

기술리포트

TECHNICAL EXCELLENCE

August 2020 Vol. 4

하천 홍수 예·경보를 위한 CCTV 기반 실시간 유량계측 기술

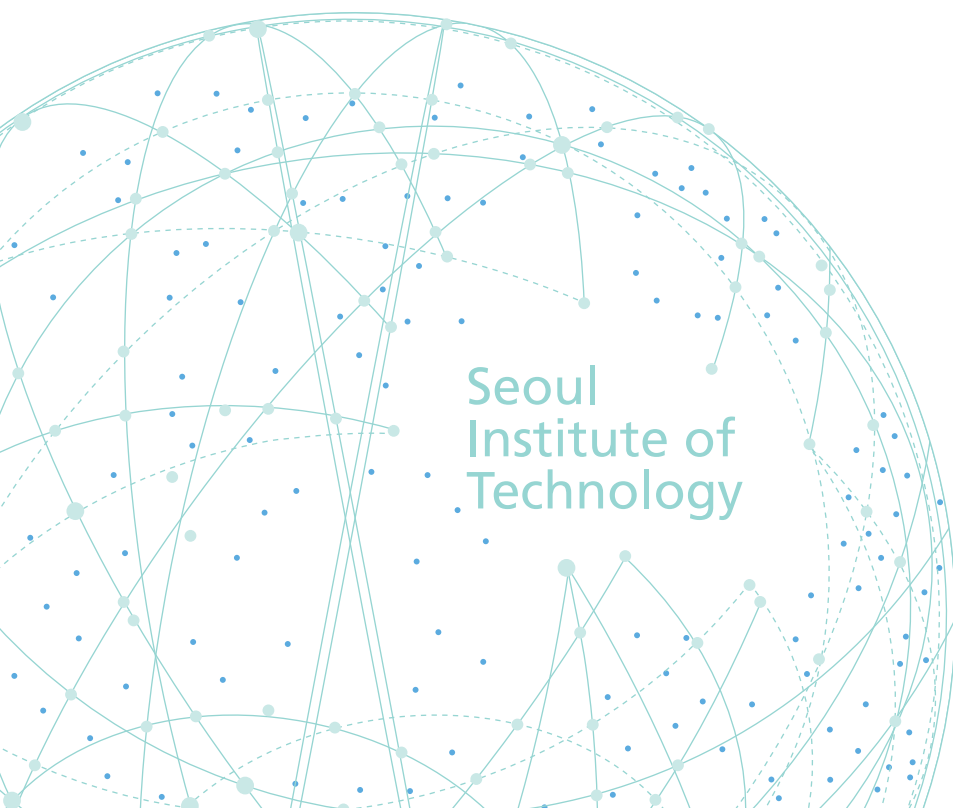
- 01 하천의 안전사고 예방을 위한
한 발 빠른 홍수 대응 필요
- 02 정확하고 신속한 홍수 예·경보를 위해서는
지속적인 유량계측 이루어 져야
- 03 중랑천, CCTV 기반 실시간
자동 유량계측 기술 실증단지 운영

윤선권

Seoul
Institute of
Technology

하천 홍수 예·경보를 위한 CCTV 기반 실시간 유량계측 기술

- 01 하천의 안전사고 예방을 위한 한 발 빠른 홍수 대응 필요
- 02 정확하고 신속한 홍수 예·경보를 위해서는 지속적인 유량계측 이루어 져야
- 03 중랑천, CCTV 기반 실시간 자동 유량계측 기술 실증단지 운영



하천 홍수 예·경보를 위한 CCTV 기반 실시간 유량계측 기술

최근 기후변화에 따른 서울의 강수 특성이 변화하고 있으며, 장마철 국지성 집중호우에 의한 하천 내 고립사고 발생 등 그 피해가 가속화될 전망이다. 이에 서울시는 중랑천 유역에 CCTV, IoT 센서 기반 첨단하천 모니터링 시스템을 구축하였으며, 현재 시범운영 중이다. 본 시스템은 실시간으로 제공되는 하천 영상자료와 더불어 수위-유량 정보 취득이 가능하며, 홍수시 신속한 상황 대응과 홍수 예·경보 시스템 고도화에 활용이 가능하다.

II 하천의 안전사고 예방을 위한 한 발 빠른 홍수 대응 필요

서울의 여름철(6~9월) 강수량은 71.2%로 전국평균(67.3%)에 비하여 다소 높은 편이며, 전체 강수량 증가 대비 짧아진 강우 집중시간으로 인하여 폭우에 의한 하천 내 고립사고 등 인명피해가 꾸준히 발생하고 있음이 확인되었다. 하천의 안전사고 예방을 위해서는 상류에서 빠르게 유입되는 유량의 계측을 통한 홍수 예·경보가 무엇보다 중요하며, 실시간 계측된 유속과 유량 정보는 하류 지역의 홍수 도달시간 확보로 한 발 빠른 대응을 가능하게 한다.

II 정확하고 신속한 홍수 예·경보를 위해서는 지속적인 유량계측 이루어져야

미국, 유럽 등 해외 선진국에서는 하천의 수자원관리 및 수재해 예방을 위하여 지속적으로 유량을 측정하고 있다. 우리나라 지방하천 유역의 경우 유량측정 등 수문조사 업무가 체계적으로 이루어지고 있지 않은 실정이다. 과학적인 하천관리를 위해서는 최소 30년 이상 장기적인 수문자료 축적이 필요하며, 조사된 자료는 하천정비기본계획수립을 위한 기초 자료 및 홍수 예·경보 시스템 고도화 등에 활용이 가능하다.

II 중랑천, CCTV 기반 실시간 자동 유량계측 기술 실증단지 운영

서울시는 지자체 최초로 다중 CCTV 영상정보를 이용한 자동유량계측 시스템을 중랑천 월계1교 지점에 구축하였으며, 현재 시범운영 중이다. 이 시스템은 하천 유속과 침투유량을 실시간으로 계측하여 정보를 제공하며, 영상을 통한 현장 상황 확인에도 매우 유리함을 확인하였다. 향후, IoT 센서, CCTV, 드론 등 첨단 장비를 이용한 실시간 모니터링 기술을 확대 적용한다면 서울시 하천관리의 과학화·지능화에 도움이 될 것으로 기대한다.

※ 이 기술리포트는 연구보고서 「서울시 기후변화 영향을 고려한 확률강우량 산정」, 「중랑천 유역 유량측정 및 홍수 예·경보 방안」을 근거로 작성되었습니다.

※ 이 기술리포트의 내용은 서울특별시 정책과 다를 수 있습니다.

01

하천의 안전사고 예방을 위한 한 발 빠른 홍수 대응 필요

여름철, 갑자기 불어난 물에 의한 하천 내 고립사고 빈번히 발생

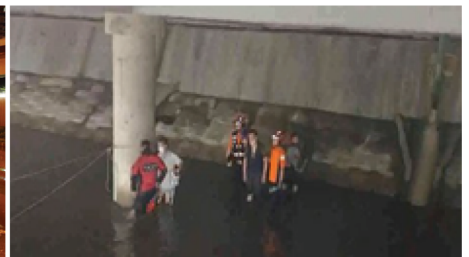
최근 여름철 장마가 길어지고 국지성 폭우가 자주 발생하는 등 서울의 강수 특성이 변화하고 있다. 서울의 지류 하천 상류 구간의 경우 하폭이 좁고 유속이 빨라 수위가 급상승하는 상황이 빈번히 발생한다. 이 경우 둔치내 산책로와 자전거도로를 이용하는 시민들의 고립사고가 빈번히 발생하며, 간선도로가 존재하는 경우 차량 침수피해 발생우려가 크다. 2018년 8월에는 집중호우에 의한 동부간선도로 침수로 물길을 피하지 못한 시민이 목숨을 잃는 사고가 발생하였으며, 올해 8월 장마기간에는 순식간에 불어난 하천 수위로 인하여 도림천(35명), 중랑천(2명), 청계천(1명) 등 하천 내 고립사고피해가 발생하기도 하였다(그림1,2b).

서울의 여름철(6~9월) 강수량은 연강수량 대비 71.2% (1990~2019년 평균)로 전국 평균(67.3%)에 비하여 다소 높은 편이다. 그중 7월과 8월 강수량은 각

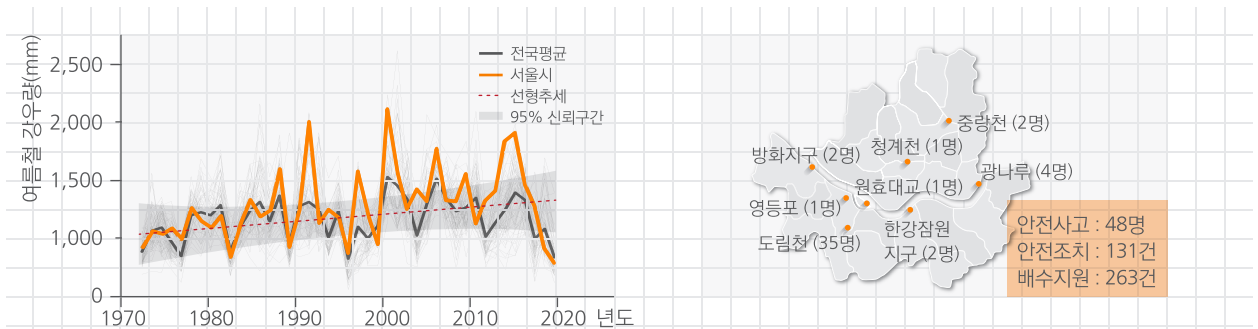
그림 11 서울시 장마철 간선도로 침수 및 하천내 고립사고 발생 사례



(a) 중랑천 동부간선도로 침수 (2018.5.28.)



(b) 도림천 고립사고 발생 (2020..8.1.)



(a) 여름철(6~9월) 강수량 추세

(b) 하천내 고립사고 발생 현황(2020.8.)

그림 21 서울시 여름철 강수량 및 하천내 고립사고 발생 현황

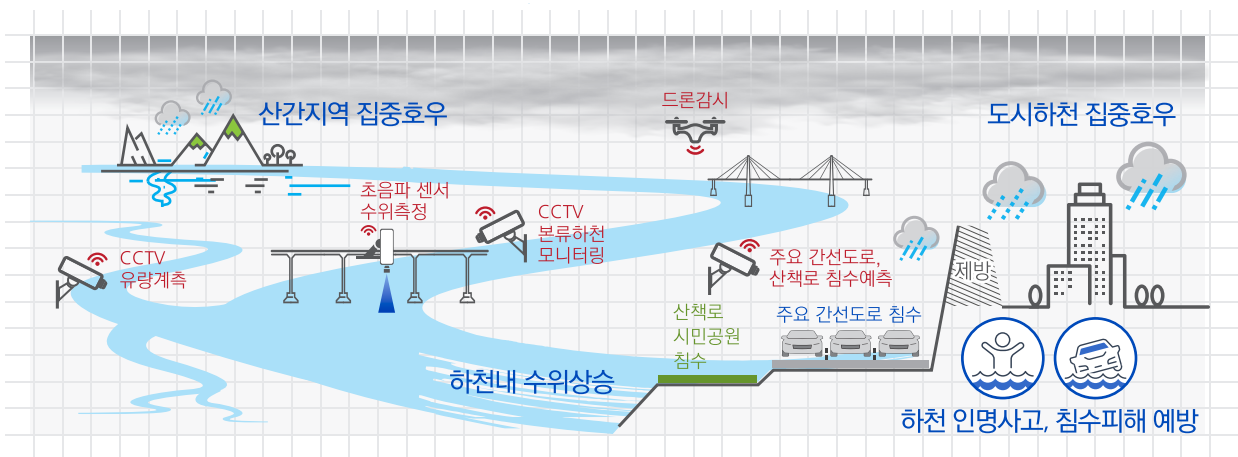
**서울시, 둔치 이용
 시민 안전 위해
 홍수 경보 시스템
 운영 중**

21.1%, 13.9% 증가하였으나, 강우 지속시간은 각 8.6%, 14.2% 감소하였다. 전체 강수량 증가 대비 짧아진 강우 지속시간으로 인하여 집중호우에 의한 피해가 커지고 있음이 확인되었으며, 장기적인 기후변화 추세와 더불어 이상기상 현상에 보다 적극적인 대비가 필요함을 시사한다(그림 2a).

서울시는 돌발강우 시 하천 내 이용 시민의 고립 등 안전사고 예방을 위하여 자동경보시설, 문자전광판, CCTV, 경광등, 비상 사다리 등을 설치하고 있으며, 실시간 우량관측소와 수위관측소 정보를 바탕으로 홍수경보를 발령해 재난에 미리 대응할 수 있는 시스템을 구축하였다.^{1,2)} 홍수경보 시스템은 수방기간 동안 산책로가 조성된 둔치까지 수위가 상승될 경우 신속하게 시민이 대피할 수 있도록 안내방송을 시행하고 있으며, 혹시 모를 하천 내 안전사고 예방을 위하여 철저한 대비를 하고 있다.

**한 발 빠른
 홍수 대응을 위해서는
 실시간 유량계측 필요**

더욱이, 하천 내 고립사고 등 인명피해 예방을 위해서는 상류에서 유입되는 유량의 실시간 계측을 통한 홍수 예·경보가 무엇보다 중요하다. 서울시는 중랑천 본류와 우이천 지류를 대상으로 CCTV 기반 자동 유량계측 기술을 시범 적용하여 홍수 예·경보 고도화 연구를 추진 중이다. 이는 상류에서 빠르게 유입되는 하천의 유속과 유량 정보의 실시간 계측을 통한 하류 지역의 홍수 도달시간 확보로 한 발 빠른 대응을 가능하게 한다(그림 3).



As Is	To Be
- 하천 주요 지점 수위 자료 확보	- 하천 주요 지점 수위, 유량 자료 확보
- 지류하천 상류 유입 유량 관측 부재	- 지류하천 CCTV, IoT센서 활용 실시간 유량 관측
- 하천 고립사고 등 침수피해 빈번히 발생	- 홍수 도달시간 확보 및 신속한 상황대응
- 하천 수위 기반 홍수 경보	- 하천 수위·유속·유량 기반 홍수 예·경보

그림 31 실시간 유량계측을 통한 한발 빠른 홍수 대응

02

정확하고 신속한 홍수 예·경보를 위해서는 지속적인 유량계측 이루어져야

지방하천의 홍수피해액 54%로 가장 크게 나타나 체계적인 관리 필요

최근 10년('09~'18) 국내 하천 현황 및 홍수피해액, 그리고 하천정비율을 분석한 결과, 하천 연장 기준 지방하천과 소하천 구간이 대부분을 차지하고 있으며, 홍수피해액은 지방하천에서 54%(소하천: 45%, 국가하천 1%)가 발생하고 있어 체계적인 관리가 필요한 실정임을 확인할 수 있다(그림 4).

서울시에는 국가하천 4개소, 지방하천 36개소, 소하천 18개소의 법정 하천구간이 존재하며, 이중 지방하천 구간이 주요 관리의 대상이다³⁾. 서울시 관내에는 총 45개 수위관측소(서울시 관할 31개소, 환경부 관할 14개소)가 존재하며 실시간 모니터링을 하고 있다. 그러나, 하천의 유량측정이 이루어지고 있지 않아 강우 발생에 따른 유출응답(강우시 얼마 만큼의 물이 유입되어 흘러나가는지)을 규명하기에는 어려움이 있다.

최소 30년 이상 유량 계측 자료가 축적되어야 체계적인 하천관리 가능

서울은 도시화에 따른 불투수면적 비율이 높아 강수가 토양에 흡수되지 못하고 곧바로 배수시설과 하천으로 유입되어 장마철 국지성 집중호우에 의한 홍수피해 크게 발생할 수 있다. 하천의 홍수피해 예방을 위해서는 장기적인(30년 이상) 자료축적을 통한 신뢰성 확보가 필요하며, 조사된 수문자료는 모형 매개변수 최적화 및 측정기의 검·보정 자료로 활용될 수 있다⁴⁾. 정확한 침수해석을 위해서는 분석 단계마다 실측량과 비교를 통한 모형의 오차를 보정할 필요가 있으며, 유역의 수위와 유량과의 관계규명을 통한 홍수 예·경보가 가능하다(그림 5).

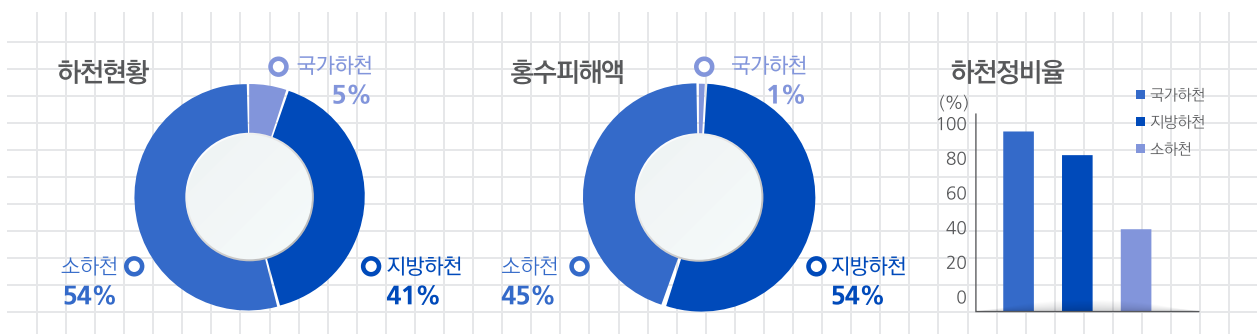


그림 4 | 국내 국가하천, 지방하천, 소하천별 하천현황, 홍수피해액 및 하천 정비율

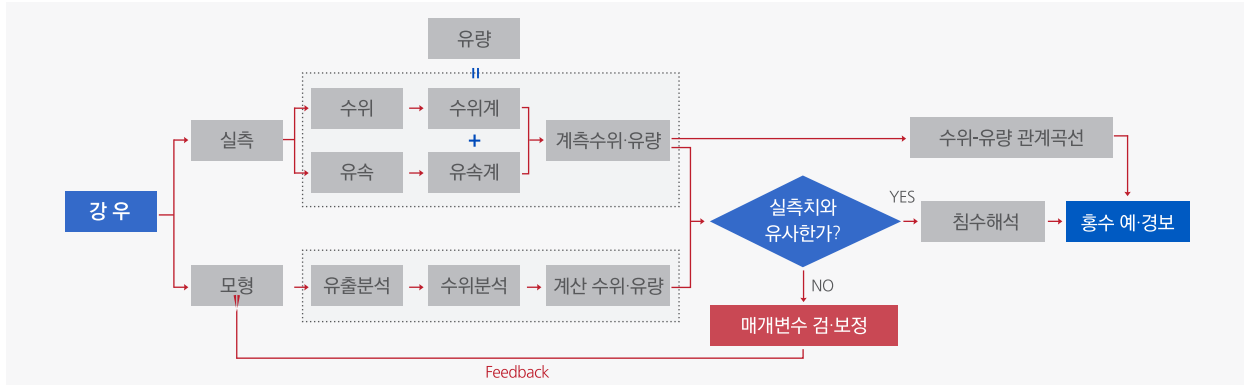


그림 5 | 실측 및 모형 자료 기반 침수해석과정

해외 선진국, 실시간 유량 계측을 통한 홍수 예·경보에 활용

미국, 유럽 등 주요 선진국은 체계적인 하천관리와 홍수피해 예방을 위하여 주요 지점에 대해서는 대략 100년 이상의 장기적인 유량측정을 실시하고 있다. 미국 USGS (United States Geological Survey)는 국토 전반에 걸쳐 하천의 수위와 유량관측망을 구축하고 있으며, 실시간 정보를 제공하고 있음을 확인할 수 있다(그림 6)⁵⁾. 이러한 정보는 기후변화와 기상이변에 대비한 수자원 관리 및 홍수·가뭄 관련 재난 상황에 활용이 되고 있다. 우리나라의 경우, 하천 유량측정 등 수문조사 업무의 필요성에 의해 2007년 이후 국가하천을 대상으로 수자원조사를 실시해 오고 있다. 그러나, 지방하천의 경우 인력과 예산, 기술적 문제 등으로 관련 업무(유량측정, 수자원조사)가 체계적으로 이루어지고 있지 않은 실정이다.

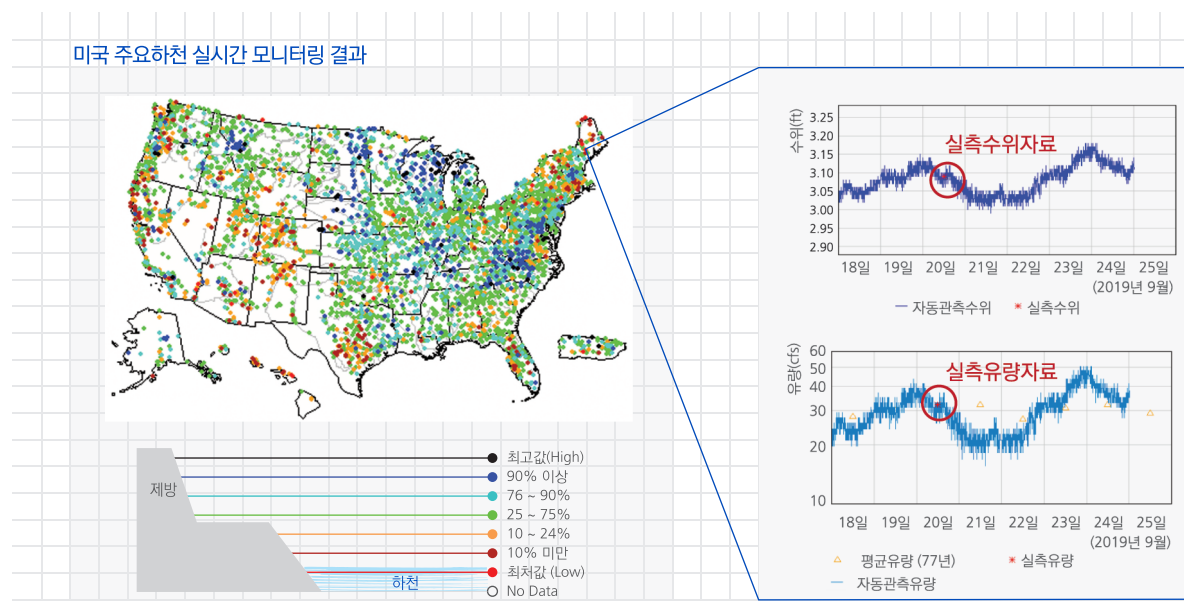


그림 6 | 미국 USGS 하천 유량측정 지점 및 정보표출 시스템

**하천의 치수, 이수, 환경
 관련 계획수립 시
 유량 자료가 필수적**

하천의 수위·유량 등의 수문자료는 수자원의 효율적 운영 및 관리를 위하여 측정되는 중요한 지표이다. 하천의 이수·치수·환경 등 장기적인 하천정비 계획수립과 관리를 위해서는 평상시와 홍수 시 유량의 변화를 파악해야 하며, 실제 하천에서 단위시간 동안 어느 정도의 물이 흘러가는지를 측정할 필요가 있다. 일반적으로 수자원 계획을 위해서는 장기간의 유량자료가 필요하며, 치수계획을 위해서는 홍수 유량자료가 활용되고 이수 및 환경 관련 계획을 위해서는 평·저수 유량자료가 활용된다⁶⁾. 우리나라의 경우 강수량이 집중되는 홍수기에는 시간당 유량의 변화가 크게 나타나며 평·저수기에는 비교적 변화가 적은 특징을 보인다. 특히 도시하천의 경우 이러한 하천 유황 변화가 크게 발생하는 경향이 있어 수문자료 계측을 통한 체계적인 관리가 필요하다.

하천의 유량을 계산하는 방법은 연속방정식에 의한 평균유속과 단면적의 곱으로 나타낼 수 있다. 이를 유속 면적법이라고 하며, 각 측선별로 단면적을 산정한 후 수심별로 측정된 점유속을 평균유속으로 환산하여 곱해 준 후 모든 측선에 대하여 유량값을 산정하게 된다. 여기서, 평균유속은 측정된 점유속을 바탕으로 1점법과 2점법, 3점법 등의 계산식을 이용하여 산정할 수 있다. 이렇게 측선별로 계측된 평균유속을 바탕으로 측선별 단면적을 곱하여 평균유량 값을 구한 후 하천 단면에 걸쳐 합산하여 총 유량(Q)을 산정하게 된다(그림 7).

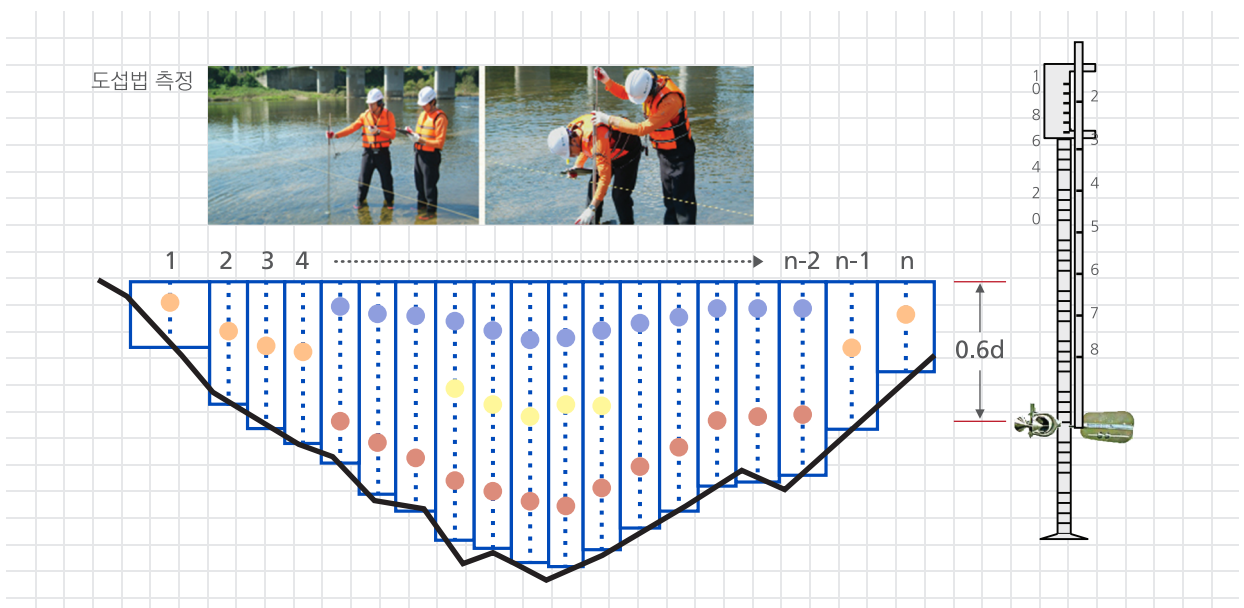


그림 7 | 프라이스 AA유속계와 도섭봉을 이용한 일반적인 유량측정 방법

**중랑천(월계1교지점)
 수위-유량 관계곡선
 개발**

안정적인 하천에서 수위와 유량은 일정한 관계를 가지며, 수위(H)와 유량(Q)과의 관계를 $Q=a(H+b)^n$ 으로 나타낸 식을 수위-유량관계곡선(Rating Curve)이라 한다. 중랑천의 경우 하천 둔치를 경계로 유수단면적이 급격히 증가하여 수위가 상승함에 따라 유출특성이 변하는데, 이러한 수리특성을 반영하기 위하여 월계1교 부근 둔치 높이 해발고도 16.0EL.m를 기준으로 저수위와 고수위 구간으로 구분하였으며, 과거 “대학과 연계한 하천관리 연구용역(2010), 서울시⁷⁾”의 성과와 2019년 유량계측 결과를 포함하여 수위-유량 관계곡선식을 개발하였다(그림 8). 다음 (표 1)은 중랑천 월계1교 지점의 저수위, 고수위, 전체수위 구간에 대한 수위-유량관계 곡선식을 도출한 결과이다. 다만, 동일 지점의 수위라 할지라도 하상변동의 영향으로 인하여 매년 유량 값이 달라질 수 있으며, 측정값의 계통오차, 우연오차, 무작위 오차 등이 발생하게 된다. 따라서 측정된 유량자료에 대한 정확도 향상을 위한 오차보정 및 신뢰도 평가가 이루어져야 한다. 이렇게 관측된 유량자료는 이상치 제거, 결측치 보간 등 검증된 일련의 품질관리 과정을 거쳐 생산·제공될 필요성이 있다.

표 11 중랑천 월계1교 지점의 수위-유량관계곡선식 도출결과(저수위, 고수위, 전체수위)

측정기간	구분	적용수위(EL.m)	수량 - 유량 관계 곡선식 ($Q : m^3/s, H : EL.m$)	결정계수 (R^2)	비고
2001~ 2019년	저수위	$13.50 \leq H \leq 16.00$	$Q = 5.4954 \times (H - 13.5)^{3.8254}$	0.8416	
	고수위	$16.00 \leq H \leq 20.35$	$Q = 8.8727 \times (H - 13.04)^{2.7771}$	0.9304	
	전체수위	$13.61 \leq H \leq 20.35$	$Q = 14.298 \times (H - 13.61)^{2.7798}$	0.8963	

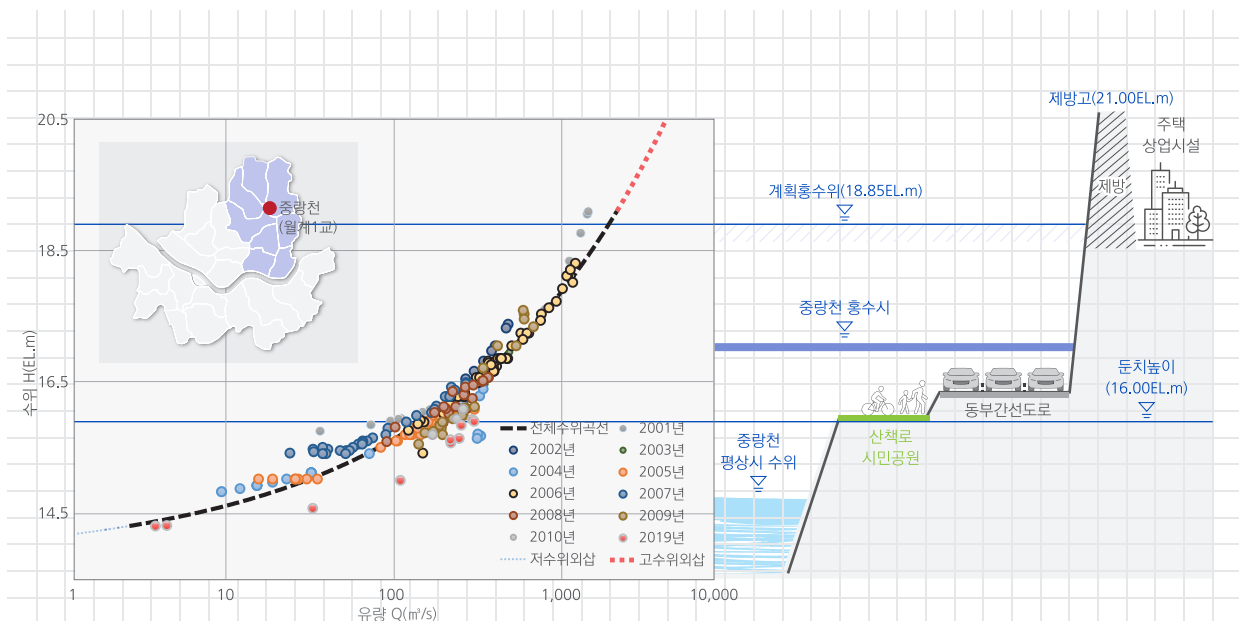


그림 81 중랑천 월계1교 지점 수위-유량관계곡선 작성결과

03

중랑천, CCTV 기반 실시간 자동 유량계측 기술 실증단지 운영

첨단 정보통신기술
 (ICT)과 IoT 센서를
 활용한
 상시 유량 모니터링

CCTV기반 유량계측 기술의 장점

경제적 	실시간 
비접촉식 	지속적 

최근 표면영상유속계(LSPIV, Large-Scale Particle Image Velocimetry)와 CCTV, 드론 등 첨단 정보통신기술(ICT)과 IoT 센서를 활용한 하천유량측정 및 수자원 조사기술이 개발되고 있다. 표면영상 유속 측정법은 수표면을 촬영한 영상을 분석하여 표면유속을 계측하는 기술로, CCTV와 같은 일반적인 동영상 촬영 장비와 분석 소프트웨어만 있으면 유속을 측정할 수 있다^{8,9}. 국외의 경우, 영상기반의 비접촉 센서를 이용한 측정기법을 활용하여 실제 하천의 홍수량을 계측하는 기술을 지속적으로 개발하고 있으며^{10,11,12}, 미국 USGS에서는 표면영상 기반의 하천 유속 측정 기술의 현장 적용을 위한 매뉴얼을 2016년 제작하여 배포하고 있다⁹. (그림 9)는 CCTV기반 실시간 자동유량계측 기술 개념도를 나타내고 있다. CCTV 기반 실시간 자동유량계측 장비는 CCTV, 초음파수위계, 영상분석 PC, 자료 전송을 위한 서버 PC로 구성된다. 초음파 수위계는 실시간으로 계측되는 수위를 서버 PC에 지속적으로 저장하며, 영상분석 PC는 CCTV 영상을 실시간 으로 불러와 표면유속을 계측하고, 전송받은 수위와 기존에 입력된 단면자료를 바탕으로 실시간 유량으로 환산한다. 분석 결과는 DB화하여 저장 되고 필요시 웹을 통해 전송 및 서비스가 이루어진다⁸.

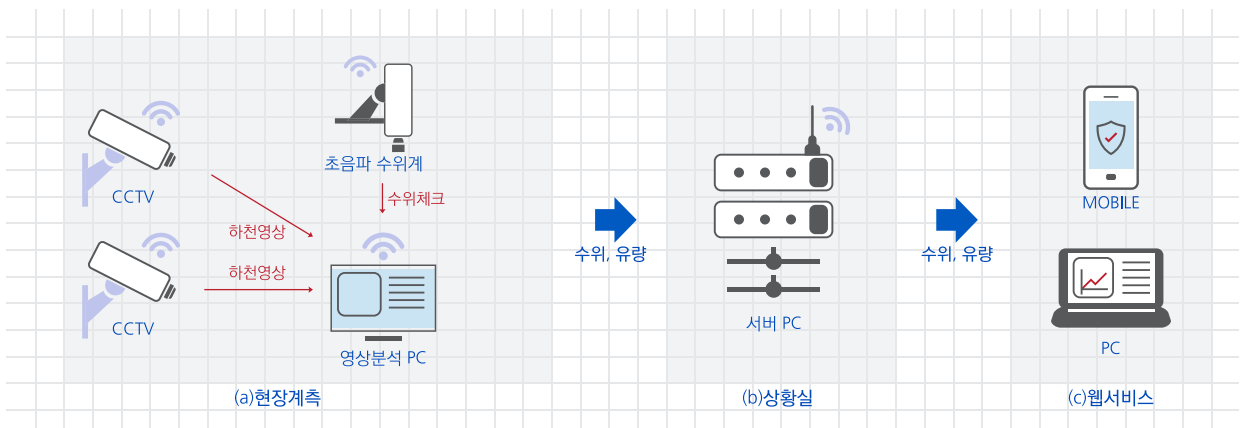


그림 9 | CCTV 기반 실시간 자동유량계측 기술 개념도



그림 10 | CCTV기반 표면영상유속계를 이용한 유량측정

영상기반 비접촉 센서를 이용한 자동유량계측 절차 영상기반 비접촉 센서를 이용한 유량측정 기술은 영상획득, 영상분석, 수위측정, 유속벡터 산정의 과정을 거쳐 실시간 하천 표면유속을 산정하게 된다(그림 10).

STEP1: 영상 획득 영상 획득에 사용되는 CCTV는 FHD (Full High Definition), 30fps 이상의 장비가 사용되며, 촬영된 영상은 2차원 투영 좌표변환법을 이용하여 4개의 표정점에 대한 영상좌표와 실제 좌표를 이용하여 왜곡 영상을 정사 영상으로 변환하여 영상 내 추적자의 변위를 실제 길이 단위로 계산한다.

STEP2: 영상 분석 영상 내 포함된 추적자들의 이동 거리와 화면 프레임의 시간 간격을 이용하여 유속을 산정하게 되며, 추적자의 이동 변위는 두 장의 화면 내 명암값 특성의 상관관계는 상호상관함수식을 이용하여 구할 수 있다.

STEP3: 수위 측정 수위계는 비접촉식 초음파 수위계를 사용하며, 수위계의 분해능은 1mm까지 측정이 가능하다. 수위 측정 시간 간격은 10초 이내이며, 측정의 정밀도를 높이기 위해서는 가급적 수면에서 직경 1m 이상 퍼지지 않는 센서를 사용해야 한다.

STEP4: 유량 산정 유속벡터의 산정은 영상 분석을 통해 취득한 각 측정별 표면유속과 초음파 수위계의 수위를 바탕으로 중앙 단면법을 사용하여 산정한다. 이때의 유속은 표면유속($V_{surface}$)과 수심평균유속(V_{mean})의 관계를 통하여 도출한다^{11,12}.

영상기반 비접촉 센서를 이용한 자동유량계측 기술은 실시간 영상 자료를 통해 현장 상황 확인이 가능하며, 24시간 자동으로 수위, 유속, 유량을 계측할 수 있어 도시하천 유역에 적용이 용이한 유량계측 방법이다. 또한, CCTV 기반의 장비 이므로 향후 서울시 관내 하천에도 확대 구축이 가능하여 그 활용도가 높다.

CCTV 기반 자동유량 계측 기술 실증단지 운영

서울시와 서울기술연구원은 최근 영상기반 유량측정 기술 발전과 미래 기후변화를 대비하여 도시하천 유역 수문자료 구축을 위한 테스트베드를 운영 중이다. 대상 유역으로는 서울시 자동수위계(T/M)가 위치해 있으며, 과거 유량측정 성과로 수위-유량 관계곡선이 작성되어있는 중랑천 월계1교 지점을 선정하였다. 중랑천 유역은 하폭이 비교적 넓은 편에 속하여, 한 대의 CCTV만으로는 하천 흐름구간 영상을 모두 담을 수 없어 총 3대의 CCTV를 활용한 '다중 CCTV 기반 실시간 자동유량계측 기술'을 도입하고 현재 시범운영중에 있다(그림 11). 실시간 자동유량 측정 결과의 검증을 위하여 별도로 홍수기 유량측정을 실시하였으며, CCTV 기반 자동유량계측 결과를 검·보정하여 그 신뢰도를 높였다.

중랑천 월계 1교 테스트베드는 2019년 8월 14일 구축이 완료되어 현재까지 운영 중이다. 운영 기간 중 2019년 9월 5일 발생한 태풍 링링의 영향으로 서울에는 36.4mm의 강우가 내렸으며, 이 강우로 인해 월계 1교 지점에 발생한 홍수 수문곡선을 실시간으로 획득하였다.

설치된 총 3대의 CCTV 중 저수로에 해당하는 좌안과 중앙부 CCTV 영역까지 수위가 도달하여 두 대의 CCTV에서 계측된 유속을 통해 유량을 산정하였다. 당시의 유속 분포는(그림12)와 같이 하천 중앙에서 최대 3.5m/s의 유속을 나타냈으며 이때의 최대 유량은 127.5m³/s로 나타났다.



그림 11 | 중랑천(월계1교지점) 유량측정 테스트베드 구축

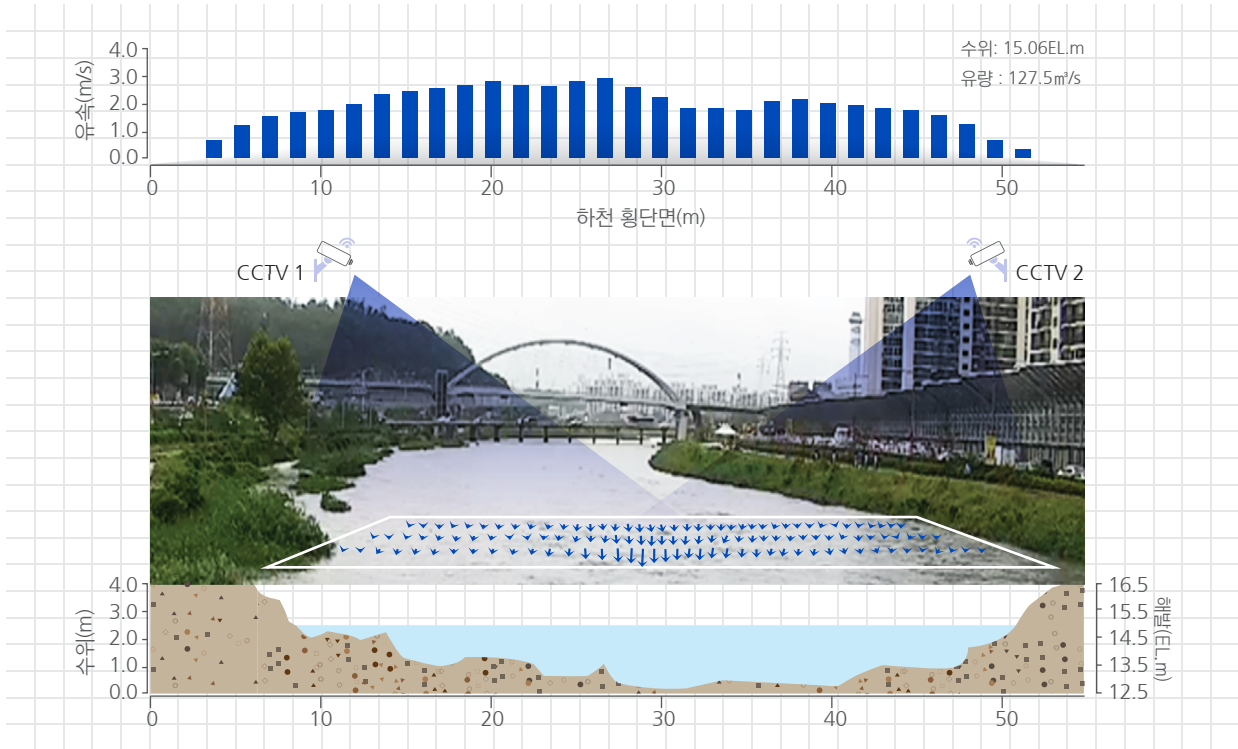


그림 12 | 다중 CCTV 기반 자동유량계측 결과('19.09.05, 태풍 링링)

**웹기반 서비스를 통한
 가시화 정보제공**

현장에서 측정한 유량 결과는 촬영 당시의 수위와 각 측정점의 평균유속을 포함하여 서버 PC로 전송하도록 하고 서버 PC는 이와 같이 전송 받은 정보들을 웹서버에 업로드하여 실시간으로 수위, 평균유속 및 유량 변화를 누구나 손쉽게 확인할 수 있도록 웹상에 구현하였다. (그림 13)은 중랑천 월계1교 지점에 대한 다중 CCTV기반 자동유량계측 웹서비스 결과를 나타내었다.



그림 13 | CCTV 기반 자동유량 계측 웹서비스(데모버전)

**CCTV 기반 자동유량
 계측 기술의 확대적용**

전 지구적 기상이변과 기후변화로 인하여 홍수발생 빈도와 강도가 증가 추세에 있으므로 이에 대한 대응책 마련이 필요한 상황이다. 하천의 홍수 예·경보와 체계적인 관리를 위해서는 장기적인 수문자료구축이 요구되며, IoT, CCTV, 드론, 센서 등을 이용한 첨단하천 모니터링 기술을 활용하여 하천관리의 과학화

지능화를 추진해 나갈 필요가 있다. 이러한 모니터링 장치를 통하여 실시간 제공되는 정보는 빅데이터에 기반한 분석과 예측이 가능하여 신속한 상황 대응에 활용이 가능하다. 따라서 서울시 도시하천 관리를 위한 첨단 정보통신기술 (ICT)을 활용한 수리·수문 관측망구축 및 홍수 예·경보 시스템 고도화 사업 등 수재해 안전대책 수립을 위한 노력은 꾸준히 추진될 필요가 있다.


이번 중랑천에 적용된 비접촉 센서를 이용한 자동유량계측 기술은 도시하천에 적용 가능한 경제적이며, 신뢰도가 높은 기술이다. 현재 하천 분류와 지류하천 홍수영향 분석을 위하여 우이천 상·하류 구간으로 확대 적용하였으며, 집중호우시 홍수 예·경보 가능성을 진단하고자 한다. 향후, 본 시스템을 서울시 홍제천, 안양천, 탄천 유역의 지류하천 구간으로 확대 적용하여 장기적인 수문자료를 축적하고 홍수시 실시간 상황 대응 및 예·경보 시스템 고도화에 활용이 가능하다(그림 14). 



그림 14 | 서울시, CCTV 기반 자동유량 계측 기술 확대 적용방안

참고문헌

- 1) 서울특별시 (2016). "서울시 풍수해저감종합계획"
- 2) 서울특별시 (2017). "2018 서울특별시 안전관리계획"
- 3) 서울특별시 (2019). "서울시 하천현황 통계", 물순환안전국 하천관리과
- 4) Yoon, S. K., J. S., Kim, and Y. I., Moon, (2016). "Urban stream overflow probability in a changing climate: Case study of the Seoul Uicheon Basin, Korea", Journal of Hydro-Environment Research, Vol.13, pp.52-65.
- 5) USGS (2016). "Guidelines for the collection of video for Large Scale Particle Velocimetry (LSPIV)"
- 6) 국토교통부 (2018). 「유량조사 매뉴얼」
- 7) 서울특별시 (2010). "대학과 연계한 하천관리에 대한 연구용역(2단계 5차년)"
- 8) 국립재난안전연구원 (2018). "CCTV 기반 실시간 소하천 자동유량계측기술 매뉴얼」
- 9) 국립재난안전연구원 (2018). "소하천 재난안전기준 개선을 위한 자동유량계측 기술개발"
- 10) Rantz, S. E. (1982a). "Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge." Water-Supply Paper 2175. U.S. Geological Survey.
- 11) Rantz, S. E. (1982b). "Measurement and Computation of Streamflow: Volume 2. Computation of Discharge." Water-Supply Paper 2175. U.S. Geological Survey.
- 12) Patalano et al. (2015). "Recent Advances In Eulerian And Lagragian Large-Scale Particle Image Velocimetry", 36th IAHR World Congress.
- 13) 이미지 출처
NEWS1, 2020-08-04, <https://m.news.zum.com/articles/61872682>
한국수자원조사기술원, http://www.kihs.re.kr/user_new/business/survey01.php
경인일보, 2018-08-29, <http://m.kyeongin.com/view.php?key=20180829010009322>

제 4호 하천 홍수 예·경보를 위한 CCTV 기반
실시간 유량계측 기술

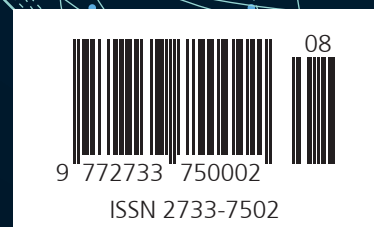
발행인 고인석

편집인 편집위원회

발행처 서울기술연구원
03909 서울특별시 마포구 매봉산로37(상암동)
www.sit.re.kr

발행일 2020년 8월 27일

SIT 서울기술연구원
Seoul Institute of Technology



08

9 772733 750002

ISSN 2733-7502