



Suggestion of classification rule of hydrological soil groups considering the results of the revision of soil series: A case study on Jeju Island

Lee, Youngju^a · Kang, Minseok^b · Park, Changyeol^c · Yoo, Chulsang^{d*}

^aClerk, Department of Water Resources, Korea Engineering Consultants Corporation, Seoul, Korea

^bPh.D Candidate, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea

^cAssociate Research Fellow, Department of Environmental and Urban Planning, Jeju Research Institute, Jeju, Korea

^dProfessor, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea

Paper number: 18-091

Received: 10 October 2018; Revised: 15 November 2018; Accepted: 15 November 2018

Abstract

This study proposes a new method for categorizing the hydrological soil groups by considering the recent revision results of soil series. Also, the proposed method is evaluated by comparing the categorizing result with those based on existing three different methods. As an example, the proposed method is applied to Jeju Island to estimate the CN value, which is then compared with CN values estimated by applying the existing three different methods. Summaries of the results are as follow. (1) The revision result since 2007 shows that the soil texture has been changed in the 43 soil series, the drainage class in the 1 soil series, the permeability in the 15 soil series, and the impermeable layer in the 26 soil series. (2) The categorizing result of hydrological soil groups by applying the proposed method shows that the group B is the most dominant group covering up to 49.25%. On the other hand, one of the existing method of 1987 provides the group C as the most dominant group (46.43%). Method of 1995 defines the group B as the most dominant group (27.69%). The other method of 2007 distinguishes the group D (35.82%) to be the most dominant group. (3) Also, the CN value estimated by applying the proposed method to Jeju Island is found to be smaller than those based on existing three methods. This result indicates the possible overestimation of the CN value when applying the existing three methods.

Keywords: Jeju Island, Soil series, Hydrologic soil group, Runoff curve number

토양통 개정 결과를 반영한 수문학적 토양군 분류 방법 제시: 제주도를 대상으로

이영주^a · 강민석^b · 박창열^c · 유철상^{d*}

^a(주)한국종합기술 수자원부 사원, ^b고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 박사과정, ^c제주연구원 환경도시연구부 책임연구원,

^d고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 교수

요 지

본 연구에서는 최근의 토양통 개정 결과를 반영하여 제주도를 대상으로 새로운 수문학적 토양군 분류 방법을 제시하였다. 또한 제시한 수문학적 토양군 분류 방법은 기존의 수문학적 토양군 분류 방법과 비교하여 평가하였다. 이를 위해 본 연구에서 제시한 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들을 적용하여 제주도 전체 유역을 대상으로 CN 값을 산정하고 그 결과를 비교하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 2007년 이후 개정된 토양통을 기존 토양통과 비교한 결과, 토성은 43개의 토양통에서, 배수등급은 1개의 토양통에서, 투수속도는 15개의 토양통에서, 불투수층 깊이는 26개의 토양통에서 변경된 것으로 확인되었다. (2) 개정된 토양통을 반영하여 제주도의 수문학적 토양군을 분류한 결과, 1987년의 분류 방법을 따를 경우에는 수문학적 토양군 C군(46.43%)이 가장 많이 나타나나, 1995년의 분류 결과에서는 B군(27.69%)이, 2007년의 분류 결과에서는 D군(35.82%)이, 본 연구에서 제시한 분류 결과에서는 B군(49.25%)이 가장 많이 나타나는 것으로 나타났다. (3) 본 연구에서 제시한 방법을 제주도 전체에 적용한 경우에 추정된 CN 값은 기존 방법에 의한 값보다 작은 것으로 나타났다. 이 결과는 기존 방법을 적용할 경우 CN 값이 과대 추정되었을 가능성을 제시하는 것이기도 하다.

핵심용어: 제주도, 토양통, 수문학적 토양군, 유출곡선지수

*Corresponding Author. Tel: +82-2-3290-3321

E-mail: envchul@korea.ac.kr (C. Yoo)

1. 서론

화산 활동으로 형성된 제주도는 투수성이 좋은 다공질 화산암류 및 화산회토로 이루어져 침투가 쉽게 발생한다. 화산회토는 화산재가 비정질이거나 약하게 결정화된 규산염광물로 변화하며 형성되는 토양이다(Brady and Weil, 2000). 비정질의 토양은 불규칙한 배열을 갖기 때문에 토양 내에 미세하고 많은 공극이 존재한다. 이러한 토양 특성으로 제주도는 국내 최다우 지역임에도 불구하고 총 강우량의 48.5%에 이르는 강우량이 지하로 침투하여 평상시 대부분의 하천들은 건천을 이루고 있다(Jung and Yang, 2008). 제주도의 하천 유출은 투수성이 큰 토양 특성으로 인해 강우량이 40 mm 이상일 때에 나타나며, 강우에 의해 점진적으로 홍수유출량이 증가되는 육지와는 달리 하천 표층이 포화된 후 갑자기 홍수가 발생하는 돌발성 홍수류의 특징을 보인다(Yang, 2007).

국내에서는 침투량 산정을 위해 주로 SCS 유출곡선지수(runoff curve number, CN) 방법이 사용되고 있다. SCS-CN 방법을 통해 산정된 침투량은 하천유출량이 측정되지 않은 유역의 유출량 산정에 이용되며, 토양의 종류, 토지이용 및 식생피복상태 등의 자료를 이용하여 간접적으로 직접유출량을 산정할 수 있다(NRCS, 1972). SCS-CN 방법은 유역 내 토양 종류, 토지이용상태, 식생피복의 처리 상태 및 토양의 수문학적 조건 등의 영향을 복합적으로 고려하여 유역의 유출특성을 CN 값으로 간단하게 정량화하여 평가할 수 있다는 장점을 가진다(Kim, 2003). 그러나 어떠한 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하는가에 따라 동일한 유역에서도 유출곡선지수가 상이하게 산정되므로 연구자의 주의가 필요하다(Kim *et al.*, 2014).

현재 국내에서 SCS-CN 방법에 적용하는 수문학적 토양군 분류 방법에는 3가지 방법이 있다. 가장 먼저 Hu and Jung (1987)은 농촌진흥청에서 분류한 우리나라 토양통을 NRCS의 분류 방법을 적용하여 수문학적 토양군을 분류하였다. 다음으로 Jung *et al.* (1995)은 침투 및 투수속도에 대한 실측자료가 부족한 우리나라의 실정을 감안하여 토양속(textural family), 배수등급(drainage class), 불투수층(impermeable layer), 투수성(permeability)과 같은 토양의 정상적인 특성을 가지고 우리나라 토양통의 수문학적 토양군을 재분류하였다. 마지막으로 RDA (2007)는 토양의 침투 및 투수속도에 대한 실측자료를 기반으로 투수특성에 대한 기준을 보완하여 우리나라 토양통의 수문학적 토양군을 재분류하였다. RDA (2007)는 토양군의 분류를 위해 우리나라의 산림토양 16지점, 논토양 17지점, 밭토양 25지점에서 침투속도와 투수속도를 측정하였다.

그러나 기존의 수문학적 토양군 분류 방법을 제주도에 그

대로 적용하는데 한계가 있다. Hu and Jung (1987)의 수문학적 토양군 분류 방법은 NRCS의 기준을 그대로 적용했기 때문에 제주도뿐만 아니라 내륙에 적용하는 데에도 한계가 있다. Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법의 경우에도 제주도 토양에 대한 조사가 미흡하여 체계적인 분류를 수행하지 못하였다. RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법은 우리나라 내륙의 지형적 특징을 고려하여 많은 토양통들의 수문학적 토양군을 C와 D로 분류하였다. 그러나 제주도의 경우 투수율이 높은 토양 특성을 가지고 있어 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하는 것은 적절하지 못하다는 평가가 많다. 또한 기존의 수문학적 토양 분류 방법이 1966년부터 1976년에 설정된 토양통을 적용하고 있어 최근의 토양통 개정 결과를 반영하지 못하는 문제점도 있다.

본 연구에서는 가장 최근의 수문학적 토양군 분류인 RDA (2007) 이후의 토양통 개정 결과를 반영한 제주도의 새로운 수문학적 토양군 분류 방법을 제시하고자 한다. 토양통 개정은 그 양이 방대함에 따라 연차적으로 조금씩 이루어지고 있으며, 최근 거의 마무리되는 단계에 있다. 본 연구에서는 먼저 본 연구에서 제시하는 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 분류 방법을 비교하고 그 결과를 평가하고자 한다. 또한 본 연구에서 제시한 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들을 적용하여 제주도 전체 유역에 대한 CN 값을 산정하고 그 결과를 비교·평가하고자 한다.

2. 제주도 토양

2.1 제주도의 토양 특성

제주도는 한반도의 남서해상 약 90 km 지점에 위치한 화산섬으로, 섬 중앙에 해발 1,950 m의 한라산을 중심으로 360여 개의 기생화산이 산재되어 있다. 제주도의 화산활동은 약 120만 년 전에 시작했다. 최근 서기 1002년에 비양도가, 1007년에 군산이 폭발하였다(Yoo and Song, 1984). 화산활동으로 형성된 제주도는 육지와는 다른 토양의 특성을 갖고 있다. 기반암의 높은 투수율로 인하여 지표유출이 어려운 지질조건을 가지고 있다. 이러한 지질조건으로 인해 제주도는 강수 직후에만 유수가 나타나는 건천의 특징을 갖고 있다. 제주도 중심부에 위치한 한라산국립공원은 국내에서 강우량이 많은 지역 중 하나이다(Jeju Special Self Governing Province, 2013).

제주도의 최초의 토양조사는 1964년에 UN 특별기금사업의 일환으로 한국 토양조사 사업기구가 설립된 후 실시된 개략토양조사이다. 이후 1974년 정밀토양조사 결과를 바탕으

로 제주도의 토양은 5목 11아목 13대군 63통으로 분류되었다. 1974년 정밀토양조사에서는 토양을 쉽게 구분하기 위해 토색을 기준으로 흑색토(Black soil), 농암갈색토(Very dark brown soil), 암갈색토(Dark brown soils), 갈황색토(Brown yellow soil), 회갈색토(Gray brown soil), 회색토(Gray soil) 및 청회색토(Blue gray soil) 6개군으로 분류하였다. 그러나 1976년 발간된 제주도 정밀토양도에서는 토양의 화학적 특성을 고려하여 갈황색토, 회갈색토, 회색 및 청회색토는 암갈색토와 유사하다고 나타나 있으며, 해발 700 m 이상 산림지의 토양을 갈색산림토(Brown forest soils)라 나타나 있다. 그 결과 제주도 정밀토양도에서는 제주도의 토양을 흑색토, 농암갈색토, 암갈색토, 갈색산림토 4개군으로 구분하여 나타내고 있으며, 현재까지 이용되고 있다(RDA, 1976; Yoo and Song, 1984; Park et al., 1985; Song and Yoo, 1991). 다음 Fig. 1은 제주도 내 토양분포를 나타낸 것이며, 다음 Table 1은 흑색토, 농암갈색토, 암갈색토, 갈색산림토 4개군의 특성을 정리한 것이다.

Table 1에 설명되어 있는 것처럼 암갈색토는 비화산회토(Non-volcanic ash soil)이며, 농암갈색토, 흑색토, 갈색산림토는 화산회토(Volcanic ash soil)이다. 비화산회토는 화산회토에 비해 유기물 함량이 낮고 용적밀도가 높고, 공극률이 낮다. 또한 토양입자가 무겁고 화산회토 보다 비옥도가 높다. 화산회토는 토양의 산도가 비교적 낮으며 다공질이기 때문에 투수속도가 빠르다. 암갈색토는 제주도의 북부와 서부 해안 저지대에

분포하고 있다. 오래전 만들어진 토양으로 암석에 풍화가 많이 진행되었다. 토양입자는 무겁고 다른 색의 토양들보다 비옥도가 높다. 농암갈색토는 중산간지역에 분포하며, 투수속도가 빠르기 때문에 논농사가 불가능하다. 흑색토는 동부지역에 분포하며, 화산재가 혼합된 토양이다. 갈색산림토는 해발 700 m 이상에 분포하며 투수속도가 빨라 영농행위가 이루어지기 어렵다.

제주도의 토양과 관련하여 추가로 검토되어야 할 것이 화산회토이다. 제주도는 화산분출에 의해 생성된 지형으로 화산회토인 Andisols이 발달되어 있다. 미국 토양분류체계(Soil Taxonomy)에서는 화산회토를 반숙토(Inceptisols)의 아목인 Andepts로 분류했다. 하지만 1990년 들어 화산회토를 Andisols이라는 새로운 목으로 설정함으로써 화산회토의 분류체계가 새로이 정리되었다(USDA, 1990). 화산회토는 화산재가 Allophane과 Imogolite 같은 비정질이거나 약하게 결정화된 규산염광물로 변화하며 형성된다(Brady and Weil, 2000). Allophane과 Imogolite는 화산재가 풍화된 토양에서 산출되는 천연 물질이며, 비정질점토이다. 비정질이란 결정의 성질을 갖지 않는 것을 의미한다. 결정질의 경우는 일정한 모양과 방향성을 가지고 있어서 공극이 거의 존재하지 않게 된다. 하지만 비정질의 경우는 불규칙한 배열을 갖기 때문에 미세하고 많은 공극이 존재한다. 공극이란 토양에서 광물입자나 유기물같은 고체성분으로 점유되지 않은 부분이다. 토양 내 많은 공극이 존재한다는 것은 물의 이동, 투수가 발생하기 쉬움을 나타낸다.

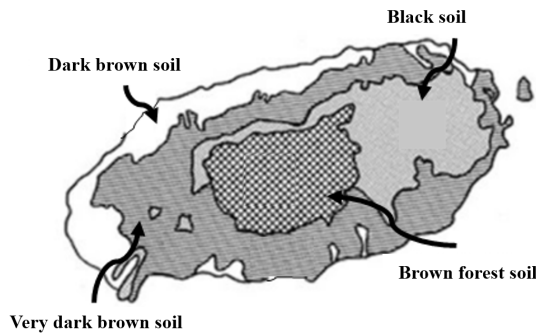


Fig. 1. Distribution of soil types in Jeju Island

2.2 제주도의 토양통 분류

토양통(Soil Series)은 미국 토양 분류체계에서 최저 분류단위로, 가장 기본이 되는 토양분류단위이다. 토양통의 이름은 해당하는 토양이 제일 먼저 발견된 지역의 지명이나 산 또는 강의 이름 등을 따서 붙인다. 우리나라의 토양은 현재 390개의 토양통으로 분류되고 있으며, 제주도에 존재하는 토양통은 총 67개이다. 중앙지역인 한라산 고산지대에 군산(Gunsan) 통이 있으며, 동쪽으로는 토산(Tosan), 노로(Noro), 평대(Pyongdae), 표선(Pyoseon), 남원(Namwon), 송당

Table 1. Soil types and characteristics in Jeju Island

	Dark brown soils	Very dark brown soil	Black soils	Brown forest soils
Location	Jocheon, Aewol, Hamdeok, Hanrim, Hangeong, western and northern coastal low areas	Middle mountainous and southern coastal areas	Eastern area	Mountain area over EL. 700 m
Color	Dark brown	Very dark brown	Black	Black
Characteristics	-Heavily weathered old soils	-Incapable of agricultural use due to high permeability -Mixed with type-3 and type-4 ashes	-Deep soil depth -High possibility of nutrition deficiency due to three-times higher adsorption force than normal soil -Soil mixed with ash	-Barely used for agricultural purpose due to high permeability

(Songdang), 금악(Geumag), 신엄(Sineom)의 순으로 분포되어 있으며, 서쪽으로는 적악(Jeogag), 토산(Tosan), 평대(Pyeongdae), 한경(Hangyeong), 남원(Namwon), 교래(Gyora), 무릉(Mureung), 하원(Hawon), 강정(Gangjeong) 순으로 분포되어 있다. 남쪽으로는 흑악(Heugag), 한림(Hanrim), 중문(Jungmun), 의귀(Euigwi), 정방(Jeongbang) 순으로 분포되어 있으며, 북쪽으로는 토산(Tosan), 한경(Hangyeong), 제주(Jeju), 동홍(Donghong), 사라(Sara) 순으로 분포되어 있다. Table 2는 토양목(Soil Order) 과 토색에 따른 토양통을 정리한 것이며, Table 3은 제주도 토양통 중 면적비율이 1%가 넘는 토양통을 선별하여 토양통에 따른 토성(Soil Texture) 및 토양 특성을 정리한 표이다. 토양 목에 따른 면적비율에서 화산회토가 전체 77%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 제주도의 토양이 주로 화산회토로 이루어져 있으며, 이로 인해 토양 내 많은 공극이 존재하여 투수가 발생하기 쉽다는 것을 나타낸다.

2.3 제주도를 대상으로 한 수문학적 토양군 분류

제주도를 대상으로 Hu and Jung (1987), Jung *et al.* (1995), RDA (2007)의 수문학적 분류 방법을 이용하여 제주도의 수문학적 토양군을 분류하였다. 개략토양도의 경우 결측치가 많아 수문학적 토양군 분류에서 제외하였다. 다음 Fig. 2는 제주도를 대상으로 한 수문학적 토양군 분류 결과를 나타낸다.

수문학적 토양군 분류 방법에 따른 수문학적 토양군 분류 결과를 비교하기 위해 분류 방법별 토양군의 변화를 살펴보았다. 다음 Table 4는 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 수문학적 토양군 변화를 정리한 표이다. 이 표의 내용을 살펴보면, 먼저, Hu and Jung (1987)에서 B, C, D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 A군으로 분류된 토양통은 전체의 약 22.4%로 나타났다. 노로(Noro)통, 논고(Nongo)통 등 10개 토양통의 경우(약 14.9%), Hu and Jung (1987)에서 C, D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 A군으로 분류되었다. Jung *et al.*

Table 2. Classification of soil series according to soil orders (Moon *et al.*, 2007)

Soil order	Soil characteristics	Location	Ratio (%)	Dark brown soil	Very dark brown soil	Black soil	Brown forest soil
Alfisols	- More than 35% of base saturated concentration - Less weathering than ultisols	Humid temperate or subtropical climate zone	4.2	Yongheung, Yongsu, Yeongrag, Mureung, Donghong, Gangjeong	-	-	-
Andisols	-Allophane and Al-organic complex-rich soil -High amorphous with Volcanic glassy content or low content of iron of poor crystals and aluminum minerals	Lava flow zone	77.0	Haean, Daejeong, Jeju, Haengwon, Pyeongdae	Gamsan, Hanrim, Byungag, Jisan, Songag, Udo, Jungeom, Gujwa, Ara, Jeongbang, Euigwi, Inseong, Sanbang, Jungmun, Byungag, Minag, Geumag	Miag, Nogsan, Haengwon, Hangyeong, Pyoseon, Pyeongdae, Topyeong, Wimi, Sineom, Songdang, Minag, Namwon, Gimnyeong, Hamo, Nogsan	Jeogag, Noro, Nongo, Heugag, Tosan, Gunsan
Entisols	-Soil with short soil age and no soil layer development	All climatic zones	3.4	Onpyeong, Gahwa, Gapa, Nagcheon, Sara, Yeongrag, Danseong, Jocheon	-	-	-
Histosols	-Water saturated area -Development in wetlands -Very weak soil profile development	Submerged or acid conditions	0.1	-	-	Iho	-
Inceptisols	-Soil with recently developed soil layer -Distributed all over the world	All climatic zones	11.3	Yongdang, Yonggang, Aewol, Donggwi, Daepyeong, Gueom, Wolpyeong	Gyora, Ora	-	-
Ultisols	-Presence of argillic horizon -Acid soil with less than 35% of base saturated concentration	Humid tropical zone	1.2	Hawon	-	-	-

Table 3. Soil textures and soil characteristics of soil series

Soil series	Location	Soil texture	Soil characteristics		
			Drainage	Permeability	Runoff
Gujwa	Jocheon-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam	Somewhat excessively drained	Moderate	Moderately rapid
Jungmun	Saekdal-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with rock	Well drained	Moderate	Moderate and rapid
Ora	Yeon-dong, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam with gravel	Well drained	Moderately slow	Moderate
Jeju	Haeon-dong, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam, Silt clay loam	Well drained	Moderately slow	Moderate
Heugag	Jungmun-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with rock	Well drained	Moderately slow	Moderate and rapid
Pyeongdae	Jocheon-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam	Well drained	Moderately slow	Moderate and rapid
Donggwi	Aewol-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam with gravel	Well drained	Moderately slow	Moderate
Jungeom	Hallim-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam	Well drained	Moderately rapid	Moderate
Ara	Hawon-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with gravel	Well drained	Moderately rapid	Moderate
Noro	Hawon-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with rock, Loam	Well drained	Moderate	Moderate and rapid
Gimnyeong	Gujwa-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam	Somewhat excessively drained	Moderate	Moderately rapid
Minag	Pyoseon-myeon, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with rock	Well drained	Moderately rapid	Moderate and rapid
Haengwon	Jocheon-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam with gravel	Well drained	Moderately rapid	Moderate
Songdang	Jocheon-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam	Well drained	Moderately slow	Rapid
Namwon	Songdang-ri, Gujwa-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam	Well drained	Moderate	Slow
Gueom	Jocheon-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam	Well drained	Moderate	Moderate
Yongheung	Dosun-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with gravel, Silt clay loam	Well drained	Very slow	Moderate
Jeogag	Daepo-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam, Loam with gravel	somewhat excessively drained	Rapid	Rapid
Hawon	Daejeong-eup, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam	Well drained	Slow	Moderate
Mureung	Hangyeong-myeon, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam, Silt clay loam	Well drained	Very slow	Slow
Tosan	Jungmun-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with gravel, Loam, Silt clay loam	Well drained	Moderately rapid	Moderate and rapid
Songag	Seongsan-eup, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam, Silt clay loam	Well drained	Moderate	Moderate and rapid
Nongo	Hawon-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	Silt loam with gravel	Well drained	Moderately rapid	Moderate and rapid
Nogsan	Gujwa-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam, Silt clay loam	Well drained	Moderately rapid	Moderate and rapid
Hallim	Ara-dong, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam with gravel	Well drained	Rapid	Moderate
Shinum	Gujwa-eup, Jeju-si, Jeju-do	clay loam	Well drained	Rapid	Moderate
Sara	Aewol-eup, Jeju-si, Jeju-do	Silt loam with gravel, Loam	Well drained	Moderately rapid	Moderate

*Soil series with an area ratio of more than 1%

(1995)에서 B, C, D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 A로 분류된 토양통은 전체의 약 20.9%로 나타났다. 동귀 (Donggwi)통, 애월(Aewol)통 등 9개 토양통의 경우(약 13.4%), Jung *et al.* (1995)에서 C, D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 A군으로 분류되었다.

Hu and Jung (1987)에서 A, C, D군으로 분류되었다가 RDA

(2007)에서 B군으로 분류된 토양통은 전체의 약 6.0%로 나타났다. 우도(Udo)통의 경우(약 1.5%), Hu and Jung (1987)에서 D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 B군으로 분류되었다. Jung *et al.* (1995)에서 A, C, D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 B군으로 분류된 토양통은 전체의 약 4.5%로 나타났다. 우도(Udo)통, 용흥(Yongheung)통의 경우(약

3.0%), Jung *et al.* (1995)에서 D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 B군으로 분류되었다.

Hu and Jung (1987)에서 A, B, D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 C군으로 분류된 토양통은 전체의 약 9.0%로 나타났다. Jung *et al.* (1995)에서 A, B, D군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 C군으로 분류된 토양통은 전체의 약 14.9%로 나타났다. 감산(Gamsan)통, 민악(Minag)통 등 7개 토양통의 경우(약 10.45%), Jung *et al.* (1995)에서 A군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 C군으로 분류되었다.

마지막으로, Hu and Jung (1987)에서 A, B, C군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 D군으로 분류된 토양통은 전체의 약 17.9%로 나타났다. 산계(Sangye)통의 경우(약 1.5%) Hu

and Jung (1987)에서 B군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 D군으로 분류되었다. Jung *et al.* (1995)에서 A, B, C군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 D군으로 분류된 토양통은 전체의 약 23.9%로 나타났다. 구좌(Gujwa)통, 산계(Sangye)통 등 9개 토양통의 경우(약 13.4%), Jung *et al.* (1995)에서 A, B군으로 분류되었다가 RDA (2007)에서 D군으로 분류되었다.

수문학적 토양군 분류 방법에 따른 수문학적 토양군의 변화를 확인하기 위해, 제주도의 수문학적 토양군별 면적비율을 확인하였다. 다음 Table 5는 제주도의 수문학적 토양군별 면적비율을 정리한 표이다. Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우, 제주도의 수문학적 토양군별 면적비율은

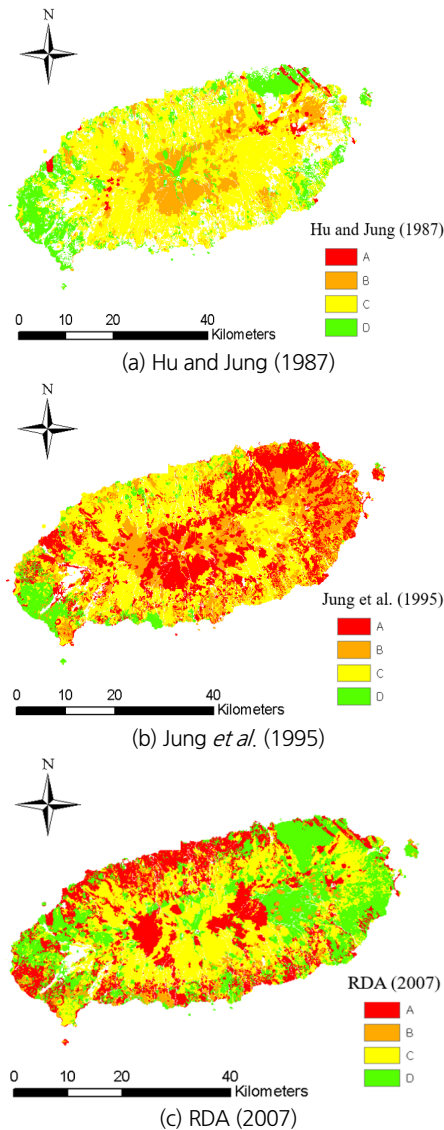


Fig. 2. Classification results of hydrological soil group in Jeju Island

Table 4. Change of hydrological soil group depending on the classification method

RDA (2007)	Jung <i>et al.</i> (1995)	Hu and Jung (1987)	Soil series
A (29.9%)	A (30.0%)	A (33.3%)	Gapa, Miag
		B (50.0%) -(16.7%)	Wolryeong, Jeogag, Jigog Onpyeong
	B (30.0%)	A (16.7%)	Pyoseon
		B (33.3%)	Daeheul, Sara
		C (50.0%)	Noro, Nongo, Byungag
	C (25.0%)	C (80.0%)	Donggwi, Aewol, Ora, Ido
		-(20.0%)	Gueom
	D (15.0%)	D (100.0%)	Gangjeong, Mureung, Yeongrag
	B (11.9%)	A (12.5%)	-(100.0%)
B (37.5%)		B (33.3%)	Seogto
		C (66.7%)	Nogsan, Eungdang
D (25.0%)		D (50.0%)	Udo
		-(50.0%)	Yongheung
-(25.0%)		-(100.0%)	Euigwi, Jeongbang
C (22.4%)	A (46.7%)	B (42.8%)	Gamsan, Haengwon, Heugag
		C (28.6%)	Minag, Ara
		-(28.6%)	Geumag, Sineom
	B (20.0%)	B (33.3%)	Songdang
		C (33.3%)	Hangyeong
		-(33.3%)	Hamo
	C (33.3%)	C (60.0%)	Jeju, Jungmun, Tosan
		D (40.0%)	Donghong, Inseong
D (35.8%)	A (8.2%)	D (100.0%)	Gujwa, Sanbang
	B (29.2%)	B (14.2%)	Sangye
		C (28.6%)	Namwon, Wimi
		D (28.6%)	Gunsan, Jocheon
		-(28.6%)	Gimnyeong, Jungeom
	C (29.2%)	C (100.0%)	Gyora, Nagcheon, Songag, Yonggang, Jisan, Topyeong, Pyeongdae
		C (28.6%)	Yongsu, Wolpyeong
	D (29.2%)	D (71.4%)	Daejeong, Mudeung, Iho, Hawon, Haeon
		-(4.2%)	-(100.0%)

Table 5. Ratios of area of hydrological soil groups in Jeju Island depending on the classification rules

Hydrologic soil group	Hu and Jung (1987)	Jung <i>et al.</i> (1995)	RDA (2007)
A	5.5%	25.0%	29.9%
B	20.0%	29.6%	11.9%
C	47.2%	26.6%	22.4%
D	27.3%	18.8%	35.8%

A가 5.5%, B는 20.0%, C는 47.2%, D는 27.3%로 나타났다. Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A가 25.0%, B는 29.6%, C는 26.6%, D는 18.8%로 나타났다. RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A가 29.9%, B는 11.9%, C는 22.4%, D는 35.8%로 나타났다. Hu and Jung (1987)의 분류 방법과 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용한 결과를 비교해보면 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용한 경우, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용한 경우에 비해 C군과 D군의 면적 비율은 감소한 반면 A군과 B군의 면적 비율은 증가한 것으로 나타났다. Hu and Jung (1987)의 분류 방법과 RDA (2007)의 분류 방법을 적용한 결과를 비교해보면 RDA (2007)의 분류 방법을 적용한 경우, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용한 경우에 비해 B군과 C군의 면적 비율을 감소한 반면 A군과 D군의 면적 비율은 증가한 것으로 나타났다. 마지막으로 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법과 RDA (2007)의 분류 방법을 적용한 결과를 비교해보면 RDA (2007)의 분류 방법을 적용한 경우, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용한 경우에 비해 B군, C군의 면적 비율은 감소한 반면 A군, D군의 면적 비율은 증가한 것으로 나타났다.

수문학적 토양군 분류 방법에 따른 수문학적 토양군의 변화는 CN 값 산정에 영향을 미치게 된다. 다음 Table 6은 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 제주도의 CN 값 산정 결과를 정리한 것이다. 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 제주도의 CN 값 산정 결과, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 80, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 73, RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 77로 나타났다. 제주도의 토지이용별 면적비율을 살펴보면 산림이 44.59%, 논이 1.05%, 밭이 41.35%를 차지하고 있다. IHP 유역(청미천유역, 보청천유역, 위천유역)과 비교하면 제주도의 경우 논이 차지하는 면적은 감소하고 밭이 차지하는 면적이 증가한 것으로 나타났다. 논, 밭의 경우 토양군 분류 방법에 따른 CN 값 변화에 영향을 주지 않지만, 산림의 경우 토양군 분류 방법에 따라 CN 값 변화에 영향을 준다. 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 제주도의 밭지역 토지이용별 면적을 살펴보면 Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우 C군과 D군

Table 6. Comparison of CN values estimated by applying three classification methods of hydrological soil group in Jeju Island

Land use type	Hydrologic soil group	CN	Ratio of area (%)			
			Hu and Jung (1987)	Jung <i>et al.</i> (1995)	RDA (2007)	Total
Water	A	100	0.01	0.02	0.02	0.05
	B		0.00	0.01	0.00	
	C		0.01	0.02	0.01	
	D		0.02	0.01	0.02	
	Determined CN	100	100	100		
Urban	A	79	0.30	0.77	3.28	7.60
	B	86	1.13	1.60	0.22	
	C	90	3.69	4.27	1.57	
	D	92	2.35	0.83	2.40	
	Determined CN	90	88	86		
Bareland	A	77	0.24	0.30	0.36	0.80
	B	86	0.14	0.16	0.02	
	C	91	0.21	0.28	0.16	
	D	94	0.20	0.04	0.24	
	Determined CN	87	85	85		
Wetland	A	98	0.00	0.00	0.01	0.03
	B		0.00	0.01	0.00	
	C		0.00	0.01	0.00	
	D		0.02	0.00	0.01	
	Determined CN	98	98	98		
Grassland	A	50	0.25	0.98	0.92	4.53
	B	69	0.88	1.48	0.15	
	C	79	2.13	1.98	1.67	
	D	84	1.47	0.29	1.98	
	Determined CN	77	70	75		
Forest	A	47	1.21	14.82	8.76	44.59
	B	68	12.33	10.63	1.09	
	C	79	23.50	18.26	23.08	
	D	86	6.90	0.24	10.93	
	Determined CN	76	66	74		
Rice paddy	A	78	0.02	0.18	0.22	1.05
	B		0.22	0.32	0.01	
	C		0.44	0.50	0.35	
	D		0.34	0.04	0.46	
	Determined CN	78	78	78		
Upland field	A	64	0.76	5.93	12.55	41.35
	B	75	7.19	8.95	1.12	
	C	82	19.62	21.64	13.07	
	D	86	14.38	5.43	15.33	
	Determined CN	82	78	82		
Overall CN			80	73	77	

에 포함되는 면적 비율이 각각 19.62%, 14.38%이며, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우 C군이 21.64%로 나타났다. RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 C군과 D군이 각각 13.07%, 15.33%로 나타났다. 다음으로 CN 값 변화의 가장 큰 영향을 미치는 산림지역의 토지이용별 면적을 살펴보았다. 그 결과, Hu and Jung (1987)의 분류 방법과 RDA

(2007)의 분류 방법을 적용하는 경우, C군과 D군이 전체 면적에 30.00% 이상 차지하는 것으로 나타났으며, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우 A군이 14.82%, B군이 10.63%, C군이 18.26%로 나타났다. 따라서 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 제주도의 CN 값 산정 결과가 차이가 나타나 는 이유는 분류 방법에 따른 발지역 및 산림지역의 토지이용 별 면적 차이 때문인 것으로 나타난다.

3. 토양통 개정 결과를 반영한 제주도의 수문학적 토양군 재분류

기존의 수문학적 토양군 분류 방법을 제주도에 그대로 적용하는데 한계가 있다. Hu and Jung (1987)의 수문학적 토양군 분류 방법은 NRCS의 기준을 그대로 적용했기 때문에 제주도 뿐만 아니라 우리나라에 적용하는데 한계가 있다. Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법의 경우에는 제주도 토양에 대한 조사가 미흡하여 체계적인 분류를 수행하지 못하였다. RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법은 우리나라 육지의 지형적 특성을 고려하여 많은 토양통들의 수문학적 토양군을 C와 D로 분류하였다. 그러나 제주도의 경우 투수율이 높은 토양 특성을 가지고 있어, 제주도에 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하는 것은 적절하지 못하다. 아울러 기존의 수문학적 토양 분류 방법은 1966년부터 1976년에 설정된 토양통의 자료를 이용하고 있어 새로 개정된 토양통을 고려하지 못하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 농촌진흥청에서 제공하는 개정된 토양통 정보를 Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에 적용하여 수문학적 토양군을 재분류 하였다.

3.1 토양통 자료 보완

다음 Table 7은 제주도 토양통의 설정년도 및 개정년도를 정리한 것이다. 제주도의 토양통은 대평(Daepyeong)통, 정방(Jeongbang)통, 의귀(Euigwi)통을 제외하면 1966년부터 1976년에 최초 설정되었으며, 2000년대 이후 지속적으로 개정되고 있다. 반면에 대흙(Daehul)통, 군산통(Gunsan)통, 인성(Inseong)통, 월평(Wolpyeong)통, 낙천(Nagcheon)통의 경우 1970년대 최초 설정된 이후 개정이 되지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 대흙(Daehul)통, 군산통(Gunsan)통, 인성(Inseong)통, 월평(Wolpyeong)통, 낙천(Nagcheon)통을 제외한 62개 토양통의 경우 개정된 토양통을 적용하여 수문학적 토양군 분류를 수행하였다. 아울러 대

흙(Daehul)통, 군산통(Gunsan)통, 인성(Inseong)통, 월평(Wolpyeong)통, 낙천(Nagcheon)통의 경우 최초 설정된 토양통을 적용하여 수문학적 토양군 분류를 수행하였다. 또한 Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류에서 적용하지 못한 정방(Jeongbang)통과 의귀(Euigwi)통을 추가 적용하여 수문학적 토양군을 재분류 하였다.

3.2 토양 특성 반영

3.2.1 토성

본 연구에서는 농촌진흥청에서 제공하는 제주도의 토양통을 확인하고, 모재가 화산쇄설물인 경우 토성을 화산재로 수정하였다. 다음 Table 8은 Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 토성과 개정된 토양통의 토성을 정리한 것이며, Table 9는 Jung *et al.* (1995)가 적용한 토성에 따른 점수 배점을 정리한 것이다. 표에서 S는 사질(sand), S.SK는 사력질(sandy skeletal), Co.L는 사양질(coarse loamy), L.SK는 역양질(loamy skeletal), Co.L/는 사양질 하부 토성(coarse loamy over), Co.Si는 미사사양질(coarse silty), Co.Si/는 미사사양질 하부 토성(coarse silty over), F.Si는 미사식양질(fine silty), F.Si/는 미사식양질 하부 토성(fine silty over), F.L는 식양질(fine loamy), F.C는 식질(fine clayey), Ash는 화산재(ash), Ash/는 화산재 하부 토성(ash over)을 나타낸다(Jung *et al.*, 1995).

Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 토성과 개정된 토양통의 토성을 비교한 결과, 미악(Miag)통, 신엄(Sineom)통, 구좌(Gujwa)통 등 43개 토양통의 토성이 화산재로 수정되었다. 특히 토평(Topyeong)통, 강정(Gangjeong)통 등 29개 토양통의 경우 토성이 미사식양질과 식질에서 화산재로 수정되어 토성에 따른 점수 배점이 2단계나 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 병악(Byeongag)통, 사라(Sara)통 등 7개 토양통의 경우 토성이 식양질과 역양질에서 화산재로 수정되어 토성에 따른 점수 배점이 1단계 떨어지는 것으로 나타났다. 반면 미악(Miag)통의 경우 토성이 사력질에서 화산재로 수정되어 토성에 따른 점수 배점이 1단계 올라가는 것으로 나타났다. 신엄(Sineom)통, 구좌(Gujwa)통 등 6개 토양통의 경우 토성이 사력질과 미사사력질에서 화산재로 수정되었지만 토성에 따른 점수 배점에는 변동이 없었다. 가파(Gapa)통, 온평(Onpyeong)통 등 22개 토양통의 경우에는 토성의 변화가 없는 것으로 나타났다.

3.2.2 배수등급

다음 Table 10은 Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 토양통의 배수등급과 개정된 토양통의 배수

Table 7. Established and revised year of soil series in Jeju Island

Soil series	Established	Revised	Soil series	Established	Revised	Soil series	Established	Revised
Yongheung	1975	2005	Wimi	1975	2010	Ora	1975	2011
Jeju	1969	2005	Jungeom	1975	2010	Tosan	1975	2011
Donghong	1969	2005	Ido	1975	2010	Topyeong	1975	2011
Mureung	1975	2006	Jungmun	1975	2010	Onpyeong	1974	2011
Hawon	1975	2006	Haean	1975	2010	Miag	1969	2011
Yongdang	1974	2006	Yeongrag	1975	2010	Namwon	1969	2011
Gangjeong	1975	2007	Sara	1974	2010	Euigwi	2000	2011
Donggwi	1975	2008	Gapa	1971	2010	Nogsan	1975	2012
Aewol	1975	2008	Geumag	1969	2010	Noro	1975	2012
Yonggang	1975	2008	Gimnyeong	1969	2010	Iho	1969	2012
Daepyeong	2009	2009	Songag	1969	2010	Gujwa	1975	2013
Minag	1975	2009	Seogto	1967	2010	Yongsu	1975	2013
Gyora	1975	2009	Mudeung	1966	2010	Udo	1975	2013
Gueom	1975	2009	Sangye	1976	2011	Hanrim	1969	2013
Pyeongdae	1975	2009	Jeogag	1975	2011	Daejeong	1969	2013
Songdang	1969	2009	Sanbang	1975	2011	Jisan	1966	2014
Pyoseon	1969	2009	Sineom	1975	2011	Daeheul	1975	-
Jeongbang	2000	2009	Gamsan	1975	2011	Gunsan	1975	-
Ara	1975	2010	Jigog	1975	2011	Inseong	1975	-
Wolryeong	1975	2010	Heugag	1975	2011	Wolpyeong	1975	-
Haengwon	1975	2010	Byungag	1975	2011	Nagcheon	1974	-
Jocheon	1975	2010	Hamo	1975	2011			
Hangyeong	1975	2010	Nongo	1975	2011			

Table 8. Changes in soil texture based on the revision of soil series

Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study
Gapa	S	S	Hangyeong	Ash	Ash	Topyeong	F.Si	Ash
Miag	S.SK	Ash	Gimnyeong	F.Si	Ash	Pyeongdae	F.Si	Ash
Onpyeong	S	S	Namwon	Co.Si	Ash	Donghong	F.Si	Ash
Jeogag	Ash	Ash	Sangye	Co.L	Co.L	Inseong	F.Si/	Ash
Hanrim	Ash	Ash	Jocheon	F.L	Ash	Aewol	F.Si/	Ash
Geumag	Ash	Ash	Noro	F.L	Ash	Yonggang	F.Si	Ash
Sineom	Co.Si	Ash	Nongo	F.L	Ash	Jisan	F.L	F.L
Gujwa	Co.Si	Ash	Seogto	L.Sk	L.Sk	Gangjeong	F.C	Ash
Sanbang	Co.L	Ash	Yongdang	F.L	Ash	Mureung	F.C	Ash
Daeheul	Co.L/	Co.L/	Gunsan	F.Si	Ash	Daejeong	F.C	Ash
Wolryeong	Co.L	Co.L	Wimi	F.Si/	Ash	Yongsu	F.C	Ash
Jigog	Co.L	Co.L	Jungeom	F.Si	Ash	Wolpyeong	F.Si	Ash
Gamsan	Ash	Ash	Gueom	F.Si	Ash	Haean	F.C	Ash
Minag	Co.Si	Ash	Donggwi	F.Si	Ash	Yeongrag	F.C	Ash
Ara	Ash/	Ash/	Ora	F.Si	Ash	Yongheung	F.C	Ash
Haengwon	Ash	Ash	Ido	F.Si	Ash	Udo	F.C	Ash
Heugag	Co.L	Ash	Jeju	F.Si	Ash	Daepyeong	F.L/	Ash
Byungag	F.L	Ash	Jungmun	F.Si/	Ash	Iho	F.C	F.C
Sara	L.Sk	Ash	Tosan	F.Si	Ash	Hawon	F.C	Ash
Pyoseon	Ash	Ash	Gyora	F.Si	Ash	Jeongbang		Ash
Nogsan	Ash/	Ash/	Nagcheon	S	S	Euigwi		Ash
Songdang	Ash	Ash	Mudeung	F.L	F.L			
Hamo	Ash/	Ash/	Songag	F.Si	Ash			

Table 9. Scores according to the soil texture

Score	4	3	2	1
Soil texture	F.Si, F.C	F.L, L.Sk	Ash, Co.L, Co.Si	S, S.SK

Table 10. Changes in drainage class based on the revision of soil series

Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study
Gapa	S.EX	S.EX	Hangyeong	W	W	Topyeong	W	W
Miag	S.EX	S.EX	Gimnyeong	S.EX	S.EX	Pyeongdae	W	W
Onpyeong	S.EX	S.EX	Namwon	W	W	Donghong	W	W
Jeogag	S.EX	S.EX	Sangye	Mod	Mod	Inseong	W	W
Hanrim	W	W	Jocheon	S.EX	S.EX	Aewol	Mod	Mod
Geumag	W	W	Noro	W	W	Yonggang	Mod	Mod
Sineom	W	W	Nongo	W	W	Jisan	I	I
Gujwa	S.EX	S.EX	Seogto	W	W	Gangjeong	Mod	Mod
Sanbang	S.EX	S.EX	Yongdang	Mod	Mod	Mureung	W	W
Daheul	W	W	Gunsan	S.EX	S.EX	Daejeong	Mod	Mod
Wolryeong	W	W	Wimi	W	W	Yongsu	Mod	Mod
Jigog	W	W	Jungeom	W	W	Wolpyeong	I	I
Gamsan	W	W	Gueom	W	W	Haean	I	I
Minag	W	W	Donggwi	W	W	Yeongrag	W	W
Ara	W	W	Ora	W	W	Yongheung	W	W
Haengwon	W	W	Ido	W	W	Udo	W	W
Heugag	W	W	Jeju	W	W	Daepyeong	P	W
Byungag	W	W	Jungmun	W	W	Iho	P	P
Sara	W	W	Tosan	W	W	Hawon	W	W
Pyoseon	W	W	Gyora	W	W	Jeongbang		W
Nogsan	W	W	Nagcheon	P	P	Euigwi		W
Songdang	W	W	Mudeung	S.EX	S.EX			
Hamo	W	W	Songag	W	W			

Table 11. Scores according to the drainage class

Score	4	3	2	1
Drainage	S.EX	Mod, W	I	P

등급을 정리한 것이며, Table 11은 Jung *et al.* (1995)가 적용한 배수등급에 따른 점수 배점을 정리한 것이다. 표에서 P는 배수 불량(poorly drained), I는 배수 약간 불량(imperfectly drained), Mod는 배수 약간 양호(moderately well drained), W는 배수 양호(well drained), S.EX는 배수 매우 양호(somewhat excessively drained)를 나타낸다(Jung *et al.*, 1995).

Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 배수등급과 개정된 토양통의 배수등급을 비교한 결과, 대평(Daepyeong)통만 배수등급이 수정된 것으로 나타났다. 대평(Daepyeong)통의 경우 배수등급이 배수불량에서 배수양호로 수정되어 배수등급에 따른 점수 배점이 두 단계 올라갔다.

3.2.3 투수속도

다음 Table 12는 Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 토양통의 투수속도와 개정된 토양통의 투수속도를 정리한 것이며, Table 13은 Jung *et al.* (1995)가 적용한 투수속도에 따른 점수 배점을 정리한 것이다. 표에서 VS는 매우 느림(very slow), S는 느림(slow), MS는 약간느림(moderately

slow), M은 보통(moderate), MR는 약간빠름(moderately rapid), R은 빠름(rapid), VR은 매우빠름(very rapid)를 나타낸다(Jung *et al.*, 1995).

Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 투수속도와 개정된 토양통의 투수속도를 비교한 결과, 구좌(Gujwa)통, 표선(Pyoseon)통 등 15개 토양통의 투수속도가 수정되었다. 특히 군산통(Gunsan)통의 경우 투수속도가 보통에서 빠름으로 수정되어 투수속도에 따른 점수 배점이 두단계 올라가는 것으로 나타났다. 녹산(Nogsan)통과 논고(Nongo)통 등 3개 토양통의 경우 투수속도가 약간느림에서 약간빠름으로 수정되어 투수속도에 따른 점수 배점이 한단계 올라가는 것으로 나타났다. 우도(Udo)통의 경우 투수속도가 매우느림에서 약간느림으로 수정되어 투수속도에 따른 점수 배점이 한단계 올라가는 것으로 나타났다. 한경(Hangyeong)통의 경우 투수속도가 보통에서 약간빠름으로 수정되어 투수속도에 따른 점수 배점이 한단계 올라가는 것으로 나타났다. 반면에 구좌(Gujwa)통과 김녕(Gimnyeong)통의 경우 투수속도가 약간빠름에서 보통으로 수정되어 투수속도에 따른

Table 12. Changes in the permeability based on the revision of soil series

Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study
Gapa	VR	VR	Hangyeong	M	MR	Topyeong	M	M
Miag	R	R	Gimnyeong	MR	M	Pyeongdae	MS	MS
Onpyeong	R	R	Namwon	MS	M	Donghong	MS	M
Jeogag	R	R	Sangye	M	M	Inseong	MS	M
Hanrim	R	R	Jocheon	M	M	Aewol	MS	MS
Geumag	R	R	Noro	MS	MS	Yonggang	MS	MS
Sineom	R	R	Nongo	MS	MR	Jisan	MS	MS
Gujwa	MR	M	Seogto	M	M	Gangjeong	VS	VS
Sanbang	MR	MR	Yongdang	MS	MS	Mureung	VS	VS
Daeheul	MR	MR	Gunsan	M	R	Daejeong	S	S
Wolryeong	MR	MR	Wimi	MR	MR	Yongsu	S	S
Jigog	MR	MR	Jungeom	MR	MR	Wolpyeong	MS	MS
Gamsan	MR	MR	Gueom	M	M	Haeon	MS	S
Minag	MR	MR	Donggwi	MS	MS	Yeongrag	VS	VS
Ara	MR	MR	Ora	MS	MS	Yongheung	VS	VS
Haengwon	MR	MR	Ido	MS	MS	Udo	VS	MS
Heugag	MS	MS	Jeju	MS	MS	Daepyeong	MS	M
Byungag	MR	MR	Jungmun	MS	M	Iho	MR	MR
Sara	MR	MR	Tosan	MS	MR	Hawon	S	S
Pyoseon	MS	M	Gyora	MS	MS	Jeongbang		MR
Nogsan	MS	MR	Nagcheon	VR	VR	Euigwi		MS
Songdang	M	M	Mudeung	M	M			
Hamo	MS	MS	Songag	MS	MS			

Table 13. Scores according to the permeability

Score	4	3	2	1
Permeability	VR, R	MR	M, MS	S, VS

점수 배점이 한단계 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 해안(Haeon)통의 경우 투수속도가 약간느림에서 느림으로 수정되어 투수속도에 따른 점수 배점이 한단계 떨어지는 것으로 나타났다. 표선(Pyoseon)통, 남원(Namwon)통 등 6개 토양통의 경우 투수속도가 약간느림에서 보통으로 수정되었지만 투수속도에 따른 점수 배점에는 변동이 없었다. 가파(Gapa)통, 미악(Miag)통 등 50개 토양통의 경우에는 투수속도의 변화가 없는 것으로 나타났다.

3.2.4 불투수층

다음 Table 14는 Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 토양통의 불투수층과 개정된 토양통의 불투수층을 정리한 것이며, 다음 Table 15는 Jung *et al.* (1995)가 적용한 불투수층 깊이에 따른 점수 배점을 정리한 것이다. Table 14에서 X는 해당 토양통에 불투수층이 존재하지 않는다는 것을 나타낸다.

Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법에서 이용한 불투수층과 개정된 토양통의 불투수층을 비교한 결과, 신엄(Sineom)통, 구좌(Gujwa)통 등 26개 토양통의 불투수층이

수정되었다. 특히 낙천(Nagcheon)통, 영락(Yeongrag)통 등 7개 토양통의 경우 불투수층의 위치가 25 cm 이내에서 불투수층이 존재하지 않는 것으로 수정되어 불투수층 깊이에 따른 점수 배점이 세단계 올라가는 것으로 나타났다. 영락(Yeongrag)통, 지산(Jisan)통의 경우 불투수층의 위치가 25-50 cm에서 불투수층이 존재하지 않는 것으로 수정되어 불투수층 깊이에 따른 점수 배점이 두단계 올라가는 것으로 나타났다. 동홍(Donghong)통의 경우 불투수층의 위치가 50-100 cm에서 불투수층이 존재하지 않는 것으로 수정되어 불투수층 깊이에 따른 점수 배점이 한단계 올라가는 것으로 나타났다. 용강(Yonggang)통의 경우 불투수층의 위치가 25-50 cm에서 50-100 cm로 수정되어 불투수층 깊이에 따른 점수 배점이 한단계 올라가는 것으로 나타났다. 반면 김녕(Gimnyeong)통의 경우 불투수층이 존재하지 않는 것으로 나타났다가 불투수층의 위치가 25 cm 이내로 수정되어 불투수층 깊이에 따른 점수 배점이 세단계 떨어지는 것으로 나타났다. 구좌(Gujwa)통, 산방(Sanbang)통 등 4개 토양통의 경우 불투수층이 존재하지 않는 것으로 나타났다가 불투수층의 위치가 25-50 cm으로 수

Table 14. Changes in the impermeable layer based on the revision of soil series

Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study	Soil series	Jung <i>et al.</i> (1995)	This study
Gapa	x	x	Hangyeong	x	x	Topyeong	x	x
Miag	x	x	Gimnyeong	x	<25	Pyeongdae	x	x
Onpyeong	x	x	Namwon	x	x	Donghong	50-100	X
Jeogag	x	x	Sangye	x	x	Inseong	50-100	50-100
Hanrim	x	x	Jocheon	x	25-50	Aewol	25-50	X
Geumag	x	x	Noro	x	x	Yonggang	25-50	50-100
Sineom	x	50-100	Nongo	x	x	Jisan	25-50	X
Gujwa	x	25-50	Seogto	x	x	Gangjeong	25-50	X
Sanbang	x	25-50	Yongdang	x	x	Mureung	25-50	X
Daeheul	x	x	Gunsan	x	25-50	Daejeong	25-50	X
Wolryeong	x	x	Wimi	x	x	Yongsu	25-50	X
Jigog	x	x	Jungeom	x	50-100	Wolpyeong	25-50	X
Gamsan	x	x	Gueom	x	50-100	Haeon	25-50	X
Minag	x	x	Donggwi	x	x	Yeongrag	<25	X
Ara	x	x	Ora	x	x	Yongheung	<25	X
Haengwon	x	x	Ido	x	x	Udo	<25	X
Heugag	x	x	Jeju	x	x	Daepyeong	<25	X
Byungag	x	x	Jungmun	x	x	Iho	<25	X
Sara	x	x	Tosan	x	x	Hawon	<25	X
Pyoseon	x	x	Gyora	x	x	Jeongbang		X
Nogsan	x	x	Nagcheon	<25	X	Euigwi		X
Songdang	x	x	Mudeung	25-50	25-50			
Hamo	x	50-100	Songag	x	x			

(Unit: cm)

Table 15. Scores according to the depth of impermeable layer

Score	4	3	2	1
Depth of impervious layer (cm)	-	50-100	25-50	>25

정되어 불투수층 깊이에 따른 점수 배점이 두단계 떨어지는 것으로 나타났다. 신임(Sineom)통, 하모(Hamo)통 등 4개 토양통의 경우 불투수층이 존재하지 않는 것으로 나타났다가 불투수층의 위치가 50-100 cm으로 수정되어 불투수층 깊이에 따른 점수 배점이 한단계 떨어지는 것으로 나타났다. 가파(Gapa)통, 미악(Miag)통 등 39개 토양통의 경우에는 불투수층 깊이의 변화가 없는 것으로 나타났다.

3.3 결과 및 검토

다음 Table 16은 본 연구에서 제시한 수문학적 토양군 분류 방법을 정리한 것이며, Table 17은 개정된 토양통 정보를 이용하여 수문학적 토양군을 재분류한 결과와 기존의 수문학적 토양군 분류 결과를 정리한 표이다. 개정된 토양통 정보를 이용하여 수문학적 토양군을 재분류한 결과, A군이 24개, B군이 33개, C군이 2개, D군이 9개로 나타났다. 기존의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용한 결과와 비교한 결과, A군과 B군이 증가하였고, C군과 D군이 감소하는 것으로 나타났다.

다음 Table 18은 토양통 개정 결과를 적용하여 재산정한 제주도 전체 지역에 대한 CN 값을 정리한 것이다. 제주도 전체 지역에 대하여 CN 값을 산정한 결과, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 80, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 73, RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 77로 나타났다. 토양통 개정 결과를 적용하

Table 16. Modification methods and results for re-classification of hydrological soil groups

	Modification method	Result
Soil texture	Modified to ash in case of pyroclastic parent material	Modification of soil texture in 43 soil series
Drainage class	Applied revised soil series	Modification of drainage class in Daepyeong
Permeability	Applied revised soil series	Modification of permeability in 15 soil series
impermeable layer	Applied revised soil series	Modification of impermeable layer in 26 soil series

여 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 통해 재산정한 경우에는 67로 나타났다. Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하여 CN 값을 산정하는 경우에는 개정 전 후 토양통의 차이로 인해 CN 값 산정 결과가 달라졌다. 이러한 차이는 초지 지역과 산림 지역의 영향이 크게 반영되었다. 개정 전 토양통을 적용한 경우 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법에서는 초지 지역에서 A군이 0.98%, B군이 1.48%, C군이 1.98%, D군이 0.29%로 나타났다. 그러나 개정 후 토양통을 적용하는 경우에는 A군이 3.61%, B군이 0.89%로 나타나 CN 값 감소를 야기하였다. 이러한 변화는 산림 지역에서도 확인 할 수 있다. 개정 전 토양통을 적용한 경우 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법에서는 산림 지역에서 A군이 14.82%, B군이 10.63%, C군이 18.26%, D군이 0.24%로 나타났다. 그러나 개정 후 토양통을 적용하는 경우에는 A군이 16.79%, B군이 29.79%로 나타나 CN 값 감소를 야기하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 최근의 토양통 개정 결과를 반영하여 제주도를 대상으로 새로운 수문학적 토양군 분류 방법을 제시하였다. 또한 제시한 수문학적 토양군 분류 방법은 기존의 수문학적 토양군 분류 방법과 비교하여 평가하였다. 이를 위해 본 연구에서 제시한 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들을 적용하여 제주도 전체 유역을 대상으로 CN 값을 산정하고 그 결과를 비교하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 2007년 이후 개정된 토양통을 기존 토양통과 비교한 결과, 토성은 43개의 토양통에서, 배수등급은 1개의 토양통에서, 투수속도는 15개의 토양통에서, 불투수층 깊이는 26개의 토양통에서 변경된 것으로 확인되었다.

Table 17. Re-classification results of hydrological soil group by applying the revision of soil series

Division	Hydrological soil group			
	A	B	C	D
Hu and Jung (1987)	Gapa, Miag, Pyoseon	Gamsan, Daeheul, Sara, Sangye, Seogto, Songdang, Wolryeong, Jeogag, Jigog, Haengwon, Heugag	Jeju, Jungmun, Tosan, Gyoraе, Nagcheon, Namwon, Noro, Nogsan, Nongo, Donggwi, Minag, Byungag, Songag, Ara, Aewol, Ora, Yonggang, Yongdang, Yongsu, Wolpyeong, Wimi, Ido, Jisan, Topyeong, Pyeongdae, Hangyeong,	Daejeong, Mudeung, Iho, Gangjeong, Hawon, Haean, Gujwa, Gunsan, Donghong, Mureung, Sanbang, Yeongrag, Udo, Wolryeong, Inseong, Jocheon
Jung <i>et al.</i> (1995)	Gapa, Miag, Onpyeong, Jeogag, Hanrim, Geumag, Sineom, Gujwa, Sanbang, Daeheul, Wolryeong, Jigog, Gamsan, Minag, Ara, Haengwon, Heugag	Byungag, Sara, Pyoseon, Nogsan, Songdang, Hamo, Hangyeong, Gimnyeong, Namwon, Sangye, Jocheon, Noro, Nongo, Seogto, Yongdang, Gunsan, Wimi, Jungeom	Jeju, Jungmun, Tosan, Gyeom, Donggwi, Ora, Ido, Gyoraе, Nagcheon, Songag, Topyeong, Pyeongdae, Donghong, Inseong, Aewol, Yonggang, Jisan	Daejeong, Mudeung, Iho, Hawon, Haean, Gangjeong, Mureung, Yongsu, Wolpyeong, Yeongrag, Yongheung, Udo, Daepyeong,
RDA (2007)	Gapa, Miag, Gangjeong, Gyeom, Noro, Nongo, Daeheul, Donggwi, Mureung, Byungag, Sara, Aewol, Yeongrag, Ora, Onpyeong, Wolryeong, Ido, Jeogag, Jigog, Pyoseon	Nogsan, Seogto, Yongheung, Udo, Eungdang, Euigwi, Jeongbang, Hanrim	Jeju, Jungmun, Tosan, Gamsan, Geumag, Donghong, Minag, Songdang, Sineom, Ara, Inseong, Hamo, Hangyeong, Haengwon, Heugag	Daejeong, Mudeung, Iho, Hawon, Haean, Gyoraе, Gujwa, Gunsan, Gimnyeong, Nagcheon, Namwon, Daepyeong, Sangye, Sanbang, Songag, Wolpyeong, Wimi, Eung-gang, Eungsu, Jocheon, Jungeom, Jisan, Topyeong, Pyeongdae,
This study	Gapa, Onpyeong, Miag, Jeogag, Geumag, Hanrim, Gamsan, Gunsan, Nogsan, Nongo, Daeheul, Minag, Byungag, Sara, Sineom, Ara, Wonryung, Wimi, Jigog, Tosan, Hangyeong, Haengwon, Jeongbang	Gyoraе, Namwon, Noro, Donggwi, Sanbang, Songdang, Songag, Ora, Yongdang, Ido, Jeju, Jungmun, Jungeom, Topyeong, Pyeongdae, Pyoseon, Heugag, Donghong, Aewol, Daepyeong, Udo, Euigwi, Gyeom, Gujwa, Seogto, Jocheon, Hamo, Inseong, Gangjeong, Mureung, Yeongrag, Yongheung, Hawon	Gimnyeong, Mudeung	Nagcheon, Sangye, Daejeong, Yonggang, Yongsu, Wolpyeong, Jisan, Haean, Iho

Table 18. CN values in Jeju Island estimated by applying the revision of soil series

Land use type	Hydrological soil group	CN	Ratio of area (%)				Total
			Hu and Jung (1987)	Jung <i>et al.</i> (1995)	RDA (2007)	This study	
Water	A	100	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05
	B		0.00	0.01	0.00	0.04	
	C		0.01	0.02	0.01	0.00	
	D		0.02	0.01	0.02	0.00	
	Determined CN		100	100	100	100	
Urban	A	79	0.30	0.77	3.28	1.88	7.60
	B	86	1.13	1.60	0.22	5.50	
	C	90	3.69	4.27	1.57	0.00	
	D	92	2.35	0.83	2.40	0.00	
	Determined CN		90	88	86	84	
Bareland	A	77	0.24	0.30	0.36	0.33	0.80
	B	86	0.14	0.16	0.02	0.43	
	C	91	0.21	0.28	0.16	0.02	
	D	94	0.20	0.04	0.24	0.00	
	Determined CN		87	85	85	82	
Wetland	A	98	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03
	B		0.00	0.01	0.00	0.02	
	C		0.00	0.01	0.00	0.00	
	D		0.02	0.00	0.01	0.00	
	Determined CN		98	98	98	98	
Grassland	A	50	0.25	0.98	0.92	3.61	4.53
	B	69	0.88	1.48	0.15	0.89	
	C	79	2.13	1.98	1.67	0.00	
	D	84	1.47	0.29	1.98	0.00	
	Determined CN		77	70	75	54	
Forest	A	47	1.21	14.82	8.76	16.79	44.59
	B	68	12.33	10.63	1.09	29.79	
	C	79	23.50	18.26	23.08	0.00	
	D	86	6.90	0.24	10.93	0.00	
	Determined CN		76	66	74	60	
Rice paddy	A	78	0.02	0.18	0.22	0.20	1.05
	B		0.22	0.32	0.01	0.70	
	C		0.44	0.50	0.35	0.13	
	D		0.34	0.04	0.46	0.00	
	Determined CN		78	78	78	78	
Upland field	A	64	0.76	5.93	12.55	10.49	41.35
	B	75	7.19	8.95	1.12	29.15	
	C	82	19.62	21.64	13.07	0.00	
	D	86	14.38	5.43	15.33	0.00	
	Determined CN		82	78	82	72	
Overall CN			80	73	77	67	100

- 2) 개정된 토양통을 반영하여 제주도의 수문학적 토양군을 분류한 결과, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 따를 경우에는 수문학적 토양군 C군(46.43%)이 가장 많이 나타나나, Jung *et al.* (1995)의 분류 결과에서는 B군(27.69%)이, RDA (2007)의 분류 결과에서는 D군(35.82%)이, 토양통 개정결과를 반영한 본 연구에서 제시한 분류 결과에서는 B군(49.25%)이 가장 많이 나타나는 것으로 나타났다.
- 3) 본 연구에서 제시한 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들을 적용하여 제주도 전체 유역에 대한 CN 값을 산정하였다. 그 결과 Hu and Jung (1987)의 분류 결과를 적용한 경우의 CN 값이 80으로 가장 높게 나타났다. 반면 본 연구에서 제시한 분류 결과를 적용한 경우의 CN 값은 67로 가장 낮게 나타났다. 또한 Jung *et al.* (1995)의 분류 결과를 적용한 경우와 RDA (2007)의 분류 결과를 적용한 경우에는 CN 값이 각각 73, 77로 나타났다. 이러한 결과는 기존의 수문학적 토양군 분류 결과를 적용하여 제주도의 유출 해석을 수행하는 경우 CN 값이 과대 추정되는 문제가 발생할 수 있음을 보여준다.

그러나 이상과 같은 결과는 본 연구에서 제시한 수문학적 토양군 분류 방법이 기존의 방법에 비해 우월하다는 것을 직접적으로 의미하지는 않는다. 이는 기본적으로 제주도 유역에서의 강우-유출 관측 결과로 검증되지 못했기 때문이다. 그러나 유출자료에 근거하여 유효우량 산정의 정확성을 검증하는 데에는 한계가 있다. 이는 기본적으로 유효우량 산정과 관련된 매개변수와 유출 해석에 관련된 매개변수 사이에 일종의 trade-off가 있기 때문이다. 특히 첨두유량에 집중된 유출 해석은 이러한 문제를 더욱 가중시킬 수 있다. 추가로 NRSC-CN (또는 SCS-CN) 방법을 적용하는 경우에 있어서는 초기손실과 CN 값 사이에 유사한 trade-off 문제가 있음에 주목할 필요가 있다. 예를 들어, 큰 CN 값과 작은 초기손실, 또는 작은 CN 값과 큰 초기손실은 서로 유사한 결과를 유도할 수 있다. 제주도의 유역을 대상으로 한 기존 연구에서도 이러한 문제가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 문제들은 물론 목적에 충실한 관측계획 및 정밀한 관측을 통해 해결될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05).

References

- Brady, N. C., and Weil, R. R. (2000). *Elements of the nature and properties of soils*. Prentice Hall, New Jersey.
- Hu, K. S., and Jung, J. H. (1987). "Hydrologic classification and its application of the Korean soil." *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 4, No. 4, pp. 48-61.
- Jeju Special Self Governing Province (2013). *The natural resources research in Mt. Hallasan*. Jeju Special Self Governing Province.
- Jung, J. H., Jang, S. P., Kim, J. I., Jung, Y. T., Hu, K. S., and Park, H. (1995). "Classification of hydrologic soil group to estimate runoff ratio." *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 27, No. 6, pp. 12-23.
- Jung, W., and Yang, S. (2008). "Application of SWAT model on rivers in Jeju Island." *Journal of environmental science international*, KENSS, Vol. 17, No. 9, pp. 1039-1052.
- Kim, J., Yoo, C., Park, M., and Joo, J. (2014). "Effect of changes in soil maps on the effective rainfall based on SCS CN method." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 14, No. 5, pp. 283-291.
- Kim, K. T. (2003). "Proposal of SCS CN calculation using detailed soil map." *Journal of Korean Water Resources Association*, KWRA, Vol. 36, No. 4, pp. 45-53.
- Moon, K. H., Lim, H., and Hyun, H. (2007). "Distribution of soil series in Jeju Island by proximity and altitude." *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, KSSSF, Vol. 40, No. 3, pp. 221-228.
- National Resources Conservation Service (NRCS) (1972). *National engineering handbook, Section 4, Hydrology*. NRCS, Washington, D.C.
- Park, C. S., Kim, L. Y., and Cho, S. J. (1985). "Classification of volcanic ash soils and contribution of organic matter and clay to cation exchange capacity ." *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, KSSSF, Vol. 18, No. 2, pp. 161-168.
- Rural Development Administration (RDA) (1976). *Detailed soil map*. RDA.
- Rural Development Administration (RDA) (2007). *Agro-environment research 2006*. RDA, pp. 141-176.
- Song, K., and Yoo, S. (1991). "Andic properties of major soils in Cheju Island: I . Characterization of volcanic ash soil selective dissolution analysis." *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, KSSSF, Vol. 24, No. 2, pp. 8-86.
- United States Department of Agriculture (USDA) (1990). *Keys to soil taxonomy 4th edition*. USDA, Washington, D.C.
- Yang, S. (2007). "Flood discharge to decision of parameters in Han Stream watershed." *River and culture*, Korea River Association, Vol. 3, No. 4, pp. 105-115.
- Yoo, S., and Song, K. (1984). "Chemical characteristics of soils in Cheju Island: I . Variations in chemical characteristics with altitude." *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, KSSSF, Vol. 17, No. 1, pp. 1-7.