기후변화를 고려한 기존도시 홍수처리대책에 대한 고찰 (지하방수로 및 도시물순환을 중심으로)

이 상 만 |
동부엔지니어링 수자원환경부 전무
yisman@dbeng.co.kr

김 지 호 |
동부엔지니어링 수자원환경부 이사
civilplus@dbeng.co.kr

1. 서 론

지난해 중부지방에 발생한 집중호우로 인하여 서울시 등 주요 도시에 큰 홍수피해가 발생하였고, 올해도 어김없이 국지성호우가 발생하여 도시가 마비될 정도의 큰 혼란과 피해가 나타났다.

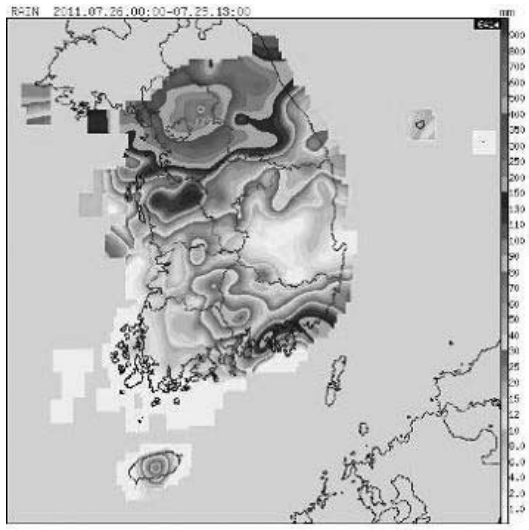


그림 1. 누적강수량 분포도
(2011년 7월 26일 00:00~29일 13:00)

기상청에 따르면 7월 26~28일에는 북태평양고기

그림 2. 2011년 7월 27일 집중호우 피해(서울시)

압의 가장자리를 따라 유입된 따뜻하고 습윤한 공기와 대기 중하층의 건조한 공기 사이에서 강화된 대기불안정이 강한 비구름대를 발달시켰고, 우리나라 북동쪽에 위치한 저지고기압으로 인해 비구름대가 정체되어 중부지방과 경남 남해안을 중심으로 강한 집중호우가 내렸다. 특히 서울은 평년 연강수량(1450.5㎜)의 40% 이상이 내렸고, 1907년 관측이래 26일~28일 연속 강우량 587.5㎜로 가장 많은 비가 내렸으며, 지난해에 이어 올해도 마찬가지로 서울에 특정지역에 엄청난 폭우가 쏟아지면서 도심지가 물에 잠기고 우면산 일대가 산사태로 뒤덮였다.

이에 따라 과거의 수해방지대책이 아닌 기후변화에 따른 새로운 수해대응책이 필요 할 것으로 판단된다. 기존도시의 홍수피해 현황과 원인을 조사하고 홍수처리대책의 한계점을 파악하여 기후변화를 고려한 홍수처리대책을 제안하고자 한다.

2. 기존도시 홍수피해현황과 원인

2.1 세계 자연재해 피해현황

그림 3은 1970년 이후 세계의 주요 자연재해와 희생자 수를 나타낸다. 전 세계적인 기상이변에 따라 거대 자연재해가 빈번히 발생하고 있어 지구촌 전체가 큰 피해를 보고 있다. 그림 4는 기상이변으로 500명 이상 사망자 또는 5억 달러 이상의 재산피해가 발생한 경우를 나타낸 것이며 1980년대 12.7건, 1990년대 19.2건, 2000년대 24.5건으로 80년대 대비 약 2배가 증가한 것으로 나타났다. 기록적인 지진, 폭우, 폭설, 한파 등으로 그 피해 규모도 커진 것을 알 수 있다.

2.2 국내 · 외 도시홍수 피해현황

최근 국내 · 외 주요 도시홍수 피해 사례는 아래 표 1 및 표 2와 같다. 국내의 경우 돌발강우에 의해 발생된 침수피해가 최근 빈번히 발생하였으며, 외국의 경우에도 침수 및 토석류에 의한 매몰 등이 발생하였다.

표 1. 최근 국내 주요 홍수피해 현황

국가	피해사진	피해현황
서울 (2010. 09.21)		• 강우량 : 264.5㎜(종로구 AWS) • 침수 피해 현황 – 주택침수 : 총 11,744건 – 도로침수 : 총 36개소 – 지하철 통제구간 : 총 7개소
부산 (2009. 07.07 ~16)		• 강우량 : 266.5㎜ (시간 최대 : 90㎜/hr) • 2009.07.07.~16 : 730.5㎜ (연평균 강수량의 49%) • 홍수 피해 현황 – 인 명 : 5명 – 이재민 : 3,057명 – 세 대 : 1,282세대 – 피해액 : 571.4억원

그림 3. 세계 주요 자연재해와 희생자 수(1970~)

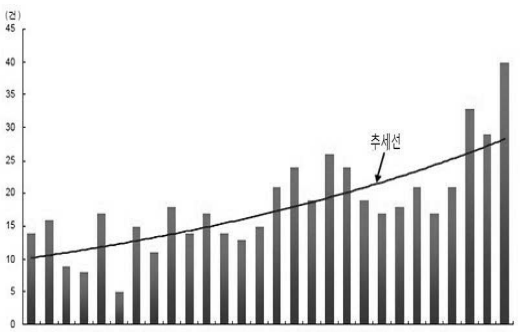


그림 4. 세계 자연재해 피해현황

표 2. 최근 국외 주요 홍수피해 현황

구분	국가	피해사진	피해현황
침수피해			호주(2011.01.11.) • 인구 200만 '호주 제 3의 도시' 브리즈번 • 300mm/hr 이상의 폭우 • 주택 약 2만채 침수 • 사망 12명, 실종 70여명, 이재민 4만5000여명 • 약 130억 달러(약 1조 4550억원) 경제 손실
토석류			브라질(2010.04.07.) • 모호 도 봄바 주택지역 • 3일 동안 290mm의 집중호우에 따른 지반 약화로 인해 산사태 발생 • 가옥 파손 및 매몰로 인한 인명피해 증가 • 사망 212명, 실종 150여명, 이재민 14,000명 • 가옥 매몰 및 공공시설물 피해
겨울홍수			미국(2009.01.06.~16) • 미국 워싱턴 주 • 머드 마운팀 댐의 방류로 퍼시픽 시가 침수 • 1,200여명 주민 대피 • 주택피해 약 3000채 • 눈사태와 진흙사태로 인한 고속도로 폐쇄 • 피해액 1억 2,500만 달러

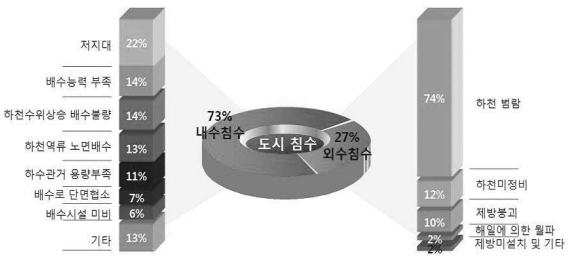


그림 5. 도시침수의 원인

2.3 기존도시 홍수피해 원인

그림 5에 제시된 바와 같이 도시침수는 외수 보다 내수에 의한 침수피해가 크게 발생하며 기후변화로 인해 돌발홍수가 빈번하고 대형화 되어 기존 홍수처리대책에 한계가 발생하고 있다. 따라서 인구와 기반시설이 집중된 도시지역의 새로운 홍수처리대책 수립이 시급하다.

2.4 기존도시 홍수처리대책의 한계점

기존 도시의 경우 도시계획 수립시 명확한 방재 및 치수의 기본방향과 홍수관리에 대한 법령 등의 주체가 분산되어 있으며, 방재지구 지정에 대한 기준, 정비 및 용도제한 등에 규정 등이 되어 있으나 시행이 미흡한 실정이다. 또한 재해지도 작성 및 활용방안이 미정착되어 있어 침수예상지역의 침수예보의 기준 설정 및 발령, 홍수대피 등이 어려운 실정이다.

따라서 기존도시의 홍수대책은 도시라는 특성에 따라 시설부지 선정이 어렵고 협소하여 제한적인 홍수처리대책을 가질 수밖에 없으며, 기후변화 및 도시특성을 고려하지 않은 제방과 배수펌프장에 의존한 기존 대책들은 한계점을 가질 수밖에 없다.

기존 홍수처리대책을 개선하기 위해서 하수도 정비 및 확충, 배수펌프장 신설 및 증설, 우수유출저감시설 설치 등을 고려할 수 있지만 계획빈도를 상향하여 우수 배제시 하류부 하천의 유출량 증가가 발생할 뿐 만 아니라 시설물 설치를 위한 부지매입이 어렵고, 공사 시행시 도시라는 특성상 민원 발생 및 지하지장물 처리 등의 어려움이 있어 새로운 홍수처리대책이 필요하다.

3. 기후변화를 고려한 구조적 홍수처리대책

기후변화란 수십 년 또는 그 이상 지속되는 기후의

변동성이 평균적 상태에 대해 통계적으로 변동하는 것을 의미한다. 기후변화의 요인으로는 크게 자연적 요인, 인위적인 요인, 인공열 등에 의한 도시 기후의 변화 등이 있으며, 그 현상으로는 이상기후 현상, 경제 · 사회적 현상을 들 수 있다. 이런 기후변화에 대응하기 위해서 녹색성장위원회는 기후변화 대응 미래 수자원 5대 전략을 제시하고 있다. 그 5대 전략은 다음과 같다.

- 대규모 홍수방어 능력 제고
- 이상가뭄 대처능력 확보
- 수질 및 하천환경 개선
- 기후변화 예측기술 및 물관련 R&D 투자확대
- 원활한 물 확보 및 공정한 물 이용을 위한 제도 개선

그림 6에 나타낸 바와 같이 기후와 도시개발을 고려한 홍수처리 대책을 단기 · 중기 · 장기로 나누어 제안하고자 한다. 과거 도시개발은 지속가능성이 낮은 HID(High Impact Development)방식으로 선개발 되어 물순환을 악화시키고 각종 치수적인 문제들을 야기시켰으며, 이러한 상태에서 기존 하수관거 증설 및 펌프장 신설 등에 의한 내수처리대책은 또 다른 환경적, 경제적, 사회적 문제를 야기시키는 상황이 되었다. 지하방수로에 의한 중기대책은 도시의 악영향을 최소화시키는 LID(Low Impact Development) 방식으로 지속가능성을 유지하면서, 개발과 대책이 병행될 수 있는 방법이다. 물순환에 의한 장기대책은 도시내 침투 및 저류공간을 확보하여, 유출량과 유출총량을 저감하는 방법으로 도시 물관리가 가능한 방법이다. 이러한 개발은 지속가능성과 환경성을 동시에 반영하여 개발이 가능하게 하며, 도시 전체를 자연친화형으로 바꿀 수 있어 유럽이나 호주 등 선진국에서 각광을 받고 있다.

3.1 구조적 홍수처리대책 – 중기대책 : 방수로

앞에서 제안한 홍수처리대책 중 중기대책의 지하방수로를 살펴보면, 지하방수로는 도시의 지하에 대

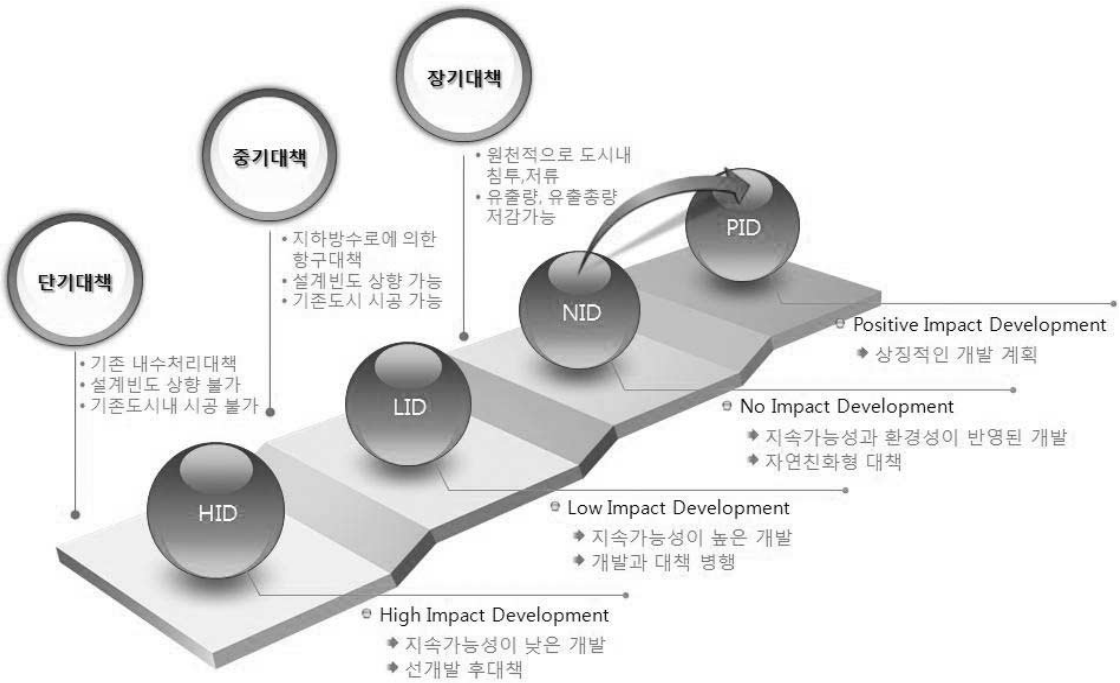


그림 6. 기후와 도시개발을 고려한 홍수처리대책

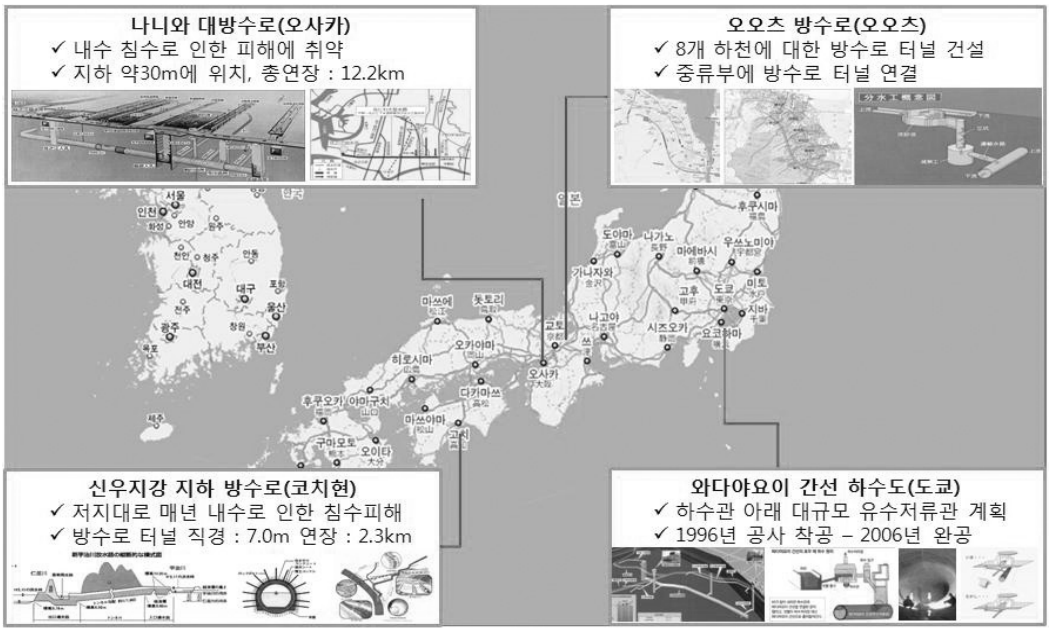


그림 7. 일본의 지하방수로

규모 수로 터널을 시공하여, 토지 수용에 대한 부담을 줄이며, 집중호우 발생시 내수를 지하방수로로 초기에 배제하여 도시 침수 피해를 줄일 수 있다. 일본의 경우 그림 7에 제시한 바와 같이 다양한 방수로를 건설하여 홍수를 처리하고 있다.

방수로에 대한 국내 · 외 사례를 살펴보면 다음 표 3과 같다.

표 3. 방수로 국내외 사례조사

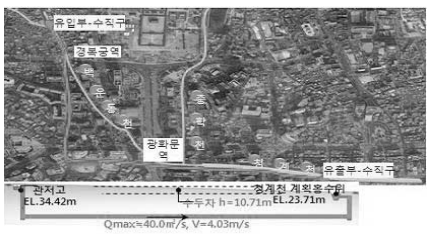
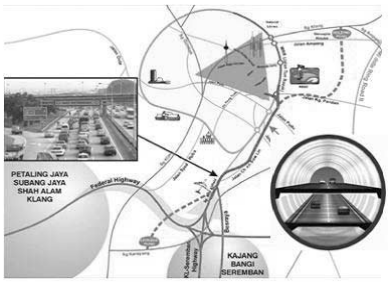
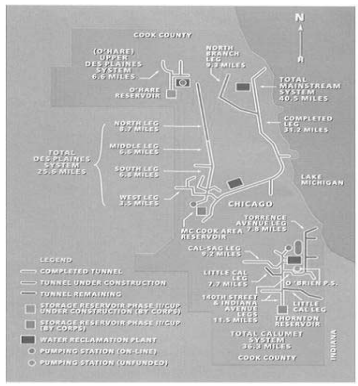
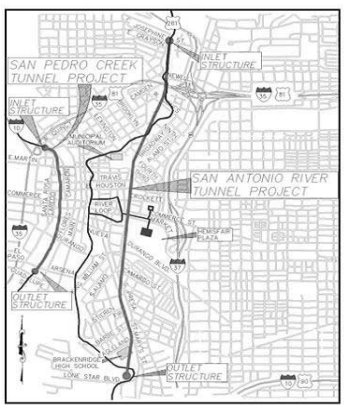
구분	위치도 및 개념도	사업내용
국내		중랑천 SMART 건설사업(2007) • 사업위치 : 도봉구 ~ 성동구 일원, 도봉천 합류점~청계천 합류점 • 사업개요 : 홍수조절기능+도심지와 외곽 연결용 도로 기능 등의 다기능 방수로(L=18.12㎞) • 사업 미추진
		광화문지역 침수방지대책(2011) • 사업위치 : 경복궁역 ~ 청계천까지 터널공사 • 사업개요 – 50년 빈도 침수방지대책 – 지하 40m 이상의 대심도 빗물배수터널 (D=3.5m 이상, L=2㎞) • 2011년 설계, 2012년 시공 예정

표 3. 방수로 국내외 사례조사(계속)

구분	위치도 및 개념도	사업내용
국외		SMART(Syarikat Mengurus Air Banjir dan Terowong Sdn Bhd) Tunnel Project • 사업위치 : 말레이시아 수도 쿠알라품푸트(Klang강 중류부 위치) • 배 경 – 홍수피해로부터 즉각적인 홍수대책 필요 – 도시화로 인한 교통제증 해결 • 사업개요 – 건설기간 : 2003년 ~ 2007년 6월 – SMART 터널 총연장 12.7㎞ – 홍수조절지 터널 9.7㎞ – 도로 겸용 수로 터널 3.0㎞ – 홍수시 전 구간을 수로 터널로 이용 • 사업효과 – 약 200㎥/s의 홍수저감 효과 – 도심지역 교통혼잡 개선
		TARP(Tunnel And Reservoir Plan) • 사업위치 : 미국 일리노이주 북동부 시카고 • 배 경 – 합류식 하수체계로 강우 시 수질오염 발생 – 상수원인 미시건호 오염 발생 • 사업개요 – 지하터널 건설(1단계) · 건설기간 : 1976년 ~ 1998년 · 터널깊이 : 48m ~ 110m · 터널연장 : 175km – 저류지 건설(2단계) · 건설기간 : 1990년 ~ 현재 진행중 · O hare 저류지 : 1.3백만㎥ · Thornton 저류지 : 28.6백만㎥ · Mc Cook 저류지 : 7.9백만㎥
		Bonnet Carre Spillway • 사업위치 : 미국 루이지애나 미시시피강 하류 • 배 경 : 루이지애나 남부 잦은 홍수 피해 • 사업개요 – 길 이 : 약 2.1㎞ – 방수량 : 7,100㎥/s – 수 문 : 6m×350개 – 기 간 : 1928년~1931년 – 설계홍수량 42,500㎥/s 중 7,100㎥/s 처리
		San Antonio River Tunnel • 사업위치 : 미국 텍사스주 • 배 경 : 빈번한 홍수로부터의 안전 확보 및 운하도시로 안전한 물의 재순환 이용 • 사업개요 – 도시 20km구간의 물을 100% 재순환 – 일정수위 및 홍수예방을 위한 지하 20m에 관망설치 – 터널건설기간 : 1993년 9월 ~ 1997년 12월 – 터널규모 · 길 이 : 3마일(약 5km) · 깊 이 : 지하 150ft(약 46m) · 유입부 : 지름 24ft (약 7m) · 유출부 : 직름 35ft (약 10m) · 상하류 터널 연결/치수적 안정성 확보 · 게이트를 통한 일정수위 유지 • 사업효과 – 한해 2,000만명의 관광객이 찾는 운하도시

3.2 구조적 홍수처리대책 – 장기대책 : 도시 물순환

앞에서 제안한 물관리 대책 중장기적인 대책으로 빗물체인(stormwater chain)에 의해 지속가능한 도시 물관리가 가능한 도시물순환을 제안한다. 도시물순환은 빗물이 흘러나가기 전에 유출수를 자연적인 방법으로 이동시키고 저장하여 재이용하는 일련의 순환과정으로 물을 지붕 아래 원하는 장소로 운반하고 유도하며, 일부 유출수는 증발과 유출을 감소시키는 것으로 LID(Low Impact Development)에서 NID(No Impact Development)로 실현 가능한 장기 대책 중 하나이다.

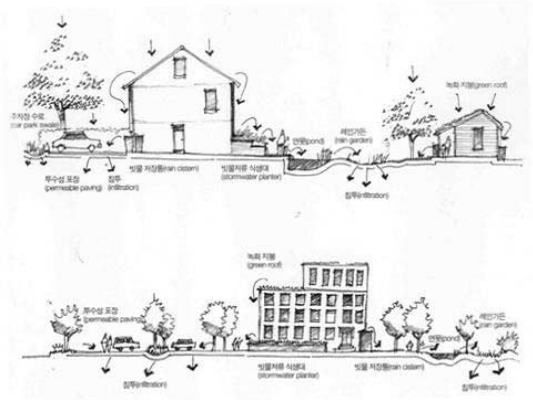


그림 8. 빗물체인에 의한 도시물순환 모식도

국내 도시물순환의 대표적인 사례로는 광진구 자양동 스타시티와 수원시 레인시티(Rain-City)가 있다. 스타시티는 건물 지하에 옥상 빗물, 바닥면 빗물, 비상용수를 저장하는 1,000톤짜리 탱크가 설치되어 있으며, 그 빗물은 중앙공원의 조경 용수, 분수 및 실개천과 공용화장실용수로 재활용되어 그 양이 연간 40,000톤에 이르며, 재이용률은 66% 정도이다.

수원시 레인시티는 2009년부터 진행되고 있는 사업으로 빗물관리를 통한 수원시의 물 자급율을 향상시키는 방법을 모색하던 중 적극적인 빗물 관리를 통한 물 자급률 향상방안을 강구하게 되었다. 도시 전체를 시스템으로 묶어 통합물관리를 추진하는 도시는 수원시가 처음이며, 첫 사업으로 수원종합운동장에 빗물 10,000톤을 저장할 수 있는 저류시설 6곳과 빗물 4,000톤을 토양에 유입시킬 수 있는 침투시설 2곳을 설치하였다.

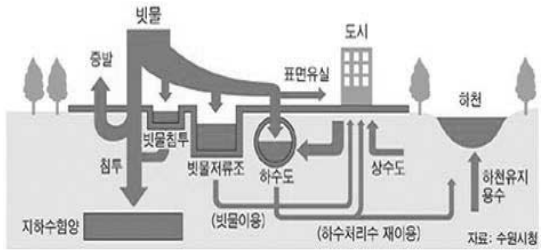


그림 10. 수원시 레인시티 개념도

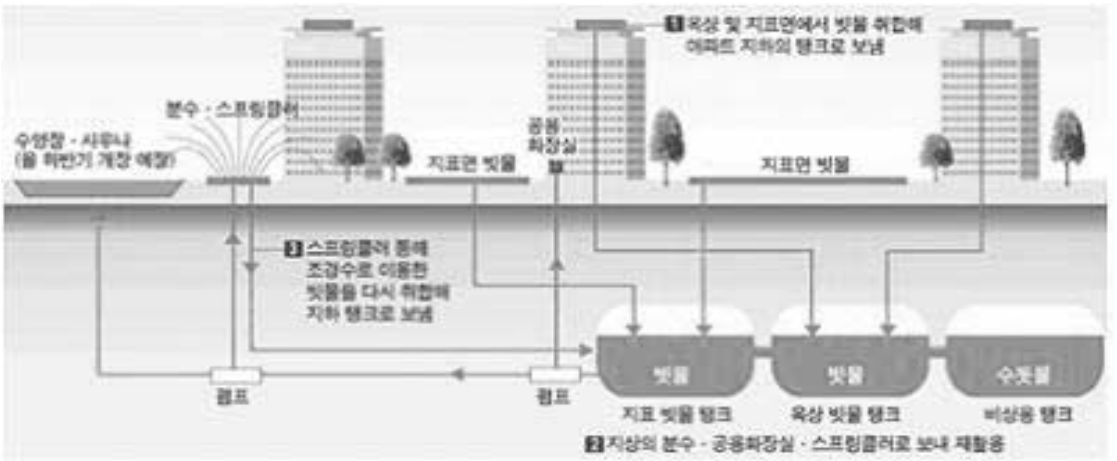


그림 9. 타시티 빗물 이용도

4. 결 론

제시한 바와 같이 전 세계적으로 기후변화로 인한 기상이변에 따라 자연재해가 빈번히 발생하고 있으며, 돌발적인 폭우가 증가하여 도시 침수 피해가 커지고 있으므로 치수적으로 안전한 미래도시를 위해 새로운 홍수처리대책이 필요하다.

단기대책 : 계획빈도 상향에 따른 하천 제방 증고와 우수관거 및 펌프장 증설 등은 단기적 처방일 뿐만 아니라, 부지매입, 민원발생 및 지하 지장물 처리의 어려움 등으로 실질적인 공사가 불가능한 한계점이 있다.

중기대책 : 금회 사례조사를 통해 검토된 지하방수로(대규모 지하 저류시설 포함)는 항구적인 내수처리를 위해 선진 도시에서 시행되고 있으므로 국내에 도입이 가능하다.

장기대책 : 미래 도시가 HID에서 LID로 변화함에 따라 도시 전체를 침투 및 저류공간을 바꿀 수 있는 지속가능하고 환경적으로 건전한 도시 물관리 및 물순환을 제안한다.

참고문헌

1. 원중연. “효율적인 도시 빗물관리 방안.” 경기도 수원시 환경정책과.
2. 녹색생장위원회(2010). “제9차 녹색성장위원회 보고대회-기후변화대응 미래 수자원전략.”
3. 소방방재청, 한국토지공사(2009). 방재도시 시범건설을 위한 신방재시스템 구축 연구.
4. 심재현 · 김영복(2006). “전국 상습수해지구 현황과 대책”. 방재연구 제8권, 제1호, pp.79-94.
5. 한국터널공학회(2009). 한국의 터널과 지하공간. 씨아이알.
6. 한국터널공학회(2009). 대형 · 대단면 지하공간 가상프로젝트. 씨아이알.
7. 삼성경제연구소(2010). 불편한 진실 Revisited.
8. Nigel Dunnett, Andy Clayden저, 한설그린 부설 조경생태디자인연구소 역(2009). (지속가능한 도시 물관리를 위한) 레인가든. 조경.
9. Kitsap Home Buildrs Foundation Low Impact Development(2009). LID Guidance Manual.
10. The Low Impact Development Center Inc(2010). LID manual for southern california.