기후변화 평가용 분포형 수문모형(PGA-CC) 소프트웨어 개발 현황 소개

김 상 호 |
건국대학교 사회환경시스템공학과 박사수료
sanghok@konkuk.ac.kr

정 혁 |
건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정
shatiya@konkuk.ac.kr

박 근 애 |
University of Washington, Department of Civil & Environmental Engineering
박사 후 연구원
dolpin2000@konkuk.ac.kr

김 성 준 |
건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
kimsj@konkuk.ac.kr

위해서는 기후변화와 수문순환과의 관계가 지역(유역 규모)차원에서 예측되고 평가되기 위한 시스템이 구축되어야 하며, 장기적인 국가 수자원계획을 위해서는 기후변화에 의한 한반도 및 유역 규모의 수자원에 미치는 영향 예측 및 평가가 필요하다고 할 수 있다(서병하 등, 2005). 하지만 아직까지 우리나라 실정에 맞고 기후변화 시나리오와 연계할 수 있도록 구축된 국내형 수문순환모형이 없어 기후 및 기상변화로 인한 우리나라에서의 수자원 영향 평가가 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이를 위해, 국내의 지형조건을 고려한 미래 기후변화에 따른 수문 변화를 총체적으로 분석하기 위한 수문순환 모델링 기법의 개발과 그에 따른 시스템을 구축할 필요가 있다. 본고에서는 국토해양부 한국건설교통기술평가원에서 발주한 2009 건설기술혁신사업인 "기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망"에서 기후변화 평가를 위해 개발되고 있는 국내형 분포형 수문모형인 PGA-CC (Projection of hydrology via Grid-based Assessment for Climate Change) 모형의 개발현황과 그에 대한 시스템 구축에 대해 소개하고자 한다.

1. 서 론

우리나라는 협소한 국토면적과 과다한 인구로 토지나 수자원 등 국토자원 이용의 강도가 다른 나라에 비하여 현저하게 높기 때문에 지구온난화에 따른 기후변화와 같은 약간의 기후변동으로도 심각한 수자원 문제가 발생할 가능성이 내포되어 있다. 그러므로 기후변화에 따른 수자원 예측과 대응 방안을 마련하기

2. Open GIS

현 재 지 리 정 보 시 스 템 (GIS: Geographic Information System)은 수자원, 도로, 상하수, 환경, 도시계획, 물류교통 등 다양한 분야에서 접목되어 그 사용분야가 급격히 증가되고 있으나, 요구되는 H/W, S/W의 구축환경에 과다한 비용이 투자되고

있으며, 실제 투입비용 대비 운용성이 저하되고 있다. 이에 대해 최근 오픈소스 지리정보시스템 (Open Source GIS)의 활용이 활성화됨으로서 이를 이용한 지리정보 시스템 구축이 점차 증가하는 추세에 있고 현재 고비용의 상용 GIS 시스템의 대체 방안으로 대두되고 있다. 오픈 소스란 소프트웨어의 설계도에 해당하는 소스코드를 무상으로 공개하여 누구나 그 소프트웨어를 개량하고, 이것을 재배포할 수 있도록 하는 것으로서, 소프트웨어의 사용에 있어 상용 소프트웨어에 비해 보다 쉽게 호환성을 확보할 수 있을 뿐 아니라 사용자의 요구에 부합하는 일관성과 함께 일치성을 보장받을 수 있는 장점이 있다. 구글어스 뿐 아니라 다수의 맵핑 프로젝트에 사용된 GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), Java 기반 맵핑 S/W인 GeoTools, 미 육군에서 만든 GIS S/W인 GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) 등은 모두 Open GIS 기반 S/W들의 좋은 예이다.

3. 기후변화 평가를 위한 분포형 수문순환 모형

이 모형은 건국대학교의 김성준 교수를 대표로 하여, 2012년까지 소프트웨어로 개발될 예정이며, 1km의 해상도로써 한반도 5대강유역 전반에 대한 기후변화 영향평가를 하는 것이 주목적이다. PGA-CC 모형의 구조는 그림 1과 같고 현재까지 공간기상자료 생성모듈, 증발산량 산정 모듈, 침투량 & 침루량 산정모듈, CO2 고려모듈, 토양수분 산정모듈, 직접유출량 산정모듈, 기저유출량 산정모듈, 수문요소별 시공간분포도 생성모듈, 민감도 분석 모듈, 모형의 검·보정 모듈 등이 완료되어 한강유역에 대상으로 그 적용성을 평가하였다. 2012년 중으로 공간매개변수를 자동생성하는 모듈, 융설량 산정 모듈, 분석지점별 모의결과 평가모듈, 식생변화 예측 모듈을 개발하여 한반도 전 지역을 대상으로 적용성 평가를 실시할 예정이다. 이 모형은 토양층을 3개로 나누어 계산하는 3단 구성의 형태를 가지며 각 토양층에서 지표면유출, 중간유출, 기저유출, 침투, 침루 등이 모의된다. 일단위로 수문순환을 산정하며, 유출모듈, 증발산모듈, 토양수분 모듈로 구성되었다. 일 강우량과 최대 잠재보유수량을 이용해서 지표유출량과 첨두유출량을 모의한다. 중간유출은 토양층(0~20m)에서 재배분에 의해 동시에 계산된다. 증발산량 추정을 위하여 FAO Penman-Monteith 공식(Verhoef and Feddes, 1991)을 사용하였으며, 공기동력학 저항 산정 시 위성영상으로부터 추출한 LAI(Leaf Area Index) 자료를 이용함으로써 실제증발산량으로 변환하였다. 또한 이 모형의 가장 큰 특징은 기후변화에 큰 영향을 미치는 요인인 CO2를 고려하여 증발산량을 최종적으로 계산하는 것이다. CO2가 증가하게 되면 기공이 닫혀 잎의 수분 손실량이 줄어 증발산량이 감소하며, 또한 광합성효과와 탄소 보정 효소의 증가에 따른 잎면적 증가가 뿌리의 활동 범위를 작게 하여 토양수분이 증가하게 된다. 이와 같은 원리를 이용하여 물이용효율계수를 계산하고 이를 증발산량 값에 적용하여 최종 증발산량을 산정하게 된다. 토양 속으로 들어간 물은 여러 가지의 경로를 따라 이동하며, 식물에 의한 이용 또는 증발에 의해서 소모된다. 토양수는 토양체의 바닥까지 침루되어 결국에는 대수층에 충진된다. 토양수의 이러한 흐름은 토양 구조와 밀접한 관련이 있다. 토양수분함량은 0(노건조 상태의 토양)에서 최대치, 포화상태의 토양에서 최소치의 범위를 가지게 된다. 식물과 토양의 상호작용에 있어 두 가지 중간적인 단계가 포장용수량(Field Capacity)과 영구위조점(Wilting Point)이다. 포장용수량은 완전히 습윤시킨 토양이 약 2일 정도 배수되었을 때의 토양수분 함량이며, 영구위조점은 토양에서 자라는 식물이 시들고, 밤새도록 잎을 습한 환경에 두었는데도 회복이 되지 않을 때의 토양수분함량을 말한다. 이 두 가지 단계를 보다 쉽게 양적으로 정의하기 위하여 토양이 물을 유지하는 장력의 개념이 사용되어 왔다. 포장용수량은 토양에서 0.033MPa의 장력으로 유지되는 수분함량이며, 영

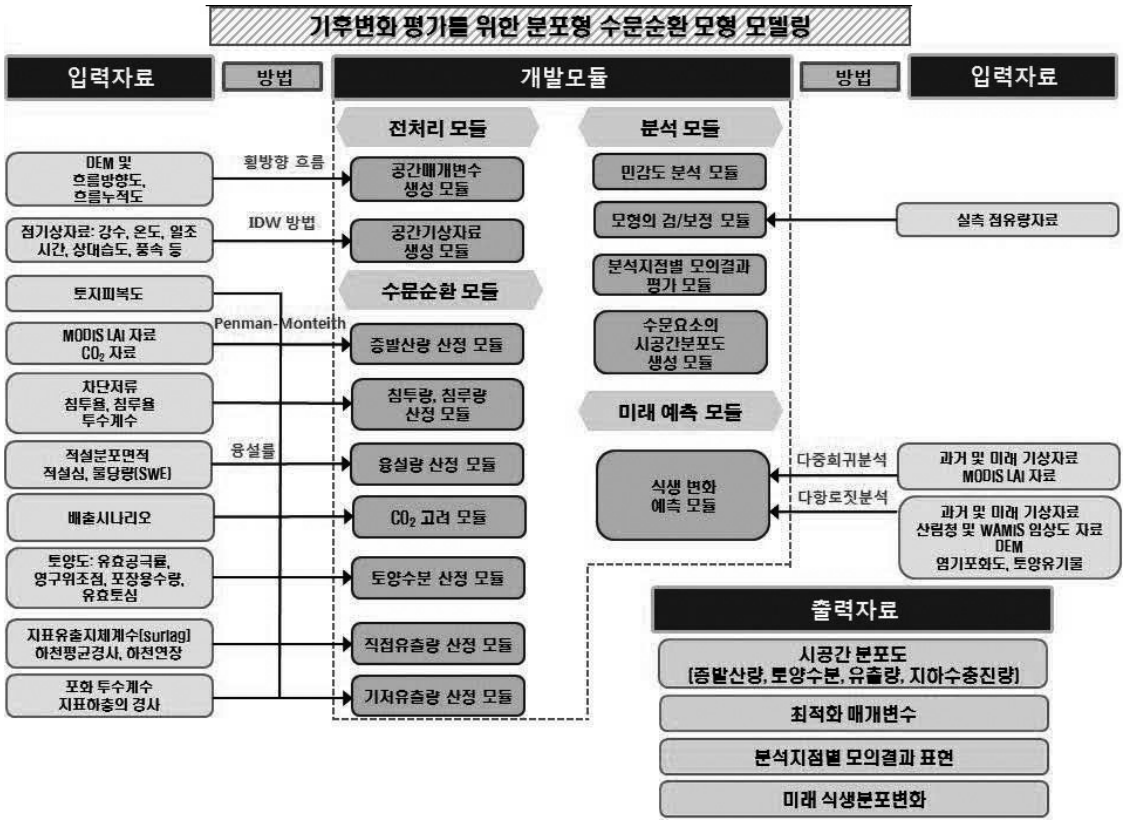

그림 1. 분포형 수문순환 모형

구위조점은 1.5MPa의 힘으로 유지되는 수분함량이다. 포장용수량과 영구위조점 사이의 장력으로 유지되는 수분함량은 식물이 이용할 수 있는 가용수량으로 간주된다(Neitsch, 2002). 따라서 이 모형에서의 토양수분은 토성종류에 따라 유효공극률, 포장용수량, 영구위조점의 조건을 설정하여 산정하며, 이에 따라 배수가능 토양수분을 계산하고 지표하 흐름과 침루가 모의된다.

4. GIS 기반 통합 PGA-CC 시스템 개발

(1) 시스템 개요 및 구성

본 고에서는 GCM의 시나리오를 이용한 분포형 장기유출 수문순환모형으로 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 할 수 있는 소프트웨어를 개발하였고 모든 자료의 활용성을 높이고 사용자 요구의 편의성 증대를 위하여 GIS 기반의 GUI (Graphic User Interface) 시스템으로 구축하였다. 그림 2와 같은 모델링 구조로 개발이 이루어지고 있는 PGA-CC 모형은 수문순환 현상을 격자기반의 강우-유출 모의로 물리적 모델화한 수문순환 모듈과 그에 따른 입출력 공간기상자료의 GIS 제어와 자료 간 변환, 테이블 및 그래프를 통한 가시화 기능을 통합 GUI 환경으로 구축하여 GIS 기반 격자 분포형 수문순환모형으로 완성하였다. 또한 모형의 결과에 대한 시간적 변화를 고려한 애니메이션 기능도 추가적으로 개발하였다. 그림 3은 GIS 기반 통합 PGA-CC 시스템의 구성으로서 시스템이 갖추어야 할 주요기능들을 정리하였다.

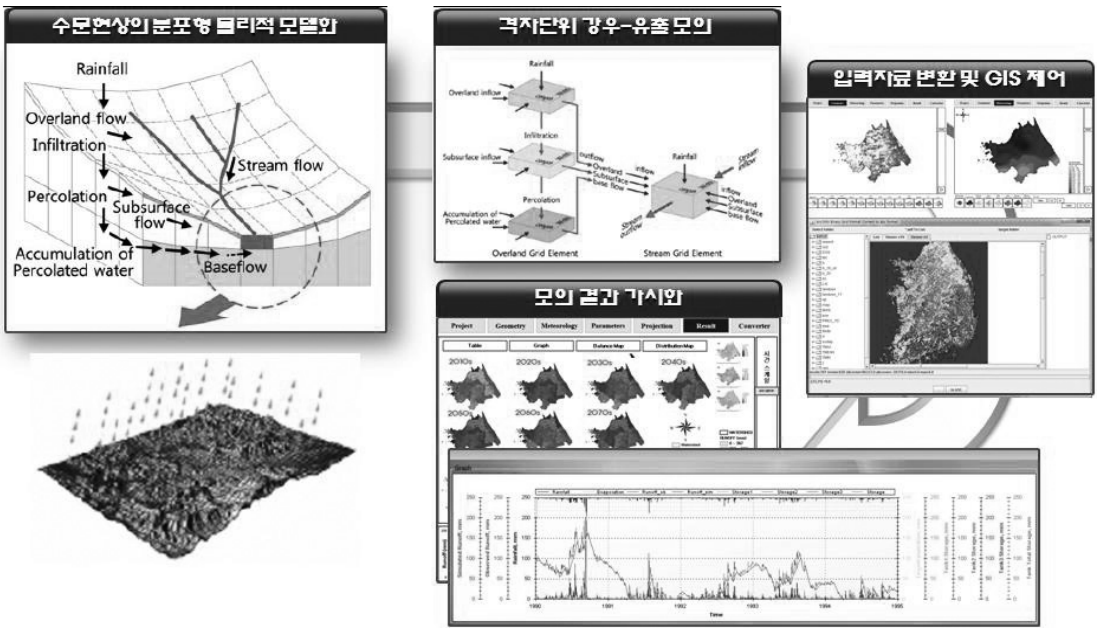

그림 2. 시스템 개요

그림 3. 시스템 구성

(2) 시스템 구조

GIS 기반 통합 PGA-CC 시스템의 구조는 그림 4와 같이 크게 공간기상자료의 입력 처리부분, GIS Viewer 및 자료변환부분, 분포형 수문순환 실행부분 그리고 출력결과 처리부분으로 이루어져 있으며 각 부분은 입력된 공간기상자료로부터 모형의 실행을 거쳐 출력결과를 분석하는 일련의 모델링 절차를 표준화하고 공간자료 처리를 자동화도록 개발하였다. 또한 각 부분은 추후 기후변화 평가 고도화 및 기능 확대에 따른 시스템 추가개발의 편의성을 위해 OCX 및 EXE 등 개별 컴포넌트 형식으로 개발을 진행하였다. 특히 GIS 기능 개발과 관련하여 Open GIS 중 하나인 아이다호 주립대학에서 개발한 MapWindow를 이용하여 GIS 자료처리 기능을 구현하였다. MapWindow는 Spatial Server와 연동하여 GIS 데이터 관리 및 편집기능을 지원하는 ActiveX Component 기반의 2D GIS 개발자 라이브러리로서 C#, VB, VC++, Delphi 등 ActiveX Component를 지원하는 다양한 언어에서 개발이 가능하며 직관적인 인터페이스로 손쉽고 빠른 GIS 시스템 개발이 가능하다. 또한 SHP, DXF, DGN, MDB, GRID, ASC 등 다양한 GIS 데이터 포맷과 TIFF, JPG, GIF 등 항공사진 및 위성영상의 이미지 래스터 데이터 포맷

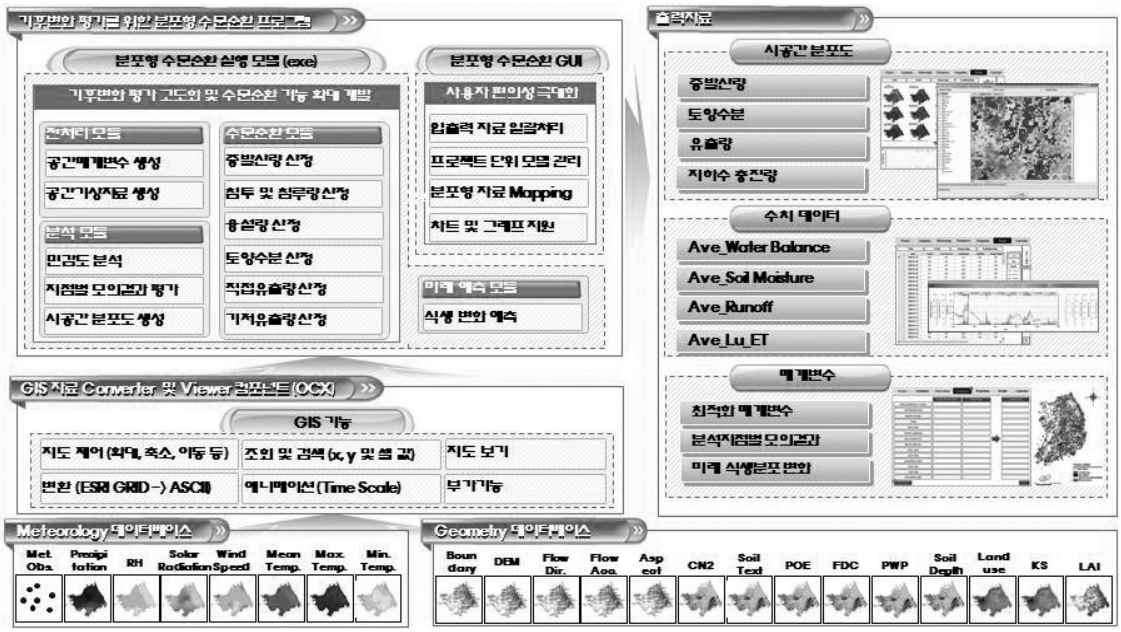

그림 4. 시스템 구조

을 지원하므로 별도의 데이터 변환 없이 쉽게 기존의 자료를 활용할 수 있다. 또한 대용량 공간 데이터를 신속히 조회 처리할 수 있는 공간색인기술을 통해 표출되어지는 지도를 빠르게 디스플레이 할 수 있는 기술을 적용시켜 사용자 편의를 극대화시킴으로서 개발환경의 개선 및 개발시간의 단축이라는 장점이 있다. Open GIS 전략으로 경제성을 확보하고 있는 MapWindow를 이용한 어플리케이션 개발자는 빠르고 쉽게 일관적이면서 지능적으로 상호 작용하는 환경으로 적은 소스코드만으로 뛰어난 개발 생산성을 가질 수 있다.

(3) 시스템 주요 기능

본 시스템의 주요기능으로는 크게 공간기상자료 입력 자동화, GIS 자료 제어 및 변환 그리고 표, 그래프 및 타임스케일 (Time scale)을 통한 출력 자료의 그래픽 표현 등이 있고 다양한 사용자 입출력 관련 GUI 구현을 위해 표 및 그래프 관련 오픈소스 활용, (주)마이크로소프트사의 닷넷 플랫폼 개발언어인 C# 을 이용하여 S/W를 개발하였다. (그림 5.)

공간기상자료 입력 자동화 부분에서는 분포형 수문모형의 방대한 지형 및 기상 입력자료를 폴더 단위의 일괄적 설정이 가능하도록 개발하였고 입력자료에 대한 미리보기 (Thumbnail) 기능을 통하여 전체적인 자료의 파악이 가능토록 하였다. 또한 각 입력자료 간의 시간적, 공간적 특성을 고려하여 자료의 오류를 자동으로 검수하도록 하여 프로젝트 구축의 편의성을 증대시키고자 하였다. GIS 자료 제어 및 변환 부분에서는 MapWindow를 활용하여 GIS Viewer 및 Converter를 개발하였다. 분포형 자료의 시각적 기능을 강화하기 위해 GIS Viewer에는 확대, 축소, 이동, 거리 및 면적 측정 등 GIS 자료제어 및 처리와 더불어 입출력 자료의 시공간적인 변화를 알아볼 수 있는 애니메이션 기능을 추가하였다. 또한 방위, 범례 및 축척을 표현하였으며 지도 상 마우스로 선택한 부분의 X, Y 좌표 및 격자값을 조회할 수 있고 원하는 날짜의 지도를 바로 보기위해 지도검색 기능을 구현하였다. Converter는 Grid형태의 입력파일들을 PGA-CC 프로그램의 입력자료인 ASC파일로 변환

해주는 외장프로그램으로서 화면에서 Grid파일을 미리보기로 확인할 수 있는 Viewer 기능과 Grid 파일을 트리구조화 하여 파일들을 일괄 변환할 수 있는 기능이 있다. 기존의 수문순환 모듈프로그램은 포트란(Fortran 90)으로 EXE 형태로 개발되어 DOS환경에서도 사용할 수 있도록 개발되었으며 기후변화 관련 모듈 개발을 통하여 각 권역별 기후변화를 고려한 수문변화를 전망할 수 있도록 하였고 그에 따라 사용자의 이용에 있어 편리함을 추구하기 위하여 GUI (Graphic User Interface)를 개발하였다. 출력자료의 그래픽 출력부분에서는 모형의 결과를 표현하기 위해 테이블과 그래프, 분포맵 그리고 물수지 그림으로 확인할 수 있도록 적용하였다. 테이블은 모의된 분포형 수문순환 요소들을 년, 월, 일 등 시간별로 자료를 나타낼 수 있도록 하였으며 필터링(Filtering) 기능을 통하여 사용자가 지정한 해당 기간 및 날짜의 자료만 출력할 수 있도록 하였다. 또한 고정열 (Freeze) 기능을 통하여 특정 수문요소에 해당하는 테이블 열을 고정시켜 다른 요소들과의 비교가 가능토록 하였으며 테이블 결과는 엑셀자료로 변

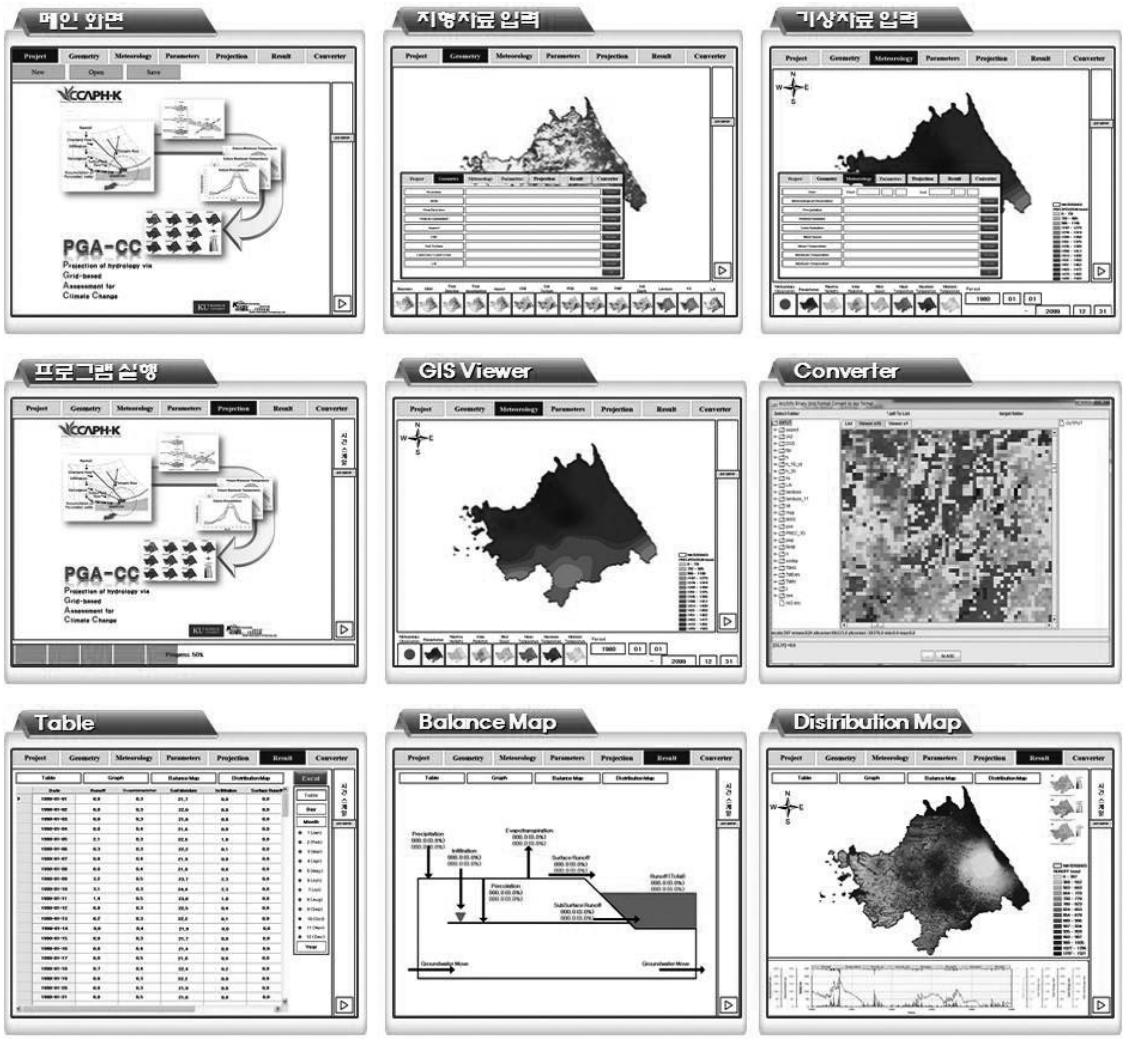

그림 5. PGA-CC 주요기능

환 시 필터링 및 고정열 설정 내용도 함께 반영하여 내보내기 할 수 있도록 하였다. 그래프에서는 기본적으로 분포형 수문모형으로 모의된 시간에 따른 강우와 유출 항목을 표현토록 하였으며 그 외에도 증발산, 침투, 직접 및 기저 유출 등 개별적인 수문요소 항목들도 한눈에 파악할 수 있도록 표현하였다. 이러한 수문요소들은 실시간으로 특정 항목들만 볼 수 있도록 사용자가 선택할 수 있도록 하였고, 모의 기간에 따른 그래프 확대, 축소 기능을 통하여 가시화를 극대화 하였다. 또한 그래프 상에서 마우스를 이용하여 해당날짜의 수문요소 수치값을 확인할 수 있도록 하여 수문요소들의 시간적 패턴뿐만 아니라 정확한 모의값도 파악할 수 있도록 하였다. 물수지 맵에서는 각 수문순환 요소들의 모의값 및 실측값을 수문순환 모식도 상에 개별 컴포넌트별로 표현하여 수문요소들 간의 분배형태를 파악할 수 있도록 하였고 모의값 및 실측값의 오차를 표현하고 오차범위 설정값 이상의 오차발생 시 색상 등의 알림을 통하여 모의결과의 적정성을 판단 할 수 있도록 하였다. 또한 이러한 결과에 Time Scale을 적용한 애니메이션 기능을 통하여 시간별로 물수지 현황을 확인 할 수 있도록 하였다 (Time Scale에서 애니메이션 시간 간격은 사용자가 설정할 수 있도록 하였다). 분포맵에서는 특정 수문순환 요소를 격자별 분포도와 그에 따른 그래프로 동시에 표현하여 대상유역의 물수지 요소들의 분포를 전체적으로 파악할 수 있도록 하였다. 또한 물수지 맵에서와 마찬가지로 Time Scale을 적용하여 격자 분포도와 그래프를 애니메이션화하여 시간별 수문순환 요소들의 변화를 확인 할 수 있도록 하였다. 애니메이션 실행 시 그래프 상에 해당 날짜를 나타내는 조회선을 표시 및 이동시킴으로서 격자분포도 상에 나타난 요소의 평균값을 조회할 수 있도록 하였다

4. 결 론

본 고에서는 GCM의 시나리오를 이용하여 수문순환모형으로 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 실시할 수 있는 GIS 기반의 격자 분포형 통합 수문순환 평가 시스템을 개발, 유역내의 특정 지점이나 지역에 대해 개별적인 수문평가를 검토할 수 있도록 하였다. 이를 위해 유역내의 수문거동을 공간정보로 표현할 수 있도록 GIS 제어 및 처리 GUI를 개발하였고, 결과에 대한 사용자의 가시화를 최대화 할 수 있도록 시간적 개념을 적용한 테이블 및 그래프 GUI를 개발하였다. 향후 이 PGA-CC 시스템을 이용하여 한반도 전 지역에 대한 기후변화영향 평가를 실시함으로써 국내의 특성을 잘 반영한 결과를 도출할 것으로 기대해본다.

참고문헌

1. 김병식, 김형수, 서병하, 신수봉 (2005). “기후변화가 수자원에 미치는 영향과 평가방법.” 대한토목학회지, 제53권, 제4호, pp. 30-42
2. 남상관, 오윤석, 김태훈, 강진아, 김장욱 (2009). “오픈소스 GIS 소프트웨어를 활용한 u-GIS 기반 도시 지상시설물 관리시스템 개발”, 제17권, 제4호, pp. 67-74
3. Verhoef, A., and Feddes, R.A. (1991). Preliminary review of revised FAO radiation and temperature methods. Land and Water Division FAO, Rome.
4. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., and Kiniry, J.R. (2002) Soil and Water Assessment Tool theoretical manul. Texas: Grassland Soil Water Research 2002.