

Web GIS기반의 수계기반 표토정보 시스템 개발

성윤수¹ · 이동준¹ · 임경재¹ · 양재익² · 이서로¹ · 김종건^{1*}

¹강원대학교 지역건설공학과

²강원대학교 바이오자원환경학과

Development of Watershed-based Surface Soil Information System based on Web GIS

Yunsoo Sung¹ · Dongjun Lee¹ · Kyoung Jae Lim¹ · Jae E Yang² · Seoro Lee¹ · Jonggun Kim^{1*}

¹Dept of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

²Dept of Biological Environment, Kangwon National University

ABSTRACT

Surface soil is one of the most important resources that have many functions for human needs such as conservation of water resource, purification of contaminated materials, and productivity of food or energy. However, the surface soil is a limited resource that cannot be recovered readily for a long time once it is lost by erosion. In Korea, the Ministry of Environment enacted the notification on the investigation of surface soil erosion and corresponding countermeasures. As the results, database of soil quality assess criteria (biomass, groundwater recharge, habitat, carbon storage, buffer, and soil loss) was established, and the web-based system that can evaluate surface soil conditions was developed. However, non-experts have difficulties in using the system because the system requires in-depth knowledge about soil qualities. In this study, the Web Geographic Information System (GIS) watershed-based surface soil information system was developed to improve usability of the system and accessibility of soil quality database. The system provides the current condition of surface soil characteristics and GIS-based soil data at selected locations. The users are able to download soil quality data in different districts, watersheds, and special regions allocated by TauDEM module. The system developed in this study would valuable surface soil information for studies of soil quality and its environmental effects, and thereby contributing to establishing more appropriate and robust soil conservation laws.

Key words : Web GIS, Surface soil, Watershed-based, TauDEM

1. 서 론

토양은 암석이나 동식물의 유해가 오랜 기간 침식과 풍화를 거쳐 생성된 땅의 구성 물질이다. 토양은 깊이에 따라 표토, 심토, 모질물, 기반암 층으로 구성되어 있다. 이중 표토는 지표면으로부터 약 7~25 cm에 위치하고 있으며, 유기물 및 미생물이 풍부하여 식물의 양분과 수분의 공급원 역할을 수행하고 있다(Weil Ray R. et al., 2016). 이뿐만 아니라 표토는 수자원 보존과 오염원의 정화, 식량 및 에너지 생산 등 인간이 살아가는데 필요한 기능을 지니고 있는 중요한 자원이다(National Research

Council, 1993). 하지만 농업활동 및 개발에 의해 많은 양의 표토가 유실되어 왔으며, 부적절한 관리로 인해 표토의 기능이 저하되고 있다. 이에 국내·외적으로 표토의 관리 및 기능향상을 위한 연구가 진행되어 왔다. USDA Natural Resources Conservation Service(NRCS)의 the East National Technology Support Center(ENTSC)에서는 토양 5가지 기능(영양 순환, 수자원 보존, 생태계, 오염물 정화, 안전 및 지지기능)을 설정하고, 기능 별 평가를 위한 토양의 물리적·화학적 지표를 설정하였다. 또한 McBratney, Field and Koch(2014)은 토양의 6가지 기능(식량생산, 에너지 생산, 수자원 보존, 기후변화저감, 생태

*Corresponding author : kimjg23@gmail.com

Received : 2017. 11. 24 Reviewed : 2017. 12. 1 Accepted : 2017. 12. 21

Discussion until : 2018. 2. 28

계 보존, 인간 건강)에 대해 규정하고, 토양 보존을 위한 5가지 전략을 제시하였다. 5가지 전략은 토양의 잠재적 기능, 현재 상태 및 변화, 경제성 및 자원으로써의 가치, 교육 및 훈련, 정책 및 협정을 나타내며, 토양 기능 평가 및 향상을 위한 연구 및 정부의 지원 등에 대해 강조하였다. Sung et al. (2015)은 한강 수변구역을 대상으로 Web기반 표토 질 평가 시스템을 구축하고, 표토 관리를 위한 최적관리기법을 제시하였다.

특히, 환경부에서 2012년부터 2014년까지 진행된 “표토의 복합적 질 평가 및 최적 관리 시스템 구축” 연구에서는 표토의 질을 평가할 수 있는 기능에(바이오매스 생산, 지하수함량, 자연식생 서식지, 탄소저장, 중금속 흡착, 토양유실실태) 따라 전국단위 데이터베이스를 구축하고, 표토의 질 평가 및 관리를 위한 Web 기반 시스템을 구축하였다. Web 기반 시스템은 설치비용이 들지 않으며, 별도의 업데이트 없이 사용자들에게 최신 정보를 제공해 줄 수 있는 장점이 있다. 하지만 환경부에서 구축된 전국단위 표토 기능 별 데이터베이스와 Web 기반 시스템은 비

전문가가 사용하기에는 제한점이 있다. 1) 구축된 전국단위 데이터베이스는 Geographic Information System (GIS) 기반 데이터로 특정 프로그램 없이 사용할 수 없으며, 2) 토양 질 평가 관리 틀은 pH, Soil Organic Matter (SOM, %), Electrical Conductivity(EC)와 같은 토양의 화학적 특성 값들을 입력해야 분석이 가능하다. 3) 또한 토양의 화학적 특성 값들을 모를 경우, 농업기술센터에 토양샘플을 보내 토양분석을 의뢰해야 한다.

이에 본 연구에서는 이전에 구축된 표토 질 평가 데이터베이스를 활용성 및 접근성을 높이기 위해 Web-GIS 수계기반 정보시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 1) 별도의 입력 자료 없이 맵과 주소 검색을 통해 사용자가 원하는 지역의 표토정보를 쉽게 확인할 수 있으며, 2) 사용자가 GIS 데이터를 필요로 할 경우, 다운로드 서비스를 제공하고 있다. 제공되는 데이터는 행정구역별, 수계별로 구별되어 있다. 또한 TauDEM 모듈을 시스템에 적용하여 사용자가 원하는 유역을 설정하여 원하는 데이터를 다운로드 받을 수 있도록 개발하였다.

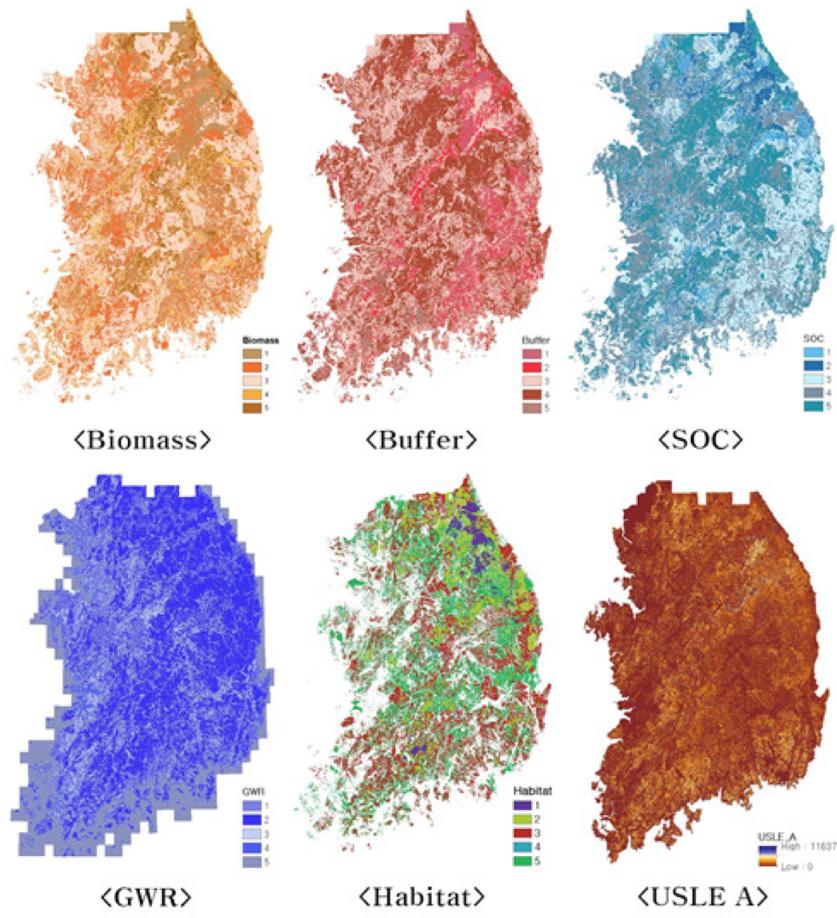


Fig. 1. Database for Soil quality index evaluation.

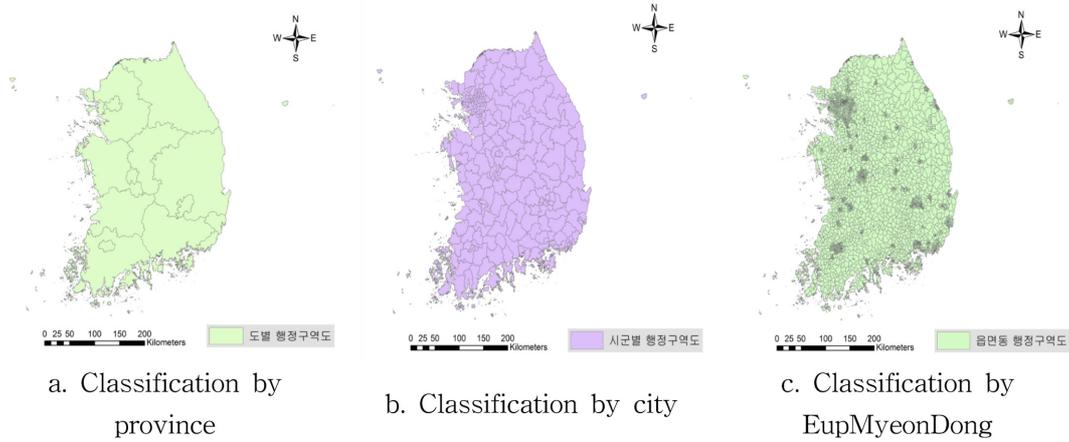


Fig. 2. Status of administrative areas.

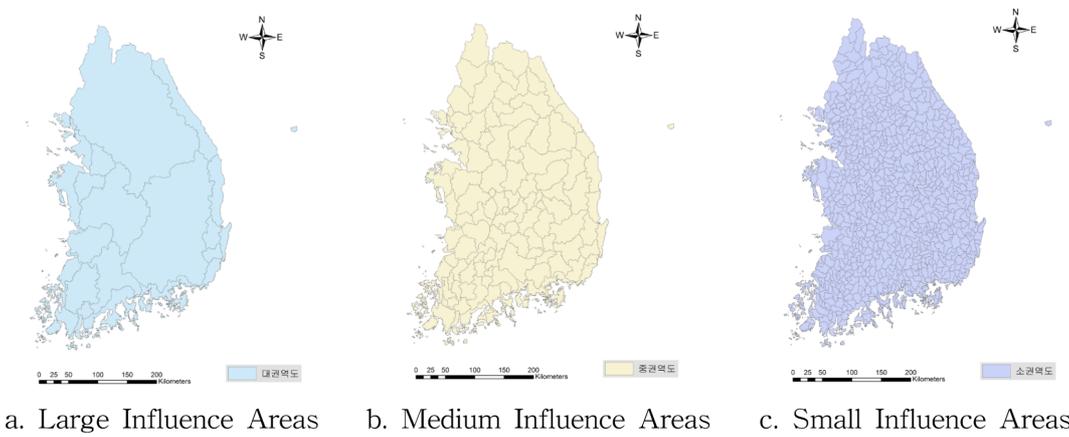


Fig. 3. Status of influence areas.

토의 지하수 함양기능(Ground Water Recharge, GWR)은 강우 후 표토를 통해 침투된 물을 저장하고, 식물 및 토양 미생물에 함양된 수분을 공급해 준다. 뿐만 아니라 농업용수, 생활용수 등 수자원 형성에 중요한 역할을 한다. 표토의 지하수 함양 기능 데이터베이스는 지하수 함양량 항목을 지표로 하여 5개의 등급으로 구성되어 있다. 표토의 생태자연기능(Habitat)은 인간과 모든 동·식물에게 서식지를 제공해주는 기능이다. 표토의 생태자연기능 데이터베이스는 환경부의 생태 자연지도를 지표로 하여 5개의 등급으로 구성되어 있다. 표토의 물리적 침식기능(USLE A)은 표토 내 공기와 물이 통과하는 공극구조를 유지하여 강우 및 풍식에 의한 침식에 저항할 수 있어 자원으로 쓰여 표토를 보전시켜 주는 기능을 한다. 표토의 물리적 침식기능 데이터베이스는 USLE 공식을 활용하여 표토 침식량을 지표로 하여 5개의 등급으로 구성되어 있다.

2.2. 행정구역 및 권역별 표토 질 평가 데이터베이스 구축

본 연구에서는 2012년 환경부에서 진행된 표토의 복합적 질 평가 및 최적관리 시스템 구축 과업을 통해 구축된 표토 기능과 질 지표관계를 기반으로 구축된 6가지 표토의 기능데이터베이스를 국내 수계기반 표토정보 시스템에 활용하기 위해서 행정구역 및 권역별로 데이터를 분할하였다(Fig. 2).

표토 질 평가 데이터베이스를 행정구역별로 분할하기 위해 행정도(NGII, 2009)를 기반으로 분할하여 시스템에 적용하였다. 또한 권역별로 데이터베이스를 분할하기 위해 환경부의 KRF(Korean Reach File)을 사용하여 수계를 분할하였다(Fig. 3). KRF는 GIS 기반의 효율적인 유역 및 수질관리를 위해 하천 흐름특성, 연결 관계, 위상 관계 등의 정보를 포함하는 하천 네트워크 공간자료이다. KRF는 하천의 형태를 나타내고, 다양한 정보를 담은 선형의 Reach와 Reach 간의 연결 관계를 정의한 점형 데

이터, Reach의 집수구역을 정의함 면형 데이터 등 다차원 형태의 공간정보를 수성하고 있다(NIER, 2011).

2.3. Web GIS 수계기반 표토정보 시스템 구성

본 연구를 통해 개발한 수계기반 표토정보 시스템은 다양한 표토자원 DB를 공간 데이터베이스화 하여 통합 저장 관리하는 시스템이다. 수계기반 표토정보 시스템을 통해 표준유역을 검색하고 해당 유역의 표토자원 데이터베이스를 조회 및 다운로드가 가능하도록 시스템을 구성했다(Fig. 2).

Web GIS 수계기반 표토정보 시스템을 개발하기 위해 시스템 구성은 크게 3개의 오픈소스 엔진 및 데이터베이스로 구성했다. 먼저 eb GIS 시스템으로 개발하기 위해 필요한 GIS 엔진은 지리 공간 정보를 Web에 공개, 공유하고 편집할 수 있도록 개발된 오픈 소스 GIS 서버인 Geoserver(<http://geoserver.org>)를 사용하였다. Geoserver는 GIS 데이터를 Web상에 WMS(Web Map Service)와 WFS(Web Feature Service) 형태로 시스템에 표현할 수 있도록 제공해 주는 기능을 한다. Web GIS 기능 구현을 위해 사용된 클라이언트 GIS 엔진은 자바스크립트 라이브러리의 하나인 OpenLayers(<http://openlayers.org>)를 사용하였다. Openlayer는 기존 개발된 GIS 기능을 시스템에 적용하기 위해 사용했다. 시스템 내 데이터베이스 적용 및 계산을 위한 쿼리문 적용을 위해 사용된 공간 DBMS(DataBase Management System) 는 오픈소스 데이터베이스 중 안정적이며 국제적으로 인지도가 높은 PostgreSQL 기반의 공간 데이터베이스인 PostGIS(<http://postgis.net>)를 사용하였다. 시스템에서 표토 질 평가 결과를 제공하기 위

해 필요한 데이터베이스제공과 연산을 위해 해당 DBMS를 적용했다.

2.3.1. 사용자 유역 분할을 위한 TauDEM 어플리케이션 적용

본 연구를 통해 개발한 수계기반 표토정보 시스템에서는 사용자가 원하는 유역을 분할할 수 있도록 시스템을 구성하기 위해 TauDEM(Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) 어플리케이션을 적용했다. TauDEM은 지형을 표현하는 DEN에서 수문정보를 추출하고 분석하는 어플리케이션이다(<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/>).

TauDEM은 유역을 분할하기 위해 DEM과 하천도를 이용하여 유로 및 기울기를 계산한 뒤 단일 및 다중 흐름을 분석하여 기여영역을 계산한다. 이러한 방법으로 각 하천 구간으로 유출되는 유역과 소유역의 분할 및 유역 모형과 수문 모형 설정을 위한 유역과 하천 속성간의 연관성을 도출한다. TauDEM은 광범위한 클래스의 Raster파일을 처리하기 위해 입출력용 GDAL 라이브러리를 사용하고, 정확한 위치산출을 위해 투영된 좌표를 계산한다. 해당 어플리케이션은 서버에 설치 뒤 사용자가 원하는 지역을 선택 시 자동으로 선택된 지점에 대한 유역을 실시간으로 분석하여 사용자에게 제공하도록 시스템을 개발하였다.

3. 결과 및 토론

3.1. 행정구역 및 권역별 표토 질 평가 데이터베이스 구축
본 연구를 통해 개발된 수계기반 표토정보 시스템의 데

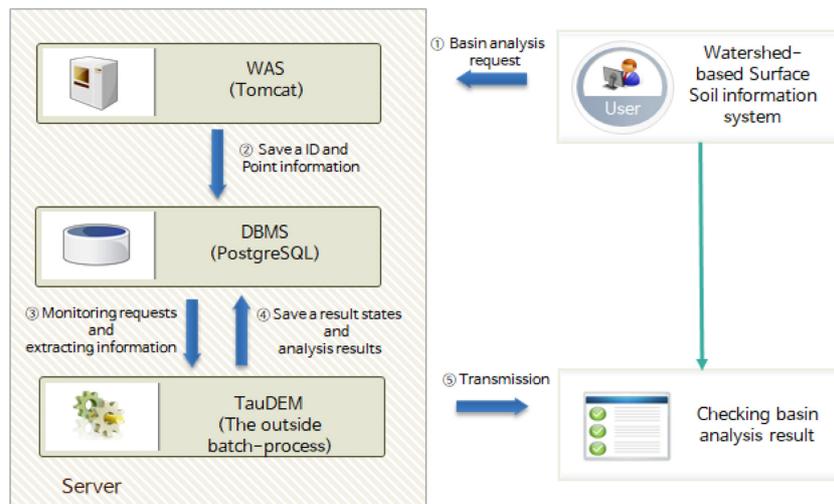


Fig. 4. An outline of user watershed delineation.

이터베이스를 적용하기 위해 행정구역 및 권역별 표토 질 평가 데이터베이스를 구축하였다. 행정구역별 데이터베이스 구축 결과, 국내 도별 행정도는 총 16개의 특별시, 광역시, 도로 구분되어 있으며, 본 시스템에서는 제주도를 제외한 나머지 15개 행정구역을 기반으로 표토 질 평가 데이터베이스를 분할하여 시스템에 적용했다. 시·군별 행정도는 총 251개의 행정구역으로 구분되어 있으며, 본 시스템에서는 제주도를 제외한 나머지 249개 행정구역을 기반으로 표토 질 평가 데이터베이스를 분할하여 시스템에 적용했다. 읍·면·동별 행정도는 총 4,970개의 행정구역으로 구분되어 있으며, 본 시스템에서는 제주도를 제외한 나머지 4,896개 행정구역을 기반으로 표토 질 평가 데이터베이스를 분할하여 시스템에 적용했다.

권역별 데이터베이스 구축 결과, 국내의 대권역은 통 21개의 권역으로 분할되어 있는 것으로 확인하였으며(Fig. 2a), 본 시스템 데이터베이스에는 제주도를 제외한 나머지 20개 권역을 대상으로 6가지 표토의 질 평가 지표 및 등급을 산정하여 데이터베이스를 구축했다. 중권역의 경우, 국내 총 117개의 권역으로 분할되어 있는 것으로 확인하였으며(Fig. 2b), 본 시스템 데이터베이스에는 제주도를 제외한 나머지 114개 권역을 대상으로 6가지 표토의 질 평가 지표 및 등급을 산정하여 데이터베이스를 구축했다. 소권역의 경우, 국내 총 850개의 권역으로 분할되어 있는 것으로 확인하였으며(Fig. 2c), 본 시스템 데이터베이스에는 제주도를 제외한 나머지 834개 유역을 기반으로 6가지 표토의 질 평가 지표 및 등급을 산정하였다. 중권역과 소권역 중 토양통이 구축되어 있지 않은 권역에 대해서는

Nodata로 분류하여 데이터베이스를 구축하였다.

3.2. 수계기반 표토정보 시스템 구축

3.2.1. 권역 단위 표토 질 평가 등급 정보 조회 기능

수계기반 표토정보 시스템 기능 중 사용자가 원하는 지역의 표토 질 평가 등급에 대한 정보를 조회할 수 있도록 기능을 개발하였다. 해당 기능은 사용자가 원하는 권역 선택 시 영역단위 표토 질 평가 등급을 조회할 수 있도록 개발되었으며, 구축된 질 평가 데이터를 다운로드 받을 수 있도록 인터페이스를 구성하였다(Fig. 5).

3.2.2. 배경지도 선택 및 지도화면 분할 기능

수계기반 표토정보 시스템의 Web GIS 기능 중 배경지도를 사용자가 원하는 지도로 선택할 수 있도록 구글지도(기본, 위성, 하이브리드), 다음지도(기본, 위성, 하이브리드), 네이버지도(기본, 위성, 하이브리드), 브이월드지도(기본, 위성, 하이브리드)를 추가하였다(Fig. 5a). 시스템 사용자는 원하는 지도를 선택하여 Web GIS 배경지도를 변경할 수 있다.

사용자가 원하는 배경지도를 적용 후 선택한 지점에 대한 정확한 위치 및 지형정보를 확인하기 위해 다음 로드뷰와 브이월드 3D 기능을 추가하여 사용자가 정확한 지점의 위치정보를 확인할 수 있도록 시스템을 구성하였다(Fig. 5b). 이러한 기능을 시스템 인터페이스에서 한 화면에 확인할 수 있도록 지도화면을 분할하는 기능을 개발 후 시스템에 적용하였다.

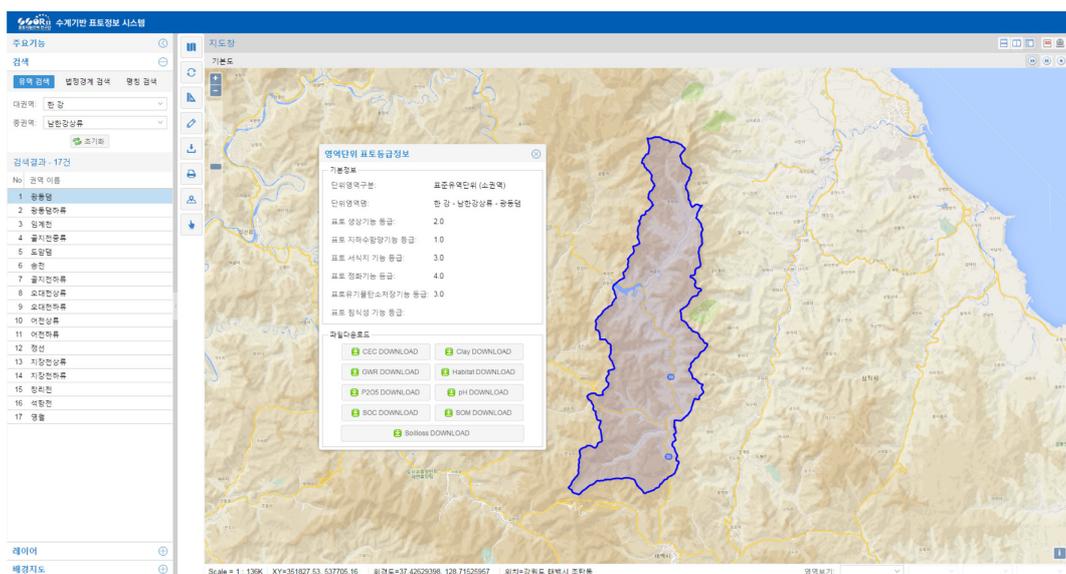
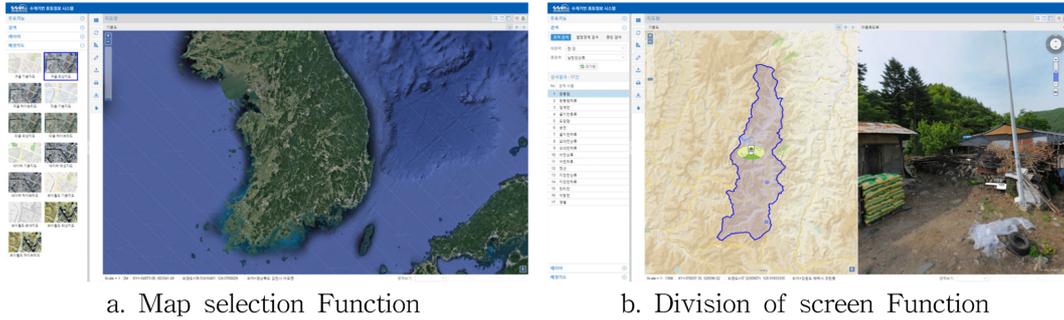


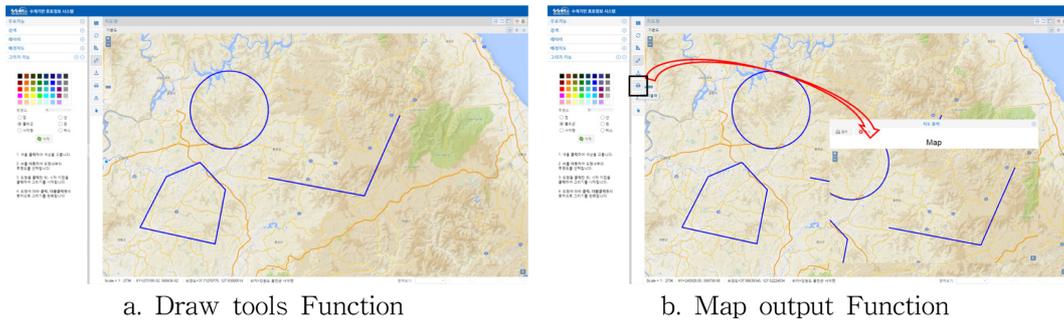
Fig. 5. Result of information of soil quality assess criteria on watershed unit.



a. Map selection Function

b. Division of screen Function

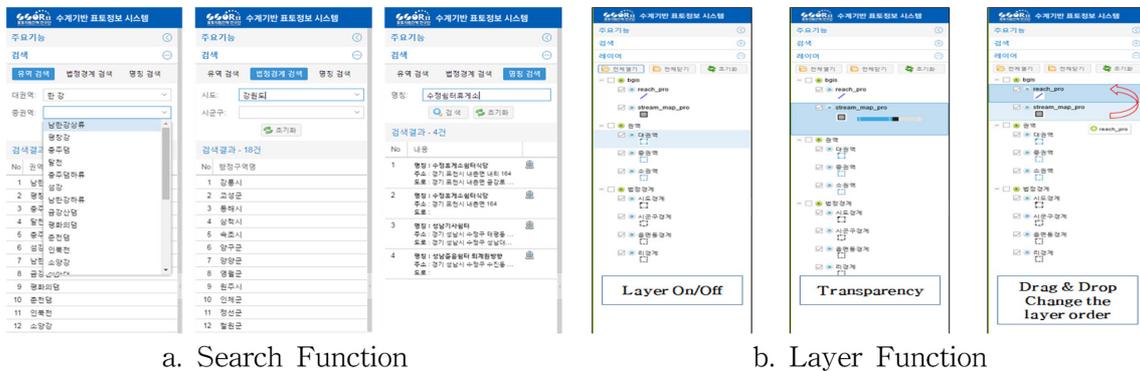
Fig. 6. Result of map selection and division of screen function.



a. Draw tools Function

b. Map output Function

Fig. 7. Result of draw tools and map output function.



a. Search Function

b. Layer Function

Fig. 8. Result of search and layer function.

3.2.3. 그리기 도구 및 지도 출력 기능

수계기반 표토정보 시스템에서 사용자가 지도상에 원하는 기록을 표시할 수 있도록 그리기 도구 기능을 추가하였다. 그리기 도구 기능에는 색 변경, 점, 선, 폴리곤, 원, 사각형 그리고 박스 모양으로 그림을 그릴 수 있다(Fig 7a). 또한 사용자가 원하는 지도를 출력할 수 있도록 출력 기능을 개발하여 적용하였으며, 사용자는 출력된 지도 제목, 출력방향, 용지크기를 선택하여 출력할 수 있도록 기능을 개발하여 시스템에 적용하였다(Fig 7b).

3.2.5. 검색 및 레이어 관리 기능

본 연구에서 개발한 수계기반 표토정보 시스템은 사용자가 원하는 지역을 쉽게 검색할 수 있도록 검색기능을 개발하여 적용했다(Fig 8a). 검색범위는 권역 별 검색, 법정경계 검색, 명칭(주소 등) 검색을 나타낸다. 또한 수계기반 표토정보 시스템 내에서 사용자가 설정된 레이어를 컨트롤할 수 있도록 레이어 관리 기능을 개발 후 시스템에 적용했다(Fig 8b). 레이어 관리 인터페이스는 레이어 On/Off 기능, 투명도 조절기능 그리고 레이어 순서 변경 기능을 포함하고 있다.

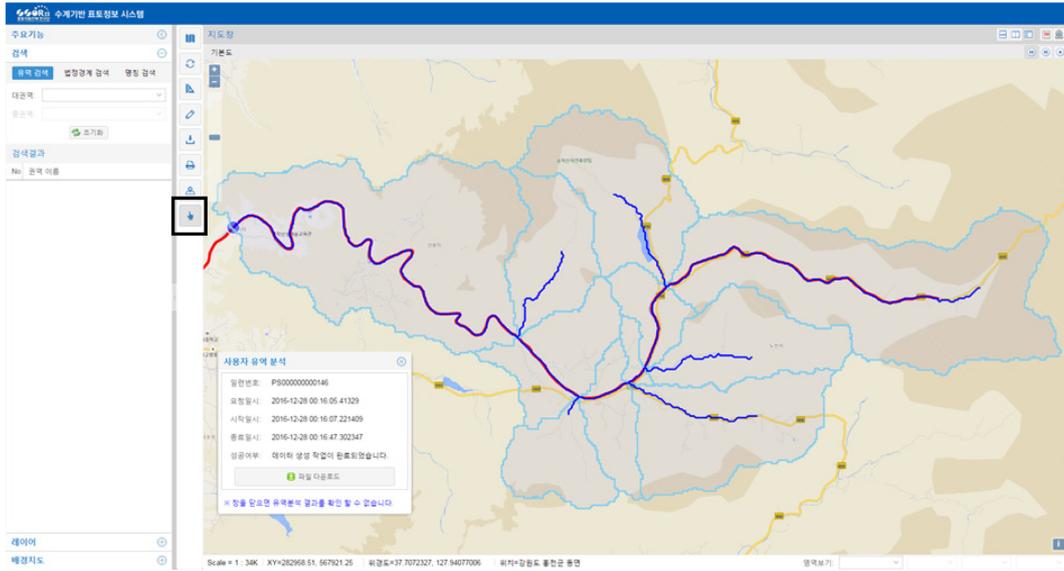
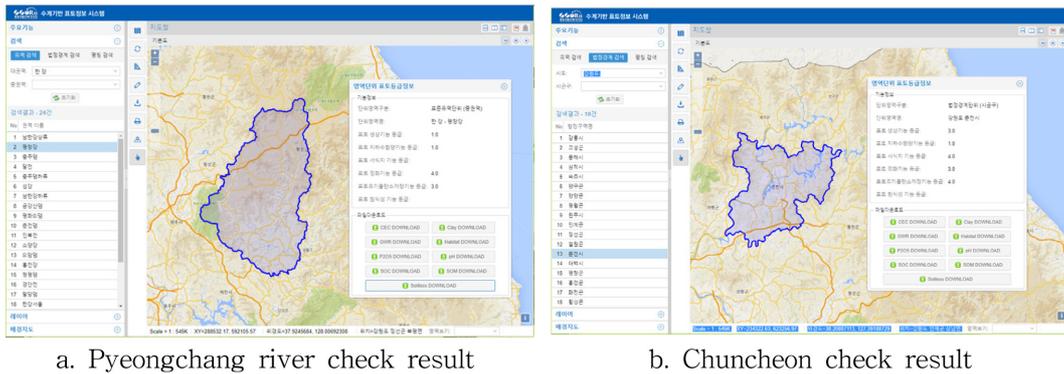


Fig. 9. Result of watershed delineation function.



a. Pyeongchang river check result

b. Chuncheon check result

Fig. 10. Result of watershed-based surface soil information system practice.

3.2.5. 유역 분할 기능

본 연구에서 개발한 수계기반 표토정보 시스템은 유역을 분할할 수 있는 외부배치모듈인 TauDEM을 사용하여 사용자가 원하는 유역 내 표토 질 평가 데이터를 제공받을 수 있도록 유역분할 기능을 개발하여 시스템에 적용했다. 유역 분할 모듈은 사용자가 클릭한 지점을 최종 지점으로 지정하여 유역을 생성한다. 생성된 유역을 기반으로 표토 질 평가 데이터베이스를 GIS 기능인 Clipping 기능을 적용하여 사용자에게 zip file 형태로 유역 자료 및 표토 질 평가 데이터를 제공하도록 기능을 개발하여 시스템에 적용하였다(Fig. 9).

3.3. 수계기반 표토정보 시스템 구동 결과

본 연구에서 개발한 수계기반 표토정보 시스템의 성능

을 확인하기 위해 임의의 유역에 대한 표토등급 정보와 제공되는 데이터베이스를 확인했다.

한강 대권역의 평창강 권역을 선택하여 출력된 영역단위 표토등급정보와 제공되는 데이터베이스를 확인해본 결과(Fig 10a), 평창강 권역의 표토 생산가능 등급은 1.0으로 조회되었으며, 지하수함양가능등급은 1.0으로 조회되었다. 표토의 정화가능등급은 4.0으로 조회되었으며, 유기탄소저장가능 등급은 3.0으로 조회되었다. 또한 제공되는 데이터베이스는 표토의 질을 평가할 수 있는 지표를 제공해 주는 것으로 확인했다. 행정구역별로 제공되는 표토등급정보와 제공되는 데이터베이스를 확인해본 결과(Fig 10b), 강원도에 위치한 춘천의 표토 생산가능 등급은 3.0으로 조회되었으며, 지하수함양가능 등급은 1.0으로 조회되었다. 표토 서식지 기능 등급은 4.0으로 조회되었으며,

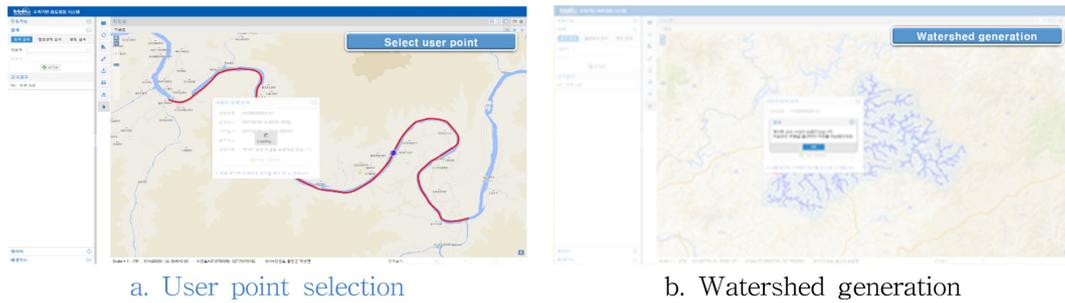


Fig 11. Result of watershed delineation function practice.

정확가능 등급은 3.0으로 조회되었다. 표토 유기물탄소저장가능 등급은 4.0으로 조회되었다. 또한 제공되는 데이터베이스는 선택된 행정구역모양으로 Clip된 표토의 질을 평가할 수 있는 지표를 제공해주는 것으로 확인했다.

본 연구를 통해 개발한 수계기반 표토정보 시스템은 사용자가 원하는 지점에 대한 유역을 생성할 수 있도록 TauDEM 어플리케이션 기반의 유역 분할 기능을 개발하여 적용했다. 유역 분할 기능의 실행을 확인하기 위해 한 강유역 내 하천도 중 한 지점을 선택하여 유역 분할 기능을 실행해보았다. 실행결과(Fig. 11b), 사용자가 선택한 지점을 최종 유출구로 한 유역이 생성되는 것으로 확인되었다. 또한 입력 자료로 사용된 DEM과 KRF 하천도를 기반으로 유역 내 위치한 분류 및 지류가 생성되는 것으로 확인했다.

4. 요약 및 결론

현재 국내·외 표토 관련 연구는 진행되고 있지만 연구결과를 제공할 수 있는 시스템 부재로 인한 연구결과의 공유가 진행되지 않고 있다. 기존 표토 및 토양에 대한 정보를 제공하는 포털시스템은 농업적 측면에 국한되어 있는 정보를 제공하고 있어 종합적인 정보를 제공하기에는 한계점이 발생하게 된다. 또한 표토의 등급을 사용자가 원하는 유역에 대해 제공이 가능한 시스템이 없어 전국적으로 구축된 데이터베이스를 가공하여 사용해야하기 때문에 GIS를 모르는 사용자 입장에서 사용에 어려움이 존재하고 있다. 그리하여 본 연구에서는 별도의 입력자료 없이 표토정보를 쉽게 확인할 수 있으며, 사용자가 원하는 유역을 설정하여 원하는 데이터를 제공받을 수 있는 수계기반 표토정보 시스템을 개발하게 되었다. 본 연구에서 개발한 수계기반 표토정보 시스템은 농업적 측면과 함께 표토의 환경적, 경제적 정보를 함께 제공할 수 있는 시스템으로 기존 시스템과 차별화 된 시스템이다. 수계기

반 표토정보 시스템은 기술적 측면에서 국내의 지리적, 공간적, 환경적 특성을 고려한 데이터베이스를 구축하고 실제 표토의 침식현황을 파악하여 표토의 복합적인 질을 고려한 환경영향평가가 가능할 것으로 판단되며, 표토 침식과 질을 비교 및 분석하여 사용자에게 결과를 제공함으로써 표토자원의 보전, 정책 및 제도 반영 안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 환경적 측면에서 수계기반 표토정보 시스템은 전국의 표토에 대한 정보 및 분석이 가능한 시스템으로 개발되어서 국내 표토침식량 현황 및 침식 우심지역을 선정하는데 매우 유용하게 사용될 것이며, 표토 침식에 대한 사후관리가 아닌 시스템을 통해 제공된 표토 질에 대한 데이터베이스를 사용하여 사전예방 차원의 적절한 표토침식 방지대책 수립이 가능할 것으로 판단된다. 이를 통해 표토의 침식으로 발생하는 환경적 피해를 저감할 수 있을 것이며, 2차적으로 발생하는 수체의 오염을 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부의 토양지하수오염방지기술개발사업(과제번호 2014000540003) 일환으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Geoserver Web GIS engine (Geoserver), <http://geoserver.org> [accessed 17.10.13]
- McBratney, Alex, Damien J. Field, and Andrea Koch. 2014, The dimensions of soil security. *Geoderma* 213. 203-213.
- Ministry of Environment, 2014, Evaluating Multifunctional Quality of Topsoil and Developing the Optimized Management System, Ministry of Environment. p.273-281.
- National Geographic Information Institute, 2009, <http://>

www.ngii.go.kr/ [accessed 17.10.21]

National Institute of Environmental Research (NIER), 2011, A Study on Standardization and Construction of Korean Reach File in Three Major River Basins. Ministry of Environment. p.35-47.

National Research Council., 1993, Soil and water quality: an agenda for agriculture. National Academies Press. p.507-519.

OpenLayers, <http://openlayers.org> [accessed 17.10.13]

Sung, Y.S., Yang, J.E., Kim, S.C., Ryu, J.C., Jang, W.S., Kum, D.H., and Lim, K.J., 2015. Development of Composite Soil Quality Index Evaluation System based on Web GIS, *J. Korean*

Soc. Water Environ., **31**(6), 693-699.

Spatial and Geographic object for PostgreSQL (PostGIS) <http://postgis.net> [accessed 17.10.21]

TauDEM. 2017, <http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/> [accessed 17.10.18]

USDA National ResourcesConservation Service (NRCS) the East National Technology Support Center (ENTSC), <http://soilquality.org/home.html> [accessed 17.09.21]

Weil, Ray R., Nyle C. Brady, and Ray R. Weil., 2016, The nature and properties of soils, 15th edition, Pearson, p.861-991.