

독일·스위스의 근자연형 하천계획

정 등 양*

초록 : 독일어 문화권에서는 “자연에 가까운(Naturnaher Flußbau)” 공법과 “자연화(Renaturierungsmaßnahme)” 라고 하는 전문용어의 개념에 따라 강, 소하천, 배수로 등을 오래 전부터 재개발하고 있다. 인공적으로 정비된 강을 자연적인 하천모형으로 변형하여 그 하천 형태를 지속적으로 유지하는 것과 정비된 일정한 하천구간을 자연으로 되돌아 갈 수 있도록 초기 조건을 갖추어 주면서 자연적으로 하천이 발달하도록 자연에 맡기는 두가지 유형이 있다. 이와 같은 개발된 하천을 재개발하면서 미개발된 하천을 보전하는 하천 관리 전략을 병용하여 파괴된 하천환경을 회복할 수 있도록 최선을 다하고 있다. 독일어 문화권에서 대형 강에서부터 소형 배수로까지 자연화 혹은 자연에 가깝게 재개발하고 있는 이유가 있다. 산업·사회발달과정에서 강의 수계에 변화를 초래하였으며 그 악영향을 근본적으로 치유하는 길은 강의 모습을 본래 형태로 되돌려야 한다는 정신을 견지하면서 강을 재개발하여야 한다는 것이다.

1. “자연에 가까운” 하천공법과 “자연화하는” 하천공법(Naturnaher Wasserbau und Renaturierungsmaßnahme)

1.1 자연에 가까운 하천 공법 (Naturnaher Wasserbau)

자연에 가까운 강개발이라고 하면 혹은 직선화

된 지천이나 사행으로 바꾸며 도시하천의 콘크리트 하·호안을 걷어내고 주변에 나무를 심는 것 정도로 단순화하려는 경향도 있는 듯하다. 그러나 Naturnaher Wasserbau는 벌써부터 독일어 문화권에서 활발한 연구가 진행되었다. 강변의 공간 환경을 고려한 재개발을 하거나 현재 개발이 불가피한 구역을 이러한 정신에 입각하여 강개발이 추진되고 있다. 종전의 강이나 하천의 이용도를 그대로 유지하면서 (강개발로 인한 홍수 때 유속 변화와 자연법칙에 역행하는 비균형적 하상물질 이동 상태 등등) 주어진 조건을 활용하여 자연에 가깝게 강의 형태·생물학적면을 다시 재현하자는 것이다 [4]. 그 좋은 본보기가 라인강의 종합개발이다. 이러한 공법은 어떤 강에서나 응용할 수 있으며 콘크리트 문화속에 생활하는 주민들의 경직된 정서를 고려하여 부드러운 공간을 제공하며, 파괴된 생태계를 지역 특성과 주어진 공간에 따라 부분적인 재현이라도 시도하겠다는 의지가 포함되어 있음을 뜻한다. 이웃나라 일본은 특히 독일의 Bayern주의 자연공법사례와 연구에 관한 보고서를 그대로 번역하여 이용하고 있을 정도로 이분야에 관심을 보여 주고 있는 실정이다. 그러나 우리 나라의 하천관리 당국에서 실시하는 하천 정비사업 추진현황을 살펴 보면 반 자연적인 하천개발을 하고 있으므로 우려하지 않을 수 없다.

예 : 라인강(Rhein)의 자연에 가까운 강개발

* 한국교원대학교 조교수

특집 : 자연형 하천계획.....

나폴레옹이 황제에 오를 때 1804년에 독일의 Tulla라는 토목기사는 라인강 상류 지역에 직강 공사를 추진하기 시작하여 1825년에 공사를 끝마쳤다. 직강공사 때문에 발생한 높은 하상경사는 가동보를 건설하여 수면경사를 '0'으로 함으로써 높은 낙차가 생긴다. 이것을 이용하여 수차를 돌려 수력 자원을 얻고 바지선의 주운에 필요한 갑문을 겸비하므로 물유량을 저렴하게 운반할 수 있으므로 강의 재개발이 많은 문제를 한꺼번에 해결하는 듯하다. 1931-1955년 까지 Bassel에서부터 라인강 하류쪽으로 불란서에서 4개의 종합형 가동보를 Tulla의 직강공사의 보완 대책의 일환으로 건설하였다. 1961-1977년까지는 독일에서 연속하여 하류쪽으로 5개의 보를 추가 건설하였다. 만약 주기적으로 골재를 마지막 보 아래에 투입하지 않으면 하류의 하상침식으로 인한 많은 환경피해가 독일은 물론, 네덜란드에 심하게 나타나게 된다. 해마다 한강하류에 골재를 채취하고 있는 우리 나라 실정과는 대조적인 현상이다. 독일의 사례와 비교할 때 팔당댐 하류에 엄청난 하상침식이 일어나고 있음을 의미하는 것이다. 온대 지역에 위치한 대부분의 강 하류에 최근들어 빈번히 범람현상이 나타나는 것은 과거 2세기에 걸쳐 상류의 배수로, 소하천, 강으로 따라 내려오면서 수행된 직강공사와 자연의 늪지와 수물지가 사라졌기 때문이라고 한다. 이와 같은 문제는 하천형체의 “원상 복귀”만이 해결책이라는 결론이 내려져 있다.

지금부터 약 30년전 1968년에 라인강변의 이웃 나라들은 홍수범람 문제를 국제적인 차원에서 조사하여 각국이 저마다 해당하는 몫을 다하자는 결의 끝에 라인강 종합대책이(Integrated Rheinprogramm) 마련되었다. 라인강의 “홍수범람을 막고 자연의 생태계를 환원시키자”는 것이다. 라인강 하류의 홍수에방을 위하여 상류에 26군데 준비된 강둑 수문을 열어 현재 이용중인 초지, 농경지를 한시적으로 침수시킬 계획을 추진하여 현재 일부 홍수때 가동중이다. 가동보의 낙차를 극복하고 사라진 연어가 도래하기 위하여 재래식 어도를 자연에 가깝게 재건설하고 있으며 스위스의 알프스산 계곡

에 연어의 산란에 필요한 모래무더기(Sand Bank)를 파악하고 있는 중이다. 이런 사업의 성공에는 라인강 주변국가의 근본적인 상·하수정책의 고급화가 뒤따라야만 되었다.

1.2 자연화 하는 하천공법(Renaturierungsmaßnahme)

강개발에서 야기되는 강의 형태적 변화로 인한 단점과 동시에 발생하는 파괴된 생태계를(Ökosystem) 환원할 수 있도록 강·준용하천·실개천의 자연적인 발달-진행 과정을 허용하여 추구하는 목표를 달성할 수 있도록 하는 공법을 뜻한다. 지난 세기동안 강개발에 사용한 하상과 하안침식예방을 위한 구조물을 철거하고 강의 변형을 자연의 역학관계에 맡겨서 자연화된 강을 이용하여 과거의 후유증을 해소하자는 것이다. 이 공법에는 종전의 강유역 용도를 감소할(Intensiv→extensiv) 것을 요구한다. 강의 진로의 변경이나, 강의 단면을 넓혀서라도 강의 자연적인 발달을 허용하는 조치이다. 특히 이 공법에서 잊어서는 안될 점은 직선형의 강진로를 사행으로[1] 자연의 역학을 이용하여 바꾸는 것 외에 자연에 가까운 생태 형태학상의 구조를(Ökomorphologische Struktur) 추구하게 된다. 이런 구조는 강의 형태적 발달과 강변(하안)에 식생이 재생할 수 있도록 기능적인 개선을 추구하는 것을 뜻한다. 이러한 맥락에서 볼 때 우리 나라 하천에서 응용할 수 있는 지역은 중·상류 지역들이며, 다음의 몇가지 조건들은 반 자연적으로 개발된 강을 자연화 하는 하천 공법(Renaturierungsmaßnahme→Renaturierung)에 속한다.

- 자연에 가까운 하천의 일부 구간이 채수지 내에 존재하여야 한다(종류의 보전).
- 생물학적 양래가 이루어 져야 한다(예; 하상의 연속성을 차단하는 구조물 철거 혹은 자연에 가까운 어로건설)
- 자유로운 하천 및 주변 생태계의 발전
- 수질의 변화와(오염, 온도) 유수량의 급격한 변화가(인공적인 방류) 없어야 한다.

—채수지의 이용도를 가능한 범위 내에서 줄여야 한다. 현재 독일의 농촌 지역에서 많이 응용하는 공법으로서 자연의 역학에 맡길 수 있는 면적이 쉽게 확보될 수 있어야 하며, 그렇지 못할 경우에는 강변 논밭을 일정한 폭을 정부에서 구입하거나 사용을 금지 시키며 단계별 공사를 진행하고 있다.

1단계 : 하천의 중심에서 좌우로 10m 이상의 토지를 수용하여 경작을 금지시키고 과거의 하상, 하안의 침식을 보호하는 구조물을 철거한다. 홍수 때 갑작스런 침식을 방지하기 위하여 하상의 일정 구간에 통나무턱을 설치해주고 통나무턱의 간격은 강폭의 5-6 배로 정한다. 예상되는 곡선부위를 감안한 식목이 또한 중요한 작업이다. 2단계:과거의 논, 밭이 침식되어 초기의 사행천의 모습이 들어나게 될 때 사행천의 곡선외곽부와 하천주변에 사행천의 발달방향이 확실히 들어나게 된다. 이 때 사행천이 잘 발달될 수 있도록 조치를 취한다[1]. 자연에 나타난 사행천은 하상 침식이 가장 적으며 발달방향의 예측이 가능하기 때문에 자연공법으로 그 발달과정에 영향을 줄 수 있다. 3단계:일정한 사행강의 운동(발달)공간에서 자연적인 발달이 이루어지도록 홍수가 지나간 뒤에 점검하고 주기적인 관리를 하여야 하며, 필요에 따라 자연적인 공법으로 조치를 취한다. 우리 나라의 경우에는 넓은 둔치를 직선으로 만들지 말고 사행으로 만들면서 그 위에 식목하게 되면 작은 범위내에 하천을 자연화할 수 있을 것이다.

예:다뉴브(Donau)강의 자연화 하는 하천공법

다뉴브강은 라인강과 산둥선 하나를 사이에 두고 독일에서 발원하고 있다. 다뉴브 강 또한 지난 긴 세월 동안 개발의 역사 속에서 “수난”을 겪어야만 했다. 1872-1874년에 다뉴브강 지류의 Blochingen에 직강공사를 하였었다. 지난 100여년 동안 이 구간에 하상이 심하게 저하되는 것이 관찰되었다. 그 당시 사행강을 직선화하면서 하폭도 좁혀지고 경사도 높아진 것이 주된 원인이 되었다. 1872년에 직선화된 이 구간을 1993년 11월에 다

시 사행천으로 재개발하였으며, 지방관청에서는 25ha의 면적을 확보하여 강의 진로와 생태계의 실험 구간으로 설정하였다. 이 사업의 근본적인 목적으로 하천의 발달을 위한 공간 제공, 지속적인 하상침식 근절, 생태계의 활성화 등을 들 수 있다. 이와 같이 반 자연적인 강을 자연에 가깝게 혹은 자연화 하는 개발계획에는 둔치에 식목하는 것과 사행강의 설계이다. 우리 나라의 둔치에는 일반적으로 식목이 금지되어 있는데 그럴 필요는 없겠다 [2]. 둔치의 식목 분포상태에 따라 유속(유량)을 계산할 때는 종전의 Manning 공식으로 계산하지 않으며 고전 유체역학[3]을 응용하여 개발된 다음의 수식들이 사용되고 있다.

1.3 수목이 있는 하천의 설계유량

과거에 하천주변에 수목이 존재한 것은 자연적인 현상이었다고 할 수 있겠다. 자연에 가까운 강을 개발하였을 때 그리고 그림 1과 같이 수목이 하상에 분포하였다고 가정할 때, 이런 단면을 통과하는 유속계산은 Mannig/Strickler [3] 공식으로는 불가능하다. 그림 1과 같이 수목이 하상에 존재할 때에 유체가 이동할때 일어나는 에너지손실 계산식에서 유도된 “일반유속” 공식에서 개발된 식 (1)을 이용하여 설계유속을 계산하게 된다.

예 : 하상전체에 수목이 분포된 경우, 나무둥치가 교각처럼 수면위로 나와 있다(그림 1).

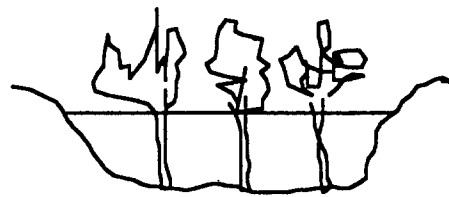


그림 1. 나뭇가지는 홍수 수위 밖에 나온 상태

특집 : 자연형 하천계획.....

$$v = \sqrt{\frac{8gr_{hy}I_E}{\lambda_w + (4C_{WR}\omega_p r_{hy})}} \quad (1)$$

- λ_w = 하상과 경사면의 저항계수,
 - C_{WR} = 계산상의 저항상수(1.0에서 1.5)
 - ω_p = 나무둥치면적과 유량의 대비($m^2/m^3=1/m$)
 - 띄엄띄엄한 덩불 $\omega_p=0.1$ 에서 0.5 1/m
 - 촘촘한 덩불 $\omega_p=1.5$ 에서 3.0 1/m
 - 나무 $\omega_p=d_{p,m} \cdot D_p=d_{p,m}/(a_x a_y)$ 1/m
 - $d_{p,m}$ = 나무둥치의 직경 m
 - D_p = 수면위에 나타난 나무 둥치의 수 1/m²
 - a_x, a_y = 각각 종횡방향의 나무사이 간격 m
- 수목의 분포가 조밀하거나 하상이 비교적 반반하고 매끈한 경우는 λ_w 값을 무시할 수 있다(그림 2). 이럴 경우 식(1)은 다음과 같이 변한다

$$v = \sqrt{\frac{2g I_E}{C_{WR} \omega_p}} \quad (2)$$

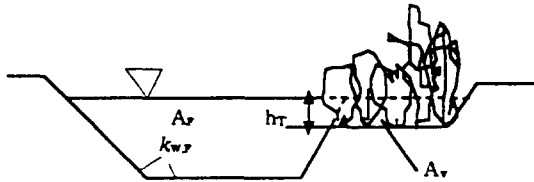


그림 2. 수목이 조밀한 둔치, 경사면을 절삭하고 식목된 둔치에 조립될 경우

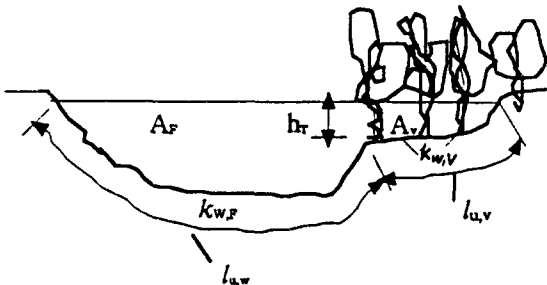


그림 3. 수목이 둔치 한쪽에 덩성하게 조립될 경우

식수로 인하여 통수면적이 감소될 경우에는 그림 2와 같이 단면 일부를 절삭해낸 뒤에 그위에 식목하면 본래의 유통면적이 확보 되지만 나무와 유체의 접촉면에서 에너지 교체 현상이 일어나기 때문에 이를 고려하여야 한다. 수목의 영향이 미치는 유통면적 A_F 의 유속계산은 다음 식 (3)을 이용하여 계산할 수 있다(그림 2, 3).

$$v_F = \sqrt{\frac{1}{\lambda_{res}}} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot r_{hy} \cdot I_E} \quad (3)$$

$$r_{hy, F} = \frac{A_F}{l_{u, w} + h_T}; \quad (4)$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_{res}}} = \sqrt{\frac{l_{u, w} + h_T}{\lambda_w \cdot l_{u, w} + \lambda_T \cdot h_T}} \quad (5)$$

$l_{u, w}$ 는 A_F 를 감싸는 면의 길이,

h_T 는 둔치와 정상유통면의 분리면의 수심

λ_{res} 는 수목이 그림 2, 3과 같이 한쪽 둔치에 조성되어 있는 경우에는 다음 식(6)을 이용하여 구하게 된다.

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_w}} = 21g \left(\frac{14.84 r_{hy, w}}{k_w} \right) \quad (6)$$

$$r_{hy, w} = \frac{\lambda_w \cdot A_F}{\lambda_w \cdot l_{u, w} + \lambda_T \cdot h_T} \quad (7)$$

λ_w 와 $r_{hy, w}$ 는 침식될 수 없는 고정하상의 $l_{u, w}$ 와 미지수의 부분유통면적 A_F 에 관계한다.

k_w 는 $l_{u, w}$ 에 해당 저항체의 직경이며 표 1과 같다.

$r_{hy, w}$ 값의 계산은 $r_{hy, w} = r_{hy, F}$ 로 가정하여 식(6)과 식(7)의 λ_w 값이 수렴할 때까지 반복하여 계산을 하여야 한다. 수면 아래의 나무둥치 높이 h_T 는 분리되어 있는 벽으로 가정하여 계산하지만 실제로는 유량 Q_F 와 V_F 에 많은 영향을 미치게 된다.

$$\lambda_T = 4 \left[1g \frac{v_{0, F}}{v_{0, F}} \right]^2 \frac{r_{hy, V} \cdot b_m}{h_T b_F} \quad (8)$$

$$b_F = A_F / h_T \quad r_{hy, V} = A_V / l_{u, V}$$

$V_{0,F}$ 와 $V_{0,v}$ 는 계산상의 A_F 와 A_v 에 예측된 유속, 이때 가상분리면의 높이(h_T)는 0으로 계산하여야 한다.

b_m = 유체 흐름에 영향을 미치는 수목부분의 넓이,
 $b_N = 3, 2 \sqrt{a_x \cdot d_{p, M}}$ = 나무등치윗면의 와류의 폭.
 $b_n \geq a_v \rightarrow b_m = a_v$; 상한선 $b_m \leq b_v = A_v/h_T$
 $b_n < a_v \rightarrow b_m = b_n$; 하한선 $b_m \geq 0.15h_T$
 A_v = 유통면적, $V_v \sim V_{0, F}$

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.

표 1. 하상형태에 관계하는 저항체 직경 k_w (mm)

하상구조와 하상조건에 따른 저항체 직경 k_w (mm)		
콘크리트	매끈함	1-6
	거칠음	6-20
	철근콘크리트 관	0.1-0.15
돌	굵힌 인조석	2-8
	벽돌 및 깬 자연석	15-40
	암벽 및 손질된 바위터널	7.5-75
	기계로 뚫은 바위터널	7-30
	거치른 자연석의 벽면	80-100
	투석된 표면	200-300
	매끈한 벽돌로 칸 면	30-50
격자형 잔디면	15-30	
흙	모래와 자갈	d_{90}
	호박돌	60-200
	농작지	20-250
	농작물이 있는 경우	250-800
	숲의 표면	160-320
	잔디	60-400
	불규칙적인 하상	150-350
아주 불규칙적인 하상	350-500	

하천환경을 개선하기 위하여 그림 1에서 3까지의 하상이나 둔치에 조림을 할 경우에 설계유량을 산정할 때 독일에서 고전유체역학을 응용하여 개발

한 식(1)에서 (7)까지는 공인고 안전한 수식으로 서 엔지니어들이 사용하고 있다[3].

맺 는 말

몇해 전까지만 하여도 당국에서는 물을 많이 소비하자고 권고하였으나 최근에는 물을 아껴쓰자는 시민운동을 시작하고 있다. 이와 비슷한 예로 하천환경을 들 수 있겠다. 한 나라의 문화수준을 짚어 볼 수 있는 하천환경은 지금까지 도외시 하였으며, 선진국에서는 찾아볼 수 없는 하상주차장이 개발되어 이용되고 있는 것을 볼 때, 당국의 환경정책의 방향이 어디 있는지 짐작이 간다. 지금까지 독일의 하천개발 사례를 우리 나라 하천개발 실태와 비교 하게 되면 너무 많은 문제가 한꺼번에 나타나는 것 같다. 유럽강들의 하상계수와 우리 나라 강들의 하상계수가 틀리므로 여기서는 자연에 가까운 강개발이 안된다고 주장하는 것은 적합하지 않다고 생각 된다. 우리 나라의 강변에도 과거에 자연이 있었다. 인위적으로 사라진 강변의 자연을 복원하자는 것이 자연에 가까운 강개발 정신이라고 한다면 우리 나라의 특성에 알맞은 강개발을 얼마든지 추진 할 수 있게 될 것이다.

참 고 문 헌

Chung(1995) : Zur Mechanik der Maaanderbildung, Dissertation, TU-Berlin
 정동양(1995) : 독일/스위스 근자연형 하천공법, 하천 환경심포지엄, 건설교통부
 DVWK-Merkbl tter 220(1991):Hydraulische Berchnung von Flie gew ssern, Verlag Paul Parey, Hamburg
 G. Lange und K. Lecher(1986):Gewässerregelung Gew sserpflege(Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Flie gew ssern), Verlag Paul Parey, Hamburg