

하천유형별 식생모델의 홍수위 분석

Flood Stage Analysis on Vegetated Patterns with River Sites

이종석, 송중근
한밭대학교 토목공학과

Jong-Seok Lee(ljs96@hanbat.ac.kr), Joong-Geun Song(deux4ever-s@hanmail.net)

요약

본 연구는 하천유형별 식생모델의 계획 홍수위에 대한 1차원 HEC-RAS 및 2차원 RMA-2 수치모형을 이용하여 홍수위 안정성 검토를 수행하였다. 식생모델은 하천을 흐르는 수로구간이 사회·문화적으로 위치하는 중요도에 따라 도시·농촌·산지하천으로 구분해 구축하였다. 수치모형에 의한 홍수위 검토결과는 대상하천의 식생 전 홍수위는 각 하천의 계획홍수위와 비슷한 양상을 보였다. 또한 식생밀도를 변화시킨 도시하천의 경우는 식생밀도 25% 추가 시 홍수위 상승량은 약 0.20m 정도이나 제방월류는 나타나지 않았다. 농촌 및 산지하천의 경우에는 홍수위 상승량 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

■ 중심어 : | 식생모델 | 홍수위 분석 | 하천유형 | 계획홍수위 |

Abstract

This study carried out stability evaluation for design flood stage of vegetation models with river sites using 1D HEC-RAS and 2D RMA-2 numerical models. The vegetation models established in this study were divided into which channel reaches consist of urban, rural and mountain rivers with the social and cultural significance of the sites. Examination results from the numerical models showed a similar aspect with the design flood stage of these rivers before vegetation modeling. Also, no embankment overflow was shown from the urban river with additional vegetation density of 25%, although there were approximately 0.20m rising in the flood stage. In case of ural and mountain rivers, vegetation models showed scarce rising in flood stage.

■ keyword : | Vegetation Models | Flood Stage Analysis | River Sites | Design Flood Stage |

1. 서론

자연형 식생하천의 복원개념은 하천이 동식물들의 서식환경을 재현하고, 이수과 치수관리에 지장을 초래하지 않는 범위에서의 하천관리는 사람들에게 쾌적하고 친환경적인 수변공간을 제공하게 한다. 홍수관리 측면에서 식생은 하천의 흐름저항을 크게 하여 홍수 시

수위를 증가시키는 영향을 초래하게 된다. 식생으로 인해 발생된 흐름저항은 수리학적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 이때의 흐름특성을 파악하는 것은 수공 기술자로서 매우 중요한 일이다[5].

Thompson과 Robertson[15]은 운동량 방정식으로부터 유도되는 흐름저항 산정식을 회귀분석에 의해 유도하였다. Kouwen과 Li[12]는 개수로 실험 장치를 통해

대부분의 절차를 경험에 의존하여 차원해석을 하였고, Temple[14]은 식생이 없는 주수 로와 식생이 있는 홍수터의 복합조도를 산정하는 다양한 기법을 제안하고 비교하였다. Stone과 When[13]은 곧은 식생을 이용하여 운동량 방정식으로부터 유속공식의 유도과 개수로 흐름의 저항을 연구하였다. 양원준과 최성욱[4]은 수리실험을 통하여 항력가중계수 영향 분석 등 다양한 실험 방법을 이용하여 개수로내 흐름에 대한 영향 분석을 하였고, 하천시설기준[9]에 조도계수 산정 기준이 명시되어 있다.

본 연구에서는 하천이 위치하고 있는 수로구간을 흐르는 흐름의 사회·문화적인 중요성에 따라 하천유형을 도시하천, 농촌하천, 산지하천으로 구분하였다. 이들 하천은 현장 및 문헌조사를 통해 자연적으로 자생하고 있는 식생들의 종류와 분포밀도 등을 조사·분석하여 통수능에 장애가 되지 않는 현재 상태의 식생분포밀도를 가진 유형별 최적의 하천을 대조하천(reference stream)으로 하였다. 이는 식생밀도와 분포상태 등의 조건을 100%로 하고, 분포비율에 따른 조도계수의 상관분석을 통해 하천유형별로 식생모델을 구축하였다[6]. 또한 구축된 하천유형별 식생모델에 1차원 HEC-RAS 및 2차원 RMA-2 수치모델을 이용해 계획홍수위에 대한 수리학적 안정성을 검토·확보함으로써 자연형 하천복원과 식생하천복원의 지침작성에 활용할 수 있도록 하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. HEC-RAS 모형

HEC-RAS(River Analysis System) 모형은 미육군 공병단(USACE) 수문기술센터에서 개발한 1차원 정상부등류 해석 프로그램으로 널리 사용되었던 HEC-2의 윈도우용 버전이다. HEC-RAS 모형의 계산절차는 표준측차법을 이용한 Manning 공식에 의해 이루어지고, 마찰에 의한 손실 및 구조물의 영향분석을 수행할 수 있다[16]. 본 논문에서는 식생복원모델의 설치 전후에 대한 홍수위 검토를 위해 사용된다.

2. SMS 모형

SMS(Surfacewater Modeling System) 모형은 미국 Brigham Young 대학의 환경모형연구실과 미공병단내의 수로실험국(WES) 등에서 개발한 2차원 프로그램이다. 이는 GFGEN, RMA-2, RMA-4, SED -2D 등의 부모형으로 구성되어 있으며, 복잡한 흐름 문제를 효과적으로 모의할 수 있다[10]. 본 연구에서는 식생복원모델의 설치 전후에 대한 홍수위 검토 및 수리특성분석을 위해 사용된다.

3. 조도계수

3.1 일반적인 산정 방법

수위-유량자료를 이용하는 방법은 신뢰성이 높고, 비교적 정확한 조도계수를 산정할 수 있다. 실측된 수위-유량자료를 연속방정식이나 운동량방정식 등을 이용하여 해석적인 방법을 통해 주어진 유량에 대해 계산된 수위와 실측된 수위 차이가 최소가 되도록 최적의 조도계수를 산정하는 역산법이다. Chow[11]는 여러 가지 실험 자료와 관측 자료로부터 하도의 재료, 식생상태 등을 고려하여 개략적인 조도계수를 추정할 수 있도록 제시하였다.

3.2 식생영향 계산 방법

식생설치에 따른 수리학적 영향을 분석하기 위한 계산 방법에는 조도계수 이용 방법, 유속계산 방법 및 표준계산방법 등이 있다. 또한 다양한 하천식생은 기하학적 형태나 분포특성이 매우 상이하므로 흐름의 영향을 받아 발생하는 형태도 직립, 변형, 요동 등의 형태로 나타나는데, 식생에 의한 연직 2차원 흐름의 영향, 식생에 의한 수평 2차원 흐름의 영향 및 식생높이와 식생밀도를 수심의 함수로 식생의 흐름저항과 연관시킨 식생밀도법 등이 있다[6].

3.3 연직 2차원 모형

건설교통부[2]는 나무에 의한 수리학적 영향 검토 방법을 제시하였다. 그 중 연직 2차원 수리해석 방법에 의한 부등류 계산은 나무 군락의 영향을 1차원 및 수평 2

차원 수리해석에 의한 경우보다 비교적 간단히 계산할 수 있도록 제시하였다.

분할단면의 한 측면에 나무가 분포하고 나머지 측면에 수목이 없는 경우의 나무가 흐름에 미치는 영향을 고려하여 구한다. 나무에 의한 저항과 동수반경을 계산하여 나무가 없는 분할단면의 유속을 계산한다. 이 때 분할단면의 한쪽 측면에만 나무가 있을 경우와 분할단면의 양측에 수목이 분포할 경우에는 동수반경과 마찰계수를 각각 분리하여 계산한다[8]. 이렇게 구한 유량이 계획 홍수량보다 작으면 수위를 증가시켜 계획홍수량을 통과시킬 수 있을 때까지 반복 계산하게 된다.

III. 식생모델 및 수리학적 안정성

1. 하천유형별 식생모델

1.1 대상하천

도시하천인 양재천은 한강의 제1지류인 탄천의 지류로서 경기도 과천시 청계산에서 발원하여 서울시를 북동쪽으로 유하하여 탄천에 합류한다[3]. 본 연구에서는 양재천의 일부구간인 중·상류에 속하는 측점 No.136~No.125까지 약 500m구간으로 선정하였으며, 이 구간의 계획하폭은 약 50m이고 하상경사는 1/361로 전체유역에 비해 다소 큰 값을 갖는다.

농촌하천인 섬진강 본류는 전라북도 진안군 화암리에 위치한 팔공산에서 발원하여 외궁천, 달길천, 구신천, 임실천, 지장천이 합류된다[1]. 대상구간은 전북 순창군 동계면 구미리의 구미교 부근의 측점 No. 112+50~No.111+ 50까지 약 1km구간으로 하폭은 약 190~300m 정도이며, 하상경사는 1/2,000로 비교적 완만하다.

산지하천인 보흥천은 금강의 제1지류하천으로 충청남도 공주시 우성면 보흥리와 안양리의 경계봉우리 능선에서 발원하여 본류인 금강의 우안으로 유입된다[7]. 대상구간은 측점 No.5~No.9까지 약 400m 구간이며, 하상경사는 약1/5000로 완만한 값을 갖는다.

1.2 식생모델

도시하천으로 서울시 양재천의 우면교 부근 도시하

천 구간은 평수위 수로폭 약 20m, 평균수심이 약 0.5m이며, 홍수위는 수로폭 60m, 수심은 약 6m이다. 연구대상 구간의 복원모형의 표고 20~25m 지역엔 버드나무, 왕버들, 선버들, 참느릅나무 등 교목 및 아교목[표 1]이 설치되었다.

농촌하천으로 전북 순창군 동계면 구미리 구미교 부근 농촌하천 구간이며, 평수위의 수로폭은 약 30m, 평균수심이 약 1m이며, 홍수위는 수로폭 210 m, 수심은 약 7m이다. 연구대상 구간의 복원모형의 표고 90~95m 지역엔 들메나무, 고로쇠나무, 버드나무 등 교목 및 아교목[표 1]이 설치되었다.

산지하천으로 충남 공주시 우성면 제1보흥교 부근 실패천 구간으로 평수위의 수로폭은 약 4m, 평균수심이 약 0.5m이며, 홍수위는 수로폭 45m, 수심은 약 7m이다. 연구대상 구간의 복원모형의 표고 13~20m 지역엔 버드나무, 산뽕나무, 신나무 등 교목 및 아교목[표 1]이 설치되었다.

표 1. 하천유형별 식생모델의 특성

수종	하천			
	도시하천	농촌하천	산지하천	
수종별 밀도(100m ²)	교목	16.00	8.00	17.30
	관목	34.00	12.00	1.30
최대직경(cm)	교목	17.9	4.70	18.50
	관목	7.60	2.50	11.50
최소직경(cm)	교목	1.20	3.44	10.40
	관목	0.80	1.20	1.50
평균직경(cm)	교목	7.20	3.82	14.8
	관목	3.10	2.36	8.31

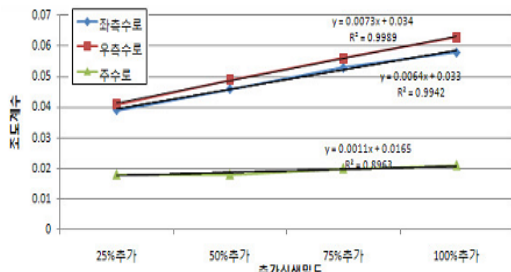
2. 경계조건 결정

2.1 조도계수

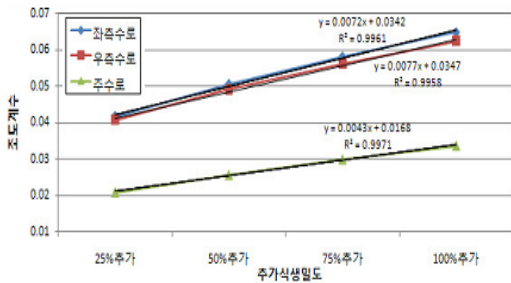
연직 2차원 수리해석에 사용될 자료는 하천단면, 유변, 동수반경, 하상경사, 식생밀도 및 나무직경 등이다. 이 중 하천단면 등과 같은 수리학적 요소는 HEC-RAS 모형에 의해 산출하였다. 홍수터 양안에는 버드나무와 왕버들 등의 교목은 식재하지 않고 갯버들, 뽕나무, 짚래꽃 등의 관목만을 식재하고, 식생의 직경은 관목의 평균직경을 사용하였다. 도시·농촌·산지하천의 식생 밀

도와 직경에 따른 조도계수 관계는 [그림 1]과 같으며, 이들 관계를 요약하면 [표 2]와 같다.

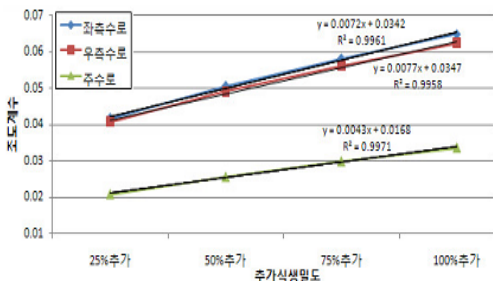
식생밀도는 [표 3]과 같이 현재의 식생에 100m²당 각각 25%, 50%, 75%, 100% 비율을 하천유형별로 증가시켜 각 밀도비율에 따른 조도계수의 증감을 식생추가 좌·우측수로와 식생이 없는 주수로로 분할하여 산정하였다. 그 결과 조도계수는 식생이 있는 좌·우수로는 증가하였고 주수로는 감소하였다.



(a) 도시하천



(b) 농촌하천



(c) 산지하천

그림 1. 식생밀도에 따른 하천유형별 조도계수

표 2. 식생밀도에 따른 하천유형별 조도계수

하천	조도계수 식생추가 (/100m ²)	조도계수		
		좌측수로	주수로	우측수로
도시하천	기존 조도계수	0.033	0.033	0.033
	25%(8.5그루)	0.039	0.018	0.041
	50%(17그루)	0.046	0.018	0.049
	75%(25.5그루)	0.053	0.019	0.056
	100%(34그루)	0.058	0.021	0.063
농촌하천	기존 조도계수	0.033	0.033	0.033
	25%(3그루)	0.033	0.021	0.033
	50%(6그루)	0.035	0.021	0.036
	75%(9그루)	0.038	0.021	0.038
	100%(12그루)	0.058	0.021	0.063
산지하천	기존 조도계수	0.036	0.036	0.036
	25%(4.33그루)	0.039	0.018	0.041
	50%(8.65그루)	0.046	0.018	0.049
	75%(12.98그루)	0.053	0.019	0.056
	100%(17.3그루)	0.058	0.021	0.063

2.2 경계조건

식생밀도에 따른 홍수위의 산정은 HEC-RAS와 RMA-2 모형을 이용하여 결정하였다. 수리학적 안정성 분석 시 사용되는 상류단 유량조건인 계획홍수량(m³/s)과 하류단 수위조건인 계획홍수위(EL.m)는 도시·농촌·산지하천의 경계조건 값은 50년 빈도의 506 m³/s와 20.86m, 100년 빈도의 2,440m³/s와 88.41m, 80년 빈도의 100m³/s와 17.38m가 각각 사용되었다[3][1][8].

2.3 지형자료의 구성

HEC-RAS 모형에 사용할 횡단자료는 하천기본계획의 측량자료를 사용하였다. 또한 RMA-2 모형에 사용할 지형자료의 구성은 하천기본계획의 종·횡단면 자료와 1:5,000 수치지도, 하천관리지리정보시스템의 자료를 이용하였다. 유한요소망은 GFGEN 프로그램을 통해 생성하였고 10회 이상의 모의과정과 구성된 유한요소망의 편집과정을 통해 수정 및 보완하여 결과 값의 정확도를 높이고자 하였다.

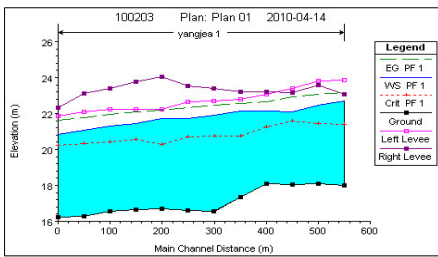
도시하천의 경우 요소의 평균크기를 3m×3m로 하여 12,919개의 절점과 3,199개의 요소로 구성하고, 요소는 140개의 삼각형 요소와 3,059개의 사각형 요소로 구성하였다. 농촌하천은 요소의 평균크기를 5m×5m로 하여 10,986개의 절점과 3,180개의 요소로 구성하고, 요소는 1,019개의 삼각형 요소와 2,161개의 사각형 요소로 구성하였고, 산지하천의 유한요소망은 평균크기를 3m×3m

로 하여 6,957개의 절점과 1,673개의 요소로 구성하고, 요소는 14개의 삼각형 요소와 1,654개의 사각형 요소로 구성하였다.

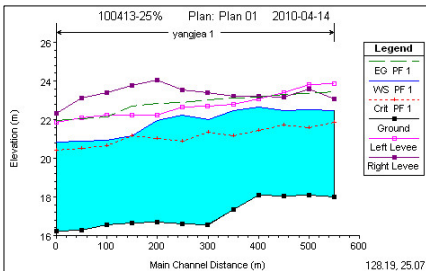
3. 수리학적 안정성 분석

3.1 도시하천

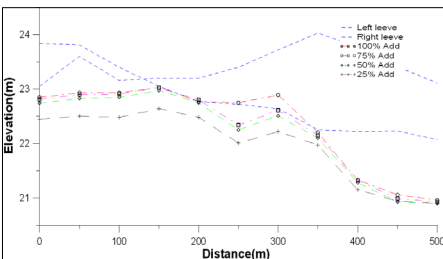
도시하천은 [표 1]의 식생밀도별 조도계수를 이용하여 식생모델의 수리특성을 HEC-RAS 모형으로 분석한 결과 [그림 2(a), (b)]와 같이 나타났고, 이는 식생모델의 25% 밀도추가 시 수위 상승량은 평균 0.19m로 제방의 월류는 없는 것으로 나타났다. 각 단면별로 추가 식생밀도에 따른 홍수위 변화는 RMA-2와 비교한 결과 [그림 2(c)]와 같이 나타났다.



(a) 식생 전 HEC-RAS



(b) 식생 후 HEC-RAS



(c) 밀도별 홍수위 RMA-2

그림 2. 도시하천 식생모델의 분석결과

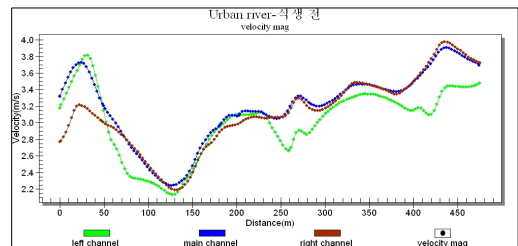
[그림 2(c)]는 RMA-2 모형에 의한 25%추가 식생에 따른 홍수위 산정 결과이다. 2차원 모형의 특성 상 각 요소별 수위 값이 다르므로 횡단면 홍수위를 좌·우측수로와 주수로로 나누어 평균값을 산정하였다. 식생 전·후의 홍수위 상승량은 평균 약 0.1m로 1차원 모형에 비해 다소 적은 증가량을 보였다.

[표 3]은 HEC-RAS 모형에 의한 식생 전·후 상류단 유속분포와 유량의 비교결과인데, 조도계수가 커진 좌·우측 수로는 평균유속의 큰 감소로 통수능 저하와 홍수위 상승을 발생시켰다.

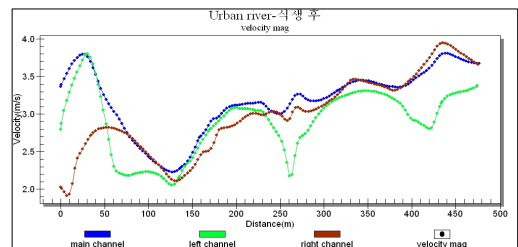
표 3. HEC-RAS 모형의 도시하천 식생모델 분석

항목	n값	식생 전			식생 후		
		좌측수로	주수로	우측수로	좌측수로	주수로	우측수로
조도계수	0.033	0.033	0.033	0.039	0.018	0.041	
단면적(m ²)	40.5	100.74	11.90	41.36	101.88	12.18	
평균유속(m/s)	2.45	3.80	2.05	1.25	4.34	1.01	
유량(m ³ /s)	99.225	382.812	24.395	51.7	442.159	12.302	

또한, RMA-2 모형으로 대상구간의 흐름특성을 분석한 결과 [그림 3]과 같은 유속분포를 보였고, 관측구간의 평균유속을 비교한 결과 식생을 설치하여 조도계수의 값에 변화를 준 좌·우안의 유속은 2.79 m/s에서 2.55m/s로 약 8.6%정도 감소하였다.



(a) 식생 전 유속



(b) 식생 후 유속

그림 3. 도시하천 식생모델의 유속분포 분석

그러나, 식생을 설치하지 않은 주수로의 유속은 2.78m/s에서 2.95m/s로 약 5.8%정도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 식생 전에는 유속 값이 존재하지 않았던 요소에서 식생 후 유속 값이 발생한 모습을 볼 수 있었는데 이는 식생의 영향으로 그 구간까지 수위가 상승한다는 것을 알 수 있다. [그림 3]과 같이 2차원모형의 특성상 각 요소마다 유속값이 다르게 나타나므로 주수로와 좌·우측수로의 요소별 유속을 평균하여 산정하였다.

3.2 농촌하천

[표 2]의 식생밀도별 조도계수를 이용하여 식생 전·후의 수리특성을 HEC-RAS 모형으로 모의하였다. 농촌하천의 경우 연직2차원 수리해석 방법으로 산정된 좌·우측수로의 조도계수는 높아 졌으나 더 넓은 부분을 차지하고 있는 주수로의 조도계수는 기본계획에서 산정한 값보다 현저히 낮아져 [그림 4(a), (b)]와 같이 식생밀도의 100% 추가 식생 후에도 수위 상승량이 없고 오히려 홍수위가 낮아져 홍수위에 대한 안정성이 확보되는 것으로 나타났다. 각 단면별로 추가 식생 밀도에 따른 홍수위 변화는 [그림 3(c)]와 같이 RMA2모의 결과와 비교하였다.

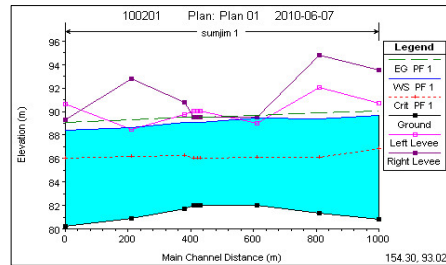
[표 4]는 HEC-RAS모형으로 식생 전·후 상류단의 유속분포와 유량을 비교해 보면 조도계수가 높아진 좌·우측 수로의 경우 평균유속이 크게 감소하여 통수능이 저하된 것을 확인할 수 있었다.

표 4. HEC-RAS 모형의 농촌하천 식생모델 분석

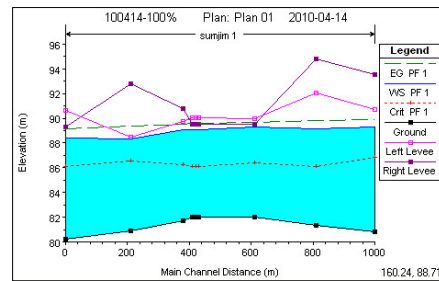
항목	n값	식생 전			식생 후		
		좌측수로	주수로	우측수로	좌측수로	주수로	우측수로
조도계수		0.033	0.033	0.033	0.040	0.021	0.041
단면적(m ²)		472.86	528.99	65.06	415.87	502.89	55.43
평균유속(m/s)		1.63	3.01	1.19	1.08	3.88	0.74
유량(m ³ /s)		770.76	1,592.25	77.42	449.13	1,951.21	41.01

[그림 4]는 하천설계기준[10]에 따른 하천제방의 여유고를 만족하는 밀도는 100%추가 식생을 할 경우로 나타났다(단 범람원인 No.112+11 제외). RMA-2 모형

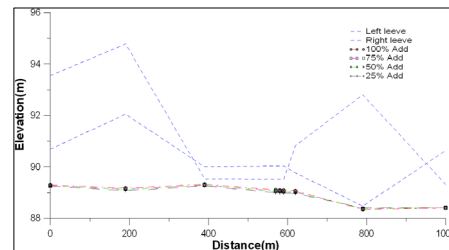
에 의한 모의는 100%추가 식생에 따른 홍수위 산정을 실시하였다. 1차원모형의 산정결과와 마찬가지로 홍수위는 오히려 약 0.21m 낮아지는 것으로 나타났다. 2차원 모형의 특성 상 각 요소별 수위 값이 다르므로 횡단면 홍수위를 좌·우측수로와 주수로로 나누어 평균값을 산정하였으며 각 단면별 홍수위는 HEC-RAS 모형에 의한 결과와 비교하였다.



(a) 식생 전 HEC-RAS



(b) 식생 후 HEC-RAS

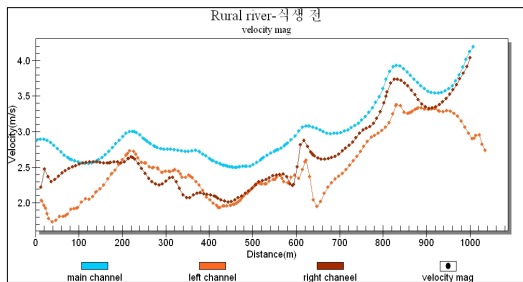


(c) 밀도별 홍수위 RMA-2

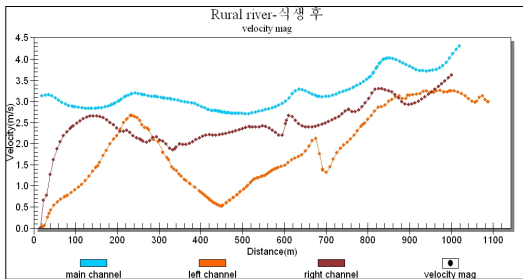
그림 4. 농촌하천의 식생모델별 분석결과

RMA-2 모형으로 대상구간의 흐름특성을 분석한 결과, [그림 5]와 같은 유속분포를 보였다. 관측구간의 평균유속을 비교한 결과 식생을 설치하여 조도계수의 값에 변화를 준 좌·우안의 유속은 2.68m/s에서 2.55m/s로 약 4.9%정도 감소하였다.

그러나, 식생을 설치하지 않은 주수로의 유속은 3.17m/s에서 3.62m/s로 약 12.4%정도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 식생 전에는 유속 값이 존재하지 않았던 요소에서 식생 후 유속 값이 발생한 모습을 볼 수 있었는데 이는 식생의 영향으로 그 구간까지 수위가 상승한다는 것을 알 수 있다. [그림 5]와 같이 2차원 모형의 특성상 각 요소마다 유속값이 다르게 나타나므로 주수로와 좌·우측수로의 요소별 유속을 평균하여 산정하였다.



(a) 식생 전 유속포



(b) 식생 후 유속포

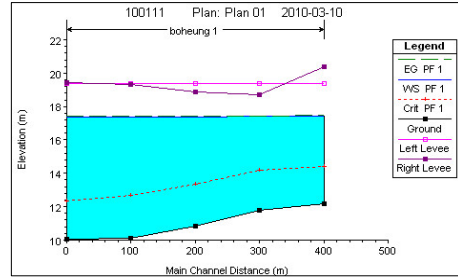
그림 5. 농촌하천 식생모델의 유속분포 분석

3.3 산지하천

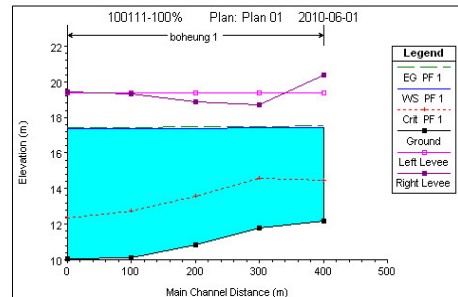
[표 2]의 식생밀도별 조도계수를 이용하여 식생 전·후의 HEC-RAS에 의한 홍수위 산정 결과는 [그림 6(a), (b)]와 같이 식생밀도 100% 추가 식생 후 수위 상승량은 평균 0.01m로 미미하여 제방을 월류하지 않는 것으로 나타났다. 각 단면별로 추가 식생 밀도에 따른 홍수위 변화는 [그림 6(c)]의 RMA-2 결과와 비교하여 나타났다.

[표 5]는 HEC-RAS모형으로 식생 전·후 상류단의 유속분포와 유량을 비교해 보면 조도계수가 높아진

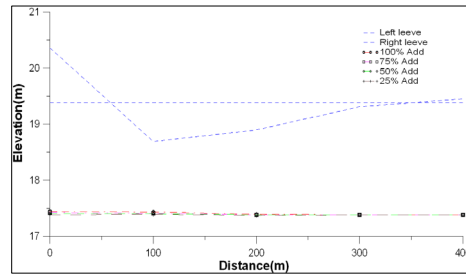
좌·우측수로의 경우 평균유속이 크게 감소하여 통수능이 저하된 것을 확인할 수 있다.



(a) 식생 전 HEC-RAS



(b) 식생 후 HEC-RAS



(c) 밀도별 홍수위 RMA-2

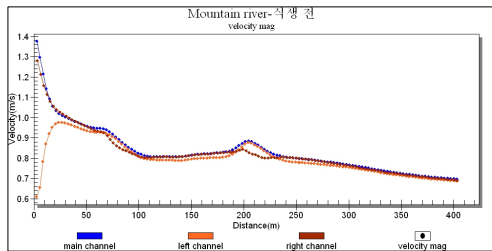
그림 6. 산지하천의 식생모델별 분석결과

표 5. HEC-RAS 모형의 산지하천 식생모델 분석

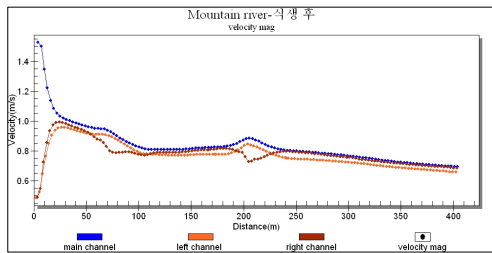
항목	n값	식생 전			식생 후		
		좌측 수로	주수로	우측 수로	좌측 수로	주수로	우측 수로
조도계수		0.036	0.036	0.036	0.065	0.034	0.062
단면적(m ²)		23.80	51.23	19.63	24.05	51.48	19.86
평균유속(m/s)		0.78	1.32	0.70	0.47	1.55	0.45
유량(m ³ /s)		18.564	67.6236	13.741	11.3035	79.794	8.937

[그림 7]은 하천설계기준[10]에 따른 하천제방의 여유고를 만족하는 밀도는 100%추가 식생을 할 경우로

나타났다. 따라서 RMA-2 모형은 100%추가 식생에 따른 홍수위 산정을 실시하였다. 2차원 모형의 특성 상 각 요소별 수위 값이 다르므로 횡단면 홍수위를 좌·우측수로와 주수로로 나누어 평균값을 산정하였으며 각 단면별 홍수위는 [표 5]에 HEC-RAS모의 결과와 함께 나타내었다



(a) 식생 전 유속분포



(b) 식생 후 유속분포

그림 7. 산지하천 식생모델의 유속분포 분석

RMA-2 모형으로 대상구간의 흐름특성을 분석한 결과 홍수위의 상승은 약 0.04m로 1차원 모형과 비슷한 증가량을 보였다. 관측구간의 평균유속을 비교한 결과 식생을 설치하여 조도계수의 값에 변화를 준 좌·우안의 평균유속은 0.79m/s에서 0.65m/s로 약 17.7%정도 감소하였다.

그러나, 식생을 설치하지 않은 주수로의 유속은 0.87m/s에서 0.95m/s로 약 8.4%정도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 식생 전에는 유속 값이 존재하지 않았던 요소에서 식생 후 유속 값이 발생한 모습을 볼 수 있었는데 이는 식생의 영향으로 그 구간까지 수위가 상승한다는 것을 알 수 있다. [그림 7]과 같이 2차원 모형의 특성상 각 요소마다 유속값이 다르게 나타나므로 주수로와 좌·우측수로의 요소별 유속을 평균하여 산정하였다.

IV. 결론

본 연구는 하천유형별로 구축한 식생모델의 수리학적 안정성 확보를 위해 1차원 HEC-RAS와 2차원 RMA-2 수치모형을 이용하여 홍수위를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하천유형별 식생모델의 구축을 위한 조도계수 산정은 연직 2차원 수리해석법을 이용하여 100m²당 식생밀도 분포 비율별 조도계수 값 산정식을 도출하였다. 이 식에 의한 식생모델의 검토 결과, 수로 증앙을 기준으로 식재된 좌우측 수로는 식생밀도 추가에 따라 조도계수가 일정하게 증가하는 것으로 나타났다.
2. HEC-RAS 모형에 의한 식생모델의 홍수위 분석에서 도시하천의 제방월류가 없는 식생밀도는 50%로 나타났고, 계획홍수량에 대한 여유고를 만족시키는 식생밀도는 25%인 것으로 분석되었다. 농촌·산지하천의 계획홍수량에 대한 여유고 만족 식생밀도는 대조하천의 100%로 구축해도 홍수위의 안정성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.
3. RMA-2 모형에 의한 홍수위 분석결과는 HEC-RAS 모형과 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 두 수치모형 모두 식생모델의 홍수위 분석에 적용 가능한 것으로 판단되었다. 다만, 농촌하천의 무제부 구간 등 일부구간의 제방고는 여유고가 부족하므로 식생밀도를 적게 하거나 제방개선 대책이 필요한 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] 건설교통부, *섬진강수계 하천기본계획(보완)*, 익산지방국토관리청, 2003.
- [2] 건설교통부, *하천에서 나무심기 및 관리에 관한 기준(안)*, 2007.
- [3] 서울특별시, *대동천 등 7개 하천기본계획*, 2005.
- [4] 양원준, 최성욱, “침수조건 상태의 유연한 식생이 식재된 개수로 흐름의 횡단면 특성”, 대한토목학

- 회 논문집, 제27권, 제6B호, pp.641-650, 2007.
- [5] 이종석, *하천공학 및 설계*, 도서출판 세론, 2010.
- [6] 이창석, 이종석, 김병찬, 송중근, *하천복원기법개발(수리 안정성 검토)*, 제4차년도 보고서, 2009.
- [7] 충청남도, *보홍천 하천기본계획(V지구)*, 2008.
- [8] 한국건설기술연구원, *다기능 하천 설계기준 사업*, 2003.
- [9] 한국수자원학회, *하천설계기준 해설*, 2009.
- [10] Brigham Young University, *SMS (Surfacewater Modeling System) User's Manual*, 2000.
- [11] V. T. Chow, *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York, 1959.
- [12] N. Kouwen and R. M. Li. "Biomechanics of Vegetative Channel Linings", *J. Hydra. Div.*, ASCE, Vol.106, No.6, pp.1085-1103, 1980.
- [13] B. M. Stone and H. T. When, "Hydraulic Resistance of Flow in Channels with Cylindrical Roughness," *JHE*, ASCE, Vol.128, No.5, pp.500-506, 2002.
- [14] D. M. Temple, "Flow Resistance of Grass-lined Channel Bank", *AEA*, ASAE, Vol.15, No.2, pp.129-133, 1999.
- [15] G. T. Thompson and J. A. Roberson, "A Theory of Flow Resistance for Vegetated Channels," Vol.19, No.2, ASAE, pp.288-293, 1976.
- [16] USACE, *HEC-RAS River Analysis User's Manual*, Hydraulic Engineering Center, 2002.

저자 소개

이 종 석(Jong-Seok Lee)

정회원



- 1987년 2월 : 단국대학교 토목공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 단국대학교 토목공학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 단국대학교 토목공학과(공학박사)

▪ 1996년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 토목공학과 교수
 <관심분야> : 수리·수문, 하천·생태환경

송 중 근(Joong-Geun Song)

준회원



- 2009년 2월 : 한밭대학교 토목공학과(공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 토목공학과 석사과정

<관심분야> : 수리·수문, 하천·생태환경