

Web GIS기반의 복합적 토양 질 평가 시스템 개발

성윤수 · 양재익* · 김성철** · 류지철*** · 장원석**** · 금동혁 · 임경재†

강원대학교 지역건설공학과
*강원대학교 바이오자원환경학과
**충남대학교 생물환경화학학과
***국립환경과학원 유역총량과
****퍼듀대학교 농공학과

Development of Composite Soil Quality Index Evaluation System based on Web GIS

Yunsoo Sung · Jae E Yang* · Sung Chul Kim** · Jichul Ryu*** · Wonseok Jang**** · Donghyuk Kum · Kyoung Jae Lim†

Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University

**Department of Biological Environment, Kangwon National University*

***Department of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University*

****Water Pollution Load Management Division, National Institute of Environmental Research*

*****Department of Agriculture & Biological Engineering, Purdue University, USA*

(Received 8 October 2015, Revised 15 November 2015, Accepted 16 November 2015)

Abstract

It has been known that torrential rainfall events have been occurring worldwide due to climate change. The accelerated soil erosion has caused negative impacts on water quality and ecosystem of receiving waterbodies. Since soil security issues have been arising in various areas of the world, intensive interests have been given to topsoil management in Korea. Thus in this study, Web GIS-based computing system of physical, chemical, and biological topsoil quality indices were developed. In this study, five soil quality maps at national scale and top soil erosion potential were prepared for evaluation of soil quality based on soil erosion potential. For this system, the open source Web GIS engine, OpenGeo, was used as core engine of the system. With this system, decision makers or related personnel in areas of soil erosion Best Management Practices (BMPs) would be able to find the most appropriate soil erosion BMPs based on soil erosion potential and soil quality at the area of interest. The Web GIS system would be efficiently used in decision making processes because of ease-of-use interface and scientific data used in this system. This Web GIS system would be efficiently used because this system could provide scientific knowledge to decision makers or stakeholders. Currently various BMP database are being built to be used as a decision support system in topsoil management and topsoil quality areas.

Key words : BMPs, Soil erosion, Soil quality, Web GIS

1. Introduction

토양은 인류에게 있어서 유익함을 더해주며 더 나아가서는 생활에서 버려진 유기물과 폐기물 등을 분해하는 역할을 하고 있다(Cho et al., 2013). 그중 표토는 수많은 양분과 미생물, 식생 등을 포함하고 있으며, 눈에 보이지 않는 수많은 기능 중 인간으로부터 배출되는 여러 유기물의 분

해를 담당하고 있어 인류에게 매우 중요한 자원으로 분류되고 있다(Lee, 2013). 또한 지표면의 최상층을 구성하고 있으며 공기, 물, 식생, 영양물질 등이 축적된 토양으로 표토 속에 함유된 토양 유기물은 농업과 환경에 꼭 필요한 양질의 자원으로 취급되고 있다(Chung and Lee 2008). 하지만 급격한 도시화로 인해 양질의 표토가 소실되고 있으며, 해가 거듭될수록 소실되는 표토의 양은 기하급수적으로 증가하고 있다(Kim et al., 2012). 특히 유실된 토양은 주요 비점오염원으로 관리되고 있다(Jung et al., 2012). 대표적인 예로 정부는 2006년 태풍 에위니아로 인하여 장기간 탁수화 현상이 일어난 소양호의 탁수 저감 목적으로 기준 탁도를 50NTU 이하로 유지하기 위해 상류지역인 양구군과 인제군, 홍천군을 비점오염원 관리지역으로 선정하고 집중적

* To whom correspondence should be addressed.

kjlim@kangwon.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인 관리를 시행하고 있다(Lee, 2014). 또한 국내에서는 지역적 특성 및 여름철 집중호우와 같은 기후적 특성에 의해 토양유실발생량이 증가하고 있다(Kim et al., 2014). 뿐만 아니라 OECD 가입국 중 표토침식 위험도가 8위로 조사되었으며, 차후 기후변화에 의한 집중호우로 침식위험도는 점차 증가할 것으로 예상되고 있다(OECD, 2008).

하지만 소실된 표토를 30 cm 정도 복원하는데 걸리는 시간은 1,000~10,000년이 걸린다는 연구결과가 있다(NIER, 2011). 이처럼 한번 유실된 토양을 복원하는 데에는 많은 어려움이 있음에도 불구하고 토양의 다양한 가치인식 및 체계적인 관리가 이루어지지 않고 있다(Lee et al., 2014).

국내의 표토 질 관리에 관련한 연구는 농업적인 측면에서 작물의 생산량을 증가 및 유지를 위한 식생 표토의 질을 보전한다는 관점에서 관리되고 있다. 농촌진흥청 국립농업과학원(NAAS, 2009)에서는 1999년부터 2008년까지 10년 동안 전국 농경지 표토의 화학적, 물리학적, 생물학적 성질을 4년 주기로 농경지 이용별로 조사했으나, 조사기준이 작물 생산학적 관점과 중금속 오염도에 집중되어 있다. 또한 같은 기관에서 1999년부터 2002년까지 토양 질 지표 산정을 위해 국제적 동향에 대해 조사한 적이 있으며, 토양 질 평가 지표 선택의 기초 연구를 수행했다. 또한 국립환경과학원(NIER, 2011)에서도 토양 측정망을 통한 전국적 규모의 토양조사를 매년 실시하고 있다. 그러나 전국단위 토양조사의 목적이 오염원 위주의 실태조사에 치중하고 있어, 생태학적 관점의 접근과 표토의 가치 평가 체계는 없다. 또한 토양의 일부 항목에 대한 평가만 진행되고 있어 복합적인 질 평가가 어렵다. 뿐만 아니라 토양 질 평가결과에 의한 관리방법을 제시할 수 있는 톨의 부재로 상황에 맞는 최적 관리기법을 시행하는 것에는 어려움이 존재한다. 따라서 토양의 질과 가치에 대한 통합적인 평가체계가 필요한 시점이다.

그리하여 본 연구에서는 1) 토양의 질을 복합적으로 평가할 수 있는 국내 표토의 물리·화학·생물학적 DB를 구축하고, 2) 구축된 DB를 활용한 복합적 토양 질 평가시스템을 개발하고자 한다.

2. Materials and Methods

2.1. Database 생성

토양의 복합적인 질을 평가하기 위해서는 토양의 질을

평가할 수 있는 DB(Data Base)가 필요하다. 하지만 토양의 질은 방대하고, 통합적이며 상황 의존적인 개념이므로 직접적으로 측정될 수 없다. 그 대신 토지이용에 따라 토양이 어떻게 기능하고 있는 지에 관한 내용들을 제공해 줄 수 있는 다양한 측정결과들을 분석할 수 있다.

토양의 질을 평가하기 위해 해당 지역 표토의 물 조절기능(지하수 함량, 수분보유능력), 유해물질 여과 및 완충 기능, 탄소저장기능, 자연식생 서식지 기능을 평가하여야 한다(Kim et al., 2009). 이와 같은 기능을 평가하기 위해 생물량 등급(Biomass)과, 지하수 함양 등급(Groundwater recharge), 완충기능등급(Buffer), 서식지 등급(Habitat), 토양 유기탄소 등급(Soil Organic Carbon), 토양유실 등급(USLE A)등을 계산하여 1~5 등급을 산정하였다. 또한 산정된 결과를 DB로 구성하기 위해 GIS 플랫폼의 파일형태인 ASCII Grid 형태로 구성하였다. 산정 시 필요한 지표는 Table 1과 같이 선정하여 진행하였다.

본 연구에서는 ‘표토의 복합적 질 평가 및 최적관리 시스템 구축에 관한 연구’ 결과를 기반으로 DB를 생성하였다(KEITI, 2014).

2.2. 토양 특성별 최적관리기법 마련

시스템을 통해 평가가 진행된 지역의 최적관리기법(Best Management Practice, BMPs)을 제안하기 위해 한국농어촌공사의 ‘농업 비점오염관리 기술 자료집’을 토대로 토양 질 및 유실량에 따른 최적관리기법을 사용하였다(NAAS, 2009). 본 자료집은 미국 농무성 자연자원보호청 USDA-NRCS (Department of Agriculture - National Resources Conservation Service)에서 제공하는 자연자원보존기법에 대한 자료를 실무담당자 및 정책입안자를 위한 최적관리기법의 종류, 적용 방안, 효과 등에 대해 소개하고 있다(USDA-NRCS, 2011).

각 최적관리기법에 대한 여러 평가 인자 중 시스템의 입력 자료인 생물량 등급, 토양유실 등급, 지하수 함양 등급, 서식지 등급, 토양 유기탄소등급, 완충기능등급에 대해 적합한 평가인자만을 선별하여 표토 침식량과(USLE A) 함께 토양의 기능을 다섯 가지로 분류하였다(Table 2).

2.3. 시스템 구성

사용자가 원하는 지역의 토양 질 평가를 실행하기 위해

Table. 1 The selected Function of soil and INDEX of soil

Function of soil	INDEX
1) Biomass	pH, CEC, OM, P ₂ O ₅
2) USLE A	R, K, LS, C, P factor, land use
3) Groundwater recharge	Landuse, Hydrologic soil group (HSG), Hydrologic response unit (HRU), Daily Rainfall data, Curve number (CN)
4) Habitat	Environmental Assessment Map/Ecological map
5) SOC (Soil Organic Carbon)	Soil density, Soil properties, Organic content, Landuse
6) Buffer	pH, Organic content, Clay content

* pH: The pH of a solution indicates how acid or alkaline the solution.

OM: Organic material

R factor: Rainfall factor

LS factor: Topographic factor

P factor: Support practice factor

CEC: Cation exchange capacity

P₂O₅: Phosphorus pentoxide

K factor: Soil erodibility

C factor: Cover and management factor

Table 2. Considering evaluation factor to Function of soil

Function of Soil	Evaluation factor
1) USLE A	Erosion
	Wind erosion
	Slope erosion
	Canyon erosion
2) Biomass	Productivity, Health and Vitality
	Organic material
3) Groundwater recharge	Groundwater depletion
4) habitat	Plant-Compliance
	Productivity, Health and Vitality
	Pest species and exotic species
5) Soil organic carbon	Organic material epletion
6) Buffer	Salt and other chemicals
	Pesticide residue
	Toxic levels of heavy metals
	Harmful levels of pathogens

서는 대상 지역의 토양기능별 등급을 우선적으로 확인해야 한다. 이 등급은 시스템 내 입력된 총 5가지 입력 DB를 통해 구현되도록 구성하였다. 다음으로 대상지역의 DB에 사용자가 원하는 목적에 따라 입력하는 가중치와 범용토양 손실공식인 USLE(Universal Soil Loss Equation)의 연평균 토양 침식량 값을 서로 곱하여 복합적인 질을 등급별로 평가할 수 있도록 엔진을 구성하였다. 사용된 평가 식은 식 (1) 과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Soil Quality} = & USLEA \times (Weight_1 \times \text{Class for Soil category 1} \\
 & + Weight_2 \times \text{Class for Soil category 2} \\
 & + Weight_3 \times \text{Class for Soil category 3} \\
 & + Weight_4 \times \text{Class for Soil category 4} \\
 & + Weight_5 \times \text{Class for Soil category 5})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

토양의 질 평가를 시행하여 결과를 도출하기 위해 과학 계산용으로 주로 사용되는 FORTRAN언어를 선택하여 엔진을 구축하였으며, 시스템을 통해 계산된 결과를 사용자에게 제공하기 위해 Python기반으로 구축된 인터페이스인 pyshp와 GDAL의 ogr2ogr을 사용하여 결과를 출력하도록 구성하였다. 다음으로 토양의 질 평가를 실행한 후 대상지역의 최적관리기법(BMPs)을 찾을 수 있도록 각각의 함수를 적용하여 사용자로 하여금 한 번의 클릭으로 정보를 제공 받을 수 있도록 하였다. 이와 같은 일련의 과정을 통해 사용자로 하여금 최소한의 장비와 최소한의 노력으로 인해 대상지역의 평가 결과 및 관리기법을 얻을 수 있게 함으로써 편의성 및 경제적 효과를 이룰 수 있도록 시스템을 구성하였다.

2.4. 인터페이스 구성

본 연구에서 개발된 토양 질 평가 시스템은 사용자의 접근성과 활용성을 높이기 위해 별다른 설치가 필요 없고, 작업에 대해 쉽게 접근할 수 있는 Web 기반의 시스템을

개발하였다(Cho et al., 2010).

이 시스템을 개발하기 위해 사용된 플랫폼은 Open Source GIS인 Heron-mc (Heron-mc, 2014)를 사용하여 인터페이스를 구성하였다. Heron-mc는 Open Layer기반으로 이루어져 있으며 Opengeo-Suite, QGIS와 같이 Web언어로 구성된 Web GIS플랫폼이다. 본 연구에서 사용된 Heron-mc는 Geospatial 데이터를 공유하고 편집할 수 있도록 Javascript기반으로 개발된 플랫폼이다. 또한 GeoExt를 이용하여 다양한 퍼포먼스를 제공할 수 있는 장점이 있다. Heron-mc는 상호 운영성을 전제로 개발되었기 때문에 개방형 표준을 사용하여 다양한 공간 데이터소스를 서비스 할 수 있게 하며, 서비스와 서버 간의 커뮤니케이션의 연결고리 역할을 담당하면서, 데이터 포맷을 쉽고 다이내믹하게 변환할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 Open Geospatial Consortium (OGC)의 Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS), Web Map Service (WMS) 표준 서비스를 제공한다.

Heron-mc는 Geographic Map Language (GML), Keyhole Markup Language (KML), GeoJson, CSV, ESRI shapefile 과 같은 형태의 자료를 업로드 된 데이터를 타일형태로 변환하여 사용자에게 제공함으로써 사용자의 PC, 혹은 스마트폰과 같은 인터넷 디바이스에 할당되는 메모리 점유율을 낮춤으로써 쾌적한 환경을 조성하여 사용자의 편의를 돕는 기능을 한다. 또한 소프트웨어 개발 툴인 SDK (Soft Development Kit) 기능을 제공함으로써 개발자로 하여금 사용자 편의 시스템을 구축할 수 있게 하여 다른 Open Layer기반의 Web GIS와의 차별성을 부여하고 있다.

또한 Web 기반으로 구성된 시스템의 특성상 하이퍼텍스트 생성 언어에 포함되어 동작하는 스크립팅언어인 PHP와 객체 지향형 스크립트 언어인 python, 표준 HTML 문서에 사용되어 인터랙티브 웹페이지를 구성할 수 있는 Java script 를 사용하여 시스템을 구성하였다. 또한 도표 구현에 강점이 있는 Ext.js를 사용하여 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 구조를 구성하여 시스템을 개발하였다(Fig. 1).

3. Results and Discussion

3.1. Database생성 결과

본 연구에서 개발한 토양 질 평가시스템의 구동을 위해 생성된 기본 입력 DB는 총 6가지의 종류로 구분이 된다. 구성된 DB는 1~5등급을 가지고 있으며 생물량 등급, 지하수 함양 등급, 서식지 등급, 토양 유기탄소등급, 완충기능 등급 대비 토양유실 등급에 대한 상관관계는 Fig. 2와 같게 되도록 구성하였다. 본 연구에서는 토양 질이 높을수록 1 등급이라 분석하였으며, 토양 유실이 적게 발생할수록 1등급이라 분석하였다. Fig. 2의 약어 중 한 가지를 살펴보면 BM_1_5가 나타내는 의미는 Biomass(바이오매스 생산)기능 중 토양유실이 1등급이면서 생산성이 5등급일 때를 표현하고 있다. 이 약어를 통해 해당 토양의 질 평가를 실행한 후 결과에 따른 BMP를 제시할 수 있도록 구성하기 위해 다음과 같이 표현하였다. 그래프 안에 색이 같은 점들은

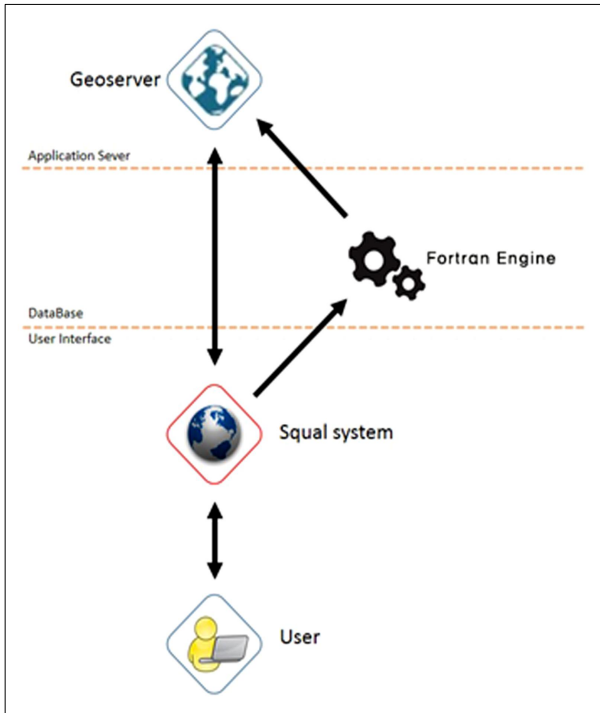


Fig. 1. Soil Quality evaluation System Diagram.

같은 BMP를 적용하였다. 5개의 등급으로 분류된 입력DB는 Fig. 3과 같이 구성하였다. 생성된 DB는 한강 수변구역을 대상으로 구축하였다

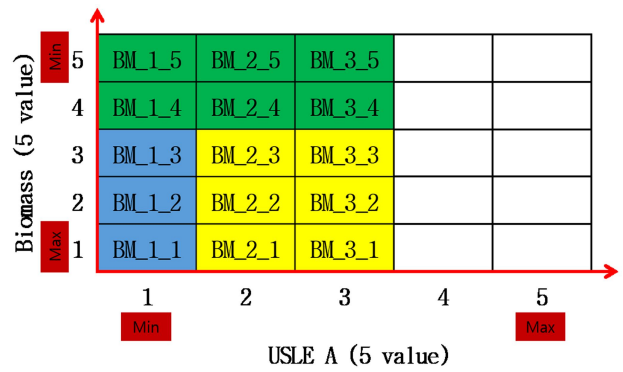


Fig. 2. Correlation of the evaluation function compared soil erosion function of the quality of the soil.

3.2. 토양 특성별 최적관리기법 마련 결과

평가지역의 효과적인 토양 유실방지 및 보전관리를 위한 최적관리기법은 지역별로 토양의 질에 따라 적용할 필요가 있다. 본 연구에서 개발된 시스템을 통해 토양의 질을 평가 시 사용자에게 제공되는 최적관리기법을 구성하였다(RRI, 2011).

총 5개의 토양의 기능(생산량 기능, 토양 유기탄소 기능, 지하수 함양 기능, 서식지 기능, 오염물질 여과 및 완충 기능)과 토양유실에 대해 구성된 최적관리기법은 다음 Table 3과 같다. 제시된 최적관리기법은 토양 기능 보호의 좋고 나쁨과 보호의 많고 적음에 대해 각기 최적관리기법을 제시할 수 있도록 분류하였다.

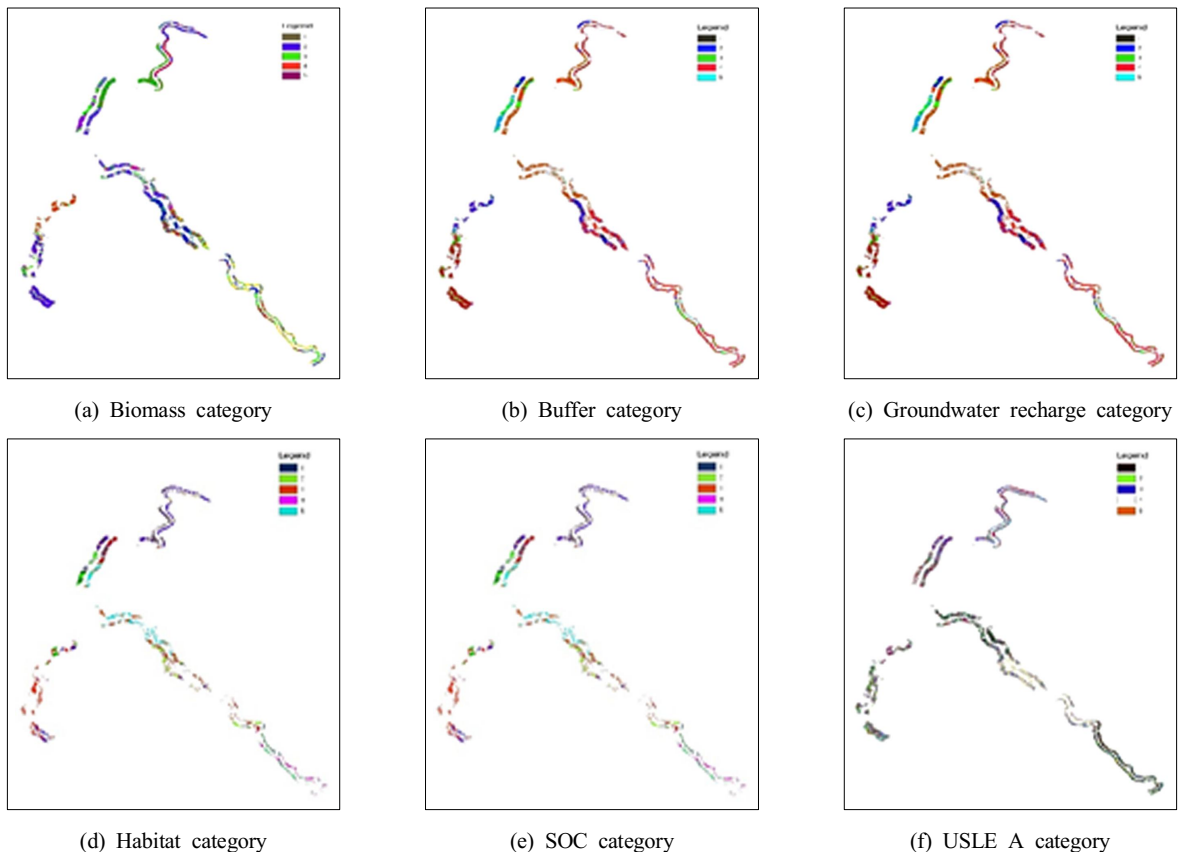


Fig. 3. Build the Database.

Table 3. Classification of the BMPs appropriate to the function of the soil

Functions of soil	Best Management Practice		
Biomass category	Alley Cropping	Vegetated Treatment Area	Residue and Tillage Management No Till/ Strip Till/ Direct Seed
	Brush Management	Vegetative Barrier	Residue and Tillage Management Ridge Tilld
	Conservation Cover	Windbreak/Shelterbelt Establishment	Residue Management, Seasonal
	Contour Buffer Strips	Windbreak/Shelterbelt Renovation	Row Arrangement
	Cover Crop	Conservation Crop Rotation	Silvopasture Establishment
	Critical Area Planting	Contour Farming	Stripcropping
	Grassed Waterway	Contour Orchard And Other Perennial Crops	Access Control
	Mulching	Field Border	Diversion
	Multi-Story Cropping	Forage and Biomass Planting	Irrigation Reservoir
	Range Planting	Forage Harvest Management	Irrigation System, Sprinkle
	Restoration and Management of RARE or Declining Habitats	Hillside Ditch	Irrigation System, Tailwater Recovery
	Riparian Forest Buffer	Integrated Pest Management	Pond
	Riparian Herbaceous Cover	Irrigation Water Management	Rock Barrier
	Tree/Shrub Establishment	Prescribed Grazing	Trails and Walkways
Tree/Shrub Pruning	Residue and Tillage Management Mulch Till	Underground Outlet	
Groundwater recharge category	Brush Management	Residue and Tillage Management Mulch Till	Irrigation System, Sprinkle
	Conservation Cover	Residue and Tillage Management No Till/ Strip Till/ Direct Seed	Irrigation System, Tailwater Recovery
	Cover Crop	Residue and Tillage Management Ridge Tilld	Pond
	Forest Stand Improvement	Residue Management, Seasonal	Rock Barrier
	Vegetative Barrier	Row Arrangement	Roof Runoff Structure
	Conservation Crop Rotation	Dam	Sediment Basin
	Irrigation Water Management	Irrigation Reservoir	
Habitat category	Brush Management	Vegetative Barrier	Row Arrangement
	Conservation Cover	Windbreak/Shelterbelt Establishment	Silvopasture Establishment
	Contour Buffer Strips	Windbreak/Shelterbelt Renovation	Stripcropping
	Cover Crop	Conservation Crop Rotation	Access Control
	Critical Area Planting	Contour Farming	Diversion
	Forest Stand Improvement	Contour Orchard And Other Perennial Crops	Irrigation Reservoir
	Mulching	Deep Tillage	Irrigation System, Sprinkle
	Multi-Story Cropping	Hillside Ditch	Irrigation System, Tailwater Recovery
	Range Planting	Integrated Pest Management	Mole Drain
	Restoration and Management of RARE or Declining Habitats	Irrigation Water Management	Pond
	Riparian Forest Buffer	Prescribed Grazing	Rock Barrier
	Riparian Herbaceous Cover	Residue and Tillage Management Mulch Till	Trails and Walkways
	Tree/Shrub Establishment	Residue and Tillage Management No Till/ Strip Till/ Direct Seed	Underground Outlet
	Tree/Shrub Pruning	Residue and Tillage Management Ridge Tilld	
Vegetated Treatment Area	Residue Management, Seasonal		

Table 3. Classification of the BMPs appropriate to the function of the soil (continue)

Functions of soil	Best Management Practice		
Buffer category	Brush Management	Tree/Shrub Establishment	Residue and Tillage Management Mulch Till
	Alley Cropping	Windbreak/Shelterbelt Establishment	Residue and Tillage Management No Till/ Strip Till/ Direct Seed
	Conservation Cover	Windbreak/Shelterbelt Renovation	Residue and Tillage Management Ridge Till
	Cover Crop	Conservation Crop Rotation	Residue Management, Seasonal
	Critical Area Planting	Deep Tillage	Row Arrangement
	Forest Stand Improvement	Field Border	Silvopasture Establishment
	Mulching	Forage and Biomass Planting	Access Control
	Multi-Story Cropping	Forage Harvest Management	Diversion
	Range Planting	Integrated Pest Management	Irrigation System, Sprinkle
	Riparian Forest Buffer	Irrigation Water Management	Mole Drain
SOC(Soil Organic Carbon) category	Riparian Herbaceous Cover	Prescribed Grazing	
	Brush Management	Riparian Herbaceous Cover	Integrated Pest Management
	Alley Cropping	Tree/Shrub Establishment	Irrigation Water Management
	Conservation Cover	Vegetated Treatment Area	Prescribed Grazing
	Contour Buffer Strips	Windbreak/Shelterbelt Establishment	Residue and Tillage Management Mulch Till
	Cover Crop	Windbreak/Shelterbelt Renovation	Residue and Tillage Management No Till/ Strip Till/ Direct Seed
	Critical Area Planting	Conservation Crop Rotation	Residue and Tillage Management Ridge Till
	Forest Stand Improvement	Contour Farming	Residue Management, Seasonal
	Grassed Waterway	Contour Orchard And Other Perennial Crops	Row Arrangement
	Multi-Story Cropping	Field Border	Silvopasture Establishment
	Range Planting	Forage and Biomass Planting	Stripcropping
	Riparian Forest Buffer	Forage Harvest Management	접근통제

3.3. 토양 질 평가 시스템 개발 결과

본 연구에서 개발된 복합적 토양 질 평가 시스템은 다음과 같이 구성하였다. 시스템의 기본 지도는 Google Map을 사용하였다. 해당 지도는 위성사진으로 구성되어 있어 토양 질 평가 대상지역 선정에 도움을 주도록 구성하였다. 또한 토양의 기능별 등급을 확인할 수 있게 하였다.

또한 토양의 질을 평가할 지역에 가중치를 부여할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 가중치는 앞서 생성한 기본 입력 DB에 부여할 수 있도록 구성하였다. 또한 사용자의 필요한 토양 특성에 대한 가중치를 다르게 입력할 수 있도록 구성하여 해당 지역의 토양 질을 다양하게 분석할 수 있도록 구성하였다.

가중치를 입력하여 질 평가를 진행한 후 평가가 진행된 지역의 적용 가능한 최적관리기법을 제시할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 또한 각 토양 특성 별 등급에 따른 최적관리방법을 제시하도록 구성하여 사용자의 목적에 따라 다양한 관리방법을 제시할 수 있도록 하였다. 또한 시스템을 통해 분석된 결과를 shp파일 형태로 변환하여 사용자로 하여금 해당 지역에 대한 분석이 가능하도록 시스템을 구성하였다.

3.4. 시스템 실행 결과

본 연구에서 개발된 토양 질 평가 시스템의 성능을 확인하기 위해 토양 질에 대한 가중치가 같다고 가정한 후 토양의 복합적 질 평가를 모의해 보았다. 총 5가지의 토양 기능(Biomass, Buffer, Groundwater recharge, Habitat, SOC)

이 토양 질에 동일한 영향을 준다고 가정하였으므로 각 20%씩 가중치를 설정하였다.

한강 수변구역 3지점에 대해 5가지 기능의 가중치를 동일하게 20% 적용하였을 때 평가된 결과는 ①지점은 3.2로 평가되었으며, ②지점은 2.2로 평가되었고 ③지점은 3.2로 평가되었다.

또한 동일한 지역에 대해 가중치가 일정하지 않을 경우를 가정한 후 토양의 복합적 질 평가를 모의해 보았다. 토양의 각 기능들이 10%, 20%, 30%, 20%, 20%의 가중치로 설정한 후 토양 질 평가를 실행하였다.

한강 수변구역 3지점에 대해 5가지 기능의 가중치를 일정하게 부여하지 않았을 경우 평가된 결과는 ①지점은 3.1로 평가되었으며, ②지점은 2.1로 평가되었고 ③지점은 3.0으로 평가되었다.

시스템에 입력된 DB 중 가장 높은 가중치를 갖는 지표는 지하수 함양량 등급이므로 평가를 시행한 지역의 토양 질에 영향을 가장 미치는 것으로 나타났다. 그리고 영향을 적게 미치는 지표는 생산량 등급으로 나타났다. 질 평가를 시행한 지역의 적절한 최적관리기법을 적용하기 위해서는 지하수 함양기능을 많이 제어할 수 있으며, 생산량 기능에는 적은 영향을 미치는 최적관리기법을 적용해야 하는 것으로 나타났다.

4. Conclusion

현재 국내의 토양 질 평가방법들은 특정 목적만을 위해

진행되고 있으며, 결과를 통합적으로 제시해주는 시스템이 부재인 상태이다. 또한 토양 질에 대한 조사가 작물생산학적 관점과 중금속 오염도에 집중되어 진행되고 있으며, 토양 질 평가결과에 의한 최적관리방법을 제시할 수 있는 방법의 부재로 현재 토양의 질에 맞는 최적관리기법을 시행하기에는 어려움이 존재하고 있다. 그리하여 본 연구에서는 토양의 질과 가치에 대한 통합적인 평가시스템을 개발하게 되었다. 개발된 복합적 토양 질 평가 시스템은 토양 특성의 등급화를 통해 복합적인 질을 평가할 수 있도록 구성하였다. 또한 토양에 대한 질 평가가 진행된 후 상황에 맞는 최적관리기법을 제시함으로써 지속적인 토양관리가 가능하도록 구성하였다. 이로 인해 개발된 시스템을 이용하면 기존 토양 질 평가를 위해 시행되던 실험 및 현장조사에 비해 모든 정보 및 연산 처리가 서버 측에서 진행되도록 개발되어서 기존 방법 대비 시간·비용절감에 대한 장점이 있는 것으로 판단된다. 또한 토양 질 평가 결과를 파일로 제공할 수 있도록 개발되어 사용자가 평가한 결과를 기반으로 추가적인 연구가 가능하도록 구성하였다. 본 연구에서는 연구지역을 한강 수변구역 내 토양 특성을 위주로 개발되었으나, 향후 전국 단위 토양 질 평가 시스템의 개발에 앞서 중요한 기능적 의미가 있는 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국환경산업기술원 GAIA Project (No: 2014 000540003) “한국형 표토 침식 조사 평가 기술개발” 의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Cho, Y. H., Lee, J. M., Kim, W. T., Yoon, Y. H., Kang, H. K., Park, B. J., Yoon, T. S., Jang, K. E., Shin, K. J., Eo, Y. J., Kwak, M. Y., and Kim, W. T. (2013). A Study on the Actual Condition of Topsoil Management at River Restoration Projects, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 41(1), pp. 34-43. [Korean Literature]

Cho, Y. S., Kim, H. C., Choi, W. J., Lee, W. C., Lee, S. M., and Hong, S. J. (2010). Development of Bivalve Culture Management System based on GIS for Oyster Aquaculture in GeojeHansan Bay, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 16(1), pp. 11-20. [Korean Literature]

Chung, J. B. and Lee, Y. J. (2008). Comparison of Soil Nutrient Status in Conventional and Organic Apple Farm, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 41(1), pp. 26-34. [Korean Literature]

Jung, D. H., Kim, H. J., Lee, Y. J., Hong, S. H., Yoon, J. H.,

Choi, H. L., and Cho, H. L. (2012). A Study on Selection and Measures of the Apprehensive Areas of Soil Loss in the So-ok Stream Watershed, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(5), pp. 617-629. [Korean Literature]

Kim, J. H., Kim, K. T., and Lee, H. J. (2009). Analysis of Korea Soil Loss and Hazard Zone, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 17(3), pp. 261-268. [Korean Literature]

Kim, J. H., Ahn, S. Y., Park, M. W., and Yoo, H. J. (2012). An Integrated Multidimensional Management System of Surface Water Environment through the Combination of EFDC, WASP7, MFEMWASP, and ArcGIS, *Journal of the Environment*, 9(1), pp. 45-56. [Korean Literature]

Kim, W. T., Cho, Y. H., Lee, J. M., Yoon, Y. H., Kang, H. K., Park, B. J., Yoon, T. S., Jang, K. E., Shin, K. J., Eo, Y. J., Kwak, M. Y., and Song, H. S. (2014). A Study on Actual Condition of Topsoil Management at Forest Development Projects, *Journal of The Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 17(1) pp. 13-25. [Korean Literature]

Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI). (2014). *Evaluating Multifunctional Quality of Topsoil and Developing the Optimized Management System*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

Lee, C. Y., Kim, K. H., Park, Y. G., and Lee, H. (2014). Construction Schemes of GIS-based Integrated Water Environment Information Management System Linked with Korean Reach File, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 30(2), pp. 783-789. [Korean Literature]

Lee, J. M. (2013). *A Study on Topsoil Management Practices in Development Projects*, Master's Thesis, Kongju University, Kongju, Korea, pp. 1-7. [Korean Literature]

Lee, W. D. (2014). *Analysis of Temporal Change in Soil Erosion Potential at Haean-myeon Watershed Due to Climate Change*, Master's Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, pp. 1-10. [Korean Literature]

National Institute of Agricultural Sciences (NAAS). (2009). *Annual Report of the Monitoring Project on Agro-Environment Quality*, Rural Development Administration, pp. 43-87. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2011). *The Result of Soil and Soil Pollution Monitoring to 2010*, Ministry of Environment. pp. 90-103. [Korean Literature]

Publishing Oecd Publishing (OECD). (2008). *Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990*, pp. 86-91.

Rural Research Institute (RRI). (2011). *Non-point Pollution Source Management Source-book of Agriculture*, Korea Rural Community Corporation. pp. 27-130. [Korean Literature]

The Heron Mapping Client (Heron-mc) (2014). <http://heron-mc.org/>. (accessed Sep. 2013).

USDA-NRCS Soil quality for environmental health (USDA-NRCS). (2011). <http://soilquality.org/>. (accessed Sep. 2015).