

문산천 식생역에서 홍수에 의한 하도내 미지형 변화 특성

이진원⁽¹⁾, 이삼희⁽¹⁾, 백종식⁽²⁾, 김승⁽³⁾

1. 서론

하도내에 존재하는 식생(본 연구에서는 포괄적인 의미의 하천주변 혹은 수변식생과 차별화 하기 위하여 설계 홍수량 이하의 통상적인 수로상의 식생을 '하도식생'이라 정의한다)은 하천의 자연 기능을 향상시키는 데에 중요한 요소이다. 하도식생은 홍수소통에 지장을 주기도 하지만, 하천생태계의 먹이사슬에서 생산자로서의 기능, 생태계 서식처로서의 기능, 자정기능 향상, 경관향상 등 하천환경기능에 많은 순기능을 가지고 있다(안홍규,2000). 그러나 하천의 치수안전도 확보 및 자연환경을 보전하면서 하천을 정비 및 관리하기 위해서는 하천식생이 홍수에 작용하는 상호관계는 물론 식생과 하도특성의 관계를 명확히 규명할 필요가 있다.

본 연구에서는 문산천에 조사구간을 설정하여 하도식생이 홍수에 의하여 어떻게 변화하는가를 조사·분석하고, 하천의 유형별/형태별로 식생군락에 대해 면밀히 조사하였다. 이를 토대로 식생 분포 상황을 반영하여 2차원 모형을 통해 수리 특성을 모의하여 고수부지내 부유사의 퇴적특성을 평가 검토하였다. 그리고 하도 식생에 의한 하도 형성 과정을 검토하여 하도 특성과 식생의 관계를 고찰하였다.

2. 본론

2.1 문산천 조사구간 현황(건설교통부, 1991)

문산천은 경기도 파주시 탄현면 내포리 임진강 하류부 좌안측에서 임진강과 합류하며 유역면적은 188.2 km², 유로연장 29.2 km인 한강의 제2지류이다. 그림 1은 유역도이며, 그림 2는 조사구간의 평면도이다. 조사구간에서 하폭은 약 140 m 정도이며, 하상구배는 1/700으로 수지상 하천형태를 이루고 있다.

연평균 강수량은 1,201 mm로 우리나라 연평균과 비슷하며, 계획홍수량(기준점: 문산천 하구 100년빈도)은 1,740 m³/sec이다. 유역의 63%가 임야로 임상은 침엽수와 활엽수, 혼효림이 거의 비슷하게 분포하고 있으며, 이의 90% 정도가 사유림이다. 그리고 24% 정도가 농경지로 대부분을 차지하며 밭이 많은 편이다.

(1) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

(2) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

(3) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구위원

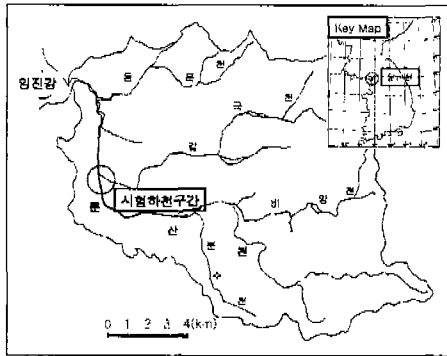


그림 1 조사구간 위치도

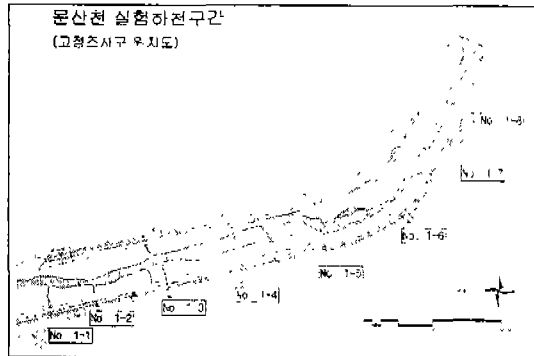


그림 2 조사구간 평면도

2.2 하도내 식생 분포조사

하도내 식생은 하도 내에서의 기상환경, 수질환경, 수리환경 및 인위적 충격에 적응하며 변화해 나간다. 본 연구에서는 하도내 식생의 분포특성과 홍수에 의한 물리적 충격에 의한 변화를 파악하기 위하여 홍수전후의 식생변화를 조사하였다.

문산천 조사구간에서 홍수전(6월15일-6월30일), 홍수직후(9월1일-9월15일), 홍수후(10월20일-11월5일)로 나누어 식생분포를 조사하였다. 식생 조사구의 선정은 인위적인 훼손이나 교란을 가급적 받게 받으며, 다양한 하천식생이 위치해 특정 식물 중에 편협되지 않은 구간을 대상으로 그림 2와 같이 8개단면(No.1-1~1-8)을 선정하였다.

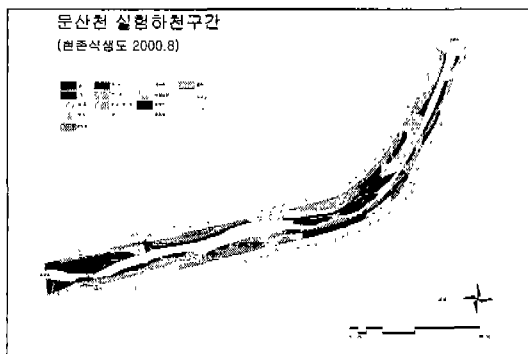


그림 3 홍수전 현존식생도

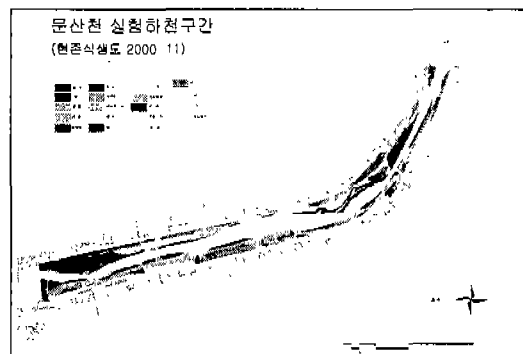


그림 4 홍수후 현존식생도

조사방법은 지형특성 및 횡단면의 미지형에 따라 분할된 Belt Transect상에서 폭 2 x 2 m의 방형구 방법을 이용하였으며, 종의 피도 및 군락의 표기는 브라운 블랑켓(Braun-Blanquet)의 7단계 방법으로 구분하여 각 식생종별 피도는 백분율(%)로 표시하였다. 그리고 홍수 전·후의 평면상 식

생변화를 파악하기 위해 우점종을 중심으로 현존식생도를 작성하였으며, 그림 3~4와 같다. 본 조사에서는 하천에서 다양한 환경요인에 쉽게 반응하는 초본류를 중심으로 조사하였으며, 특정 개체 종에 대한 조사는 본 연구의 범위에 벗어나 제외하였다.

2.3 홍수시 조사구간의 수리특성

하도내 조도계수의 설정은 일반적으로 흔적 홍수위를 조사한 후 역산해서 설정하거나 경험적으로 수목이나 하상재료를 고려하여 설정해 왔다. 이때 식생의 상태를 개략적으로 고려하지만 실질적으로 하도내 식생의 분포특성을 반영하지는 못하고 있다. 따라서 하도내 식생의 분포특성을 반영하여 수리특성을 파악하기 위하여 식생조사와 함께 홍수량을 측정하였다.

(1) 홍수량 측정

시험조사 구간에는 수위관측소가 없기 때문에 홍수량을 파악하기 위해서 홍수가 발생하기 전 단면을 측정하고 홍수시 유량을 직접 측정하였다. 프라이스식 유속계를 이용하여 1점법으로 유속을 측정하였다. 2000년에는 비교적 큰 홍수는 발생하지 않았지만 8월 28일 전후로 집중호우가 발생하였다. 홍수량 측정은 옥석교 교량위에서 부유사량 측정과 함께 실시하였으며, 측정 결과 최대 유속은 1.85 m/s 이고, 평균유속은 0.98 m/s 이다. 측정시 최대 수심은 3.1 m 이고 평균수심은 2.7 m 이며, 최대홍수량은 263.7 m³/s 이다.

(2) 조도계수 설정

식생의 분포특성을 반영하기 위하여 시험구간에 분포하는 우점종 식생을 대상으로 식생의 크기 및 성상 등 특징을 고려하여 정수식물, 벼과식물, 귀화식물, 덩굴식물 등 4개 식물군락으로 분류하고, 저수로와 제방구역을 포함하여 총 6개의 구역으로 구분하여 조도계수를 설정하였다.

각 식물군락별 조도계수의 설정에서는 식생의 높이에 홍수후 거동을 고려하여 식물의 높이를 환산(이삼희, 1999)하고 이에 따른 조도계수를 설정했으며, 각 군락별 조도계수는 정수식물 0.045, 벼과식물 0.040, 귀화식물 0.050, 덩굴식물 0.038이며, 저수로 0.020, 제방 0.045로 설정하였다.

(3) 2차원 모델에 의한 수리특성 파악

본 연구에서 수리특성을 파악하기 위하여 적용한 RMA2 모형은 유한요소법을 이용하여 수심적분된 2차원 자유수면 흐름 해석에 주로 사용되는 수치동역학적 수치모형이다. 이 수치모형은 주로 2차원 흐름 영역에서 수위와 유속의 수평성분을 계산하는 상용프로그램이다.

대상구간에서 조사된 하도식생의 분포특성을 고려한 조도계수를 설정하고, 홍수시 유량 측정결과를 입력자료로 RMA2 모델을 이용하여 조사구간 전체에 대하여 수리특성을 파악하였다.

(4) 조사구간에 대한 퇴적두께 조사

홍수전 눈금이 표시된 말뚝을 설치하고 홍수후 퇴적두께와 세굴깊이를 조사하였으며, 식생조사 단면을 포함한 16개 단면에서 굴착에 의해 퇴적두께를 조사하였다. 조사결과 그림 5와 같이 저수로 변에는 소류사가 퇴적되거나 세굴되고, 고수부지에는 대체적으로 1 cm 정도 두께로 부유사가 퇴적되었다. 홍수량 263.7 m³/s 정도의 홍수 후 문산천 조사구간의 고수부지에 퇴적된 하상재료의 두께와 물가로부터 거리를 회귀분석한 결과 그림 6과 같이 나타났다.

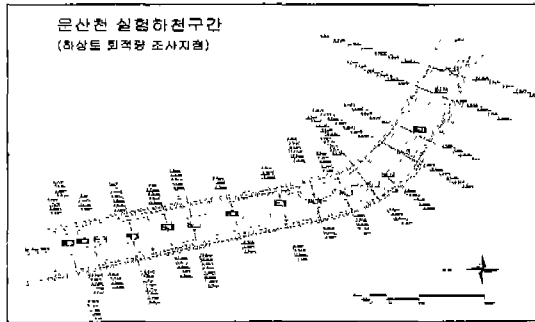


그림 5 하상토 퇴적량 조사결과

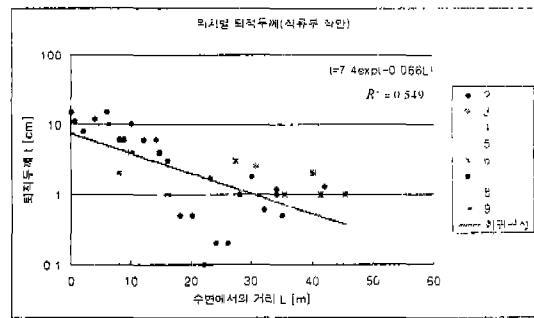


그림 6 직류부 좌안 고수부지 퇴적 특성

3. 비교고찰

3.1 하도내 식생분포 특성

하도내 식생은 홍수의 물리적 충격으로 분포가 변화하게 된다. 이는 홍수 자체의 물리적 충격과 이에 동반하는 하상재료의 퇴적과 세굴, 그리고 수분 등 서식환경이 변화하기 때문이다.

천변습지에서는 홍수전 줄군락이 주로 분포하고 있었으나 일부구간은 갈대 식생이 이입되었다. 제방쪽에 위치한 범람원 평탄지와 볼록[凸]형 지역에는 홍수전 주로 환삼덩굴 군락이 대부분을 차지하고 있는데 홍수직후까지도 우점하다가 홍수후 조사에서는 갈대, 들피 등의 벼과 식생으로 대체되었다. 제방부에 인접한 고수부지 평탄지는 망초류와 돼지풀 등의 식생이 홍수 후 돌콩, 들피 등으로의 미세한 변화 이외에는 계속적으로 동일한 식생이 서식하고 있다. 단구사면 상단부는 환삼덩굴이 주요 식생을 이루고 있으며, 홍수후 갈대와 물억새 식생으로 교체되는 변화를 보였다.

조사구간에서 피도가 높은 갈대, 줄, 고마리, 들피, 썩, 별꽃, 냉이 등 7종을 대상으로 저수로에 서부터 거리와 비고차에 따른 분포를 도시하면 그림 7과 같다. 물가에는 줄 및 고마리가 분포하고, 별꽃과 냉이는 개략적으로 0.5 m 이상의 높은 지역에 서식한다. 그리고 갈대, 들피, 썩 등은 물가에서부터 높은 지역까지 광범위하게 분포하고 있으나 갈대를 제외하면 대부분 비고차가 1 m 이상인 곳에 분포하고 있다. 또한 수변으로부터 거리로 보면 줄, 고마리 등은 수변에서 가까운 곳에 많이 분포하고, 그 외의 다른 종들도 수변에서 가까운 곳에 많이 분포하고 있다. 그림 7에서 비고차에 따른 식생의 분포위치를 보면 0.5 m 이하와 1 m 이상으로 크게 구분되는데 이는 문산천 시험조사구간의 복단면 형태를 반영하고 있다. 하도의 대부분이 복단면 형태이며, 고수부지의 높이는 1 m에서 2.5 m 정

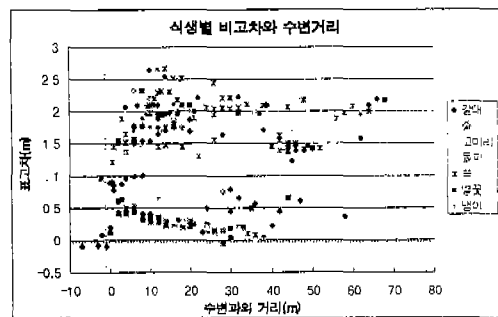


그림 7 하도내 식생분포 특성

도를 이루고 있다. 그리고 줄과 고마리가 분포하는 0.5 m 이하의 지역은 저습지로 지형적 특성을 반영하고 있다. 또한 수변과의 거리는 고수부지 폭을 나타내는 것으로 최대 70 m 정도이나 대부분 40 m 전후의 고수부지 폭을 가지고 있음을 간접적으로 반영한다.

3.2 하상재료의 퇴적과 식생의 역할

조사구간의 고수부지에 퇴적되어 있는 표층 하상재료의 평균입경은 0.2 mm 이하의 세사이다. 대표 입경 0.2 mm에 대한 침강속도는 0.001 m/s이며, 이를 토대로 부유/퇴적을 평가하였다.

전체적인 수리특성을 HEC-RAS로 모의하고, 그 결과는 이용하여 2차원 모형으로 지점별 수리량을 산정했다. 그림 8은 단면별 마찰속도(u_*) / 침강속도(w_0)의 계산결과를 도시한 것이다. u_*/w_0 의 값 1.0은 부유상태로 발전하는 기준으로 1.0이하이면 부유상태에 있던 유사가 퇴적한다. 그리고 2.5 정도이면 수면까지 부유하는 상태가 되며, 15이상이면 부유사가 wash load 상태로 되어 퇴적이 일어나지 않고 하상재료에 따라 세굴이 될 수 있다. 그림 8과 같이 u_*/w_0 의 계산값이 전구간에 걸쳐 40이상이다. 따라서, 고수부지에는 대표입경 0.2 mm의 세사는 퇴적할 수 없는 조건이다(山本晃一, 1988).

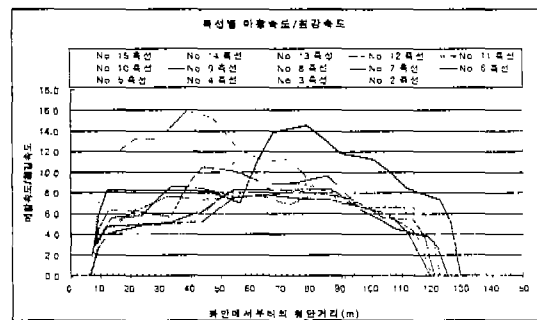


그림 8 측정 단면별 마찰속도/침강속도 비

그러나 홍수후 조사구간의 고수부지에는 1cm 정도 퇴적된 것으로 조사되었다. 따라서 현 조사구간에서 수리적으로 퇴적이 발생할 수 없는 조건임에도 고수부지에 퇴적이 발생한 것은 식생의 영향이라고 추정할 수 있다. 따라서 식생이 유사퇴적에 영향을 미치고 궁극적으로 하도변화의 주요 원인의 하나로 볼 수 있으므로 지속적 연구로 정량적 평가가 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 문산천 시험조사구간을 설정하여 하도식생의 분포현황과 홍수후 변화에 대해 현장 조사하고, 이를 토대로 식생분포 상황을 고려하여 2차원 모형을 통해 수리적 특성을 모의하였다. 그리고, 모의된 수리특성을 이용하여 고수부지내 부유사의 퇴적 가능성을 평가 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 하도내 식생분포 특성

■ 고수부지의 오목(凹)형 지역에는 습지식생인 줄, 고마리, 여뀌 등의 식생이 발견되었고, 평탄지와 볼록(凸)형 지역에서는 환삼덩굴, 망초류, 돼지풀 등의 건조식생이 주로 분포하는 것으로 나타났다. 그리고, 비고차와 수변에서의 거리에 따라서 식생분포가 변화하고 있어 미지형 변화 및 단면 형태가 식생분포와 밀접한 관계가 있음이 파악되었다.

■ 사주의 볼록[凸]형 조사구에서 홍수전 갈풀, 홍수직후 물억새, 홍수후는 쭉 근락이 형성되었다. 또한 비교적 교란이 적게 일어나고 대부분 다년초가 분포하는 지형에서도 홍수전, 홍수직후, 홍수 후 식생종이 달리 나타나고 있어 홍수만으로 식생분포가 달라졌다고 단정할 수는 없다. 즉, 각 식생의 성장사이클이 다른 것도 홍수후 식생변화에 포함된 것으로 평가할 수 있다.

2) 하도 특성과 식생과의 상관성

■ 고수부지의 하상재료 퇴적두께를 조사한 결과 횡단적으로 저수로 호안 부근에 많이 퇴적되었고, 제방쪽으로 갈수록 퇴적량은 적어지는 경향을 보이지만 대체적으로 고수부지에서 1cm 정도 퇴적되었다. 곡류부에서의 공간적 퇴적특성은 만곡부 내측이 외측보다는 많이 퇴적되는 경향을 나타냈다. 만곡부 내측에서도 상류보다는 하류쪽에 많이 퇴적하는 경향을 보이며, 곡선부 외측의 저수로 호안부 일부는 세굴되었다.

■ 조사구간에서 고수부지 표층 하상재료의 부유/퇴적을 평가한 결과, 고수부지 표층 하상재료가 퇴적할 수 없는 수리적 특성을 나타내나 홍수후 고수부지에 하상재료 퇴적이 발생한 것은 식생의 영향으로 추정된다. 따라서 하도 식생은 하도의 형성과 변화에 주요한 역할을 하는 것으로 판단한다.

5. 참고문헌

山本晃一, 1988, 河道特性論, 土木研究所資料第2662號, 建設省土木研究所.

李參熙, 1999, '扇狀地礫床河道における 安定植生域の形成機構に関する研究', 筑波大學校 大學院 博士學位論文.

건설교통부, 문산천 하천정비기본계획, 1997

안홍규(2000), '토양의 물리적 특성 및 수분조건에 따른 하반식물의 분포', 한국조경학회지, Vol. 28 No.5 pp. 51-59.

한국건설기술연구원, 1999, 하천식생에 의한 수리특성 예측모형개발.

한국건설기술연구원, 2000, 하천 특성과 식생의 상관관계 분석-문산천 시험조사결과 분석-