

## 하천합류부에서 갈대매트를 이용한 하천식생대 조성에 대한 기초적 연구\*

정경진<sup>1)</sup> · 김미경<sup>1)</sup> · 안원용<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 한림에코텍(주)부설 하천환경연구소 · <sup>2)</sup> 성균관대학교 대학원 조경학과

### A Fundamental Study on the Effect to Build up a Vegetation Strip at Stream Confluence by Using Reed Mat\*

**Chung, Kyung-Jin<sup>1)</sup> · Kim, Mi-Kyeong<sup>1)</sup> and An, Won-Yong<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> River Environmental Institute attached HanLim Eco-Tech Co., Ltd,

<sup>2)</sup> Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Sungkyunkwan Univ.

#### ABSTRACT

The study was to apply a mat style reed planting method at confluence to improve plants growth conditions by relaxing disturbed topographical base due to water flow and was intended to review the effect to build up a vegetation strip by monitoring process after the construction. First off, We've attempted to construct reed mats on selected sites as confluences of Tan and Gaehwa stream and then examined and analyzed characteristics of soil and vegetation community.

As the results of the examination, the soil texture was proven to be a mix of sand and loamy sand and be 6.3 ~ 7.0 soil pH. In addition, it contained 1.0 ~ 4.6% of organic matter, 0.04 ~ 0.22% of T-N and 27.8 ~ 41.2% of water content. For its vegetation structure, the Tan stream confluence was first actually a point bar without plants prior to the construction but 8 kinds of hygrophytes including *Persicaria hydropiper* and 9 kinds of terrestrial plants such as *Potentilla supina*, *Artemisia annua*, and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis*. On the other hand, the Gaehwa stream confluence contained 6 kinds of hygrophytes such as *Bidens frondosa* and other 11 kinds of terrestrial plants prior to the construction while it produced 7 kinds of hygrophytes including *Ranunculus ternatus* as well as *Phragmites australis* and 9 kinds of terrestrial plants such as *Potentilla supina* after the construction. For the *Phragmites australis*, almost of them was weathered away in early days just after planting because of development period passed, but on May, six months later from planting, it was investigated that its length was approximated as 65 ~ 85cm with 75% coverage and that the number of it was

---

\* 이 논문은 2001년도 중소기업청 기술혁신개발사업과제 연구결과의 일부임.

437 ~ 633/m<sup>2</sup>.

The study was shown that reed mats can improve environmental conditions of disturbed topographical base, enabling natural growth of various riparian vegetation including the introduced plant, reed. In the meantime, it was supposedly judged that to recover or build up a vegetarian strip, supplementary materials should be prepared to help produce and grow plants because it is not probable to expect river drift by water flow at confluence and that corrosion, burying or inundation owing to changes of water lever should be considered.

**Key Word :** *Topographical base, Water flow, Point bar, Natural growth, Supplementary materials.*

## I. 서 론

최근 우리나라에서는 훼손된 하천을 복원하거나 치수 또는 이수 목적으로 하천을 새롭게 정비할 필요가 있는 경우 자연재료를 최대한 이용하여 하천을 보다 자연에 가깝게 만드는 기술이 활용되기 시작했으며 이를 실현시키는 '자연형 하천공법'에 대한 연구가 진행 중에 있다(우효섭·박재로, 2000). 자연형하천공법은 주로 하천의 저수호안 및 고수호안을 공간적 대상으로 이루어지는데, 하천의 호안은 물과 육지가 만나는 생태적 추이대(Ecotone)로서 다양한 식물의 서식기반이 형성되어 하천의 전반적인 생물다양성 증진과 오염물질 정화와 같은 생태학적 기능을 수행하기 때문에 하천의 복원사업에 핵심적 공간이라 할 수 있다.

우리나라의 하천은 하상계수가 크고 여름철 일시적으로 집중호우가 발생하는 특성이 있어 하천의 상류, 중류의 경우 유수에 의한 호안의 침식과 세굴이 빈번히 발생하고 있어 최근에는 식물의 서식이 가능한 친환경 콘크리트 호안블록이 많이 사용되고 있다. 그러나 교란된 하천을 자연하천으로 복원시키는 과정에서 가장 근본적인 것은 하천호안을 하천고유의 식물로 녹화시키는 것이며, 이를 위해서는 하천의 저수호안에 콘크리트블록보다는 갈대군락과 같은 하천고유의 식생대를 효과적으로 활착시킬 수 있는 다양한 식재공법의 도입이 필요하다. 특히 하천의 합류부는 유수에 의한 하상재료의 퇴적경향이 일반적 저수로 호안에 비해 변동이 심

해 식생대의 복원가능성을 예측하기 어려운 공간이지만, 하천퇴적지는 선구종 식물군집이 야생식물을 형성하여 하상을 안정화시키고 범람의 영향을 안정화시키는 것으로 알려져 있어 (Forman, 1983) 하천의 생태적 복원을 위해서는 하천퇴적지의 식생대 조성에 대한 다양한 기초적 연구가 필요하다.

하천호안에 갈대, 달뿌리풀 등 하천식물을 도입하는 경우 일반적으로 포트식재방식을 통해 녹화하는데, 포트식재식물의 뿌리는 밀도가 떨어져 토양에 활착되는 시기가 길어 이식 초기에 낮은 피복율을 나타내고, 종자파종과 마찬가지로 잡초와의 경쟁에서 피압당해 도입식물종에 의한 녹화가 실패하는 경우가 대부분인 것으로 연구된 바 있다(정대영·심상렬, 2000). 이러한 단점을 보완할 수 있는 대안으로 자연형 하천조성에 생물공학적인 공법으로 알려진 뗏장심기방식은 포트식재에 비하여 운반 및 시공이 편리하고 식생의 조기 착생으로 피복도가 우수한 장점을 가지고 있다(허태학·안영희, 1999). 또한 뗏장생산을 위한 방법들도 일부 연구되고 있는데, 다양한 토양조건에서 종자를 파종하여 식물의 생육상태를 비교한 사례가 있으며(정대영·심상렬, 1998), 갈대 종자 및 포복경 등을 식생공법에 적용하여 식물의 생육상태를 연구한 바 있다(정대영·심상렬, 1999; 정대영·심상렬, 2000). 그러나 이러한 연구는 대부분 재배방식과 식물의 생육상태에 중점을 두고 있으며, 하천에 직접 시공하여 현장조건의 변화에 대한 적응성을 모니터링한 기술적 연구사례는 부족한 상태이다.

따라서 본 연구는 유수에 의한 식생지형기반의 교란을 완화하여 도입종의 활착률을 개선하고 다양한 하천식물의 자연발생을 유도할 수 있는 갈대 매트 개발을 목적으로 하며 이를 미지형변화가 심한 하천의 합류부를 대상으로 현장에 적용한 후 모니터링을 통하여 갈대매트의 도입에 의한 하천 식생대의 복원가능성을 검토하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

갈대매트의 시공공간은 개화천과 안양천의 합류부, 탄천과 한강의 합류부를 선정하였다. 개화천은 안양천의 지천으로 유역면적 10.50 km<sup>2</sup>, 유로연장 5.6 km의 지방2급 하천이다. 대상구간은 서울시 구로구에 위치하며 개화천의 하류역으로 안양천과 합류하는 구간이다. 갈대매트는 저수부의 하단에 퇴적지가 자연스럽게 형성된 지점의 약 150 m<sup>2</sup> 공간에 시공하였다. 탄천은 경기도 용인에서 발원, 서울 송파구와 강남구를 거쳐 한강으로 흘러드는 유역면적 301.0 km<sup>2</sup>, 유로연장 35.6 km의 지방2급 하천이다. 대상구간은 강남구의 탄천하류와 한강본류의 합류부에 형성된 퇴적지로 한강의 좌안방향에 약 150 m<sup>2</sup> 갈대매트를 시험시공하였다(그림 1).

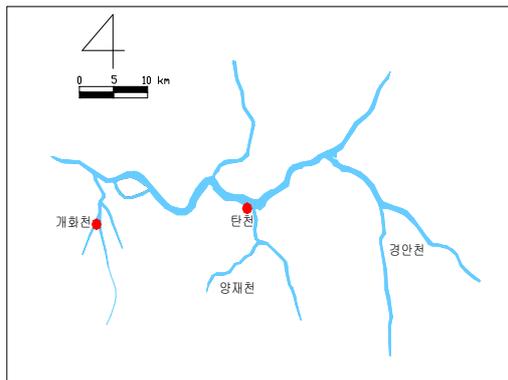


그림 1. 대상지 위치

### 2. 연구 방법

#### 1) 갈대매트 제작

기존의 식생매트 제작은 대부분 토양(인공토

양 포함)재배로서 종자 및 영양체 혼합과종 번식 방법을 이용하여 생산하고 있으나(허태학 · 안영희, 1999; 정대영 · 심상렬, 1998; 1999; 2000) 본 연구에서는 기존의 재배방식과는 달리 수경재배방식을 사용하였다. 수경재배란 영양소가 든 수경액 속에 뿌리를 담아서 식물을 성장시키는 것을 의미하며 고품질의 작물생산 뿐 아니라 토지의 고도이용, 불모지 같은 특수 환경에서의 식물생산이라는 여러 가지 이점 때문에 최근에 많이 사용하는 방법이다(박권우 · 김영식, 1991).

본 연구의 식물재료로 사용한 갈대(*Pragmites australis*)는 물가에서 흔히 볼 수 있는 다년생 수생식물로서 생육기의 일정기간동안 식물체의 일부분이 물에 잠기어 생육하고 식물체 내에는 공기를 전달, 혹은 저장할 수 있는 통기조직이 발달하여 물 속 토양에 박혀있는 뿌리에 까지 산소를 충분히 공급할 수 있는 특성이 있다(조강현, 2000). 또한 갈대는 종자로 번식하기도 하지만 지하경을 통한 번식으로 개체간 지하경으로 서로 연결되어 있어 군생을 이루며 생육하는 특성이 있으며 자연스러운 하천경관의 연출은 물론 수변생물의 서식처를 제공하고, 오염된 하천을 정화시키는 역할을 수행할 수 있는 중요한 하천고유의 식물이다. 수경재배시 수생식물 뿌리의 형태적인 특성을 관찰한 연구(환경과학연구소, 1994)에 의하면 갈대는 뿌리 발달이 매우 왕성하고, 먼저 뿌리와 줄기가 땅속의 일정한 깊이까지 아래쪽으로 뻗어가고 그 뒤 수평방향으로 옆으로 뻗어가서 뿌리와 줄기의 마디부분에서 잔뿌리가 발생함이 관찰되었다. 이러한 갈대의 생리, 생태적 특성으로 인해 갈대를 하천호안용 식물소재로 많이 이용하고 있으며 본 연구에서도 갈대를 이용하여 매트를 제작하였다.

갈대매트 제작을 위하여 먼저 일정 면적의 포지를 조성하였다. 2000년 10월, 초장이 약 1.5 m 정도 되는 갈대를 채취하여 차수막이 형성된 판장에 눕히고 야자섬유매트로 덮어 재배하였다. 뿌리가 완전히 활착하기 전인 제작 초기에 영양분을 제공하면 고사할 확률이 높기 때



a. 포지의 조성

b. 갈대매트 재배

c. 롤형태로 말아서 출하

그림 2. 갈대매트의 제작

문에 영양분을 포함하지 않은 물을 채워 수심 10cm 안팎으로 유지하였으며, 약 15일 정도 경과한 후 시비를 시작하였다. 갈대의 마디에서 뿌리를 내려 매트 아래에서 서로 엉기고, 야자섬유매트 위로 갈대 줄기가 올라와 2001년 10월에는 식물이 활착하였고, 시험시공을 위하여 일부를 출하하였다(그림 2).

2) 갈대매트 시험시공

(1) 시공단면

갈대매트의 시공은 2001년 10월에 이루어졌으며 2002년 6월까지 약 8개월가량 모니터링을 하였다. 갈대매트는 대부분 유수의 영향을 직접적으로 받는 저수호안에 시공되므로 갈대매트의 안정적인 시공을 위하여 유수와 맞닿은 부분은 식생롤을 설치하였다. 식생롤은 야자섬유를 일정크기의 원통형 망체로 고정된 자연소재의 식물보조재료로서 식생롤과 갈대매트가 결합되는 부분은 나무말뚝박기로 고정하고 매트부분

은 유실을 방지하기 위해 고정핀을 설치하였다(그림 3).

(2) 시공과정

갈대매트의 시공을 위해 대상지에 지면을 고르게 하고 두루말이 형태로 운반된 갈대매트를 비탈면을 따라 깔았으며, 갈대매트의 끝부분은 세굴방지를 위하여 지표면 속으로 감아서 묻어 주었다. 지면을 고를 때 발생한 토양은 수분증발완화를 위해 갈대매트 위에 골고루 포설하였다. 강우나 유수에 의한 갈대매트의 유실을 방지하기 위하여 야자섬유네트(Coir net)를 설치하였으며 야자섬유네트 위로  $\Phi 12 \times L300$  크기의 고정핀으로 야자섬유네트와 갈대매트를 비탈면에 고정시켰다(그림 4).

3) 식생분석

본 연구에서는 갈대매트를 현장에 시공한 이후 식물생장, 피복률, 타종의 발생정도, 경관변화

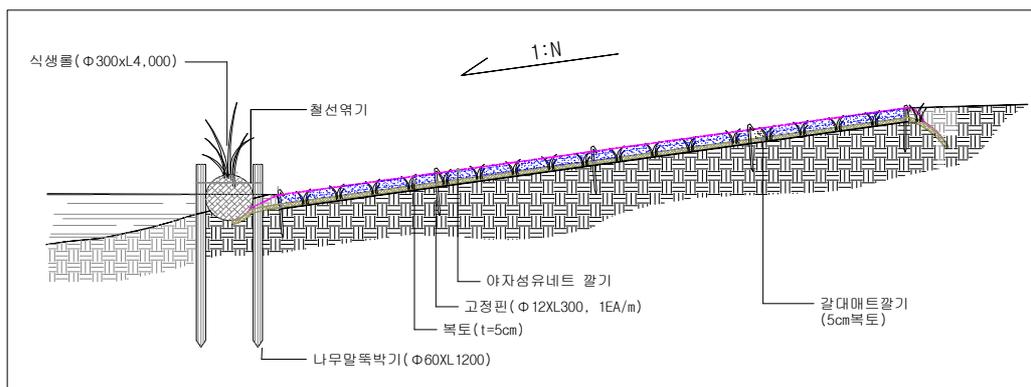


그림 3. 갈대매트 시공단면



a. 비탈면정리



b. 설치구간 정리



c. 기반부 식생물 설치



d. 고정용 나무말뚝 설치



e. 갈대매트 설치 및 복토



f. 갈대매트 시공완료

그림 4. 갈대매트 시공과정

등을 검토하기 위하여 현장 모니터링을 실시하였다. 식물의 동정은 대한식물도감(이창복, 1980)에 의하였고 탄천과 개화천의 갈대매트 시공지에 30×30 cm 방형구 3개를 설치한 후 Braun-Blanquet의 방식(Mueller and Ellenberg, 1974)에 의하여 식물종의 피도를 조사하였다. 밀도는 식생군집구조를 조사하는 30×30 cm 방형구에서 식재종의 경엽부를 계수하여 산출하였으며 방형구에서 식물의 높이를 막대자로 측정하여 평균을 구하였다.

#### 4) 토양분석

갈대매트 시공지점에서 토양의 특성을 알아보기 위하여 채토기를 이용하여 상층 5 cm 내외의 토양을 채취하였다. 토양은 비닐백에 담아 실험실로 옮겼으며 토성, 수분함량, 토양pH, 유기물함량, 전질소(Total Nitrogen)를 측정하였다.

토성은 2 mm체를 통과한 시료를 대상으로 Stokes의 법칙을 이용한 비중계 분석을 실시하여 모래, 미사 및 점토의 함량을 구하였다(Sheldrick and Wang, 1993). 토성 분류는 미국 농무성의 기준에 의해 구분하였다. 수분함량은 생토양 10 g을 105 °C의 건조기에서 48시간동안 건조시킨 후, 무게 감소량을 백분율로 표시하여 측정하였

다. 토양 pH는 토양과 증류수를 1 : 2 (무게 : 부피)의 비율로 섞어 교반기에서 2시간 동안 교반한 후, 상층액에 pH 측정기의 전극(Orion 9165BN)을 담구어 측정하였다. 유기물함량은 105 °C로 건조한 저토를 550 °C의 전기로에서 5시간 태운 후 무게 소실량을 건조토양의 백분율로 표시하여 측정하였다. 전질소(T-N)는 음건 저토 1g, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 CuSO<sub>4</sub>을 9 : 1(무게 : 무게)로 혼합한 분해촉진제 3g 및 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 ml를 200 °C에서 20분간 1차 가열, 450 °C에서 40분간 2차 가열하였다. 분해된 시료를 식힌 다음 증류수로 씻어내면서 50 ml로 정용 하였다. 100 ml 삼각플라스크에 4% 붕산 5 ml를 넣고 Kjeldahl 증류장치 밑에 설치하고, 증류장치에 시료 분해액 10 ml, 50% NaOH 10 ml를 넣고 증류수로 씻어 내렸다. 증류액을 1/14 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 으로 적정하여 전질소량을 측정하였다(McGill and Figueiredo, 1993). 전질소량은 105 °C로 건조한 저토 1 g 무게로 표시하였다.

#### 5) 자료분석

갈대매트의 녹화효과 검토는 식물의 피도와 빈도의 자료로부터 상대피도와 상대빈도를 계산하고 이 값의 평균값으로 중요치를 산출하여

식물종의 우점도를 결정하였다. 식생군집의 특성검토는 방형구에서 측정한 경엽부의 밀도를 각각 1m<sup>2</sup>당 경엽부수(개/m<sup>2</sup>)로 환산하여 평균과 표준편차로 표시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토양특성

##### 1) 토성

탄천의 시공구간은 갈대매트의 시공 이전 식물이 전혀 출현하지 않는 무식생사주부였으며 토성은 사토(sand)로 나타났다. 개화천의 시공구간은 양질사토(loamy sand)와 사양토(sandy loam)로 조사되어 탄천구간에 비해 모래의 함량이 적은 퇴적으로 나타났다(표 1). 일반적으로 조사(coarse sand)이상의 입자가 거친 장소에서는 수생식물의 생장이 빈약하던지 군집이 성립되지 않을 가능성이 높으며, 특히 갈대나 부들류의 경우 적어도 양토(loam)이하의 고운 흙이 적당하다(이창석 등, 1999). 또한 갈대 및 수생식물이 서식하는 자연습지의 토성을 조사한 결과 미사질양토 또는 사양토로 조사된 바 있어(김현규, 1999) 탄천구간의 경우 갈대의 일반적인 생육조건에 비해서 다소 모래함량이 많은 상태인 것으로 나타났다. 정수식물의 식재지반에 입자가 큰 모래의 함량이 높으면 영양물질이 부족하여 식물의 생육이 빈약하게 되므로(김귀곤, 2003) 하천합류부와 같이 모래의 퇴적이 빈번히 발생하는 구간에 갈대 등 하천식물의 도입을 위해서는 미세토양의 유실을 억제할 수 있는 자연소재의 기반재를 원지반에 적용하여 토양내 미사(silt)와 점토(clay)의 함량을 높일 수 있도록 조성하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

##### 2) 토양pH

토양pH는 탄천, 개화천에서 각각 6.3과 7.0으로 나타났다(표 1). 조사지역의 토양pH는 전반적으로 식물 생육에 적합한 pH 범위인 6.0~7.0 사이(한국조경학회, 1999)에 분포하고 있었다. 한강지류의 상, 중, 하류역을 대상으로 토양특성을 조사결과 토양pH는 5.9~7.0의 범주로 조

사된 바 있다(정경진, 1999) 또한 자연습지의 경우 토양pH가 5.2~6.8 정도의 범주로 조사되었으며(김현규, 1999) 하도특성과 식생의 상관관계 분석을 위한 문산천의 토양조사에서도 5.2~6.8의 범주로 조사된 바 있어(이진원 등, 2000) 본 시공구간의 토양pH는 도입종인 갈대와 기타 유입종이 생장하는 데 있어 무리가 없는 것으로 판단된다.

##### 3) 수분함량

토양수분함량은 탄천 25.5~29.6%, 개화천 35.2~53.1%로 나타났다(표 1). 탄천구간의 경우 수변부에 인접한 지역이며 주기적으로 침수되는 지역임에도 불구하고 개화천구간에 비해 수분함량이 낮게 나타났다. 일반적으로 사토는 점질토에 비하여 토양입자의 간극이 크기 때문에 수분함량이 급격히 감소하는 경향이 있는데, 본 대상지의 토성분석에서 탄천구간의 모래함량은 93.8%로 개화천구간의 모래함량 76.9%에 비해 모래의 함량이 높기 때문에 개화천과 비교하여 토양의 수분 보유능력이 낮은 것으로 판단되었다.

##### 4) 유기물 함량

유기물 함량은 우리나라 논토양의 유기물함량 2.6%와 밭토양의 유기물함량 2.0% (조성진 등, 1985)와 비교하여 탄천은 1.0%로 낮게 나타났으며, 개화천은 4.6%로 높게 나타났다(표 1). 각 하천별로 오염원의 유입정도나 유기물의 발생조건이 다르기 때문에 직접적인 비교는 어려우나 조사결과 탄천 조사구간은 개화천 조사구간에 비해 유기물의 집적이 적게 이루어져 있는 상태였다. 갈대 및 습지식물의 서식에 바람직한 토양유기물함량은 1.4~2.9%로 연구된 바 있으며(김현규, 1999) 한강지류를 대상으로 저수호안의 토양유기물함량을 조사한 결과 1.4~2.6%로 나타나(정경진, 1999) 본 조사구간의 결과와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

##### 5) 전질소

하천의 토양질소는 비가 온 후 수변에 쌓인 퇴적토의 함량이 원래의 수변 토양보다 높아 새

표 1. 탄천과 개화천의 조사지점에서 토양의 물리화학적 특성

조사지점	pH	수분함량 (%)	유기물함량 (%)	전 질 소 (%)	토 성			토성분류
					모래(%)	점토(%)	미사(%)	
탄 천	6.3±0.1	27.8±3.7	1.0±0.3	0.04±0.02	93.8±0.7	5.3±0.3	0.9±0.5	사토 (sand)
개화천	7.0±0.1	41.2±5.3	4.6±0.5	0.22±0.03	76.9±3.5	7.9±1.4	15.2±2.3	양질사토 (loamy sand)

로운 퇴적토가 무기양분의 공급원 역할을 하는 것으로 보고된 바 있다(환경부, 1997). 조사 결과 개화천 조사구간의 총질소량은 0.127~0.248%로 나타났고, 탄천은 0.035~0.043%로 나타났다(표 1).

전질소는 탄천 조사구간의 경우 개화천에 비해 상대적으로 낮은 값을 보였는데 이는 유기물 함량의 조사결과와 유사한 경향을 나타내었다. 토양전질소는 토양유기물 함량과 상관관계가 있는 것으로 조사된 바 있어(정경진, 1999) 유기물함량이 높은 개화천구간에서 전질소도 영향을 받은 것으로 판단되었다.

## 2. 식물특성변화

### 1) 탄천구간

#### (1) 식생군집구조

탄천구간은 시공이전 식물이 전혀 발견되지 않은 무식생사주부였으나 갈대매트 적용 이후 총 18종의 식물이 출현하였다. 갈대매트 시공 직후에는 갈대 1종만이 관찰되었으나 시공 7개월 후에는 식재종인 갈대와 개구리자리, 고마리, 물쭉, 미국가막사리, 속속이풀, 쇠별꽃, 황새냉이, 여뀌 등 습생식물 8종과 개소시랑개비, 개똥쭉, 냉이, 딱새풀, 소리쟁이, 쭉, 점나도나물, 봄여뀌, 토끼풀 등 육상식물 9종이 출현하였다(표 2).

특정한 지형에서 특정종이 왕성하게 성장하는 것은 그 지점이 발아와 정착을 위해 적합하기 때문이며 최소한 그 지점의 주변환경이 종의 번식시기가 될 때까지 지속할 수 있는 환경이라는 것을 의미한다(Cliff and Osterkamp, 1996). 따라서 무식생대였던 탄천 사주부에 갈대매트를 시공함으로써 갈대 뿐 만 아니라 기타 다른 종

들이 유입되었는데, 이는 식물이 생육할 수 없었던 지점에 갈대매트와 같은 식생보조재료가 제공됨으로써 대상지의 환경조건이 식물의 자연발생이 가능한 환경으로 변화한 것으로 판단된다. 식물 천이(succession)의 유형은 하천에 가해진 교란이후에 특정 식물의 재생 전략의 차이에 의해 결정된다. 즉 하천에서는 퇴적에 의하여 새롭게 형성된 사주부에서 일차 천이에 의하여 식생변화가 이루어지거나 자연적, 인위적 교란에 의해 이차 천이가 일어날 수 있는데(한국건설기술연구원, 2002) 탄천구간의 경우 도입종인 갈대를 제외한 17종은 퇴적에 의하여 새롭게 형성된 사주부에 일차 천이에 의해 발생한 종들

표 2. 탄천에서 시공 7개월 후 출현 식물종

생활형	출 현 종
수생식물	갈대( <i>Phragmites australis</i> )
습생식물	개구리자리( <i>Ranunculus sceleratus</i> )
	고마리( <i>Persicaria thunbergii</i> )
	물쭉( <i>Artemisia selengensis</i> )
	미국가막사리( <i>Bidens frondosa</i> )
	속속이풀( <i>Rorippa cantoniensis</i> )
	쇠별꽃( <i>Stellaria aquatica</i> )
	황새냉이( <i>Cardamine flexuosa</i> )
	여뀌( <i>Persicaria vulgaris</i> )
육상식물	개소시랑개비( <i>Potentilla supina</i> )
	개똥쭉( <i>Artemisia apiacea</i> )
	냉이( <i>Capsella bursa-pastoris</i> )
	딱새풀( <i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i> )
	소리쟁이( <i>Rumex crispus</i> )
	쭉( <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> )
	점나도나물( <i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i> )
봄여뀌( <i>Persicaria vulgaris</i> )	
토끼풀( <i>Trifolium repens</i> )	
합 계	18

로서 하천호안의 식생대 형성을 위한 선구종의 역할을 하는 것으로 나타났다.

갈대매트 시공직후의 중요도는 갈대가 100%로 다른 종이 전혀 출현하지 않았으나, 시공 7개월 후에는 갈대가 28.3%로 가장 높았으며 뚝새풀 11.0%, 개구리자리 8.9%, 여뀌 8.4% 등 다른 종들의 중요도가 비교적 높은 것을 볼 때 다양한 종들이 갈대매트 내로 자연 발생한 것을 알 수 있었다(표 3). 하천호안은 수위변동이 크고 유수에 의해 지속적으로 스트레스를 받는 등 식물이 성장하는 데 있어 매우 불안정한 구간이라 할 수 있다. 또한 하천생태계의 천이는 극상에 이르는 경우가 드물고 맥박식 안정 준극상(pulse-stabilized subclimax)을 이루게 되는데(한국건설기술연구원, 2002) 이는 하천생태계의 중요한 특성이라 할 수 있다. 특히 하천합류부에서 빈번히 발생하는 침식 및 퇴적은 하천식물의 생육기반을 훼손하여 식물의 천이단계를 극상에 이르지 못하고 반안정대의 준극상에서 머물게 만든다. 따라서 하천호안의 식생대 조성을 위해서는 대상구간이 동적인 지형형성과정에 의해 식물의 생장이 장기적으로 유지되기 어려운 공간인가를

표 3. 탄천에서 시공 7개월 후의 식물군집 구조

출 현 종	시공 7개월 후		
	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요도 (%)
갈 대	46.9	9.7	28.3
뚝새풀	12.2	9.7	11.0
개구리자리	8.2	9.7	8.9
여 끼	7.1	9.7	8.4
황새냉이	5.1	9.7	7.4
속속이풀	5.1	9.7	7.4
쇠별꽃	3.1	6.5	4.8
개소시랑개비	3.1	6.5	4.8
점나도나물	2.0	6.5	4.2
소리쟁이	2.0	6.5	4.2
털여뀌	1.0	3.2	2.1
개똥쭉	1.0	3.2	2.1
냉 이	1.0	3.2	2.1
쭉	1.0	3.2	2.1
고마리	1.0	3.2	2.1
합 계	100	100	100

판단하여 하천식생대의 조성여부를 결정해야 하며, 필요한 경우 자연소재의 식생보조재료를 도입하여 유수의 영향을 완화시켜 식재된 식물이나 자연 발생하는 종자의 활착을 도울 수 있도록 하는 것이 바람직 할 것이다.

(2) 식생군집특성

시공 전 탄천의 조사구간은 인접한 지역에 야생식물이 생육하고 있음에도 불구하고 식물종을 발견할 수 없었다. 이는 탄천과 한강합류부의 특성상 조류(tidal current)의 영향을 받아 주기적으로 퇴적과 침식이 일어나 식생이 안정적으로 정착하기에는 어려운 환경이기 때문인 것으로 생각된다. 시공직후 갈대매트의 피도, 밀도, 높이는 각각 73.3 %, 448 개체수/m<sup>2</sup>, 67 cm이었고 시공 7개월 후에는 각각 76.7 %, 633.3 개체수/m<sup>2</sup>, 63.3 cm이었다. 시공 7개월 후인 2002년 5월은 갈대의 생장이 진행 중인 시기이므로 시공 직후와 시공 7개월 후의 갈대생장에 대한 완전한 비교는 될 수 없으나 피도와 밀도가 모두 시공 직후에 비해 증가한 것으로 나타났다(표 4). 식물의 높이는 시공 초기에 갈대의 생장을 돕기 위해 초장을 짧게 제초했기 때문에 오히려 감소한 것으로 나타났으나 이는 갈대의 성장시기와 특성을 고려해볼 때 빠른 시일내에 더욱 성장할 것으로 판단된다. 피도 역시 시간이 지날수록 더욱 증가할 것으로 예상된다.

표 4. 탄천에서 갈대매트 적용 후 갈대의 피도, 밀도, 높이의 변화

식재종	조 사 항 목	시공 직후	시공 7개월 후
갈 대	피도(%)	73.3 ± 5.8	76.7 ± 5.8
	밀도(개체수/m <sup>2</sup> )	448.1 ± 44.9	633.3 ± 67.6
	높이(cm)	66.7 ± 2.9	63.3 ± 2.9

시공 초기의 갈대는 이미 생육시기가 지나 대부분 고사하였고, 이듬해 봄인 3월에는 약 3~4 cm의 새순이 돋아났으며(그림 5-a) 4월 조사에서는 6~9 cm 정도 성장하였으며 5월 조사에서는 갈대의 높이가 63.3cm 로 나타나(그림 5-b) 식물 생육 적기에 이르면서 급속하게 성장한 것으로

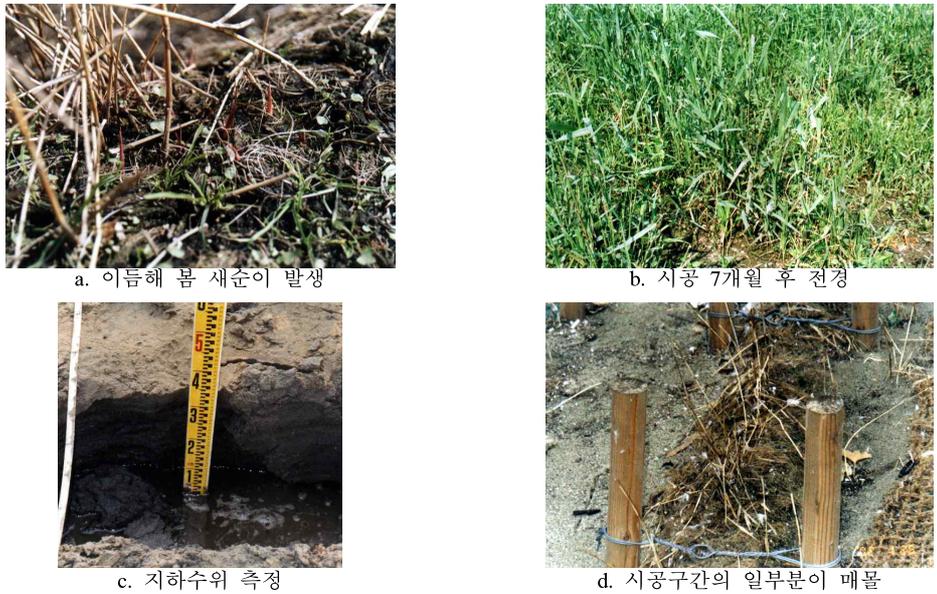


그림 5. 탄천구간의 시공 후 변화

조사되었다. 탄천구간의 지하수위는 조사결과 30~35 cm로 나타나 습지식물의 생장에 무리가 없을 것으로 판단되었으나(그림 5-c) 시간이 지날수록 수면에 가까운 지점부터 점차 모래로 매몰되는 현상을 발견할 수 있었다(그림 5-d).

2) 개화천 구간

(1) 식생구집구조

시공 전 개화천 대상구간에 출현한 식물은 외부환경의 영향을 받아 쉽게 유입될 수 있는 초본류를 관찰할 수 있었으며 갈대매트 적용 전 출현한 종 수는 총 17종이었다(표 5). 대상구간이 수변부임에도 불구하고 수생식물은 관찰할 수 없었으며 미국가막사리, 속속이풀, 쇠별꽃, 알방동사니, 여뀌, 한련초 등 습생식물 6종과 개소시랑개비, 민바랭이, 바랭이, 방가지똥, 방동사니, 비름, 소리쟁이, 쇠비름, 쑥, 환삼덩굴 등 육상식물 11종을 관찰하였다. 그러나 갈대매트 시공 7개월 후에는 식재종인 갈대를 비롯하여 개구리자리, 개밀, 개피, 속속이풀, 쇠별꽃, 여뀌, 한련초 등 습생식물 8종, 개소시랑개비, 냉이, 뚝새풀, 바랭이, 새, 소리쟁이, 쯔명아주, 참새귀리, 환삼덩굴 등 육상식물 9종이 출현하였다.

표 5. 개화천에서 시공이전과 시공 7개월 후 출현 식물종

생활형	출현종	시공 이전	시공 7개월 후
수생식물	갈대( <i>Phragmites australis</i> )	-	○
습생식물	개구리자리( <i>Ranunculus sceleratus</i> )	-	○
	개밀( <i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> )	-	○
	개피( <i>Beckmannia syzigachne</i> )	-	○
	미국가막사리( <i>Bidens frondosa</i> )	○	-
	속속이풀( <i>Rorippa cantoniensis</i> )	○	○
	쇠별꽃( <i>Stellaria aquatica</i> )	○	○
	알방동사니( <i>Cardamine flexuosa</i> )	○	-
	여뀌( <i>Persicaria vulgaris</i> )	○	○
한련초( <i>Eclipta prostrata</i> )	○	○	
육상식물	개소시랑개비( <i>Potentilla supina</i> )	○	○
	냉이( <i>Capsella bursa-pastoris</i> )	-	○
	뚝새풀( <i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i> )	-	○
	미국개기장( <i>Panicum dichotomiflorum</i> )	○	-
	민바랭이( <i>Digitaria violascens</i> )	○	-
	바랭이( <i>Digitaria sanguinalis</i> )	○	○
	방가지똥( <i>Sonchus oleraceus</i> )	○	-
	방동사니( <i>Cyperus amuricus</i> )	○	-
	비름( <i>Amaranthus mangostanus</i> )	○	-
	새( <i>Arundinella hirta</i> )	-	○
	소리쟁이( <i>Rumex crispus</i> )	○	○
	쇠비름( <i>Portulaca oleracea</i> )	○	-
	쑥( <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> )	○	-
쯔명아주( <i>Chenopodium serotinum</i> )	-	○	
참새귀리( <i>Bromus japonicus</i> )	-	○	
환삼덩굴( <i>Humulus japonicus</i> )	○	○	
합	계	17	17

표 6. 개화천에서 시공 전, 시공직후, 시공 7개월 후 출현 식물의 상대피도, 상대빈도, 중요도

출 현 종	시공 전			시공 직후			시공 7개월후		
	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요도 (%)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요도 (%)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요도 (%)
개소시랑개비	0.6	2.9	1.7	-	-	-	-	-	-
소리쟁이	30.9	14.3	22.6	-	-	-	-	-	-
속속이풀	36.5	14.3	25.4	-	-	-	2.7	10.0	6.3
여뀌	7.7	14.3	11.0	-	-	-	-	-	-
환삼덩굴	9.9	14.3	12.1	-	-	-	-	-	-
미국가막사리	5.0	11.4	8.2	-	-	-	-	-	-
바랭이	2.8	11.4	7.1	-	-	-	5.3	10.0	7.7
미국개기장	5.0	11.4	8.2	-	-	-	-	-	-
방동사니	1.7	5.7	3.7	-	-	-	-	-	-
갈대	-	-	-	100	100	100	77.3	30.0	53.7
쇠별꽃	-	-	-	-	-	-	8.0	20.0	14.0
뚝새풀	-	-	-	-	-	-	4.0	20.0	12.0
개피	-	-	-	-	-	-	2.7	10.0	6.3
합계	100	100	100	100	100	100	100	100	100

시공 전 개화천 조사구간은 속속이풀, 소리쟁이의 중요도가 각각 25.4 %와 22.6 %이었고, 여뀌, 환삼덩굴, 미국가막사리, 미국개기장, 바랭이 등의 중요도는 7.1 %~12.1 %이었다(표 6). 시공이전의 식물군집구조는 특정 종에 의해 우점되기 보다는 1~2년생 초본들이 고르게 분포한 상태였다.

시공 직후에는 식재종인 갈대의 중요도가 100%를 나타내었으며 시공 7개월 후에는 식재종인 갈대의 중요도가 53.7%이었고, 쇠별꽃, 뚝새풀의 중요도가 각각 14.0%와 12.0%이었다. 시공 7개월 후의 군집특성을 살펴보면 매트 아래에서 겨울을 보낸 갈대 뿌리에서 새로운 싹이 올라와 식물생장이 왕성한 시기인 5월부터는 안정된 갈대군집을 이루고 있었고, 갈대매트 위로는 시공구간의 주변 식물들이 일부 유입되었다.

(2) 식생군집특성

시공직후 도입종인 갈대의 피도, 밀도, 높이는 각각 73.3%, 448 개체수/m<sup>2</sup>, 67cm이었고 시공 7개월 후에는 각각 96.7%, 437.5 개체수/m<sup>2</sup>, 88.3cm이었다. 시공 7개월 후의 피도, 밀도, 식물의 높이가 시공 직후에 비해 각각 증가하였다(표 7).

표 7. 개화천 시공직후, 시공 7개월 후에 식재종(갈대)의 평균피도, 평균밀도, 평균높이

식재종 조사 항목	시공 직후	시공 7개월 후
피도(%)	76.7 ± 5.8	96.7 ± 5.8
갈대 밀도(개체수/m <sup>2</sup> )	237.3 ± 20.13	437.5 ± 78.3
높이(cm)	78.3 ± 2.9	88.3 ± 10.4

시공 초기의 갈대는 이미 생육시기가 지나 대부분 고사하였고, 이듬해 봄인 3월에는 약 5 ~9 cm의 새싹이 돋아났으며(그림6-a) 4월 조사에서는 15~20 cm 정도 성장하였다(그림6-b). 시공 6개월 후인 5월 조사에서는 갈대생장이 왕성하게 이루어져 높이가 평균 88.3 cm이었으며(그림6-c) 갈대생장이 가장 왕성한 시기인 5~8월에는 더 높은 성장상태를 보일 것으로 기대된다.

본 연구의 대상지는 유수의 영향을 직접적으로 받는 하천합류부의 저수호안이므로 유속, 수위변동 등 대상지에 작용하는 물흐름의 변화가 도입종인 갈대를 비롯하여 자연발생하는 식물의 성장에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히 국지적인 수위의 변화는 수생생물의 다양성 증가에 긍정적인 영향을 주지만 수위변화가 심하게 되면 부정적인 영향을 준다. 수위의 1일 변동차가 약 30cm 이내 일 경우에는



a. 이듬해 새순이 발생



b. 도입종의 정착



c. 시공 7개월 후 전경

그림 6. 개화천구간의 시공 후 변화

수생생물 군집에 영향을 주지 않지만 90cm 이상 일 경우는 좋지 않은 영향을 주는 것으로 보고된 바 있다(조동길, 1999). 본 연구에서는 유속, 수위변동폭 등 수리적 특성에 대해서는 조사가 이루어지지 않았으나 조사구간의 경우 유수에 의해 빈번한 수위변동이 이루어지는 곳이므로 도입종인 갈대의 생장에 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서 향후 수리특성과 함께 지형기반의 침식 및 퇴적 등 변화과정에 대한 지속적인 모니터링이 이루어져야 할 것이다.

#### IV. 결 론

하천의 합류부는 식물서식을 위한 생육기반의 변화가 심해 기존의 재배방식보다 활착률과 녹화효과를 개선할 수 있는 식재기술이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 문제점의 개선을 위하여 수경재배 방식을 이용한 갈대매트공법을 개발하였으며 이를 탄천과 개화천의 일부 구간에 적용한 후 모니터링하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

갈대매트를 시공한 이후 탄천의 경우 도입종인 갈대를 포함하여 18종이 발생하였고 개화천 구간에서는 17종이 발생하였다. 특히 탄천구간은 시공이전 식물이 전혀 발생하지 않던 사주 퇴적부임에도 불구하고 갈대매트의 시공이후 도입종인 갈대가 활착하고 기타 17종이 자연발생함으로써 갈대매트가 식물의 서식환경을 개선하여 하천식생대 구성에 도움을 준 것으로 판단되었다. 개화천 구간도 출현종수에는 변동이 없으나 육상식물의 출현비율이 줄고 도입종인 갈대를 비롯한 습생식물의 출현비율이 증가

함으로써 갈대매트의 시공으로 인해 물과 인접한 수변식생대의 특성을 다소 회복한 것으로 나타났으며 하천고유의 식물인 갈대가 우점할 수 있는 환경을 조성하여 장기적으로 다양한 수생생물의 서식이 가능한 하천식생대 구성에 도움을 줄 것으로 판단되었다.

그러나 하천환경에 가장 큰 영향을 미치는 홍수기가 모니터링 기간에 포함되지 않아 하계집중호우를 전후로 한 모니터링 결과가 제외된 것은 본 연구의 한계로 지적될 수 있다. 조사결과 시공이후 갈대매트 자체의 파손 및 유실의 흔적이 발견되지는 않았으나 유속, 유량이 증가하는 홍수기의 변화와 홍수 이후의 식생상 모니터링 등의 후속 연구들이 진행되어야 할 것이다. 특히 탄천구간의 일부지점에서 토사가 지속적으로 퇴적되어 시공전의 무식생 사주부의 모습으로 회귀하려는 흔적을 발견할 수 있어 하천합류부에 형성되는 사주퇴적부의 경우 매물에 의한 식생기반의 훼손을 주의해야 하며 장기적인 모니터링이 필요할 것으로 생각된다. 또한 갈대매트의 적용을 비롯하여 모든 하천식생대의 조성 시에는 시공하천, 시공구간의 지형적, 수리적 특성을 충분히 고려하여 시공현장의 여건에 부합하는 적용방안을 강구하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

#### 인 용 문 헌

- 김귀곤. 2003. 습지와 환경. 아카데미서적. p.449.  
김현규. 1999. 인공습지 조성을 위한 수생식물의 식재기반 조성기준에 관한 연구. 서울대

- 학교 석사학위논문. pp.42-52.
- 박권우 · 김영식. 1991. 수경재배의 이론과 실제. 고려대학교출판부. pp.9-20.
- 우효섭 · 박재로. 2000. 하천복원의 이해와 국내외 사례. 한국수자원학회지 33(6) : 15-28.
- 이진원 · 이삼희 · 백종식. 2000. 하도특성과 식생의 상관관계 분석. 한국건설기술연구원 보고서. p.51.
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사. 서울. p.990.
- 이창석 · 홍선기 · 조현제 · 오종민 역(스기야마게 이이찌 등 저). 1999. 자연환경복원의 기술. 동화기술. 서울. p.196.
- 정대영 · 심상렬. 1998. 호안자연식생 복원을 위한 갈대류 뗏장 개발 - 토양의 조성 및 파종량이 달뿌리풀 뗏장 형성에 미치는 영향. 한국환경복원녹화학회지 26(1) : 28-35.
- 정대영 · 심상렬. 1999. 갈대속 식물의 식생공법 개발에 관한 연구. 한국환경복원녹화학회지 27(2) : 51-57.
- 정대영 · 심상렬. 2000. 천연섬유를 이용한 식생복원용 갈대 및 억새속 식물의 뗏장개발. 한국환경복원녹화학회지 28(1) : 54-61.
- 정경진. 1999. 한강지류에서 하천변의 식생분포와 지형, 토양, 수문특성과의 관계. 성균관대학교 박사학위논문. pp.65-72.
- 조강현. 2000. 하천 복원을 위한 하안식생의 구조와 기능에 대한 이해. 한국수자원학회지 33(6) : 29-40.
- 조동길. 1999. 인공습지 조성후 생물다양성 증진 효과에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문. p34
- 조성진 · 조인상 · 김리열 · 허봉구. 1985. 우리나라 토양의 물리화학적 특성 상호관계에 관한 연구. 한국토양비료학회지.Vol. 18(2). pp.134-139.
- 한국건설기술연구원. 2002. 하천복원가이드라인. 환경부보고서. pp.7-40.
- 한국조경학회. 1999. 조경설계기준. 한국조경학회. p.287.
- 허대학 · 안영희. 1999. 갈대 및 달뿌리풀의 성형뗏장묘 제조방법. 대한민국 특허청 공개특허공보.
- 환경과학연구소. 1994. 노랑꽃창포에 의한 수질정화법. 요코하마시 보고서. pp.17-19.
- 환경부. 1997. 국내여건에 맞는 자연형하천공법의 개발 : 하천생태계의 구조와 기능 Vol. II. pp.171-177
- Cliff R. H. and W. R. Osterkamp. 1996. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology* 14 : 277-295.
- Forman, R. T. T. 1983. Corridors in a landscape : Their ecological structure and function. *Ekologia* 2(4) : 375-387.
- McGill, W. B. and C. T. Figueiredo. 1993. Total Nitrogen. In : *Soil Sampling and Methods of Analysis*(R.C. Martin, ed.). Florida : Lewis Publishers. pp.201-211.
- Mueller-Dombois, D and H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons, New York, NY. p.545.
- Sheldrick, B. H. and C. Wang. 1993. Particle Size Distribution. In : *Soil Sampling and Methods of Analysis*(R.C. Martin, ed.). Florida : Lewis Publishers. pp.499-511.

接受 2003年 5月 22日