

도시 물 순환 시스템을 위한 빗물관리기술



글 | 김이호 | 한국건설기술연구원 건설환경연구실 책임연구원 || 전화 : 031-910-0304 || E-mail : rhkim@kict.re.kr

1. 빗물관리기술의 개요

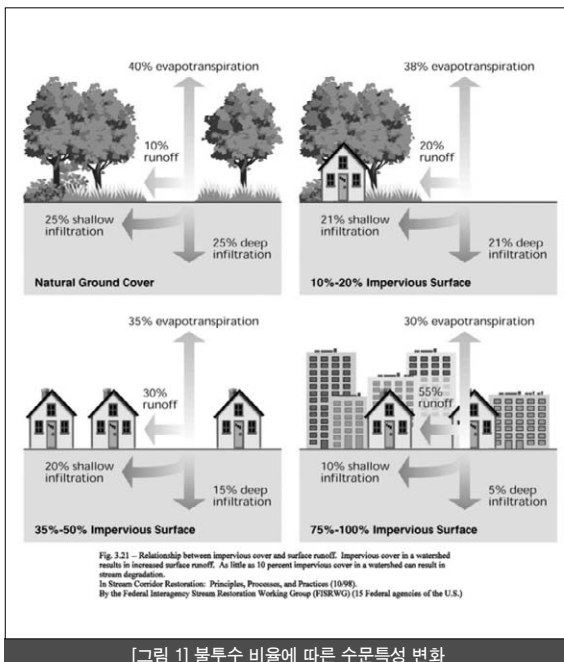
1-1. 빗물관리의 필요성 및 목적

우리나라는 현재 국토·지역계획 및 도시의 개발, 산업 및 유통단지 개발, 에너지 개발, 교통시설의 건설, 하천의 이용 및 개발, 수자원 및 해양 개발, 산지 개발 및 골재 채취, 관광단지 개발 및 체육시설 등 8개 분야에 대하여 개발사업 사업에 따른 재해 위험요인을 검토하여 이에 대한 대책을 수립하도록 하고 있다.

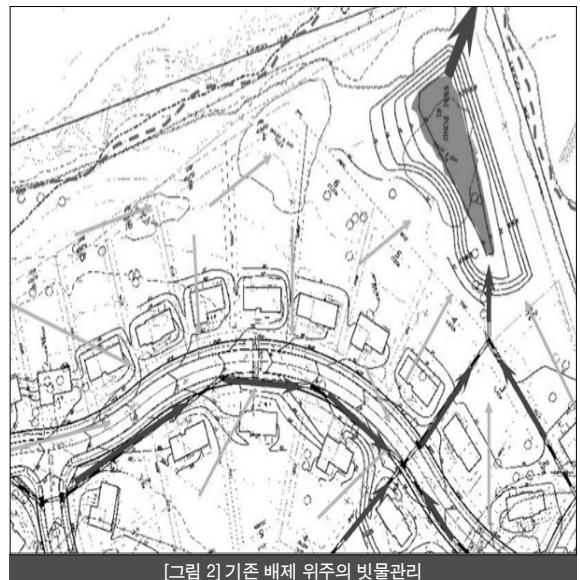
이러한 개발사업은 불투수 면적의 증가, 녹지 감소로 인해 증발산량의 감소, 토양으로의 침투 및 침투량 감소 및 지표면 유출량의 증가를 가져와 도시 물 순환 체계의 왜곡을 가져온다.

서울시의 경우에도 총면적 중 불투수 면적 비율이 49.3%를 차지하고 있다. 유역관리 관점에서 불투수 면적 비율이 25% 이상인 Non Supporting Streams의 경우 우수관리 또는 개조 방법을 충분히 적용한다고 해도 개발 전의 하상 안전성 또는 생물 다양성을 완전히 유지하기 어려운 것으로 알려져 있어 개발에 따른 불투수 면적 증가가 심각한 수준임을 알 수 있다.

전 세계적으로 도시화로 인한 물 순환 및 열 순환의 왜곡을 해소하기 위해서 분산식 빗물관리에 대한 기술개발 및 적용이 활발히 진행되고 있다. 특히 도시 빗물관리의 접근 방식에 있어서도 관로를 통한 우수의 신속한 배제, 대규모 우수지 및 빗물펌프장에 의존하던 과거의 방식(그림 2)에서 벗어나, 가능한 경우 발생지역에서 소규모 분산형 시설로써 관리하고 도시 생태계를 고려한 물 순환 건전화를 도모하는 방식(그림 3)으로 변화하고 있다.



[그림 1] 불투수 비율에 따른 수문특성 변화



[그림 2] 기존 배제 위주의 빗물관리



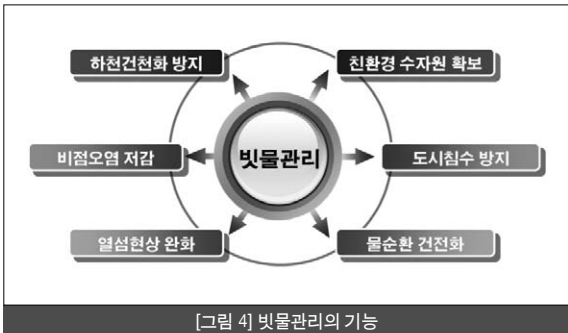
[그림 3] 분산형 빗물관리(자료 : Dr. J. Lee)

1-2. 빗물관리란?

1) 정의 및 기능

빗물관리란 건축물의 지붕, 도로 및 기타 불투수 지표면에 내린 강우를 이수·치수·환경측면에서 효율적으로 이용·관리하는 기술을 말한다. 기존의 중앙 집중식 물 관리 체계에만 의지하는 것이 아니라, 저류 및 활용, 침투 그리고 증발산을 통해 도시 배수 기능 이외에 환경 친화적이고 생태적인 도시 물 순환을 유도하는 관리기술로 정의할 수 있다.

빗물관리는 자원절약 차원에서는 보조 수자원을 확보하여 수돗물을 절약하고 방재 측면에서는 유출저감을 도모하여 도시침수를 예방할 수 있다. 또한 초기 빗물처리, 오염물질 유출저감을 통해 비점오염원을 저감할 수 있으며, 열섬현상 완화, 하천 건천화 방지 등 물과 에너지 순환 체계를 회복하는 데 기여할 수 있다.



[그림 4] 빗물관리의 기능

2) 빗물관리시설의 종류

빗물관리시설은 이용 과정에 따라 집수시설, 저류시설, 침투시설, 처리시설, 급수 및 활용 시설로 구분할 수 있는데, 빗물관리시설의 주요 기능에 따라 세부시설을 구분하여 제시하였다.

<표 1> 주요 기능별 빗물관리시설

기능	빗물관리시설
수자원 절약	저류시설, 빗물처리시설, 급수시설 등
방재	유수지, 방재조절지, 각종 침투시설, 습지, 생태연못 등
비점오염원 관리	초기 빗물처리시설, 습지, 생태연못 등
물 순환 체계 회복	투수성포장, 보수성 포장, 침투트렌치, 침투측구, 옥상녹화, 생태연못 등

저류시설로는 개별 건축물 단위의 빗물이용시설에서부터 유역단위의 생태연못, 유수지 등이 폭넓게 활용될 수 있다. 땅속으로 빗물을 스며들게 하는 침투 시설은 침투통, 침투블록, 침투 트렌치 등 장치형 시설과 빗물정원(Rain Garden), 침투도랑 및 식생수로 등 지표면 침투시설이 활용될 수 있다.



[그림 5] 건축물에서의 빗물이용



[그림 6] 생태연못



[그림 7] 침투블럭



[그림 8] Inno-drain



[그림 9] 빗물정원(Rain Garden)

1-3. 해외사례

1) 독일

독일은 이수용도의 빗물 저장조를 침투블록, 침투연못, Inno-drain, Trough-Trench 시스템 등의 지표면 침투시설과 연계하여 물 순환 건전화를 도모하고 있으며, 녹지 공간을 통해 자연·생태계 보전을 함께 고려하고 있다. 빗물관리시에는 경관계획에 따라 도시 미관을 향상시키고 있으며, 물 및 에너지 순환을 통해 냉난방 비용을 절감하는 방안도 연구되고 있다.

독일공업규격협회(DIN)와 물·하수·폐기물 협회(DWA : German Association for Water, Wastewater and Waste)를 중심으로 빗물 이용시설과 침투기술지침을 제시하고 있으며, 특히 하수도 사용료를 빗물배출 사용료와 일반 오수 사용료로 구분해서 부과하는 '우수세'를 도입하여 빗물관리를 장려하고 있다.

① 겔센키르헨 주거단지

이 주거단지는 IBA Emscher Park 프로젝트 중 '생태적 주거건축 및 모든 개념이 종합된 도시지구개발'이라는 기본개념 하에 계획, 실행된 단지로서 단지 중앙에 빗물을 이용한 외부공간을 형성한 것이 특징적이다(환경부, 2007, 건전한 생태도시 조성을 위한 빗물관리체계개선 연구).



[그림 10] 단지 내 잔디광장 및 우수홍통

② Lankwitz 공동주택

Lankwitz 주택은 임대주택으로 재건축을 하는 대신 생태적으로 리모델링하여 상부에 1개 층을 증축하고 발코니를 조성하였다. 리모델링 과정에서 분산식 빗물관리의 개념을 도입하였다. 지붕면과 지표면에 내리는 빗물을 모두 저류하여 화장실용수, 관개용수, 세차용수로 활용하고 있다. 지붕면(옥상면)의 면적은 7,325㎡, 지표면(도로, 주차장, 보도 등)의 면적 4,450㎡이다. 집수한 빗물은 190㎥ 규모의 저류조에 저장하고, 식생과 자외선 조사에 의해 수처리한 후 활용한다.



[그림 11-1] 단지 전경 및 식물정화 장치



[그림 11-2] 단지 전경 및 식물정화 장치

2) 일본

일본은 도시 하천유역의 종합치수 대책으로서 저류침투시설(종합적인 치수대책(1977), 유역저류침투사업(1983))의 도입을 시작으로 하여 도심지에서의 빗물이용, 건전한 물 순환 체계 확보를 위해 우수저류침투시설의 기능이 강화(특정 도시 하천 침수 피해 대책법, 2003)되고 있다. 중앙정부 및 지자체는 우수유출억제시설 정비 추진사업, 물 순환·재생하수도 모형화 사업 등 빗물 관련 시책을 통해 보조금 지원, 세제 지원 등을 수행하고 있다.

특히, 84개 회원사, 지자체 중심의 89개 특별회원으로 구성된 국토교통성 인가 법인인 우수저류침투기술협회를 중심으로 기술지침, 민간에서 수행하는 우수저류침투기술을 평가하여 인증하고 있다. 일본의 우수저류침투제품의 시장규모는 연간 매출액 200억엔 규모이며, 약 50여 개 제조사가 시장에서 경쟁하고 있다.

① Urban 미래 하가시 오오미야

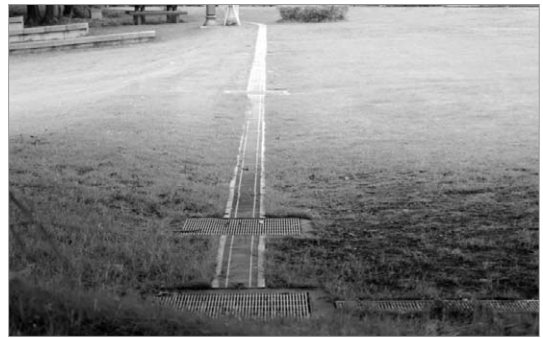
사이타마현 오오야마 시의 하천 종합치수대책의 일환으로 추진되었다. 호우시 하천 수위가 높아지면 하천에서 A조절지로 유입시키고 A조절지가 만수되면 B조절지인 공원으로 유입된다. B, C 조절지가 만수위가 되면 초등학교 운동장으로 유입시키고 있다.



[그림 12] 평면도

② 이바라끼켄 이나마치

일본의 '특정 도시 하천 침수 피해 대책법'을 근거로, 90년대의 10년간 일본 우수저류침투기술협회와 이바라끼켄의 지원으로 설계, 시공된 곳으로 부지 면적이 73,410㎡이다. 게이트볼장이나 주차장의 하부를 쇄석공극 저류시설(총 쇄석용량 3,936㎥, 총 저류용량 1,181㎥)로, 복지관 건물과 광장, 테니스 코트 및 야외 공연장 등의 지하에는 침투통과 침투 트렌치 등의 침투시설(총 트렌치 길이 704.5m, 총 침투통 개수 48개)로 주차장은 투수성 포장으로 설계되어 있다.



[그림 13] 빗물이용시설과 침투트렌치

2. 분산식 빗물관리기술

2-1. 관련 법규

우리나라의 빗물관리기술은 1980년대 이후 간헐적인 연구가 시작되었으며, 1990년대 이후부터 우수저류 및 침투기술 그리고 재이용 기술에 대하여 시범사업 성격의 연구 과제 등이 추진되고 있다. 현재 빗물과 관련된 법률로는 수도법, 국토계획법 하위법령인 도시계획시설의결정·구조물설치기준에관한규칙, 도시공원내저류시설의 설치운영지침, 자연재해대책법 등이 있다.

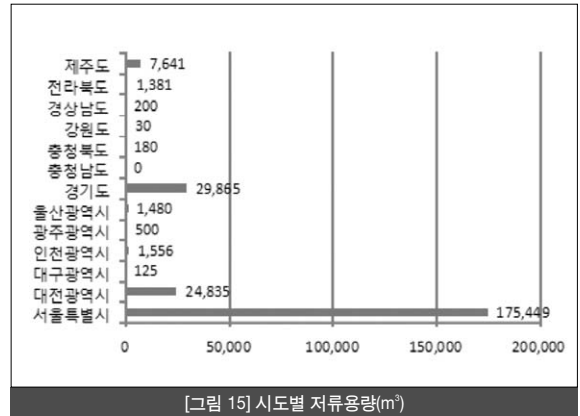
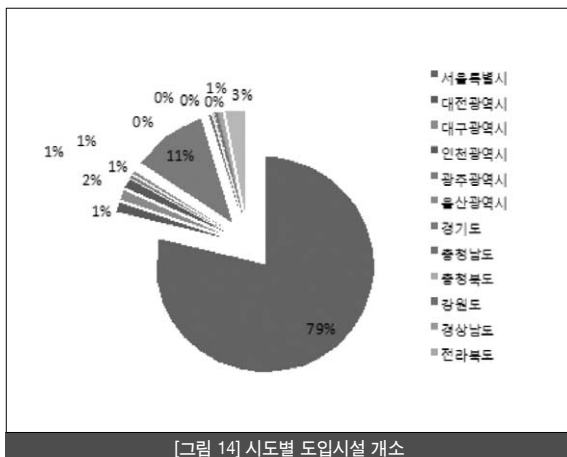
수도법은 2009년 1월 개정을 통해 빗물이용시설의 설치(제16조), 설치대상(시행령 제26조), 시설기준 등(시행규칙 제7조)의 규정을 신설하였으며, 도시계획시설의결정·구조물설치기준에관한규칙은 제119조(유수지)~120조(저류시설의결정 및 구조·설치기준)에서 하천의 제내지 및 공공시설·공동주택단지 등에서의 빗물을 모을 수 있는 유수시설 및 저류시설에 대한 결정 및 설치기준을 담고 있다. 도시공원내저류시설의설치운영지침은 공원 내 방재시설로서 빗물 저류침투시설의 종류와 방식, 설계기준 및 기준, 안전관리 및 생태계 복원을 위해 수변공간 및 호안 조성 등을 규정하고 있다.

최근 서울특별시, 경기도를 중심으로 빗물관리 관련 조례를 시행 중이다. 재해 예방 및 환경보전을 포함하는 서울특별시와 대전광역시, 빗물관리를 통한 물 순환 조례를 시행중인 수원시를 제외하고는 대부분의 지자체에서 빗물이용시설의 설치비용 지원과 수도요금 감면만을 목적으로 하고 있다.

2-2. 시설도입 현황

시설 도입 경향을 살펴보면 관련 기관 등의 자료 협조를 통해 설치 중이거나 설치예정인 시설을 포함하여 빗물이용시설, 치수용 저류시설을 조사한 결과 총 372개소(2007년 12월 현재)가 도입되어 있는 것으로 나타났다.

조사결과를 시도별로 구분한 결과 조사 개소의 90%(그림 14), 저류용량의 84%(그림 15)가 수도권에 집중되어 있음을 알 수 있다. 시설 용도별로 구분한 결과 시설 도입 수에 있어 공동주택, 학교, 건축물, 개인주택 순으로 나타났으며, 도입 용량에 있어서는 치수용 저류조, 공동주택, 월드컵 경기장, 건축물, 학교 순으로 나타났다.



2-3. 기술적 요구사항

1) 빗물관리시설의 계획/설계

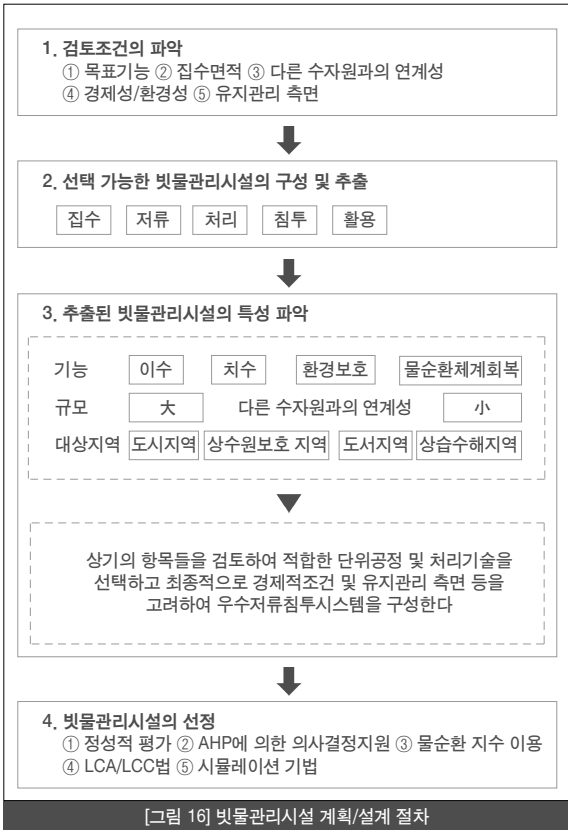
빗물관리시설 계획/설계에 대한 요구 대상을 살펴보면 건물주가 개별 건축물에 활용할 목적으로 빗물관리시설을 설치하는 경우, 주택 공급사업자가 단지 내 이수, 치수 및 환경보호 목적으로 설치할 경우, 도로, 주차장 및 공원을 대상으로 지자체 및 설계용역사가 요구하는 경우, 또한 하천유역을 대상으로 하천관리 및 도시 물 순환 체계 회복을 위해 지자체 및 설계 용역사가 요청하는 경우 등 매우 다양하다.

활용목적에 따라 빗물관리시설을 이수목적으로 설치할 경우 타 수자원을 연계 활용이나 경제성 유무를 판단해야 하며, 치수목적의 경우에도 유출저감 목적 이외에도 이수 및 오염 제거기능을 부여할 것인지, 물 순환 및 활용 목적까지 확대하여 적용할 것인지도 검토되어야 한다.

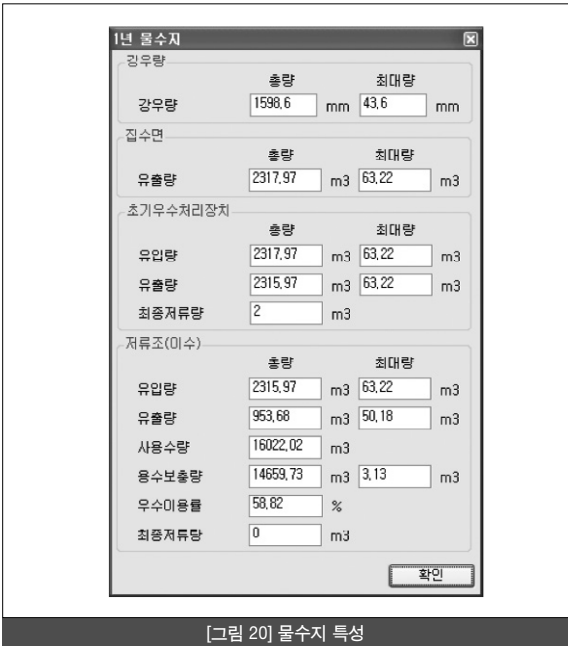
빗물관리시설의 계획/설계시에는 상기와 같은 다양한 요구사항과 지역 여건 등에 따라 검토조건을 파악하고, 선택 가능한 빗물관리시설의 추출, 추출된 시설조합의 이수, 치수, 환경보호, 물 순환기여 효과 측면에서의 특성을 파악하여 적절한 시설 조합 및 규모를 결정하게 된다.

한국건설기술연구원에서는 분산식 빗물관리기술의 보급 확대와 효율적인 시설도입을 유도하고자 공동주택 빗물관리 의사결정지원시스템인 RainCity v.1.5 Beta를 개발하였다.

1.0 버전(2004~2007)의 침투시설 계획, 설계모형인 Infiltro, 초기 전략수립 수립 모형인 Balance, 시설 규모조합 결정 모형인 Combi 모형을 통합하였으며, 간단한 입력자료로 다양한 시설 조합에 대한 의사결정 지원이 가능하도록 하였다.

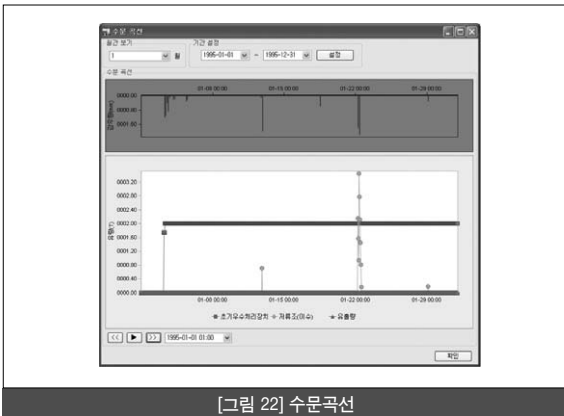


본 모형은 단일 시설의 효과뿐만 아니라 규모 시나리오별 분석이 가능하며, 연산 결과로서 물수지, 강우-유출 테이블, 수문곡선, 경제성 분석 결과 등을 제시하여 효율적인 의사결정이 가능하도록 지원한다.



[그림 21] 유입·유출 테이블

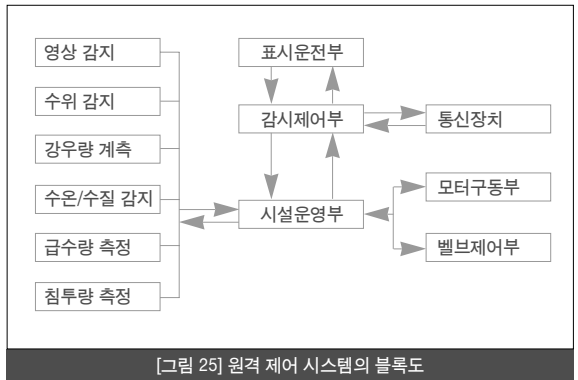
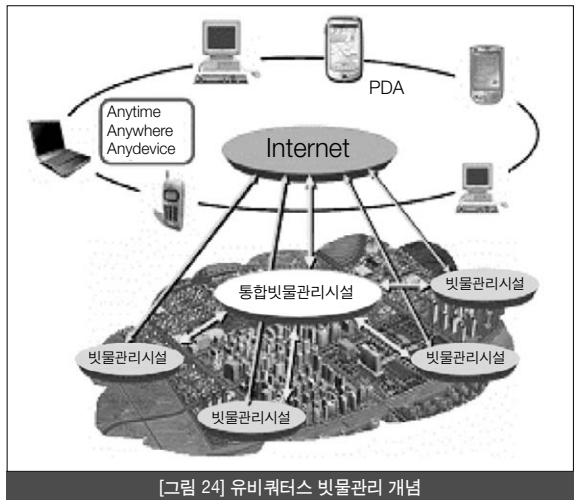
일시	감수량 (mm)	침수량	유출량	유입량	저류량	유출량	유입량	저류량
3663 1995-06-02 오후 2:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3664 1995-06-02 오후 3:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3665 1995-06-02 오후 4:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3666 1995-06-02 오후 5:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3667 1995-06-02 오후 6:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3668 1995-06-02 오후 7:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3669 1995-06-02 오후 8:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3670 1995-06-02 오후 9:00:00	0.10	0.14	0.14	0.14	2.00	0.14	0.00	0.00
3671 1995-06-02 오후 10:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3672 1995-06-02 오후 11:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3673 1995-06-03 오전 12:00:00	0.50	0.73	0.73	0.73	2.00	0.73	0.01	0.01
3674 1995-06-03 오전 1:00:00	0.30	0.44	0.44	0.44	2.00	0.44	0.00	0.00
3675 1995-06-03 오전 2:00:00	4.60	6.67	6.67	6.67	2.00	6.67	6.07	6.07
3676 1995-06-03 오전 3:00:00	4.90	7.11	7.11	7.11	2.00	7.11	12.59	12.59
3677 1995-06-03 오전 4:00:00	6.10	8.95	8.95	8.95	2.00	8.95	20.94	20.94
3678 1995-06-03 오전 5:00:00	6.90	1.30	1.30	1.30	2.00	1.30	20.95	20.95
3679 1995-06-03 오전 6:00:00	0.20	0.29	0.29	0.29	2.00	0.29	19.82	19.82
3680 1995-06-03 오전 7:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	18.26	18.26
3681 1995-06-03 오전 8:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	16.65	16.65
3682 1995-06-03 오전 9:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	15.00	15.00
3683 1995-06-03 오전 10:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	13.56	13.56
3684 1995-06-03 오전 11:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	12.03	12.03
3685 1995-06-03 오전 12:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	10.67	10.67



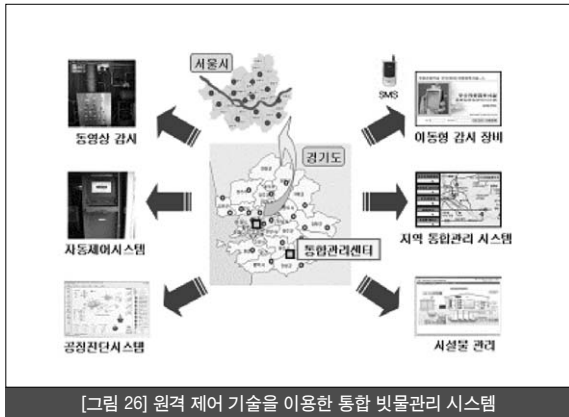
[그림 23] 경제성 분석 결과

2) 빗물관리시설의 운영/유지관리
 빗물관리시설을 통해 효과적으로 대상 지역의 침수 방어를 하기 위해서는 호우 경보 등의 비상 상황에 따라 개별 시설물 관리자들이 동시에 대응할 수 있도록 유비쿼터스 빗물관리와 같은 통합운영 방법을 도입하는 것이 바람직하다.

① 유비쿼터스 빗물관리
 유비쿼터스 빗물관리 기술은 빗물관리시설이 통합된 네트워크를 통해 연결되어 언제 어디서나 정보를 수신하거나 발신할 수 있고 실시간 제어가 가능하여 기상상황에 따라 탄력적으로 운영 가능하도록 하는 것이다(그림 24).
 빗물관리를 위한 원격모니터링 및 원격제어 시스템은 사용자가 컴퓨터나 PDA(휴대정보 단말기)를 이용해 인터넷에 접속하여 실시간으로 저류 및 침투시설을 감독하는 양방향 감시 제어 기능과 통합 DB의 운영 및 중앙 컴퓨터와의 연결을 자동화하여 지역별, 용도별, 계절별 운영체계를 표준화할 수 있도록 하는 기능, DB에 저장되어 있는 유입량·침투량·수질·제어이력 등의 누적 Data의 분석을 통해 최적 운영조건을 결정할 수 있도록 하는 기능 등 다양한 기능을 제공할 수 있다. 이를 위해서 빗물관리 원격제어 시스템은 시설운영부, 감시제어부, 표시운전부, 통신장치 및 기타 센서와 구동부 등으로 구성되어 있다(그림 25).



원격제어시스템은 자동화된 운영을 통해 관리 인력을 최소화 할 수 있으며, 비상시에 빠른 대처가 가능할 뿐만 아니라 네트워크를 형성하여 각 시설들에 대한 통제가 일괄적으로 이루어져 호우경보 등 비상상황에 즉각적인 대응이 가능하므로 빗물관리시설의 방재 기능을 극대화할 수 있다.

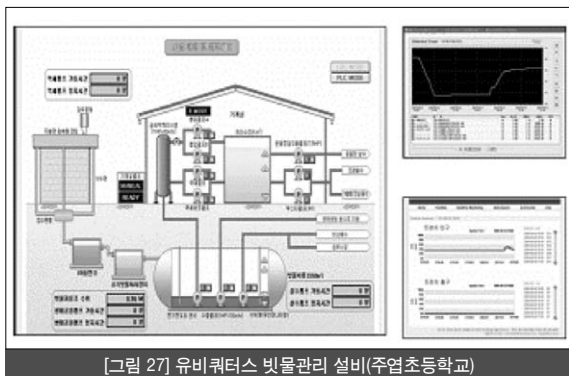


[그림 26] 원격 제어 기술을 이용한 통합 빗물관리 시스템

② 적용 사례

주엽초등학교의 유비쿼터스 빗물관리 설비는 2005년 1월부터 가동되고 있으며, 센서를 통해 10분 간격으로 측정된 강우량, 저류조 수위, pH, 수온, 전기전도도, 침투량 등의 데이터가 인터넷 사이트 (<http://host.datapcs.co.kr/rainwater>)를 통해 제공하고 있다(그림 27).

2006년 7월 27~28일에 발생한 179.2mm의 집중호우에 대하여 비강우시 일정량의 빗물을 침투시키고, 강우 발생 전 가급적 많은 양을 침투시키는 유비쿼터스 복합운영을 통해 대상 집수면에 내리는 빗물의 97.8%에 해당하는 53.5m³의 빗물을 저류하여 집중호우에 대비한 유출저감 효과를 거두었다.



[그림 27] 유비쿼터스 빗물관리 설비(주엽초등학교)

3. 결론 및 향후 전망

이상으로 도시 물 순환 건전화에 위한 분산식 빗물관리기술에 대해 살펴보았다. 환경적으로 건전하고 지속가능한 도시 건설을 위해서 빗물관리기술에 대한 수요는 지속될 것으로 예상된다. 그러나 국내에는 아직까지 기술수요를 충족시킬 수 있는 요소기술과 제품을 보유하지 못하고 있으므로 시설적용과 운영에 많은 문제점이 수반되리라 생각된다.

먼저 제품 개발 측면을 살펴보면 외국제품에 대한 의존도가 높고, 기술개발 측면에서도 사용수량에 대한 검토 없이 불필요한 시설을 설치한다거나, 적절한 처리설비를 갖추지 않아 수질 문제로 활용하지 못하고 방치하는 경우, 저류시설의 용량부족으로 있으나 마나 한 시설로 전락하는 경우가 많다. 빗물관리 목표 설정, 목표에 부합되는 사용수량 및 규모 선정 등의 계획 기술, 집수/저류/침투/처리 및 활용 등 각 단계에서 적용 가능한 기술과 유의사항, 제품 및 설치방법, 모니터링 및 유지관리 방법 등 빗물관리기술에 대한 전반적인 사항에 대한 지침 및 가이드라인의 보급이 필요하다.

앞으로의 빗물관리기술은 도시개발 전후의 물 순환 건전화뿐만 아니라 열대야 및 열섬현상과 같은 도시 내 열 순환 유지를 위한 측면도 중요하다. 또한 치수적 측면에서 강조되어 온 침투 유출량의 저감 차원에서 유출 총량의 제어를 통한 재해 예방 및 물 순환 건전화도 필요하다.

빗물관리기술은 강우특성에 영향을 크게 받으므로 가뭄지역 및 호우지역 등 지역의 강우특성을 적절히 반영할 필요가 있으며, 도로, 공장, 도서지역 등 적용 대상에 따라 맞춤형 기술개발이 필요할 것으로 판단된다.

※ 감사의 글

상기 논문은 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적인 확보기술개발사업단의 우수 저류 및 활용 시스템 적용(과제번호:4-3-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. S

참고문헌

1. 과학기술부 · 건설교통부, 우수 저류 및 활용 기술 개발 1단계 최종보고서, 2004
2. 과학기술부 · 건설교통부, 우수 저류 및 활용 시스템 적용 2단계 최종보고서, 2007
3. 김이호 외 2인, 빗물관리시설 실태조사, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 기술보고서, 2009
4. 환경부, 건전한 생태도시 조성을 위한 빗물관리체계개선 연구, 2007