

Effects of Road Constructions on Soil Drainage from Paddy Fields

Yeon-Kyu Sonn, Yong-Hee Moon¹, Yong-Seon Zhang*, Kang-Ho Jung, Hye-Rae Cho,
Byung-Keun Hyun, Kook-Sik Shin, and Kyeong-Hwa Han

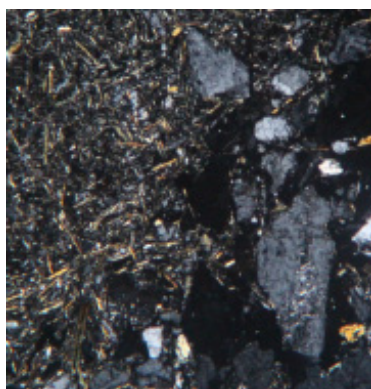
Division of Soil and Fertilizer, National Academy of Agricultural Science, Wanju, Korea

¹*Land Management & Urban Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, 254 Simindaero,
Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, 431-712, Korea*

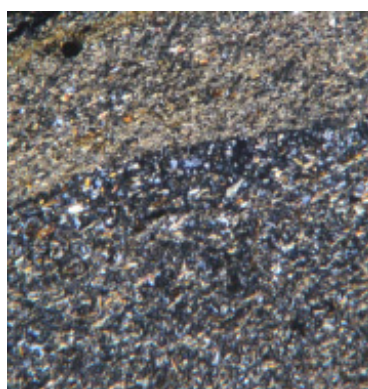
(Received: June 8 2015, Revised: June 26 2015, Accepted: June 26 2015)

Bad drainage problems from paddy fields adjacent to roads are caused by higher constructed roads which change topography of paddy fields to concave topography and artificial pan to prevent road erosion when road constructions are occurred. This study investigated effects of topography changes on soils by road constructions. Soil samples were investigated by physico-chemical analyses and micromorphology analyses from representative soil profile of Sachon series and soil samples. The characteristics of Sachon series that were adjacent to roads were fewer redoximorphic features (RMF) and increase in grey layers than the original Sachon series. The characteristics of Yecheon Series were shown from Jeollanamdo - Suncheon > Chungchungnamdo - Cheonan > Gangwondo - Wonju. Mosaic speckles were shown from micromorphological analyses because of repeat of shrink and expansion by wetting and drying. The location of graying in soil clods were found from coarse stone blocks to fine stone blocks and color changes of composed particles were also found.

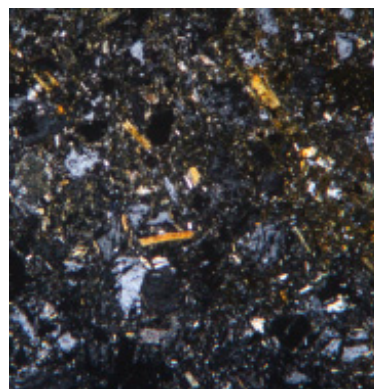
Key words: Micromorphology, Topology



Taejang, Gangwon (Sachon series)



Guseong, Chungnam (Sachon series)



Weolsan, Jeonnam (Sachon series)

Redox boundary layer containing poorly drainage of the soil flakes (Horizontal axis 100 μm in the picture).

*Corresponding author : Phone: +82-63-238-2431, Fax: +82-63-238-3822, E-mail: zhang@korea.kr

§Acknowledgement: This project was supported by National Academy of Agricultural Science (PJ008620022015).

Introduction

토양의 물 빠짐 정도인 배수등급은 토양생성과 마찬가지로 모재의 종류 뿐 아니라 환경의 영향에 의하여 결정되며, 토양배수의 지배적 요인은 지형, 토성, 지하수위이다. 농경지에서 물의 흐름은 지형에 의하여 물의 유거와 지하수위가 결정되고 토성에 의해 투수속도가 영향을 받으며, 3가지 요인이 종합적으로 작용한 결과 토양단면은 배수등급에 따라 토색과 반문이 상이하게 나타난다. 토양 속에는 철분이 함유되어있어 철분의 존재형태가 흙의 색을 결정하는 주요인이다. 단구지의 식질 홍적토와 같이 경사가 약하고, 투수성이 느려서 여름 장마철에 물과 자주 접촉하면 황적색, 또 이들을 담수하여 인공적으로 물과 더 접촉시키면 황갈색 또는 황색을 띤다. 나아가서 오랫동안 논으로 이용하여 숙답이 되면 회갈색, 회색이 된다. 철이 환원된 결과로 철이 더욱 환원되면 암회색, 청회색, 결국 검은색으로 된다. 그리고 물이 잘 빠지는 모래흙이라도 천천천 지대처럼 지하수위가 높으면 배수등급은 불량이거나 약간불량인 토양에 해당된다.

토양의 토색은 색상, 명도, 채도로 표시되는데 토양내 공기의 함량이 충분하면 동일한 색상에서 명도나 채도가 증가하게 되고, 토양 속의 철, 망간, 유기질에 관련된 산화 환원 작용에 의해 좌우된다. 토색 및 반문은 이들 토양물질과 직접적으로 관련되며 물과 공기의 함유비율에 따라 토양의 배수등급이 결정된다. 토색은 토양의 포화되어 산소 부족하게 되고 환원상태로 되어 혐기적 미생물의 활동에 의해 토양입자를 감싸고 있는 ferric iron (Fe^{3+})이 혐기적 조건에서 토양용액에 용해되거나 제거되어 회색화 된다고 하였다 (Evans and Franzmeier, 1986).

배수등급이 불량인 농경지에서는 토양수분이 과다하게 되면 토양공극에 수분이 포화되어 작물에 산소공급이 부족하게 되고 토양환원에 의한 유해물질의 발생 등으로 미생물 활동이 제한되어 작물에 스트레스를 주게 된다고 알려져 있다 (Box, 1991). 또한 토성과 작물의 종류, 생육조건 등에 따라 토양의 공극률은 약 5~20% 범위 (Plamenac, 1988)로 토양 과습에 따른 급격한 토양산소의 감소는 뿌리 생육을 저해하는 주요한 요인이 된다고 하였다 (Cannell &

Jackson, 1981; Box, 1991).

그러나, 최근 산업화 및 도시화 과정에서 도로건설이 수반되어 우리나라 도로연장은 2005년 99,617 km에서 2010년 100,208 km로 년 0.3% 이상 증가하고 있다 (Statistics Korea, 2014).

특히 도로의 침하를 방지하기 위하여 도로 건설시 기반층의 다짐으로 인한 인위적 경반층의 형성은 기존의 지하수의 이동을 교란하는 주요한 요인으로 예상되며, 농경지보다 높이 건설된 도로가 경사지형의 농경지를 가로지르는 경우 도로 상부는 미세한 오목지형으로 변화되어 배수등급이 불량인 토양이 증가할 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구는 도로건설에 따른 지형변화가 토양에 미치는 영향을 구명하기 위하여 논토양을 대상으로 대표단면의 특성을 조사하고, 토양을 채취하여 이화학적 특성 분석과 토양입단의 미세형태를 관찰하였다.

Materials and Methods

도로건설에 따른 토양의 배수특성 변화를 구명하기 위하여 논토양 중 분포면적이 넓은 사촌통을 Fig. 1과 같이 3개 지점을 선정하였으며, 도로의 영향이 배제된 전형적인 사촌통으로 경기 안성지역의 논토양을 대조하였다.

조사지점 중 강원 원주시 태장동 1334-10 (37°22'53.86"N, 127°57'32.37"E)에서는 2013년 4월에, 충남 천안시 동남구 구성동 151-14 (36°47'25.98", 127°10'21.21"E), 전남 순천시 황전면 월산리 85-5 (35°7'30.68"N, 127°26'37.67"E), 경남 고성군 마암면 삼락리 121-2 (35°1'52.59"N, 128°21'31.48"E)는 2013년 10월에 조사하였다. 대조지점으로 경기 안성시 양성면 노곡리 (37°6'19.5"N, 127°15'45.2"E)는 2010년 4월 2일 조사하였다.

토양 단면 조사 및 기술은 미 농무성의 토양조사편람 (USDA, 1993)을 기준으로 하여 지형, 경사, 배수, 석력 함량, 토색, 반문, 구조, 층위 경계, 공극, 식물 뿌리, 점착성, 가소성, 견고도 등을 조사하였다. Soil Taxonomy 표준 분석방법인 Soil survey laboratory methods manual (USDA, 1996)을 기준으로 하여 토양의 이화학적 특성을 분석하였다.



Ansung, Kyeonggi
Sachon series

Wonju, Kangwon

Cheonan, Chungnam

Suncheon, Jeonnam

Fig. 1. Topography distribution and morphological characteristics of the soil containing poorly drainage.

토성은 피펫법으로 입경을 분석하여 미 농무성 기준의 삼각도표법 (USDA법)에 의하여 분류하였다. pH는 풍건한 토양을 증류수와 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 현탁액을 Ion analyzer를 이용하여 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin 법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 분광광도계를 이용하여 분석하였다. 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)은 5g의 토양시료에 50 ml의 1N-Ammoniumacetate (pH 7.0)를 가하여 30분간 진탕하여 No.2 여지로 여과 후 원자흡출분광광도계 (ICP)를 이용하여 분석하였다.

토양의 미세형태를 관찰하기 위하여 쟁기 바닥층 이하에서 환원층이 표토에 가까운 깊이에서 산화-환원이 교차하는 입단을 코어로 채취 후, 건조기 내에서 40°C로 1주일 정도 시료를 건조시키고 Polyester 수지를 토양입단에 가하여 진공펌프로 8시간 동안 토양공극을 포화시켰다. 수지로 포화된 시료를 경화시키기 위하여 실온에서 6주, 40°C 건조기 내에서 1주일 동안 열처리를 실시하였다. 경화가 끝난 시료는 절단기를 이용하여 두께 1cm, 가로 세로가 각각 2 cm, 3 cm 정도 크기로 자른 후 절단한 한면을 연마하고 연마된 토양편 위에 에폭시 접착제를 얇게 바른 후 유리 슬라이드에 접착하여 3~4일간 실온에서 고화시켰다. 접착제 경화가 끝난 시료는 절단기를 이용하여 두께 1 mm 정도로 압석을 절단하고 토양편을 유리판 위에서 연마제를 이용하여 토양편 중에 함유된 석영의 간섭색이 순백색일 때까지 연마하여 박편의 두께는 30 μm 이하가 되도록 하였다. 박편을 세척·건조 후 Polyester 수지로 커버글라스를 접착시키고, 편광현미경을 이용하여 개방니콜과 직교니콜 상태하에서의 토양 미세형태학적 특성은 Stoops & Eswaran (1986)의 기술방법에 따랐다.

Results and Discussion

일반농경지내에 위치하는 사촌통과 도로에 인접한 지역 별 사촌통의 단면형태는 Fig. 2와 같았다. 전형적인 사촌통

으로 경기 안성지역의 토양은 배수등급이 약간불량으로 곡간 및 선상지에 분포하며, 상부 약 60 cm까지의 층위는 주토색이 회색계열의 암회색 토양이었다. 토양 중 산소공급으로 인하여 갈색계통인 황갈색 또는 갈색의 반문을 20~25% 정도 함유하고 있으며 그 하부는 회갈색 내지 회색의 주토색에다 갈색 내지 황갈색의 반문을 10~15%정도 함유하고 있는 토양이었다.

도로에 인접한 다른 지역의 사촌통 토양을 살펴보면, 강원 원주의 사촌통은 상부층에서는 사양토로 회색도가 가장 높고 하부로 내려갈수록 소실되는 것으로 나타났지만 반문의 양이 원래의 사촌통보다 적어 배수등급이 불량인 예천통으로 변화 중인 것으로 보였으며, 수년 경과 후 배수등급이 불량인 쪽으로 변해간다고 예측할 수 있었다.

충남 천안에 분포하는 토양은 부분적인 투수 불량을 보여 60 cm 하부의 회색화 및 표토로부터 20 cm까지의 회색화가 투수 불량에 의해 생기는 것이다. 따라서 이러한 결과는 배수등급이 약간불량에서 불량으로 변화한다고 볼 수 있었으며 환원작용으로 회색층이 점차 증가할 것으로 판단되었다.

전남 순천시 황전면 월산리의 토양은 표토부터 심토까지 회색화가 진전되어 있었으며, 반문의 양이 5~10%로 배수등급이 불량인 예천통에 가깝다고 볼 수 있었다.

따라서 회색층 (Gray 층) 및 반문은 토양배수가 매우 불량한 조건, 높은 지하수위에서 생성되는 점을 고려하면, 논 토양은 배수 불량에 의한 환원작용으로 회색층이 점차 증가하여 전남 순천 > 충남 천안 > 강원 원주의 순으로 예천통의 특성을 띠어 토양분류상의 수정이 필요할 것으로 판단되었다.

한편 예천통의 형태적 특성을 보면, 표토는 암회색, 농암회색, 명회색 혹은 농암회갈색의 사양토, 양토 및 미사질 양토로 황갈색의 반문이 있다. 심토는 암회색, 회색, 농암회색의 사양토, 양토 및 미사질 양토로 약간의 탄산철 반문이 있다. 기층은 회색, 암회색, 청회색, 녹회색의 사양토, 미사질 양토, 양질사토로서 약간의 탄산철 반문이 있다 (RDA, 2014).

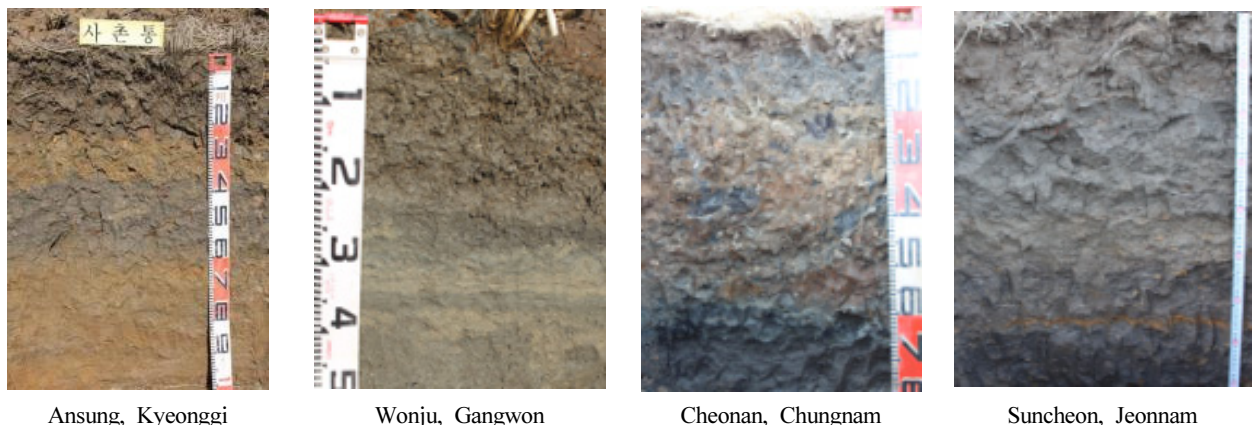


Fig. 2. Morphological characteristics of the Regional Sachon series adjacent to the road.

Table 1. Physico-chemical properties of the soil containing poorly drainage.

Sites	Layers	Depth	Particle distribution			Soil texture (USDA)	pH	O.M. g kg ⁻¹	Av. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Exch. cation			
			Sand	Silt	Clay					Ca	Mg	K	Na
			----- wt, % -----				(1:5)			----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Anseong, Gyeonggi	Ap	0-22	51.6	34.1	14.3	L	5.2	21	147	3.1	1.0	0.3	0.1
	B _{Ag}	22-37	49.7	32.6	17.7	L	6.1	11	22	3.7	1.0	0.1	0.1
	B _g	37-60	48.5	35.6	15.9	L	6.1	17	44	5.8	1.6	0.2	0.1
	B _{Cg}	60-84	64.1	21.7	14.2	SL	6.6	8	12	2.7	1.0	0.1	0.1
	C _g	84-150	84.5	9.6	5.9	LS	6.7	6	8	1.1	1.4	0.1	0.1
Wonju, Kangwon	Ap	0-14	53.4	29.0	17.6	SL	6.0	7	28	1.75	0.34	0.18	0.06
	A _{Bg}	14-22	60.3	23.9	15.8	SL	6.2	21	113	2.52	0.37	0.01	0.09
	B _g	22-60	80.8	12.0	7.2	LS	6.6	3	52	1.02	0.19	0.21	0.05
Cheonan, Chungnam	Ap	0-13	59.5	25.6	14.9	SL	8.6	7	30	13.62	0.12	1.62	0.26
	A _{Bg}	13-58	51.1	31.0	17.9	L	8.7	5	27	16.34	0.14	1.73	0.31
	B _g	58-75	41.2	39.3	19.5	L	8.2	13	51	12.83	0.23	2.25	0.21
	C _g	75-95	30.6	48.9	20.5	L	7.7	26	70	14.24	0.23	1.77	0.22
Suncheon, Jeonnam	Ap	0-13	60.4	33.5	6.1	SL	6.1	36	198	4.08	0.12	0.68	0.09
	B _{Ag}	13-30	57.3	33.5	9.2	SL	6.5	34	231	4.39	0.02	0.90	0.11
	B _{1g}	30-42	58.6	31.7	9.7	SL	6.3	21	248	4.47	0.03	0.97	0.11
	B _{2g}	42-66	59.8	29.7	10.5	SL	6.3	10	14	3.07	0.07	0.74	0.10
	C _g	66-80	57.2	29.3	13.5	SL	7.1	21	5	2.35	0.02	1.24	0.12

또한, 벼는 담수상태에서 재배되고 있고 근권의 산소공급이 적어도 생육이 가능한 것으로 알려져 있으나 수직배수가 양호하지 못하여 Eh -217 mV 이하의 환원상태에서는 벼 조직에 300 mg/kg 이상의 Fe와 Al이 축적되어 독성을 보이며, Ca, P, K, Mg와 Si는 임계농도 이하로 흡수가 저해되어 양분결핍이 나타나고 있다 (Patrick and Dleaune, 1977), 근권에서 H₂S, Fe²⁺와 같은 유해물질의 생성으로 벼 뿌리 생육이 저해된다고 알려져 있다 (Kim et al., 1983).

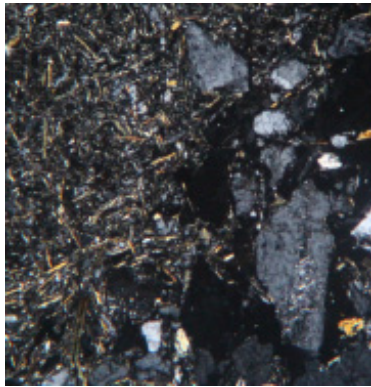
조사지점의 이화학적 특성은 Table 1과 같았으며, 심토의 모래 함량은 강원 원주에서 약 60%, 충남 천안에서 약 50%, 전남 순천에서 약 60%이었으며, 심토의 미사 함량은 강원 원주에서 약 25%, 충남 천안에서 약 30%, 전남 순천에서 약 30%이었다. 심토의 점토 함량은 강원 원주에서 약 15%, 충남 천안에서 약 20%, 전남 순천에서 약 10%이었다. 심토에서 입경별 함량은 모래 50~60%, 미사 25~30%, 점토 10~20% 범위로서 사촌통으로 분류된 조사지점간 토성분포는 유사한 경향이였다.

표토에서 토양 화학성분별로 범위는 pH 6.0~7.6, 유기물 7~36 g kg⁻¹, 치환성 Ca 1.8~9.9 cmol_c kg⁻¹, 유효인산 28~198 mg kg⁻¹ 범위에 분포하여 지점간 차이가 컸다. 수도생육을 위한 적정범위와 비교해 보면, 유기물의 적정범위 25~30 g kg⁻¹, 유효인산 적정 범위 80~20 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨의 적정범위 0.25~0.30 mg kg⁻¹ (NIAST, 2006) 이

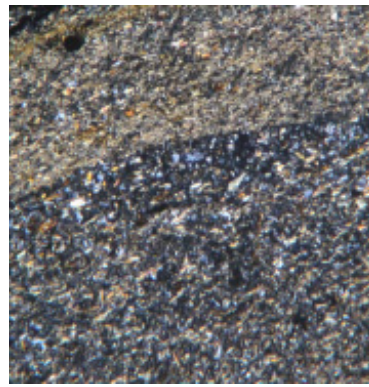
었으나 전남 순천을 제외한 다른 토양은 농산부산물의 토양 환원에 의한 유기물 증진 노력과 함께 인산의 증비가 필요할 것으로 생각된다.

성토층과 표토층의 경계지점에서 미세형태학적 구조를 구명하기 위하여 박편을 제작한 후 편광현미경 직교니콜상태에서 관찰한 형태는 Fig. 3과 같았다. 토양박편에서 큰 입자들은 벽개의 발달이 없고 교차니콜하에서 회색 또는 백색 간접색을 나타내는 석영과 교차니콜하에서 검고 흰 줄무늬가 반복되는 장석이 관찰되었다. 석영과 장석 입자들 사이에는 미사 크기 이하의 회색 또는 적갈색 물질이 기질을 채우고 있었다.

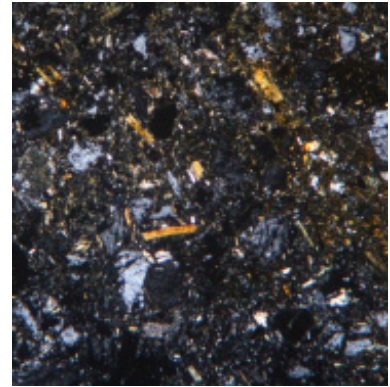
미세형태학적 토양구조를 성토재 및 표토의 토성별로 살펴보면 강원 원주의 사촌통은 많은 수로상 공극에 의해 밀집된 입자로 구성된 토피가 구분되는 입자간수로상(粒子間水路狀; Intergrain channel)이었으며, 전남 순천의 사촌통은 토피나 공극이 형성되지 않은 벽상구조(壁上構造; massive structure)를 나타내고 있었다. 충남 천안의 사촌통은 수평적 공극으로 정렬된 주상 토피가 수직적으로 나누어진 각주상 구조(角柱狀; prismatic)이었다. 조사토양의 조립질과 세립질 입자의 조성 형태인 토양기질(b-fabric)을 살펴보면, 모든 토양에서 배향을 띠는 세립질 물질이 여러 곳에서 나타나는 모자이크 반상(斑狀; mosaic-speckled)으로 습윤에 의해 수축 및 팽창작용이 반복되는 미세형태적 특성을



Taejang, Kangwon (Sachon series)



Guseong, Chungnam (Sachon series)



Weolsan, Jeonnam (Sachon series)

Fig. 3. Redox boundary layer containing poorly drainage of the soil flakes (Horizontal axis 100 μm in the picture).

보였다. 또한, 토양별로 회색화가 진행되는 토괴내 위치를 살펴보면, 도로가 인접한 조사지점의 모든 사촌통은 조립질 석기에서 세립질 석기로 입자의 구성물질의 차이에 의해 회색화가 진행되고 있었다.

References

- Box, J.E.Jr. 1991. The effect of waterlogging on rooting intermittent flooding on germination and seeding growth of cotton. *American Soc. Agri. Eng.* 14:567-570.
- Cannell, R.Q. and M.B. Jackson. 1981. Alleviating aeration stress. p. 141-192. In G.f. Arkin and H.M. Talors (ed) *Modifying the root environment to reduce crop stress*. ASAE. St.Joseph. MI.
- Evans, C.V. and D.P. Franzmeier. 1986. Saturation aeration and color patterns in atoposequence of soil in north-central Indiana. *Soil Sci. soc. Am. J.* 50:975-980.
- Kim, K.S. and Y.W. Kim. 1983. Studies on the leaching of the constituents in paddy soil. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16(4):311-317.
- NIAST. 2006. Fertilizer recommendation for crops (revision). National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Patrick, Jr. W.H. and R.D. Dleaune. 1977. Chemical changes in rice soils. In: *IRRI symposium on soils and rice*, pp 361-379 International Rice research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Plamenac, N. 1988. Effects of subsurface drainage on heavy hydromorphic soil in the Nelindvor area, Yugoslavia. *Agricultural Water Management.* 14:19-27.
- RDA. 2014. Taxonomical classification of Korean soils. National Academy of Agricultural Science.
- Statistics Korea, 2014. Statistical yearbook.
- Stoops, G. and H. Eswaran. 1986. Soil micromorphology. Van Nostrand Rheinhold soil science series. Van Nostrand Reinhold. 345 p.
- USDA, NRCS. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No.42 (revised). USDANRCS, Washington.
- USDA, Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Agricultural Handbook 18. USDA-NRCS, Washington.