



국내 기후변화에 따른 해외 열대지역의 수문특성 고찰



이 만 석 |

단국대학교 토목환경공학과 박사수로
msasa@korea.com



김 이 현 |

경북대학 건설환경정보과 교수
yhkim@kyungbok.ac.kr

1. 서론

최근 세계 곳곳에서 이상 기후 발생이 잦아지고 있고 국내에서도 이상 기후의 특성은 예외가 아니며, 지구의 온실화 영향으로 인한 온도 증가가 이상 기후의 주요 원인으로 꼽히고 있다. 과거에는 봄, 여름, 가을, 겨울의 4계절의 특색이 뚜렷했으나, 근래에는 봄과 가을만이 가지는 계절적 특성 기간이 점점 짧아지고 있는 현실이다. 또한, 강우일수는 조금씩 감소하고 있으나, 강우강도가 증가하고 있으며, 돌발홍수, 장마, 태풍 등도 과거와 달리 빈번하게 발생하고 있다. 본 연구에서는 우리나라의 기후특성이 과거와 달리 열대 지역에서나 찾아볼 수 있는 기상 현상들의 발생 빈도가 증가함에 따라, 열대기후 특성을 가진 해외 지역의 수문 특성들을 문헌 조사 등의 방법을 통하여 고찰하고, 국내 수자원 지속가능성을 유지하기 위한 방법들을 다각도로 검토하고자 한다.

2. 본론

2.1 기후변화에 대비한 지속가능한 수자원 기술

전 세계적인 수자원의 수요 증가는 인구 증가, 개발 성장, 이용 가능한 공급원들의 고갈, 기후 변화들, 점점 더 엄격해지는 규제 요건들, 그리고 노화되거나 불충분한 수자원 기반 시설 때문이다. 점점 커지는 수자원 수요는 여러 유역들, 생태계 악화, 수자원 부족, 그리고 굶은 날씨와 같은 상황을 포함하고, 수자원의 수요 증가는 지역사회들과 정부 사이에서 갈등을 유발할 수도 있고 경제 성장을 제한할 수도 있기 때문에, 수자원 공급자들은 가장 효과적인 상수도 이용 방법과 공급자들의 수자원을 관리하기 위한 지속가능하고 비용 효율적이면서도 정책적으로 수용 가능한 프로그램들을 결정할 필요가 있다.

본 논문에서 소개하는 지속가능한 수자원 기술들은 생태계를 향상시키기 위해 여러 다양한 유역들에 대한 사전행동적인 관리에 초점을 맞춘다. 게다가, 물 부족과 비오는 날씨 상황의 관리를 위한 지속가능한 기술들이 논의된다. 유역과 생태계 관리는 유역 상황을 보존하기 위해 지표 유출수, 유출량, 그리고 환경을 설명하고 관리하는 것을 포함한다. 물 부족은 인구 성장 및 유역 개발에 의해 유발된 경쟁적인 수요에 기인할 수도 있으며, 점점 엄격해지는 규제 요건들 뿐만 아니라 기후 변동성 또는 자정능력에 영향을 받는 안정된 또는 안전한 물 생성량의 감소된 이용가능성의 결과이기도 하다.

굶은 날씨와 같은 기상 상태는 유출량이 유역 수계



의 저장 용량을 초과할 때 발생하며, 이러한 상황은 폭우로 인한 과도한 유입량에 의해 유발될 수 있으므로 수자원의 질을 저하시킬 수 있으며, 폐수 집수 시스템들에 무리를 줄 수도 있고, 합류식 하수관 월류수(CSOs)에 대한 연방과 주 단위 규정에 대한 준수하지 않거나, 재산피해와 인명 손실의 결과를 낳을 수도 있다. 그림 1은 하천유역과 유역 내 생태계들의 관리, 물 부족 그리고 굶은 날씨의 관리를 위해 이행될 수 있는 지속가능한 주요 수자원 기술들의 예를 보여주고 있다.

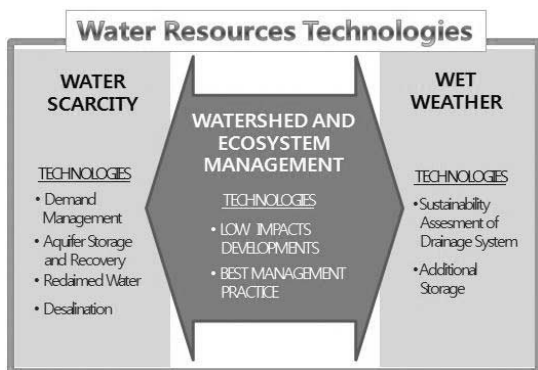


그림 1. 지속가능한 주요 수자원 기술

가. 유역 및 생태계 관리

유역 및 생태계 관리를 위한 기술들은 유량과 수질 개선을 도모하기 위한 표층수와 지하수 공급원을 보호하기 위해 필요한 유역 규모의 접근방식들의 내용을 포함하며, 여기에는 LID(low impact development)기법과 BMPs(최적관리)기법들이 포함된다.

LID 기법은 개발 중인 도시와 유역에서 개발 전과 후의 유량 변화를 유지하거나 향상시키기 위해 설계된 포괄적인 토지 계획 및 설계적 접근방식이다. 대부분의 지자체들은 배수로 조건과 상황을 명시하는 법적 요건들을 가지고 있으며, LID 기법은 이러한 요건들을 충족시키기 위한 많은 수단들을 제공한다.

이러한 제어들은 BMP들의 형태이며, 그것의 수원 근처의 지표 유출수를 침윤시키고, 거르고, 저장하고 증발시키고 그리고 지체시키는 설계 기법들을 이용하

여 어떤 지역의 개발 전 수문특성을 모방하도록 설계된다. BMP들의 실례로는 상시저류연못(retention basin), 홍수기와 갈수기의 일시저류연못(detention pond), 식생습지대(vegetated swale), 빗물저류정원(rain garden), 투수성 포장(porous pavement), 그리고 침투 트렌치(infiltration trenches)를 포함한다.

BMP 기법들은 LID 기술의 구성요소들이며, 그리고 수원에서 유거수를 제어함으로써 유역들의 하류 끝에 위치해 있는 대규모의 배출구 시설들에서 폭우로 인한 물을 관리하고 옮기고 처리하는 비용을 상당히 줄일 수 있다. BMP 기법들은 표층수와 지하수를 포함하여 상수도를 보호하기 위한 도시의 수자원 계획의 일부로서 유역 규모에서 이행될 수도 있다.

나. 물 부족

물 부족 문제들을 다룰 때, 시설들은 전통적인 수원인 강, 대수층(지하수를 함유한 다공질 삼투성의 지층), 호수 및 상수도를 고려해야 한다. 수원이라 함은 보존, 기타 수요 관리 수단, 음용수로 부적당한 물의 재사용 또는 물의 재생(중수도), 마실 수 없는 물의 간접적 재사용, 손상된 물들(소금기가 있는, 더 낮은 품질의, 또는 짠 물들)의 담수화, 인접한 지역사회 간의 물 공유(저수지들 간의 이동), 그리고 상수도의 지표수-지하수를 연계한 이용(conjunctive use)을 포함한다.

물 부족에 대한 지속가능한 계획 기술들은 수요와 공급 측면의 대안적 상수도 전략들의 포트폴리오 개발을 포함해야 하며, 이러한 전략들은 기존 표층수 및 지하수 공급의 효율성을 향상시키거나, 단기저장소와 영구저장소 두가지 모두에 새로운 수원들을 추가함으로써 공급을 증가시키기 위해 이행될 수도 있다. 물 부족 관리를 위한 몇몇 주요한 대표적 기술들은 수요관리, 인공함양회수(Aquifer Storage and Recovery), 하수 처리수 그리고 담수화를 포함한다.

◆ 수요 관리(Demand Management)

수요 관리는 이해당사자들 또는 물 공급자에 의한



보다 효율적인 물 사용에 초점을 맞추므로써 현재 물 공급원의 생산성을 증가시킨다. 수요관리는 가격책정 접근방식들과 기타 다른 비구조적 접근방식들에 의해 영향을 받기 때문에 영구적, 주기적, 또는 임의적인 물 보존 프로그램들을 통해 이행될 수도 있다. 이러한 프로그램들은 누출 관리 시설 그 자체에 의한 운영상의 변화들도 포함한다. 수요관리 계획들은 유량 조절, 물 손실 조절, 생산 및 소비 계량, 공급 대 수요 정책 수립, 보존 가격책정 및 효율 구조 개발, 트레이닝, 대중교육, 그리고 보존과 관련한 규정들의 개발을 포함하고 있다.

◆ 인공함양회수(ASR)

인공함양회수(Aquifer Storage and Recovery)는 다른 수원으로부터 나온 물을 이용해 대수층을 충전함으로써 어떤 대수층 내에서 자연적인 삼출 또는 투과율을 넘어서 총 대수층들로부터 새로운 수원들을 개발하는 기술이며, 통과된 물은 소금기가 있거나 아니면 사용할 수 없는 물을 대체하거나 또는 생산성이 낮은 대수층의 일부를 다시 채운다. 이용 가능할 경우에 물은 대수층에 저장되며 운영을 지원하고 대수층 자체를 보호하기 위해 유사한 품질의 물의 도입을 요구하는 대부분의 주 법규들에 따라 처리된 표층수, 빗물, 또는 하수 처리수를 포함한다. 회수된 물은 대중의 소비, 관개, 표층수 증대 또는 습지 축진을 위해서 이용될 수도 있다. ASR 기술의 장점은 평소에 사용하지 못하거나 증발로 손실될 가능성이 있는 수원을 보존한다는 것이다. 이렇게 나머지 수원을 저장하는 것은 가뭄 기간들 또는 공급이 제한되는 기간 동안에 수자원 공급을 증가할 수 있다.

◆ 하수처리수(Reclaimed Water)

하수 처리는 기후 변화, 지리적 위치, 또는 상수도 상황에 의해 제한을 받지 않는 보편적 해결책이다. 하수 처리수는 최종 사용 목적에 따라 처리 수준이 결정된다. 또한, 하수 처리수는 수자원 함양과 추가 공급을 통한 대안적 물 공급으로서 역할을 한다.

◆ 담수화

담수화란 필요한 수준의 수질을 가지는 물을 생산하기 위해서 바닷물이나 염분이 있는 물과 같은 수원에서 용해된 고체들을 제거하는 과정이다. 다양한 수원에서 용해된 고체들의 총농도(TDS)는 상당히 다양하며, 일반적으로는 1,000 ~ 10,000 mg/L TDS를 포함하고 있는 물은 염수라고 일컬어진다. 대양에 있는 물은 대략 35,000 mg/L TDS를 포함하고 있으며, 반면에 여러 바다들, 강어귀들, 그리고 만에 있는 물의 염도는 10,000 mg/L ~ 50,000 mg/L의 범위이다. 현재 이용되고 있는 담수화 기술들은 크게는 열처리 또는 이온막 교환 방식의 방법으로 분류될 수 있다.

특정 수원의 처리를 위한 기술 선택은 원수의 수질(주로 염도), 수질 처리된 수원의 사용 목적들과 환경적 문제들을 포함한 수많은 요인들에 달려 있다. 다단계류법(MSF), 다중효용 증발방식(MED), 그리고 증기 압축방식과 같은 열처리 과정들은 일반적으로는 물의 증발과 그 결과로 나오는 증기의 응축을 포함한다. 이러한 과정들은 바닷물과 같이 높은 염도의 수원의 담수화를 위해 흔히 이용된다.

이온막 교환방식의 처리는 전기투석법(ED)과 역삼투법(RD)를 포함한다. ED는 이온교환수지와 함께 끼워진 막들을 관통하여 이온들을 밀어낼 수 있는 전기적 잠재능력을 이용하며, 전기투석법(ED)은 또한 바닷물의 담수화를 위해 더 낮은 에너지 소비와 생산 비용 때문에 열처리 방식들보다 점점 더 선호되고 있다. 역삼투 방식은 또한 용해된 유기성 구성물과 비유기성 구성물들 대부분을 제거할 수 있는 능력 때문에 재사용을 위한 도시 오수처리에도 이용된다.

다. 굿은 날씨

굿은 날씨의 강수량을 관리하기 위한 지속가능한 기술들이나 접근방식들은 수원 제어 수단들에 대한 폭넓은 평가를 제공하는 것, 현재 배수 시스템 기반시설과 공급원으로서 처리 및 그 이후의 이용을 위해 여분의 누출수를 수집하기 위해 요구되는 저장 방법이나 지표 유출수 제어 수단들을 추가하는 것에 초점을



맞출 수 있다. 처리되어 재수집된 빗물의 2차적 이용들은 대수층 함양을 통한 환경 복원, 건기 동안에 자연 시스템의 정상적인 흐름을 유지, 친환경적이며 휴양을 즐길 정도의 목적에 부합되는 유량의 증대와 호수 수위를 다시 채우는 것을 가능하게 해준다. 현재의 역동적인 기후 상황이 계속됨에 따라, 증가된 지표 유출수량을 관리하고 대안적 물 공급원으로서 빗물의 잠재성을 활용하기 위해서는 기존의 배수 시스템 기반시설에 대한 적절한 평가와 계획이 매우 중요하다.

라. 배수시스템의 지속가능성 평가

기존의 배수 시스템 기반시설에 대한 적절한 평가는 시스템의 능력(용량)들을 이해하는 것, 증가된 유출수량을 관리하는 것, 그리고 대안적 물 공급원으로서 빗물의 잠재성을 활용하는 것을 포함한다. 시스템의 상태를 알고 있는 것은 성능을 관리하고 최적화하고, 그것의 비용 효율적인 운용을 촉진하며 그리고 생명과 재산에 대한 위험성들을 최소화하기 위한 정보를 제공해준다. 지속가능성 평가는 구체적으로 문제가 있는 지역들에서 저장이나 수송 능력을 증가시키는 것과 같이 특정 지역에 적합한 개선 방법들과 홍수 예방에 있어서 전체적인 개선 기술들을 제공하기 위해서 다양한 기후 상황으로부터 야기될 수 있는 시스템의 제약, 한계성들을 확인해야 한다. 평가는 저렴한 비용 및 수용 가능한 위험성 수준에서 요구되는 서비스를 유지하기 위해 이행 가능한 비용-효과적인 설비개량들을 확인함으로써 현재 시설과 장기적 시설 인프라 프로젝트들을 지원하기 위한 대중의 참여를 촉진해야 한다.

마. 추가 저장 및 수용 시설

초과 유출량을 포함하고 홍수를 예방하기 위해서는 추가적인 저류시설이 필요할 수도 있다. 유역 세계에서 수원의 저장은 인라인(in-line) 또는 오프라인(off-line) 저수지들 모두를 포함하여 표층수 저수지들 그리고 터널들 또는 파이프라인들을 통해서 제공될 수도 있다. 표층수 저수지들은 개발이 제한된 지역들이나 지리적 기복이 있는 지역들에서 적용성이

더 좋을 수도 있다. 터널들은 도시의 다운타운과 도시화된 지역들과 같이 매우 개발된 지역들에 가장 적합하며, 그러한 지역들에서는 표층수 저장을 위해 제한된 공간만 있으며 홍수 범람으로 인해 상당한 재산 피해와 인명 손실을 유발할 잠재성이 있다.

2.2 지속가능성을 달성하기 위한 구체적 방법

지속가능성에 대해서는 당 시대의 수많은 정치 및 열망 수준의 설명들의 토대를 형성하는 세대 간의 약속들로서 종종 묘사되고(Brundtland, 1987) 있으며, 그에 의하면 경제적 그리고 사회적 발달의 결과로서 인간의 환경 및 자연 자원의 악화 결과물들을 중점적으로 다룰 필요가 있음을 설파하였다. 미국 환경보호국(Environmental Protection Agency)은 바람직하지 못한 환경적, 사회적 결과를 최소화하거나 또는 제거하는 동시에 경제적 성장 또는 활력을 지원할 필요성 뿐만 아니라 어떤 지역사회에서의 삶의 질과 관련하여 지속가능성을 설명한다. 지속가능성에 대한 실질적 정의들은 충분한 추진력 또는 확인 및 개선 조치들로 조직의 능력과 효율성을 중점적으로 다룰 수 있는 기능적 적응들과 성과 목표들에 전념해야 한다. 물 공급자들의 역할에 대한 사회적인 그리고 환경적 의식은 역동적이며 가치 중심적이며, 그리고 기반시설과 운영들의 영향이 충분히 완화될 수 있다고 가정한다. 이것은 지속적, 효과적이며 적극적인 대중 참여 접근방식을 필요로 한다. 그리고 그 곳에서 공급자는 이해당사자들이 지원할 수 있고 이슈들, 접근 방식들, 그리고 결과들에 대한 의견일치 관점을 반영하는 프로그램을 요청하고 공동 개발하고 전달한다.

그러므로 지속가능한 물 시스템은 의사결정에서 환경적, 경제적, 그리고 사회적 가치들을 반영한다(3가지 기본 요건). 효과적으로 지속가능한 프로그램들은 지역 사회에서 신뢰성 있고 탄력성 있으며, 기능적이고 비용 효율이 높은, 그리고 순응적 물 시스템들의 건설과 운영을 설명해야 하며, 그것들은 기후 변화와 연관되는 것들처럼 변동성과 위험성을 예측하



고 관리해야 한다. 그것들은 또한 그 지역사회에서 지원 가능한 가격책정 구조 내에서 효과적인 물 시스템을 운영하고 건설하는데 필요한 재정적 제약들도 또한 다루어야 한다.

가. 지속가능성 성취 방법

지속가능성은 대규모 물 시스템 운영의 기업운영 측면들과 환경 사이의 거래를 요구하는 것이 아니라, 오히려 그것들 사이에 발생해야 하는 시너지 효과를 필요로 하며, 보다 지속가능한 접근방식으로 물 공급자들을 유도하기 위한 현재의 이니셔티브들은 그 범위가 전문가들, 산업계 및 특별한 이익 단체들을 포함할 정도로 다양하다.

나. 지속가능성 성취 단계

어떤 효과적인 지속가능성 프로그램의 장기적인 이행을 지원하기 위해서는 최고 결정권자와 이사회 참여로 시작해서 어떤 조직의 전체를 수직적으로 통틀어서 강력하고 적극적으로 참가하도록 만드는 리더십이 필수적이라는 것이 인정된다. 전체적인 전략적 프로그램은 신뢰성과 그리고 환경적으로 민감한 프로젝트들과 다양한 프로그램들을 지원해야 한다. 위험성들, 투자에 대한 수익, 그리고 비용 관리를 고려함으로써, 공급자는 소비자들을 위한 가치를 창조할 수 있으며 더 많은 신뢰를 구축할 수 있다. 이러한 초기 단계는 때로는 “옛것들을 새로운 방식으로(old things in new ways)”라고 볼 수 있으며, 생태-효율은 사회적 진술일 뿐만 아니라 고객들과 공급자 조직에게 실질적인 경제적 가치를 가지고 있다는 것을 확인한다.

이러한 성공들이 제도화될 때, 물 공급자도 또한 “옛것들을 새로운 방식으로”를 하는 것을 고려할 수 있다. 이러한 것들은 계획된 간접적인 음용수의 재생 프로그램들, 지역적인 물 공유 및 농업용수 이전 프로그램들 또는 도시 사용에는 부적합하다고 간주되었던 최저 수질을 처리하기 위해 막 및 생물반응장치의 사용 등을 포함할 수 있다. 보다 계획적인 수준에서, 물 공급자는 그런 다음 전통적으로는 독립적으로

작용해온 지역사회, 규제기관들, 그리고 다른 기타의 단체들과 함께 핵심적인 비즈니스 모델들의 변형과 목적의 통합에 의해 발생하는 잠재적인 가치를 고려할 수 있다. 물 부족, 제한된 재정적 자원, 규모의 경제들, 그리고 환경을 포함한 공익의 지방 분권화된 관리는 물 산업(수도 산업)의 근본적인 재배열을 필요로 한다는 것은 당연하다.

다. 지속가능성 성취 사례

지속가능성을 성취하기 위한 접근방식들은 최근 미국의 행정 명령들(E.O. 13423- 연방의 환경적, 에너지, 그리고 운송 관리(2007.01.25), E.O. 13514 - 환경적, 에너지, 그리고 경제적 실행에서 리더십(2009.10.08)은 연방 시설들과 운영들의 자원이 차지하는 공간을 관리하고 줄이기 위한 구체적인 목표들을 설정했다. 이러한 행정명령들은 연방기관들이 에너지 효율성을 높이고, 연료 소비를 줄이고, 물을 보존하고, 물 소비를 줄이고, 지속가능한 지역사회들을 지원하며, 그리고 환경적으로 책임 있는 제품들과 기술들을 촉진하기 위해 상품과 서비스 부문에서 연간 5천 달러 이상의 연방 구매에 차입 자본을 이용하도록 하는 목표들을 설명한다. 온실가스 방출량의 감축은 이제 연방차원의 우선사항이며 비용 효율성이 높은 프로젝트들과 프로그램들을 확인하는 지속가능성 계획들의 개발을 통해 성취될 것이다. 연방 프로그램들의 에너지, 물, 그리고 쓰레기 감축 목표들은 다음을 포함한다.

- 2020년까지 차량용 연료부문에 30% 감축
- 2020년까지 물 효율성에서 26% 개선
- 2015년까지 50% 재활용 및 쓰레기 전환
- 모든 적용 가능한 계약들의 95%는 지속가능성 요건들을 충족
- 2030 넷 제로-에너지 빌딩(net zero-energy building)요건의 이행,
- 2007 에너지 독립 및 안보 법(Energy Independence and Security Act, 2007)의 홍수관련 조항들 이행



- HUD 및 USEPA에 의해서 개발된 거주성 원칙들(Livability Principles)과 제휴하는 지속가능한 연방 건물 위치들을 위한 지침

각각의 연방 기관은 투자에 대한 라이프-사이클 수익에 바탕을 둔 조치들을 확인하고 우선순위를 정하는 통합된 ‘지속가능성 시행 계획(Sustainability Performance Plan)’ 을 개발하고 있다.

2.3 고립된 지역사회에 음용수를 공급하는 방법

가. 푸에르토리코의 사례

1991년과 1995년 사이에, 남미에서는 1백만 명 이상의 사람들이 콜레라와 접촉했으며 대략 11,000명의 사람들이 그것 때문에 사망했다. 왜 그러한 질병 사고가 전염병으로 발전했는가? 범 미주 보건 기구(Pan-American Health Organization)의 결정대로 그 이유는 폐수처리장이 소독을 제공하지 않았거나 또는 염소와 같은 소독제들이 매우 적게 적용되었다는 것이었다. 적절한 소독이 이루어지자마자 그 전염병은 통제되었다. 푸에르토리코에는 상하수도 당국(Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority)에 의한 서비스를 받을 수 없는 고립된 지역사회들 때문에 21세기 동안에도 콜레라 발병 또는 다른 수인성 질병의 발병의 위험성이 상당히 높다. 이러한 지역사회들 대부분은 충분한 하수 처리 시설들이 없다.

푸에르토리코 전역에서 252개의 지역사회들이 여과과정 및 소독이 매우 부족한 제대로 발달하지 못한 시스템으로부터 식수를 얻고 있다. 푸에르토리코 보건당국으로부터 나온 최근의 통계수치들에 따르면, 고립된 지역사회들 중 95%는 식수 안전 법(Safe Drinking Water Act)을 상당히 위반하고 있다. 미국 환경보호국 조사원들은 많은 지역사회들이 소독을 제공하지 않는다는 것을 알아냈다.

푸에르토리코 인구 중 단지 60%만이 위생적인 하수도 서비스를 받고 있다. 나머지 인구로부터 나오는 하수 오염은 강과 같은 지류로 직접 버려지거나 또는

부적절하게 만들어지고 운영되는 정화조에 의해서 처리된다. 정화조들의 대부분은 강과 냇물들로 이어지는 측관(側管)들을 가지고 있다. 내륙의 냇물들은 매우 제한된 자정능력을 가지고 있기 때문에 상황은 더욱 악화된다. 예를 들어, 푸에르토리코에서 가장 많은 유량을 가지고 있는 강인 Rio Grande de Loiza River는 베네수엘라의 Orinoco River 또는 미국 내륙의 Mississippi River에 비하면 셋강에 불과하다. 분명히, 과도한 오염부하 때문에 그리고 푸에르토리코의 강들과 냇물들의 제한된 자정능력 때문에, 식수를 만들기 위한 원수의 수질이 매우 빈약하다.

나. 음용수 문제 해결 과정

이러한 문제들을 다루기 위해서 미국 환경보호국(USEPA), 푸에르토리코 보건당국(PRDOH) 그리고 푸에르토리코의 제약 산업 분야(Pharmaceutical Industry Sector of Puerto Rico)는 1992년에 깨끗한 물을 위한 파트너십(Partnership for Pure Waters)을 체결했으며 2006년까지 지속되었다. 이 기간 동안에 60만 달러가 하수 처리 시스템의 개선을 위해 투자되었고 148개 지역사회들에게 기본적 염소 처리가 제공되었다. 1997년 이후로, 미국 환경보호국(USEPA)은 푸에르토리코 보건당국(PRDOH)에게 ‘Safe Drinking Water Act Revolving Funds’를 제공해오고 있다. 그 보건국은 이러한 몇몇 지역사회들을 PRASA 식수 시스템으로 연결하기 위해 이 기금 중 일부를 사용해오고 있다. 게다가 푸에르토리코 보건당국(PRDOH)은 지역사회 대표들에게 물 처리 시스템을 운영하는 방법을 교육하기 위해서 이러한 기금들 중 일부를 사용했다.

푸에르토리코의 ‘Interamerican University’ 대학교는 물 처리 시스템의 운영과 유지에 지역사회 대표들을 교육했으며, 그들에게 운영자 자격증을 준비시켜 주고 있다. 대부분의 지역사회 대표들은 자격증을 획득했다.

미국 환경보호국(USEPA)은 처벌 대신에 ‘Clean Water Act’ 법의 위반들에 대한 집행 사례들에서



'Supplemental Environmental Projects'를 협상했다. 그 기금들은 6개의 지역사회들을 PRASA 시스템에 연결하기 위해 그리고 18개의 지역사회 시스템들에서 기본적인 염소처리를 설치하기 위해서 사용되었다.

그러나 고립된 지역사회들의 노력은 문제를 해결하기에 충분하지 않다. 연방 정부, 독립과도정부, 지자체들, 학계 그리고 민간 부문의 노력들을 통합할 통일성 있는 프로그램을 개발하고 이행하는 것이 필요하며, 이러한 노력들을 성공적으로 귀결시키기 위해서 경제·기술 지원만으로는 충분하지 않기 때문에 매우 강력한 사회적 구성 장치들을 필요로 한다.

다. 실제적 권고사항

다음 권고사항들을 이행하는 것은 섬처럼 고립된 지역사회의 보건상태를 매우 향상시킬 수 있을 것이다.

1. 안전한 식수와 위생의 필요성에 대해 지역사회들을 교육하기
2. 푸에르토리코 토지 사용 계획(Land Use Plan for Puerto Rico)을 채택하고 이행하기
3. 무허가 주택을 최소화하기 위해 가난한 사람들에게 충분한 주택을 제공하기
4. 기술적으로 그리고 경제적으로 실행 가능한 지역사회들(모든 지역사회들 중 50%)을 PRASA 물 공급 시스템 안에 통합하기
5. 고립된 지역사회들을 위해 'Safe Drinking Water Act' 회전 자금 내에 의무적인 예비 기금 마련하기
6. 지역사회들이 연방 보조금을 받을 수 있도록 지역사회들을 조직하고 통합하기
7. 물 처리 시스템의 운영 및 유지에 대해 지역사회 대표들을 교육하기
8. 물 처리 시스템들과 관련하여 지역사회들을 지속적으로 지원하기 위해 관할구역 순회 시스템 마련하기
9. PRASA에 연결될 수 없는 지역사회들을 위해 적절한 기술(낮은 비용, 쉬운 유지보수) 개발하기

10. 안전한 식수, 하수구 설비 그리고 위생을 위해 사회 마케팅 시행하기

2.4 열대 도서유역의 해양생태계 보호 방법

해양 생물이 다양한 인도-태평양의 중심과 가깝기 때문에, 괌과 북 마리아나 제도 연방(Commonwealth of the Northern Marianas Islands)에 있는 산호초 환경은 미국의 관할구역들 중에서 가장 풍요로운 생태계들 중 일부를 가지고 있다. 그러나 산호초 생태계에 미치는 섬 개발 정책의 부정적인 영향은 이미 명백하게 알려져 있다. 홍수와 건설 활동들로부터 나오는 오염, 노화되고 있는 인프라들의 문제(예, 하수도 범람), 남획, 그리고 지나친 여가활동은 모래톱 침전, 과도한 해조류 성장, 산호 탈색현상(coral bleaching), 그리고 산호 질병에 일조했다. 그 결과는 산호초 생태계의 건강에 상당한 쇠퇴를 초래하였다. 해양야생자원국 괌 지부(Guam Division of Aquatic and Wildlife Resources)에 따르면, 산호초와 연관되는 어류 개체수가 1987년부터 2002년까지 70% 감소했다.

미군기지의 통폐합(BRAC) 활동들의 일환으로, 괌은 약 4만 명의 군인과 그들의 가족들 그리고 향후 몇 년에 걸쳐서 추가적으로 2만 명의 민간인들을 받을 것으로 예상하고 있으며, 이것은 현재 기존의 인구보다 약 30%가 늘어나는 것이다. 이 재배치의 결과로서, 그 섬은 매우 짧은 기간에 걸쳐서 급속한 발전을 겪을 것이다. 미래에 섬 내륙에서 나오는 오염원들로부터 민감한 산호초 생태계를 더 잘 보호하기 위해서, 미국 유역보전 센터(Center for Watershed Protection)와 'Horsley Witten Group'은 열대 기후에서 적절하게 이용 가능한 혁신적이고, 섬과 관련하여 향상된 BMP 관리 방법들을 설계하고 확립하는데 대한 지침을 마련하기 위해 '괌 해안관리 프로그램(Guam Coastal Management Program)', '괌 환경 보호국(Guam Environmental Protection Agency)', 그리고 '국립 해양 대기청의 산호 프로그램(National Oceanic and Atmospheric Administration Coral Program)' 과 함께 공조했다.



섬들은 지역 재료들의 제한된 이용 가능성, 열대성 강우 패턴, 습윤 계절 및 건조한 계절, 그리고 토양의 기초가 되는 석회암과 화산암 때문에 홍수 BMP 설계에는 도전적인 환경이다. 섬의 내륙이 개발되면서 산호초 생태계를 보존하도록 도울 수 있는 BMP 설계 기법들을 증진하는 것이 가장 중요하다. 이것은 해당되는 오염원들(침전물, 영양, 박테리아, 온도)을 중점적으로 다루고 가까운 연안 환경과 그 지류들에서 방출되는 오염물질들의 양과 질을 조절하는 것을 포함한다.

가. 세부 설계 기법

새로운 BMP 기법들은 다음과 같다. (1)다중-셀 저류지(multi-cell ponding basin), (2)섬 생태저류지(bioretention), (3)투수성 주차장, 그리고 (4)빗물 집수. 새로운 설계 기법들은 BMP 실행 가능성, 시설물의 규격 계산, 설계 과정들, 재료들, 건설 지침, 조정, 유지보수, 그리고 표준 세부사항들에 대한 정보를 포함한다.

현재 그 섬에서 범용되고 있는 설계 BMP 기법들은 주로 물을 침윤시키기 위해 설계된 대규모의 배출구 상시 저류지이다. 빗물이 지하의 식수원으로 급속히 침윤됨에도 불구하고 이러한 기법들 중에서 사전처리를 염두에 두고 설계된 것들은 거의 없다. 이러한 저류지 중 다수가 섬의 침윤 및 수질 기준을 충족시키지 못할 수도 있다. 이 과정의 초기에, 그 프로젝트 팀은 부지 계획과 계획 평가에 적극적인 설계 전문가들, 건축가들, 그리고 기술자들을 포함하는 설계 팀을 도와주었다. 그 팀의 목적은 아이디어들을 찾아서 괄에 사용하기에 가장 적절한 BMP들에 투입하는 것이었다. 그 팀으로부터 나온 피드백은 네 가지 BMP 세부 기법들의 개발을 촉진하기 위해서 사용되었다. 이러한 세부 기법들과 자료들이 그 매뉴얼에 통합될 것으로 예상되며, 설계 기법들은 매뉴얼과 그리고 침식 제어 규정들에 대한 괄이 제안한 개정안들에 있는 건설 후 빗물 기준들을 지원할 것이다.

아래에 있는 각각의 섹션은 전형적인 세부 설계 기법의 사례들과 더불어 그 시행 방법, 그리고 섬에 적

합하게 변형된 사항들을 간략하게 설명한다.

◆ 다중 셀 저류지(Multi-Cell Ponding Basin)

이 설계기법은 매뉴얼 상의 수질 요건들을 충족시키기 위해서 CNMI 및 괄의 석회암 지역들에서 가장 흔하게 이용되는 홍수 대책 상황에 맞게 변경한다(그림 2 참조). 변형 방법들은 요구되는 모든 시설물 규격 기준들을 관리하기 위해 다중-셀들을 짜 넣는 것을 포함한다. 석회암에 만들어진 저류지는 일반적으로는 (막힘이 발생할 때까지)함양을 제공하고 대규모의 폭우에 대해 지표 유출수량을 조절하지만, 반면에 수질 처리를 할 수 없으며, 매뉴얼의 요건들 하에서는 독립 시스템으로 인정되지 않는다. 그러나 이 시스템에 사전 처리와 필터를 추가함으로써 모든 요건들이 충족될 수 있다.

이 시스템은 모든 홍수 관리 목표들을 충족시키기 위해 침윤뿐만 아니라 생태저류지의 개념들을 조합한다(그림 3 참조). 다중 셀들이 다른 개발 현장들에 맞게 다양한 기하학적 모양으로 설계될 수 있기 때문에 다중-셀 저류지들은 매우 다방면으로 용도가 넓다. 배수 지역이 최대 약 10 에이커로 제한되는 한, 이 시스템은 일반적으로 대부분의 내륙 사용에 적합하다.



그림 2. 취수지를 가진 괄의 실제 저류지 사례

◆ 섬 생태 저류지(Island Bio-Retention)

생태저류지는 미국 대서양 중부 본토에서 개발되었으며 원래는 숲 생태계의 오염원 제거 메커니즘을 재현하기 위해서 설계되었다. 그 때 이후로, 이 개념

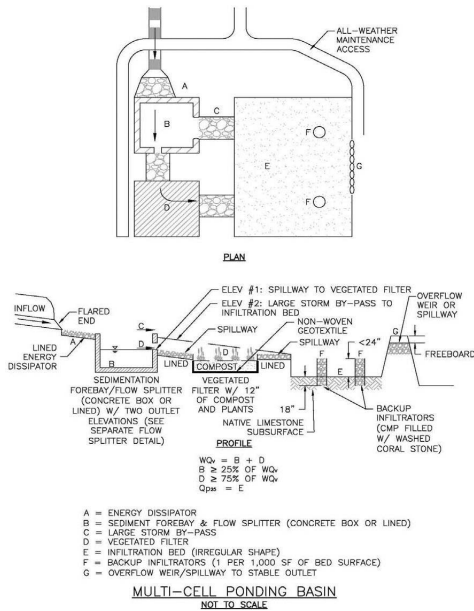


그림 3. 다중 셀 저류지의 평면도 및 단면도

은 다른 지역들과 기후들에 적합하게 변경되었다.

이 설계 기법은 상지저류녹지의 개념을 광의 열대성 섬 환경에 적절하게 변경하였다. 변형 방법들은 이용할 수 없고 수입하기에는 비싼 여과상 재료들에 대해서 현지 재료들로 대체하는 것, 습윤 및 건조한 기후를 반영하기 위해 설계 기법을 변경하는 것, 그리고 지역적으로 이용 가능한 식물 재료들을 사용하도록 명시하는 것을 포함한다(그림 4 참조).

“섬 생태저류지”에 대한 기본적인 설계 변경 기법들이 있다. (1)침투 설계 : 토양 시험 결과 적절한 침투율, 비교적 낮은 지하수면, 지하수 오염의 낮은 위



그림 4. 광의 산호석 필터 사례

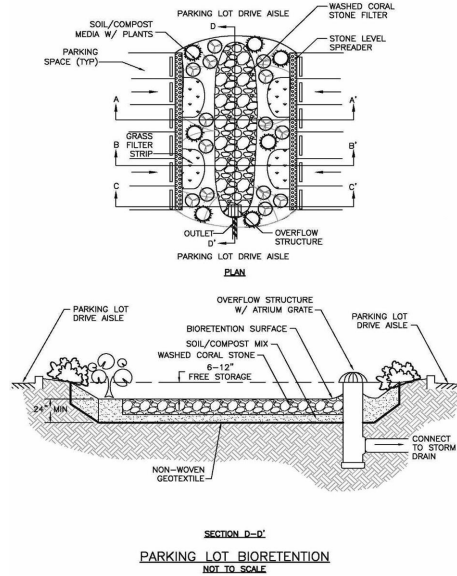


그림 5. 섬 생태저류지 침투구조물의 평면·단면 설계도 사례

험성이 나오는 지역들에 대해서는 암거배수가 없는 설계 기법이다. 그림 5는 그러한 표준 세부사항들의 사례를 제공한다, 그리고 (2)여과 설계 : 해당 지역의 토양이 쉽게 스며들지 않는 지역들(시간당 0.5인치 이하)에는 암거배수가 있는 설계 기법. 이러한 설계 방법들은 특히 건기 동안에는 암거 파이프 밑에 오수를 모으는 돌 웅덩이를 제공함으로써 여전히 어느 정도의 침투 수준을 구체화한다.

◆ 투수성 주차장과 보도(Permeable Parking & Walkways)

투수성 주차장과 보도들은 전통적으로 포장된 도로의 대안들이며 홍수 유출수가 포장 표면에 있는 공극들을 통해 하부 지반층으로 침투되기도 하며, 일시적으로 저장되거나 스며든다(그림 6 참조). 모든 투수성 포장들은 유사한 구조를 가지고 있으며, 표면 포장 층, 기반 층, 하부 지반층, 여과 층 그리고 맨 밑에 설치된 토목 섬유로 구성된다. 비록 침투 가능한 다양한 포장 재료들이 이용 가능하지만, 이 설계 기법은 투수성 고풍 콘크리트 포장재들(permeable interlocking concrete pavers (PICP))과 콘크리트 그리드 포장재

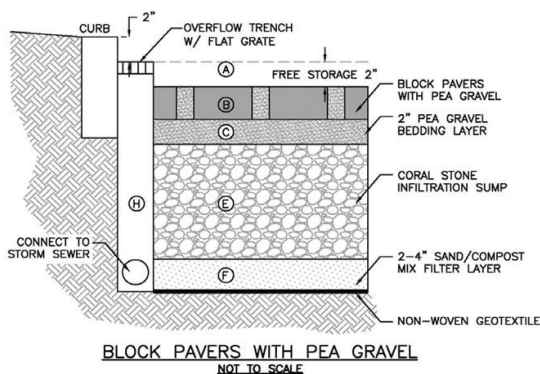


그림 6. PICP 투수 구조물 설계 횡단면도



그림 7. CNMI의 투수성 주차장 사례

들(concrete grid pavers (CGP))의 사용에 초점을 맞추며 광에서 흔히 볼 수 있다(그림 7 참조).

하부 지반층의 두께는 구조 및 수문설계 해석을 통해 결정된다. 이 층은 빗물을 잡아두는 역할을 하며 또한 포장에 대한 설계 교통하중(traffic loads)을 지탱한다. 섬 생태저류지 와 마찬가지로 투수성 주차장과 보도들에도 두 가지 기본적인 변경 방법들이 있다 - 침투 설계와 여과 설계. 발생하는 홍수량을 줄이고 지하수 함양을 촉진하기 위해 이러한 유형의 시스템이 CNMI, 광 그리고 다른 기타의 열대성 지역들에 권고된다. 이러한 설계 기법들의 시행은 또한 홍수가 토양/배합토 혼합 층을 통과하여 여과되기 때문에 어느 정도 수질 측면의 이점도 제공해준다.

◆ 빗물 집수(Rainwater Harvesting)

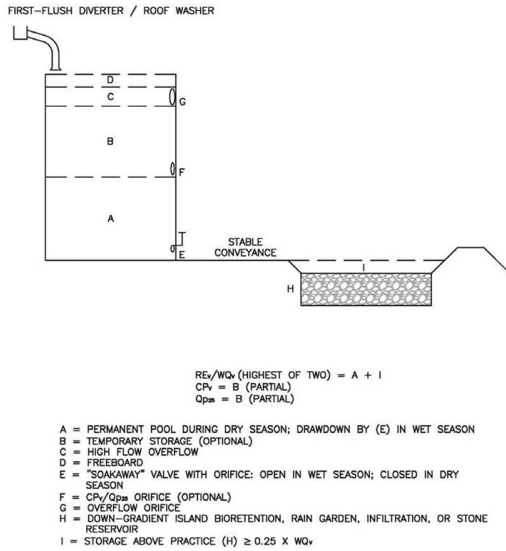
빗물 집수 시스템은 장래에 사용하기 위해서 빗물을 가로막고, 전용하여 저장한다(그림 8 참조). 지붕으로 떨어지는 빗물은 집수되어 음용 불가능한 물의



그림 8. 광의 빗물 집수시설 사례

재사용을 위해 그리고 해당 지역의 빗물 침투에 사용될 수 있는 지상 또는 지하의 저장 탱크로 보내진다. 빗물의 비음용 용도들은 지역 당국에 의해 승인된다면 건물 안에 있는 대소변기의 세척, 조정 관개, 실외 세척(자동차 세차, 건물 정면, 보도, 도로 청소, 소방차, 등등), 스프링클러 시스템, 냉수 냉각탑에 공급, 먼지 제어, 인공폭포와 분수를 다시 채우고 운영, 세탁 등을 포함할 수 있다.

특정한 경우에 있어서 만약 규제 당국에 의해 적절하게 승인된다면 집수된 빗물은 소규모의 음용 가능한 물 공급에 사용될 수도 있다. 물을 음용 가능한 기준들에 맞게 처리하는 적절한 처리 시스템들이 빗물 시스템 구성요소에 추가될 필요가 있을 것이다. 많은 열대 지역들은 빗물 집수의 역사적 그리고 문화적 전통들을 가지고 있다. 그러므로 현재 세부 설계 방법은 그 관습을 부활시키고 그것을 빗물 관리에 맞게 특별히 변형하기 위한 시도이다. 이러한 유형의 시스템은 CNMI, 광, 그리고 다른 열대성 환경들에 추천되며, 그 목적은 (1)발생되는 빗물의 양을 줄이기 위해 그리고 (2)음용 가능한 물 공급에 대한 부담을 경감시키기 위해서이다. 이것은 부분적으로는 광 북부의 대수층 지역에 적절하며, 해당 지역의 증가되고 있는 수자원 수요를 고려할 때 지하수 함양과 빗물을 감소시키는 것이 중요한 목표들이다. 빗물 집수(그림 9 참조)는 우기 동안에는 탱크를 배수하도록 돕기 위해 'soakaway' 밸브를 추가함으로써, 또는 그 빗물의 실내 및 실외 용도들을 조정함으로써 습윤 계절과 건기 계절 상황에 맞게 변형될 수도 있다.



RAINWATER HARVESTING
NOT TO SCALE

그림 9. "섬" 빗물집수시스템 일반 설치도

2.5 파나마 운하 유역의 실험

가. Agua Salud Project

Agua Salud Project(프로젝트)(그림 10 참조)는 운하 중심부의 경관에 초점을 맞추고 있으며, 그 곳에서는 생태계 서비스들, 경제적 소요 비용의 수많은 근본적인 측면들이 경관 규모의 연구들을 이용하여 엄격하게 정량화될 수 있다 - 수문 순환 과정들, 탄소 순환, 생태계 다양성, 지역 경제, 생태관광, 그리고 글로벌 무역 및 투자에 미치는 영향. 그 지역은 보호되어 잘 발달된 숲들과 그리고 파나마 국부 지역에 전형적인 다양한 토지 이용들을 모두 포함하고 있다. 이 프로젝트는 비슷한 특성의 산림 관리, 수문학-생물지구화학, 과거, 현재, 미래의 조건들에 적합하도록 엄격하게 모형화 될 수 있고, 사용 가능한 데이터를 이용하여 그 운하 유역 전체에 포함시킬 수 있는 과정들을 충분히 자세하게 설명하려고 추구하는 생태계-서비스 경제 이니셔티브들을 포함한다. 이러한 접근방식이 임의 시스템의 새로운 상황들에 대한 예측을 할 수 있을 것이며, 운하 유역 전체에 적용되어

야 한다고 기대한다. 동시에, 우리는 파나마 운하 유역, 파나마 국가, 그리고 세계적으로 생태계와 경제에 미치는 예측들의 영향에 대해서 질문한다. 한 가지 중요한 초점은 나무들을 키우는 것과 그리고 그 나무들에 의한 물 소비 사이의 균형에 있다.

이 프로젝트는 현재 HSBC 기후변화 공동협력프로그램(HSBC Climate Partnership)에 의해 자금이 지원되고 있으며 파나마 운하 관리청과 밀접하게 협력하여 '스미소니언 열대림 연구소(Smithsonian Tropical Research Institute(STRI))'에 의해 운영되고 있다, 그것은 재식림의 상당 부분과 그리고 일부 기상 연구, 그리고 파나마 환경청(Panama Environmental Authority (ANAM))에 자금을 지원해 왔다.

우리는 이 프로젝트의 처리 효과, 단기적 또는 장기적인 기후 변동성의 영향을 구별하는데 도움이 되는 네 가지 양상의 재식림 공정들과 세 가지 유형의 조절 방법들을 포함하는 저수지 규모의 실험들을 수행하고 있다. 우리는 다음과 같은 질문들을 한다, (1) 경관의 조정과 탄소 저장, 수질 및 수량, 건기의 물 공급, 그리고 생태계 다양성과 같은 관리 접근방식들이 어떻게 생태계 서비스들과 비용에 영향을 미치는가? (2)재식림 기간 동안에 생태계 서비스들 및 경제적 비용과 더불어 숲 만들기를 최적화하기 위한 관리 기법들이 설계될 수 있는가? (3)다른 식림 처리들과 경관 관리 접근방식들이 건기의 물 흐름을 유지하는데 매우 중요하다고 간주되고 그러므로 건기 동안에 운하

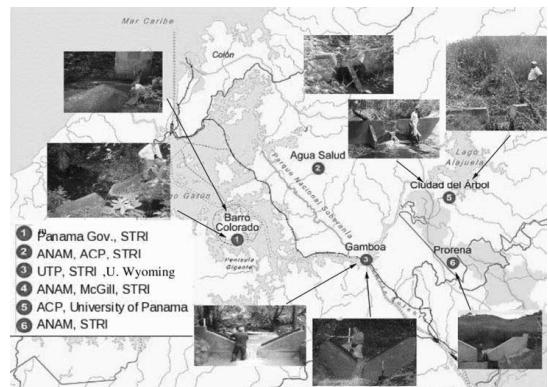


그림 10. 파나마 운하 유역의 주요 모니터링 지역



의 완전한 작동을 보증하는 지하수 저장에 영향을 미치는가? (4)이러한 관점에서 불어란 도구의 생물학적, 수문학적 그리고 생물지구화학적 역할들은 무엇인가? (5)우리가 전통적인 관리를 넘어서 요구되는 생태계 서비스들을 촉진할 수 있는 처리 접근방식을 확인할 수 있는가? (6)다양한 주요 토지 피복들, 수면 피복들, 그리고 유역 전체의 토지 사용들에 대해서 물과 탄소가 어떻게 처리되는가? 그리고 운하 전체의 규모에서 운영상의 생태계 서비스들과 소요 비용들은 무엇이며, 이것들은 그 운하 유역 내의 인구, 운하의 지역적인, 또한 글로벌적인 운영, 그리고 파나마의 지역적 그리고 국가적 경제와 어떻게 관련되는가?

나. Agua Salud Project 실험 방법

파나마 운하 유역은 3,313km²에 달하므로 유역 전체에 걸쳐 모든 토지 피복을 자세하게 조사할 수는 없다. 1905년에 강우량과 하천유량을 측정하고, 1934년에 현재의 운하 유역 상류의 상당수 하천 관측이 완료되었다. 나머지 하천 관측 네트워크는 1947년 완료되었으며 강우 측정 네트워크가 1965년에 18개 지역에 추가되었다. 지금의 운하 유역 전체는 30개의 하천 관측소, 10개의 호수 관측소, 70개 이상의 강우 관측소, 20개의 완전한 기상 관측소들, 그리고 기상 레이더와 함께 하루에 두 번 기상관측 기구를 포함한 수문학적 모니터링 관측소들로 구성된 네트워크에 포함되어 있다. 고품질의 지형조사 데이터가 다양한 출처들로부터 활용할 수 있는데, 최소 식별거리 30m에서 운하 유역 내 토지 피복에 대한 정기적인 평가가 1년에 한 번 꼴로 파나마운하 관리청에 의해서 만들어지고 있다.

파나마 운하 유역의 식물 및 동물의 생태계 다양성은 STRI를 포함하여 다양한 환경 조직들에 의해서 특징이 밝혀져 왔다. 미국 국제개발부(AID)가 산림벌채 및 도시화의 영향을 모니터링 하는 것에 초점을 두고 파나마 정부 운하 유역에서 환경 모니터링 프로그램인 'Canal Basin Monitoring Project (PMCC)' 를 설치하도록 돕기 위해 1996년 STRI에 자금을 지원했다.

두 가지 유형의 현장 대 지역 스케일링 비교가 이

행될 것이다. 하나는 수문학적 네트워크를 통해서 이루어질 것이며, 조그만 저수지 규모 연구들부터 시작해 데이터가 풍부한 소유역들 그리고 운하 전체 대유역 까지 이를 것이다. 나머지 다른 하나는 토양과 식생에 대한 소규모의 토질 예비 조사부터 파나마 전역을 횡단하는 규모로 이용 가능한 조사 및 원격 탐사를 이용할 것이다. 업-스케일링(up-scaling)은 실질적인 방식으로 영향을 주지 않고 구분되어 연결되는 '물리학 기반의' 수문학적 모형을 필요로 한다. 각 섹터들은 현장 관측과 실험을 통한 세심한 특징화에 바탕을 둔 물리학적 특성, 생물학적 특성, 그리고 화학적 특성을 엄격하게 나타내려고 노력한다.

다. 실험 결과

2007년 11월부터 현재까지, 파나마 운하 유역에 15만 그루 이상의 나무들을 심었으며, 2차 천이 예비조사의 25년 차이에 의한 연대성토양연속계(chronosequence)에 1080.1 헥타르 규모의 예비조사들을 조사하고 설명했다. 수문 순환을 위해, 제방이 있는 12개 저수지들로 구성된 네트워크를 가지고 있으며, 또한 한 개의 강우 측정 네트워크, 두 개의 에디 공분산 방법을 이용한 플럭스 관측 기동들, 한 개는 숲에 그리고 나머지 한 개는 토착종 식림지에, 한 개의 지표면 에너지-균형 스테이션(surface energy-balance station), 그리고 지하수 모니터링을 위한 10개의 천부 지하수를 가지고 있다. 화학적 수문학(hydrochemistry) 현상을 고찰하기 위해 우리는 자동화된 시료 채취 장치를 사용하여 하천 유량, 빗물, 수관통과우량, 지표수, 그리고 지하수의 견본을 추출하고 있다. 2010년에 화학수문학 연구실이 완성되었으며, Agua Salud 조사 프로그램은 완벽하게 가동되고 있다. 마지막으로 탄소 모델링, 생태계 다양성 모니터링, 미생물 생물학, 그리고 생태계 서비스의 연구들을 하고 있는 기타 여러 연구 단체들의 관심을 끌고 있다.

현재까지 완료된 연구들은 수관통과우량 연구들과 토양 분석, 108개의 2차 천이 예비조사들에서 25년 차이에 의한 연대성토양연속계(chronosequence),




그리고 Lidar 측량을 위한 항공측량들을 포함한다. 진행 중인 연구는 지상 및 지하 탄소 분석, 모든 수문 순환, 그리고 기상학상의 변수들에 대한 모니터링, 그리고 전기 비저항 토모그래피(electrical resistivity tomography)를 이용해 언덕 경사지 규모에서의 얇은 저류 흐름에 대한 관찰뿐만 아니라 추적물질들을 이용한 추적자 연구들을 포함한다.

3. 결론

본 연구에서는 열대성 기후 변화에 따른 수문특성을 해외 사례를 통해 심층 고찰을 함으로서, 향후 국내 기후변화에 적절히 대비할 수 있는 정책 방향과 기술 개발 및 사회·경제적 해법을 모색하고자 하였다.

1. 기후 변화에도 계속적으로 안정된 수량을 확보하기 위해 여러 수자원 기술들이 필요하다. 이를 위해서 1) 적절한 유역 및 생태계 관리를 위한 LID 기법과 BMPs 기법의 조합, 2) 물 부족 문제를 해결하기 위해서는 수요관리기법(Demand Management), 인공함양회수(ASR), 하수처리수(Reclaimed Water), 담수화 등과 같은 고도의 기술이 필요하며, 3) 우기가 계속되는 곳은 날씨의 강수량 관리기법, 4) 배수시스템의 지속가능성 평가, 5) 추가 저장 및 수용 시설 기술 개발 등의 기술이 필요하다.
2. 지속가능성을 달성하기 위한 구체화된 방법은 해외 미국의 사례들을 통하여 성취 방법, 성취 단계, 성취 실례를 구체화할 수 있으며, 지속가능성에 대한 원칙과 개념들을 적용한다면 수자원 공급자들이 불확실하고 위험성이 많은 미래

에도 신뢰성, 안전성, 효과적인 수자원 서비스들을 계속적으로 제공할 수 있는 도구와 경로들을 마련할 수 있다.

3. 고립된 지역 사회에 음용수를 공급하는 방법으로 푸에르토리코의 사례를 경험함으로써, 1)안전한 식수와 위생의 필요성에 대해 지역사회 교육, 2)푸에르토리코 토지사용계획을 채택하고 이행, 3)무허가 주택을 최소화하기 위해 가난한 사람들에게 충분한 주택 공급, 4)경제·기술적으로 실행 가능한 지역사회들을 PRASA 물 공급 시스템 안에 통합, 5)고립된 지역사회들을 위한 “Safe Drinking Water Act” 회전 자금 내에 의무적인 예비 기금 마련, 6)지역 사회들이 연방 보조금을 받을 수 있도록 지역사회 대표들을 교육, 7)물 처리 시스템의 운영 및 유지에 대해 지역사회 대표들을 교육, 8)물 처리 시스템들과 관련한 지역사회들을 지속적인 지원을 위해 관찰구역 순회 시스템 마련, 9)PRASA에 연결될 수 없는 지역사회들을 위한 적절한 기술의 개발, 10)안전한 식수, 하수구 설비 및 위생을 위한 사회 마케팅 시행
4. 열대 도서 유역의 해양생태계 보호 방법으로 1) 다중-셀 저류지(multi-cell ponding basin), 2)섬 생태저류지(bioretenion), 3)투수성 주차장, 4)빗물 집수 등이 있다.
5. Agua Salud Project 실험을 통하여 파나마 운하 유역의 수리·수문 특성 조사, 생태계 다양성 모니터링을 통하여 유역 내 수자원 지속가능성에 대한 장기적인 계획을 수립하여 결과를 도출하고 있으며, Agua Salud Project 실험은 유사한 환경에 처해 있는 해외 나라들에게 있어서 좋은 롤-모델이 될 것이라고 판단한다. 

참고문헌

1. Center for Watershed Protection(2010), Island Stormwater Practice Design Specifications.
2. AWRA(2010), Panama Canal Watershed Experiment – Agua Salud Project.
3. AWRA(2010), Tropical Hydrology and Sustainable Water Resources in a Changing Climate.