

현장리포트

# SPOTLIGHT

신월 빗물저류배수시설 첨단  
모니터링에 기반한  
운영효율 향상 기대

윤선권 연구위원, 김민석 수석연구원, 최현석 전임연구원



## 서울형 대심도 저류배수터널 인프라 구축으로 저지대 상습 침수지역 해소 및 시민 만족도 제고

### 해외 주요 도시, 침수피해 방지와 수질개선 등을 목적으로 지하 저류공동 및 저류배수터널 설치 이루어져...

미국, 유럽, 일본 등 해외 선진국에서는 도시지역의 침수피해 방지 및 수질개선을 목적으로 지하 저류공동 또는 저류터널 설치가 이루어져 왔다. (그림 1)은 국외의 주요 대심도 빗물저류배수터널 설치 사례이다. 미국의 경우 시카고에서는 대규모 터널-저수지 계획(Tunnel and Reservoir Plan, TARP)을 추진하고 있으며 직경 3.0~11.0m, 연장 176km, 저류용량 378만톤 규모로 지하저류터널을 구축하였다. 영국에는 대표적으로 런던 템즈 타이드웨이 터널(Thames Tideway Tunnel)이 구축되어 있으며, 직경 7.2m, 연장 32.2km의 대규모 지하터널이 운영중에 있다. 또한, 말레이시아는 쿠알라룸푸르 홍수를 경감함과 동시에 교통정체를 완화하기 위해서 직경 11.8m, 연장 9.7km, 저류용량 100만톤 규모의 스마트터널(Stormwater Management And Road Tunnel, SMART)을 구축하여 운영하고 있다.



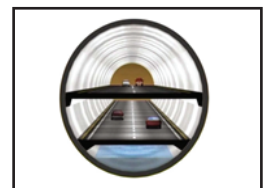
(a) 미국 시카고 TARP



(b) 영국 템즈 타이드웨이 터널



(c) 일본 칸다강 지하조절지



(d) 말레이시아 SMART 터널

그림 1 | 국외 대표적 대심도 빗물저류배수터널

아시아권에서는 일본과 싱가포르 등이 대표적으로 대심도 지하 빗물저류배수시설을 운영하고 있으며, 일본 동경의 칸다강 지하조절지는 상습침수 해소 및 수질개선을 목적으로 터널연장 4.5km, 저류량 54만톤 규모로 2005년 준공되었고, 2005년 9월 집중호우(101mm/hr), 2009년 10월 태풍(45mm/hr) 발생시 하수발생량을 상당 부분 저류하여 홍수피해 저감효과를 거둔 바 있다. 이 외에도 교토, 오사카, 고베, 요코하마 등에 지하 저류배수터널이 운영중에 있으며, 츠크바시에는 퍼시픽 컨설턴트 수리모형실험장이 구축되어 있다.

## 강서구, 양천구 일대 잦은 침수피해 발생으로 시민 불편사항 호소

**침수피해  
주요원인은  
분지형 저지대,  
극치강우 증가  
및 시설능력  
부족**

과거 강서구·양천구일대에서 발생한 주요 침수피해 원인은 ①저지대, ②고지수로의 경사불량, ③단면 협소, ④긴 수로 연장 등으로 분석된다. 이에 따른 대책으로 방재시설 확충을 위한 빗물 저류배수시설 설치 필요성 및 간선관로 통수능 확보, 빗물저류조 등이 검토된 바 있다. 이 지역에서 겪은 과거 침수피해 중에서 2010년도의 피해 금액 및 피해지역의 범위가 가장 큰 것으로 확인되었다. 피해 발생지역을 살펴 보면 강서구 화곡동 및 양천구 신월1, 5동 전 구간(13동)에 침수피해를 보였으며, 강서구 및 양천구의 6,017가구에서 침수피해 발생을 확인하였다. 이는 15개 동에 살고있는 492,517명의 인구를 면적으로 환산하는 경우 1/5 수준인 약 100,000명에 대한 직·간접 피해의 발생에 해당한다. 다음(그림 2)는 2010년 9월 21일 서울시 강서구와 양천구 일대 침수피해 지역과 당시의 현장 상황을 나타내고 있다. 당시 재산 피해액으로는 강서구가 1,757백만원, 양천구가 4,422백만원의 피해를 입은 것으로 집계되었다.

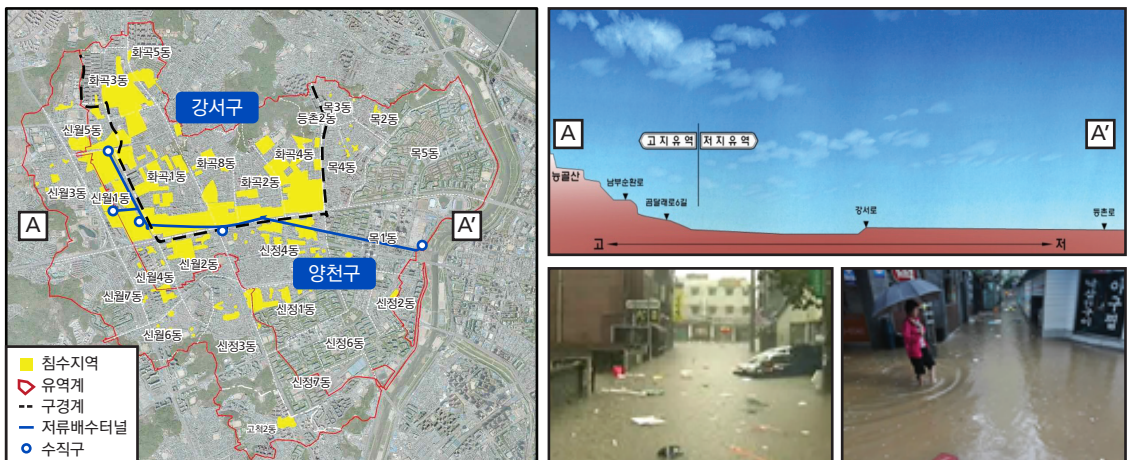


그림 2 | 강서·양천구 일대 침수피해 지역 및 현장사진(2010년 9월 21일)

## 서울시, 국내 최초로 저지대 침수취약지역 집중관리를 위한 대규모 터널형 빗물저류배수시설 구축

**터널 연장 3.6km, 저류용량 32만톤, 총 사업비 1,380억원 규모의 지하 빗물 저류 배수터널 구축** 서울시는 국내 최초로 도시침수를 예방하기 위해 신월 빗물저류배수시설을 구축하였으며('20.05. 준공), 사업규모는 6개 수직구와 3.6km 연장(D=10.0m)의 저류배수터널과 1.1km 연장(D=5.5m)의 유도터널을 통해 32만톤의 빗물을 저류시킬 수 있도록 하였다. 시설 구축시 기본설계에서 실시설계 단계에 이르기까지 다양한 수리·수문 검토 및 수리모형실험 등을 거쳐 방재성능목표 강우(30년 빈도, 100mm/1hr)에 대응이 가능하도록 설계되었으며, 기후변화에 따른 폭우발생 빈도와 강도 증가 등 홍수피해 위험이 점차 가중되는 상황에서 강서·양천구 일대에 저지대 상습침수구역해소가 가능하도록 하였다.

(그림 3)은 신월 빗물저류배수시설의 빗물유입 및 배수 상세도이다. 평상시에는 수직구의 횡월류 수문을 차단하고 유도수문을 개방하여 지하 공간으로의 하수유입을 차단하지만, 홍수시에는 유도수문을 차단하고 횡월류 수문을 개방하여 수직구로 우수가 유입되도록 설계되어 있다. 홍수시 3개의 수직구를 통해서 유입된 우수는 유도터널을 통해 저류배수터널에 합류되며, 터널 하류에서는 유출수직구를 통하여 유수지, 펌프장, 토출관로를 거쳐 안양천으로 직접 방류가 가능하도록 구성되었다. 준공 이후 여름철 호우 사상을 대상으로 시설물 시험가동이 몇 차례 이루어졌으나, 국내에서는 아직 대심도 지하 저류배수터널과 관련한 시설물이 설치·운영된 사례가 없으므로 지속적인 모니터링을 추진할 필요가 있다.

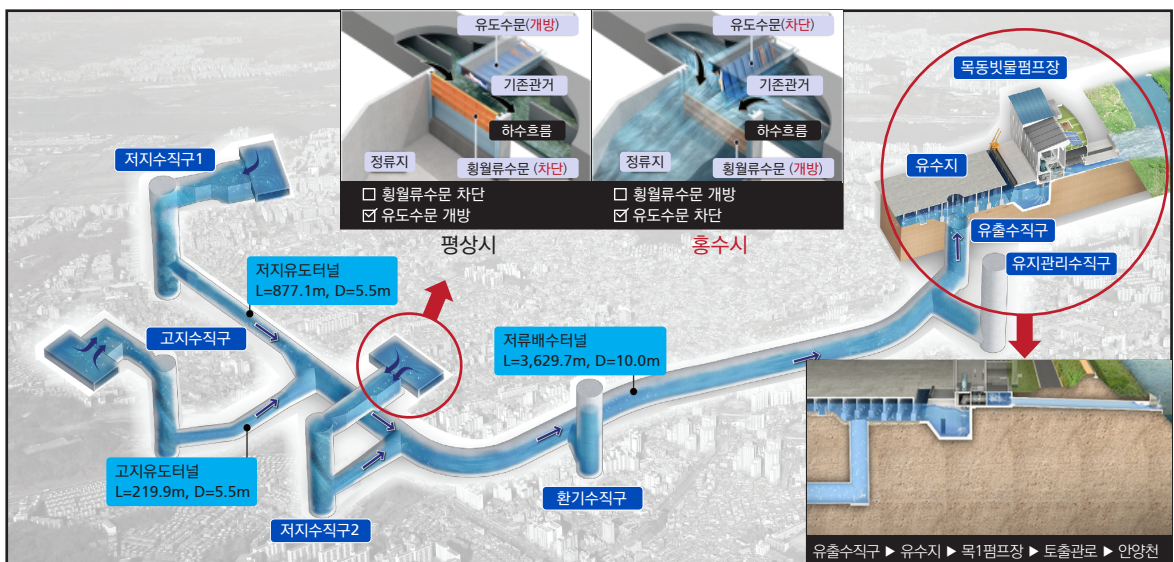


그림 3 | 신월 빗물저류배수시설 빗물유입 및 배수 상세도

## 신월 빗물저류배수시설로의 우수유입은 수직구별 하수관로 유도수문 폐쇄와, 횡월류수문 개방을 통하여 이루어져...

**강우시 3개 수직구 (저지1, 2, 고지)를 통하여 빗물을 유입시켜 안양천으로 배출하며, 강우종료시 서남물재생센터로 잔류수 배제** 빗물 저류배수시설은 강우 시 기존 하수관로 수위가 일정수위에 도달 하였을 때 유입수직구에 설치되어 있는 횡월류수문 및 유도수문을 작동시켜 빗물을 저류배수터널로 유입시키며 유입된 빗물은 저류터널 내에 저장 되고 저류용량을 초과한 물량은 자연구배로 유출수직구를 통하여 우수지로 유입 목동1펌프장에 설치되어 있는 배수펌프를 활용하여 안양천으로 배출하며 빗물저류시설 내 잔류수는 저류시설 내 잔류수배제펌프를 이용하여 청천 시 서남물재생센터로 이송하여 처리한다. 다음 (그림 4)는 신월 빗물 저류배수시설의 운영절차이다.

**Step1 유입단계 :** 강우 시 수문 개방 기준 수위에 의하여 유입수직구(저지1,저지2,고지수직구) 또는 CSOs#1,2차 집시설 수문이 개방되어 하수가 유입된다. **Step2 저류단계 :** 유입된 하수는 저류배수터널 내 저류되며 저류터널 만관 시 유출수직구로 월류되어 우수지를 통하여 목동1펌프장으로 유입된다. **Step3 배수단계 :** 빗물저류터널 만관 시 유출수직구로 월류된 빗물은 우수지를 통하여 목동1펌프장으로 유입되며 유입된 빗물은 배수펌프를 가동하여 안양천으로 배출한다. **Step4 잔류수배제단계 :** 강우 종료 후 빗물저류터널 내 잔류하는 빗물은 잔류수배제펌프를 가동하여 서남물재생센터로 이송하여 처리한다. 빗물저류터널 비만관 시에는 ③ 배수단계는 생략하고 ④ 잔류수배제단계를 실시한다.

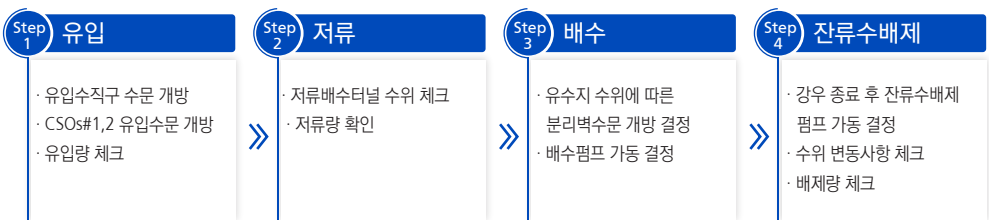


그림 4 | 빗물 저류배수시설의 운영절차

신월 빗물저류배수시설로의 우수유입은 수직구별 하수관로 유도수문 폐쇄와, 횡월류수문 개방을 통하여 이루어지게 되며, 현재 시설물은 저지수직구1의 하수관로 수위 50%, 저지수직구2의 하수관로 수위 50~70%, 고지수직구의 하수관로 수위 50~70%으로 운영된다. 그러나, 수문작동시간 (유도수문을 차단하고 횡월류 수문을 개방하는데 걸리는 시간)이 약 3~5분 소요되어 이를 고려한 시설 운영계획 수립이 필요하다.

## 강우시 하수관로 한계수위와 수문작동시간을 고려한 기준수위 결정 및 단계별 운영기준 개선

강우 발생시  
하수관로 수위에  
따른 관심-주의-  
경계-심각 단계  
구분을 통한 시설  
운영

효율적인 시설 운영을 위하여 운영기준을 개선하고 수위구간별 행동요령을 제시하였다. 현행운영기준 개선을 위해 분석강우는 50mm/hr를 적용하였으며, Huff3분위 시간분포를 적용하여 수직구별 수문곡선을 유도하였다(XP-SWMM). 각 수직구별 50% 하수관로 수위 도달 기준을 적용하고, 선행시간 5분의 안전율을 확보할 때의 수위기준은 하수관로 수위의 40%로 분석되었으며, “관심(1단계)→주의(2단계)→경계(3단계)→심각(4단계)” 단계 구간 구분을 통한 행동요령을 제시하였다. 관심(1단계)은 비상근무 실시 (상황실 근무), 수문 및 주요 시설물 확인, 주요수직구별 하수관로수위 상시 확인, 기상정보 분석 및 속지를 의미하고, 주의(2단계)는 시설물 CCTV 실시간 감시, 기상정보 분석 및 속지, 유관기관 비상연락체계를 유지하는 단계를 의미한다. 다음 경계(3단계)의 경우 주요수직구별 기준수위 도달(저지수직구1: EL.10.4m, 저지수직구2: EL.7.09m 고지수직구: EL.11.16m) 여부를 확인하여 수문개폐를 결정한다. 마지막 심각(4단계)는 기계적 결함으로 인한 수문 오작동 상황 발생과 설계강우를 뛰어 넘는 극한호우사상 발생 등의 사유로 인한 심각상황이 초래될 시 관련장비, 물자 인력 요청을 실시하고 하수관 범람으로 인한 침수피해에 대비하는 단계를 의미한다. 다음 (그림 5)는 단계 구분에 따른 수직구별 운영기준 개선(안)이다.

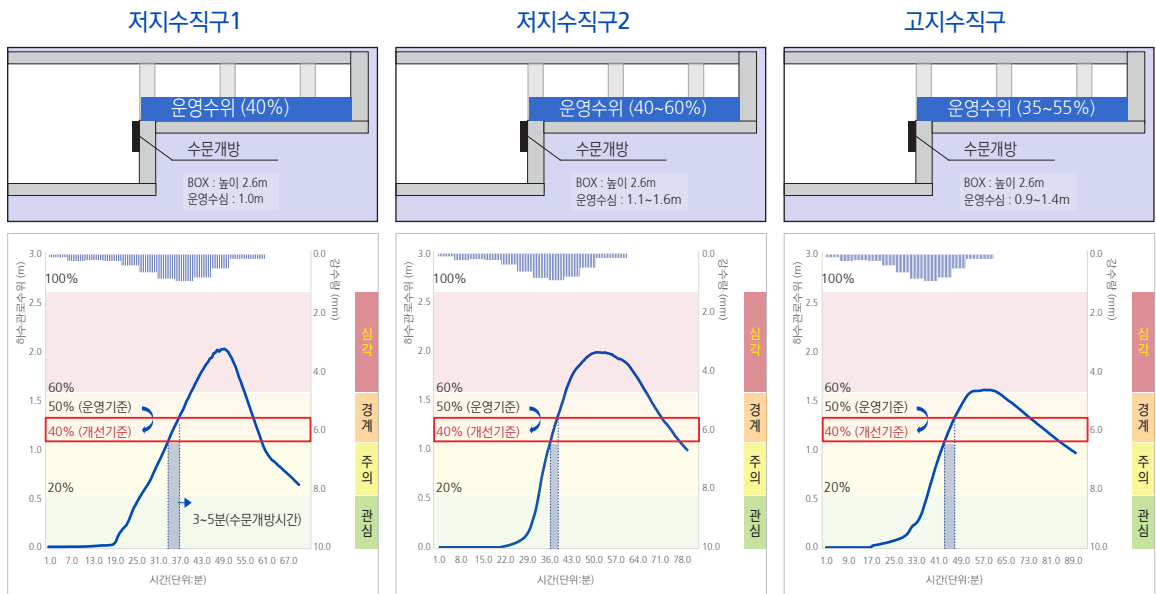


그림 5 | 유입 수직구별 하수관로 수위 단계 구분에 따른 운영기준 개선

## 신월 빗물저류배수시설의 안정적인 운영을 위한 모니터링 가이드라인 제시

홍수기와 비수기  
구분에 따른  
체계적인 시설  
모니터링 절차  
수립

신월 빗물저류배수시설의 모니터링은 크게 네 단계로 이루어진다. 1단계는 모니터링 계획 수립으로, 기초조사를 통해 신월 빗물저류배수시설 및 목동빗물펌프장, 방류수역 등에 관한 기초자료를 수집하여 유역 특성을 파악함과 동시에, 모니터링 목적을 수립하고 기초조사 결과를 토대로 모니터링 대상 시설을 선정하여 모니터링을 수행할 위치, 횟수, 측정항목 등을 구체적으로 설정하고 계획서를 작성한다. 2단계는 모니터링 실시 단계로, 시기에 따라 홍수기와 비수기로 나누어 수행한다. 비수기에는 유지관리 모니터링을 수행하며, 홍수기에는 강우 발생, 수위 변화를 모니터링하고 시설 가동을 대비하여 장비 점검을 수행한다. 시설 가동시에는 강우량, 수위, 유입량, 수문 가동시간, 저류량, 배수펌프 토출량 등의 모니터링을 수행한다. 3단계는 모니터링 데이터 품질 관리로, 모니터링 장비의 정도관리를 통해 계측 정밀도를 향상하고 특정 데이터의 필터링 및 결측값 보정을 통해 품질관리를 수행하여 자료의 신뢰도를 제고한다. 4단계는 모니터링 데이터 관리로, 시설 가동시 측정된 데이터를 분석하고 저류량, 수위 저감량, 홍수 저감 등 시설 운영으로 인한 효과를 분석하고 평가할 수 있도록 데이터를 관리한다. 또한, 구축된 모델을 개선할 수 있도록 실측 데이터를 수집·처리하는 단계이다. 이 과정을 도식화하면 (그림 6)과 같다.

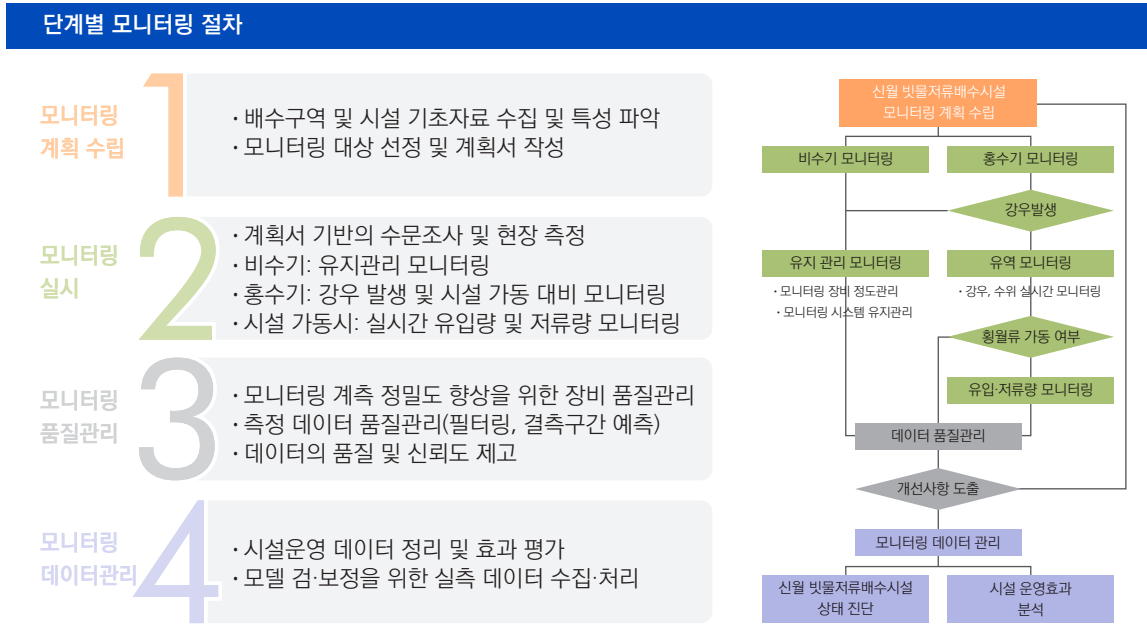


그림 6 | 신월 빗물저류배수시설 단계별 모니터링 절차

## 서울시 맞춤형 대심도 저류배수터널 모니터링 체계 구축 및 도시침수 해소를 통한 시민 만족도 제고

빗물저류배수 터널의 지속적인 모니터링을 통한 안정적인 시설 운영 및 맞춤형 정책 실현

신월 빗물 저류 배수시설은 도시침수 예방 기능뿐만 아니라 초기 우수 저류를 통한 수질개선과 탄력적 운영을 통한 효율화를 도모할 수 있도록 운영방식이 결정되었다. 시설 구축시 기본설계에서 실시설계 단계에 이르기까지 다양한 수리·수문 검토 및 수리모형실험 등을 거쳐 방재성능목표 강우(30년 빈도, 100 mm/1hr)에 대응 가능함을 확인하였으나, 아직 관련 시설물에 대한 국내운영사례가 없고, 수리모형실험 결과 터널 내 잔류량에 따라 복잡한 수리 현상이 발견됨에 따라, 이를 고려한 안정적인 운영계획 수립이 필요하다. 수직구별 상세운영계획은 수리·수문 기반의 수치 해석모형(XP-SWMM)을 활용하여 실제 강우발생 시 시설운영을 정밀하게 재현할 필요성이 있으며, 추후 저류배수시설의 지속적인 모니터링을 통해 침수안전성과 유지관리성이 최적화된 운영이 가능하다. 또한 시설물 설치 후, 기후변화 및 이상 기상현상에 따른 태풍과 집중호우 등 다양한 강우 이벤트가 발생할 가능성이 크며, 이에 따른 여러 가지 운영변수들이 존재할 수 있으므로 지속적인 모니터링과 운영 효율성 증대를 위한 노력은 필수적이다. 따라서 이를 전담할 수 있는 기관 및 연구조직을 바탕으로 시설운영의 신뢰도를 높여 나갈 것을 제안한다. 향후 서울시가 이러한 구조물적 침수방어 대책을 상습침수지역 및 수재해 위험지역에 확대해 나간다면, 침수피해로부터 보다 안전한 도시를 구축하는데 도움이 될 것이다(그림 7).

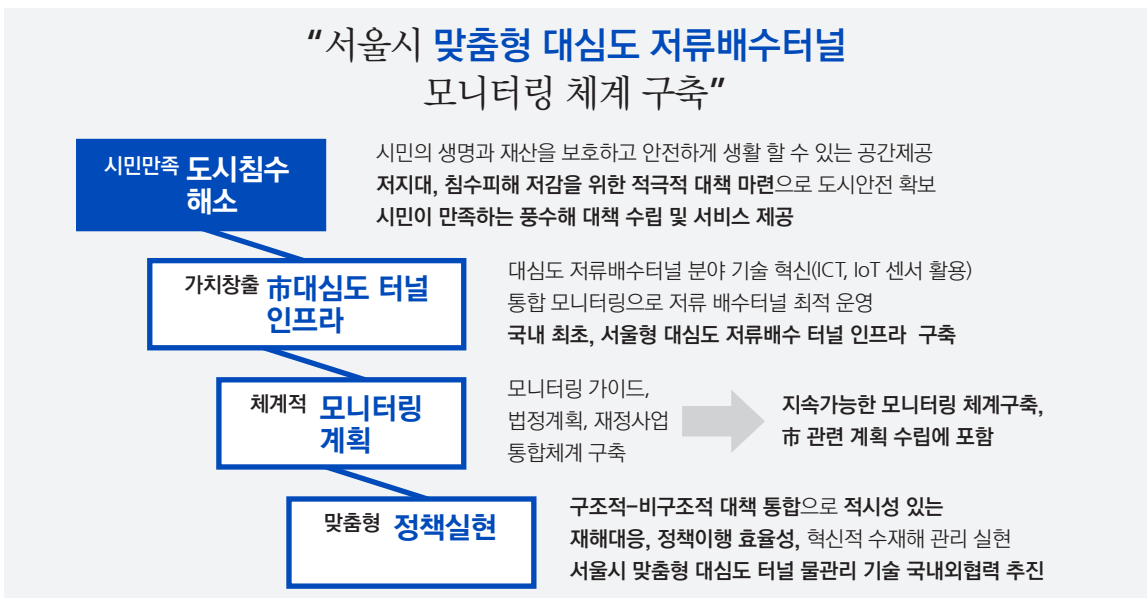


그림 7 | 서울시 맞춤형 대심도 저류배수터널 모니터링 체계 구축



## References

### 참고문헌

- 1) 서울특별시 (2014) 신월 빗물저류배수시설 등 방재시설 확충공사 실시설계 보고서
- 2) 서울특별시 (2020) 신월 빗물저류배수시설 운영매뉴얼 및 운영안내서
- 3) 서울기술연구원 (2020) 신월 빗물저류배수시설 방재성능향상을 위한 모니터링 방안
- 4) 미국 시카고 TRRP 홈페이지(<https://mwrdr.org/tunnel-and-reservoir-plan-tarp>)
- 5) 영국 템즈타이드웨이 홈페이지(<https://www.tideway.london/>)
- 6) 도쿄도 건설국 홈페이지(<https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp>)
- 7) 말레이시아 SMART 홈페이지(<https://smarttunnel.com.my/>)