

실험수로에서 식물군락에 의한 유사거동 양상에 관한 실험적 고찰

A Study of the Relationship between In-stream Vegetation and Sediment Transport by a Hydraulic Model Experiment

이 삼 희*

Lee, Samhee

Abstract

In-stream vegetation is an essential element of a stream channel. Vegetation plays an important role in flood control and the natural environment in stream channels. This research investigates the relationship between in-stream vegetation and stream changes.

This study investigates the distribution characteristic of vegetation in some rivers of Korea. Although there are many physical factors that cause changes to streams, this research verified that in-stream vegetation caused sediment deposition. A hydraulic model experiment was conducted. Tests were conducted in a simulated gravel bed stream (bed slope 1/200) with *Phragmites japonica*. The average diameter of the bed load used was 0.3 mm and 27 kg were uniformly supplied for 1 hour under same hydraulic conditions. The deposition and scouring as well as the change of flow differed according to the density and arrangement of the *Phragmites japonica*.

In-stream vegetation and stream channel change are closely related because deposition and scouring affects the distribution of vegetation.

keywords : vegetation, *Phragmites japonica*, channel change, sediment, deposition and scouring

요 지

본 연구에서는 치수안전도의 정확한 평가는 물론 자연환경에 대한 평가에 중요한 하천식물군락에 주목하였다. 특히, 본 연구에서는 하천식물군락과 유사거동에 따른 하도변화와의 상관관계의 규명에 관심을 두었다.

하도수리학 관점에서 하천내 식생분포 특성에 대한 하도현장을 조사한 결과, 하도변화를 야기하는 여러 물리적 요인이 있지만, 하천식생에 의한 하도변화, 특히 하천식물군락에 의한 유사퇴적이 하상변동을 야기시키고 있음이 확인되었다. 이를 수리학적으로 규명하기 위하여 수리모형실험을 실시하였다. 실험에서 하상경사 1/200인 자갈하천에 우점하는 달뿌리풀을 대상으로 하였다. 실험의 내용은 평균입경 0.3 mm의 소류사를 총 1 시간동안 27 kg을

*한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

Senior Researcher, Water Resources & Environmental Research Div., Korea Institute of Construction Technology,
Koyang, Kyeonggi 411-712, Korea
(E-mail : samhee.lee@kict.re.kr)

균등하게 공급한 결과, 거의 동일한 수리량 조건하에서 식물군락의 밀도와 배치에 따라 흐름의 변화와 퇴적/세굴 양상이 분명히 다르게 나타났다.

따라서, 하도내 퇴적 및 세굴이 하천식물군락의 분포 특성에도 영향을 미치므로 하천식물군락과 유사거동에 따른 하도변화는 상호 밀접한 관계가 있을 것으로 평가할 수 있었다.

핵심용어 : 식물군락, 달뿌리풀, 하도변화, 유사, 퇴적/세굴

1. 서론

하천식생은 하도를 구성하는 중요한 요소로서 치수 안전도 및 하도내 자연환경에 미치는 영향이 지대하다. 하천식생에 의해 야기되는 하상의 퇴적과 세굴은 하도 관리에서 중요할 뿐만 아니라, 하천생태계에서 기본이 되는 하천식생의 천이과정에 중대한 영향을 미친다. 이에 따라, 지금까지 하도를 구성하는 중요한 요소로서 주로 하상재료나 하도형태(하천지형)만을 대상으로 하여 흐름과 하상변동 등 하천에서의 각종 수리량을 해석해 왔으나, 앞으로는 하도안정에 대한 정확한 수리학적 해석과 하천생태계의 정량적 평가를 위하여 하천식생은 하도의 주요한 구성요소로 고려해야 한다.

식생에 따른 하도형태 변화에 대한 수리학적 관점에서의 대표적인 연구는 Izumi 등(1989)이 유량, 하상경사, 하상재료가 주어진 하천 하천에서 형성되는 평형 횡단하상형상에 대한 Paker(1978)의 이론해석을 응용한 사례를 들 수 있다. 이의 연구결과는 Paker(1978)가 제안한 평형 횡단하상형상에 기여하는 하안식생(특히, 수목)의 효과에 대한 이론적 해석을 시도한 연구이다. 즉, 하안에 식생이 존재하는 하천의 경우, 무식생의 하천에 비해 동일한 유량, 하상경사, 하상재료라고 하더라도, 깊고 폭이 좁은 유로가 형성된다는 사실이 밝혀졌다. 이와 같은 결과가 Yamamoto(1993), Fujita(1995) 등이 실제 일본과 미국의 하천을 대상으로 조사한 결과, 식생이 번성하는 상태에 따라 하안형성에 중요한 역할을 하고 있다는 사실을 입증하였다. Simizu(1991), Tsujimoto(1994) 등은 이와 같은 식생이 번성하는 하도에 미치는 영향에 대한 실험에 의한 실증적 연구를 통해 미지형과 식생과의 관계에 대해 고찰하였다. 이삼희 등(1998)은 하도내 식생의 발달과정과 유사거동과는 밀접한 관계에 있음을 다마천을 대상으로 한 연구에서 입증하였다.

이에 따라, 본 연구에서는 하천식물군락을 고려한 하천계획 및 관리가 이루어질 수 있도록 하천식물군락에 의한 정량적인 수리특성(그림 1과 같은 유사퇴적현상)

을 파악하기 위해, 하도내 미세한 지형변화를 수리학적 차원에서 우리나라의 하천에서 서식하는 대표적인 식물군락을 고려하여 분석(이삼희, 1999) 및 검토하였다. 연구방법으로는 우점하고 있는 식물군락이 하도형태에 영향을 미치고 있는 현장을 조사하고, 이를 토대로 개수로에 의한 수리모형 실험을 통하여 관찰하고 분석하였다.

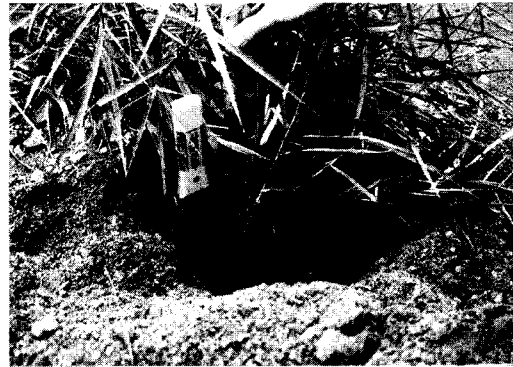


그림 1. 달뿌리풀 군락 주변의 퇴적

2. 시설의 개요 및 실험조건

2.1 실험수로의 구성

본 실험은 유사공급과 경사조절이 가능한 사각형(矩形) 철제수로에서 실시하였다. 수로의 제원은 그림 2와 같이 길이가 20 m, 수로폭이 0.6 m, 그리고 수로높이가 0.7 m이다. 재질이 강철판인 수로와 비교적 유사한 조도조건하에 실험 주구간에 모의식물군락의 부착이 가능하도록 합판을 설치하였다. 실험 주구간의 하상을 그림 2에서 보는 바와 같이 무식물군락구간(수로 중간부인 7.6 m~10 m구간)과 식물군락설치구간(10 m~12.4 m구간)으로 나누어 조도조건을 거의 비슷하게 하기 위해 두께 3 mm의 두장의 얇은 합판을 차례로 부착하여 고정하였다.

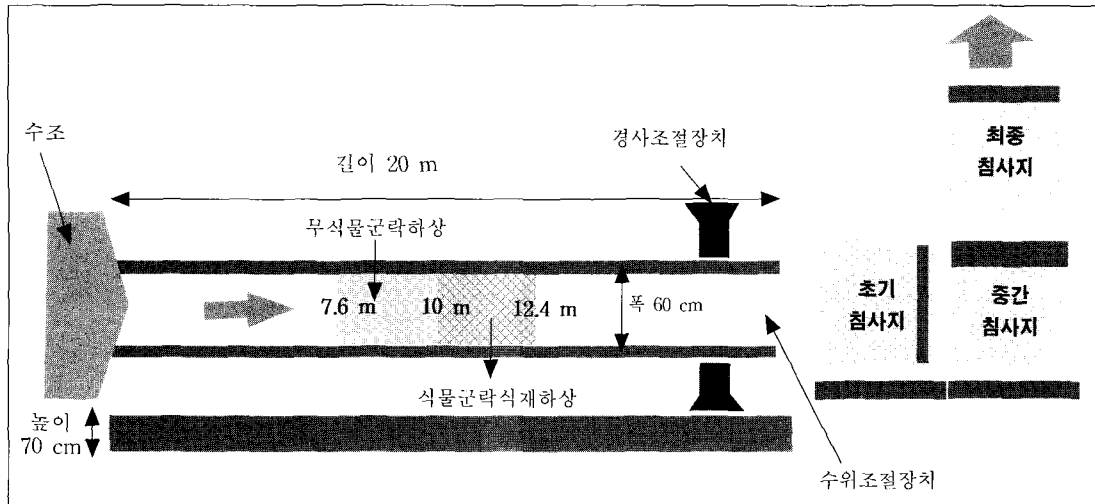


그림 2. 실험수로 형태 및 모의 식물군락배치 상태

2.2 현장 상황과 모의식물군락 조건

우리나라 자연하천의 중·상류구간에서 하도내 현장 (양양남대천, 섬진강, 홍천강, 요천, 북한강, 임진강, 차탄천, 남한강, 북한천 상류, 두미천, 원두천, 사기막천 등) 조사한 결과, 그림 1과 그림 3에서 보는 바와 같이 하상변동에 영향을 미치면서 우점하고 있는 식생은 벼과 식물인 달뿌리풀인 것으로 나타났다. 특히 이 가운데, 사기막천을 대상으로 달뿌리풀의 식물군락밀도와 형태적 특성에 대한 중점 조사한 결과를 토대로 하여 모의식물(달뿌리풀)을 제작하였다. 달뿌리풀과 수리모형

실험에서 홍수시를 상정하여 식물군락의 수물형태와 비수물형태로 구분할 수 있으나, 실험수로의 제약상 기본적으로 비수물형태를 대상으로 하였다. 이에 따라, 수로 내의 수위를 약 40 cm 내외로 하였으며, 제작한 모의식물은 줄기의 길이가 40 cm, 두께가 0.5 cm인 재료를 사용하였다. 잎은 달뿌리풀과 유사한 조건을 갖추고 있는 모의 잎(조화)을 선택하여 달뿌리풀의 조건(거침 정도와 크기)을 맞추었다. 그리고, 줄기는 달뿌리풀과 탄성과 굵기가 거의 비슷한 플라스틱 대롱을 사용하였다. 모의식물군락 형태는 그림 4와 같이 만들기 위해 줄기

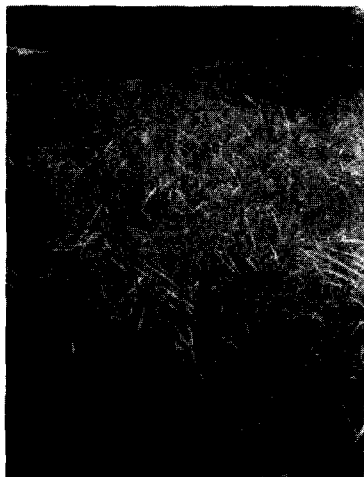


그림 3. 달뿌리풀의 생육 현장 상황(사기막천)



그림 4. 모의식물(달뿌리풀) 형태

아래로부터 40 cm까지 자연상태와 같게 어긋나게(호생) 붙였다.

2.3 공급유사 조건

하천식물군락에 의한 유사의 거동 양상을 파악하기 위한 실험에서는 wash load, 부유사, 소류사별로 나누어 수리특성을 파악하는 것이 필요하다. 이와 같은 정확한 실험을 위해서는 순환수로 혹은 충분한 침사지 확보, 여유있는 수로길이, 다양한 관측장비 등이 확보되어야 한다. 주어진 실험실의 여건으로는 이와 같은 정확한 유사퇴적 현상을 파악하기에는 여러가지 제약조건이 있어, 기존 수로의 제약조건하에 실험 가능한 준소류상태를 상정하여 모형을 선정하였다. 공급유사는 그림 5와 같이 60번체를 통과한 평균 0.42 mm이하의 유사를 사용하였는데, 평균입경은 0.3 mm로 비교적 균일사에 해당한다. 유사공급량은 초기퇴적현상을 파악하기 위해 분당 0.45 kg을 1 시간 동안 공급하였다.

실제 하상경사가 1/200 정도의 하도에서는 하상재료가

가 일반적으로 32~64 mm인 보통자갈(very coarse gravel) 이상이 주하상재료(main bed-load)임에도 불구하고 0.3 mm의 부하상재료를 채택한 것은 그림 1에서 보는 바와 같이 조사대상하천에서 달뿌리풀 주변에 대개 0.3 mm의 유사 즉 부하상재료(sub bed-load)가 퇴적한 현상을 파악하기 위함이다.

2.4 실험조건 설정

본 실험에서는 거의 동일한 수리량 조건하에서 하도 내의 식물군락 배치형태와 밀도에 따른 유사의 퇴적현상을 비교 연구하고자 그림 6과 같은 3 가지 경우 즉, 식물군락밀도 1 배로 수로에 전면배치(Case-1), 식물군락밀도 3 배로 수로의 절반에 걸쳐 배치(Case-2), 식물군락밀도 3 배로 수로의 절반에 걸쳐 배치(Case-3)를 설정하여 실험을 실시하였다. 여기서 식물군락밀도 1 배는 현장조사에 대한 달뿌리풀의 평균밀도 (111.1 주/m)와 같게 설정한 것이며, 식물군락밀도 3 배는 평균밀도의 3 배(333.3 주/m)를 의미한다. Case-1은 실제 조사한

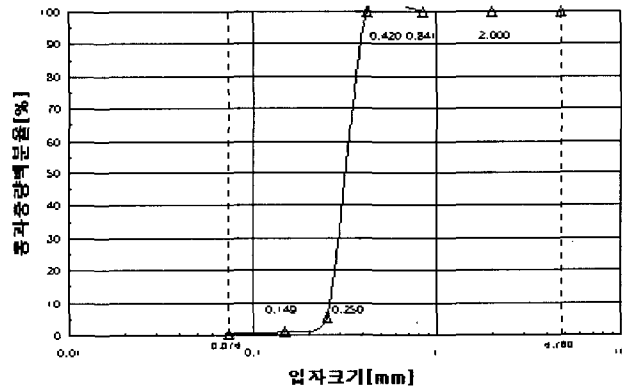


그림 5. 공급유사의 입도분포곡선

표 1. 각 실험에서의 수리조건 (하상경사 : 1/200)

실험형태	수리조건	평균유속 (m/s)	수심 (m)	유량 (m³/s)	단면적 (m²)	동수반경 (m)	마찰속도 (cm/s)
Case-1	식물군락밀도 1 배, 전면 식물군락배치	0.206	0.443	0.055	0.266	0.179	9.36
Case-2	식물군락밀도 3 배, 전면 식물군락배치	0.239	0.425	0.061	0.255	0.176	9.29
Case-3	식물군락밀도 3 배, 절반 식물군락배치	0.221	0.438	0.058	0.263	0.178	9.34

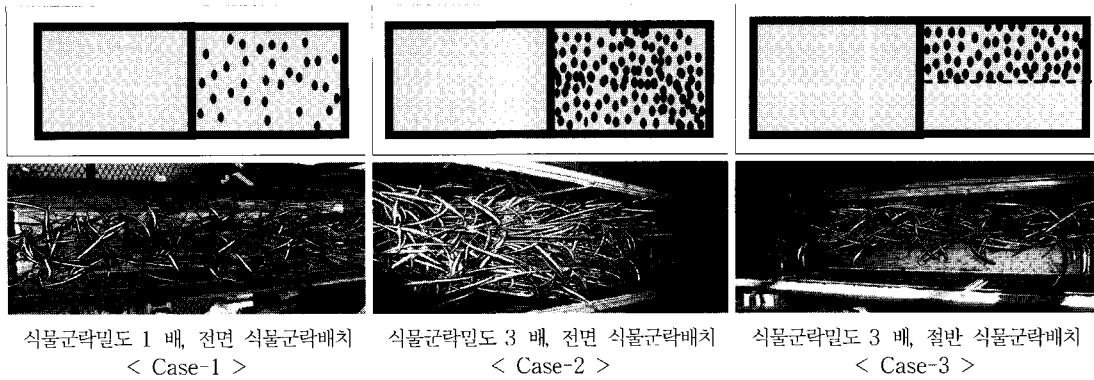


그림 6. 각 실험의 수로내 식물균락배치 형태

달뿌리풀의 균집 밀도상태로 하도전면에 걸쳐 분포하고 있을 상황을 설정하였는데, 이와 같은 경우는 비관개기의 농수로에서 관찰되고 있다. Case-2는 Case-1과 같은 분포형태에서 달뿌리풀 균락밀도가 더 밀생(3배)하는 경우를 상정하였다. Case-3은 달뿌리풀의 평균 균집 밀도보다 3배 정도 더 밀생하는 상태로 횡방향을 기준으로 하도내 일부 구간에만 분포하고 있는 상황을 설정하였는데, 실제 하도에서는 대부분 이와 같은 형태로 달뿌리풀이 분포하고 있음이 관찰되었다.

달뿌리풀의 대표적 입지조건인 자갈하상을 나타내는 1/200의 하상경사를 실험수로에서 설정하였다. 이와 같은 수로경사조건하에 유사공급직전의 각 실험에서 적용한 기본 수리량은 식물균락영역으로 유입하기 직전인 비식물균락영역의 9.5 m 지점에서 기준으로 할 때 표 1과 같다. 0.3 mm의 하상재료가 무식물균락영역에서

의 유사거동 상태를 파악하기 위하여 1/200의 하상경사를 기준으로 산정한 마찰속도를 통해 무차원소류력으로 환산한 결과는 3 가지 경우 모두 1.8 정도였다. 즉, 0.3 mm의 하상재료가 유사공급의 초기조건에서 퇴적하지 않음을 확인하였으나, 유사가 본격 공급되면서부터 하류조건(식물균락영역의 퇴적상황)이 변화하면 유사거동 형태가 달라질 것으로 상정하여 실험하였다. 단, 유사공급량의 변화에 의해서도 유사거동 양상이 달라질 수 있으나 여기서는 일정한 공급량으로 고정하였다.

3. 실험결과

3.1 유속변화

유속측정은 유사공급 이전에 Case-1과 Case-2는 좌안수로(left) · 중심수로(middle) · 우안수로(right) 별로 비식물균락영역인 9.5 m 지점, 식물균락 상부경계역

표 2. 수리모형실험에서의 평균유속(m/s)

실험 형태	관측위치	관측지점			
		비식물균락영역	식물균락영역		
		9.5 m 지점	10 m 지점	11 m 지점	12 m 지점
Case-1	left	0.206	0.180	0.229	0.214
	middle	0.206	0.191	0.169	0.190
	right	0.206	0.217	0.218	0.195
Case-2	left	0.239	0.228	0.389	0.310
	middle	0.239	0.233	0.315	0.194
	right	0.239	0.215	0.306	0.302
Case-3	left	0.221	0.165	0.095	0.033
	middle	-	-	-	-
	right	0.221	0.205	0.420	0.432

표 3. 식물군락에 의한 유사거동 실험 조건 및 실험결과(퇴적량)

구간	전체구간			식물군락영역 구간		
수로길이	7.4 ~ 13 m			10 ~ 12.4 m		
실험종류	Case-1	Case-2	Case-3	Case 1-1	Case 2-1	Case 3-1
식물군락밀도	1 배	3 배	3 배	1 배	3 배	3 배
식물군락배치	full	full	half	full	full	half
유사퇴적체적 ^{cm³}	19,617	9,805	17,432	9,003	1,261	7,590
유사퇴적면적 ^{m²}	2.34	1.63	2.35	1.38	0.87	1.42

인 10.0 m지점, 식물군락영역 중심부인 11.0 m지점, 식물군락 하류영역인 12.0 m지점에서 실시하였다. Case-3은 모의식물을 포설한 좌안수로(left)와 모의식물을 포설하지 않은 우안수로(right)별로 비식물군락영역인 9.5 m지점, 식그리고 각 지점별마다 바닥에서 1.5 cm정도 높이, 바닥에서 20 %수심, 80 %수심별로 3곳의 유속을 측정하였다. 표 2는 각 3가지 경우의 실험에서 관측한 유속을 2점법에 의한 평균유속으로 정리하여 비교한 것이다.

3.2 하상변화 결과(퇴적 양상)

3 가지 경우의 실험에서 1 시간 동안 27 kg의 유사를 공급한 후에 퇴적유사의 모양과 깊이는 10 × 10 cm 그리드를 만들어서 실측하였다. 결과는 식물군락영역과 비식물군락영역을 포함한 구간(7.6~12.4 m)과 식물군락영역구간(10.0~12.4 m)으로 구분하여 분석하였다.(표 3, 그림 7, 8, 9)

4. 실험에 대한 비교 고찰

4.1 각 실험결과와 고찰

1) 실험 Case-1(식물군락밀도 1배, 식물군락 전면배치)

실험 Case-1에서 비식물군락영역에서의 일정한 흐름형태를 보이던 것이 식물군락영역의 상류경계부인 10.0 m지점에 이르러서는 식물군락영역내로 접근하는 흐름이 수직 및 평면적으로 다양한 변화를 나타낸다(표 4). 식물군락영역 내에서 앞의 밀도가 줄기하단부 보다 줄기 상단부가 커서 흐름은 줄기 상단부보다 줄기 하단부쪽이 빠르게 나타났다. 또한 앞 및 줄기의 영향이 적은 곳에서는 상대적으로 흐름이 빠르게 나타났다. 그리고, 식물군락영역에서는 종단거리별 수심별 유속에서 추정되는 하강류의 흐름이 양안으로 발달하고, 상대적으로 유속이 느린 중심수로부에 퇴적경향이 두드러졌다(그림 7). 평균유속이 2.06 m/s 정도로서 무차원소류력이 1.8 정도인 비식물군락영역 9.0~9.5 m구간에서 퇴

표 4. 실험 Case-1의 관측유속

수심	위치	관측지점			
		비식물군락영역		식물군락영역	
		9.5 m지점	10 m지점	11 m지점	12 m지점
바닥부근	left	0.170	0.172	0.259	0.352
	middle	0.170	0.175	0.235	0.257
	right	0.170	0.171	0.317	0.205
20 %	left	0.208	0.187	0.225	0.218
	middle	0.208	0.195	0.160	0.226
	right	0.208	0.223	0.150	0.195
80 %	left	0.204	0.172	0.233	0.210
	middle	0.204	0.187	0.177	0.153
	right	0.204	0.210	0.285	0.195

적현상이 탁월하였다. 이는 식물군락영역내에서 퇴적현상이 시작되면서 흐름에 영향을 받은 결과로 보여진다. 그리고, 식물군락영역내에서 종방향으로 가면서 퇴적이 줄어들었다. 또한, 홍수소통단면적이 작은 식물군락영역보다 홍수소통단면적이 큰 식물군락영역이하의 하류부인 비식물군락영역에서 유속이 느려졌음에도 불구하고 퇴적현상이 발달하지 않았다. 이는 상류측으로부터의 퇴적에 따른 유사이동량이 줄어들었기 때문인 것으로 파악되었다. 결국, 실험 Case-1의 경우에 있어 하천유사의 퇴적과 세굴에 대한 현상은 하천중단방향에 대한 유사의 농도와 유속변화에 크게 지배 받는다는 것을 보여주고 있다. 여기서, 식물군락영역에서 1방향의 흐름에 의한 유사의 종방향 퇴적경향을 파악할 수 있었다.

2) 실험 Case-2(식물군락밀도 3배, 식물군락 전면배치)

평균유속이 0.239 m/s 정도로서 무차원소류력이 1.8인 비식물군락영역 9.0~9.5 m 구간에서의 퇴적량은 Case-1과 Case-3에 비해 퇴적량이 적게 나타났으며, 주로 식물군락영역의 상류 경계부 이전의 9.5~10 m 구간에 걸쳐 퇴적하였다(표 5, 그림 8). 그리고, 식물군락영역(10.0 m~12.4 m)에서는 식물군락영역의 하류역 경계부인 12 m 지점 부근에서 중심수로에 극소량의 퇴적현상이 발생한 것이외에는 유사퇴적 현상이 거의 일어나지 않았다. 이와 같은 현상은 우선 식물군락내 흐름의 변화가 비식물군락영역 9.0~9.5 m 구간보다 심하며 유속도 빠르게 나타났기 때문이다. 여기에서 일정한 유량을 소통하는데, 소통단면적과 유속과 관계가 높을 것으로 추정할 수 있다. 즉, 식물군락밀도가 Case-1보다 밀생하는 Case-2에서의 흐름이 식물에 의한 저항이 커지만 일정유량을 소통하기 위해 오히려 줄

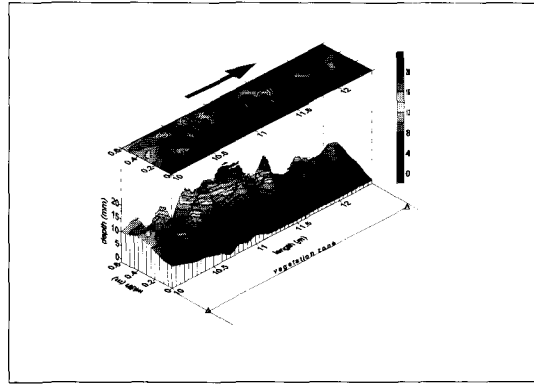
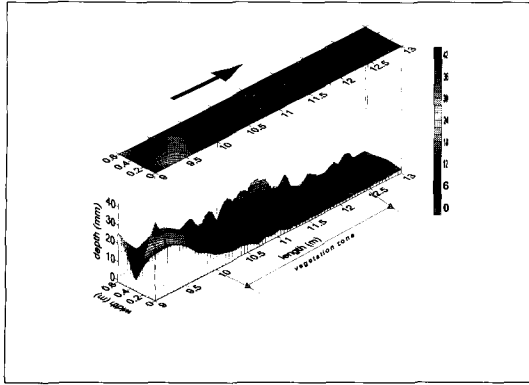
기의 영향이 적은 곳으로 흐름이 빨라졌기 때문인 것으로 보여진다. 식물군락영역의 하류역 경계부인 12 m 지점 부근의 미미한 퇴적현상은 하류부의 탁월한 퇴적에 따른 흐름의 변화에 기인한 것으로 평가된다. 식물군락영역이하의 하류역인 비식물군락영역인 12.5 m 지점 이하에서는 좌안과 우안부에서 2열로 퇴적하는 경향이 하류방향으로 집중적으로 나타났다. 이는 식물군락영역이 끝나는 곳에서부터는 홍수소통단면적이 늘어나면서 유속이 크게 떨어지고 유사이동능력이 감소하면서 식물군락영역을 통과한 유사 이곳에서 집중적으로 퇴적한 것으로 여겨진다.

3) 실험 Case-3(식물군락밀도 3배, 횡방향 식물군락 절반배치)

실험수로의 한 측면에 식물군락영역이 존재하는 실험 Case-3의 경우, 하천식물군락영역에서 유사의 거동을 살펴보면, 평균유속이 2.21 m/s 정도로서 무차원소류력이 1.8 정도인 비식물군락영역 9.0~9.5 m 구간에서는 식물군락영역의 수로형태와 관계없이 Case-1과 같은 퇴적현상을 나타냈다(그림 9). 흐름이 식물군락영역으로 유하함에 따라, 식물군락영역내 식물 포설구역에서는 유속이 감소하는 반면에 식물군락영역내 식물비포설구역에서 유속은 크게 증대하였다(표 6). 이에 따라, 식물군락영역내 식물포설구역에서는 바닥면의 전단응력이 크게 감소하고 유사가 크게 퇴적하였다. 반면에, 식물군락영역내 식물비포설구역에서는 상대적으로 토사의 이동량이 증가함에 따라 식물포설구역보다는 퇴적량이 적게 나타났다. 그리고, 식물포설구역과 식물비포설구역의 경계(횡적으로 0.3 m 지점)부터 식물포설구역 바로 내측부분에서 집중적인 퇴적현상이 일어나고 좌안으로 갈수록 퇴적경향이 적게 나타났다. 이는 소류경향이 강

표 5. 실험 Case-2의 관측유속

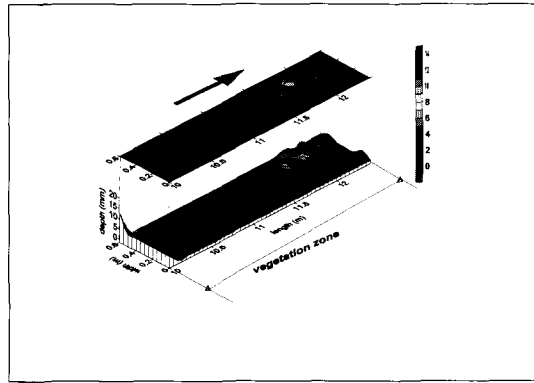
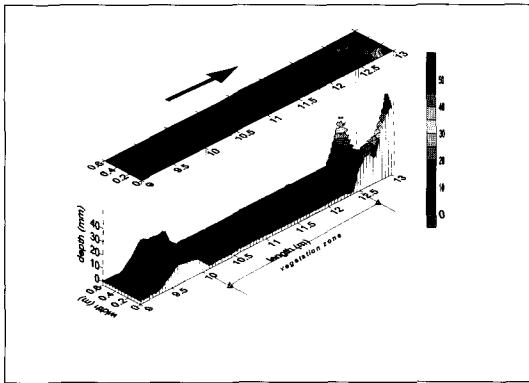
수심	위치	관측 지점			
		비식물군락영역		식물군락영역	
		9.5 m 지점	10 m 지점	11 m 지점	12 m 지점
바닥부근	left	0.206	0.184	0.473	0.302
	middle	0.206	0.196	0.349	0.318
	right	0.206	0.161	0.450	0.371
20 %	left	0.234	0.219	0.372	0.348
	middle	0.234	0.236	0.343	0.263
	right	0.234	0.199	0.320	0.289
80 %	left	0.244	0.236	0.406	0.272
	middle	0.244	0.229	0.287	0.125
	right	0.244	0.230	0.292	0.314



(1) Case-1의 비식물군락역 및 식물군락영역내 퇴적양상

(2) Case-1의 식물군락영역내 퇴적양상

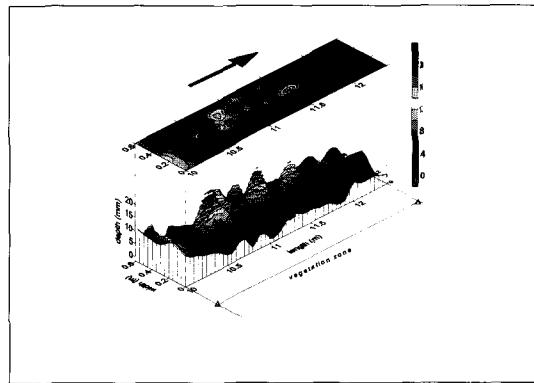
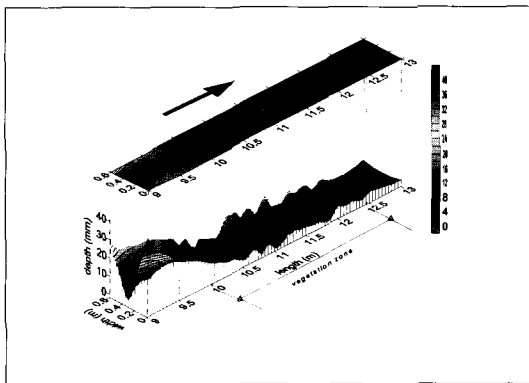
그림 7. 식물군락밀도 1배, 식물군락 전면배치 (실험 Case-1)



(1) Case-2의 비식물군락역 및 식물군락영역내 퇴적양상

(2) Case-2의 식물군락영역내 퇴적양상

그림 8. 식물군락밀도 3배, 식물군락 전면배치(실험 Case-2)



(1) Case-3 비식물군락역 및 식물군락영역내 퇴적양상

(2) Case-3의 식물군락영역내 퇴적양상

그림 9. 식물군락밀도 3배, 횡방향 식물군락 절반배치(실험 Case-3)

표 6. 실험 Case-3의 관측유속

수심	위치	관측 지점			
		비식물군락영역	식물군락영역		
		9.5 m지점	10 m지점	11 m지점	12 m지점
바닥부근	left	0.200	0.164	0.200	0.102
	right	0.200	0.178	0.290	0.372
20 %	left	0.215	0.200	0.100	0.035
	right	0.215	0.230	0.430	0.499
80 %	left	0.226	0.130	0.090	0.031
	right	0.226	0.180	0.410	0.364

한 식물비포설구역에서 소류경향이 약한 식물포설구역으로 횡방향으로 유사가 공급하고 있음을 보여주었다. 물론, 식물군락영역에서는 종방향으로 퇴적현상이 줄어드는 것은 Case-1과 같았다. 식물군락영역의 말단부의 배후에서는 유속이 작아 뚜렷한 토사의 퇴적현상이 일어나지 않은 것은 Case-1의 실험사례와 같이 상류퇴적으로 인한 유사의 농도가 크게 감소되었기 때문으로 여겨진다. 따라서, 실험 Case-3의 경우, 하천유사의 퇴적과 세굴에 대한 현상은 하천중단방향에 대한 유사의 농도와 유속변화에 크게 지배 받고 있다는 사실과 아울러 식물군락영역에서 식물비포설구역에서 식물포설구역으로 횡방향에 의한 유사공급의 영향을 받는다는 사실을 보여주고 있다.

4.2 종합 비교고찰

1) Case-1, Case-2

실험 Case-1과 실험 Case-2에서는 수로 바닥전체에 식물군락이 존재하는 경우(실제하천보다 농수로 혹은 소하천을 상정한 것임) 식물군락밀도의 차이에 따른 유사퇴적 양상을 비교하였다(그림 7, 8). Case-1에서 하천유사의 퇴적경향은 하천중단방향에 대한 유사의 공급량과 유속의 변화에 크게 지배 받는다는 것을 보여주었다. 즉, 식물군락영역에서 종방향으로 퇴적경향이 감소하는 현상을 보였다. Case-2에서는 식물군락밀도가 Case-1보다 3배정도로 밀생하는 Case-2에서의 흐름은 식물에 의한 저항으로 느려질 것으로 상정되었지만, 식물군락영역에서는 일정유량을 소통하기 위해 일과 줄기의 영향이 적은 곳으로 흐름이 빨라져 퇴적 양상은 거의 나타나지 않았다. 한편 Case-2에서 식물군락영역이 끝나는 곳에서부터는 홍수소통단면적이 크게 늘어나면서 유속이 크게 떨어지고, 유사이동능력이 감소하면서 식물군락영역을 통과한 유사가 이곳에서 집중적으로 퇴적하는 양상을 보였다. Case-1과 Case-2를 통해

식물군락의 밀도가 흐름에 영향을 미치며, 식물군락영역내 퇴적경향의 유무에 따라 토사분급의 공간적 특성을 예견할 수 있음이 확인되었다. 그리고, 조사대상지역을 토대로 볼 때 Case-1은 자연상태이나 Case-3은 식물군락 밀도를 가산한 것이므로 식물군락밀도가 식물군락자신의 입지조건을 어느 정도 제한할 수도 있음을 의미한다고 여겨진다. 수로전면에 식생으로 포설되어 있을 경우 식물군락밀도가 자연상태보다 높아지면 실험에서 보는 바와 같이 식물사이의 흐름이 빨라져 퇴적경향이 세굴경향으로 바뀌어 식물의 입지조건이 사라질 수 있기 때문이다.

2) Case-1, Case-2, Case-3

실험 Case-2와 실험 Case-3에서는 동일한 식물군락밀도하에서 식물군락의 공간배치 형태에 따른 퇴적양상을 비교하였다(그림8, 9). 수로전면에 걸쳐 식물군락이 존재하는 Case-2와 달리 Case-3의 공간배치 특징은 수로내 횡방향으로 식물군락의 존재 형태 즉 횡방향으로 수로의 일정구역에 식물군락이 분포하는 형태로서 일반적인 하천에서 많이 볼 수 있는 형태이다. 실험결과 Case-2와 같은 식물군락밀도를 가진다고 하더라도 공간적인 분포 특성에 따라 전혀 다른 퇴적 양상을 보여주었다. 즉 Case-3의 경우에는 식물군락이 흐름에 변화를 일으켜 식물군락구역에서도 퇴적경향을 나타내고 있고 종방향으로 퇴적현상이 줄어드는 것은 Case-1과 같았다. 그러나 Case-3은 Case-1과 달리 식물군락이 존재하는 경우 횡방향으로도 토사분급현상이 발생하고 있음이 확인되었다. 이는 횡방향으로도 흐름이 빠른 곳(식물군락이 존재하지 않는 구역)에서 흐름이 느린 곳(식물군락이 존재하는 구역)으로 유사가 공급되고 있음을 보여준다. 결국 Case-3의 경우, 퇴적과 세굴에 대한 현상은 하천중단방향에 대한 유사의 농도와 유속변화에 지배 받고 있고 또한 식물비포설구역에서 식물

포설구역으로 횡방향에 의한 유사공급의 영향을 받고 있음이 입증되었다. Case-1 및 Case-2와 달리 Case-3은 식물군락영역에서 2방향의 흐름에 의한 유사공급 특성을 이해하고 중/횡방향 퇴적경향을 파악해야 한다는 것을 의미한다. 그리고, Case-3은 식물군락을 교란시킬 정도의 흐름이 발생하지 않을 경우에 홍수시마다 식물군락구역내에 지속적인 퇴적현상이 발생하여 하도 복단면을 형성하는 한 원인이 될 수 있음을 보여주고 있다.

5. 결 론

하천식물군락에 의한 유사퇴적 양상을 수리학적으로 규명하기 위하여, 하상경사 1/200 인 자갈하천을 상정하고, 자갈하천에서 대표적으로 생육하는 달뿌리풀을 실험대상 식물군락종으로 선정하여 실험을 실시하였다. 실험수로내에 달뿌리풀에 해당하는 모의식물군락을 식재한 후, 평균입경 0.3 mm의 소류형태의 유사를 총 1 시간동안 27 kg을 균등하게 공급한 결과, 각 실험에서 등류조건실험의 한계로 인하여 유사거동에 영향을 미치는 어느 정도의 수리량 차이가 발생하여 정확한 정량적 비교는 다소 어렵게 되었다. 그러나 식물군락의 밀도와 공간적 배치에 따라 흐름과 퇴적양상이 다르게 나타난다는 사실이 실험을 통해 입증되었다. 특히 실제하천과 유사한 형태인 Case-3의 경우, 하천 퇴적과 세굴에 대한 현상은 하천중단방향에 대한 유사의 공급특성(유사농도)과 식물군락에 의한 유속변화에 크게 지배 받으며, 식물군락 비포설구역에서 식물군락 포설구역으로 횡방향에 의한 유사공급의 영향도 중요한 것으로 밝혀 졌다. 한편, 퇴적 및 세굴이 하천식물군락의 공간적 분포 특성에도 영향을 미치므로 하천식물군락과 하도변화는 상호 밀접한 관계가 있을 것으로 평가할 수 있었다.

본 실험에서는 달뿌리풀을 자연상태와 같은 수리특성을 지니도록 조성함에 따라 실험수로의 크기에 제한을 받게 되어 달뿌리풀이 홍수시 수몰하지 않는 상태를 전제하였다. 달뿌리풀이 수몰할 경우 즉 수심(H)과 식물고(K)의 비 H/K가 충분히 크게 되면 흐름과 유사거동 양상은 다소 달라지는 등 식물군락에 의한 하상변동 특성을 종합적으로 이해하기 위해서는 다양한 형태의 실험이 지속되어야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

이삼희, 이진원, 옥기영 (1999). **하천식생에 의한 수리특성 예측모형개발**, 한국건설기술연구원.

- Itakura, T. and Kishi, T. (1980). "Open Channel Flow with Suspended Sediments." *Journal of the Hydraulics Division, Pros. ASCE, Vol. 106, No. HY. 8, pp. 1325~1343.*
- Paker, G. (1978). "Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed, 2, The gravel bed river." *Journal of fluid Mechanics, 89(1), pp. 127~146.*
- Tsujimoto, T. and Shimizu, Y. (1994). "Flow and suspended sediment in a compound channel with vegetation." *Proc. 1st Int. sym Habitat Hydraulics, Trontoheim, Norway, pp. 357~371.*
- 辻本哲郎, 北村忠紀 (1996). "植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植生域の拡大過程," *日本土木学会水工学論文集*, 第40巻, pp. 1003~1008.
- 李參熙, 藤田光一, 塚原隆夫, 渡邊敏, 山本晃一, 望月達也 (1998). "礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割." *土木学会水工学論文集*, 第42巻, pp. 433~438.
- 泉 前洋, 池田駿介 (1989). "側岸に樹木を有する直線礫床河川の安定横断河床形状." *土木学会論文集*, No. 411/II-12, pp. 151-160.
- 藤田光一, John A. MOODY, 宇多高明, R.H. Meade, (1995). "川幅縮小機構についての考察-パウダー川と川内川の観察"
- 藤田光一, 渡邊敏, 李參熙, 塚原隆夫, (1998). "礫床河川の植生繁茂におよぼす土砂堆積作用の重要度." *日本土木学会, 第4回 河道水理と河川環境シンポジウム論文集.*
- 山本晃一, 藤田光一, 佐々木克也, 有沢俊治, (1993). "河岸形成における土砂と植生の役割." *土木技術資料*, 第35 卷8号, pp. 54-60.
- 池田駿介, 泉典洋, (1991). "浮流砂の横断方向拡散係数について." *日本土木学会 論文集*, No. 443.
- 清水義彦, Tsujimoto, T., 北村忠紀, (1991) "植生に覆われた砂床流れの浮流砂濃度分布." *日本土木学会, 水工学論文集(第35巻).*

(논문번호:02-06/접수:2002.01.17/심사완료:2002.10.28)