

하천식생에 따른 수리 안정성 분석

Evaluation of Hydraulic Stability for River with Vegetation

송중근*, 김병찬**, 이종석***

Joong Geun Song, Byeong Chan Kim, Jong Seok Lee

요 지

홍수터의 관리와 하천복원사업의 계획에 있어서 하도 내 식생은 생태적, 심미적으로 매우 중요한 항목으로 인정받고 있다. 그러나 식생은 하천의 흐름저항을 크게 하여 유속이 감소하고 통수단면적 축소로 홍수 시 수위를 증가시키는 요인이 된다. 따라서 식생에 따른 조도계수의 변화와 흐름저항으로 인한 수리학적 특성을 이해하는 것은 하천복원에서 중요한 요소가 된다. 본 연구에서는 대상하천에 대하여 HEC-RAS모형과 연직2차원 수리해석 방법을 이용하여 각 밀도별 식생 후의 조도계수를 산정한 후, 홍수위에 안정한 밀도를 HEC-RAS모형으로 계산하여 제시하고, RMA-2모형을 이용하여 제시된 밀도에 대한 수리안정성을 추가적으로 검토하여 비교하였다.

핵심용어 : 하천복원, 식생, 조도계수, HEC-RAS, RMA-2, 수리안정성

1. 서 론

국토의 산업화와 현대화의 산물로 이·치수 기능만을 고집하던 하천복원은 단순하게 배수 역할의 하천으로 전락하였지만 근래에 들어 하천 생태계의 중요성이 강조되면서 자연형 하천으로의 탈바꿈에 지대한 관심을 보이고 있다. 이러한 하천환경정비의 필수적 요소인 식생은 하천이용증진, 수질개선, 하천경관 향상 및 물 서식처형성 등 많은 순기능을 갖는 식생대를 조성하거나 식재를 통해 수변에 습지대를 조성하는 일들이 관심을 불러일으키고 있다(송중근 등, 2009). 그러나 홍수관리 측면에서의 식생은 하천의 흐름저항을 크게 하여 홍수시 수위를 증가시키는 악영향을 미치기도 한다(이준호와 윤세의, 2007). 그러므로 식생으로 인해 발생된 흐름저항은 수리 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 이때의 흐름특성을 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 연구대상 수로구간을 1개소 선정하고, 선정된 연구대상 수로구간에 기존의 식생 밀도보다 추가로 25%, 50%, 75%, 100%밀도별로 식생 하였다고 가정하여 홍수위 변화에 따른 수리 안정성을 분석하고자 한다.

2. 모형의 적용

2.1 유역현황

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

* 한밭대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : deux4ever-s@hanmail.net
** 정회원 · 한밭대학교 토목공학과 겸임교수 · E-mail : bckim777@naver.com
*** 정회원 · 한밭대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ljs96@hanbat.ac.kr

발원하여 서울시를 북동쪽으로 유하하여 탄천에 합류하는 하천이다. 양재천은 하구를 기준으로 유역면적 56.80km², 하천연장은 8.28km, 유로연장이 16.60km인 지방2급 하천으로 하폭은 약 34~200m 내외이며, 하상경사는 1/3,606~1/165로 상류를 제외하면 비교적 완만한 편으로 유역도는 그림 1과 같다(서울특별시, 2005). 본 연구에서는 양재천의 일부구간인 중·상류에 속하는 측점 No.136~No.125까지 약 500m구간으로 선정하였다. 이 구간의 계획하폭은 약 50m이고 하상경사는 1/361로 전체유역에 비해 다소 큰 것으로 나타났다. 대표입경 d_{50} 은 1.7mm인 자갈하천으로 도시하천에서 흔히 볼 수 있는 복단면 하도이며 그림 2와 같이 좌·우측 홍수터에는 대부분 1년생 초본식물(바랭이, 강아지풀, 참새귀리 등)이 분포하고 있고 버드나무 군락은 대부분 홍수소통에 영향을 미치지 않는 제방의 둑마루에 분포하고 있다.

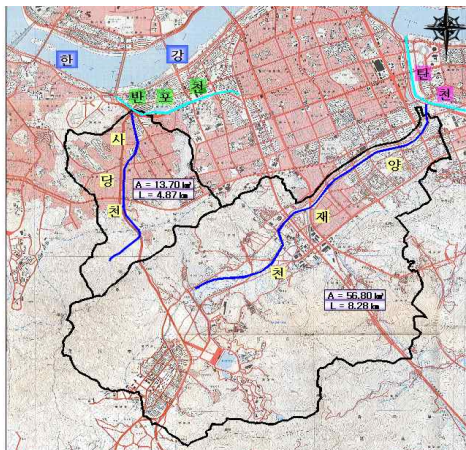


그림 1. 대상구간의 유역도



그림 2. 대상구간의 전경

2.2 조도계수의 계산

연직 2차원 수리해석에 사용될 자료는 하천 단면, 윤편, 동수반경, 하상경사, 식생 밀도 그리고 나무직경 등이 필요하다. 이 중 하천 단면과 같은 수리학적 요소는 HEC-RAS를 이용하여 산출하였다. 홍수터 양안에는 버드나무와 왕버들 등의 교목은 식재하지 않고 갯버들, 뽕나무, 짚래꽃과 같은 관목만을 식재하는 것으로 하고, 식생의 직경은 관목의 평균직경인 3.1cm를 사용하였다.

표 1. 식생밀도별 조도계수의 산정

밀도	조도계수		
	좌측수로	주수로	우측수로
기존 식생밀도	0.033	0.033	0.033
식생 25%추가(8.5그루/100m ²)	0.039	0.018	0.041
식생 50%추가(17그루/100m ²)	0.046	0.018	0.049
식생 75%추가(25.5그루/100m ²)	0.053	0.019	0.056
식생 100%추가(34그루/100m ²)	0.058	0.021	0.063

추가할 식생의 밀도는 표 1과 같이 현재의 식생에 100m²당 각각 25%, 50%, 75%, 100%의 비율로 증가시켜 이 때 각 밀도에 따른 조도계수의 증감을 식생을 추가한 좌·우측수로와 식생이 없

는 주수로로 분할하여 산정하였는데 식생이 있는 좌·우수로로는 증가하였고 주수로로는 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한 증가하는 양상이 거의 선형으로 나타나는 것으로 보아 식생밀도의 추가와 조도계수는 비례하여 증감한다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 계산된 밀도에 따른 조도계수의 변화량 관계식은 그림 3의 그래프와 함께 나타내었다.

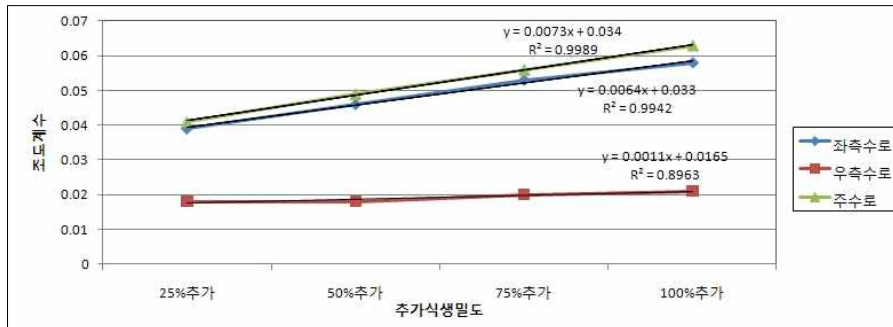


그림 3. 식생밀도별 조도계수의 증가

2.3 경계조건의 산정

각 밀도에 따른 홍수위의 산정은 HEC-RAS 프로그램을 이용하였다. 프로그램에 사용되는 하천단면측량자료와 계획홍수량 및 계획홍수위는 대동천 등 7개 하천정비기본계획(2005)의 산정 값을 사용하였다.

표 2. 모형에 적용한 수위 유량 경계조건

항목	하천	대상하천
계획홍수위(EL.m)		20.86
계획홍수량(m³/s)		506(50년 빈도)

RMA-2모의에 사용될 지형자료의 구성은 하천정비기본계획의 종·횡단면 자료와 1:5,000 수치지도를 이용하였다. x, y좌표는 한국 TM 중부원점으로, z좌표는 횡단면자료의 표고값을 사용하여 CAD작업을 통하여 구축하였다. 대상구역내의 유한요소망은 좌·우안 식재구역의 유한요소망을 분리하여 밀도별로 계산한 조도계수를 입력할 수 있게 하였다. 유한요소망은 GFGEN 프로그램을 통해 생성하였고 10회 이상의 모의과정과 구성된 유한요소망의 편집과정을 통해 수정 및 보완하여 결과 값의 정확도를 높이고자 하였다. 본 연구에서는 흐름방향의 요소크기를 모의 구간이 약 500m정도로 비교적 작기 때문에 요소의 크기를 3m로 좀 더 세밀하게 구성하였다. 또한 상류단 유량조건과 하류단 수위조건은 HEC-RAS 모형에 적용한 빈도별 홍수위와 홍수량을 사용하였다. 난류교환계수의 산정은 SMS에서 권장하는 값 범위 내에서 흐름이 안정 될 때까지 값을 변화시켜 적용한 결과 좌·우수로에는 1,500N·s/m², 주수로에는 1,000N·s/m²으로 결정하였다.

2.4 홍수위 산정

표 1의 각 밀도별 조도계수를 이용하여 식생 전·후의 수리특성을 HEC-RAS모형과 RMA-2모형으로 모의한 결과, 표 3과 같은 상승폭을 나타냈다.

표 3. 모형별 홍수위산정

항목 거리 (m)	계획 홍수위	좌 제방	우 제방	실측 하천	HEC-RAS				RMA-2 25% 추가		
					100% 추가	75% 추가	50% 추가	25% 추가	좌측 수로	주 수로	우측 수로
500	22.92	23.84	23.05	22.72	22.85	22.81	22.74	22.45	22.72	22.78	23.03
450	22.69	23.81	23.6	22.44	22.93	22.9	22.83	22.5	22.26	22.44	22.40
400	22.64	23.4	23.16	22.11	22.93	22.91	22.85	22.48	22.48	22.48	22.44
350	22.6	23.05	23.2	22.16	23.03	23.03	22.97	22.64	22.45	22.46	22.52
300	22.16	22.77	23.2	22.13	22.77	22.8	22.75	22.48	22.10	22.09	22.06
250	21.95	22.72	23.4	21.91	22.75	22.34	22.25	22.01	21.86	21.91	22.04
200	21.75	22.64	23.72	21.74	22.89	22.61	22.51	22.22	21.74	21.63	21.61
150	21.72	22.25	24.03	21.72	22.2	22.15	22.1	21.97	21.47	21.40	21.39
100	21.44	22.22	22	21.42	21.33	21.32	21.28	21.15	21.41	21.32	21.33
50	21.32	22.23	23.41	21.3	21.06	20.99	20.93	20.94	20.86	20.91	20.89
0	21.06	22.07	23.11	21.06	20.96	20.93	20.9	20.9	20.88	20.86	20.86
평균	22.02	22.82	23.26	21.88	22.34	22.25	22.19	21.98	21.84	21.84	21.87

하천설계기준(2009)에 따른 하천제방의 여유고(계획홍수량 500m³/s 이상일 때 1.0m)를 만족하는 밀도는 25%추가 식생을 할 경우로 나타났다. 25%추가 식생에 따른 RMA-2모형의 홍수위 산정은 2차원 모형의 특성 상 각 요소별 수위 값이 다르므로 횡단면 홍수위를 좌·우측수로와 주수로로 나누어 평균값을 산정하였으며 각 단면별 홍수위의 그래프는 그림 4에 나타내었다.

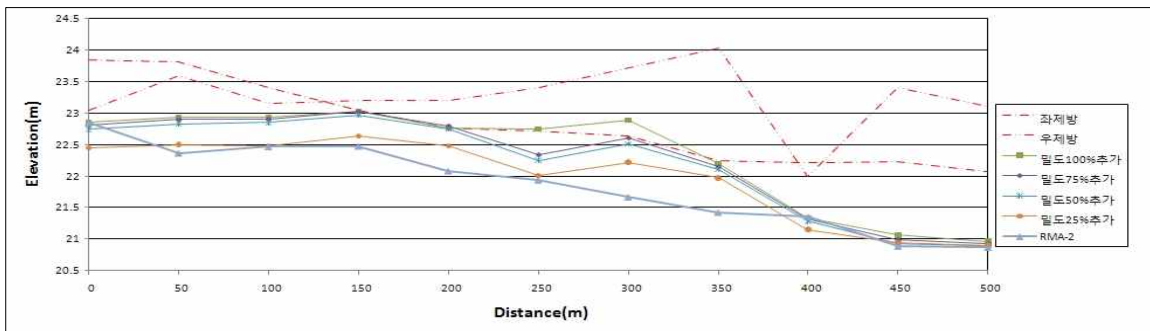


그림 4. 식생밀도에 따른 홍수위의 비교

HEC-RAS모형으로 식생 전·후 상류단의 평균유속분포와 유량을 비교해 보면 조도계수가 높아진 좌·우측 수로의 경우 평균유속이 크게 감소하여 통수능을 저하시켜 홍수위의 상승을 야기한다는 것을 확인할 수 있었다. 반면 주수로의 경우에는 유속이 증가하는 것을 볼 수 있는데 이로 인하여 주수로 구간으로 통과하는 유량이 증가하는 것을 알 수 있었다. RMA-2모형으로 대상구간의 유속분포를 분석한 결과 좌·우안의 유속은 2.79m/s에서 2.55m/s로 약 9%정도 감소하였고, 주수로의 유속은 2.78m/s에서 2.95m/s로 약 6%정도 증가 하는 것으로 나타났다.

표 4. 식생 전·후 상류단의 유속 및 유량분포(HEC-RAS 모형)

항목	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	51.700	442.159	12.302

3. 결 론

본 연구에서는 대상구간에 대하여 각 밀도별 식생 후의 조도계수를 산정한 후, 홍수위에 안정한 밀도를 HEC-RAS모형으로 계산하여 제시하고 RMA-2모형을 이용하여 제시된 밀도에 대한 수리안정성을 추가적으로 검토하였다.

1. 연직 2차원 수리해석 방법을 이용하여 추가할 식생의 밀도를 $100m^2$ 당 각각 25%, 50%, 75%, 100%의 비율로 증가시켜 각 밀도에 따른 조도계수의 변화를 산정하였다. 그 결과 식생이 있는 좌·우수로는 25%씩 식생을 추가할 때마다 약 15% 식생이 없는 주수로의 경우 약 6%의 비율로 일정하게 증가하는 것으로 보아 식생밀도에 따른 조도계수의 변화가 선형으로 비례하는 것으로 나타나 연직2차원 수리해석 방법을 이용한 밀도별 조도계수의 산정이 적합한 것으로 판단된다.
2. HEC-RAS모형으로 홍수위 산정을 한 결과 수위가 제방고를 월류하지 않는 추가 식생밀도는 50%로 나타났으나 계획홍수위와 계획홍수량 $506m^3/s$ 에 따른 여유고 1m를 만족하는 추가 식생 밀도는 25%인 것으로 산정되어 대상구간 $100m^2$ 당 평균직경 3.1cm의 관목 8.5그루를 추가식생한다면 홍수위에 대한 수리안정성이 확보될 것이라 판단된다.
3. RMA-2모형을 이용하여 25%밀도에 대한 홍수위를 추가적으로 검토한 결과 HEC-RAS 모형보다 각 단면에서 평균적으로 약 0.13m정도 낮게 산정되어 1·2차원 모형 모두 추가 식생 후 홍수위에 대한 수리안정성이 확보될 수 있을 것으로 나타났다.
4. 향후 수리실험을 통해 실험 data와 1·2차원 수치모형의 모의 결과를 비교하여 검증한다면 하천의 규모와 형상에 따라 알맞은 수치모형을 제시할 수 있을 것으로 생각된다.

추가 식생에 따른 조도계수의 산정과 그에 따른 수리안정성의 모의를 하천의 유형(도시/농촌/산지하천)별, 규모(대/중/소/실개하천)별로 더 많이 실시하여 이에 따른 상관관계를 분석한다면 각 하천별로 적합한 추가 식생의 수종과 밀도를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B01 제4-1세부과제; 수리안정성 검토)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이준호, 윤세의(2007). 개수로에서 식생에 의한 수리특성 변화에 관한 실험적 연구, 한국수자원학회 논문집, 제40권, 제3호, pp.265-276.
2. 송중근, 김병찬, 이종석(2009). 하천식생 복원모형의 홍수위 분석과 하상변동 예측, 한국콘텐츠학회 2009 춘계종합학술대회 논문집(상), pp.437-441.
3. 건설교통부(2007). 하천에서 나무심기 및 관리에 관한 기준(안), pp.47-76.
4. 한국수자원학회(2009). 하천설계기준·해설.
5. 서울특별시(2005). 대동천 등 7개 하천정비기본계획.
6. US Army Corps of Engineers(2002). HEC-RAS River Analysis User's Manual, Hydraulic Engineering Center, CA.
7. Brigham Young University(2000). SMS (Surfacewater Modeling System) User's Manual.