

국내 도시하천에 대한 식수허가지도의 적용성 검토

An Application Analysis of Vegetation Permission Map in Urban Stream in Korea

이 준 호* / 윤 세 의**
Lee, Joon Ho / Yoon, Sei Eui

Abstract

In order to design and manage the urban streams, the change of hydraulic characteristics by vegetation must be analyzed clearly. Planting criteria of vegetation in a urban stream were investigated and the design method of vegetation permission map was analyzed in this study. In addition, variations of water level due to vegetation are calculated by quasi two dimensional numerical model, HEC-RAS model and FESWMS model. Joongrang stream(Gunja bridge~Jangan bridge reach) was selected as the case study stream. According to the criteria of vegetation, it is decided that vegetation density was 0.5~1.0 tree/ha for selected tall tree in right floodplain and shrubs can be planted in the right and left floodplain area except the important hydraulic structures site. The selected shrubs planting simulations with three models show that water level in selected floodplain area increase approximately 12cm for the 100 year return period flood. The applicability of vegetation permission map in Korean urban stream was analyzed in this paper.

key words : Vegetation, Flood level, Vegetation permission map, Numerical model

요 지

도시하천의 관리와 계획에 있어 식수에 따른 수리학적 특성의 변화는 명확히 분석되어야 한다. 본 연구에서는 도시하천의 식수기준을 분석하고, 도시하천의 고수부지내 식수가 가능한 지역을 표시한 식수허가지도 제작 방법을 검토하였다. 또한 식수에 따른 수리학적 영향을 준2차원 수치모형, HEC-RAS, FESWMS 모형을 활용하여 분석하였다. 중랑천의 장안교부터 군자교까지의 구간을 대상으로 선정하여 100년빈도 홍수량에 식수허가지도를 제작한 결과, 교목의 식수시에는 하천의 우안에 0.5~1본/ha 정도의 식수가 가능하였으며, 관목의 경우에는 좌안 및 우안의 중요수방구간을 제외한 지역에 식재가 가능하였다. 또한 관목의 식재에 따른 수리학적 영향은 약 12cm 정도의 수위상승 결과를 나타내었다. 따라서 대상구간에 식수에 따른 수위 상승은 적은 것으로 판단되므로 식수허가지도에 따라 식수가 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 식생, 홍수위, 식수허가지도, 수치모형

1. 서 론

최근에 지방자치단체의 하천환경정비사업등으로 인해 하천경관의 향상이나 고수부지 이용시설의 증가로 하천이나 고수부지에서의 시민들의 여가활동이 증가하고 있으며, 이에 따라 하천내 식수에 대한 시민으로부터

터의 요구도 강해지는 경향이 있다. 이러한 요구에 하천관리자가 대응하기 위해서는 식수목의 수리적인 영향이나 도복 및 유출의 가능성을 파악하는 것이 필요하다.

하천에 있어 식생은 생태계 공간적으로도 육상과 수생생태계의 중간에 위치함으로써 경관적이고 기능적인

* 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (e-mail : sof814@paran.com)

** 정회원 · 경기대학교 이공총괄학부 토목환경공학부 교수

중요성을 인정받고 있다. 특히 수변에 나타나는 하천식생은 복원사업에 있어서 가장 기초적인 하천생태계의 생산자로 이용되고 있다. 따라서 실제 자연하천에의 하상이나 하안부에 분포된 1년생 잡초를 비롯한 관목 등은 수중 및 야생동물의 서식처와 자연의 쾌적함을 제공하기도 한다. 그러나 이것으로 인해 하천의 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 식수를 계획할 경우에는 이러한 수리학적 특성의 변화를 명확히 분석하여 하천식수로 인한 장점뿐만 아니라 단점에 대한 충분한 검토가 진행된 후 하천에 식수하여야 한다.(우효섭, 1997, 2001)

따라서 하천관리자는 치수상 지장이 없는 식수 가능한 구역 및 식수방법을 기술적으로 검토해서 고수부지 식수허가지도를 작성하고, 식수요구등에 신속하게 대응하는 것이 중요하다. 구체적인 식수요구가 제시된다면 고수부지 식수허가지도를 참조하여 식수의 위치나 나무의 수 및 수종의 타당성을 확인하고 타당하지 않은 경우에는 그 이유를 자세히 설명을 하고 그것에 대신하는 위치 등의 대체안을 제시하는 것이 바람직하다. 식수허가지도에는 식수가능구역, 허용식수밀도, 대상구간의 식수허가 그루수 등을 기입하여 식수요청자에 대한 설득자료로 활용한다. 또한 그 외의 자료로서 식수허가지도에 식수가능구역의 검토에서 얻어지는 고수부지상의 유속, 계획홍수위, 식수금지구역의 이유 등을 기입해두면 식수목의 도복 판정 등에 이용할 수 있다.(리버프론트센터, 1999)

하도내 식생에 따른 흐름특성에 대한 국외 연구로 福岡捷二(1990) 등은 수목군의 수리특성을 조사하여, 그 결과 수목군이 홍수류에 주는 영향을 파악하는 방법을 제시하였고, 하도계획·관리에 있어서 하도내 수목군을 다룰 때 기본적인 고찰방향을 대형모형실험을 통하여 수리적 관점에서 검토하였다. 福岡捷二(1992) 등은 하도내에 여러 가지 배열로 존재하는 밀집한 수목군으로 인한 저항증가, 수목군에 의해 형성되는 복단면형상으로 인한 저항을 고려하여 운동량방정식을 제안하였으며 이로부터 홍수류의 유속분포와 수위종단형을 예측할 수 있음을 발표하였다. 日本 建設省河川局治水課(1994)에서는 하도내 수목군의 치수상의 영향을 정량화한 기법을 제시하였다. 하천에서 식생을 이용하기 위한 전반적인 사항에 대해서 Prezedwojski(1995) 등은 하천관리 기술자적인 측면에서 뿐만 아니라 식물

학자적인 측면에서 식물의 성질과 구조, 식생보강의 장단점 등을 논하였다. Vedrana Kutija(1996) 등은 갈대와 같은 연성식생(flexible vegetation)의 흐름에 대한 저항을 계산하기 위한 수치모델을 발표하였다. Darby(1999) 등은 1990년대 이후 하천식생에 의한 흐름저항 모형 연구를 종합하여, 식생 하천에서 횡방향 전단을 고려한 Wark 등의 운동량 방정식에 기초하고, Mast erman과 Throne(1992)의 식생 저항모형에 Darby와 Thorne(1996)의 자갈하천 모형을 결합하여, 모래나 자갈하천에서 다양한 식생 형태에 따른 흐름저항을 추정하였으며, 일본의 리버프론트센터에(1999)서는 기존의 하천의 수목관리기법을 바탕으로 식수허가지도의 제작 방법에 대해 제시하였다.

한편, 하천식수와 관련된 국내의 연구동향을 살펴보면, 이진원(1994) 등은 일본과 우리나라의 식수기준을 비교·검토하였으며, 윤세의(1996)는 하천식수에 의한 수리학적 영향 중에서 수목이 흐름에 의해 받는 힘, 수목군의 조사방법, 조도계수의 변화, 수목에 의한 수위 상승 예측방법 등에 대하여 발표하였다. 건설교통부(1997)는 국내 수목의 현황 및 관리방안에 관한 조사 연구를 통해 하천내 수목관리를 위한 기준을 제시 하였으며, 송재우(1997) 등은 하천제방의 식생에 관하여 실무적으로 검토한 바 있다. 건설기술연구원(1999)은 하천식생에 의한 수리특성예측모형개발에 대한 연구를 수행하였으며, 이삼희(2000)는 하천식생의 수리특성에 관한 연구의 필요성 및 중요성과 앞으로의 주요 연구 방향에 대해 심도있게 논의하였다. 최성욱(2000)은 k-ε 난류모형을 이용하여 식생된 개수로에서의 흐름구조를 수치모델의 한 바 있으며, 조홍제(2002) 등은 둔치에 대한 인위적 식생으로서 도시하천의 친수공간 확보와 자연형 하천정비기법의 적용 가능성을 제안하였으나, 현재 국내 하천에 식수 기준과 방법에 관한 연구는 충분치 못한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 하천에 식수의 필요성과 식수에 대한 요구가 증가하고 있는 시점에서 합리적이고 홍수에 대해 안정적인 식수를 위해 식수가능구역을 제시하는 식수허가지도 제작 방법을 검토하고, 식수허가 제작 방법에 따라 중랑천의 군자교~장안교 구간을 대상으로 식수허가지도 제작하였으며, 식수에 따른 하천의 수리학적 영향을 분석하였다.

2. 식수허가지도의 제작 방법

2.1 식수허가지도의 제작

식수허가지도는 치수상 지장이 없는 식수 가능한 구역 및 식수방법을 기술적으로 검토하여 식수가능구역,

허용식수밀도, 대상구간의 식수허가 그루수 등을 표시한다. 그림1은 식수허가지도의 작성과정을 나타내고 있으며, 식수허가지도의 작성을 위해서는 중요 수방구간을 제외하고 하천관리시설등의 고려와 세굴의 판정을 통해 우선 식수를 허가할 수 있는 구역 선정한다. 대상구간의 평균적인 하도형상에서 저수로폭과 고수부지폭(좌우안함계)의 비와 하상경사등의 자료를 활용하여 허용식수 밀도를 산정하고, 각각의 식수가능구역에 관해서 고수부지의 면적을 도상계측하고 식수할 수 없는 구간을 제외하고 각각의 고수부지의 전면적을 대상으로 하며 허용식수밀도를 이용하여 식수 가능 그루수를 산정한다.

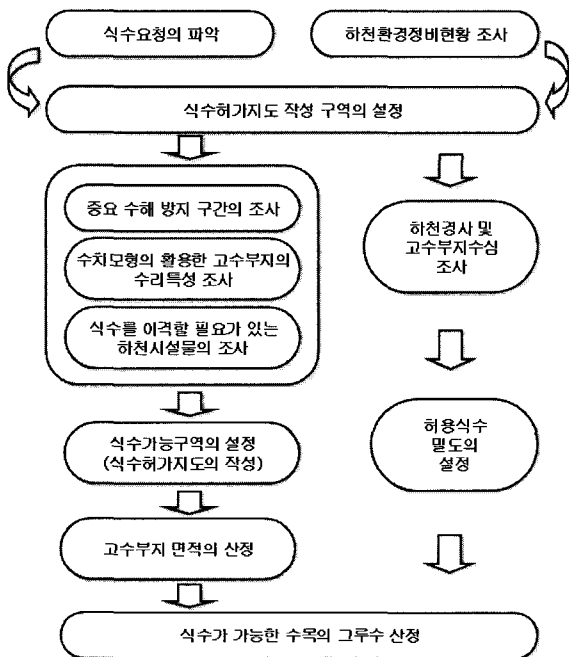


그림 1. 식수허가지도의 작성 과정

2.2 식수허가지도의 제작 과정

2.2.1 식수가 가능한 구역의 설정

식수허가지도의 제작 절차는 식수요구 및 하천환경정비에 따라 대상구간을 선정하고 허용식수기준에 따라 식수가능구역을 설정하게 된다. 하천식수기준은 ‘하천구역내 나무심기 및 관리에 관한 기준’(건설기술연구원, 1998)에 따르며, 원칙적으로 치수상의 지장이 없어야 하고 수종의 선정시에는 환경적 특성 및 성장특성을 고려하여 선정하여야 한다. 또한 하천의 제방고, 제방단면, 체제강도, 누수, 수충부, 세굴, 기타 하천의 시설물을 고려하여 표 1에서 제시되고 있는 구역은 식수의 허가를 금지하도록 한다.

즉, 식수에 의한 수위 상승과 유속분포변화가 제방의 안정을 위협할 우려가 있는 구역, 수목의 뿌리가 제방 본체에 침입하고 호안 등의 시설을 손상할 우려가 있는 구역, 식수목의 홍수에 의한 도복, 또는 세굴의 우려가 있는 구역, 식수목이 도복되고 유목화한 경우에 있어서 하도 등을 폐색 시킬 우려가 있는 구역에서는 식수를 금지하도록 한다.(건설기술연구원, 1998)

2.2.2 수종에 따른 식수구간 및 허용식수밀도

중요수방개소 및 하천특성에 따라 식수구역이 설정되면, 다음으로 수종에 따라 허용식수구간이 설정된다. 수종은 크게 교목과 관목으로 나누며, 수고(지면에서 주줄기와 잎가지 까지의 수직 높이)가 1m 이상인 수종을 교목으로 한다. 본 연구에서는 하천에 식재시 치수적 안정을 위해 일본 리버프론트센터에서 제시하고 있는 교목과 관목에 따른 허용식수기준을 비교·정리하여 표 2에 제시하였다.

관목의 경우에는 하천의 고수부에서 제방 및 저수로로부터 각각 10m이상 떨어진 구역에 관목을 식수할 수 있도록 제시하고 있다. 또한 관목을 군생(다수의 관목이 1군데에 정비된 상태)할 경우 유목단면적의 축소가 커져 무시할 수 없는 수위상승이 생길 가능성이 있다. 이는 군생의 폭이 크고, 하천종단방향의 군생의 범위가 큰 만큼 수위상승량이 커지기 때문이다. 따라서 군생의 폭(횡단방향으로 복수의 군생을 설치하는 경우에는 각각의 폭의 합계)을 고수부폭의 1/4이하로 합과 동시에 종단방향의 군생의 범위를 100m이하로 억제하고, 상·하류에 군생해서 식수하는 경우에는 수위상승이 누적하지 않도록 충분히 거리를 두는 것이 바람직하다. 이 범위 이상의 식수를 검토 할 경우에는 준2차원해석등에 의해 수위상승량을 검토하고 치수상 문제가 없는 것을 확인 할 필요가 있다.

교목의 식수는 제방 및 저수로로부터 20m이상, 제방과 계획홍수위의 접선으로부터 25m이상의 거리를 두게 하고 있다. 이는 제방과 수목의 사이가 유목등에 의해 폐색되고, 제방유실 등의 위협을 예방하기 위해서이며, 또한 식수목의 주위에서는 유속분포가 변화하고, 제방을 따라 고속류가 생길 경우를 방지하기 위한 것이다. 이것은 한 그루씩 서있는 수목에 의해 유속이 증대하는 범위는 수관부반경의 대체로 3배정도의 범위라고 추정되고, 식수목의 수리적영향을 2차원해석한 결과에 의하면 수관폭 5m정도의 수목에서는 횡단방향에 약 20m의 범위에서 영향이 생기는 것에서 결정되었다.(福嶋捷二, 1990) 따라서 기준에서 나타나는 거리를 확보한다면 제방에 악영향을 미치는 경우는 없다고 판단된다.

표 1. 식수금지구역

구 분	내 용
제 방 고	기존 제방의 홍수위에 대한 여유고가 하천시설기준에서 정하는 여유고의 1/5 이하로써 계획홍수량을 소통시키는데 위험이 예상되는 장소
제방단면	현재의 제방단면 혹은 제방마루폭이 계획의 제방단면 혹은 계획의 마루폭의 2분의1 미만의 구간
제체강도	제체 또는 기초지반의 토질이 연약하고, 비탈면 붕괴, 슬라이딩 또는 급격한 침하 등이 발생한 적이 있거나 위험이 예상되는 곳, 수충부의 신설 제방으로 완성후 3년 이하인 곳
누 수	제체 또는 기초지반에서 누수가 발생한 적이 있거나 개연성이 많은 곳
수 충 부	홍수시 수충부로서 제방·저수호안 등이 파손되었거나 파손 될 위험이 있는 곳
세 굴	제방 부근이 하안이 세굴되어 있는 곳으로 호안 근고공이 세굴되어 있고, 수제 등이 파손되거나 기타 공작물의 돌출로 세굴이 예상되는 곳
공 작 물	취수보, 통문, 통관 등 제방 횡단 공작물 설치시기가 오래되었고 부등침하, 누수 등으로 불의의 사고가 예상되는 곳

(하천구역내 나무심기 및 관리에 관한 기준, 1998)

표 2. 식수허용식수기준

구 분	관 목	교 목
월류위험	· 제방 및 저수로에서 10m 이상 · 군생의 경우 고수부지 폭에 1/4 이하	· 제방 및 저수로에서 20m 이상 · 계획홍수위에서 25m 이상
저수로에 대한 고려	· 제방 및 저수로에서 10m 이상	· 제방 및 저수로에서 20m 이상
구조물에 대한 고려	· 필요 호안장의 2배	
세굴에 대한 영향	· 고수부지상의 유속이 2m/s 이상이면 식수의 재검토	
허용식수밀도	· 홍수유하단면의 경우 : 하상경사, 저수로폭/고수부지폭, 수심을 고려해서 결정 · 사수역의 경우 : 16본/ha	
허용식수간격	· 횡 방 향 - 식생군의 폭이 고수부지 폭에 1/4 이하 · 종단방향 - 식생군의 종단방향 연장 100m이하, 간격 50m 이상	· 횡 방 향 25m이상 · 유하방향 20+0.005Q (50m이상일 경우 50m)
수 형	· 성목시에 지하고가 높고, 수관폭이 극단적으로 커지지 않는 수종의 선택	

교목의 식수시 허용식수밀도는 대하천에 있어서 고수부지상의 한 그루씩 심어진 수목이 흐름에 미치는 영향은 통상 국소적이고, 하도전체의 수위상승과 유속 분포변화를 가져올 가능성은 적다고 판단 할 수 있다. 그러나 식수밀도가 크게 되면 저유속과 극단적인 경우에는 사수역이 형성되고, 하도전체의 흐름에 영향을 주게 된다. 이러한 수목에 의한 흐름의 영향이 치수상 무시 할 수 있는 최대한의 식수밀도를 표 3과 표 4에 표시하였다. 이 표에서는 허용식수밀도는 고수부지의 계획 홍수위에 있어서의 수심의 증대에 의해 작게 되어 있는데 이것은 수목의 침수심이 깊은 만큼 유수에 작용한 항력이 커지기 때문이다. 또 하도전체의 소통 단면 가운데 식수목의 저항이 직접 작용하는 것은 고

수부지상의 흐름이고, 고수부지의 폭이 넓은 만큼 같은 밀도에서 식수 했을 때 흐름에 대한 저항이 커진다. 즉, 고수부지 폭이 넓은 만큼 고수부지의 유량이 증가 하고 수목에 의한 저항을 받는 유량의 비율이 늘어나 기 때문에 하천에서는 허용되는 식수밀도가 작아진다. (리버프론트센터, 1999)

2.3 식수허가지의 적용

본 연구에서는 전절에서 제시한 식수허가지도 제작 절차 및 허용식수기준에 따라 현재 활발히 하천환경정비사업이 진행되고 있으며, 주변 도시 개발로 인해 주민의 친수환경요구가 증대되고 있는 중랑천을 대상으로 선정하고, 중랑천 중하류부에 위치한 군자교~

표 3. 허용식수밀도(상한) (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

표 4. 허용식수밀도(상한) (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

장안교까지 약 2km 구간에 대해 식수허가지도를 제작하였다. 대상구간의 좌안은 10~30m, 우안은 15~50m 정도의 고수부지를 가지고 있으며, 현재 자전거 도로 및 체육공원으로 활용되고 있다. 그림 2는 대상구간의 전경을 나타내고 있으며, 그림에서와 같이 대상구간내 식생은 50cm이하의 초분류가 차지하고 있다.

그림 3과 그림 4는 식수허가지도 제작 방법에 따라 관목과 교목의 식수시 식수가능구간을 나타내고 있다. 관목의 경우 대상구간의 좌안과 우안 모두에 식수가 가능하였으며, 허용식수밀도는 식수구간과 식수가능구간의 비로 나타내었다. 교목의 경우 대상구간의 좌안 고수부지 폭이 40m 이하로 식수가 표 2.1의 허용기준에 의하여 가능하지 않아 우안쪽만 식수가 가능하였으며, 대상구간에 하상경사가 1/2500이하 이고, 저수로폭/고수부지폭의 값은 0.6~0.8정도 이며, 고수부지 수심이 4~5m 정도임으로 허용식수밀도는 0.5~1본/ha 정

도로 파악되었다.

3. 식수에 따른 홍수위 영향 분석

본 연구에서는 식수에 따른 수리학적 영향을 분석하기 위해 그림 3~그림 4와 같은 식수허가지도에서 군자교~장평교 구간에 식수가 진행되었을 때의 홍수위 변화를 분석하였다. 단, 교목과 관목의 식수허가지도에서 교목의 경우 허용식수밀도(0.1~1 본/ha)에 따라 식수를 할 경우 대상구간에서 2~3그루 정도의 식수가 가능하며, 따라서 식수에 따른 영향이 적을 것으로 판단되어 관목의 경우에 대해서만 홍수위 변화를 분석하였다. 홍수위 변화와 유속 등 수리특성은 1차원 모형 HEC-RAS, 2차원 모형 FESWMS와 본 연구에서 식생의 영향을 고려하여 구성한 준2차원모형을 이용하여 분석하였다.



(i) 군자교 방향

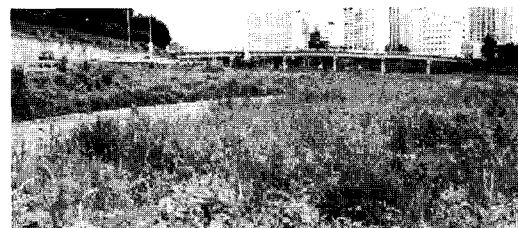


(ii) 장평교 방향

(a) 대상구간의 좌안 전경



(i) 군자교 방향



(ii) 장평교 방향

(b) 대상구간의 우안 전경

그림 2. 중랑천 식수허가지도 제작 대상구간의 고수부지 현황

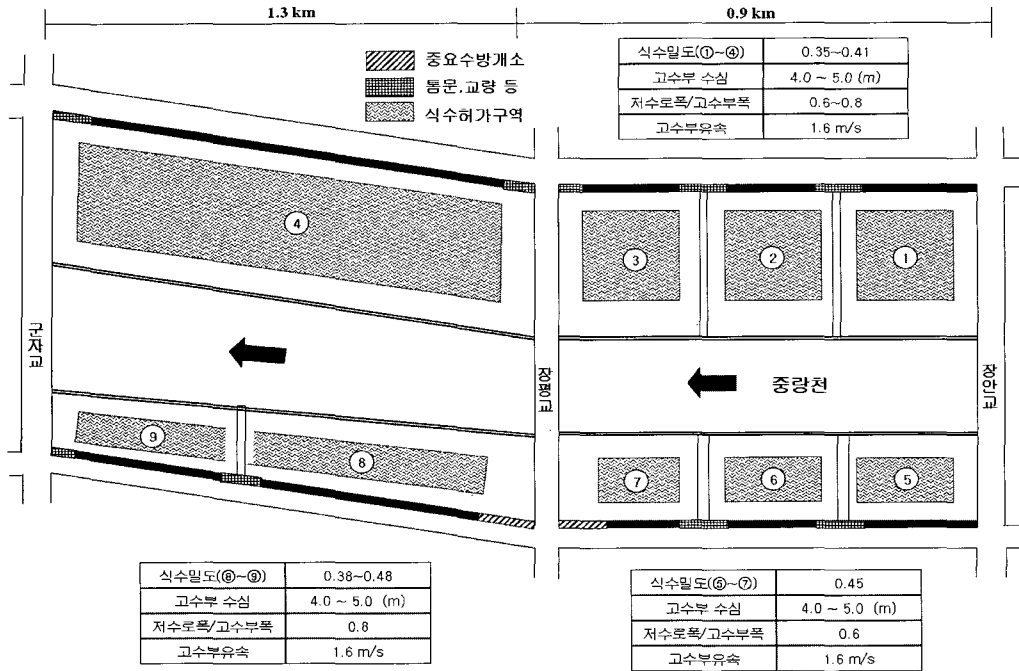


그림 3. 중랑천 군자교~장안교 구간의 식수허가지도 (관목)

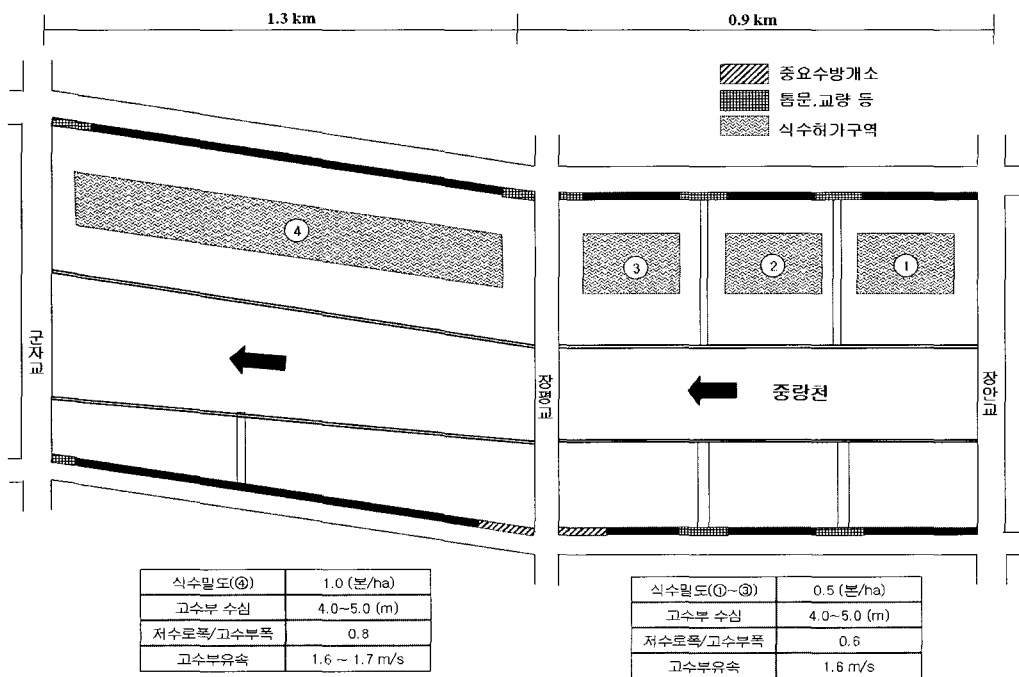


그림 4. 중랑천 군자교~장안교 구간의 식수허가지도 (교목)

3.1 준2차원 모형의 적용

본 연구에서 식생에 따른 수리학적 특성의 분석을 위해 사용된 준2차원 모형은 福崗捷二(1992)에 제시한 기본식을 바탕으로 수치모형을 구성하였으며, 식생에 따른 경계혼합계수와 같은 기본 수리인자들은 福崗捷二가 실험을 통해 제시한 값들을 사용하였으며, 그 기

본이론은 다음과 같다.

3.1.1 기본이론

수목군이 번무한 하도의 부등류계산은 밀생한 수목군의 범위를 사수역으로 가정하고 단면적에서 제외하고, 유속이 다르다고 판단되는 저수로·고수로를 분할

한다. 각 분할단면의 평균유속을 운동방정식과 연속방정식에서 구하고, 각 단면의 유속차에 의해 경계면에 생기는 저항을 구하며, 운동량 보존의 원리에 의해 수위의 종단변화를 계산한다. 이때 적용되는 분할단면에서의 운동방정식은 식(1)과 같다.

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_j (\tau_j S_{wj})}{\rho g} + \frac{\sum_j (\tau'_j S_{wj}')}{\rho g} = A_i I_b \quad (1)$$

여기서, $u_i, n_i, R_i, A_i, S_{bi}$ 는 분할단면 i 의 평균유속, Manning의 조도계수, 경심, 사수역을 제외한 단면적, 그리고 저면전단력이 작용하는 윤변장이며, τ_j, S_{wj} 는 사수역의 수목군경계에 작용하는 전단력과 τ_j 가 작용하는 윤변장이다. 또한 τ'_j, S_{wj}' 는 사수역의 수목군경계 이외의 분할단면 경계에 작용하는 전단력, τ'_j 가 작용하는 윤변장을 나타내며, I_b 하상 경사이다. 식 (1)의 좌변 1항은 분할단면 i 에서 유수의 저면에 작용하는 전단력, 2항과 3항은 운동량 교환에 따라 발생하는 전단력으로써 결국, 좌변은 분할단면 전체의 유수저항을 나타내며, 우변은 중력의 흐름방향 성분을 나타낸다. 이상으로부터 구한 횡단유속분포 u_i 를 이용하여 하상·하안 및 개개의 수목군이 홍수류에 미치는 저항을 직접 산출하고, 흐름방향의 운동량방정식을 적용하여 종단수위를 계산한다.

본 연구에서는 하도에서 식수를 고려한 수위예측을 위해서 입력된 자료로부터 분할단면의 단면적과 윤변을 계산하여 운동방정식과 연속방정식에 의해 각 단면의 평균유속을 구한 후, 표준축차법을 이용하여 상류수위를 계산할 수 있는 수치모형을 구성하였다.

3.1.2 모형의 적용

중랑천의 식수 대상구간에 적용된 관목의 식수허가지도(그림 3)에 따라 식수를 하였을 때, 수리학적 영향

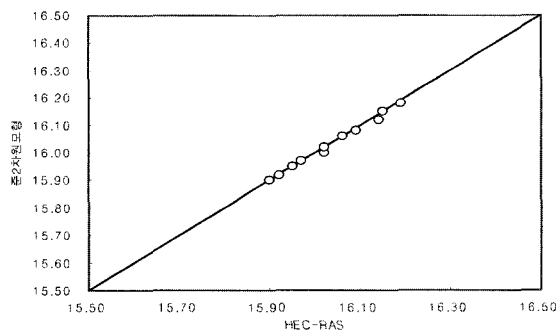


그림 5. HEC-RAS 모형과 준2차원모형과의 비교

을 준2차원 수치모형을 활용하여 분석하였다. 본 연구에서 적용한 준2차원모형은 하천의 횡단면을 단순화시켜 계산하기 때문에 모형의 검증에 있어 식수가 되어 있지 않을 때에 수위분포를 최근 범용적으로 사용되고 있는 HEC-RAS모형과 비교하였다.(그림 5). 식재에 따른 수리학적 영향은 대상구간인 중랑천에 100년 빈도 유량에서 그림 3의 식수허가지도의 균자교~장평교 사이에 관목이 식수되었을 경우 홍수위 변화를 검토하였다. 식수구간은 대상구간에서 배수통관과 만곡부등의 일부구간을 제외한 전구간의 좌·우안에 식수가 되는 것으로 하였다.

그림 5는 식재가 되어 있는 양은 경우에 HEC-RAS와의 준2차원 수치모형의 결과를 비교 한 것으로 비교적 전구간에서 일치하는 결과를 나타내고 있으며, 부분적으로 1~2cm로 미소한 차이를 나타내고 있으나, 이것은 본 모형의 횡단면 분할 수와 HEC-RAS 모형의 횡단분할 수가 틀림에서 오는 차이로 판단된다.

그림 6은 식재 전후의 홍수위 변화를 나타낸 것으로, 중랑천의 식수허가지도에 따른 대상구간에 식수가 이루어 졌을때 식수전과 비교하여 대상구간내의 수위가 크게는 약 10cm 정도 상승한 결과를 나타내고 있다. 따라서 식수허가지도에 따라 관목을 식수 할 경우 식수에 따른 수위의 영향은 적을 것으로 판단되며, 대상구간의 유속 또한 1.6~1.7m/s 정도로 표 2에서 제시한 허용식수기준에 적합한 것으로 나타났다.

3.2 식생에 따른 수위변화 비교

기존모형의 적용은 1차원 모형인 HEC-RAS와 2차원모형인 FESWMS를 적용하였으며, 대상구간의 경계 조건은 준2차원모형의 적용시와 같게 하였으며, 기존 모형에서는 식생에 따른 영향을 고려하는 요소가 조도계수 외에는 없으므로 조도계수를 통해 식생에 따른 영향을 반영하였다.

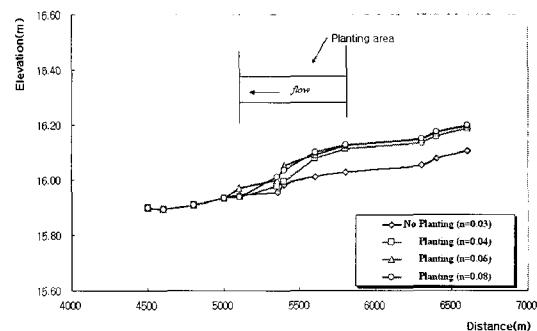


그림 6. 식생에 따른 수위 변화 (준2차원모형)

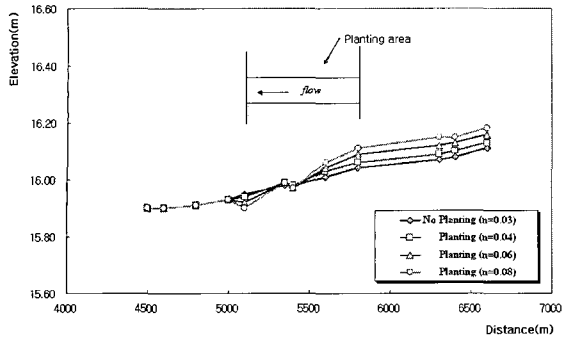


그림 7. 식생에 따른 수위 변화 (HEC-RAS)

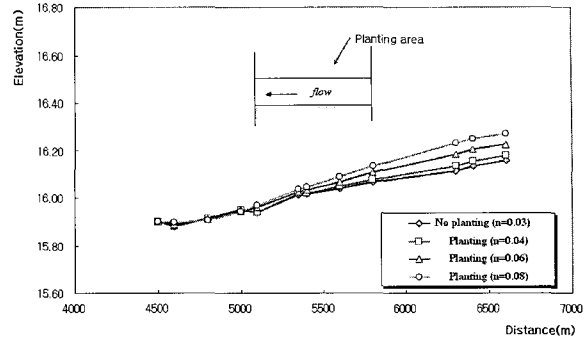


그림 8. 식생에 따른 수위 변화 (FESWMS)

식생된 개수로에서의 조도계수에 관한 연구는 Chow(1959), SCS(1975), Cowan(1956), Petryk & Bosmajian (1975), FHWA(1984), 리버프론트센터(1999), USACE(2000), Wu(2000) 등 여러 연구가 있으며, 본 연구에서는 각 방법에 따라 조도계수를 산정하여 식재가 없을 경우에는 0.03을 식재시에는 0.04~0.08까지 적용하였다.

식수허가지도에 따라 식수를 하였을 경우 홍수위 변화를 모의하기 위해 식생에 따라 산정된 조도계수를 1차원 모형 HEC-RAS와 2차원모형 FESWMS에 적용하였다.

그림 7과 그림 8은 각각 HEC-RAS와 FESWMS로 모의된 대상구간의 수위 변화를 나타내고 있다.

각 모형의 모의 결과는 식수에 따라 조도계수가 변화에 따라 HEC-RAS의 경우 최대 8cm, 준 2차원 모형은 10cm, FESWMS의 경우 최대 12cm 정도의 수위 변화를 나타내었다. 그러나 준2차원 모형에서 식재구간 내의 수위 상승량이 가장 크게 나타났고, HEC-RAS와 FESWMS의 경우 식재구간 상류부의 수위 상승량이 비교적 크게 나타났다. 이는 모형에 수치모의 특성 차이로 인한 결과로 생각된다. 각 모형에 따른 식수에 의한 수위 상승량은 최대 12cm 정도로 계산되고 있어서 식수허가지도의 기준에 따른 관목의 식수는 홍수위 상승에 영향이 비교적 적은 것으로 생각된다. 따라서 국내 하천에 식수허가지도의 적용성을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 도시하천의 하천환경정비를 위한 식수의 필요성에 따라 국외의 하천식생을 위한 가이드라인을 조사하였다. 하천경관향상이나 시민들의 고수부지 이용이 증가하면서 고수부지에 식수 요구가 증대되

고 있는 상황에서 치수적으로 지장이 없는 식수구역 및 방법을 제시하는 식수허가지도 작성이 필요하다고 판단되어 식수허가지도 제작의 기본적인 방법을 조사하였으며, 실제 하천에 적용을 위해 중랑천 군자교~장안교까지를 대상구간으로 선정하고 식수허가지도를 제작하였으며, 이에 따른 수리학적 영향을 분석하였다.

중랑천 군자교~장안교 구간에 100년빈도 홍수량에 대하여 식수허가지도의 검토 결과, 교목의 식수시에는 대상구간의 우안부에 0.5~1 본/ha 밀도로 식재가 가능하였으며, 이에 따라 홍수위 상승이 미약하다고 판단되어 계산에서는 제외시켰다. 관목의 식수시에는 우안부 전구간과 좌안에서 중요수방개소를 제외한 구간에 식재가 가능하였다. 관목의 식재에 따른 홍수위변화를 기존의 HEC-RAS모형과 FESWMS모형, 그리고 본 연구에서 구성한 준2차원모형으로 분석 결과 수위상승이 최대 약 12cm로 홍수위에 영향이 비교적 적은 것으로 나타났으며, 준2차원 모형의 경우 식재 구역에서 수위상승을 비교적 잘 반영하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 검토한 관목의 식수허가지도의 작성기준에 따른 식수는 홍수위에 영향이 비교적 적은 것으로 판단되며, 식수허가지도의 적용성을 확인하였다. 그러나 식수에 따른 조도계수나 식수에 따른 수리학적 영향은 향후 식수에 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.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1997) 하천내 수목의 현황 및 관리방안에 관한 조사·연구.
- 건설교통부 (2004) 도시하천의 생태 및 수리특성 분석 기술, 도시홍수재해관리기술연구사업단, FFC03-04.
- 권기원, 최성욱 (2000) 식생된 개수로 흐름의 $k-\epsilon$ 난류해석. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제20권, 제1-B호, pp. 11-21.
- 송재우, 이원희, 이상태 (1997) 식생호안의 기술적 검토, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제30권 제1호, pp. 54-63
- 우효섭 (2001) 하천수리학, 청문각
- 우효섭, 이삼희 (1997) 환경친화적 하천계획, 대한토목학회지, 제45권 제2호, pp. 48-56.
- 윤세의 (1996) 하천식수의 수리학, 한국수자원학회지, 제29권 제2호, pp. 27-38.
- 이삼희 (2000) 하천식생의 수리특성에 관한 연구, 한국수자원학회지, 제33권, 제1호, pp. 64-67.
- 이진원, 우효섭 (1994) 하천내 식수기준의 국내외 비교·검토 및 개선방향, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 295-298.
- 조홍제, 최현근, 이태영 (2002) 도시하천 둔치내 식생의 평면적 분포에 따른 홍수위 변화의 실험적 연구, 한국수자원학회논문집, 제 35권 제2호 2002, pp. 203-212
- 한국건설기술연구원 (1998) 하도내 수목관리 워샵.
- 리버프론트정비센터 (2000) 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理的影響, 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.
- Arcement, G. J. and Schneider, V. R. (1984) *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*, Federal Highway Administration, FHWA-TS-84-204.
- Craig F. and 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.
- Darby, S. E. and Thorne, C. R. (1996) Prediction stage-discharge curves in channels with bank vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.122, No.10, pp. 583-586.
- Ellen E. W. (1998) Uncertainty In Flood Estimates Associated With Roughness Coefficient, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.124, No. 2.
- Gary E. F., William J. R. and Ronald R. C. (2000) *Determination of resistance due to shrubs and woody vegetation*. US Army Corps of Engineer, TR-00-25.
- Kutija, V. and Hong, T. M. (1996) A Numerical Model for Assessing the Additional Resistance to Flow Introduced by Flexible Vegetation, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 34, No. 1, pp. 99-114.
- Prezedwojski, B. and Blazejewski, R., and Pilarczyk, K. W. (1995) *River Training Techniques*, pp. 414-486.
- Urquhart, w. j. (1975) *Hydraulics, Engineering Field Manual*, US Department of Agriculture, Soil Consermation Service.
- Wu, F. C., Shen, H. W. and 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.

◎ 논문접수일 : 2005년 08월 03일
 ◎ 심사의뢰일 : 2005년 08월 05일
 ◎ 심사완료일 : 2005년 09월 14일