

## 담수논 지역의 지리정보자료를 이용한 QGIS 기반의 SWMM 입력 자료 생성 모듈 개발 및 적용

이한용<sup>1</sup>, 신민환<sup>2</sup>, 임경재<sup>3</sup>, 신용철<sup>4</sup>, 정영훈<sup>5</sup>, 연재홍<sup>6</sup>, 김종건<sup>7</sup>, 지봉준<sup>7</sup>, 박윤식<sup>8,9\*</sup>

<sup>1</sup>(주)고려엔지니어링 과장, <sup>2</sup>(주)이엠연구소 대표이사, <sup>3</sup>강원대학교 지역건설공학과 교수,

<sup>4</sup>경북대학교 농업토목공학전공 부교수, <sup>5</sup>경북대학교 건설방재공학과 부교수, <sup>6</sup>강원대학교 지역건설공학과 부교수,

<sup>7</sup>강원대학교 지역건설공학과 조교수, <sup>8</sup>공주대학교 지역건설공학과 교수, <sup>9</sup>공주대학교 산업개발연구소 연구원

## Development and Application of a QGIS-based Module to Build Inputs for SWMM using the Geographic Information System Data of a Submerged Paddy Field Area

Hanyong Lee<sup>1</sup>, Minhwan Shin<sup>2</sup>, Kyoung Jae Lim<sup>3</sup>, Yongchul Shin<sup>4</sup>, Younghun Jung<sup>5</sup>, Jaeheum Yeon<sup>6</sup>, Jonggun Kim<sup>7</sup>, Bongjun Ji<sup>7</sup>, Youn Shik Park<sup>8,9\*</sup>

<sup>1</sup>Manager, Research and Development Team, Korea Engineering, Inje, 24632, Korea

<sup>2</sup>CEO, EM Research Institute, Chuncheon, 24408, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

<sup>5</sup>Associate Professor, Department of Construction and Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University, Sangju, 37224, Korea

<sup>6</sup>Associate Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

<sup>7</sup>Assistant Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

<sup>8</sup>Professor, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University, Yesan, 32439, Korea

<sup>9</sup>Researcher, Industrial Development Institute, Kongju National University, Yesan, 32439, Korea

\*Corresponding author: Youn Shik Park (E-mail: park397@kongju.ac.kr)

### ABSTRACT

Received: 19 August 2023

Revised: 8 January 2024

Accepted: 24 January 2024

The accurate simulation of the hydrological behavior in paddy fields is crucial considering the large percentage of area occupied by them and the amount of water resources used. Each paddy field may be considered similar to a detention pond since rice is grown under submerged conditions, where the water flows not because of the difference in elevation, but rather due to a complex waterway connecting the paddy fields. The Storm Water Management Model (SWMM), originally developed to simulate stormwater in urban areas, provides an opportunity to simulate paddy fields under these conditions. The preparation of model inputs for the simulations, however, requires considerable time and effort. A module was, therefore, developed to be operable in the



QGIS software, making it convenient to prepare SWMM inputs for paddy fields. The module has two-tabbed interfaces that require vector data for paddy fields as polygons, conduits as polylines, and crossing points of conduits as points. A text file of the comma-separated value format is required for additional inputs. The other interface tab provides an opportunity to set up model options. The module was applied in a paddy field with a reservoir, which successfully generated SWMM model inputs for 723 junctions, 784 conduits, and 351 paddy fields. It was, therefore, concluded that the module can provide user convenience in the preparation of model inputs for paddy field simulations.

**Keywords:** Geographic information system, Paddy fields, QGIS, Storm Water Management Model

## 서론

우리나라는 국토는 지목별로 볼 때에, 임야가 63.3%를 차지하고 있으며, 농경지가 18.6%인데, 이 농경지 중에 논이 11.1%이며 밭이 7.5%를 차지하고 있다(MOLIT, 2021). 그리고 MOLIT(2016)에 따르면 우리나라의 농업용수 사용량은 연간  $152 \times 10^8 \text{ m}^3$ 으로 수자원 이용량의 61%를 차지하고 있다. 즉, 농경지가 국토 면적 중에서 산림 다음으로 넓은 면적을 차지하고 있으며 이 농경지의 절반 이상이 논 지역이라는 것과, 농경지에서 이용하고 있는 수량이 국내 연간 수자원 이용량의 절반 이상으로 가장 많다는 것으로 미루어 볼 때에 논에 대한 조건이 잘 반영될 필요가 있을 것으로 보인다.

우리나라의 논은 담수된 상태에서 비가 재배되기 때문에 각각의 논 필지를 저류지와 유사한 조건을 가지며, 임의의 논 필지에서 다른 논 필지로의 물의 흐름은 수로에 의해서 이루어진다. 이러한 조건을 반영하여 모의할 때에, 최근에 주로 도시 지역에서의 강우유출수 모의에 이용되도록 개발된 United States Environment Protection Agency에서 개발된 Storm Water Management Model(SWMM)(Rossman, 2010)이 저류지, 오리피스, 펌프, 관망 등의 기능을 응용하여 모의에 이용되고 있다(Kang, 2021; Shin et al., 2020a; 2020b; 2022).

국내의 논에 대한 SWMM의 적용 사례를 살펴보면, Shin et al.(2020a)은 논 필지와 간선의 농업용수 배분 및 관개 효율 분석을 위해서 수해면적이 407 ha인 신송저수지 지역에 대해서 SWMM을 적용하여, 관개기간 동안의 농업용수 공급 모의, 논 필지면적에 따른 농업용수 관개효율 분석, 대상지역에서의 간선에 대한 농업용수 관개효율 등에 대해서 모의하였다. 또한, Shin et al.(2020b)은 SWMM을 이용하여 수해면적이 239 ha인 무수 저수지와 수해면적이 655 ha인 풍전 저수지에서의 농업용수공급과 용수공급 지표를 활용한 관개효율을 분석하여 시기에 따른 저수지별 효율성 지표 결과를 제시하기도 하였다. Kang(2021)은 배수개선사업의 설계에 대한 분석과 우수지 및 배수장의 펌프 용량에 의한 대상지역에서의 침수피해를 경감에 대한 모의를 하였으며, Shin et al.(2022)은 SWMM의 Pump 및 Flow Regulator 객체를 제어하는 방법인 변조제어기법을 이용하여, 수원공 공급량 조절 및 수문제어에 의해서 관개효율 및 용수공급 흐름을 파악하기도 하였다.

이와 같이, SWMM은 국내 담수조건인 논 및 복잡한 수로를 고려할 수 있다는 장점이 있는데, 이 모형의 인터페이스에서 지리정보자료 형태로 많은 양의 복잡한 형태를 가지는 논과 수로를 수작업으로 입력 자료를 생성하는 것은 적지 않은 시간과 노력을 요구한다. 최근 Lee et al.(2020)은 벡터 형식의 지리정보자료를 SWMM의 입력 자료로 생성할 수 있는 ArcGIS 기반의 툴을 개발하기도 하였으나, 이 툴은 도시 지역을 대상으로 하기 때문에, 국내 논을 모의할 수 있는 SWMM의 입력 자료 생성에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 일반적으로 이용되는 벡터 형식의 지리정보자료로 구축되어 있는 다수의 그리고 복잡한 형태의 논 필지와 수로 정보를 SWMM의 입력 자료로 변환할 수 있는 모듈을 개발하고자 하였다.

## 연구 방법

### 논에서의 수문거동 모의를 위한 SWMM 입력 자료 생성 방안 검토

SWMM은 도시 지역에서 강우유출수 모의에서 복잡한 관망을 고려할 수 있다. 이 모형의 복잡한 관망을 고려할 수 있다는 장점은 한국의 담수형태 논의 수로에도 적용할 수 있다. SWMM은 자체 인터페이스를 가지고 있는데 실제 논이 가지는 현장 조건을 이 인터페이스에서 수작업으로 입력 자료로 생성하기 위해서는 적지 않은 시간과 노력이 필요하다.

논은 면의 형태로 공간적인 범위를 가지며, 각각의 논 필지는 용수의 유입과 배수가 이루어지는 지점들이 최소 한 개씩 존재한다. 이러한 조건으로 볼 때, 각각의 논 필지는 SWMM에서 ‘Subcatchment’로 고려될 수 있다. 그리고 실제 논 조건과 동일하게 모형에 반영하기 위해서는 수혜지구 내에 존재하는 수많은 각각의 논 필지를 모두 각각의 ‘Subcatchment’로 생성해야 할 필요가 있다. 또한 실제 논은 지표면 위에 일정 깊이의 수표면을 가지며 이에 대한 고려가 필요하다. 이 깊이는 담수심으로, SWMM의 ‘Subcatchment’에서 직접적으로 이 담수심을 고려할 수는 없다. 따라서 이를 고려하기 위해서 각각의 ‘Subcatchment’마다 SWMM에서 ‘Storage’를 생성하여 물이 저장된 형태로 고려할 수 있다.

담수는 필지의 공간적 형태 고려를 위한 ‘Subcatchment’와 논에 저장되어 있는 물의 양에 해당하는 담수심 고려를 위한 ‘Storage’가 함께 각 필지에서 고려되어야 할 사항으로 각 필지로의 용수 공급과 배수 과정이다. 논 필지로의 용수 공급과 배수는 논 필지와 수로의 수위차에 의해 이루어지기 때문에 이 수위차 고려는 용수 공급 과정에서는 SWMM의 ‘Orifice’에 의해서 이루어질 수 있으며, 배수 과정은 SWMM의 ‘Weir’에 의해서 이루어질 수 있다. 즉, 논 필지마다 1개의 ‘Storage’와 최소 1개씩의 ‘Orifice’와 ‘Weir’를 배치할 필요가 있다.

담수논 지역에서 용수 및 강우유출수의 흐름은 수로에 의해 이루어지는데, 이 수로는 선의 형태로 저수지에서 담수논 필지, 담수논 필지와 필지, 담수논 필지에서 하천 등을 연결하는 형태로 공간적인 특성을 가진다. 그리고 여기에 조도계수 및 형상과 같은 속성을 함께 가진다. 이러한 조건으로 볼 때 수로는 SWMM에서 ‘Conduit’으로 고려될 수 있다. 그리고 담수논 필지를 ‘Subcatchment’로 모두 생성해야 하는 것과 동일하게 연결되는 지점마다 또는 조도계수나 형상 등과 같은 속성이 변하는 지점을 기준으로 분할하여 각각의 ‘Conduit’으로 생성해야 할 필요가 있다.

이러한 사항들과 함께, SWMM을 이용한 논 모의에서 선택적으로 적용될 수 있는 부분이 농업용 저수지나 인근 하천으로부터의 인위적인 용수 공급 과정이다. 이는 수혜지구에서 필요한 용수량만큼을 공급하는 것으로 특정 시간 동안 공급되는 양에 대한 정보가 적용되어야 하는데, 이는 SWMM의 ‘Pump’를 생성하여 이루어질 수 있다. 이 ‘Pump’는 논 필지마다 또는 수로마다 생성해야 하는 것은 아니며, 수혜지구에 대해 용수공급에 이용되는 농업용 저수지나 인근 하천의 취수지점의 개수만큼 생성해야 한다. 이러한 사항들을 모두 고려하여 SWMM의 입력 자료로 생성하면 Fig. 1과 같다.

### SWMM 입력 자료 생성을 위한 지리정보자료 검토

SWMM을 이용하여 논에서의 수문거동 모의를 위해서는 논에 대한 정보를 가지고 있는 입력 자료를 생성해야 하는데, 이는 각각의 논 필지를 ‘Subcatchment’로 생성해야 하며, 동시에 각각의 ‘Subcatchment’와 연계된 정보에 해당하는 담수심 고려를 위한 ‘Storage’, 용수공급 과정 고려를 위한 ‘Orifice’, 배수 과정 고려를 위한 ‘Weir’를 생성해야 한다는

것을 의미한다. 또한 수해지역 특성상 인위적인 공급량 계획에 대한 고려가 필요한 경우 ‘Pump’도 생성해야 한다.

우선 논 필지에 대한 정보는 각 필지가 차지하고 있는 공간적인 범위에 해당하며, ‘Subcatchment’로 자료를 생성하기 위해서는 폴리곤 형태의 벡터 자료로 생성해야 할 것으로 판단된다. 논이 각 필지마다 형상뿐만 아니라 유입 및 배수가 다를 수 있기 때문에, 각 필지는 독립된 폴리곤으로 생성되어야 한다(Fig. 2).

수로는 ‘Conduits’ 생성에 필요한 정보로 논 필지와는 달리 면적 정보는 요구되지 않고, 공간적인 위치와 방향, 그리고 수로의 형상 등과 같은 정보가 필요하다. 따라서 수로는 선 형태의 벡터 자료로 생성해야 할 것으로 판단된다. 그리고 이 자료는 수로의 조도계수와 형상에 대한 속성 정보를 포함해야 하며, 속성 정보가 바뀔 경우에는 자료 내에서 구분된 요소로 생성되어야 한다. 실제 논에서 기능을 가지지는 않지만, SWMM에서는 ‘Conduit’과 ‘Conduit’, 또는 ‘Conduit’과 ‘Subcatchment’ 등과 같은 연결점이 정의되어야 하기 때문에, 선의 형태인 수로와 수로, 그리고 수로와

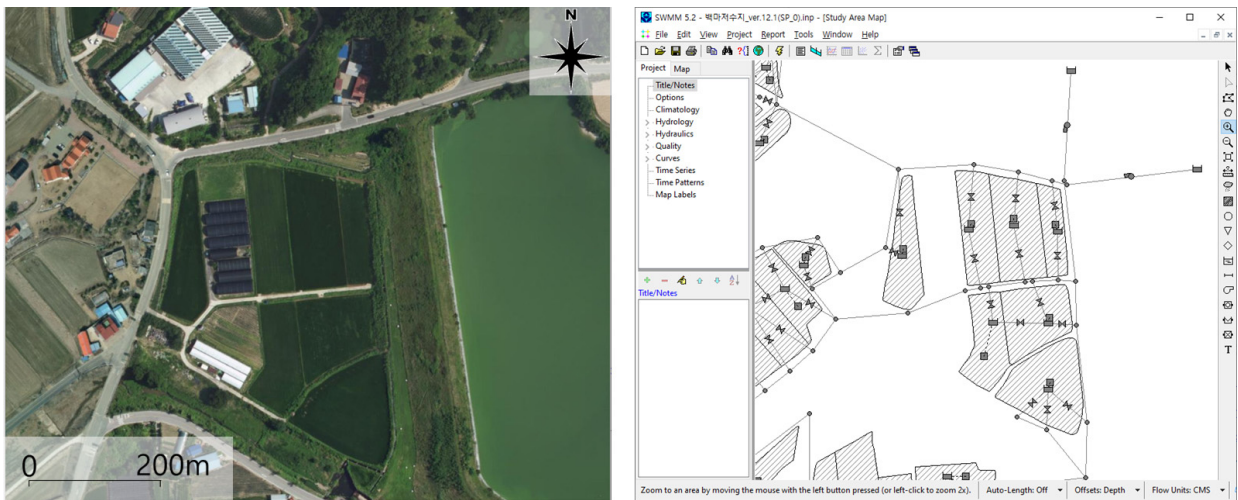


Fig. 1. Example of SWMM input for the simulation of paddy fields.



Fig. 2. Example of vector data for paddy fields.

논 필지 등의 연결되는 지점에 대한 위치 정보를 가지는 점 형태의 벡터 자료가 필요한 것으로 판단된다. 이 정보는 SWMM에서 ‘Junction’으로 구성되어야 하며, 지점의 고도, 초기 수심, 최대 수심 등의 정보를 가질 수 있다. 이러한 연결점과 함께 반드시 필요한 정보로 방류구가 있는데, 이는 SWMM에서 모의 대상 지역의 유량이 지역을 벗어나는 지점을 의미한다. 이 정보는 위치 정보에 해당하기 때문에 점 형태의 벡터 자료로 생성되어야 한다(Fig. 3).

담수심에 대한 고려를 하기 위해서 ‘Storage’는 반드시 요구되는 사항으로, 논 필지마다 생성이 되어야 하는데 ‘Subcatchment’가 가지는 속성에 해당한다. 따라서 사용자에게 의해서 공간정보를 가지는 자료로 생성할 필요는 없는 것으로 보이며, 소프트웨어에 의해서 ‘Subcatchment’마다 하나씩 자동으로 생성되는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 다만, 각 ‘Storage’가 어떻게 연결되는지에 대해서는 소프트웨어에 의해서 자동으로 생성될 수 없는 정보이기 때문에 이에 대해서는 사용자에게 의해서 제공되어야 한다.

SWMM의 모의 과정에는 수로에서의 물의 흐름이 각 구성요소의 표고가 영향을 미칠 수 있다. ‘Storage’와 ‘Junction’에서 이 차이를 고려해줄 필요가 있는데 이 요소들은 수해지역 내에 다수로 존재할 가능성이 매우 높기 때문에 소프트웨어 내에서 자동으로 연산되는 것이 합리적인 것이다. 따라서 수치표고모형을 선택적인 입력 자료로 이용하여, ‘Storage’와 ‘Junction’의 표고 차이 고려가 가능하도록 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

SWMM의 입력 자료는 텍스트 기반의 파일로 ‘Subcatchment’나 ‘Junction’ 등과 같이 공간적으로 분포하는 요소들에 대한 좌표에 대한 정보를 모두 가지고 있다. 즉, 생성해야 할 SWMM의 입력 자료는 텍스트 파일이나 이를 구성하고 있는 정보는 지리정보에 근거하고 있기 때문에, 지리정보자료를 이용하여, 이 지리정보자료에서 정보를 추출하고 동시에 가공할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 무료 공개형 지리정보시스템 소프트웨어인 QGIS에서 이용이 가능하도록 모듈을 개발하였다.



Fig. 3. Example of vector data for conduits and junctions.

## 결과 및 고찰

### 지리정보자료 가공 및 정보 추출 모듈 개발

SWMM의 입력 자료 생성하기 위해서는, 모형에 의한 모의 과정에서 독립된 소유역으로 구분되는 논 필지에 대한 공간정보 자료, 모의 대상 지역에 있는 수로에 대한 공간정보 자료, 논 필지와 수로 및 수로와 수로의 연결지점에 대한 공간정보 자료, 모의 대상 지역에서 최종 배수 지점에 대한 공간정보 자료, 강수량 정보를 가지고 있는 스칼라 자료가 필요하다. 즉, 여러 종류의 자료가 이용되어야 하기 때문에, 자료의 종류에 따라 본 연구에서 개발하고자 하는 모듈의 인터페이스를 탭의 형태로 구분하였으며, 사용자가 각각의 자료를 순차적으로 정의될 수 있도록 하였다. 따라서, 공간정보를 함께 가지고 있는 자료들을 입력받는 ‘공간정보분석’ 탭과 공간정보를 요구하지 않는 강수자료, 펌프에 의한 용수 공급량 자료, SWMM의 매개변수를 입력받는 ‘SWMM options’ 탭으로 구성하였다.

첫 번째 탭인 ‘공간정보분석’은 SWMM의 입력 자료 중에서 공간정보를 생성하기 위한 것으로 폴리곤 형식의 벡터 자료, 논외 담수심 정보를 담고 있는 CSV 형식의 텍스트 파일, ‘Storage’와 ‘Junction’의 표고 정보 추출을 위한 격자 자료, 수로 및 논필지 연결점에 대한 위치 정보를 가지고 있는 포인트 형식의 벡터 자료, 수로의 공간 정보를 가지고 있는 폴리라인 형식의 벡터 자료를 요구한다(Fig. 4).

이 탭은 다양한 형태의 입력 자료를 요구하는데, 사용자 편의성을 제공하기 위해서 인터페이스의 상단에서 하단으로 각 자료를 지정할 수 있도록 구성하였다. 우선 사용자에게 의해 정의된 자료의 가공 과정에서 생성되는 파일 및 결과를 출력하기 위한 폴더를 ‘작업경로설정’ 항목에서 사용자 PC 내 폴더를 지정할 수 있도록 하였다. ‘소유역 파일’ 항목에서는 논 필지에 대한 공간정보를 가지고 있는 벡터 형식의 지리정보자료를 입력받으며, 사용자에게 의해 자료가 정의되면 이 자료가 가지고 있는 속성 정보명을 불러들여 자동으로 ‘소유역명 필드’에 표시해주도록 하였다. 이 소유역명

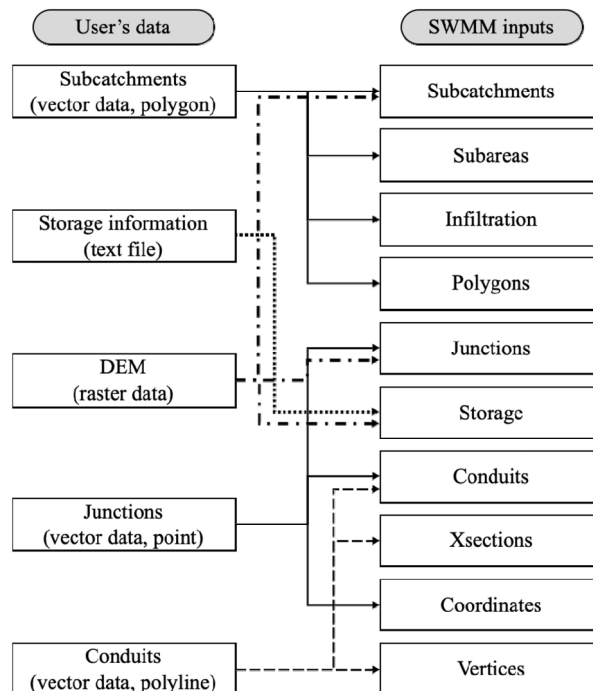


Fig. 4. Schematic flow of the module used to build SWMM input in terms of geospatial information.

은 SWMM 입력 자료에서 ‘Subcatchment’의 명칭으로 부여하기 위한 것이다(Fig. 5).

SWMM을 이용하여 논 지역 모의를 할 때에는 ‘Storage’에 의해서 담수 조건을 고려해야 하는데, 이 ‘Storage’는 소유역 파일 및 소유역명 필드의 정의가 이루어진 뒤에 각각의 논 필지마다 자동으로 ‘Storage 생성’ 버튼에 의해서 벡터 자료로 생성될 수 있도록 하였다. 이 때 생성된 ‘Storage’ 자료는 소유역명과 부합하는 형태로 각각의 ‘Storage’ 명칭만 부여된 상태로 유입 및 배수에 대한 정보를 가지고 있지는 않다. 이 정보는 다른 자료에 의해서 추출될 수 없는 정보로, 사용자에게 의해 직접 정의되어야만 한다(Fig. 6). 이 ‘Storage’ 자료의 유입 및 배수 정보는 모듈에 의해 생성된 벡

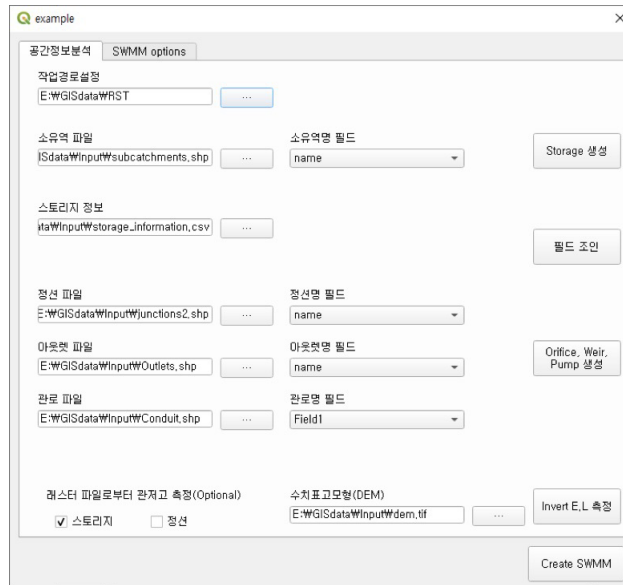


Fig. 5. Developed module interface for building SWMM inputs for paddy field simulation using the user’s data.

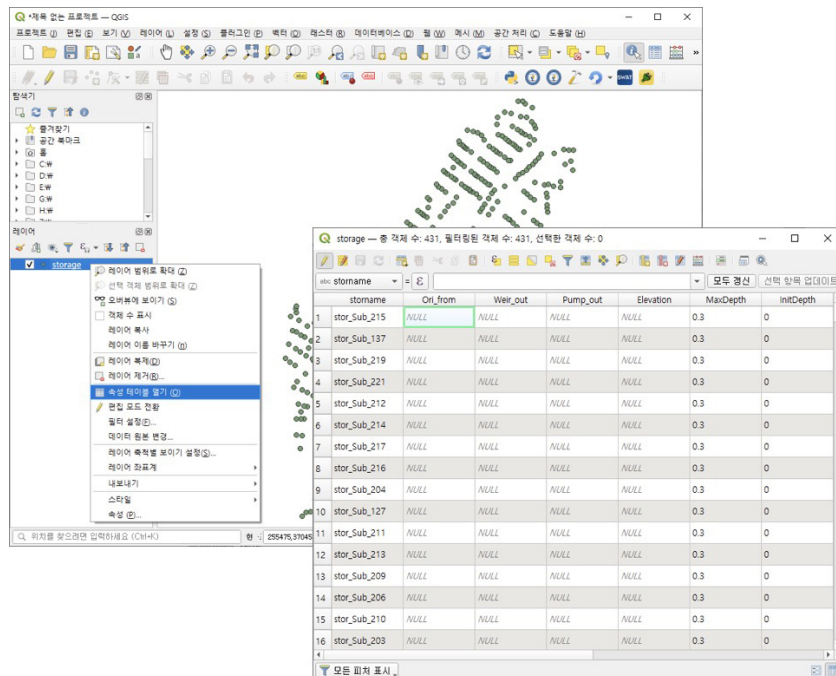


Fig. 6. Integration of storage information into the vector data built by the developed module.

터 자료의 속성 테이블에 직접 입력될 수 있으며, 또는 사용자에게 의해서 Microsoft Excel 호환 파일(Comma Separated Values; CSV)을 ‘스토리지 정보’ 항목에 지정한 뒤에 ‘필드 조인’ 버튼을 클릭하여 ‘Storage’ 벡터 자료로 병합시킬 수 있다(Fig. 7).

논 필지와 수로 및 수로와 수로의 연결점 정보를 가지고 있는 벡터 자료는 ‘정선 파일’ 항목에 자료를 지정한 뒤에, SWMM의 입력 자료에서 사용될 ‘Junction’ 명칭 정보를 가지고 있는 필드를 ‘정선명 필드’에서 정의하도록 하였다. 동일한 방법으로, 모의 대상 지역의 최종 방류구 위치 정보와 수로 정보 자료가 각각 ‘아웃렛 파일’과 ‘관로 파일’에서 지정된 뒤에, SWMM의 입력 자료에서 사용될 명칭이 각각 ‘아웃렛명 필드’와 ‘관로명 필드’에서 정의될 수 있도록 하였다. 이 정선 파일, 아웃렛 파일, 관로 파일이 모두 정의되면 ‘Orifice, Weir, Pump 생성’ 버튼을 클릭하면 SWMM에서 논 모의를 위한 입력 자료인 ‘Orifice’, ‘Weir’, ‘Pump’ 자료가 생성되도록 하였다. 그리고 ‘Storage’와 ‘Junction’의 표고 정보는 수치표고모형에서 추출하여 자동으로 입력될 수 있도록 하였다.

두 번째 탭인 ‘SWMM options’에서는 먼저 ‘Dates’ 프레임에서 분석 기간에 대한 정보를 정의하도록 하였으며, ‘Storage’에 따른 ‘Orifice’와 ‘Weir’의 작동 방식(SWMM에서 RULE)을 정의할 수 있도록 하였다(Fig. 8). 강수량 자료와 증발산량 정보는 각각 ‘Rainfall’과 ‘Evaporation’에서 파일을 지정하여 입력될 수 있도록 하였다.

### 지리정보자료 가공 및 정보 추출 모듈의 적용

본 연구에서는 강원특별자치도 ○○시에 위치한 ○○저수지에 적용하여 논 지역 모의를 위한 SWMM의 입력 자료 생성 과정에 있어 개발된 모듈의 적용성 검토하였다. 공간정보를 가지고 있는 지리정보자료의 구축은 우선 논 필지에 대한 자료는 위성영상을 이용하여 모든 필지를 디지털화하여 벡터 자료로 생성하였다. 위성영상의 경우 촬영 시기 등으로 인해 실제와 다를 수 있기 때문에, 현장조사를 통해서 생성된 자료의 유효성을 검토하였다(Fig. 9).

논 필지와 수로 및 수로와 수로의 연결점, 최종 방류구, 수로에 대한 공간정보는 영상자료에 의해서 정확한 구분이 어려운 것으로 판단되어, 논 필지에 대한 벡터 자료에 근거하여 현장에서 공간적인 위치를 파악한 뒤에 각각 벡터 자료로 생성하였다(Fig. 10).

논 필지 벡터 자료에 의해서 ‘Storage’는 모듈에 의해서 자동으로 생성되도록 하였으며, 유입 및 배수 정보는 모듈

	A	B	C	D	E
1	storname	Ori_from	Weir_out	Pump_out	Elevation
2	stor_Sub_Swal_8				92.1
3	stor_Sub_107	Junc_780	Junc_779		92.5
4	stor_Sub_102	Junc_757	Junc_771		95.7
5	stor_Sub_103	Junc_760	Junc_772		94.9
6	stor_Sub_104	Junc_762	Junc_773;stor_Sub_105		94.6
7	stor_Sub_105	Junc_763	Junc_774;stor_Sub_106		94.4
8	stor_Sub_106	Junc_766	Junc_775		94.2
9	stor_Sub_21	Junc_767	Junc_776;stor_Sub_6		94.1
10	stor_Sub_6	Junc_768	Junc_777;stor_Sub_7		93.9
11	stor_Sub_7	Junc_770	Junc_778;stor_Sub_107		92.7
12	stor_Sub_95	Junc_748	Junc_720		98.05
13	stor_Sub_96	Junc_749	Junc_722		97.4
14	stor_Sub_97	Junc_750	Junc_723		97.05
15	stor_Sub_98	Junc_751	Junc_726		96.8
16	stor_Sub_99	Junc_753	Junc_727		96.45
17	stor_Sub_100	Junc_756	Junc_729		96.1
18	stor_Sub_101	Junc_758	Junc_926;Junc_731		95.85
19	stor_Sub_Swal_7				95.4
20	stor_Sub_91	Junc_732	Junc_735;Junc_736		95

Fig. 7. Example of storage information file.

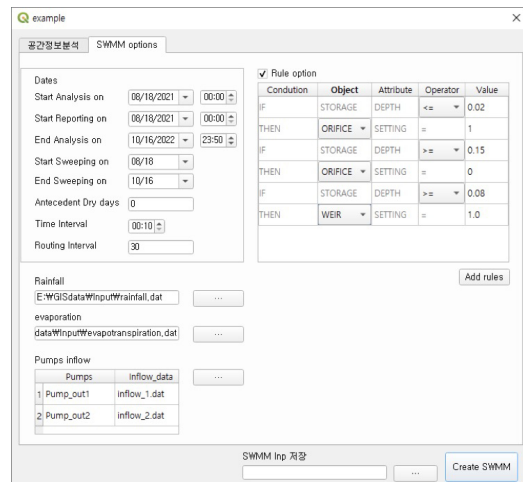


Fig. 8. Developed module interface to build SWMM inputs for paddy field simulation using scalar data.



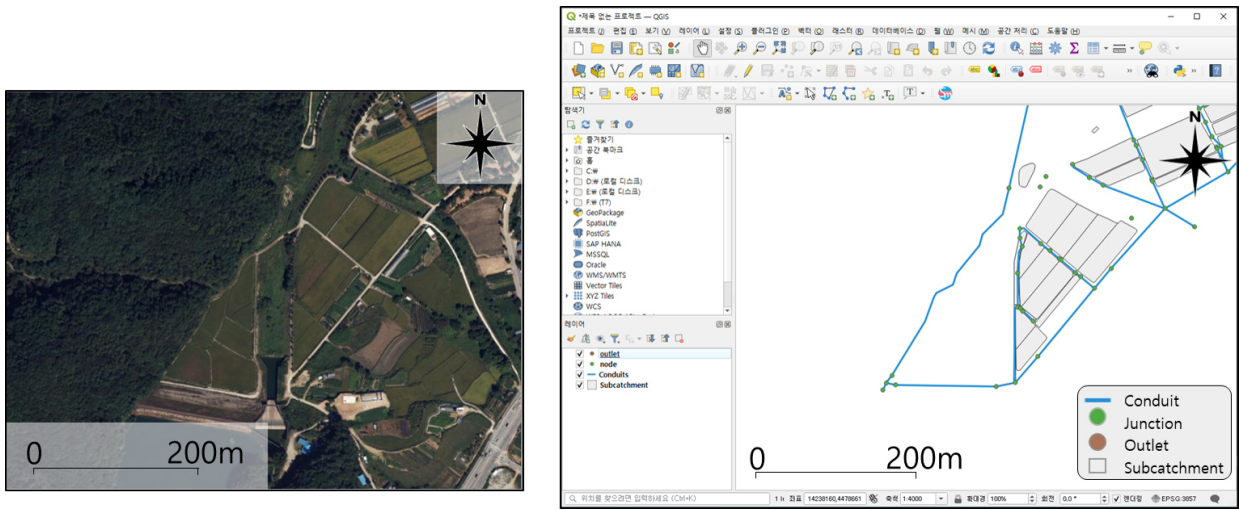


Fig. 9. Satellite image and GIS data for the study area to examine the applicability of the developed module.

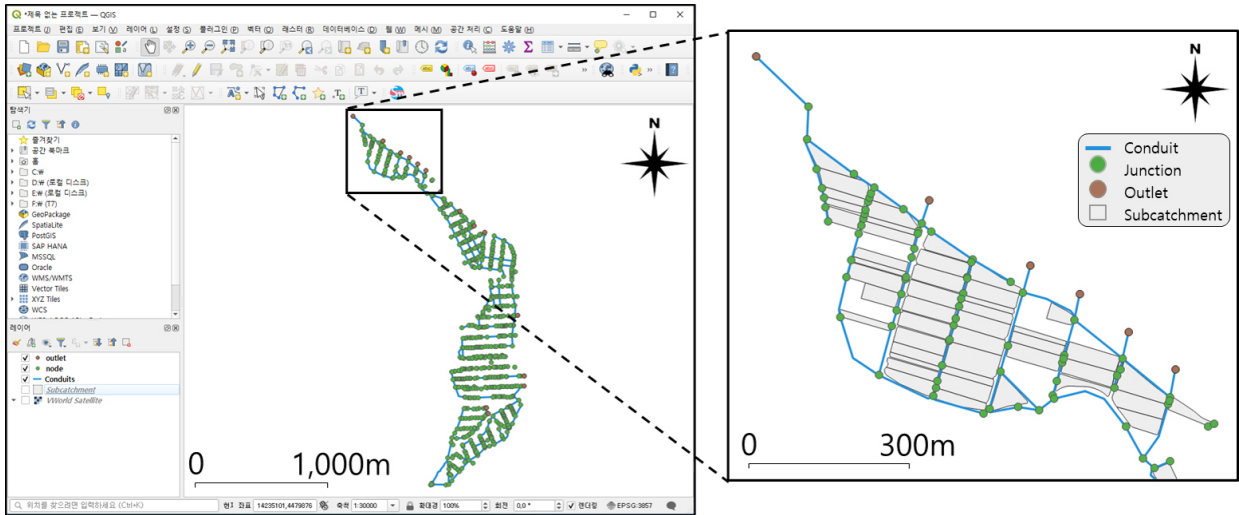


Fig. 10. GIS data for junctions, outlets, and conduits.

에 의해 생성된 벡터 자료의 속성 테이블에 직접 입력하였다. 논 필지와 수로 및 수로와 수로의 연결점, 최종 방류구, 수로에 대한 벡터 자료를 순차적으로 개발된 모듈에 지정하였으며, 이 자료들에 의해서 ‘Orifice’ 와 ‘Weir’를 생성하였다.

강수량 자료는 기상청 원주기상관측소의 2022년 1월 1일 0시 0분부터 2022년 12월 31일 23시 50분까지 10분 간격 강수량 자료를 이용하였으며, 증발산량은 1981년부터 2010년까지의 30년기후평년값을 이용하여 월평균증발산량 (mm/day)으로 변환하여 입력자료를 생성하였다. 모의 대상기간 동안 대상지역에서 저수지로부터의 공급량 정보는 수집되지 않았으나, 개발된 모듈의 기능 검토를 위해 2022년 1월 1일 0시 0분부터 2022년 12월 31일 23시 50분까지 Sub\_45의 논으로 최대 0.63 m<sup>3</sup>/s가 이루어지는 것으로 적용하였다. 그리고 ‘Rule option’은 Sub\_45 등 2개의 논 필지에 모의 기간이 5월일 경우 담수심이 0.02m 이상이면 오리피스가 닫히고 위어가 열리도록 하여 배수가 이루어지도록 하였으며, 0.02 m 미만일 경우 논 필지로의 용수공급이 이루어지도록 하였다. 그리고 모의 기간이 6월일 경우 담수심이 0.04 m 이상이면 배수가 이루어지고, 0.04 m 미만일 경우 용수공급이 이루어지도록 설정하였다.

본 연구에 의해서 개발된 모듈에 의해 생성된 ○○저수지의 INP 파일에 대해서 주요 입력 자료와 관련하여 살펴보면, 61행부터 1,124행까지 351개의 논 필지에 대한 면적 등과 같은 형상, 불투수율, 침투능 매개변수 등에 대한 정보가 정의되었다(Fig. 11(a)). 1,126행부터 2,226행까지 연결점, 최종유출구, 스토리지에 대한 표고 등의 정보가 정의되었으며(Fig. 11(b)), 2,228행부터 3,723행까지 수로의 길이 및 조도계수, 오리피스와 위어의 연결 정보 등이 정의되었다(Fig. 11(c)). 164,035행부터 170,482행까지는 수로, 정선, 논 필지 등의 좌표 정보가 GIS 자료에서 추출되어 정의되었다(Fig. 11(d)). 즉, 논 필지와 수로 및 수로와 수로가 연결되는 723개(Junction 개수)의 지점에 대한 정보, 784개의 수로에 대한 정보, 351개의 논 필지에 대한 정보를 GIS 자료에서 추출하여 총 170,490행의 입력 자료로 생성되었다.

## 결론

우리나라의 논은 담수 조건에서 벼를 재배하기 때문에 각각의 논 필지는 저류지의 조건과 유사하며, 더욱이 이 지역에서의 물의 흐름은 지역 내 지점들의 표고 차이가 아니라 논 필지들을 연결하는 복잡한 형태의 수로에 의해서 이루어진다. 각각의 논 필지에 대해서 저류지 조건으로 고려할 수 있으며 동시에 지역 내 물의 흐름이 다수의 복잡한 형태의 수로에 의해서 이루어지는 조건을 SWMM에 의해서 반영할 수 있으며, 최근 이 모형에 의한 국내 논 모의가 적지 않게 이루어졌다.

SWMM을 이용하여 논 지역에 대한 모의를 위해서는 각각의 논 필지를 독립된 배수구역으로 구분해야 하며, 논에서의 담수심을 고려하기 위해서 이 각각의 배수구역에 저류되는 물의 양을 고려해야 하며, 모의 대상지역 내에 존재하

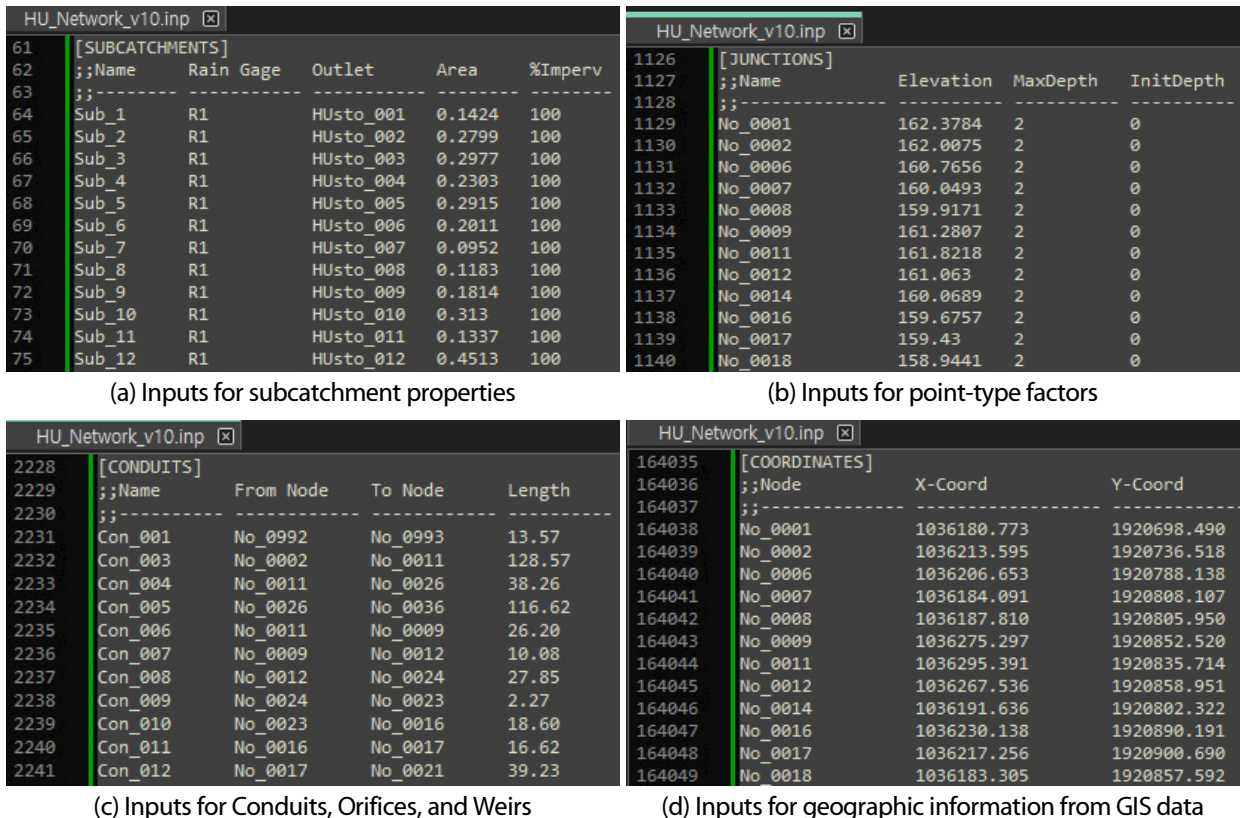


Fig. 11. INP file generated by the developed module.

는 다수의 복잡한 형태의 수로를 고려해야 한다. 이러한 사항들을 SWMM의 인터페이스에서 수작업으로 입력 자료를 생성하는 것에는 적지 않은 시간과 노력이 요구되기 때문에, 이 입력 자료 생성을 간편화할 수 있는 모듈 개발이 필요한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 SWMM의 입력 자료의 생성이 벡터 형식의 지리정보자료를 이용하여 이루어질 수 있을 것으로 판단하여, 위성영상 및 현장조사를 통해서 논 지역에 대한 벡터 형식의 지리정보자료를 생성하였으며, 이 자료를 이용하여 SWMM의 입력 자료를 자동으로 생성해줄 수 있는 QGIS 기반의 모듈을 개발하였다. 이 모듈은 지리정보자료에서 공간 및 속성 정보를 추출하여 텍스트 기반의 SWMM의 입력 자료를 생성하는데 이 과정에서 수치지표고모형에서 다수의 지점에 대한 표고 정보를 자동으로 모형의 입력 자료로 정의할 수 있는 기능을 제공한다. 이에, 이 모듈은 지리정보자료를 이용하여 SWMM의 입력 자료를 생성할 때에 편의성을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 개발된 QGIS 기반의 모듈은 <http://npslab.kongju.ac.kr/>에서 다운로드 받을 수 있다.

## 사사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업기반 및 재해대응 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 : 322081-3).

## 인용문헌(References)

- Kang, J. (2021) Analysis of drainage improvement plan in paddy using unsteady flow model. *J Korea Acad Ind* 22:436-441, doi:10.5762/KAIS.2021.22.11.436
- Lee, H., Woo, W., Park, Y. S. (2020) A User-Friendly Software Package to Develop Storm Water Management Model (SWMM) Inputs and Suggest Low Impact Development Scenarios. *Water* 12:2344. doi:10.3390/w12092344
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2016) National water resources plan (2011-2020). Sejong, Korea. (in Korean)
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2021) Cadastral statistical annual report. Sejong, Korea. (in Korean)
- Rossman, L. A. (2010) Modeling Low Impact Development Alternatives with SWMM. *J Water Manag Model* 6062: 167-182. doi:10.14796/JWMM.R236-11
- Shin, J. H., Nam, W. H., Bang, N. K., Kim, H. J., An, H. U., Do, J. W., Lee, K. Y. (2020a) Assessment of water distribution and irrigation efficiency in agricultural reservoirs using SWMM model. *J Korean Soc Ag Engr* 62:1-13, doi:10.5389/KSAE.2020.62.3.001
- Shin, J. H., Nam, W. H., Bang, N. K., Kim, H. J., An, H. U., Lee, K. Y. (2020b) Assessment of irrigation efficiency and water supply vulnerability using SWMM. *J Kor Soc Ag Engr* 62:73-83. doi:10.5389/KSAE.2020.62.6.073
- Shin, J. H., Nam, W. H., Kim, H. Y., Yang, M. H., Jung, I. K. (2022) Application of EPA-SWMM with modulated controls for agricultural water balance analysis. *J Korean Soc Hazard Mitig* 22:37-44. doi:10.9798/KOSHAM.2022.22.3.37