

연구논문

수목 식재에 따른 하천내 수리학적 영향 평가

권택훈* · 최승용** · 한건연***

경북대학교 건축 · 토목공학부 석사과정*, 경북대학교 건축 · 토목공학부 박사수료**,
경북대학교 건축 · 토목공학부 교수***

(2010년 4월 30일 접수, 2010년 10월 22일 승인)

Assesment of Hydraulic Influence by Tree Planting in River

Kwon, Taek Hoon* · Choi, Seung Yong** · Han, Kun Yeun***

Master Course, School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University*
Ph.D. Candidate, School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University**
Professor, School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University***

(Manuscript received 30 April 2010; accepted 22 October 2010)

Abstract

Understanding of the hydraulics of flow over vegetation is very important to support the management of fluvial processes. The objective of this study is to assess the effects of hydraulic influence by tree planting in a compound channel with vegetated floodplain. This study analyzes the influence of tree planting on hydraulic features in Young-river in Munkyeong city using HEC-RAS and RMA-2 model. The study results showed that there is a rise in water surface elevation and decrease in velocity near vegetated area. It is also ascertained that only negligible effects was seen within the feasible range of freeboard for the existing levees. However, as hydraulic features can vary depending on the aspect of flood inundation during each flood period, it is necessary to accumulate data through continuous data collecting.

Keywords : hydraulic influence, tree planting, HEC-RAS, RMA-2

1. 서론

하천 내의 식생은 하천환경 및 생태계에 순기능을 미치지만 치수적인 측면에서 홍수위 상승을 야기한다는 부정적인 측면이 있어 하천 내 수목의 식재는 근래에까지 엄격히 규제되어 왔다. 이러한 규제의 원인은 하천 내 식생의 영향을 평가하는 기법이 정립되지 않고 식생의 흐름저항을 과다하게 산정하였기 때문이다. 최근에 하천 내 식생에 의한 흐름저항을 정량적으로 평가하는 기법에 대한 연구가 활발히 진행되면서 식생에 의한 흐름저항이 기존의 인식만큼 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 하천의 환경적기능이 대두되면서 오염된 하천의 복원 및 친수공간 조성을 위해 다양한 하천환경정비 공법이 시행되고 있다. 이러한 하천환경정비 공법의 필수적 요소로서 식생은 하천이용증진, 수질개선, 하천경관 향상 그리고 물 서식처형성 등 많은 순기능을 가지고 있는 것으로 파악되어 식생대를 조성하거나 식수를 하고 수면에 습지대를 조성하는 일들이 관심을 불러일으키고 있다. 그러나 치수측면에서 식생은 하천의 흐름저항을 크게 하여 홍수시 수위를 증가시키는 악영향을 미치기도 한다. 따라서 수로와 홍수터에서 식생에 의한 흐름저항 등 수리학적 특성을 이해하는 것은 하천복원 설계에서 중요한 부분이다. 식생으로 인한 흐름저항을 결정하기 위해서는 식생의 조도를 평가하고 유속분포 등 흐름특성을 분석하여야 한다. 또한 식생이 없는 비식생수로에서의 조도특성 및 유속분포 등 흐름특성과 비교분석 하는 것이 필요하다(이준호, 2006).

국외에서는 모형식생을 수로에 고정시켜 식생으로 인한 유속분포의 변화를 분석한 Kouwen *et al.*(1969)의 연구를 시작으로 최근까지 많은 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 1990년 후반 하천환경의 중요성이 대두되면서 최근에 연구 결과들이 발표되고 있으나 미흡한 실정이다.

하도내 식생에 따른 흐름특성에 대한 국외 연구로는 Fukuoka *et al.*(1992)이 하도내에 식재의 여러 가지 배치로 인한 저항증가, 식재에 의해 형성되는 복단면 형상으로 인한 저항을 고려하여 운동량

방정식을 제안하였다. 이로부터 흐름의 유속분포와 수위 종단형을 예측할 수 있는 모형을 개발하였다. Stephen *et al.*(1996)은 제방식재 수로에서의 수위-유량관계식을 예측하였고 Jarvel(2002)은 잔디와 버드나무 가지 등 여러 가지 자연식재를 이용하여 식재에 의한 흐름특성을 실험에 의해 연구하였다. Stephan *et al.*(2002)은 식재가 잠긴 흐름조건에서 식생위의 유속분포식을 제안하였다. Stone *et al.*(2002)은 침수와 정수조건에서 원형 강성 식재시 저항특성을 실험하였으며, Lopez(2001)는 개수로에서 정수 식생조건에서 난류구조와 평균흐름에 관한 실험연구를 하였다. Carollo *et al.*(2002)은 식재된 수로에서의 유속측정에 관한 연구를 수행하였으며, Wilson *et al.*(2002)은 식생을 이용하여 잎이 넓은 식재가 흐름특성에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 분석하였다. 또한 Wilson *et al.*(2003)은 여러 가지 형태의 침수된 식재에 의한 개수로에서의 흐름특성에 대해 분석하였고, Sturve *et al.*(2003)은 실제 식생을 이용하여 단단면수로의 좌우안에 식재시 주수로내의 흐름특성 변화를 분석하였다. James *et al.*(2004)은 침수조건에서 식생의 밀도변화에 따른 흐름저항 특성을 실험에 의해 분석하였고, Carollo *et al.*(2005)은 실제 잔디를 이용하여 침수조건에서 식생밀도에 따라 흐름저항과 유속의 함수관계를 분석하였다. Yang *et al.*(2007)은 식재된 홍수터를 갖는 복합단면수로에서의 흐름경향을 분석하였다.

국내에서는 2000년대 이후 이삼희 등(2000)이 수리모형 실험을 통하여 식생밀도 및 식생배치 형태에 따른 유사퇴적을 분석하였다. 윤태훈(2002)과 송재우 등(2004)은 침수조건에서 개수로의 흐름변화 및 유속분포 특성을 분석하였다. 최성욱 등(2004, 2005)은 식생수로의 흐름특성을 실험을 통해 분석하고, k- ϵ 모형을 이용하여 난류구조를 수치모의 한 바 있다.

본 연구에서는 문경시 영강의 고수부지에 수목식재에 따른 하천 내의 수리학적 영향을 수치모형을 통하여 평가하였다. 본 연구를 통해 하천 고수부지

내 수목 식재에 따른 수리적 영향을 파악하였으며 이는 향후 효과적인 수목 식재 및 고수부지 유지관리에 필요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 대상유역 및 식재계획

1. 대상유역

대상구간은 영강 중하류에 위치한 문경시 관내를 유하하는 하천으로 고수부지의 발달과 천변 도로가 조성되어 있어 인근 주민의 접근성이 용이한 구간이다. 영강 생활체육공원은 양안에 주거지가 밀집된 구간으로 평상시 인근주민의 산책로 및 운동코스로 이용되고 있는 중심이 되는 구간이다. 공원현황은 경상북도 문경시 흥덕동 행정구역내의 영강 중심연장 1.0km, 면적 약 0.062km²로 하천의 우안측으로 공원이 이루어지며 표 1은 공원 현황을 나타내고 있



그림 1. 대상유역 현황도

으며 그림 1은 대상유역 현황도를 나타내고 있다.

1) 유역의 개황

영강유역은 현재 문경에 포함되어 있는 기존 경상북도 점촌시의 전부와 문경시, 상주시 일부가 포함되어 있는 낙동강수계의 중앙 북서쪽인 동경 127° 51' 51"~128° 11' 13", 북위 36° 25' 20"~36° 50' 00" 사이에 위치하고 있다. 낙동강 제1지류 유역으로서 영강유역의 북쪽 및 북서쪽은 남한강유역, 남서쪽은 금강유역, 남쪽은 낙동강 제1지류인 병성천 유역과 접하며 동쪽은 내성천유역 및 내성천 제1지류인 금천유역과 접하고 있다. 영강의 유역면적은 921.80km²이고 유로연장은 68.4km로서 낙동강 하구둑 기준(유역면적; 23,326.3km², 유로연장:509.7km)의 약 4.0%를 점하고 있다. 유역의 형상은 비교적 방사선상 및 평행상의 혼합상을 이루고 있다. 유역의 평균 폭은 동서로 약 20~40km, 남북으로 대략 20~40km 정도를 이루고 있다. 영강의 유로는 최상류부가 서쪽에서 동쪽방향으로 형성되고 유역 중앙 상단부는 서쪽에서 동쪽방향 형성되어 있다. 그 외 하류부 이안천 합류점까지는 비교적 북쪽에서 남쪽방향으로 형성되며, 이안천 합류점에서 하구부까지는 서쪽에서 동쪽방향으로 형성되어 있다. 영강 대상구간의 하상경사는 하류부 1/1,040, 중류부 1/450, 상류부 1/300 정도로서 비교적 하구부에서 완만한 편이다. 중상류부는 대단히 불규칙한 사형 하도를 형성하며 하상경사는 하류부 일부 구간만이 완만한 편 대체적으로 급한편이다. 하상구성 재료는 문경 신기동에 위치한 신당보(No.94+145) 지점을 기준으로 상류부 구간은 주로 조골재(큰 호박돌)가 분포되어 있고 하류부 구간은 주로 세골재가 분포되어 있다.

2) 유역의 특성

유역면적 및 유로연장은 하천을 이해하고 분석하는데 대단히 중요한 인자로서 유역의 평균 폭, 유역

표 1. 공원 현황

지구명	위치	면적(m ²)	연장(km)	주요시설
영강 생활체육공원	문경시 흥덕동 일대	62,075	1.00	농구장, 테니스장, 축구장, 족구장 등

표 2. 대상 유역의 특성

하천	주요지점	산정지점	유역면적A(km ²)	유로연장L(km)	유역평균폭A/L(km)	형상계수(A/L ²)
영강	양산천합류전	Y1	196.06	31.50	6.2	0.20
	양산천합류후	Y2	283.19	31.50	9.0	0.29
	조령천합류전	Y3	327.63	40.85	8.0	0.20
	조령천합류후	Y4	530.86	40.85	13.0	0.32
	유하지점	Y5	568.61	50.55	11.2	0.22
	영강교지점	Y6	610.55	54.50	11.2	0.21
	점촌수위표지점	Y7	617.54	57.55	10.7	0.19
	가도천합류전	Y8	625.67	60.50	10.3	0.17
	가도천합류후	Y9	656.09	60.50	10.8	0.18
	이안천합류전	Y10	660.54	64.20	10.3	0.16
	이안천합류후	Y11	902.30	64.20	14.1	0.22
	영강하구부	Y12	927.80	68.40	13.5	0.20

형상계수 등 유역의 형상을 정량적으로 표시할 수 있는 기본 인자가 된다. 주요 지점별 유역면적, 유로연장, 유역의 평균 폭, 유역형상계수는 다음과 같다.

2. 식재계획

영강변의 건조한 이미지를 개선하고 하천의 비수충부에 휴식공간 및 그늘을 제공할 수 있는 키 큰 나무를 식재함으로써 문경시민을 위한 친숙한 영강조성을 기본방향으로 하였으며 다음과 같은 하천변 식재기준을 고려하여 식재가 선정되었다. 그림 2는 식재계획 평면도를 나타내고 있다.

① 적절한 수종의 선정

- 기후, 토양 등의 환경조건을 고려하여 자생 가능한 수종을 선정

② 수목근계의 특성파악

- 천근성 / 심근성에 따른 수종선정
- 천근성 수목의 일반적 근계권(根係圈)은 수관폭의 2배
- 나무뿌리가 하천부속물에 미치는 영향을 확인

③ 나무의 전도를 고려한 수목규격 선정

- 하천구역내 식재시 나무가 쓰러지고 떠내려가지 않도록 외력이 작은 장소에 한정하거나 또는 내력이 큰 수종을 선정
- 외력(전도모멘트)과 수목의 내력(전도한계모멘트)을 비교판단
- 나무의 전도한계모멘트의 계산식

$$Mc = \alpha D^{2.0}$$
 (Mc : 전도한계모멘트 / D : 수목 흉고직경 / α : 인장전도상수)

표 3. 국내 하천에 자생하는 대표적인 수종

수종	수고	수관폭	분포	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	이식성	음양성	
교목	버드나무	20m	10m	전국	중	강	강	중	중	강	중	양수
	능수버들	20m	10m	전국	중	강	강	강	강	강	용이	양수
	느티나무	25m	25m	전국	강	약	중	중	약	강	보통	양수
	느릅나무	20m	15m	전국	강	중	중	중	강	강	용이	중용
	팽나무	20m	20m	전국	강	중	중	강	강	강	중간	중용
	벗나무	20m	15m	전국	중	약	약	강	약	강	중간	양수
관목	갯버들	3m	3m	전국	강	강	강	중	강	강	용이	양수
	눈갯버들	1m	2m	전국	강	강	강	중	강	강	용이	양수
	조팝나무	2m	2m	전국	강	중	중	약	강	강	중	양수
	싸리	3m	2m	전국	강	약	약	강	강	강	용이	양수
	개나리	3m	3m	전국	강	중	중	강	강	강	용이	양수

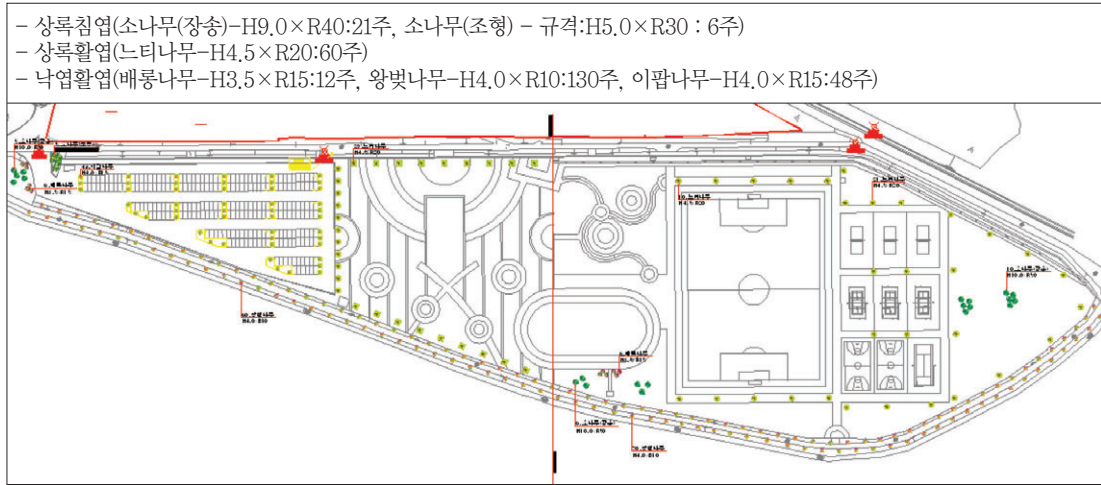


그림 2. 식재계획 평면도

III. 수목 식재에 따른 수리학적 영향검토

1. 모형의 선정 및 모의조건

대상유역에 대한 수목 식재 전·후의 흐름특성을 검토하기 위하여 1차원 흐름해석 모형인 HEC-RAS 모형과 2차원 흐름해석 모형인 RAM-2 모형을 이용하여 분석하였다. 수치모의를 수행하기 위해 상류단은 유량조건, 하류단은 수위조건을 경계 조건으로 하였으며 각각 2,290m³/sec, 70.36m를 적용하였다. 하상의 재료특성과 난류교환계수의 결정은 RMA-2 모형의 계산결과에 대한 신뢰도를 결정할 수 있는 중요 인자중 하나이다. 따라서 RMA-2 모형에서는 이 값들을 결정하여 입력하도록 제안하고 있으며 이를 정리하면 다음과 같다. 하상의 재료특성은 Manning의 조도계수인 n 값으로 대표되며 대상 수역의 지형특성을 고려하여 표 4와 같이 결정된다. 그러나 실제로 하상재료의 거칠기를 나타내는 척도인 조도계수는 하상재료 및 하상표면의

특성에 의해 결정된다. 그러나 실제 흐름계산에서는 식생, 하천구조물, 사행도, 단면형태, 단면변화양상 등의 상황뿐만 아니라 유량이나 수위에 의해서도 변화하기 때문에 이론적으로 조도계수를 정확하게 계산하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 경험과 실험을 통하여 제시된 조도계수를 사용하는 것이 일반적이다.

2차원 동수역학모형의 난류교환계수는 수심방향의 평균된 양으로 수평방향 난류 확산을 표현하기 위한 계수이다. 따라서 해의 안전성을 해치지 않는 범위 내에서 물리적으로 타당한 난류교환의 결정에는 신중을 기해야 한다. 일반적으로 계산과정 중 안정성에만 문제가 발생하지 않는다면 가능한 한 낮은 값을 유지하여야 한다. 난류확산계수가 너무 높으면 안정된 해는 가능하지만 적합한 모형흐름분포는 나타내지 못하는 경우가 있다. 또한 너무 낮은 경우에는 해가 불안정하여 심각한 동요를 유발할 수 있다. 난류교환계수는 단지 물리적인 현상에만 근거하는 것이 아니며, 이는 안정성을 위해 필수적으로 필요한 수치점성까지 포함한다. 유한요소망의 간격, 예상유속, 동역학적 특성 등이 모두 초기 난류교환계수 선정에 반영되어야 하며, 모형의 초기에는 지정된 값에서 시작하여 계산된 값이 수렴할 때까지 값을 변화시키는 것이 일반적이다. 표 5는 FSS단위와 SI단위계에서의 흐름특성에 따른 난류

표 4. Manning 조도계수

흐름 조건	n 값
하상조건이 양호한 하천	0.025~0.035
수심이 깊은 하천	0.018~0.025
식생이 없는 해안	0.020~0.030
식생피복이 많은 습지	0.050~0.100

표 5. 대상수역에 따른 난류 교환계수의 변화

흐름 조건	값(lb · s/ft ²)	값(N · s/m ²)
천수역의 하천 (저유속 흐름)	5~25	240~1200
천수역의 하천 (빠른 유속 흐름)	25~50	1200~2400
깊은 해안 (작은 요소 사용시)	50~100	2400~4800
깊은 해안 (큰 요소 사용시)	200~300	9500~14400
wetting과 drying 선택사항 사용 (조석모형)	100~200	4800~9500
수공구조물 주위 흐름	1~5	50~240

교환계수를 나타내고 있다.

표 4와 표 5를 고려하여 조도계수는 식재가 이루어지지 않는 주수로의 경우에는 식재전과 식재후 모두 0.035를 선정하였고 식재가 이루어지는 고수부지의 경우에는 식재전은 0.05, 식재후에는 0.085를 선정하였다. 와점성계수의 경우에는 주수로의 경우 식재전은 3,000N · s/m², 식재후는 2,000N · s/m²을 선정하였고 고수부지의 경우에도 식재전은 3,000N · s/m², 식재후는 2,000N · s/m²으로 선정하였다.

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

$$h_e = L S_f + C \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \quad (2)$$

여기서, WS_1, WS_2 = 구간의 양단에서 수위
 V_1, V_2 = 구간의 양단에서 평균 속도(유량/단면적)
 α_1, α_2 = 구간의 양단에서 유속 및 속도와 에너지 보정계수
 g = 중력가속도
 h_e = 에너지 손실수두
 L = 구간 거리
 S_f = 구간의 대표 마찰경사
 C = 단면 확대 및 축소 손실계수

2. 1차원 모형에 의한 수리영향검토

1) 기본 방정식

모형에서 다음 두 방정식은 각 단면에서의 미지의 수위를 계산하기 위해서 그림 3에서와 같이 표준축차계산법에 의해서 상류부(첨자 2로 표시)와 하류부(첨자 1로 표시)단면에 대해 반복적으로 계산한다.

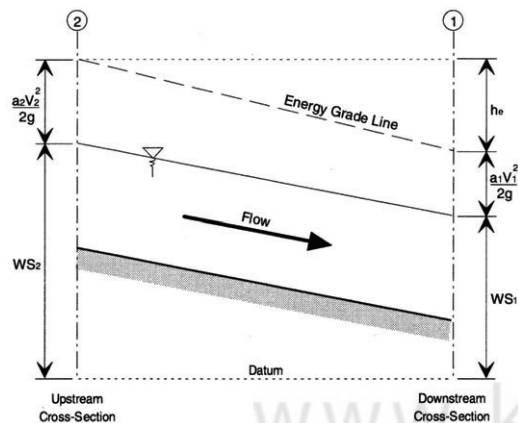


그림 3. 에너지 방정식의 도식화

2) 모의결과

본 연구에서는 식재전 · 후 홍수위에 대한 검토와 식재 후 시설제방고에 대한 여유고의 검토를 통한 안정성을 평가하기 위하여 표 6과 같이 단면별 수위 변화와 시설제방고를 나타내었다.

표에서 보는 바와 같이 대상구간에 대한 조경 식재 후 1차원 영향분석결과 식재로 인한 단면의 수위 변화는 대상지역 상류에서 대체적으로 10cm이상의 수위 상승을 보였고 중류에서는 10cm내외의 수위 상승이 나타난 것을 확인할 수 있었다. 반면 대상구간의 하류에서는 식재로 인해 오히려 약간의 수위 하강이 나타난 것을 알 수 있었다. 이러한 이유는 물리적으로 명확히 설명하기는 어려우나 식재로 인해 하천의 중상류부에서 일정부분 정체되었던 흐름이 하류부에서 상대적으로 원활한 통수조건을 가지게 되면서 수위하강이 일어난 것으로 판단된다. 이를 통해 식재로 인한 수위의 상승은 대상지역 중 · 상류 지역에서 일어나고 있으며 대상지역 하류에 대한 수위상승은 거의 나타나지 않는 것으로 판단되었다. 이러한 이유는 대상구간 내에 식재가 상류

표 6. 식재전·후 홍수위 및 기설제방고 검토

하 천	측량측점 (No.)	누가거리 (m)	계획(EL,m)		증 감	제방고(EL,m)		여유고(m)	
			식재전	식재후		좌안	우안	좌안	우안
영 강	20	2000	74.31	74.36	0.05	75.53	산	1.17	-
	19	1900	73.45	73.51	0.06				
	18	1800	73.22	73.36	0.14	75.36	산	2.00	-
	17	1700	73.28	73.45	0.17				
	16	1600	73.25	73.42	0.17	74.95	산	1.53	-
	15	1500	73.13	73.25	0.12				
	14	1400	73.04	73.17	0.13	75.53	75.90	2.36	2.73
	13	1300	72.78	72.89	0.11				
	12	1200	72.70	72.80	0.10	73.93	74.12	1.13	1.32
	11	1100	72.71	72.77	0.06				
	10	1000	72.74	72.78	0.04	73.16	73.80	0.38	1.02
	9	900	72.74	72.78	0.04				
	8	800	72.74	72.76	0.02	73.41	73.63	0.65	0.87
	7	700	72.73	72.75	0.02				
	6	600	72.72	72.73	0.01	72.77	73.06	0.04	0.33
	5	500	71.51	71.51	0.00				
	4	400	70.97	70.95	-0.02	72.60	72.98	1.65	2.03
	3	300	70.62	70.52	-0.10				
	2	200	70.62	70.58	-0.04	72.50	72.77	1.92	2.19
	1	100	70.53	70.51	-0.02				
0	0	0	70.36	70.36	0.00	72.36	72.32	2.00	1.96

지역에서만 이루어지고 있음에 기인한 것으로 판단 된다. 또한 대상단면에 대한 1차원 영향분석 후 기설 방고에 대한 여유고의 검토를 통하여 식재로 인한 홍수위에 대한 위험도를 판단하였다. 분석결과 대상 지역에서 기설 제방고에 대한 여유고는 0.04m~ 2.73m로 나타나 계획홍수사상에 대하여 기설제방 을 넘지 않는 것으로 판단되었다.

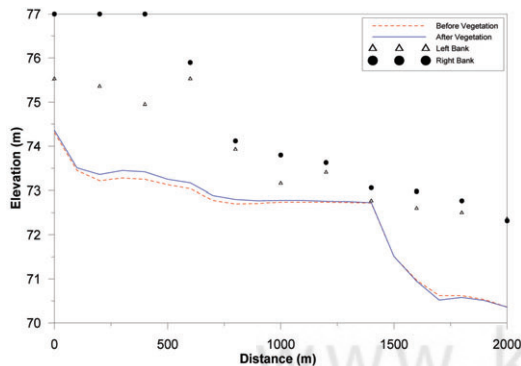


그림 4. 식재전·후의 수위와 제방고

그림 4는 고수부지에 교목이 식재되기 전·후의 수위와 제방고를 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 대상구간에 식재가 계획된 중·상류 구간에서 식재로 인한 약간의 수위 상승이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.

3. 2차원 모형에 의한 수리영향 검토

1) 지배방정식 및 적용요소망

RMA-2 모형은 2차원 질량 연속방정식과 2차원 Navier-Stokes의 힘-운동량 방정식에 대한 Reynolds 형태로 표시된다. 난류 영역에서 속도와 압력은 시간과 공간 모두에 대해서 점진적으로 혹은 급격하게 변한다. 여러 가지의 항이 증가된 난류 유체의 내부 전단응력, 또는 Reynolds 때문에, Navier-Stokes 방정식의 점성력 항에 첨가된다. 따라서 이러한 수정들은 Navier-Stokes 방정식의 Reynolds 식을 조합

하여 확장형으로 기술하면 다음 식과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) = 0 \quad (3)$$

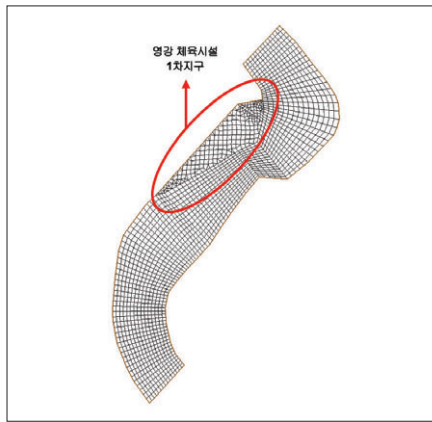
$$\begin{aligned} & \rho \left(h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) \right. \\ & + \frac{g}{C^2} u |V| + uq_s - \Omega_2 v h \left. \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ & - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) - W_x = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left(h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z_0}{\partial y} \right) \right. \\ & + \frac{g}{C^2} v |V| + vq_s - \Omega_2 u h \left. \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ & - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - W_y = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

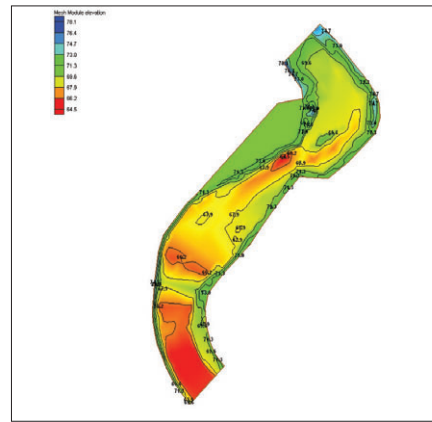
그림 5는 2차원 모의를 위한 유한요소망과 대상 유역의 2차원 지형형상을 나타내고 있다. 모의를 위한 격자망의 노드수는 5,489개이고 요소수는 1,790개이다.

2) 모의결과

그림 6은 대상 전구간에 대한 조경 식재 전·후에 대한 모의 결과중 등수위를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 미식재 경우와 비교시 둔치부에서의 수위는 다소의 변화를 보이고 있으나 대상 전구간에 걸쳐 수위의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 모의결과를 구간별로 자세하게 검토하기 위해 그림 7~그림 10과 같이 구간별로 모의결과를

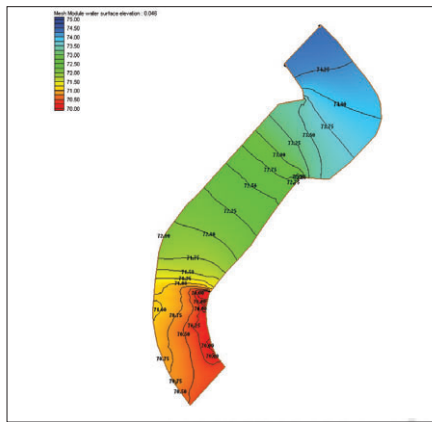


(a) 2차원 유한요소망

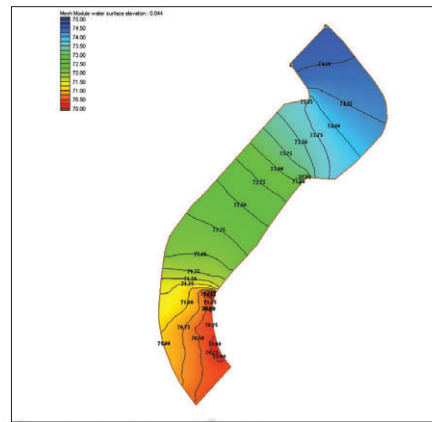


(b) 2차원 지형형상

그림 5. 식재 전·후의 수위(전체구간)

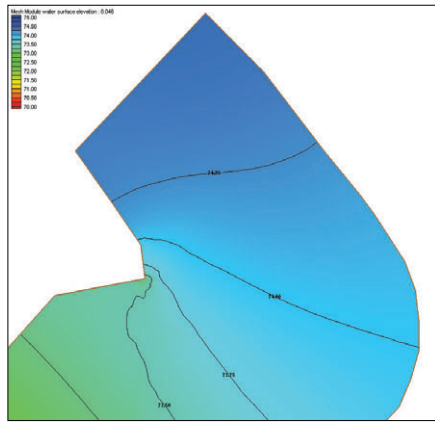


(a) 식재 전

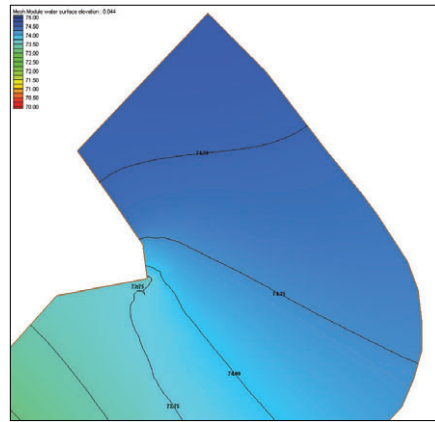


(b) 식재 후

그림 6. 식재 전·후의 수위(전체구간)

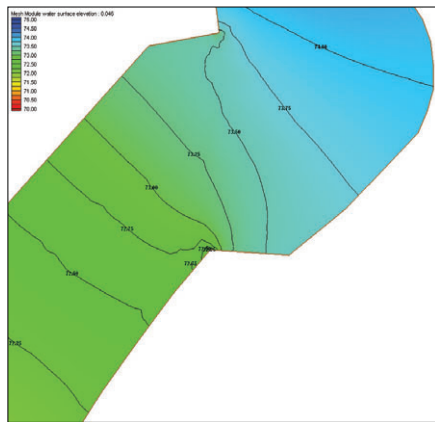


(a) 식재 전

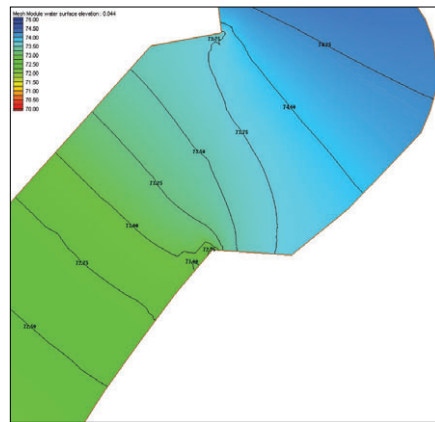


(b) 식재 후

그림 7. 식재 전·후의 수위(구 간 : No.20-15)

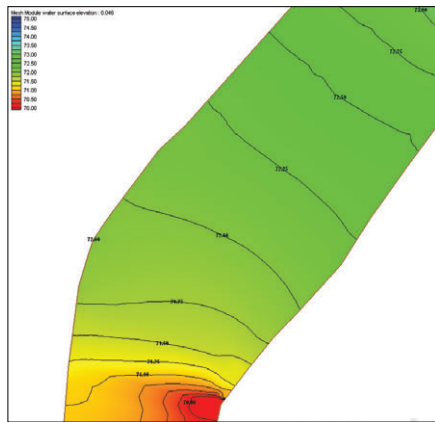


(a) 식재 전

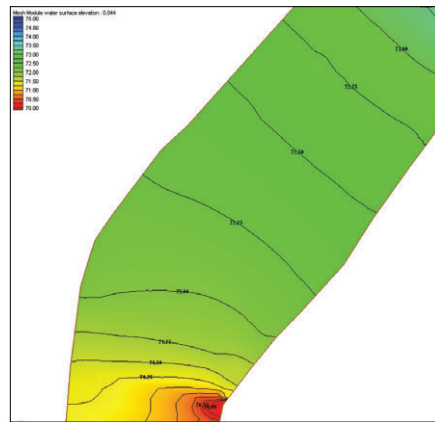


(b) 식재 후

그림 8. 식재 전·후의 수위(구 간 : No.15-10)



(a) 식재 전



(b) 식재 후

그림 9. 식재 전·후의 수위(구 간 : No.10-5)

www.kci.go.kr

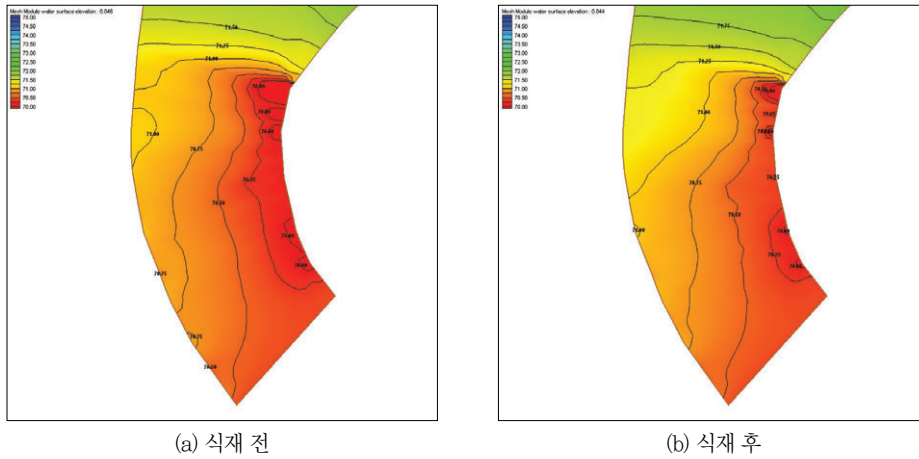


그림 10. 식재 전·후의 수위(구 간 : No.5-0)

도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 대상지역 상류부에서 식재후에 약간의 수위 상승이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 반면 대상지역의 하류부에서는 식재 전·후의 수위가 거의 차이를 보이지

않았다.

대상구간에 대한 조경 식재 후 2차원 모의결과로 인한 단면별 수위의 변화와 홍수범람에 대한 안정성을 알아보기 위해 표 7과 같이 식재 전·후의 수

표 7. 식재전·후 홍수위 및 시설제방고 검토

하 천	측량측점 (No.)	누가거리 (m)	수위(EL.m)		증 감	제방고(EL.m)		여유고(m)	
			식재전	식재후		좌안	우안	좌안	우안
영 강	20	2000	74.46	74.48	0.02	75.53	산	1.05	-
	19	1900	73.63	73.76	0.13				
	18	1800	73.49	73.68	0.19	75.36	산	1.68	-
	17	1700	73.54	73.69	0.15				
	16	1600	73.55	73.70	0.15	74.95	산	1.25	-
	15	1500	73.37	73.48	0.11				
	14	1400	73.16	73.25	0.09	75.53	75.90	2.28	2.65
	13	1300	72.80	73.00	0.20				
	12	1200	72.69	72.77	0.08	73.93	74.12	1.16	1.35
	11	1100	72.65	72.74	0.09				
	10	1000	72.54	72.63	0.09	73.16	73.80	0.53	1.17
	9	900	72.52	72.59	0.07				
	8	800	72.50	72.55	0.05	73.41	73.63	0.86	1.08
	7	700	72.49	72.54	0.05				
	6	600	72.48	72.54	0.06	72.77	73.06	0.23	0.52
	5	500	71.69	71.70	0.01				
	4	400	70.89	71.06	0.17	72.60	72.98	1.54	1.92
	3	300	70.78	70.76	-0.02				
	2	200	70.61	70.58	-0.03	72.50	72.77	1.92	2.19
1	100	70.48	70.48	0.00					
0	0	0	70.36	70.36	0.00	72.36	72.32	2	1.96

위와 시설제방고를 검토하였다. 표에서 보는바와 같이 식재로 인한 단면의 수위변화는 대상지역 상류에서 10cm이상의 수위 상승을 보였고, 중류에서는 10cm이하의 수위 증가를 보였다. 이에 반해 하류지역에서는 수위의 상승이 거의 나타나지 않았음을 확인할 수 있었다. 이를 통해 대상지역 하류에 대한 식재로 인한 수위영향은 거의 나타나지 않는 것으로 판단되었다. 또한 대상단면에 대한 2차원 영향분석 후 시설제방고에 대한 여유고를 통하여 위험도를 판단하였다. 분석결과 대상지역에서 시설 제방고에 대한 여유고는 0.52m~2.65m로 나타나 계획홍수사상에 대하여 시설제방고를 넘지 않는 것으로 판단되었다.

그림 11은 2차원 모의결과 고수부지에 교목이 식재되기 전·후의 수위와 제방고를 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 대상구간에 식재가 계획된 중·상류 구간에서 전반적으로 식재로 인한 수위 상승이 발생하고 하류에서는 수위의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있었다.

그림 12는 대상구간에 대한 조경 식재 전·후에 대한 모의 결과 중 유속 벡터도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 수위의 경우와 마찬가지로 미식재 경우와 비교시 둔치부에서의 유속은 다소의 변화를 보이고 있으나 대상 전 구간에 걸쳐 유속의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 이 경우에

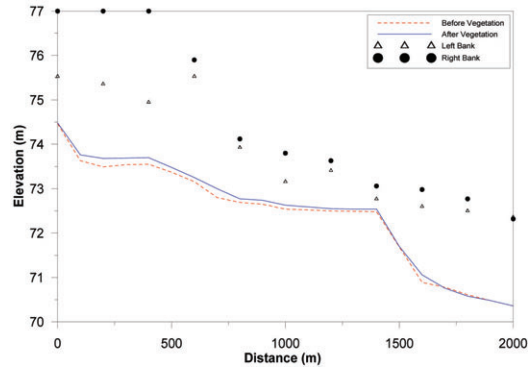
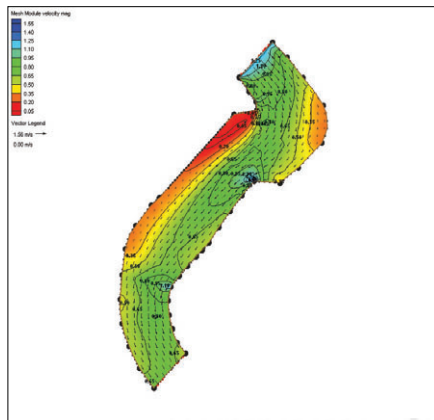


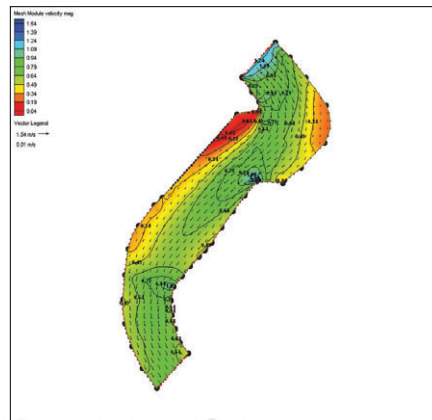
그림 11. 식재전·후의 수위와 제방고

도 모의결과를 구간별로 자세하게 검토하기 위해 그림 13~그림 16과 같이 구간별로 모의결과를 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 대상지역 상류부에서는 식재 전·후의 유속이 0.01m/s~0.18m/s 정도의 차이를 보이고 있었으며 대상지역의 중류부에서는 식재 전·후의 유속이 0.01m/s~0.06m/s 정도의 차이를 보이고 있었다. 대상지역의 하류부에서는 식재 전·후의 유속이 0.01m/s~0.05m/s 정도의 차이를 보이고 있었다.

대상구간에 대한 조경 식재 후 2차원 모의결과로 인한 단면별 유속의 변화를 검토하기 위하여 표 8과 같이 식재 전·후의 단면별 유속을 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 식재로 인한 단면의 유속변화는 대상지역 전 구간에서 대부분 감소 경향을 나타

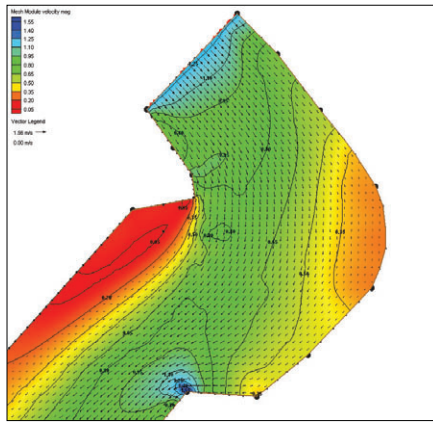


(a) 식재 전

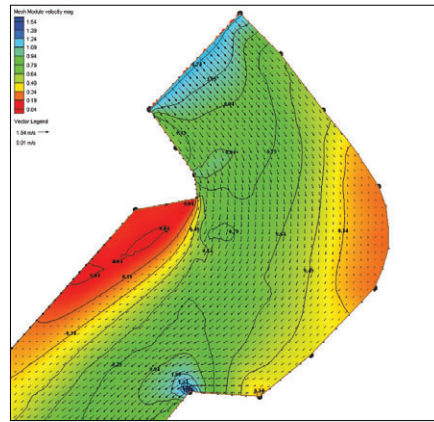


(b) 식재 후

그림 12. 식재 전·후의 유속(전체구간)

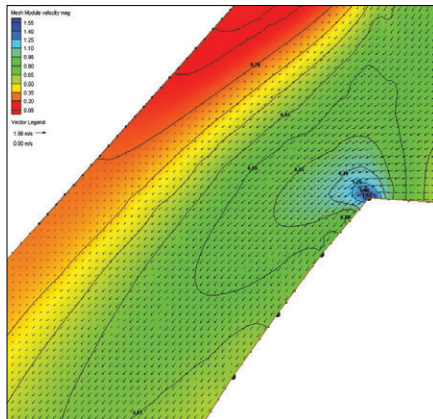


(a) 식재 전

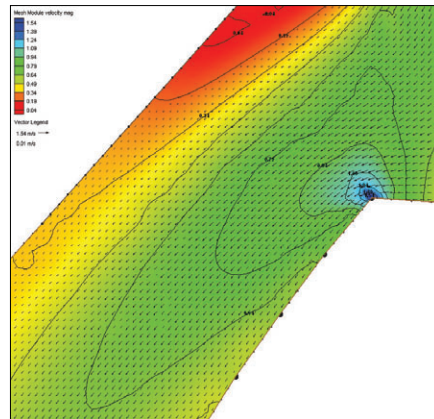


(b) 식재 후

그림 13. 식재 전·후의 유속(구 간 : No.20-15)

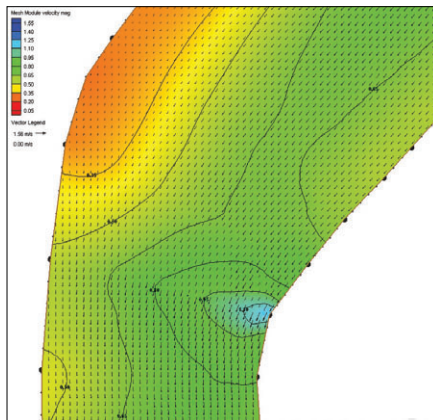


(a) 식재 전

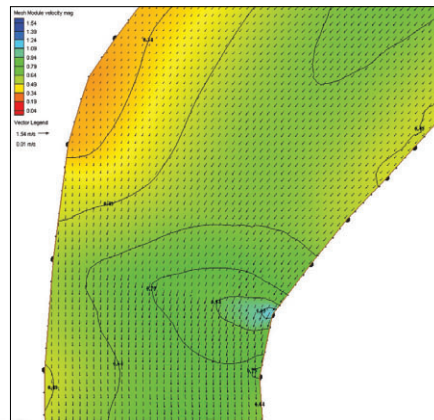


(b) 식재 후

그림 14. 식재 전·후의 유속(구 간 : No.15-10)



(a) 식재 전



(b) 식재 후

그림 15. 식재 전·후의 유속(구 간 : No.10-5)

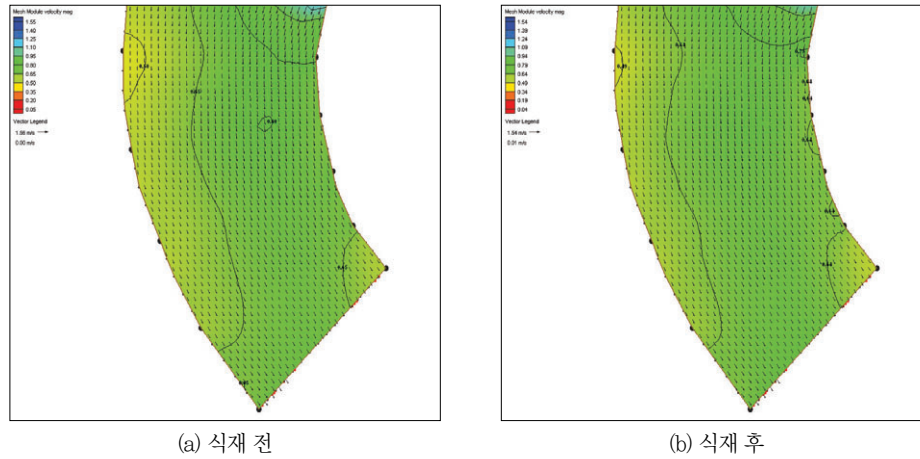


그림 16. 식재 전·후의 유속(구 간 : No.5-0)

표 8. 식재전·후 유속

하천	측량측점	누가거리 (m)	유속(m/s)		증 감
			식재전	식재후	
영강	20	2000	1.28	1.27	-0.01
	19	1900	0.85	0.95	0.1
	18	1800	0.81	0.99	0.18
	17	1700	0.80	0.80	0
	16	1600	0.85	0.84	-0.01
	15	1500	0.78	0.75	-0.03
	14	1400	0.87	0.85	-0.02
	13	1300	1.54	1.53	-0.01
	12	1200	0.98	0.92	-0.06
	11	1100	0.87	0.81	-0.06
	10	1000	0.77	0.72	-0.05
	9	900	0.71	0.67	-0.04
	8	800	0.67	0.64	-0.03
	7	700	0.67	0.63	-0.04
	6	600	0.76	0.70	-0.06
	5	500	1.22	1.16	-0.06
	4	400	0.85	0.8	-0.05
3	300	0.80	0.78	-0.02	
2	200	0.74	0.72	-0.02	
1	100	0.72	0.71	-0.01	
0	0	0.74	0.74	0	

내었고 특히 식재 공사 예정 지역의 유속은 1.0m/s 이하로 느리게 계산됨을 확인할 수 있었다. 또 일부 단면에서 유속이 식재 후 증가한 것을 확인할 수 있는데 이는 식재로 인해 흐름의 유수 단면적이 감소

한 것에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 유속의 증가량이 0.2m/s로 작아 식재로 인한 악영향은 없을 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 수목식재에 따른 하천 내의 수리학적 영향을 1차원 HEC-RAS 모형과 2차원 RMA-2 모형을 통하여 평가하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 검토구간의 식재계획시 1차원 및 2차원에 대한 수리특성 변화를 검토한 결과 식재로 인한 수위 상승은 최대 25cm이고 유속은 최대 0.18m/s 정도 차이를 보이고 있었다. 식재계획으로 인해 대상 구간에서의 유속 및 수심은 다소의 변화를 보이고 있으나 식재로 인한 영강 분류 및 홍수터에 미치는 수리학적 악영향은 현 상태와 비교하여 매우 미미할 것으로 판단된다.

(2) 1차원 및 2차원 수리해석결과 수위가 약간 상승하는 경향이 식재공사 지역 상류에 나타나기는 하나 시설제방에 대한 여유고를 확보가능한 범위 내에서 미비한 영향이 나타났으며 유속에 대한 2차원 수리해석결과 조경식재로 인하여 유속은 약간 감소하는 것으로 나타났다. 또한 조경식재공사 대상지역으로 설정된 고수부지에서는 1m/s이하로 낮

게 나타났다.

(3) 수목식재시 식재간격은 유속 2.0~1.5m/s 지역에는 30m이상, 1.5~1.0m/s 지역에는 25m이상 유속 1.0m/s 이하 지역에는 10m이상을 원칙으로 하는바 본 대상구간의 경우 모의 결과 조경식재 공사 예상지역은 1m/s 이하의 유속이 나타날 것으로 예상되므로 수목식재간격은 10m이상으로 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

(4) 본 연구를 통해 하천 고수부지 내 수목 식재에 따른 수리적 영향을 파악하였으며 이는 향후 효과적인 수목 식재 및 고수부지 유지관리에 필요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 출연하고 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 위탁 시행한 21세기 프론티어 연구개발사업중 “RAM2 모형의 확장개발 및 상용화”(과제번호2-3-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강형식, 최성욱, 2005, 식생된 개수로 흐름에서의 난류의 비등방성, 한국수자원학회논문집, 38(10), 871-883.
- 송재우, 박성식, 2004, 식생수로와 비식생 수로에서의 조도특성 및 유속분포, 대한토목학회 논문집, 24(6B), 545-552.
- 윤태훈, 신용진, 이지승, 2002, 수초영역으로 인한 개수로 흐름변화, 대한토목학회논문집, 22(2B), 143-149.
- 이삼희, 옥기영, 강천수, 이진원, 2000, 하천식생에 의한 유사퇴적의 실험적 고찰, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 634-639.
- 이준호, 송주일, 장석진, 윤세의, 2006, 관목이 식재된 수로에서 수위변동 분석, 대한토목학회 정기학술대회, 2563-2566.
- 최성욱, 윤병만, 우효섭, 조강현, 2004, 댐 건설에

의한 유황변화에 따른 하류하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화: 황강 합천댐 사례, 한국수자원학회논문집, 37(1), 55-66.

- Carollo F. G., Ferro V., and Termini, D., 2002, Flow Velocity Measurement in Vegetated Channels, Journal of Hydraulic Engineering, 128(7), 664-673.
- Carollo F. G., Ferro V., and Termini, D., 2005, Flow Resistance Law in Channels with Flexible Submerged Vegetation, Journal of Hydraulic Engineering, 131(7), 554-564.
- Fukuoka S., Fujita K., and Niida H., 1992, Prediction in flood water level of river course with vegetation, Proc. of the Japan Society of Civil Engineers, (447), 17-24.
- Hyeongsik Kang and Sung-Uk Choi, 2005, 3D Numerical simulation of compound open-channel flows with vegetated floodplains by Reynolds stress model, KSCE Journal of Civil Engineering, 9(1), 7-11.
- James C. S., Birkhead A. L., Jordanova, A. A., Osullován, J. J., 2004, Flow resistance of emergent vegetation resistance, Journal of Hydraulic Research, 42, 390-398.
- Jarvela J., 2002, Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants, Journal of Hydrology, 269(1), 44-54.
- Kejun Yang, Shuyou Cao, Donald W.K., 2007, Flow Patter in Compound Channels with Vegetated Floodplains, Journal of Hydraulic Engineering, 133(2), 148-159.
- Kouwen N., Unny T.e., Hill H.M., 1969, Flow retardance in vegetated channel, Journal

- of the Irrigation and Drainage Division, 95(2), 329-340.
- Lopez Fabian, Garcia Marcelo H., 2001, Mean Flow and Turbulence Structure of Open-Channel Flow through Non-Emergent Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(5), 392-402.
- Stephan Ursula, Gutknecht Dieter, 2002, Hydraulic resistance of submerged flexible vegetation, *Journal of Hydrology*, 269(1-2), 27-43.
- Stephen E. D. and Colin R. T., 1996, Predicting Stage-Discharge Curves in Channels with Bank Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(10), 583-586.
- Stone Brian M. and Shen Hung Tao, 2002, Hydraulic Resistance of Flow in Channels with Cylindrical Roughness, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(5), 500-506.
- Struve J., Falconer R. A., and Wu, Y., 2003, Influence of model mangrove trees on the hydrodynamics in a flume, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 58(1), 163-171.
- Wilson C. A. M. E., Bates P. D., and Hervouet, J. M., 2002, Comparison of turbulence models for stage-discharge rating curve prediction in reach-scale compound channel flows using two-dimensional finite element methods, *Journal of Hydrology*, 257(1-4), 42-58.
- Wilson C. A. M. E., Stoesser T., Bates P. D., and Batemann Pinzen A., 2003, Open Channel Flow through Different Forms of Submerged Flexible Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(11), 847-853.

최종원고채택 10. 10. 22