

# 오대산의 소황병산늪과 질피늪의 토양 특성 및 습지 연대 분석<sup>1a</sup>

임성환<sup>2</sup> · 최성철<sup>2</sup> · 황정숙<sup>2</sup> · 최덕균<sup>2</sup> · 추연식<sup>2\*</sup>

## Soil Characteristics and Age Estimation of Sohwangbyung Wetland and Jilmoi Wetland in Mt. Odae<sup>1a</sup>

Sung-Hwan Lim<sup>2</sup>, Sung-Chul Choi<sup>2</sup>, Jeong-Sook Hwang<sup>2</sup>, Deok-Gyun Choi<sup>2</sup>, Yeon-Sik Choo<sup>2\*</sup>

### 요약

본 연구는 오대산 국립공원 내 이탄습지로 알려진 소황병산늪과 질피늪을 대상으로 토양의 이화학적 특성을 파악하고, 두 습지의 생성 연대를 추정하기 위하여 토양시료를 채취하여 분석하였다. 소황병산늪과 질피늪의 토양 pH는 평균 5.5로 조사 시기 및 식물군락에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 총이온 함량은 식물군락에 따른 차이를 보이고 있지만, 각 식물 군락 내에서 조사 시기에 따른 차이를 보이지 않았다. 총이온 함량과 마찬가지로 치환성 양이온인 Na, K과 Mg 함량 또한 식물 군락에 따른 차이를 보였지만, 조사 시기에 따른 함량 차이를 보이지 않았다. 다른 양이온과는 달리 Ca 함량은 식물군락과 조사 시기에 따라 유의한 차이를 나타내었다. 유기물 함량과 총질소 함량은 식물군락에 따라 현저한 차이를 보였으며, 특히 물이끼(*Sphagnum palustre*)가 분포하는 지점에서 두 습지 모두 낮은 함량을 나타내었다. 위의 결과를 바탕으로 소황병산늪과 질피늪은 약산성의 bog 습지로 생각되며, 두 습지 토양의 생성 연대를 분석한 결과 소황병산늪은 AD 100년 그리고 질피늪은 AD 1448년으로 조사되어 소황병산늪의 생성연대는 AD 100년 그리고 질피늪은 AD 1448년 이전에 습지가 형성되어졌을 것으로 추정된다.

주요어: 이탄습지, 토양 pH, 치환성 양이온, 유기물, 총질소

### ABSTRACT

In order to identify soil characteristics and to estimate the age of wetland, soil samples of Mt. Sohwangbyung wetland and Jilmoi wetland known as peatland in Odaesan National Park were collected and analyzed. Soil pH of Mt. Sohwangbyung wetland and Jilmoi wetland showed average pH of 5.5, and did not show any significant difference according to the time and plant community. Total ionic content of soil showed different values among plant communities, but no difference by time in each plant community. Soil exchangeable cations such as Na, K and Mg showed a similar pattern of total ionic content. Unlike other cations, however, Ca content showed significant differences according to the plant community and time. Soil organic matter and total nitrogen contents showed remarkable differences according to plant community, and especially showed very low values at the place where *Sphagnum palustre* distributes. Based on the results of the above, Mt. Sohwangbyung wetland and Jilmoi wetland can be considered as weakly acidic bog. From age analysis, two wetlands are estimated to have been formed before 100 AD for Mt. Sohwangbyung wetland and 1448 AD for

1 접수 2012년 11월 26일, 수정 (1차: 2013년 7월 12일, 2차: 2013년 8월 27일), 게재확정 2013년 8월 28일

Received 26 November 2012; Revised (1st: 12 July 2013, 2nd: 27 August 2013); Accepted 28 August 2013

2 경북대학교 생물학과 Dept. of Biology, Kyungpook Nat'l Univ., 80 Daehakro, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea (eco3157@knu.ac.kr)

a 이 논문은 한국연구재단 일반연구자 지원 사업과 2012학년도 경북대학교 전임교원 연구년 교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: yschoo@knu.ac.kr

Jilmoi wetland, respectively.

**KEY WORDS: PEATLAND, SOIL pH, EXCHANGEABLE CATION, ORGANIC MATTER, TOTAL NITROGEN**

## 서론

지구 온난화로 대변되는 기후변화는 북반구의 이탄토양 지대에 있어 큰 변화의 요인으로 대두되고 있다(Alm *et al.*, 1999). 우리나라에는 툰드라 지대와 같은 거대한 이탄토양 지대는 존재하지 않지만, 중층이상의 산지습지에서 이탄토양이 발견되고 있다. 최근까지 이탄습지는 쓸모없는 땅으로 인식되어 유기물이 풍부한 이탄토양을 이용하기 위하여 배수되고 개간되어 많은 습지가 농경지로 전환되어 왔다. 그러나 최근 습지에 대한 다양한 연구가 진행되면서 습지를 개발의 대상이 아닌 중요한 보호 대상으로 인식의 전환이 일어나고 있으며, 특히 2008년 10월 경남 창원에서 개최된 람사르 총회는 습지의 중요성에 대한 전국민적 관심을 이끌어내기도 하였다. 전반적으로 습지에 대한 인식이 향상되었지만, 산지에 나타나는 이탄습지에 대해서는 관심이 적을 뿐만 아니라 북방계 식물의 서식처 내지는 특이한 식생이 나타나는 곳으로만 인식되고 있다. 또한 학문적 접근에 있어서도 현존식생 및 고식생 등의 연구와 습지생성에 대한 연구가 주를 이루고 있어, 습지를 구성하는 이탄토양의 특성에 대한 연구와 이탄토양을 기반으로 해서 살아가는 식물

의 생리생태학적 특성 특징에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

특히 최근에는 지구온난화의 영향으로 탄소배출에 대한 관심이 점차 증가하고 있으며, 기후변화에 대해 탄소 배출권이라는 경제적 측면으로 관심이 고조되고 있다. 이에 탄소 저장고로서의 중요한 역할을 담당하고 있는 이탄토양에 대한 관심이 높아지고 있으며, 툰드라를 중심으로 한 이탄토양에서 배출되는 탄소에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 오고 있다(Harriss *et al.*, 1982; Whalen and Reeburgh, 1992). 실제 지구상에 존재하는 이탄토양은 0.25%에 불과하지만, 이들이 가지는 탄소 저장 능력은 지구 탄소의 2.1%에 이르는 것으로 알려져 있다(Vitt *et al.*, 2000). 특히 북반구의 이탄층이 가지는 탄소의 함량은 지구 토양이 가진 탄소의 1/3에 이른다. 그러나 지구온난화로 인한 이탄지대의 지속적인 온도변화는 다양한 호기적·혐기적 분해 양상에 영향을 미치며, 이는 이산화탄소와 메탄과 같은 토양가스의 흐름에 영향을 주며(Kettunen *et al.*, 1996), 특히 메탄가스의 경우 이산화탄소보다 약 23배의 온실효과를 가지는 것으로 알려져 있다(Koelbener *et al.*, 2010). 또한, 근권에서의 탄소의 방출은 지구 시스템에 있어 동화되는 탄소의 40%에 이르는 것으로 알려져 있다(Grayston *et al.*, 1996).

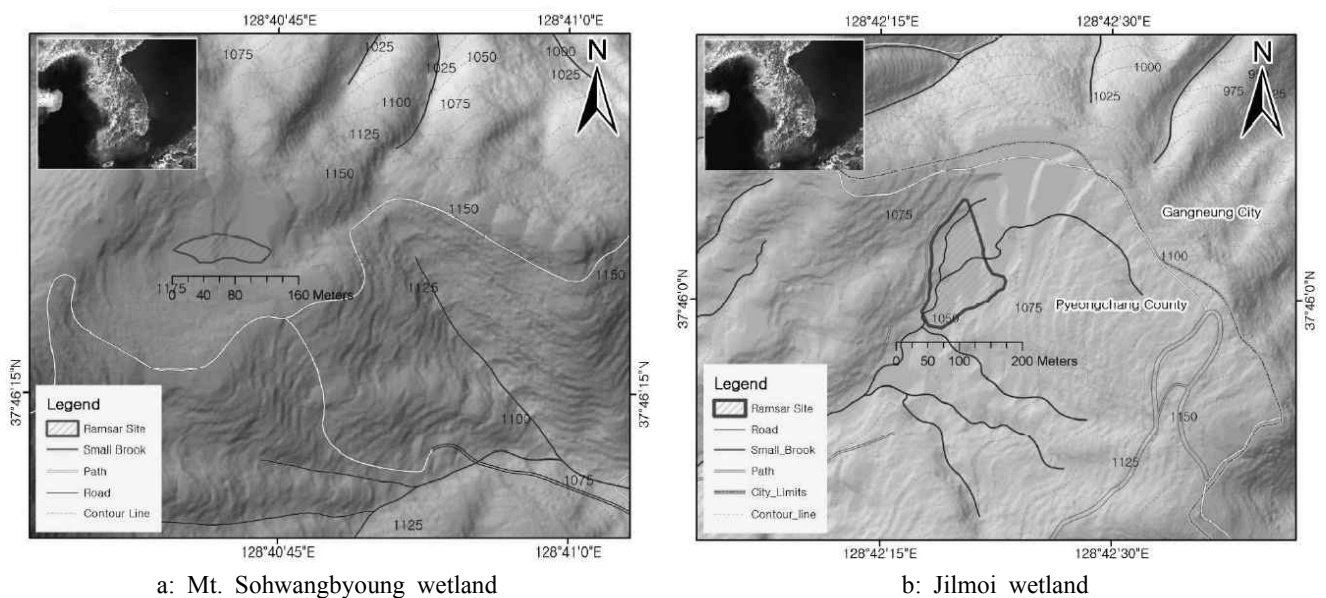


Figure 1. Map showing the location of study area ([www.Ramsar.org](http://www Ramsar.org))

그러나 이탄층에서 기후변화의 영향으로 나타나는 토양 가스 배출을 이해하기 위해서는 이탄습지 생태계의 특성과 이탄지에 자생하는 식물의 특성, 토양의 탄소함량, 미네랄의 순환에 대한 보다 자세한 연구가 요구되고 있다(Bridgham *et al.*, 1999).

이에 본 연구는 이탄습지를 이해하기 위한 기초자료를 구축하기 위하여 랫사르습지로 지정되어 보호받고 있는 소황병산늪과 질피늪 토양의 이화학적 분석과 토양시료의 연대측정을 실시하였다.

## 연구방법

### 1. 연구지역 개관

본 연구의 조사지는 오대산 국립공원 내 랫사르 습지로 지정된 소황병산늪과 질피늪으로 강원도 평창군 대관령 고위평탄면에 위치하고 있으며(Figure 1), 조사지 개황은 Table 1과 같다.

### 2. 토양의 이화학적 특성 분석

균일한 토양단면을 갖는 식물군락 중 소황병산늪에서는 꿩고비(*Osmunda cinnamomea* var. *fokiensis*) 군락, 물이끼(*Sphagnum palustre*) 군락, 샷갓사초(*Carex dispalata*) 군락, 산사초(*Carex canescens*) 군락 등 4개 지점 그리고 질피늪에서는 솔이끼(*Polytrichum commune*) 군락, 골풀(*Juncus effusus* var. *decipiens* Buchenau)-솔이끼(*Polytrichum commune*) 혼효군락, 물이끼(*Sphagnum palustre*) 군락, 꿩고비(*Osmunda cinnamomea* var. *fokiensis*) 군락, 키버들(*Salix purpurea* var. *japonica*) 군락 등 5개 지점을 선정하여 2010년 6월, 8월, 10월에 걸쳐 각 조사지점에서 5개의 토양 시료를 채취하였다. 10월의 질피늪에서는 꿩고비 군락과 키버들 군락에서 토양의 유실이 많아 토양을 채취하지 못하였다. 습지토양의 훼손을 최소화하기 위하여 soil core (100 cm × 3 cm; Eijkelkamo)를 이용하여 시료를 채취하였으며, 채취한 토양은 상온(20 ~ 25°C)에서 풍건하여, 10 mesh로 체질하여 분석에 이용하였다.

토양의 산도를 측정하는 방법은 토양 5 g을 50 mL 삼각플라스크에 취하여 증류수 25 mL를 가한 다음 한 시간동안

진탕한 후 방치한 다음 pH meter (Orion 710)를 이용하여 측정하였으며, 토양 내 질소 함량과 유기물 함량은 토양 0.25 ~ 0.35 mg을 토양 분해 촉매제와 혼합하여 원소분석기 용 호일을 이용하여 원소분석기(Elemental Analyzer, ECS 4010)을 이용하여 분석하였다. H4OAc (Ammonium acetate) 용액 25 ml를 가하여 60분간 진탕한 후 No.2 여과지를 이용하여 양이온 함량은 풍건 토양 5 g을 100 ml 삼각플라스크에 취한 다음 1N-N하여 여과하여, 시료 액에 포함된 K, Ca, Na, Mg 함량은 ICP (Inductively Coupled Plasma)를 이용하여 정량하였다.

총이온함량은 100 mL 삼각플라스크에 토양 5 g을 넣고 25 mL의 증류수를 가하여 30분간 진탕한 다음 여과하여 Mettler Toledo MX 300을 이용하여 전기전도도(EC)를 측정하여 NaCl 등가로 환산하였다.

### 3. 습지 생성연대 분석

각 습지의 토양 채취 지점은 가급적 균일한 토양 단면을 갖는 장소를 선정하여 각 습지에서 2 ~ 4개의 토양 시료를 채취하였다. 채취한 토양 시료의 전처리 과정은 다음과 같다. 탄산염 제거를 위하여 산처리 후 염기처리를 하여 Humic acid를 추출한 후, 그 남은 유기물로부터 탄소를 얻기 위해 연소과정을 거치고, 최종적으로 환원과정을 거쳐 Graphite화 하였다(Park *et al.*, 2009).

분석을 통하여 나온 결과치는 세 번의 측정 결과를 평균한 값으로 시료 준비 과정과 측정과정에서 발생하는 동위원소 비의 변화를 기준치  $\delta^{13}C = -25\%$ 로 보정하여 획득하였다. 시료의 연대는 Libby의  $^{14}C$  수명 8033 yr를 사용하여 도출되었으며 방사성 탄소연대(radiocarbon age)의 단위인 BP (before present)로 나타내었으며, 오차의 산출은 표준편차에 근거하였다. 시료분석은 서울대학교 질량분석이온빔 가속기(AMS, Accelerator Mass Spectrometer)를 이용하여 분석하였다.

### 4. 통계처리

각 조사 지점과 조사 시기에 따라 5개씩 채취한 토양시료의 평균값을 구하였으며, 평균값의 유의한 차이는 Oneway ANOVA를 이용하여 분석하였으며, 통계처리는 SPSS 버

Table 1. The overview of two wetlands

	Altitude	Area	GPS coordinates
Mt. Sohwangbyoung wetland	1198 m	3,200 m <sup>2</sup>	N 37° 46' 09" E 128° 41' 07"
Jilmoi wetland	1055 m	52,000 m <sup>2</sup>	N 37° 45' 59" E 128° 42' 18"

전 12.O 프로그램을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토양 pH

토양 pH는 토양의 여러 가지 화학적 및 생물학적 성질에 영향을 주는 매우 중요한 요소이다. 특히 식물 근권에서 영양분과 독성물질을 포함하는 원소들의 흡수되는 정도를 결정하는 매우 중요한 요인이다. 실제 매우 낮은 토양 pH는 Al의 함량을 증가시키며 Al은 식물의 가지 및 뿌리 발달을 저해하고, 일부 식물의 잎에서 백화현상이 초래하기도 한다 (Coyne and Thompson, 2006).

소황병산늪의 pH는 조사지점과 조사시기에 따라 pH 5.68 ~ 5.88로 나타났으며, 질피늪의 경우 pH 5.35 ~ 5.99로 모두 약산성의 토양 pH를 나타내었다(Figure 2). 소황병산늪에서는 8월 평고비(*O. cinnamomea*) 군락에서 가장 높은

pH 5.88으로 조사되었으나 각 조사지점과 조사 시기에 따른 유의적인 차이는 없었다. 질피늪의 경우 솔이끼(*P. commune*) 군락에서 pH 5.99로 가장 높게 나타났다. 일반적으로 토양 내 수분의 함량이 낮아지면 토양 pH는 높아지며, 토양 pH가 높아지게 되면 양이온 교환용량도 증가하는 것으로 알려져 있다(Coyne and Thompson, 2006). 소황병산늪과 질피늪의 토양 pH가 조사 시기 및 식물 군락에 따른 큰 차이를 보이지 않은 것은 아마도 이들 습지 내로 수분의 공급이 안정적으로 이루어졌기 때문으로 생각된다. 비슷한 고도에 위치하고 있는 대암산 용늪의 경우 평균 pH 3.4 ~ 5.7로 보고되었으며, 용늪 내의 물이끼 군락의 경우 pH 3.9 ~ 4.6, 삿갓사초 군락에서는 pH 4.1 ~ 5.1을 나타내어 전형적인 산성 bog의 특성을 나타내고 있다(Kang *et al.*, 2010). 또한 Bae *et al.* (2003)이 보고한 무제치 습지의 토양 산도는 약 pH 4.3 ~ 5.1 정도로 대암산 용늪과 유사한 산성 bog의 특징을 나타내고 있다. 신안 장도습지의 토양 산도는 전체적으로 4.58 ~ 6.15로 범위를 나타내고 있으며(Heo and

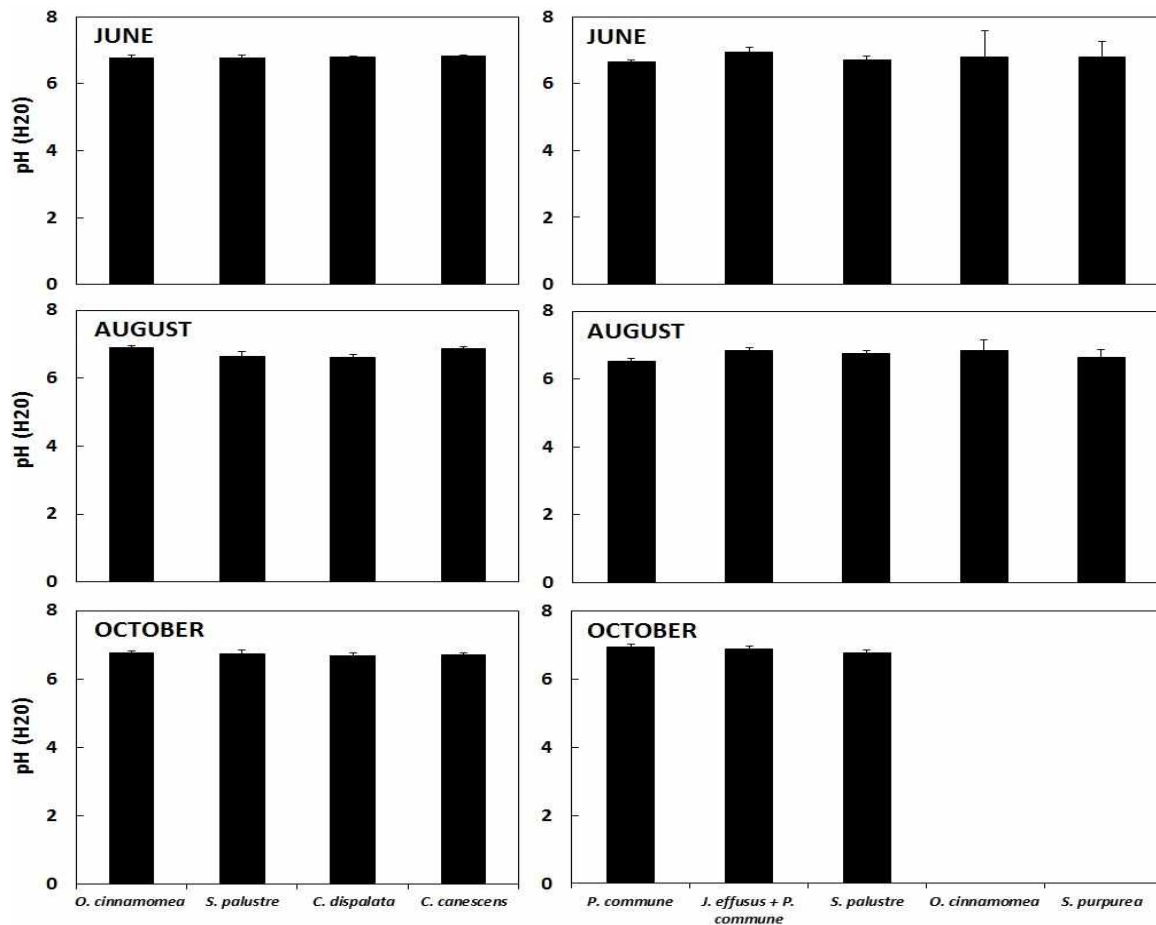


Figure 2. Soil pH of two wetland in June, August and October, 2010 (Left: Mt. Sohwangbyoung wetland, Right: Jilmoi wetland)

Kim, 2005), 지리산 왕등재 습지의 경우 토양 pH가 4.11 ~ 5.96로 보고되었다(Koo, 2001). 본 연구에서 조사된 소황병산늪과 질피늪의 pH는 대암산 용늪이나 정족산 무제치늪, 신안장도 습지 그리고 왕등재 습지 보다는 다소 높은 pH 범위를 나타내었다.

2. 총이온 함량 및 치환성 양이온 함량

총이온 함량은 토양액의 전기전도도를 측정하여 NaCl 등가로 환산한 값으로 일반 토양에서 총이온함량은 토양 내 점토 및 부식질의 함량이 높을수록, 유기물의 부식이 많이 이루어질수록 높아지는 경향이 있다(Coyne and Thompson, 2006). 소황병산늪의 총이온함량은 23.8 ~ 47.1 ueq/g soil의 범위로 나타났으며, 6월의 꿩고비(*O. cinnamomea*) 군락에서 가장 높은 함량을 나타내었다(Figure. 3). 삿갓사초(*C. dispalata*) 군락과 산사초(*C. canescens*) 군락의 총이온 함

량은 조사 시기에 따른 차이를 보였는데, 이는 아마도 이들 서식지가 습지 내 수로에 근접해 있어 토양 침식 등의 영향을 받은 것으로 여겨진다. 소황병산늪은 총이온 함량은 6월에는 군락별 차이를 보였으나 10월에는 군락별 유의한 차이를 보이지 않았다. 질피늪의 경우 21.5 ~ 31.4 ueq/g soil의 범위를 보였으며, 전반적으로 솔이끼(*P. commune*) 군락에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 키버들(*S. purpurea*) 군락의 경우 6월과 8월간 총이온함량의 큰 차이를 보였는데, 토양 pH에서 차이가 거의 없는 것으로 보아 서식지 환경의 다른 요인에 기인하는 것으로 생각된다. 전반적으로 질피늪의 총이온 함량은 소황병산늪과는 달리 군락별로 다소 큰 차이를 보였다.

치환성 양이온은 토양 교질 입자에 결합되어 있는 양이온으로 일반적으로 토양 내 점토의 함량과 유기물의 함량 등의 영향을 받으며, 특히 토양의 산도와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 소황병산늪의 치환성 양이온 함량은

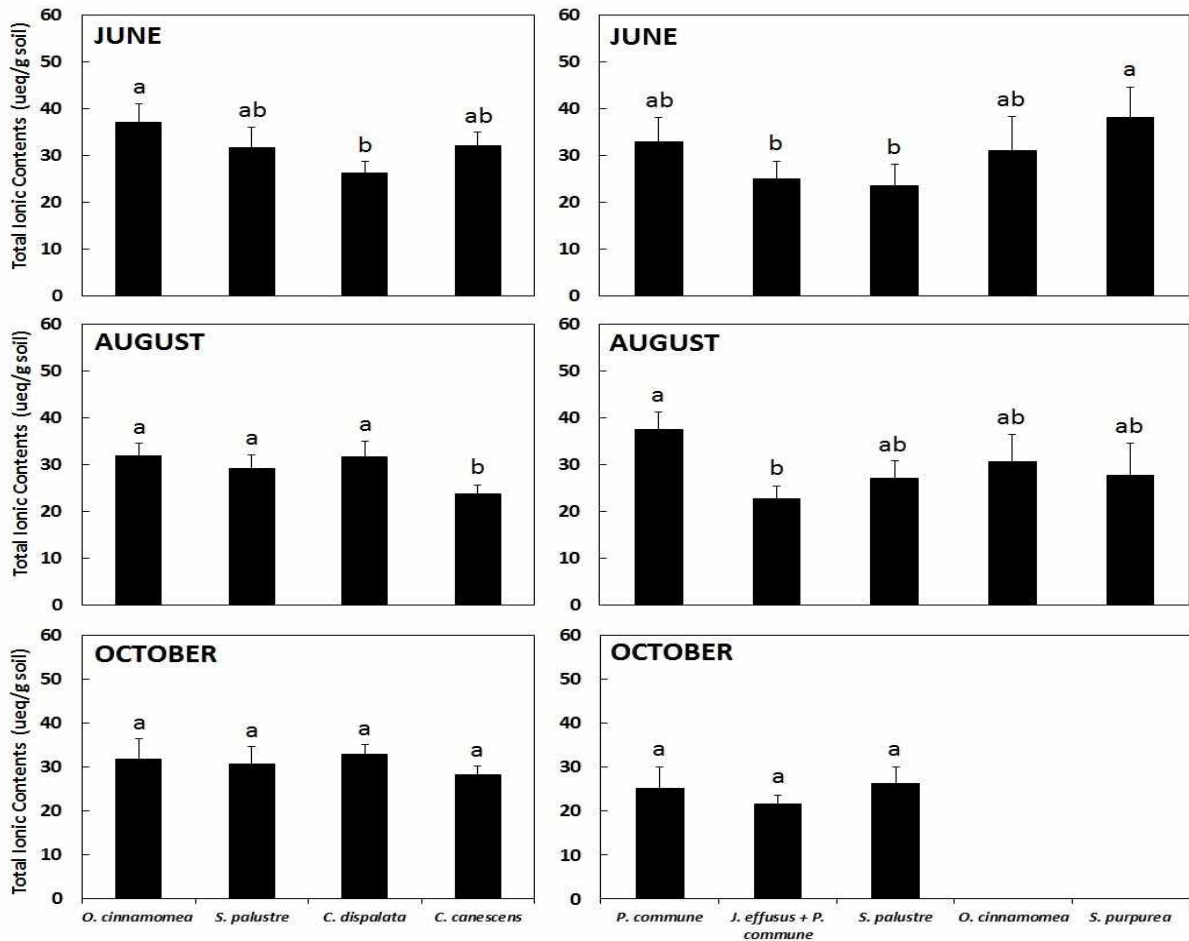


Figure 3. Total ionic contents of wetland soil in June, August and October, 2010 (Left: Mt. Sohwangbyoung wetland, Right: Jilmoi wetland). The different letters indicate significant differences among plant species, according to Duncan's test (P < 0.05, n = 3).

6월과 8월은 비슷한 경향을 보이나 10월에 Ca의 함량이 다소 증가함을 보였다(Figure 4). 산사초(*C. canescens*) 군락은 다른 군락에 비해 조사 시기에 따른 치환성 양이온 함량의 큰 차이를 보였는데, 이것은 이들의 서식지가 습지 내 수로에 인접해 있어 유수에 의한 토양의 침식 등과 같은 요인이 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 질피늪의 경우 6월에 비해 8월과 10월에 높은 치환성 양이온 함량을 나타내었으며, 특히 Ca함량 증가가 뚜렷하였다. 전반적으로 소황병산늪에 비해 높은 치환성 함량을 나타내었다. 정족산 무제치늪의 K와 Mg 함량은 소황병산늪과 질피늪보다 높은 값을 보였으며, Ca 함량은 거의 유사한 값을 보였다(Bae *et al.*, 2003). Koo(2001)의 보고에 따르면 왕등재 습지의 경우, Ca 함량은 0.38 ~ 0.51, Mg의 함량은 0.12 ~ 0.16, Na 함량은 0.13 ~ 0.16 그리고 K 함량은 0.03 ~ 0.033  $\mu\text{mol/g}$  soil의 값으로 소황병산늪과 질피늪에 비해 매우 낮은 값을 보였다. 또한 유럽과 미국 등에 나타나는 습지(Mitsch and Gosselink, 1993)와 비교해 볼 때도 다소 높은 치환성 양이

온 함량을 보였다.

### 3. 유기물 함량 및 총질소 함량

식물이 이용할 수 있는 다량의 영양분을 보유하고 있는 토양 유기물은 토양의 물리적, 화학적 그리고 생물학적 특성에 많은 영향을 미친다. 토양 유기물 함량은 토양의 입단의 형성과 안정화에도 크게 기여할 뿐만 아니라, 양이온 교환 용량 및 수분 보유에도 큰 영향을 미친다. 소황병산늪의 유기물 함량은 2.41 ~ 10.30% 범위로 샷갓사초(*C. dispalata*) 군락에서 높은 값을 보였으며, 물이끼(*S. palustre*) 군락에서 가장 낮은 유기물 함량을 나타내었다(Figure 5). 질피늪의 유기물 함량은 3.18 ~ 11.74% 범위로 키버들 군락이 6월과 8월에 가장 높은 유기물 함량을 나타내었으며, 소황병산늪과 마찬가지로 물이끼 군락에서 낮은 유기물 함량을 나타내었다. 대암산 용늪의 경우 유기물 함량이 70 ~ 85% 범위를 나타내었으며, 습지 하층의 토양은

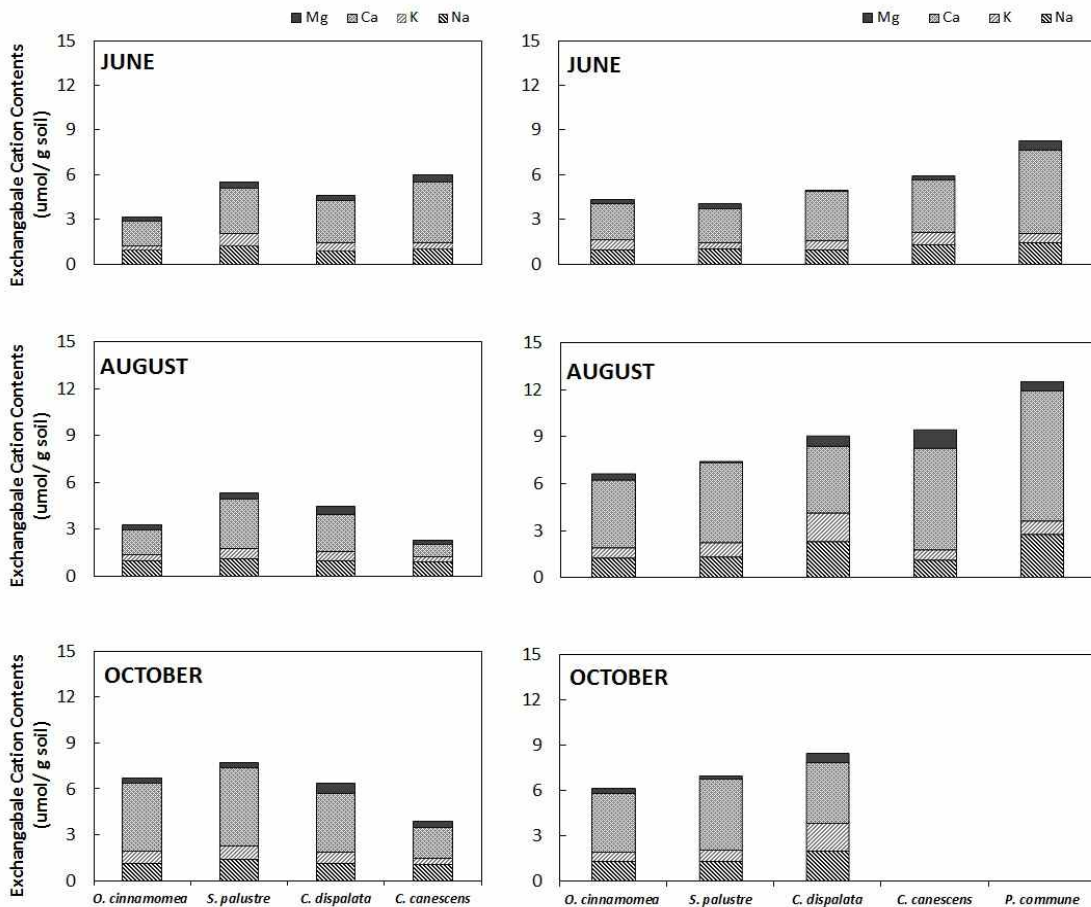


Figure 4. Exchangeable cation contents of two wetland soil in June, August and October, 2010 (Left: Mt. Sohwangbyoung wetland, Right: Jilmoi wetland)

Table 2. Radiocarbon age of wetland

Wetland	Material	Before present (B.P.)	Calibrated Ages
Mt. Sohwangbyoung wetland	peat	1890 ± 40	AD 100
Jilmoi wetland	peat	450 ± 50	AD 1448

10 ~ 30%로 조사되었다(Kang *et al.*, 2010). 신안 장도 습지의 경우 토양 유기물 함량은 약 20% 정도였으며(Heo and Kim, 2005), 왕등재 습지의 경우 17.3 ~ 19.3%의 범위의 유기물을 함유하는 것으로 조사되었다(Koo, 2001). 본 조사 지역인 소항병산늪과 질피늪은 용늪, 장도 습지 그리고 왕등재 습지에 비해 낮은 유기물 함량을 보였는데, 이는 Figure 2에 나타난 것과 같이 상기의 습지들에 비해 다소 높은 토양 산도로 인해 유기물의 분해가 다소 진행되어졌기 때문으로 여겨진다.

소항병산 늪의 총질소 함량은 0.09 ~ 0.31% 범위로 나타났으며, 조사시기와는 무관하게 삿갓사초(*C. dispalata*) 군락에서 많은 높은 질소함량을 나타내었다(Figure 6). 질피늪의 총질소 함량은 0.10 ~ 0.40% 범위로 나타났으며, 키버

들 군락에서 가장 높은 질소함량을 보였다. 전반적으로 소항병산늪과 질피늪의 총질소 함량은 토양의 유기물함량과 유사한 경향성을 나타내었다.

#### 4. 습지 토양의 연대 측정

지리산 국립공원에 위치한 왕등재 습지의 경우 Jang *et al.* (2006)의 보고에 따르면 왕등재 토양 시료의 연대를  $1160 \pm 40$   $^{14}\text{C}$  yr B.P.로 추정하고 있으나, Jirisan national park office (2010)의 보고에 따르면  $2610 \pm 50$   $^{14}\text{C}$  yr B.P.로 추정하고 있다. 이와 같은 추정연대의 차이는 토양 채취 지점의 차이와 습지 내 이탄이 생성 당시부터 온전하게 보존되어 있지 않거나 습지의 지형이 생성당시와 동일하다고

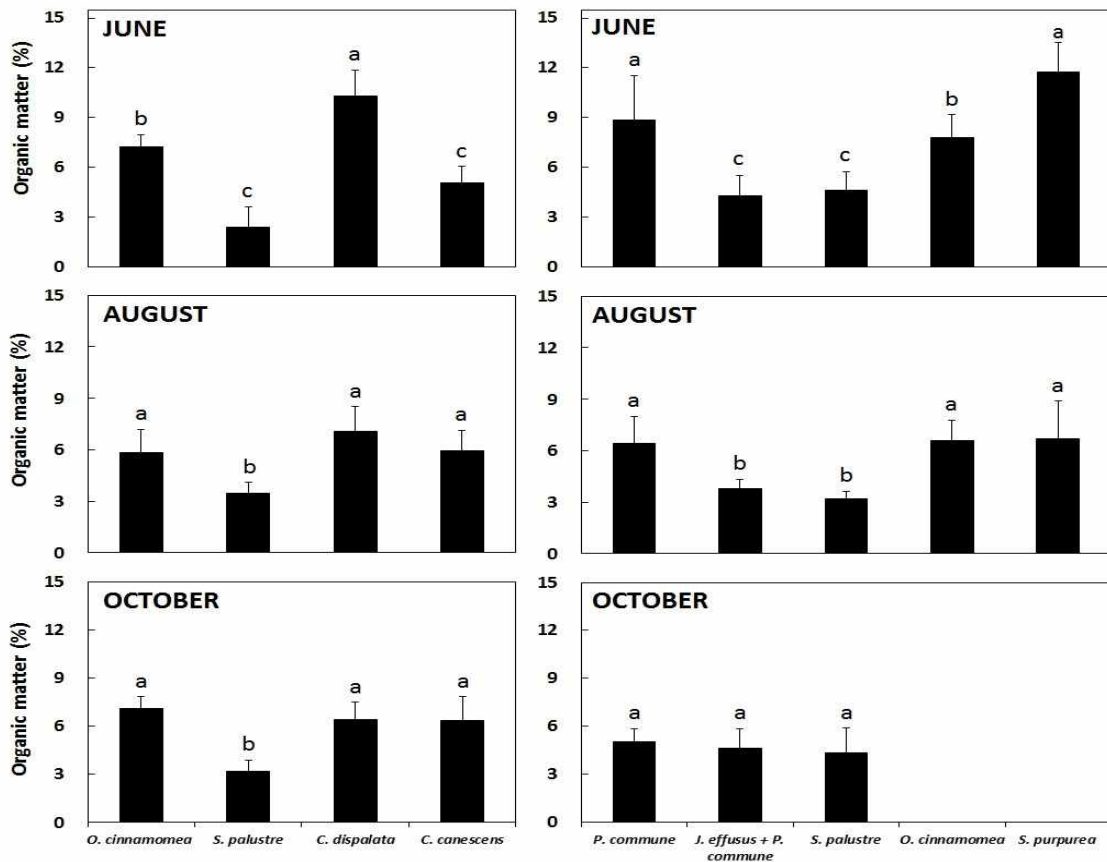


Figure 5. Organic matter contents of wetland soil in June, August and October, 2010 (Left: Mt. Sohwangbyoung wetland, Right: Jilmoi wetland). The different letters indicate significant differences among plant species, according to Duncan's test ( $P < 0.05$ ,  $n = 3$ ).

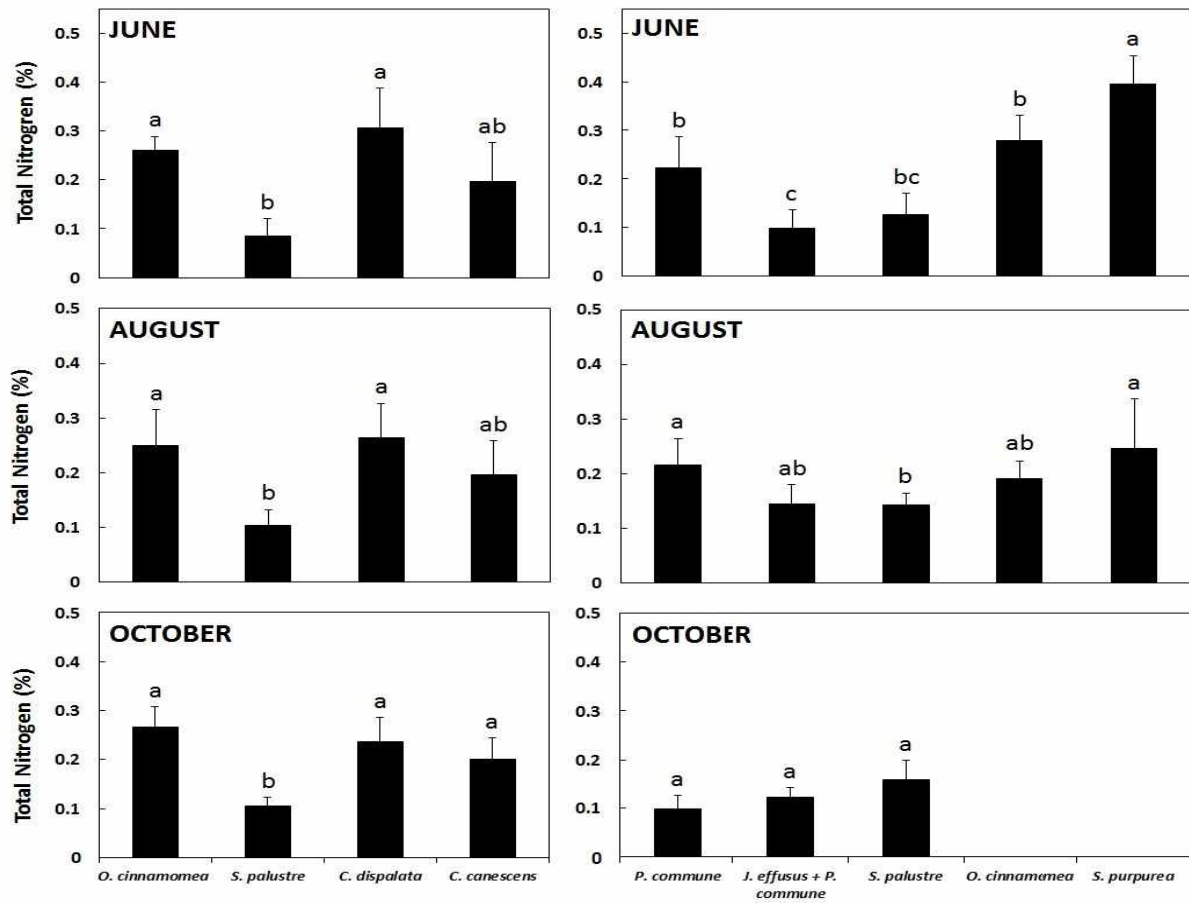


Figure 6. Total nitrogen contents of wetland soil in June, August and October, 2010 (Left: Mt. Sohwangbyoung wetland, Right: Jilmoi wetland). The different letters indicate significant differences among plant species, according to Duncan's test ( $P < 0.05$ ,  $n = 3$ ).

할 수 없기 때문으로 생각된다. 본 조사 대상 습지 토양을 질량분석이온빔가속기로 분석한 결과 생성 추정연대는 소황병산늪의 경우 AD 100년경으로 나타났으며, 질피늪은 AD 1448년경으로 나타났다(Table 2). 그러나 습지생성 추정연대는 이탄의 보존 상태나 습지의 지형, 유수에 의한 침식 등의 영향을 받을 수 있기 때문에 각 습지 토양형성의 절대적인 시기로 판단하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다.

위의 결과를 종합해 볼 때 소황병산늪과 질피늪은 물이끼가 우점하고 있고, 토양 미네랄 함량이 다소 낮은 것으로 보아 약산성의 bog 습지로 판단된다. 현재 소황병산늪과 질피늪은 수분이 안정적으로 공급되고, 습지 토양환경을 변화시킬 수 있는 외부 교란 요인이 거의 없는 것으로 판단되나 두 습지 모두 등산로와 인접해 있어 인간의 간섭이 잠재적으로 초래될 수도 있으며, 특히 질피늪의 경우 인근에 목장 등이 위치하고 있어 가축의 배설물로 인한 교란이나, 습지 내부로의 토사 유입 등의 잠재적인 교란 요인이 될 수

있기 때문에 지속적인 모니터링과 교란요인에 대한 대책이 마련될 필요가 있을 것으로 생각되며, 향후 탄소연대 측정 뿐만 아니라 토양 속 화분분석을 병행한 연구가 수행된다면 두 습지의 식생변천사를 연구하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

### 감사의 글

이 논문은 한국연구재단 ‘일반연구자 지원 사업’과 2012 학년도 경북대학교 ‘전임교원 연구년 교수 연구비’ 지원에 의하여 연구되었음.

### LITERATURE CITED

Alm, J., L. Schulman, J. Walden, W. Nykanen, J. Pertti, Martikainen and J. Silvola(1999) Carbon balance of boreal bog during a year with an exceptionally dry summer. Ecology



- 80: 166-174.
- Bae, J.J., Y.S. Choo and S.D. Song(2003) The patterns of inorganic cations, nitrogen and phosphorus of plants in Moojechi moor on Mt. Jeongjok. *Journal of Ecology and Field Biology* 26: 109-113. (in Korean with English abstract)
- Bridgham, S.D., J. Pastor, K. Updegraff, T.J. Malterer, K. Johnson, C. Harth and J. Chen(1999) Ecosystem control over temperature and energy flux in northern peatlands. *Ecological Applications* 9: 1345-1358.
- Coyne, M.S. and J.A. Thompson(2006) *Fundamental Soil Science*. Thomson, 403pp.
- Grayston, S.J., D. Vaughan and D. Jones(1996) Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology* 5: 29-56.
- Harriss, R.C., D.I. Sebacher and F.P. Day Jr(1982) Methane flux in the Great Dismal Swamp. *Nature* 297: 673-674.
- Heo, C.H. and S.Y. Kim(2005) Geology and soil environment of Jangdo wetland, Heuksan-myon, Sinan-gun Cheollanamdo-province: A preliminary study. *Jour. Korean Earth Science Society* 26: 661-667. (in Korean with English abstract)
- Jang, B.O., S.U. Sin and K.R. Choi(2006) Vegetation history of Wangdeungjae moor, Mt. Jiri in Korean Peninsula. *Journal of Ecology and Field Biology* 29: 287-293. (in Korean with English abstract)
- Jirisan national park office(2010) *Research Reports of Jirisan National Park Office*. (in Korean with English abstract)
- Kang, S.J., K.S. Cho and K.R. Choi(2010) *Yongjeup of Mt. Daeam in Korea - Museum of Alive Nature History -*. Ulsan University Press, 290pp. (in Korean with English abstract)
- Kettunen, A., V. Kaitala, J. Alm, J. Silvola, H. Nykänen and P.J. Martikainen(1996) Cross-correlation analysis of the dynamics of methane emissions from a boreal peatland. *Glob. Biogeochem. Cy.* 10: 457-471.
- Koelbener, A., L. Strom, P.J. Edwards and H.O. Venterink(2010) Plant species from mesotrophic wetland cause relatively high methane emissions from peat soil. *Plant soil* 326: 147-158.
- Koo, H.K.(2001) Characteristics of Wangdeungjae wetlands in Mt. Jiri through soil analysis. *J. of Geography (Kr)* 378: 1-18. (in Korean with English abstract)
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink(1993) *Wetlands* (2nd ed.). Van Nostrand Reinhold, New York, 722pp.
- Park, J.Y., W. Hong and J.H. Park(2009) Development of humic acid extraction method in soil and sediment using ultrasonic for <sup>14</sup>C dating. *Anal. Sci Technol.* 22: 136-140. (in Korean with English abstract)
- Vitt, D.H., L.A. Halsey, I.E. Bauer and C. Campbell(2000) Spatial and temporal trends in carbon storage of peatlands of continental western Canada through the Holocene. *Canadian Journal of Earth Science* 37: 683-693.
- Whalen, S.C., and W.S. Reeburgh(1992) Interannual variations in tundra methane emission: A 4-year time series at fixed sites. *Global Biogeochemical Cycles* 5: 261-273.