

## Implication of Soil Minerals on Formation of Impermeable Layers in Saprolite Surface-Piled Upland Fields at Highland

Yongseon Zhang, Yeon-Kyu Sonn\*, Yong-Hee Moon<sup>1</sup>, Kangho Jung, Hye-Rae Cho, and Kyeong-Hwa Han

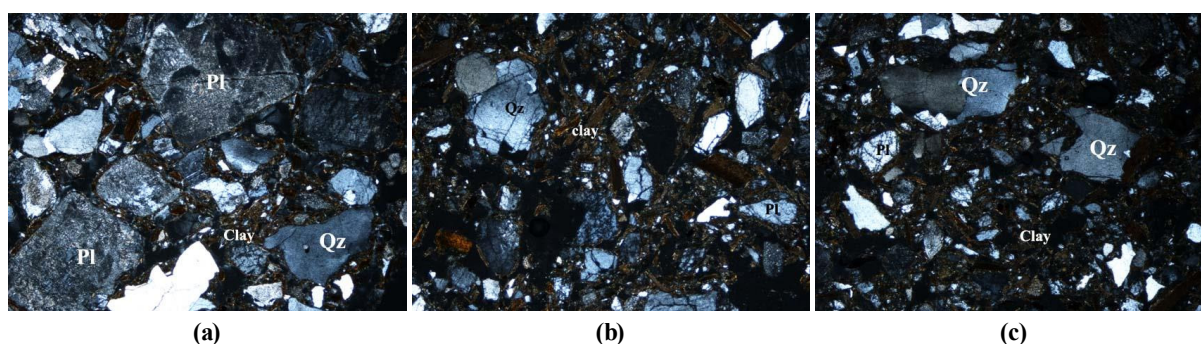
*Division of Soil and Fertilizer, National Academy of Agricultural Science, Korea*

<sup>1</sup>*Korea National Park Service, National Geo-parks Secretary, Korea*

(Received: July 14 2014, Revised: July 20 2014, Accepted: August 18 2014)

Farmers in highlands in South Korea pile up 20 to 30 cm of saprolites, mostly granite- or granite-gneiss-weathered materials, on surface of arable lands every three to five years to compensate eroded soil and sometimes to discontinue soil-borne diseases. Immediate increases of infiltration and percolation rates are expected with coarse textured saprolites while soil drainage becomes poorer in a long-term. In this study, we analyzed mineralogical characteristics and micro-morphology of plow pan to investigate processes making impermeable layers. Soil samples were collected from plow pan, usually located at approximately 20 cm soil depth and at the lower part of piled saprolites, in arable lands in Hoenggye 5-ri, Daekwanryeong-myeon, Gangwon-do (N37.7, E128.7) in which saprolites were added 2, 4, and 8 years ago; saprolites were transported from similar areas. The saturated hydraulic conductivity decreased over time. Based on soil thin section pedography, quartz and feldspar accounted for a majority of minerals. The size of feldspar decreased and macropores became filled with clay or silt particles over time, which implies that macropores were packed with particles weathered from feldspar. The X-ray diffraction (XRD) analysis indicated that intensity of feldspar decreased over time and the reverse was true for kaolinite and illite, indicating that feldspar and mica weathering induced formation of kaolinite and illite. Conclusively, deteriorated drainage by formation of impermeable layers in farms with piled saprolites was caused by accumulation of clay minerals such as kaolinite and illite in macropores; illite and kaolinite can be formed by weathering of mica and feldspar, respectively.

**Key words:** Surface-piled saprolite, Soil mineral, Micromorphology



Micromorphology of plow pans (a) 2 year, (b) 4 year, and (c) 8 year after piling saprolite on surface: Pl: Plagioclase, Qz: quartz.

\*Corresponding author : Phone: +82632382425, Fax: +82632383822, E-mail: sonnyk@korea.kr

§Acknowledgement: This project was supported by National Academy of Agricultural Science (PJ007434).

## Introduction

고령지 밭토양은 높은 경사도와 표고로 인하여 토양침식이 심하고, 감자·채소류 위주로 작물이 재배되는 6월에서 8월을 제외하고 나지상태가 7~10개월 지속되어 집중강우에 의한 토양의 유실로 지력이 감소하고 있다. 강원지역 고령지 채소재배지의 경우 유효토심은 60 cm이하, 자갈함량은 10~50%이었으며, 토양의 형태적 특성으로 보아 밭토양의 적성등급은 부적지인 5급지가 20~35%나 되는 것으로 조사되었다 (Park, 2002). 또한, 강원도의 주요 고령지 토양의 물리적 화학적 특성을 지역별로 우리나라 평균치와 비교하면, 유기물 함량은 높고 다른 성분은 다소 높거나 비슷한 수준이었으며, 양이온 교환능은 낮았다 (Yang et al., 2001).

토양침식으로 저하된 지력 보전과 고령지 채소류 연작에 따른 병해방지를 위하여 잦은 석비레 성토와 더불어 다량의 농자재가 투입되고 있다. 석비레 성토는 무름병 등 토양전염성 병해를 방지하고 매끄러운 근피 및 근미 발달, 착색촉진 등 근신장을 촉진하여 상품 수량을 증가시키고 일부 선충 피해를 감소시킨다 (Kim et al., 1997). 그러나 석비레는 모재가 부서져 굵은 입자 형태를 띠고 있으므로 유기물과 인산의 함량이 낮고 작물의 생육에 적합하지 않아 석비레 성토 초기에 다량의 비료와 유기질 부산물이 투입되고 있다.

특히, 우리나라 고령지 밭농사 면적의 90% 이상 분포하고 있는 강원도의 고령지 농업지대에서는 연작 피해 경감, 작물의 생산성과 상품성 향상을 위해 화강암의 풍화산물인 석비레가 3년 주기로 약 20 cm 깊이로 적토 되어 밭이 도로보다 돌출하는 경우도 많이 있다. 2002년도에 강원 평창군의 경우 객토면적은 1,358 ha로 전체 밭면적의 14%, 평균 객토량은 2~3년 주기로 ha당 1,000~3,000톤의 석비레가 주로 고령지 당근, 양파, 감자, 배추 재배지에 성토되었다 (NAAES, 2002).

또한 석비레가 적토된 밭토양은 사양질에서 사질로 투수성이 양호할 것으로 예상되지만 입단 형성율이 낮고 투수속도가 기존의 경작층과 차이가 커서 강우시 쉽게 포화되어 토양유실로 상류수계를 오염시키는 문제가 제기되고 있다 (Lee et al., 2002). 또한, 최근에는 대형농기계 사용에 따라 토양다짐 및 경반층 형성으로 용적밀도 및 경도 증가 등의 물리성이 악화되어 적토 후 경작기간이 오래될수록 배수불량으로 근채류에서는 무름병 및 열근 등의 연작피해가 발생하고 있으며, 이를 개선하기 위해 다시 석비레로 적토하고 있다 (RDA, 2005).

따라서 본 연구에서는 화강암 풍화모재인 석비레 적토 후 2년, 4년, 8년이 경과된 토양을 대상으로 배수불량 및 토양경반화가 진행되는 원인을 규명하기 위하여 토양 층위별로 시료를 채취하여 토양의 이화학적, 광물학적 조성 및 미

세형태를 분석하였다.

## Materials and Methods

석비레 적토지 배수불량 층위 함유토양은 2011년에 강원 평창군 대관령면 횡계리 전71번지 (37°34'08"N, 126°43'14"E)에서 석비레 적토 후 당근을 2년, 4년, 8년 동안 재배한 밭에서 채취하였다. 당근은 나이젤 품종을 공시하여 4월 20일에 파종되었고 파종방법은 열간거리 20 cm 주간거리 12 cm로 하여 10a당 3 L를 기준으로 초과한 후 1차 (본엽 2~3매) 2차 (본엽 6~7매)에 걸쳐 솟음작업을 실시하였다. 시비량은 질소 9 kg, 인산 30 kg, 인산 30 kg, 칼리 11 kg을 기비 60% 추비 40% 기준으로 사용하였으며 퇴비는 10a당 1,500 kg을 전량 토양경운전에 살포하였다.

토양 이화학적 성분은 채취시료를 풍건한 후 2 mm체에 통과된 것을 USDA-NRCS (2004)와 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2006)을 기준으로 분석하였다.

원추관입저항은 dynamic penetrometer (Eijkelpamp, 06.15 penetrologger)를 이용하여 측정하였다. 토양의 입경분석은 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 유기물을 분해하고, 5% sodium hexameta-phosphate로 분산시켜 pipette법으로 측정하였다. pH는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 초자전극법으로 측정하였으며, 유기물 함량은 Walkley-Black법으로 정량하였다. 치환성 Ca, Mg, Na 및 K는 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0) 용액으로 침출하여 원자흡광분광분석기로, 양이온치환 용량 (CEC)는 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)로 포화한 후 ethanol로 과잉의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>를 세척한 후 증류하여 정량하였다.

토양광물의 광종을 구분하기 위하여 정향시편을 만들어 Mg 포화, Mg-glycerol 포화, K포화 및 300°C, 500°C에서 3시간 가열 처리하여 Philips model PW-1710을 이용하여 CuK $\alpha$  단일과장 ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ )으로 Ni-filter를 사용하여 저면간격의 변화를 관찰하였다. 각각의 점토광물 중에서 Illite는 K으로 치환시킨 후 300°C와 550°C에서 열처리 및 Mg으로 치환하여 에틸렌글리콜 (EG) 처리 후에도 10 Å 회절선이 유지되는 것으로 판단하였으며, Kaolinite는 층간을 K으로 치환시킨 후 300°C, 550°C 열처리를 실시한 결과, 7 Å 회절선이 사라지는 것으로 확인되었다. Chlorite/Vermiculite 혼층광물에서는 14 Å 회절선이 K로 치환시킨 후 300°C, 550°C로 열처리 했을 때 12 Å로 이동하였으나 Mg로 치환되거나 에틸렌글리콜 (EG) 처리시 회절선의 강도가 감소하지 않는 것으로 확인하였다.

편광현미경으로 토양의 미세형태를 관찰하기 위하여 현지 토양단면 조사 및 쟁기 바닥층에서 코어시료 채취 후 건조기 내에서 40°C로 1주일 정도 시료를 건조시키고 Polyester 수지를 토양입단에 가하여 토양공극을 포화시켰다. 수지로 포화된 시료를 실온에서 6주, 40°C 건조기 내에서 1주일 동

안 열처리하여 경화 시킨 후 절단하여 박편의 두께는 30  $\mu\text{m}$  이하가 되도록 연마 하였다. 토양 박편은 편광현미경을 이용하여 개방니콜과 직교니콜 상태하에서의 토양 미세형태학적 특성을 Stoops and Eswaran (1986)의 기술방법에 따라 분석하였다.

## Results and Discussion

**토양 이화학 특성** 농가포장에서 석비레 적토지의 토양특성을 살펴보면, 표면에서 40 cm 이하의 기존토양의 표층에 석비레 적토가 이루어진 결과, 토층이 Ap, C1, C2, C3로 구분되는 인위토양으로 과거 학곡통 위에 석비레가 복토된 토양이었다. 복토된 토양의 표토와 기층은 황갈색의 사양토이고 토색은 황갈색 (10YR 5/4)으로 선명한 담갈색 (10YR 7/3)의 장식 반문이 있고, 토양구조는 무상구조로 반

습시 견고도, 점착성, 가소성, 공극은 없고 작은 운모가 포함되어 있다.

대상포장의 이화학적 특성은 Table 1과 같이 모래 함량은 68%에서 78%의 범위로 당근의 정상생육 농경지의 모래 함량이 석비레 성토 경과년수가 많은 토양보다 높았으며, 반대로 미사와 점토의 함량은 석비레 성토 년수가 증가할수록 많았다. 2~5년을 주기로 성토를 하였음에도 깊이에 따른 입자별 분포의 차이가 크지 않은 이유는 석비레 성토의 주기가 대체로 짧고, 동일 지역에서 채취한 석비레로 성토가 이루어졌기 때문으로 판단된다.

석비레 적토지 표토에서 토양 화학성분별로 최소에서 최대범위는 pH 3.8~4.1 범위에, 유기물 1.0~5.4  $\text{g kg}^{-1}$ , 치환성 Ca 4.1~7.7  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , CEC 7.9~11.4  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  범위에 분포하여 석비레 적토 경과 연수간에 최소에서 최대 범위 간 차이가 크게 나타났다. 적토 2년차의 토양 화학성

**Table 1.** Soil physicochemical properties in the studied carrot fields 2, 4, and 8 year after piling saprolites.

Year after piling saprolite	Horizon	Depth (cm)	Particle size distribution (wt,%)			Texture (USDA)	pH(1:5)		Organic matter ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	Exchangeable cation ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )			
			Sand	Silt	Clay		H <sub>2</sub> O	KCl			Ca	Mg	K	Na
2 year	Ap	0-10	77.1	16.0	5.5	LS	5.4	3.8	4.1	11.4	7.7	1.63	0.26	0.03
	C1	10-20	78.1	16.4	5.5	LS	5.5	3.8	3.5	10.0	6.8	1.44	0.2938	0.05
	C2	20-30	78.0	15.8	5.4	LS	5.4	3.6	3.4	9.5	6.6	1.47	0.20	0.06
	C3	30-40	77.2	16.0	5.3	LS	5.3	3.6	3.3	10.2	7.1	1.37	0.09	0.05
4 year	Ap	0-10	74.8	18.9	6.4	SL	5.6	4.2	1.0	8.2	4.1	0.84	0.21	0.04
	C1	10-20	72.1	20.7	7.5	SL	6.1	4.8	2.6	8.8	5.5	1.19	0.33	0.04
	C2	20-30	74.9	17.5	7.5	SL	6.1	4.4	4.8	7.9	4.1	0.99	0.33	0.08
	C3	30-40	69.2	21.7	9.0	SL	6.2	4.2	5.4	9.1	5.7	1.23	0.22	0.09
8 year	Ap	0-10	69.9	20.5	9.7	SL	5.6	4.1	4.7	8.6	4.8	0.94	0.30	0.03
	C1	10-20	70.0	20.5	9.4	SL	6.2	4.6	3.8	9.2	5.9	1.38	0.24	0.04
	C2	20-30	68.4	21.5	10.1	SL	6.5	5.0	3.0	8.6	6.5	1.73	0.20	0.04
	C3	30-40	69.4	20.3	10.2	SL	6.8	5.3	0.1	8.4	6.2	1.71	0.22	0.06



(a)



(b)



(c)

**Fig. 1.** Increasing damages of carrot fields over time with surface-piled saprolites; (a) 2 year, (b) 4 year, and (c) 8 year after piling saprolites.

은 pH 4.1, 유기물 4 g kg<sup>-1</sup>, 치환성 Ca 7.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, CEC 11.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 석비레 적토 4년차 및 8년차보다 높았으나 발토양의 적정범위인 pH(1:5) 6.0~6.5, 유기물 20~30 g kg<sup>-1</sup>, 유효 인산 300~500 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 Ca 5.0~6.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 Mg 1.5~2.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 K 0.5~0.6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>과 비교하면, pH, 유기물, 칼륨은 부족하고 치환성 칼슘은 적정범위를 벗어나 석비레 성토가 비옥도를 저하 시키므로 지속적인 토양관리가 필요하다고 판단되었다.

석비레 적토 후 작물재배 연차가 경과할수록 열근과 무름병에 의한 당근 연작피해는 방치된 당근 지상부와 같이 증가하여 Fig. 1과 같이 적토 후 2년차에서는 농작물 피해도 5%이하이었으나 적토 후 4년차와 8년차에서는 수확 가

능한 당근의 수확량이 50%이하로 저조하였다.

당근 밭의 석비레 적토 경과 연수별 수리전도도와 원추관입저항은 Fig. 2와 Fig. 3에서와 같다. 경도를 깊이별로 살펴보면, 평균적으로 깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 보였으며, 석비레 적토 2년차인 토양은 표토에서 25 cm까지 원추관입저항이 1.0 MPa를 유지하다가 25 cm에서 기존 토양의 표토층인 40 cm 깊이까지는 대체로 완만한 증가를 이루다가 40 cm 이하의 깊이에서는 3.0 MPa로 증가하였다. 석비레 적토 4년차인 토양은 표토에서 20 cm까지 원추관입저항이 1.0 MPa를 유지하다가 20 cm 이하에서 3.0 MPa를 중심으로 경도치의 변이 폭이 심한 것으로 조사되었다. 석비레 적토 8년차인 토양은 석비레 적토 2년 및 4년 경과 토양에서 원추관입저항이 1.0 MPa인 것과는 다르게 표

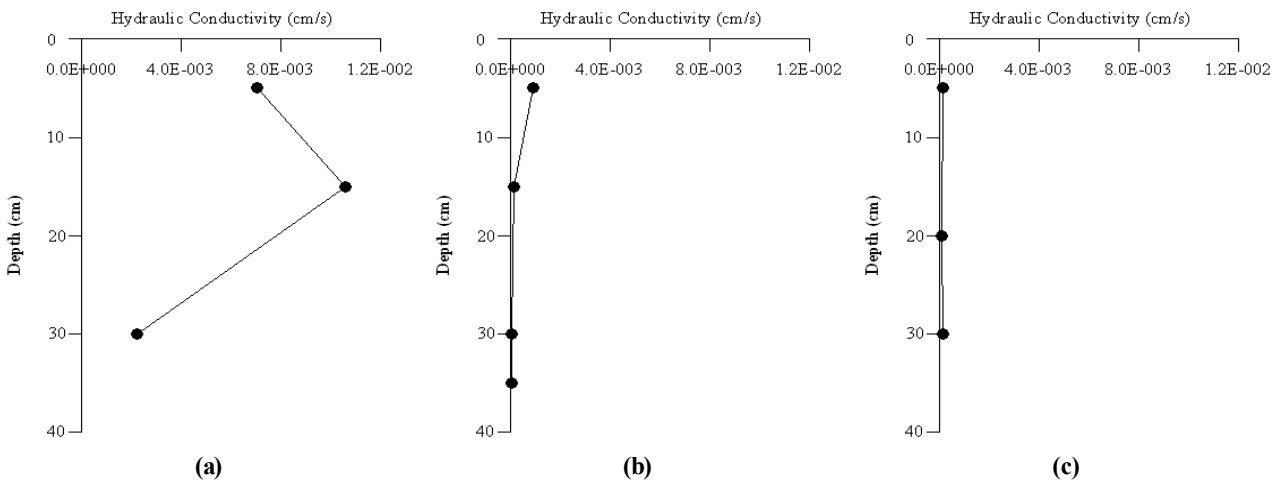


Fig. 2. Changes in saturated hydraulic conductivities with depth in the studied carrot fields (a) 2 year, (b) 4 year, and (c) 8 year after piling saprolites.

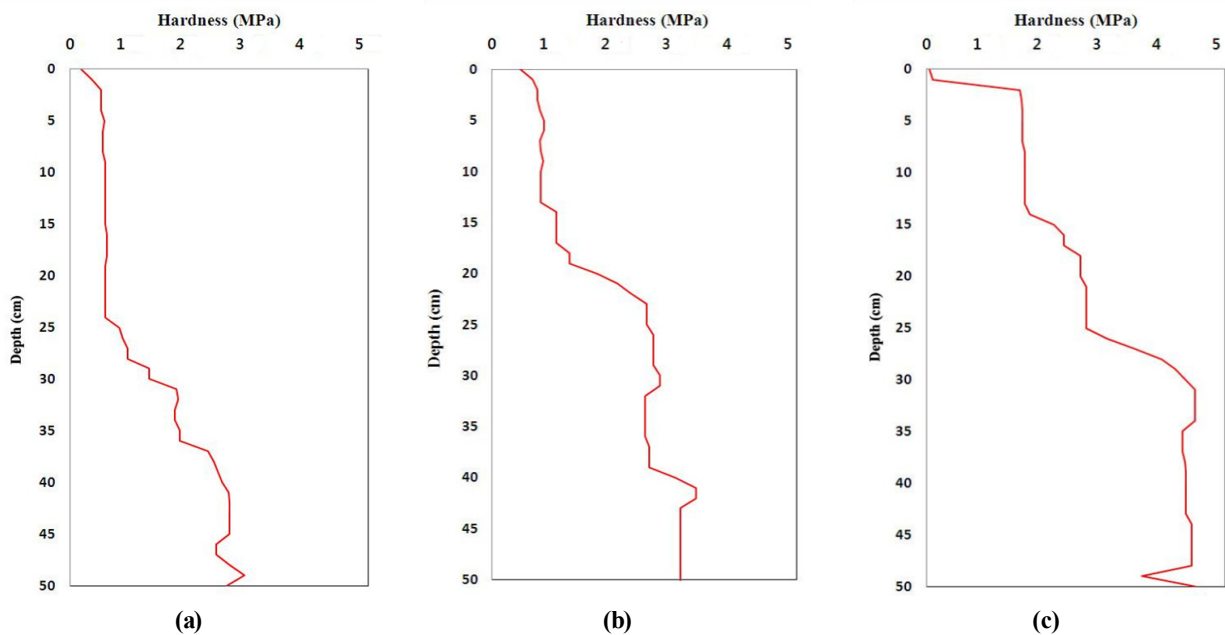


Fig. 3. Changes in soil strength with depth in the studied carrot fields (a) 2 year, (b) 4 year, and (c) 8 year after piling saprolites.

토에서 15 cm까지 원추관입저항이 1.5 MPa 이상이였다. 이후 15 cm에서 25 cm이하에서 부터 급격한 증가를 보였다가 30 cm 이하의 깊이에서는 4.0 MPa으로 증가하였다.

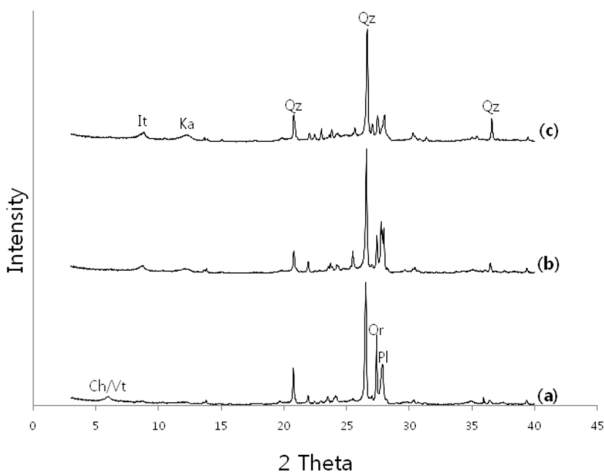
토양의 수리전도도를 토심 깊이별로 살펴보았을 때, 평균적으로 깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 보였으나 석비레 적토 2년차인 토양과 석비레 적토 4년 및 8년차인 토양 간에는 큰 차이가 관찰되었다. 석비레 적토 2년차인 토양의 표토에서는  $6.9 \text{ cm sec}^{-1}$ , 토심 15 cm에서는  $10.7 \text{ cm sec}^{-1}$ , 심토 30cm에서는  $2.4 \text{ cm sec}^{-1}$ 로 감소하였다. 그러나, 석비레 적토 4년 및 8년차인 토양에서는 표토부터  $0.9 \text{ cm sec}^{-1}$ 이하로 수리전도도가 낮았다. Ji (1981)에 따르면 발작물 재배를 위해서는 지표 잔류수 허용일수를 1일 이내, 지하수위저하속도는 강우 후 2~3일의 지하수위를 40~50 cm, 투수계수  $10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$  이상으로 각각 설정하였다.

한편, 경작이 장기간 이루어진 일반적인 밭의 경우에는 경도가 15 cm 정도에서 경운이나 농작업, 그리고 작은 입자

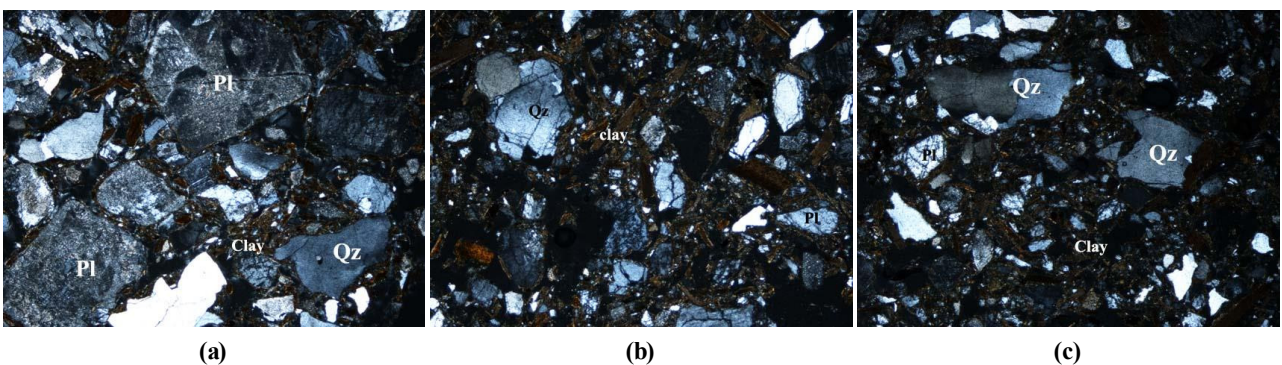
들이 토양공극을 따라 내려가 쌓인 것 등에 의해 경도가 급하게 높아졌다가 다시 낮아지는 경향을 볼 수 있으나 (Park et al., 2004) 석비레 적토지의 연수가 오래된 밭에서는 30 cm 이하의 깊이에서 평균경도가 3 MPa을 넘는 것으로 보아 30 cm 이하로 뿌리가 뻗는 것은 대단히 어려우므로 석비레 사양토를 이용해서 성토를 하게 되면 유효토심이 쉽게 낮아질 수 있음을 알 수 있었다.

**광물학적 특성** 석비레 적토 연수에 따른 쟁기 바닥층인 Ap층과 C1층의 광물학적 특성을 살펴보기 위해 X-선 회절분석을 실시한 결과는 Fig. 4와 같았다. 석비레 적토지의 주요한 토양광물의 구성 광물은 석영 (Quartz), 장석류로 조장석 (Albite,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )과 정장석 (Orthoclase,  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )이었으며, 점토광물로는 Illite, Kaolinite, 혼층광물로 Chlorite/Vermiculite이었다. 석비레 적토 연수별 쟁기바닥층의 점토 광물조성 차이를 비교하면, 적토 2년차의 점토광물은 Chlorite/Vermiculite이었으나 4년차부터 Kaolinite와 Illite의 새로운 회절선이 검출되었고 8년차에는 Kaolinite와 Illite의 회절선이 더욱 강하게 나타났다. 토양 광물 중 Quartz 회절강도는 적토 연수가 오래 될수록 증가한 반면에 Feldspars의 회절강도는 감소하는 경향이였다. 화강암 구성 광물 중에서도 사장석은 K장석이나 석영에 비하여 상대적으로 빠르게 풍화되는 광물로서 (Chesworth, 1973) 비정질을 거쳐 연층의 판상 Kaolinite로 풍화되었다고 보고하였다 (Lasaga, 1984). Jeong and Kim (1993)은 산청지역 잔류 고령토 연구에서 암석 중의 사장석에서 대체로 비정질, Smectite 등의 중간 산물을 거쳐 Kaolinite, Halloysite로 변질되는 것으로 나타났다. 한편, 암석 중 장석은 다른 조암광물에 비하여 쉽게 풍화되므로 암석의 초기 풍화 정도를 파악하기 위한 지표 (장석 풍화율, Plagioclase Index of Alteration)로 활용되기도 한다 (Fedo et al., 1995).

따라서 석비레 적토지의 광물 특성은 석비레 적토 연수가 경과할수록 1차광물인 Feldspars의 회절선 강도가 감소하고 4년차부터 Kaolinite는 Feldspars의 풍화과정에서, Illite



**Fig. 4. Mineralogical characteristics of plow pans (a) 2 year, (b) 4 year, and (c) 8 year after piling saprolite on surface analyzed by XRD: Ch/Vt; chlorite-vermiculite mixed layer, Or: Orthoclase, Pl: Plagioclase, It:illite, Ka: kaoline, Qz: quartz.**



**Fig. 5. Micro-morphology of plow pans (a) 2 year, (b) 4 year, and (c) 8 year after piling saprolite on surface: Pl: Plagioclase, Qz: quartz.**

는 Mica에서 유래된 것으로 판단되었다

석비레 성토지에서 쟁기바닥층의 미세형태학적 특성을 살펴보기 위해 Ap층과 C1층의 중간에서 교란되지 않은 시료를 채취하여 박편을 제작한 후 편광현미경 직교니콜상태에서 관찰된 미세형태학적 구조를 Fig. 5에 도시하였다. 석비레 적토지의 토양박편에서 중앙에 위치하는 반정들은 벽개의 발달이 없으며 교차니콜하에서 회색 또는 백색 간접색을 나타내는 석영과 교차니콜하에서 격자상 또는 검고 흰 줄무늬가 반복되는 장석이 관찰되었다. 석영과 장석 입자들 사이에는 미사크기의 적갈색 세립질 물질이 기질을 채우고 있었다. 석비레의 적토 연수가 경과할수록 석영, 장석의 조립질 물질과 기질을 채우고 있는 세립질 물질과의 비율이 감소하였으며, 감소된 조립질 물질은 주로 장석이였다. 한편, 장석입자의 풍화로 작아진 조립질 기질에는 점토 또는 미사 크기의 집합체로 충전되어 있었고, 미립질 입자로 충전되는 공간이 4년차보다 8년차에서 더욱 넓게 나타났다. 따라서 석비레 성토지 쟁기바닥층에서 관찰되는 점토 또는 미사입자들은 계속적인 장석류의 풍화로 확보된 토양공극에 퇴적된 물질인 것으로 판단되었다.

## Conclusions

고령지에서는 연작 피해 경감, 작물 생산성 향상을 위하여 화강암 풍화모재인 석비레가 3년 주기로 약 20cm 성토되고 있으나 경작기간이 오래될수록 배수불량 문제가 발생되고 있어 토양의 광물학적 분석과 미세형태 관찰을 통하여 석비레 적토 후 배수불량이 진행되는 원인을 규명하고자 하였다. 토양은 강원도 평창군 대관령면 황계 5리 당근재배지의 석비레 적토 후 2년, 4년, 8년이 경과된 밭토양에서 토양의 이화학적 분석을 위하여 토양 층위별로 채취하였고, 토양의 광물 및 미세형태 관찰을 위하여 쟁기바닥층에서 채취하였다.

석비레 적토 2년차인 토양의 표토에서 수리전도도는  $6.9 \text{ cm sec}^{-1}$ , 토심 15 cm에서는  $10.7 \text{ cm sec}^{-1}$ , 심토 30 cm에서는  $2.4 \text{ cm sec}^{-1}$ 로 감소하였다. 그러나, 석비레 적토 4년 및 8년차인 토양에서는 표토부터  $0.9 \text{ cm sec}^{-1}$ 이하로 수리전도도가 낮았다. 원추관입저항이 3.0 MPa 이상인 토심은 2년차에서 40 cm 이하였으나 4년차와 8년차에서는 30 cm 이하에서 나타났다. X-선 회절분석 실시한 결과, 경작연차가 증가할수록 장석의 강도가 감소하였고 점토광물인 Kaolinite와 Illite 강도가 증가하였다. 토양박편 관찰 결과, 주요한 조립물질은 석영과 장석이였으나 경작연차가 증가할수록 장석의 크기는 작아졌으며 대신에 점토와 미사입자가 기질에 충전되는 비율이 증가하였다.

따라서 화강암 모재의 석비레 적토지에서 경작연수 경과에 따른 배수불량과 경반층 형성의 주요 원인은 주로

Feldspars의 풍화로 형성된 토양공극에 Feldspars에서 유래된 Kaolinite와 Mica의 풍화로 생성된 Illite가 이동하여 집적되면서 물 이동을 차단하는 것으로 판단되었다.

## References

- Chesworth, W. 1973. The parent material effect and the genesis of soils. *Geoderma* 10:215-225.
- Fedo, C. M., H. W. Nesbitt, and G. M. Young. 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921-924.
- Jeong, G.Y. and S. J. Kim. 1993. Boxwork fabric of halloysite-rich kaolin formed by weathering of anorthosite in Sancheong area, Korea. *Clays and Clay Minerals*, 41, 56-65.
- Ji, G. H. 1981. Study on subsurface drainage system for the multipurpose paddy field. *J. Korean Soc. Agri. Engi.* 23(4):15-20.
- Kim, P.J., D.K. Lee, and D.Y. Chung. 1997. Vertical distribution of bulk density and salts in a plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:226-233.
- Lasaga, A.C., 1984, Chemical kinetics of water-rock interactions. *Journal of Geophysical Research*, 89:4009-4025.
- Lee, C. S., G. J. Lee, K. Y. Shin, J. H. Ahn, J. T. Lee, and H. K. Hur. 2002. Effect of application added phosphorus and potassium for potato and chinese cabbage in mounded highland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35:372-380.
- NAAES. 2002. Status of mounded farmland soil in highland area. Survey data of National Alpine Agricultural Experiment Station. National Alpine Agricultural Experiment Station, Pyeongchang, Korea.
- NIAST. 2006. Fertilizer Recommendation for crops (revision). National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park, C. S. 2002. Soil management practices to reduce water erosion from the sloped farmland in highland. Ph. D. Thesis, Kangwon national university, Chuncheon, Korea.
- Park, C. S., Y. S. Jung, J. H. Joo, and Yang, J. E. 2004. Soil characteristics of the saprolite piled upland fields at highland in Gangwon province, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2):66-73.
- RDA. 2005. Status of Fertilizer Application and Soil Management in farmers' Fields for Major Vegetable Crops in Alpine Area. The 2nd year completed cooperation report, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- USDA-NRCS, 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 4.0. USDA-NRCS. Lincoln, NE. 700p.
- Stoops, G., and H. Eswaran.(eds.) 1986. Soil Micromorphology. Van Nostrand Rheinhold Soil Science Series, New York. 345 p.
- Yang, J. E., B. O. Cho, Y. O. Shin, and J. J. Kim. 2001. Fertility status in Northeastern alpine soils of South Korea with cultivation of vegetable crops. *Korean J. Soil Sci Fert.* 34:1-7.