

## 식생에 의한 하안 퇴적과 침식 경감

# Deposition and Erosion Relief of Riverfront by Vegetation

김진홍\*

중앙대학교 건설환경플랜트공학과

Jin-Hong Kim\*

Department of Civil, Environmental & Plant Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

Received 14 May 2015, revised 25 May 2015, accepted 23 June 2015, published online 30 June 2015

**ABSTRACT:** This paper presents the field investigation of deposition and erosion relief of a riverfront using vegetation. The results obtained were as follows: *Phragmites japonica* showed 0.2 m of deposition and 0.3 m - 0.4 m of erosion relief of river front by the critical velocity of 1.0 m/s - 1.2 m/s. *P. communis* showed 0.1 m - 0.4 m of deposition and 0.2 m - 0.3 m of erosion relief by the critical velocity of 0.6 m/s - 0.7 m/s. *Salix gracilistyla* showed 0.1 m - 0.2 m of deposition and 0.4 m - 0.5 m of erosion relief by the critical velocity of 1.2 m/s - 1.4 m/s. *Miscanthus sacchariflorus* showed 0.1 m - 0.4 m of deposition and 0.1 m - 0.2 m of erosion relief by the critical velocity of 0.6 m/s - 0.7 m/s. *S. gracilistyla* had the greatest role, while *M. sacchariflorus* had the lowest role for erosion relief. These results showed that aquatic plants had an effective role in sustaining a stable channel.

**KEYWORDS:** Deposition, Erosion relief, *Miscanthus sacchariflorus*, *Phragmites communis*, *Phragmites japonica*, *Salix gracilistyla*

**요 약:** 본 연구에서는 현지조사를 통해 식생의 하안 퇴적과 침식 경감을 판단하였다. 달뿌리풀은 임계유속 1.0 m/s - 1.2 m/s을 기준으로 0.2 m 정도의 하안 퇴적과 0.3 m - 0.4 m의 침식 경감 기능을 발휘하였다. 갈대는 임계유속 0.6 m/s - 0.7 m/s을 기준으로 0.1 m - 0.4 m의 하안 퇴적과 0.2 m - 0.3 m의 침식 경감 기능을 발휘하였다. 갯버들은 임계유속 1.2 m/s - 1.4 m/s을 기준으로 0.1 m - 0.2 m의 하안 퇴적과 0.4 m - 0.5 m의 침식 경감 기능을 발휘하였다. 물억새는 임계유속 0.6 m/s - 0.7 m/s을 기준으로 0.1 m - 0.4 m의 하안 퇴적과 0.1 m - 0.2 m의 침식 경감 기능을 나타내었다. 조사 대상 식생 중 갯버들이 가장 높은 하안 침식 경감 기능을, 물억새가 가장 낮은 침식 경감 기능을 발휘하였다. 그러나 현지조사 결과 대상 식물종 모두 하안 퇴적 및 침식 경감 기능을 발휘함으로써 안정하도 형성에 기여함을 알 수 있었다.

**핵심어:** 퇴적, 침식 경감, 물억새, 갈대, 달뿌리풀, 갯버들

## 1. 서론

하천 식생은 부유물질을 침전시키고 질소, 인을 제거 (침전, 흡착 및 흡수)하여 하천 수질을 개선시키며 수중 적정 수온을 유지시켜 수생 생물의 서식처 (산란지, 성장지, 피난지 등) 역할을 함으로써 하천 생태계를 보전한다. 또한 수변의 수려한 경관을 창출한다.

이처럼 하천 식생은 하천 환경 측면에서 수질 개선, 수온 유지, 서식처 제공 및 경관 창출에 관한 내용에 주로 집중되었다 (MOE 2002).

한편 하천 식생은 물리적인 측면에서 흐름과 상호작용을 한다. 이는 식생이 흐름에 의해 영향을 받기도 하지만 역으로 흐름에 영향을 주기 때문이다. 대부분의 연구가 흐름에 의한 식생의 영향을 다루고 있

\*Corresponding author: jinhkim@snu.ac.kr



Fig. 1. Photographs showing the erosion relief at a vegetated area of the island (a) and at the riverfront (b).

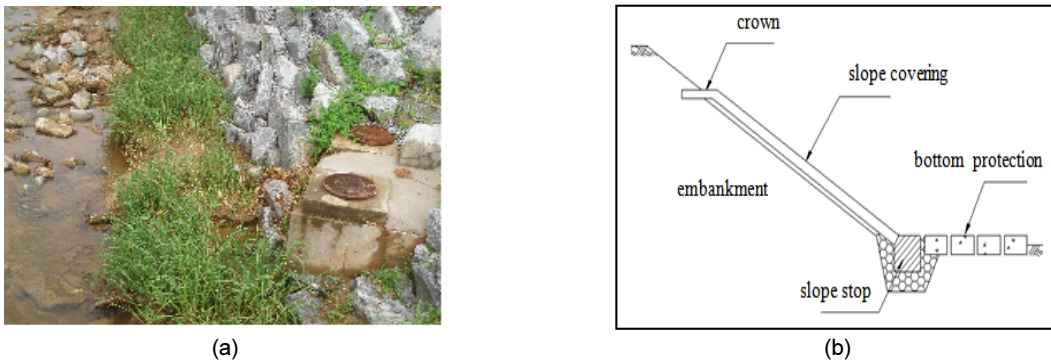


Fig. 2. Photographs showing the bottom protection using vegetation (a) and concrete (b).

Table 1. Comparison of river bottom protection by vegetation and concrete.

Attributes	Vegetation	Concrete
Adjustment flexibility against uneven settlements	High	Low
Favorability for water quality, habitat and amenity	High	Low
Cost	Low	High

다 (Miyazaki et al. 2003, Shimizu et al. 2009, Kim and Choi 2013). 그러나 식생은 흐름의 유속을 감소시켜 하안 및 하상 침식을 경감하는 중요한 역할을 한다 (Yoon et al. 2008). 식생이 흐름에 영향을 주는 대표적인 경우가 유속 감소 및 침식 경감이다, 흐름의 유속이 크지 않을 경우에는 침식 경감보다는 토사 퇴적이 발생된다.

이처럼 식생이 하안 퇴적 및 침식 경감 기능을 갖는 이유는 식물 뿌리의 강한 고착력 때문이다. 홍수기 이후 식생 지점 주변의 하상변동 상태는 Fig. 1과 같다. 식생이 조성되지 않는 지점은 흐름의 소류력에 의해 침식이 많이 발생되었지만, 식생 조성 지점은 조성되지 않은 주변의 지점에 비해 침식이 많이 발생되지 않았음을 고려할 때, 식생은 침식 경감 역할을

하고 있음을 판단할 수 있다.

따라서 식생의 침식 경감 기능을 고려할 때, 식생이 Fig. 2 (a)처럼 제방이나 저수로 사면의 호안공 전면에 조성되어 있다면 하안 침식 경감에 큰 영향을 발휘할 것이다. 이는 Fig. 2 (b)와 같은 콘크리트 재료의 밀다짐공의 역할에 해당된다. 그러나 콘크리트 밀다짐공은 재료의 강성 때문에 밀다짐공 하부에서 부등침하가 발생될 경우 유연하게 대처하지 못해, 밀다짐공의 파손이 발생하는 단점이 있다 (NIER 1998). 따라서 호안공 전면 바다에 식생을 조성할 경우, 식물 뿌리의 흠에 대한 고착력이 강한 식생을 식재함으로써 하천환경 측면에서 콘크리트 밀다짐공보다 더욱 효율적인 밀다짐공 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다 (Table 1).

본 연구에서는 식생에 의한 하안 퇴적 및 침식 경감 효과를 다루었다. 각 식생 별 서식 구간에서 흐름의 유속과 수심을 측정하고, 홍수 전, 후의 하안 퇴적 또는 침식 경감 양상을 조사, 측정하였다. 도심 구간 하천에 식재 가능한 식생으로서 다년생의 달뿌리풀 (*Phragmites japonica*), 갈대 (*Phragmites communis*), 물억새 (*Miscanthus sacchariflorus*), 갯버들 (*Salix gracilistyla*)을 대상으로 하였으며, 각 수종 별 유속 변화에 따른 하상 변동을 측정하여 하안 퇴적 또는 침식 경감을 조사하고, 침식 경감과 퇴적의 임계유속을 판단하였다.

## 2. 조사 방법

식생에 의한 하안 퇴적 및 침식 경감을 확인하기 위해 식생이 조성된 지점과 조성되지 않은 인근 지점을 선정하여 하상 변동량을 측정하였다. 하상 변동은 직경 6 mm, 길이 1.5 m의 철근 말뚝을 사용하여, 말뚝 정상부에서 하상까지의 말뚝 노출 길이를 홍수기 전후 측정함으로써, 노출 길이의 차이에 의해 하안 퇴적 및 침식을 정량적으로 산출하였다. 제작된 철근 말뚝은 선정된 지점에 0.5–0.6 m 정도 깊이로 타설하였다.

수리 특성으로서 흐름의 유속과 수심을 측정하였다. 홍수기 흐름 측정은 어렵고 위험이 뒤따르므로, 교량을 대상으로, 유속은 식생 조성 지점에 부자를 낙하시켜 측정하였으며 수심은 홍수기 이후 흔적 수위를 수준 측량으로 읽어 측정하였다. 따라서 식생은 주로 교량 직하류 지점에 조성된 경우를 대상으로 하였다. 흐름의 유속이 크지 않을 경우 유속계로 측정하였고 수심은 준척 (staff)를 이용하여 측정하였다.

하안 퇴적이거나 침식은 주로 홍수기의 마지막 단계에서 결정된다. 하안 퇴적의 경우 홍수기가 아닌 유량이 비교적 많은 풍수기에도 발생하지만, 홍수기에 상류로부터 많은 양의 토사가 유입되므로 홍수가 끝나는 시점에 퇴적이 더 많이 발생된다고 할 수 있다. 따라서 본 조사에서는 홍수기 끝 단계의 하안 퇴적과 침식을 대상으로 하였으며, 흐름의 유속도 홍수기 끝 단계에서 측정하는 것으로 하였다. 첨두 홍수 (peak flow)가 발생하는 시점의 유속도 분석의 대상이 될 수는 있을 것으로 판단한다. 그러나 이 시점의 유속

측정은 사실상 힘들고 어려우므로 조사 대상에서 제외하였다.

흐름의 유속은 식생의 전면부를 대상으로 측정하는 것이 바람직하다. 식생 후면부는 와류가 발생되어 유속을 정확히 측정할 수 없기 때문이다.

식생은 도심 구간 하천에서 많이 식재되어 있는 다년생의 달뿌리풀, 갈대, 물억새, 갯버들을 대상으로 하였다. 식생의 성장도 (키)도 측정하였지만, 이번 조사에서는 분석 대상에 포함시키지 못했다. 추후 좀더 많은 조사 자료가 확보되면 정량적으로 분석이 가능할 것이다. 이는 식생이 성장할수록 침식 경감 및 퇴적 기능을 더욱 잘 발휘할 수 있기 때문이다.

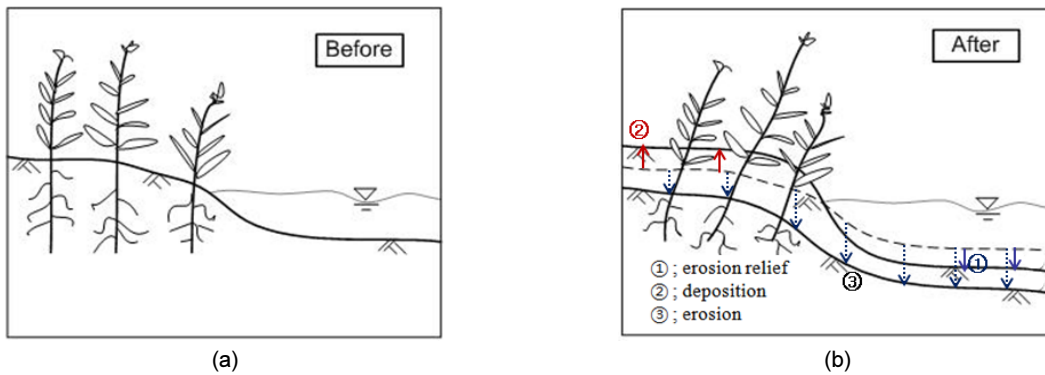
대상 식물은 수변에 위치하는 경우가 많으므로 중심부의 유속 측정과 같은 지극히 위험한 상태는 아니지만, 장화와 비옷을 준비하여 측정에 임하였다. 타설된 철근 말뚝은 하상 변동을 측정한 이후 제거하는 것으로 하였다. 철근에 의해 유송 물질이 걸리고 유지관리에 불리하며, 사람이나 새들에게 위험하기 때문이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 하상 변동량

Fig. 3은 홍수 흐름 발생 전과 발생 후의 식생 조성 지점의 하상 변동을 나타내고 있다. Fig. 3 (b)에서 점선은 하상 변동 전의 상태이고, 실선은 하상 변동 발생 이후의 상태이다. 따라서 점선은 Fig. 3 (a)의 하상에 해당된다. Fig. 3 (b)의 ①은 식생에 의해 침식되는 양이 경감되는 경우이며, ②는 퇴적이 발생하는 경우이다. 전자는 흐름의 유속이 비교적 빠른 지점에서 발생하며, 후자는 흐름의 유속이 느린 수변부에서 발생하였다. 한편 ③은 식생이 조성되어 있지 않은 지점에서 전 구간에 걸쳐 침식이 발생하는 경우이다.

상기 식생에 의한 하상 변동을 고려하여 식생의 종별 하상 변동량을 측정하였다. Table 2는 측정 결과를 나타낸다. 표에는 각 종별 식생의 키 높이와 밀도, 홍수 전·후의 철근 말뚝의 노출 길이의 차이에 의한 하상 변동량과 이에 따른 식생의 하안 퇴적 및 침식 경감 역할이 나타나 있다. 또한 퇴적과 침식이 발생하는 하도의 지형 특성도 나타내었다. 식생 밀



**Fig. 3.** Schematic diagram showing the variations of stream bed around the vegetation before (a) and after (b) flood flow.

**Table 2.** Variations in the river bed by vegetation species.

Species	Height (m)	Density (%)	Variation* (m)		Vegetation role	Channel area
			A	B		
<i>Phragmites japonica</i>	1.5	50	+0.20	-0.20	Deposition	Near crest
	1.4	40	+0.10	-0.30	Deposition	Riffle
	1.5	45	+0.18	-0.40	Deposition	Near crest
	1.0	50	+0.10	-0.40	Deposition	Riffle
	1.2	40	-0.20	-0.50	Erosion relief	Bend
	1.5	45	-0.35	-0.60	Erosion relief	Near trough
	1.5	50	-0.40	-0.70	Erosion relief	Near trough
<i>Phragmites communis</i>	1.8	55	+0.40	-0.20	Deposition	Near crest
	2.4	45	+0.20	-0.20	Deposition	Near crest
	2.2	50	+0.10	-0.30	Deposition	Bend
	2.0	40	-0.10	-0.30	Erosion relief	Bend
	2.2	50	-0.20	-0.35	Erosion relief	Near trough
	1.8	55	-0.10	-0.30	Erosion relief	Near trough
	1.8	40	-0.20	-0.35	Erosion relief	Bend
<i>Salix gracilistyla</i>	1.6	40	+0.20	-0.08	Deposition	Near crest
	1.8	40	+0.10	-0.40	Deposition	Riffle
	1.5	50	+0.20	-0.30	Deposition	Near crest
	1.6	45	+0.10	-0.40	Deposition	Near crest
	1.5	40	+0.08	-0.40	Deposition	Riffle
	1.7	45	-0.10	-0.60	Erosion relief	Near trough
	1.5	50	-0.20	-0.60	Erosion relief	Near trough
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	0.6	45	+0.30	-0.10	Deposition	Near crest
	0.4	40	+0.20	-0.10	Deposition	Near crest
	0.5	45	+0.10	-0.20	Deposition	Near crest
	0.6	40	-0.10	-0.30	Erosion relief	Near trough
	0.8	50	-0.08	-0.35	Erosion relief	Bend
	0.5	45	-0.10	-0.30	Erosion relief	Near trough
	0.5	50	-0.20	-0.33	Erosion relief	Near trough

\* A, at the vegetated region; B, outside the vegetated region.

도는 식재된 하상에서 가로 및 세로 각각 1 m의 면적 (1 m<sup>2</sup>)당 줄기의 면적을 뜻한다. A는 식생이 조성된 지점, B는 식생이 조성되지 않는 인근 지점을 나타낸다.

하안의 퇴적과 침식 경감에 영향을 미치는 식생의 단면적, 뿌리의 깊이 및 면적, 근모량 (rootfibre)와 하상 구성물질도 주요한 변수일 것으로 판단된다. 본 조사에서는 측정 기자재의 미비와 측정 방법의 미흡으로 실시되지 못하였다.

### 3.2 달뿌리풀 영역 주위의 하상 변동

Fig. 4의 (a)는 달뿌리풀 서식 지점 주위의 하상 변동을 측정한 결과이다. 그림에서 검정색의 원은 식물이 식재된 영역 내부에서의 하상 변동이며, 흰색의 원은 식재되지 않은 인근 영역에서의 하상 변동을 나타낸다. 이는 Fig. 4의 (b), (c), (d) 모두 동일한 경우이다. 달뿌리풀은 유속이 빠르고 수심이 비교적 낮은, 즉 Froude수가 비교적 큰 범위에서 서식하고 있으며, 이는 하천의 상류에 서식하는 전형적인 특성을 의미한다. 여기서 Froude수 ( $Fr$ )는 흐름의 유속 ( $U$ )을 중력가속도 ( $g$ )와 수심 ( $h$ )의 곱의 제곱근으로 나눈 값

으로 아래 식으로 정의된다.

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} \tag{1}$$

본 조사 결과, 달뿌리풀은 수변에 가까운 지점을 제외하고는 유속이 1.6 m/s 및 Froude수 1.2까지의 범위에서도 서식하고 있었다. Fig. 4의 (a)에서 유속이 1.0 m/s 이하인 지점은 수변에 가까운 지점으로서, 달뿌리풀이 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.2 m 정도의 하안 퇴적이 발생하였으며, 유속이 1.2 m/s 이상인 지점에서는 달뿌리풀이 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.3 m-0.4 m의 침식 경감 현상이 발생하였다. 따라서 달뿌리풀은 임계유속 1.0 m/s-1.2 m/s를 구분으로 유속이 느린 지점에서는 하안 퇴적을, 유속이 빠른 지점에서는 침식 경감 역할을 발휘함을 알 수 있으며, 이는 안정하도 형성에 큰 역할을 하고 있음을 의미한다.

### 3.3 갈대 영역 주위의 하상 변동

Fig. 4의 (b)는 갈대 서식 지점 주위의 하상 변동량

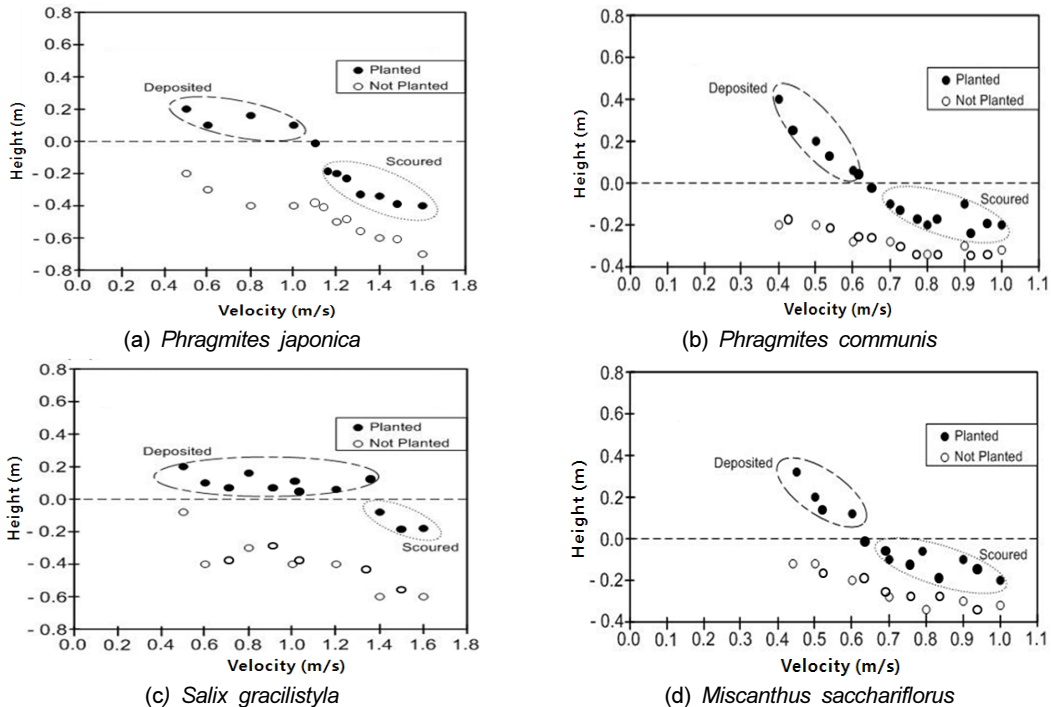


Fig. 4. Variation of river bed around the planted region of four plants.

을 측정된 결과이다. 갈대는 같은 벼과 식물인 달뿌리풀에 비해 흐름의 유속이 보다 약한 영역에서 서식함을 알 수 있다. 이는 달뿌리풀이 유속이 빠르고 수심이 비교적 낮은 하천의 상류에 서식하는 전형적인 특성임에 비해 갈대는 유속이 느리고 수심은 상대적으로 큰, 즉 Froude수가 비교적 작은 범위의 하천의 하류역에 서식함을 의미한다. 조사 결과 갈대는 대체적으로 유속이 1.0 m/s 및 Froude수 0.6 이하의 범위에서 서식하고 있었다.

Fig. 4의 (b)에서 유속이 0.6 m/s 이하인 지점은 수변에 가까운 지점으로서, 갈대가 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.1 m-0.4 m의 하안 퇴적이 발생하였으며, 유속이 0.7 m/s 이상인 지점에서는 갈대가 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.2 m-0.3 m의 침식 경감 현상이 발생하였다. 유속이 0.6 m/s과 0.7 m/s 사이인 경우 하상 변동량은 작으며 침식과 퇴적이 시공간에 걸쳐 번갈아 발생하는 천이역을 나타내었다. 따라서 갈대는 임계유속 0.6 m/s-0.7 m/s을 구분으로 유속이 느린 지점에서는 하안 퇴적을, 유속이 빠른 지점에서는 침식 경감 기능을 발휘하며, 이 역시 안정 하도 형성에 큰 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

### 3.4 갯버들 영역 주위의 하상 변동

Fig. 4의 (c)는 갯버들 서식 지점 주위의 하상 변동량을 측정된 결과이다. 갯버들은 유속이 느린 수변에 가까운 지점에서부터 유속이 빠른 하도 중앙부에 가까운 지점에도 널리 서식하고 있었다. Fig. 4의 (c)에서 유속이 1.2 m/s 이하인 지점에서는 갯버들이 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.1 m-0.2 m의 하안 퇴적이 발생하였으며, 유속이 1.4 m/s 이상인 지점에서는 갯버들이 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.4 m-0.5 m의 침식 경감 현상이 발생하였다. 유속이 1.2 m/s과 1.4 m/s 사이인 경우 침식과 퇴적이 시,공간에 걸쳐 번갈아 발생하는 불안정한 천이역을 나타내었다. 상기 결과를 볼 때, 갯버들은 임계유속 1.2 m/s-1.4 m/s을 구분으로 유속이 느린 지점에서는 하안 퇴적을, 유속이 빠른 지점에서는 침식 경감 기능을 발휘하며, 달뿌리풀이나 갈대에 비해 하안 침식 경감 기능이 더욱 크며, 이는 안정하도 형성에 매우 큰 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

### 3.5 물억새 영역 주위의 하상 변동

Fig. 4의 (d)는 물억새 서식 지점 주위의 하상 변동량을 측정된 결과이다. 물억새는 유속이 느리고 수심도 비교적 낮은 범위에서 서식하고 있으며, 수변의 습한 곳에 서식하는 전형적인 특성을 나타내었다. Fig. 4의 (d)에서 유속이 0.6 m/s 이하인 지점에서는 물억새가 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.1 m-0.4 m의 하안 퇴적이 발생하였으며, 유속이 0.7 m/s 이상인 지점에서는 물억새가 식재되지 않는 인근 지점에 비해 0.1 m-0.2 m 정도의 침식 경감 현상이 발생하였다. 유속이 0.6 m/s과 0.7 m/s 사이인 경우 하상 변동량은 작으며 침식과 퇴적이 번갈아 발생하는 천이역을 나타내었다. 본 조사 결과, 물억새는 임계유속 0.6 m/s-0.7 m/s을 구분으로 유속이 느린 지점에서는 하안 퇴적이, 유속이 빠른 지점에서는 침식 경감 현상이 나타났으며, 조사 대상 식물 중 가장 낮은 침식 경감 기능을 발휘하였다. 그러나 하안 퇴적이나 침식 경감 기능을 지닌 만큼, 미약하지만 안정하도 형성에 기여함을 알 수 있다.

본 연구에서는 흐름의 특성으로 수심과 유속을 모두 측정하였다. 그러나 Fig. 4에서는 유속과 하상 변동의 상관성만 나타내었다. 이는 수심의 변화와 그에 따른 침식과 퇴적의 변화는 유속만큼 밀접한 상관성이 보이지 않았기 때문이다. 즉, 유속의 크고 작음이 하상변동에 영향을 주지만, 수심이 하상 변동에 영향을 주지 않기 때문이다.

## 4. 결론

본 연구에서는 식생의 각 수종 별 서식 구간의 흐름의 유속과 수심을 측정하고, 홍수 전, 후의 하안 침식 경감 또는 퇴적 양상을 조사, 측정하였다. 도심 구간 하천에 식재 가능한 식생으로서 다년생의 달뿌리풀, 갈대, 갯버들 및 물억새를 대상으로 하였으며 수종 별 침식 경감과 퇴적의 임계유속을 판단하였다. 달뿌리풀은 임계유속 1.0 m/s-1.2 m/s을 구분으로 유속이 느린 지점에서는 0.2 m 정도의 하안 퇴적을, 유속이 빠른 지점에서는 0.3 m-0.4 m의 침식 경감 역할을 발휘하였다. 갈대는 임계유속 0.6 m/s-0.7 m/s을 구분으로 유속이 느린 지점에서는 0.1 m-0.4 m의 하안 퇴적을, 유속이 빠른 지점에서는 0.2 m-

0.3 m의 침식 경감 기능을 발휘하였다. 갯버들은 임계유속 1.2 m/s-1.4 m/s을 구분으로 유속이 느린 지점에서는 0.1 m-0.2 m의 하안 퇴적을, 유속이 빠른 지점에서는 0.4 m-0.5 m의 침식 경감 기능을 발휘하였다. 물억새는 임계유속 0.6 m/s-0.7 m/s을 구분으로 유속이 느린 지점에서는 0.1 m-0.4 m의 하안 퇴적을, 유속이 빠른 지점에서는 0.2 m-0.3 m의 침식 경감 역할을 나타내었다. 조사 대상 식물 중 갯버들이 가장 높은 하안 침식경감 기능을, 물억새가 가장 낮은 하안 침식경감 기능을 발휘하였다 그러나 대상 수종 모두 하안 퇴적이나 침식 경감 기능을 지닌 만큼 안정하도 형성에 기여함을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Kim, J.H. and Choi, I.K. 2013. Vegetation behavior and its habitat region against flood flow in urban streams. *Journal of Engineering Science and Technology* 8: 307-316.
- MOE. 2002. Guideline of River Restoration. Ministry of Environment, Seoul, Korea. (in Korean)
- Miyazaki, M., Honda, S., Kawase, H., Awamura, N. and Kitoh, M. 2003. A study concerning the river hydraulic examination method which considers the dynamic characteristics of reed community at the time of the flood. *River Technology Journal* 9: 79-84. (in Japanese)
- NIER. 1998. Survey and Evaluation of Aquatic Ecosystem Health in the Nakdong River. National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Seoul, Korea. (in Korean)
- Shimizu, Y., Osada, K. and Kim, M.H. 2009. Study on the flood disturbance and the destruction of vegetation in a degraded gravel-bed river. *River Technology Journal* 9: 377-382. (in Japanese)
- Yoon, S.E., Kim, J.H. and Choi, S.U. 2008. Guideline of Vegetation Management in Urban Streams. Urban Flood Disaster Management Research Center, Seoul, Korea. (in Korean)