

## 온천천의 자연형 하천 복원과정 조사분석

### Survey analysis of Natural Recovery Method at Oncheon Stream

○서규우\* · 우상환\*\* · 김동현\*\*\*

#### 1. 서론

우리 나라 도시하천의 정비는 주로 강수량의 계절별 집중에 따른 수문학적 특성을 감안하여 구조물에 의한 하천정비에 중점을 두었다. 홍수를 신속히 배제하는 것을 주목적으로 하천을 직강화하고, 시멘트블록 호안을 축조하였다. 하도상에는 하상의 세굴방지 목적의 낙차공과 취수용 혹은 하천경관 조성 목적의 보를 축조하여 회유성 어류의 이동을 차단하고 있다. 본류 및 주요 지천은 도시의 성장에 따라서 과밀한 시가지에서 확보하기 곤란한 대규모 개발용지의 공급원으로서 활용되었다. 개발지역 내의 지천은 복개하여 도로 혹은 주차장으로 이용하였다. 하천의 제방에는 도시고속도로를 건설하고, 하도상에도 고가도로 혹은 전철을 입지시켰다. 또한 일본의 사례를 모방하여 하천을 저수로와 고수부지로 구분하는 복단면 조성기법을 적용하고, 고수부지에는 공원 및 녹지공간으로서의 이용은 물론 하천변 상업시설 혹은 주민의 주차공간과 같은 원래의 하천기능과 무관한 용도로 이용되고 있다. 본 연구에서는 부산지역에 위치한 온천천 시범구간을 중심으로 자연형하천공법의 실효성과 각 공법의 향후 개선점 등을 제시하고자 한다. 하천에서 생태계를 지배하는 요소는 수리적 요소(유량, 유속, 수심)와 수문적 요소(하천지역의 강우 특성, 강우량, 홍수량)수질적인 요소(pH, DO, BOD 등) 그리고 하도의 형태(여울과 웅덩이의 분포, 하상재료)등이다. 따라서 하천의 생태환경을 고려한 하천 정비사업이 필요하며 이러한 환경요소의 변화를 최소화하는 것이 바람직하다. 설령 불가피한 변화상황에는 본래의 환경요소에 가까운 축소형태의 환경 조건을 조성하는 기법이나 생태에 유리한 새로운 환경을 지공하는 기법의 도입이 바람직하다. 90년대 이후 전통적인 소하천 정비 기법에서 벗어나려는 노력과 함께 부산시 동래구 관할의 온천천 유역에서는 240m 구간의 자연하천공법 적용 구간이 시범적으로 시행된 바가 있고 이를 중심으로 자연형하천공법을 분석하고자 한다. 자연형하천공법이 환경을 그리고 자연생태를 고려한 것을 감안해서 자연생태의 피복률에 따른 수리·수문학적인 검토와 하도의 변화를 고려해 사행화 노력과 함께 수변공간의 활용정도 등을 살펴봄으로서 앞으로 개선방향을 제시하고자 한다.

#### 2. 자연형 공법의 적용

온천천은 유역면적이 55.40km<sup>2</sup>, 유로연장 15.6km로서 수영강 전체 (유역면적199.9km<sup>2</sup>, 유로연장 28.5km) 유역면적의 약 27.7%를 차지하는 하천이다. 토지이용현황은 대부분의 임야 및 대지로서의 그 구성비는 임야 면적이 30.10km<sup>2</sup>로써 54.33%, 대지면적은 19.66km<sup>2</sup>에 35.49%, 초지면적은 5.64km<sup>2</sup>에 10.18%이며, 동래구 관할구역 중 일부구간(250m)이 자연형하천공법 시범구역으로 조성 중이다.

\* 동의대학교 토목도시공학부 토목공학전공 조교수

\*\* 동의대학교 산업기술대학원 토목공학전공 석사과정

\*\*\* 동의대학교 대학원 토목공학전공 석사과정

온천천 현재의 모습은 콘크리트에 의한 하천제방의 정비와 복개로 인한 하천 생태계의 파괴와 둔치지역의 주차장화 등 하천 고유의 생태를 고려하지 않은 개발 및 정비로 인하여 하천이 파괴되고 있다. 따라서 서두에서 말한 자연형하천공법의 필요성과 이를 적용한 시범 조성구역이 금정구 관할 구역의 온천천 일부구간(그림 1)에서 조성되고 있다.

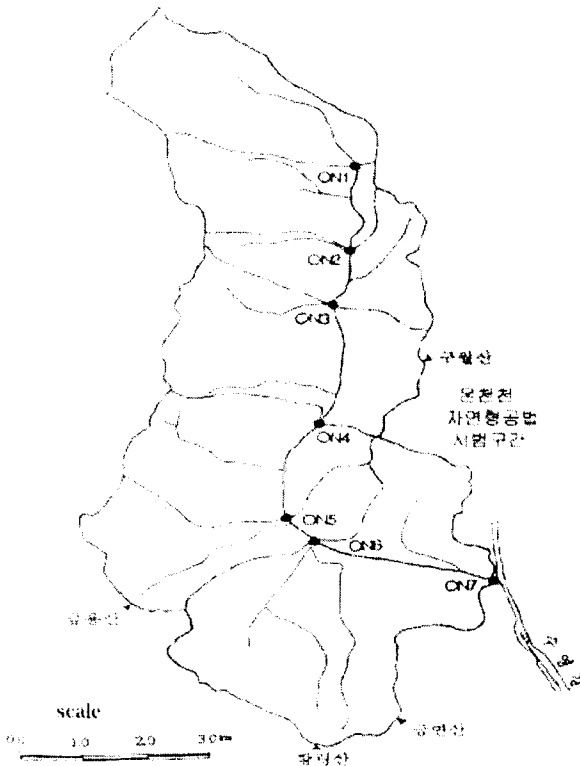


그림 1. 온천천 유역

온천천에 자연형하천공법이 적용되는 과정은 유역의 분석과 수변환경의 조사 등을 통한 기초 조사 후 적용에 알맞은 지금의 시범구역을 선정하여 공법을 개발하고 또한 선례연구와 외국사례의 비교 등을 통해서 자연형하천공법을 시공한다. 물론 이후 지속적인 관리와 모니터링의 과제를 남기게 되는 것이다. 일반적으로 자연하천의 흐름의 형태는 평균유속을 크게 흐르는 것이 아니라 난류형태로 흐르게 되며, 하천 형태는 하천의 침식, 운반, 퇴적 작용에 의해 하폭과 수심이 다양하게 변하며 완만한 굴곡이 연속되어 있다. 이렇듯 자연하천의 흐름의 특성과 지형적인 것들이 영향을 받아 횡단면적으로 볼 때 상하좌우로 흐르는 3차원의 흐름으로써 복잡한 형태를 취한다. 따라서 자연형 하천 공법의 적용에 있어서 하천의 흐름에 따른 하상의 형태와 하천 생태계의 서식처 환경과의 관계를 규명하는 것도 매우 중요하다. 그리고 전통적인 하천정비 기법으로 제방의 안정을 도모한 경우에 한하여 자연형하천공법이 시행되지만 자연 식

생의 안착에 따른 식생여과대 작용을 기대하기 위해서는 80% 이상의 피복률을 웃돌아야만 한다. 그럴 경우의 조도 계수 변화에 따른 계획홍수위의 변화를 피해야하리라 본다. 현재 자연형하천공법이 적용되는 구간 및 국내 하천의 경우에는 이·치수의 전제하에서 행해지고 있으나 앞으로 좀 더 세밀한 분석이 필요하다고 본다. 온천천의 경우 이·치수의 안정성을 확보한 후 시공이 이루어졌다. 그러나 식생의 안착여부에만 관심을 가질 뿐 식생 안착 이후의 피복 상태에 대한 연구는 아직 나오지 않은 단계이며 현재로서도 적용공법의 성공 여부는 판단하기에 이른 편이다

8

### 3. 수문자료의 분석

유역내의 총강우량은 1,455.9mm/년으로 한국 연평균보다 많고 연평균 기온은 9.8 °C이며 최고 기온은 37 °C이며, 최저기온은 -27.6 °C이고 연평균습도는 72.5%, 연평균 증발량은 1,058.5mm 이다. 온천천 유역의 빈도별 확률강우량을 산정하기 위하여 부산지방기상청의 관측기록을 근거로 하여 통계적인 해석방법으로 확률강우량을 산정하였으며 홍수량 산정에는 본 유역에 대한 강우의 특성 강우량의 시간분포 및 지역분포를 감안한 유출현상에 가장 적합하다고 판단되는 HEC-1 모형에

대해 산정한 홍수량을 채택하여 계산했다. 또한 본 유역은 관측지가 전무함으로 S.C.S방법을 사용하여 유효강우량을 산정했으며 토양의 경우에는 유역 토양도를 이용하여 분석하였다. 그리고 흙의 초기 함수상태는 지표가 포화되어 있는 상태로 보고 유역의 CN 값으로 산정하여 그 결과 78~85를 적용하였다. 홍수량산정 시에는 주요지점의 하류 전·후 및 주요계획지점 7개 지점을 채택하였으며 유출률은 S.C.S방법에 대하여 총강우량에 대한 유효우량(초과 강우량 혹은 직접 유출률)을 비율로 산정한바 76.3% 정도로 나타났다. 100년 빈도의 홍수량에 상응하는 홍수위를 산정하기 위한 기점홍수위는 “온천천 하천정비 기본계획서, 부산직할시, 1989.7”의 홍수위를 살펴보면 시점의 경우는 4.17m이고 거제천 합류점은 5.08m 그리고 사직천 합류점의 경우는 5.56m으로 산정되었다.

#### 4. 식생안착에 따른 조도계수의 변화 가능성

자연형 호안정비계획은 당초 하천정비 기본계획안에 비하여 저수로 호안의 경사가 완만하게 설치되며, 돌망태, 자연소재(거석, 코코넛물, 갈대 등)를 이용한 호안을 조성하는 것으로 기본계획안에 비하여 Manning의 조도계수(n)가 크게 변화하지 않을 것으로 예상하고 시공되어졌다. 그러나 자연형 호안으로 조성될 하천의 경우 홍수위는 기존 하천단면 홍수위보다 상승할 것으로 보며 각종 식생의 성장 상태를 정확히 고려할 수 없는 것이 현 실정이다. 온천천의 경우 기존 제방에 의한 계획홍수량과 빈도 및 강우량 등의 수문학적인 자료가 완벽하게 충족된 전제하에서 시공을 한다고는 했지만 이는 전제에 지나지 않는다. 현재로서는 실측의 수위자료가 없고 이 지역의 강우자료가 없으므로 속단하기는 이른 상황이다. 그래서 적절한 수위 자료가 없을 경우에는 다음과 같은 조도계수의 산정방법으로 조도계수를 산정 할 수가 있으며 이는 조도계수에 영향을 미치는 몇 가지 인자를 고려하여 적절한 값을 선정하도록 되어 있다.

표 1. Cowan의 조도계수 산정식에서 각 계수값의 기준

수로조건		각 계수값	
하상계수	흙	$n_0$	0.020
	분쇄된 암		0.025
	가는 자갈		0.024
	굵은 자갈		0.028
불규칙성정도	평탄	$n_1$	0.000
	작음		0.005
	중간		0.10
	심함		0.020
수로단면의 변화	점진적 변화	$n_2$	0.000
	가끔씩 변화		0.005
	자주 변화		0.010-0.015
식생	적음	$n_4$	0.005-0.010
	중간		0.010-0.025
	많음		0.025-0.050
	아주 많음		0.050-0.100
만곡의 정도	작음	$m_5$	1.000
	중간		1.150
	심함		1.300

Cowan의 산정식은  $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$  이다. 여기서,  $n_0$  : 직선이고, 균등하고, 매끄러운 수로에 대한 기본적인 n 값,  $n_1$  : 표면의 비균일성에 대한 가산치,  $n_2$  : 장애물에 대한 가

산치,  $n_3$  : 식생상태와 흐름조건에 대한 가산치,  $n_4$  : 식생상태와 흐름조건에 대한 가산치,  $m_5$  : 수로의 굴곡에 대한 보정계수이다. Cowan방법 이외에도 Chow가 제시한 도표로부터 조도계수를 산정하는 방법이 있으며 식생의 안착에 따라 하천의 조도계수 변화는 클 것으로 생각된다. 극단적인 예로 Chow의 경우 개수로의 콘크리트 호안의 경우 최소값이 0.015에서 최대값의 경우는 0.020으로 변화하고 자연형태의 소하천의 경우에는 식생의 안착을 고려하여 80% 이상의 초본 및 관목류가 안착한 경우에는 0.075~0.150으로 변화한다. 이는 절대적인 수치 값으로는 차이가 적어 보일지 모르나 실제 홍수 도달시간이나 통수능면에서 지대한 영향을 미치리라고 생각된다. 온천천의 경우는 더욱 심각한 상황에 이를 수가 있다. 이는 지류가 합류하는 부분이란 점과 동시에 조도계수의 변화가 심화될 수 있는 두 가지 통수능 저하요소를 갖추고 있기 때문이다. 온천천의 경우 시공시 자연형 하천으로 조성될 경우의 조도계수를 고수 부지 및 제방의 경우에는  $n = 0.035$ , 저수로의 경우에는  $n = 0.025$ 로 결정하였다.

### 5. 온천천 시범구간 측량 성과

1999년 11월 27일 수공학연구실에서 온천천 시범구간 240m를 10m 간격으로 측량한 결과이다. 240m구간을 10간격으로 1번에서 25번으로 나누어서 측량결과를 살펴보면 그림 2와 같다.

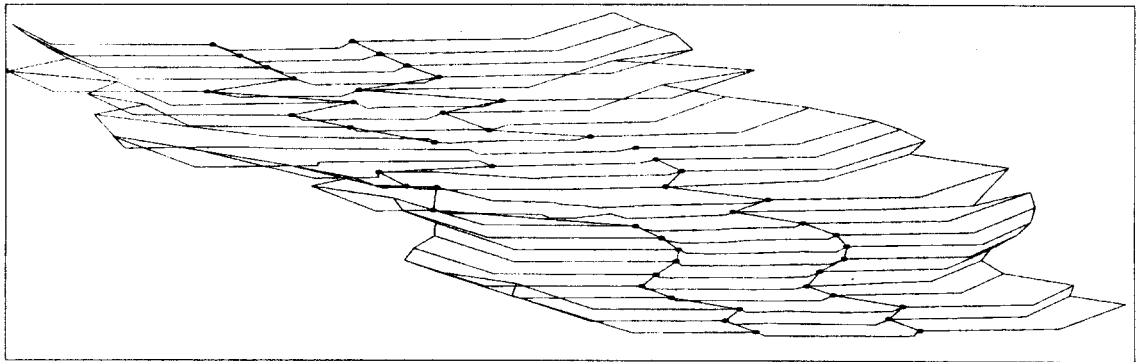


그림 2. 온천천 시범구간 측량성과(HEC-RAS 입력 단면지점)

위의 측량 성과를 바탕으로 각 단면사이를 보정하여 HEC-RAS 프로그램에서 수위값을 대입하고 이를 각 단면별로 검토하는 작업을 진행 중이다. 한 예로서 1번 단면과 20번 단면을 살펴보면 다음 그림 3과 4와 같다.

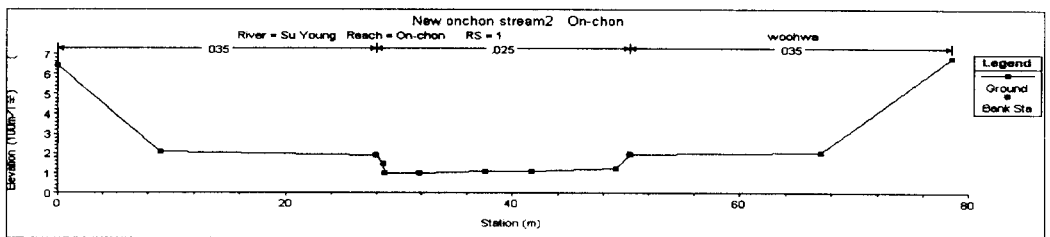


그림 3. 온천천 시범구간 1번 단면 횡단면 자료

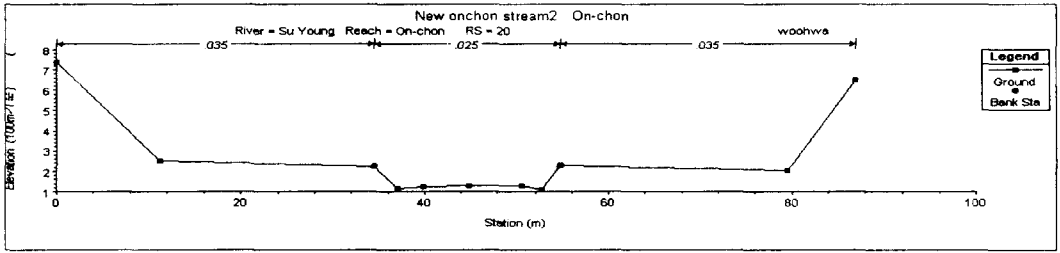


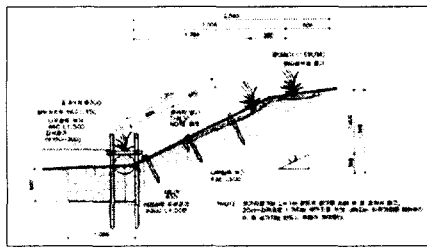
그림 4. 온천천 시범구간 20번 단면 횡단면 자료

### 6. 자연형하천공법의 적용 사례 분석

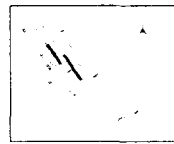
도시화에 따른 직강화 하천을 사행화함으로서 침식, 퇴적, 운반작용이 원활히 일어나는 하천을 복원하기 위한 하천 수층부의 공법들을 온천천을 1년간(1998년 12월부터 현재까지)모니터링한 자료를 기초로 살펴보면 다음과 같다. 표 2와 같이 A-1, A-2, B-1, B-2, C-1, C-2, C-3, D-1, D-2로 나눈 것은 각각의 공법의 특징들을 분류해서 유사한 공법들로 나눈 것이다. A, B공법의 경우는 저수로호안에 중점을 둔 것이며 C, D 공법은 습지 호안에 중점을 둔 공법으로 각 공법의 특성을 나누어 보면 다음과 같다. 예로서 한 구간만을 살펴보면 다음 그림 5에 공법의 설계도면이고 그림 6에 99년 12월이후 모니터링한 사진이고 표 3은 A-1공법의 세부공법이다.

표 2. 온천천구간의 적용공법 구분

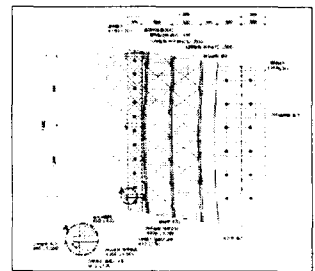
구분	저수로 호안					습지 호안				
	비수층부호안		수층부호안			식생호안			폐자재호안	
	A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2



A1 단면도



A1 KEYMAP



A1 평면도

그림 5. A-1 공법의 설계도면

표 3. A-1공법의 세부공법

구분	현장조건		기단부처리공 야자섬유 두루마리 (Coir-Roll)	비탈바닥공 윗가지 덮기 (Wattling)	식생피복공 갈대심기
	식피밀도	100%			
A-1	기존호안공	콘크리트블록			
	호안깊이, 수심	100cm, 20cm			
	유속	0.14m/s			

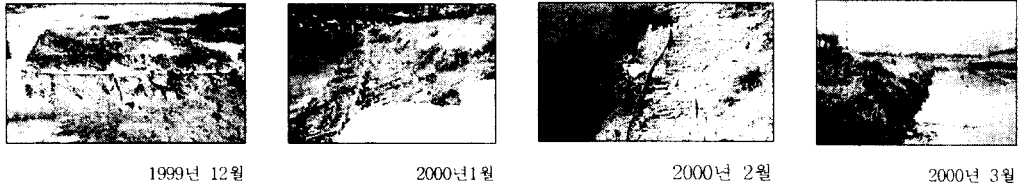


그림 6. 99년 12월 이후 온천천 시범구간 모니터링 사진

## 7. 고찰 및 결론

전통적인 하천정비는 하천생태계가 점유하는 공간을 인간위주의 용도로 사용하는 데 주목적을 두었다. 따라서 넓은 고수부지에는 습지를 싫어하는 잔디밭을 조성하고, 넓은 주차장과 도로를 건설하여 생태계의 기반을 훼손하였다. 따라서 자연형하천정비 기법을 하천에 적용하려면 우선 고수부지 중에서 인간이 점유하는 공간의 상당 부분을 하천생태계의 특성으로 회복시키고, 단순화된 저수로 및 저수호안을 자연하천과 유사하게 다양한 유속, 저질 및 서식공간으로 복원시켜야 할 것이다. 결론적으로 온천천 적용 구간을 살펴보면 많은 부분이 개선되어 나가고 있는 것을 볼 수 있다. 하천의 사행 형태를 고려한 침식과 운반과 퇴적 등에 대해 사행형태의 기본적인 요소는 충족시키고 있지만 1년 4개월 흐른 지금의 온천천은 퇴적이 심하게 일어나 있는 것을 볼 수가 있다. 또 다른 사항으로는 설계 시에 예상한 수량에 따른 조도계수와 유량 등의 예상값이 다소 차이를 보이는 것으로 생각된다. 이는 하상바닥의 변화를 충분히 고려하지 않은 것도 하나의 요인으로 생각할 수가 있다. 그리고 피복점유율에 따른 조도계수의 변화를 어느 정도 고려해야 될 것으로 본다. 또한 각각의 공법에 따른 침식 및 퇴적 구역이 변갈아 일어나므로 이의 자연적인 특성을 고려한 공법의 개발이 절실히 요구된다. 무엇보다도 가장 문제가 되는 것은 기본 취지인 열린 공간으로서의 하천 역할을 하기에는 기본적인 여건이 갖추어지지 않은 상태이다. 이유를 살펴보면 하천으로 접근하기 위한 도로가 현실적으로는 봉쇄되어 있는 것이다. 하천을 따라 흐르는 도로가 하천으로의 접근을 근본적으로 막고 있다. 이의 개선을 위해서는 도시 전체의 도로망을 새로이 계획하고 수변공간의 접근이 용이하게 바뀌어야 한다. 자연형 하천의 도입에 따른 다양하면서도 연관성있는 자연형하천 공법의 개발이 되어야 할 것이다. 결론적으로 자연형하천공법의 적용은 모든 과정을 총괄한 종합적인 토목공사가 되어야 한다.

## 참고문헌

1. 건설부, 1991, '하천환경관리 기본 조사·연구'
2. 건설교통부 1999, '하천공사표준시방서'
3. 김승환, 2000, '부산도시환경론', 동아대학교출판부
4. 서규우, 1999, '온천천의 자연형 복원 공법의 적용에 관한 연구', '99토목학회학술발표회논문집III
5. 우효섭 김규호, 이삼희, 1994, '유지유량/하천환경 관련 해외 사례조사 보고서', 건설기술연구원
6. 부산광역시, 1999, '온천천 자연형하천 정비계획설계보고서'
7. 한국건설기술연구원, 1995, '도시하천의 하천환경 정비기법의 개발'
8. 건설부, 1994, '자연형 하천 계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사연구',
9. 한국건설기술연구원, 1996, '국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발'