

산지하천 만족 수충부의 특성과 편수위 전개방안



박 상 덕 ▶▶▶

강릉원주대학교 토목공학과 교수
sdpark@gwun.ac.kr



신 승 숙 ▶▶▶

강릉원주대학교 방재연구소 전임연구원
cewsook@hanmail.net

있다. 그러나 정성적인 하천특성으로 산지하천과 평지하천을 구분하면 그 경계가 주관적일 수 있기 때문에 정량적으로 구분하고자 하는 시도들이 있다. 정량적으로 산지하천을 정의하기 위해서는 하천 특성들을 잘 대변할 수 있는 변수인 하천경사를 사용하는 것이 보다 효과적인 것으로 알려져 있다. Bathurst(1987)는 하천경사가 0.1보다 큰 하천을 산지하천으로 보았으며, Jarrett(1992)는 본류의 경사가 0.002이상인 하천을 산지하천이라고 하였다. 일반적으로 하천의 유심부에 따른 하천경사를 미시적으로 들여다보면 순경사에서 역경사에 이르기까지 변화가 매우 심하다. 보다 거시적으로 본다고 하더라도 부분적으로 완경사 충적하천과 유사한 거동을 하는 구간이 두 급경사 구간 사이에 있을 수도 있다. Wohl(2000)은 이처럼 본류에서 일부 완경사 구간이 존재한다고 하더라도 거시적 관점에서 산지하천 특성을 나타내는 어떤 지점의 상류 전체를 산지하천으로 보아야 한다고 하였다.

1. 서론

1.1 산지하천이란?

하천은 산지에서 발원하여 산간계곡, 구릉지대, 충적평야를 거쳐 바다로 유입하는 경우가 대부분이며, 산지지역에 있는 하천을 산지하천이라 하고 그 이외의 하천을 평지하천이라고 정의할 수 있다. 이를 적용하면 우리나라는 산지하천이 전체 하천의 약 63%라고 할 수 있고, 산지가 대부분인 강원지역은 약 89%가 이에 해당한다. 산간지역으로서 하반이 비교적 넓은 충적지에 있는 하천을 산지하천이라고 할 수 있는가? 단지 산지지역에 있다는 것만으로 산지하천이라 한다면 산지하천과 평지하천의 차이를 설명하기 곤란할 것이다. 하천수리 측면에서 산지하천과 평지하천을 정성적으로 비교하면 표 1과 같이 나타낼 수

표 1. 하천특성에 대한 산지하천과 평지하천의 정성적 비교

구 분	산지하천	평지하천
하천경사	급하다	완만하다
하상재료	변화폭이 크다	변화폭이 작다
하상조도	크다	작다
유수저항	크다	작다
난류정도	크다	작다
하상계수	크다	작다
유사량 지배요인	유역의 유사공급	하천의 유사이송능력
하천형태의 시공간적 변동	시간적으로 작으나 공간적으로 크다	시간적으로 크나 공간적으로 작다
계절적인 유량 변화	크다	작다

1.2 산지하천 연구의 태동

산지하천에 대한 연구는 산지과학의 발달에 힘입었다. 초기의 산지과학은 식생과 경관이 고도와 위도에 따라 달라지는 점에 주목한 Von Humboldt(1852)로부터 시작하였다. 19세기 후반에 이르러 위도-고도에 따른 동식물의 영역구분을 개념으로 하는 지리법칙들이 출현하였고(Goetzmann, 1986), 산지지역을 생물 패턴에 따라 분류하려는 시도들로 발전하였다. 이후 산은 한 지역의 고유성을 나타내는 중심으로서, 또는 극히 제한된 지역에 분포하는 생물 종의 핵심지역으로서 인식되어왔다. 20세기 후반의 산지생태계는 지구적으로 볼 때 인간에 의한 파괴위험이 매우 높은 상태에 놓여있기 때문에(Jeniks, 1997), 그 위험을 최소화하고 산지생태계를 보호하기 위하여 산지지역에서 일어나는 물리 및 생물 과정에 대한 지식을 통합하고자 하는 많은 시도들이 전개된다(Ives과 Messerli, 1989; Hewitt, 1977). 산지의 물리환경 분야는 유속, 유사량, 경사와 같은 하천 특성에 대한 유역의 지형학적 관계를 연구한 Gilbert(1877)와 지형순환 개념을 제안한 Davis(1899) 등에 의하여 발전하였다. 산지지역의 지형 과정에 대한 정량적 연구는 Horton(1945) 이후 크게 발전하였다. 조사 및 관측 기술이 급속히 발달하고 수문학적 모형들이 속속 개발되면서 산지수문학이 주목을 받아 산지의 지각용기, 하천식각, 경관변화에 대한 연구가 증가하고 있다(Wohl, 2000).

1.3 하천의 역학모형과 유역모형

일반적으로 산지에 비해 평지는 인구와 산업이 집중되어 있기 때문에 하천 지형과 수문에 대한 연구는 평지하천에 관한 것이 절대적으로 많다. 평지하천은 대부분 잔자갈 또는 모래 이하의 하상재료로 이루어진 충적하천이다. 환경사 충적하천의 형태는 유량과 유사량에 영향을 받는다. 즉, 대부분 유사이송과 하천기하는 1~3년 빈도 홍수량인 지배유량에 좌우된다

(Wolman과 Miller, 1960). 환경사 충적하천에 대한 정밀한 실험이나 현장조사 등이 가능해지면서 하천수리, 수리기하, 토사이송, 하천형태, 하천생물 등에 대한 개별 또는 상호관계에 대한 연구가 광범하고도 세밀하게 이루어져왔다. 오늘날의 하천 연구들을 개념적으로 들여다보면 정교한 공식보다는 역학모형과 유역모형에 관심이 모아지고 있다. 역학모형은 어떤 유역이나 그 한 부분을 구성하는 요소가 다른 요소와 서로 작용하고 적응한다는 관점을 반영한 것이다. 20세기 후반의 하천연구에 널리 활용된 역학모형들에 대해서 Wohl이 제시한 특징(Wohl, 2000)을 중심으로 크게 분류하면 표 2와 같이 체계론, 인과균형론, 반응론으로 대별할 수 있을 것이다. 인과관계를 바탕으로 한 확정론에 근거하기 때문에 역학모형은 복잡한 자연현상인 하천의 어떤 과정을 보다 정확하고 정량적으로 이해할수록 주어진 조건들에 대한 결과를 더 잘 예측할 수 있다(Leopold 등, 1964; Ritter 등, 1995; Wohl, 2000). 유역모형은 다양한 시공간적 규모에 대해 역학모형의 법칙들을 적용하는 것과 같이 역학모형의 부분집합이라 할 수 있다. 하천체계는 배수유역을 구성하는 다양한 요소들이 다른 조건들에 반응할 수 있기 때문에(Knighton, 1998), 유역모형

표 2. 역학모형의 분류와 특징

구분	특징	주요 연구자
체계론	하천을 체계로 파악	Chorley, 1962
인과균형론	작용의 형식이나 과정이 유도력과 저항력 사이의 균형을 의미하는 한계조건	Bull, 1979
	조건들에 대한 하천체계반응 특성의 표시자로서 평형의 다양한 형상	Chorley 과 Kennedy, 1971 Knighton, 1984
반응론	하천수리기하 개념	Leopold와 Maddock, 1953
	하천거동에 대한 극치가설	Langbein과 Leopold, 1964 Yang, 1976
	시공간의 함수로 독립변수와 종속변수 지정	Schumm 과 Lichty, 1965
	사건의 재현기간에 대한 어떤 특성의 역할, 지체시간, 지속기간 개념	

은 조직구조로서의 상류부와 기준면으로서의 하류부 조건들, 유사를 생산하는 사면과 유사를 이송하고 저장하는 수로의 과정들, 또는 하천의 상류부는 생산, 중류부는 운반, 하류 저지대는 퇴적이라고 하는 구역들로 표현되기도 한다.

1.4 산지하천 연구과제

완경사 모래하상(모래이하 작은 재료가 주를 이루는 하상) 하천에서 급경사 자갈하상(자갈에서 전석에 이르는 재료가 주를 이루는 하상) 하천으로 관심이 이동하기 시작한 것은 1980년대라고 할 수 있다. 이와 같은 변화는 급경사 조립재료 산지하천이 완경사 세립재료 평지하천과 근본적으로 다르다는 인식에서 비롯되었다. 하상재료가 더 거칠게 되면 하상의 기질은 유수에 대해 더 저항적으로 변하고 그 영향이 하천수리, 유사이송, 유사량, 하천변동에서 나타나기 때문이다. 이것이 완경사 충적하천에서 개발된 예측 방정식들이 급경사 자갈하상 하천에서는 잘 맞지 않는 원인이다. 최근에는 모래하천-자갈하천-발원지로 이루어진 하천연속체에서 급경사 조립하상 구간인 산지하천 자체에 대한 관심이 증가하고 있다. 1970년대 이래 산지하천 자체에 대한 연구는 주로 유럽, 북미, 일본에서 이루어졌다. 21세기에 들어서는 산지의 유역과 하천을 연구하는 두 가지 분명한 경향이 나타나고 있는데, 그 하나는 100년 이하의 단시간 규모로 발생하는 과정에 내재한 역학에 대한 것이고, 다른 하나는 장시간에 걸쳐 광범한 공간 규모로 발생하는 과정인 지각과 지표면의 상호작용에 관한 것이다 (Wohl, 2000). 이 중에서 국지적이고 단기적인 지표면 과정들에 포함된 역학이 수공학 연구의 주요 대상이다. 산지지역에서 지속적으로 증가하고 있는 인간의 각종 개발행위는 하천과 인간의 상호작용을 더욱 촉진하고 산지의 하천재해를 가중시키는 요인이다. 산지하천 특성에 직간접적인 변화를 일으키는 인간 활동은 주로 취수보, 댐, 사방댐, 도로, 철도, 하천제방, 벌목, 고지대 경작, 산불 등이다. 산지하천의 재

해저감을 위한 실용적인 기술개발은 우선 산지하천 자체의 역학적 특성을 밝히고 하천에 대한 인간의 간섭이 하천반응에 미치는 영향을 파악하여야 한다.

2. 산지하천 만곡수충부 편수위

2.1 산지하천 만곡부 특성

하천 만곡부에서는 유수의 관성력과 흐름저항의 불균일성 때문에 만곡외측으로 유선이동, 유속증가, 수위상승 및 하안침식이 발생한다. 급경사 산지하천은 유속이 빠르기 때문에 만곡부 외측의 수위상승이 그림 1과 같이 대단히 크다. 산지하천 만곡부는 암반이 드러나거나 암초 장애물이 있는 경우가 많기 때문에 편수위가 비정상적으로 증가하는 경향이 크다. 일반적으로 산지지역은 하천을 따라 도로가 발달되어 있기 때문에 만곡수충부에서 홍수시 큰 편수위는 도로피해를 일으키는 핵심이다. 만곡내측에서는 유속이 감소하기 때문에 2차류와 난류확산에 의해 만곡부 외측에서 내측방향으로 토사의 이송과 퇴적이 발생한다 (吉川, 1985). 따라서 만곡내측에서는 퇴적구조가 일정하지 않은 점사주가 형성되며 홍수 때마다 퇴적이 현저히 발달할 수 있다. 산지하천은 변화폭이 큰 하상재료와 유역의 유사공급조건 때문에 점사주의 시간적인 변화는 비교적 작으나, 산지사면에서 다량의 토석류가 발생하면 극적으로 유사공급이 증가하면서 점사주가 현저히 변할 수 있다. 이 경우에는 만곡외측에 작용하는 수충현상을 더욱 강화시킬 수도 있다. 만곡부 하상의 토사입도분포는 외측 부근 최심부는 굵고 내측으로 가면서 점차 세립으로 변한다. 이와 같은 하상재료 분급현상은 산지하천에서 더욱 분명하다. 이는 하상조도 변화가 공간적으로 크다는 것을 의미하므로 외측의 유수저항이 평지하천에 비하여 크고 동시에 수면상승이 더욱 가중된다는 것을 나타낸다. 곡률반경이 작고 유속이 빠른 하천 만곡부에서는 내측의 흐름분리에 의한 수심 증대가 발생할 수 있



그림 1. 산지하천 만곡수충부의 편수위(양양남대천 2009)

다. 이 흐름분리는 유효단면적을 감소시키고 내측의 점사주 증대와 국소적 수면상승을 초래한다.

2.2 만곡수충부의 편수위 산정

곡률반경이 일정하고 단면형상이 균일한 만곡수로에서 주 흐름 속도의 횡단분포는 곡률반경의 멱함수이다. 만곡부 외측 부근에서는 수표면 근처의 큰 운동량이 가라앉고, 내측에서는 바닥면 부근의 작은 운동량이 솟아오른다. 또한 흐름의 상하층 간에 원심력 차이에 의해 강한 2차류가 발생하고 상층에서는 만곡 내측에서 외측으로 향하고, 하층에서는 역방향 흐름이 된다. 하천 만곡부에서 편수위는 유속, 하폭, 곡률반경에 좌우되며 다음 식 (1)로 산정할 수 있다.

$$\Delta h = C \frac{BV_m^2}{gR_c} \quad (1)$$

여기서 Δh 는 편수위, C 는 수위상승계수, V_m 은 만곡부의 평균유속, R_c 는 만곡부 하도중심선의 곡률반경, B 는 하폭이고 g 는 중력가속도이다. 우리나라의 하천시설기준에서는 C 값으로 1.5를 제시하고 있다(한국수자원학회, 2009). 사각형 수로에서 C 값은 상류일 때 1이고 사류일 때는 2.0으로 알려져 있다. 급경사 하천의 만곡수충부에서 편수위는 하천제방고를 결정하는 데 중요하다. 그러나 경사가 완만한 평지하



그림 2. 산지하천 만곡수충부의 편수위에 의한 도로피해(송천, 2006)

천에서는 하천제방의 여유고 보다 편수위가 현저히 작기 때문에 큰 문제가 되지 않는 경우가 많다. 하천 장애물이 많은 산지하천 만곡수충부에서 편수위는 도로 피해를 일으키는 주요 원인이 되고 있다. 이는 식 (1)로 산정하는 것이 불가능하므로 적절한 편수위 산정기법이 개발되어야 한다.

3. 만곡수충부의 유속저감 방안

하상경사가 크고 유속이 빠른 산지하천 만곡수충부에서는 편수위와 국부세굴에 의한 홍수피해가 많이 발생하므로 유속을 줄일 필요가 있다. 그러나 산지하천에서 어떤 장치를 이용하여 유속을 저감하는 것은 대단히 어려운 일이다. 개념적으로 보면 유속 조절은 에너지경사를 조절하는 것과 같다. 하천 흐름의 에너지경사는 식 (2)에서 알 수 있듯이 하상고 z , 수위 y , 유속 V 의 공간적인 변화에 지배를 받는다.

$$I_x = \frac{d}{dx} \left(z + y + \frac{\alpha V^2}{2g} \right) \quad (2)$$

이를 고려하여 급경사 산지하천 만곡수충부에서 유속을 줄이기 위한 방법으로 하상고변경법, 유수단면적변경법, 유수저항조절법을 제시한다.

3.1 하상고변경법

하상고변경법은 하천에서 종방향 평균경사를 조정하여 평균유속을 줄이는 것이다. 이 방법은 보 또는 낙차공 등으로 하상이나 수위를 조절하여 유수의 에너지경사를 감소시킨다. 그림 3과 같은 만곡수충부 하류에 보를 설치하여 만곡구간에서 유속을 줄이거나, 만곡부 상류에 보를 설치하여 만곡수충부로 빠르게 접근하는 유속을 줄일 수 있다. 급경사 산지하천에는 암반이 노출되어 있는 경우가 많은데 이 암반은 보 또는 낙차공과 같이 홍수시 하상을 제어하는 역할을 한다.

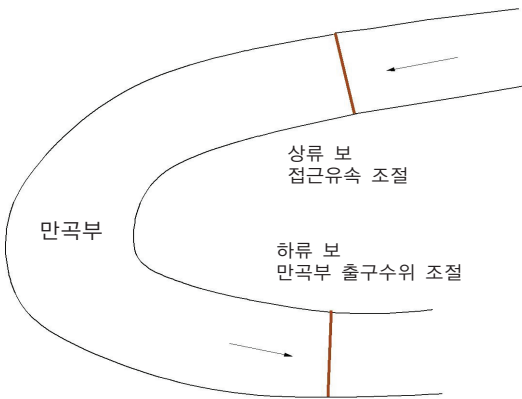


그림 3. 보 설치에 의한 만곡부 유속저감

3.2 유수단면변경법

유수단면변경법은 수심이나 하폭 변경으로 유수단면적을 증대하여 평균유속을 줄이는 것이다. 수심을 유지하면서 하폭을 확장하거나 하폭을 유지하면서 하상을 굴착하여 유수단면적을 증가시키면 평균유속이 감소될 수 있다. 예를 들면 유속을 저감하고자 하는 구간의 하류에 댐을 설치하여 수심을 증대할 수 있다. 댐과 보의 설치는 기본적으로 동일하나 일반적으로 보 상류는 토사가 퇴적되어 완만한 하상경사가 유지되는 반면에 댐 설치는 그 상류에 수심을 증대시키는 저수지가 형성되는 것이 다르다. 산지하천에서 하반은 일반적으로 협소하기 때문에 도로가 하천을 따

라 놓여 있는 경우 하폭을 조정하는 것이 어렵고, 하상의 퇴적층 깊이가 현저히 작은 경우가 많기 때문에 하상굴착에 많은 비용이 요구될 수 있고, 하천도로를 보호하고자 댐으로 저수지를 조성하는 것이 비현실적일 수 있다. 따라서 산지하천 만곡부에서는 하상굴착, 하폭확대, 댐에 의한 저수지 조성 등으로 유수단면적을 변경하는 것이 실질적으로 어렵다.

3.3 유수저항조절법

유수저항조절법은 유수에 대한 하천저항을 증가시켜 평균유속을 줄이는 것이다. 하천에서 유수저항을 계량적으로 나타내기 위해 흔히 조도계수가 사용되며, Manning의 조도계수는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다(Chow, 1959).

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (3)$$

여기서 n_b 는 기본조도계수 값으로서 자연재료로 되어 있는 수로에서 단면형상이 일정하고 매끄러우며 직선인 수로의 조도계수, n_1 은 수면불규칙성에 의한 조도계수 보정, n_2 는 수로 횡단면의 형상과 크기 변동에 의한 조도계수 보정, n_3 는 수로 내의 장애물에 의한 조도계수 보정, n_4 는 수로내의 식생과 흐름 조건에 의한 조도계수 보정, m 은 수로사행이 조도계수에 미치는 영향을 반영하기 위한 계수이다. 이와 같이 조도계수에 영향을 미치는 하천요인을 고려하면 다음과 같은 방법으로 하천에서 유수저항을 조절할 수 있다.

- ① 하상 및 호안의 조도높이를 조정하여 유수저항을 증가시킨다.
- ② 하천 횡단면 형상을 조정하여 유수저항을 증가시킨다.
- ③ 하천 평면 형상을 조정하여 유수저항을 증가시킨다.
- ④ 하도에 인공장애물을 설치하여 유수저항을 증

가시킨다.

- ⑤ 홍수시 하상파가 발달할 수 있도록 하상재료를 변경하여 유수저항을 증가시킨다.

산지하천은 대부분 하상이 모래, 자갈, 호박돌, 전석으로 혼합되어 있으며 하상표면은 장갑화 하상처럼 호박돌과 전석이 덮고 있는 경우가 많다. 안정하상의 경우 재료에 따른 기본조도계수는 표 3과 같이 하상표면재료가 모래에서 자갈이 될 때보다 호박돌이나 전석으로 변하면 최대값의 변화가 현저히 크다. 이는 하상재료를 이용하여 유수저항을 증대할 수 있는 것을 나타낸 것이다. 그러나 유속이 빠른 산지하천 만곡수충부의 접근부나 출구부는 일반적으로 기존 하상재료가 크기 때문에 더 큰 하상재료로 변경하는 것에 한계가 있다. 산지하천 만곡부수충부는 일반적으로 콘크리트 옹벽호안으로 되어 있다. 콘크리트 옹벽호안은 매끄럽기 때문에 조도계수는 약 0.014이나 옹벽의 조도를 더 크게 함으로써 조도계수를 증가시킬 수 있을 것이다. 만곡부 단면형상은 유수저항과 편수위 등 수리특성에 영향을 미치므로 단면형상을 적절히 변경하여 유수저항을 조절할 수 있다. 산지하천은 대부분 구속하천이고 하반이 좁기 때문에 하천평면형상을 변경하는 것은 대단히 어렵다. 그러나 하도에 인공장애물을 설치하는 것은 상대적으로 용이하다. 다만 인공장애물이 흐름을 교란하는 요소가 되므로 하천흐름에 미치는 영향을 고려하여 적절한 규모와 위치가 선정될 수 있다면 인공장애물은 효과적인 유수저항 조절기법이 될 수 있다.

표 3. 직선균등하도단면에서 하상재료에 대한 기본조도계수 변화

하상재료	직경(mm)	직선균등하도 n_b	하위 재료에 대한 n_b 변화
거친모래 (Coarse Sand)	1~2	0.026~0.035	-
자갈(Gravel)	2~64	0.028~0.035	0~0.002
호박돌(Cobble)	64~256	0.030~0.050	0.002~0.015
전석(Boulder)	>256	0.040~0.070	0.010~0.020

표 4. 산지하천의 만곡수충부 유속저감기법

구분	개념	유속저감기법	산지하천	
			적용성	적용공법
하상고변경법	하천 종방향 평균하상고 변화를 완화하여 유속저감	① 만곡수충부 하류부 하상고 조정 ② 만곡수충부 상류부 하상고 조정	◎ ◎	만곡부 하류 보
유수단면변경법	하천의 통수 단면적을 증가시켜 유속저감	① 수심을 유지하면서 하폭 확장 ② 하폭을 유지하면서 하상 굴착 ③ 만곡부 하류에 댐 설치로 저수지 조성	× × ×	
유수저항조절법	유수에 대한 하천저항을 증가시켜 유속저감	① 하상 및 호안의 조도높이 조정 ② 하천 횡단면 형상 조정 ③ 하천 평면형상 조정 ④ 하도에 인공장애물 설치 ⑤ 하상파 발달을 위해 하상재료 변경	○ ◎ × ◎ ×	거대조도 콘크리트 옹벽호안 수제형 인공 장애물

주) ◎ : 높음, ○ : 보통, × : 낮음

3.4 유속저감기법


유속저감 방안들의 특징을 제대로 파악하고, 산지하천에 대한 적용가능성을 평가하는 것이 무엇보다 중요하다. 표 4는 이상과 같은 유속저감방법들의 특징을 정리하고 산지하천에 대한 적용성과 가능한 적용공법을 제시한 것이다. 만곡수충부 콘크리트 호안의 조도를 증가시켜 유속을 저감하는 방안, 보를 설치하여 유속을 저감하는 방안, 거석이나 수제 등을 이용한 장애물을 설치하여 유속을 저감하는 방안이 급경사 산지하천에서 현실적인 것으로 평가된다.

4. 결론

우리나라는 산지하천이 많기 때문에 산지지역 대부분에서 도로가 하천을 따라 발달되어 있어서 만곡수충부 홍수에 의한 피해가 자주 발생한다. 이는 인구와 산업이 집중되어 있는 평지하천에 비하여 급경

사 산지하천에 관한 연구나 기술개발 투자가 매우 부족하기 때문이다. 게다가 하천과 도로의 전문가들 사이에 하천에 관한 정보교환이 충분하지 못하기 때문이기도 하다. 기후변화에 따라 극한강우와 국지성 호우의 발생빈도가 크게 증가하고 이에 의한 산사태와 토석류가 증가하는 추세를 고려하면 산지하천 재해위험은 더욱 커질 것이다. 산지하천 만곡수충부에서 발생하는 홍수시 편수위와 국부세굴에 의한 피해를 저감하기 위한 기술적인 방안을 검토하였다. 산지하천이 일반적으로 공간적 제약으로 인해 어떤 공학적 대책을 도입하는 것은 극히 제한적이다. 따라서 산지하천 만곡부의 수리특성과 형상특성을 고려한 효과적인 대책방안 검증에 대한 향후 연구가 필요하다. 동적체계로서 하천은 그 유역의 기상학적 또는 지상학적 변화에 반응하고 스스로 적응하는 유기체와 같다. 따라서 기후변동 추세에서 급증하는 산지개발처럼 인간에 의한 산지환경급변이 계속된다면 산지하천-평지하천

연속체가 보다 심각한 홍수피해를 일으킬 수 있다. 그러나 하천체계에서 대단히 중요한 요소임에도 불구하고 평지의 충적하천에 비하면 산지하천에 관련한 연구가 매우 부족한 실정이다. 하천수계의 상류를 구성하는 산지하천에 대한 충분한 자료를 확보하여 건전한 하천체계 관리를 도모하여야 한다. 물이나 토사가 산지하천에서 평지하천으로 유입되는 것을 생각하면 평지하천 관리를 위해서라도 산지하천을 충분히 파악하는 것이 중요하다. 따라서 산지하천 특성을 파악하기 위한 장기간의 모니터링과 조사연구가 필요하며, 특히 산지하천 만곡수충부에 필요한 기술개발을 위한 지속적인 투자가 이루어져야 할 것이다.

『본 내용은 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원('08 지역기술혁신 B-01)에 의해 수행중인 과제, 산지하천 만곡수충부의 편수위 저감에 대한 연구내용의 일부이다.』 

참고문헌

1. 한국수자원학회, 하천설계기준·해설, 2009.
2. 吉川秀夫, 流砂の 水理學, 丸善株式會社, 1985.
3. Chow, V.T., Open Chanel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company, 1959.
4. Knighton, D., Fluvial Forms and Processes: A New Perspective, Holder Arnold, 1998.
5. Wohl, E., Mountain Rivers, AGU, 2000.