

# 하천의 식생복원에 따른 홍수위 안정성 검토

## Stability Evaluation of Flood Stage with Vegetation River Restoration

김병찬\*, 송중근\*\*, 김민정\*\*\*, 이종석\*\*\*\*

Byeong Chan Kim, Joong Geun Song, Min Jeong Kim, Jong Seok Lee

### 요 지

최근 우리나라는 선진 외국과 같이 하천자연환경 보전에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 하천은 단순한 치수 및 이수 뿐만 아니라 다양한 자연 그대로의 환경적 잠재기능을 복원하는 방향으로 전환되고 있다. 하천복원은 하도내 식생, 여울과 소, 기타 국부적인 자연 서식처를 제공하기 때문에 하천단면 축소, 하천식생에 의한 흐름과 조도 변화 및 하상의 변동으로 인하여 홍수해가 발생할 것이라는 역기능도 발생시킨다. 본 연구에서는 수위-유량자료가 부족한 하천 유역을 대상으로 생태공학적인 접근을 고려한 식생 설치를 상정하여 하천의 식생복원에 따른 홍수위 안정성 검토를 실시하였다. 이를 위해, HEC-RAS를 이용하여 수리학적 요소들을 산출하고, 도출된 값들을 연직 2차원 수리해석에 입력하는 방법을 사용하여 대상구간의 식생 전·후 홍수위를 산정하였다. 그 결과, 식생전·후의 수위차는 0.00 ~ 1.25m로 계산되어 식생으로 인해 최고 1.25m의 수위 상승 효과가 발생하였다. 가용할 자료가 부족한 하천의 식생복원에 따른 수리안정성 검토시 위 두 방법을 연계·이용한다면 하천복원 전후의 수리특성 변화를 정확히 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 식생복원, 수리안정성, 홍수위, HEC-RAS, 연직 2차원 수리해석

### 1. 서 론

최근의 우리나라는 선진 외국과 같이 하천자연환경 보전에 대한 관심이 증가하고 있다. 이는 하천의 단순한 역할인 이·치수에서 벗어나 훼손된 하천의 생물서식처, 경관과 친수성 등 환경적 기능을 되살리기 위해 하도와 하천변을 원래의 자연 상태에 가깝게 되돌리려는 노력의 일환이다. 이러한 노력은 하천복원 사업에도 영향을 끼쳐 자연환경과의 조화를 위해 수변에 식생 설치를 반영하고 있다. 하도내 식생은 경관이나 기능적으로 매우 중요한 항목으로 인정받고 있으나 통수단면적을 줄여줄게 하고, 하천의 흐름 저항 증가로 인해 유속이 감소하며, 이에 따라 수위가 상승하여 홍수시에는 홍수해가 발생할 것이라는 염려도 대두되고 있다. 이렇듯 치수적인 측면에서 부정적인 역할을 하기도 하는 하도내 식생은 하도형상 변화, 조도변화 등의 많은 연구가 필요한 실정이다(김병찬 등, 2008).

본 연구는 우리나라의 하천복원 성공사례로 손꼽히고 있는 양재천 유역을 대상으로 하천 복원

\* 정회원·국립한밭대학교 토목공학과 겸임교수E-mail : bckim777@naver.com  
\*\* 국립한밭대학교 토목공학과 석사과정E-mail : deux4ever-s@hanmail.net  
\*\*\* 국립한밭대학교 토목공학과 석사과정E-mail : tlata369@nate.com  
\*\*\*\* 정회원·국립한밭대학교 토목공학과 교수E-mail : ljs96@hanbat.ac.kr

전·후의 홍수위 분석을 하는 것이 목적이다. 생태하천으로 거듭나고 있는 양재천은 하천복원으로 인해 수리학적 요소가 급변하였고, 식생 설치에 하천 조도계수를 변화시켰지만, 수위-유량자료가 부재하여 수리안정성 검토를 위한 자료가 부족한 상태이다. 이를 해결하기 위해 HEC-RAS를 이용하여 연구 대상 하천의 수리학적 특성들을 도출한 후, 연직 2차원 수리해석을 통해 하천복원 전·후의 조도계수, 유속, 유량, 그리고 수위상승을 분석하였다.

## 2. 연직 2차원 수리해석(Manning 공식 이용법)

### 2.1 식생이 없는 경우

복합단면을 지닌 수로에서는 하상 형태에 의한 흐름저항을 고려하기 위해서 주수로( $A_M$ )와 고수부지(좌측단면:  $A_L$ , 우측단면:  $A_R$ )를 분할하여 각 단면의 유속을 계산하고 유량을 구한다(그림 1 참조). 이 때 분할된 단면은 가상의 벽으로 간주하고, 주수로의 유속을 계산할 때는 이 가상의 벽을 윤변( $P$ )에 포함시켜서 동수반경을 계산하며, 고수부지의 유속을 계산할 때에는 이 가상의 벽을 윤변에 포함시키지 않는다(건설교통부, 2007).

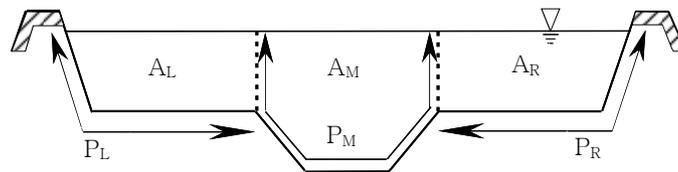


그림 1. 수로의 단면분할 가정

그림 1에서 유량 산정시 계산되는 유속은 식 (1)과 같이 Manning-Strickler의 공식으로부터 구할 수 있다(Schneider, 1992).

$$Q = v_L A_L + v_M A_M + v_R A_R, \quad v = \alpha k_{st} R^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는 하천조건을 고려한 보정계수,  $k_{st}$ 는 Manning-Strickler 상수, 그리고  $R$ 은 동수반경이다.

### 2.2 식생이 있는 경우

하도에 식생이 있는 경우에는 크게 주수로를 포함한 통수단면 전체에 나무가 있는 경우, 고수부지 중 좌·우측 어느 한쪽에 나무가 있는 경우, 그리고 주수로를 제외한 고수부지 양측 모두에 나무가 있는 경우로 나눌 수 있다.

식생의 영향을 고려한 수리계산은 Chezy 공식을 이용하며, Chezy 계수를 Darcy-Weisbach의 마찰손실계수를 이용, 변환하여 나무로 인한 흐름저항을 고려한다(건설교통부, 2007).

## 3. 연구대상지역

### 3.1 유역의 특성

연구대상 지역인 양재천은 한강의 제 1지류인 탄천의 제 1지류로서 경기도 과천시 청계산에서

발원하여 서울시를 북동쪽으로 유하하여 탄천에 합류하는 하천이다. 양재천은 하구를 기준으로 유역면적 56.80km<sup>2</sup>, 하천연장은 8.28km, 유로연장이 16.60km인 지방2급 하천으로 하폭은 약 34~200m 내외이며, 하상경사는 1/3,606 ~ 1/165로 상류를 제외하면 비교적 완만한 편이다(서울특별시, 2005).

### 3.2 홍수량 산정

기존 문헌을 참고하여 대상 지역의 홍수량 산정을 위해 소유역 분할을 하였다. 연구대상 구간은 12개의 소유역으로 나뉘었으며, 그에 따른 빈도별 홍수량은 표 1에 나타내었다(서울특별시, 2005). 지방 2급 하천일 경우, 일반적으로 50~100년 빈도의 홍수량을 이용하므로 본 연구에서는 Clark 방법으로 구한 50년 빈도 홍수량을 기본 및 계획홍수량으로 선택하였다.

표 1. 소유역·빈도별 홍수량 및 계획홍수량

소유역	유역면적 (km <sup>2</sup> )	빈도(년)	산정방법별 홍수량(m <sup>3</sup> /sec)				
			Clark	SCS	합리식	SWMM	ILLUDAS
양재천 하구	56.80	50	605	733	660	645	593
		100	692	839	727	726	669
영동5교 인근	55.06	50	596	723	683	627	588
		100	681	829	754	707	665
경남APT쪽 합류후	54.24	50	586	713	709	626	578
		100	671	819	783	708	653
경남APT쪽 합류전	52.12	50	565	689	680	601	561
		100	646	791	751	684	636
철홍빌딩쪽 합류후	51.78	50	561	687	704	600	555
		100	642	789	778	685	631
철홍빌딩쪽 합류전	50.68	50	551	675	687	587	555
		100	631	776	759	672	630
대성주차장 합류후	50.59	50	551	677	714	589	550
		100	630	778	790	677	625
대성주차장 합류전	49.39	50	538	662	696	571	535
		100	616	761	770	659	611
매현교쪽 합류후	49.32	50	538	662	713	571	534
		100	615	762	789	659	610
매현교쪽 합류전	36.78	50	391	496	527	570	544
		100	447	571	583	658	621
청소년 문화회관점	34.87	50	371	477	531	543	539
		100	424	548	589	634	614
연구대상 시작점	28.21	50	297	386	497	446	437
		100	339	444	552	533	497

### 3.3 입력자료

연직 2차원 수리해석에 사용될 자료는 하천 단면, 윤변, 동수반경, 하상경사, 식생 밀도 그리고 나무직경 등이 필요하다. 이 중 하천 단면과 같은 수리학적 요소는 HEC-RAS를 이용하여 산출하였고, 식생밀도와 나무직경은 양재천 중·하류 7곳에서 버드나무, 뽕나무, 능수버들과 같은 교목과 갯버들, 키버들 같은 관목을 직접 조사하였다. 그 결과, 교목은 평균 직경 12.2cm, 7.1개/100m<sup>2</sup>, 관목은 평균 직경 1.5cm, 117개/100m<sup>2</sup>로 관측되었다.

표 2는 수리계산을 위한 입력자료를 정리하여 나타냈다.

### 3.4 수리계산 결과

표 1에서 언급한 50년 빈도의 계획홍수량과 HEC-RAS를 이용하여 도출된 표 2의 수리학적

요소들을 연직 2차원 수리해석에 입력하여 홍수위 계산을 실시하였다.

표 2. 수리계산을 위한 입력자료

No.	항목	좌측단면	주수로	우측단면	No.	항목	좌측단면	주수로	우측단면
107	단면 (m <sup>2</sup> )	63.72	85.91	67.47	103	단면 (m <sup>2</sup> )	62.93	69.96	99.28
	윤변 (m)	23.93	18.44	23.01		윤변 (m)	26.86	16.59	33.14
	동수반경 (m)	2.66	4.66	2.93		동수반경 (m)	2.43	4.22	3.00
	하상경사	≒ 0.0001				하상경사	≒ 0.0027		
100	단면 (m <sup>2</sup> )	68.31	65.02	66.60	94	단면 (m <sup>2</sup> )	86.34	67.94	91.83
	윤변 (m)	28.32	16.14	29.55		윤변 (m)	40.09	19.83	40.47
	동수반경 (m)	2.41	4.03	2.25		동수반경 (m)	2.15	3.43	2.27
	하상경사	≒ 0.0001				하상경사	≒ 0.0056		
79	단면 (m <sup>2</sup> )	160.13	112.53	148.89	76	단면 (m <sup>2</sup> )	141.12	144.40	158.91
	윤변 (m)	38.13	16.90	33.56		윤변 (m)	33.09	19.83	33.74
	동수반경 (m)	4.20	6.66	4.44		동수반경 (m)	4.27	7.28	4.71
	하상경사	≒ 0.0025				하상경사	≒ 0.0034		
67	단면 (m <sup>2</sup> )	169.83	184.17	213.51	55	단면 (m <sup>2</sup> )	237.84	206.67	222.08
	윤변 (m)	33.75	21.81	40.52		윤변 (m)	39.36	22.04	37.68
	동수반경 (m)	5.03	8.44	5.27		동수반경 (m)	6.04	9.38	5.89
	하상경사	≒ 0.0002				하상경사	≒ 0.0017		
40	단면 (m <sup>2</sup> )	240.37	222.23	300.34	28	단면 (m <sup>2</sup> )	247.08	234.12	301.51
	윤변 (m)	38.54	22.27	46.19		윤변 (m)	37.88	21.01	44.50
	동수반경 (m)	6.24	9.98	6.50		동수반경 (m)	6.52	11.14	6.78
	하상경사	≒ 0.0015				하상경사	≒ 0.0012		
15	단면 (m <sup>2</sup> )	212.17	273.85	291.80	5	단면 (m <sup>2</sup> )	239.89	309.63	295.20
	윤변 (m)	37.89	24.55	44.31		윤변 (m)	38.40	27.05	46.73
	동수반경 (m)	5.60	11.15	6.59		동수반경 (m)	6.25	11.45	6.32
	하상경사	≒ 0.0001				하상경사	≒ 0.0001		

표 3. 식생전·후의 단면별 수리계산 결과

홍수위	하천단면 No.	조건	조도계수 (n)		유속 (m)		유량 (m <sup>3</sup> /sec)	수위 (EL. m)	수위차 (m)
			좌측-주수로-우측	좌측-주수로-우측	좌측-주수로-우측	좌측-주수로-우측			
기점 홍수위 18.01m	107	식생전	0.031-0.040-0.031	2.33-2.70-2.51	144.31	19.16	0.86		
		식생후	0.288-0.094-0.305	0.88-3.83-0.88	108.30	20.02			
	103	식생전	0.031-0.040-0.031	2.03-2.38-2.38	770.05	18.91	0.80		
		식생후	0.051-0.018-0.060	0.97-3.90-0.96	493.94	19.71			
	100	식생전	0.031-0.040-0.031	2.31-2.51-2.21	117.91	18.69	0.88		
		식생후	0.272-0.090-0.262	0.85-3.46-0.61	85.74	19.57			
	94	식생전	0.031-0.040-0.031	1.75-1.82-1.77	1,016.54	18.44	1.06		
		식생후	0.034-0.011-0.035	0.73-3.04-0.72	737.42	19.50			
	79	식생전	0.031-0.040-0.031	1.25-1.30-1.27	1,820.12	18.22	1.24		
		식생후	0.076-0.028-0.079	0.62-2.26-0.57	792.63	19.46			
	76	식생전	0.031-0.040-0.031	1.17-1.27-1.21	2,332.22	18.19	1.25		
		식생후	0.066-0.023-0.070	0.52-2.07-0.50	1,138.61	19.44			
	67	식생전	0.031-0.040-0.031	0.93-1.03-0.96	687.35	18.16	1.17		
		식생후	0.348-0.114-0.358	0.41-1.75-0.41	313.35	19.33			
	55	식생전	0.031-0.040-0.031	0.83-0.87-0.81	2,986.20	18.12	1.00		
		식생후	0.115-0.038-0.114	0.38-1.55-0.38	1,180.66	19.12			
	40	식생전	0.031-0.040-0.031	0.75-0.80-0.77	3,325.85	18.09	0.92		
		식생후	0.126-0.043-0.130	0.37-1.50-0.37	1,224.10	19.01			
	28	식생전	0.031-0.040-0.031	0.73-0.82-0.75	3,118.90	18.06	0.83		
		식생후	0.148-0.055-0.150	0.36-1.48-0.38	1,083.47	18.89			
15	식생전	0.031-0.040-0.031	0.69-0.85-0.77	890.07	18.03	0.50			
	식생후	0.456-0.159-0.506	0.33-1.49-0.33	382.38	18.53				
5	식생전	0.031-0.040-0.031	0.67-0.79-0.68	1,772.39	18.01	0.00			
	식생후	0.271-0.084-0.273	0.30-1.44-0.30	801.23	18.01				

각 단면의 계획홍수위는 No. 107은 19.44m, No. 103은 19.06m, No. 100은 18.46m이고, 나머지 단면은 18.01m이다.

표 3에 나타냈듯이 식생전 조도계수는 좌측수로, 주수로, 우측수로의 값이 0.031-0.040-0.031로 계산되었고, 식생후 조도계수는 좌측수로 0.034~0.456, 주수로 0.011~0.159, 그리고 우측수로 0.035~0.506으로 계산되어 No. 94에서 최저, No. 15에서 최고치를 나타냈다. 식생 후의 각 단면별 유속은 조도계수의 증가로 인해 상대적으로 크게 낮아져 전반적으로 0.30~3.90m/s로 계산되었다. 계산된 조도계수, 유속을 이용하여 수위를 산정한 결과, 식생 전·후의 수위차는 0.00~1.25m로 식생설치로 인한 수위상승은 No. 76에서 최고 1.25m 상승하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 수위-유량자료가 부족한 양재천 중하류 구간을 대상으로 생태공학적 접근을 고려한 식생 설치를 상정하여 하천의 식생복원에 따른 홍수위 안정성 검토를 실시하였다. 1차원 수리모형인 HEC-RAS를 이용하여 윤변, 동수경사, 하상경사 등의 수리학적 요소들을 산출하고, 이를 연직 2차원 수리해석에 입력하여 양재천 중·하류구간의 식생 전·후 홍수위를 산정하였다. 그 결과, 식생 전·후의 수위차는 0.00~1.25m로 식생설치로 인한 수위상승은 No. 76에서 최고 1.25m 상승한 것으로 산정되었다.

이렇듯 가용할 자료가 부족한 하천의 식생복원에 따른 수리안정성 검토시 위 두 방법을 연계·이용한다면 하천복원 전후의 수리특성 변화를 정확히 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

이 연구는 국토해양부 건설기술혁신연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B01)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 김병찬, 윤성준, 김민정, 이종석(2008). 식생된 수로에서의 수위변화 분석, 2008 한국콘텐츠학회 춘계종합학술대회, pp. 780-783.
2. 건설교통부(2007). 하천에서 나무심기 및 관리에 관한 기준(안), pp. 47-76.
3. Schneider, Bautabellen(1992). Werner-verlag GmbH, pp. 13.18-13.27.
4. 서울특별시(2005). 대동천 등 7개 하천정비기본계획(대동천, 가오천, 화계천, 면목천, 전농천, 사당천, 양재천), pp. 3-11.