

산지하천 만곡수충부의 하류수위 조절에 따른 편수위 변화 Superelevation Changes due to Downstream Waterlevel in Mountainous Curved River Impingement

박상덕*이승규**지민규***김건태****김선정*****

Sang Deog Park, Seung Kyu Lee, Min Gyu Ji, Gun Tae Kim, Seon Jeong Kim

요 지

산지하천의 만곡부에서는 홍수시 원심력이 작용하여 하천 횡단방향으로 수면경사가 발생되기 때문에 만곡 외측에서는 수위가 상승하고 내측에서는 수위가 내려가는 편수위 현상이 일어난다. 산지하천 만곡수충부의 수위 상승 특성을 파악하기 위해 만곡수충부 하류부의 수위가 그 편수위에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 이에 강원지역 하천 만곡부의 형태학적인 특성을 바탕으로 산지하천 만곡부 조건을 설정한 수리모형 실험장치를 이용하여 하류부 수위를 6단계로 조절하고 각 단계별로 횡단수위 분포를 측정하는 과정으로 이루어졌다. 실험결과 만곡부의 최대 편수위는 하류부 수위조건이 고수위 보다 저수위에서 크게 나타났으며 이는 만곡수충부 하류에 보와 같은 수위조절구조물에 의하여 만곡부 내의 수위가 상승될 경우 편수위가 감소될 수 있는 가능성이 있다는 것을 나타낸다.

핵심용어 : 편수위, 수리모형실험, 산지하천, 만곡수충부, 하류수위

1. 서론

산지하천의 대표적인 특징인 만곡부는 홍수시 원심력이 작용하여 하천 횡단방향으로 수면경사가 발생되기 때문에 편수위 현상이 발생한다. 급경사 산지하천에서 만곡부의 홍수위 상승을 실측한 자료는 매우 빈약하나, 2006년 7월 강원지역 집중호우에서 만곡부 내외측간의 수위차는 최대 3.5m 정도를 초과하는 것이 흔적홍수위 조사를 통하여 확인되었다. 이는 우리나라 하천계획 제방설계의 여유고를 상회하는 것이며 산지하천도로 홍수피해의 큰 원인 중 하나이기도 하다. 산지하천 수충부의 편수위에 의한 홍수 피해를 줄이기 위해서는 만곡수충부의 홍수위와 하천 특성 간의 관계에 대한 연구가 필요하다. 본 연구의 목적은 산지하천 만곡수충부의 수위상승 특성을 파악하기 위한 기초연구로서 만곡수충부 하류부의 수위가 그 편수위에 미치는 영향을 확인하고자 하는 것이다. 이를 위해 강원지역 하천만곡부의 형태학적인 특성을 바탕으로 산지하천 만곡부 조건을 설정하여 제작된 수리모형실험장치를 이용하여 만곡부 흐름을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험시설

본 연구에 이용된 모형수로는 강원지역 하천만곡부의 형태학적인 특성을 바탕으로 설치된 것으로

* 강릉원주대학교 토목공학과 교수·E-mail: sdpark@gwnu.ac.kr
** 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정·E-mail: ef2377@nate.com
*** 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정·E-mail: yshinje@naver.com
**** 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정·E-mail: hwell@naver.com
***** 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정·E-mail: mk0637@naver.com

로 수평축척 1/40과 연직축척 1/25인 왜곡도 1.6의 왜곡모형이다.

모형수로는 벽면과 하상이 콘크리트로 제작된 유심부가 존재하는 직사각형 단면으로 만곡 중심 각 125°, 상류부 직선길이 5m, 만곡부 길이 5.67m(내측수로, 반경: 2.6m), 7.88m(외측수로, 반경: 3.6m), 하류부 직선 길이 2.5m 인 총 연장 14.28m이며 수로 폭은 1m ~ 1.15m(만곡중앙폭)으로 만곡 중앙부에서 가장 큰 폭을 가지고 있다. 또한 수로경사는 접근부 0.020, 만곡부 0.016, 하류부 0.010로 제작하였다.

그림 2에서 보이는 바와 같이 모형수로의 만곡수충부 외측벽면은 방수합판으로 표면처리가 되었으며, 하류부 종점에 위치한 수위조절장치는 철재로 제작되어 하천의 보와 같은 기능을 하도록 하였다. 하류단 수위조절장치는 0~20cm 범위에서 6단계로 수위조절이 가능하다.

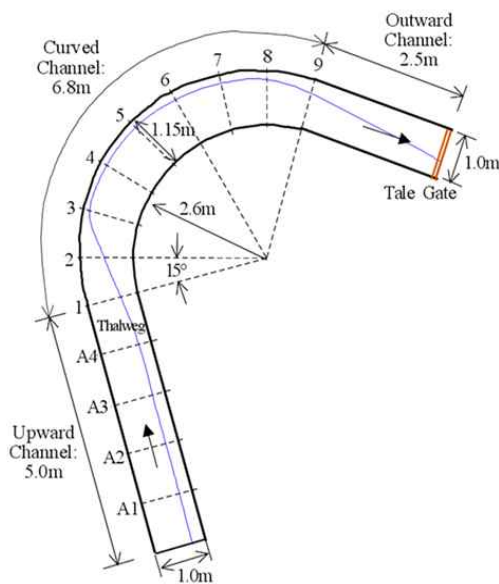


그림 1. 실험 수로

표 1. 실험수로의 형상

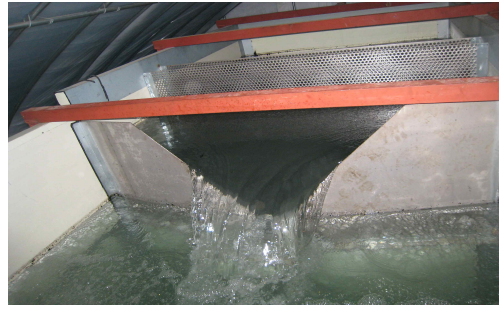
구분	원형(m)	모형(cm)
접근수로길이	200	500
유출수로길이	100	250
내측곡률반경	104	260
외측곡률반경	144	360
하폭	40.0	100
중앙폭	46.0	115
곡률반경비	0.788	0.788
만곡중심각(deg)	125°	125°
내측호의길이	227	567
외측호의길이	315	788
하상경사	접근부	0.012
	만곡부	0.0096
	출구부	0.006

2.2 실험방법 및 조건

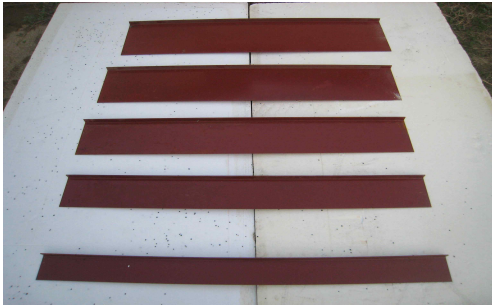
본 연구에서는 유량과 하류부 수위조건이 만곡부의 편수위 변화에 미치는 영향을 파악하기 위한 것이므로 실험유량과 하류부 수위조절에 따른 만곡수충부의 횡단수위분포가 측정되었다. 실험 유량은 100 l/s, 120l/s 및 140l/s의 순서로, 하류단 수위 조건은 0, 4, 8, 12, 16, 20cm의 순서로 표2와 같이 총 18개 사상에 대한 실험을 수행하였다. 각 실험유량과 하류부 수위조절에 따른 만곡수충부의 각 단면별 수위측정은 수로 내의 흐름이 평형상태에 도달한 이후에 이루어졌다. 수위 측정은 그림 2(a)와 같은 초음파 수위계를 사용하여 각 측정점별 초당 10개의 자료를 2분간 수집하였고 이 중 처음 10초와 마지막 10초의 자료를 제외한 총 100초 동안의 수위자료 1000개를 이용하여 그 지점의 수위를 확정하였다. 다음 표 2는 유량 및 하류단 수위 조건을 나타내고 그림 3은 수리모형실험 과정을 나타낸 흐름도이다.



(a) 초음파수위계



(b) 위어



(c) 수위조절장치-1



(d) 수위조절장치-2

그림 2. 모형수로의 수위조절 및 측정장치

표 2. 유량 및 하류단 수위 조건

구분	유량		하류수위조절		구분	유량		하류수위조절	
	모형 (/s)	원형 (m³/s)	모형 (cm)	원형 (m)		모형 (l/s)	원형 (m³/s)	모형 (cm)	원형 (m)
700-0	140	700	0	0	600-3	120	600	12	3
700-1	140	700	4	1	600-4	120	600	16	4
700-2	140	700	8	2	600-5	120	600	20	5
700-3	140	700	12	3	500-0	100	500	0	0
700-4	140	700	16	4	500-1	100	500	4	1
700-5	140	700	20	5	500-2	100	500	8	2
600-0	120	600	0	0	500-3	100	500	12	3
600-1	120	600	4	1	500-4	100	500	16	4
600-2	120	600	8	2	500-5	100	500	20	5



그림 3. 실험 진행 흐름도

3. 실험결과

3.1 만곡부의 수위분포

본 실험에서 취득한 자료는 모두 원형으로 환산하여 분석하였다. 그림 4는 만곡부내 외측제방의 흐름방향 수위분포를 보여준다. 유량 500m³/s(실험유량 100 /s)의 경우 하류부 수위조건이 0-2m에서는 흐름을 따라 단면별로 비슷한 수위분포양상을 보이고 있으나, 하류부 수위조건이 3m이상에서는 8단면과 9단면에서 수위가 증가하는 모습을 보이고 그 이상의 조건에서는 만곡부 전체에서 수위가 높아지는 양상을 나타낸다.

또한 유량 700m³/s(실험유량 140 /s)에서는 하류부 수위조건이 4m이상에서 하류측 수위가 급격히 증가하는 변화를 보이기 시작한다.

그림 5는 만곡수로에서 대체로 가장 높은 수위를 나타낸 단면번호 4의 하류수위조건에 따른 횡방향 수면경사를 도시하였다. 이 단면에서 횡방향 수면경사는 유량 변화보다는 하류부 수위조건에 따라 보다 민감하게 변하는 것을 알 수 있다. 특히 하류부 수위조건이 5m에서는 수위조건뿐만 아니라 유량의 변화에 대해서도 수면경사가 크게 변화하는 모습을 볼 수 있는데 이는 하류부 수위조절 장치의 흐름저항으로 인해 발생하는 현상으로 판단된다.

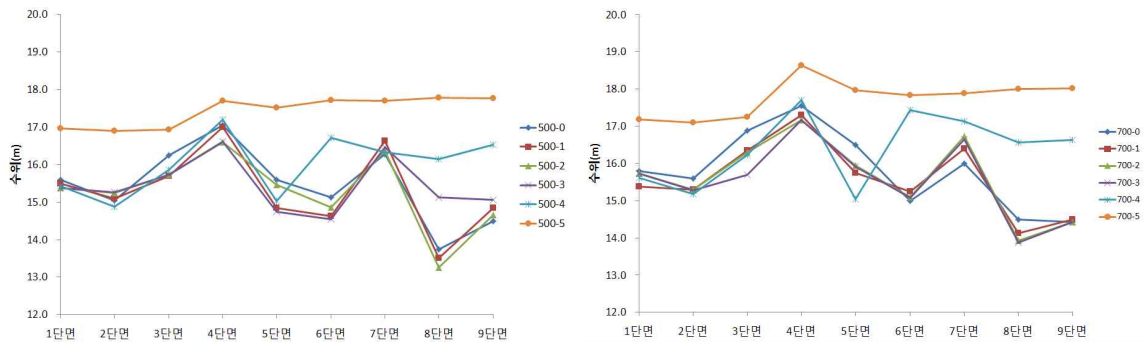


그림 4. 흐름방향 수위분포(좌안외측)

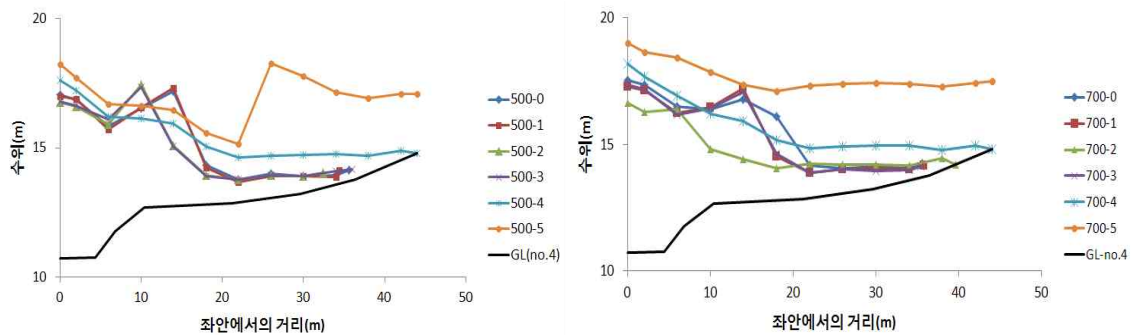


그림 5. 횡방향 수면경사(단면번호 4)

3.2 하류부 수위조건에 따른 편수위의 변화

하류수위 조건이 고수위보다 저수위일 때 만곡부 내의 편수위가 크게 발생하였다. 또한 하류부 수위 상승이 만곡부의 최대 편수위가 발생하는 위치에 변화를 초래할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 유량별 수위변화를 비교하기 위해서 최소유량과 최대유량에서의 편수위를 그림 6과 같이 함께 도시하였다. 만곡부 내의 최대 편수위는 유량의 크기에 관계없이 하류부 수위조절장치가 없는 경우에 발생하였다. 또한 편수위 변화는 유량보다 보다는 하류부 수위조절조건에 따라 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 최대 편수위는 대부분 만곡부 단면4에서 나타나지만 실험조건 500-5 사상에서는 단면 2에서 발생하였다.

표 3은 수위조절 전후의 최대 편수위 변화를 나타내었다. 전반적으로 수위조절하기 전의 최대 편수위 보다 설치 후의 편수위가 감소하는 경향이 보이고 있으며, 특히 원형수위가 5m에서는 약 50% 이상의 편수위 저감 효과가 나타났다. 또한 유량이 증가할수록 편수위가 줄어드는 효과도 동시에 커지고 있다. 하지만 원형수위 4m 사상에서는 오히려 편수위가 증가하였다. 따라서 만곡수층

부에서 유량과 하류수위의 변화가 편수위 변화에 상호작용하는 어떤 기작을 밝히기 위한 다양한 실험 및 분석적 연구를 수행하고자 한다.

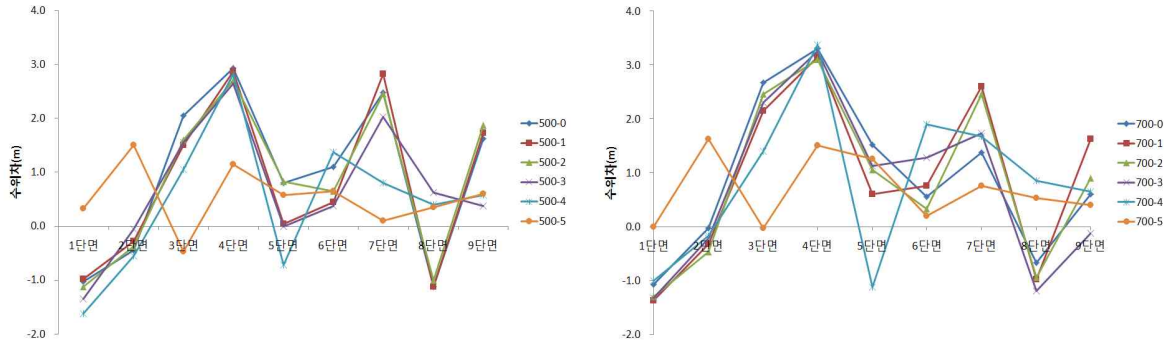


그림 6. 하류부 조건에 따른 단면별 편수위 변화

표 3 수위조절 전후의 최대 편수위 변화

유량 (m ³ /s)	하류단 수위조절 전 최대편수위 (m)	하류단 수위조절에 따른 최대 편수위 감소									
		1m		2m		3m		4m		5m	
		수위(m)	비율(%)	수위(m)	비율(%)	수위(m)	비율(%)	수위(m)	비율(%)	수위(m)	비율(%)
500	2.93	0.05	2	0.23	8	0.28	9	0.10	3	1.43	49
600	2.98	0.05	2	0.13	4	0.15	5	0.28	9	1.60	54
700	3.30	0.15	5	0.20	6	0.05	2	-0.08	-2	1.80	55

4. 결론

본 연구에서는 산지하천 만곡수충부에서 발생하는 편수위의 변화양상을 규명하기 위하여 유량과 하류부 수위에 따른 만곡부 횡방향 수면경사를 수리모형실험으로 조사하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

만곡수충부에서의 최대 편수위는 500m³/s에서 2.93m, 600m³/s에서 2.98m, 700m³/s에서 3.30m로 유량이 증가함에 따라 편수위 역시 증가하였다. 최대 편수위는 모든 유량에 대해서 하류단 수위 조절이 없을 때 발생하였으며 하류단 수위가 증가될수록 편수위는 감소하는 경향을 보였으며, 그 차이는 최대 1.80m가 되었다. 이는 만곡수충부 하류에 보와 같은 수위조절구조물에 의하여 수위가 상승될 경우 편수위가 감소될 수 있는 가능성을 나타낸다. 또한 하류수위가 상승하면 만곡부에서 최대 편수위가 발생하는 위치도 다소 이동하는 경향이 확인되었다. 향후 산지하천 만곡수충부에 대한 다양한 수리모형실험을 통해서 유량과 하류부 수위가 편수위에 미치는 상호작용 기작을 연구하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호# '08 지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부 (2006), 2006년도 홍수피해조사 보고서.
2. 박상덕 (2009), 산지하천 수충부의 공학적인 문제와 과제, Vol. 42 No.6, 물과 미래.

3. 한국수자원학회 (2009), 하천설계기준·해설, (주)건설교통저널.
4. A. A. Akhtari, J.Abrishami and M.B. Sharifi (2009). Experimental Investigations Water Surface Characteristics in Strongly-Curved Open Channels, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, 91775-1111, Iran.
5. Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill..
6. Rozovskii, I.L. (1957), Flow of water in bends of open channel. Academy of sciences of the Ukrainian SSR, Kiev, Israel Program for scientific Translation, Jerusalem.