

자연 생태계에서의 온실기체 플럭스: 산림 토양에서의 메탄 산화율 측정

강호정*, 장인영
이화여자대학교 환경공학과

Greenhouse gas fluxes in natural ecosystems:
Rates of methane oxidation in a temperate forest soil in Korea

H. J. Kang*, and I. Y. Jang

¹Department of Environmental Science & Engineering, Ewha Womans University
(Correspondence: hjkang@ewha.ac.kr)

1. 서 언

메탄은 대기 중에 존재하는 주요 탄화수소로서 대기 중 농도가 19세기 이후에 년 간 1%의 증가율을 가지며 그 농도가 증가하였다. 적외선 흡수 능력이 뛰어나고 대기 중의 농도가 높기 때문에 중요한 온실기체이다. 메탄의 제거 과정은 대기 중에서 OH에 의한 산화 과정과 토양에서의 메탄 산화 세균에 의한 산화 과정이 있다. 이 중 토양에서의 산화 과정은 전자의 과정에 비해 적은 양의 메탄을 제거하지만, 인간이 조절 가능하고, 또한 인간의 활동에 의해 그 양의 변동이 크다는 점에서 그 중요성을 살펴볼 수 있다. 토양의 종류에 따른 메탄의 산화력을 살펴보면 경작지나 초지에 비하여 산림토양에서의 제거가 높게 나타난다. 산림 토양에서의 메탄 외국에서는 1980년대 이후로 토양에서의 메탄 산화에 관한 연구들이 많이 행해졌으나(Bradford *et al.*, 2001; Smith *et al.*, 2000), 국내에는 그러한 연구가 부족한 실정이다. 산림토양에서의 메탄 제거 기작은 여러 환경요인들과 밀접하게 관련되어져 있는 것으로 보고 되었다. 특히, 무기 질소의 유입으로 인한 메탄 산화의 저해는 적게는 15%에서 많게는 100%까지도 나타나는 것으로 조사되었다(Wang *et al.*, 2003; Schnell and King, 1994). 이 연구에서는 국내 산림에서의 메탄 산화율을 측정하고, 외부 환경인자들과의 관계를 살펴보는 것에 초점을 맞추어 행하여 졌다.

2. 재료 및 방법

2.1 메탄 측정 방법

메탄 산화는 강원도 인제군에 위치하고 있는 점봉산(38° 02' N, 128° 26' E)에서 측정하였다. static chamber method를 사용하였다. 점봉산에서 고도별로(700, 900, 1100.m) 각각 2개씩의 static chamber를 설치하였다(Table 1). 각각의 chamber의 부피는 4ℓ 정도이며, 토양내의 교란을 최소화하기 위해 chamber를 설치한 후 2주 후에 측정을 시작하였다. 측정은 2004년 5월부터 2005년 6월까지 매달 1회 실시되었다. 측정 방법은 설치된 chamber를 뚜껑을 이용하여 완전 밀폐시킨 후 뚜껑에 달려있는 실리콘 stopper를 통해 0, 10, 30, 60분의 기체를 포집하여 진공의 병에 담아 실험실로 가져와 GC-FID(Porapak

Q 80/100 column, detector: 150°C, carrier gas: N₂)를 이용하여 분석하였다. 각 chamber의 시간대별 메탄의 농도를 측정하여 liner regression을 통하여 메탄 산화율을 계산하였다.

또한, 고농도의 메탄 존재 하에서 토양의 메탄 산화 능력 측정을 위해 실험실에서 고농도(150ppm)의 메탄을 주입하여 메탄 산화능을 파악하였다.

Characteristics of site 1, 2 and 3

	Site 1	Site 2	Site 3
Altitude(m)	740	895	1100
Dominant species	<i>Carpinus laxiflora</i>	<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Quercus mongolica</i>
C/N ratio	15.67	13.13	12.84
Extractable K ⁺ (mg/kg)	48.85(53.67)	274.25(21.28)	225.45(85.77)
Extractable Ca ²⁺ (mg/kg)	115.3(50.3)	1650.5(983.6)	1974.5(528.2)
Extractable Mg ²⁺ (mg/kg)	27.7(5.7)	165.05(66.1)	227.1(83.6)

2.2 토양의 화학적 성질 분석

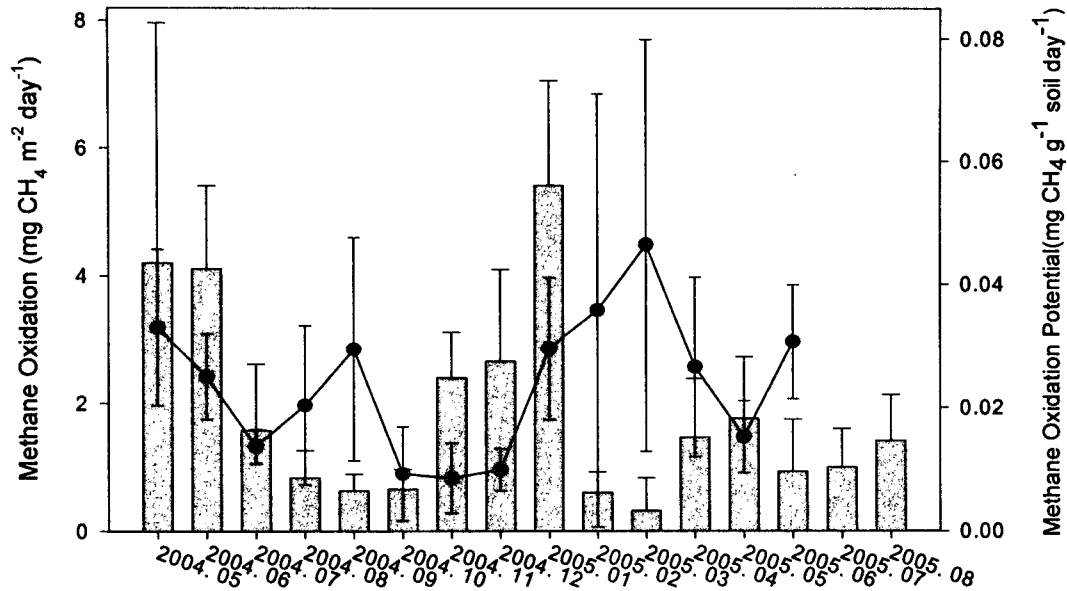
메탄 산화 측정이 이루어진 chamber 주위의 토양을 실험실로 가져와 각각 토양의 성질분석을 하였다. 분석 항목은 수분함량, 유기물함량, pH, DOC(Dissolved Organic Carbon), NH₄⁺와 NO₃⁻이다. 수분함량과 유기물 함량은 건조감량과 강열감량에 의해 측정하였으며, pH는 물로 진탕시킨 후(1:2) pH meter를 가지고 측정하였다. DOC는 TOC 분석기(Shimadzu, TOC-500)를 이용하여 측정하였으며, NH₄⁺와 NO₃⁻는 토양에서 추출하여 발색법으로 측정하였다.

3. 결과

3.1 월별 메탄 산화율의 변화

본 연구에서 측정된 점봉산에서의 메탄 산화율은 0.15 ~ 10.67mg CH₄ m⁻² day⁻¹의 범위를 나타내었으며, 평균 메탄 산화율은 1.96mg CH₄ m⁻² day⁻¹였다(Fig. 1). 이 수치는 국외에서 보고된 산림 토양의 메탄 산화율의 평균보다 약간 높은 수치이다. 또한, 다른 미생물 반응과는 달리 겨울에 높고, 여름에 낮은 산화율을 보였다.

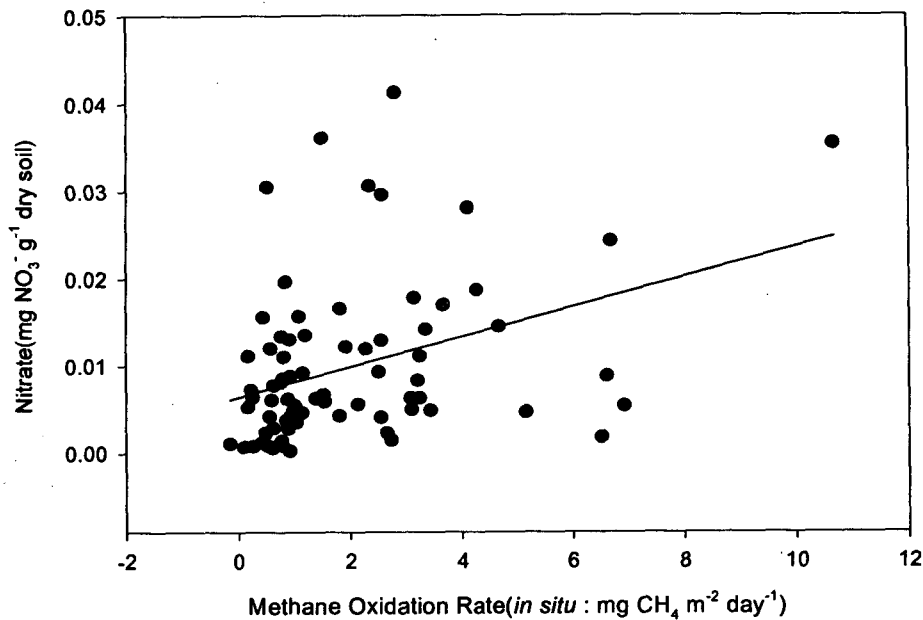
함께 수행된 고농도의 메탄 하에서의 점봉산 산림 토양의 메탄 산화능을 보면 0.01 ~ 0.33mg CH₄ g⁻¹ soil day⁻¹의 범위의 결과를 보였으며 평균 산화율은 0.024mg CH₄ g⁻¹ soil day⁻¹를 나타내었다.



. Rates of methane oxidation in soils of Mt. Jumbong. Bars and dots represent *in situ* rates and the potential rates, respectively.

3.2 다른 환경 인자들과의 관계

점봉산에서 측정된 메탄 산화율은 NO_3^- 와 강한 양의 상관관계를 보였다(Fig. 2., $p < 0.01$). 또한, DOC와도 약한 양의 상관관계를 보였다($p < 0.05$). 선행 연구를 살펴보면 NH_4^+ 와 NO_3^- 는 메탄 산화에 있어서 많은 부분 저해 효과를 나타낸다. 하지만, 본 연구에서는 오히려 NO_3^- 와 양의 상관관계를 나타내었다. 이는 메탄 산화 세균의 특별한 반응 기작 때문이라고 생각되어진다. 또한, 실험실에서 높은 초기 메탄 농도에서의 메탄 산화 실험의 경우엔 DOC와 매우 강한 양의 상관관계($p < 0.01$)를 나타내었으며, 토양 수분 함량과는 약한 양의 상관관계를 보였다($p < 0.05$).



The positive correlation with methane oxidation and nitrate (n=77, r=0.380).

인용문헌

- Bradford, M. A., P. A. Wookey, P. Ineson, and H. M. Lappin-Scott, 2001: Controlling factors and effects of chronic nitrogen and sulphur deposition on methane oxidation in a temperate forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 93-102.
- Schnell, S., and G. M. King, 1994: Mechanistic analysis of ammonium inhibition of atmospheric methane consumption in forest soils. *Applied and Environmental Microbiology* 60, 3514-3521.
- Smith, K. A., K. E. Dobbie, B. C. Ball, L. R. Bakken, B. K. Sitaula, S. Hansen, R. Brumme, W. Borken, S. Christensen, A. Priemé, D. Fowler, J. A. Macdonald, U. Skiba, L. Klemmedtsson, A. Kasimir-klemmedtsson, A. Dregórska, and P. Orlanski, 2000: Oxidation of atmospheric methane in Northern European soils, comparison with other ecosystems, and uncertainties in the global terrestrial sink. *Global Change Biology* 6, 791-803.
- Wang, Z. and I. Phil, 2003: Methane oxidation in a temperate coniferous forest soil: effects of inorganic N. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 427-433.