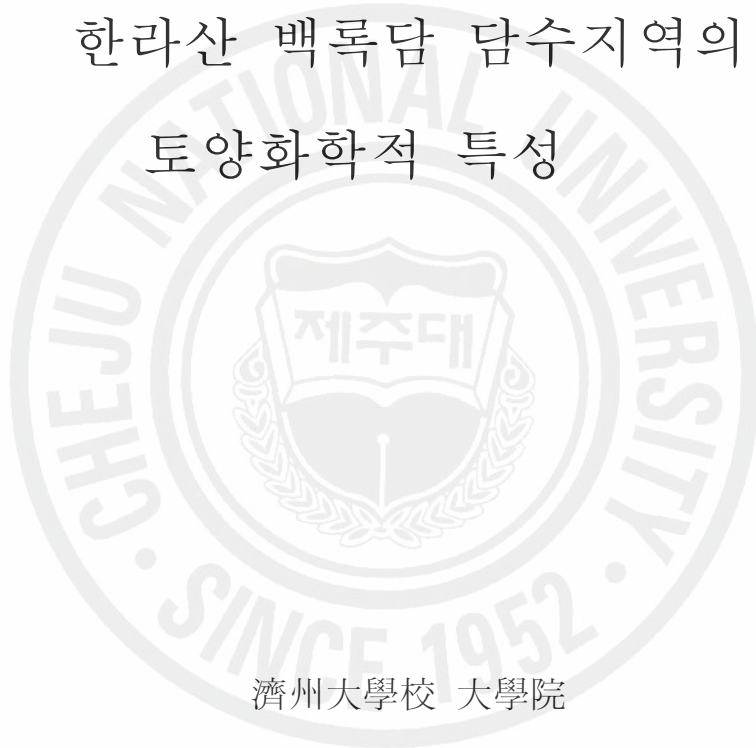


碩士學位論文

한라산 백록담 담수지역의 토양화학적 특성



濟州大學校 大學院

農化學科

高碩亨

2006年 8月

한라산 백록담 담수지역의 토양화학적 특성

指導教授 玄海男

高碩亨

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2006年 8月

高碩亨의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 大學院

2006年 8月

Soil Chemical Properties of Baengnokdam
Crater Lake of Mt. Halla

Seok-Hyung Ko
(Supervised by professor Hae-Nam Hyun)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF
AGRICULTURE

2006. 8.

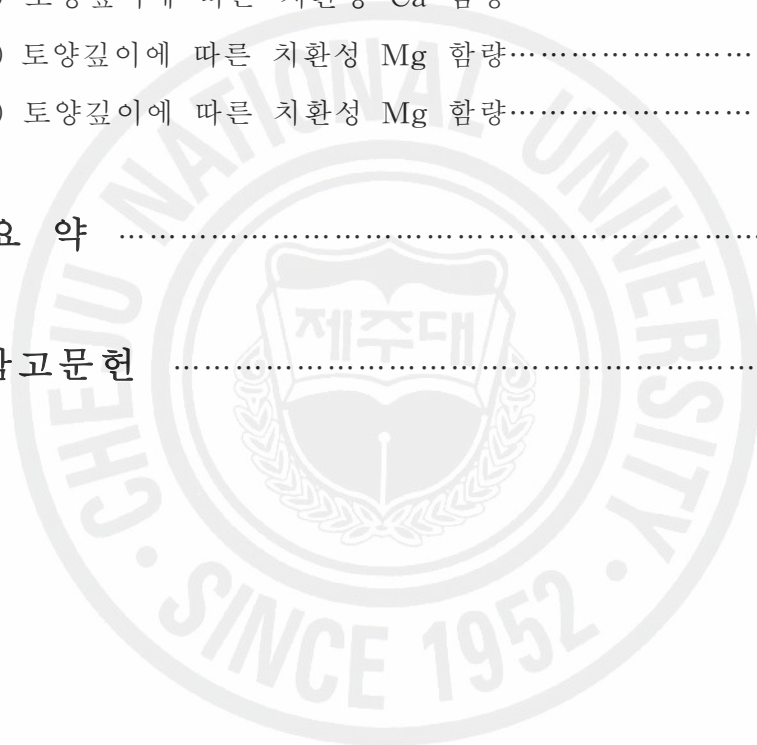
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL CHEMISTRY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Summary

I. 서론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 시료채취	3
2. 분석방법	5
III. 결과 및 고찰	7
1. pH	7
1-1. 시료채취 지점에 따른 토양 pH	7
1-2. 토양깊이에 따른 토양 pH	8
2. Electrical conductivity(EC)	11
2-1. 시료채취 지점에 따른 Electrical conductivity	11
2-2. 토양깊이에 따른 토양 Electrical conductivity	12
3. 전질소	15
3-1. 시료채취 지점에 따른 전질소 함량	15
3-2. 토양깊이에 따른 전질소 함량	16
4. 유기물	20
4-1. 시료채취 지점에 따른 유기물 함량	20
4-2. 토양깊이에 따른 유기물 함량	21
5. 유효인산	25

5-1. 시료채취 지점에 따른 유효인산 함량	25
5-2. 토양깊이에 따른 유효인산 함량	26
6. 치환성양이온	29
6-1. 시료채취 지점에 따른 치환성양이온 함량	29
6-2. 토양깊이에 따른 치환성양이온 함량	31
1) 토양깊이에 따른 치환성 K 함량.....	31
2) 토양깊이에 따른 치환성 Ca 함량.....	35
3) 토양깊이에 따른 치환성 Mg 함량.....	38
4) 토양깊이에 따른 치환성 Mg 함량.....	41
IV. 요약	45
V. 참고문헌	46



Summary

This study was performed to investigate the chemical properties at sampling sites and different soil depth of Baengnokdam crater lake during from September to November in 2004 and from October to November in 2005. Soils were collected from the edge to the center of crater lake each 5 m intervals and 0 to 100 cm soil depth with Cobra soil sampler.

The Soil pH was in the range of 4.9 ~ 5.6 and the pH of subsurface soil was higher than that of surface soil. The EC of soils at 5 ~ 30 m and 65 ~ 75 m, edge of crater lake, was about 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, however EC at 35 ~ 60 m, center of crater lake, was twice higher than that of the edge. It means that soluble ions were moved from the edge to the center of crater lake with water movement.

Exchangeable K, Ca, Mg, and Na were the same tend to EC, although there were different concentrations among ions. Total nitrogen contents of soils at 15 ~ 20m were below 0.1%, however the contents at 30 ~ 75m were around 0.3%. Available phosphate concentrations also were the same trend to total nitrogen. Soil organic matter contents at 10 ~ 20m and 70 ~ 75m were below 3%, however those at 30 ~ 60m were around 6%.

In conclusion, it means that chemical elements of soil were moved and accumulated from the edge to the center of Baengnokdam crater lake with water movement.

I. 서론

한라산 정상에 위치한 백록담은 장반경(동~서)이 585 m, 단반경(남~북)이 375 m이다. 외륜산릉으로부터 최대 깊이가 112 m의 분화구로 형성되어 있으며, 분화구 둘레의 길이는 1,720 m에 이른다. 분화구의 서측 외륜은 돔(dome) 형태의 조면암으로 구성되어 있고 절벽을 보이며, 동측 외륜은 현무암으로 구성되어 있어 완만한 경사를 보인다(윤, 2001; 윤 등, 2002; 고 등, 2003). 백록담 분화구내의 담수면적은 20,900 m²이며, 만수시 평균 담수깊이는 1.62 m로서 백두산의 천지 못인 칼데라호와 달리 항시 물이 고여 있지 않는 화구호로서 연중 약 40일 정도 바닥을 드러내는 고갈현상이 발생하고 있다(한라일보사, 2003).

백록담(白鹿潭)이라는 이름은 '흰 사슴이 나타나는 못'이라는 뜻에서 지어진 것으로, 흰사슴을 탄 신선이 내려와서 물을 마셨다는 전설에서 유래되었다(제주도, 1994). 현재까지도 백록담은 한라산의 대표적인 상징적 의미를 지닌 곳으로서 산정호수의 신비스러운 자태를 간직하고 있다. 그러나 과거 등산객의 집중적인 이용 및 산악지 특유의 집중 강우 등 자연현상으로 인해 한라산 국립공원 등산로 및 한라산 정상일대가 심각하게 훼손되어, 1986년부터 일정한 구간에 대해 불가피하게 자연휴식년제를 도입하게 되었다(제주도, 2000; 고, 2003).

최근에 들어 백록담 일대의 훼손은 가속화되고 있는 상태이며, 남벽정상 일대를 제외한 백록담 북사면은 등산객에 의한 답압에 의하여 식생이 파괴되어 있을 뿐만 아니라 수로가 형성되어 있다. 풍화가 쉬운 조면암층으로 이루어진 남서사면은 암석이 허물어져서 전석지를 이루고 있으며, 자연적인 풍화와 인위적 훼손에 의한 토양침식으로 인해 백록담 분화구 내로 토사가 계속해서 유

입되고 있는 실정이다(고, 2001).

백록담의 고갈현상은 1990년대에 심하게 나타나기 시작하였으며, 몇몇 연구자(남, 2001; 정, 2001; 윤 등, 2001)에 의해 담수 수위가 낮아지는 문제의 원인과 대책을 수립하기 위한 연구가 진행되어 왔다.

‘한라산 백록담 담수적량 보존용역’ 보고서에 의하면, 백록담 북서측벽의 하부와 분화구 중심부에 발달된 파쇄대 기반암의 균열로 고갈현상이 일어난다고 해석하였다(한라산국립공원관리사무소, 1993). 또한, 현 등(2003)의 보고에 의하면, 경사면에서 유출된 토사가 쌓이면서 빠른 투수속도로 인해 비가 토양에 닿자마자 스며들어 물을 넣을 수 있는 공간이 형성되어 백록담이 마르는 현상이 발생한다고 해석하였다.

백록담 담수지역의 고갈현상은 가장자리의 물이 중심부로 이동되면서 고갈되기 때문에 중심부로 물이 이동되면서 토양의 화학적 성질의 이동도 동시에 일어날 수 있을 것으로 예상하였다. 이에 본 연구는 담수지역의 토양의 EC, pH, 유기물, 질소, 인산, 치환성양이온 K, Ca, Mg 및 Na을 분석하여 이들 성분들이 어느 지점으로 이동되어 집적현상이 일어나고 있는지를 밝히기 위해 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시료채취

토양시료는 담수지역의 토양층이 건조되는 2004년 9월부터 11월, 2005년 10월부터 11월 사이에 주로 채취하였다. 시료는 백록담 가장자리(서북벽 방면, Fig. 1의 A 지점)에서 담수지역인 중심부를 통과한 후 성판악 방면으로 채취하였다(Fig. 1). 시료는 5m 간격으로 1m 깊이로 채취하였고, 채취한 시료는 다시 10cm 간격으로 구분하여 채취하였으며 토양시료의 채취는 Cobra 토양채취기(Cobra-248, Atlascopco, Sweden)를 사용하였다(Fig. 2). 시료채취 지점의 토양단면은 Fig. 3과 같다.

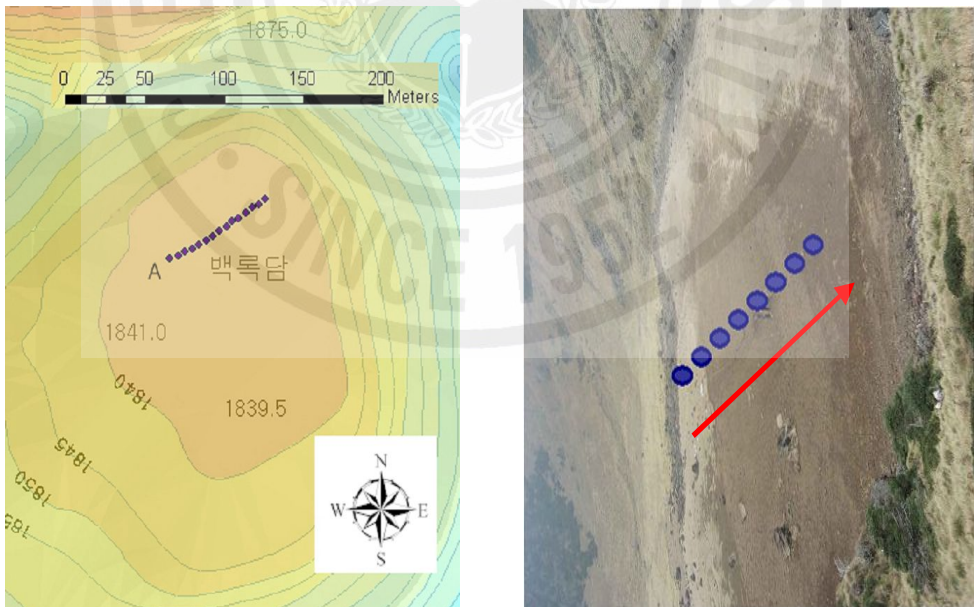


Fig. 1. Soil sampling sites of Baengnokdam crater lake. Soil samples were collected from A site.



Fig. 2. Procedure of soil sampling with Cobra soil sampler in Baengnokdam crater lake.

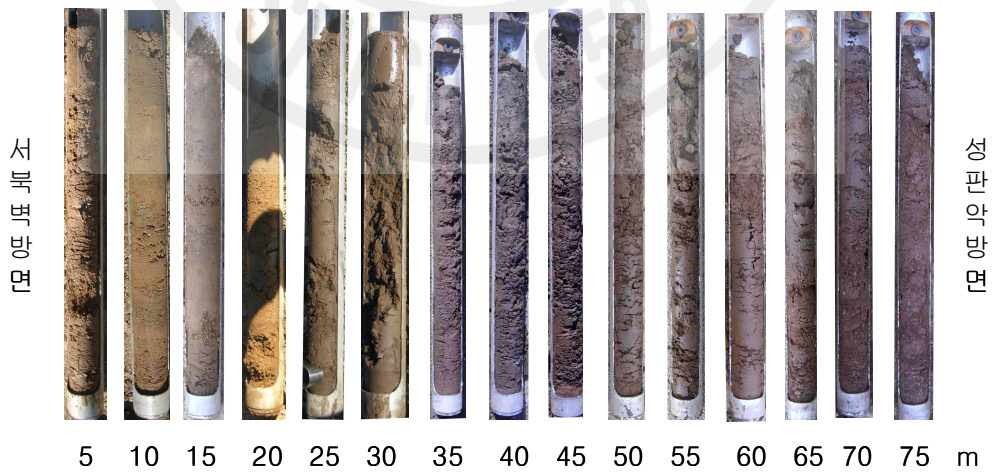


Fig. 3. Soil profiles of sampling sites in Baengnokdam crater lake.

위성항법장치(GPS)로 측정한 채취 지점은 Table 1과 같다.

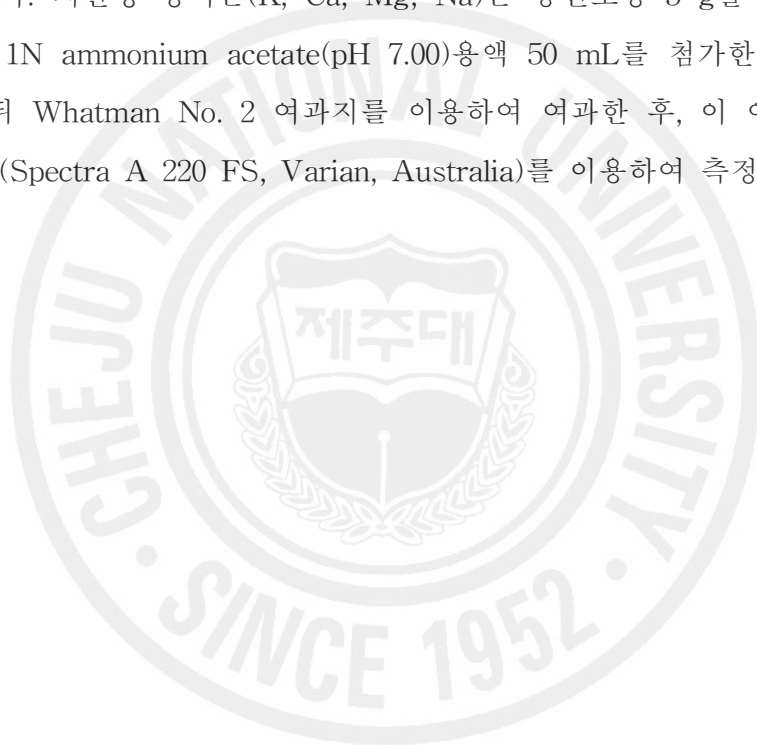
Table 1. Coordinates of soil sampling sites

Distance from A point(m)	Coordinate					
	Latitude			Longitude		
5	33°	21′	44.06″	126°	31′	58.33″
10	33°	21′	44.13″	126°	31′	58.50″
15	33°	21′	44.20″	126°	31′	58.67″
20	33°	21′	44.26″	126°	31′	58.85″
25	33°	21′	44.34″	126°	31′	59.03″
30	33°	21′	44.42″	126°	31′	59.20″
35	33°	21′	44.50″	126°	31′	59.37″
40	33°	21′	44.60″	126°	31′	59.52″
45	33°	21′	44.69″	126°	31′	59.69″
50	33°	21′	44.78″	126°	31′	59.83″
55	33°	21′	44.85″	126°	31′	59.98″
60	33°	21′	44.95″	126°	32′	0.16″
65	33°	21′	45.04″	126°	32′	0.32″
70	33°	21′	45.13″	126°	32′	0.48″
75	33°	21′	45.21″	126°	32′	0.57″

2. 분석방법

토양의 화학적 성분분석은 농촌진흥청 분석법(농업기술연구소, 1988)에 따라 3반복으로 분석하였다. 토양시료는 풍건 시킨 후 2 mm 체눈을 통과한 것을 사용하였다. pH는 토양 5 g을 삼각플라스틱에 넣고 증류수 25 mL를 첨가한 다음 30분간 진탕시킨 후 pH meter(Titan benchtop, Sentron, Netherlands)를 이용하여 측정하였으며, EC 측정은 pH 측정 여액을 EC meter(MC-126 conductivity meter, Mettler toledo, Switzerland)로 측정하여 토양 희석배수를

적용하여 계산하였다. 유기물은 Walkley and Black법을 이용하여 측정하였으며 질소는 풍건토양 0.5 g을 켈달플라스크에 넣고 황산으로 분해한 다음 분해된 시료용액을 자동질소분석기(Keltek 2300 unit, FOSS, USA)를 이용하여 분석하였다. 유효인산은 풍건토양 5 g을 삼각플라스크에 넣고 인산침출액 20 mL를 첨가한 다음 10분간 진탕한 뒤 Whatman No. 2 여과지를 이용하여 여과한 후, 이 여액을 Lancaster법으로 분광광도계(Genesis-5, USA)를 이용하여 측정하였다. 치환성 양이온(K, Ca, Mg, Na)은 풍건토양 5 g을 삼각플라스크에 넣고 1N ammonium acetate(pH 7.00)용액 50 mL를 첨가한 다음 30분간 진탕한 뒤 Whatman No. 2 여과지를 이용하여 여과한 후, 이 여액을 원자흡광광도계(Spectra A 220 FS, Varian, Australia)를 이용하여 측정하였다.



Ⅲ. 결과 및 고찰

1. pH

1-1. 시료채취 지점에 따른 토양 pH

백록담 담수지역의 토양 pH는 평균 5.3으로 산림토양의 평균 pH 5.5보다는 조금 낮은 경향을 보였다. 평균보다 pH가 낮은 지점은 35 ~ 45m 지점인 담수 지역 중심부였으며, pH가 높은 지점은 담수지역 가장자리인 65 ~ 70m 지점(성관악 방면)이었다(Fig. 4).

한국의 산림토양에 관한 연구에 의하면 산림토양의 평균 pH는 5.5를 나타내었으며, 우리나라 논토양 표토층의 pH는 5.8, 심토층의 pH는 6.1로 보고되었고, 밭토양 표토층의 pH는 5.5, 심토층의 pH는 5.6으로 보고된 바 있다(이, 1981; 현 등, 1989; 정 등, 2001).

이와 같은 결과는 육지부는 산성암인 화강암을 모재로 하고 백록담 토양은 염기성 현무암을 모재로 하고 있어서 백록담 토양의 pH가 높을 것으로 예상하였으나, 강우 등의 차이로 인해 오히려 백록담 토양의 pH가 더 낮아진 것으로 생각된다.

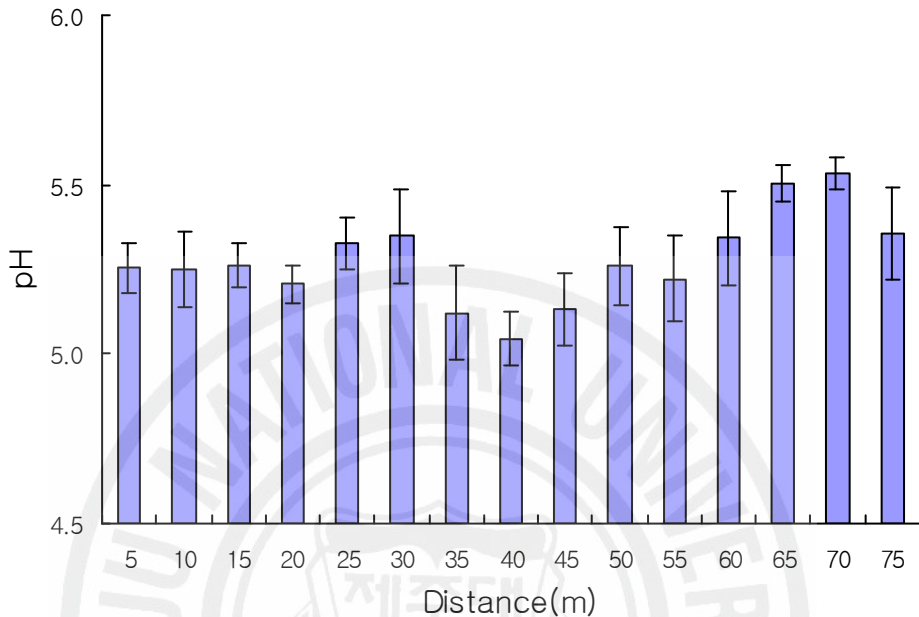
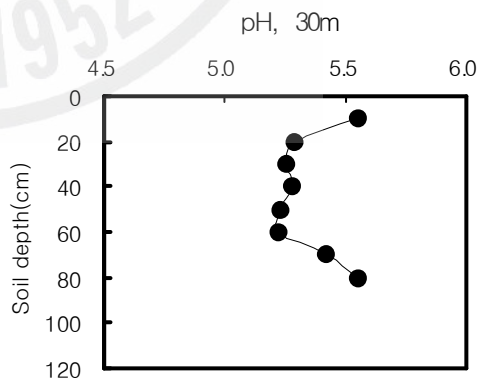
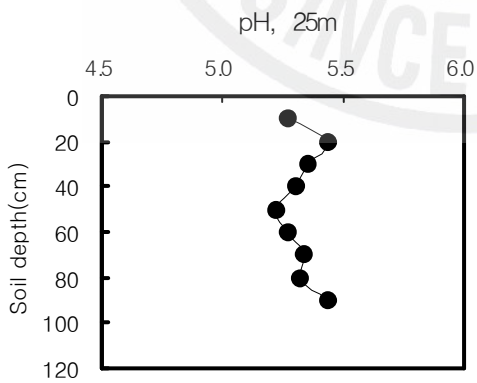
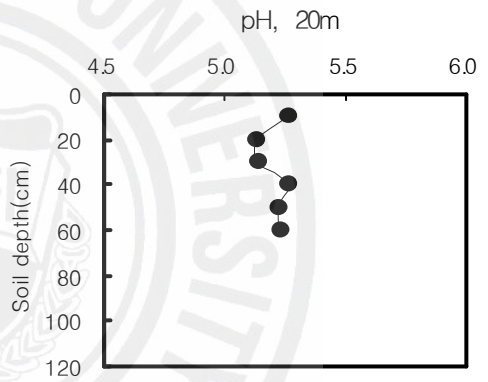
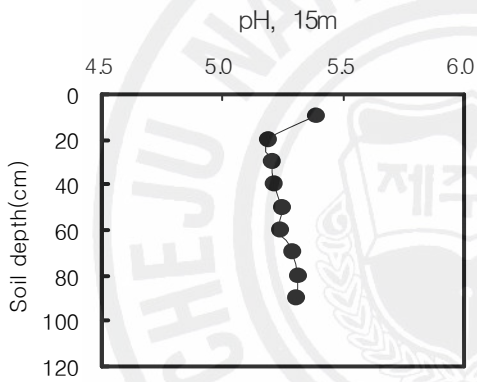
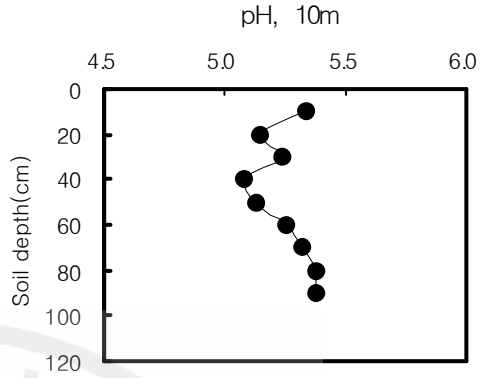
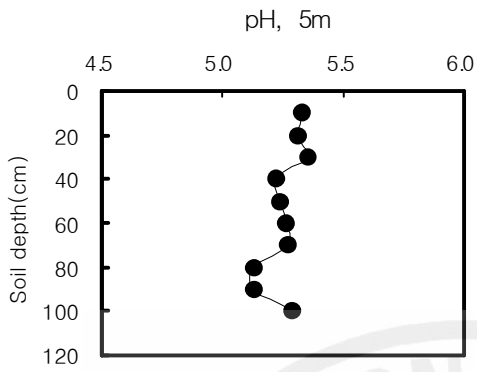
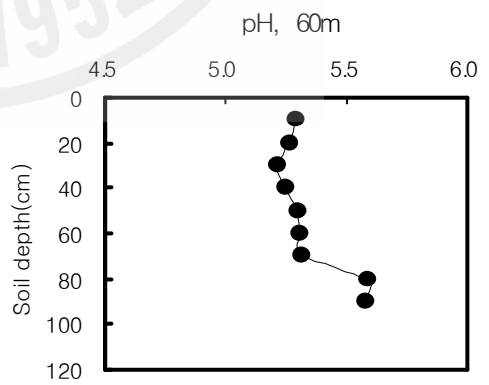
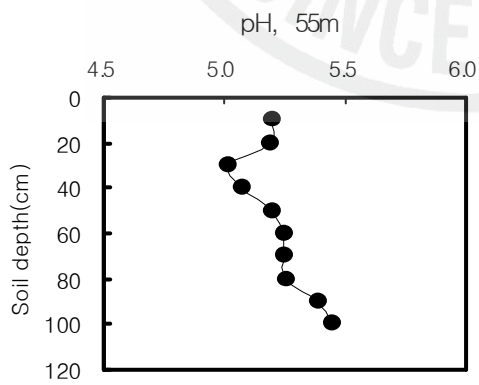
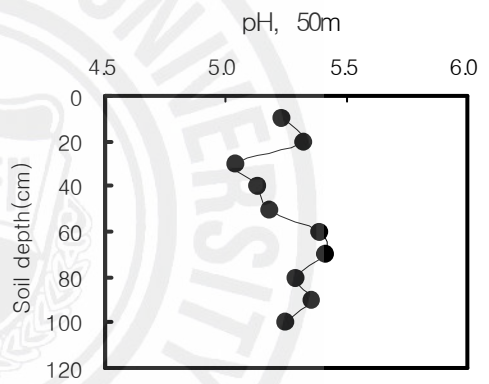
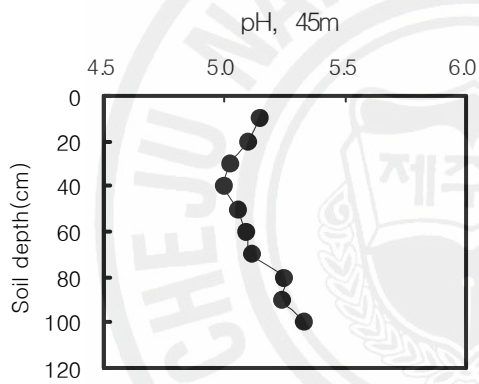
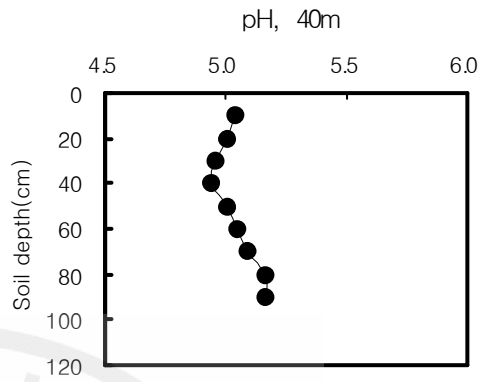
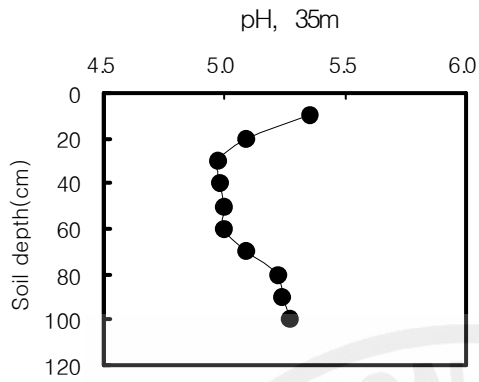


Fig. 4. Average and standard deviation of pH at different sampling sites.

1-2. 토양 깊이에 따른 토양 pH

대체적으로 70cm 깊이인 하층부로 갈수록 pH가 높아지는 경향을 보였다. 5 ~ 20 m 지점의 pH는 층위간 큰 차이가 없이 pH 5.25 내외였다. 25 ~ 30 m 지점의 70 cm 깊이 이하에서는 pH 5.25보다 높아졌다. 35 ~ 45 m 지점의 pH는 5.25보다는 낮았고 대체적으로 pH 5.0 사이에 있었다. 55 ~ 60 m 지점의 pH는 5.25의 내외였으며, 80 cm 깊이 이하에서는 높아지는 경향을 보였다. 또한, 65 ~ 70 m 지점의 pH는 5.5 내외로 다른 지점에 비해 현저히 높았다. 75 m 지점의 pH는 65 ~ 70 m 지점에 비해 조금 낮았으나, 70 cm 이하 층위에서는 pH 5.5로 높게 나타났다(Fig. 5). 이와 같은 특이한 현상은 퇴적된 층위의 모양이 다르거나 토사층 특유의 성질을 나타내는 것으로 판단된다.





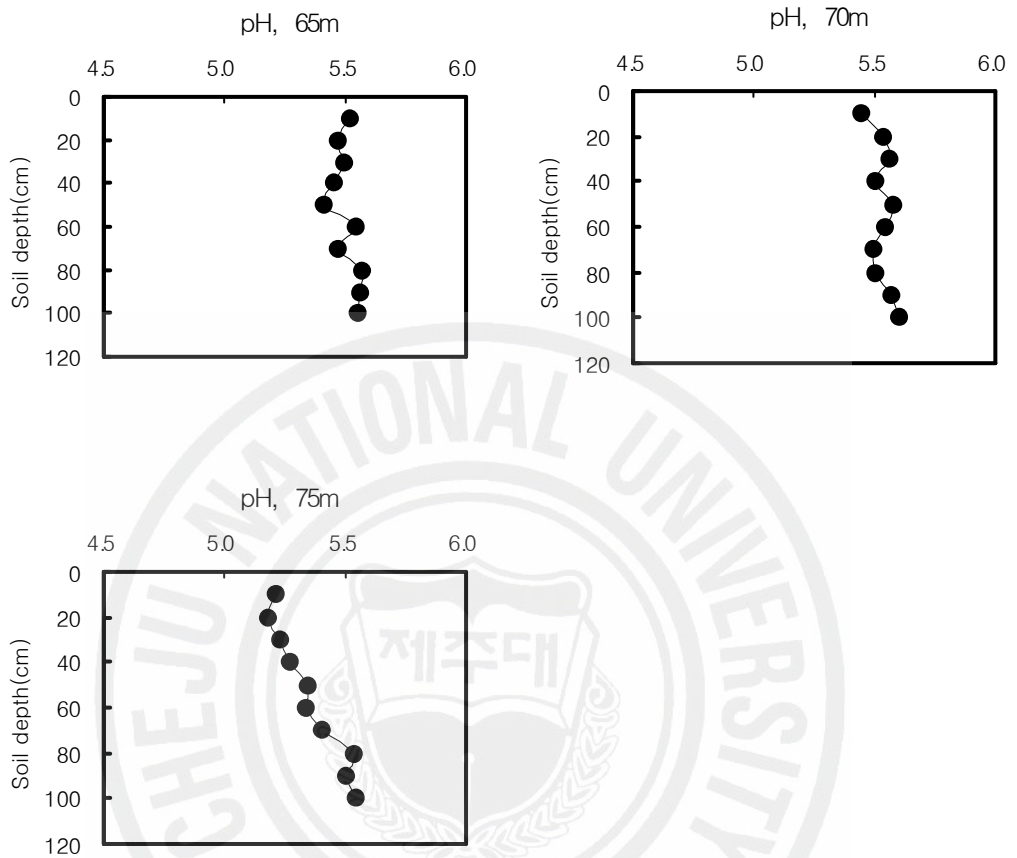


Fig. 5. pH at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

2. Electrical conductivity(EC)

2-1. 시료채취 지점에 따른 Electrical conductivity

전기전도도는 용해된 물질의 양을 예측하는 지표로서 EC가 높을수록 전해질 성분이 많으며, 이온이 많이 집적된 것을 의미한다. 백록담 담수지역의 EC는 평균 129 uS/cm였으며, 토양 pH와는 달리 특이한 현상을 나타내었다. 5 ~ 30 m 지점과 65 ~ 75 m 지점의 EC는 평균 100 uS/cm 이하였다. 그러나 담

수지역 중심부인 35 ~ 60 m 지점의 EC는 평균 150 ~ 200 uS/cm 범위로 담수지역 가장자리보다 약 2배 정도 높았다(Fig. 6). 이는 중심부로 물이 이동되면서 전해질이온이 담수지역 가장자리보다는 담수지역 중심부로 이동한 것으로 판단된다.

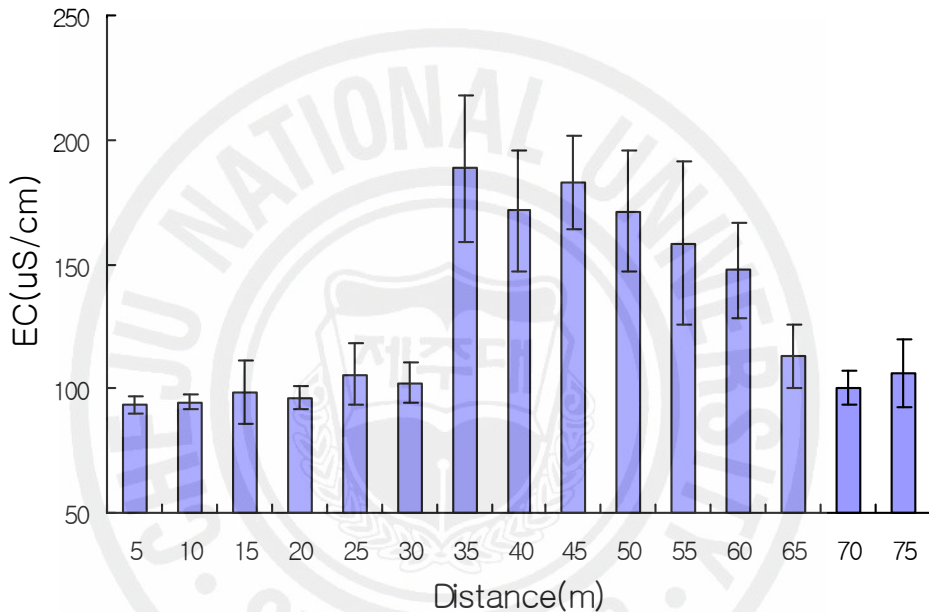
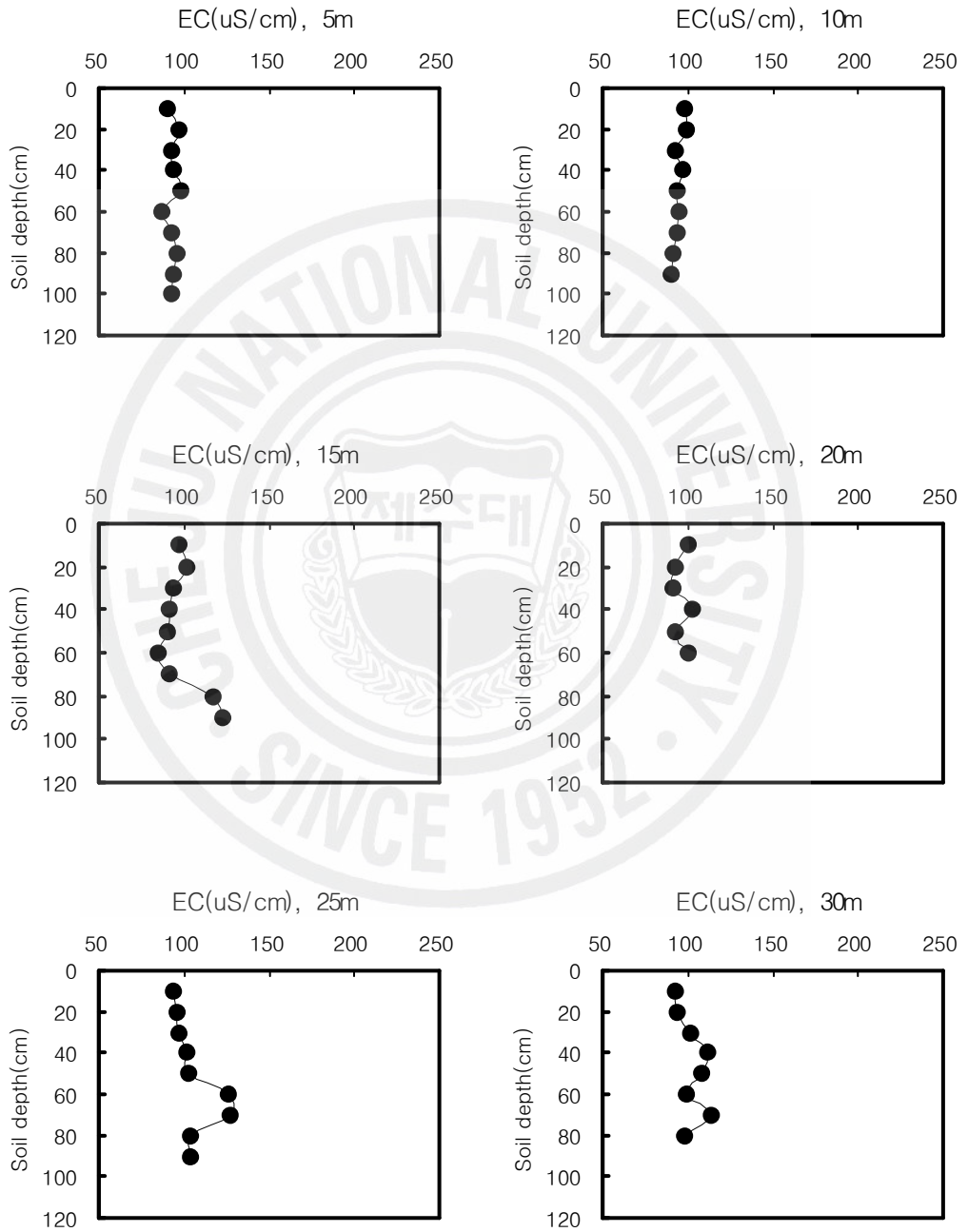


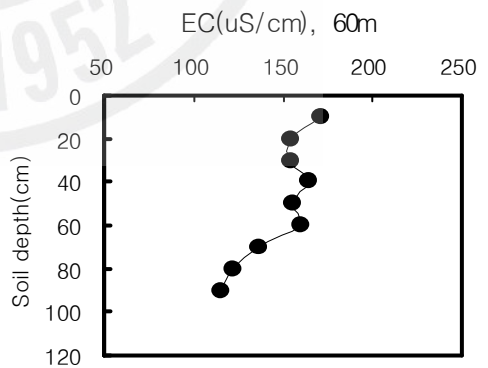
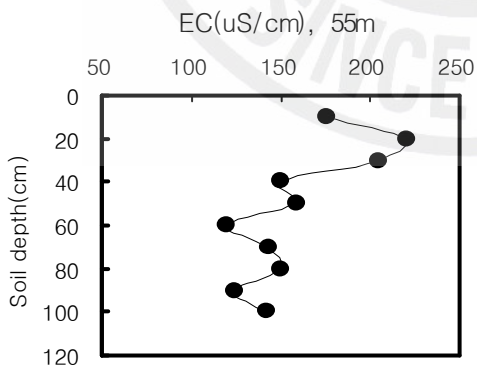
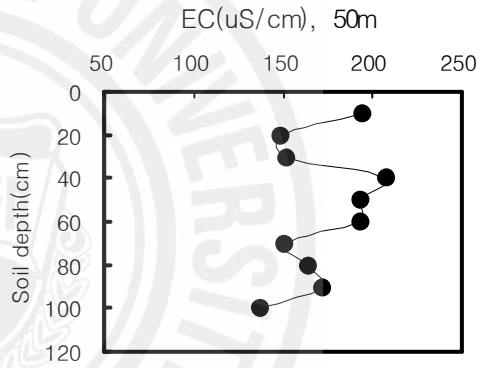
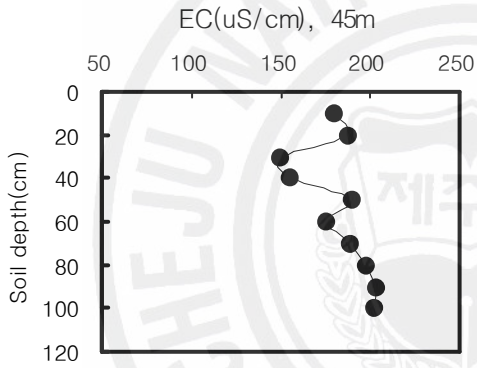
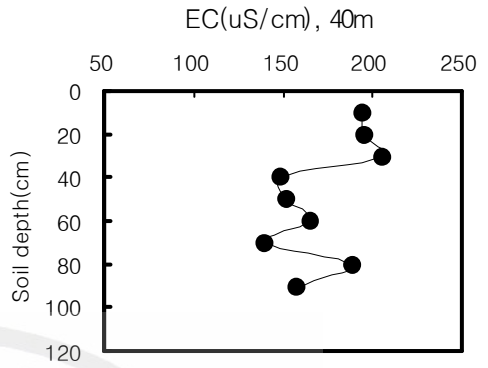
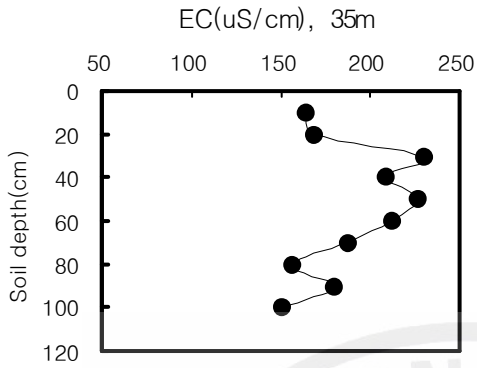
Fig. 6. Average and standard deviation of electrical conductivity at different sampling sites.

2-2. 토양 깊이에 따른 Electrical conductivity

토양 깊이에 따른 전체적인 EC는 87 ~ 230 uS/cm 범위였으며, 5 ~ 30 m 지점의 EC는 100 uS/cm 내외로 낮았다. 반면에 35 m 지점의 30 ~ 60 cm 깊이와 40 m 지점의 10 ~ 30 cm 깊이에서는 EC가 전체적으로 200 uS/cm 내외였다. 50 m 지점의 EC는 150 ~ 200 uS/cm 범위였으며, 층위간에 차이가 컸다. 한편, 65 ~ 75 m 지점에서는 EC가 다시 낮아지기 시작하여 5 ~ 30 m 지점과

비슷한 수치인 100 uS/cm 내외였다(Fig. 7).





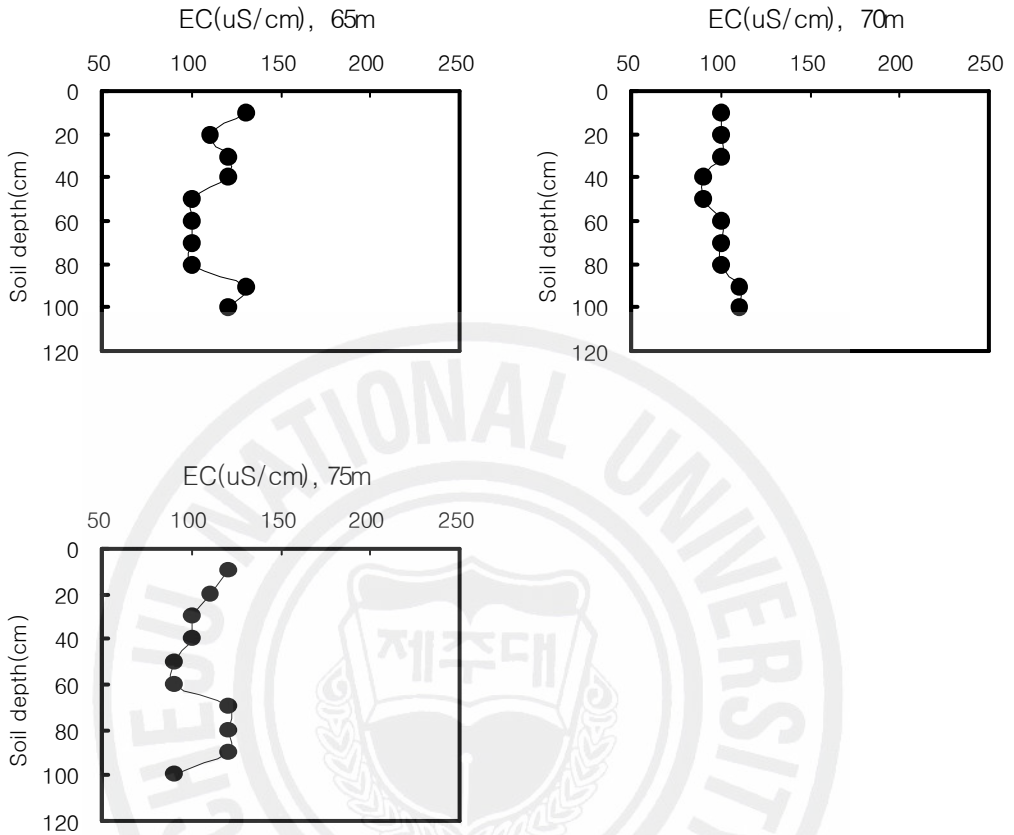


Fig. 7. Electrical conductivity at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

3. 전질소

3-1. 시료채취 지점에 따른 전질소 함량

백록담 담수지역 전체 지점의 전질소 함량은 평균 0.26%였다. 평균보다 전질소 함량이 낮은 지점은 5 ~ 20 m 지점인 담수지역 가장자리(서북벽 방향)였으며, 이를 제외한 모든 지점에서 평균보다 함량이 높았다(Fig. 8).

한라산의 토양특성과 황폐화 방지 결과에 의하면, 백록담 내사면의 평균 전

질소 함량이 0.22%로 보고된 바 있으며, 이는 본 연구결과와 유사한 값을 보였다(최 등, 2002). 그러나 임업연구원에서 조사한 전국 산림토양을 대상으로 한 분석결과인 0.43%보다는 전질소 함량이 낮았다(정 등, 2002).

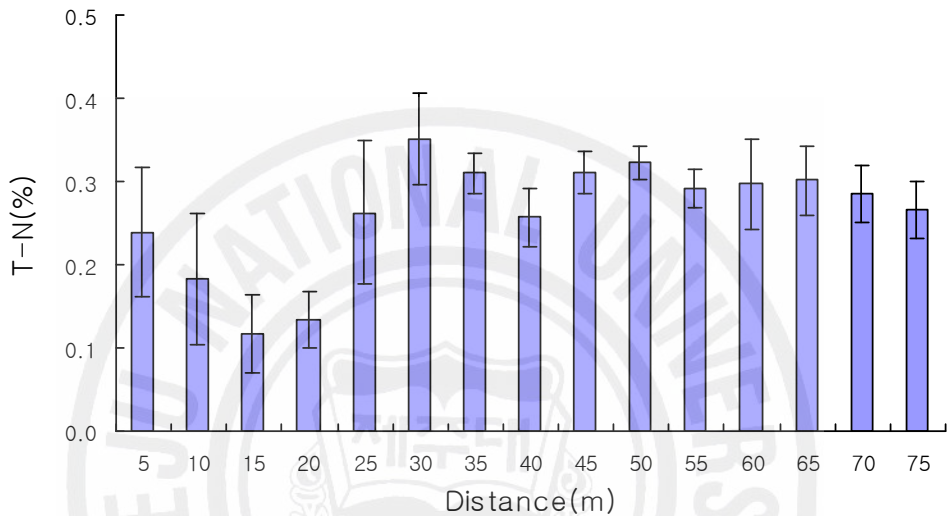


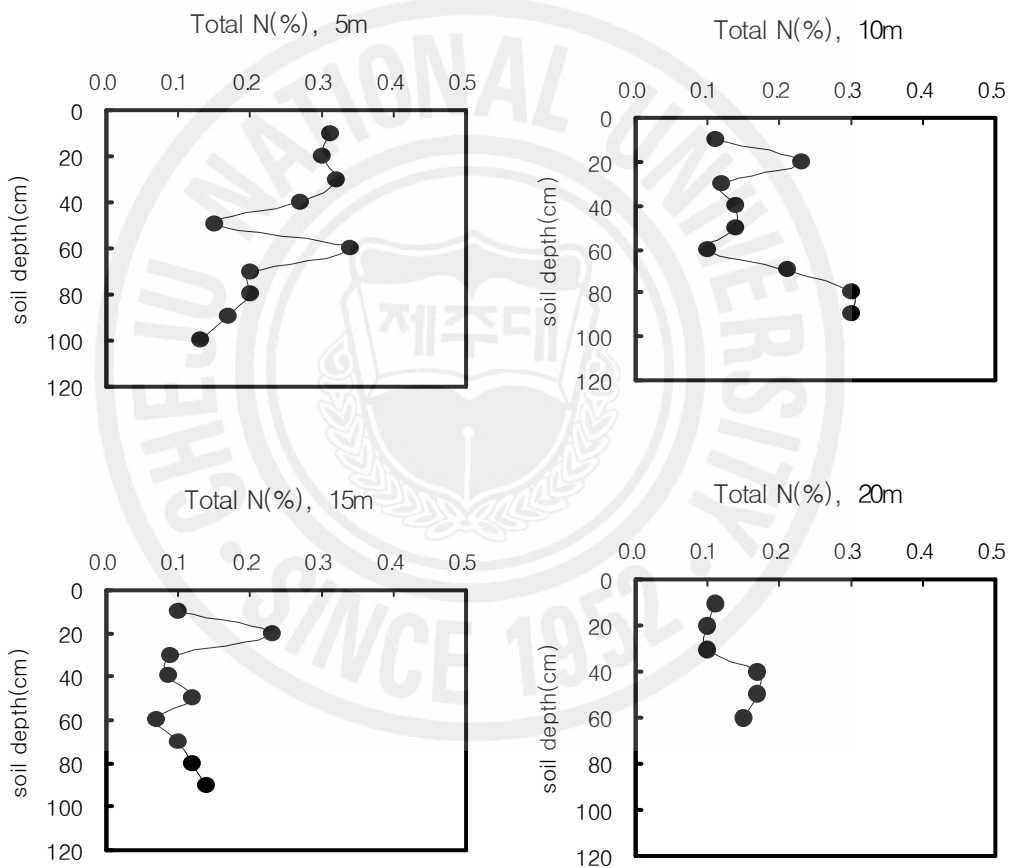
Fig. 8. Average and standard deviation of total nitrogen contents at different sampling sites.

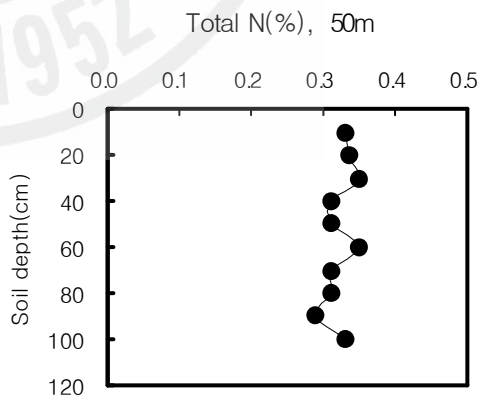
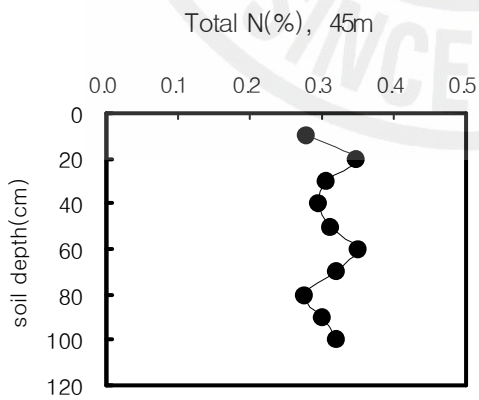
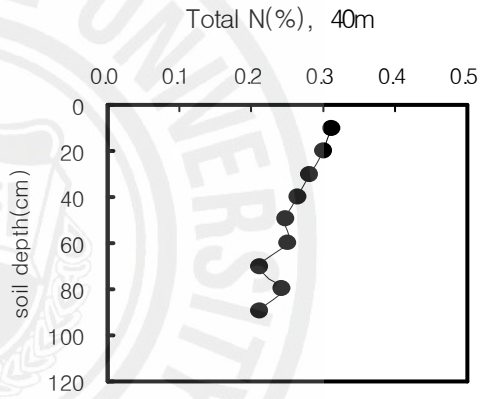
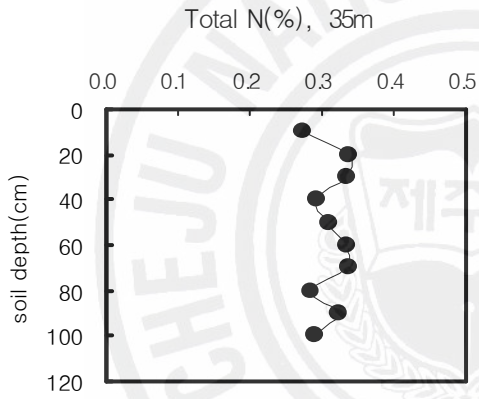
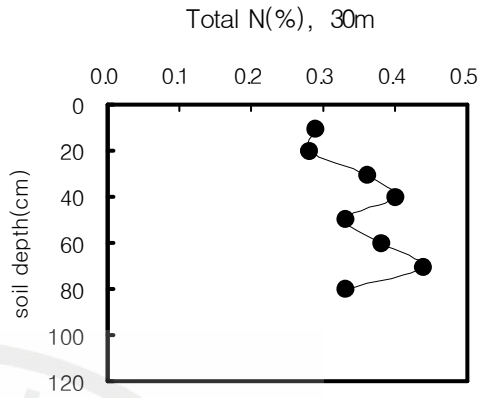
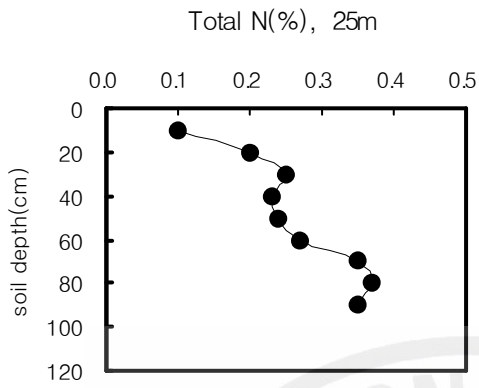
3-2. 토양 깊이에 따른 전질소 함량

질소함량은 동식물의 유체에 단백질 형태로 존재하는 성분으로 유기물함량이 많을수록 질소함량이 많아지는 것이 일반적인 현상이다. 유기물이 화산재에서 유래된 AI과 결합하였을 때, 용탈에 대한 저항성이 있기 때문에 화산재가 많이 집적된 토양에서도 질소함량은 높게 나타난다.

전체적으로 전질소 함량은 0.09 ~ 0.44% 범위였다. 5 m 지점의 60 cm 깊이까지는 0.3% 내외였으며, 그 이하 층위에서는 낮아지는 경향을 보였다. 10 m 지점의 60 cm 깊이까지는 0.2% 이하였으며, 그 이하 층위에서는 0.3% 로 높아졌다. 반면에 15 ~ 20 m 지점의 전질소 함량은 0.1% 내외로 매우 낮았다.

이는 일반적인 토양에서 전질소 함량이 0.2% 내외인 것을 감안하면, 이보다 더 낮은 함량이었다. 30 ~ 35 m 지점의 전질소 함량은 0.3 ~ 0.4% 범위였으며, 40 m 지점에서는 0.3%에서 서서히 낮아지는 경향을 보였다. 45 ~ 55 m 지점의 전질소 함량은 0.3% 내외였으며, 60 m 지점에서는 함량이 서서히 낮아져 0.2%까지 낮아졌다(Fig. 9).





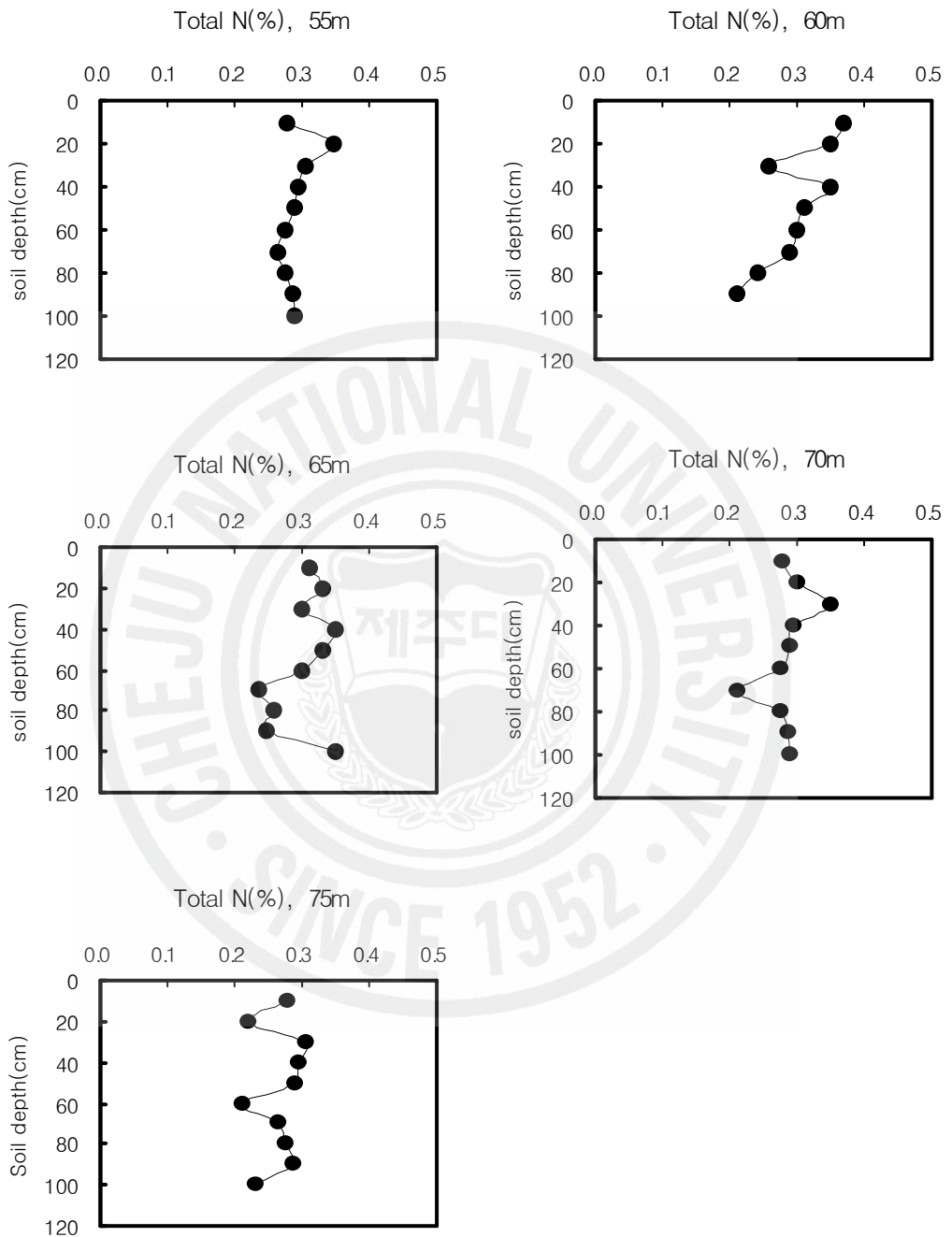


Fig. 9. Total nitrogen contents at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

4. 유기물

4-1. 시료채취 지점에 따른 유기물 함량

일반적으로 제주지역의 높은 유기물함량은 화산회를 모재로 하는 산림토양의 경우 표토층이 잘 발달되고, 토양침식에 안정된 토양 입단구조 때문인 것으로 알려져 있다(이, 1981).

백록담 담수지역의 유기물 함량은 평균 4.95%였다. 평균보다 유기물 함량이 낮은 지점은 5 ~ 20 m 지점과 65 ~ 75 m 지점인 담수지역 가장자리였으며, 함량이 높은 지점은 25 ~ 60 m 지점인 담수지역 중심부였다(Fig. 10).

한라산의 토양특성과 황폐화 방지 결과에 의하면, 백록담 내사면의 평균 유기물함량이 4.7%로 보고된 바 있으며, 이는 본 연구결과와 유사한 값을 보였다(최 등, 2002). 임업연구원에서 1984년부터 1990년까지 전국 산림토양을 대상으로 한 분석결과에 의하면, 유기물함량인 경우 제주지역 표토층에서는 10.4%로 보고되었으며, 한국 산림토양에 관한 연구의 풍화모재별 토양특성 결과에서 보면 10.5%로 보고된 바 있다(정 등, 2002; 이, 1981).

이와 같은 연구 결과의 차이는 백록담 담수지역 토양의 표토층은 모래 및 미사의 함량은 많았으나 점토성분이 거의 없었으며, 조립질 모재 성분으로 보수력이 매우 낮은 토양으로 구성되어 토양 입단 구조가 불안정하기 때문으로 판단된다.

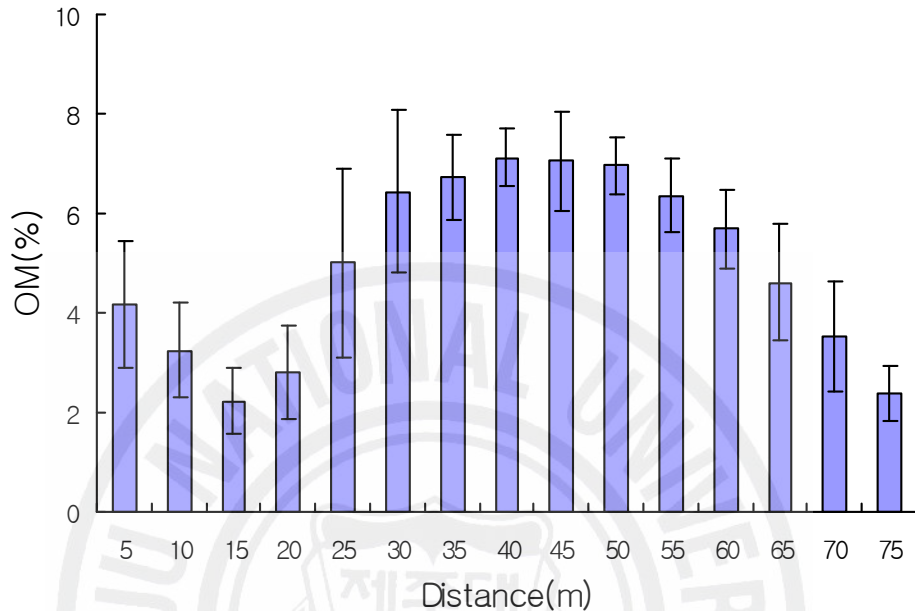


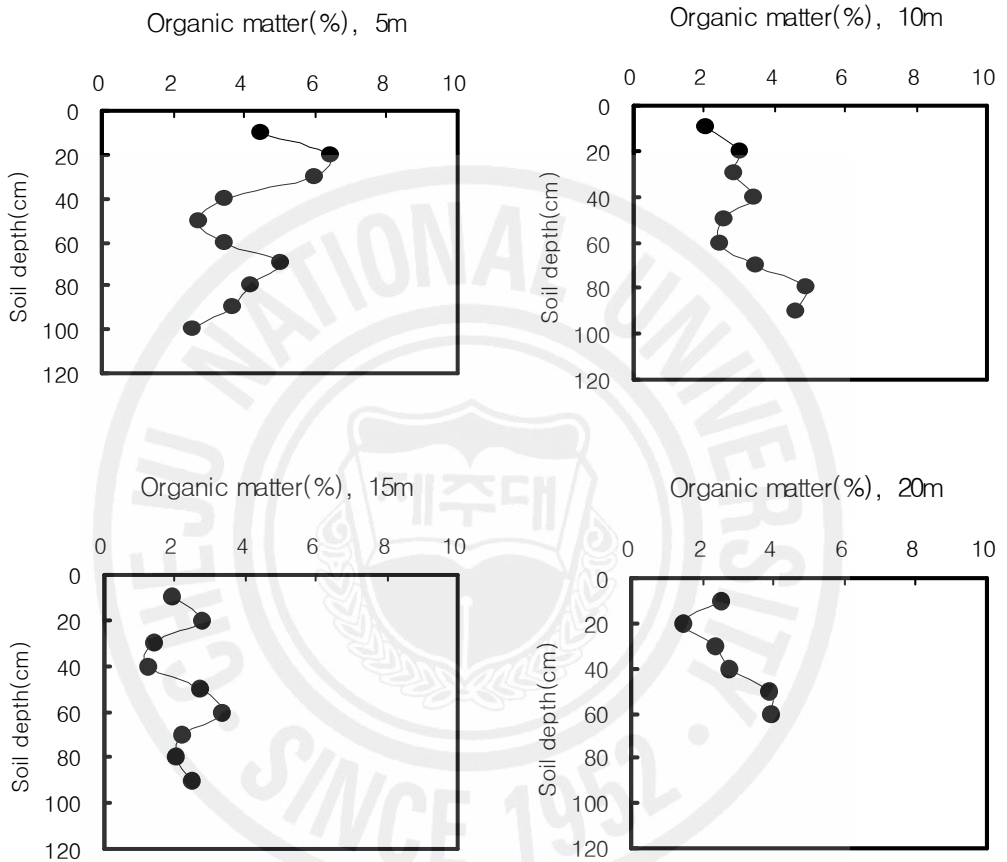
Fig. 10. Average and standard deviation of organic matter contents at different sampling sites.

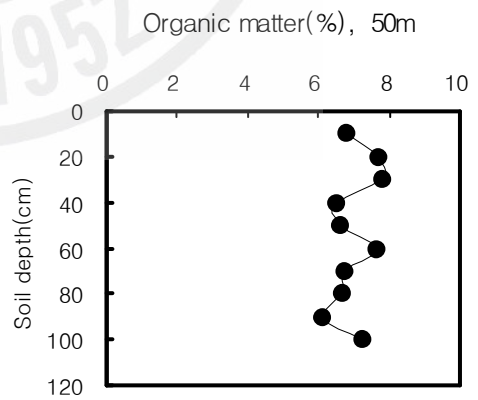
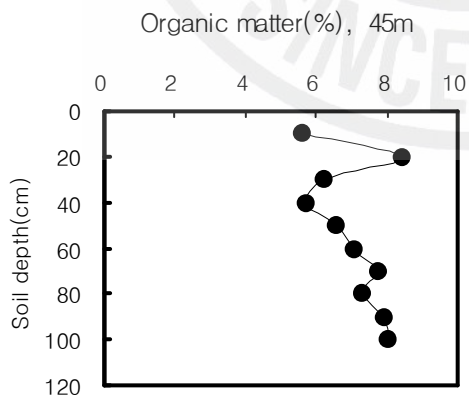
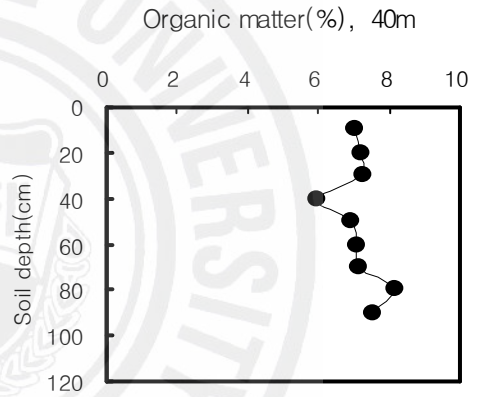
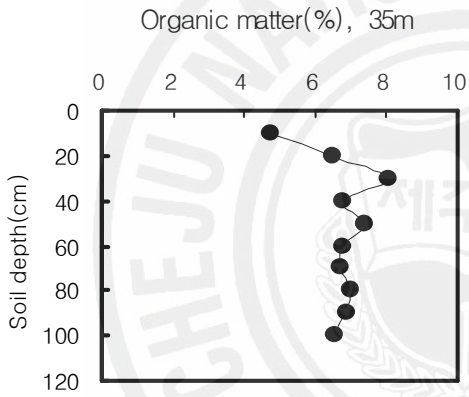
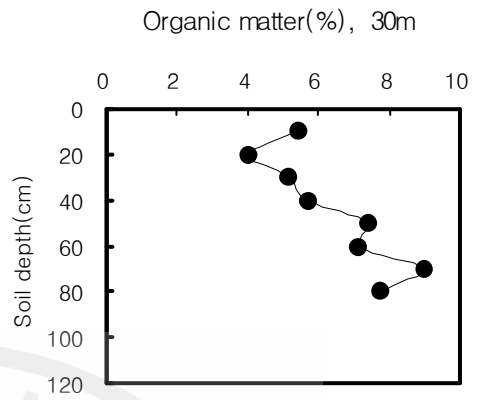
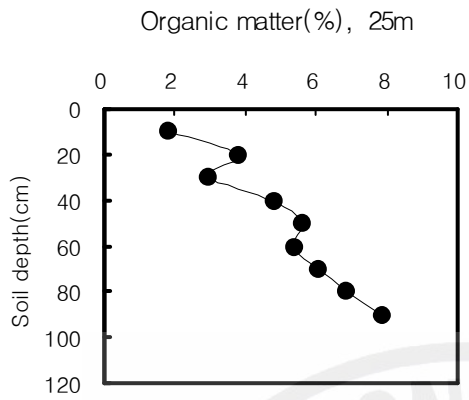
4-2. 토양 깊이에 따른 유기물 함량

유기물 함량은 동식물의 유체가 분해되어 토양에 쌓이는 것이 일반적이나, 제주도의 경우 화산분출시 분출된 화산재가 토양입자와 결합하고 동식물의 유체로부터 유래된 유기물이 화산회성 AI와 결합하여 난분해성 유기물로 집적된다. 따라서 제주지역에서는 화산재가 혼합된 토양에서 유기물 함량이 3% 이상으로 높게 나타나고, 화산재가 혼합되지 않은 토양에서는 3% 이하로 낮아지는 경향을 보인다.

5 m 지점의 하층부와 10 ~ 25 m 지점의 상층부의 유기물 함량은 3% 내외로 낮았다. 반면에 25 m 지점의 50 cm 하층부, 30 ~ 55 m 지점의 전체 층위, 65 m 지점의 60 cm 상층부의 유기물 함량은 6% 내외로 높았다. 70 m 지점

의 50 cm 하층부에서 3%로 서서히 함량이 낮아지면서 75 m 지점의 전체 층 위의 유기물 함량은 3%로 다시 낮아졌다(Fig. 11).





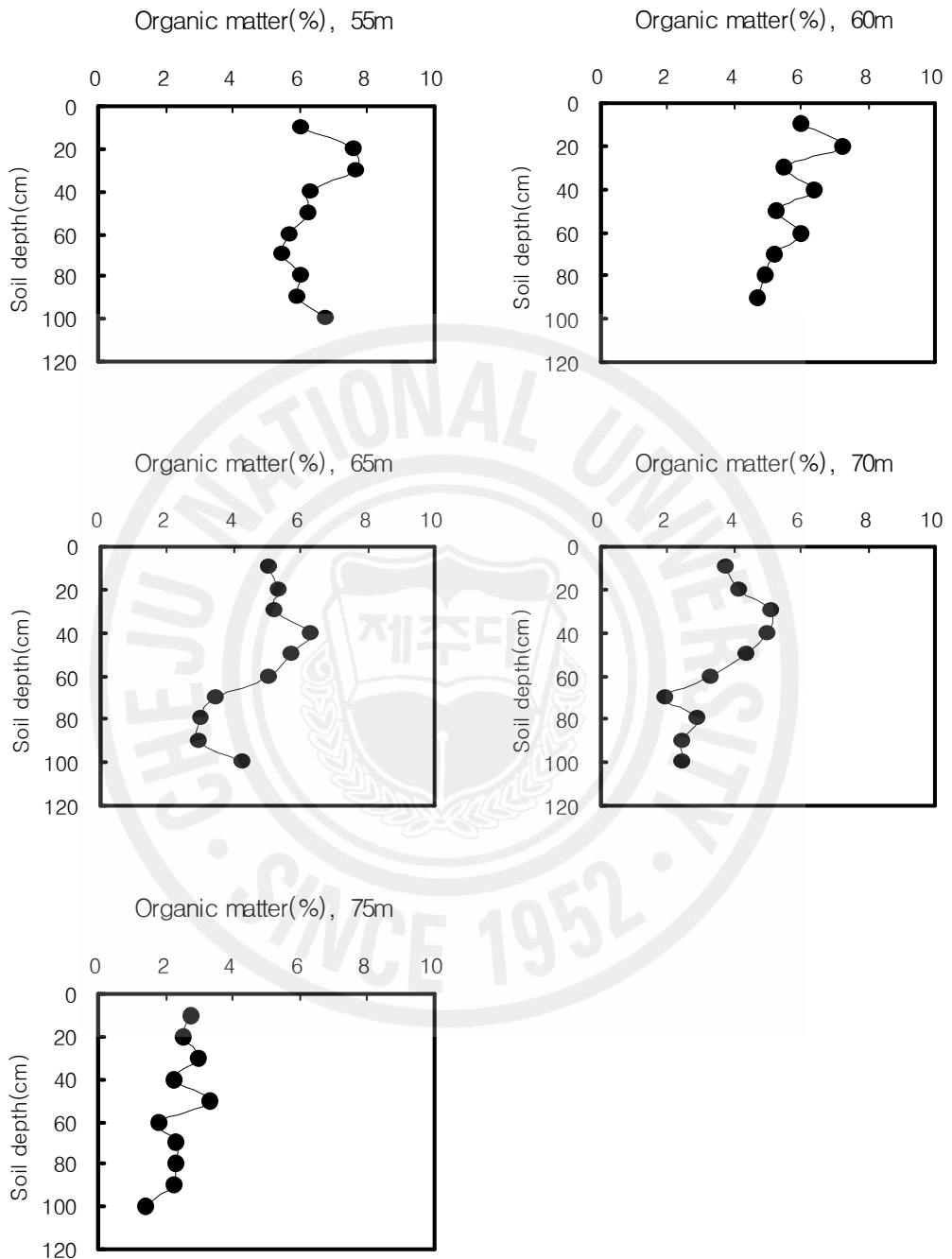


Fig. 11. Organic matter contents at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

5. 유효인산

5-1. 시료채취 지점에 따른 유효인산 함량

토양내 유효인산 함량은 토양 pH나 유기물 함량과 밀접한 관계가 있으며, pH가 낮을 경우 인산의 난용성화에 기인하여 유효인산 함량이 낮게 나타나는 것으로 알려져 있다(진 등, 1994).

백록담 담수지역의 유효인산 함량은 평균 14.7 mg/kg였다. 평균보다 유효인산 함량이 높은 지점은 10 m 지점과 35 ~ 60 m 지점인 담수지역 중심부였으며, 이를 제외한 모든 지점에서 함량이 낮았다(Fig. 12).

이와 같은 결과는 한라산의 토양특성과 황폐화 방지 결과인 11 mg/kg보다는 높은 함량을 보였으나, 전국 산림토양을 대상으로 한 분석 결과의 26 mg/kg보다는 유효인산 함량이 약 2배 정도 낮았다(최 등, 2002; 정 등, 2002).

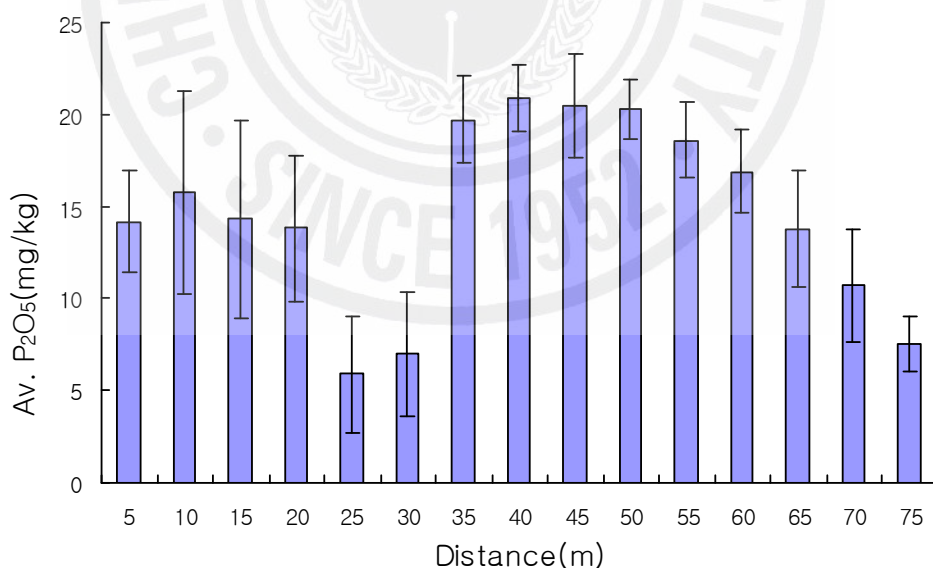
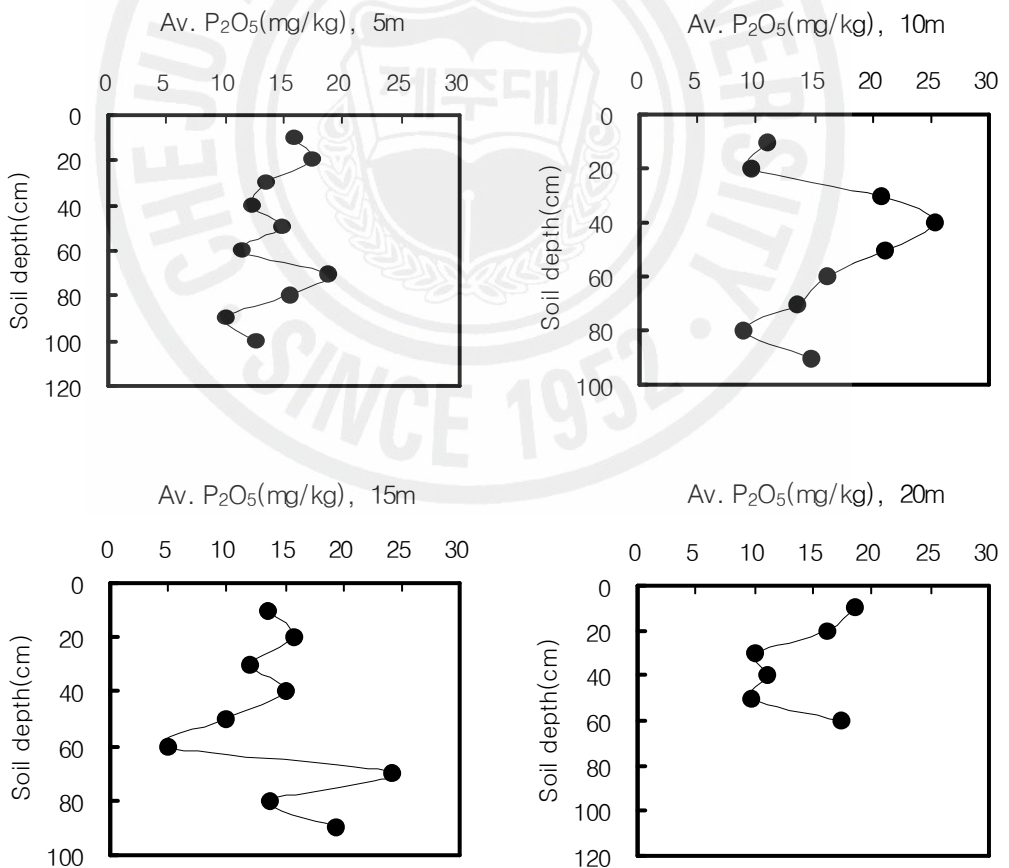


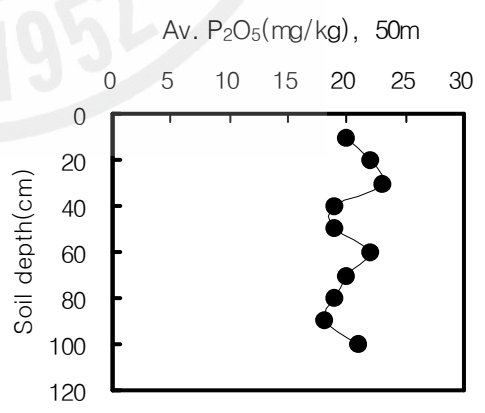
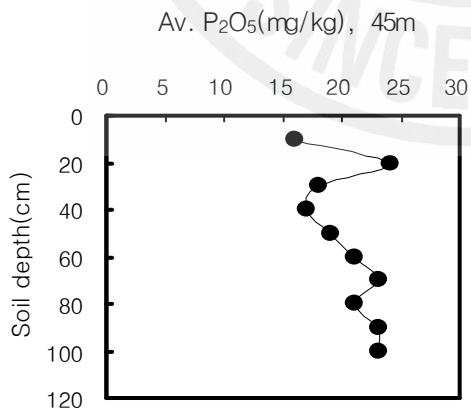
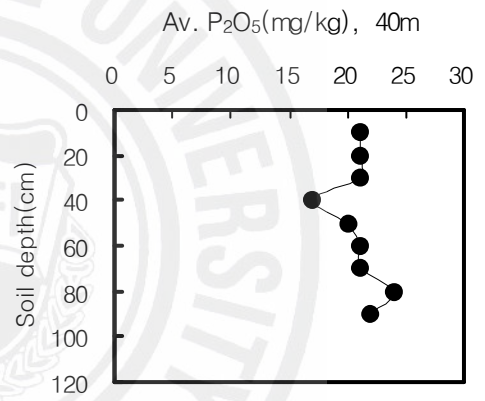
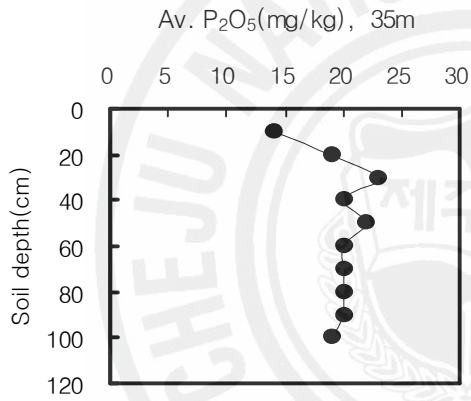
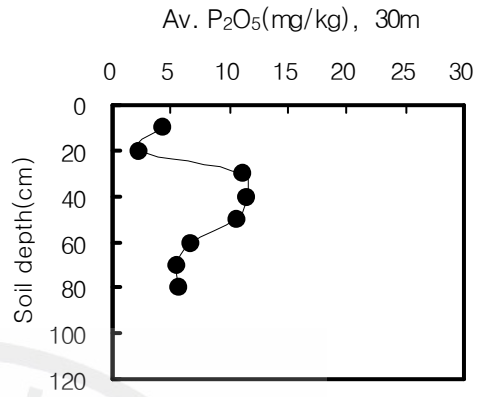
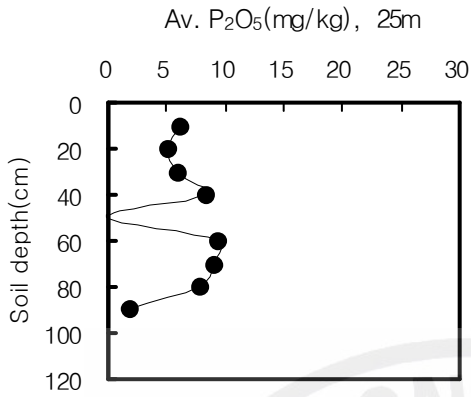
Fig. 12. Average and standard deviation of available phosphate concentrations at different sampling sites.

5~2. 토양 깊이에 따른 유효인산 함량

인산은 토양에 잘 흡착되는 성분으로, 특히 화산회성 토양에 흡착이 강하게 일어나서 이동성이 낮아지며 화산재와 흡착되어 고정되는 성질을 나타낸다.

유효인산 함량은 5 m 지점에서는 15 mg/kg 내외였으며, 10 ~ 15 m 지점에서 10 ~ 25 mg/kg 범위로 함량의 차이가 컸다. 25 ~ 30 m 지점의 유효인산 함량은 10 mg/kg 이하로 매우 낮았다. 35 ~ 60 m 지점의 전체 층위에서 유효인산 함량은 20 mg/kg 내외로 높아졌으며, 이 지점에서 인산의 집적현상이 나타나는 것으로 판단된다. 65 ~ 75 m 지점의 유효인산 함량은 점차적으로 낮아져 75 m 지점의 전체 층위에서는 10 mg/kg 이하였다(Fig. 13).





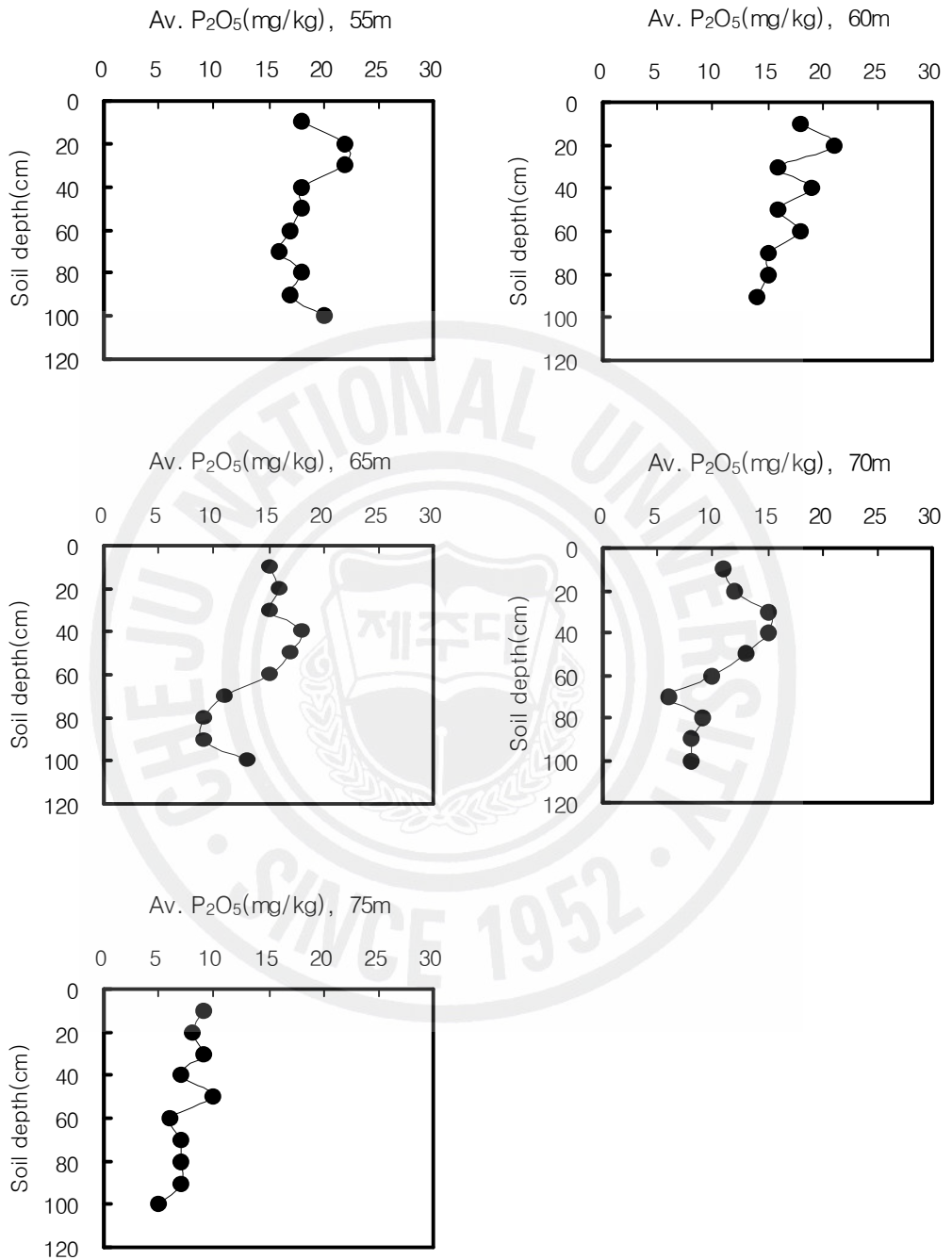


Fig. 13. Available phosphate concentrations at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

6. 치환성양이온

6-1. 시료채취 지점에 따른 치환성양이온 함량

백록담 담수지역의 치환성양이온 K, Ca, Mg 및 Na의 평균함량은 K 0.07 cmol^+/kg , Ca 0.19 cmol^+/kg , Mg 0.07 cmol^+/kg 및 Na 0.12 cmol^+/kg 였다. 치환성 K 함량은 5 ~ 20 m 지점인 담수지역 가장자리에서 평균보다 낮았다 (Fig. 14). 치환성 Ca, Mg 함량은 5 ~ 20 m 지점과 70 ~ 75 m 지점인 담수지역 가장자리에서 평균보다 낮았으며, 25~60 m 지점인 담수지역 중심부에서는 높았다 (Fig. 15, Fig. 16). 치환성 Na 함량은 35 ~ 60 m 지점인 담수지역 중심부에서 평균보다 높았으며, 다른 지점에서는 평균보다 낮았다(Fig. 17). 이와 같은 결과는 이(1981)와 정 등(2002)이 전국 산림토양을 대상으로 조사한 치환성양이온 K, Ca, Mg 및 Na의 평균함량보다도 훨씬 낮았다.

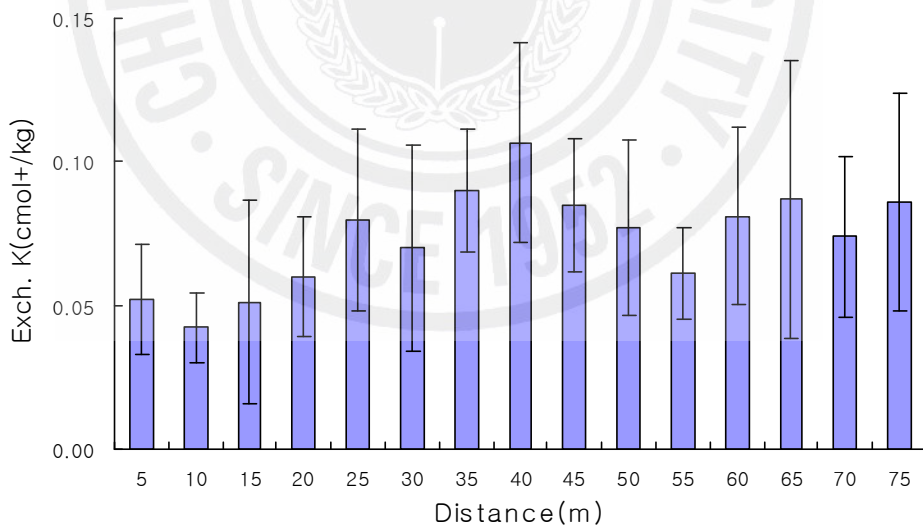


Fig. 14. Average and standard deviation of Exchangeable K contents at different sampling sites.

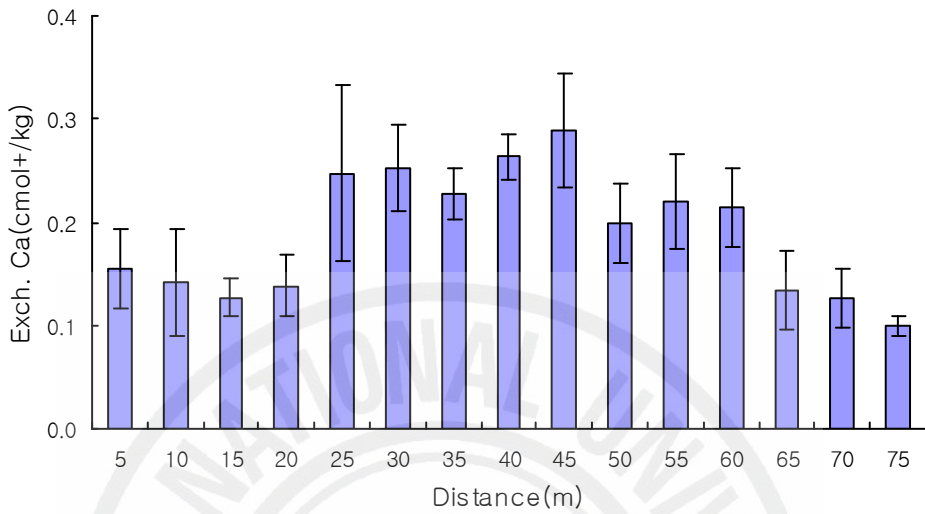


Fig. 15. Average and standard deviation of Exchangeable Ca contents at different sampling sites.

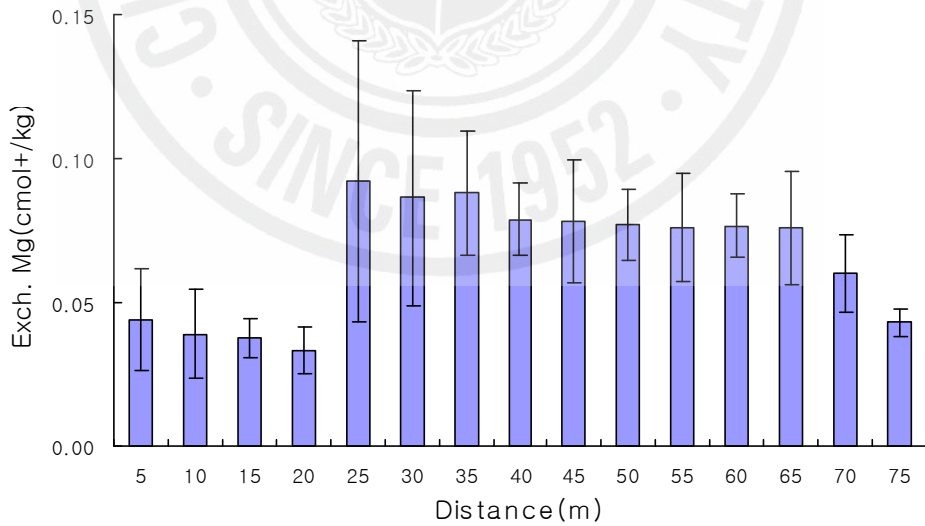


Fig. 16. Average and standard deviation of Exchangeable Mg contents at different sampling sites.

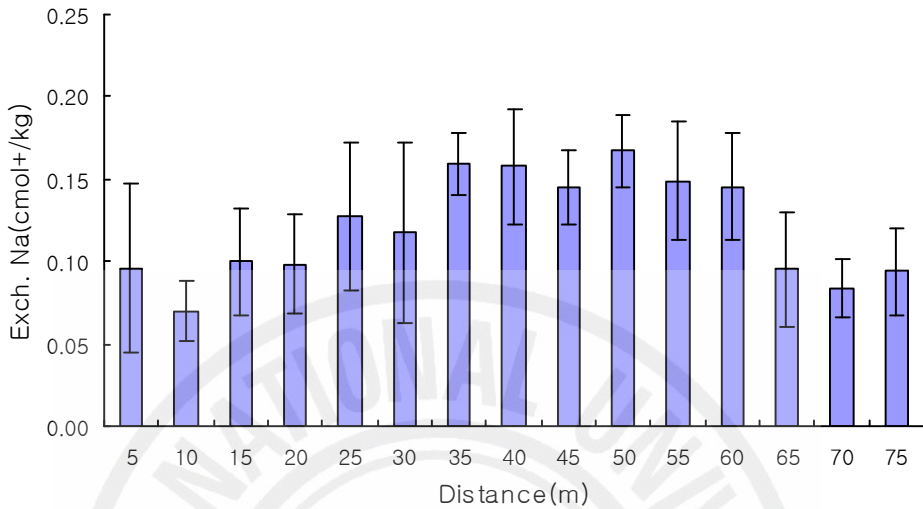


Fig. 17. Average and standard deviation of Exchangeable Na contents at different sampling sites.

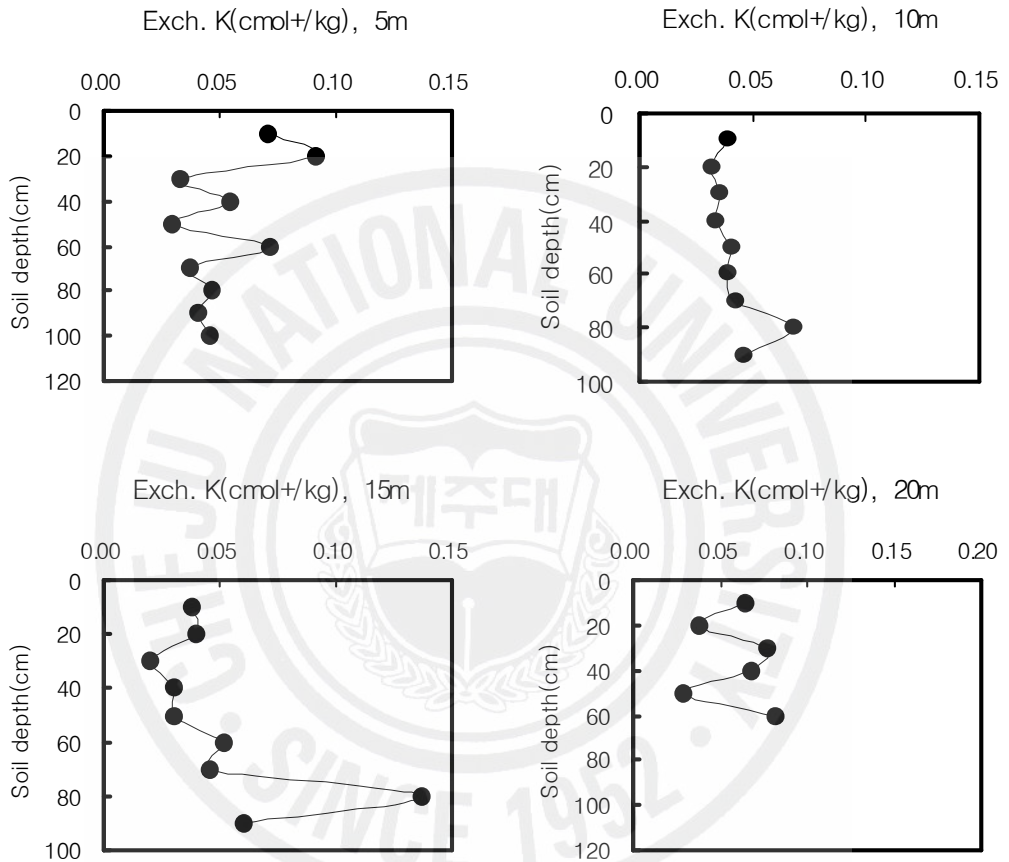
6-2. 토양 깊이에 따른 치환성양이온 함량

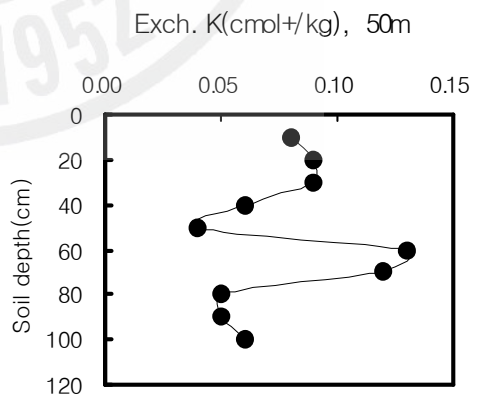
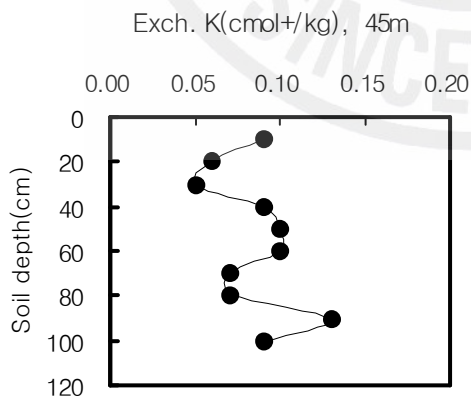
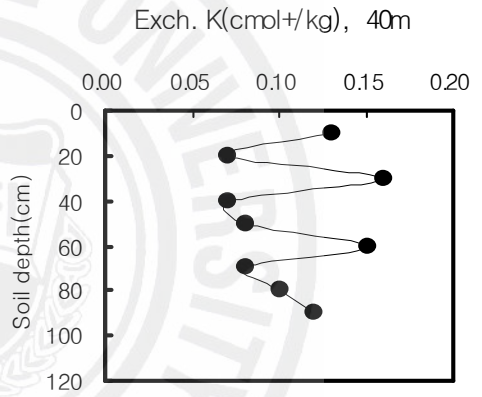
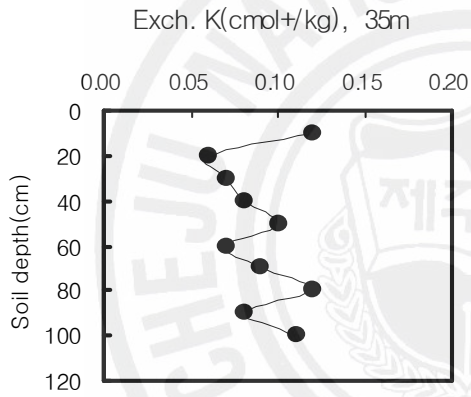
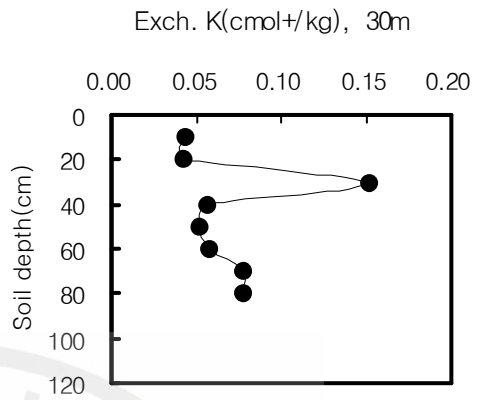
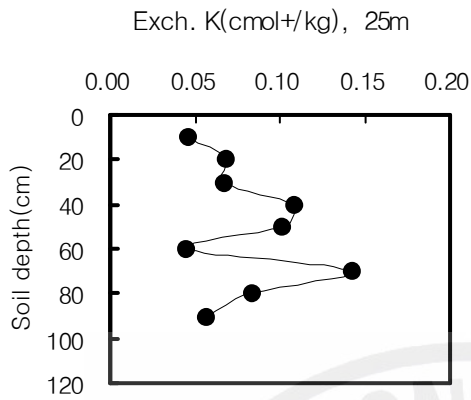
1) 토양 깊이에 따른 치환성 K 함량

치환성 K는 토양표면에 흡착된 K를 말하는 것으로, 양이온 중에서 비교적 쉽게 이동하는 성분에 속하며 치환성 K가 토양에 많이 집적될수록 물이 이동되어 왔음을 의미한다.

치환성 K 함량은 0.02 ~ 0.20 cmol⁺/kg 범위였으며, 층위간 함량의 차이가 컸다. 5 ~ 30 m 지점의 함량은 0.05 cmol⁺/kg 내외였으며, 이는 일반 토양에 비해 아주 낮은 함량이었다. 35 ~ 45 m 지점은 0.1 cmol⁺/kg, 50 ~ 60 m 지점은 0.05 ~ 0.1 cmol⁺/kg의 함량을 보였다. 65 m 지점의 0 ~ 10 cm 깊이에서는 치환성 K가 0.2 cmol⁺/kg로 가장 높은 함량이었으나, 그 이하 층위에서는 0.05 cmol⁺/kg로 낮아졌다가 다시 높아지는 경향을 보였다. 75 m 지점에서의 치환

성 K 함량은 특이한 현상을 보였으며, 전체적으로 층위간 함량의 차이가 매우 심하게 나타났다(Fig. 18).





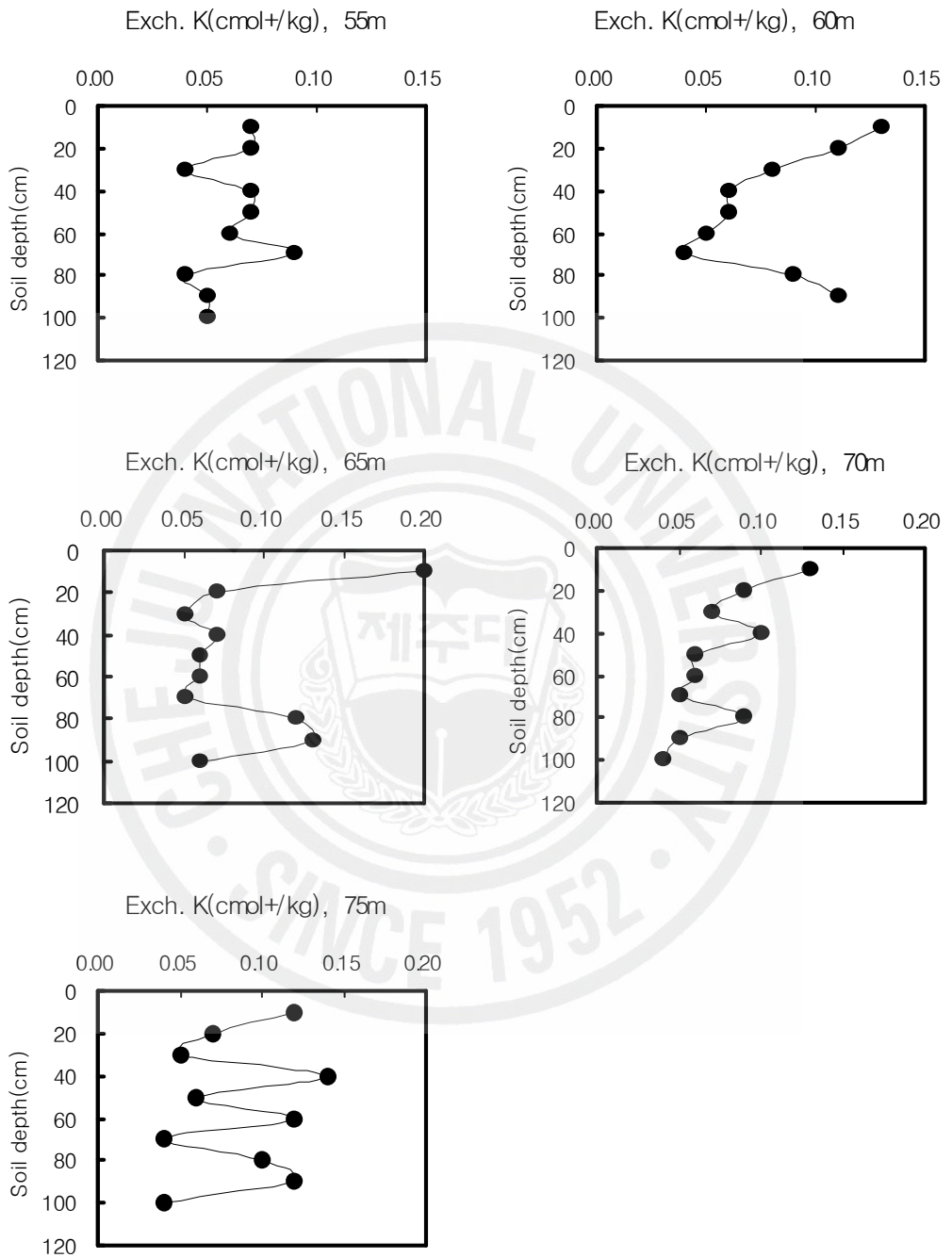
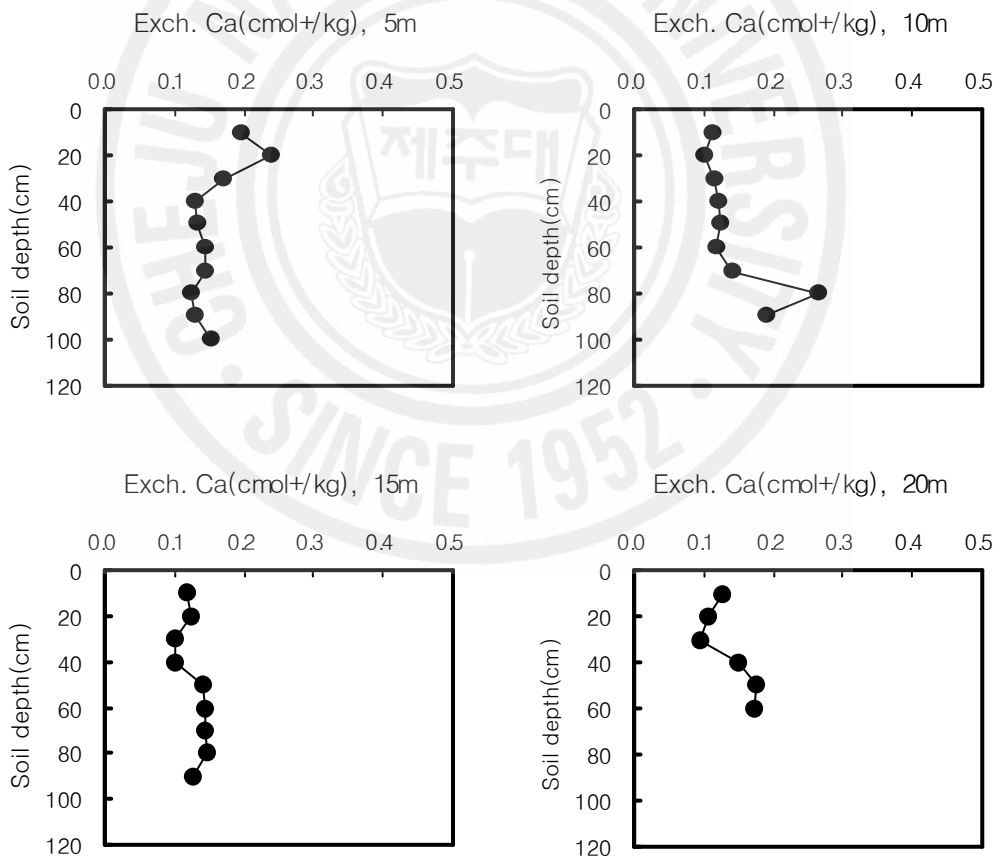
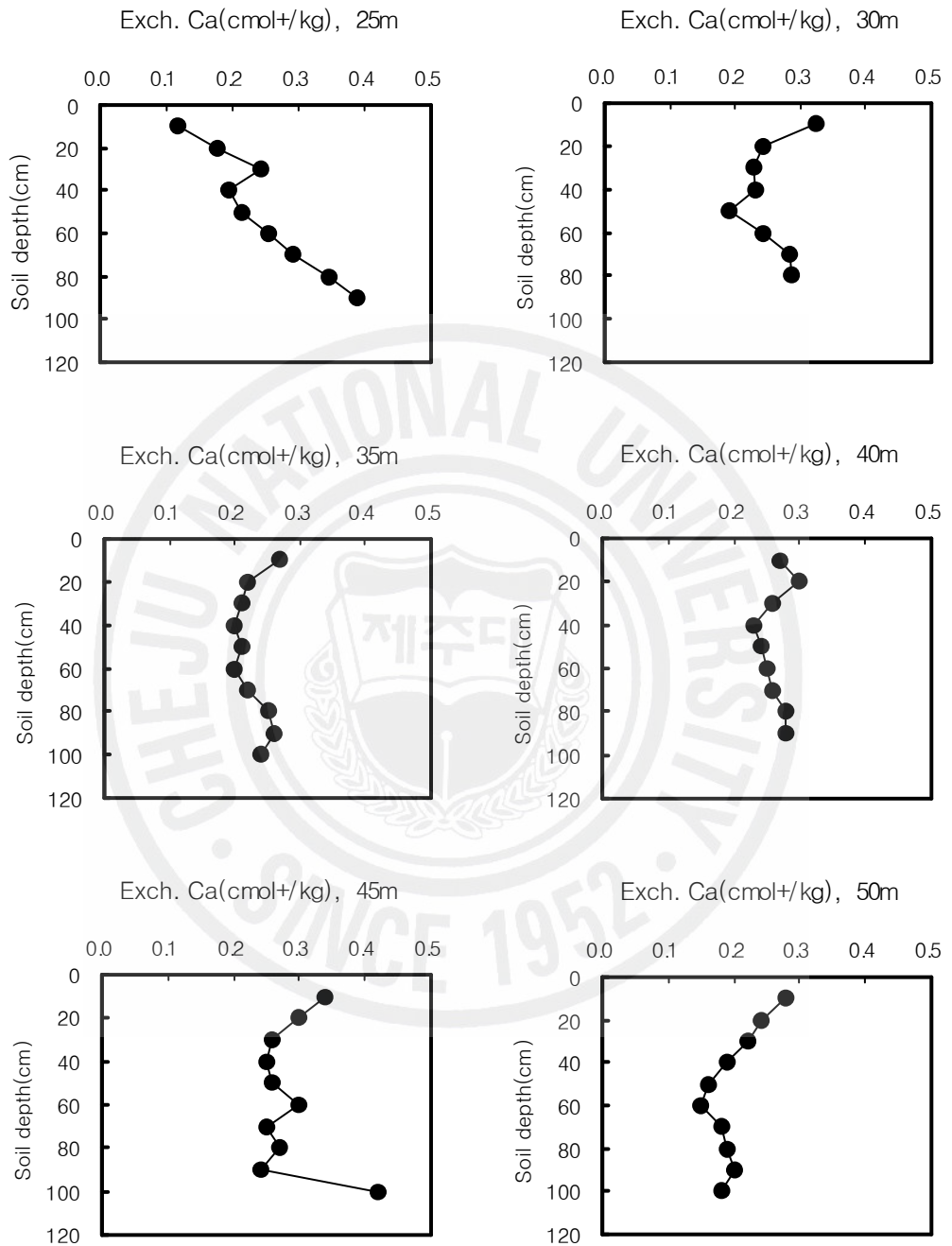


Fig. 18. Exchangeable K contents at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

2) 토양 깊이에 따른 치환성 Ca 함량

치환성 Ca 함량은 전체적으로 0.09 ~ 0.42 cmol^+/kg 범위였다. 5 ~ 15 m 지점의 치환성 Ca 함량은 평균적으로 0.12 cmol^+/kg 내외였다. 20 m 지점의 50 cm 깊이 하층부에서는 함량이 서서히 높아져서 25 m 지점의 80 ~ 90 cm 깊이에서는 0.4 cmol^+/kg 로 매우 높았다. 또한, 30 ~ 60 m 지점의 치환성 Ca 함량은 0.2 ~ 0.3 cmol^+/kg 범위 이상이었으며, 이 지점에서 인산의 집적현상이 나타나는 것으로 판단된다. 반면에 65 ~ 75 m 지점에서는 서서히 함량이 낮아지면서 75 m 지점에서는 0.1 cmol^+/kg 정도로 낮아졌다(Fig. 19).





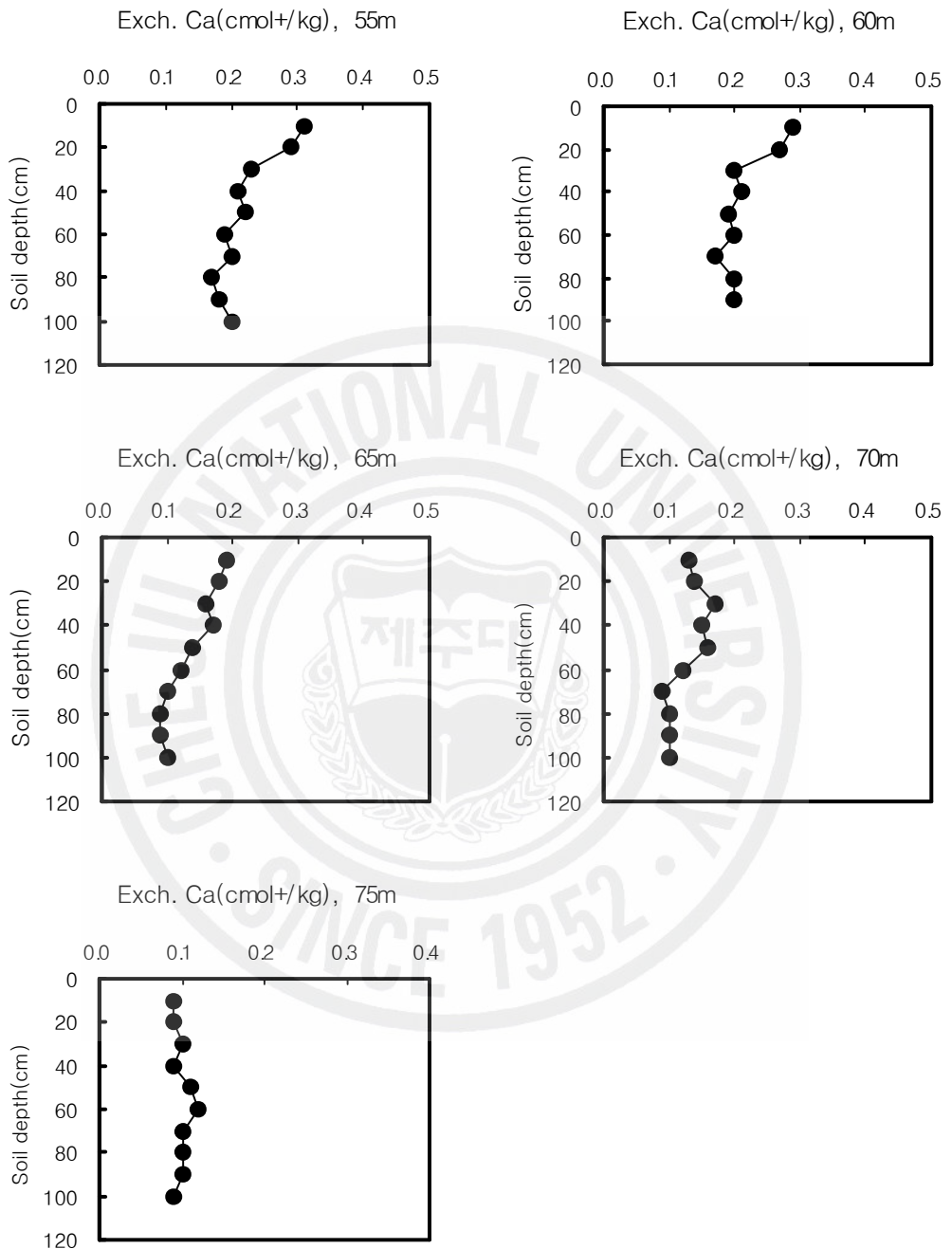
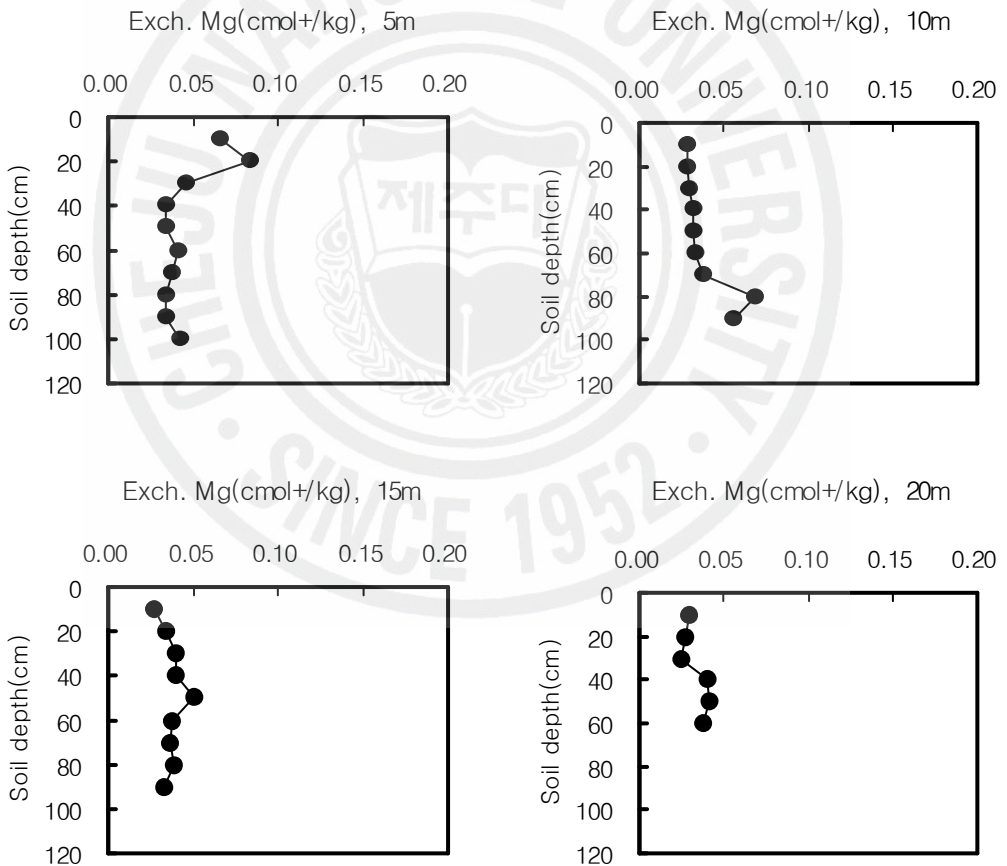


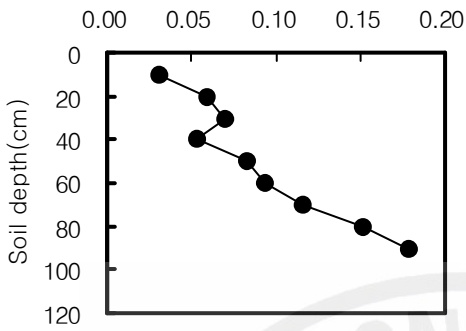
Fig. 19. Exchangeable Ca contents at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

3) 토양 깊이에 따른 치환성 Mg 함량

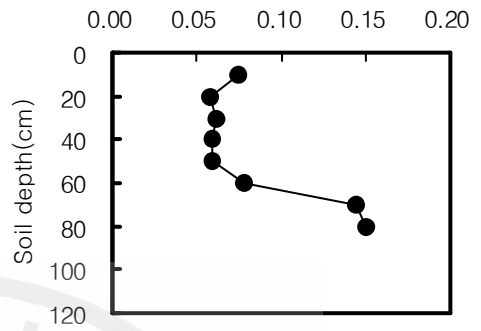
치환성 Mg 함량은 0.02 ~ 0.18 cmol^+/kg 범위였다. 5 m 지점의 0 ~ 20 cm 깊이와 10 m 지점의 70 cm 깊이 이하를 제외하고는 5 ~ 20 m 지점의 치환성 Mg 함량은 0.05 cmol^+/kg 이하로 매우 낮았다. 반면에 25 m 지점의 50 cm 이하 층위에서부터는 함량이 높아지면서 30 ~ 60 m 지점의 치환성 Mg 함량은 0.1 cmol^+/kg 내외였다. 65 ~ 75m 지점에서는 함량이 낮아지면서 0.05 cmol^+/kg 내외였다(Fig. 20).



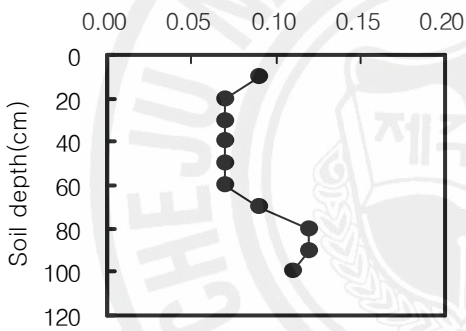
Exch. Mg(cmol+/kg), 25m



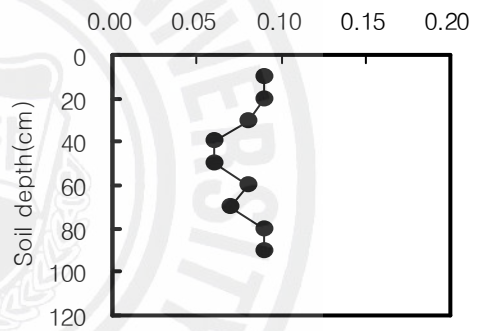
Exch. Mg(cmol+/kg), 30m



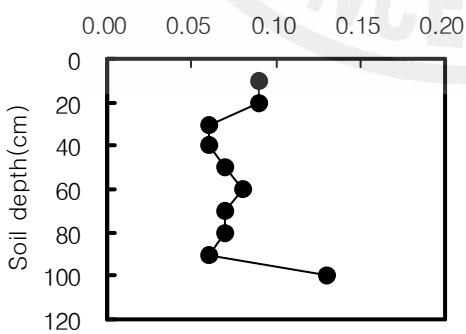
Exch. Mg(cmol+/kg), 35m



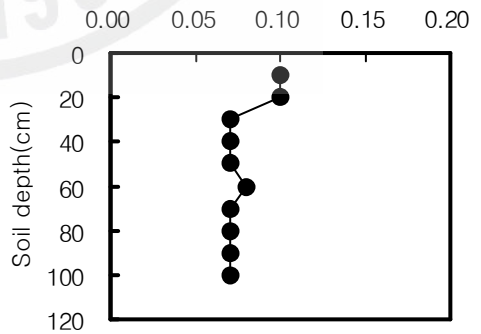
Exch. Mg(cmol+/kg), 40m



Exch. Mg(cmol+/kg), 45m



Exch. Mg(cmol+/kg), 50m



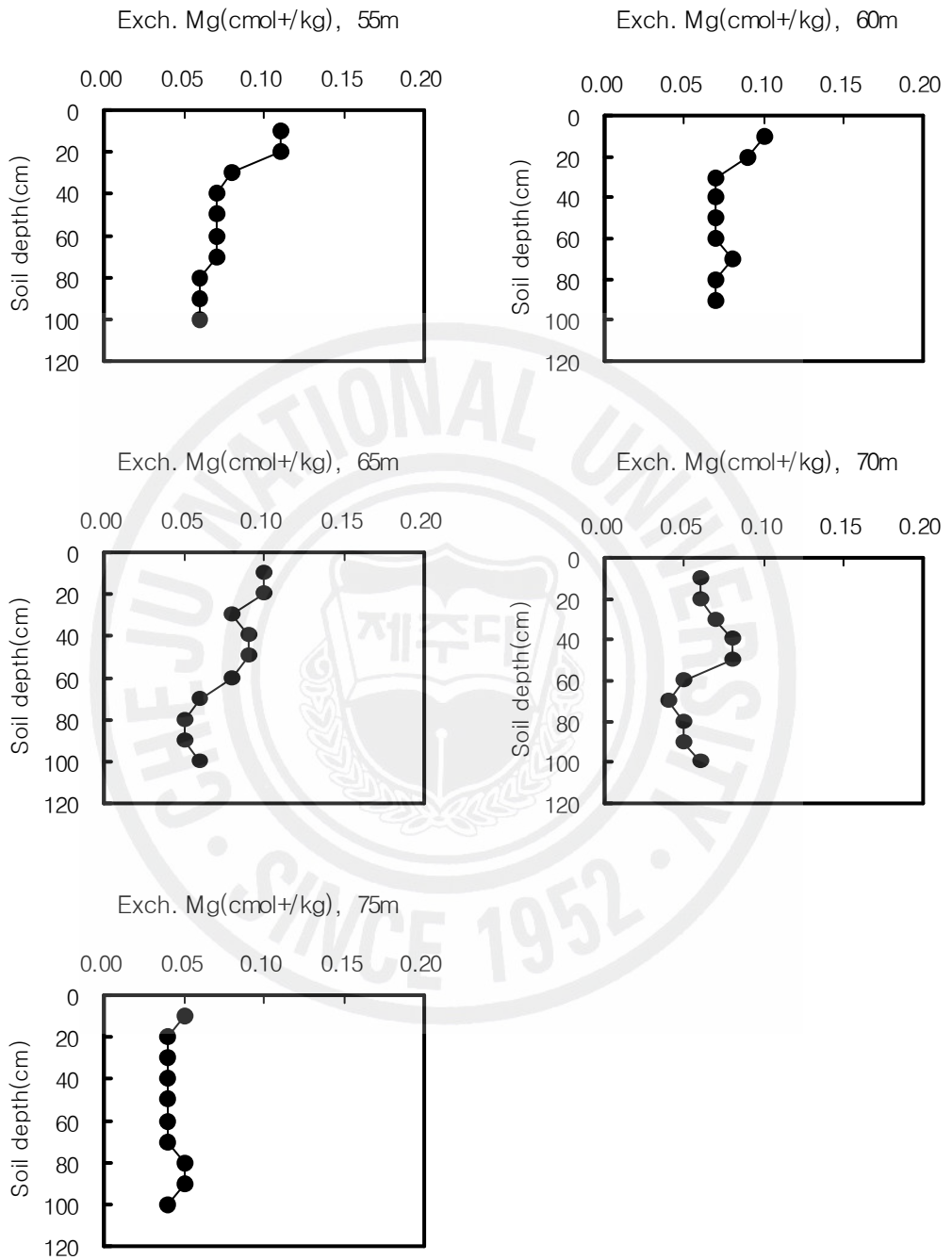
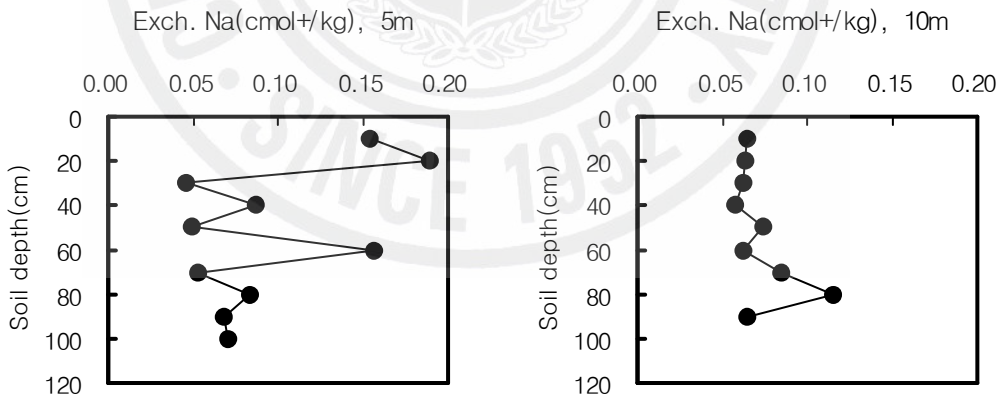


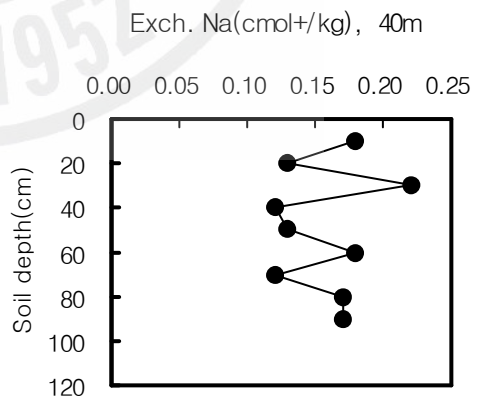
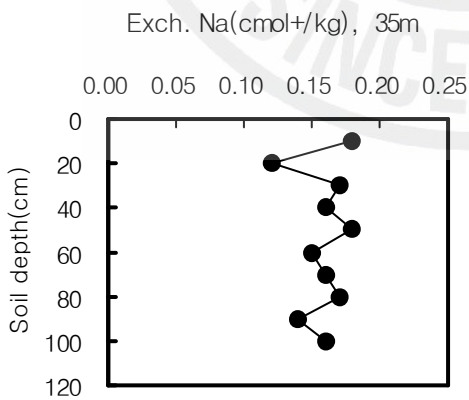
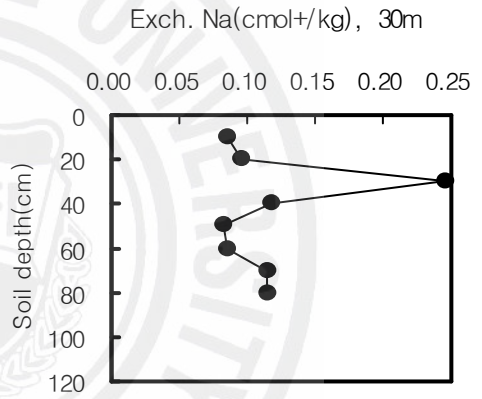
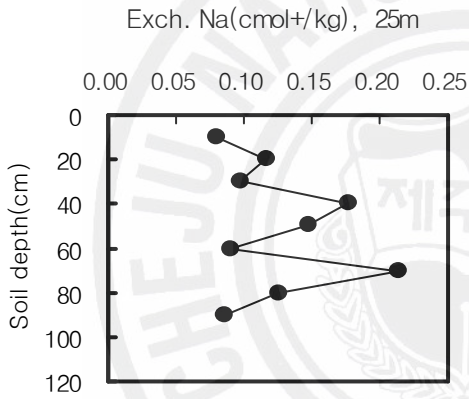
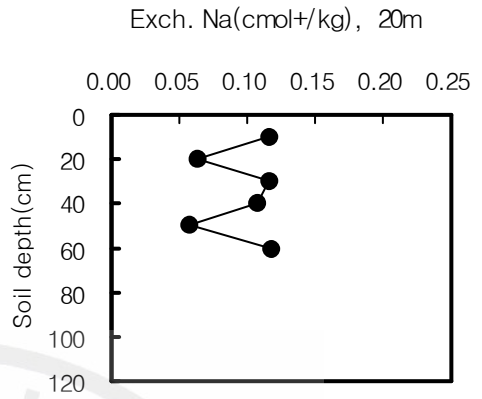
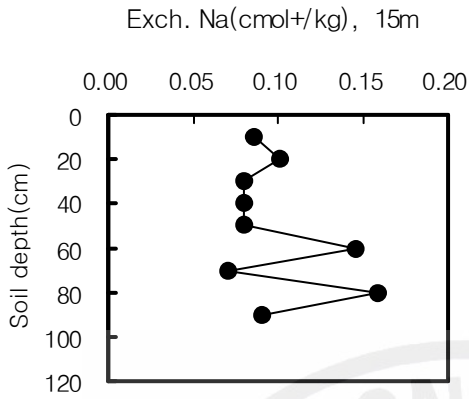
Fig. 20. Exchangeable Mg contents at different soil depth in Baengnokdam crater lake.

4) 토양 깊이에 따른 치환성 Na 함량

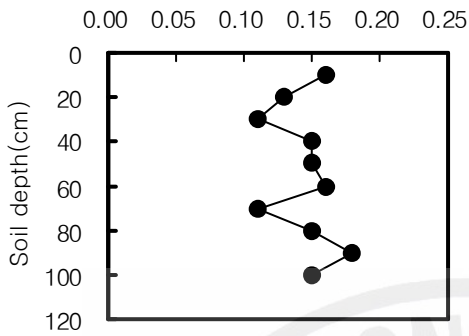
치환성 Na는 토양표면에 흡착되어 있는 Na를 말하며, 토양에서 Na 함량은 인위적인 요인이 가해지지 않았을 때 기준이 되는 원소로 이용되기도 한다. 함량의 변화가 크게 나타났을 때 인위적인 요인이 가해졌음을 예측할 수도 있다. 특히, Na는 바닷물에 의해 영향을 받았을 때 높은 함량을 보이며 백록담과 같이 일반적인 농경행위가 이루어지지 않았을 때 변화가 거의 없는 것이 일반적이고 이동성이 빠르기 때문에 물이 이동되어 모이는 지점에 함량이 높아지는 것이 일반적이다.

치환성 Na 함량은 $0.05 \sim 0.25 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 범위였다. 5 ~ 20 m 지점의 치환성 Na 함량은 $0.09 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 내외였으며, 5 m 지점의 표토층에서는 높은 함량을 보였다. 25 ~ 30 m 지점에서는 깊이에 따른 함량의 차이가 컸다. 35 ~ 60 m 지점의 치환성 Na 함량은 $0.15 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 내외로 높아졌다. 반면에 65 ~ 75 m 지점에서는 표토층을 제외하고는 $0.09 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 로 함량이 낮아졌다(Fig. 21).

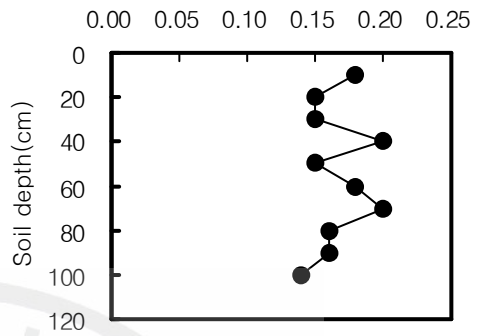




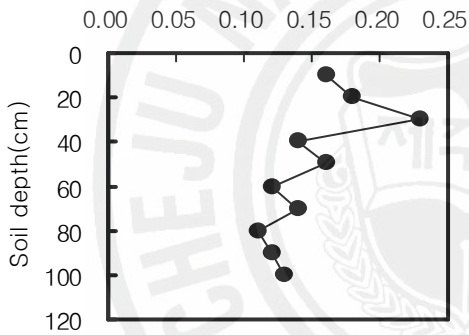
Exch. Na(cmol+/kg), 45m



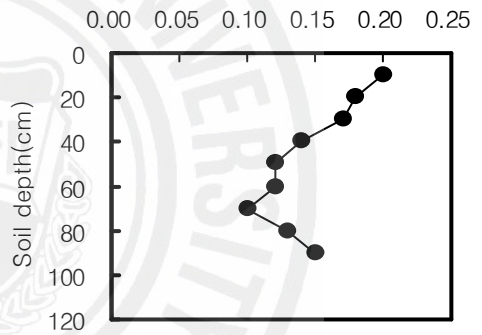
Exch. Na(cmol+/kg), 50m



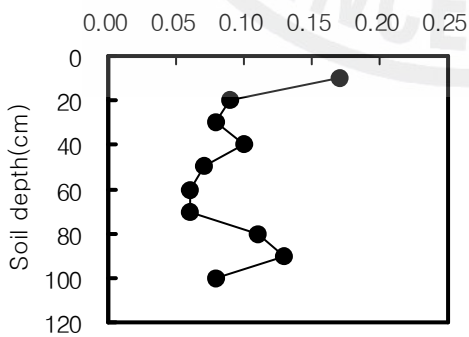
Exch. Na(cmol+/kg), 55m



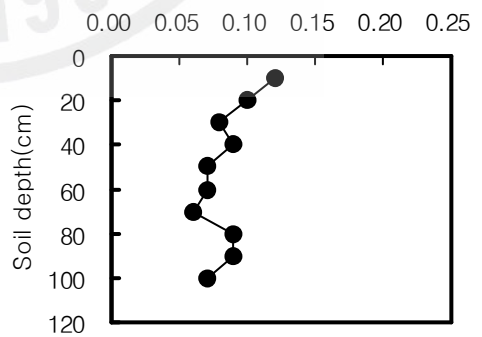
Exch. Na(cmol+/kg), 60m



Exch. Na(cmol+/kg), 65m



Exch. Na(cmol+/kg), 70m



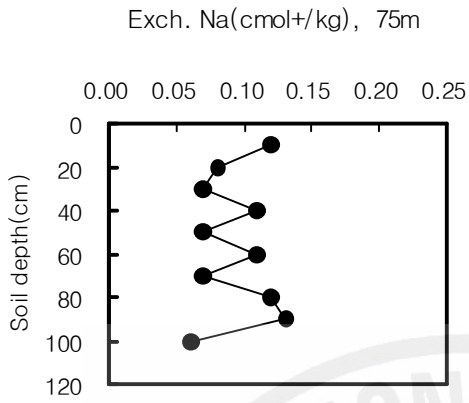
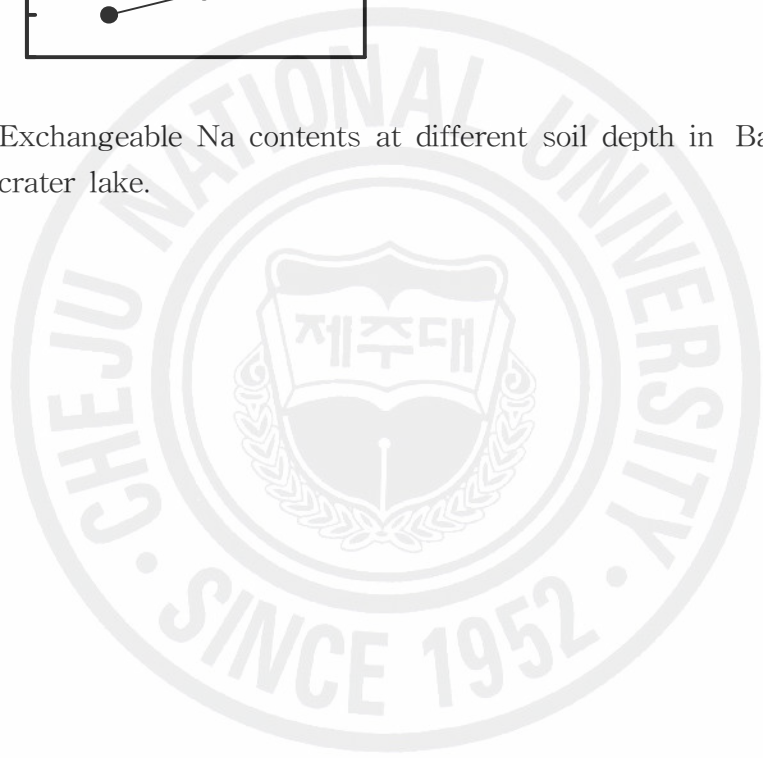


Fig. 21. Exchangeable Na contents at different soil depth in Baengnokdam crater lake.



IV. 요약

본 연구는 백록담 담수지역의 토양깊이 및 채취지점에 따른 화학적 성질을 조사하기 위하여 2004년 9월부터 11월, 2005년 10월부터 11월에 수행하였다. 토양시료는 Cobra 토양채취기를 사용하여 담수지역 가장자리에서 중심부 방향으로 5 m 간격으로 100 cm 깊이로 채취하였다. 채취된 토양의 pH, EC, 유기물함량, 질소, 인산 및 치환성 K, Ca, Mg 및 Na 함량을 분석한 결과는 다음과 같았다.

토양 pH는 4.9 ~ 5.6 범위였으며, 하층부로 갈수록 pH가 높아졌다. 전기전도도는 담수지역 가장자리인 5 ~ 30 m 지점과 65 ~ 75 m 에서는 약 100 μ S/cm이었으며, 담수지역 중심부인 35 ~ 60 m 지점에서는 2배 정도 높았다. 이는 중심부로 물이 이동되면서 용해성 이온이 담수지역 가장자리에서 중심부로 이동한 것으로 생각된다.

치환성양이온 K, Ca, Mg 및 Na도 함량 간에 차이는 있었지만 EC와 같은 경향을 보였다. 10 ~ 20 m 지점의 전질소 함량은 0.2% 이하였으며, 30 ~ 75 m 지점에서는 0.3% 내외의 함량을 보였다. 유효인산도 전질소와 같은 경향을 보였다. 유기물 함량은 담수지역 가장자리인 10 ~ 20 m 지점과 70 ~ 75 m 지점은 평균 3%이하였으나, 담수지역 중심부인 30 ~ 60 m 지점에서는 평균 6% 내외로 높았다.

이상의 결과를 종합하면, 물의 이동으로 인해 토양의 화학적 성분이 백록담 담수지역 가장자리에서 중심부로 이동되어 집적되는 현상이 뚜렷하였다.

V. 참고 문헌

- Bower, C. A., M. Fireman, and R. F. Reitemeier. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73:251-261.
- Bray, R. H., and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Kim, J. O., C. H. Lee, and I. J. Ji. 2001. A Study on Characteristics of Surface Water and Soil in Wangdungjae Wetland at Chiri-Mountain. *Journal of Institute of Environmental Protection, Gyeongsang National Univ.* vol. 9:49-59.
- Luque, J. A., and Julia, R. 2002. Lake sediment response to land-use and climate change during the last 1000years in the oligotrophic Lake Sanabria(northWest of Iberian Peninsula). *Sedimentary Geology.* 148:343-355.
- Royall, D. 2001 Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. *Catena.* 46:15-34.
- 고정균. 2002. 한라산 아고산대의 훼손지복구 및 식생복원. 한라산연구소 조사 연구보고서 창간호. pp. 1-15.
- 고정선, 윤성호, 강순석. 2003. 제주도 한라산 백록담 분화구 일대 화산암류의 암석학적 연구. *암석학회지.* 12(1):1-15.
- 김태호. 2001. 한라산 백록담 화구저의 유상구조토. *대한지리학회.* 36:233-246.
- 김태호. 2002. 한라산의 지형경관. *제주대학교 기초과학연구지.* 15(1):15-28.
- 국립산림과학원. 2004. 한국의 산림입지. *웃고문화사.* pp.3-99.
- 국립산림과학원. 2005. 산림토양단면도집. *웃고문화사.* pp.4-143.

- 남정만. 2001. 백록담 분화구 사면안정화. 백록담 담수화 및 훼손지 복구 방안
 심포지엄 자료집. pp. 65-80.
- 농업기술연구소. 1986. 한국의 전토양. 농촌진흥청 농업기술연구소.
- 농촌진흥청 농업기술연구소. 1976. 제주도토양정밀도. 광명인쇄사.
- 농촌진흥청 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 450pp.
- 농촌진흥청 농업기술연구소. 1992. 한국토양총설.
- 류순호, 송관철. 1984. 제주도 토양의 화학적 특성 조사연구- I. 지대별 화학적
 특성 변화. 한국토양비료학회. 17(1):1-6.
- 박창서, 김이열, 조성진. 1985. 화산회토 분류 및 CEC에 대한 유기물과 점토의
 기여도. 1985. 한국토양비료학회. 18(2):161-168.
- 박창서, 엄기태, 김이열. 1984. 토색분류에 의한 제주도 토양의 변이분석. 한국
 토양비료학회. 17(2):141-146.
- 서재철. 2002. 백록담 못은 왜 마를까?. 한라산연구소 조사연구보고서 창간호.
 pp.169-172.
- 송관철, 유순호. 1991. 제주도 대표토양의 Andic 특성에 관한 연구 - I. 선택적
 추출방식에 의한 화산회토의 특성 구명. 한국토양비료학회. 24(2):86-96.
- 송관철, 유순호. 1991. 제주도 대표토양의 Andic 특성에 관한 연구 - II. 전하
 특성. 한국토양비료학회. 24(4):241-247.
- 송관철, 유순호. 1994. 제주도 대표토양의 Andic 특성에 관한 연구 - III.
 Allophane 생성기작. 한국토양비료학회. 27(3):149-157.
- 이동영. 1994. 한국의 영산 한라산. 제주도. pp. 69-76.
- 윤선. 1995. 제주도 형성사. 제주도. 98:148-164.
- 윤성효. 2001. 백록담 분화구의 지질구조. 한라산연구소 심포지엄 자료집. pp.
 5-32.
- 윤성효, 고정선, 강순석. 2002. 백록담 분화구 일대 화산암류의 화산지질학적
 연구. 한라산연구소 조사연구보고서 창간호. pp. 137-167.

- 이상규, 차규석, 김인택. 1983. 제주도 토양의 이화학적 특성 및 유기물 성상에 관한 연구. 한국토양비료학회. 16(1):20-27.
- 이수옥. 1980. 한국의 삼림토양에 관한 연구(I). 한국임학회지. 47:52-61.
- 이수옥. 1981. 한국의 삼림토양에 관한 연구(II). 한국임학회지. 54:25-35.
- 정영호. 2001. 백록담 분화구의 수리·수문학적 특성. 백록담 담수화 및 훼손지 복구 방안 심포지엄 자료집. pp. 65-80.
- 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지. 91(6):694-700.
- 정진현, 김춘식, 구교상, 이충화, 원형규, 변재경. 우리나라 산림토양의 모암별 이화학적 특성. 한국임학회지. 92(3):254-262.
- 제주도. 2000. 한라산 기초조사 및 보호관리계획수립.
- 제주도. 2000a. 서귀포·하호리도폭 지질보고서. 제주도.
- 제주도. 2000b. 자연친화적인 한라산 삭도설치 타당성조사. 제주도.
- 제주도민속자연사박물관. 2000. 제주토양원색도감. 일신옵셋인쇄사. 191pp.
- (주)선진엔지니어링종합건축사사무소. 1993. 한라산 백록담 담수적량 보전용역. 한라산국립공원관리사무소 용역보고서. pp. 79-81.
- 진승환, 고정균. 2006. 한라산 정상일대 강우량에 따른 백록담 담수 수위변화. 한라산연구소 조사연구보고서 제5호. pp. 109-120.
- 최경, 구교상, 신수철, 염규진, 조병훈, 이윤영. 2002. 한라산의 토양특성과 황폐화 방지. 임업연구원 제주임업시험장. pp. 49-65.
- 한라일보 한라산학술대탐사. 2003. 백록담 담수조사. 한라산학술대탐사. 한천. 한라일보사. pp. 249-267.
- 현해남, 오상실, 고성학. 1994. 제주도 지하수중 오염물질의 농도와 토양중 그의 행동에 관한 연구. 한국환경농학회. 13(1):19-30.
- 현해남, 장공만, 김현철, 고정균, 오상실. 2003. 백록담 분화구 토양에서의 누수 현상 해석(I). 한라산연구소 조사연구보고서 제2호. pp.111-126.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 논문의 깊이와 넓이보다도 먼저 진실성을 강조하시며 편달해주신 현해남 지도교수님께 진심으로 고개 숙여 감사를 드립니다.

아울러 제가 미처 생각하지 못하고 지나쳤던 부분들을 꼼꼼히 지적 해주신 고정삼 교수님, 김찬식 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 학부 및 조교를 거치면서 저에게 큰 가르침을 주신 김형옥 명예교수님, 강순선 명예교수님, 유장걸 교수님, 류기중 교수님, 이효연 교수님, 김소미 교수님께도 더불어 감사의 마음을 전합니다. 이루 다 말할 수 없지만 조교시절 함께 했던 교직원 선생님과 조교 선생님, 양권민 조교에게도 고맙다는 말씀을 드립니다.

한라산은 저에게 쉽게 길을 내주지 않았습니다. 변화무쌍한 날씨와 체력과의 싸움은 저를 힘들게 했지만, 뜻이 있는 곳에 길이 있다고 무사히 임무를 수행할 수 있었습니다. 같이 고생하면서 밤을 샜던 후배 장공만 선생을 비롯해 최경훈, 현은탁, 김병주, 오승현, 고태훈, 오정협, 고희민과 토양환경연구실 정옥철, 윤지용에게도 고마움을 전합니다.

언제나 진지한 조언과 지원을 아끼지 않으셨던 강태희 소장님을 비롯해서, 할 수 있다는 신념과 학문의 겸손을 느끼게 해주신 고정군 박사님과 오장근 박사님, 저에 대해 배려를 해주신 신용만 주사님, 고윤정 주사님, 김현철 연구원, 진승환 연구원, 김홍림 연구원, 조병창, 이영돈 그리고 새로운 식구인 김인국 주사님, 고희종 주사님, 변희수 주사님, 진일석 주사님께도 감사를 드립니다.

한라산국립공원 이광춘 소장님, 환경녹지과 서영균 과장님, 영실지

소 정평삼 지소장님, 수목시험소 김철수 소장님께도 지면을 빌어서 감사를 드리오며, 한라산국립공원 직원여러분께도 고마움을 전하고 싶습니다. 이외에도 지면에 없다고 섭섭해 하시지 마시고 넓은 아량으로 이해바라며, 저에게 도움을 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

부모님께 제대로 호강시켜 드리지도 못하고 항상 걱정만 안겨드려서 너무나 죄송스럽습니다. 장인어르신, 장모님도 지켜봐 주십시오. 잘 살겠습니다. 부족한 저이지만 조금이나마 은혜를 갚을 수 있도록 오래오래 건강하시기를 바랍니다.

서방님이 고생하는 데 집에 있을 수 없다고 늦게까지 벅을 삼아준 사랑하는 안사람 수선에게 고마움을 전하며 힘들어도 조금만 더 참아달라고 감히 말하며 이 논문을 전합니다.

