

해양극지기초원천기술개발사업
(Brain Research Program)

북극 툰드라에서의 온실기체 모니터링과
조절인자 규명 연구
(Monitoring and investigation on controlling factors of
greenhouse gases in the Arctic tundra)



고려대학교

제 출 문

과학기술정보통신부 장관 귀하

이 보고서를 “북극 툰드라에서의 온실기체 모니터링과 조절인자 규명 연구“
과제의 (최종: 2016.05~2021.03) 보고서로 제출합니다.

2021년 03월 31일

위탁연구기관명 : 고려대학교
위탁연구책임자 : 채 남 이
(이상 고려대학교)



| 최종보고서 | | | | | | | | | | 보안등급 | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------|--|--------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------|--------------|----------------|--|
| | | | | | | | | | | 일반[√], 보안[] | | |
| 중앙행정기관명 | | | 과학기술정보통신부 | | | 사업명 | | 사업명 | | | 거대과학연구개발사업 | |
| 전문기관명(해당 시 작성) | | | 한국연구재단 | | | 내역사업명 | | 해양극지기초원천기술개발사업 | | | | |
| 공고번호 | | | | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | | | | | |
| | | | | | | 연구개발과제번호 | | | 2016M1A5A1901790 | | | |
| 기술분류 | 국가과학기술 표준분류 | | ND1103 | | 100 % | | | | | | | |
| | 부처기술분류 (해당 시 작성) | | X01 | | 100 % | | | | | | | |
| 연구개발과제명 (세부과제-1) | | | 국문 | | 북극권 동토 관측 거점을 활용한 환경변화 감시와 예측 | | | | | | | |
| | | | 영문 | | Arctic permafrost environment change monitoring and prediction method developments | | | | | | | |
| 위탁연구개발명 | | | 국문 | | 북극 툰드라에서의 온실기체 모니터링과 조절인자 규명 연구 | | | | | | | |
| | | | 영문 | | Monitoring and investigation on controlling factors of greenhouse gases in the Arctic tundra | | | | | | | |
| 위탁연구개발기관 | | | 기관명 | | 고려대학교 | | 사업자등록번호 | | 209-82-08298 | | | |
| | | | 주소 | | 서울 성북구 안암로 145 | | 법인등록번호 | | | | | |
| 연구책임자 | | | 성명 | | 채남이 | | 직위 | | 연구교수 | | | |
| | | | 연락처 | | 직장전화 | | 02-3290-4261 | | 휴대전화 | | 010-6311-6709 | |
| | | | | | 전자우편 | | cnamiy@korea.ac.kr | | 국가연구자번호 | | 10901075 | |
| 연구개발기간 | | | 전체 | | 2016. 05. 01 - 2021. 03. 31(4년 11개월) | | | | | | | |
| | | | 단계 (해당 시 작성) | | 1단계 | | 2016. 05. 01 - 2017. 12. 31(1년 8개월) | | | | | |
| | | | | | 2단계 | | 2018. 01. 01 - 2021. 03. 31(3년 3개월) | | | | | |
| 연구개발비 (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 | | 기관부담 연구개발비 | | 그 외 기관 등의 지원금 | | 합계 | | | 연구개발비 외 지원금 | |
| | | 현금 | | 현금 현물 | | 지방자치단체 기타() | | 현금 현물 합계 | | | | |
| 총계 | | 310,000 | | | | | | 310,000 | | | 310,000 | |
| 1단계 | 1년차 | 40,000 | | | | | | 40,000 | | | 40,000 | |
| | 2년차 | 65,000 | | | | | | 65,000 | | | 65,000 | |
| 2단계 | 1년차 | 65,000 | | | | | | 65,000 | | | 65,000 | |
| | 2년차 | 65,000 | | | | | | 65,000 | | | 65,000 | |
| | 3년차 | 75,000 | | | | | | 75,000 | | | 75,000 | |

| | | | | | |
|------------------|-----|------|--------|---------|--|
| 연구개발담당자 실무담당자 | 성명 | | 해당사항없음 | 직위 | |
| | 연락처 | 직장전화 | | 휴대전화 | |
| | | 전자우편 | | 국가연구자번호 | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 03월 31일

연구책임자: 채남이 (인)

위탁연구개발기관의 장: 고려대학교 총장 (직인)

과학기술정보통신부 장관 귀하



< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

| | | | | | | | |
|------------------------|---------------------|--|---|--------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| 사업명 | | 해양극지기초원천기술개발사업 | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | |
| 내역사업명 (해당 시 작성) | | | | | 연구개발과제번호 | | 2016M1A5A1901790 |
| 기술 분 류 | 국가과학기술 표준분류 | ND1103 | 60% | ND1106 | 20% | ND0501 | 20% |
| | 부처기술분류 (해당 시 작성) | X09 | 100% | | | | |
| 연구개발과제명 (위탁과제) | | 북극 툰드라에서의 온실기체 모니터링과 조절인자 규명 연구 | | | | | |
| 전체 연구개발기간 | | 2016. 05. 01 - 2021. 03. 31(4년 11개월) | | | | | |
| 총 연구개발비 | | 총 310,000천원 (정부지원연구개발비: 310,000천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원) | | | | | |
| 연구개발단계 | | 기초[<input checked="" type="checkbox"/>] 응용[<input type="checkbox"/>] 개발[<input type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[<input type="checkbox"/>] | | 기술성숙도 (해당 시 기재) | | 착수시점 기준() 종료시점 목표() | |
| 연구개발과제 유형 (해당 시 작성) | | | | | | | |
| 연구개발과제 특성 (해당 시 작성) | | | | | | | |
| 연구개발 목표 및 내용 | 최종 목표 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 환북극권 툰드라 생태계에서의 토양 이산화탄소 및 메탄 플럭스 모니터링을 통해 토양에서 대기로 방출되는 온실기체의 조절인자 규명 ○ 기후변화에 따른 북극 툰드라에서의 탄소순환 메커니즘을 이해하고 예측 | | | | |
| | 전체 내용 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스 연속 모니터링 및 조절인자 관계 조사 ○ 메탄 관측을 위한 시스템 확보 및 예비실험 ○ 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스의 연속 모니터링 및 미생물 관련 조사 ○ 메탄 플럭스 연속 모니터링 및 미생물 관련 조사 ○ 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스의 모수화 ○ 다양한 조건에서의 메탄 플럭스 모니터링 및 환경인자 관계 조사 ○ 토양 이산화탄소 플럭스의 모수화 적용 ○ 메탄 플럭스와 이산화탄소 플럭스 연속 모니터링 ○ 북극 툰드라에서의 탄소순환 메커니즘을 이해 및 예측 ○ 메탄 플럭스의 모수화 | | | | |
| | 1단계 (해당 시 작성) | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> - 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스 연속 모니터링 및 조절인자 관계 조사 - 메탄 관측을 위한 시스템 확보 및 예비실험 - 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스의 연속 모니터링 및 미생물 관련 조사 - 메탄 플럭스 연속 모니터링 및 미생물 관련 조사 | | | | |
| | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> - 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스의 모니터링자료를 이용하여 조절환경 인자와의 관계를 설명 | | | | | |

| | | | |
|--|------------------|----|---|
| | 2단계 (해당 시 작성) | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> - 메탄 관측 시스템을 확보하여 메탄 관측 준비 - 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스와 미생물과의 상관관계 설명 - 메탄 플럭스 연속 관측 및 메탄 생성 미생물과의 상관관계 조사 |
| | | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> - 알래스카 토양 이산화탄소 플럭스의 모수화 - 다양한 조건에서의 메탄 플럭스 모니터링 및 환경인자 관계 조사 - 토양 이산화탄소 플럭스의 모수화 적용 - 메탄 플럭스와 이산화탄소 플럭스 연속 모니터링 - 북극 툰드라에서의 탄소순환 메커니즘을 이해 및 예측 - 메탄 플럭스의 모수화 - 토양 이산화탄소 플럭스와 조절환경 인자와의 관계를 이용한 모수화 시도 - 다양한 식생 및 환경 조건에 대하여 메탄 플럭스 관측 및 조절환경 인자와의 관계 설명 - 토양 이산화탄소 플럭스와 조절환경 인자와의 관계를 이용한 모수화를 다양한 모델에 적용 - 메탄 플럭스와 이산화탄소 플럭스 관계 설명 - 모델을 이용하여 이산화탄소 플럭스를 예측하고 툰드라 생태계의 탄소순환에서 토양 이산화탄소 플럭스의 기여를 평가 - 다양한 환경조건에서 조절환경 인자와의 관계 및 이산화탄소 플럭스와 관계 등을 이용한 메탄 플럭스 모수화 |

| | |
|--------|---|
| 연구개발성과 | <ul style="list-style-type: none"> - 알래스카 카운슬의 습윤한 툰드라에서 토양 이산화탄소 플러스의 연속 관측과 관련 조절 인자와의 관계를 조사 - 캐나다 캠브리지베이의 다중 채널 메탄 플러스 모니터링 시스템 구축 - 캐나다 캠브리지베이의 다양한 지면에서 메탄과 이산화탄소 플럭스 연속 모니터링 - 다양한 환경 인자들을 이용한 온실기체와의 관계를 살펴보면서 모수화 시도 - 국내 및 국제 학술대회에서 관련 연구들을 발표(6건) - 토양 온실기체 모수화를 위한 실험 연구 관련한 논문 발표(1건) |
|--------|---|

| | |
|---------------------|--|
| 연구개발성과 활용계획 및 기대 효과 | <ul style="list-style-type: none"> - 북극권 툰드라에서의 대기-토양 생태계 간의 온실 기체의 모니터링은 급격한 북극 환경 변화에 따른 메커니즘을 파악하는데 활용되어질 뿐만 아니라, 모델링을 통한 검증 및 예측에 유용한 정보 제공 - 툰드라 주요 식생에 대한 탄소 순환의 발원 및 흡원에 대한 평가는 기후변화에 민감하게 반응하는 북극권 식생의 분포(천이)에 따른 탄소 순환 예측에 기여 - 향후의 북극권 동토층의 생태계 관련 기초자료를 제공하고 극지 연구 인프라와 연계하여 보다 통합적인 극지 생태계 연구 기반 마련 |
|---------------------|--|

| | |
|--------------------|----|
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유 | 공개 |
|--------------------|----|

| 연구개발성과의 등록·기탁 건수 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구 시설·장비 | 기술 요약 정보 | 소프트웨어 | 표준 | 생명자원 | | 화합물 | 신품종 | |
|------------------|----|----|--------|----------|----------|-------|----|------|------|-----|-----|----|
| | | | | | | | | 생명정보 | 생물자원 | | 정보 | 실물 |
| 1 | | | | | | | | | | | | |

| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 | 구입 기관 | 연구시설·장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | ZEUS 등록번호 |
|-----------------------|-------|----------|----------|----|--------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | | | | | | | | | |

| | | | | | |
|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------------------|------------|
| 국문핵심어 (5개 이내) | 온실기체 | 북극 툰드라 | 탄소순환 | 토양이산화탄소 | 영구동토 |
| 영문핵심어 (5개 이내) | Greenhouse gas | Arctic tundra | Carbon cycle | soil CO ₂ flux | Permafrost |

〈 목 차 〉

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 | 1 |
| 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 | 2 |
| 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 | 3 |
| 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) | 30 |
| 5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 | 31 |
| 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 | 31 |
| 별첨자료 (참고 문헌 등) | 31 |



1. 연구개발과제의 개요

□ 북극권의 기후변화와 영구동토층

- 최근 극 지역 빙하 감소에 따른 결과로 지면 알베도의 감소, 식생 분포의 변화뿐 아니라 지면 온도의 상승에 따른 동토층 내에 저장된 탄소 방출에 대한 관심이 대두되고 있다.
- 최근 급변하는 기후 변화에 대한 극지역의 민감한 반응은 전 지구적인 기후 변화를 감지할 수 있는 지표로 활용되고 있으며, 기온 상승에 따라 북극권의 표면이 점차적으로 드러나면서 극지 육상 생태계의 탄소 순환에 영향을 미치고 있다(McGuire et al., 2009)
- 북극권의 동토층은 유기탄소의 50%에 해당되는 1,700Pg 가량의 유기 탄소가 저장되어 있으므로(Tarnocai et al., 2008), 북극의 탄소 순환이 전 지구 기후 시스템에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.
- 동토층의 해빙에 따라 민감하게 변화하는 동토 활성층(Actively layer)의 깊이는 식물의 뿌리 깊이, 동토 생태계의 수문학적 과정 그리고 토양 유기물의 양에 영향을 주고 있다(Schuur et al, 2008).

□ 온난화에 따른 북극권의 탄소 순환

- 현재 전 지구적인 탄소 순환을 이해하기 위하여, 급변하는 극지 육상 생태계와 대기 간의 이산화탄소 교환과정 그리고 메탄 방출에 대한 연구가 활발히 진행되면서 온난화에 따른 동토층의 탄소 방출에 관심이 집중되고 있다.
- 거대한 면적의 동토를 포함하고 있는 북극의 생태계는 이산화탄소의 흡원이면서 메탄의 발원으로서 전 지구적인 역학에서 중요한 역할을 담당하고 있다.
- 툰드라 동토에서 온실기체 모니터링을 통한 탄소 순환의 메커니즘을 규명하는 것이 필수적이며, 이는 극지방에서의 환경 변화에 따른 육상 생태계의 반응을 이해하고 기후변화 감시에 있어서 매우 중요한 역할을 할 것이다.
- 지표와 대기 간의 탄소 순환에 가장 크게 기여하고 있는 동토 토양에서 대기로 방출되고 있는 이산화탄소 연구는, 접근성과 열악한 기상 조건으로 인해 대부분 단기간의 현장 관측 또는 샘플링을 통한 실내 조절 실험으로 현장에서의 연속적인 자료 확보가 매우 어려운 실정이다.
- 현장에서 탄소 순환을 직접 관측할 수 있는 미기상학적 방법을 이용하여, 토양에서 대기로 방출되는 이산화탄소 및 메탄의 정량화가 선행되어야 하며, 이러한 결과는 생태계 순 탄소 교환량과 함께 동토 탄소 순환을 이해하고 예측하는 모델 개발에 기여할 것이다.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1. 툰드라 생태계에서의 이산화탄소 플럭스

- 가. 알래스카에 구축된 자동 개폐 챔버 시스템을 활용하기 위하여 시스템을 정비한다.
- 나. 주요 식생에 대한 토양 이산화탄소 플럭스 모니터링결과를 활용하여 다양한 조건에서의 토양 이산화탄소 플럭스를 정량화한다.
- 다. 토양 온도, 토양 수분 및 미기상 자료를 모니터링하고 주요 조절인자를 파악하여 온실기체와의 관계를 살펴본다.
- 라. 토양의 물리 및 화학적인 특성을 파악한다.
- 마. 이산화탄소 플럭스의 방출량과 동토 토양 미생물의 특성을 파악하여 상관성을 분석한다.
- 바. 에디공분산 시스템에서 관측되는 순 생태계 이산화탄소 교환량(net ecosystem CO₂ exchange)을 활용하여 챔버 방법과의 상호 비교 및 검증을 통하여 공간 규모 차이에 따른 탄소 순환을 이해한다.
- 사. 지면의 탄소 순환과정을 모사하는 모델들(예, Simple Biosphere model 3 (SiB3), Vegetation Photosynthesis Respiration Model(VPRM), BioGeochemical Cycles (BIOME-BGC)을 살펴보고 이산화탄소 플럭스 모수화를 적용을 여부를 확인한다.

2. 툰드라 생태계에서의 메탄 플럭스

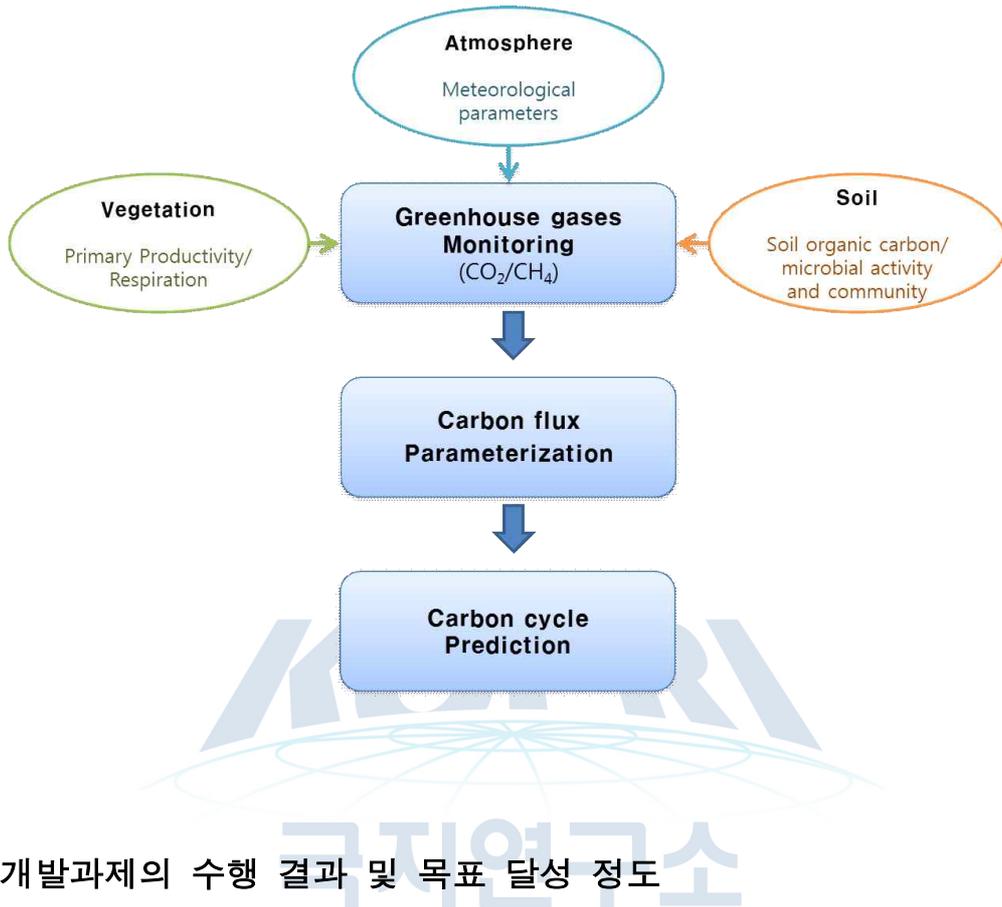
- 가. 캐나다 캠브리지베이에서 메탄 플럭스 관측 시스템 확보하고 구축하여 토양에서의 메탄 플럭스 측정을 시도 한다.
- 나. 메탄 관측 시스템이 안정화되면 자동 개폐가 가능한 시스템을 구축하여 여름 동안 연속적으로 관측한다.
- 다. 다양한 식생 및 환경 조건에 대한 메탄 플럭스 자료를 확보하여 메탄을 생성하는 미생물 및 환경인자와의 상관관계를 조사한다.
- 라. 메탄 플럭스와 이산화탄소 플럭스를 동시에 관측하여 두 온실기체의 발생 또는 흡수와 관련한 상관관계 설명한다.

3. 기술 정보 수집 및 협력

- 가. 자동 챔버 시스템과 메탄 관측 시스템의 운영 및 에디 공분산 자료의 활용을 위하여 극지연구소 미기상팀과의 연계가 필요하다.
- 나. 토양 미생물의 특성 파악을 위하여 극지연구소 또는 연세대의 미생물 생태 연구자들과의 협력이 필요하다.

4. 연구개발 추진체계

온실기체와 환경 조절인자들의 모니터링을 통해 동토 생태계의 탄소 순환을 이하하고 예측



3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 알래스카 툰드라 생태계에서 이산화탄소 플럭스 관측
 - 알래스카 카운슬에서 자동챔버 방법을 이용하여 관목과 이끼(shrub & moss), 이끼류(moss) 초본으로 이루어진 tussock, 지의류(lichen), 각 식생에 대하여 순 이산화탄소 교환량을 측정(Fig. 1)
 - 여름 동안 관측된 순 이산화탄소 플럭스는 대부분 식생에서 야간에 방출량이 큰 값을 보였음(Fig. 2)
 - 광합성 유효 복사량 자료를 토대로 광합성이 배제된 야간의 식생과 토양에서 대기로 방출되는 이산화탄소 방출량은 2016년 여름 동안에 관목과 이끼류(S & M)와 이끼류(Mo)의 이산화탄소 방출량은 평균적으로 0.1-0.3 mg m⁻²s⁻¹으로 S & M이 약간 높은 값을 보였고 Tussock(Tu)에서는 0.1-0.2 mg m⁻²s⁻¹, 지의류(Li)에서는 0 -0.15 mg m⁻²s⁻¹ 이었음(Fig. 3)
 - 2017년 여름동안에도 마찬가지로 관목과 이끼류가 혼합된 챔버와 이끼류 챔버에서 비교적 높은 이산화탄소 방출량을 보였고, 2016년과 비교하였을 때, 약 0.1 mg m⁻²s⁻¹ 이상 더 많

이 방출되었으나 2017년에 2번, 3번, 4번, 7번, 8번, 13번 챔버들의 오작동으로 인하여 2016과 평균값과 직접 비교하는데 있어서는 차이가 있음을 감안해야 함(Figs. 4 and 5)

- 토양 이산화탄소 플럭스는 강수가 존재하는 기간을 제외하고는 대체적으로 토양온도에 의하여 조절되었고, 낮 최고 기온이 10도 이하로 떨어지는 9월이 이후 토양의 탄소 방출은 현저히 감소
- 각 식생별 탄소 관련 미생물 활성도 조사는 2014년부터 2017년 동안 챔버 시스템 주변에서 관측된 미생물의 활성도를 살펴보면 이산화탄소 플럭스가 가장 활발한 초본과 관목에서 비교적 높은 값을 보였으나, 2016년과 2017년에는 점차 가장 낮은 활성도를 보임(Fig 6).

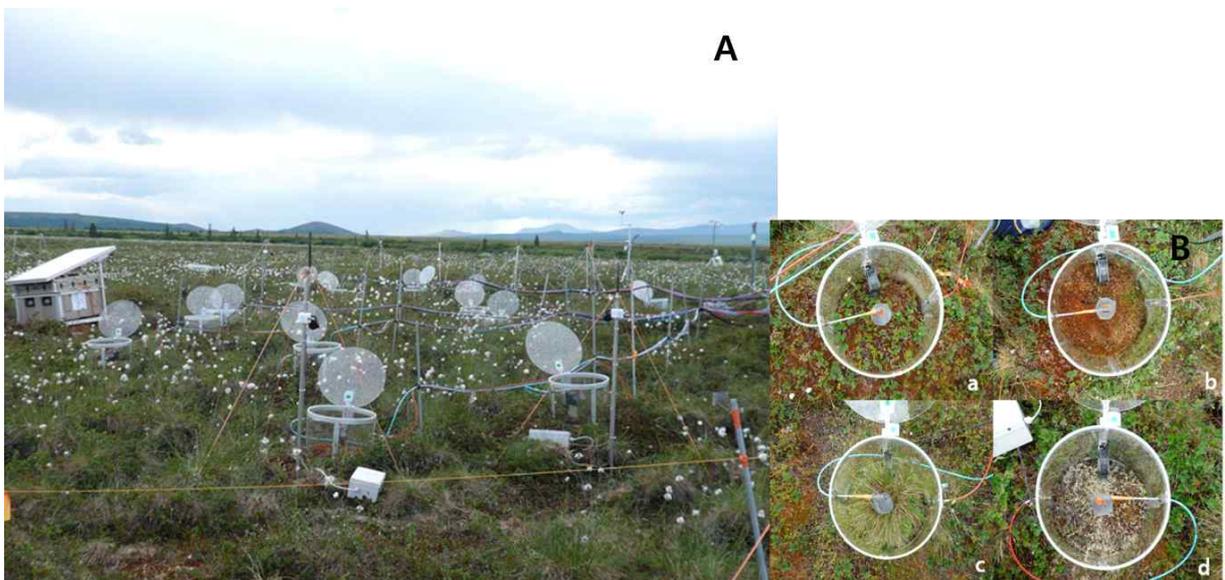


Fig. 1 A. Automated chamber system in Council, Alaska, B. vegetation type (a. shrub + moss, b. moss, c. grass (tussock), d. lichen).

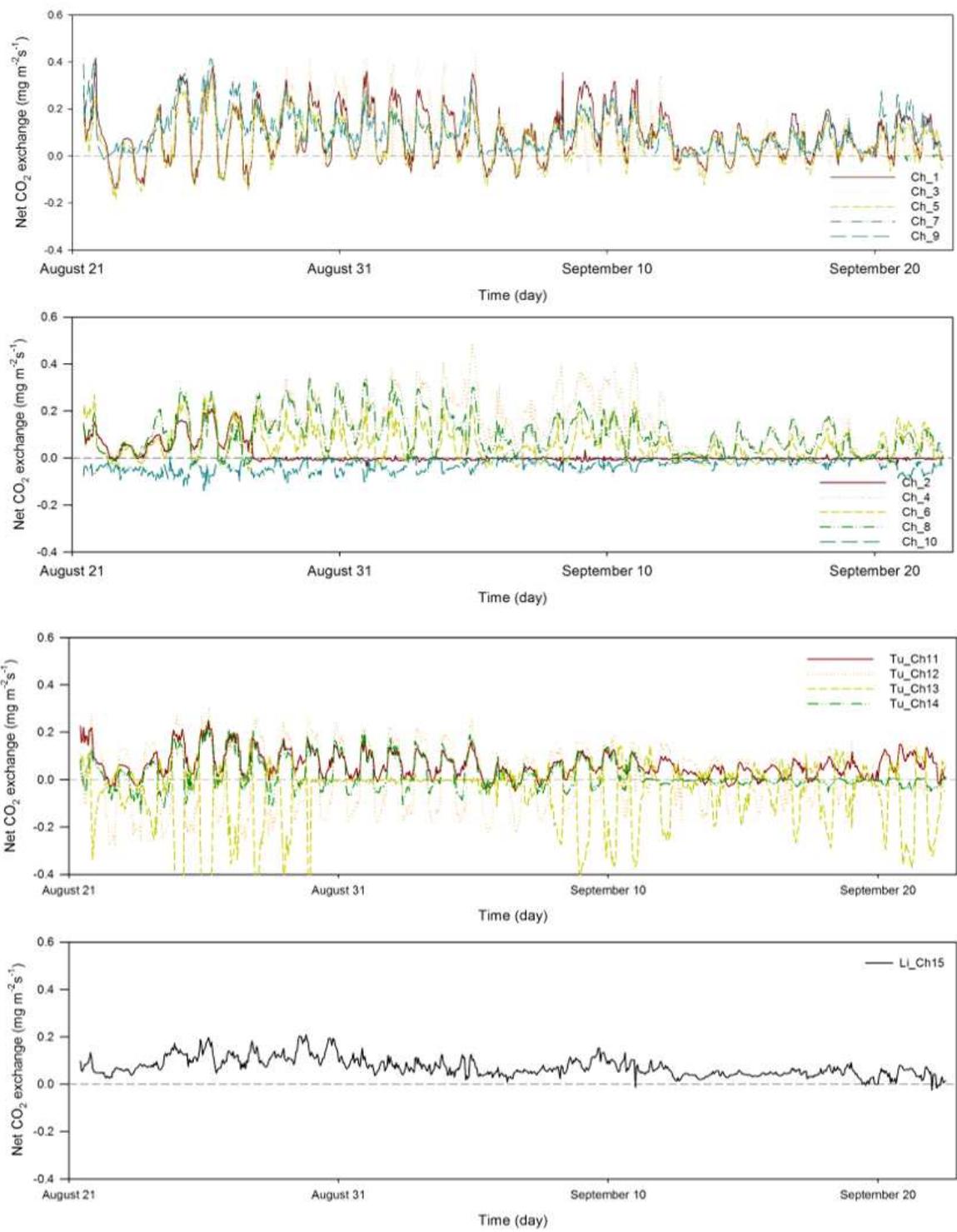


Fig. 2 Net CO₂ exchange ecosystem of shrub & moss(Ch1, 3, 5, 7, 9), moss(Ch2, 4, 6, 8, 10), grass (Ch11, 12, 13, 14) and lichen(Ch15) in 2016.

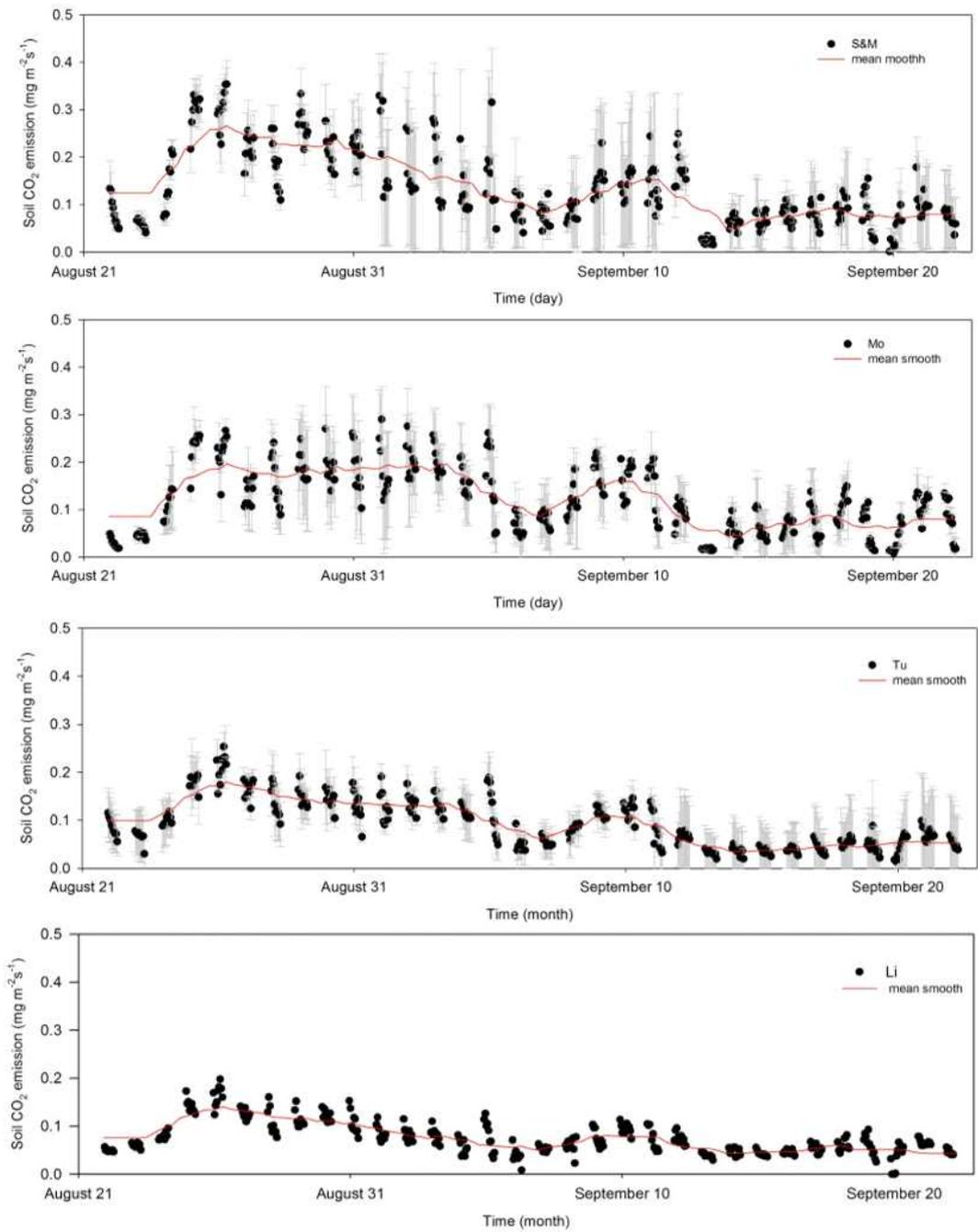


Fig. 3 Ecosystem respiration of shrub & moss(S&M), moss(Mo), grass (Tu) and lichen(Li) in 2016.

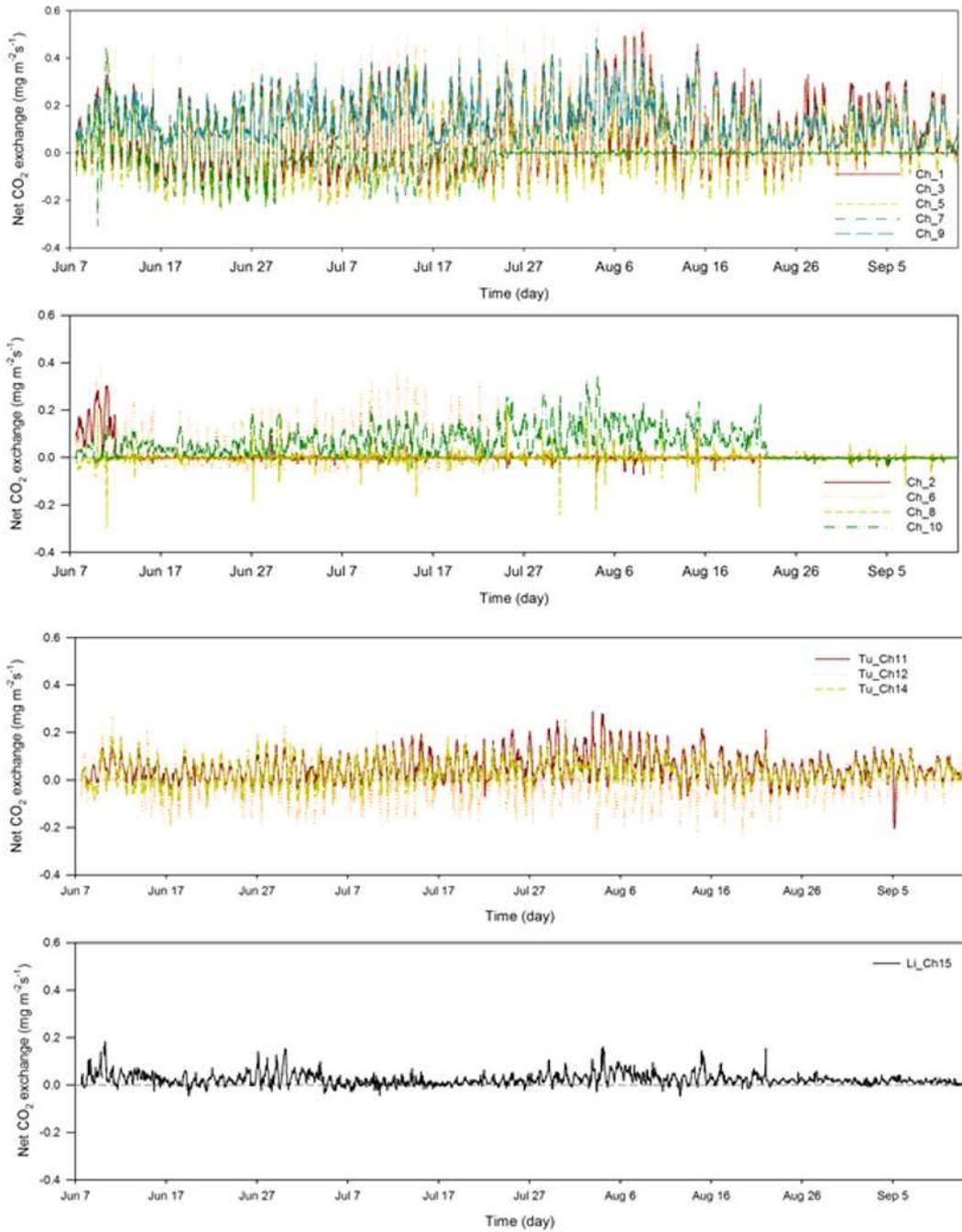


Fig. 4 Net CO₂ exchange ecosystem of shrub & moss(Ch1, 3, 5, 7, 9), moss(Ch2, 4, 6, 8, 10), grass (Ch11, 12, 13, 14) and lichen(Ch15) in 2017.

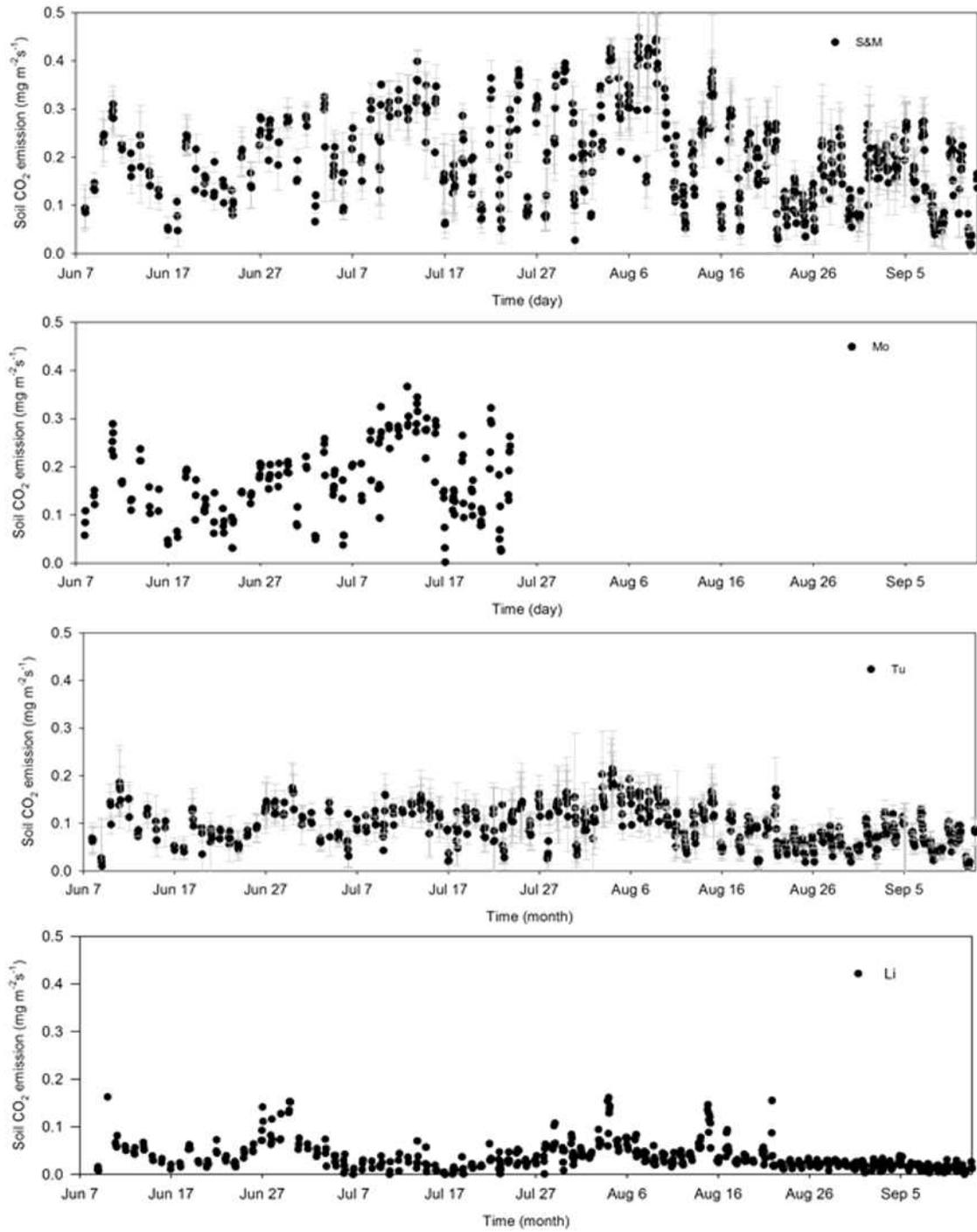


Fig. 5 . Ecosystem respiration of shrub & moss(S&M), moss(Mo), grass (Tu) and lichen(Li) in 2017.

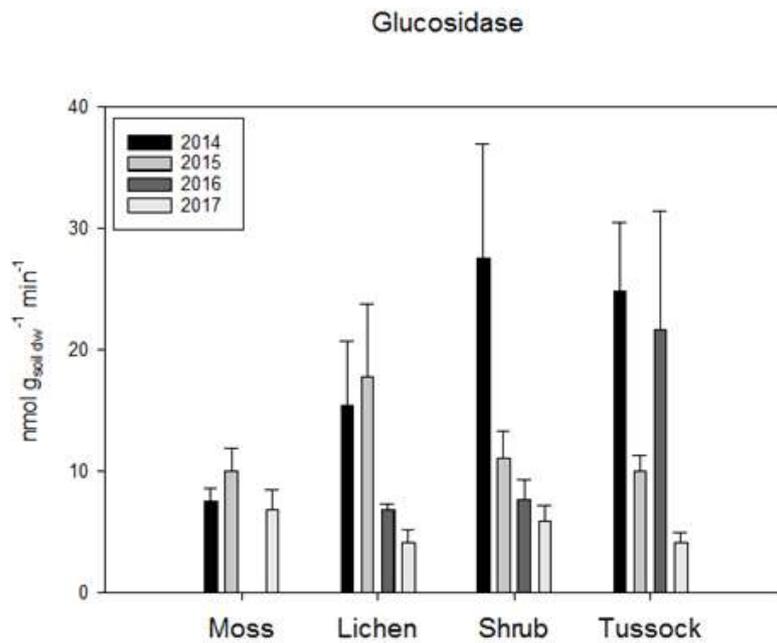


Fig. 6 Microbial activity of each vegetation for carbon cycle.

○ 메탄/이산화탄소 관측 시스템 구축

- 2017년 레이저를 이용한 CO₂, CH₄, H₂O 농도 측정이 가능한 시스템(UGGA, LGR)을 확보하여 캐나다 캄브리지베이에서 한 개의 자동 챔버를 이용하여 메탄 관측을 실시(Figs. 7 and 8)
- 유기물층을 포함하고 있는 토양표면과 습지 또는 호수 주변의 다양한 지면 환경에서 메탄과 이산화탄소 농도를 측정(Fig. 9).
- 메탄은 토양의 수분 상태 및 토성 등 환경조건에 따라 감소(1.91 ~ 1.75ppm) 또는 증가(1.91 ~ 2.3ppm)하면서 다양한 반응을 보였고, 이산화탄소 농도는 396 ~ 460ppm 범위에서 대부분 증가 하였고, 연속 3 반복의 측정에서 일관된 결과를 보임(Figs. 10 and 11).
- 호수 주변의 토양 수분량이 풍부한 지점과 일반적인 유기물층이 발달된 지점에서 메탄과 이산화탄소 농도의 일변화를 관측
- 호수 주변에서 관측된 결과에서는 챔버 내에서 10분 동안 관측되는 메탄은 1.86 ~ 2.3ppm 범위를 보였고, 배경 메탄 농도 역시 1.86 ~ 1.92ppm의 변화범위를 보이며 이산화탄소 농도와 함께 증가(Fig. 12)
- 일반적인 유기물층에서 관측된 결과에서는, 챔버 내에서 10분 동안 관측되는 메탄은 1.92 ~ 1.82ppm 범위를 보였고, 배경 메탄 농도 역시 1.92 ~ 1.88ppm의 변화범위를 보이며 이산화탄소 농도와 반대로 감소(Fig. 13)



Fig. 7. Portable methane analyzer (UGGA, LGR) and a chamber system.



Fig. 8. Automated chamber (LI-8100-104, LI-COR).



Fig. 9 Measurement locations of CH₄ and CO₂ on various soil surface.

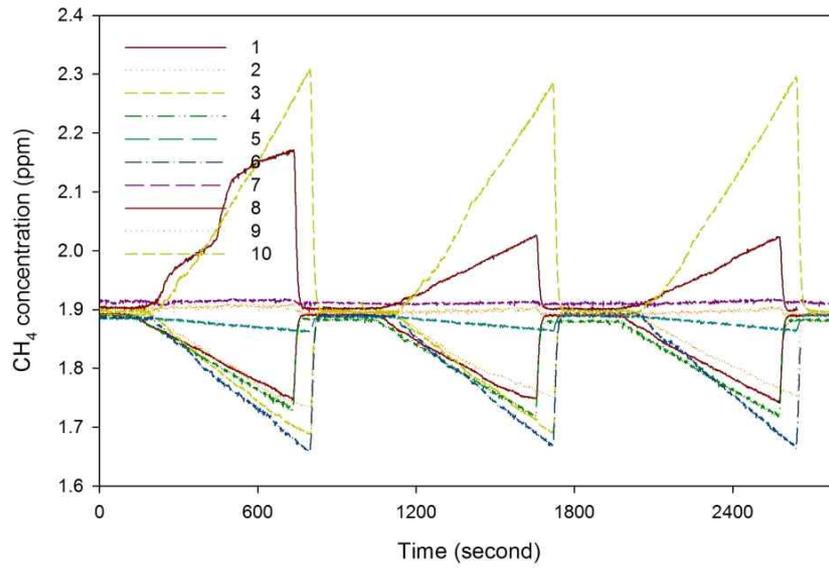


Fig. 10 Variation of CH₄ concentration on various soil surface.

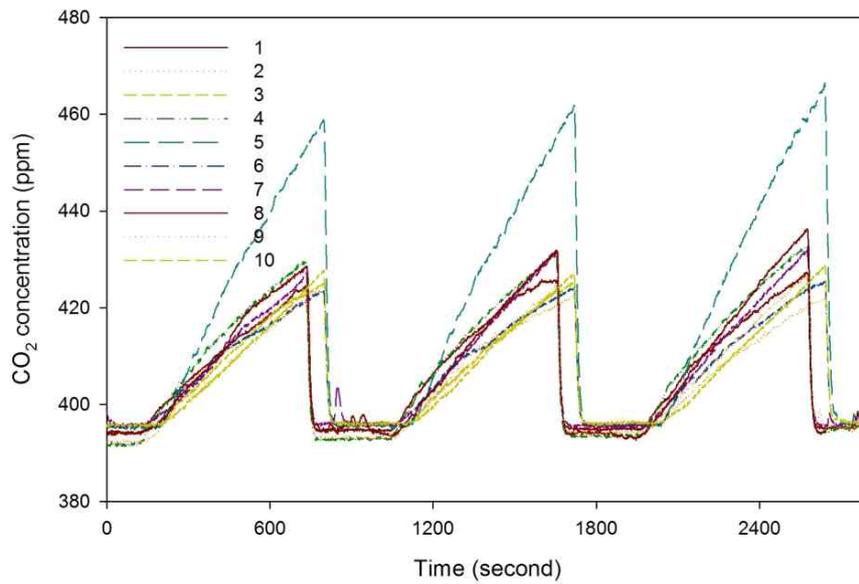


Fig. 11 Variation of CO₂ concentration on various soil surface.

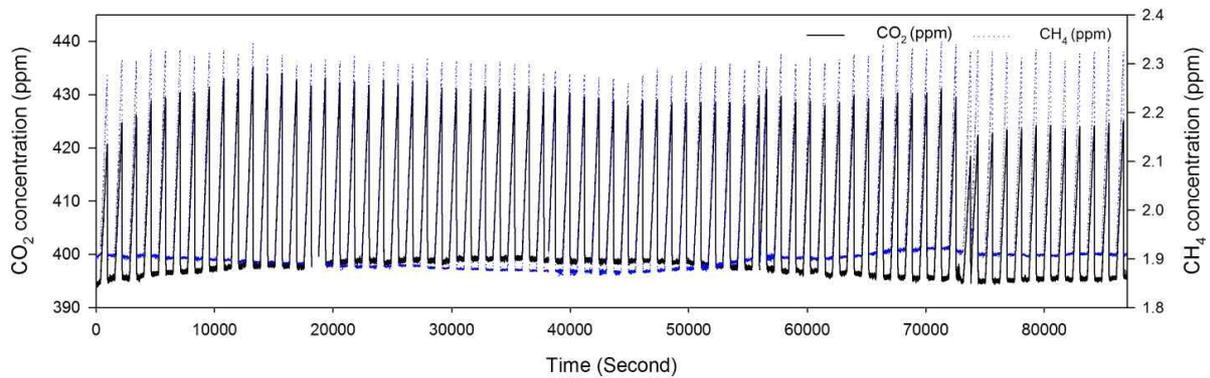


Fig. 12 Diurnal variation of CO₂ and CH₄ concentration near the pond.

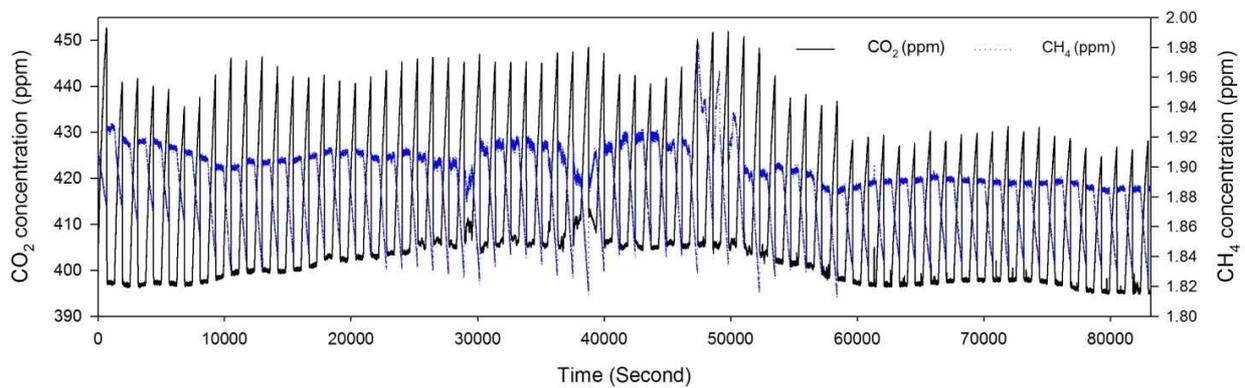


Fig. 13 Diurnal variation of CO₂ and CH₄ concentration on the organic soil.

- 시간 변화에 따른 이산화탄소와 메탄 농도의 변화 이용하여 각각의 플럭스를 계산한 결과에서, 이산화탄소 플럭스는 각 지점에서 0.10 ~ 0.30 mgm⁻²s⁻¹의 범위를 보이며 방출하였고, 반면 메탄 플럭스는 - 0.04 ~ 0.06 μgm⁻²s⁻¹의 다양한 범위를 보이며 방출과 흡수를 보였다 (Fig. 14).
- 호수 주변 토양의 이산화탄소와 메탄 플럭스의 일변화 관측에서는 두 온실 기체 모두 유사한 패턴을 보이며 방출하였고 그 범위는 이산화탄소와 메탄 플럭스 각각 0.009 ~ 0.014 mgm⁻²s⁻¹와 - 0.055 ~ 0.062 μgm⁻²s⁻¹ 이었음(Fig. 15).
- 유기물 토양의 이산화탄소와 메탄 플럭스의 일변화 관측에서는 이산화탄소 플럭스는 저녁부터 계속 방출하는 양이 감소하는 변화를 확인할 수 있었고, 메탄 플럭스는 자정에 가장 많이 흡수되는 일변화를 보였으며, 그 범위는 이산화탄소와 메탄 플럭스 각각 0.012 ~ 0.020 mgm⁻²s⁻¹와 - 0.013 ~ - 0.007 μgm⁻²s⁻¹ 이었음(Fig. 16).
- 전원선 연장(300m) 작업을 통해 호수 주변까지 메탄 플럭스 연속 관측이 가능할 수 있도록 전원공급 시스템을 구축
- 메탄 관련 미생물과의 조사를 위하여 호수 및 습지에서 메탄 측정을 시도하였고, 메탄 방

출 및 산화와 관련한 중요한 지점에서의 토양 샘플링을 시도하여 메탄생성 미생물을 파악하고자 1m 가량의 깊이에서 10cm 간격으로 토양 샘플링

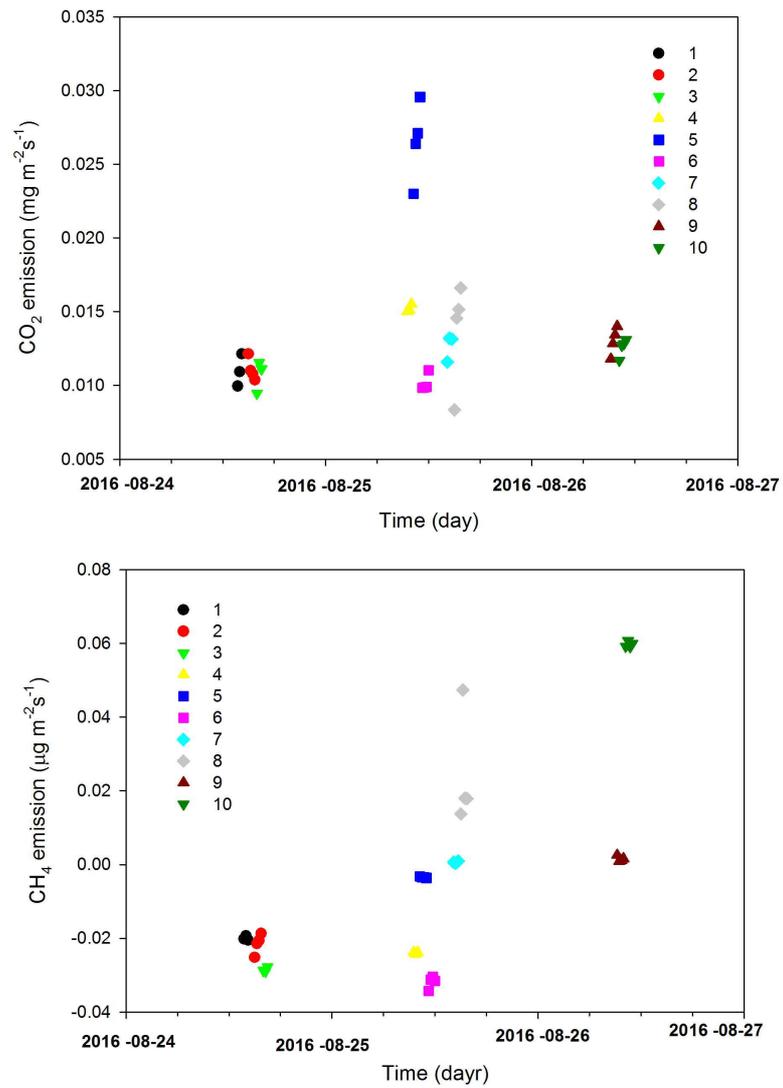


Fig. 14 CO₂ and CH₄ flux on various soil surface.

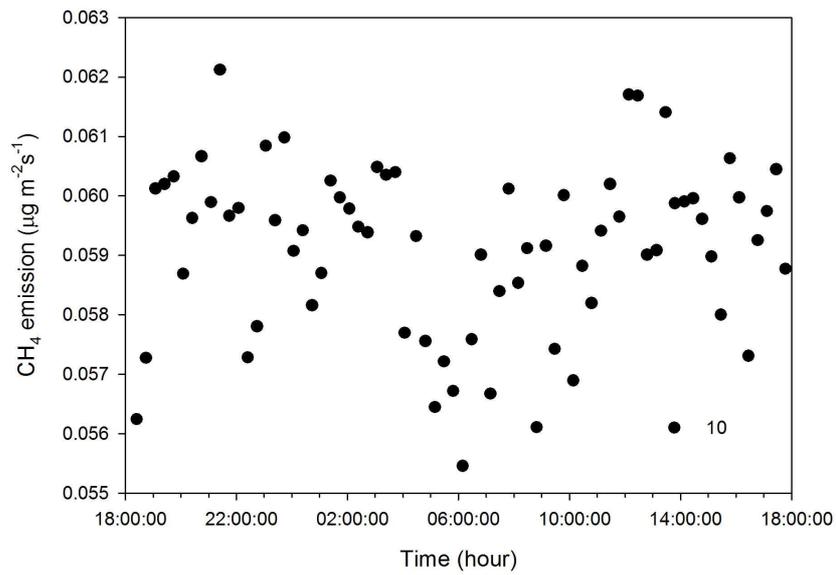
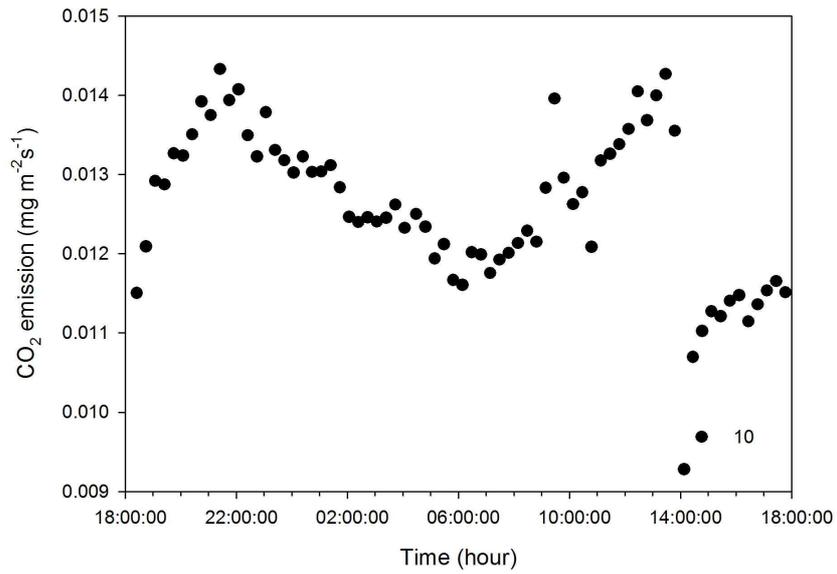


Fig. 15 Diurnal variation of CO₂ and CH₄ flux near the pond.

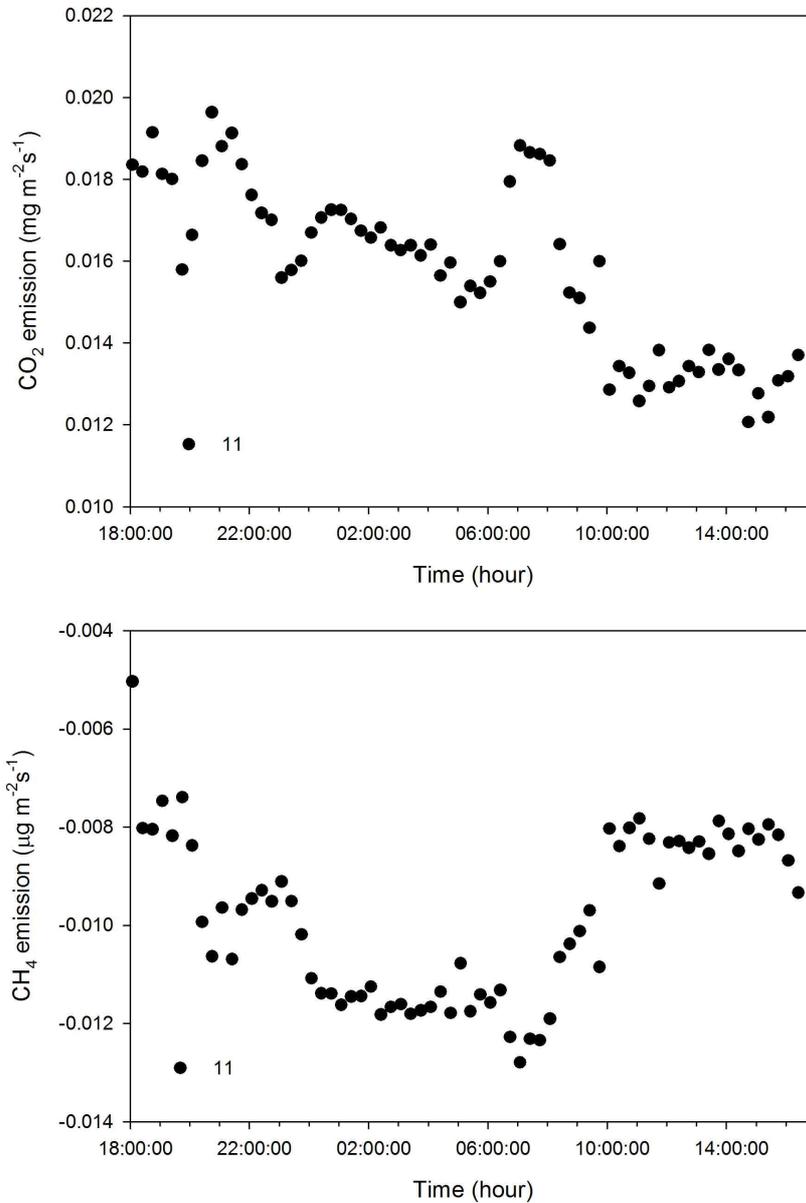


Fig. 16 Diurnal variation of CO₂ and CH₄ flux on the organic soil

○ 메탄/이산화탄소 플럭스 연속 모니터링

- 2018년에는 두 지점에서의 연속 모니터링을 위하여 불투명 챔버를 한 개 더 추가하여 두 지점에서 연속 관측을 시도하였고, 10지점 중 관측이 가능한 7지점에 대한 측정도 실시하였음
- 메탄플럭스의 공간적인 변화를 분석하기 위하여 다양한 조건에서의 7개 지점에 대한 메탄 플럭스 결과는 주로 산화되는 결과를 보이지만, 특수한 조건에서는 지속적으로 환원되는 지점을 확인할 수 있었고, 여름동안 메탄이 주로 방출하는 지점에서 메탄의 연속 농도 값을 측정하였음(Figs. 17 and 18).
- 측정 위치 10번을 제외한 지점에서는 메탄의 흡수가 이루어졌고, 10번에서만 높은 값의 메

탄의 방출이 있었으며, 이러한 메탄의 변화를 살펴보기 위하여 여름 동안 연속적으로 관측

- Fig. 18에서와 같이 $0.1 \mu\text{mg m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 값을 보이며 한 달 동안 지속적으로 메탄의 방출을 확인할 수 있었고, 여름동안 두 지점에서의 연속 모니터링을 위하여 멀티 플렉서 제작 (Fig. 19 f)하고 관련 전기 시설을 보완하여 2지점 이상에서 연속 모니터링이 가능한 시스템을 구축(Fig. 19)
- 2018년 챔버 시스템 주변에서 메탄 플럭스의 방출 또는 흡수를 조절하는 환경 인자들을 모니터링하기 위하여 토양온도와 토양 수분, 기온 및 상대습도, 기압 그리고 동토내 수분 분포(water table)을 모니터링 할 수 있도록 센서들을 설치(Fig. 19 d)
- 챔버와 footprint가 일치할 수 있는 범위 내에서 이동식 에디공분산 타워를 설치하여 순생태계 메탄플럭스 교환량 측정 시도(Fig. 19 a)
- 동토의 활동층의 변화와 함께 동토내의 수분의 수직 및 수평 분포를 조사하기 위하여 지구물리탐사팀과 함께 측정을 진행

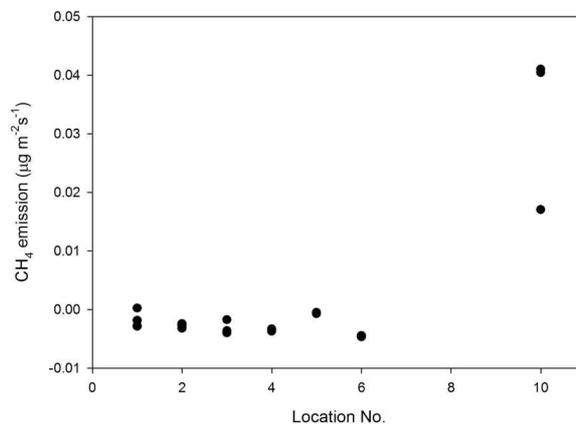


Fig. 17 CH₄ flux on soil surface of 7 locations (Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10).

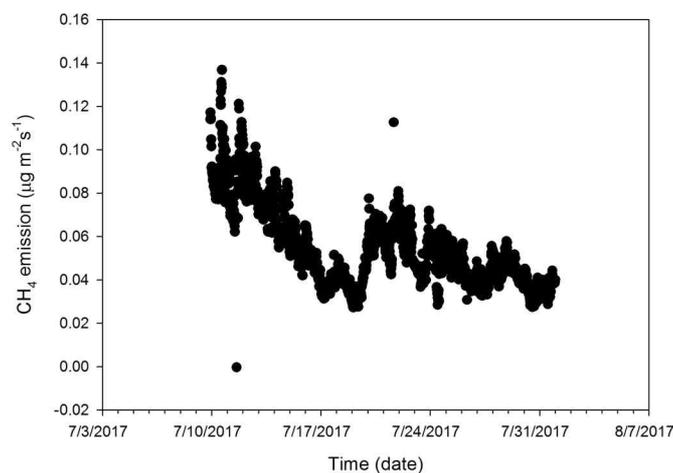


Fig. 18 Variation of CH₄ flux on a soil surface location (No. 10).

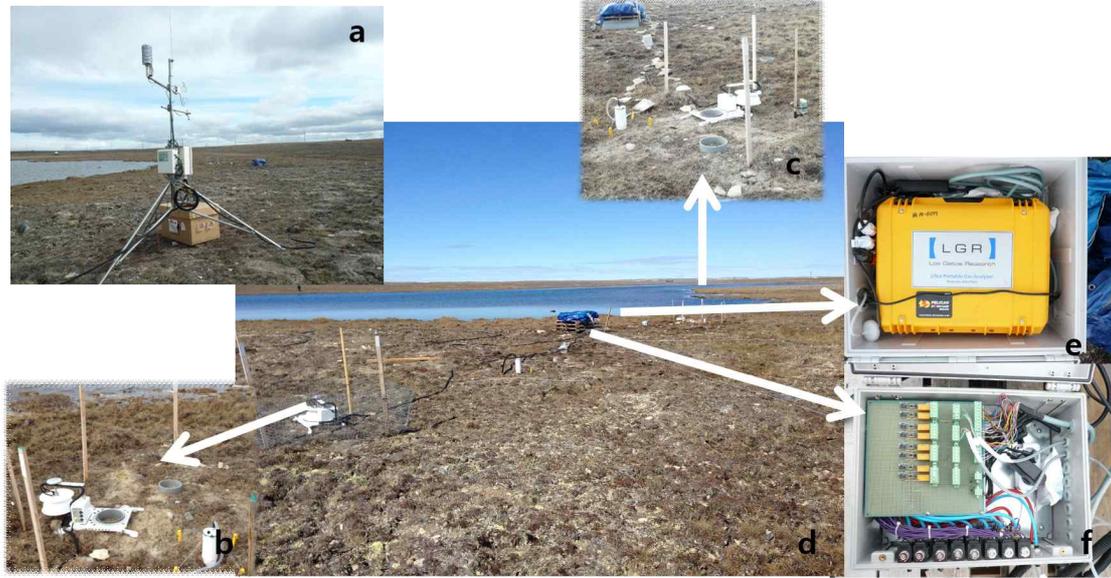


Fig. 19 Automated chamber measurement system using CH₄ and CO₂ analyzer(e), multiplexer(f), two chambers(b and c) with portable EC tower(a) and sensors under surface(d).

- 2019년 6월 중순부터 7월 중순까지 약 50일 동안에는 두 개의 투명 챔버를 추가하여 네 개의 챔버를 이용한 자동 개폐 챔버 시스템을 구축, 8월말까지 이산화탄소와 메탄 플럭스의 연속 모니터링 실시하였음
- 식생의 광합성과 호흡량을 분리하고, 에디공분산 타워와의 상호보완적인 분석을 위하여 투명 챔버를 이용하여 순 생태계 이산화탄소 플럭스를 측정
- 연속 관측이 진행된 네 지점은 호수 주변의 습한 조건을 가진 두 지점으로 초본(Carex)으로 구성된 투명챔버(CH1)와 초본을 일부 포함한 나지의 불투명 챔버(CH2)가 있고, 나머지 두 지점은 앞의 지점보다 상대적으로 높은 사면에 위치한 건조한 조건을 가진, 이끼류와 지의류 및 현화식물로 구성된 유사한 두 지점에서 투명 챔버(CH3)와 불투명 챔버(CH4)를 이용하여 온실기체 농도를 측정(Fig. 20).

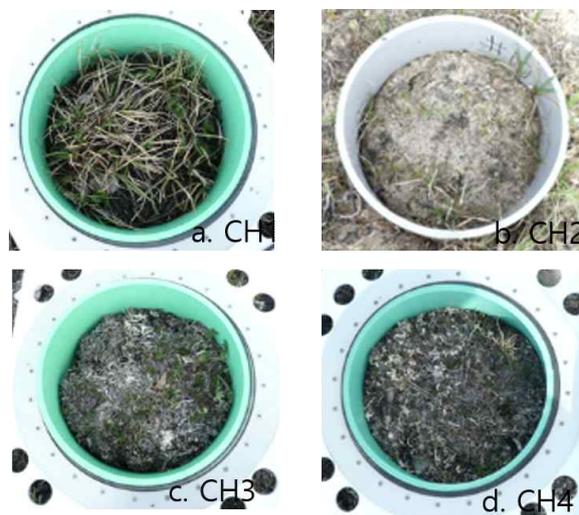


Fig. 20 Long-term measurement locations of CH₄ and CO₂ flux (a. grass, b. bare soil & few grass, c. moss & lichen, d. moss & lichen).

- 약 50일간의 여름 동안 연속 모니터링 시스템을 성공적으로 운영하여 이산화탄소와 메탄 플럭스를 산출
- 세 종류의 다른 지면 조건을 가진 네 지점에서 관측된 이산화탄소의 호흡량과 흡수량은 매우 다양한 결과를 보여주었는데, 초본으로 이루어져 있는 CH1의 결과에서는 광합성에 의한 이산화탄소의 흡수와 야간의 호흡값의 범위가 가장 크게 관측되며 일변화를 보였음
- 불투명 챔버로 측정된 나지 챔버 CH2에서는 최대 0.02 mgm⁻²s⁻¹, 이끼류 및 지의류 챔버 CH4에서는 0.05 mgm⁻²s⁻¹ 방출량을 보였고, 투명 챔버 이끼류 및 지의류 챔버에서는 대체적으로 최대 0.6mgm⁻²s⁻¹ 까지 흡수하며 일변화를 보였음(Fig. 21)
- 네 지점에서의 메탄 플럭스의 결과는 이산화탄소와는 완전히 다른 반응을 보였고, CH1에서는 8월에 들어서면서 증가하기 시작했으며, CH4의 경우는 0.05-0.35 μmgm⁻²s⁻¹ 범위를 보이며, 여름 내내 상대적으로 높은 값이었으며, 건조한 이끼류와 지의류 두 챔버에서는 메탄이 산화되며 음의 매우 적은 양이었음(Fig. 22).

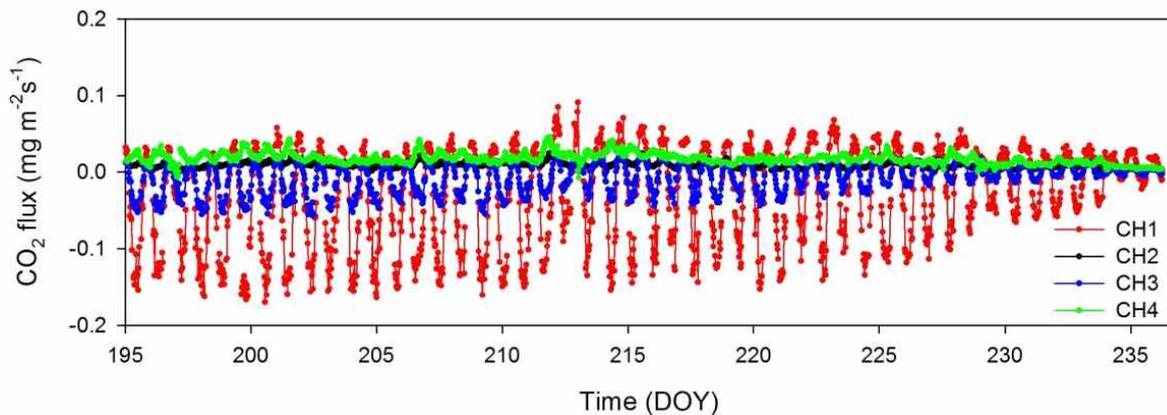


Fig. 21 Variation of CO₂ flux at four locations.

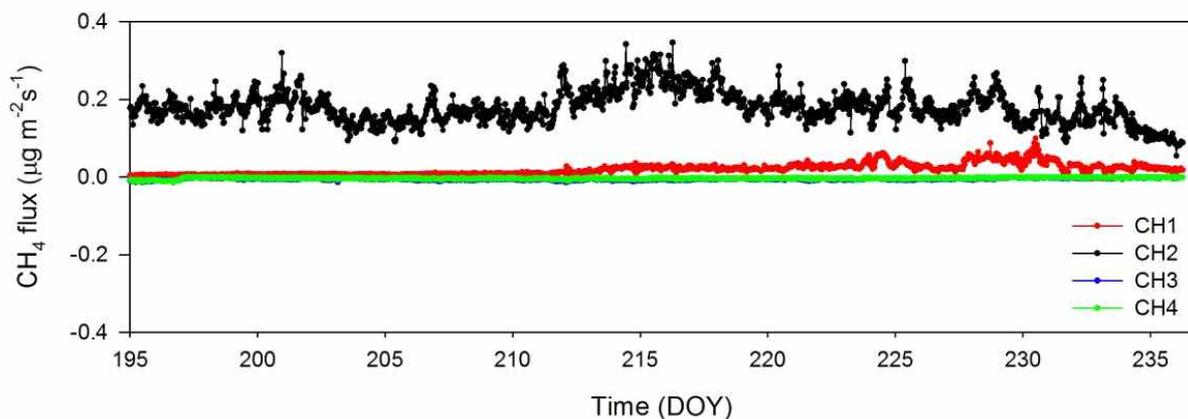


Fig. 22 Variation of CH₄ flux at four locations.

- 연속적으로 이산화탄소와 메탄 플럭스가 존재하는 2019년 7월 14일부터 8월 31일까지의 결과들을 중심으로 이산화플럭스와 메탄 플럭스의 관계를 살펴보았음
- 식생의 유무에 따른 광합성량과 식생과 토양의 호흡량 그리고 식생 종류에 따라서 차이를 보이는데, 주로 투명 챔버를 이용한 순이산화탄소 플럭스 교환량과 순메탄 플럭스의 교환량과의 관계에서는 특별한 관계를 확인할 수 없었음
- 호수 주변 습한 조건을 가지고 일부 초본이 포함된 불투명 챔버에서는 이산화탄소 플럭스의 값이 상대적으로 매우 작은 값이었지만, 이산화탄소 플럭스와 메탄 플럭스가 양의 상관관계로 즉 매우 습하고 식생이 거의 없는 지면에서 많은 양의 메탄이 대기로 방출되고 있으며, 아울러 이산화탄소 역시 동시에 방출되는 환경으로 추정됨
- 건조한 조건이면서 이끼류와 지의류 및 현화식물로 구성된 지점의 불투명 챔버에서는 빈대로 이산화탄소와 메탄 플럭스가 음의 상관관계를 보였는데, 이산화탄소 플럭스가 증가할수록 매우 적은 양의 메탄 플럭스가 산화되었음
- 즉, 전체 자료를 이용한 결과에서 CH2에서는 양의 관계를 CH4에서는 음의 상관관계를 보였고, 광합성이 포함되어있는 투명 챔버에서는 특별한 관계를 살펴볼 수 없었음(Fig. 23).

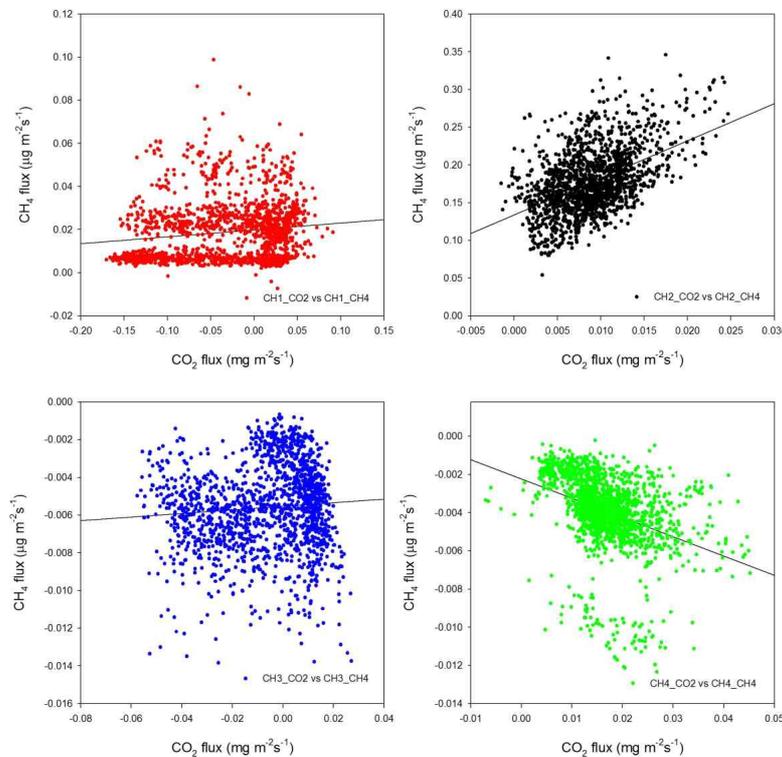


Fig. 23 Relationship between CH₄ and CO₂ flux for at four locations.

○ 이산화탄소 플럭스의 활용

- 이산화탄소 플럭스의 활용 가능한 모델에 대한 정보를 조사하였음
- Vegetation Photosynthesis Respiration Model (VPRM): 식생의 광합성과 호흡을 위주로 탄소 순환을 모사하는 위성자료 기반의 모형으로 (Mahadevan et al., 2008) Net Ecosystem CO₂ Exchange(NEE) 자료를 이용하여 모형을 검증하고, 모형을 최적화하는 자료로 활용할 수 있고, 생태계 호흡값을 유도하여 계산 가능(Fig. 24)
- 최근에는 VPRM을 극지 생태계에 적용하여 고위도에 최적화한 Polar VPRM을 이용한 결과

들이 논의되고 있고(Luus and Lin, 2015), 특히, 극지에서 생태계 호흡에 대한 정확한 모시를 위하여 적설 면적과 기간 등을 고려하여 계산하며, 아울러 기존 모형의 식생분류를 수정하여 극지 식생 타입을 고려한 관목으로 이루어진 관목 툰드라에 대하여 관목의 타입을 보다 세분화하여 구체적으로 모사

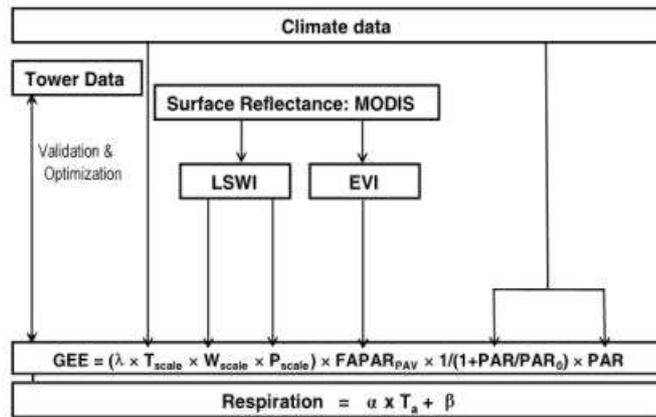


Fig. 24 Structure of Vegetation Photosynthesis Respiration Model (VPRM)(Mahadevan et al., 2008).

- Ecosystem Demography Model version 2 (ED 2 model): 수문, 지표면 생태계 과정, 토양 생지화학적 순화를 모사하는 모형으로 Big-leaf-기반지면-생태 모형으로 식생의 크기와 수령까지 고려하는 모형으로 엽면적지수, 흉고단면적, 총일차 생산량, 순일차 생산량, 증산 및 발산 등이 주요한 변수들(Medvigy et al., 2009)이고, 최근 극지 생태계의 관목성장 및 확장 관련 생태계 및 물순환, 탄소순환 과정 모사를 위하여 극지의 탄소 관련 실측값들이 활용(Kim et al., 2019)(Fig. 25)

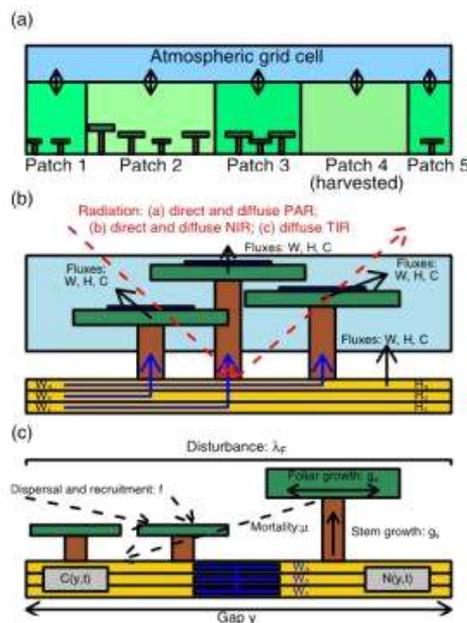


Fig. 25 그림 2. Structure of Ecosystem Demography Model version 2 (ED 2 model)(Medvigy et al., 2009).

- Simple Biosphere model 3(SiB3): 지면과 대기 사이에서의 복사, 열, 에너지, 운동량 그리고 광합성과 식물 생리학과 연결된 모듈을 가진 탄소순환을 모사할 수 있는 모형(Fig. 26)

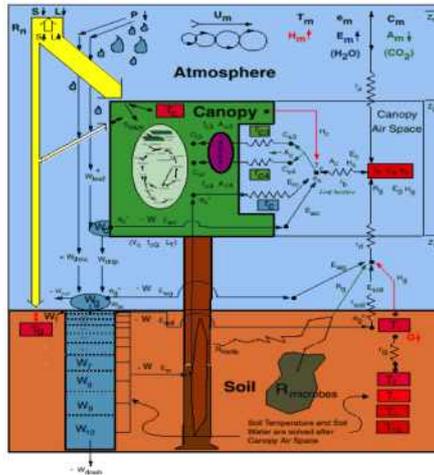


Fig. 26 Structure of Simple Biosphere model 3(SiB3) (Denning Research Group, CSU).

- 알래스카 이산화탄소 플럭스를 조절하는 다양한 환경조절 인자들을 연속적으로 모니터링 하였음
- 토양 이산화탄소 플럭스의 모수화를 위하여 관련한 다양한 조절인자들의 연변화를 2013년부터 최근 자료까지 확보하여 품질 검증 및 결측 기간 자료를 채우면서 분석하였고, 특히나 토양 온도 및 수분의 경우는 토양 이산화탄소와 매우 밀접하다고 알려져 있으므로 각 챔버에서 측정된 토양온도와 각 식생별 토양온도 프로파일 아울러 주변에서 측정된 토양 온도와 토양 수분 프로파일과 함께 광합성유효복사량의 장기간 자료를 정리
- 주변 무인자동기상 시스템의 자료를 활용하여 수십년간의 연속적인 자료를 확보, 이를 이용하여 전반적인 기후변화를 추정하고 이와 온실기체와의 관계에 활용(Table 1).
- 토양 이산화탄소 방출과 가장 밀접하다고 알려져 있는 토양 표면 깊이인 2cm 또는 5cm 자료를 통해 5년간의 결과는 5월초부터 토양온도는 영상을 보이기 시작하면서 최고 온도는 주로 6월말 또는 7월 말에 최대값을 보였고, 그 이후로는 점차 감소하면서 9월 말경에 영하로 내려감(Fig. 27)
- 20cm 이하의 깊이에서는 7월 말에서 8월 초에 최대값을 보였고, 30분 평균된 토양 온도의 최고값은 20cm 이상에서 20도, 20cm 이하의 토양에서는 10도까지 증가하였으며, 최저값은 2013년 말과 2016년말과 2017년 초를 제외하고는 대체적으로 모든 깊이에서 영하 10도를 기록
- 기온의 경우에는 토양 표면 온도와 달리 7월에 30도 이하의 최고값을 보이고, 주로 1월과 2월에 영하 30도 가량 떨어지며 최저값을 보이므로, 챔버로 관측할 수 없는 6월 이전이나 9월 이후의 기간을 추정하기 위해서는 모사식이 필요
- 식생에 따른 차이는 이끼류에서 변동폭이 가장 컸으며, 지의류에서 가장 작았고, 온도의 범위에 있어서는 큰 차이를 보이지 않았고, 토양온도와 수분이 동시에 관측된 지점에서는 식생별 토양온도 프로파일과 유사한 범위와 패턴을 보였고(Fig. 28), 광합성유효복사량 (PAR)은 최대값의 분포에 있어서는 네 해에서 큰 차이를 보이지 않았음

- 알래스카 토양 이산화탄소 조절 인자들과의 관계를 정리하면, 다양한 환경인자를 이용하여 토양 이산화탄소와의 관계에서 무엇보다도 강수가 없는 경우에 토양 이산화탄소 플럭스는 토양온도에 높은 상관관계를 보였는데, 계수 값은 식생에 따라서 차이를 보였고, 토양수분과의 관계는 강수가 많았던 시기에 관측자료가 많지 않아서 어려운 상황이었고, 구체적인 계절변화에 따른 계수 산출과 우기와 건기에 대한 경우와 해빙 초기와 결빙 시기의 토양 이산화탄소 플럭스를 추정할 수 있는 묘사식 조사가 필요

Table 1. Environmental parameters in Council, Alaska

| 환경인자 변수 | 특징(깊이 및 위치) | 기타 |
|-------------|---|----------|
| 토양온도(식생별) | 이끼류와 관목(0.02, 0.05, 0.1, 0.2 m) 초본 (0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 m) 지의류 (0.02, 0.05, 0.1, 0.2 m) | 2013. 7- |
| 토양온도와 토양수분 | 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 m | 2013. 7- |
| 광합성유효 복사량 | 2m 높이 | 2013. 7 |
| 풍향, 풍속, 복사량 | 3m | 2013 - |

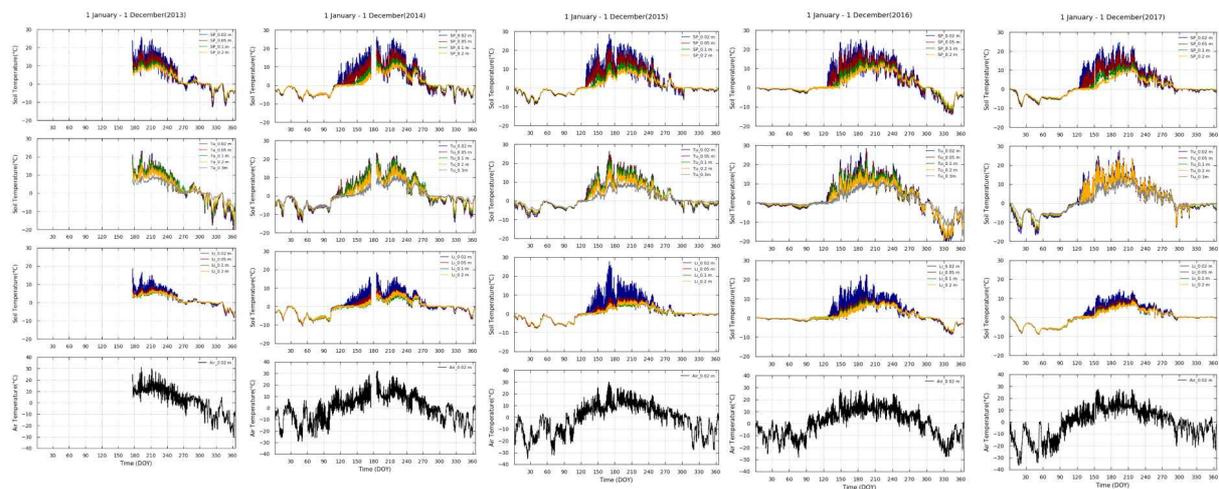


Fig. 27 Annual variation of soil temperature in depth of 0.02m, 0.05m, 0.1m, 0.3m, 0.4m of vegetation(moss, grass , lichen) in Council, Alaska from 2013 to 2017.

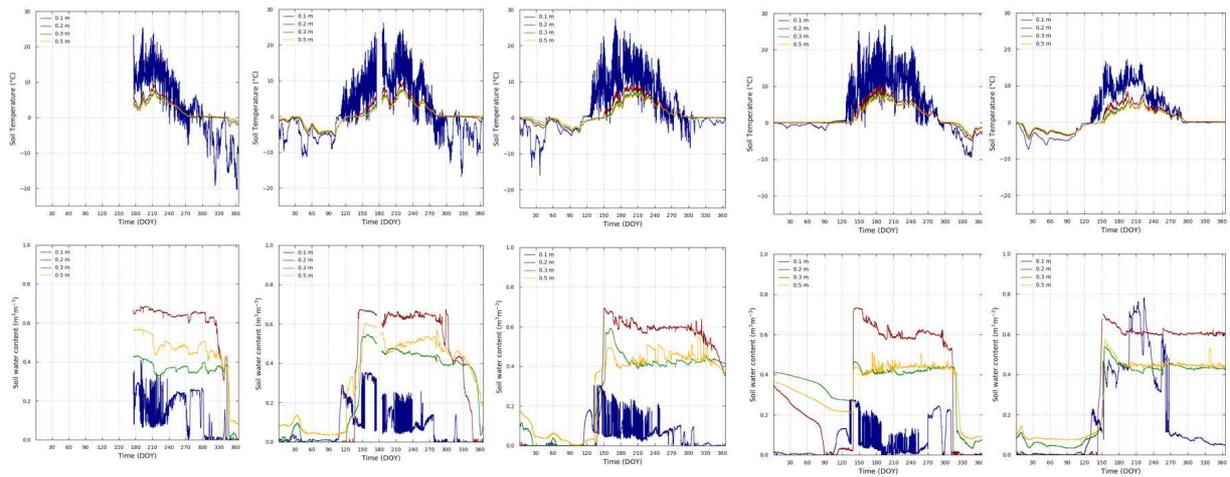


Fig. 28 Annual variation of soil water content in depth of 0.02m, 0.05m, 0.1m, 0.3m, 0.4m of vegetation(moss, grass , lichen) in Council, Alaska from 2013 to 2017.

- 캐나다 이산화탄소 플럭스를 조절과 관련하여 환경 인자들을 이용하여 모델에 활용하기 위하여 관련 환경 인자들을 수집하여 정리하였음
- 대부분의 생태계 지면 모델에 사용되는 실시간 입력자료는 일반적으로 기온, 풍속, 강수, 기압, 복사량, 상대습도가 있고, 모델에 따라서 이산화탄소 농도도 필요하며, 기본적인 입력자료에는 초기 토양수분량과 토양 온도 및 아울러 탄소 순환 중 가장 큰 부분을 차지하는 광합성을 모사하기 위하여 위한 생화학적인 변수들(e.g. Vcmax, Jmax)과 함께 기공의 개폐작용에 필요한 각 식생 종류에 따른 생물리화학적 변수(e.g. 기공전도도)와 관련 정보가 있음
- 장기간의 실시간 입력자료 확보를 위하여 캠브리지베이 주변 기상 관측소의 자동기상시스템에서 1953년부터 2019년까지 67년간 기상자료의 품질을 검증하고 정리
- 대표적인 기상변수인 기온, 상대습도, 풍속, 기압의 연평균 자료를 이용하여 67년간의 변화를 살펴보았음(Fig. 29).
- 기온의 경우는 지속적으로 증가하며 연간 약 0.042°C씩 증가하는 추세를 보였고, 상대습도, 풍속, 기압은 모두 감소하는 경향을 보였으며, 67년 동안의 기온 연간 변화를 살펴보면 여름기간 동안 최고 기온의 차이는 거의 없었으나, 겨울 동안의 최저 기온이 점차 증가하는 것을 확인할 수 있었음
- 강수량 자료의 경우, 극지의 특성상 여름기간이 매우 짧기 때문에 대부분 적설량 자료를 구하여 환산해야하나 강풍 및 다양한 눈의 형태로 인하여 정확한 강수량 자료 확보는 어려움
- 캐나다 캠브리지베이 현장에서 2018년 6월 20일부터 2019년 9월 4일까지 관측된 토양 온도와 토양 수분 자료를 정리하였음(Figs. 30 and 31).
- 습한 지면 환경의 챔버 주변과 건조한 환경의 챔버 관측 지점에서 각각 두 개씩 한 쌍으로 설치된(0.5cm 깊이) 결과에서 토양 온도는 연간 최저 온도 -20°C에서부터 최고 온도 10°C에 이르는 연변화를 보였고, 두 지점의 차이는 거의 없었음

- 토양 수분의 경우에는 습한 조건과 건조한 조건에서 큰 차이를 보였는데, 건조한 환경에서는 연간 8%(겨울)에서 35%(여름)의 변화를 보였고, 습한 환경에서는 겨울동안 10% 전후를 보이다가 해빙이 시작되는 6월 중순부터 가파르게 수분량이 증가하면서 최대 70% 가까이 증가했다가 여름기간 동안에는 주로 40-50%의 범위를 계속 유지

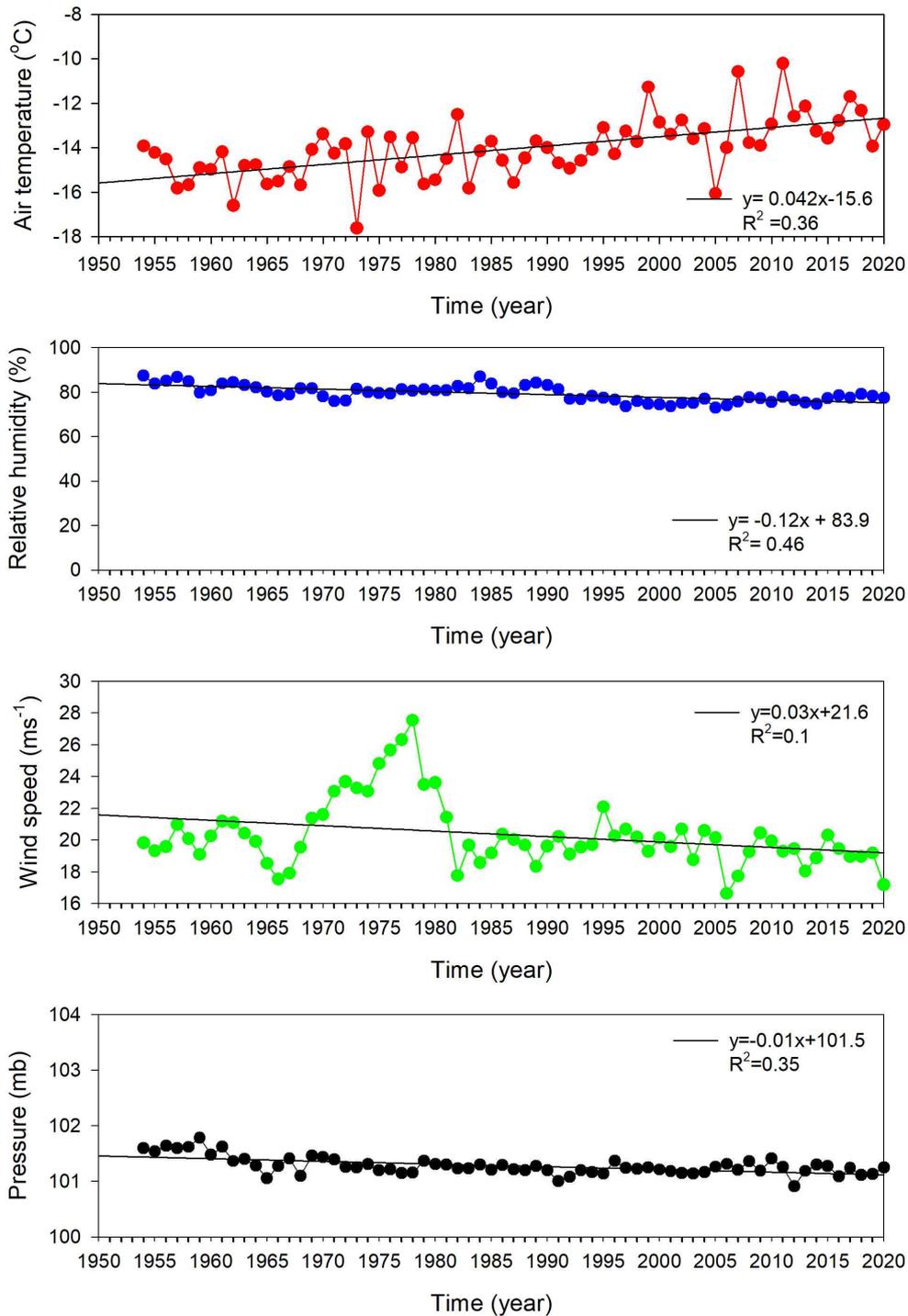


Fig. 29. Annual mean of air temperature, relative humidity, wind speed and pressure from 1953 to 2019 in Cambridge Bay.

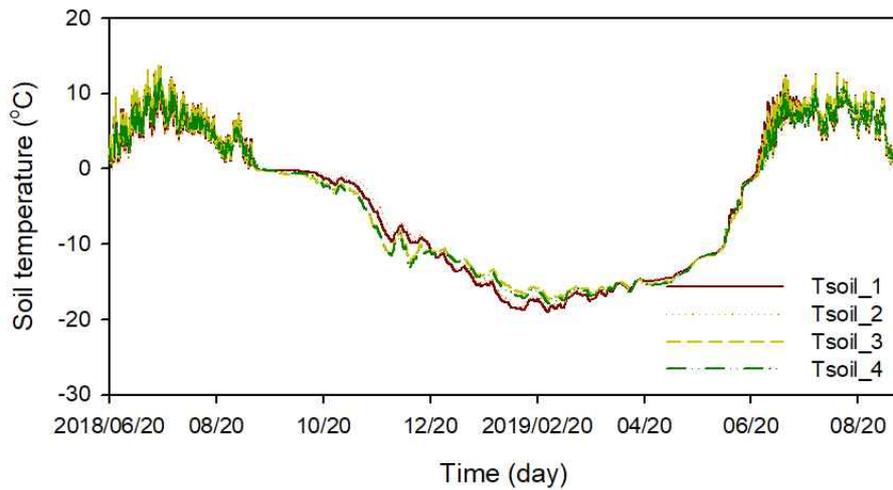


Fig. 30 Seasonal variation of soil temperature at measurement site from June 2018 to August 2019.

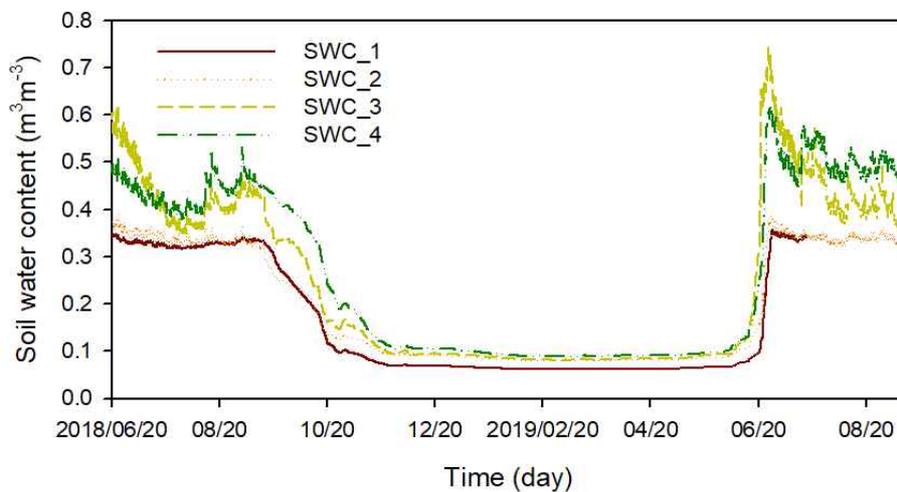


Fig. 31 Seasonal variation of soil water content at measurement site from June 2018 to August 2019.

- 현재까지의 실측자료를 이용하여 메탄 플럭스의 모수화의 가능성을 살펴보기 위하여 매우 습하고 식생이 거의 없는 지면에서 많은 양의 메탄을 방출하는 조건과 건조한 조건이면서 이끼류와 지의류 및 현화식물로 구성된 지점에서 메탄의 산화를 보이는 두 조건의 메탄 플럭스와 토양온도 및 토양 수분과의 관계를 각각 살펴봄(Fig. 32)
- 두 불투명 챔버에서 메탄이 방출되는 플럭스(CH₂ 챔버)와 메탄이 산화되는 플럭스(CH₄ 챔버) 결과에서 메탄 방출시에는 이산화탄소 플럭스와의 관계와 유사하게 토양 온도와 메탄 플럭스는 양의 상관관계를 보였고(Fig. 32a), 토양 수분과는 특별한 관계를 확인할 수 없었음(Fig. 32c)
- 메탄이 산화되는 경우에는 토양온도와의 관계에서 약한 음의 상관관계를 보였고(Fig. 32b),

토양 수분과의 관계에서는 양의 상관관계를 보였음(Fig. 32d)

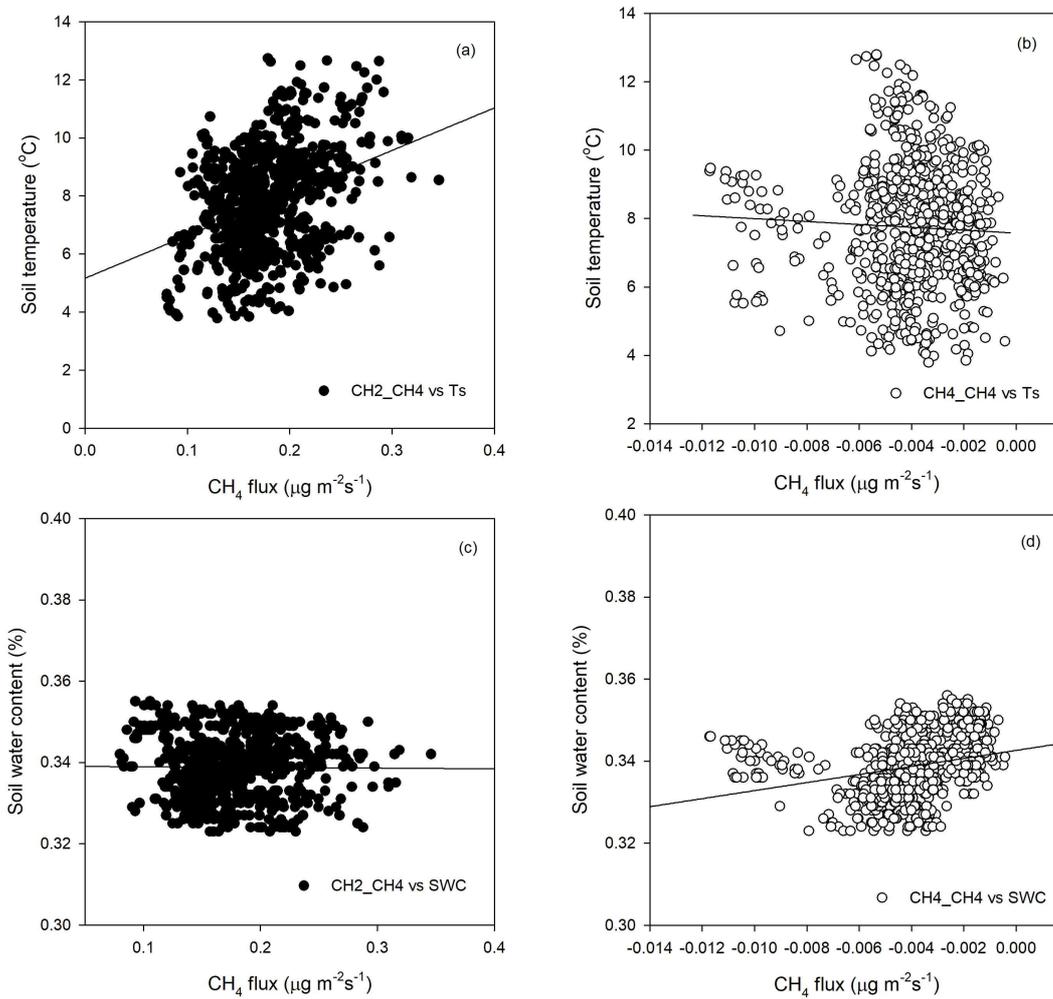


Fig. 32. Relationship between methane flux and of soil temperature and soil water content for wet and dry condition.

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

(14쪽 중 7쪽)

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부 (SCIE/비SCIE) | 게재일 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|-----|------|------|---|----|------|----------------------|-----|-------------|-----|
|----|-----|------|------|---|----|------|----------------------|-----|-------------|-----|

| | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------|------------------------|----|------|--------------------------------------|------|------------|------------------------|----|
| 1 | Soil water content as a critical factor for stable bacterial community structure and degradative activity in maritime Antarctic soil | Journal of Microbiology | Dockyu Kim, Namyi Chae | 58 | 대한민국 | The Microbiological Society of Korea | SCIE | 2020.12.02 | 1976-3794 1225-8873 | 40 |
|---|--|-------------------------|------------------------|----|------|--------------------------------------|------|------------|------------------------|----|

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|----|---|--|-----------------|--------|------|
| 1 | International carbon dioxide conference | Namyi Chae, Sang-Jong Park, Yongwon Kim, Hojeong Kang, YoungJun Yoon, TaejinChoi, Larry Hinzman, Bangyong Lee | 2017. 08. 24 | 인터라켄 | 스위스 |
| 2 | AisaFlux | Namyi Chae, Sang-Jong Park, Yongwon Kim, Hojeong Kang, Young JunYoon, Taejin Choi, Larry Hinzman, Bangyong Lee | 2017. 08. 18 | 베이징 | 중국 |
| 3 | 한국농림기상학회 | 채남이, 최태진, 박상종, 이방용 | 2017. 11. 10 | 서울대학교 | 대한민국 |
| 4 | AGU Fall meeting | Namyi Chae, Bangyong Lee | 2018. 12. 12 | 워싱턴 | 미국 |
| 5 | 한국농림기상학회 | 채남이, 이방용, 최태진, 이유경 | 2019. 08. 29 | 제주 | 대한민국 |
| 6 | Arctic Science Summit Week 2021 (ASSW) | Namyi Chae, Juyeol Yun, Taejin Choi, Johann Wanger, Bangyong Lee | 2021. 03. 24-26 | 온라인 개최 | 포르투갈 |

전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류 | 기준 연도 | 현황 | | | | | | | | | | |
|----|----|-------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| | | | 학위별 | | | | 성별 | | 지역별 | | | | |
| | | | 박사 | 석사 | 학사 | 기타 | 남 | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
| | | | | | | | | | | | | | |

국제화 협력성과

| 번호 | 구분 (유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|----|---------------|----|----|----|----|----|
| | | | | | | |

홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|-------|-----|----|-----|
| | | | | |

포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용 | 포상 대상 | 포상일 | 포상 기관 |
|----|----|-----|-------|-------|-----|-------|
| | | | | | | |

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 종질지(80g/m²)]

[인프라 성과]

연구시설·장비

| 구축기관 | 연구시설/ 연구장비명 | 규격 (모델명) | 개발여부 (○/×) | 연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부 | 연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호 | 구축일자 (YY.MM.DD) | 구축비용 (천원) | 비고 (설치 장소) |
|------|----------------|-------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|
| | | | | | | | | |

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

2) 목표 달성 수준

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도(%) |
|--|---|--------|
| ○ 기후변화에 따른 북극 툰드라에서의 탄소순환 메커니즘을 이해하기 위하여 북극 툰드라에서 생태계에서 이산화탄소 및 메탄 플럭스를 모니터링하고 조절 환경인자들과의 관계를 조사하여 기후변 | - 알래스카 카운슬에 위치한 습윤한 툰드라에서 자동 챔버 시스템을 이용하여 여름동안 이산화탄소 플럭스와 이를 조절하는 환경인자들을 동시에 모니터링 하였음 - 관목, 초본, 이끼류, 지의류 등 다양한 식생에서 관측된 이산화탄소 플럭스는 다양한 범위를 보였고, 일반적으로 토양 온도에 의하여 조절되었음 | ○ 100 |

| | | |
|---|--|--|
| <p>화에 따른 북극 툰드라에서의 탄소순환 메커니즘을 이해하고 예측</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 캐나다 캠브리지에서는 이산화탄소뿐만 아니라 메탄 관측을 위한 시스템을 구축하여 연속 모니터링을 시도하였음 - 연속 측정된 메탄 플럭스를 이용한 환경인자와의 관계에서 습한 조건에서는 메탄의 방출과 토양 온도와의 양의 상관관계를 보였으나, 건조한 조건에서는 메탄의 흡수(산화)와 토양 수분과의 양의 상관관계를 확인할 수 있었음 - 다양한 환경 인자들을 이용한 온실기체 플럭스와의 관계를 살펴보면서 모수화를 시도하였음 | |
|---|--|--|

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

2) 자체 보완활동

3) 연구개발 과정의 성실성

극지연구소

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 툰드라 주요 식생에 대한 탄소 순환의 발원 및 흡원에 대한 평가는 기후변화에 민감하게 반응하는 북극권 식생의 분포(천이)에 따른 탄소 순환 예측에 기여
-

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 북극권 툰드라에서의 대기-토양 생태계 간의 온실 기체의 모니터링은 급격한 북극 환경 변화에 따른 메커니즘을 파악하는데 활용되어질 뿐만 아니라, 모델링을 통한 검증 및 예측에 유용한 정보 제공
 - 향후의 북극권 동토층의 생태계 관련 기초자료를 제공하고 극지 연구 인프라와 연계하여 보다 통합적인 극지 생태계 연구 기반 마련
-

< 별첨 자료 >

- McGuire AD, Anderson LG, Christensen TR, Dallimore S, Guo L, Hayes DJ, Heimann M, Lorenson TD, Macdonald RW, Roulet N (2009) Sensitivity of carbon cycle in the Arctic to climate change. *Ecological Monographs* 79(4):523-555
- Schuur EAG et al (2008) Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle. *BioScience* 58:701-714
- Tarnocai C, Canadell J, Schuur E, Kuhry P, Mazhitova G, Zimov S (2009) Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles* 23(2): GB2023.

주 의

1. 이 보고서는 과학기술정보통신부에서 시행한 거대과학연구개발사업의 해양극지기초원천기술개발사업 연구개발과제(위탁과제)의 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 과학기술정보통신부에서 시행한 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

