

산지하천 만곡수층부 수리모형실험

Hydraulic Experiments for Flow Impingement in Mountainous Meandering River

박상덕*, 이승규**, 김건태***, 김호섭****, 신승숙*****

Sang Deog Park, Seung Kyu Lee, Gun Tae Kim, Ho Seop Kim, Seung Sook Shin

요 지

본 연구에서는 산지하천 만곡수층부의 특성을 파악하기 위한 기초연구로서 홍수사상 발생 시 산지하천 만곡수층부 외측의 수위 상승효과를 확인하고자 하였다. 만곡수층부 모형을 제작하기 위하여 강원지역 지방하천에서 만곡수층부의 형태학적인 특성조사를 통한 대표 산지하천 만곡수층부 조건을 설정하였다. 수리모형실험을 위해 왜곡도 1.6의 고정상 만곡수층부 개수로 모형을 제작하여 유량에 따른 수층부의 수위상승을 조사하였다.

유량 $700m^3/s$ 에서 최대 $3.150m$ 의 편수위 상승이 발생하였고 유량에 따라 약간의 상이한 결과가 발생하였다.

핵심용어 : 만곡수층부, 수리모형실험, 산지하천, 수위, 유속

1. 서 론

지금까지의 홍수위 산정은 주로 직선하천으로 가정하거나 평균수위를 가지고 분석하여 왔다. 하지만 현재는 우리나라 대부분의 하천이 사행하천으로 이루어져 있는 것을 고려하여 홍수 시 급격하게 증가하는 유량에 의해 만곡부 외측, 즉 수층부에서 편수위의 발생으로 일어나는 피해들을 방지하기 위하여 만곡부에서 발생하는 홍수위를 산정하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 하천설계기준(2009)에 의하면 하도계획 계획홍수위 결정시에 만곡수층부의 계획홍수위를 고려하여 산정식을 제시하고 있다. 하지만 산지하천 만곡수층부 홍수위 변동 흔적조사 결과 하천설계기준의 만곡부 영향을 고려한 계획홍수위는 실제 편수위차를 반영하지 못하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 강원지역에서 빈번히 발생하는 산지하천의 홍수피해를 방지하기 위하여 본 연구에서는 산지하천의 특성을 조사하고 홍수시 홍수위와 편수위 추정기법을 예측하여 산지하천 시설물의 안전설계 기법을 제시하는데 기반을 구축할 것이다.

2. 수리모형실험의 상사율 및 실험조건

2.1 상사율

수리모형(hydraulic model)은 실지 수공구조물의 규모가 일반적으로 크기 때문에 일정한 축척으로 축소하여 만들어지게 되면 더욱이 수류의 현상이나 수류가 미치는 힘들도 실물에서 발생하는 경우와 같게 축소된 상태로 수리모형에 나타나도록되어야 할 것이다.

이와 같이 실물과 수리모형 사이에서 발생하는 기하학적인 양, 운동학적인 양 및 역학적인 양의 상사성이 만족되도록 유도되어 알려져 있는 법칙이 곧 수류의 상사칙이며 일명 상사률(similarity rule)이라고 부른다.

상사률에는 기하학적인 상사률, 즉 축척(대응점간의 길이의 비 $L_r = L_m/L_p$)이 있으며 운동학적인 상사률(길이비 L_r 과 시간비 T_r 로 표시됨)과 역학적인 상사률(길이비 L_r , 시간비 T_r , 그리고 유체의 밀도비 ρ_r 로 표시됨)이 있다.

하천과 같이 자유수면을 갖는 흐름은 중력에 의해 지배되어 Froude 상사법칙이 적용되는데 원형과 모형사이에는 다음 식(2.1)과 같은 Froude 상사가 적용된다.

$$F_r = \frac{V_r}{\sqrt{g_r Y_r}} = 1 \tag{2.1}$$

2.2 실험조건

수공구조물은 대체로 규모가 크기 때문에 적당한 크기로 규모를 축소한 모형을 사용하여 실험을 하게 된다. 모형의 축척은 수평축척과 연직축척이 동일한 축척의 정형모형(undistorted model)과 서로 상이한 왜곡모형(distorted model)으로 구분되며, 일반적으로 동일축척의 모형을 사용하는 것이 바람직하지만 모형의 크기, 실험설비의 능력(실험실 면적, 공급가능 유량)등을 종합적으로 고려하여 제작하는 것이 바람직하다. 특히 왜곡모형에서 왜곡도는 수평축척과 연직축척의 비를 나타내는 것으로 너무 크지 않아야 한다. 만약 왜곡도가 지나치게 큰 경우에는 하천 사행부의 흐름과 같은 곡선흐름에서 유속 및 압력분포를 심각하게 변형시킬 우려가 있다.

본 연구에서 모형상사는 1/40의 축척에 대하여 모형에서 측정을 위한 최소한의 수심을 유지하기 위하여 왜곡도를 1.6으로 하여 수심방향 축척은 1/25로 모형을 제작하여 식 (2.1)에 따라서 <표 1>와 같이 제원을 만들었다.

표 1. 상사율 제원

수리량	상사율	환산계수	실험수리량	모형조건	비고
수평	X_r	40	하폭(cm)	100	
연직	Y_r	25	홍수수심(cm)	12	왜곡도1.6
유속	$Y_r^{1/2}$	5.0	실험유속	1.167	
유량	$X_r Y_r^{3/2}$	5000.0	유량(l/s)	140, 120, 100	
경사	$X_r^{-1} Y_r$	0.6	경사	0.02	
조도계수	$X_r^{-1} Y_r^{2/3}$	0.2137	조도계수	0.0524	

3. 실험시설

산지하천 수충부의 수위상승에 관한 수리특성을 알아보기 위하여 모형수로에서 실험을 수행하

었다. <그림 1>과 같이 강릉원주대학교 하천실험실 내에 상류부 직선수로 길이 5m, 만곡수층부 길이 5.67m(내측수로, 반경 2.6m)와 7.2m(외측수로, 반경 3.3m), 하류부 직선수로 길이 2.5m인 수로를 제작하여 고정상수로 실험을 실시하였다.



그림 1. 수리모형실험 시설

실험에 이용된 모형은 두 대의 펌프에서 최대 $0.18m^3/s$ 의 유량을 공급할 수 있도록 하였다. 실외 저류조에서 펌핑된 유량은 실내 월류수조로 공급되어 월류수조에서 일정수두를 유지하면서 자연유하 되도록 하고 유량 조절은 펌프의 밸브조절 및 월류수조의 밸브를 이용하였다. 월류수조에는 월류판 1개를 설치하였고 모형수로의 최상류부분 상단에 설치되어 있으며, 유량 공급조에서 모형으로 유입되는 유량은 월류수조에 설치된 삼각위어를 통해 측정하며 검정을 통해 유량계수를 산정한 후 식(2.2)에 제시된 유량관계식에 따라 공급되는 유량을 계산하였다. 월류수조를 지나 유량이 정류상태로 유입되도록 하기 위해 안정화 수조에 정류판을 설치하여 안정된 유량이 유입되도록 하였다.

$$Q = 621.34h^{6.9815} \quad (2.2)$$

여기서, Q : 삼각위어를 통한 유입유량(l/s)

h : 위어 월류수심(m)

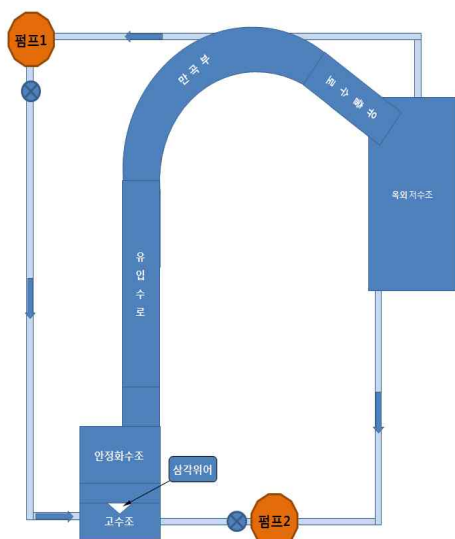


그림 2. 물 순환 모식도

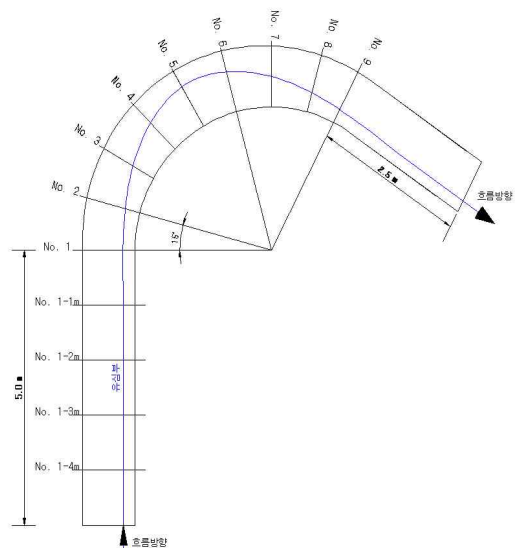


그림 3. 실험수로 측정 단면도

표 2. 모형수로의 형상 조건

구분	원형(m)	모형(cm)	비고	
접근수로길이	200	500	고정	
유출수로길이	100	250	고정	
내측곡률반경	104	260	1단계고정	
외측곡률반경	132	330	1단계고정	
하폭	40.0	100	1단계고정	
중앙폭	46.0	115	1단계고정	
내측곡률반경	104	260.0	1단계고정	
외측곡률반경	132	330.0	1단계고정	
곡률반경비	0.788	0.788	1단계고정	
만곡중심각(deg)	125°	125°	1단계고정	
만곡중앙의 유심부 내측거리	33	83	변수	
내측호의길이	227	567	1단계고정	
외측호의길이	288	720	1단계고정	
무차원곡률반경(내측)	2.6	2.6	1단계고정	
무차원곡률반경(외측)	3.3	3.3	1단계고정	
만곡부형상			변수	
하상경사	접근부	0.0018	0.02	변수
	만곡부			1단계고정
	출구부			1단계고정

모형수로의 측정단면은 <그림 3>에서 보듯이 만곡부가 시작되는 단면 1로부터 중심각 15°간격으로 9개(No.1 ~ No.9)의 측정단면을 설치하여 각 단면별 측정은 실험 수로의 외측에서부터 10cm 간격으로 수심을 측정하였다.

4. 수리모형실험 결과 및 분석

수위 변화율은 모형수로에 유량을 $500m^3/s$, $600m^3/s$, $700m^3/s$ 로 변화시키면서 각 단면별로 수위 변화율을 검토하였다.

<표 5>은 유량의 크기에 따라 측정한 결과이고, 이 자료를 나타낸 결과는 <그림 6>과 같이 나타났는데, 최대 편수위 차는 단면번호 4(만곡각 45°)에서 유량의 크기에 따라 1.475m ~ 3.150m까지 나타났다. 만곡부 진입 직후인 단면번호 1(만곡각 0°)에서 단면번호 2(만곡각 15°)는 편수위가 내측수로의 수위가 높아지는 수면의 역경사로 진행되면서 점차 안정이 되었고, 단면번호 2를 지나 단면번호 4(만곡각 45°)에 이르러서는 최대 편수위가 나타났는데 이는 만곡수로의 직선유입부에서 유입된 유수력이 계속 직선운동을 하려는 성질로 인한 것이라 판단된다. 이 힘은 만곡각이 급격히 커지면서 외측수로에 충격을 가해 외측수로의 수위가 급상승하여 편수위가 최대로 발생하는 것으로 사료되며, 이 후 외측 수로에 가해진 유수력은 내측수로에 전달되어 단면번호 5(만곡각 75°)에서 나타난 것과 같이 편수위 차는 작아지고 적은 유량($500m^3/s$)에서는 다시 역경사가 발생하는 것을 볼 수 있다. 유량의 변화에 따른 편수위 상승량은 유량이 증가할수록 편수위 상승량도 대체로 증가하였으며, 단면번호 4에 이르러서는 급격한 상승을 보이고 있다. 여기서 증가폭은 $500m^3/s$ 와 $600m^3/s$ 는 $600m^3/s$ 와 $700m^3/s$ 의 차이보다 두드러지게 많은 차이가 나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 외측수로에 가해지는 유수력이 일정 수준이상이 되면 편수위차는 급격하게 크게 발

생한다는 것으로 사료된다.

<그림 7>은 각 단면별 유수단면적 변화량이다. 유수단면적은 하류로 갈 수록 증가하는 경향을 보이며, 편수위가 급격하게 증가하는 지점(단면번호 4, 단면번호 7)에서는 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

표 5. 유량에 따른 단면별 편수위 상승

단면 번호	만곡 각도(°)	유량별 내외측간 수위차(m)		
		500(m^3/s)	600(m^3/s)	700(m^3/s)
No.1	0	-1.275	-1.175	-1.250
No.2	15	-0.200	-0.325	-0.200
No.3	30	0.925	1.250	1.575
No.4	45	1.475	2.875	3.150
No.5	60	-0.625	0.675	1.250
No.6	75	-0.550	0.625	0.800
No.7	90	2.175	1.950	2.100
No.8	105	-1.375	-1.225	-1.025
No.9	117	1.050	0.925	0.625



그림 5. 만곡부 흐름 (좌로부터 500 m^3/s , 600 m^3/s , 700 m^3/s)

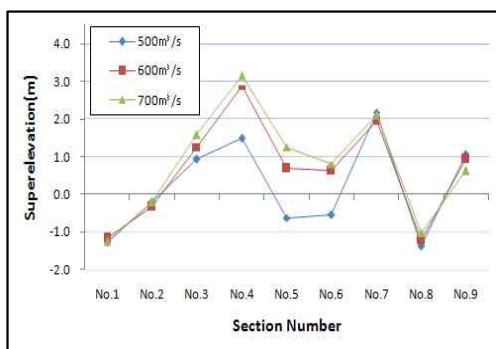


그림 6. 단면별 편수위 변화 비교

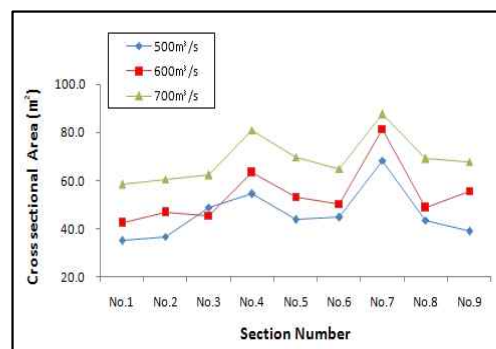


그림 7. 단면별 유수단면적 변화 비교

5. 결 론

본 연구에서는 산지하천 만곡수충부에서 발생하는 홍수시 수위상승에 관한 수리특성을 파악하기 위한 일환으로 만곡수충부 내·외측 제방에서 발생하는 편수위에 대하여 모형수로를 제작하여

수리모형실험을 한 결과 최대 편수위는 대부분 단면번호 4번에서 최대를 보였지만 유량 $500m^3/s$ 에서는 단면번호 7번에서 최대 편수위 상승을 보였다. 유량 $600m^3/s$, $700m^3/s$ 과 유량 $500m^3/s$ 는 비교적 비슷한 결과를 보이지만 일정구간(단면번호4 ~ 단면번호7)에서 $600m^3/s$, $700m^3/s$ 유량은 지속적인 정상 경사를 볼 수 있지만 $500m^3/s$ 유량은 역경사를 보임으로써 약간 상이한 결과를 보여준다.

또한, 유수단면적은 하류로 향할수록 점차 커지는 형상을 보이거나 편수위 상승이 큰 단면(단면번호 4, 단면번호 7)에서는 급격하게 유수단면적이 증가하는 경향을 보인다.

하지만 이러한 문제들은 향후 수로경사, 만곡수충부의 형상, 조도계수, 지점유속과 하상변동 등과의 관계를 지속적으로 연구하여 다양한 실험결과를 수집하면 좀 더 적극적이고 정확한 분석을 할 수 있을 것이라 사료된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호# '08 지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이원환(1997). 수리학, 문운당.
2. 차영기, 김이현(2002). 만곡하천에서 수공구조물에 의한 하천범람 예방, 대한토목학회 논문집, 제22권 제3-B호, pp. 341-351.
3. ASCE, Hydraulic Modeling, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 97.