

# 산지하천 수충부의 공학적인 문제와 과제



**박 상 덕 |**  
 강원원주대학교 토목공학과 교수  
 sdpark@nukw.ac.kr

## 1. 서론

산지하천은 산지유역에 있는 하천을 지칭하며 도시하천, 농촌하천, 전원하천 등과 함께 하천분류에 널리 사용되고 있다. 산지유역의 지형적인 특성을 반영하기 때문에 산지하천은 일반적으로 경사가 급하고 자갈과 호박돌 등과 같이 큰 하상재로 되어 있다. 가용 토지공간이 부족한 산지유역은 주거지, 농경지, 도로 등과 같이 인간의 사회적, 경제적 활동기반이 하천을 따라 좁은 회랑으로 이루어진 하반에 발달되어 있다. 이와 같은 산지하천과 인간 영역 사이에는 강한 상호작용이 있으며 하천공학의 중요 대상이다. 특히 평지하천과 다르게 하반이 좁은 산지하천 만곡구간에는 공학적 문제들이 집중되어 있다. 따라서 이 글에서는 산지하천 만곡수충부의 개념과 공학적 문제들을 고찰하고 그 해결과제들을 제시한다.

## 2. 수충부 정의와 위치

수충부(水衝部)는 하천공학 실무에서 매우 광범하게 사용되는 용어임에도 불구하고 학술연구에서 사용된 사례는 드물다. 이는 하천수충부에 대한 연구 필요성이 그동안 크지 않았기 때문이다. 그러나 2002년 태풍 루사 이후 집중호우에 의한 강원지역 하천피해가 주로 만곡수충부에서 발생하였고 하천을 따라 발달된 도로 유실의 직접적인 원인으로 밝혀진 이후 수충부의 문제가 부각되었다. 이에 따라 2008년 국토해양부는 강원도의 지역건설기술혁신 사업으로 “산지하천도로 수충부 및 토석류 방재설계 선진화 기술개발” 연구를 추진하도록 하였다.

수충부는 관수로 출구나 노즐에서 분사된 수류가 강하게 부딪히는 지점이나 하천에서 유속이 빠른 홍수가 흐름방향에 예각으로 제방을 강하게 들이치는 부분이다. 이와 같은 수충을 일으키는 수류를 수충류(水衝流, impinging flow)라고 한다. 하천설계기준(2006)에서는 수충부를 “단면의 축소부 또는 만곡부의 바깥 제방과 같이 흐름에 의해 충격을 받는 지역”으로 정의하고 있다.

하천에서는 주로 경사가 급한 만곡하도에서 하도 중심선보다 만곡외측 제방의 곡률반경이 작은 경우에 많이 발생하며, 이 수류의 공격을 받는 지점을 만곡수충부(彎曲水衝部, meandering channel impingement area)라 한다. 또한 수충부는 하도

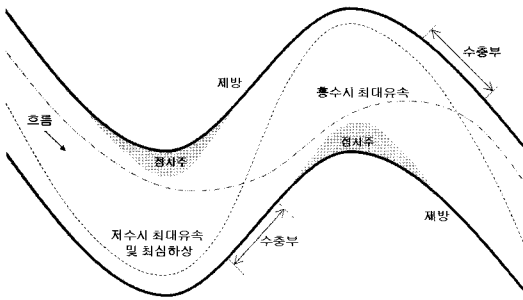


그림 1. 하천 만곡수충부의 위치와 최대유속(박상덕, 2009)

내에 흐름을 방해하거나 방향을 변화시키는 보와 암초에 의해서도 발생할 수 있으며, 망상하도에서 홍수시 하도 내에 있는 사주(砂州)의 영향으로 발생되기도 한다. 산지하천은 하상경사가 크고 하폭이 작아 홍수시 유속이 매우 빠르기 때문에 하천만곡부 외측제방이나 보 하류 제방에서 강한 수류의 영향을 받는 수충부가 발생된다. 홍수시 만곡수충부의 발생위치는 그림 1과 같이 최대유속선이 만곡시점 하류의 하천제방에 입사하는 지점에서 발생된다. 하천 현장조사에서 다음 사항을 고려하면 하천 수충부의 위치를 확인할 수 있다.

- ① 제방에 예각으로 접근하는 빠른 수류 관찰
- ② 제방 쪽으로 빠른 흐름을 유도하는 보, 암초, 망상하도 사주의 유무
- ③ 폭이 좁고 경사가 급한 만곡부 제방근처에 강한 와류 발생
- ④ 제방근처 하상세굴 유무
- ⑤ 제방 상단에서 호안 근고공까지 사면붕괴 여부
- ⑥ 제방사면이 홍수에 의해서 최근에 깎인 흔적

### 3. 수충부의 수리특성

하천 만곡수충부의 주요 수리학적 관심 사항은 만곡외측의 수위상승 및 제방하부 하상세굴, 2차류 발생, 만곡내측의 점사주 발달, 만곡하도 내 수면교란 및 하류방향 전파 등이 있다. 만곡부에서는 원심

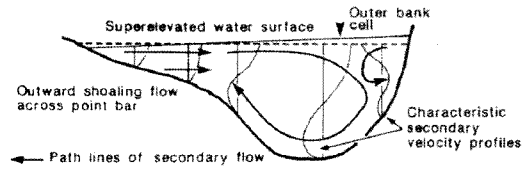


그림 2. 하천 만곡단면의 흐름구조(Markham and Thorn, 1992)

력을 받아 하천횡단방향으로 수면경사가 발생되며 만곡외측에서는 수위가 상승하고 내측에서는 수위가 내려간다. 그 수면경사는 만곡부의 하천 접근유속의 제곱에 비례하고 곡률반경에 반비례한다. 일반적으로 하도경사나 유량이 증가하면 접근유속이 증가하기 때문에 만곡부 내외의 수면경사는 더욱 커진다. 하천경사가 급한 산지하천에서 만곡부의 홍수위 상승을 실측한 자료가 거의 없으나 건설교통부의 2006년 7월 강원지역 집중호우 피해조사에 의하면 만곡부 내외측간의 수위차는 약 1~3.5m 정도이다. 이와 같은 산지하천 만곡수충부 편수위는 통념보다 매우 큰 것이며 수면상승의 영향을 하천 설계에 반영할 수 있는 방안을 충분히 검토하여야 한다는 것을 시사한다.

만곡부의 최심하상은 일반적으로 만곡시점 외측으로 발달하며 홍수시 최대유속은 하도 중심선에서 만곡부 안쪽의 수면아래쪽에 나타난다. 저수시의 최대유속선은 최심하상고를 따라서 발생되나 유량이 증가하면 하상에 작용하는 마찰 등의 영향으로 하천 평면상에서 최소유로경로를 따라 만곡부 내측으로 이동하게 된다. 그림 2와 같이 만곡부 수면에서는 외측으로, 바닥에서는 내측으로 흐르는 二次流(secondary flow)인 나선류(螺旋流)가 나타난다. 이러한 2차류가 만곡부 외측으로 최심하상선을 유도하는 원인이라고 할 수 있다. 따라서 만곡횡단면 외측하상은 세굴에 따른 소(沼, pool)가, 내측하상은 퇴적에 따른 점사주(点砂洲, point bar)가 발생된다. 수심이 깊은 만곡외측 하상에 자갈이나 호박돌과 같이 하상재료가 크거나 암반이 노출되어 있는 경우가 많고 만곡내측에 입경이 작은 모래와 자갈이

분포하는 것은 만곡부의 수리특성과 밀접한 관계가 있다. 만곡내측의 점사주는 빠른 유속이 만곡내측 제방선형과 분리되는 만곡직하부에 형성된다.

유속이 빠른 경우 만곡수충부에 입사한 수류의 영향으로 하도 내 수면이 교란되고 흐름이 불안정해지며 하류로 전파된다. 만곡부 수위상승과 이차류에 의한 흐름불안정 때문에 하상과 유로의 수리기하특성 변화를 초래할 수 있다. 즉 하류로 전파된 흐름불안정으로 만곡수충부 대안측 하류의 강턱이나 제방이 침식되며 결과적으로 하도만곡을 더욱 발달시킬 수 있다.

#### 4. 공학적 문제와 과제

수충부에서 홍수위 상승이나 제방 세굴은 제방 파괴와 같은 홍수피해를 일으킬 수 있으며, 수충부에서 발생하는 수면교란은 하류로 전파되어 수충부 대안측 제방에 문제를 일으킬 수 있다. 하천의 만곡은 보편적인 현상이기 때문에 하천공학적 핵심 과제들은 만곡지점에서 발생하는 문제를 해결하는 것과 깊이 관련되어 있다. 특히 산지하천에서는 도로가 하천을 따라서 발달되어 있기 때문에 만곡부의 수위상승과 하상세굴은 도로피해를 초래하는 경우가 많다. 만곡부의 과도한 홍수위 상승은 도로 선단 가장자리의 파괴나 제방사면 유실을 초래한다. 그림 3은 산지하천인 오색천의 만곡수충부와 하도 내

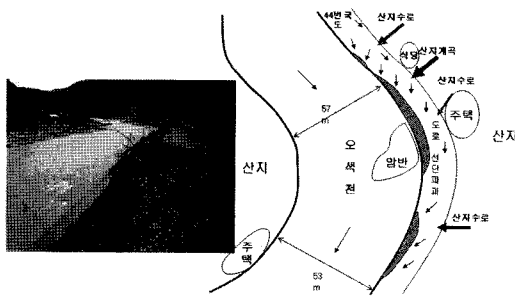


그림 3. 산지하천 만곡수충부 피해(오색천, 2006. 7)

암반에 의한 도로피해를 나타내는 것이고 그림 4는 송천의 만곡수충부에서 홍수위 상승에 따른 도로피해를 나타낸다.

일반적으로 하천설계에서 수충부의 수위상승 효과는 설계홍수위에 반영되지 않는다. 이는 제방고산정에서 여유고의 범위가 0.6~2m 정도이므로 수충부의 수위상승이 이 범위에 드는 것으로 판단되었기 때문이다. 산지하천의 홍수 흔적조사를 통해서 파악되고 있는 만곡 내외측간 수위차 3m 정도는 여유고 수준을 크게 초과할 것으로 생각된다. 일반적인 설계홍수위 산정에서는 평균수위를 사용하기 때문에 만곡부의 내외측간 수위차와 평균수위사이의 관계가 명확하지 않은 현재로서는 산지하천 만곡부의 설계홍수위가 어느 정도 타당한지 단언하기 어렵다. 따라서 홍수위 상승에 대한 피해를 최소로 하기 위해서는 도로나 제방을 높여야 하나 어느 정도가 적절한지에 대한 기준이 산지하천 특성을 반영하여 개발되어야 할 것이다. 그러나 하천설계 기준은 하천만곡 수충부에서 발생하는 수면상승을 제방설계에 반영할 것을 지시하지 않는다. 이는 하천에서 발생될 수 있는 여러 가지 불확실한 요소들을 고려하는 여유고와 계획홍수위를 더한 제방고의 크기가 만곡수충부의 수위상승을 충분히 포함할 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 평지하천은 이런 판단이 적절하나, 산지하천의 경우 하천설계기준이 제시하는 여유고가 더 이상 만곡수충부 수위상승에 대한 제방의 안전을 보장할 수 없다는 것이



그림 4. 산지하천 만곡수충부 피해(송천, 2006. 7)

밝혀졌다.

산지하천 만곡수충부에서는 제방 부근의 하상세굴이 제방을 파괴하는 경우가 많다. 만곡부 하상세굴에서 제방을 보호하기 위해 일반적으로 호안이 설치된다. 산지하천이 많은 강원지역에서 널리 적용되고 있는 호안공법은 자연석을 이용한 돌붙임과 돌망태 및 콘크리트 옹벽이 있다. 이중에 만곡수충부에서 가장 견고한 호안 효과를 나타내고 있는 것이 콘크리트 옹벽이다. 그러나 이 옹벽은 자연경관의 부조화가 크기 때문에 돌망태 호안공법이 하천 수충부에 적용되는 경우가 많다. 이는 보 하류부 직선하도 구간에서 특히 많이 적용되었으나 보에 의해 유발된 수충부에서 돌망태 호안을 파괴시킨 하상세굴이 다수 확인되고 있다. 수충부의 하상세굴에 대해서 안전하고도 친환경적인 호안공법을 개발하는 것이 필요하나 경사가 급한 산지하천임을 감안할 때 옹벽을 능가하는 호안공법을 찾기가 매우 어렵다. 따라서 만곡수충부의 위치를 보다 하류로 유도하거나 하상세굴을 하도 중앙방향으로 조절할 수 있는 만곡수충부 하도설계 기술개발이 호안공법을 새로 개발하는 것 보다 실질적인 성과를 기대할 수 있다.

## 6. 결론

산지유역은 하천을 따라 대부분의 도로가 발달되어 있기 때문에 홍수시 하천범람에 의한 도로 피해가 빈번히 발생한다. 인구와 산업이 집중되어 있는 도시하천이나 토지이용 가치가 높은 평지하천에 비하여 산지하천에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 지난 수십 년에 걸쳐서 IHP사업의 일환으로 강원도 산지하천인 평창강 유역에 대한 수문 자료가 생산되었으나 산지하천 실무에 필요한 설계 자료는 아직도 매우 부족한 상황이다. 경사가 급하고 하상재료가 큰 산지하천 만곡수충부에서 발생하는 홍수시 수위상승에 의한 범람과 제방세굴에 의한 피해를 저감시킬 수 있는 설계기술 개발이 필요하다. 현재 정부가 강력히 추진하고 있는 이른바 4대강 살리기 사업에 막대한 예산이 투입되고 있으나 전 국토면적의 63%를 차지하는 산지유역 하천에 대한 예산투자는 미미한 실정이다. 산지유역이 대 하천의 가장 큰 영향인자라는 점을 고려할 때 산지하천 관리가 대 하천 살리기의 바탕이 되어야 한다. 하천은 유기체와 같다는 기본원리를 생각하면, 지엽적인 증상을 처방함에 있어 하천계통 전체를 진단하고 적절한 시공간적인 대책을 수립하는 것이 대단히 중요하다. ☞

## 참고문헌

1. 강원도, 강원도형 하천호안공법 개선방안 연구보고서, 2008.
2. 건설교통부, 2006년도 홍수피해조사 보고서, 2006.
3. 건설교통부, 하천설계기준, 2006
4. 박상덕, "수충부의 수리현상", 산지 하천과 도로, Vol. 2 No.1, 2009.
5. 우효섭, 하천수리학, 청문각, 2001.
6. Markham, A. M. and Thorne C. R., Geomorphology of Gravel-bed River Bends, Dynamics of Gravel-bed Rivers edited by P. Billi et al., John Wiley & Sons, pp.435~456, 1992.
7. Maynard, S.T., Flow Impingement, Snake River, Wyoming, Technical Reports, HL-TR-93-9, 1993.