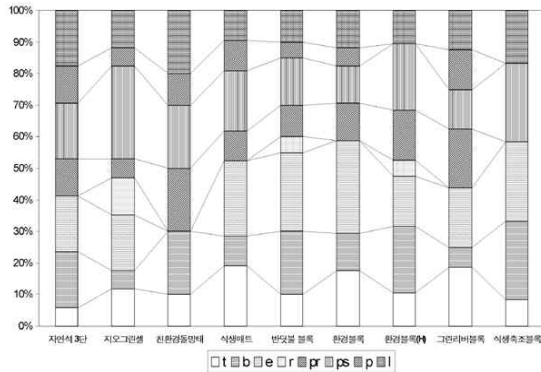


Fig. 7. Growth forms based on importance value(IV) in each type of construction block(October 2005).

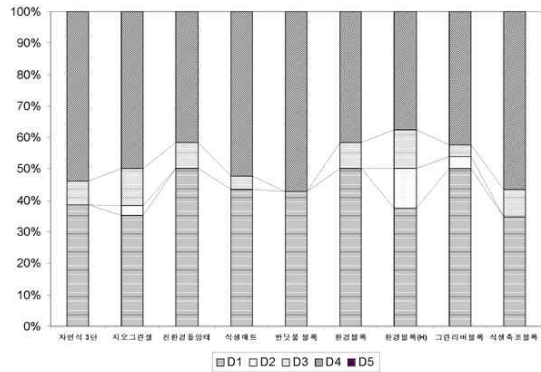


Fig. 8. Disseminule forms based on importance value(IV) in each type of construction block (October 2005).

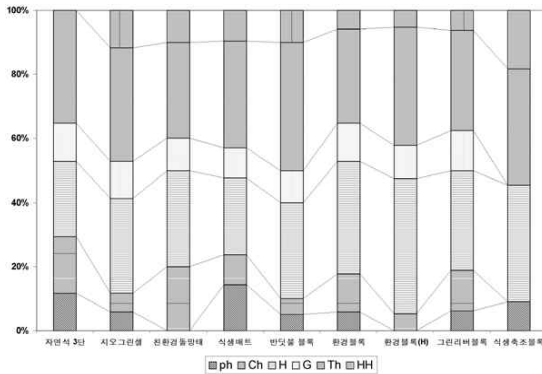


Fig. 9. Dormancy forms based on importance values(IV) in each type of construction block(June 2006).

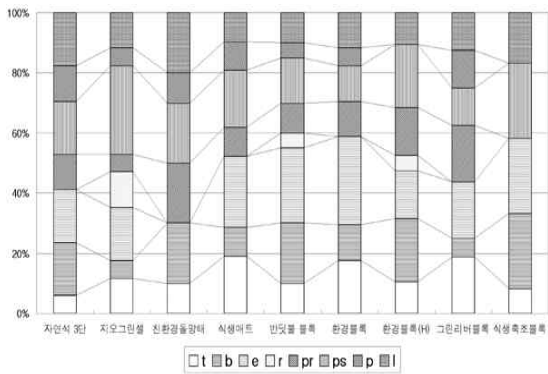


Fig. 10. Growth forms based on importance value(IV) in each type of construction block(June 2006).

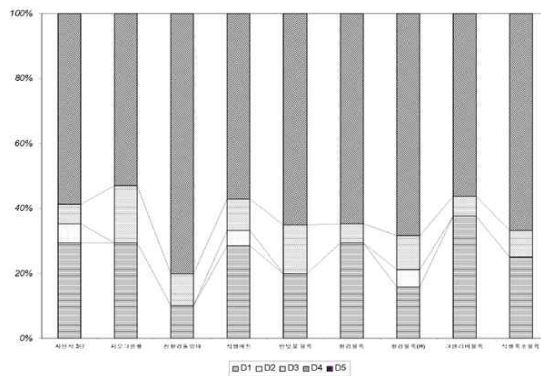


Fig. 11. Disseminule forms based on importance value(IV) in each type of construction block(June 2006).

및 다년생 목본 등의 생활사를 갖는 식물이 침입한다.

공사 후 1년간의 생활형 중 휴민형 조성에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 즉 일년 생식물(Therophyte)이 전체 출현식물 가운데 40~50% 이상을 점유하였고, 그 다음이 수로에 서식하는 수생식물(Hydrophyte) 10~20%, 그 다음은 반지중식물(Hemicryptophyte) 8~15%, 지상식물(Phanerophyte) 7~30%, 기타 지중식물이나 지표식물은 5% 이하였다. 휴민형 조성에 의하면, 본 공사가 완료된 후 침입하는 식물은 주로 교란된 독에는 일년생 식물이, 수로에는 습생식물이 침입했음을 알 수 있었다.

한편 생육형을 보면, 직립형(erect form) 45~55%, 총생형(turfed growth) 25~38%, 부분 로제트형(partial rosette) 10~15%, 분지형(branched form) 8~12%, 기타의 형은 3% 이하였다.

그리고 교란된 토양과 같은 입지에서는 종자 크기가 작고 종자 생산이 많은 식물이 선구식물(pioneer plant)의 역할을 하는데 이들 식물은 재빠른 서식처의 발견, 침입, 정착하는 특성이 있는 r-선택형 식물이다. 공사가 완료된 이동 소하천에는 주로 중력산포형이 50~70%로 가장 많이 침입하였고 그 다음이 풍산포형 20~40%였다.

4. 목본식물의 수고 및 지표면 직경

2005년 7월 조사에서 침입한 목본식물은 아까시나무, 갯버들, 산딸기, 쥐똥나무, 붉나무, 복사나무, 시무나무, 조팝나무 외에 식재된 영산홍 등 총 16종이 관찰되었고, 2005년 10월에는 아까시나무, 갯버들, 내버들, 버드나무, 사위질방, 복사나무 등 9종이, 그리고 2006년 6월에는 아까시나무, 버드나무, 내버들, 사위질방 등 6종이 확인되었다.

조사 때마다 목본식물의 종수에 차이가 나는 것은 독이나 하상에 침입한 목본식물이 대부분 유묘(幼苗, seedling) 상태이므로 초본식물의 최대 생장기에는 피복되기 때문에 관찰이 잘 되지 않기 때문이다.

비교적 생장이 양호한 목본식물을 대상으로 수고(樹高, tree height)와 지표직경(地表直徑, diameter of ground surface)을 측정된 결과는 Fig. 12와 같다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 수고는 내버들 $2.32\text{m} \pm 80.1$, 아까시나무 $2.20\text{m} \pm 93.8$, 버드나무 $1.94\text{m} \pm 49.0$, 복사나무 $1.72\text{m} \pm 66.5$ 그리고 갯버들 $1.23\text{m} \pm 70.1$ 이었고, 지표 직경은 내버들 2.2cm, 아까시나무 $3.0\text{cm} \pm 0.80$, 버드나무 $2.4\text{cm} \pm 1.22$, 복사나무 $2.3\text{cm} \pm 1.06$, 갯버들 $2.5\text{cm} \pm 0.63$ 이었다.

특히 하천의 독 사면에 아까시나무의 침입이 많은 것은 전술한 바와 같이, 본 조사지인 이동 소하천의 최상류에는 해발 543m의 칠보산이 있는데 넓은 면적에 걸쳐 식재되어 있는 아까시나무 군락에서 생산된 종자가 심한 홍수 시 하천으로 유입되고 유입된 종자는 축조된 독의 일정한 수위선을 따라 흘러가다가 독의 사면에 잔존, 정착한 것으로 판단되었다.

복사나무의 경우는 인접 지역의 야산에 복사나무가 없는 점으로 보아, 하천변 마을에서 먹다 버린 종자가 어떤 방식으로 전파되어 발아된 것으로 보였으며, 내버들과 버드나무는 공사 전에 이미 서식하고 있었던 개체들이 공사 후 하천의 안정화가 됨에 따라 재생되었거나 맹아번식(sprouting)을 한 후 속수(後續樹, succeeding tree)라고 생각된다.

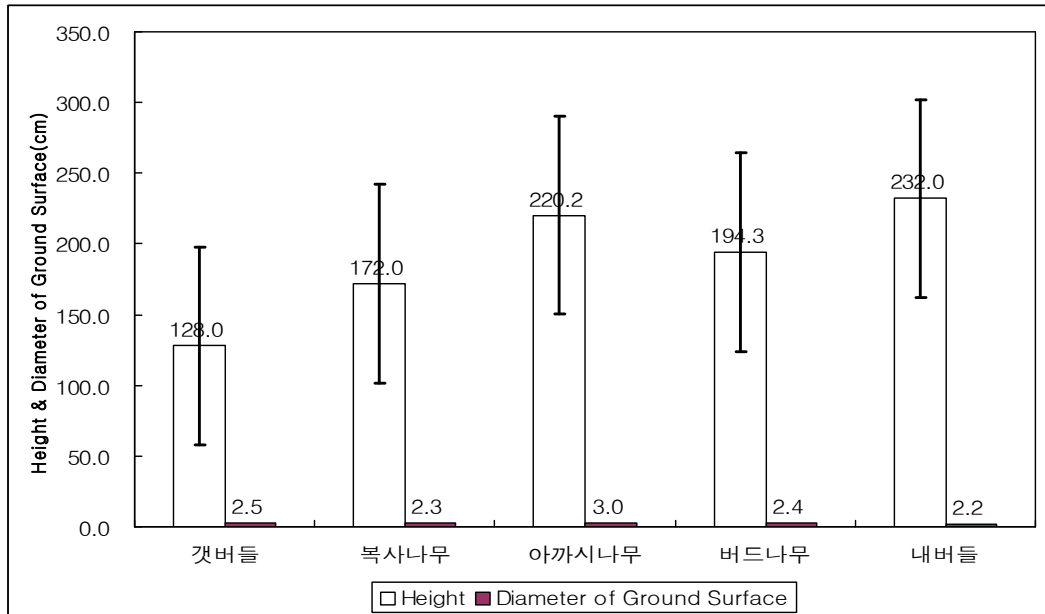


Fig. 12. Distribution of height and diameter of ground surface of several trees invaded.

5. 침입 및 정착

지금까지 얻은 자료를 근거로 하천공사 후 식물의 침입과 정착되는 과정을 묘사해 보면 다음의 Fig. 13 및 Fig. 14와 같다.

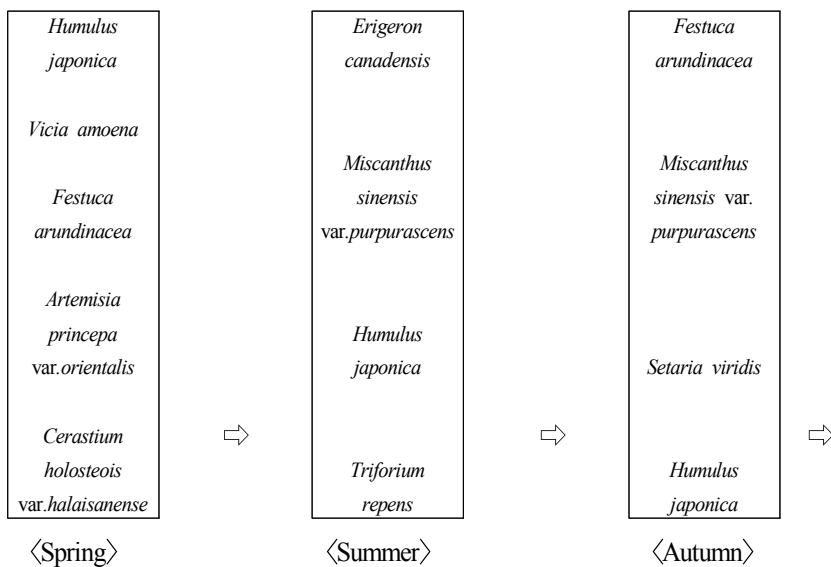


Fig. 13. Changes of herb plants invaded and established on eco-friendly constructed stream according to season

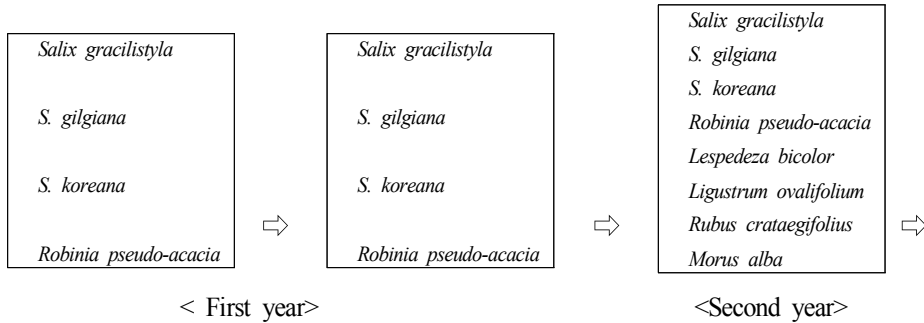


Fig. 14. Changes of invasion and establishment of trees at eco-friendly constructed stream

하천 공법에 관계없이 봄에 침입하는 식물을 보면(Fig. 13), 독의 사면에는 갈퀴나물, 큰김의털, 쑥, 환삼덩굴, 점나도나물이었고, 수로에는 고마리, 소리쟁이, 미나리, 개구리자리였다. 여름에는 독 사면에 망초, 억새, 환삼덩굴, 토끼풀이, 수로에는 고마리, 미나리, 미국가막사리, 닭의장풀, 그리고 가을에 많이 침입한 식물은 사면에 과종된 외래식물인 큰김의털, 식재한 억새, 강아지풀 및 환삼덩굴이었음을 알 수 있었다.

한편 목본식물의 침입을 보면(Fig. 14), 공사 후 첫해에 침입한 식물은 갯버들, 아까시나무, 내버들, 버드나무의 4종이었고, 이듬해에는 이들 4종의 목본 외에 쥐똥나무, 싸리, 산딸기 및 뽕나무 등이 새로 침입하였다. 이렇게 침입한 목본은 하천에 큰 변화가 일어나지 않는다면 당분간은 계속 성장할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2005년도 (사)한국자연환경보전협회의 지원을 받아 수행하였다.

인용 문헌

- 강상준, 박애경. 1998. 청주 무심천의 교란에 따른 식생의 변화. 한국생태학회지 21:435-448.
- 강상준, 연구방. 2004. 충북 괴산 이동 소하천 생태계 모니터링. 괴산군. p.448.
- 강상준, 이광호, 한상관. 2001. 하단부 배출식 완전 자동보를 이용한 하천 수질 개선. 한국환경기술학회지. 2(3):333-338.
- 김홍배, 안경수. 2006. 자연형 도시 하천의 식생 및 어류 다양성과 특성 평가. 한국습지학회지. 8:53-64.
- 건설교통부. 1995. 도시하천의 하천환경 정비기법의 개발. 한국건설기술연구소, KICT/95-WR-1201, p. 245.
- 河野昭一. 1984. 植物の生活史と進化 -雑草の個體群統計學-. 培風館. 東京. p.148.
- 沼田眞・淺野貞夫. 1956. 植物の生活型に關する2-3問題點. I. 植物學雜誌 69:141-145.
- 沼田眞・淺野貞夫. 1956. 植物の生活型に關する2-3問題點. II. 植物學雜誌 69:509-513.

- 沼田眞・淺野貞夫. 1956. 植物の生活型に關する2-3問題點.Ⅲ.植物學雜誌 72:456-461.
- 沼田 眞. 1969. 圖說 植物生態學. 朝倉書店. 東京. p.286.
- 奥田重俊, 佐佐木寧. 1996. 河川環境と水邊植物-植生の保全と管理-. Soft Science社, 東京. p.296.
- Bazzaz, F. A. 1975. The physiological ecology of plant succession. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 10:351-371.
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Plant Sociology: The study of plant communities.*(Transl. by G.D. Fuller and H.S. Conard.) Transl. of 1st ed. of *Pflanzensoziologie*(1928). McGraw-Hill, New York and London. p.438.
- Grime, J. P. 1979. *Plant strategies and vegetation processes.* John Wiley & Cichester, UK. p. 222.
- MacArthur, R. H. & E. O. Wilson. 1967. *The theory of island biogeography.* Princeton Univ. Press. Princeton.
- Monk, C. 1966. Ecological importance of root/shoot ratios. *Bull. Torrey Bot. Club.* 93:402-406.
- Monsi, M. and Y. Oshima. 1955. A theoretical analysis of succession process of plant community, based upon the production of matter. *Jap. J. Bot.* 15:60-82.
- Parrish, J. A. D. and F. A. Bazzaz. 1982. Responses of plants from three successional communities to a nutrient gradient. *J. Ecol.* 70:233-248.
- Raunkiaer, C. 1934. *The life-forms of plants and statistical plant geography.* Oxford. p. 605.
- Sørensen, T. 1949. A method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. *K. Danske Vidensk Se나.* 5:1-34.

요 약

충청북도 괴산군 청안면 이동 소하천에서 다양한 공법으로 행해진 자연형 하천 복원 후의 식생조성과 목본식물의 침입 및 정착 과정을 조사하였다. 9가지의 공법 중에서 식생 조성과 목본식물의 침입과 정착에 양호하다고 판단된 공법은 자연석 2단 및 3단 쌓기가 가장 좋다고 판단되었고, 그 다음은 지오그린 셀 공법, 식생 매트 공법 그리고 그린리버 공법의 순이었다. 친환경 돌망태 공법, 환경블럭 공법, 환경 H블럭 공법, 식생 축조 블록 공법 및 반딧불 블록 공법은 다른 공법에 비하여 적절하지 못한 공법이었다.

각 공법 간 식생 조성의 유사도 비교에 의하면, 하천 복원 후 식생이 한 방향으로 수렴되고 있음을 알 수 있었으며, 생활형 조성 역시 1년생 초본, 2년생 초본, 다년생 초본 및 목본 등의 생활사를 갖는 식물이 침입하였다. 처음 침입한 목본은 갯버들, 아까시나무, 내버들 및 버드나무 등 4종이었으나, 1년 후에는 싸리, 산딸기, 쥐똥나무 및 뽕나무가 새로 침입하였다. 이렇게 침입한 목본식물들은 복원된 하천에 다른 물리적인 교란이 심하게 가해지지 않는다면 당분간 계속 성장할 것으로 사료된다.

검색어 : 침입, 정착, 하천 공법, 자연형 하천