

하천의 식재허가지도 제작



윤세의 >>
경기대학교 토목환경공학부 교수
syyoon@kyonggi.ac.kr

1. 필요성 및 목적

하천에 있어 하천식생은 생태계 공간적으로도 육상과 수생생태계의 중간에 위치하고 있으며, 경관적으로 중요성이 강조되고 있다. 특히 수변에 나타나는 하천식생은 복원사업에 있어서 가장 기초적인 하천생태계의 생산자로 이용되고 있다. 그러나 실제 자연하천에서는 하상이나 하안부에 1년생 잡초를 비롯한 관목 등을 분포시켜 수중 및 야생동물의 서식처와 자연의 쾌적함을 제공하기도 하지만, 이에 따라 유속을 감소시키고 홍수시 하천수위를 상승시킴으로서 홍수소통을 방해하기도 한다. 또 수로내 식생의 위치에 따라 제방침식을 가중시키거나 식생주변의 부착물로 인하여 하천시설물의 기능을 감소시키는 사례도 발생하게 된다. 따라서 자연형 하천 시공에 따라 하천부지에 식재를 계획할 경우에는 이러한 수리학적 특성의 변화를 명확히 분석하여 하천식재로 인한 장점뿐만 아니라 단점에 대한 충분한 검토가 진행된 후 하천에 식재하여야 한다.

여기에서는 하천관리자로 하여금 치수상 지장이 없는 식재 가능한 구역 및 식재방법을 기술적으로 검토해서 고수부지의 식재허가지도를 작성하고, 시민들의 다양한 식재요구 등에 신속하게 대응하도록 하는 표준화된 분석체계가 필요하다.

2. 내용 및 범위

도시하천의 하천구역에 나무를 심기위해서는 식재되는 식물의 생태환경특성 및 식재에 의한 홍수위 변화 등과 같은 수리적 특성을 충분히 검토해야 한다. 국내 하천의 적합한 수종 및 수종에 따른 생태특성은 ‘하천내 수목의 현황 및 관리방안에 관한 조사·연구’ (건설교통부, 1997) 및 ‘하도내 수목관리 워크샵’ (한국건설기술연구원, 1998)제시하고 있다. 본 고에서는 ‘하천의 수목관리기법’ (리버프론트센터(일), 1999)을 중심으로 수종을 저목과 고목으로 나누어 수종에 따른 수리학적 특성에 따라 식재허가구역의 결정 및 이에 의한 식재허가지도의 제작방법을 검토하고, 식재허가지도의 국내 하천에 적용성을 검토하고자 한다.

3. 식재허가지도의 제작 방법

3.1 식재허가지도의 제작 절차

본 절에서는 식재허가지도의 작성방법을 분석하였다. 그림 1은 식재허가지도의 작성과정을 나타내고 있다. 식재허가지도의 작성을 위해서는 중요 수방구간을 제외하고 하천관리시설 등의 고려와 세굴의 판정을 통해 우선 식재를 허가할 수 있는 구역을 선정한다. 대상구간의 평균적인 하도형상에서 저수로폭과 고수부지폭(좌우안 합계)의 비와 하상경사 등의 자료를 활용하여 허용식재 밀도를 산정한다. 각각의 식재가능구역에 관해서 고수부지의 면적을 도상계측하고 식재할 수 없는 구간을 제외하고 각각의 고수부지의

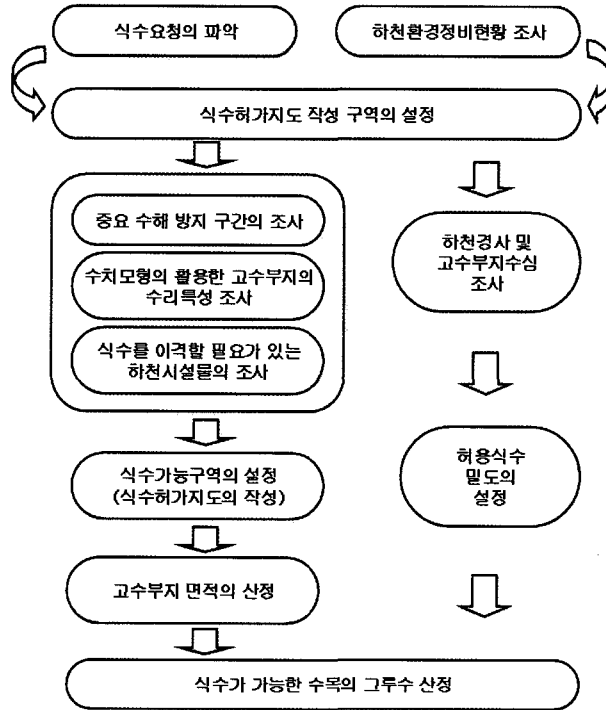


그림 1. 식재허가지도의 작성 과정

전면적을 대상으로 허용식재밀도를 이용하여 식재가 능 그루수를 산정한다.

3.2 식재허가지도의 작성 기준

가. 식재가 가능한 구역의 설정

식재허가지도의 제작 절차는 식재요구 및 하천환경정비에 따라 대상구간을 선정하고 허용식재기준에 따라 식재가능구역을 설정하게 된다. 하천식재기준은 원칙적으로 치수상의 지장이 없어야 하고 수종의 선정시에는 환경적 특성 및 생장특성을 고려하여 선정하여야 한다. 식재에 의한 수위 상승과 유속분포변화가 제방의 안정을 위협할 우려가 있는 구역, 수목의 뿌리가 제방 본체에 침입하고 호안 등의 시설을 손상할 우려가 있는 구역, 식재목의 홍수에 의한 도복, 또는 세굴의 우려가 있는 구역, 식재목이 도복되고 유목화한 경우에 있어서 하도 등을 폐색 시킬 우려가 있는 구역에서는 식재를 금지하도록 한다.

나. 수종에 따른 식재구간 및 허용식재밀도

중요수방개소 및 하천특성에 따라 식재구역이 설정되면, 다음으로 수종에 따라 허용식재구간이 설정된다. 수종은 크게 고목과 저목으로 나누며, 수고(지면에서 주줄기와 잎가지 까지의 수직 높이)가 1m 이상인 수종을 고목으로 한다. 하천에 식재시 치수적 안정을 위해 고목과 저목에 따른 허용식재기준을 비교·정리하여 표 1에 제시하였다.

식재가 가능한 고수부지에 있어서는 하상경사와 고수부지 수심에 따라 표 2에 제시한 밀도 이하에서 식재를 하여야 한다. 하폭이 상·하류로 비교해서 넓은 급확부 등에서 홍수시에 사수역 또는 사수역에 가까운 상태에 있고, 계획홍수량의 소통에 필요한 단면이 아닌 구역에서는 이 기준을 적용할 필요 없다. 단, 사수역의 경우 유목 등의 부유물이 모이기 쉽고 식재목이 이들의 부유물과 흐름의 작용에 의해 도복, 유목화 할 위험이 있다. 특히 수목간격이 좁다면 유목에 의해 폐색되기 쉬워지고 도복의 가능성이 늘어난

표 1. 식재허용식재기준

구 분	저 목	고 목
월류위험	<ul style="list-style-type: none"> • 제방 및 저수로에서 10m 이상 • 균생의 경우 고수부지 폭에 1/4 이하 	<ul style="list-style-type: none"> • 제방 및 저수로에서 20m 이상 • 계획홍수위에서 25m 이상
저수로에 대한 고려	<ul style="list-style-type: none"> • 제방 및 저수로에서 10m 이상 	<ul style="list-style-type: none"> • 제방 및 저수로에서 20m 이상
구조물에 대한 고려	<ul style="list-style-type: none"> • 필요 호안장의 2배 	
세굴에 대한 영향	<ul style="list-style-type: none"> • 고수부지상의 유속이 2m/s 이상이면 식재의 재검토 	
허용식재밀도	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수유하단면의 경우 : 하상경사, 저수로폭/고수부지폭, 수심을 고려해서 결정 • 사수역의 경우 : 16본/ha 	
허용식재간격	<ul style="list-style-type: none"> • 횡 방 향 식생군의 폭이 고수부지 폭에 1/4 이하 • 종단방향 식생군의 종단방향 연장 100m이하, 간격 50m 이상. 	<ul style="list-style-type: none"> • 횡 방 향 25m이상 • 유효방향 20+0.005Q (50m이상일 경우 50m)
수 형	<ul style="list-style-type: none"> • 성목시에 지하고가 높고, 수관폭이 극단적으로 커지지 않는 수종의 선택 	

표 2. 허용식재밀도(고목)

a) 하상경사 < 1/2500

고수부지 수심(m)	저수로폭/고수부지폭										
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
0.5	3	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6
1.0	3	3	4	5	6	6	6	6	6	6	6
1.5	2	3	4	4	5	6	6	6	6	6	6
2.0	2	2	3	4	4	6	6	6	6	6	6
3.0	1	1.5	2	2	2	3	4	6	6	6	6
3.5	1	1	1	1.5	1.5	2	3	4	5	6	6
4.0	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1.5	2	2	3	1
5.0	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1.5	2	2
6.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	1	1	1

b) 하상경사 > 1/2500

고수부지 수심(m)	저수로폭/고수부지폭										
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
0.5	2	3	4	5	5	6	6	6	6	6	6
1.0	2	3	3	4	5	6	6	6	6	6	6
1.5	2	2	3	3	4	5	6	6	6	6	6
2.0	1.5	2	2	3	3	4	6	6	6	6	6
3.0	1	1	1.5	2	2	3	3	5	6	6	6
3.5	0.5	1	1	1	1.5	2	2	3	4	5	6
4.0	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1.5	2	2	3
5.0	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1.5	2
6.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	1	1

다. 따라서 사수역에 대해서는 허용식재밀도의 기준을 세우고 있지는 않지만, 식재간격을 25m정도 확보하는 것으로 한다. 식재할 수 있는 고목의 본수는 식재구역에 해당하는 고수부지의 전면적에 허용식재밀도를 곱하여 얻어진 본수를 상한으로 한다.

4. 국내 하천에서의 식재여가지도의 적용성 검토

4.1 식재여가지도 제작

가. 대상구간의 설정

본 절에서는 전절에서 제시한 허용식재기준 및 식재여가지도 제작 절차에 따라 현재 활발히 하천환경정비사업이 진행되고 있으며, 주변 도시 개발로 인해 주민의 친수환경요구가 증대되고 있는 중랑천을 대상 하천으로 선정하고, 중랑천 서울시 구간에 대해 식재여가지도를 제작하고 수리학적 영향을 분석하였다. 여기에서는 중랑천의 서울시 구간을 한강합류부~군자교, 군자교~장안교, 장안교~중랑교, 중랑교~이화교, 이화교~월릉교, 월릉교~경춘철교, 경춘철교~녹천교, 녹천교~서울시 경계까지 총8개 구역으로 구분하였다. 8개 구간중 제1구간 한강하류부~군자교 구간은 고수부지의 폭이 좁고 심한 굴곡으로 영향으로

수리학적으로 좋지 않을 것으로 판단해 대상구간에서 제외 하였으며, 제8구간 녹천교~서울시경계 구간 또한 하천 경사가 급하고 고수부지의 폭이 작은 관계로 식재에 적절치 못해 대상구간에서 제외하였다. 따라서, 대상구간 제2구역~제7구역까지 총6개구간에 대해 식재여가지도 대상구간으로 선정하였다.

나. 구간별 식재여가지도 작성

① 수종의 결정

대상하천에서 하상경사, 고수부지의 수심, 저수로폭/고수부지폭을 조사하였다. 하상경사는 1/2500보다 작고 고수부지의 수심은 100년 빈도의 홍수량에 4~5m 정도이며, 저수로폭/고수부지폭은 0.8~1.0 정도로 조사되었다. 따라서 고목을 식재할 경우 식재밀도는 표 2에 따라 0.5본/ha이다. 이를 기준으로 대상구역에 고목을 식재 할 경우 식재되는 수목의 수가 매우 적으므로, 본 대상구역에서는 식재되는 수종은 저목으로 결정하였다.

② 식재가능구역 및 식재구간의 결정

저목의 식재기준에 따라 제방 및 저수로로부터 10m를 이격하여 식재가능구역을 설정하고, 고수부지폭의 1/4이하로 그림 2와 같이 식재구역을 결정하였다.

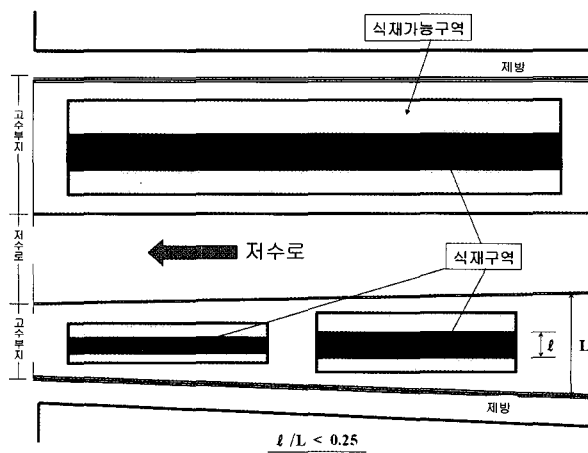


그림 2. 식수구역선정 개념도

③ 수목의 배치

수목의 배치는 저목이 군생으로 식재된다고 할 때의 식재허가지준에 따라 배치하였다.

④ 식재밀도

식재밀도는 저목의 본당 면적을 1m²(1m×1m)로 가정하여, 전체 식재가능구역의 비로서 산정하였다.

⑤ 식수허가지도의 제작

①~④ 과정을 기초로 대상구간의 식재허가지도를 제작하였다. 그림 3은 제2구간 군자교~장안교 구간의 식재허가지도의 작성 예이다. 그림 3에서 음영으로 표시된 부분은 식재허가구역을 나타낸 것이다. 군자교, 장평교, 장안교 등 주요 교량부와 배수통관을 제외한 좌·우안 고수부지를 식재가능구역으로 설정하였다.

4.2 식재에 의한 홍수위 변화 분석

식재허가지도에 의한 식재시 홍수위 변동을 분석하기 위해 1차원 모형(HEC-RAS), 준2차원모형, 2차원 모형(FESWMS)을 적용하였으며, 식재에 따른 홍수위 변화를 모의하기 위해 지형자료 및 경계조건은 '중랑천하천정비기본계획(2002)'을 이용하였다.

상류유입조건으로는 중랑천의 계획홍수량(100년빈도) 사용하였으며, 하류단 경계조건은 한강합류부의 기점수위 15.48m를 적용하였다. 조도계수는 식재가 없을 경우에는 0.03을 적용하였으며, 표 3과 같이 식재가 있을 경우에는 조도계수 산정식에 따라 산정된 값들 중 평균값 0.06을 적용하였다.

식재에 따른 홍수위의 영향을 1차원 모형(HEC-RAS)을 이용하여 분석한 결과 그림 4에서와 같이 식재가 있는 군자교 상류 지점부터 수위의 차이를 나타내고 있다. 식재구간에서 평균적으로 약 13cm 정도의 수위상승을 나타내고 있으며, 부분적으로 최대 35cm 정도의 수위상승을 나타내었으나, 제방여유고는 충분한 것으로 분석되었다. 고수부지의 유속은 0.78~2.08m/s 정도로 계산되었다.

또한 식생에 따른 수리학적 특성의 분석을 위해 사용된 준2차원 모형은 福崗捷二(1992)에 제시한 기본식을 바탕으로 수치모형을 구성하였으며, 식생에 따른 혼합계수와 같은 기본 수리인자들은 福崗捷二가 실험을 통해 제시한 값 등을 사용하였다. 그림 5는 준2차원모형의 적용결과 이며 대상구간에서 평균적으로 20cm 정도의 수위상승을 나타내었으며, 최대 41cm 정도의 수위 상승을 나타내었으나, 제방여유고에는 미치지 않는 것으로 분석되었다.

식재에 따른 수위변화를 계산하기 위한 2차원모형

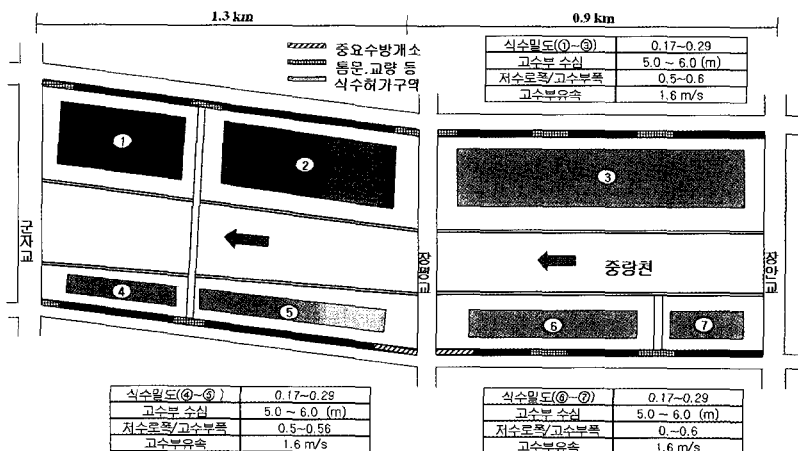


그림 3. 중랑천 군자교~장안교 구간의 식재허가지도

표 3. 산정식별 조도계수

방법	방법 및 기본식	대상구간의 n값
Chow	실험 및 관측자료(Table)	0.035 - 0.07
Cowan	기본하상재료, 하도의 불규칙성, 단면의 변화, 불규칙성, 식생 등을 고려 $n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$	0.04 - 0.048
Petryk & Bosmajian	$n = n_0 \sqrt{1 + \left(\frac{C_s \sum A_i}{2gAL}\right) \left(\frac{1.49}{n_0}\right)^2 R^{4/3}}$	대상구간에 적용안됨
Wu의 제안식	$n_b = \left(\frac{D^{1/6} T^{1/2}}{\sqrt{2g}}\right) \sqrt{C_D'}$	0.037
USACE	$n = 0.183 \left(\frac{E_s A_s}{\rho A_i V_*^2}\right)^{0.183} \left(\frac{H}{Y_o}\right)^{0.243} (MA_i)^{0.273} \left(\frac{\nu}{V_* R_h}\right)^{0.115} \left(\frac{1}{V_*}\right) R_h^{2/3, 1/2}$	0.071 - 0.095
리버프론트센터 기법	$\therefore n = (n_b^2 + \frac{a}{2g}) h^{1/3} [C_D C h_0 + C_u a_u]^{1/2}$	0.035 - 0.048
	고수부지의 식생의 높이와 수심 비	0.06

※ 참고문헌 : 도시홍수재해관리기술연구단 2004년도 기술보고서 FFC04-04

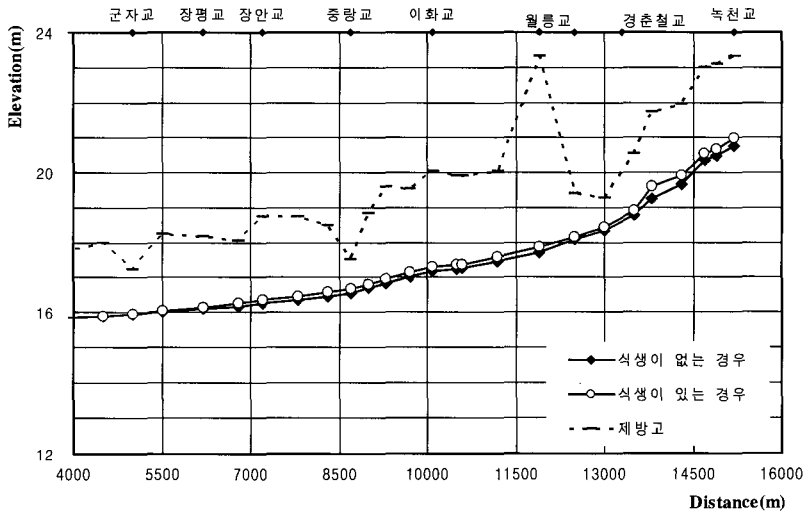


그림 4. 식생에 따른 홍수위 변화(HEC-RAS)

으로 FESWMS를 사용하였다. 그림 6은 FESWMS를 사용하여 식재에 따른 수위 변화를 모의한 결과이다. 수위변화는 HEC-RAS와 비슷한 결과를 나타내고 있으며, 평균적으로 수위상승은 약 17cm 정도의 상승을 나타내었으며, 최대 약 25cm의 수위 상승을 나타내었으나 제방여유고에는 미치지 않는 것으로 나타났다.

5. 결론

하천경관향상이나 시민들의 고수부지 이용이 증가하면서 고수부지에 식재 요구가 증대되고 있는 상황에서 치수적으로 지장이 없는 식재구역 및 방법을 제시하는 식재허가제도 작성이 필요하다고 판단되어 식재허가제도 제작의 기본적인 방법을 조사하였다. 실

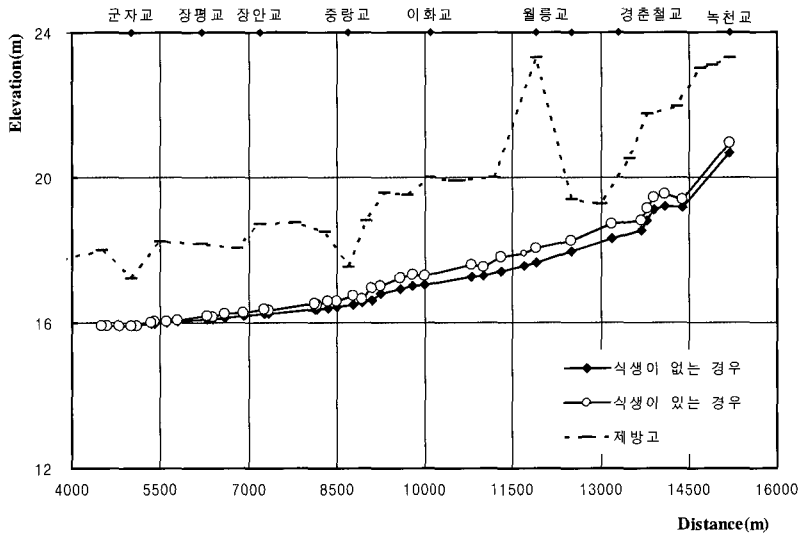


그림 5. 식생에 따른 홍수위 변화(준2차원)

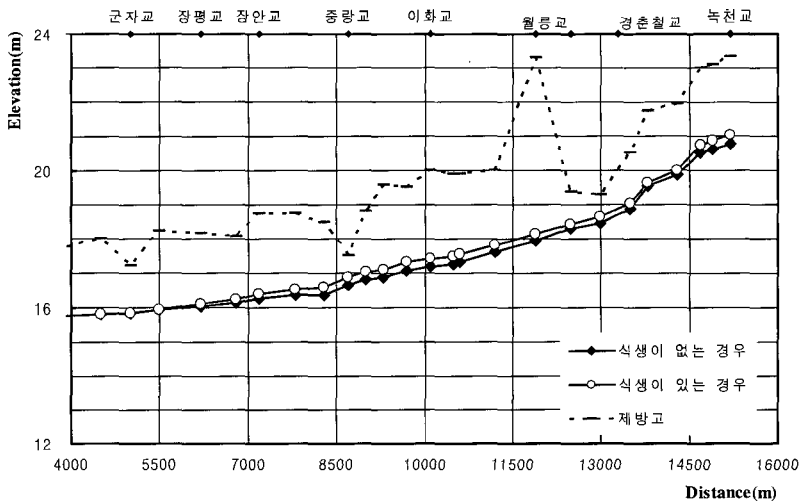


그림 6. 식생에 따른 홍수위 변화(FESWMS)

제 하천에 적용을 위해 중랑천 서울시 구간에 대하여 식재허가지도를 제작하였으며, 이에 따른 수리학적 영향을 분석하기 위해 1차원 모형으로 HEC-RAS, 준2차원모형, 2차원모형으로 FESWMS를 대상 구간에 적용하였다.

중랑천에 100년빈도 홍수량에 대하여 식재허가지도의 검토 결과, 저목의 식재시에는 중요 수방개소를

제외한 구간에 식재가 가능하였다. 수리학적 영향의 분석 결과 수위상승은 식재 전·후에 HEC-RAS의 경우 최대 35cm, 준2차원 모형의 경우 최대41cm, FESWMS의 경우 최대 25cm 정도로 계산되었다. 고수부지의 수심이 4~5m정도임을 고려할 때, 수위상승은 10% 이내로 비교적 적은 것으로 판단된다.

따라서, 본 고에서 검토한 저목의 식재허가지도의

작성기준에 따른 식재는 홍수위에 미치는 영향이 적을 것으로 판단되며, 식재허가지도의 국내 도시 하천에 적용성을 확인할 수 있었다. 그러나 식재에 따른 조도계수나 식재에 따른 수리학적 영향은 향후 식재에 의한 수위변화 실험 및 현장실측을 통하여 보완이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고문헌

- 건설교통부(1997). 하천내 수목의 현황 및 관리방안에 관한 조사·연구.
- 건설교통부(2004). 도시하천의 생태 및 수리특성 분석 기술, 도시홍수재해관리기술연구사업단, FFC03-04.
- 이진원, 우효섭(1994). 하천내 식수기준의 국내외 비교·검토 및 개선방향, 대한토목학회 학술발표회 논문집 (II), 대한토목학회, pp. 295-298.
- 한국건설기술연구원(1998). 하도내 수목관리 워샵.
- 리버프론트정비센터(1999). 河川에서 樹木管理의 案内, 山海堂.
- 建設省河川局 治水課(1994). 河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案), pp. 20-60.
- 福岡捷二, 藤田光一(1990). 洪水流に及ぼす河道内樹木群の水利的影響, 土木研究所報告, 第180号-3, pp. 129-192.
- 福岡捷二, 藤田光一, 新井田浩(1992). 樹木群を有する河道の洪水位豫測, 土木學會論文集, 第 447/II-19, pp. 17-24.
- Craig F., Syndi D.(1999). Determining drag coefficients and area for vegetation, US Army Engineering Research and Development Center.
- Darby, S. E.(1999). Effect of riparian vegetation of flow resistance and Flood Potential, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 5.
- Fathi-Maghadam, M. and Kouwen, N.(1997). "Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 123(1), 51-57.
- Freeman, G. e.(1997). Analysis and prediction of plant stiffness modulus for selected plants, Federal Contact No. DACW-39-97-M-1413, US Army Engineer Waterway Experiment Station, Vickburg, MS.
- Kouwen, N. and Fathi-Maghadam, M.(2000). "Friction factor for coniferous tree along rivers." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 126(10), 634-640.
- Prezedwojski, B., Blazejewski, R., and Pilarczyk, K. W.(1995). River training techniques, pp. 414-486.
- Wu, F. C., Shen, H. W., Chou, Y. J.(2000). Variation of roughness coefficient For unsubmerges and submerges vegetation, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.125 No. 9, pp. 934-942. 