

수변 식재에 따른 갑천의 수위 분석

우원재¹⁾ · 정동양²⁾

¹⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과, 박사과정 · ²⁾ 한국교원대학교 기술교육학과

Analysis of Kap-Chon's Water Level by the Waterside Planting

Woo, Won-Jae¹⁾ and Chung, Dong-Yang²⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Choongnam National University

²⁾ Dept. of Technology Education, Korea National University of Education

ABSTRACT

The purposes of this study is to investigate the possibility of planting trees at space land in the riverside. The space land is for the green space. Calculating the plantable space in the representation section and the flood flowing stability of the existing banks based on the hydrological and meteorological data of the Kap-Chon riverbasin located in Tae-jon, the following results are drawn.

- (1) The flood discharges in each flow section are $698.7\text{m}^3/\text{s}$ in section 1, $654.6\text{m}^3/\text{s}$ in section 2, and $1353.3\text{m}^3/\text{s}$ in section 3 during 100 years recurrence interval.

Because the designed-flood discharges in those sections are $1719.9\text{m}^3/\text{s}$, $2119.7\text{m}^3/\text{s}$, and $1512.8\text{m}^3/\text{s}$ respectively, safety for flood flowing is sufficient in existing banks.

- (2) The possible clearance for planting trees is 1.80m in section 1, 3.90m in section 2, and 0.01m in section 3. Planting clearance is enough in section 1 and 2.

However, planting should be planned after estimating a rise-height due to the bridge piers, because many piers under riverine-highway are now on the construction in section 2. The section 3 does not have sufficient clearance for planting trees, but the planting is possible after getting enough flow area with slope by cutting the terrace land on the river artificially heightened.

- (3) In case of planting a tree 70cm diameter in 1m^2 in section 1, the water level increases by 0.60m. Planting a tree in a 48m^2 area increases the water level by 0.90m. Considering that plantable clearance is 1.8m in section 1, it is sufficient to flow safely. But if the trees are planted so compactly from the upper stream, expected heavy resistance is expected due to caught materials on the trees. So, trees have to be planted widely in upper streams but compactedly in lower streams.

- (4) The river width without changing, Kap-Chon's flow channel can be snaked in accordance with the nature law the wide terrace land in the riverside. Decreased flow area due to planting

trees will be compensated by the inclination of terrace land. And, it is theoretically proved that the flood discharge is safe even though the terrace land on the river is parked similar to the nature.

Planting trees in the terrace land of the Kap-chon river to the extent that flood flowing is not adversely affected, we can get the enjoyable park to citizens not spending expensive cost. It also contributes to the recovery of ecosystem, which gives the natural beauty of river and shade to citizens and becomes good natural-educational places for children.

Key words : *flood discharge, planting trees, terrace land, ecosystem*

I. 서 론

우리 나라의 하천은 강우 특성으로 인해 넓은 둔치가 잘 발달되어 있다. 이러한 둔치를 적절히 활용한다면 친환경적인 하천 공간을 만들 수 있을 뿐만 아니라 주거 환경을 크게 개선시킬 수 있다. 한강을 비롯한 대부분의 도시 하천들은 넓은 둔치를 주로 하상 도로, 주차장 및 운동장 그리고 잔디밭으로 이용하고 있다. 이러한 둔치에 부분적으로나마 수목을 식재하여 공원화 한다면 공원 용지가 태부족한 도시 지역에서 쉽게 녹지공간을 확보할 수 있을 것이며, 이러한 녹지 공간은 도시민들의 주거 환경을 개선하고 자연 생태계 회복에도 기여할 것이다.

대전에 위치하고 있는 갑천의 만년교에서 원촌교까지(6.55km)를 대상으로 수문 자료를 분석하여, 기존 제방의 홍수 유통 안정성을 검토하고, 갑천과 유등천 합류 지점을 중심으로 세갈래 하천에 속한 대표 단면을 정하고, 이 세 단면의 둔치에 식재할 수 있는 여유고가 얼마나 있는지 규명하고자 한다.

연구 대상(금강 합류점을 기점으로 갑천 10.75 km부터 14.0km까지) 하천폭은 그대로 유지하면서 넓은 둔치를 활용하여 저수로를 사행화시키고, 가상으로 공원화하여 평면도를 제시하고 여러 식재 조건에 따른 각 단면의 수위 상승고를 분석 연구하고자 하였다.

본 연구에서는 현재까지 둔치에 다년생 수목을 식목한 실례가 없으므로 가능한한 유출량 산정시 안전측으로 계산하고자 하였다. 본 연구는 하천법 개정으로 둔치에 수목 식재가

가능해짐에 따라 앞으로 하천의 둔치에 수목 식재시 기초자료로서 활용 가치가 있을 것으로 기대된다.

II. 연구 범위

갑천 주위에는 둔산 신도시의 많은 아파트와 대덕연구단지 및 공공기관, 학교, 엑스포 과학공원, 국립 중앙 과학관 등 콘크리트 건물들이 밀집해 있으며, 인구밀도가 아주 높은 지역으로 녹지 공간과 시민들을 위한 공원용지가 절대적으로 부족하다.

여름에는 수많은 콘크리트 건물들과 도로의 복사열로 인해 늦은 밤까지도 높은 온도에 시달리고 있다. 더위를 피하고자 많은 시민들이 갑천 둔치의 잔디밭을 찾아오지만 둔치 어느 곳에도 나무 그늘은 찾아볼 수 없으며, 그늘이 있는 유일한 공간은 다리 밑뿐이다. 이것이 대전 갑천 둔치 현재의 모습이다. 그렇다고 이미 개발이 끝난 도시에 공원용지를 확보한다는 것은 현실적으로 아주 어렵다. 이에 본 연구에서는 갑천 둔치를 대상으로 수목 식재의 가능성을 연구하고자 한다.

1. 도시 주변 하천 둔치에 식목의 장단점

둔치 식목의 장점으로는 강의 원래의 모습을 되찾는 하나의 단계가 되고, 자연 수변 생태계를 되살리며, 정서 함양 및 심신 수련의 장으로 이용할 수 있으며, 여름철에 그늘을 제공하게 될 것이다. 단점으로는 수목을 식재로 인해 우수 소통에 지장을 줌으로서 홍수시 범

람을 유발할 수 있으며, 수목 주위에 와류 현상이 발생하여 둔치 및 제방 비탈면 침식 또는 세굴이 우려된다.

2. 둔치에 식목으로 인한 문제점 해결 방안

하천의 둔치에 나무를 식재하므로써 줄어드는 통수 단면적은 높혀진 둔치를 낮추고 측면 경사를 주므로써 보충해 줄 수 있으며, 나무를 식재하고자 하는 단면은 100년 빈도의 홍수량을 산정하여 여유고를 정확히 계산하여 수위에 여유가 있을 때에만 둔치에 식목한다면 하천범람을 예방할 수 있다. 식재로 인한 수목 뒷편의 와류현상으로 일어나는 하안 및 하상 침식과 세굴은 예상되는 지역에 호박돌 얹히기, 돌망태등을 이용하여 해결할 수 있다.

Ⅲ. 자연에 가까운 하천 환경

1. 자연에 가까운 하천의 유래

“자연에 가까운 하천(Naturnaher Wasserbau)”이라는 말은 1930년대 말에 독일에서 처음 사용되었으며, 1938년 SEIFERT는 Autobahn(고속도로)을 건설할 때 주변 조경을 친환경적으로 설계·시공하자고 주장하였으며, HAUTUM은 하천을 직선화하고 사면 경사를 증가시켜 농경지 확대를 통한 생산물 증대를 피하여서는 안 된다고 주장했다. 1940년 WALLNER & MÜLLER은 주변 환경을 고려한 친자연적인 하천 환경 조성을 위한 여러 지침을 제안했다(Hohmann and Konold, 1995).

“Naturnaher Wasserbau”는 하상 쇄굴 및 사면 침식 보호를 위하여 호안 블럭이나 콘크리트 등 인공적인 재료를 사용하지 않고 자연에 산재해 있는 자연석과 나무 가지 등 자연 재료를 사용하는 하천 건설 공법을 지칭하였다. 이러한 공법은 생태계 유지 및 하천의 자정력을 증대시켜 주었다.

1940년 WALLNER & MÜLLER은 주변 환경을 고려하면서 친자연적인 하천 환경을 만들기 위해 둔치에 나무를 식재함으로써 줄어드는 통수 단면적을 그림 1과 같이 상단 그림

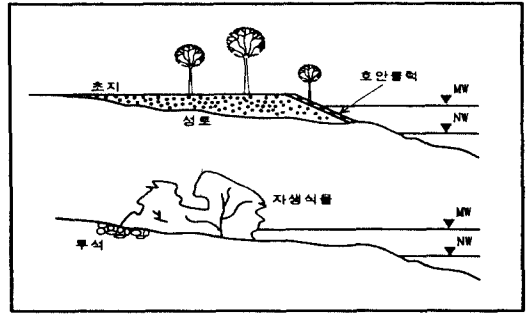


그림 1. 하천의 인위적인 단면(위)과 자연적인 단면(아래)

점 부분을 굴착해 낼 것을 권장했다(Hohmann and Konold, 1995). 이것은 호안 블럭을 제거함으로써 하천의 자연미를 살리는 동시에 둔치에 경사를 주어 수목을 식재함으로써 줄어드는 통수 단면적을 보충해 주고 있다. 또한 인위적인 단면은 18~19세기에 유럽에서 성행했던 하천을 직강화할 때의 대표적인 단면이며, 50년 전부터 자연적인 단면을 권장하고 있다.

2. 자연화하는 하천 공법

(Renaturierungsmaßnahme)

자연화하는 하천 공법은 강 개발시 강의 형태적 변화로 인하여 파괴된 생태계를 복원할 수 있도록 조치하는 공법을 뜻한다(한국건설기술연구원·건설교통부, 1995). 지난 세기동안 강 개발에 사용한 하상과 하안 침식예방을 위한 구조물을 철거하고 강의 변형을 자연의 역학 관계에 맡겨서 자연화된 강을 이용하여 과거의 후유증을 해소하려는 공법으로 강의 진로의 변경이나, 강의 단면을 넓혀서라도 강의 자연적인 발달을 허용하는 조치이다.

특히, 이 공법에서 잊어서는 안될 점은 직선형의 강 진로를 사행으로 바꾸는 것 외에 자연에 가까운 생태·형태학상의 구조를 추구하게 된다. 이런 구조는 강의 형태적 발달과 강변에 식생이 재생할 수 있도록 기능적인 개선을 추구하는 것이다. 이러한 맥락에서 볼 때 우리 나라에서 응용할 수 있는 지역은 중·상류 지역의 강이나 하천들이다.

3. 자연에 가까운 하천 공법 (Naturnaher Wasserbau)

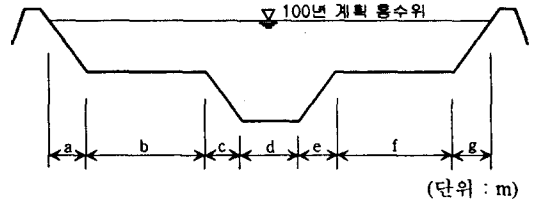
Naturnaher Wasserbau는 현재 독일어 문화권에서 활발한 연구가 진행되고 있으며 특히 변화된 하천공간 환경을 고려한 재개발이라고 할 수 있다(정동양, 1996). 종전의 강이나 하천의 이용도를 그대로 유지하면서(강 개발로 인한 홍수 때 유속 변화와 자연법칙에 역행하는 비균형적 하상 물질 이동 상태 등등) 주어진 조건을 활용하여 자연에 가깝게 강의 형태·생물학적 면을 다시 재현하자는 것이다. 이 공법은 어디서나 응용할 수 있으며 콘크리트 문화 속에서 생활하는 주민들의 경직된 정서를 고려하여 부드러운 공간을 제공하며, 파괴된 생태계를 지역 특성과 주어진 공간에 따라 부분적인 재현이라도 시도하겠다는 의지가 포함되어 있다.

IV. 연구 방법

1. 갑천 유역 및 하천 현황 조사

갑천 본류는 유역의 남단 분수령이며 충청남도과 전라북도의 도경계에 있는 표고 877.7m의 대둔산 기슭에서 발원하여 유로를 따라 펼쳐져 있는 평야부를 중심으로 하여 주로 동서양측으로 병립하고 있는 고산준령(성재산, 식장산, 망덕산, 갑하산, 계룡산, 향봉산, 바랑산, 대둔산, 월봉산, 금성산, 만인산, 지봉산, 인대산 및 관암산 등)에 의해 분수령을 이루면서 충청북도의 옥천군, 충청남도의 금산군, 논산군과 전라북도의 완주군에 접하여 있으며 중부권 역의 젖줄 기능을 담당하고 있는 금강의 1차 지류역(支流域)이다.

유역 면적이 646.57km², 유로 길이가 62.8km로서 형상 계수(유역 평균 폭과 유로 길이의 비)가 약 0.17인 비교적 세장의 장방형 형상을 하고 있으면서 대전광역시의 현시가지 중심부를 관류(貫流)하는 비교적 큰 두 지류(유등천, 대전천)를 갖고 있어 수지형 특성을 갖고 있는 하천이다. 갑천의 유역도는 그림 2와 같다(대전광역시, 1991).



기 호	a	b	c	d	e	f	g
단면 1	4.1	66.51	3.46	100	3.46	29.5	4.1
단면 2	5.6	38.1	7.4	136.58	7.4	73.5	5.6
단면 3	4.98	16.89	5.56	162.7	5.56	13.91	4.98

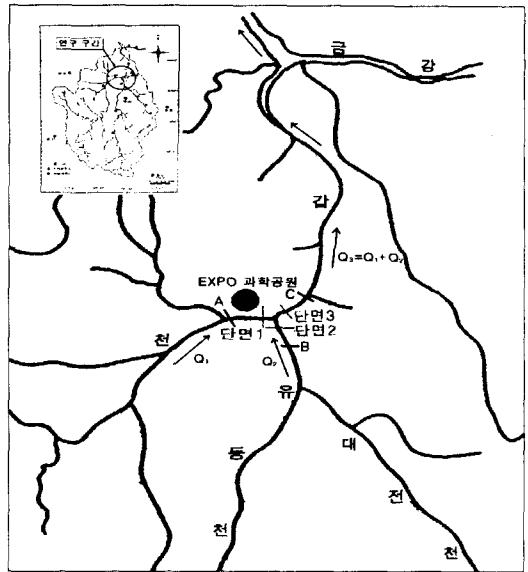


그림 2. 갑천 유역도 및 연구구간 A-B-C

1) 유등천

유등천은 갑천 유역의 남단 분수령인 금산군 진산면 삼규리의 월봉산(EL. 543.0m)에서 발원하여 대전광역시의 현 시가지 중심부를 관류하며, 갑천유역 면적의 약 43%를 점유하는 하천이다.

갑천의 1차지류로서 그 유역 면적이 282.3km², 유로 길이가 47.9km, 형상계수가 약 0.12인 갑천보다 더 세장의 장방형 유역 형상을 하고 있다.

2) 대전천

대전천은 갑천 유역의 동단 분수령이며 대전광역시와 충청남도 경계인 만인산(EL. 537.1m)

에서 발원하여 대전광역시 현 시가지의 동부 중심지를 관류하면서 유등천 유역 면적의 약 31%, 갑천 유역면적의 약 13%를 점하는 도시 하천 구역을 포함하고 있는 지류이다.

2. 최대 홍수량 산정

호우로 인한 유역의 첨두 홍수량을 산정하기 위한 여러 가지 유출 계산 공식은 일반적으로 유역 면적의 함수로 표시되는 것이 많으며 대표적인 것이 비유량법에 속하는 Creager 곡선을 들 수 있다(Arved, 1979). 그러나 한 유역의 첨두 홍수량은 유역 면적만의 함수는 아니며 기타 다른 요소 즉, 강우 강도, 유역의 경사, 식생 피복, 홍수 빈도 등에 의해서도 크게 영향을 받는다. 이들 제반 요소를 고려하는 간단한 유출량 계산공식으로 가장 널리 알려진 것은 합리식(rational formula)이다(David and Larry, 1987). 합리식은 일반적으로 유역 면적이 100km^2 이하인 유역에 사용하는 것이 바람직하다(한국수문학회, 1993).

전문가들에 따르면 강수량중 약 18%가 지중으로 침투하며(안수환, 1995), 물의 순환 과정에서 가장 많은 손실은 증발로 인한 것으로 약 30~40%에 이른다(최영박, 1983).

대전 갑천 유역의 지질 분포는 충적층, 화강암, 편암, 섬록암 및 창리암등으로 구성되어 있어 침투율을 약간 떨어질 것으로 예상되며, 안전율을 높이기 위하여 침투율을 10%로 보았다. 증발량은 도시 지역인 관계로 아파트와 아스팔트 포장 등의 복사열로 인한 증발이 많을 것으로 예상되며, 본 연구에서는 증발량을 안전측인 30% 보았으며, 증발량은 해가 갈수록 증가될 것으로 예측된다.

본 연구에서는 첨두 홍수량 산출시 각 단면별로 구분하고, 다시 소규모 유역(시가지구역 및 시가지외 구역)으로 세분하여 합리식을 사용하여 산출하였다. 산출값의 신뢰도를 높이고, 안전측으로 계산하기 위해 시가지 구역에서는 유출계수를 0.9로 보았으며, 시가지 이외의 구역에서는 손실량을 40%(침투량 10%, 증발량 30%) 보아 유출계수를 0.6으로 하여 유출

량을 계산한 후에 합산하여 최종 첨두 유출량을 산정하였다. 유출량 산정시 강우량 자료는 관측된 연도별 최대 일우량을 사용하였다(중앙기상대, 1986; 건설교통부, 1985-1997).

3. 홍수 빈도 및 수위 분석

본 연구에서는 최대 일유출량을 산정하기 위해 사용되어지는 최대 일우량은 상한값과 하한값이 없는 무작위 변수에 해당되므로 얻어지는 최대 일유출량 역시 무작위 변수가 된다. 따라서 Gumbel의 극치 분포를 사용하여 홍수 빈도 분석을 하였으며, 산출값의 신뢰도를 향상시키기 위하여 대전 지방 기상청에서 관측을 개시한 1969년부터 1997년까지 29년간 관측된 강우 자료를 사용하여 분석하였다.

4. 복합 단면에서의 설계홍수(Q_{100}) 산정

복합 하천에서 수목이 없는 경우에 단면에 흐르는 통수 유량을 계산할 때에는 복합 단면을 동질성의 조건을 가진 단면을 분리하여 계산하며, 각 단면의 개별 유속을 계산한 후 부분 단면에 해당하는 유량을 구하여 이를 모두 합하면 전체 유량이 된다. 유량을 산출하는 공식은 다음과 같으며, 유속을 계산할 때는 1980년 독일의 Koennemann에 의하여 수정된 Manning/Strickler의 공식(Schneider, 1992)을 사용하였는데 이것은 유통 단면을 구분할 때 단면과 단면사이 가상의 마찰 벽이 있다는 전제하에 계산함으로써 실측치와 근사한 유량을 계산할 수 있다. 우리 나라에서는 아직 이 개량된 식을 사용하지 않고 있으므로 앞으로 이점에 유의하여야 할 것이다.

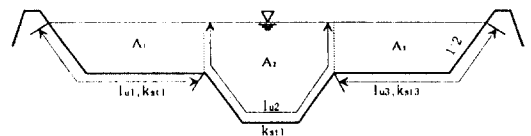


그림 3. 복합하천단면에서의 통수유량 산출을 위한 단면 가정

$$Q = v_1 \cdot A_1 + v_2 \cdot A_2 + v_3 \cdot A_3 \quad (1)$$

$$v_1 = k_{s1} \cdot r_{hy1}^{2/3} \cdot I_E^{1/2}; \quad v_2 = k_{s2} \cdot r_{hy2}^{2/3} \cdot I_E^{1/2};$$

$$v_3 = k_{s3} \cdot r_{hy3}^{2/3} \cdot I_E^{1/2}$$

$$r_{hy1} = A_1/l_{u1}; \quad r_{hy2} = A_2/l_{u2}; \quad r_{hy3} = A_3/l_{u3}$$

$$Q = \sum (A_i \cdot k_{sti} \cdot r_{hyi}^{2/3} \cdot I_E^{1/2}) \quad (2)$$

여기서, Q : 유량 (m³/sec)

r_{hyi} : 동수반경 (m)

I_E : 에너지 경사

l_u : 윤 변

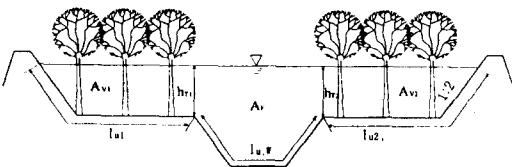
k_{sti} : Manning/Strickler 상수(m^{1/3}/sec)

갑천 유역의 하상은 자연 하상으로 굽은 모래와 자갈로 혼합되어 있다. 따라서, 본 연구에서는 하상 조건에 따라 결정되는 k_{sti} 를 약간의 안전율을 고려하여 모든 단면을 40으로 보고 유량을 산출했다. k_{sti} 40은 Manning의 조도 계수 0.025에 해당한다.

5. 식재 조건과 수위 변화

하천에 식재를 가산한 유량 산출이나 자연의 하천 외지에 자생하는 식물의 분류(分類)를 고려한 통수량 산출은 매우 어렵다.

하천에 나무를 식재하였을 때는 아래 공식들을 이용하여 통수 유량을 산정한다(Schneider, 1992). 하천의 좌우에 수목이 분포할 때 왼쪽에는 h_{T1} , A_{V1} , 그리고 오른쪽에는 h_{T2} , A_{V2} 로 표현한다. 그러나 독일의 경우 Pasche, Mertens, Nuding 등에 의하여 매우 안정적인 이론적 근거가 마련되었다(Pasche, 1984; Mertens, 1989; Nuding, 1991). 그 중에서 본 논문에서는 가장 정확하게 통수 유량을 산출할 수 있는 Pasche 공식은 광범위한 전산 작업이 요구되므로 이를 지양하고 간단히 통수 유량을 산출할 수 있는 Nuding 이론식을 이용하였다.



$$\gamma_{hy,F} = \frac{A_F}{l_{u,W} + h_{T1} + h_{T2}} \quad (3)$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = \sqrt{\frac{l_{u,W} + h_{T1} + h_{T2}}{\lambda_W \cdot l_{u,W} + \lambda_{T1} \cdot h_{T1} + \lambda_{T2} \cdot h_{T2}}} \quad (4)$$

여기서, λ : 저항 계수

수목이 한쪽에 조성되어 있는 경우 :

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_W}} = 2 \cdot \log \left(\frac{14.84 \gamma_{hy,W}}{k_W} \right) \quad (5)$$

λ_W 와 $\gamma_{hy,W}$ 는 침식될 수 없는 고정 하상의 $l_{u,W}$ 와 미지수의 부분 유통 면적 A_F 에 관계한다. k_W 는 $l_{u,W}$ 에 해당 저항체의 직경이며 하상 구조에 관계되는 값이다.

$$\gamma_{hy,W} = \frac{\lambda_W \cdot A_F}{\lambda_W \cdot l_{u,W} + \lambda_T \cdot h_T} \quad (6)$$

이 값의 계산은 $\gamma_{hy,W} = \gamma_{hy,F}$ 로 가정하여 식 (3)과 식 (6)의 λ_W 값이 수렴할 때까지 반복하여 계산을 하여야 한다. 수면 아래의 나무등치 높이 h_T 는 벽으로 가정하여 계산하지만 실제로는 유량 Q_F 와 V_F 에 많은 영향을 미친다.

$$\lambda_T = 4 \left[\log \frac{v_{0,F}}{v_{0,F}} \right]^2 \frac{\gamma_{hy,V} b_m}{h_T b_F} \quad (7)$$

$$b_F = \frac{A_F}{h_T} \quad \gamma_{hy,V} = \frac{A_V}{l_{u,V}} \quad (8)$$

만약 $\lambda_T < \lambda_W$ 일 경우 $\lambda_T = \lambda_W$

$V_{0,F}$ 와 $V_{0,V}$ 는 계산상의 A_F 와 A_V 에 예측된 유속, 이때 가상 분리면의 높이 $h_T=0$ 으로 계산하는데 이것은 나무와 분리면에 마찰이 없음을 전제할 경우이다.

b_m = 유체 흐름에 영향을 미치는 수목 부분의 넓이

$b_N = 3.2 \sqrt{a_x \cdot d_{P,m}}$ = 나무 등치 뒷면의 와류의 폭

$b_N \geq a_y \rightarrow b_m = a_y$; 상한선 $b_m \leq b_v = A_V/h_T$

$b_N < a_y \rightarrow b_m = b_N$; 하한선 $b_m \geq 0.15h_T$

A_v = 유통면적, $V_v \approx V_{O,F}$

a_x, a_y : 식재간격

수목과 덩불이 촘촘히 조성된 경우에는 홍수때 나무에 혹은 덩불에 걸리는 부유물질 때문에 V_v 는 아주 작은 값을 취하거나 Q_v 를 무시할 수 있다.

V. 연구결과 및 고찰

1. 갑천 유역 강수 특성 및 우량

갑천 유역은 중소규모 유역으로서 홍수 크기는 단시간 강우량(6시간 이내의 강우량)에 달려 있으며, 이 단시간의 강우량은 일강우량과 비교적 높은 함수 관계가 성립된다(대전광역시, 1991).

대전 지역의 29년간 연평균 강우량 1332.4mm는 1959년부터 1988년까지의 30년간 우리나라 연평균 강우량(이종형, 1994; 최영박, 1994) 1274mm 보다 58.4mm가 많은 양이며, 같은 기간 중 최대 연우량 1880.7mm는 606.7mm가 많다. 연평균 최저 강우량은 857.9mm로 년 강우량의 변화 폭은 1022.8mm로 2.2배에 달한다. 따라서, 대전 지역의 연평균 강우량 분포는 변화의 폭이 크다는 것을 알 수 있다.

2. 갑천 유역의 최대 홍수량

29년 동안(1969~1997) 갑천 유역의 관측된 최대 강우량을 기초로 하여 최대 유출량 및 평균 유출량을 합리식에 의해 산출한 결과를 표 1과 같이 도표화했다.

최대 일우량인 303.3mm(1987. 7. 22)일 때의 강우 강도는 12.65mm/hr이며, 단면 1과 2의 유출량은 각각 672.0m³/s와 629.5m³/s이므로 두 단면의 합류 직후의 유출량은 1301.5m³/s이 된다. 갑천 유역의 최대 홍수량 1301.5m³/s는 29년간 평균 유출량 533.8m³/sec의 약 2.4배에 해당하는 것으로서 연도별 최대 홍수 유출량 변화의 폭이 크다는 것을 알 수 있다.

3. 홍수 빈도 분석 결과

Gumbel의 극치 분포 법으로 홍수 빈도를 산출한 결과를 표 2에 나타냈다.

29년 동안 관측된 자료를 통하여 산출된 최대 홍수 1301.5m³/s는 100년 빈도에 해당한다고 할 수 있으며, 평균 유출량은 533.8m³/sec로 재현 기간 약 2.3년 빈도의 홍수량임을 알 수 있다.

4. 설계 홍수량(Q_{100}) 및 여유고

자연형 하천 설계와 식재를 계획할 때는 통

표 1. 갑천 유역의 29년간 관측된 최대 유출량 및 평균 유출량

구 분 지 점	관 측 일 시	일 우 량 (mm)	강우 강도 (mm/hr)	최대 유출량 (m ³ /s)	평균 유출량 (m ³ /s)
단면 1	1987. 7.22	303.3	12.64	672.0	275.6
단면 2				629.5	258.2
단면 3				1301.5	533.8

표 2. 재현 기간에 따른 갑천의 유출량

(단위 : m³/s)

재현기간 지 점	1.5 년	2.3 년	10 년	20 년	30 년	100 년	200 년
단면 1	210.1	278.4	454.2	529.1	572.2	698.7	771.2
단면 2	196.8	260.7	425.4	495.6	536.0	654.6	722.4
단면 3	406.9	539.1	879.6	1024.7	1108.2	1353.3	1493.6

수 조건을 면밀하게 분석하여야 한다. 그 중에서 홍수때에 수면이 제방고를 월류하는지 아니면 독 마루가 아직 수면으로부터 안전한 간격을 유지하는지가 관건이다. 이를 계산하는 것은 재산 피해와 인명 안전을 위해 매우 중요하다.

갑천의 대표 단면 세 곳의 기존 횡단면도를 기초로 하여 산출한 설계 홍수량과 여유고, 둔치 및 저수로의 면적, 운변, 동수 반경, 유속을 표 3과 같이 도표화했다.

대전시에서 현재의 단면을 조성할 때 사용하는 설계 홍수량(Q_{100})은 단면 1 지점은 $1719.9\text{m}^3/\text{s}$, 단면 2 지점은 $2119.7\text{m}^3/\text{s}$, 단면 3 지점은 $1512.8\text{m}^3/\text{s}$ 였다. 그러나, 단면 3지점은 단면 1과 단면 2의 물이 합류되어 흘러가야 하므로 이론적으로는 $3839.6\text{m}^3/\text{s}$ 의 물이 흘러 가야하며, 이때의 홍수위는 43.4m 로 제방을 월류하게 된다.

표 2와 표 3에서 현재의 단면을 기준으로

산출한 설계 홍수량(Q_{100})과 홍수 빈도 분석 결과(재현기간 100년)를 비교하여 보았을 때 단면 1과 단면 2는 과대 설계되어 있고, 단면 3은 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

제방 축조시의 제방 여유고는 기본적으로 설계된 계획 홍수를 월류시키지 않기 위한 여유고로서 홍수시 홍수위의 풍랑, 조수 등에 의하여 발생하는 수위상승 및 홍수시 재해대책 작업을 실시할 경우의 안전, 하상변동으로 인한 수위상승, 등 여러 가지 요소를 포함하고 있다. 이것은 제방 안전과 직결되는 중요한 사항으로 개개의 하천, 각 구간에 따라 정하여야 한다. 표 4는 계획 홍수량별 여유고를 나타내고 있다(전설교통부, 1993).

표 3에서 설계 홍수량에서의 여유고(제방고와 기존 설계 홍수위와의 차)는 단면 1은 2.45m , 단면 2는 1.22m , 단면 3은 1.81m 로 세 단면 모두 기준치 이상으로 안전측이었다.

표 3. 기존 단면에 근거한 설계 홍수량(Q_{100}) 및 여유고

구분 위치	I_E	통수단면적			운 변			동 수 반 경			k_{gr}	유 속 (m/sec)			수 위 (EL : m)		Q (m^3/s)
		A_1	A_2	A_3	l_{u1}	l_{u2}	l_{u3}	r_{h1}	r_{h2}	r_{h3}		v_1	v_2	v_3	100년 계획홍 수위	여유 고	
단면 1	11.84×10^{-4}	141.0	398.2	64.7	71.09	111.8	34.08	1.98	3.56	1.89	40	2.17	3.21	2.10	39.10	2.45	1719.9
단면 2	1.98×10^{-4}	114.5	956.6	213.6	44.36	158.7	79.76	258	6.03	267	40	1.06	1.86	1.01	38.1	1.22	2119.7
단면 3	1.85×10^{-4}	48.3	900.6	40.8	22.5	180.1	19.48	2.15	5.0	2.1	40	0.91	1.59	0.89	43.4 (36.81)	-4.8 (1.81)	3838.7 (1512.8)

※ 단면 3의 괄호 안의 값은 현재의 기존단면으로 산출한 수치이다.

표 4. 여유고 산정기준

계획 홍수량 (m^3/s)	여 유 고 (m)	비 고
200 미만	0.6 이상	단, 계획홍수위가 배후의 지반고보다 낮은 경계 또는 지형현황으로 그 필요성이 없는 경계에는 0.6 이상으로 할 수 있다.
200 이상 ~ 500 미만	0.8 이상	
500 이상 ~ 2000 미만	1.0 이상	
2,000 이상 ~ 5000 미만	1.2 이상	
5000 이상 ~ 10,000 미만	1.5 이상	
10,000 이상	2.0 이상	

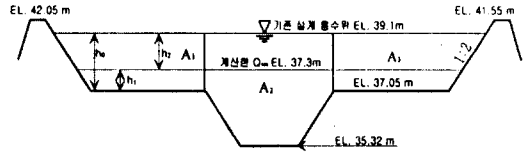
5. 수위 비교 및 통수량 분석

갑천 세 곳의 대표단면에서 수위와 통수량을 산출하여 그 결과를 표 5와 표 6과 같이 도표화하여 나타냈다.

표 6에서 단면 1의 설계 홍수량과 재현기간 100년 빈도의 홍수량은 약 2.5배의 편차가 있다. 이것은 유량을 산정한 지점에 건설되어질(지금은 완공되어 있음) 대덕대교와 엑스포다리의 교각의 영향을 고려하여 설계 홍수량이 결정된 것으로 판단된다. 이러한 교각은 단면 1에서 통수 단면적을 약 38% 잠식시키고 있다.

단면 1 지점의 기존 설계 홍수위와 Gumbel의 홍수 빈도 분석으로 산출한 재현기간 100년 빈도의 홍수위를 그림 4에 나타냈다. 두 수위의 차가 식재할 수 있는 여유고가 된다.

대전시가 기존 단면 2를 설계할 때 산정한 100년 빈도의 홍수량은 실제 분석된 Q_{100} 과는 약 3.2배의 편차가 있다. 단면 2에는 ‘천변 고속화 도로’ 공사가 한창 진행 중인데 하천 단면에 교각만 약 30개(직경 2~3.5m)가 세워진다. 이로 인한 수면 상승이 예측되지만 그래도 본래 과다한 통수 면적이 설계되어 있으므로 30개의 교각 때문에 월류 하지는 않을 것이다.



h_0 : 대전시가 단면 1을 조성할 때 사용한 설계 홍수위
 h_1 : 본 연구에서 산출한 재현기간 100년 홍수위
 $h_2 = h_0 - h_1$: 식재할 때 사용가능한 여유 수면폭

그림 4. 단면 1 지점의 설계 홍수위와 Q_{100} 의 홍수위

단면 3 지점은 인공 구조물이 없는 지역으로서 하천의 저수로 폭은 넓어지고 둔치의 폭은 줄어드는 형상을 하고 있으며, 기존 설계 홍수량과 재현기간 100년 빈도의 홍수량은 오차가 약 10% 정도로 비교적 잘 일치하고 있다.

표 5에서 단면 1의 $Q_{설계홍수량}$ 수위는 EL. 39.10 m이고, Q_{100} 수위는 EL. 37.30m로 수위 차는 1.80m로 비교적 많은 여유를 가지고 있어 나무를 적당한 간격으로 식재하여도 통수 안정성에는 영향이 없을 것으로 판단된다.

단면 2 지점은 $Q_{설계홍수량}$ 과 Q_{100} 의 수위 차는 3.90m로 세 단면중 가장 큰 여유를 가지고 있으나 현재 건설중인 “천변 고속화도로” 공사가 완료된 후 교각으로 인한 수위 상승고를 검토

표 5. 각 단면에서의 수위 비교

(단위 : m)

내 용 위 치	$Q_{설계}$ 홍수량 수 위(A)	$Q_{합리식}$ 에 의하여 계산된 홍수량 수 위(B)	$Q_{재현}$ 기간=100 수 위(C)	A - C의 값
단면 1	39.10	37.24	37.30	1.80
단면 2	38.10	34.10	34.20	3.90
단면 3	36.81	36.68	36.80	0.01

표 6. 각 단면에서의 통수량 비교

(단위 : m^3/s)

위 치 유 량	단 면 1	단 면 2	단 면 3	비 고
$Q_{설계}$ 홍수량 (A)	1719.9	2119.7	1512.8	교각의 통수 단면 잠식
$Q_{재현}$ 기간=100 (B)	698.7	654.6	1353.3	
$Q_{합리식}$ 에 의하여 계산된 홍수량 (C)	672.0	629.5	1301.5	
A - B	1021.2	1465.1	159.5	

한 후에 식재 계획을 세워야 할 것으로 판단 된다.

단면 3 지점의 $Q_{\text{현재홍수량}}$ 수위는 El. 36.81m 이고, Q_{100} 수위는 El. 38.80m로 수위 차는 0.01m 이며, 이 지점에서의 식재는 세심한 주의를 요 하며, 식재를 할 경우에는 통수 단면적을 확보 한 다음에 둔치에 식재해야 될 것으로 생각되 며, 통수 단면적을 확보하기 위해서는 현재 인 위적으로 조성된 기존 둔치에 경사를 주어 호 안 블록을 걷어내고 친환경적으로 변경시키면 가능하다.

6. 식재 조건에 따른 수위 변화 분석

1) 식재할 수 있는 수목의 종류

1980년대까지는 갑천은 자연형 하천으로 수 변에는 은버들, 수양버들, 버드나무 등이 주로 생육하고 있었다. 1993년 세계박람회 개최를 대비하여 현재와 같은 형태로 개발되면서 수 변 생태계가 완전히 파괴되었다.

그림 5는 수목이 물 속에서 죽지 않고 생육 할 수 있는 연간 최대 일수에 관한 조사이다 (한국건설기술연구원 · 건설교통부, 1995). 은버 들이 280일로 가장 길고, 너도밤나무가 25일 정도이다. 그러나, 갑천 둔치의 침수일은 재현 기간 100년 빈도의 강우량에서도 현재의 단면 에서 최대 2일 이상 침수가 되지 않으므로 어 떤 종류의 수목이라도 생육이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 낙엽 활엽 교목인 그림 5에 나타낸 수목을 식재한다고 보았을 때 성목이 되었을 때의 높이와 직경은 떡갈나무는 높이 20~25m, 지름 70cm, 너도 밤나무는 높이 20m, 지름 70cm, 느릅나무는 높이 15m, 지름 50~70cm, 산 단풍나무는 높이 8m, 물푸레나 무는 높이 10m까지 자란다(이우철, 1996; 산림청 임업연구원, 1992; 김태정, 1996).

수목의 직경은 성목이 되었을 때 대부분 70 cm이지만, 홍수시에는 수목의 등치에 이물질 들이 걸려 실질적으로 직경이 증가하게 되는 효과를 고려하여 본 연구에서는 나무등치의 직 경(d_{pm})을 1m로 가정하여 식재 간격을 산출하

였다.

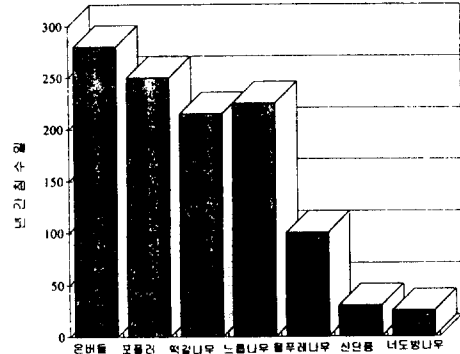


그림 5. 유수의 침수에 이상없이 견딜 수 있는 연간 최대 침수일

2) 현 단면 상태에서의 식재 조건에 따른 수 위 및 상승고

갑천의 단면은 현재 확일적으로 조성되어 둔치는 직선화 되어 있고 호안블럭으로 둘러 쌓여 있다. 이러한 둔치의 단면을 변화시키지 않고 단면 1 지점을 표준 단면으로 하여 여러 식재조건에 따른 수목 식재 간격을 산출하여 수위 및 상승고를 산출하여 표 7과 같이 도표 화하여 나타냈다.

표 7의 a_x 와 a_y 는 각각 식재된 교목의 x, y 축(그림 6) 방향의 이격 거리이다.

직경 70cm의 성목을 아주 조밀한 간격인 A 와 같이 1m²에 한 그루씩 식재를 할 경우 수 위는 0.60m 상승되며, F와 같은 경우는 0.09m 상승된다. 단면 1에서 식재할 수 있는 여유고 가 1.8m임을 고려할 때 나무를 아주 조밀하게 식재하여도 홍수량은 안정적으로 소통될 것 으로 판단된다.

그러나 수목을 식재할 때 상류 쪽부터 너무 조밀한 간격으로 식재할 경우 홍수시에 떠내 려오는 많은 이물질들이 한꺼번에 나무 등치 에 걸려 아주 큰 저항이 발생될 것으로 예상 되므로 상류 쪽에는 F와 같은 간격이나 그 이 상으로 식재하고 하류 쪽으로 내려가면서 조 밀한 간격으로 식재하면 될 것으로 판단된다.

그림 6은 현재의 단면에 여러 식재 조건에 따라 가상으로 식재를 한 도면이다.

표 7. 현 단면상태에서의 식재 조건에 따른 수위 및 상승고

구분	내용	a_x (m)	a_y (m)	w_p (m^{-1})	k_w (m)		C_{WR}	I_E	수 위 (El.m)	상승고 (m)
					저수로	둔치				
A	1	1	1	0.03	0.06	1.5	11.84×10^{-4}	37.90	0.60	
B	2	1	0.5					37.82	0.52	
C	2	2	0.25					37.75	0.45	
D	2	4	0.125					37.59	0.29	
E	4	4	0.0625					37.54	0.24	
F	6	8	0.02083					37.39	0.09	

w_p : 단위면적에 서있는 나무수, C_{WR} : 계산상의 저항상수(1.0~1.5)

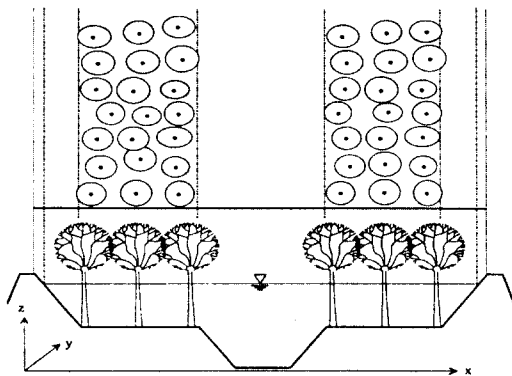


그림 6. 갑천 대표 단면 1의 식재후의 평면도와 단면도

3) 갑천을 가상으로 공원화한 여러 식재 조건에 따른 수위 및 상승고

갑천이 위치한 대전 지역은 이미 도시 계획이 완료된 상태이므로 갑천의 진로를 사행천으로 바꾸는 일은 거의 불가능한 일이다. 그러나 갑천에는 넓은 둔치가 잘 발달되어 있다. 이러한 둔치를 잘 활용한다면 주어진 여건에서 최소한으로나마 하천을 자연의 역학 관계에 맡겨 저수로를 사행화 할 수 있을 것이다.

그림 7은 금강 합류점으로부터 10.75km부터 14.0km까지의 갑천 유역을 가상으로 자연에 가깝게 공원화한 평면도이다. 대전 광역시에 위치한 갑천을 사행천으로 변화시키는 것은 비싼 용지 보상비와 도시계획이 이미 완료된 점을 감안할 때 현실적으로 불가능한 일이다. 그러나, 갑천의 강폭은 현재의 단면을 그대로 유지시키면서 넓은 둔치를 활용하여 저수로를

사행화시키는 것을 가능하다. 따라서 본 연구에서는 갑천을 자연에 가깝게 공원화하기 위하여 저수로를 사행화 시켰으며, 둔치에는 은버들, 포플러, 산단풍, 초목류, 떡갈나무, 물푸레나무 등을 식재하였다. 또한 갈대밭과 우각호를 조성하였으며 이외에도 놀이터, 화훼단지, 잔디축구장, 볼고기판 등을 조성하여 많은 시민들이 즐겨 찾을 수 있는 편의시설 및 뉴

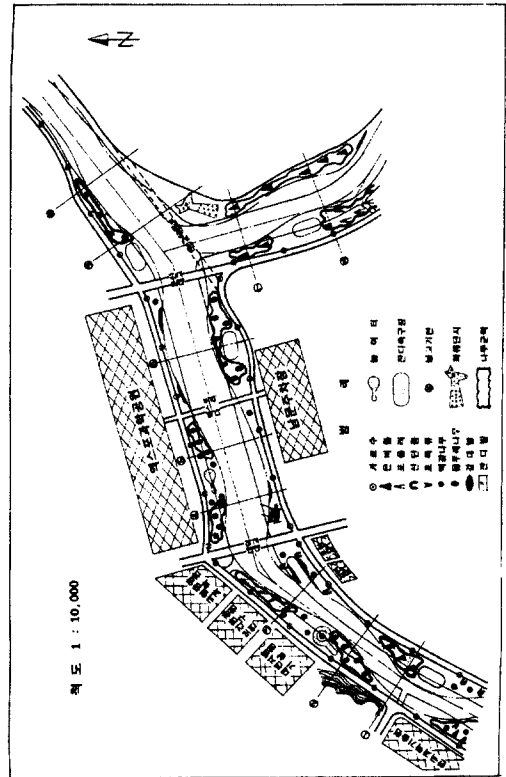


그림 7. 갑천 둔치를 가상으로 공원화한 평면도

시, 수상스키, 윈드썰핑 등 위락 공간과 가족 화합의 공간으로 활용될 수 있도록 설계하였다.

또한, 수목 식재로 인하여 줄어드는 통수 단면적을 보충하기 위해 좌안 또는 우안 둔치의 호안 블럭을 견어내고 둔치에 자연스런 측면(횡방향)경사를 주어 수목 식재로 잠식당하는 통수 단면적을 보충해 주었다.

그림 7의 갑천 평면도에서 ①에서 ⑩지점의 갑천 둔치의 단면을 변화시켜가며 여러 식재 조건에 따른 수위 및 상승고를 표 8에 나타냈다.

표 7에서 살펴본 바와 같이 갑천의 단면을 변화시키지 않고도 조밀한 간격으로 수목을 식재하여도 홍수량 소통에는 문제가 없는 것으로 결과 값이 산출되었다.

표 8. 여러 식재 조건에 따른 수위 및 상승고

내용 단면	형단면도	a_x (m)	a_y (m)	w_D (m^{-1})	C_{WR}	I_E 에너지 경 사	100년 계획홍 수 위	수위 (El.m)	상승고 (m)	여유고 (m)
①		2	3	0.167	1.5	11.84×10^{-4}	39.38	38.42	0.31	+ 0.65
②		4	2	0.125			39.03	38.07	0.27	+ 0.69
③		3	3	0.111			38.54	37.55	0.25	+ 0.74
④		5	5	0.04			38.36	37.26	0.12	+ 0.98
⑤		4	4	0.0625			38.33	37.12	0.19	+ 1.02
⑥		10	3	0.03		38.23	37.27	0.01	+ 0.95	
⑦		4	3	0.083		1.98×10^{-4}	38.18	34.42	0.12	+ 3.64
⑧		2	1	0.5			38.58	34.76	0.34	+ 3.48
⑨		7	6	0.024		1.85×10^{-4}	38.11	38.02	0.07	+ 0.02
⑩		9	8	0.014			36.81	36.78	0.03	0
$k_w(m)$		저수로 = 0.03, 둔치 = 0.06								

갑천의 둔치에 자연에 가깝게 이상적으로 식재를 할 경우 표 7에서 식재한 간격보다 실제적으로 넓게 식재를 하게 되며, 저수로를 사행화시키면 기존의 수평 둔치에 측면(횡방향) 경사를 주어 절토하게 되므로 통수 단면적이 증가하여 홍수 유통에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 8에 나타난 것과 같이 둔치에 변화를 주면서 여러 식재 조건에 따른 수위 및 상승고를 계산한 결과 수목을 식재하였을 때의 상승된 수위가 100년 계획 홍수위 보다 낮은 값이 산출되었다. 이것은 갑천의 둔치에 정확한 계산에 의해 수위 상승을 예측하여 수목을 식재한다면 홍수량을 안정적으로 소통할 수 있다는 것을 증명하고 있다.

본 연구에서 갑천 둔치에 수목을 식재함으로써 상승되는 수위를 검토한 결과 현재의 단면에 수목을 식재하여도 홍수시 홍수 소통에는 문제가 없다는 결과 값이 산출되었으며, 수목을 식재할 수 있는 여유가 가장 적은 단면은 유등천 합류후 지점인 단면 3지점이다. 그러나 이 지점에 많은 수목을 식재할 수는 없지만 수평 둔치를 유연하게 절토하여 통수 단면적을 확보한다면 많은 나무를 식재하여도 무방하다고 판단된다.

VI. 결 론

본 연구는 우리 나라의 강우 특성상 폭 넓게 발달된 둔치를 녹지 공간으로 활용하기 위해 둔치의 수목 식재 가능성을 알아보기 위한 것으로, 대전에 위치한 갑천 유역의 수문 자료 및 기상 자료등을 기초로 하여 기존 제방의 홍수 유통 안정성 및 표준 단면에서의 식재 여유고를 산출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 100년 빈도의 각 단면에서의 홍수량은 단면 1은 $698.7\text{m}^3/\text{s}$, 단면 2는 $654.6\text{m}^3/\text{s}$, 단면 3은 $1353.3\text{m}^3/\text{s}$ 이며, 각각의 단면에서 기존 설계홍수량은 $1719.9\text{m}^3/\text{s}$, $2119.7\text{m}^3/\text{s}$, $1512.8\text{m}^3/\text{s}$ 로 세 단면 모두 과다 설계되어 있기

때문에 기존 제방의 홍수 유통 안정성은 충분한 것으로 판단된다.

- (2) 수목을 식재할 수 있는 여유고는 단면 1은 4.80m , 단면 2는 3.90m , 단면 3은 0.01m 로 단면 3을 제외하고는 식재 여유고는 충분한 것으로 나타났다. 그러나 단면 2지점은 현재 “천변고속화도로” 공사가 한창 진행 중으로서 많은 교각이 건설되고 있기 때문에 공사가 완료된 후 교각으로 인한 수위 상승고를 검토한 후에 식재 계획을 세워야 할 것으로 판단된다. 단면 3은 식재할 수 있는 여유고는 거의 없지만 현재 인위적으로 높은 둔치의 단면을 절토하여 식재에 필요한 통수 면적을 확보하여 식재하게 되면 별다른 문제가 없을 것으로 생각된다.
- (3) 단면 1 지점에 직경 70cm 의 성목을 아주 조밀한 간격인 1m^2 에 한 그루씩 식재를 할 경우 수위는 0.60m 상승되며, 48m^2 에 한 그루씩 식재하면 수위는 0.09m 상승된다. 단면 1에서 식재할 수 있는 여유고가 1.8m 임을 고려할 때 나무를 조밀하게 식재하여도 홍수량은 안정적으로 소통될 것으로 판단된다.

그러나 수목을 식재할 때 상류 쪽부터 나무 조밀한 간격으로 식재할 경우 홍수시에 떠내려오는 많은 이물질들이 한꺼번에 나무 둔치에 걸려 상류로 거슬러 올라가면서 수면 상승이 예측된다. 연구 대상 지역에서 하류 쪽으로 여유고에 높은 안전율이 있으므로 녹색 공원 조성에 문제가 없을 것으로 예상되므로 상류 쪽에는 넓은 간격으로 식재하고 하류 쪽으로 내려가면서 조밀한 간격으로 식재하면 될 것으로 판단된다.

- (4) 기존 갑천 독을 그대로 유지하면서 넓은 둔치를 활용하여 최소한으로나마 자연의 유체 역학관계에 적합하게 저수로를 사행화 시킬 수 있으며, 여울과 웅덩이를 갖는 수변 및 저서 생태계에 획기적인 도심 하천 개발이 가능할 것이다.

갑천의 둔치에 여름철 홍수 소통에 영향을

주지 않는 범위 내에서 수목을 식재하여 녹지 공간을 확보한다면 비싼 용지 보상비를 들이지 않고도 도시민들이 쉽게 즐겨 찾을 수 있는 공원으로 활용할 수 있을 것이다. 또한 자연 생태계 회복에 기여하게 되고, 하천의 자연미가 살아나고, 여름철에 시민들에게 그늘을 제공하고, 어린이들에게는 좋은 자연 학습장이 될 것으로 생각된다.

VII. 요 지

본 연구에서는 우리 나라 강우 특성상 잘 발달된 도시 주변 일정 구간의 둔치를 녹지 공간으로 활용하기 위해 둔치의 수목 식재 가능성을 알아보았다. 대전에 위치한 갑천 유역의 수문 자료 및 기상 자료등을 기초로 하여 기존 제방의 홍수 유통 안정성 및 갑천과 유등천 합류 지점을 중심으로 반경 3km 내 세 단면을 표준 단면으로 정하여 둔치에서의 식재 여유고를 산출하였다.

홍수 유통 안정성을 검토한 결과 현 단면에서 기존 설계 홍수량은 세 단면 모두 과다 설계되어 있기 때문에 기존 제방의 홍수 유통 안정성은 충분한 것으로 판단된다. 세 단면 중 두 단면은 수목을 식재할 수 있는 여유고는 충분한 것으로 나타났으며, 나머지 한 단면은 식재할 수 있는 여유고는 거의 없지만 현재 인위적으로 높은 둔치의 단면을 절토하여 통수 단면적을 확보한 후에는 수목의 식재가 가능할 것으로 판단된다.

또한, 기존 하천 폭을 그대로 유지하면서 넓은 둔치를 활용하여 최소한으로나마 자연의 역학관계에 적합하게 갑천의 저수로를 사행화시킬 수 있으며, 조밀한 수목을 식재할 경우에 줄어드는 통수 단면적은 둔치를 낮추어 습지화할 때 확보되는 통수 면적으로 보충할 수 있다. 둔치에 수목을 식재하여 자연에 가깝게 공원화하여도 홍수량은 안정적으로 소통된다는 것을 이론적으로 증명하였다.

VIII. 인용 문헌

- 건설교통부. 1985-1997. 한국 수문 조사 연보.
 건설교통부. 1993. 하천 시설 기준, p. 822.
 건설부. 1993. 하천시설기준, 한국수문학회 : 469-473.
 김태정. 1996. 한국의 자원식물. 서울대학교 출판부, pp. 113-115.
 대전광역시. 1991. 3대하천종합개발사업실시시설 계획보고서, pp. 3-50.
 산림청임업연구원. 1992. 한국수목도감, pp. 91-254.
 안수환. 1995. 한국의 하천. 민음사, p. 165.
 이우철. 1996. 원색한국기준식물도감. 아카데미서적, pp. 57-277.
 이종형. 1994. 하천공학. 구미서관, p. 139.
 정동양. 1996. 독일 · 스위스의 근자연형 하천 계획, 한국수자원학회지 29(2) : 40.
 중앙기상대. 1986. 한국 강수 자료. 제1권-제3권.
 최영박. 1983. 국토개발과 수자원. 정음문화사, p. 53.
 최영박. 1994. 자연의 물 인간의 물. 집문당, p. 84.
 한국건설기술연구원 · 건설교통부. 1995. 하천 환경심포지엄, pp. 57-68.
 Arved, J. Raudkive. 1979. Hydrology, University of Auckland New Zealand, pp. 287-399.
 David, R. Maidment & Larry, W. Mays. 1987. Applied Hydrology, McGraw-Hill Inc, pp. 496-497.
 Hohmann and Konold. 1995. Renaturierung von Fließgewässern : Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung an der Enz in Pforzheim, ecomed, pp. 4-10.
 Mertens, W. 1989. Zur Frage hydraulischer Berechnungen naturnaher Fließgewässer. Die Wasserwirtschaft : 79.Jg, Heft 4, pp. 170-176.
 Nuding, A. 1991. Fließwiderstandsverhalten in

Gerinnen mit Ufergebüsch. Wasserbau-Mitteilungen der TH Darmstadt : Heft 35.

Pasche, E. 1984. Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und die Möglichkeiten ihrer mathematischen Erfassung. Mit-

teilungen, Institut für Wasserbau Wasserwirtschaft, RWTH Aachen : Heft 52.

Schneider. 1992. Bautabellen, Werner-Verlag GmbH, pp. 13.18-13.27.

接受 1998年 9月 28日