

SRTM DEM을 이용한 격자기반 강우-유출모의

정인균¹ · 박종윤¹ · 박민지¹ · 신형진¹ · 정현교² · 김성준^{1*}

Application of a Grid-Based Rainfall-Runoff Model Using SRTM DEM

In-Kyun JUNG¹ · Jong-Yoon PARK¹ · Min-Ji PARK¹ · Hyung-Jin SHIN¹
Hyeon-Gyo JEONG² · Seong-Joon KIM^{1*}

요 약

본 연구에서는 원격탐사기법으로 구축된 SRTM(The Shuttle Radar Topography Mission) DEM의 격자기반 분포형 강우-유출모형의 적용성을 분석하였다. 충주댐유역에 대하여 격자해상도 500m의 SRTM DEM과 수치지형도로로부터 구축한 TOPO DEM을 구축하였고, 모형의 적용을 위하여 Stream-burning 기법으로 전처리하였다. 두 DEM으로부터 표고, 흐름방향, 수문학적 경사, 추출된 유역셀의 개수, 중단형상을 비교한 결과 SRTM DEM과 TOPO DEM이 매우 유사한 특성을 나타내는 것으로 분석되었다. 6개 강우사상을 대상으로 격자기반 분포형 강우-유출모델 KIMSTORM을 이용한 분석결과에서도 첨두유출과 유출용적의 상대오차 평균값이 각각 0.91%, 0.29%로 차이를 보이지 않았다. 분석결과로부터 SRTM DEM이 TOPO DEM과 같이 격자기반 강우-유출모형 적용시 만족할 수 있는 결과를 도출할 수 있는 지형자료임을 나타내었다.

주요어 : 수치표고모형, SRTM DEM, 분포형 강우-유출모형

ABSTRACT

In this study, the applicability of SRTM(The Shuttle Radar Topography Mission) DEM(Digital Elevation Model) which is one of the remotely sensed shuttle's radar digital elevation was tested for use as the input data in a grid-based rainfall-runoff model. The SRTM DEM and digital topographic map derived DEM(TOPO DEM) were building with 500m spatial resolution for the Chungju-Dam watershed which located in the middle east of South Korea, and stream-burning method was applied to delineate the proper flow direction for model application. Similar topographical characteristics

2010년 11월 2일 접수 Received on November 2, 2010 / 2010년 12월 2일 수정 Revised on December 2, 2010 / 2010년 12월 14일 심사완료 Accepted on December 14, 2010

1 건국대학교 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University

2 한강홍수통제소 하천정보센터 River Information Center, Han River Flood Control Center

* 연락처 E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

were shown as a result of comparing elevation, flow-direction, hydrological slope, number of watershed cell, and profile between SRTM DEM and TOPO DEM. Two DEMs were tested by using a grid-based rainfall-runoff model named KIMSTORM with 6 storm events. The results also showed no significant differences in average values of relative error for both peak runoff(0.91 %) and total runoff volume(0.29 %). The results showed that the SRTM DEM has applicability like TOPO DEM for use in a grid-based rainfall-runoff modeling.

KEYWORDS : Digital Elevation Model, SRTM DEM, Distributed Rainfall-Runoff Model

서 론

격자기반 강우-유출모형의 적용을 위해서 지형, 지표, 토양의 세 가지 지형공간자료가 필수적이다. 그 중에서 DEM(Digital Elevation Model)은 유역 및 하천의 지형관련인자를 결정하는 가장 중요한 기초자료로서, 흐름방향, 흐름방향에 따른 셀의 폭과 길이, 셀의 바닥경사, 흐름누적도, 유역과 하천의 구분과 같은 정보를 결정할 수 있는 1차 자료이다. 산출된 정보들은 모형에서 강우로 인해 발생된 유출의 이송과 속도를 결정하는 중요한 인자로 활용된다. DEM은 수치지형도, 지상측량, Lidar 센서, 스테레오 항공사진이나 위성영상을 자료원으로 지리정보 또는 원격탐사 기법을 활용하여 구축하게 되는데 수자원분야에서는 수치지형도의 표고자료를 이용하여 구축한 DEM을 주로 활용하고 있다. 수치지형도를 이용하여 DEM을 구축하는 과정은 작업계획 및 자료준비, 지형관련 레이어(표고점, 등고선)의 추출, TIN(Triangulate Irregular Network) 구축, DEM 변환, 음영기복도 생성 및 DEM자료에 중첩을 통한 지형의 오류검수와 지형자료 수정보완, 오류가 보정된 지형자료를 이용한 TIN 구축, 최종 DEM완성과 같은 다소 복잡한 과정에 의해 구축하게 되며, 자세한 과정은 한국지형에 적합한 수치표고모형 구축방안 연구(건설교통부, 2001), 1:5,000 수치지도를 이용한 DEM생성 기법 연구(정인균 등, 2003)과 같은 기존연구들을

참고할 수 있다. 이미 국내에서는 2000년부터 수행되었던 유역조사사업을 통해 제주도를 포함하는 한강, 낙동강, 금강, 영산·섬진강의 4개 대권역을 대상으로 1:5,000 수치지형도로부터 격자해상도 30m의 DEM을 구축하고 유역조사사업으로 구축된 지형공간정보 성과물들을 제공하고 있는 국가수자원관리 종합정보시스템(www.wamis.go.kr, 국토해양부)을 통해 서비스한 바 있다. 다만, 현재는 DEM으로부터 작성된 음영기복도만을 제공하고 있으므로 분석에 필요한 DEM은 상기 과정을 통하여 직접 구축하여 이용해야만 한다.

격자기반 강우-유출모형의 적용에서 DEM과 더불어 중요하게 고려되어야 할 것은 대상 유역의 크기에 따라 모형에 사용하는 공간자료의 해상도를 결정하는 것이다. 집중형 모형의 경우 분할된 유역경계에 대하여 계산된 매개변수의 평균값들을 적용하고 계산에 이용하므로 정밀한 자료를 이용할수록 평균값의 정도가 높아지며, 유역의 분할 개수에 따라 계산의 복잡도 및 분석소요시간이 달라질 수 있으나 많은 시간이 소요되지 않는다. 반면 격자기반의 분포형 모형은 대상지역을 포함하는 공간자료들을 일정한 크기의 셀들로 분할하고 저장된 셀값들을 모형에 그대로 적용하여 지정된 시간간격에 따라 대상지역을 구성하는 모든 셀에 대해 복잡한 계산을 처리하는 특징이 있다. 따라서 대상지역이 넓고 높은 공간해상도로 모형을 구축한다면 처리대상 셀의 개수가 많아질 뿐만 아니라 셀과 셀 사이의 이동시간이 짧아져야 하므로 짧은 계산시간간

격을 설정해야 하며 그만큼 계산의 복잡도 및 분석소요시간이 상당히 증가할 수 있어 단시간에 적합한 모의결과를 도출하는 것이 어렵게 된다. 또한 DEM 구축을 위한 시간과 노력을 감수해야만 한다. 그렇지만, 중대규모 유역을 대상으로 격자기반 분포형 모형을 적용하는 경우 계산의 효율성을 고려하여 100m에서 500m의 저해상도의 공간자료로 재배열하여 사용하는 것이 일반적이다. 이와 같은 경우 DEM 구축에 필요한 작업과정을 최소화 할 수 있는 방법으로 SRTM(The Shuttle Radar Topography Mission) DEM과 같이 원격탐사기법에 의하여 구축된 자료를 활용하는 것을 고려할 수 있다. SRTM DEM은 인터넷사이트를 통해 무료로 획득이 가능하기 때문에 수치지형도를 이용하여 DEM을 구축하는데 소요되는 비용부담이 없고 정확한 좌표체계를 가지고 있으므로 모형을 적용하고자 하는 대상지역의 좌표계와 해상도로 변환하는 과정만으로 간단히 구축하고 적용할 수 있다는 장점이 있다. SRTM DEM과 관련하여 이훈열(2006)은 SAR 관련논문 통계분석에 의한 SAR 시스템, 기술, 활용분야 고찰연구에서 SRTM 자료를 소개한바 있으며, 유승환 등(2007)은 NGIS 1:25,000 수치지형도로부터 작성된 DEM을 기준으로 SRTM DEM에 대한 정확도를 평가함으로써 미세측지역 또는 광범위한 지역의 DEM자료 구축에 사용가능성이 있음을 제시한 바 있다. 강경호 등(2009)은 1:5,000 수치지형도를 이용하여 ASTER DEM과 SRTM DEM의 정확도를 검증한바 있다. Tulu(2005)는 준 분포형모형인 SWAT의 유출모의, TOPMODEL의 기본 매개변수인 지형지수를 산정하는데 있어 SRTM DEM 적용에 대한 한계와 불확실성에 대하여 연구한바 있다.

본 연구에서는 SRTM DEM과 수치지형도를 이용하여 구축한 DEM으로부터 지형관련 인자의 차이점 및 격자기반 강우-유출모형 적용에 따른 결과를 비교함으로써 분포형 모형의 입력 자료로서 SRTM DEM의 적용성을

검토해보고자 한다.

연구방법

1. 대상유역

충주댐 유역(6,661km²)은 우리나라 북동부 산악지역에 위치해 있으며, 500m 격자해상도의 SRTM DEM을 기준으로 평균표고 EL. 616.7m (최대 EL. 1536.5m), 평균경사 14.2% (최대 50.7%)의 지형특성이 있으며, 유역내 위치한 하천들은 대부분 사행하천의 형태를 나타내고 있다(그림 1). 연평균강우량은 1,198mm로 유역 출구점에는 한강유역에서 두 번째로 큰 규모로 남한강 하류 및 한강 본류에 이르는 홍수조절에 기여하고 있는 충주댐이 위치하고 있다.

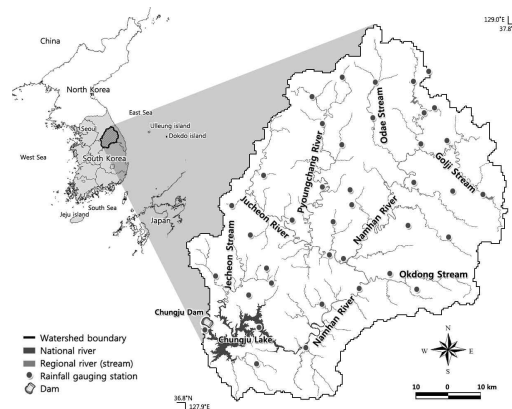


FIGURE 1. 충주댐 유역도

2. DEM 자료구축

SRTM은 전 지구적 규모의 DEM을 제작하기 위하여 미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)의 JPL(Jet Propulsion Laboratory)과 NIMA(National Imaging & Mapping Agency)가 독일과 이탈리아의 우주국과 협동으로 수행한 임무이다. DEM 자료는 2000년 2월 발사된 우주왕복선 엔버더호에 장착한 센서로부터 측정된

X-band와 C-band의 InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar) 데이터로부터 구축되었으며, 이 임무에서 수집된 12테라바이트의 데이터는 북위 60°와 남위 56°사이의 측정값으로 전지구대륙의 80%에 해당하며, 그 중 99.96%가 최소 1회 측정되었으며, 94.59%가 1회, 50%가 세 번 이상 측정된 값이다(Gamache, 2004). InSAR는 두 장 이상의 복소수 형태인 SAR(Synthetic Aperture Radar) 자료에서 위상차 정보를 이용하여 고해상도 DEM을 얻어내는 기술이다(이훈열, 2006). SRTM DEM은 여러 형태와 해상도로 가공되어 USGS Eros FTP Server, USGS Eros Data Center, USGS Seamless Server, University of Maryland GLCF(Global Land Cover Facility), CIAT(International Centre for Tropical Agriculture)에서 저가 또는 무료로 제공하고 있다(Gamache, 2004). 그 중 CIAT에서 제공하고 있는 DEM은 C-Band InSAR 3 arc second(약90m)자료를 처리한 것으로 CGIAR-CSI(Consultative Group on International Agricultural Research - Consortium for Spatial Information)의 SRTM 90m 데이터베이스 서버를 통해 서비스되고 있으며 웹사이트 주소는 srtm.csi.cgiar.org이다. 최근자료는 Hole-filled SRTM for the globe Version 4(Jarvis *et*

al., 2008)이며 Reuter *et al.*(2007)이 제시한 내삽기법에 의해 처리된 자료이다. 추가적으로 90m SRTM DEM을 250m, 500m, 1km로 재배열한 자료도 제공하고 있다. CGIAR-CSI의 90m SRTM DEM은 다양한 종류의 GIS 소프트웨어에서 쉽게 변환하여 사용할 수 있도록 WGS84 경위도 좌표계를 기준으로 5°×5°간격으로 분할된 ESRI ASCII Grid 및 GeoTiff 형식으로 되어있다.

본 연구에서는 대상구역의 면적이 넓기 때문에 서론에 제시된 바와 같이 모형운영의 효율성을 고려하였으며 실제 모형에 이용되는 셀의 개수가 25,000~30,000개 범위에서 결정될 수 있도록 입력공간자료의 해상도 크기를 500m로 설정하였다. 따라서 CGIAR-CSI 서버로부터 위도 35°N~40°N, 경도 125°E~130°E에 해당하는 영역의 격자해상도 90m의 SRTM DEM을 다운로드하고 Bessel TM 중부원점으로 좌표변환을 실시한 후 500m 공간해상도로 재배열하여 그림 2(a)과 같이 SRTM DEM을 구축하였다. 수치지형도로부터 구축한 DEM을 본 연구에서는 TOPO DEM이라 하였으며, 국토지리정보원의 1:5,000 수치지형도로부터 등고선과 표고점을 추출하고 ESRI ARC/INFO Workstation, ArcView GIS, ArcView Spatial Analyst를 이용하여 정인균 등(2003)의 연구에 제시된

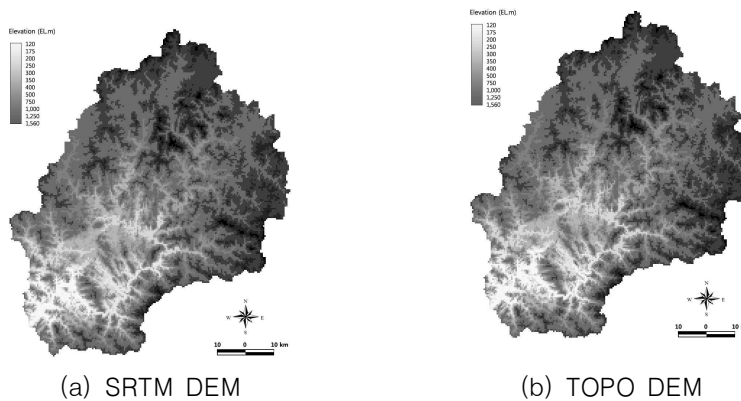


FIGURE 2. SRTM DEM과 TOPO DEM

구축절차에 따라 구축하였으며, SRTM DEM과 동일한 공간해상도로 구축된 TOPO DEM은 그림 2(b)와 같다.

3. DEM 전처리

격자 물수지기법을 적용한 분포형 모형은 유역을 구성하는 셀에서 발생된 흐름을 추적하여 최종적으로 유역출구에서의 물수지를 파악하는 구조이므로 실제하천의 흐름형상을 잘 반영하고 있는 흐름방향도를 생성하여 적용하는 것이 중요하다. 널리 이용되는 전처리 방법으로는 Stream-burning (FillBurn) 또는 AgreeBurn 기법이 있으며, Stream-burning 기법은 DEM과 동일한 해상도를 가지는 격자

하천망을 이용하여 하천셀 이외 영역의 표고값을 인위적으로 높게 처리하는 방법으로 공간데이터의 해상도에 상관없이 적용가능한 방법이다. 반면 AgreeBurn은 격자하천망 주변으로 설정된 셀의 개수만큼 트렌치를 형성하여 DEM 표면을 재구성하는 방법으로 표고자료의 변형이 크기 때문에 셀의 해상도가 높고 평지가 많은 지형에 적합한 전처리기법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 지형의 기복이 큰 지역을 대상으로 500m의 낮은 공간해상도로 자료를 구성하였으므로 Stream-burning기법을 DEM 전처리 기법으로 채택하였다.

전처리를 위한 격자하천자료는 수치지형도

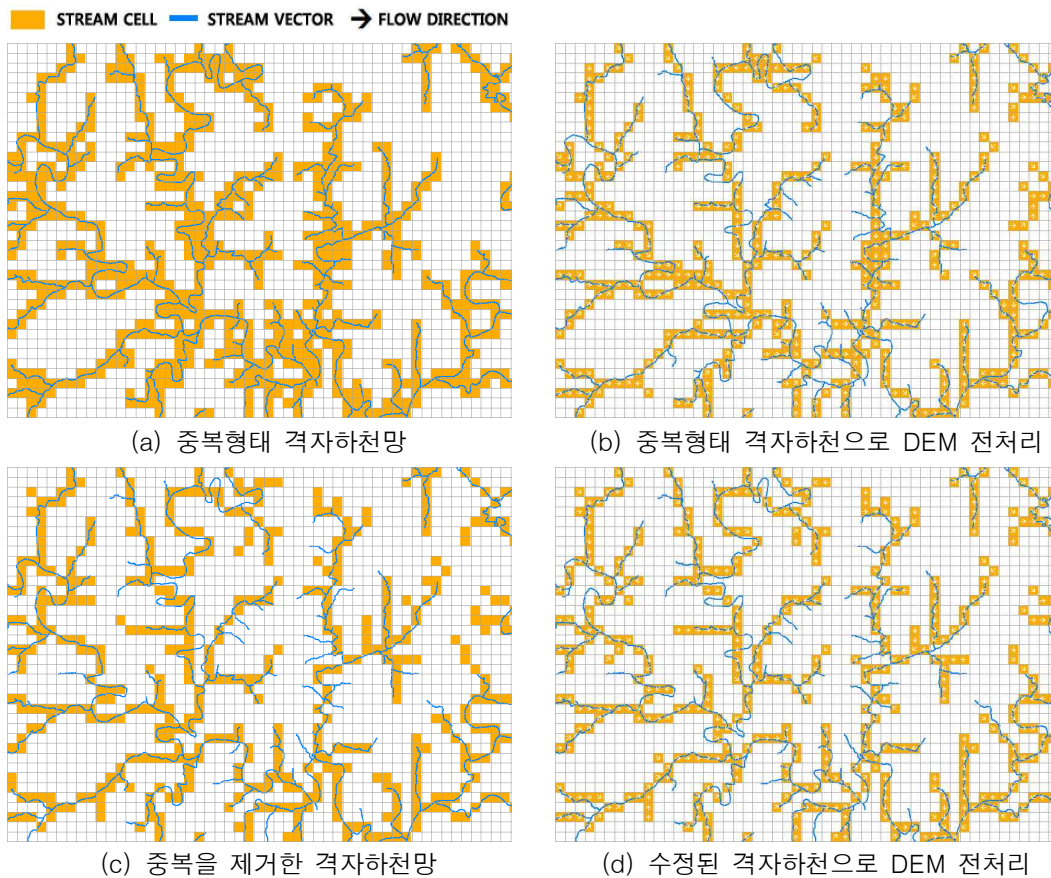


FIGURE 3. 격자하천형태에 따른 하천셀 생성결과와 흐름방향

로부터 추출하여 구축한 벡터하천망을 이용하여 변환하였다. 선형의 벡터자료를 격자자료로 변환할 때 벡터라인이 셀의 경계에 위치하는 정도에 따라 셀 경계부에서 중복되는 형태를 나타내게 되는데, 벡터라인의 굴곡이 심하고 변환하고자 하는 해상도가 낮을수록 변환된 셀의 중복은 더욱 증가하게 되는 것이 일반적인 형태이다. 따라서 대상지역과 같이 사행이 심한 하천형태를 나타내는 경우 낮은 공간해상도로 변환된 격자하천자료를 전처리에 그대로 적용하게 된다면 적절한 흐름방향을 정의하기 위한 DEM 전처리는 큰 의미가 없게 될 수 있다. 이와 같은 점을 보완하고자 본 연구에서는 변환된 격자하천망에서 중복된 셀을 제거하여 DEM 전처리에 적용하였다. 그림 3(1)은 벡터하천망을 공간해상도 500m의 격자하천망으로 변환한 결과를 비교한 것이며 그림 3(2)는 그림 3(1)의 중복된 격자하천자료로 전처리한 DEM으로부터 생성된 하천셀과 흐름방향이다. 벡터하천과 비교하여 생성된 격자하천망의 흐름이 중복되거나 올바르게 연결되지 못한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 3(3)은 그림 3(2)의 하천셀 및 흐름을 참고하여 중복된 하천셀을 최대한 제거하여 보완한 격자하천망이며, 그림 3(4)와 같이

생성된 결과가 실제하천의 흐름의 형태를 최대한 유사하게 나타내고 것을 확인할 수 있다.

4. 모형의 개요

구축된 DEM을 적용하기 위하여 격자기반 분포형 강우-유출모형 KIMSTORM(grid-based KIneMatic wave STOrM Runoff Model)을 적용하였다(김성준, 1998; 정인균, 2010). KIMSTORM은 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고, 각각의 셀에 대한 지형, 지표 및 토양의 물리적인 특성들을 매개변수로 하여 주어진 시간간격별로 침투, 침투, 지표 및 지표하 유출, 가정된 기저유량을 산정한 후 격자물수지법에 의해 흐름경로를 따라 인접한 셀들로부터의 유입량과 중심 셀에서의 유출량에 대한 물수지를 계산함으로써 유역의 전반적인 수문량에 대한 시간적 변화와 공간적인 분포를 파악할 수 있는 모형이다. 유출해석을 위하여 지표셀은 3개층(지표, 불포화 및 포화 지표하층)으로, 하천셀은 단일층으로 구성되어 있으며 모형의 개념은 그림 4와 같고 지표와 토양층에 대해 식 (1)과 식 (2)의 물수지식을 적용하고 있다.

$$\frac{dS_i}{dt} = P(t)_i - F(t)_i + \sum Q_{surf.in.i} - Q_{surf.out.i} \quad (1)$$

for overland flow

$$= P(t)_i + \sum Q_{surf.in.i} + \sum Q_{sub.in.i} + Q_{bf.in.i} - Q_{surf.out.i}$$

for stream flow

$$\frac{dSW_i}{dt} = F(t)_i + \sum Q_{sub.in.i} - Q_{sub.out.i} - DR(t)_i \quad (2)$$

여기서 i 는 셀주소, S_i 는 저류량 (m^3), $P(t)_i$ 는 강우량 (m^3), $F(t)_i$ 는 침투량 (m^3), $Q_{surf.in.i}$ 는 셀에 인접한 셀의 지표층으로부터의 유입량 (m^3/sec), $Q_{surf.out.i}$ 는 지표층의 유출량 (m^3/sec), $Q_{sub.in.i}$ 는 셀에 인접한 셀의 불포화 지표하층으로부터의 유입량

(m^3/sec), $Q_{sub.out.i}$ 는 불포화 지표하층의 유출량 (m^3/sec), $Q_{bf.in.i}$ 는 포화 지표하층으로 침투된 용적으로부터 가정된 기저유입량 (m^3/sec), SW_i 는 불포화 토양층의 격자토양수분 (m^3), $DR(t)_i$ 는 침투량 (m^3), t 는 시간간격 (sec)이다.

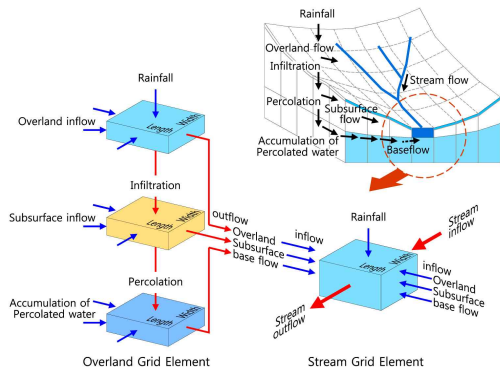


FIGURE 4. 셀에서의 물수지 요소

5. 강우 및 유량자료

충주댐유역과 관련 있는 43개 강우관측소 (수자원공사 31개소, 국토해양부 7개소, 기상청 5개소)의 1시간 강우자료를 국가수자원관리 종합정보시스템과 기상청으로부터 수집하였고, 분석결과의 평가를 위한 충주댐의 유입량자료는 한국수자원공사홈페이지의 물정보관으로부터 수집하였다. 점 강우자료는 IDW (Inverse Distance Weighting) 기법으로 공간내삽하여 적용하였으며, 내삽에 필요한 가중치는 Franke and Nielson(1980)의 방법을 적용하였다. 표 1은 분석에 적용된 강우사상상별 특성을 요약한 것이다.

6. GIS자료 및 모형매개변수

모형에는 DEM, 흐름방향도, 토지피복도,

토심도, 토양의 점토와 모래 입경분포도가 필수 GIS(Geographic Information System)자료로 입력된다. 최근 개선된 버전에서는 모형을 구성하는데 필요한 유역도 및 토양의 물리적 특성과 관련된 공간매개변수 분포도, 강우분포 방법에 따라 입력이 요구되었던 티센망이 모형에 설정된 조건에 따라 자동으로 생성되어 입력되기 때문에 추가로 필요한 GIS자료는 없으나 산정지점의 위치에 따라 자동으로 결정되는 유역경계가 달라지기 때문에 필수 GIS 자료들은 유역경계를 대상으로 마스크킹하지 않은 상태로 구축하여 적용해야 한다.

토지피복도는 2000년 5월 8일 촬영된 Landsat ETM+ 위성영상과 1999년 10월 25일 촬영된 IRS-1D Pan 영상을 융합한 위성영상을 이용하여 구축된 1/25,000 환경부 자료를 이용하였으며, 산림이 전체유역면적의 83.41%, 밭 8.68%, 논 2.75%순으로 구성되어 있다. 토지피복도는 지표면의 조도계수를 분포시키는데 이용되며, 이 값들은 Chow *et al.*(1988)과 Vieux(2004)의 문헌을 참고하여 입력하였다. 농촌진흥청 농업토양정보시스템의 토양통 검색서비스에서 토심, 토양의 점토와 모래의 입경분포를 수집하고 농업과학기술원의 1/25,000 정밀토양도의 토양통 속성을 기준으로 연결하여 구축하였다. 유효토심은 심토(B)층까지의 깊이로 가정하였으며, 유효토심범위에서 표토(A)층과 심토층의 심도가 같은 경우를 제외한 330개 토양통에서 표

TABLE 1. 적용강우사상 요약

이벤트 기호	발생 기간	강우 지속시간 (hr)	평균 강우량 (mm)	첨두유량 (m3/s)	유출용적 (천m3)	발생 원인
EVUC01	2003/09/11-16:00:00	61	109.6	9,972	804,473	태풍 매미
EVUC02	2004/06/19-00:00:00	87	294.5	10,569	1,152,625	집중호우
EVUC03	2005/06/30-23:00:00	18	100.8	5,807	452,073	집중호우
EVUC04	2006/07/11-21:00:00	203	543.1	22,650	3,944,006	집중호우와 태풍 에위니아
EVUC05	2006/07/25-23:00:00	92	209.5	8,305	1,163,300	집중호우와 태풍 개미
EVUC06	2008/07/23-19:00:00	89	196.0	9,060	918,158	집중호우와 태풍 갈매기

토층이 차지하는 비율이 최저 4.3%에서 평균적으로 25.1% 범위를 나타내고 있는바 입경 분포는 심토층의 값을 적용하여 공간자료를 구축하였다. 전체유역면적의 55.47%가 20cm 이상 75cm 이하의 심도, 26.21%가 20cm 이하의 얕은 심도로 구성되어 있다. 입경분포 자료로부터 토양의 물리적 특성인 포화토양수분, 포장용수량, 영구위조점, 포화투수계수는 Saxton *et al.*(1986)의 추정공식을, 습윤선단 흡인수두는 Rawls and Brakensiek(1985)의 추정공식을 이용하여 모형에 입력된다. 미국 농무성의 토성구분 삼각도표를 기준으로 본 연구대상유역의 토성을 분류한 결과 사양토 28.99%, 미사질양토 29.10%, 양토 22.73%

의 순으로 나타났다. 그림 5는 SRTM DEM을 전처리하여 생성한 흐름방향도, 토지피복도, 토심도, 토양의 점토와 모래 입경분포도, 그리고 토성분류 결과를 충주댐 방류지점을 유역 출구점으로 설정하여 추출한 유역경계로 마스킹 하여 나타낸 것이다.

KIMSTORM모형의 적용시 조정이 필요한 매개변수는 표 2와 같다. 공간적으로 분포된 물리적 특성인 지표조도계수, 포화투수계수, 습윤선단 흡인수두, 유효투수계수, 최대 침투율은 조정계수를 설정하여 조정하며, 기타의 매개변수들은 유역 또는 하천셀에 동일한 값을 일괄적으로 분포시키는 방법으로 조정하게 된다. 매개변수 중 유효투수계수 및 최대 침

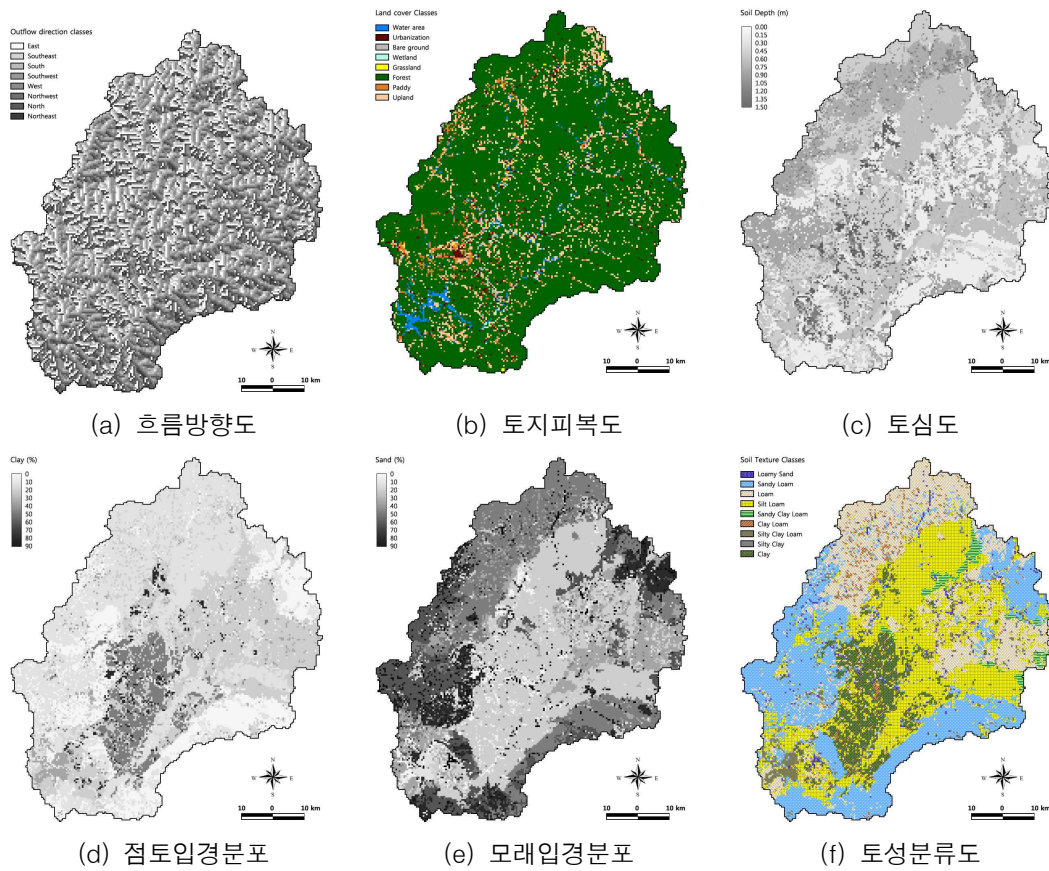


FIGURE 5. GIS 자료구축

루율은 침투수의 수직이동속도와 관련된 항목으로 정확한 값을 알 수 없기 때문에 포화투수계수값에 조정계수를 곱한 값을 적용하게 된다. 매개변수의 검보정은 시행착오법을 이용하는데 모형에는 Nash & Sutcliffe 모형효율 (ME), 유출용적지수 (VCI), 침투유출량의 상대오차 (EQp), 침투시간차 (DTp)의 4가지 평가함수가 내장되어 있어 실측유량과 모의결과의 비교를 지원한다. VCI는 초기토양수분조건을, EQp와 DTp는 하천조도계수를 결정하는 기준으로 유용하게 쓰인다. 모형의 검보정은 ME가 0.90 이상, VCI가 0.95~1.05 범

위내, EQp가 0.05이하, DTp가 ± 1시간 이내의 조건을 만족하는 경우를 기준으로 한다. 대상지역의 매개변수 검보정은 상기 명시된 자료와 SRTM DEM을 적용하여 정인균 등(2010)이 수행한바 있으며, 4개 강우사상의 매개변수 보정결과로 ME, VCI, EQp, DTp의 평균이 각각 0.929, 1.035, 0.037, -0.406 hr, 2개 강우사상의 검정결과로 ME, VCI, EQp, DTp의 평균이 각각 0.956, 0.939, 0.055, 0.729 hr임을 제시하였다. 본 연구에서는 표 3과 같이 해당연구의 검보정된 매개변수를 적용하였다.

TABLE 2. 모형의 매개변수와 조정범위

매개변수	단위	최소범위	최대범위	정 의	유출과정
SW _{ini}	%	30.00	100.00	초기토양수분	토양수
n _{surf} ¹		0.50	2.00	지표면 Manning 조도계수	유출
n _{str}		0.02	0.08	하천 Manning 조도계수	
D _c ¹	m	0.50	2.00	유효토심	토양수
K _{sat} ¹	cm/hr	0.50	10.00	포화투수계수	
K _e ²	cm/hr	0.25	5.00	유효투수계수	침투
ψ _{wf} ¹	cm	0.50	5.00	습윤선단흡인수두	
f _p ²	cm/hr	0.02	0.10	최대침투율	침투
BF _{TH}		0.25	0.60	기저흐름입계상수	가정된 기저흐름
BF _{cnst}		0.005	0.05	기저흐름기여상수	

¹ 조정계수를 설정하여 유역전체의 공간매개변수 값을 조정하는 매개변수

² 포화투수계수를 기준으로 조정계수를 곱하여 값을 조정하는 매개변수

TABLE 3. 4개 강우사상에 대하여 보정된 매개변수

매개변수	이벤트기호				평균값
	EVUC01	EVUC02	EVUC03	EVUC04	
조정계수	n _{surf}	1.000	1.000	1.000	1.000
	D _c	1.000	1.100	1.000	1.000
	K _{sat}	3.000	3.000	3.000	3.000
	K _e	2.500	2.500	2.200	2.500
	ψ _{wf}	1.000	1.000	1.000	1.000
	f _p	0.170	0.220	0.220	0.180
Parameters	SW _{ini}	67%	32%	62%	76%
	n _{str}	0.042	0.048	0.050	0.049
	BF _{TH}	0.380	0.400	0.350	0.450
	BF _{cnst}	0.030	0.047	0.032	0.040

분석결과

1. DEM의 특성비교

격자기반 분포형 모형의 적용에서 분석결과에 영향을 미칠 수 있는 표고, 흐름방향, SINK가 처리된 DEM의 표고값과 흐름방향도를 이용하여 산정된 수문학적경사도, 유역셀의 개수에 대하여 SRTM DEM과 TOPO DEM의 결과를 비교하였다. 표 4와 같이 SRTM DEM의 유역셀은 총 26,503개로 하천추출 임계값을 5셀 이상으로 설정한 경우 21,528셀(81.2%)이 지표로, 4,975셀(18.8%)이 하천으로 정의 되었다. TOPO DEM도 유사한 결과를 나타내었으며, 정의된 유역셀의 개수가 단지 3개더 많은 것으로 나타났다. 평균표고와 평균경사의 상대오차는 각

각 1.00%와 0.55%로 나타났으며 SRTM DEM이 TOPO DEM에 비해 평균표고가 6.15m 높고 수문학적경사의 평균이 0.09% 낮은 것으로 분석되었다. 두 DEM으로부터 생성한 유역셀을 중첩한 결과 26,463셀(99.8%)의 위치가 일치하였으며, 164셀이 SRTM DEM에서 하천에 위치하였으나 TOPO DEM에서 지표에 위치하였고, 반대의 경우가 172셀로 분석되었다. 그림 6은 일치하는 영역에 대하여 표고와 경사차이를 공간적으로 나타낸 것으로 SRTM DEM의 표고 61.8%와 경사 55.6%가 TOPO DEM에 비해 높게 분포하였다. 유역이 일치하는 영역에 대한 표고와 경사의 상관계수는 각각 0.997, 0.942로 나타나 분석결과를 종합할 때 두 자료의 공간적인 특성이 상당히 유사함을 알 수 있다.

TABLE 4. SRTM DEM과 TOPO DEM의 유역, 하천, 표고, 경사특성 비교

항 목	정의된 셀 개수			평균표고 (EL.m)	평균경사 (%)
	합계	유역	하천		
SRTM DEM	26,503	21,528	4,975	616.71	16.29
TOPO DEM	26,506	21,523	4,983	610.56	16.38
차이	-3	5	-8	6.15	-0.09
상대오차(%)	0.01	0.02	0.16	1.00	0.55

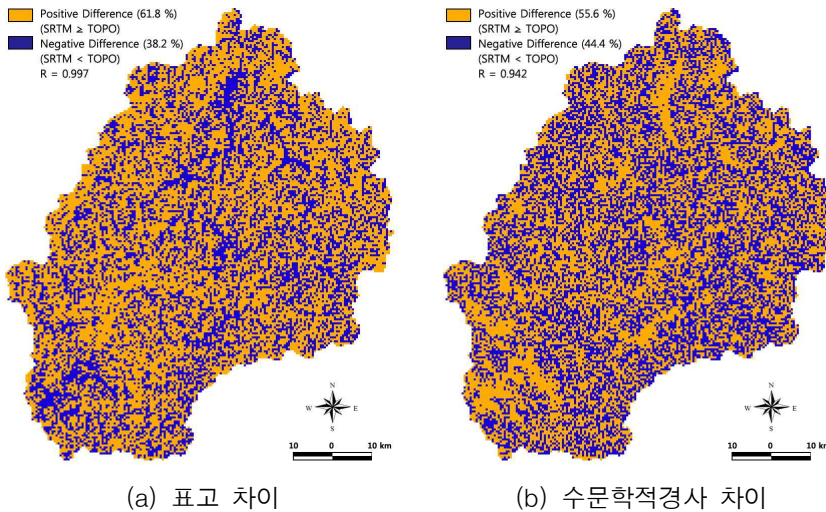


FIGURE 6. 표고와 수문학적경사의 차이분포

TABLE 5. 흐름방향정의 결과비교

항 목	셀 흐름방향							
	동	남동	남	남서	서	북서	북	북동
SRTM DEM	3906	2,022	4,709	2,365	5,262	2,033	4,210	1,996
TOPO DEM	3879	2,094	4,715	2,355	5,232	1,994	4,229	2,008
차이	27	-72	-6	10	30	39	-19	-12
상대오차(%)	0.69	3.56	0.13	0.42	0.57	1.92	0.45	0.60

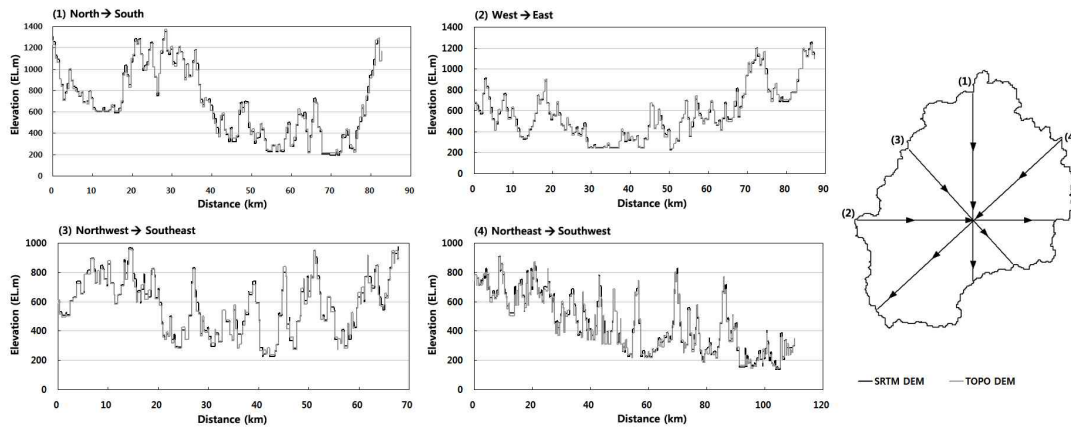


FIGURE 7. SRTM DEM과 TOPO DEM의 종단형비교

추가적으로, 정의된 흐름방향을 비교한 결과에서도 최소 0.13%에서 최대 3.56%의 상대오차를 나타내어 큰 차이가 없음을 확인하였다(표 5). 이와 같이 흐름방향과 유역의 추출결과가 유사한 것은 DEM전처리에 동일한 격자하천망을 적용하였기 때문인 것으로 판단된다.

SRTM DEM과 TOPO DEM의 종단형태를 비교하고자 그림 7과 같이 4개 방향에 대하여 종단형태를 중첩하여 나타내고 상관계수를 비교하였다. 종단방향별로 북에서 남쪽 방향이 0.997, 북서에서 남동방향이 0.993, 서에서 동쪽방향이 0.997, 북동에서 서남방향이 0.994, 4개 방향의 상관계수 평균은 0.995로 상당히 일치하는 형태를 나타내었다.

2. 유출모의결과

표 6은 SRTM DEM과 TOPO DEM을 적용하여 강우-유출을 모의한 결과를 비교한 것이다. 첨두유출 모의결과 상대오차의 범위는 0.31%~2.22%로 평균 0.91%를, 유출용적은 0.02%~0.61%로 평균 0.29%의 상대오차를 나타내어 큰 차이를 보이지 않았다. 전체적으로 SRTM DEM을 적용한 첨두유출량과 유출용적의 모의 결과가 TOPO DEM에 비해 약간의 큰 값을 나타내었는데, 두 DEM으로부터 흐름방향이나 유역 및 하천의 정의가 유사하다면 이와 같은 결과에 가장 큰 영향을 미친것은 셀의 경사로 생각된다. 셀의 경사에 따라 초과우량의 전달속도가 빨라지게 되고 그만큼 더 큰 유량이 유역출구로 전달될 수 있기 때문이다. 표 4에서는 SRTM DEM의 평균경사가 TOPO DEM보다 작으나 그림 6에서 SRTM DEM의 경사가 높은 경우가 55.6%로 TOPO DEM이 높은 경우인 44.4%

보다 11.3% 더 많은 것을 보면 경사의 영향이 있음을 추측할 수 있다. 모든 분석결과를 통하여 본 연구와 같이 공간해상도를 낮게 구성하여 모의하는 경우 SRTM DEM이나

TOPO DEM 모두 만족할 수 있는 결과를 도출할 있는 공간자료임을 판단할 수 있다.

TABLE 6. 침투유출량과 유출용적 모의결과 비교


이벤트 부호	침투유출량 (m ³ /s)				유출용적 (천m ³)			
	SRTM DEM	TOPO DEM	차이	상대오차 (%)	SRTM DEM	TOPO DEM	차이	상대오차 (%)
EVUC01	10,275	10,343	-68	0.66	833,708	833,531	177	0.02
EVUC02	10,627	10,391	236	2.22	1,228,950	1,225,442	3,508	0.29
EVUC03	6,152	6,097	55	0.91	482,754	479,796	2,958	0.61
EVUC04	21,451	21,528	-77	0.31	3,826,839	3,816,999	9,840	0.26
EVUC05	7,906	7,845	61	0.77	1,125,954	1,122,818	3,136	0.28
EVUC06	9,609	9,551	58	0.61	834,828	832,683	2,145	0.26

결론

본 연구에서는 충주댐유역을 대상으로 SRTM DEM과 수치지형도를 이용하여 구축한 TOPO DEM의 특성을 파악하고 격자기반 분포형 강우-유출모형에 두 DEM을 적용함에 따라 나타나는 모의결과의 차이를 비교하여 모형의 입력 자료로서 SRTM DEM의 적용성을 분석하였다. 공간해상도 500m로 GIS자료를 구축하였으며, 적절한 흐름방향의 정의를 위하여 DEM을 전처리하였다. 두 DEM으로부터 표고, 흐름방향, 수문학적 경사, 추출된 유역셀의 개수를 비교하여 지형과 관련된 특성의 차이점을 파악하였으며 500m 공간해상도의 SRTM DEM과 TOPO DEM이 매우 유사한 공간특성을 가지고 있음을 파악할 수 있었다. 6개 강우사상을 대상으로 강우-유출을 모의한 결과에서도 침투유출과 유출용적의 상대오차 평균값이 각각 0.91%, 0.29%로 분석되어 공간해상도를 낮게 구성하여 모의하는 경우 SRTM DEM이나 TOPO DEM 모두 만족할 수 있는 결과를 도출할 있는 공간자료임을 판단할 수 있다. 연구결과를 통해 충주댐유역을 대상으로 분포형 강우-유출모형을 모의하

는 경우 다운로드 후 간단한 좌표변환과정으로 지형자료를 구축할 수 있는 SRTM DEM이 충분히 적용가능 함을 파악할 수 있었다. 본 연구에서는 500m 공간해상도를 대상으로 분석하였으나 추후에는 90m, 250m의 DEM에 대해서도 적용성을 검토하는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각되며, 이와 같은 연구에서도 적용성이 있는 것으로 판단된다면 저해상도 DEM을 사용하는 모델링에서 SRTM DEM의 활용도가 증가할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 한국건설교통기술평가원의 2009 건설기술혁신사업인 '기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망' 과제에 의해 지원되었습니다. 

참고문헌

- 강경호, 손홍규, 정재훈, 최시경. 2009. 1:5,000 수치지형도를 이용한 ASTER DEM, SRTM DEM의 정확도 검증. 2009 GIS 공동추계학술발표대회 발표논문집.

- 378-383쪽.
- 건설교통부, 2001. 한국지형에 적합한 수치표고모형 구축방안 연구.
- 국토해양부 한강홍수통제소, 2003. 국가수자원관리 종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr>
- 김성준, 1998. 격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(I) - 이론 및 모형 -. 한국수자원학회논문집, 31(3):303-308.
- 유승환, 남원호, 최진용, 2007. SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)의 정확성평가. 한국관개배수 14(1):80-88.
- 이훈열, 2006. SAR 관련 논문 통계 분석에 의한 SAR 시스템, 기술, 활용분야 고찰, 대한원격탐사학회지 22(2):153-174.
- 정인균, 2010. 분포형 강우-유출모형의 토양수분 및 격자흐름추적 알고리즘 개발 및 적용. 건국대학교대학원 박사학위논문. 48쪽.
- 정인균, 박중윤, 조형경, 이지완, 김성준, 2010. 분포형 강우-유출모형의 하도자료 구축을 위한 하폭 및 하상경사 산정공식 개발. 한국농공학회논문집, 52(4):1-10.
- 정인균, 이미선, 김성준, 2003. 1:5,000 수치지도를 이용한 DEM생성 기법 연구. 한국농업정보과학학회지 4(1):27-35.
- Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill. New York. pp.20-52.
- Franke, R. and G.M. Nielson. 1980. Smooth interpolation of large sets of scattered data. International Journal for Numerical Methods in Engineering 15:1691-1704.
- Gamache, M. 2004. Free and Low Cost Datasets for International Mountain Cartography. http://www.terrainmap.com/downloads/Gamache_final_web.pdf.
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson and E. Guevara. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4. <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Rawls, W.J. and D.L. Brakensiek. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. In: Watershed Management in the Eighties. Eds. Jones, E and Ward, T.J. Proceedings of a Symposium ASCE, 293-299. Denver, Colo. New York: ASCE.
- Reuter, H.I., A. Nelson and A. Jarvis. 2007. An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data. International Journal of Geographic Information Science 21(9):983-1008.
- Saxton, K.E., W.J. Rawls, J.S. Romberger and R.I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 50(4):1031-1036.
- Tulu, M.D. 2005. SRTM DEM Suitability in Runoff Studies. ITC MSc dissertation. Enschede. The Netherlands. pp.51-64.
- Vieux, B.E. 2004. Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. 2nd Edition. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. pp.91-128. **KAGIS**