

드론 공간정보기술을 활용한 수질 모델링

김영주

전주비전대학교 지적토목학과

Water Quality Modeling using Drone and Spatial Information Technology

Young-Joo Kim

Department of Cadastre&Civil Engineering, Vision College of Jeonju

요약 우리나라에서도 하천, 호소 및 하구에서의 수질 문제가 심각하게 대두되고 있다. 담수호 및 하천 유역의 부영양화를 극복하기 위해서는 수질의 체계적인 관리가 필요하며 담수호 및 유역의 수질관리를 위해서는 유역에 적합한 수문 모델과 하천 및 호소 등 수질 모델을 적용하여 이러한 모델의 예측 결과를 바탕으로 수질오염 개선 대책을 제시하여야 한다. 유역에서의 적절한 수질오염 개선 대책을 적용하기 위해서는 정확한 오염원의 파악과 오염부하량을 예측하고 제시해야 한다. GIS를 기반으로 오염원 데이터베이스와 수문 및 수질 예측 모델의 연계가 공간상의 위치를 기반으로 통합적으로 이루어짐으로써 수질 모델링 과정을 종합적으로 포함하여 유역 수질을 개선할 수 있는 체계적 지원이 가능할 것이다. 본 논문에서는 담수호 및 하천 유역에서 수질오염을 정확하게 예측하기 위해서 GIS 기반의 공간정보를 활용하여 수질 모델 시스템을 구축하여 향후 담수호 유역의 종합적인 수질관리 방법을 제시하고 수질 모델링을 통해 오염원의 체계적인 관리와 자동화된 공간정보를 활용하여 수문 및 수질 모델을 용이하고 효율적으로 운용하고자 본 연구를 수행하였다.

- 주제어 : 드론, 수질관리, 공간정보, 수질 모델링, 수환경

Abstract Water quality problems in rivers, lakes, and estuaries have become serious in Korea. In order to overcome eutrophication of freshwater lakes and river basins, systematic management of water quality is necessary. To manage water quality in freshwater lakes and basins, apply hydrological models suitable for the basin and water quality models such as rivers and lakes to reduce water pollution based on the prediction results of these models. Improvement measures must be presented. In order to apply appropriate water pollution improvement measures in the watershed, accurate pollution sources must be identified and pollution loads must be predicted and presented. Based on GIS, the connection between the pollutant database and the hydrological and water quality prediction model will be integrated based on spatial location, making it possible to provide systematic support to improve watershed water quality by comprehensively including the water quality modeling process. In this paper, in order to accurately predict water pollution in freshwater lakes and river basins, a water quality model system is established using GIS-based spatial information to present a comprehensive water quality management method for freshwater lake basins in the future, and to systematically manage pollution sources through water quality modeling. This study was conducted to easily and efficiently operate hydrological and water quality models using automated spatial information.

- Key Words : Drone, Manage water quality, Spatial information technology, Water modeling, Water environmental

Received 04 October 2023, Revised 08 November 2023, Accepted 25 December 2023

* Corresponding Author Young-Joo Kim, Department of Cadastre&Civil Engineering, Vision College of Jeonju, 235 Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, E-mail: kimyj3@jvision.ac.kr

I. 서론

최근 우리나라에서도 하천, 호소 및 하구에서의 수질 문제가 심각하게 대두되고 있다. 대규모 개발사업이 예상되는 수질 문제로 인하여 지연되거나 중단되고 있는 실정으로 하천 및 호소에 대한 수질 보전 대책수립이 중요한 정책과제로 인식되고 있다[1].

담수호 및 하천 유역의 부영양화를 극복하기 위해서는 수질의 체계적인 관리가 필요하며 담수호 및 유역의 수질관리를 위해서는 유역에 적합한 수문 모델과 하천 및 호소 등 수질 모델을 적용하여 이러한 모델의 예측 결과를 바탕으로 수질오염 개선 대책을 제시하여야 한다[2].

담수호 주변은 산업의 발달과 자연환경의 변화 및 인간 생활의 발달로 인하여 유역으로부터 유입되는 영양염류로 인하여 담수호의 부영양화가 갈수록 심화되고 있는 실정이다[3].

유역에서의 적절한 수질오염 개선 대책을 적용하기 위해서는 정확한 오염원의 파악과 오염부하량을 예측하고 제시해야 한다. GIS를 기반으로 오염원 데이터베이스와 수문 및 수질 예측 모델의 연계가 공간상의 위치를 기반으로 통합적으로 이루어짐으로써 수질 모델링 과정을 종합적으로 포함하여 유역 수질을 개선할 수 있는 체계적 지원이 가능할 것이다[4, 6].

수질 모델링의 모형 중 비점오염원 모형에는 오염부하 인자와 유달율을 통계적으로 유도한 것부터 복잡한 기작 형태를 첨가한 모형까지 범위가 다양하다. 비점원 모형은 고려하는 반응 기작의 범위, 상세한 정도, 모의 시간 간격 등을 고려하여 단순형, 중간형 및 종합형 등으로 구분할 수 있다[5].

또한, 비점원 모형은 그 적용 대상의 규모, 시간적, 공간적 범위에 따라서 분류가 가능하며, 적용규모에 따라 포장규모 모형과 유역규모 모형으로도 구분할 수 있다.

한편, 이전의 강우 영향을 고려하지 않는 단일강우(Single Storm)를 대상으로 하는 모형과 지속적으로 강우의 영향을 고려하는 연속형(Continuous Storm) 모형으로 구분할 수 있다.

유역 모형에서는 소유역의 속성 자료의 다양성을 반영하는 방법에 따라 통합형(Lumped)과 분산형(Distributed) 모형으로 구분할 수도 있다[11].

본 연구에서는 GIS 기반의 공간정보를 수질 모형인 SWAT 모형에 적용하였으며, 담수호 수질의 체계적인 관리 및 예측을 위한 자동화된 GIS 기반의 공간정보를 적극 활용하여 수문 및 수질 모델을 구동하여 향후 담수호 유역에서의 종합적인 수질관리 방법을 제시하여 효율적인 수자원 및 유역관리에 기초 자료로 활용하고자 하였다.

II. 모델링 개요와 구조

2.1 수질 모델링

본 연구에서는 GIS 기반의 드론과 지리 공간정보를 활용하여 유역에서의 수문 및 수질 모델링을 구동하였으며, 해당 유역을 소유역으로 구분하여 각 소유역에 대한 토양도, 토지이용도 등 공간정보 자료를 모델에 적용하였다.

또한, 공간정보 데이터를 이용하여 소유역별 물수지를 분석하였으며, 유역에서의 소유역별 유출량과 오염부하량을 산정하였다. 유역 모델인 SWAT 모형을 적용하기 위해 입력자료 중 일부는 공간정보를 활용하여 사용하였다[6].

GIS 기반의 수문 및 수질 모델의 공간정보를 활용한 수질 모델 적용은 담수호 및 유역에서의 체계적인 수질 관리를 위하여 매우 필요한 요소이고 편리를 제공한다.

또한, 유역에서 발생하는 오염원 유출과정 해석을 위한 수문 및 수질 모델링과의 연계, 오염부하량을 계산하기 위한 하천 수질 모델의 입력자료 자동 생성, 담수호 수질 예측을 위한 모델링을 통한 유출 및 오염부하량 산정, 담수호의 장래 수질 예측에 필요한 GIS 공간정보를 일괄적으로 처리하여 제공하였다[7].

본 연구에서는 GIS 공간정보를 활용하여 수문 및 수질 모델링에 적용하였으며, 유출 및 오염 부하량을 산정하여 장래 수질을 예측하는 일련의 절차는 다음과 같다 (Fig. 1).

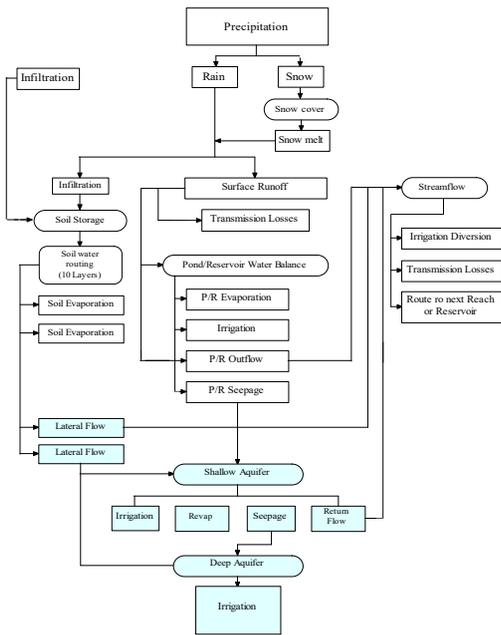


Fig. 1. Hydrological SWAT model flow chart (SWAT User's Manual, 2002)

2.2 지형모델링

지형에 대한 정보를 효율적으로 저장하고 표현하기 위한 지형 모델링은 지형정보 획득, 유의미 데이터 구축, 표면모델링, 랜더링의 과정이 필요하다. 지형정보인 DEM 데이터의 획득은 지형도에 의한 방법과 원격탐사에 의한 방법이 있으며, 지도를 스캐닝하거나 SPOT, LANDSAT, Drone 촬영 영상을 통해 삼각도법과 지형의 고도를 이용하여 DEM 데이터를 추출한다.

추출된 DEM 데이터는 일정 형태의 격자(grid)를 이용하여 의미 데이터를 추출하고 선이나 평면 등의 기하학적인 3차원 표면을 구성하는 표면 모델링 단계를 거쳐 지형의 명암관계를 표현할 수 있는 컴퓨터 그래픽스 기법을 이용하여 표면랜더링을 통해 TIN에 의해 생성된 3차원 지형인 사실적 영상으로 표현할 수 있다.

III. 본론

3.1 공간정보를 활용한 지형모델링

수문 및 수질 모델링을 구동하기 위한 GIS 기반의 공간정보 자료를 활용하기 위해 드론 항공사진과 GIS software를 이용하여 해당 유역을 소유역으로 구분하

여 유역의 수질 모델링을 위한 도형자료를 구축하여 모형의 입력자료로 활용하여 수질 모델링에 적용하였다.

3.1.1 수치고도모형(DEM)

지형정보 중 하나인 등고선(Vector data)은 임의 지점의 좌표와 표고를 공간상의 불규칙한 선의 형태로 표현된다. 격자 자료는 공간을 일정한 크기의 격자로 구분하여 임의 지점의 행과 열의 형태로, 표고는 격자별로 상숫값으로 할당되어 저장된다[8]. 이와 같이 처리된 등고선의 격자 자료를 수치고도 모델이라 부른다. 수치고도모델의 처리 및 분석을 통한 활용 정보로는 대상지 내의 표고, 경사 및 사면 방향 등으로 이들 정보는 벡터 자료를 이용하기보다 상대적으로 구분하기 쉬운 래스터 자료(Raster data)를 이용하여 추출하는 게 일반적인 방법이다.

수치고도 모델은 표고값을 중심으로 지형을 표현한 모형으로써 일정 크기의 격자를 기반으로 이루어진 매트릭스 형태에 표고값을 저장한 것이다. 수치고도 모델은 수문 시스템에서의 공간 속성 정보는 경사도, 경사 방향, 토양, 토지이용, 토지피복 등을 포함한다. 수치고도모델은 수치지도에서 추출한 등고선을 이용하여 1초(약 30m) 간격의 격자 단위로 표고값을 표현한 자료로서 전국을 대상으로 구축한 수치고도 자료이다.

다른 방법으로는 수치고도형 모델을 기존의 등고선 지도에서 수치지도 측량기법을 이용하여 작성되거나 SPOT과 같은 인공위성 자료를 이용하여 작성되기도 한다. 본 연구에서는 1:25,000의 수치지도를 이용하여 등고 자료를 추출한 후 GIS 분석 도구인 Arcview에서 소정의 처리 과정에 의해 DEM 자료를 생성하였으며 소유역을 분할하는 데 기초자료로 활용하였다(Fig. 2).

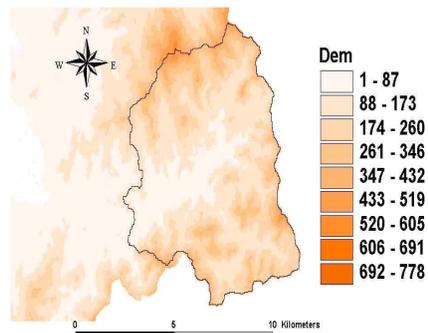


Fig. 2. DEM in the Downcheon watershed

3.1.2 토지피복도

토양 자료와 마찬가지로 토지 이용자료 또한 HRU를 구성하는 기본 자료로써 사용되므로 토지이용에 대한 도형자료 및 Database를 작성하여 입력하여야 한다. 본 연구에서는 국립지리원에서 발행하는 1:25,000 수치지형도를 구입하여 GIS 프로그램인 ArcView 3.2의 Tool을 이용하여 도형자료를 구축하였다(Fig. 3). SWAT 모형에서 요구하고 있는 토지 이용분류 체계에 따라 산림, 논, 밭, 임야, 대지 등으로 토지이용 형태를 분류하여 Database를 구축하였다.

이 토지 피복도는 Shape 파일 형태의 속성부호로 처음에는 분류되어 있으며, 이를 재분류(Reclass)하여 모형의 입력 자료 형태인 속성값으로 나타내어야 한다. 이 작업을 수행하기 위해서는 같은 속성값을 가지는 속성부호를 대분류, 중분류 및 세분류의 속성값으로 분류하는 과정이 필요하다. 또한 SWAT에서는 토지이용과 함께 식물 성장 및 유출률 등에 영향을 미치는 변수들에 대한 자료가 입력되어야 한다. SWAT에서는 도시지역과 토지피복 상태에 따른 두 부분으로 구별한다.

3.1.3 토양도

SWAT 모형은 토양 및 토지이용 특성이 유사한 지역을 수문학적 기본단위인 HRU로서 지정하고 이를 기본단위로 하여 유출계산을 시행하므로, 해당 지역의 토양도 및 토양도 Database를 작성하여 중첩하여야 한다.

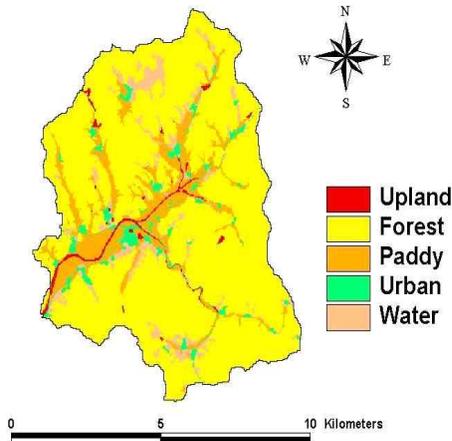


Fig. 3. Land use in the Dowoncheon watershed

대상 지역의 CN값 및 토양 특성을 정의하기 위해 토양도 및 토지이용현황도가 사용되며, 본 연구에서 사용된 토양도는 농업과학기술원에서 제작된 1:50,000 정밀토양도로서 토양통으로 구분하여 구성하였다(Fig. 4). 토양도는 SWAT 모형 실행 과정 중 토양의 물리화학적 성질을 결정해 주는 입력 자료이다. 토양도 역시 shape 파일의 형태로 되어있으며, 이 자료 또한 토지이용도와 마찬가지로 토양부호로 나타내어지는 속성값으로 분류되어야 한다[9].

토양 자료를 구성하기 위해서 개략토양도와 정밀토양도를 이용하여 대상지역의 토양통을 파악한 후 토양통 자료를 농촌진흥청의 토양통 데이터베이스를 활용하여 속성값들을 입력하였다. 모형에서 토양 자료는 대상 지역의 토양통 정보와 해당 토양을 이루는 Layer의 수, 배수그룹 및 토심, 용적밀도, 투수계수 등의 정보가 포함되며 각 토양 Layer별 토성함량 및 유기물함량, AWC(Available water capacity) 등의 정보를 포함하도록 구성되어 있다.

3.1.4 하천도의 생성

하천도의 생성은 SWAT 모형 자체에서 생성시키지만, 생성된 하천망과 기존에 구축된 하천망을 비교함으로써 자체 생성된 하천망의 Threshold 값을 조절하기 위한 판단 근거가 될 수 있다. 본 연구에서 도원천 유역의 하천망을 만들기 위해 Arcview의 Geoprocessing이라는 확장 기능을 이용하여 미리 생성한 유역도와 전체의 하천도 파일을 중첩시켜 하천도를 생성하였다.

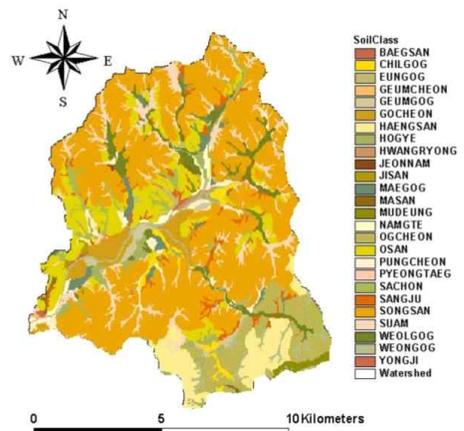


Fig. 4. Soil map in the Dowoncheon Watershed

이와 같이 생성된 하천도는 SWAT 모형을 실행할 경우 사용자가 사용하고자 하는 Threshold area에 따라 실제와 가장 근접한 하천 형상을 정의하기 위해 사용될 수 있다. Threshold area 값을 200으로 입력하였을 때 실제 하천도와 유사한 경향을 보이고 있었다. Fig. 5는 Threshold 값을 200으로 입력한 후 추출된 하천도 이다.

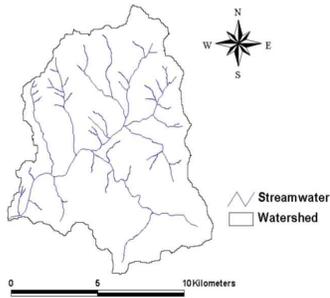


Fig. 5. Streamwater in the Downcheon Watershed

3.1.5 유역도

유역경계를 생성시키는 방법으로는 지형도를 디지털화(Digitizing) 하여 생성시키는 방법, 수치고도 모델인 DEM으로부터 하천망을 생성시킨 후 하천 상의 최종 출구 지점을 지정함으로써 생성시키는 방법, 기존의 구축된 유역경계를 그대로 이용하는 방법 등이 있다. 기존의 구축된 유역경계를 사용하면 DEM을 이용하여 유역을 생성시키는 것보다 시간과 PC의 메모리 할당 면에서 많은 시간이 절약된다[10-11]. 따라서 시험 유역인 도원천 유역을 대상으로 추출하는 작업이 필요하며, 이 작업은 Arcview 프로그램의 Geoprocessing이라는 확장 기능을 이용하여 수행하였다. 유역 경계도를 이용하여 모의하고자 하는 유역을 제외한 다른 지역의 Data를 모두 제거하여 Boundary file을 만든 후 Grid 형태의 파일로 생성하여 Focus Area의 옵션에서 선택하여 사용한다(Fig. 6).

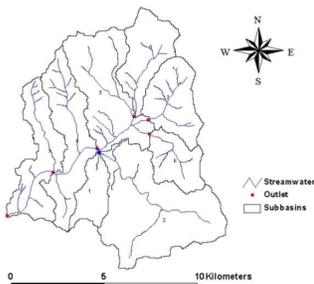


Fig. 6. Subbasins in the Downcheon Watershed

위의 입력 자료들을 입력한 후 Input 메뉴에서 Write All을 실행시키면 각각의 입력 파일에 대한 Input 파일이 생성되며 생성된 Input파일은 AVSWAT → scenarios → default → tablein이라는 폴더 안 *.dbf형태로 생성된다.

3.2 모형의 보정

수문 및 수질 모델링을 구동하기 위한 GIS 기반의 공간정보 자료를 활용하기 모형 보정을 위한 목적함수는 수문자료의 특성이나 모형의 제한사항 등을 고려하여 선정한다. 모형에 적용되는 목적함수에 따라 매개변수의 조합이 달라지는 데, 대상 모형의 특성과 평가의 목적에 따라 적용할 수 있는 기준은 다양하다. 따라서 본 연구에서는 보정을 위한 목적함수로써 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE), 모형의 효율 지수(Efficiency Index: EI, Nash & Sutcliffe, 1970), 결정계수(R²)를 선택하였다.

평균제곱근오차는 자료의 수에 무관하고 해석하고자 하는 변량과 같은 차원을 갖는 지표이다[12]. 한편, 모형의 효율성을 평가하기 위한 효율지수는 Nash & Sutcliffe(1970)가 제안한 통계적 기준으로 편의를 줄일 수 있는 무차원 계수이다. 모의값과 측정값이 잘 일치하면 그 값이 1을 나타낸다.

모의값이 0과 1 사이에 있으면 모의값을 사용하는 것이 측정값의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있고, 계산된 EI가 0보다 작은 모형의 모의 결과가 나쁘거나 측정된 자료의 일관성이 없음을 의미한다. 즉, 모의된 수문곡선이 측정 수문곡선과 잘 일치할수록 1에 가까워지는 단순 명료한 성질이 있으며 이 값이 음수이면 측정값의 평균을 사용하는 것이 모형에 의해 예측된 값을 사용하는 것보다 낫다는 것을 의미한다.

IV. 결론

본 연구는 시험유역인 도원천 유역에서 수문 및 수질 모니터링 결과와 SWAT 모형을 이용한 수질 모델링으로 오염부하량을 추정하여 향후 도원천 유역에서의 하천 오염물질에 대한 수질 환경관리를 위한 장래 유역관리를 위해 GIS 기반의 공간정보를 활용하여 유역에서의 수질 모델인 SWAT 모형을 적용하는 데 자동화된 공간정보의 자료가 효율적으로 이용되었다.

대상 유역에서의 Arc View GIS 기반의 SWAT 모형으로 유출 및 오염부하량을 모의하여 수질 모델링을 통해 장래 수질을 예측하였으며, 유역 내의 수질 모델을 적용하여 오염부하량을 평가하였더니 T-N 부하량은 1,204~71,591kg/year, 평균 22,170kg/year이었고, T-P 부하량은 62~2,932kg/year, 평균 875kg/year를 나타내어 유역에서의 축산 활동의 정도와 토지의 이용 형태에 따른 농경지의 비율에 의한 차이가 오염부하에 반영되어 차이를 나타낸 것으로 사료되며 오염부하에 큰 영향을 미치는 축산활동에 대한 적극적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

결과적으로 유역에서의 수질 모형의 적용성이 판단되었고, 장래 담수호 및 하천 유역에서의 유출량 및 오염물질을 관리하기 위한 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] J. G. Arnold and N. Fohrer, "SWAT2000 : current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. Hydrol Process", vol 19, no 1, pp. 563-572, 2005
- [2] Barlund, "Assessing SWAT model performance in the evaluation of management actions for the implementation of the Water Framework Directive in a Finnish catchment", Environmental Modeling & Software, 2006
- [3] W. C. Huber and R. E. Dickinson, "Storm Water Management Model : User's manual (Ver 4.2). US EPA", pp. 59-494, 1988
- [4] R. C. Johnson, J. C. Imhoff, J. L. Kittle, and A. S. Donigan, "Hydrologic Simulation Program-Fortran User's Manual", 1984
- [5] M. S. Kang and S. W. Park, "Development and Application of Total Maximum Daily Loads Simulation System", Korean Agricultural Management System Transactions of the KASAE. vol 64, no 2, pp. 112-118, 2002
- [6] R. A. Leonard, W. G. Knisel, and D. A. Still, "GLEAM Groundwater Loading Effects of Agricultural Management System", Transactions of the ASAE, vol. 30, no 5, pp. 1403-1418. 1987
- [7] J. E. Nash, J. V. Sutcliffe. "River flow forecasting through conceptual models. Part I-a discussion of principle", J. Hydrology, vol 10, no 1, pp. 282-290. 1970
- [8] National Research Council, "Prevention of water pollution by agriculture and related activities", Water report 1, Rome. pp. 359-369. 1993
- [9] Sophocleous, "Methodology and application of combined watershed and ground-water model in Kansas", Journal of Hydrology. vol 11, no 1, pp. 185-201. 2000
- [10] A. J. Saleh, G. Arnold, P. W. Gassman, L. M. Hauck, W. D. Rosenthal, J. R. Williams, A. M. S. McFarland, "Application of SWAT for the Upper North Bosque River Watershed", Transactions of the ASAE, vol 43, no5, pp. 1077-1087. 2001
- [11] USEPA, "Exposure Factors Handbook (Final Report)", pp. 59-494, 1997
- [12] J. R. Williams, A. D. Nicks, and J. G. Arnold., "Simulator for Water Resources in Rural Basins", J. of Hydraul. Eng, vol 111, no 6, pp. 970-986, 1985
- [13] J. L. Wright, "New evapotranspiration crop coefficients", J. Irrigation and Drainage. ASCE vol 108, no 2, pp. 57-74, 1982
- [14] R. A. Young et. al., "Agricultural Nonpoint Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool, Agricultural Research Service", U.S. Department of Agriculture, 1986

저자소개

김 영 주 (Young-Joo Kim)



1999년 2월 : 전북대학교
농공학과(공학사)
2002년 8월 : 전북대학교
농공학과(공학석사)
2007년 8월 : 전북대학교
농공학과(공학박사)
2018년 3월~현재 : 전주비전대학교
지적토목학과 교수

관심분야 : 공간정보, 스마트시티, 수자원시스템, GIS,
드론