

Soil Classification of Anthropogenic Soils in a Remodeled Area Using Soil Taxonomy and World Reference Base for Soil Resources

Seung-Been Lee, Hyen-Chung Chun, Hyun-Jun Cho, Byung-Keun Hyun, Kwan-Cheol Song,
Yong-Seon Zhang, Yeon-Kyu Sonn, and Chan-Won Park*

National Academy of Agricultural Science, RDA, 441-707, Suwon-city, Gyeonggi-do, Korea

(Received: November 7 2013, Accepted: November 24 2013)

In Soil Taxonomy system, anthropogenic soils are still classified as Entisols since the International Classification Committee for Anthropogenic Soils is in the process of classifying anthropogenic soils as new orders. In reality, it is difficult to characterize anthropogenic soils because Soil Taxonomy (ST) system does not distinguish between natural and anthropogenic Entisols. On the other hand, World Reference Base for soil resources (WRB) considers human impacts on soils and contains an independent category of anthropogenic soils, which makes easier to understand anthropogenic soil characteristics than Soil Taxonomy system. A remodeled paddy field (Gasam) was selected to classify by ST and WRB. Soil samples were taken to analyze chemical and physical properties. Based on the results of the analyses, the ST system classified Gasam as coarse loamy, mixed, mesic, Aquic Udorthents while the WRB did as Stagnic Urbic Technosols (Oxyaquic, Arenic). As a conclusion, the WRB classification information of the anthropogenic provides more detail characteristics of the anthropogenic soils.

Key words: Soil taxonomy, WRB, Anthropogenic soils, Soil classification

Classification of the anthropogenic soils based on Soil Taxonomy and WRB

Classification method	Classification results
Soil Taxonomy	coarse loamy, mixed, mesic, Aquic Udorthents
WRB	Stagnic Urbic Technosols (Oxyaquic, Arenic)

*Corresponding author : Phone: +82312900290, E-mail: cwpark@korea.kr

§Acknowledgement: This study was supported by NAAS research and development project (project number: PJ008417).

Introduction

인위토라 함은 인위적 영향을 받아 단기간에 형성된 토양으로 토층의 구조는 자연토양의 연속적 층위들과 달리 불연속적인 층위를 가지는 토양을 말한다 (Dudal et al., 2002). 여러 가지 형태의 인위토양이 존재하며 이 중 적토형 인위토양은 원토양 위에 다른 토양을 50 cm 이상 쌓아 만든 토양을 말한다. 현재 우리나라 적토형 인위토양은 성주, 평창 등의 지역에 채소류 등의 재배를 위하여 대규모로 쌓은 누적 적토형 인위토양 (4,630 ha)과, 4대강 주변의 리모델링 농경지 등 수 m씩 한번에 쌓은 매립 적토형 인위토양 (약 9,000 ha) 등이 조사되어 있으나, 인위토양이 계속적으로 증가하고 있어 이에 대한 면적 조사 및 분류방법 정립이 시급한 실정이다. 또한 이러한 인위토양은 자연상태의 원토양과 비교해 보면 토양 내부까지 물리성과 화학성의 변화가 발생하고 있고, 이런 인위토양 특성들을 고려해서 토양관리에 차별을 두어야 한다는 연구발표가 이루어지고 있고 (Dudal et al., 2002, Volungevičius and Skorupskas, 2011), 인위적으로 변경된 토양에서의 수분보유특성 해석 모형의 적용 (Hur et al., 2010), 적토형 인위토양의 공간변이 비교 연구 (Sonn et al., 2012) 등 다양한 방면으로 인위토에 대한 연구가 현재 진행중이다.

토양 분류 시스템은 정보를 이용자에게 쉽게 전달해주는 수단이다 (Blume and Laker, 2003). 전 세계적으로 보편적으로 활용되어지고 있는 토양 분류 시스템은 World Reference Base for soil resources (IUSS Working Group WRB, 2006)와 USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999)의 두 종류가 있다. 두 시스템 모두 특정 토양 층위로만 판단하는 것이 아닌 토양의 여러 깊이별 특징을 살펴 분류를 한다는 점에서 매우 유용한 시스템들이다 (Morand, 2010). 하지만 Soil Taxonomy와 WRB 시스템 간에 가장 큰 차이라고 할 수 있는 것은 토양의 생성 과정에 인위적 영향의 포함여부이다. Soil Taxonomy는 인간의 영향을 포함하지 않은 반면 WRB

는 인간의 영향을 토양 분류 기준에 포함시켜 왔고 (Broll et al., 2006) 최근에는 기존의 인간영향으로 생성된 인위토 분류를 WRB 시스템 내부에서 더욱 세분화하자는 주장도 나왔다. 이와 같이 전 세계적으로 인위토양 분류에 대한 관심이 증가하고 분류 체계 또한 매우 세분화되어가고 있다 (Jabiol et al., 2013). 하지만 인위토의 경우 최근 들어 중장비의 농업적 이용증대와 논토양에서 발작물을 재배하는 면적이 점차 늘어나고 있으나 명확한 조사 및 분류 기준이 없는 실정이다.

본 연구는 우리나라 인위토양의 분류기준을 설정하고자 매립 적토형 인위토양 중 2011~2012년에 조사된 리모델링 농경지 7,727 ha 중 면적이 가장 많은 토양을 대표지점으로 선정하여 단면조사 및 화학성 분석을 실시한 후 Soil Taxonomy와 WRB (World Reference Base for soil resources) 분류방법으로 토양을 비교·검토하였다.

Materials and Methods

2011~2012년에 전국의 적토형 인위토양으로 분류된 리모델링 농경지 7,727 ha에 대하여 현지조사를 수행한 후 가장 많은 면적을 차지하고 있는 인위토양 형태를 선택하여 분류를 실시하였다 (Table 1). Table 1은 표토와 심토의 조합이 분포하는 면적을 나타내고 있는데, 가장 많은 면적을 차지하는 적토형 인위토양은 표토가 중립질, 심토가 조립질인 형태로 면적이 3,463.3 ha이었다. 대표 지점은 적토형 인위토양 중 분포면적이 가장 많은 토양을 선정하였고 위치는 경상북도 구미시 선산읍 생곡리 (36° 61' 07" N, 128° 20' 19" E)에 위치한 논토양으로 하였다 (가산지구). 현장에서 우선 토양 단면조사를 실시하였으며 토양을 성토된 표층으로부터 100 cm까지 시갱 후, 토색과 토성, 토양구조 등을 기준으로 층위를 구분하였다. 토색은 문셀 토색첩 (Munsell soil color chart)을 이용하였으며, 토성은 촉감법을 사용하여 결정되었다 (NIAST, 1973). 각 층위마다 분석용 토양을 채취하여

Table 1. Area distributions of remodeled paddy fields.

Topsoil Subsoil	CTS0*	CTS1	MCTS0	MCTS1	FTS0	VFTS0	VFTS1	Total
CTS0*	63.9	1.0	3,463.3	14.8	14.3	2,065.8	88.6	5,701.7
CTS1	51.8		979.8	6.0	4.0	284.5		1,326.1
MCTS0	13.0		536.0			31.2		576.0
MCTS1			40.0					40.0
FTS0						88.9		78.9
FTS1	4.3							4.3
Total	133	1.0	5,019.1	20.8	18.3	2,446.2	88.6	7,727

* CTS: coarse textured soil (S, LS), MCTS: moderately coarse textured soil (SL, L, SiL), FTS: fine textured soil (SCL, Si), VFTS; very fine textured soil (CL, SC, SiC, C, SiCL), 1: gravel content 0-35%, 2: gravel contest >35%

풍건 후 2 mm 체를 통과시킨 시료를 이용하여 농촌진흥청 토양화학분석법에 의거 이화학적 특성을 분석하였다 (RDA, 1988). NH_4OAc 침출 Ca, Mg, K 및 Na는 pH 7.0, 1N NH_4OAc 용액으로 침출하였으며, Extractable acidity는 0.5N BaCl_2 -triethanol amine (pH 8.2)으로 침출하여 0.25N HCl로 역적정하였다. CEC (NH_4OAc)는 pH 7.0, 1N NH_4OAc 로 포화시키고, ethanol로 과잉의 NH_4^+ 를 제거한 후 증류하여 측정하였으며, NH_4OAc 침출 염기 총량에 extractable acidity를 더하여 CEC (양이온 합)로 계산하였다. 염기포화도 (양이온 합)는 $100 \times \text{NH}_4\text{OAc}$ 침출 염기 총량 / CEC (양이온 합)으로 계산하였다. 모든 분석방법은 Soil Taxonomy 표준 분석방법인 Soil Survey Investigation Report (SSIR) No. 42 Version 4.0에 규정된 Soil survey laboratory methods manual에 따라서 수행하였다 (USDA, 2004).

현장 조사한 데이터와 이화학적 특성을 토대로 Soil Taxonomy 분류기준과 WRB (World Reference Base for soil resources) 기준에 따라 토양을 분류하였다.

Results and Discussion

가산지구 적토형 조사 인위토양의 대표단면 이화학적 특성 조사지점은 경사가 0-2 %로 완만한 논토양으로 표토가 1년 중 90일 이상 물로 포화되어 있어 udic에 해당되었고, 조사지역인 구미시의 기후 연평균 값은 14년간 (77~90)

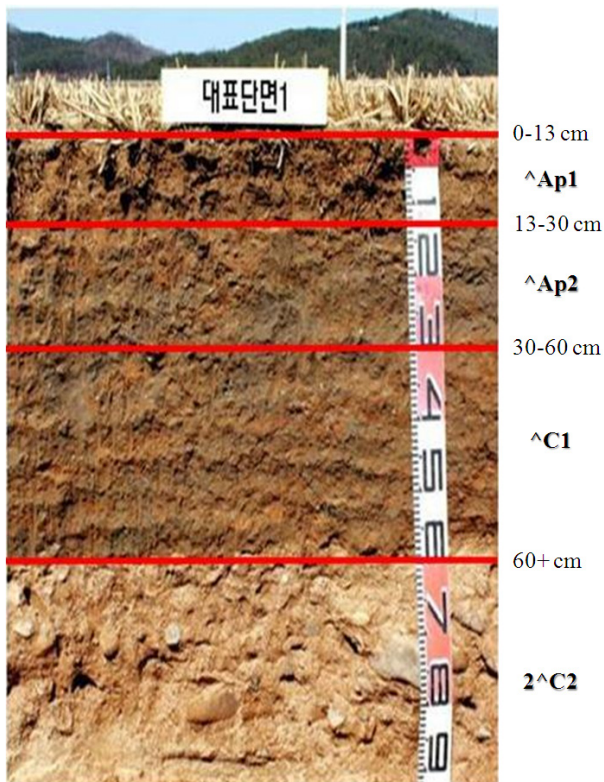


Fig. 1. Representative soil profile of the anthropogenic soil.

12.5°C로 연평균 기온이 15°C 이하에 속하며 토심 50 cm에서 여름과 겨울의 평균 토양 온도가 각각 26.6°C, 0.2°C로 차이가 5°C 이상 되는 mesic권에 속한다 (Fig. 1). 층위의 명칭은 자연토양과 인위토양에서 ^표시에 의해 구분된다. 또한 인위토양에서 모재가 다른 경우 ^표시 앞에 숫자를 넣어 구분한다 (예: ^Ap, 2^C2). 조사단면은 크게 A층과 C층으로 구분할 수 있었고 첫 번째 층인 ^Ap1층 (0-13 cm)은 갈색 (10YR 4/3)의 양질사토로서 크고 선명한 흑색 (10YR 2/1)으로 반문이 적게 존재하며 점착성과 가소성이 약하다. 두 번째 층위와의 경계는 점변하는 파상의 특성을 가지고 있다. 두 번째 층인 ^Ap2층 (13-30 cm)은 암갈색 (7.5YR 3/2)으로 사양토로서 크고 매우 선명한 갈색 (7.5YR 4/4)으로 반문이 많이 존재하고 점착성은 약하고 가소성은 보통이다. 세 번째 층위와의 경계는 점변하는 파상의 특성을 가지고 있다. 세 번째 층인 ^C1층 (30-60 cm)은 갈색 (10YR 4/3)의 양질사토로서 크고 매우 선명한 암갈색 (7.5YR 3/2)의 반문이 많이 존재하며 점착성은 약하고 가소성은 없으며 네 번째 층위와는 명확한 파상의 경계를 가지고 있다. 마지막으로 2^C2층 (60+ cm)은 진갈색 (7.5YR 5/6)의 자갈이 있는 조사토로서 구조가 없고, 점착성과 가소성 역시 없었다.

토양의 층위별 이화학적 특성은 Table 2와 같다. ^Ap1층에서 ^C1 층위까지 Clay 함량은 7~10% 내외로 2^C2층 2.4%보다 높았고 미사의 함량도 점토와 유사한 경향을 보여 2^C1과는 확연한 다른 모재였다. ^Ap2층은 ^Ap1층과 비교하여 유기탄소와 CEC 함량들 모두 더 높았다. 이후 이 함량값들은 C층으로 가서 다시 감소하는 추세를 보였다. Na 분석결과 모든 층위에 걸쳐 매우 낮은 값을 보였으나 pH 결과를 보면 상당히 산성을 보이고 있었다 (pH < 4.7). 그러나 이러한 결과는 한 토양에서만 나온 결과이므로 다른 매립적토형 인위토양인 경우 형태 및 위치에 따라 화학적 특성 경향이 다를 수 있다.

조사 인위토의 Soil Taxonomy 분류 Soil Taxonomy에 의하면, 가장 상위단계인 12개의 토양목 (Order) 중 각 목의 조건사항을 분석하여 해당되는 목을 정하게 된다. 목의 다음 단계인 아목 (Sub-order), 대군 (Great group), 아군 (Sub-group), 속 (Family) 등도 이러한 과정을 거쳐서 판단하는데 이 역시 각각의 순서에 따라 판단하게 된다 (USDA, 1999, 2006).

Soil Taxonomy에서 최고차 분류 단위인 토양목 (Soil Order) 분류를 하였을 시, 본 지역은 하성평탄지로 토지이용이 벼를 재배하는 논으로 연중 90일 이상 물로 포화되는 상태이므로 이와 연관이 깊은 Gelisols, Histosols, Spodosols, Andisols 등의 4개 목에는 충족하지 못하였다. Inceptisols의 경우 토양 표면으로부터 100 cm내 상부경계 혹은 25 cm 이상에 하부경계를 가지는 cambic 층위가 없고, calcic, petrocalcic, gypsic, petrogypsic, 또는 placic 층위 또는 duripan 등 감

Table 2. Laboratory data sheets of Gasan site.

Depth (cm)	Horizon	Total			Clay		Silt		Sand				
		Clay	Silt	Sand	Fine	Coarse	Fine	Coarse	VF	F	M	C	VC
		LT	.002	.05	LT	LT	.002	.02	.05	.10	.25	.5	1
		.002	- .05	- 2	.0002	.002	- .02	- .05	- .10	- .25	- .50	- 1	- 2
----- Pct of < 2 mm (3A1) -----													
0-13	^Ap1	7.63	14.08	78.30			3.21	10.86	8.89	25.49	27.46	13.88	2.58
13-30	^Ap2	8.45	18.24	73.32			4.83	13.41	8.89	27.89	23.87	10.77	1.89
30-60	^C1	9.64	20.99	69.37			6.02	14.97	8.42	24.02	22.12	12.01	2.79
60+	2^C2	2.40	1.19	96.41			0.40	1.59	0.97	4.40	25.68	50.17	15.20

Depth (cm)	Coarse Fractions (mm)				>2mm	Orgn	Total	Extr	Total	Dith -Cit		
	2-5	5-20	20-75	.1-75	Pct of	Whole	Total	Extr	Total	Extractable		
					Soil <td>6A1c</td> <td>6B3a</td> <td>6S3</td> <td>6R3a</td> <td>6C2b</td> <td>6G7a</td> <td>6D2a</td>	6A1c	6B3a	6S3	6R3a	6C2b	6G7a	6D2a
	----- Pct of < 75 mm (3B1) -----					Pct < 2 mm		g/kg		----- Pct of < 2 mm -----		
0-13												1.92
13-30												3.22
30-60												2.40
60+												0.05

Depth (cm)	NH ₄ OAc Extractable Bases					Acid-	Extr	CEC			Al
	Ca	Mg	K	Na	Sum	ity	Al	Sum	NH ₄ -	Bases	Sat
	5B5a	5B5a	5B5a	5B5a	Bases			Cats	OAc	+ Al	
	6N2e	6O2d	6Q2b	6P2b		6H5a	6G9a	5A3a	5A8b	5A3b	5G1
	----- meq / 100 g -----										Pct
0-13	1.54	0.30	0.66	0.04	2.54			5.74	4.09	4.75	46.47
13-30	2.61	0.64	0.36	0.06	3.68			7.39	4.81	3.68	0.00
30-60	2.56	0.65	0.42	0.06	3.69			6.39	5.94	4.44	16.92
60+	0.74	0.16	0.18	0.02	1.10			1.67	1.33	1.10	0.00

Depth (cm)	(Base Sat)	CO ₃ as	Res	Cond	pH			Acid Oxalate Extraction					
	Sum	NH ₄ -	CaCO ₃		NaF	KCl	CaCl ₂	H ₂ O	Opt	Al	Fe	Si	
		OAc	<2 mm				.01M		Den				
	5C3	5C1	6E1g	8E1	8I	8C1d		8C1f	8C1f	8J	6G12	6C9a	6V2
	----- Pct -----			ohms/cm	dS/m		1: 1	1: 1	1: 1		----- Pct of <2 mm -----		
0-13	44.29	62.14						3.53	4.36	5.15			
13-30	49.73	76.49						4.46	5.10	5.92			
30-60	57.72	62.07						4.14	4.75	5.54			
60+	66.09	82.84						4.69	5.62	6.25			

식표층이 없으므로 Entisols로 분류할 수 있었다. 토양아목 (Sub-order)의 경우 물 및 반문의 존재여부에 따라 Wassents의 판별, sulfidic 층위와 토성에 따라 Aquepts의 판별하였고, 그 다음 Arents, Psamment, Fluvents 등이 아니므로 Orthents로 분류가 되었다. 토양대군 (Great-group)의 경우, 어느 토양온도상에도 해당되지 않아 gel-, cry-, torr-, xero-,

ust- 등이 아니라 ud-로 분류되었다. 토양아군 (Sub-group)의 경우 lithic 인접면이 없으며, 화산재의 영향도 없고, 색상 중 채도가 2이하에 해당하므로 aquic으로 분류할 수 있었다. 따라서 Soil Taxonomy 기준으로 분류하였을 때 coarse loamy, mixed, mesic, Aquic Udorthents로 분류할 수 있었다 (Fig. 2).

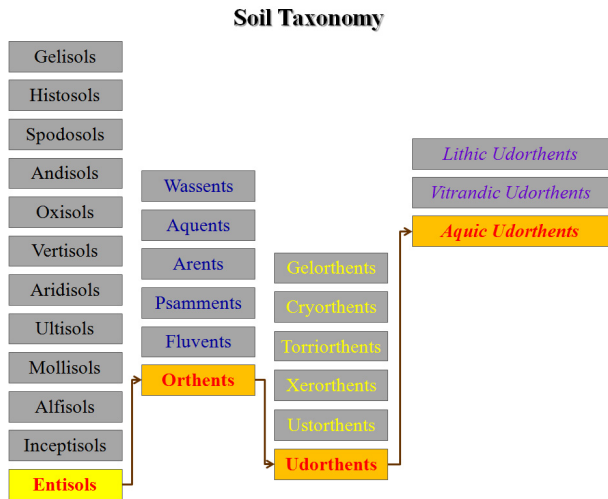


Fig. 2. Diagram of the Gasan soil classification.

WRB (World reference base for soil resources)에 기준 WRB (World Reference Base for soil resources)에 의하면, 가장 상위단계인 RSGs (Reference Soil Groups)로 결정하는데 신물질과 원토양을 하나의 토양으로 분류하여 Histosols를 우선으로 32개 RSGs 각각의 조건을 분석하여 이에 해당하는 것을 판단해야 하며 이상의 31개 RSGs에 해당되지 않을 때 마지막인 Regosols로 판단하게 된다. 하지만 신물질이 50 cm 이상의 두께이거나 Regosols 이외 다른 RSG에 부합이 된다면 신물질을 우선 수준으로 분류한다. WRB의 RSG를 순서대로 하나씩 비교하여 찾은 후 qualifier (prefix, suffix) 및 specifier를 사용한다 (IUSS Working Group WRB, 2007).

조사한 토양을 WRB로 분류하였을시 (Fig. 3), organic 물질이나 fragmental 물질을 가진 Histosols과, 50 cm 이상의 두께를 가지는 hortic, irrigric, plaggic 혹은 terric 층위를 가진 Anthrosols과는 달리 RSGs (Reference Soil Group)는 100 cm 내에서 20% 이상의 인위영향을 받은 Technosols로 분류되었다. Qualifier (prefix)는 18개 중 20-100 cm 내 인위적인 영향을 받은 토양이 25-30% 이상 존재하는 Urbic과 Stagnic으로 분류되었으며, 그중 Urbic이 Technosols에 더 큰 영향을 주었고, Qualifier (suffix)는 12개 중 연중 20일 이상 연속적으로 물의 포화된 상태로 양질세사토가 30 cm 이상 존재하여 Oxyaquic과 Arenic으로 분류되었으며 그중 Oxyaquic이 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

따라서 조사지역인 가산지구 인위토양의 토양특성을 WRB (World Reference Base for soil resources) 기준으로 분류하였을 때 Stagnic Urbic Technosols (Oxyaquic, Arenic)로 분류할 수 있었다 (WRB, 2007).

이와같이 가산지구 인위토양을 Soil Taxonomy와 WRB에 따라 분류하였으며 그에 대한 결과를 Table 3에 나타내었다. Soil Taxonomy 분류에 따르면 loamy, mixed, mesic, Aquic

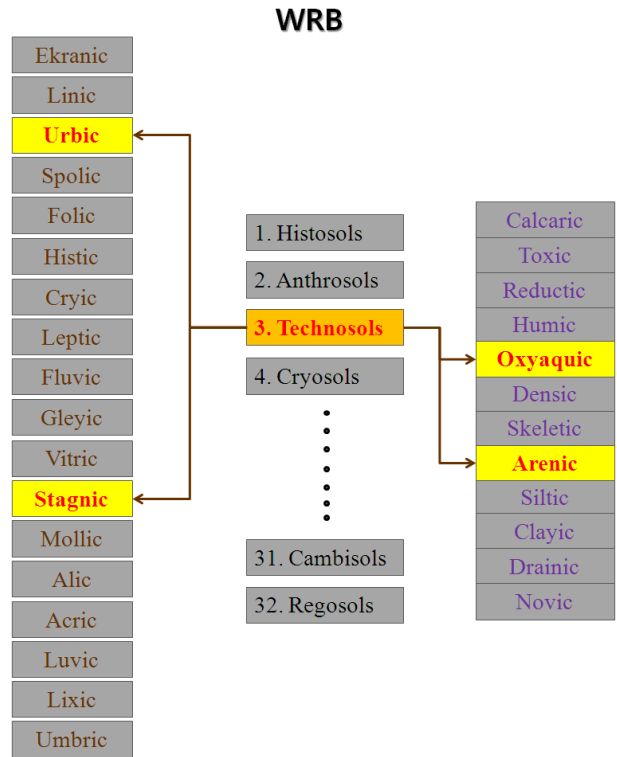


Fig. 3. Diagram of the Gasan soil classification based on WRB.

Table. 3 The results of classification on two different anthropogenic soils.

Classification method	Classification results
Soil Taxonomy	coarse loamy, mixed, mesic, Aquic Udorthents
WRB	Stagnic Urbic Technosols (Oxyaquic, Arenic)

Udorthents로 분류되었으며, WRB로는 Stagnic Urbic Technosols (Oxyaquic, Arenic)로 분류되었다. 인위토양을 분류하기 위해서 Soil Taxonomy에서는 목, 아목, 대군, 아군으로 나누어 각각의 특성을 하나씩 따져보아 분류를 하게 되어 번거로움과 시간이 소비가 되고, WRB의 경우 상대적으로 실용적이고 간단하게 정리가 가능하지만 때에 따라 Soil Taxonomy와 차이가 보일수가 있다. 인위토양을 분류하기 위해서 Soil Taxonomy에서는 국제인위토분류위원회에서 새로운 목을 만들기 위하여 추진하고 있으며, 현재까지는 Entisols로 분류되어지기 때문에 실용적인 측면에서 그 특징을 판단하기가 어려운 실정이다. 그러나 같은 토양을 WRB 기준으로 분류하면 인위적인 영향이 분류명에 표현되고 있어 실용적 측면이 어느 정도 반영되므로, Soil Taxonomy 분류보다 이해하기 쉽다. 토양도 인간생활과 불가분의 관계에 있는 자연체이므로 여러 강대국들이 각자의 토지이용과 관리에 알맞다고 생각되는 많은 분류체계들을 만들어 활용해 오고 있다. 그 중에서도 1975년에 완성하여 현재까지 6차에 걸쳐 수정

발전 시켜 오고 있는 미국의 새로운 분류 방법은 세계적으로 널리 쓰여지고 있고 우리나라에서도 이 방법을 쓰고 있으나 아직까지는 이해가 부족한 편이며 약간의 문제점도 발견된다. 그러나 앞으로 국제교류를 확대해야 하고 특히 우리의 선진농업기술을 개도국에 전수하기 위해서는 토양분류단위를 매체로 해야 설득력이 있고 확실성이 높다 (Jung, 1996). 현재 우리나라의 토양은 Soil Taxonomy를 채택하여 분류하고 있고, 포괄적 분류체계인 Soil Taxonomy의 장점이 부각되면서 Soil Taxonomy에 의존도가 높은 시점에 (Jung, 1998) 해당 토양통에 WRB 분류도 함께 자료를 제시뿐만 아니라 우리나라에 적합한 토양 분류 체계가 나온다면 실용적인 측면에서 더 많은 정보를 제공할 수 있을 것이다.

Conclusion

우리나라 토양분류체계는 Soil Taxonomy를 따르고 있고 이에 따라 인위토양 분류에 한계를 가지고 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구는 WRB 분류 체계를 따라 국내의 인위토양을 분류하였다. 적토형 인위토양인 가산지구를 분류한 결과 Soil Taxonomy 기준으로 분류하였을 때 coarse loamy, mixed, mesic, Aquic Udorthents로 하였고, WRB 기준으로 분류하였을 때 Stagnic Urbic Technosols (Oxyaquic, Arenic)로 분류할 수 있었다. 앞으로도 계속 인위토양은 증가하고 있는 추세이다. Soil Taxonomy에만 의존하는 우리나라에서 앞으로 토양 분류시 Soil Taxonomy 뿐만 아니라 WRB의 장점을 함께 적용한다면 보다 실용적인 정보를 얻을 것으로 판단된다. 이렇게 정립된 인위토양 정보는 차후 인위토양 관리와 활용에 유용한 정보를 제공할 것이다.

References

Dudal, R., F.O. Nachtergaele, and M.F. Purnell. 2002. The human factor of soil formation, pp. 14-21S, Thailand.
Hur, S.O., S.H. Jeon, K.H. Han, H.R. Jo, Y.K. Sonn, S.K. Ha, J.G. Kim, and N.W. Kim. 2010. Application of analysis models on soil water retention characteristics in anthropogenic soil. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 43(6):823-827.
IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources

Reports No. 103. FAO, Rome.
Jabiol, B., A. Zanella, J. Ponge, G. Sartori, M. Englisch, B. van Delft, R. de Waal, and R. Bayon. 2013. A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO). *Geoderma*. 192:286-294.
Jung, Y.T. 1996. Application of Soil Taxonomy: Advantage and Disadvantage of American Soil Taxonomy. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 29(2):207-210.
Jung, Y.T. 1998. Introduction of new order on Soil Taxonomy. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 31(3):309-313.
Moreand, D.T. 2010. The World Reference Base for Soils (WRB) and Soil Taxonomy: an initial appraisal of their application to the soils of the Northern Rivers of New South Wales. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
National Institute of Agricultural Sciences and Technology. 1973. Soil Survey Manual. part 1. Field Survey & Classification. Suwon. Korea.
RDA. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2nd Edition. USDA, Agriculture Handbook No. 436. (Govt. Printer: Washington DC).
Sonn, Y.K., C.W. Park, Y.S. Zhang, B.G. Hyun, K.C. Song, and E.S. Yoon. 2011. Characteristics of soils distributed on the "Dokdo" island in south Korea. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 45(6):897-899
Sonn, Y.K., Y.S. Zhang, C.W. Park, Y.H. Moon, B.G. Hyun, K.C. Song, and H.J. Chun. 2011. A comparison of spatial variation on anthropogenic soils. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 44(2):187-193.
USDA, Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Agric. Handbook 436. USDA-NRCS. CRC Press, Boca Paton, Fla., USA.
USDA, NRCS. 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigation Report No. 42. Version 4.0. USDANRCS, Washington.
USDA, Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10th ed. USDA NRCS, Blacksburg, Virginia.