

2

땅 위의 물

연간 '새 물' 18.4억m³ 확보 목표

- 전국 취수원 연결, 실시간 물관리시스템 완성

글_김 원 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 wonkim@kict.re.kr

우리 나라 사람들은 가정에서 한 사람이 평균 하루 174ℓ의 물을 사용한다. 공장에서는 일년 동안 29억m³의 물을 사용하고, 농사를 짓기 위해서는 158억m³의 물을 사용한다. 사람은 단 하루도 물없이 살아갈 수 없다. 이와 같이 중요한 물은 어디서 오는 것일까?

인간이 물을 만들 수는 없다. 물은 만들어지지도 않지만 없어지지도 않고 끊임없는 순환을 반복한다. 강, 호수, 바다의 물은 하늘로 증발되어 구름이 되었다가 비로 땅 위에 내리게 되고, 이 물은 다시 강으로 흘러들고 땅속으로 스며든다. 이와 같이 물은 자연의 섭리 속에서 끊임없이 순환하기 때문에 전체 양은 거의 일정하지만 강, 호수, 하늘, 땅속 등에 있는 물의 양은 일정하지 않고 계속해서 변화한다. 우리 나라에서 일년 동안 비로 내리는 물의 양은 전체 1천276억 톤이다. 이중 증발되거나 바다로 흘러가는 양을 제외하면 우리가 이용할 수 있는 양은 26% 정도인 331억m³ 정도로 이미 정해져 있는 것이다.

비는 어디든지 내리지만 비오는 양은 지역마다 다르다. 이집트에는 일년 동안 65mm의 비가 내리지만 인도네시아에는 2천620mm의 비가 내린다. 우리 나라에는 평균 1천274mm의 비가 내리는

데 지역적으로 차이가 많아 경북 내륙 지방에는 1천mm, 제주도에 1천700mm의 비가 내린다. 이렇게 지역에 따라 비가 오는 양이 많이 다르기 때문에 사람들이 이용할 수 있는 물의 양도 지역마다 크게 차이가 난다. 또한 우리 나라에서는 일년 동안 비가 일정하게 내리지 않는다. 홍수기라고 말하는 6월에서 9월 사이에 2/3에 해당하는 대부분의 비가 내리고 나머지 기간에는 조금 밖에 내리지 않는다. 또 비가 오는 양은 해마다 크게 다르다. 적게 내리는 해는 750mm이고 많게 내리는 해는 1천700mm이다. 이와 같이 인간이 이용할 수 있는 양의 물은 이미 정해져 있다. 더구나 그 양마저도 지역에 따라 다르고, 계절이나 해마다 크게 변화하고 있다.

강수량 1천276억톤 중 겨우 26%만 활용

인간 마음대로 물의 양을 조절할 수 없는 상황에서 물을 확보할 수 있는 방안은 물을 효율적으로 관리하는 것이 최선이다. 물을 관리하는 방안으로는 여러 가지를 들 수 있다. 댐이나 저수지를 만들어 물이 풍부한 시기에 물을 저장하는 방법, 물이 풍부한 지역에서 물이 부족한 지역으로 물을 이동하는 방법, 땅속에 있는 물이나 바닷물을 이용하는 방법, 물의 수요를 조절하는 방법, 가뭄시에 지역별이나 시간별로 물을 배분하는 방법, 빗물이나 하수를 재활용하는 방법 등이 물 관리를 통해 물을 확보하는 방법이라고 할 수 있다.

우리 나라에서 물을 공급하는 주공급원은 하천, 댐, 지하수이다. 건설교통부 수자원장기종합계획에 따르면 2001년 현재 하천에서는 연간 227억m³의 물을 공급가능하다. 댐이나 저수지의 경우에도 많은 물을 공급가능한데 소양강, 충주댐 등 13개 다목적 댐에서 연간 106.4억m³, 발전 전용댐에서 연간 4.6억m³, 전국의

물 관리를 통한 물 확보 방법

물관리 종류	구체적인 방법
물 저장	댐, 저수지, 산림녹화 등
물 이동	광역상수도 등
물 개발	하천수, 지하수, 해수담수화, 인공강우 등
물 수요관리	물 가격 조정, 절수 등
물 배분	지역별, 시간별 물 배분 등
물 재활용	빗물 이용, 하수 재이용, 중수도 등



16개 용수 전용댐에서 연간 7.7억^m³, 농업용 저수지와 하구둑에서 연간 33.6억^m³의 물이 공급가능하다. 지하수의 경우에는 연간 이용량이 1998년 기준으로 37억^m³에 달하고 있다. 그러나 실제 공급량은 이보다 적게 되는데 하천의 경우 2001년 현재 158.8억^m³로 전체 공급량의 47%를 차지하고 있으며, 댐의 경우 147.7억^m³로 44%, 지하수의 경우 31.5억^m³로 9%를 차지하고 있다. 2001년 현재 전체 물공급량은 338억^m³이고 물수요량은 337억^m³으로 약간의 여유가 있는 상황이다. 그러나 2011년에는 30년

에 1회 발생하는 크기의 가뭄이 도래시 연간 18억^m³의 물이 부족한 상황으로 예측되고 있다.

기존 다목적댐 연계 운용, 연 16억^m³ 추가 확보

2011년에 예측되는 연간 18억^m³의 물부족을 해결하기 위해서는 새로운 차원의 물관리 대책이 필요하다. 먼저 가장 필요한 대책이 수요관리이다. 수요관리는 물값 현실화, 노후관 개량, 중수도 및 재이용, 절수기기 보급, 농업용수로 구조물화, 자동물관리 시스템 도입 등을 통해 물수요를 최대한 억제시키고자 하는 방안이다. 건설교통부에서는 수요관리를 통해 2006년까지 16억^m³의 물을 절감가능한 것으로 분석하고 있다. 기존 다목적 댐의 연계운용을 통해서도 추가적인 물확보가 가능한데 2011년까지 6억^m³의 물을 추가로 공급가능한 것으로 분석되고 있다. 또한 전국 해안이나 도서지역에서 필요한 물이나 이상가뭄이나 수질사고 등에 대비한 비상용수가 필요한 지역을 대상으로 해수담수화를 추진하여 2011년에 8억^m³의 물을 확보하도록 계획하고 있다. 전체적으로 2011년까지 연간 18.4억^m³의 신규 수자원을 확보하여 물부족에 대비하고 있다. 이외에도 중소규모 다목적댐 건설, 광역

물 수요-공급 전망 (단위 : 억톤)		
	2001	2011
물수요량	337.4	370.0
물공급량	338.0(100%)	351.6
- 하천수	158.8(47%)	164.8
- 댐	147.8(44%)	152.1
- 지하수	31.5(9%)	34.8
공급량-수요량	0.6	-18.4

물관리를 위한 관측소 현황(04. 1 현재)			
(단위 : 개소)			
구 분	유량관측소	수위관측소	유량관측
계	2,720	589	11
관측밀도	37km ² /1개소	169km ² /1개소	897km ² /1개소
건설교통부	420	283	66
행정자치부	1,574	191	-
기 상 청	576	-	-
수자원공사	141	99	45
농업기반공사	9	16	-

상수도 확충, 기존댐 재개발, 지하댐이나 강변여과수 개발, 우수 및 하수의 재이용 등을 통한 신규 물확보도 계획하고 있다.

2011년에 예측되는 물부족 문제는 물관리를 통해서 해결될 수 있을 것으로 전망하고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 여러 가지 물관리 방법을 통해서 물을 확보할 수 있다. 특히, 물공급량의 약 50%를 담당하고 있는 하천에 흐르고 있는 물의 양을 정확하게 파악하는 것은 물관리의 기본이라고 할 수 있다. 그러나 물의 양을 파악하는 것은 쉽지 않다. 물의 양을 파악하기 위해서는 하천의 필요한 지점에 관측시설을 설치해야 하고, 정기적으로 흘러가는 물의 양을 측정해야 한다. 물의 양을 측정하는 것은 수질이나 수위 등과 같이 센서에 의해 자동으로 이루어지는 것이 아니라 사람이 장시간 물 속에서 측정해야 하는 복잡한 과정을 통해서 이루어진다. 또한 취수장이나 양수장에서 취수하는 물의 양도 파악해야 하고 댐이나 저수지에서 방류하는 양, 하수처리장 등에서 배출하는 물의 양 등도 종합적으로 파악해야 한다. 이와 같은 복잡한 과정을 거쳐야 하기 때문에 아직까지 우리 나라에서는 체계적인 수량 파악 시스템이 구축되지 않은 상황이다. 물 확보를 위해서는 무엇보다 이와 같은 수량 파악 시스템의 구축이 중요하다.

최근 건설교통부에서는 하천의 물관리를 효율적으로 수행하기 위한 계획을 수립하였다. 이 계획에 의하면 최근 이상기후에 따라 자주 발생하는 가뭄과 홍수피해를 줄이고, 환경부에서 실시하는 오염총량관리의 효율성을 높이기 위해, 2004년부터 향후 6년간 총 657억 원의 예산을 투입하여 실시간 물관리 시스템을 구축하기로 하였다. 이를 위해 하천 수량의 실시간 모니터링에 필요한 첨단 측정시설을 대폭 확충하기로 하였는데 일본에 비해 약 30% 수준에 불과한 관측소 밀도를 향상시키기 위해 현재 190개

소인 수위관측소를 293개소, 현재 111개소인 하천 유량측정지점을 293개소로 확대하고, 지자체 등에서 운영하고 있는 관측시설을 공동 활용하기로 하였다. 또한 하천에서 자동으로 유량을 측정할 수 있는 첨단장비인 초음파 유량계, 위어 등을 연차적으로 확대 설치하여 물관리를 위해 가장 기본적인 정보인 하천유량의 효율성과 정확도를 향상할 계획이다.

703개 취수장, 293개 물 관측소 통제 가능

또한, 실시간 물관리를 위해 필요한 물사용량 정보의 실시간 모니터링도 실시하기로 하였는데, 전국 703개 주요 취수장마다 자동유량계측 장치를 설치하고 실시간으로 전송할 수 있는 시스템을 구축하여, 농업기반공사, 산업체, 각 지자체에서 사용하는 농업, 공업, 생활용수 등 각종 물 사용량을 실시간으로 파악할 수 있는 시스템을 구축할 계획이다. 또 총 49억 원의 예산을 투입하여 물관리에 필요한 기술개발을 강화하기로 하였는데 각종 용수 수요에 필요한 최적 관측망 구축, 국제기준에 적합한 수준의 하천 수량 정확도 확보, 합리적 용수배분, 가뭄 예보, 하천 관리 일원화를 위한 국가하천과 지방하천의 수량 관리 체계 확립 등에 관한 기술을 개발하여 물관리의 효율성을 향상시킬 계획이다. 뿐만 아니라 실시간 물관리 시스템의 운영을 위해 물관리 전문가로 구성된 조직을 운영하기로 하였는데 하천 유량 정보의 검증, 실시간 배포 등 하천 유량관련 정보의 관리를 담당하는 전문조직인 '하천정보센터(가칭)'를 2005년부터 운영할 계획이다.

실시간 물관리 시스템이 완성되면 전국 모든 하천의 수량, 물 이용량 등의 정보를 인터넷을 통해 실시간으로 전국민에게 제공하는 것이 가능하며, 물 사용에 대한 국민의 관심을 고조시키고, 물 사용에 대한 경각심을 일으킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 수량관리를 담당하는 건설교통부, 수질관리를 담당하는 환경부, 댐관리를 담당하는 한국수자원공사 등에 필요한 수량정보를 실시간으로 제공하여 물부족, 홍수, 수질관리 등에 조기 대응할 수 있으며, 하천 수계별로 하천에 있는 수량, 각종 취수장에서의 물 이용량 등을 종합적이면서도 신속하게 파악할 수 있어 물 부족을 해결하는데 크게 기여할 것으로 기대된다. 



글쓴이는 경북대학교 대학원에서 공학박사 학위를 받은 후 대통령비서실 수해방지대책기획단 한국건설기술연구원 수자원연구부를 거쳤다.

죽은 하천 살려낸다!

글_서일원 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수 seoilwon@plaza.snu.ac.kr

하천이란 자연적으로 혹은 인공적으로 지구표면에 만들어진, 바다로 이어지는 물의 흐름길을 말한다. 비가 와서 땅에 도달한 물은 지구의 중력에 의해서 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하게 되는데 이로 인해 지표면에는 물의 흐름길이 만들어지게 된다. 이렇게 만들어진 물길은 오랜 시간이 지나면서 폭이 커지면서 하천으로 자리를 잡아간다. 만들어진 하천은 기후와 지질 등의 주변 자연환경조건에 의해 여러 가지 변화 과정을 거치면서 쇠퇴하기도 한다.

인간·자연 공존하는 하천 목표

세계적으로 인공적인 하천 개발이 본격적으로 시작된 것은 근대에 들어서이다. 하천은 이수·치수·환경의 3대 기능에 대해 균형 있는 개발을 하여야 바람직한 하천 개발이라고 할 수 있다. 이수는 하천의 물을 인류가 사용하는 자원으로 활용하는 기능이고, 치수는 하천 범람, 홍수 등의 자연 현상에 대해서 인간이 통제하는 기능을 말한다. 하천의 환경기능은 생태계와 자연을 보전하여 인간과 자연이 함께 어우러져 공존하는 것을 의미한다.

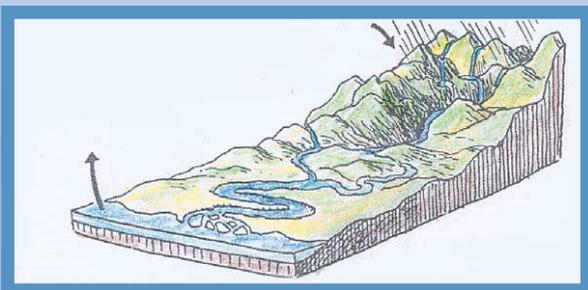
그러나 현재까지의 하천 개발은 환경기능을 무시한 채 지나치게 이수 및 치수에 치중하여 왔다. 이렇게 환경을 고려

하지 않은 하천 개발로 인해 하천은 예전의 모습들을 잃어 자연으로부터 점차 멀어졌다. 오늘날에 이르러서 인류는 이러한 문제들을 자각하고 세계적으로 하천 되살리기에 많은 노력과 투자를 하고 있다. 이미 선진국에서는 이러한 문제점들을 인식하고 문제해결의 다양한 공학적인 방법을 모색해 왔고, 이에 따라 각종 하천 복원사업을 진행해 오고 있다.

우리 나라는 2011년에 이르면 약 18억3천만 톤의 물 부족량이 예상되고 있다. 따라서 하천 수자원 활용에 대한 여러 가지 대책들이 시급한 실정이다. 그러나 과거부터 비난받아 왔던 환경을 도외시한 수자원 확보 우선의 정책들은 지양되어야 한다. 우선적으로 현재 우리가 하고 있는 물 관리 정책들을 보다 효율적으로 개선하고 보다 환경 친화적인 이수 정책들을 펴나가야 할 때이다. 우리의 하천을 건강하게 지켜나가기 위해서 하천 수자원 활용에 있어서 보다 환경친화적인 방법들을 사용하는 것 외에도 하천 수질 정화 및 하천 주변 환경에 대한 투자 또한 시급한 과제이다. 특히 과거에 무분별하게 복개되었던 도심 하천들을 복원하여 생태적으로 건전한 하천을 되찾아야 한다. 기존의 치수, 이수위주의 하천정비 패러다임을 바꾸어 하천을 보다 환경친화적으로 만드는 자연형 하천 복원사업을 적극적으로 추진하여야 할 것이다.

흐름·하상변동, 2차원해석시스템 완성

우리 나라 지표수자원의 60% 정도를 차지하는 하천수의 친환경적 개발 및 보전을 위해서는 하천의 다양하고 복잡한 거동(하천 흐름, 유사(流砂) 및 수질)을 정확하게 해석하는 것이 필수적이다. 이를 위해 지표수 확보를 목적으로 설치된 댐, 취수구조물 등이 하천역학에 미치는 영향을 종합적으로



하천의 기원

땅 위의 물

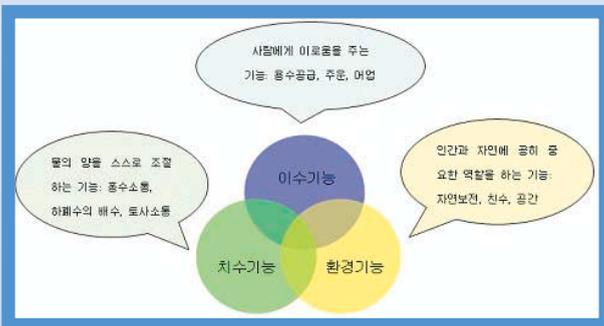
평가할 수 있는 하천 흐름-수질-하상변동 해석 시스템의 개발이 필요하다. 지금까지 우리 나라의 경우, 하천에서 흐름, 유사, 오염물 거동해석은 주로 1차원적인 측면에서 수행되어 왔으나, 실제 하천의 거동은 매우 복잡하고 다차원적이다.

실제적으로 우리 나라의 낙동강, 금강 등 하천 취수장 주변에서 자주 발생하는 유로(流路)변경, 퇴사(堆砂)문제 등으로 인한 취수의 난점을 공학적으로 해결하기 위해서는 2차원 흐름 및 하상변동 해석 시스템을 적용하여 하천의 거동을 정확하게 예측, 모의한 후 이를 공학적인 방법을 가지고 해결하여야 한다. 즉, 향후 하천이 어떤 방향으로 어떤 형상으로 변동할 것인가를 정확하게 예측할 수 있다면 여기에 하천의 흐름을 유리하게 개선할 수 있는 구조물(흐름유도장치, 흐름조절용 댐 등)을 설치하여 하천수 취수를 안정적으로 확보할 수 있게 되

는 것이다.

또한, 우리 나라 하천의 경우 취수장과 오염원이 하천의 동일구간내에 존재하기 때문에 안정적인 수자원 확보를 위해서는 2차원 하천수질해석 시스템을 이용한 정확한 수질모의가 필요하다. 따라서 하천에 유입된 다양한 오염물질이 어떤 방향으로 움직이고 어떤 농도로 나타날 것인가를 정확하게 예측할 수 있다면 여기에 하천의 흐름을 개선할 수 있는 구조물을 설치하거나, 비구조적인 운영방법(취수장의 최적운영 시스템 가동, 오염발생원의 통제)을 개선하여 하천수를 안전하게 확보할 수 있게 되는 것이다.

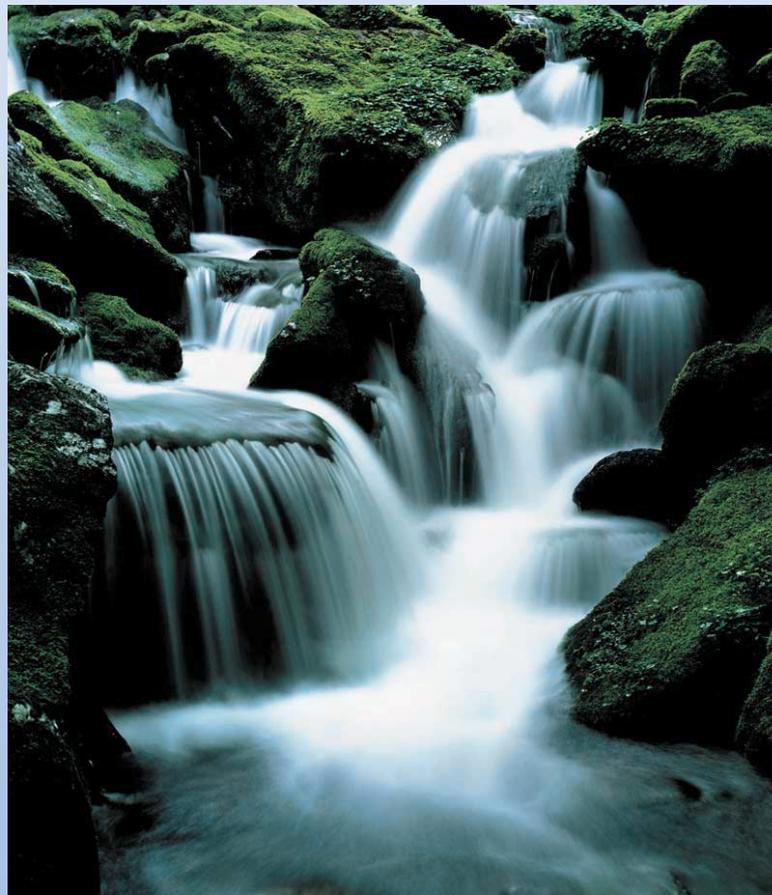
하천해석 시스템은 하천생태계 복원 및 관리에도 직접 적용될 수 있다. 즉, 하천 흐름 및 하상변동을 정확하게 예측할 수 있다면, 하천의 중·횡적인 공간의 어디에 웅덩이와 여울이 어



하천의 기능



아름다운 홍천강의 모습





사진제공: 한국수자원공사 '물사진 공모전' 2003년 입선작, 오도연

떠난 규모와 어떠한 형상으로 발달할지를 알아낼 수 있을 것이고, 그렇게 되면 수중생물의 서식처를 복원하는 데에 중요한 정보를 제공하게 된다. 또한 수생 식물이 하천 흐름 및 유사, 오염물질의 이동에 미치는 영향을 정확하게 예측할 수 있다면 수생태계 개선과 환경친화적 하천복원사업에 필수적인 설계 자료를 제공하게 되는 것이다.

필자는 현재 '수자원의 지속적 확보기술 개발 사업단'의 하천흐름-수질-하상변동해석 시스템 개발과제를 수행, 선진국에서 이미 개발된 기술보다 훨씬 우수한 첨단 하천해석 시스템을 독자적 기술에 의해 개발하고 있다. 이 하천해석 시스템은 지표수의 수량 및 수질 확보를 위한 하천관리 실무에 용이하게 적용할 수 있고, 또한 하천 환경, 주운교통 산업 등에 다양하게

활용될 수 있을 것이다. 나아가 하천해석 시스템은 하천생태계 보존 및 관리에도 직접 적용될 수 있어, 수생태계 개선과 환경친화적 하천복원사업에 크게 기여할 수 있다. 앞으로 하천해석 기술 및 시스템을 활용하여 적절한 하천개발 및 관리가 이루어질 경우 하천의 홍수, 갈수, 환경오염에 따른 사회적인 손실을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 더 이상 회색빛 콘크리트로 뒤덮여진 직선화된 하천이 아닌 자연과 어우러진 아름다운 하천을 조성할 수 있을 것으로 기대된다. **ST**



글쓴이는 서울대학교 토목공학과 졸업 후 미국 일리노이대학교에서 공학박사 학위를 받았다.

땅 위의 물

“청계천 물 되살린다”

- 누수방지 특수공법·수심 40cm 유지

글 - 김현준 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 hjkim@kict.re.kr

서울의 북쪽 도심지 청계로 밑을 흐르는 커다란 하천이 있다. 바로 청계천(淸溪川)이다. 청계천의 원래 이름은 개천(開川)이다. 인왕산과 북악산, 남산을 발원지로 도성 안의 한복판에서 만나 서에서 동으로 흐르는 연장 10.92km, 유역면적 50.96km²의 하천이다.

청계천은 일제 말기부터 부분적으로 복개되었다. 본격적인 복개공사는 1958년에 시작되어, 광고에서 동대문 오간수다리까지 철근 콘크리트로 덮이게 되었다. 1965년부터 66년까지 동대문의 오간수다리에서 제2청계교까지의 구간이, 마장철교

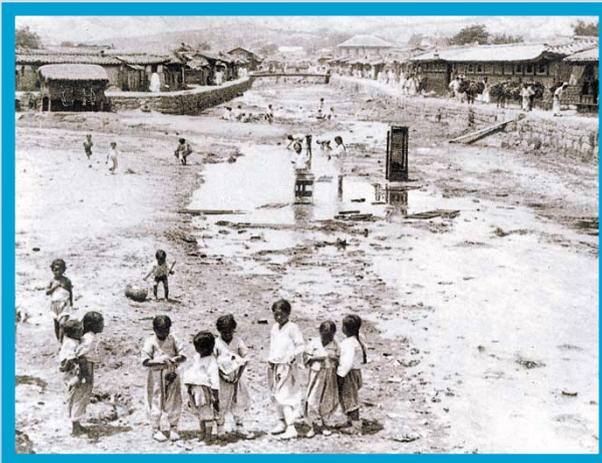
까지는 1978년에 복개되어 도로로 이용되는 바람에 하천의 모습은 우리 기억에서 희미해졌다.

서울시는 2003년 7월 1일, 복개된 청계천을 복원하여 도심 재개발과 역사의 복원 및 하천수변공간의 회복을 목표로 5.8km의 공사구간을 3개 공구로 구분하여 공사를 시작하였다. 청계천에 대한 대규모 공사가 이번이 처음은 아니었다. 600년 왕국의 도읍지로서, 서울은 정치, 경제, 문화의 중심지였기 때문에 조선초부터 지속적인 사람의 손길을 받아왔다.

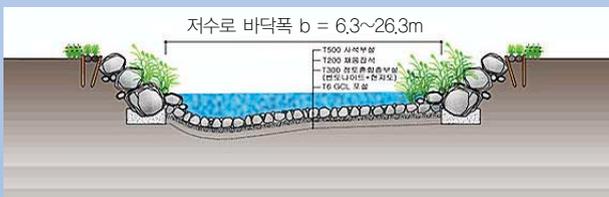
태종은 최초로 도성을 관통하여 흐르는 개천을 정비하였고, 세종은 이를 보완하여 개천을 넓히고 안정화시켰다. 그러나, 왜란과 호란을 거치며 개천에 대한 관리가 소홀하였다. 영조 무렵에는, 수년간 지속된 기근 때문에 한양으로 유랑민이 유입되고, 이들이 도시빈민이 되어 개천주변에 살면서 개천이 하수구로 더럽혀지고, 홍수시 범람위험이 있게 되었다. 영조는 이를 해결하고자 대규모 준설공사를 실시하였다. 이 공사는 개천 정비는 물론이고, 실업자 구제 측면의 대규모 공사였다. 순조는 영조 이후 간헐적으로 시행되던 준설공사를 대규모로 실시하였고, 고종과 일제강점기에도 준설공사는 지속되었다.

청계천은 상류의 삼청동천, 백운동천과 중하류에서 유입되는 성북천과 정릉천이 큰 줄기를 형성하고 있다. 청계천의 대부분 지역은 도시화에 의하여 물이 땅속으로 스며들 수 없는 불투수성 지표면으로 되어 있고, 그 비율은 76%에 이르고 있다. 따라서, 평상시 빗물이 땅속으로 침투되지 못하게 되고, 비가 오면 갑작스럽게 홍수가 발생하게 된다. 이러한 물순환의 왜곡 현상은 홍수를 증대시키고 평상시의 유량이 줄어들게 되어 홍수기일지라도 청계천 본류에 물이 흐르는 날은 일년 중에 며칠에 지나지 않게 되었다.

서울시는 청계천 복원에 필요한 하천유수용수에 대해서 자



구한말의 청계천 모습(최석로, 사진으로 보는 근대 한국, 1999)



유지용수 손실을 막기 위한 차수막(서울특별시, 2003)



복원되고 있는 청계천의 모습(서울특별시, 2004)

체 유역에서 확보할 수 있는 물이 제한적이기 때문에 외부에서 공급하는 계획을 수립하였다. 복원 공사 후에 하천에는 일정한 유량이 흐르게 되는데, 하루에 12만^m를 계획하고 있다. 이 정도 유량이면, 하천에는 20~40cm의 수심을 유지할 수 있고, 지역에 따라서는 가벼운 물놀이도 할 수 있을 것으로 기대된다. 12만^m의 유량 중 9만8천^m는 한강에서 공급되며, 나머지 2만2천^m는 지하철 역사에서 발생하는 지하수를 이용한다고 한다.

청계천이 복원된 후에 하천에 물이 제대로 흐를 것인가 하는 중요한 문제이다. 왜냐 하면, 청계천은 평상시에 마른 하천이고, 청계천 주변의 지하수위가 하천 바닥보다 5m에서 10m이상까지도 낮기 때문이다. 이러한 상태에서 하천에 물을 공급한다면, 하천 바닥을 통하여 물이 모두 스며들 것은 자명한 이치이다. 게다가, 하천변의 지하수위가 상승하게 되면, 주변 건축물의 안전에 영향을 줄 수도 있다. 이러한 문제점을 예방하기 위하여, 청계천 복원공사에는 특수공법을 적용하고 있다. 유지용수의 하상손실방지 대책을 위하여 하상바닥에 불투수층포



청계천 복원 후의 가상도(서울특별시, 2003)

및 차수벽을 설치하는 안을 반영한 것이다. 이제, 2005년 9월이 되면, 복원된 청계천에 물이 흐르는 모습을 볼 수 있게 된다. 조선조 600년의 애환을 담은 청계천이 21세기에도 당당하게 흐르기를 기대한다. **ST**



글쓴이는 서울대학교에서 공학박사 학위를 받았다.