

외국의 물관리 현황검토 및 국내 적용방안 연구(1)

- 미국에 물관리 조직 및 운영시스템 -



안재현 |

서경대학교 토목공학과 조교수
wrr@skuniv.ac.kr

1. 서론

본 고에서는 외국의 물관리 현황을 검토 및 정리하고 이를 국내에 적용할 수 있는 방안에 대해 기술하였다. 특히, 미국의 사례를 중심으로 검토하였으며, 물 관리에 관한 하천유역의 실제운영 사례를 분석하여 하천정보 모니터링 시스템 구축 및 물 관리 시스템 기본설계에 적용하고자 하였다. 또한, 물 관리에 대한 국내외 관련 기술동향을 분석하고, 국내외 물관리 현황을 기반으로 향후 구축될 시스템의 기본방향을 설정하고자 하였다.

본 연구에서 검토한 국외의 사례에 대한 검토과정을 통해 가장 효율적인 외국의 사례를 벤치마킹하고, 현재 운영 및 준비 중인 국내의 시스템에 대한 객관적인 평가를 통해 가장 효과적인 물관리 시스템의 기본방향을 설정이 가능할 것으로 판단하였다.

물관리 시스템의 기본방향 제시를 위해서는 자료의 관측 및 수집시스템, 수집된 자료의 정리 및 저장시스템, 수집된 자료를 이용한 장래 유출량 모의시스템, 유역환경을 고려한 하천수질예측시스템, 수량 및 수질을 고려한 저수지운영시스템, 사후 평가시스템 등에 대한 고려가 필수적일 것이며, 본 연구의 성과가 이런 향후 사업에 도움이 될 수 있기를 기대한다.

2. 미국의 물관리 현황

미국의 유역관리는 초기 서부시대 유역종합개발에서 시작되었는데 이 당시는 연방정부가 주도적으로 유역 및 수자원을 개발하기 시작하였으며, 대규모의 수자원개발을 연방정부의 수자원기관들이 독점하면서 주정부나 지역주민의 의사반영과 통합적인 사업의 추진이 이루어지지 않았다. 그러나 수자원개발과 행정체계에 대한 연구가 잇따르면서 1933년에 미국 유역관리의 대표기구라 할 수 있는 테네시유역관리청(TVA, Tennessee Valley Authority)이 발족되었으며, 이때부터 미국은 단순목적의 수자원개발이 아닌 유역종합개발이라는 측면에서 수자원을 개발하고 수자원정책을 추진하게 되었다.

현재 미국의 수자원관리 임무는 크게 연방정부, 주정부, 그리고 전문기관인 미공병단, 개척국, 지질조사국, 환경청(EAP) 등으로 분할되어 있다.

- 연방정부 : 최상위계획을 수립 및 물 배분
- 주정부 : 정책의 유연한 적용, 가뭄 및 홍수에 대비한 수자원정책수립
- 전문기관(환경청, 지질조사국, 개척국, 공병단 등) : 기술지원

2.1 수자원 관련 조직 및 임무

미국의 연방정부와 주정부에서 보는 수자원개발과 운영의 관계는 연방정부와 지방정부가 가지는 영향력의 변화에 따라 달라져왔다. 1700년대 후반부터 1800년 초기까지 국가의 초창기에는 수자원개발에서 연방정부는 단지 제한적인 역할만 수행하였다. 몇몇

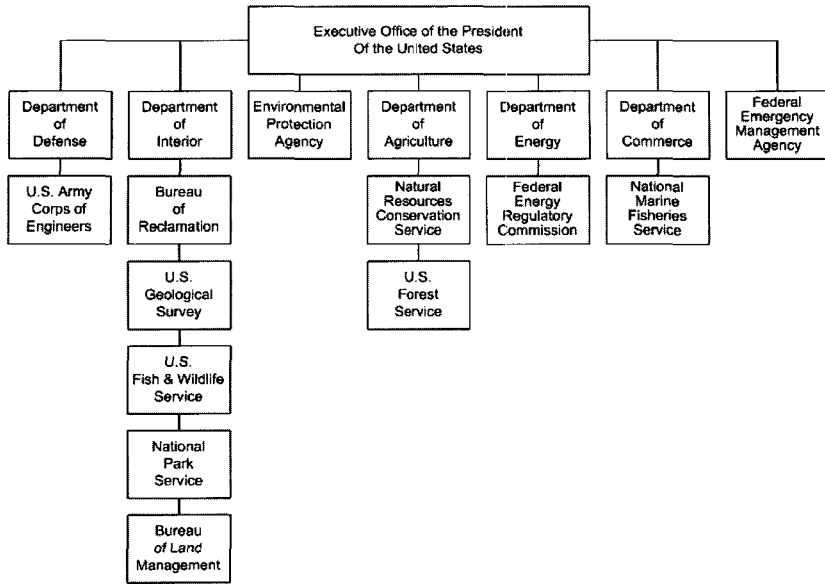


그림 1. 미국내 수자원 관련 조직도(Cech, 2004)

기술자는 큰 강의 수로를 개선하는 일을 수행했으며, 물 배분 법은 주정부에 의해 제정되었고, 수자원 프로젝트는 일반적으로 지방의 토지 소유주 또는 외부의 투자그룹에 의해 수행되었다. 미 서부지역의 관개 프로젝트는 콜로라도와 콜롬비아 강에서 시작되어, 미시시피강의 홍수조절구조물과 오하이오강의 큰 관개시설에 이르기까지 다양하게 수행되었다.

여기서는 미국 내에 있는 수자원개발과 운영, 보호에 관련된 연방정부기관을 간단히 소개하고자 하며, 그림 1에 수자원 관련 조직도를 수록하였다.

그림 1에 나타난 미국내 수자원 관련 조직들 중에서 대표적인 기관인 환경청, 지질조사국, 개척국, 공병단 등의 임무를 정리하면 다음과 같다.

- 공병단(COE) : 댐 개발, 하천관리, 홍수피해규모예측, 기술적 지원
- 개척국(USBR) : 수자원 및 자연자원의 관리 및 개발
- 지질조사국(USGS) : 물이용 자료, 유역조사 및 유역정보제공, 기술개발
- 환경청(EPA) : 미국 내 수자원 관리를 환경 측

면에서 규제, 운영 및 연구

- 테네시유역관리청(TVA) : 홍수피해 예방을 위한 개발 계획수립, 통합유역개발업무
- 기상청 : 강우예측 및 분석
- 자연자원보호국 : 기상청과 함께 홍수예경보시스템의 운영
- 국립공원관리국 : 국립공원보호 및 홍수터내 피해최소화

2.1.1 공병단(U.S. Army Corps of Engineers)

공병단은 미국의 가장 오래된 수자원 관련 정부기관이고 방위부(Department of Defense)에 속해있다.

최근 들어 미공병단의 임무에 습지대보호와 환경복구가 추가되었지만 주된 활동은 홍수조절과 수로개선사업이다. 대부분의 공병단 직원은 일반시민이며, 미 육군 임원에 의해 감독된다. 공병단은 치수를 위해 일반적으로 댐, 선착장, 둑, 방파제의 건설과 다른 수로의 강둑보호 프로젝트를 수행했다.

2.1.2 개척국(U.S. Bureau of Reclamation, USBR)

미국 개척국(U.S Bureau of Reclamation)은 미

내무부(Department of Interior) 내에 소속되어 있다. 미국 내무부는 1849년에 연방정부의 토지 판매와 인디언 관련 업무와 군인연금제를 관리하기 위해 설립됐지만 곧 서부지역의 이민노선과 지리조사업무도 맡게 되었다.

1900년대 초에 개척국은 국가 최고의 수자원 개발 기관이 되었다. 개척국의 주된 업무는 불모의 서부지역에 정착하기 위한 관개 프로젝트를 수행하는 것이었다. 개척국은 후버(Hoover)댐과 그랜드 쿨리(Grand Coulee)댐과 같은 주요 구조물을 포함해 20세기동안 200개가 넘는 관개 프로젝트를 실시했다.

이러한 관개 프로젝트는 농업과 경제개발을 위한 전력과 지역 곳곳에 수도 공급을 위해 관개용수를 생산한다. 개척국은 프로젝트를 완료하기 위해 대략 110억 달러를 투자하였고 서부지역 인구의 30%에 해당하는 사람들에게 관개시설, 가구, 산업용수를 제공하게 되었다.

개척국은 국가에서 두 번째로 큰 수력발전 생산지이로서, 상호 연결된 58개의 발전소를 보유하고 있으며 매년 420억 kw/hour를 생산하며, 개척국의 저수지는 국내 채소 생산량의 60%, 국내 과실수와 견과수의 25%를 생산할 수 있는 4억 2천 acre-feet의 물을 저장하고 있다.

2.1.3 지질조사국(U.S. Geological Survey, USGS)

지질조사국은 연방정부의 과학기관으로 개척국(USBR)과 같이 내무부에 소속되어 있다. 지질조사국은 각 주의 지방, 주정부, 대학들과 다른 연방기관과 협력하여 지하수와 지표수를 모니터링하고 측정할 수 있는 사무실을 가지고 있다. 지질조사국은 유량과 지하수위 및 관련 자료들을 수집 및 보고하는 책임이 있으며, 이것은 국가의 수량과 수질 상태에 대한 기술적 보고서와 비교된다. 지질조사국은 관리 또는 수자원 개발업무는 가지고 있지 않다.

지질조사국은 전미과학아카데미(National Academy of Sciences)가 서부 연방과학조사기관으로 독립하면서 전미과학아카데미가 의회에 추천하여

만들어졌다. 지질조사국의 처음 업무는 연방정부 소유의 토지등급은 매기고 그 토지의 지질과 미네랄 자원을 조사하는 것이었다. 이런 업무는 연방 정부에게 엘게니산(Allegheny Mountains) 서쪽의 모든 토지 소유권을 주기로 한 “The Land Ordinance of 1785”에서 기원했다. 이것은 서쪽의 미정착지 통제에 대한 주들 간의 분쟁을 제거하기 위한 것이었다. 연방 소유의 토지는 1803년 “the Louisiana Purchase” 이후에 상당히 증가하였다. 미 의회는 국고와 서부지역 정착을 촉진하기 위한 자금 마련을 위해 이런 국유지를 파는 것을 동의했다.

지질조사국이 처음부터 지금까지 해 온 업무는 유량측정 업무이다. 최초의 유량측정소는 1889년 뉴멕시코의 엠브도 근처 리오그랜드 강에 위치했었다. 2년 후인 1895년에 측정소는 워싱턴 D.C 체인다리(Chain Bridge)의 포토맥강(Potomac River)으로 옮겼고, 유량측정은 27개 주에서 실시되었다.

1907년까지 개간사업, 관개사업, 연방정부의 정책 등과 관련된 업무는 사실상 미 개척국으로 넘어갔다. 그 시기에 지질조사국은 50개 주의 수자원과 관련하여 모니터링과 평가 조사가 관심대상이었다. 지질조사국은 현재 미국 전 지역의 종합 측정소의 85%를 대표하는 7000개의 유량 측정소를 운영 및 관리하고 있다. 그 시설들은 주로 주와 지방 기관에 의해 운영된다.

지질 조사국은 다음과 같은 다양한 용도를 위해 유량측정을 실시하고 있다.

- 홍수 예상과 모니터링
- 수자원 공급 예산과 관리
- 수질 모니터링과 관리
- 국제 조약의 승낙
- 수리권 조정
- 레크레이션 정보 제공
- 수중 생물 관리
- 기본적인 수리학 조사

이런 자료들은 시민들, 지방, 주, 연방, 관련 대학

및 관련 기관들에게 실시간 수리·수문 자료를 제공하기 위해 수집된다. 또한 지질 조사국은 다음과 같이 지하수에 대해서도 연구하고 있다.

- 대수층의 길이와 특징에 대한 지도제작
- 원천과 대수층의 수위 모니터링
- 지하수위 및 지하수 이동 연구를 위한 지하수 흐름 모델의 개발과 적용
- 오염된 지하수의 개선
- 해안 대수층의 바닷물 침식에 관한 연구
- 지표면, 불포화층, 대수층 등으로부터의 오염물질 이동에 관한 연구

2.1.4 환경청(U.S. Environmental Protection Agency, EPA)

미연방정부의 독립된 국민 환경청(EPA)은 1970년에 생겨났는데, 이전에는 연방차원의 환경보호를 위한 노력들은 매우 미미한 상태였다. 환경청(EPA)의 형성은 그 당시 내무부, 보건부, 식약청, 농업부 등에 분리되어 존재하고 있던 일련의 관련 프로그램들을 결합시킨 것이었다.

연방규제국민 환경청(EPA)은 연방 환경법 불이행시 상당한 벌금과 체형을 가하는 법률적 권한을 가지고 있다. 이 시행권한은 환경청(EPA)이 환경을 보호하는데 큰 힘이 되고 있다. 그 권한이 주어진 후 환경청(EPA)은 디트로이트, 클리블랜드, 애틀랜타의 지하수에 의한 강오염에 대해 소송을 제기했었고, 세 도시의 시장들은 도시의 수질상태를 환경법 기준과 법원의 조치에 맞추기 위해 여섯 달을 소요했다.

1900년대 중반까지 연방정부 관심 부족과 편협한 시야로 인해 미국의 환경보호는 단편적으로 이루어졌으며, 전환이 된 계기는 의회가 Water Pollution Control Act of 1948을 통과시키고 수질보호를 위한 기술적인 지원과 지원금이 주에 제공하면서 부터이다. Federal Water Pollution Control Act of 1956은 더 발전되어 오염 연구와 지역 폐수처리장의 개발을 위한 지원금을 제공했다.

The Water Pollution Quality Act of 1965에서

의회는 그 지역의 호수와 계곡 등에서 산정한 오염정도에 맞춰 수질관리기준프로그램을 만들었다. 이 법률은 주들에게 이 프로그램을 시행하고, 호수나 계곡 등의 불법적인 유기를 멈추도록 요구했다. 이 법은 각 수역들에 수질 기준을 세우고, 이 기준을 초과하는 유기를 금지시켰다. 그러나, 이 기준들을 식별하고 실행하기 어려워져 의무화된 프로그램들은 제한된 분야에서만 성공만을 거두었다.

1969년에 National Environmental Policy Act(NEPA)가 통과됨에 따라, 주당국들은 미국 내에서 지구, 공기, 대지, 물의 보호자로의 권한을 부여받게 되었다. 의회는 인간과 자연이 생산적인 조화를 이루는 상태를 만들고 유지하고자 했다. 이 법에서는 모든 미국인들의 안전하고, 생산적이고, 건강하면서 미적으로, 문화적으로 기쁨을 주는 환경을 만들어야 한다고 말한다.

1972년에 Federal Water Pollution Control Act 수정안들이 통과되었다. 이것은 획기적인 사건으로 대부분의 연방법은 호수, 강, 습지대등 각 주간의 수질을 보호하도록 계획되었다. Clean Water Act 수정안은 지역의 수질을 강화하고 무허가 오염물질을 유기는 불법으로 정하고 가장 성취 가능한 오염관리기술을 사용하도록 권장했다. Clean Water Act에 의한 유기허가권들은 특정 화학물질이 수역에 위치할 수 있는 최대농도기준을 올렸다. 이 시도는 오늘날에도 계속되고 있고, 1983년까지 미국의 모든 물을 물고기가 살기에 적합하고, 물에서 안전하게 놀 수 있는 수질을 만든다는 목표를 가지고 있다.

국가의 공공수를 오염과 수인성 전염병으로부터 보호하기 위한 Safe Drinking Water Act of 1974가 통과 되었다. 공공건강을 보호하기 위한 연방음용수 기준이 만들어졌고, EPA는 이 사업을 실시하는 책임기관으로 임명되었다.

1977년에 Clean Water Act of 1972의 개정안이 통과됨에 따라 EPA는 추가적인 의무를 부여받았다. Clean Water Act Amendment of 1977은 유독성 오염물질 관리(통제)를 강화했고, 주정부들로 하여금

연방프로그램들을 떠맡게 했으며, 아래에 주요한 사항들이 제시되었다.

- 1983년까지 수중생물과 활동을 보호하기 위한 수질개선
- 1985년까지 수질오염 물질 유출 제거
- 독극물질 유출 금지
- 공공소유의 폐수처리장 건설
- 지역수질처리 계획과정의 개발
- 전염 될 수 있는 지역에의 모든 오염물질 유출을 제거하기 위한 기술 개발

Clean Water Act는 수질규정을 강화하기 위해 National Pollutant Discharge Elimination System(NPDES)라 불리는 유출허가과정을 실행했다. The Clean Water Act of 1977의 404조는 미 공병대에게 습지대 파괴, 보호에 대한 의무를 부여했다.

비록 미 공병대가 404조의 허가를 담당하지만, EPA가 궁극적으로 이 사업의 책임을 가지고 있다. 그러므로 EPA는 허가발행의 거부권을 행사 할 수 있고, 또한 어느 주가 더 엄격한 요구사항들을 적용하기 원한다면 404조의 허가처리를 주에게 위임할 수 있다. 그리고 EPA는 404조의 허가처리에서 면제될 수 있는 연방프로젝트들을 평가할 책임이 있다.

2.2 물관리 시스템 현황

2.2.1 USBR WARSMP(Watershed & River Systems Management Program)

미 개척국(U.S. Bureau of Reclamation, USBR)에서는 WARSMP라는 물관리 시스템을 운영하고 있다. WARSMP 프로그램은 미 개척국과 미 지질조사국에서 공동으로 개발한 것으로서, 이 프로그램의 개발은 1990년 대 초반부터 유역내 수자원 정보의 실시간 분석 및 수자원 이용가능량 파악에 대한 필요성이 증가하면서 시작되었으며, 수자원 의사 결정을 위한 운영시스템에 기초를 제공하고 있다. 이들

기관들 외에도 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration), TVA(Tennessee Valley Authority), WAPA(Western Area Power Administration), 미 공병단(U.S. Army Corps of Engineers) 등의 협조와 참여로 이 프로그램의 개발에 바탕이 되었다.

오늘날의 복잡한 수자원 관리 문제는 수자원 관리자들에게 시기적절한 정보를 포함한 연성 있는 종합적인 결정 지원 도구들을 필요로 하게하며, 제한된 신선한 물의 공급에 대한 요구들이 증가하는 동안 하천 시스템은 법, 계약, 조약과 법원의 포고 등에 따라 작동하고 있다. 또한, 이 프로그램은 수자원 관리자들이 Municipal, Fish and Wildlife, Agricultural, Recreational, Hydropower, Water Quality 등의 적절한 균형을 유지하기 위해 사용하는 의사결정시스템의 개발과 적용을 지원한다.

이 프로그램의 구성은 MMS(Modular Modeling System), RiverWare 등과 같은 분석도구들이 공동의 데이터베이스인 HDB(Hydrologic DataBase)에 연결되어 이루어져 있다.

이와 같은 모듈들로 구성된 WARSMP 모형은 모의 분석 및 유출량 예측을 통해 다음과 같은 항목들을 더욱 효율적으로 판단할 수 있도록 도와주고 있다.

- 첫째, 효과적인 하천유역 관리를 위해 필요한 강수 및 용설의 예측능력의 향상
- 둘째, 하천유역내의 이용가능한 수자원 양의 결정
- 셋째, 단기간(12시간에서 48시간까지)의 물공급 및 홍수 예보
- 넷째, 연 운영계획 수립을 위한 장기기간(1개월에서 12개월까지)의 공급가능 확률
- 다섯째, 과거 유량자료 및 확률적으로 예측된 유량자료를 이용해서 10년에서 85년에 이르는 장기기간의 유역관리 시나리오를 모의
- 여섯째, 관개용수, 수력발전용수, 하천유지용수 등의 결정

현재까지 WARSMP 모형이 직접 적용되어서 실행되고 있는 유역들은 Colorado강의 상하류 유역, Gunnison강 유역, San Juan강 유역, Washington의 Yakima 프로젝트, Rio Grande 유역, Truckee강 유역 등이다.

가. MMS(Modular Modeling System)

MMS는 CADSWES와 미 지질조사국에서 공동으로 개발한 유역유출모형으로서 다른 분야에 연계된 수자원과 환경의 물리적 과정들을 모의하는 기능을 가지고 있으며, 현재에도 계속해서 발전되고 있는 모형이다. 그림 2에 MMS의 모식도를 나타내었다.

MMS의 기본 구성요소는 자료를 준비하는 전처리 과정과 모의결과를 보여주는 후처리과정으로 나누어진다. 또한 유역모형에서는 과거 기상자료나 기후모델로부터 모의된 자료를 입력자료로 해서 유출량을 모의하게 되며, 모의 결과는 지속적으로 반복되면서 계산되어 진다.

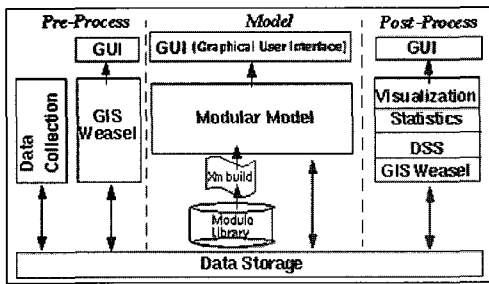


그림 2. MMS의 모식도

나. RiverWare

RiverWare는 단기간의 조작 및 운영, 중기간의 운영과 계획, 장기간의 정책과 계획을 위해 필요한 물배분 모델들을 개발하기 위해 구축된 모형이다. 특히 이것은 미 개척국과 미 테네시유역관리청의 의뢰를 받은 University of Colorado의 CADSWES(Center for Advanced Decision Support for Water and Environmental Systems)에서 개발한 저수지와 하천의 연계운영 모형이다. 그림 2.2.3에 RiverWare

의 화면창을 나타내었다.

RiverWare는 홍수 조절, 주운, 레크레이션, 용수 공급, 수질보존 등과 같은 저수지 시스템의 여러 목적들을 통합적으로 분석하는 유역 모형으로 하천유역 관리자들이나 전기시설 담당자들에게 저수지 운영을 조정, 예측 또는 계획할 수 있는 도구를 제공한다.

다. HDB(Hydrologic DataBase)

〈HDB〉는 하천유량, 저수지 운영, 용설 및 기상자료들을 저장하는 관계형 DB(relational data base)로 원격측정과 기타 실시간 시스템을 통해 자동적으로 업데이트 되고 있으며, 최종적으로는 수량평가, 수리권정보 및 데이터, NEXRAD 자료 등을 포함하게 될 것으로 예상된다. 그림 3에는 Hydrologic DataBase의 개요를 나타내었다.

HDB는 적절한 정보에 신속하게 접근하며 성공적인 의사결정이 가능하도록 하는데 핵심적인 역할을 수행하고 있으며, 다른 모듈과의 연결을 통해 일관적인 관점에서 현재의 평가 및 미래에 대한 예측이 가능하도록 한다. HDB에 연결된 다른 모듈들은 수자원 관리자에게 쉽게 정보를 문의하고, 분석하고 보여줄 수 있도록 도와주는 기능을 가지고 있다.

Data-Centered Decision Support System

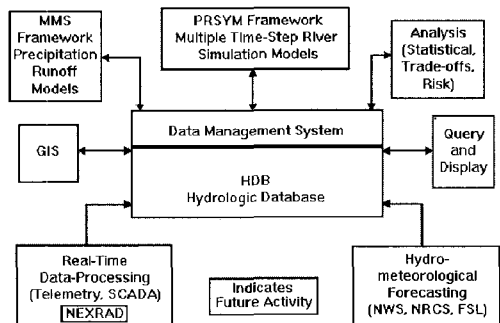


그림 3. Hydrologic DataBase의 개요

라. 적용사례 : San Juan강 유역 Watershed and River Systems Management

Program의 적용 예는 앞에서 언급한 것처럼 Colorado강의 상하류 유역, Gunnison강 유역, San Juan강 유역, Washington의 Yakima 프로젝트, Rio Grande 유역, Truckee강 유역 등이 있다. 이 중에서 San Juan강 유역의 적용사례를 간단히 살펴 보면 다음과 같다.

콜로라도강의 지류로서 콜로라도, 아리조나, 뉴멕시코, 유타 주 등을 걸쳐 흐르는 유역면적 60,000km²의 San Juan강 유역에는 미 개척국에서 관리하는 4개의 댐과 그 외의 6개의 댐들이 위치하고 있으며, 이들 저수지의 총 저수용량은 6백만m³을 초과하고 있다.

유역면적 632,000km²인 콜로라도강 유역은 미국 남서부지역의 수자원공급에 절대적인 위치를 차지하고 있으며, 약 천이백만명의 주민들에게 생공용수를 공급하고 백만ha에 이르는 관개지역의 용수공급을 담당하고 있다.

San Juan강 유역은 다양한 지형과 기후를 가지고 있으며, 이로 인해 하천수량과 수질에도 큰 영향을 미치고 있다. 콜로라도 내 San Juan산(해발 1830~4290 EL.m)에 위치한 Headwater drainage는 가장 주요한 수자원 공급처이지만, 대부분의 용수수요는 하류의 건조지역에서 발생하고 있다. 강수의 주요 형태는 눈이며, 산악효과는 유역내 적설량의 분포를 매우 다양하게 하고 있다. 유역 내 연평균 강수량은 200~1,500mm로 지역별로 매우 큰 편차를 보여주고 있다.

이러한 San Juan 유역의 수자원 관련 여러 문제들 중 콜로라도주와 뉴멕시코주간의 물배분 관련 문제 및 수질문제 등의 해결을 위해 WARSMP이 적용 및 분석되었다.

MMS(Modular Modeling System)의 전처리과정을 통해 시공간 입력자료가 준비되었으며, 모델을 통해 분석되었고, 후처리과정을 통해 결과분석이 이루어졌다.

San Juan강 유역의 수문학적 매개변수들의 공간 분포를 위해 유역을 HRU's (Hydrologic Response Units)로 분할하였으며, HRU's는 선형적인 수문학

적 반응을 가지는 것으로 가정되었다. 또한, HRU's는 지형, 토양, 식생, 강수분포 등과 같은 정보들을 이용해서 특성화되었다. HRU의 일별 물수지는 모형의 입력자료(기온, 강수, 일사량)로부터 계산되어지며, 단위면적별로 합산된 값들은 유역출구에서의 일 유출량으로 환산되게 된다.

MMS 모형을 통해 계산되어진 Output은 RiverWare에서 저수지 운영 및 추적을 위한 자료로 이용되었다.

RiverWare 시스템을 이용하여 San Juan강 유역의 저수지 운영이 모의되었다. RiverWare에서는 사용자가 저수지를 포함한 유역시스템의 기본 네트워크를 구성하며, MMS에서 산정된 각종 자료들은 이 시스템의 입력되어진다.

현재 RiverWare에서 분석되는 저수지 운영 및 물분배는 linear programming, goal programming, rule-based simulation approaches 등을 통해 모의되어지며, 계산간격은 시, 일, 주, 월별로 가능하다.

이와 같이 산정된 유출량은 유역 내의 수질문제, 수리권 문제 등을 해결하는 필요한 기본적인 자료로 이용되며, 기타 수리학적인 계산을 위한 입력자료로도 이용되게 된다.

2.2.2 USGS NWISWeb

미 지질조사국(U.S. Geological Survey, USGS)에서는 NWISWeb(National Water Information System Web)이라는 물관리 시스템을 운영하고 있다. NWISWeb는 미국 내 50개 주와 워싱턴 DC, 그리고 푸에르토리코에서 수집된 대략 150만개의 수자원 관련 현장 데이터에 대한 각종 정보를 제공한다. 이들 정보들은 Real Time/Site Information/Surface Water/Groundwater/Water Quality 등 총 5개의 카테고리로 구성되어 있으며, 미 지질조사국에서는 이들 정보를 수자원을 관리하는 주나 관련 단체 및 연방기관 등에 보급하고 있다.

각 카테고리별로 살펴보면 <Real Time>에서는 선택된 지표수, 지하수, 수질 측정 지점의 현재 데이터를

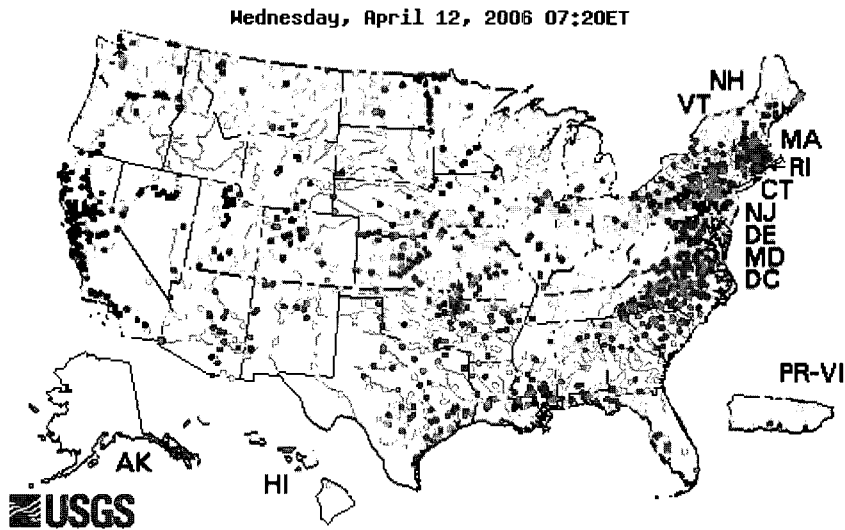


그림 4. NWISWeb 시스템의 측정 지점

실시간으로 제공한다. 측정 지점들은 최소한 30년 이상의 관측 자료를 보유한 지점들만 구성되어 있으며, 지점별 유량은 일 유량자료를 백분위수로 표시한다. 측정 지점을 그림 4에 나타내었다. 실시간 데이터는 일반적으로 15분에서 60분 간격으로 기록되고 저장된다. 그리고 그 데이터는 사용된 데이터 중계기를 따라 미 지질조사국에 매 1시간에서 4시간간격으로 전송되어지며, 도착 즉시 정보를 이용할 수 있게 된다.

〈Site Information〉에서는 미국 내 지점별 유량 정보, 호수 및 저수지의 정보, 강우 정보, 지하수 정보, 수질 정보 등을 포함하며, 하천유역, 관정, 터널, 호수, 저수지, 수리시설물 등의 정보도 함께 제공하면서 관련된 모든 데이터들과 연계되어 운영되고 있다.

〈Surface water〉에서는 하천과 호수 등에서의 유량과 수위 정보를 제공한다. 국가적으로 미 지질조사국에서는 하천 수위, 유량, 저수지 수위, 지표수 수질과 강우자료를 약 85만개 이상 포함한 지표수 데이터는 보유하고 있다.

이들 데이터들은 자동기록기와 필드 수동 측정장비에 의해 수집되어지며, 수집된 데이터는 전화 또

는 인공위성을 통해 저장되고 미 지질조사국으로 전송된다. 위성시스템을 통해 중계된 데이터는 실시간으로 자동 처리되며, 거의 대부분의 데이터가 실시간으로 온라인에서 이용할 수 있도록 제공된다.

또한, 일 데이터는 매일 요약 데이터로 분석되어서 저장되며, 이들 분석 데이터들은 매일 한 차례씩 웹에 업데이트 된다. 미 지질조사국에서는 이렇게 정리된 물 관련 일 데이터를 매년 최종적으로 정리해서 발표 및 제공하며, 보고서로 출판하게 된다.

〈Groundwater〉에서는 지하수에 관한 정보를 제공하며, 지하수 위치 기록, 지하수 수위 데이터와 수질데이터를 포함한다. 지하수 위치 기록은 미국 내 우물, 샘, 실험 관정, 터널, 도량 그리고 굴착에 대한 850,000개 이상의 기록들로 이루어져 있으며, 이용할 수 있는 위치와 기술적인 정보는 위도 및 경도, 깊이 그리고 대수층 같은 지역 정보를 잘 포함하고 있다. 미 지질조사국에서 관리하는 지하수위 데이터는 별개의 지하수 수위를 지속적으로 기록 및 수집되고 저장된다. 저장된 데이터는 인공위성을 통해 미 지질조사국으로 전송된다.

〈Water quality〉에서는 하천, 호수, 지하수의 화학적·물리적 수질 자료를 제공한다. 미 지질조사국에서는 미국 내 물과 침전물 등의 샘플에 대한 화학적, 물리적, 그리고 생물학적 성질에 대해 분석한다. NWISWeb의 데이터들은 2004년 9월부터 수집된 미 지질조사국의 총 420개 지방 데이터로 구성되어 있다. 이들 데이터들은 국가적인 프로그램에서 작은 유역에 대한 분석까지 다양한 사업들로부터 수집된 것들이며, 이들 자료들에 대한 분석은 철저한 규정에 따라 실시되고 있다.

NWISWeb에서는 사용자들이 필요로 하는 데이터를 제공하기 위해, 보다 많은 새로운 데이터의 추가, 부수적인 정보의 변경, 그리고 강화된 복구 옵션 항목들에 대한 개정을 지속적으로 추진할 계획이다.

현재 미 지질조사국에서는 측정된 지표수와 지하수의 pH, 비전도율, 온도, 용존 산소량, 그리고 용존산소량의 침투율 등을 포함한 물리적, 화학적 특성들을 기록 및 보존하고 있다. 이외에도 몇몇 지점에서 기온과 기압과 같은 데이터에 대한 분석이 실시되고 있으

며, 이들 정보들도 실시간으로 웹에서 이용가능하다.

2.2.3 TVA(Tennessee Valley Authority)

테네시강 유역관리청은 미국 남부의 종합적 개발을 위하여 설립된 공사(公社)로, 1933년 뉴딜 정책의 일환으로 연방정부에 의하여 창설되었다. 테네시강 본류와 지류에 26개의 대형 댐(노리스·포트라우든·워치바·체터누가·헬즈바·갠터즈빌·호일리·피크워크 댐 등)을 건설하여 홍수방지·전력개발·공업유치·수운(水運)·관개(灌溉)·위락(慰樂) 시설 등에 도움이 되도록 한 것이다.

7개주에 걸쳐 벌어진 이 계획은 국토개발계획의 원형으로서 세계 최초의 대사업이었기 때문에 다른 여러 나라에 큰 영향을 끼쳤다. 이 사업으로 고질적이던 테네시강의 범람은 그치고, 내륙 수운을 위한 수운 설치로 수심이 깊어짐에 따라 내륙운하로서의 기능이 향상되는 등 테네시강의 이용도는 높이 향상되어 교통량이 비약적으로 증가하였다. 이에 인해 항구·낚시터·호수 등이 생김으로써 이 지역은 급격히

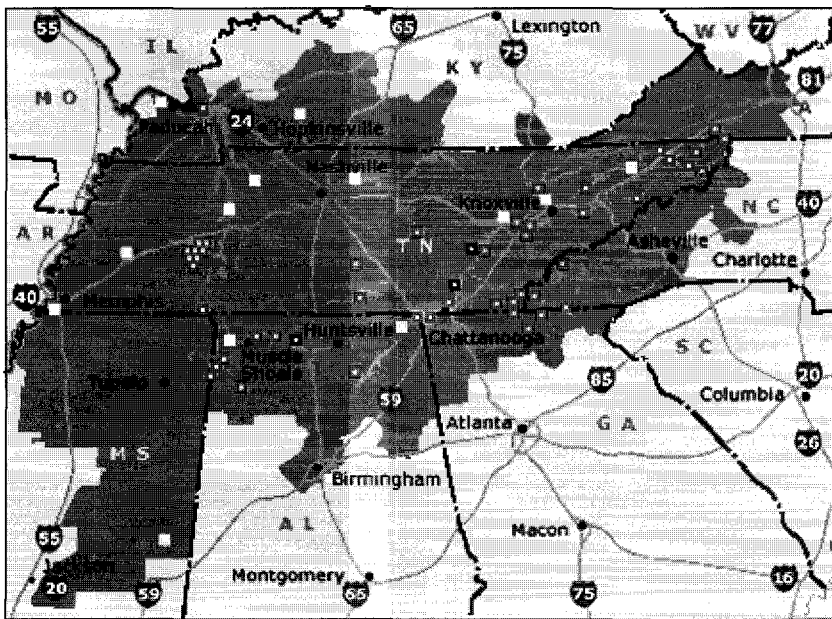


그림 5. TVA 유역도

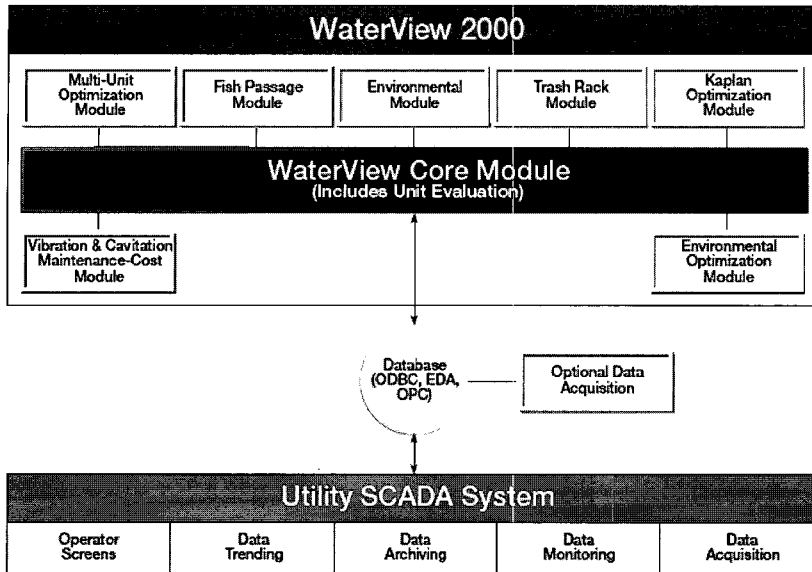


그림 6. WaterView 체계

발전하였다.

현재 TVA에는 TVA의 관할의 47개 댐이 위치하고 있으며, 13개의 화력발전소와 3개의 원자력발전소가 운영 중에 있다.

TVA의 물관리시스템은 WaterView, RiverWare, Terra로 구성되어 있으며, 이는 미 개척국에서 운영하는 WARSMP 시스템과 매우 유사하며 특히 저수지 운영을 위한 도구로 동일하게 RiverWare를 이용하고 있다.

WaterView는 Voith Siemens Hydro Power Generation사와 TVA가 공동으로 개발한 모형으로서 그림 6에서와 같이 Core 모듈, Optimization 모듈, Maintenance-Cost 모듈, Environmental 모듈 등을 주축으로 구성되어 있다.

TVA 저수지군의 운영계획수립은 RiverWare를 중심으로 수행된다. 1996년 이후부터 TVA의 60여개 저수지군의 실시간 운영계획을 수립하기 위한 의사결정지원모형으로서 도입된 이래 RiverWare는 전체 운영팀에서 실제 활용되고 있다. 분석되는 전체 기간은 14일 동안을 대상으로 하며 최적화 모형 수행

시에 적용되는 저수지 수위의 guideline은 오랜 경험과 기술적인 검토로 결정된 운영률로서 제시되는 기준수위가 사용된다. 14일 간의 기본적인 발전 운영계획은 6시간 간격으로 결정되며 이는 RiverWare를 수행하는 시스템에서의 해석시간에 의해 결정된다(고익환, 2003).

3. 결론

본 과업에서는 물관리시스템과 관련하여 미국의 사례를 조사하였다. 이를 통해 향후 국내에 구축될 물관리 시스템의 기본방향 설정에 도움을 주고자 하였다. 미국의 경우 대표적 물관리 기관인 미 개척국(USBR), 미 지질조사국(USGS) 및 TVA(테네시유역관리청)에서 실제 운영하는 물관리시스템에 대해 살펴보았다.

이중 미 지질조사국은 NWISWeb 시스템을 이용하여 미국내에서 수집된 총 150만개의 수자원 관련 현장데이터에 대한 각종 정보를 제공하고 있다. 특

히 이들 정보들은 각 현장에서 실시간으로 측정 및 전송되어 사용자가 웹상에서 실시간으로 지표수, 지하수 및 수질관련 정보들을 이용할 수 있게 구축되어 있다. 그러나, 이 시스템은 유역의 실시간 물관리를 위한 분석시스템이 도입된 모형은 아니며, 단순히 정보를 취합해서 이를 제공하는 역할만 담당하고 있다.

본 연구에서 실제로 참고할만한 가장 좋은 물관리 시스템의 예는 미 개척국의 운영시스템에서 찾아볼 수 있었다. 미 개척국에서는 WARSMP 모형을 이용해서 물관리시스템을 운영하고 있으며, MMS(Modular Modeling System)를 이용해서 해당 유역의 지점별 유량을 산정하면 이를 입력자료로 하여 RiverWare에서 유역내 저수지 등의 각종 시설물들을 고려한 모의를 통해 실질적인 유출량을 제공하게 된다. 이 시스템은 미국내 콜로라도강 등의 여러 유역에 적용되면서 계속적으로 발전하고 있는 상황이다.

TVA(테네시유역관리청)에서도 미 개척국과 유사

한 방식을 적용하고 있으며, MMS 대신 WaterView라는 모형을 적용하는 것이 가장 큰 차이점이라 할 수 있고, 저수지 운영모형은 동일하게 RiverWare를 이용하고 있다.

따라서, 미국의 사례를 국내에 적용하기 위해서 미 지질조사국의 정보수집 및 제공시스템과 미 개척국의 MMS와 RiverWare 시스템 및 TVA의 WaterView와 RiverWare 시스템이 많은 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 고익환(2003). 유역 통합물관리 기반구축방안, 춘천 물포럼 2003.
- Thomas V. Cech(2004). Principle of Water Resources : History, Development, Management, and Policy, John Wiley & Sons, Inc 